

Л.И.СЕРГИЕНКО
В. В. МИРОНОВ

Электро- энергетические системы морских судов

УТВЕРЖДЕНО
ГЛАВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ КАДРОВ,
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ
МИНМОТФЛОТА СССР
В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНИКА
ДЛЯ КУРСАНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 21.07
"ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
И АВТОМАТИКИ СУДОВ"
МОРЕХОДНЫХ УЧИЛИЩ

Сергиенко Л. И., Миронов В. В. Электроэнергетические системы морских судов: Учебник для мореход, училищ. — М.: Транспорт, 1991. — 264 с

Приведены основные сведения об электроэнергетических системах морских судов. Особое внимание уделено автоматизируемым системам управления судовыми электроэнергетическими установками и автоматическим регуляторам напряжения судовых генераторов. Представлены сведения об источниках электроэнергии, электрической аппаратуре, электрических сетях и судовой светотехнике. По всем видам технических средств изложены основные правила технической эксплуатации.

В приложениях содержатся условные графические обозначения и буквенные коды элементов электрических схем.

Для учащихся электромеханической специальности мореходных училищ. Может быть полезен судовым электрикам и электромеханикам.

Ил. 122, табл. 4, библиогр. 15 назв.

Авторы: В. В. *Миронов* (предисловие, введение, гл. 1-3, 6, 7, 9, заключение); Л. И. *Сергиенко* (гл. 4, 5, 8, 10).

Рецензенты: С. Б. Кузнецов, Ю. В. Мнушко

Заведующий редакцией Е. Д. Некрасова

Редактор С. Ю. Ланцев

Учебное издание

СЕРГИЕНКО Леонид Иванович, МИРОНОВ Валерий Васильевич

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОРСКИХ СУДОВ

Технические редакторы Я. М. Романова, Л. Г. Дягилева

Корректор-вычитчик В. Я. Яговкина

Корректор В. А. Спиридонова

ИБ4175

Подписано в печать 09.10.91. Формат 60x88 1/16. Бум. офсетная № 2. Гарнитура Пресс Роман. Офсетная печать. Усл. печ. л. 16,17. Усл. кр.-отт. 16,17. Уч.-изд. л. 18,55. Тираж 4200 экз. Заказ 1485. Цена 3 руб. Изд. № 1-1-2/10 № 4935.

Текст набран в издательстве на наборно-печатающих автоматах

Ордена "Знак Почета" издательство "Транспорт", 103064, Москва, Басманный туп., 4а

Московская типография № 4

Министерства печати и массовой информации РСФСР

Москва, 129041, Б. Переяславская ул., д. 46

С 3205030000-268
049(01)-91 167-91

ISBN 5-277-01097-1

© Л. И. Сергиенко, В. В. Миронов, 1991



Электроэнергетические системы, являющиеся одними из наиболее сложных комплексов судовых технических средств, должны обеспечивать бесперебойное производство и распределение электроэнергии. Судовые специалисты, занимающиеся эксплуатацией этих систем, нередко обязаны принимать решения при быстрой смене окружающей обстановки и режимов работы агрегатов и механизмов, а также в условиях нехватки времени на выполнение каждой операции. От их правильных действий во многом зависит живучесть судна. Перечисленные обстоятельства предъявляют повышенные требования к уровню профессиональной подготовки будущих судовых электромехаников.

В учебнике отражен современный уровень судовой электротехники в целом и судовых СЭЭС в частности. Наибольшее внимание уделено автоматическим регуляторам напряжения разных типов и системам управления типов "Ижора", "Ижора-М" и ASA-S как наиболее сложным и трудным в изучении элементам электроэнергетических установок. При изложении материала основной упор сделан на освещение сущности физических процессов, происходящих в перечисленных выше элементах.

Учебник написан в соответствии с учебной программой по одноименной дисциплине и предполагает формирование у курсантов системы знаний основ технической эксплуатации автоматизированных электроэнергетических систем. Привитие навыков и умений обеспечивается выполнением лабораторных работ, курсового проекта и прохождением плавательной практики. Излагаемый материал основан на знании предметов "Теоретическая электротехника и электрические измерения", "Судовые электрические машины", "Основы электроники и судовая автоматика" и др. Часть материала учебника служит для повышения технической эрудиции курсантов (различные исторические данные, сведения о работах ученых, информация из смежных областей знаний и т. д.). Некоторые сведения необходимо запомнить. К ним относятся условные графические обозначения и буквенные коды элементов электрических схем (приложения 1 и 2), наиболее употребительные формулы и др. Значительная часть учебника отведена материалу, требующему от курсанта прежде всего понимания. В первую очередь это сведения об автоматизированных устройствах, узлах и блоках, входящих в систему управления электроэнергетической системой, а также автоматических регуляторах напряжения. *Следует*

подчеркнуть: от того, насколько грамотно будут эксплуатироваться эти технические средства, зависит надежность работы электроэнергетической системы, живучесть судна и безопасность людей.

С целью облегчения работы с учебником в тексте использованы шрифтовые выделения: в параграфах выделены полужирным шрифтом наиболее важные темы; слова или словосочетания, определяющие смысловые части текста, выделены разрядкой; термины - *курсивом*. Для повышения эффективности усвоения материала служат контрольные вопросы-задания, приведенные в конце каждой главы.

Самостоятельную работу над учебником следует дополнять изучением руководящих документов (Правил Регистра СССР, Правил технической эксплуатации судовых технических средств и др.), а также систематическим ознакомлением с новинками технической литературы и периодическими изданиями (журналы "Судостроение", "Морской флот" и др.).

Авторы заранее благодарны за все критические замечания и предложения по улучшению учебника и просят направлять их по адресу: 103064, Москва, Басманный тупик, ба, издательство "Транспорт".

Авторы

Список принятых сокращений

АБ	— аккумуляторная батарея
АВ	— автоматический выключатель
АД	— асинхронный двигатель
АДГ	— аварийный дизель-генератор
АРН	— автоматический регулятор напряжения
АРЧ	— автоматический регулятор частоты
АРЩ	— аварийный распределительный щит
АС	— автоматический синхронизатор
АЦП	— аналого-цифровой преобразователь
БИС	— большая интегральная схема
БСГ	— бесщеточный синхронный генератор
ВГ	— валогекератор
ВРШ	— винт регулируемого шага
ВФШ	— винт фиксированного шага
ГА	— генераторный агрегат
ГД	— главный двигатель
ГНВ	— генератор начального возбуждения
ГПТ	— генератор постоянного тока
ГРЩ	— главный распределительный щит
ГЭУ	— гребная электрическая установка
ДАУ	- дистанционное автоматизированное управление
ДГ	— дизель-генератор
ЗПУ	— зарядно-питающее устройство
ЗУ	— защитное устройство
ИТ	— измерительный трансформатор
КЗ	— короткое замыкание
Кн	— корректор напряжения
КПД	— коэффициент полезного действия
ЛЛ	— лампа люминесцентная
ЛН	— лампа накаливания
МКО	— машинно-котельное отделение
МО	— машинное отделение
МУ	— магнитный усилитель
ОВГ	— обмотка возбуждения генератора
ОУ	— операционный усилитель
ПД	— приводной двигатель
ПП	— плавкий предохранитель
ПТЭ СТС	- Правила технической эксплуатации судовых технических средств
ПУ	— пулы управления
РГП	— рубильник гашения поля
РДГ	— резервный дизель-генератор
РУ	— распределительное устройство
РЩ	— распределительный щит

СВАРН	- система возбуждения и автоматического регулирования напряжения
СГ	— синхронный генератор
СТС	- судовое техническое средство
СЦК	— система централизованного контроля
СУ	— система управления
СЭО	— судовое электрооборудование
СЭС	— судовая электростанция
СЭУ	— судовая энергетическая установка
СЭЭС	— судовая электроэнергетическая система
ТГ	- турбогенератор
ТК	— трансформатор компаундирования
ТН	— трансформатор непряжения
ТО	— техническое обслуживание
ТТ	— трансформатор тока
УК	— утилизиционный котел
УТГ	— утилизиционный турбогенератор
ЦАП	— цифроаналоговый преобразователь
ЦВМ	- цифровая вычислительная машина
ЦПУ	— центральный пост управления
ЩЭСБ	— щит электроснабжения с берега
ЭД	— электродвигатель
ЭДС	— электродвижущая сила
ЭП	— электропривод

ВВЕДЕНИЕ

Важным направлением совершенствования морского транспорта является обновление флота, пополнение его высокопроизводительными экономичными специализированными судами. Современные морские суда насыщены большим количеством технических средств, обеспечивающих безопасность плавания, оптимальные режимы работы оборудования и нормальные бытовые условия экипажа. Для управления СТС применяют системы управления, которые в совокупности образуют комплексы систем управления судовыми техническими средствами.

В 1970-1976 гг. для судов отечественной постройки были созданы 4 базовых комплекса СУ СТС первого поколения: "Залив" - для теплоходов, "Пролив" - для паротурбоходов, "Тропик" - для газотурбоходов, "Север" - для атомоходов.

С 1981 г. на судах устанавливаются более совершенные комплексы СУ СТС второго поколения типа "Залив-М". В состав комплекса "Залив-М" входят СУ следующими СТС (рис. В.1): вспомогательными механизмами, обслуживающими ГД ("*Прибой*"); электроэнергетической системой ("*Ижора-М*"); общесудовыми системами ("*Нарочь-М*"); грузовыми операциями на танкерах ("*Ильмень-М*"); системой инертных газов на танкерах ("*Виктория-М*"). Кроме того, предусмотрены прием и обработка информации от большого количества датчиков (давления, температуры, уровня и др.) при помощи СЦК типа "*Шипка-М*". Централизованное электроснабжение перечисленных систем данного комплекса обеспечивает система "*Тангенс*". Системы комплекса связаны не только между собой, но и с локальными СУ, такими, как ДАУ ГД, ДАУДГидр.

С начала 90-х годов на суда начнут поступать комплексы СУ СТС третьего поколения, в которых предполагается широкое использование микропроцессорных средств переработки, хранения и передачи информации.

На современных судах большинство СТС электрифицировано: это стало уже привычным. Но давайте вспомним, как электричество "завоевало" суда.

Электрическая энергия начала применяться на судах во второй половине XIX века, чему способствовали изобретения лампы накаливания А. Н. Лодыгиным, дуговой лампы П. Н. Яблочковым, трансформатора И. Ф. Усагиным, 3-фазного асинхронного двигателя М. О. Доли-

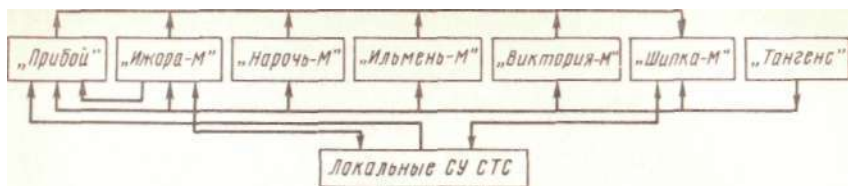


Рис. В.1. Структурная схема комплекса систем управления судовыми техническими средствами типа "Залив-М"

во-Добровольским и др. В 80-х годах прошлого века на судах впервые начали устанавливать ППТ для нужд освещения, а в начале XX века – электрифицированные приводы вентиляторов и насосов МКО, а также палубных и грузоподъемных механизмов. Мощность генераторов составляла десятки киловатт при напряжении до НОВ. Необходимость централизованного электроснабжения судовых приемников привела к созданию СЭС, состоящих из источников электрической энергии и ПРШ. До середины 50-х годов на большей части судов транспортного флота применяли постоянный ток, что объясняется хорошими регулируемыми свойствами ЭП постоянного тока. Серийный выпуск судового электрооборудования переменного тока мощностью в десятки и сотни киловатт обеспечил переход от СЭС постоянного тока к СЭС переменного тока.

Одна из основных тенденций развития судовой электроэнергетики – постоянный рост мощностей СЭС и установленного электрооборудования. Так, средняя мощность СЭС морских судов удваивается каждые 20 лет и в настоящее время достигает десятков тысяч киловатт. По мере роста мощностей СЭС усложнялась их структура, а также структура электрических сетей, совершенствовались системы автоматического регулирования, управления, защиты и контроля. В связи с этим сформировалось понятие о СЭЭС, обеспечивающей производство и распределение электрической энергии.

Управление работой СЭЭС осуществляют с помощью СУ. В настоящее время на транспортных судах используют множество СУ СЭЭС, отличающихся структурой, элементной базой и другими признаками. На судах отечественной постройки устанавливают СУ СЭЭС типа "Ижора-М", связанную с локальной системой ДАУ ДГ типа "Роса-М". Применение этих двух систем позволило автоматизировать операции пуска, остановки, контроля и защиты приводных двигателей ГА ("Роса-М"), синхронизацию, распределение нагрузки и защиту генераторов ("Ижора-М"). Тем самым обеспечена комплексная автоматизация СЭС.

Более совершенные СУ СЭЭС, в которых используются ЭВМ, позволяют дополнительно автоматизировать программирование работы СЭЭС в соответствии с режимом работы судна, а также диагностирование и прогнозирование состояния элементов СЭЭС. Такие СУ обеспе-

чивают практически бесперебойное снабжение судна электроэнергией, что является важнейшим условием безопасности плавания.

Разработка и внедрение надежных СУ СЭЭС в значительной степени будут способствовать решению важной задачи – созданию комплексных систем управления СТС, которые свяжут в единое целое основные группы судовых технологических процессов: судовождение, эксплуатацию СЭУ, грузовые, швартовные операции и др. Такие СУ СТС уже в настоящее время создаются на базе широкого использования ЭВМ и телевизионной техники.

В зависимости от объема автоматизации СТС, Правила Регистра СССР устанавливают 2 знака автоматизации в символе класса судна – А1 и А2. Знак А1 имеют автоматизированные суда с безвахтенным обслуживанием МО в ходовом режиме и во время стоянки, знак А2 – суда с обслуживанием МО постоянной вахтой в ЦПУ на ходу и с безвахтенным обслуживанием во время стоянки. Комплекс "Залив-М" соответствует требованиям Правил Регистра СССР к судам со знаком автоматизации А1. Комплексная автоматизация судов позволяет существенно повысить экономичность и ресурс СЭУ, сократить численность экипажей и эксплуатационные расходы, облегчить труд моряков и имеет конечной целью снижение себестоимости перевозок в условиях безопасного плавания.

1.1. Термины и определения. Классификация

Термины и определения. Судовая электроэнергетическая система - это совокупность судовых электротехнических устройств, предназначенных для производства, преобразования, распределения электроэнергии и питания ею судовых приемников (потребителей). Такая система состоит из трех основных частей: судовых электрических станций (основные и аварийные), силовой электрической сети, сети приемников. Сами приемники в состав СЭЭС не входят.

Судовая электрическая станция - это энергетический комплекс, состоящий из источников электроэнергии и ГРЩ, к которому они подключены.

Источниками электроэнергии на судах являются ГА и АБ. В качестве ГА применяют дизель-генераторы, турбогенераторы, валогенераторы (генераторы с приводом от гребного вала), утилизационные турбогенераторы (генераторы с приводом от утилизирующей турбины). По назначению источники электроэнергии подразделяют на основные, резервные и аварийные: *основные* предназначены для работы в любом режиме СЭЭС, *резервные* - для обеспечения резерва мощности системы, *аварийные* - для работы в аварийном режиме СЭЭС. На большинстве транспортных судов деление источников электроэнергии на основные и резервные условно, так как резервным генератором может быть любой из основных. Аварийные источники используют при выходе из строя основных. Они обеспечивают электроэнергией наиболее ответственные приемники (средства навигации и связи, освещение, рулевое устройство и др.) и поэтому имеют ограниченную мощность. В качестве аварийных источников применяют ДГ и АБ.

Для передачи электроэнергии от источников к приемникам используют линии электропередачи, состоящие из кабелей, проводов и шин. По способу передачи электроэнергии линии электропередачи подразделяются на фидерные и магистральные. *Фидерная* линия электропередачи включается между источником электроэнергии и РЩ или между двумя РЩ, или между РЩ и приемником электроэнергии. *Магистральная* линия - это такая линия электропередачи, параллельно с которой по ее длине подключается ряд РЩ и отдельных приемников электроэнергии.

Для распределения электроэнергии используют электrorаспределительные щиты, которые подразделяют на главные, аварийные, групповые, электроснабжения с берега и др.

Совокупность распределительных щитов и линий электропередачи образует электрические сети. Судовые электрические сети подразделяют на силовые, сети приемников и аварийные.

Силовая электрическая сеть начинается от ГРЩ и заканчивается у приемников или преобразователей электроэнергии. Последние служат для преобразования рода тока, частоты или числа фаз; к ним относятся выпрямительные устройства для питания электроприводов и заряда аккумуляторов, вращающиеся или статические преобразователи частоты и др. Силовые электрические сети, в свою очередь, подразделяются на фидерные, магистральные и магистрально-фидерные. В перечисленных сетях для передачи электроэнергии используют соответственно или фидеры, или магистрали, или фидеры и магистрали одновременно.

Сеть приемников - это электрическая сеть, предназначенная для распределения электроэнергии среди одинаковых приемников, а также электрическая сеть, отделенная от силовой сети преобразователями электроэнергии (последние входят в данную сеть). Под одинаковыми понимают приемники, одинаковые по назначению и другим признакам.

Аварийная электрическая сеть предназначена для передачи электроэнергии от аварийного источника к приемникам при выходе из строя линий электропередачи силовой сети или исчезновении напряжения на •д шах ГРЩ.

Режим работы судна (ходовой, маневров, аварийный и др.) определяет количество и мощность включенных приемников электроэнергии, создающих нагрузку СЭЭС. Под последней понимают суммарную потребляемую активную мощность приемников, включенных в данном режиме работы СЭЭС. Нагрузку СЭЭС определяют расчетом или по приборам (выражают в киловаттах или мегаваттах).

Работу приемников в каждом режиме обеспечивают включенные источники электроэнергии, суммарную активную мощность которых называют включенной мощностью СЭЭС. Разность между значениями включенной мощности и нагрузкой называют включенным резервом мощности СЭЭС. С увеличением значения включенного резерва работа СЭЭС становится более надежной, но менее экономичной.

Наиболее напряженные режимы работы СЭЭС обеспечивают несколько источников электроэнергии, включенных на параллельную работу. Различают кратковременную и длительную параллельную работу: *кратковременная* имеет место при переводе нагрузки с одного источника электроэнергии на другой, *длительная* - во всех остальных случаях. Если схемой ГРЩ параллельная работа не предусмотрена, то реализуется раздельная работа источников электроэнергии.

Каждая СЭЭС характеризуется конфигурацией, структурой, схемой, состоянием, режимами работы, параметрами и показателями.

Конфигурация СЭЭС - это топографическое изображение расположения входящих в нее электрических станций, кабельных трасс, шкнопроводов, преобразователей, распределительных щитов и приемников электроэнергии (на плане судна или виде сбоку).

Структура СЭЭС - это краткая характеристика основных ее элементов с указанием их основных связей и параметров.

Схема СЭЭС - это условное графическое изображение элементов СЭЭС и их связей (структурное, общее или расположения). Отдельные элементы СЭЭС могут изображаться на схемах (принципиальных, функциональных, подключений и соединений).

Состояние СЭЭС может быть нормальным или ненормальным. При *нормальном* состоянии СЭЭС обеспечивает производство и распределение электроэнергии требуемого качества от основных или резервных источников между приемниками. Отклонение от такого состояния называется *ненормальным* состоянием СЭЭС (например, КЗ в любой точке системы, перегрузка отдельных элементов, отключение части источников или приемников электроэнергии, недопустимые изменения параметров электроэнергии). К ненормальному состоянию относят и аварийное состояние СЭЭС, при котором обеспечивается производство и распределение электроэнергии от аварийных источников между ответственными приемниками.

Режим работы СЭЭС может быть установившимся или переходным. При *установившемся* режиме СЭЭС работает при постоянных параметрах или медленных их изменениях в заданных пределах. При *переходном* режиме происходит быстрое изменение параметров и переход от одного установившегося режима к другому.

К параметрам СЭЭС относят напряжение, ток, мощность, частоту, сопротивление изоляции, коэффициент мощности и т. д.

Основными показателями СЭЭС являются надежность и живучесть, качество электроэнергии, масса и габаритные размеры, строительная стоимость, эксплуатационные расходы, уровень автоматизации, уровень унификации и др.

Классификация СЭЭС. Классифицируют СЭЭС по следующим признакам:

установленной мощности ГА - малой (0,5-5 МВт), средней (5-10 МВт) и большой (свыше 10 МВт) мощности;

степени автоматизации - автоматизированные с дистанционным и программным управлением. Автоматизированные СЭЭС с дистанционным управлением имеют простые средства автоматизации специализированного назначения (например, системы пуска РДГ, устройства синхронизации генераторов и распределения нагрузки). В состав СЭЭС с программным управлением входят общесудовые ЭВМ или, гораздо чаще, узкоспециализированные мини-ЭВМ, позволяющие реализовать сложные законы управления СЭЭС по различным программам в зависимости от режима работы судна;

количеству электростанций - системы с одной, двумя и большим количеством электростанций;

связи СЭЭС с СЭУ - на автономные, с отбором мощности от СЭУ и единые с СЭУ.

Последние 2 признака являются определяющими для структурных схем СЭЭС.

1.2. Структурные схемы СЭЭС

На структурных схемах СЭЭС показывают основные функциональные части электроэнергетических систем, их назначение и взаимосвязь.

Автономные СЭЭС имеют автономные, т. е. независимые от СЭУ, источники электроэнергии - ДГ или ТГ. На большинстве транспортные судов автономная СЭЭС состоит из основной и аварийной электростанций (рис. 1.1). Основные генераторы $G1-G4$ приводятся во вращение дизелями D или турбинами T . Приводным двигателем аварийного генератора AG , по правилам Регистра СССР, должен быть дизель. Приемники получают от $ГРЩ$ электроэнергию непосредственно ($П1$), через $РЩ$ ($П2-П6$), через понижающий трансформатор T и $РЩ$ ($П7-П8$), а также преобразователи электроэнергии - выпрямительное устройство $ВУ$ или тиристорный преобразователь частоты $ТПЧ$. Электрическая связь между $ГРЩ$ и $АРЩ$ в нормальных режимах работы осуществляется через кабельную перемычку X , в расщепке которой находится контакт K мощного контактора. По перемычке электроэнергия передается в направлении от основной электростанции к аварийной. При обесточивании $ГРЩ$ контактор теряет питание и его контакт K , размыкаясь, разъединяет шины $АРЩ$ и $ГРЩ$. Одновременно начинается автоматический пуск $АДГ$ с последующим подключением его к шинам $АРЩ$. Тем самым обеспечивается практически бесперебойное питание ответственных приемников $П12-П14$, подключенных к $АРЩ$.

Максимальная мощность СЭС при напряжении 400 В достигает 3 МВт. Это обусловлено тем, что при такой мощности ударные токи КЗ достигают предельного для существующих АВ значения (100-120 кА). Поэтому на крупных пассажирских и научно-исследова-

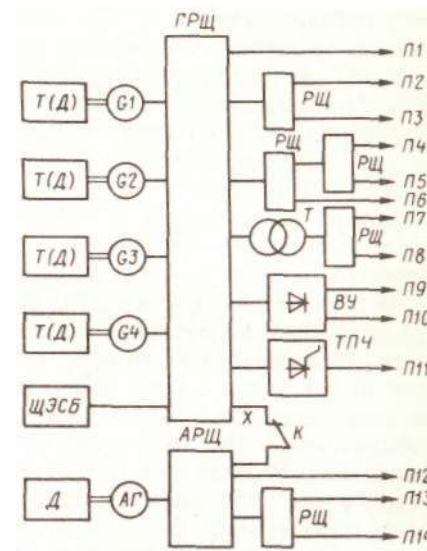


Рис 1.1. Структурная схема автономной СЭЭС с одной основной и одной аварийной электростанциями

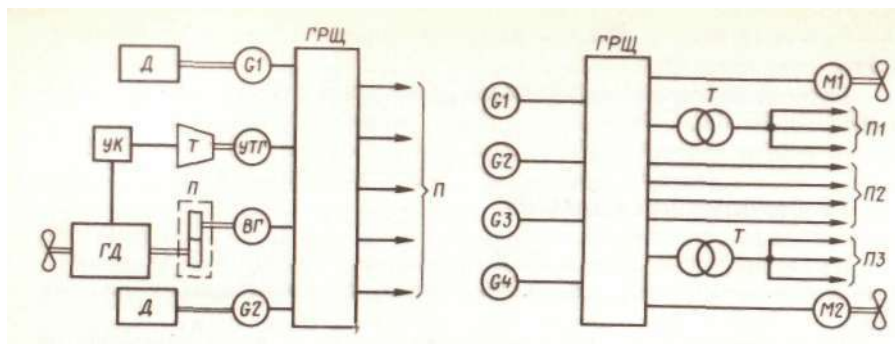


Рис 1.2. Структурная схема СЭЭС с отбором мощности от СЭУ

Рис 1.3. Структурная схема единой СЭЭС

тельских судах, а также ледоколах могут быть установлены 2 основные электростанции (носовая и кормовая), которые связывают электрически двумя 3-жильными кабельными перемычками, проложенными вдоль разных бортов. Такие СЭЭС называют замкнутыми. Они более надежны и живучи, но дороже и сложнее по сравнению с системами с одной электростанцией.

Отбор мощности от СЭУ может осуществляться применением в составе электростанций *ВГ* и *УТГ* (рис. 1.2). Валогенераторы приводятся во вращение через механическую передачу *П* от судового валопровода или непосредственно от *ГД*. Применение передачи вызвано тем, что частота вращения валопровода или *ГД* в несколько раз меньше номинальной частоты вращения выпускаемых промышленностью генераторов. Утилизационные турбогенераторы *УТГ* получают пар от *УК*, использующих теплоту отработавших газов *ГД*.

ВГ могут применяться как на теплоходах, так и на паротурбинных судах, *УТГ* - только на теплоходах. Практически применение *УТГ* возможно при мощности *ГД* свыше 6,5 МВт, валогенераторные установки целесообразно использовать при мощности *ГД* до 11-15 МВт, при большей мощности экономически оправдано применение комбинированных турбовалогенераторных блоков, включающих *ВГ* и *УТГ*.

Основным недостатком систем отбора мощности является зависимость их работы от частоты вращения гребного вала. При использовании *ВГ* на судах с *ВФШ* изменение скорости судна, т. е. изменение частоты вращения валопровода, приводит к пропорциональному изменению частоты тока и напряжения *ВГ*. Это затрудняет или делает почти невозможной параллельную работу *ВГ* с автономными генераторами, а при остановке *ГД* требует быстрого включения резервного генератора взамен *ВГ*. Для стабилизации параметров тока *ВГ* при изменении скорости судна в пределах 100-70 % номинальной применяют электромеханические и статические тиристорные преобразователи, объемные гидротрансформаторы и наиболее совершенные дифференциальные электро- и гидромеханические регулируемые передачи. Ка

судах с *ВФШ* конструкция валогенераторной установки упрощается, так как частота вращения валопровода неизменна. *УТГ* благодаря тепловой инерции *УК*, а также возможности регулирования расхода пара продолжают нормально функционировать в течение 5-20 мин после остановки *ГД*.

Рассмотренные системы отбора мощности целесообразно применять на судах, совершающих длительные переходы с постоянной или мало изменяющейся скоростью. При этом экономится топливо, уменьшается среднегодовая наработка *ГД*, что увеличивает интервал времени между работами по ТО и ремонту основных генераторов. Все это приводит к снижению эксплуатационных расходов. Разрабатываемые в настоящее время системы глубокой утилизации теплоты позволяют в ходовом режиме полностью обеспечить потребности судна не только в электроэнергии, но и в теплоте.

Единой СЭЭС называется система, объединенная с СЭУ (рис. 1.3). Единые СЭЭС применяют на судах с электродвижением, на которых от шин *ГРЩ* питаются как гребные электродвигатели *М1* и *М2*, так и приемники электроэнергии *Ш-ПЗ*. К таким судам относятся плавучие краны, земснаряды и др., на которых значение мощности, потребляемой *ГЭУ* в ходовом режиме судна, соизмеримо с мощностью, потребляемой технологическим оборудованием во время стоянки. Единые СЭЭС применяют также на некоторых ледоколах, пассажирских и промышленных судах с *ВФШ*.

1.3. Структурные схемы СЭС

Структура СЭС должна обеспечивать параллельную и отдельную работу генераторов, прием питания с берега, защиту генераторов и линий электропередачи от токов КЗ, возможность снятия напряжения на отдельных секциях *ГРЩ* при ТО и ремонте, а также экономичную работу электростанции. Современные суда имеют разнообразные структурные схемы СЭС, которые можно свести к двум типам: с одной и двумя системами сборных шин.

На большинстве транспортных судов с мощностью электростанции до 3 МВт и напряжением 400 В применяют СЭС с одной системой сборных шин (рис. 1.4). Система состоит из секций/-V. Секции/, Я

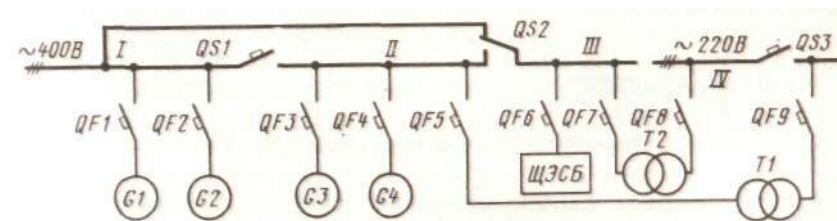


Рис. 1.4. Структурная схема СЭС с одной системой сборных шин

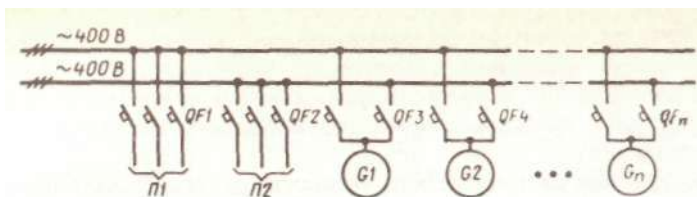


Рис. 1.5. Структурная схема СЭС с двумя системами сборных шин

служат для подключения генераторов $G1-G4$ и наиболее ответственных приемников. При помощи секционного автоматического выключателя можно осуществлять раздельную или параллельную работу генераторов в разных сочетаниях. Переключатель $QS2$ обеспечивает поочередное подключение к секции/ или Я распределительной секции III, от которой питаются приемники, работающие в основном на стоянке. Через автоматический выключатель $QF6$ возможно снабжение судна электроэнергией с берега. Приемники напряжением 220 В (электронагревательные приборы, освещение и др.) получают электроэнергию от секций IV и V. Если секционный выключатель $QS3$ включен, возможна параллельная или поочередная работа трансформаторов T1 и T2 на объединенные шины секций IV и V. Наличие секционных аппаратов $QS1-QS3$ позволяет снимать напряжение с любой секции при ТО.

На большинстве транспортных судов СЭС имеют 3 основных ГА, для каждого из которых выделяется отдельная секция шин в средней части ГРЩ, а крайние секции используются для приемников электроэнергии. Для коммутации секций применяют как АВ, так и разъединители. Последние представляют собой рубильники без дугогашения и не допускают размыкания шин под нагрузкой.

При мощности СЭС свыше 3 МВт и невозможности размещения на судне нескольких электростанций применяют СЭС с двумя системами сборных шин, электрически несвязанных между собой (рис. 1.5). Приемники электроэнергии равномерно распределены между обеими системами. Группа приемников III (например, научное оборудование) питается от верхней системы шин, а общесудовые приемники II - от нижней. Подобная система высоконадежна, маневренна в работе и удобна при ремонте. Однако двойной комплект АВ для каждого генератора увеличивает размеры ГРЩ и удорожает стоимость судовой электростанции.

1.4. Параметры СЭЭС

К основным параметрам СЭЭС относят род тока, частоту и напряжение.

Род тока оказывает значительное влияние на особенности и свойства СЭЭС. На современных судах применяют 3-фазный переменный ток и только в отдельных случаях для питания специальных приемников

используют постоянный ток. Это объясняется тем, что электрооборудование переменного тока лучше обеспечивает выполнение основных требований, предъявляемых к судовым электроустановкам.

Основными приемниками электроэнергии на судах являются электродвигатели, потребляющие до 80 % вырабатываемой электроэнергии. Асинхронные 3-фазные электродвигатели по сравнению с двигателями постоянного тока имеют меньшие массу (на 30-40 %), габаритные размеры (на 20-30 %) и стоимость (в 2-4 раза), более надежны, требуют меньших эксплуатационных расходов. Двигатели постоянного тока имеют хорошие регулировочные свойства, однако на большинстве судов 70-80 % механизмов не требуют плавного регулирования частоты вращения. В ЭП, где необходимо регулирование частоты вращения (грузовые лебедки, краны, якорно-швартовные устройства), применяют 2- и 3-скоростные АД с короткозамкнутым, режее - с фазным роторами. Внедрение на судах тиристорных преобразователей частоты позволит обеспечить плавное и экономичное регулирование частоты вращения ЭП переменного тока.

Распределительные устройства постоянного и переменного тока по массе, размерам и стоимости примерно одинаковы. Линии электропередачи переменного тока несколько больше по суммарной массе, объему и стоимости, чем постоянного тока, так как на переменном они выполняются в основном 3-жильными кабелями, а на постоянном - 2- и 1-жильными. Внедряемая на судах аппаратура автоматического управления электроприводами с бестоковой и бесконтактной коммутацией на базе полупроводниковых приборов проще, надежнее по сравнению с аппаратурой на постоянном токе и требует минимальных затрат на уход и обслуживание.

Частота переменного тока на большинстве судов составляет 50 Гц, а на некоторых судах иностранной постройки - 60 Гц. Переход на повышенную частоту позволяет снизить массу и размеры СЭЭС. Так, при частоте 400 Гц суммарная масса и размеры всех элементов СЭЭС вместе с приемниками электроэнергии в 2-3 раза меньше, чем при частоте 50 Гц. Поэтому СЭЭС повышенной частоты (400 Гц) используют на судах, где массогабаритные показатели являются решающими, - это суда на подводных крыльях и воздушной подушке.

Повышение частоты СЭЭС транспортных судов проблематично по ряду причин. Электрические машины, трансформаторы и электромагнитные аппараты при частоте 400 Гц по сравнению с частотой 50 Гц создают более высокий уровень шума и радиопомех, имеют большую стоимость и меньшую надежность. Опыт эксплуатации АД при частоте 400 Гц и с частотами вращения 6000 и 8000 об/мин показал, что упомянутые АД не могут быть использованы для большой группы судовых электроприводов с частыми пусками (грузовых лебедок, кранов и др.). Это объясняется увеличением времени разгона до номинальной частоты вращения и высокими температурными напряжениями в АД при разгоне.

Напряжение СЭЭС большинства транспортных судов составляет 380 В. Увеличение напряжения существенно уменьшает массу кабелей и кабельных трасс вследствие уменьшения площади поперечного сечения, так как с ростом напряжения уменьшается ток, передаваемый по кабелю. Вместе с тем с увеличением напряжения увеличиваются токи КЗ, растут масса и размеры РУ, повышается опасность поражения обслуживающего персонала электрическим током. Поэтому окончательному выбору значения напряжения должно предшествовать сравнение технико-экономических показателей нескольких вариантов СЭЭС с разными напряжениями.

В настоящее время разрабатывается коммутационно-защитная аппаратура с повышенной коммутационной способностью и устойчивостью к токам КЗ. Это в сочетании с токоограничивающими фидерными и секционными реакторами позволит увеличить напряжение до 6,3 кВ и мощность СЭЭС до 36 МВт.

Правила Регистра СССР устанавливают следующие значения напряжений переменного и постоянного тока:

для источников электроэнергии - 400 и 230 В при частоте 50 Гц, 460 и 270 В при частоте 60 Гц, 230 В на постоянном токе;

для приемников электроэнергии - 380, 220, 42, 24 и 12 В при частоте 50 Гц, 250 В при частоте 60 Гц, 220, 24 и 12 В на постоянном токе.

Уровень применяемого напряжения зависит от назначения приемника электроэнергии. Для силовых приемников, цепей управления, нагревательных и отопительных приборов служебных помещений используют напряжение 380 В. Напряжение 220 В переменного и постоянного тока применяют для отопительных приборов в каютах, освещения, сигнализации, розеток в сухих помещениях. Переносные инструменты и ручные пульты управления выполняют на напряжение 42 В переменного и 24 В постоянного тока. В помещениях с повышенной влажностью применяют переносные светильники напряжением 24 В, а в особо сырых - напряжением 12 В переменного и постоянного тока. В специальных электрических установках (гребные и др.) Правила Регистра СССР допускают применение напряжения до 11 кВ переменного и до 1,2 кВ постоянного тока.

1.5. Приемники электроэнергии

Приемник электроэнергии - это устройство, предназначенное для преобразования электроэнергии в другой вид энергии. Приемники электроэнергии обеспечивают безопасность плавания, безаварийную работу энергетической установки, сохранность грузов и нормальные бытовые условия экипажа. На многих судах - лихтеровозах, ледоколах, паромах, земснарядах, плавкранах - электроэнергия применяется для привода гребных винтов и специальных технологических механизмов.

Судовые приемники электроэнергии принято классифицировать по назначению, степени важности и режиму работы.

По назначению приемники электроэнергии делят на следующие группы:

средства навигации и связи - гирокомпас, лаг, эхолот, радиолокаторы, радиопеленгаторы, радиостанция;

механизмы судовых систем и устройств - насосы, вентиляторы, компрессоры;

палубные механизмы - грузовые лебедки и краны, рулевое устройство, брашпили, шпилы, автоматические швартовные лебедки;

бытовые механизмы и приборы - климатическая установка, оборудование камбуза, прачечной;

электрическое освещение.

По степени важности приемники электроэнергии подразделяют на 3 группы:

особо ответственные приемники, перерыв в питании которых может привести к аварии судна и гибели людей. К ним относятся радио- и навигационное оборудование в соответствии с Правилами по конвенционному оборудованию морских судов, рулевое устройство, пожарный насос, аварийное освещение и др. На грузовых судах валовой вместимостью 300 рег. т и более, а также на некоторых других судах приемники этой группы питаются практически бесперебойно от основной, а при ее обесточивании - от аварийной электростанции;

ответственные приемники, обеспечивающие работу СЭУ, управление судном и сохранность груза. В эту группу входит основная часть судовых приемников электроэнергии - насосы, вентиляторы, компрессоры, якорные и швартовные механизмы, грузовые устройства, средства внутрисудовой связи и сигнализации и др. Эти приемники получают питание во всех режимах работы основной СЭС;

малоответственные приемники, допускающие перерыв питания в аварийных ситуациях или при перегрузке СЭС, - бытовая вентиляция, камбузное оборудование и др.

По режиму работы различают приемники электроэнергии с продолжительным *S1*, кратковременным *S2*, повторно-кратковременными *S3-S5* и перемежающимися *S6-S8* режимами. В *продолжительном* режиме работают ЭП насосов постоянной подачи, вентиляторов, компрессоров, воздуходувок и др.; в *кратковременном* - ЭП шпилей, брашпилей, шлюпочных и траповых лебедок; в *повторно-кратковременных* - грузовые лебедки и краны; в *перемежающихся* - технологическое оборудование судов технического флота.

Основную долю производимой электроэнергии на судах потребляют ЭД. Для ЭП постоянного тока, работающих в продолжительном режиме, применяют электродвигатели общесудового исполнения серий П и 2П в диапазонах мощностей 0,1 — 200 кВт и частот вращения 750—3000 об/мин для серии П и 750-4000 об/мин для серии 2П. Для ЭП переменного тока используют асинхронные электродвигатели серии 4А в диапазонах мощностей 0,1 - 315 кВт с пятью уровнями синхронных частот вращения (600, 750, 1000, 1500 и 4000 об/мин). Для приемников кратковременного и повторно-кратковременного режимов с

большой частотой включений, тяжелыми условиями пуска и частыми реверсами на постоянном токе применяют электродвигатели серии ДПМ мощностью до 100 кВт, серии Д800 мощностью 120-350 кВт и серии ДП мощностью 136–540 кВт, а на переменном токе — асинхронные электродвигатели серии МАП в диапазоне мощностей 1–100 кВт.

Электродвигатели серии 2П могут питаться от тиристорных преобразователей постоянного тока, серии МАП в специальном исполнении — от тиристорных преобразователей частоты с регулируемой частотой в пределах 5–80 Гц для 1-скоростных и 5–20 Гц для обмоток малой скорости 2- и 3-скоростных ЭД.

Электродвигатели серии ВМАП являются взрывозащищенной модификацией электродвигателей серии МАП, устанавливаются в судовых помещениях, где возможно образование взрывоопасных смесей газов и паров, и выдерживают до 20 внутренних взрывов без утраты работоспособности.

Эксплуатационные качества приемников электроэнергии оказывают существенное влияние на режим работы СЭС. Прямой пуск АД при недостаточной суммарной мощности включенных генераторов приводит к понижению частоты тока и провалам напряжения, что может повлечь выпадение генератора из синхронизма, остановку ПД генератора, а также отключение работающих машин и механизмов. Асинхронные электродвигатели, работающие с недогрузкой, перегружают сеть и генераторы реактивными токами, не позволяя использовать полностью мощность генераторов.

Для ограничения пусковых токов АД применяют пуск переключением со "звезды" на "треугольник", а также автотрансформаторный, реакторный и другие способы пуска. Эффективным способом компенсации реактивной мощности является применение конденсаторных батарей с автоматическим регулированием емкости, подключаемых к шинам СЭС.

Условия работы приемников электроэнергии и электрооборудования в целом значительно сложнее, чем у промышленного оборудования. Судовое оборудование должно безотказно работать в условиях относительной влажности воздуха 75-95 % при температурах в диапазоне 25-45 °С, длительном крене судна до 15° и дифференте до 5°, а также при бортовой качке до 22,5°, вибрации с частотой 5-30 Гц и ударах с ускорением % при частоте 40-80 ударов/мин. Выполнение этих требований обеспечивается в основном конструктивными особенностями СЭО, позволяющими учесть район плавания, место размещения оборудования на судне и т. д.

В зависимости от района плавания принята такая классификация СЭО: оборудование судов ограниченного района плавания с умеренно холодным климатом (обозначаемая буквой М); оборудование судов неограниченного района плавания (ОМ).

В зависимости от места размещения на судне оборудование делится на 5 групп, которые обозначаются цифрами: 1 - на открытой палубе; 2 - под навесом или в закрытых выгородках на палубе; 3 - в вентилируемых помещениях (например, в МО); 4 - в отопляемых жилых и общественных помещениях; 5 - в помещениях с повышенной влажностью (трюмы, прачечные, камбуз).

Пример. Обозначение ОМЗ расшифровывают так: оборудование, установленное в вентилируемом помещении судна неограниченного района плавания.

Корпуса СЭО должны обеспечивать защиту обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями, а также защиту электрооборудования от попадания посторонних твердых тел и воды. Условное обозначение степеней защиты состоит из букв IP и двух цифр. Первая цифра обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями и защиты электрооборудования от попадания внутрь посторонних тел. Таких степеней защиты 7 (обозначаются цифрами от 0 до 6): с увеличением числа степеней защиты возрастает. Например, степени 0 соответствует отсутствие защиты, степень 6 означает полную защиту от соприкосновения с токоведущими частями и от попадания пыли. Вторая цифра обозначает степень защиты от проникновения воды внутрь корпуса электрооборудования, таких степеней 9: 0 - защита отсутствует; 1 - защита от капель, падающих вертикально; 2 - то же, от капель, падающих на корпус, наклоненный на угол не более 15° к вертикали; 3 - то же, от дождя, падающего под углом не более 60° к вертикали; 4 - то же, от брызг, падающих на корпус в любом направлении; 5 - то же, от водяной струи, выбрасываемой в любом направлении; 6 - то же, при захлестывании морской водой на палубе судна; 7 - защита при погружении в воду в течение времени и при давлении, указанных в технических условиях; 8 - то же, при неограниченном промежутке времени. Например, электрооборудование исполнения IP00 устанавливают в сухих помещениях (помещение ГРЩ, агрегатные), исполнения IP44 - в помещениях с повышенной влажностью (камбуз, провизионные кладовые), исполнения IP56 - на открытых палубах, IP58 - в затопляемых помещениях.

Контрольные вопросы-задания

1. Каковы назначение и состав СЭЭС?
2. Перечислите источники электроэнергии, применяемые на судах.
3. Каким образом классифицируются электрораспределительные щиты?
4. По каким признакам классифицируются СЭЭС?
5. В чем состоит различие автономных, с отбором мощности от СЭУ и единых с СЭУ электроэнергетических систем?
6. Каковы возможные режимы работы СЭС с одной системой сборных шин?
7. Каковы достоинства и недостатки СЭО постоянного и переменного тока?
8. Почему СЭС с повышенной частотой тока нашли ограниченное применение?
9. По каким признакам классифицируются судовые приемники электроэнергии?
10. Каким образом эксплуатационные качества приемников электроэнергии влияют на режим работы СЭС? Приведите примеры.
11. Перечислите требования к СЭО.

2.1. Приводные двигатели генераторов и автоматические регуляторы частоты вращения

На судах в качестве источников электроэнергии применяют ГА и АБ (последние рассмотрены в гл. 8). Генераторные агрегаты состоят из генераторов и приводных двигателей. На современных судах применяют 3 типа ГА, получившие название в соответствии с типом ПД: дизель-генераторы, турбогенераторы и газотурбогенераторы. Выбор типа ГА определяется типом энергетической установки, обеспечивающей ход судна. Такой подход позволяет получить оптимальные технико-экономические показатели обоих комплексов - энергетической и электроэнергетической установок.

На парходах, где энергетической установкой является комплекс котел - паровая турбина, применяют ТГ и ДГ. Турбогенераторы получают пар в ходовом режиме от главных котлов, а на стоянке - от вспомогательного или дежурного главного с пониженными паропроизводительностью и давлением. Дизель-генераторы могут быть использованы как в ходовом режиме, работая параллельно с ТГ, так и на стоянке, при остановленных ТГ.

На теплоходах, где СЭУ представляет комплекс с двигателем внутреннего сгорания, применяют ДГ. При мощности ГД свыше 11—15 МВт целесообразно применение УТГ, который использует теплоту отработавших газов ГД.

Приводные двигатели. На судах в качестве приводных двигателей СГ и ППГ применяют дизели, а также паровые и газовые турбины.

Дизель - поршневой двигатель внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия. Пуск двигателя проводится сжатым воздухом или при помощи электростартера, получающего питание от АБ. Тем самым обеспечивается автономность работы и быстрота пуска (до 30 с), что позволяет широко использовать ДГ в качестве основных, резервных и аварийных источников электроэнергии. Дизели более экономичны по сравнению с турбинами, достаточно надежны и просты в эксплуатации. Ресурс судовых дизелей относительно высок и составляет 30-40 тыс. ч.

К недостаткам дизелей следует отнести их малую перегрузочную способность (не более 10 % номинальной мощности в течение 1 ч) и неравномерность хода, отрицательно влияющую на устойчивость параллельной работы ДГ. Для уменьшения неравномерности число цилиндров дизеля должно быть четным, кроме того, часто на его валу устанавливают маховик. Для соединения генераторов и дизелей применяют эластичные и жесткие муфты. Генераторы некоторых типов прикрепляют к дизелю фланцем, поэтому они имеют один подшипник.

Турбина - двигатель с вращательным движением рабочего органа - ротора, преобразующий в механическую работу кинетическую энергию пара, газа или воды.

Паровые турбины перед пуском должны быть прогреты, причем время прогрева достигает 1 ч. Они менее экономичны, чем дизели, вследствие 2-кратного преобразования энергии, однако имеют повышенную перегрузочную способность (до 20 % номинальной мощности), значительно надежней дизелей и имеют больший ресурс (до 50 тыс. ч). Равномерность вращения ротора обеспечивает устойчивость параллельной работы ТГ. Поскольку паровые турбины имеют частоты вращения до 14 тыс. об/мин, а генераторы - 1000, 1500 и 3000 об/мин, между турбиной и генератором устанавливают редуктор.

Газовые турбины соединяют в себе достоинства дизеля и паровой турбины. Они автономны в работе, так как конструктивно выполнены вместе с камерой сгорания и компрессором, не требуют прогрева перед пуском, время пуска составляет 30-50 с. Эти турбины имеют небольшие размеры и массу, относительно большой ресурс (до 20 тыс. ч), надежны. К их недостаткам относят большой удельный расход топлива и повышенную шумность.

Автоматические регуляторы частоты вращения приводных двигателей. Основное требование к ПД генераторных агрегатов любого типа - сохранение частоты вращения вала ПД, что необходимо для стабилизации частоты тока генераторов. Поэтому ГА снабжают АРЧ, для которых регулирующим воздействием является изменение подачи топлива (пара), а регулирующим органом - топливная рейка у дизелей и паровпускной клапан у турбин.

В зависимости от наклона регуляторной характеристики АРЧ подразделяют на астатические (И-регуляторы), статические (П-регуляторы), универсально-статические (ПИ-регуляторы).

Основной характеристикой приводных двигателей ГА является регуляторная, представляющая собой зависимость частоты вращения n приводного двигателя от мощности P генератора при фиксированном положении регулирующего органа (рис. 2.1). Наклон регуляторной характеристики, или статизм (%),

$$\delta = [(n_{х.х} - n_{ном}) / n_{ном}] 100,$$

где $n_{х.х}$ и $n_{ном}$ - частоты вращения соответственно холостого хода и номинальная, об/мин.

Для астатической характеристики $b = 0$, т. е. частота вращения приводного двигателя ГА не зависит от нагрузки генератора (см. рис. 2.1, характеристика 2). Иначе говоря, определенному значению

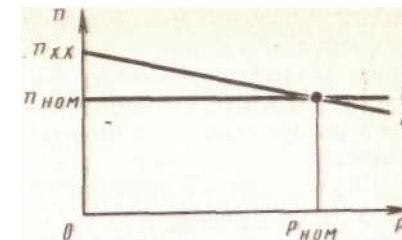


Рис 2.1. Астатическая (1) и статическая (2) регуляторные характеристики приводных двигателей генераторных агрегатов

частоты вращения ПД соответствует множество значений мощности генератора. Это не позволяет обеспечить пропорциональное распределение активных нагрузок параллельно работающих генераторов. Поэтому АРЧ, обеспечивающие работу приводных двигателей ГА по астатическим характеристикам, применяют при одиночной работе ГА и называют *астатическими*.

Для статической характеристики $b > 0$, т. е. частота вращения ПД уменьшается с увеличением нагрузки генератора (см. рис. 2.1, характеристика 2). Такие характеристики имеют статические АРЧ, применяемые при параллельной работе генераторов.

Регуляторы, обеспечивающие работу ПД по астатической и статической характеристикам, называют *универсально-статическими*.

Для равномерного распределения активных нагрузок при параллельной работе СГ необходимо иметь возможность изменять наклон регуляторных характеристик и перемещать их параллельно самим себе. Наклон характеристики устанавливается в процессе настройки АРЧ. Параллельное перемещение характеристики обеспечивается установкой регулирующего органа в новое фиксированное положение. Если этому положению соответствует увеличение подачи топлива (пара), регуляторная характеристика перемещается вверх, если уменьшение - вниз. Изменяют положение регулирующего органа с помощью серводвигателя - электрического двигателя постоянного или переменного тока небольшой мощности. Управление серводвигателем осуществляется вручную (оператором) или автоматически. Для обеспечения устойчивой параллельной работы генераторов и равномерного распределения активной нагрузки статизм регуляторных характеристик дизелей должен быть не менее 3 %.

Регуляторы, имеющие гибкую обратную связь по частоте вращения, совмещают свойства статического и астатического регуляторов, однако не могут применяться при параллельной работе ДГ. В этом случае используют регуляторы, которые имеют жесткую обратную связь с регулируемой степенью статизма. Такие регуляторы являются универсальными.

В зависимости от изменяемых величин различают АРЧ 1- и 2-импульсные. Одноимпульсные АРЧ изменяют подачу топлива при изменении частоты и потому снабжаются центробежными (частоты вращения вала) или электрическими (частоты тока) датчиками. Двухимпульсные АРЧ дополнительно снабжены датчиком активного тока, поэтому у них подача топлива зависит от частоты и активной нагрузки.

В зависимости от наличия усиления различают АРЧ прямого и непрямого действия. В АРЧ *прямого действия* датчик частоты вращения воздействует на регулирующий орган непосредственно, а в АРЧ *непрямого действия* - через усилитель (сервомотор).

Автоматические регуляторы частоты приводных двигателей ГА должны удовлетворять следующим требованиям:

при набросе (сбросе) 100 %-ной нагрузки изменение частоты вращения ПД не должно превышать ± 10 % номинального значения, а устано-

вившаяся частота вращения не должна отличаться более чем на ± 5 % номинальной (это требование одинаково для турбин и дизелей, за тем исключением, что у дизелей наброс нагрузки проводится в 2 ступени, по 50 % каждая);

колебания частоты вращения (размах) ДГ при нагрузках 25-100 % номинальной должны находиться в пределах ± 1 % номинальной;

должна обеспечиваться возможность местного и дистанционного изменения частоты вращения в пределах ± 10 % номинальной.

2.2. Генераторы переменного тока

На судах в качестве генераторов переменного тока применяют 3-фазные СГ. Некоторые эксплуатационные свойства СГ можно оценить при помощи соответствующих характеристик.

Характеристики СГ. Основными характеристиками СГ принято считать внешние и регулировочные.

Внешняя характеристика - это зависимость напряжения на выводах обмотки статора генератора от тока нагрузки при номинальной частоте вращения и постоянных значениях тока возбуждения и коэффициента мощности, т.е. $U(I)$ при $n = n_{ном} = const, I_b = const, \cos \phi = const$ (рис. 2.2, а).

Наклон внешней характеристики, или статизм (%), определяется изменением напряжения при переходе от режима холостого хода к номинальному:

$$\Delta U = [(U_{х.х} - U_{ном}) / U_{ном}] 100,$$

где $U_{х.х}$ и $U_{ном}$ - напряжения соответственно холостого хода и номинального.

При активной нагрузке (см. рис. 2.2, а, кривая 1) увеличение тока нагрузки от $I = 0$ до $I = I_{ном}$ приводит к уменьшению напряжения, что объясняется увеличением падения напряжения в обмотке статора и усилением размагничивающего действия реакции якоря по поперечной оси. При активно-индуктивной нагрузке (см. рис. 2.2, а, кривая 2)

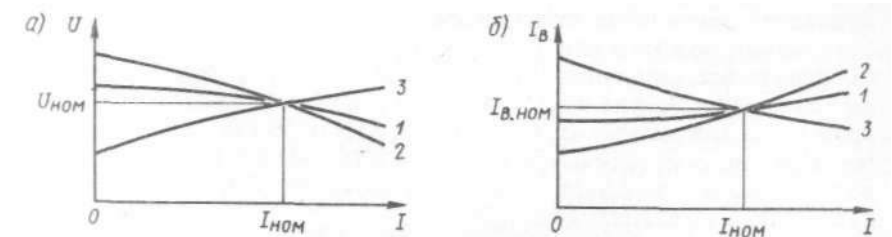


Рис. 2.2. Внешние (а) и регулировочные (б) характеристики СГ при различных нагрузках: 1 - активной; 2 - активно-индуктивной; 3 - активно-емкостной

уменьшение напряжения при набросе нагрузки наблюдается в большей степени, так как с увеличением тока усиливается размагничивающее действие реакции якоря по продольной оси. В случае активно-емкостной нагрузки (см. рис. 2.2, о, кривая 3) увеличение тока вызывает увеличение напряжения вследствие усиления подмагничивающего действия продольной составляющей реакции якоря.

Из сравнения проведенных внешних характеристик следует, что напряжение СГ зависит не только от значения, но и от характера тока нагрузки. Изменение напряжения U при переходе от режима холостого хода к номинальному положительно при активной и индуктивной нагрузках и отрицательно при емкостной.

Для равномерного распределения реактивной нагрузки при параллельной работе СГ необходимо иметь возможность изменять наклон характеристик и перемещать их параллельно самим себе. Наклон внешней характеристики устанавливается в процессе настройки АРН и при работе не изменяется. Параллельное перемещение характеристики обеспечивается установлением нового фиксированного значения тока возбуждения j_b при помощи реостата возбуждения при ручном регулировании или автоматического регулятора напряжения. При увеличении тока возбуждения внешняя характеристика перемещается вверх, при уменьшении - вниз.

Регулировочная характеристика - это зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при номинальной частоте вращения и постоянных значениях напряжения на выводах генератора и коэффициента мощности, т. е. $i_b(i)$ при $U = U_{ном} = const$, $\omega = \omega_{ном} = const$, $\cos \phi = const$ (рис. 2.2, б). Эти характеристики представляют собой как бы зеркальное отображение внешних характеристик.

При активной нагрузке увеличение тока нагрузки вызывает уменьшение напряжения генератора (см. рис. 2.2, а, кривая 1), поэтому для поддержания этого напряжения ток i_b возбуждения надо увеличить (см. рис. 2.2, б, кривая 1). При активно-индуктивной нагрузке напряжение уменьшается в большей степени, чем при активной, поэтому для сохранения равенства $U = C/i_{ном} = const$ ток возбуждения приходится увеличивать также в большей степени (см. рис. 2.2, б, кривая 2). При активно-емкостной нагрузке ток возбуждения необходимо уменьшать (см. рис. 2.2, б, кривая 3), так как увеличение тока нагрузки приводит к увеличению напряжения.

Системы возбуждения СГ. На судах для стабилизации напряжения СГ применяют различные системы возбуждения и автоматического регулирования напряжения, в которых изменение тока возбуждения происходит автоматически. Сведения об АРН подробно изложены ниже (гл. 4), поэтому ограничимся рассмотрением систем возбуждения СГ, которые бывают трех видов: с независимым возбуждением, с самовозбуждением и смешанная (рис. 2.3).

При независимом возбуждении (рис. 2.3, а) в качестве источника возбуждения используется возбудитель B - генератор небольшой мощности с параллельной обмоткой возбуждения $ОВВ$,

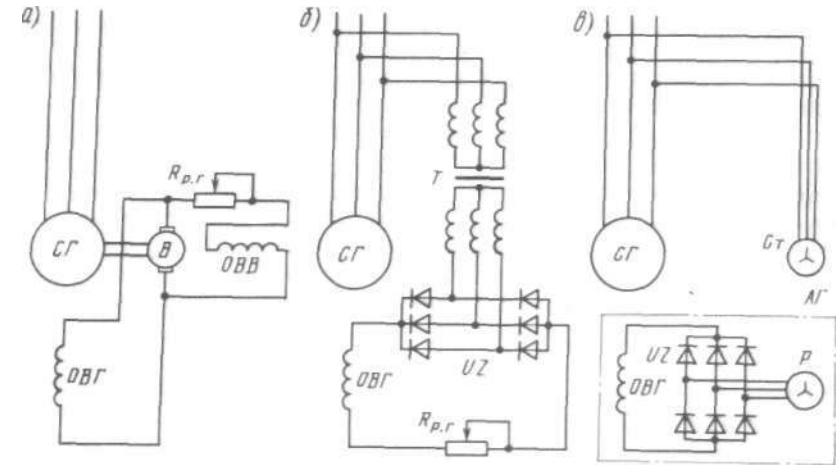


Рис. 2.3. Принципиальные схемы систем возбуждения СГ: а - независимой; б - с самовозбуждением; в - смешанной

расположенный чаще всего на одном валу с синхронным генератором СГ. Регулятор возбуждения R_{pr} предназначен для регулирования напряжения вручную. Применение в качестве возбудителя добавочной электрической машины постоянного тока усложняет конструкцию и снижает надежность СГ.

Создание мощных и надежных полупроводниковых вентилей обеспечило переход на самовозбуждение СГ, при котором мощность для цепи возбуждения отбирается от 3-фазной обмотки статора СГ и подается в обмотку возбуждения $ОВГ$ через трансформатор T и выпрямитель UZ (рис. 2.3, б).

В обоих рассмотренных случаях на валу СГ находятся 2 контактных кольца с установленными на них щетками, что усложняет конструкцию и снижает надежность генераторов. Для облегчения работы щеточного аппарата напряжение возбуждения уменьшают до нескольких десятков вольт (например, при помощи трансформатора), но одновременно увеличивают ток возбуждения. Это позволяет сохранить мощность цепи возбуждения в необходимых пределах (5-10 % номинальной мощности СГ).

Указанных недостатков лишены бесщеточные СГ, имеющие смешанное возбуждение (рис. 2.3, в). В общем корпусе БСГ находятся синхронный генератор СГ и его возбудитель - асинхронный генератор АГ. При вращении ротора БСГ возникающая на зажимах СГ 3-фазная ЭДС передается на обмотку статора СГ асинхронного генератора, в которой образуется вращающееся магнитное поле. Это поле наводит в обмотке ротора P асинхронного генератора 3-фазную ЭДС, которая выпрямляется полупроводниковым выпрямителем UZ (закреплен на валу БСГ). Выпрямленное напряжение поступает на обмот-

ку возбуждения *ОВГ* синхронного генератора. Вращающаяся часть системы обведена штрихпунктирной линией.

Таким образом, система возбуждения БСГ сочетает характерные признаки систем с независимым возбуждением (имеется возбудитель в виде *АГ*) и самовозбуждением (мощность для возбуждения *АГ* отбирается от обмотки статора *СГ*).

Основные типы судовых СГ. На судах отечественной постройки применяют СГ следующих серий: МСК - морской синхронный с кремнийорганической изоляцией, МСС - морской синхронный с самовозбуждением, ГМС - генератор морской синхронный, ГСС - генератор синхронный с самовозбуждением, СБГ - судовой бесщеточный генератор и др.

Судовые СГ выполняют на напряжения 400 и 230 В, с соединением обмоток статора соответственно по схемам "звезда" и "треугольник", в диапазоне мощностей 30-2000 кВт при номинальном коэффициенте мощности $\cos \phi_{ном} = 0,8$. Серии построены по принципу нарастания мощности при среднем коэффициенте нарастания 1,25-1,5, что облегчает выбор числа и мощности ГА и обеспечивает экономичную работу СЭС во всех режимах работы судна. Частоты вращения генераторов составляют 500, 750, 1000, 1500 и 3000 об/мин. В качестве ПД применяют дизели (при частоте вращения генератора 750 - 1500 об/мин) или турбины (при 1000, 1500 и 3000 об/мин).

Судовые СГ выпускают в горизонтальном исполнении на лапах, с одним свободным концом вала для соединения с турбиной через редуктор или при помощи муфты - с дизелем. Возможно фланцевое исполнение СГ. Самовентиляция осуществляется по замкнутому и разомкнутому циклам. Изоляция обмоток генераторов классов В, F и Н. Режим работы СГ всех типов продолжительный. >

В зависимости от типа и мощности СГ при номинальных напряжениях, частоте и рабочей температуре выдерживают перегрузку по току 10 % номинального в течение 60-120 мин, 25 % в течение 10-30 мин, 50 % в течение 1-5 мин. Без механических и тепловых повреждений генераторы выдерживают 3-фазное КЗ в течение 5-10 с, при этом ударный ток КЗ не превосходит 14-17-кратного значения амплитуды номинального тока, а установившийся ток КЗ составляет не менее 3-4-кратного значения номинального тока.

2.3. Генераторы постоянного тока

В судовых электроустановках ППГ применяют для снабжения электроэнергией приемников силовых и осветительных сетей, а также для заряда АБ.

Системы возбуждения и характеристики ППГ. Для возбуждения генераторов постоянного тока применяют независимую, параллельную и смешанную системы возбуждения (рис. 2.4). При независимой системе (рис. 2.4, а) обмотка возбуждения электрически не связана с

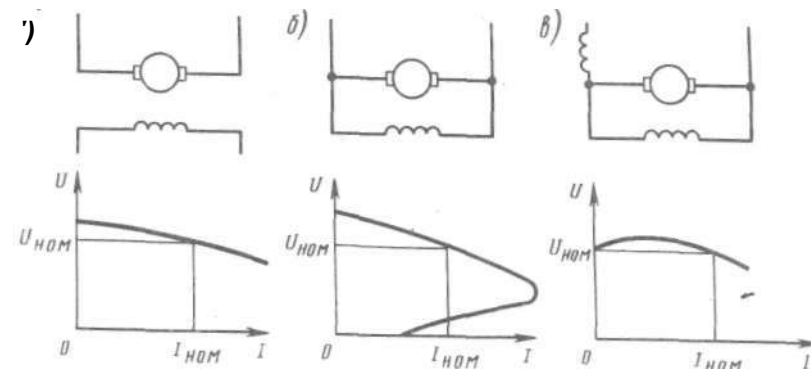


Рис. 2.4. Схемы подключения и внешние характеристики генераторов постоянного тока различными системами возбуждения: а — независимой; б — параллельной; в — смешанной

обмоткой якоря, поэтому получает питание от постороннего источника, чаще всего другого ППГ небольшой мощности. Обмотка (обмотки) возбуждения генераторов с параллельной (рис. 2.4, б) или смешанной (рис. 2.4, в) системами возбуждения электрически соединена с обмоткой якоря, которая по отношению к обмотке (обмоткам) возбуждения является источником питания.

Система возбуждения ППГ определяет характер изменения напряжения в зависимости от тока нагрузки и выбирается в соответствии с назначением генератора.

Внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения менее жесткая, чем генератора независимого возбуждения. Это объясняется тем, что у генератора с параллельным возбуждением, помимо причин, вызывающих уменьшение напряжения в генераторе независимого возбуждения (реакция якоря и падение напряжения в цепи якоря), действует еще и третья - уменьшение тока возбуждения, вызванное снижением напряжения от действия первых двух причин.

В судовых условиях генераторы независимого возбуждения применяют в СУ электроприводами системы генератор - двигатель (Г-Д), а параллельного возбуждения - в качестве возбудителей генераторов независимого возбуждения и для заряда АБ, так как при обратном токе они не перемагничиваются.

Генераторы смешанного возбуждения имеют на главных полюсах 2 обмотки возбуждения - параллельную и последовательную, магнитодвижущие силы которых складываются. В режиме холостого хода генератор имеет только параллельное возбуждение, так как ток нагрузки $I = 0$. С увеличением тока нагрузки напряжение генератора практически не изменяется, что объясняется подмагничивающим действием последовательной обмотки возбуждения. Поэтому генера-

торы смешанного возбуждения не нуждаются в АРН. Эти генераторы применяются на судах в качестве основных генераторов СЭС.

Основные типы судовых ППГ. Судовые генераторы постоянного тока серии ПМ (постоянного тока морского исполнения) с номинальным напряжением 115 и 230 В, мощностью 1,25-200 кВт применяют для питания приемников силовых и осветительных сетей. Для заряда аккумуляторных батарей применяют генераторы с напряжением, изменяющимся от 26 до 46 В серии ПМ (мощность 0,3-5,6 кВт) и серии КГ (2,75-5,6 кВт). На судах устанавливают также генераторы серий ППМ, ПГ, ПГК, ПД и др. мощностью до тысяч киловатт и напряжением до 1200 В, разработанные по специальным заказам.

Изоляция обмоток ППГ выполняется влаго-, водо- и маслостойкой. Обмотки якоря имеют изоляцию классов А, В, Н, а параллельная и последовательная обмотки возбуждения, а также обмотки добавочных полюсов - А, В, Н и F. Режим работы генераторов всех типов продолжительный.

Генераторы изготовляют горизонтального и вертикального исполнения с одним или двумя концами валов. В основном все генераторы имеют самовентиляцию по разомкнутому циклу посредством насаженного на вал вентилятора и лишь некоторые из них - с самовентиляцией по замкнутому циклу и с принудительной вентиляцией по разомкнутому циклу.

В настоящее время промышленность освоила выпуск машин постоянного тока серии 2П с улучшенными технико-экономическими характеристиками. Морские модификации машин этой серии поступают на суда и имеют независимое, параллельное и смешанное возбуждение. Генераторы обеспечивают регулирование напряжения от номинального до нуля при независимом возбуждении, до $0,5 U_{ном}$ при параллельном и до $0,8 U_{ном}$ при смешанном возбуждении. При независимом возбуждении напряжение ПО и 220 В подается на обмотку возбуждения независимо от напряжения цепи якоря (110, 230 и 460 В).

Судовые генераторы с параллельным возбуждением должны иметь АРН с погрешностью $\pm 2,5 \%$ номинального. У генераторов смешанного возбуждения при изменении нагрузки от 20 до 100 % номинальное изменение напряжения не должно превышать $\pm 5 \%$ номинального. Генераторы постоянного тока с установившейся температурой нагрева должны выдерживать перегрузку по току 50 % номинального в течение 15 с.

2.4. Перспективные источники электроэнергии

Задача повышения эффективности использования топливных ресурсов является одной из важнейших в современной энергетике. Существующие энергетические и электроэнергетические установки работают с низкими значениями КПД. Так, если КПД судовых СГ достигает 86-94 %, то КПД приводных двигателей - турбин (вместе с

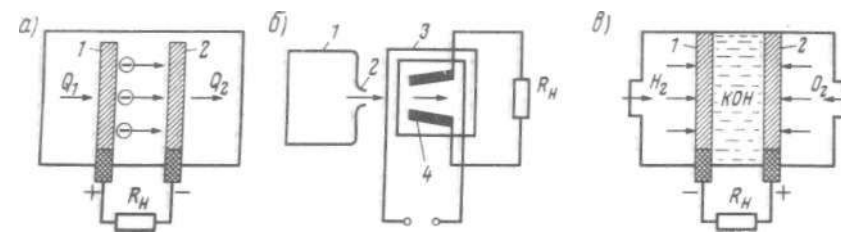


Рис. 2.5. Схемы термоэмиссионного (а), магнитогазодинамического (б) и электрохимического (в) генераторов

паровыми котлами) и дизелей - составляет соответственно 20 и 35 %. Наличие вращающихся частей усложняет конструкцию и снижает надежность ГА.

В настоящее время разрабатываются перспективные источники электроэнергии с прямым преобразованием энергии топлива и других ее видов в электрическую энергию. К ним относятся термоэлектрические, термоэмиссионные, магнитогазо- и магнитогазодинамические генераторы (МГД-генераторы), топливные элементы и др.

Термоэлектрический генератор (ТЭГ) - это устройство для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Принцип действия ТЭГ основан на возникновении термоЭДС при нагреве места спая двух разнородных материалов. Значение термоЭДС зависит от температуры нагрева, физических свойств материалов и др. Созданные ТЭГ используют тепловую энергию отработавшего пара или отработавших газов энергетических установок или тепловую энергию радиоизотопных источников и ядерных реакторов. Они имеют мощность не более десятков киловатт и КПД не более 10 %. В перспективе возможно создание мощных ТЭГ в составе ядерной энергетической установки, имеющих более высокий КПД.

Примером простейшего термоэмиссионного генератора (ТЭМГ) является 2-электродный вакуумный или газонаполненный прибор. Принцип действия ТЭМГ основан на использовании явления термоэлектронной эмиссии (рис. 2.5, а). При подводе теплоты Q_1 к катоду 1 электроны покидают его поверхность и направляются к более холодному аноду 2, нагревая его. При этом катод заряжается положительно, а анод - отрицательно. При включении между электродами приемника электроэнергии R_H через него потечет ток. Для повышения КПД в зазор между электродами, составляющий десятые доли миллиметра, вводят разреженный ионизированный газ или ионизированные пары щелочных металлов. Для нагрева катода возможно применение тепловой энергии, выделяемой ядерными реакторами. Теплоту Q_2 излучаемую нагретым анодом, можно использовать для нагрева горячих спаев ТЭГ. Такие комбинированные установки ТЭМГ - ТЭГ позволяют получить КПД, соизмеримый с КПД существующих электроэнергетических установок.

Принцип действия магнитогазо- и магнитогидродинамического генераторов такой же, что и обычных электромашинных генераторов. Он основан на использовании явления электромагнитной индукции.

Наиболее перспективны магнитогазодинамические генераторы (рис. 2.5, б). Образующийся при сгорании топлива ионизированный газ из камеры сгорания 1 через сопло 2 поступает во внутреннюю полость электромагнита 3, в которой движется поперек магнитных силовых линий поля. В соответствии с явлением электромагнитной индукции в газе наводится ЭДС, которая посредством двух электродов 4 подается к приемнику электроэнергии D_n . В магнитогидродинамических генераторах вместо ионизированного газа используется поток жидкого металла температуры порядка 2000К.

Разработаны комбинированные электроэнергетические установки, в которых теплота отработавших газов магнитогазодинамических генераторов используется для работы паротурбогенераторной установки. Мощность таких установок составляет сотни мегаватт с общим КПД электростанции 40-50 %.

Электрохимические генераторы (ЭХГ) или топливные элементы преобразуют химическую энергию в электрическую. В отличие от аккумуляторов, у которых количество электроэнергии определяется активной массой пластин и предшествующим зарядом, ЭХГ производят электрическую энергию до тех пор, пока к ним подводится топливо и окислитель.

В водородно-кислородном ЭХГ (рис. 2.5, в) используются 2 платиновых газодиффузионных электрода 1 и 2, погруженных в электролит с ионной проводимостью (например, КОН). Через электрод / пропускают топливо (водород), через электрод 2 - окислитель (кислород). В результате электрохимических реакций электрод 1 заряжается отрицательно, а электрод 2 - положительно. При подключении нагрузки D_n по цепи будет протекать ток. ЭХГ имеют высокую стоимость, так как в них применяются дорогостоящие виды топлива (водород, гидразин и др.), а также катализаторы реакций на основе платины, серебра и никеля.

Практически применение в СЭС источников электроэнергии с прямым преобразованием тепловой или химической энергии в электрическую зависит от решения ряда задач, связанных с созданием высокотемпературных источников тепловой энергии, термостойких проводящих, изоляционных, конструкционных и других материалов.

2.5. Техническая эксплуатация источников электроэнергии

Техническая эксплуатация включает в себя техническое использование, ТО и ремонт.

Техническое использование. Оно заключается в применении ГА по прямому назначению, включая работы, связанные с проверкой, пуском

(включением), остановкой (выключением), наблюдением за работой, контролем и учетом технического состояния. Техническое использование должно проводиться в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей, ППЭ СТС и отдельными инструкциями по эксплуатации, утвержденными Минморфлотом.

Для каждого судна должно быть определено и строго соблюдаться оптимальное число ГА в каждом режиме работы судна, обеспечивающее безопасность плавания при минимальных затратах на производство электроэнергии. Продолжительность параллельной работы ДГ с нагрузками, не превышающими 45-50 % номинальной мощности, должна быть сведена к минимуму.

При плавании в сложных условиях (проход узкостей и др.) должны быть заблаговременно подготовлены и при необходимости введены в действие резервные ГА в зависимости от конкретных условий плавания, комплектации СЭС, технического состояния ГА и ожидаемых изменений нагрузки. Необходимое количество используемых ГА определяется старшим механиком с учетом перечисленных условий. Резервные ГА с автоматическим вводом в действие и дистанционным управлением должны находиться в постоянной готовности к действию. Отключение средств автоматизации и переход на ручное управление разрешаются при проверке технического состояния, ТО или ремонте, а также при неисправности этих средств.

Подготовка к действию генератора и ПД проводится одновременно. При этом необходимо: убедиться в отсутствии посторонних предметов на генераторе, редукторе и вблизи соединительных фланцев; убедиться в отсутствии загрязнений и посторонних предметов вблизи входных вентиляционных отверстий, проверить наличие защитных кожухов и уровень масла в подшипниках скольжения; осмотреть ручной регулятор напряжения, аппаратуру самовозбуждения и АРН.

При подготовке к действию генератора после продолжительного нерабочего периода, а также в условиях повышенной влажности необходимо измерить сопротивление изоляции и при возможности повернуть перед пуском ротор (якорь) вручную на 1-2 оборота, наблюдая за его свободным вращением. Пуск начинают с режима холостого хода, постепенно увеличивая нагрузку до номинальной. Одновременно контролируют все параметры ГА по приборам, проверяют степень искрения, уровень шумов и вибрации, правильность работы аппаратуры. Объем и порядок выполнения операций по вводу в действие генераторов для автономной и параллельной работы, а также вывода из действия установлены ППЭ СТС.

Не реже 1 раза за вахту необходимо проверить: напряжение, нагрузку и частоту тока генератора по соответствующим электроизмерительным приборам; сопротивление изоляции сетей по щитовым мегаомметрам; работу щеточного аппарата; температуру нагрева и чистоту генератора и его аппаратуры.

Техническое обслуживание. Целью ТО является обеспечение исправного технического состояния ГА и длительное поддержание их

технико-экономико-эксплуатационных характеристик на заданном уровне. Правила технической эксплуатации СТС в зависимости от объема, характера и сроков проведения работ устанавливают три вида ТО: без разборки (ТО № 1); с частичной разборкой (ТО № 2); с полной разборкой (ТО № 3).

При ТО № 1 необходимо: вскрыть смотровые и вентиляционные отверстия; осмотреть контактные кольца (коллекторы), щеточный аппарат и обмотки статора и ротора (якоря); затянуть доступные контактные и крепежные соединения; очистить доступные места и фильтры от загрязнений, продуть генератор сжатым воздухом давлением не более 0,2 МПа.

При ТО № 2 необходимо выполнить работы в объеме, предусмотренном ТО № 1, и дополнительно: вскрыть и очистить коробку выводов; протереть доступные места ветошью, смоченной в рекомендованном моющем средстве; при необходимости изменить полярность колец СГ; при необходимости просушить обмотки и покрыть изношенные места изоляции эмалью; осмотреть подшипники и их смазку, при необходимости добавить смазку того же сорта.

При ТО № 3 необходимо выполнить работы в объеме ТО № 1 и ТО № 2, а также дополнительно: промыть обмотки статора и ротора (якоря); отремонтировать поврежденные места изоляции обмоток, пропитать их лаком и покрыть эмалью, после чего просушить; при необходимости проточить и отшлифовать контактные кольца (коллекторы); проверить динамометром значение нажатия на щетки, при необходимости отремонтировать щеточный аппарат; заменить смазку в подшипниках; при необходимости окрасить внутренние и наружные поверхности статора и ротора; проверить сопротивление изоляции обмоток по отношению к корпусу и между собой.

После выполнения каждого вида ТО необходимо проверить генератор в режиме холостого хода в течение 1 ч. При этом следует контролировать: напряжение генератора, биение колец и работу щеточного аппарата, температуру нагрева корпуса и подшипников, отсутствие постороннего шума и недопустимой вибрации. После выполнения ТО № 3 дополнительно испытывают генератор при номинальной нагрузке в течение 6 ч.

Периодичность ТО синхронных генераторов должна составлять: 2-3 мес при ТО № 1; 6-12 мес при ТО № 2; 48-96 мес при ТО № 3. Периодичность ТО генераторов постоянного тока в среднем в 2 раза меньше.

Работы по ТО выполняют члены судового экипажа, ремонтные бригады и береговые подразделения в соответствии с планом-графиком технического обслуживания (ПГТО), утверждаемым службой судового хозяйства парокходства. В ПГТО указывают состав работ, их периодичность, трудоемкость и исполнителей работ.

Ремонт. Восстановление до необходимого уровня частично или полностью утраченных технико-эксплуатационных характеристик ГА достигается с помощью ремонта. Существует 2 вида планово-предупредительного ремонта: текущий и капитальный. При текущем ремонте

выполняют работы по восстановлению и замене преимущественно быстроизнашивающихся деталей и узлов, а при капитальном - работы по восстановлению и замене частей и узлов, связанные с большими объемами сопутствующих работ.

Текущий ремонт проводят во время стоянки судна на заводе и без вывода судна из эксплуатации, а капитальный ремонт - как правило, с выводом судна из эксплуатации. Ремонтные работы проводят члены экипажа, а также работники баз технического обслуживания (БТО) и электроремонтных цехов судоремонтных предприятий.

Организация ТО и ремонта должна соответствовать требованиям комплексной системы ТО и ремонта судов (РД 31.20.50-87).

Внедрение на судах автоматизированных систем технической диагностики и прогнозирования позволит перейти от регламентированного ТО и ремонта, предполагающего строгую периодичность ТО и ремонтов, к обслуживанию по фактическому состоянию СТС. Это позволит значительно уменьшить трудозатраты и сократить численность экипажей.

Контрольные вопросы-задания

1. В чем заключаются достоинства и недостатки дизелей, паровых и газовых турбин?
2. Перечислите различия между отдельными типами АРЧ.
3. Почему АРЧ с астатическими регуляторными характеристиками не применяют при параллельной работе ДГ?
4. Каким образом и почему характер нагрузки СЭС влияет на напряжение СГ?
5. Каковы характерные признаки и свойства разных систем возбуждения СГ?
6. Какие значения токов перегрузки и в течение какого времени должны выдерживать СГ и ППП?
7. Сравните достоинства и недостатки разных типов источников электроэнергии с мримым преобразованием энергии.
8. В чем заключается подготовка СЭС к плаванию в сложных условиях?
I Какой последовательность действий электротехнического персонала при подготовке " МЙЯМЮ I л "
10. Назовите параметры, контролируемые при вахтенном обслуживании электрооборудования.
11. Какие руководящие документы регламентируют техническое обслуживание судового электрооборудования?

1'шва 3. ВЫБОР ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

3.1. Основные сведения

Режимы работы судна. Правильный выбор мощности и количества ГА судовой электростанции позволяет обеспечить бесперебойное и ЭКОНОмичное снабжение приемников электроэнергией заданного качества. Нагрузка СЭС, создаваемая приемниками, не является постоянной, а зависит, в основном, от режима работы судна.

Для морских судов Правилами Регистра СССР установлены следующие режимы работы судна: ходовой; маневров; аварийный - во время пожара, пробойны корпуса или других влияющих на безопасность плавания судна условий при работе основных источников электроэнергии; другие режимы в соответствии с назначением судна. Режимы, определяющими назначение судна, являются:

для транспортных судов - стоянка без грузовых операций и стоянка с грузовыми операциями;

пассажирских судов - стоянка без пассажиров и стоянка с пассажирами;

судов технического флота - стоянка без работы технологического оборудования и стоянка с его работой;

ледоколов - стоянка и ход во льдах;

буксиров - стоянка и ход с буксировкой.

Режим работы судна определяет основные группы включенных в любой момент времени приемников электроэнергии.

В ходовом режиме включены приемники, обеспечивающие работу СЭУ, средств навигации и связи, а также создающие нормальные бытовые условия экипажа.

В режиме маневров, возникающих при проходе узкостей, входе в порт и выходе из него, перешвартовке и т. д., работают все приемники ходового режима и дополнительно могут быть включены ЭП брашпиля, шпиля и компрессора пускового воздуха ГД. Однако при комплектации СЭС этот режим обычно не учитывают вследствие его непродолжительности, а также из-за того, что на маневрах для обеспечения максимальной безопасности плавания всегда включают резервный ГА.

В режиме стоянки без грузовых операций включены приемники, удовлетворяющие нужды экипажа, обеспечивающие работу приводных двигателей ГА, механизмов вспомогательного котла и др.

В режиме стоянки с грузовыми операциями дополнительно включаются грузовые лебедки или краны.

В аварийном режиме с работой основных источников электроэнергии нагрузка СЭС увеличивается, так как к приемникам электроэнергии, обеспечивающим ходовой режим, добавляются новые. Например, тушение пожара нередко связано с поступлением больших объемов воды внутрь отсеков и судовых помещений, поэтому одновременно с пожарными насосами могут быть включены также балластные и осушительные. При этом нагрузку СЭС можно частично уменьшить путем отключения малоответственных приемников. В случае необходимости включают резервный генератор.

В аварийном режиме с работой аварийного источника электроэнергии от АРЩ, получают питание особо ответственные приемники, обеспечивающие безопасность экипажа в случае аварии, вызвавшей прекращение работы основных источников электроэнергии.

Режимы работы приемников электроэнергии. В каждом эксплуатационном режиме приемники могут работать непрерывно, периодически и эпизодически.

Непрерывно работающими приемниками считаются многократно или однократно включаемые приемники, время работы которых составляет 70-100 % продолжительности режима (17-24 ч в сутки). К ним относятся ЭП масляных, топливных, охлаждающих, конденсатных насосов, вентиляторов МО и грузовых трюмов и т. д.

К периодически работающим приемникам относятся многократно включаемые приемники, суммарное время работы которых находится в пределах 15-70 % продолжительности режима (3,5-17 ч в сутки). К ним относятся ЭП питательных насосов вспомогательного котла, санитарных насосов, компрессоров и т. д., периодически включаемые для поддержания и регулирования уровня, давления, температуры.

Эпизодически работающие приемники - это однократно или многократно включаемые приемники, суммарное время работы которых менее 15 % продолжительности режима (не более 3,5 ч в сутки). Как правило, момент включения этих приемников можно заранее устанавливать. К ним относятся ЭП балластных, осушительных, пожарных насосов (при использовании последних для скатывания палубы) и др.

Нагрузка СЭС в любой момент времени определяется количеством и мощностью включенных приемников электроэнергии, что в свою очередь зависит не только от режима работы судна, но и от района плавания, времени года, состояния моря, характера выполняемых технологических процессов и т. д.

Таким образом, характер изменения нагрузки СЭС относится к категории случайных процессов, описание которых проводится с помощью методов математического аппарата теории вероятностей.

Методы определения мощности СЭС. К основным методам определения мощности СЭС относятся вероятностные, статического моделирования, табличный и аналитический.

Вероятностные методы в свою очередь подразделяют на следующие: статистических испытаний, массового обслуживания и числовых характеристик.

Метод *статистических испытаний* позволяет получить наибольшее и вероятные промежуточные значения мощности СЭС непосредственно и в виде чисел. Для этого составляют вероятностную модель задачи, решение которой с изменяемыми по случайному закону исходными данными многократно повторяют на ЭВМ. При этом заранее ограничивают число испытаний небольшим числом и диапазоном изменения параметров, и вторые оказывают наибольшее влияние на мощность СЭС.

Метод *массового обслуживания* применяют при расчете относительной сложности построения СЭС с ограниченным числом присоединенных приемников, нагрузка которых в основном изменяется ступенчато.

Метод *числовых характеристик* более универсален, его используют для расчета СЭС с большим числом приемников и произвольным характером изменения нагрузки.

Метод статического моделирования основан на применении аналоговых вычислительных машин (АВМ) для построения статической модели, воспроизводящей схему замещения СЭС. Каждый элемент такой модели соответствует элементу реальной СЭС: источнику ЭДС, трансформаторам, активным, индуктивным и емкостным сопротивлениям и др. Элементы модели могут соединяться по разным схемам, а их параметры - регулироваться в широких пределах. Соответствующие электроизмерительные приборы позволяют определять значения токов, напряжений, мощностей в различных точках схемы замещения. Статические модели при наличии АВМ применяют, в основном, для расчета установившихся режимов работы СЭС.

В инженерной практике до настоящего времени широко применяют табличный (детерминированный) метод расчета нагрузки, при котором нагрузка СЭС определяется отдельно в каждом характерном режиме работы судна.

Аналитический метод расчета нагрузки разработан на основе обобщения статистических материалов по эксплуатации электростанций ряда серий построенных судов.

3.2. Табличный метод определения мощности СЭС

Название метода объясняется тем, что расчет нагрузки СЭС во всех режимах работы судна оформляют в виде сводной таблицы (форма 2.1).

Исходные данные. Необходимые для расчета исходные данные вносят в графы 1-6 [см. формулу (2.1)]. В графе 1 перечисляют все приемники электроэнергии, для удобства разделенные на группы по назначению. В графе 2 указывают количество p однородных приемников одинаковой мощности. В графе 3 приводят значение установленной мощности P_m механизма. В графы 4, 5 и 6 вносят номинальные значения мощности $P_{ном}$, коэффициента полезного действия $\eta_{юм}$ и коэффициента мощности $\cos \varphi_{юм}$ единичного приемника электроэнергии.

Если в качестве приемника электроэнергии используется ЭД, сопряженный с механизмом, то для оценки степени использования ЭД по мощности вводят коэффициент использования $K_x = P/P_{мм}$, где p и $P_{ном}$ - мощности соответственно установленная механизма и номинальная электродвигателя, кВт. Если $K_x < 1$, то ЭД по мощности используется не полностью и работает с пониженным КПД, если же $K_x > 1$, то ЭД при работе окажется перегруженным, что недопустимо по условиям нагрева. Поэтому стремятся к соблюдению равенства $K_x = 1$. Значения K_x вносят в графу 7.

группам *оверуловой эл.истростанции перемеввоготога

непищевые приемники электроэнергии Средства навигации и связи Механизмы судовых установок, систем и устройств Палубные механизмы Бытовые механизмы и приборы Освещение	$p >$ шт.	2	P_m кВт	3	5	6	7	$P_{юм}$ кВт	8	Режим работы судна					$\cos \varphi_{юм}$ квар
					9	10	11	12	13	14	15				
Суммарные активная и реактивная потребляемые мощности Коэффициент одновременности режима Расчетные активная и реактивная потребляемые мощности Расчетная полная потребляемая мощность Средневзвешенный коэффициент мощности режима Количество и мощность работающих генераторов Количество и мощность резервных генераторов															

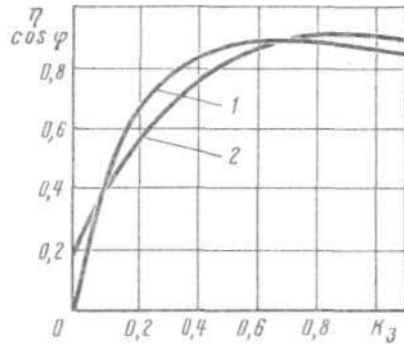


Рис 3.1. Зависимости КПД (1) и коэффициента мощности (2) асинхронного двигателя средней мощности от коэффициента его загрузки

В графе 8 приводят суммарную активную мощность (кВт) приемников, потребляемую из сети: $P_n = \sim "ни" ном$

Расчет нагрузки приемников. Для каждого приемника проводят расчет нагрузки во всех принятых режимах работы судна. При этом используют графы 9-15.

В графу 9 вносят коэффициент загрузки механизма K_3 , который равен отношению фактически потребляемой мощности $P^$ механизма в данном режиме к установленной мощности P_u , т. е. $K_3 = P_u \cdot \phi / P_{у2}$ Поскольку на стадии проектирования СЭС фактическую загрузку механизма -определить

невозможно, значение K_3 принимают равным: для насосов, вентиляторов, компрессоров, работающих с постоянной или близкой к ней производительностью, - 0,75-0,95; для грузоподъемных механизмов - 0,8-0,9; для якорно-швартовых устройств - 0,7-0,9; для рулевых устройств - 0,5-0,8. Нагревательные и осветительные приборы работают с $K_3=1$.

Фактическая загрузка ЭД в режиме определяется коэффициентом загрузки $K_3 = K_x K_2$ (графа 10). Если $K_3 < 0,75$, то уточняют значения КПД и коэффициента мощности ЭД по рабочим характеристикам двигателей данной серии (приводится в каталогах или справочной литературе). Примерный вид этих характеристик приведен на рис. 3.1.

Уточненные для данного режима значения η_p и $\cos \Phi_p$ вносят в графы 11 и 12. При $K_3 > 0,75$ изменения КПД и коэффициента мощности не учитывают и принимают в расчете их номинальные значения.

Для однородных приемников вводят коэффициент одновременно-сти K_0 , равный отношению числа $n_{раб}$ работающих в данном режиме приемников к общему числу $n_{уст}$ установленных приемников, т. е. $K_0 = n_{раб} / n_{уст}$. Для одиночного приемника ($n_{уст} = 1$) этот коэффициент всегда равен 1, а для нескольких, как правило, меньше 1. Так, насосы ГД резервируются и работают поочередно ($K_0 = 0,5$); не все лебедки и краны работают одновременно, поэтому для них принимают $K_0 = 0,75-1,0$. Таким образом, значение K_0 выбирают на основе анализа условий работы приемника в данном режиме и вносят в графу 13.

В графу 14 вносят суммарную активную потребляемую в данном режиме мощность (кВт): $P_p = P_{ном} K_3 n K_0 / \eta_p$, где $P_{ном}$ - номинальная мощность приемника, кВт; K_3 - коэффициент загрузки ЭД; n - число однородных приемников; K_0 - коэффициент одновременно-сти в данном режиме; η_p - КПД приемника в режиме.

В графу 15 вносят суммарную реактивную потребляемую в режиме мощность: $Q_p = P_p \operatorname{tg} \Phi_p$ (квар), где значение $\operatorname{tg} \Phi_p$ находят по известному $\cos \Phi_p$.

Расчет нагрузки СЭС. Поочередно во всех принятых режимах работы судна проводят расчет нагрузки СЭС. При этом для каждого режима путем сложения находят суммарную активную ΣP_p и реактивную ΣQ_p потребляемые мощности всех приемников (кроме работающих эпизодически) и вносят найденные значения в нижнюю часть таблицы. Если в данном режиме приемник работает эпизодически или не работает, то в соответствующих строчках таблицы делают прочерки.

Далее выбирают коэффициент одновременно-сти режима $K_{оп}$, характеризующий вероятность одновременной работы всех приемников в данном режиме: $K_{оп} = 0,8-0,9$ для ходового режима; 0,75-0,8 - для маневров и стоянки с грузовыми операциями; 0,7-0,75 - для стоянки без грузовых операций; 0,9-1,0 - для аварийного режима. Значения этого коэффициента вносят в нижнюю часть таблицы отдельно для каждого режима.

Кроме того, учитывают потери мощности в сети (3-5 %) введением коэффициента потерь $K_n = 1,03-1,05$.

Тогда расчетные потребляемые мощности в режиме определяются так: $P_{расч} = K_{оп} K_n \Sigma P_p$ и $Q_{расч} = K_{оп} K_n \Sigma Q_p$, где $P_{расч}$ и $Q_{расч}$ - суммарные соответственно активная (кВт) и реактивная (квар) потребляемые мощности в режиме. Найденные значения вносят в нижнюю часть таблицы.

Полезная потребляемая в режиме мощность (кВ-А)

$$S_{расч} = \sqrt{P_{расч}^2 + Q_{расч}^2}$$

Далее определяют средневзвешенный коэффициент мощности $\cos \Phi_{н}$, $\cos \Phi_{н} = \frac{\Sigma P_p \cos \Phi_p}{\Sigma P_p}$. Значение $\cos \Phi_{н}$ влияет на порядок выбора генератора по мощности. Если $\cos \Phi_{н}$ больше номинального коэффициента мощности $\cos \Phi_{ном}$ выбираемого генератора, то генератор выбирают по активной мощности. При $\cos \Phi_{н} < \cos \Phi_{ном}$ генератор выбирают по полной мощности. Для большей части серий генераторов отечественной постройки $\cos \Phi_{ном} = 0,8$.

В таблице нагрузок судовой электростанции постоянного тока отсутствуют графы 6,12,15.

Сановную часть нагрузки СЭС составляют непрерывно и периодически работающие приемники электроэнергии. Нагрузка, создаваемая эпизодически работающими приемниками, обычно не учитывается при определении мощности СЭС, так как она покрывается резервом мощности включенных генераторов (на практике не менее 10 % номинальной). Следует также учесть, что судовые генераторы обладают определенной перегрузочной способностью.

3.3. Аналитический метод определения мощности СЭС

Этот метод основан на применении теории корреляций. Под корреляцией понимают статистическую зависимость одной величины от другой, усложненную влиянием случайных факторов. Суть метода состоит в том, что суммарная установленная мощность P_m генераторов СЭС находится в определенной зависимости от мощности N главных двигателей или полного водоизмещения B , причем на характер упомянутой зависимости влияет тип судна.

Значения P_r (кВт) определяются по следующим формулам.

1. Для судов морского флота (N , МВт; B , тыс. т):

сухогрузных теплоходов с вертикальной погрузкой штучного и насыпного грузов

$$P_m = 272N/(1 + 0,01B) \text{ или } P_m = 115B^{0,8};$$

сухогрузных теплоходов с горизонтальным способом грузообработки

$$P_m = 390B/(1 + 0,1B) \text{ или } P_r = 200B(1 + 0,08B);$$

сухогрузных пароходов и крупных теплоходов

$$P_r = 245N \text{ или } P_r = 125B;$$

нефтеналивных теплоходов и пароходов (не имеющих грузовых насосов)

$$P_r = 200 + 143N \text{ или } P_r = 150 + 40B \text{ и } P_r = 225B^{0,5}$$

(соответственно водоизмещением до 30 тыс. т и более 30 тыс. т);
ледоколов и самоходных паромов

$$P_r = 48N^{0,8} \text{ или } P_r = 11B^{1,45};$$

буксиров

$$P_r = 177N \text{ или } P_r = 245B.$$

2. Для судов внутреннего или смешанного плавания (N , МВт; B , т):

сухогрузных

$$P_r = 0,002N \text{ или } P_r = 0,055B;$$

нефтеналивных

$$P_m = 0,0003W/(1 + 0,0002B) \text{ или } P_m = 0,19 B (1,2 + 0,00035 B);$$

толкачей(буксиров)

$$P_r = 0,00034 N (1,3 + 0,0005 N) \text{ или } P_r = 0,8 B/(1,4 + 0,0014 B);$$

пассажирских

$$P_r = 0,38 N^{1,6} \text{ или } P_r = 200 B^{1,5}.$$

Приведенные корреляционные зависимости используются на станции разработки эскизных проектов судов перспективной постройки, когда в распоряжении проектировщика СЭС отсутствуют полные исходные данные приемников электроэнергии.

3.4. Выбор количества и мощности генераторов

Правильный выбор состава генераторов позволяет обеспечить безаварийную и экономичную работу СЭС. Для выбора используют результаты расчета нагрузки СЭС во всех режимах работы. Общую установленную мощность генераторов находят по режиму с наибольшим значением нагрузки, после чего приступают к выбору количества и мощности генераторов в каждом режиме. Для этого намечают несколько вариантов состава генераторов СЭС, сравнивают их по технико-экономическим показателям и выбирают оптимальный вариант.

При выборе необходимо учитывать требования Правил Регистра СССР:

на каждом судне должно быть не менее двух основных источников электроэнергии, причем одним из них может быть ВГ;

мощность генераторов должна быть такой, чтобы при выходе из строя любого из них оставшиеся обеспечили питание ответственных приемников электроэнергии в режимах ходовом, аварийном и маневров;

суммарная мощность всех генераторов переменного тока должна быть достаточной для пуска самого мощного АД в случае выхода из строя любого генератора.

Кроме того, при выборе генераторов руководствуются следующим: нагрузка выбранных генераторов при работе в продолжительных режимах (ходовой, стоянка) должна составлять 70-90 % номинальной, а при работе в кратковременных режимах (маневров, аварийный) нагрузка ДГ может быть снижена до 50-60 %, ТГ - до 40-50 %, ВГ - до любого уровня;

количество генераторов СЭС в большинстве случаев составляет 2-4, при этом 2 или 3 генератора продолжительно работают параллельно, а один находится в резерве. Целесообразно выбирать генераторы одного типа, что обеспечивает взаимозаменяемость деталей и узлов и-праторов, а также облегчает их ТО;

установка стояночного ДГ меньшей мощности по сравнению с основными в большинстве случаев нецелесообразна;

увеличение количества генераторов посредством уменьшения единичной мощности позволяет повысить их загрузку, но усложняет схему СЭС и затрудняет обслуживание электростанции.

Мощность аварийных источников электроэнергии определяется количеством и мощностью особо ответственных приемников, перечень которых оговаривается Правилами Регистра СССР.

Экономическую эффективность СЭС на стадии проектирования определяют сравнением для 2-3 вариантов комплектации судовой электростанции значений приведенных затрат, сроков окупаемости и себестоимости электроэнергии.

Приведенные затраты $Z = \mathcal{E} + 0,15/K$, где \mathcal{E} - годовые эксплуатационные расходы; K - капитальные вложения. В сумму капитальных вложений (строительную стоимость) обычно включаются преysкурантная цена оборудования СЭС, транспортные расходы и расходы на монтаж. Эксплуатационные расходы образуются затратами на амортизацию, ремонт, топливо, смазочные материалы и обслуживание СЭС.

Судовые электростанции во всех режимах должны работать надежно и экономично, причем приоритет отдается надежности. На практике это означает, что ГА электростанции во всех или большинстве режимов работы недогружены по мощности, что ведет к перерасходу топлива: при мощности дизеля 75 и 50 % номинальной удельный расход топлива составляет соответственно 102-105 % и 107-112 % номинального. Повысить экономичность СЭС можно разными способами. На стадии проектирования этого добиваются тщательной проработкой вариантов комплектации СЭС с целью обеспечения в каждом режиме загрузки генераторов по верхним пределам допускаемых нагрузок, включением в состав генераторов ВГ и УТГ. Валогенераторные установки не получили должного распространения на транспортных судах, однако широко применяются на промысловых, что связано с возможностью обеспечения работы траловых лебедок при помощи ВГ в режиме малого хода судна. Примером удачно спроектированных можно считать СЭС некоторых серий теплоходов отечественной и зарубежной постройки, на которых ходовой режим обеспечивается работой одного УТГ.

Для , повышения экономичности СЭС в процессе эксплуатации можно рекомендовать следующее:

в каждом режиме обеспечивать загрузку генераторов по верхним пределам, для чего своевременно устранять избыточный запас мощности СЭС отключением одного или нескольких генераторов;

уменьшать время нахождения энергетической и других установок в состоянии готовности, при котором включена группа мощных приемников электроэнергии;

исключать работу СТС в режиме холостого хода, для чего своевременно отключать их;

предотвращать кратковременные увеличения нагрузки, при которых автоматически пускается РДГ;

при групповых стоянках (например, на ремонте) организовывать снабжение электроэнергией нескольких судов от СЭС одного судна.

Возможность питания судна с берега должна решаться в каждом отдельном случае, так как стоимость электроэнергии при энергоснабжении с берега может оказаться выше, чем производимой на судне. Определенный эффект может дать нормирование для серий судов расхода электроэнергии и его учет при помощи счетчиков электроэнергии.

Контрольные вопросы-задания

1. Перечислите основные группы приемников в основных режимах работы судна.
2. В чем заключается различие между непрерывно, периодически и эпизодически работающими приемниками?
3. Каковы основные особенности различных методов расчета мощности СЭС?
4. Каковы основные этапы определения мощности СЭС табличным методом?
5. В чем состоит сущность аналитического метода определения мощности СЭС?
6. Какие основные факторы влияют на выбор состава генераторов СЭС?
7. Назовите способы повышения экономичности СЭС.

Глава 4. СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

4.1. Качество электроэнергии

Качество электроэнергии - это совокупность свойств электроэнергии, обуславливающих ее пригодность для нормальной работы судовых приемников. Приемники потребляют электроэнергию от судовых источников непосредственно или через преобразователи. Качество электроэнергии оказывает существенное влияние на режимы работы приемников, источников и линий электропередачи. Поэтому упомянутое качество характеризуют показателями, перечень которых и допустимые значения большинства из них установлены Правилами Регистра СССР.

Показатели качества электроэнергии определяют в период швартовых и ходовых испытаний отдельно для установившихся и переходных режимов.

В *установившемся режиме работы* показатели (%) качества электроэнергии следующие:

длительное отклонение напряжения At /- относительная разность между фактическим I /и номинальным $I_{ном}$ значениями напряжения:

$$\Delta U = [(U - U_{ном}) / U_{ном}] 100;$$

длительное отклонение частоты Δf - относительная разность между фактическим /и номинальным/ $f_{ном}$ значениями частоты;

$$\Delta f = [(f - f_{ном})/f_{ном}]100;$$

коэффициент k_d искажения синусоидальности кривой напряжения - отношение квадратного корня из суммы квадратов действующих значений высших гармонических составляющих напряжения U_v к действующему значению основной гармонической составляющей U_1 :

$$k_d = [(\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2})/U_1]100;$$

коэффициент k_U несимметрии (небаланса) напряжения в 3-фазной системе - относительная разность между максимальным U_{max} и минимальным U_{min} значениями линейного напряжения:

$$k_U = [(U_{max} - U_{min})/U_{ном}]100.$$

В *переходных режимах* показатели (%) качества электроэнергии следующие:

кратковременное отклонение напряжения ΔU_t - относительная разность между минимальным U_{mi} или максимальным f_{max} и номинальным $U_{ном}$ значениями напряжения:

$$-\Delta U_t = [(U_{min} - U_{ном})/U_{ном}]100,$$

$$+\Delta U_t = [(U_{max} - U_{ном})/U_{ном}]100;$$

кратковременное отклонение частоты Δf_t - разность между минимальным f_{min} или максимальным f_{max} и номинальным $f_{ном}$ значениями частоты:

$$-\Delta f_t = [(f_{min} - f_{ном})/f_{ном}]100,$$

$$+f_t = [(f_{max} - f_{ном})/f_{ном}]100.$$

Основные причины отклонения напряжения частоты заключаются в ограниченной мощности СЭС и несовершенстве АРН и АРЧ. Эти отклонения изменяют режим работы приемников электроэнергии. Например, при снижении напряжения сети до $U = 0,95U_{ном}$ вращающий момент АД уменьшается на 10 %, а потребляемый ток увеличивается на 11 %. Колебания напряжения могут вызвать ложные срабатывания защитных устройств источников и приемников электроэнергии, настроенных на номинальное напряжение. Колебания частоты тока

приводят к практически пропорциональным изменениям частоты вращения АД и сопряженных с ними механизмов.

Искажение синусоидальности кривой напряжения обусловлено влиянием как источников, так и приемников электроэнергии. В СГ это искажение объясняется невозможностью получения на практике распределения магнитной индукции в воздушном зазоре по синусоидальному закону. Напомним, что для получения синусоидальной ЭДС генератора увеличивают зазор под краями полюсов. В специфических группах приемников электроэнергии, таких, как статические преобразователи частоты, искажение синусоидальности кривой напряжения объясняется использованием в них нелинейных элементов - полупроводниковых диодов, тиристоров и др. Работа этих приемников связана с образованием несинусоидальных токов, замыкающихся через СГ и линии электропередачи. Возникающие высшие гармонические составляющие тока вызывают дополнительный нагрев СГ, электродвигателей и линий электропередачи, уменьшение вращающего момента АД и приводят к сбоям в работе устройств электроавтоматики. Один из путей подавления высших гармоник - применение мощных фильтров I и LC-типов.

Несимметрия напряжения в 3-фазных системах обусловлена наличием 1-фазных приемников электроэнергии, основную часть которых составляют светотехнические приборы. Упомянутая несимметрия проявляется как дополнительное увеличение отклонений напряжения и неблагоприятно сказывается на работе АД и особенно радиоэлектронной аппаратуры.

Правила Регистра СССР устанавливают следующие требования к источникам электроэнергии и их ПД:

длительное отклонение напряжения СГ, снабженных АРН, при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной при номинальном коэффициенте мощности $\cos \varphi_{ном} = 0,8$ не должно превышать $\pm 2,5$ % (для аварийных генераторов $\pm 3,5$ %);

кратковременное отклонение напряжения СГ при внезапном изменении симметричной нагрузки не должно превышать при набросе нагрузки -15 %, при сбросе нагрузки +20 %;

длительное отклонение частоты вращения ПД, снабженных АРЧ, не должно превышать ± 5 %;

кратковременное отклонение частоты вращения ПД при набросе (сбросе) нагрузки не должно превышать ± 10 %;

коэффициент нелинейных искажений напряжения судовой сети, обусловленной работой силовых полупроводниковых установок, не должен превышать 10 %.

В соответствии с Правилами Регистра СССР приемники электроэнергии должны сохранять работоспособность при отклонениях питающего напряжения и частоты от номинальных значений, указанных в табл. 1. Значения коэффициента несимметрии напряжения в 3-фазной системе Правила Регистра СССР не устанавливают.

Таблица 1. Допускаемые для судовых приемников электроэнергии отклонения (%) напряжения и частоты от номинальных значений

Параметр	Длительное	Кратковременное
Напряжение	+6-5--10	+20-5--30*
Частота	±5	±10**

В течение 1,5 с.
** В течение 5 с.

4.2. Принципы построения систем автоматического регулирования напряжения

Основной функцией АРН является стабилизация напряжения СЭС методом регулирования тока возбуждения генератора. Кроме того, схемы АРН дополняются устройствами, обеспечивающими надежное самовозбуждение СГ на холостом ходу, контурами коррекции напряжения по температуре генератора и частоте. Генераторы СЭС работают параллельно и в АРН включают реактивные компенсаторы - устройства автоматического распределения реактивных мощностей между СГ. В режиме КЗ генератора необходимо уменьшить до нуля его ток возбуждения, для чего в схему возбуждения генератора включают соответствующую аппаратуру. Все комплексное устройство, обеспечивающее самовозбуждение генератора и стабилизацию его напряжения, будем называть системой возбуждения и автоматического регулирования напряжения.

В СВАРН часть энергии переменного тока отбирается с выводов генератора, регулируется элементами АРН, преобразуется в энергию постоянного тока и подается в обмотку возбуждения генератора. По принципу управления все СВАРН делят на следующие типы:

действующие по возмущению (амплитудно-фазового компаундирования);

действующие по отклонению напряжения;

комбинированные, действующие одновременно по возмущению и отклонению напряжения.

Системы, действующие по возмущению. В этих СВАРН (рис. 4.1, а) регулирование протекает по значению и характеру тока нагрузки генератора. Система функционирует на базе трансформатора компаундирования ТК. На общем магнитопроводе ТК расположены первичные обмотки тока w_u напряжения u_n и вторичные, суммирующие обмотки w . Векторы магнитных потоков обмоток ТК совпадают с векторами токов соответствующих обмоток. Значение вектора магнитного потока Φ , создаваемого обмотками $u/$ определяется значением тока нагрузки генератора, а его направление совпадает с направлением вектора

полного тока генератора (рис. 4.1, б). Значение и направление вектора Φ_n не зависят от нагрузки генератора и определяются сопротивлением цепи обмоток w_n . В данном случае благодаря включению компаундирующего элемента (дроссель L) вектор тока и магнитного потока в обмотках w_n отстает от вектора напряжения генератора примерно на угол 90° . Значение вектора $\Phi_c = \Phi_r + \Phi_n$ определяет значение тока возбуждения генератора и его ЭДС, так как переменная ЭДС суммирующих обмоток w с помощью выпрямителя UZ преобразуется в постоянный ток возбуждения СГ.

В случае увеличения тока нагрузки СГ без изменения фазы (см. рис. 4.1, б) ($\phi = \text{const}$) напряжение генератора может уменьшиться, однако вместе с током нагрузки увеличится магнитный поток обмоток тока до значения Φ' . Соответственно увеличится Φ до значения Φ' . Ток возбуждения СГ возрастет, и напряжение восстановится до номинального значения. В случае изменения тока нагрузки генератора по фазе при постоянном его значении (рис. 4.1, в) изменяется размагничивающее действие продольной составляющей магнитного потока реакции статора. В результате ЭДС генератора также изменит свое значение. На диаграмме в связи с увеличением индуктивной составляющей тока вектор Φ_r переместится в положение Φ'_r . Суммарный магнитный поток увеличится до значения $\Phi'_c > \Phi_c$. Ток возбуждения СГ увеличится, а напряжение стабилизируется. Регулирование тока возбуждения СГ (компенсирование возмущения) по значению и фазе тока нагрузки называется амплитудно-фазовым компаундированием.

Рассмотренная схема компаундирования- конструктивно реализована на базе 3-обмоточного 3-стержневого ТК при последовательном

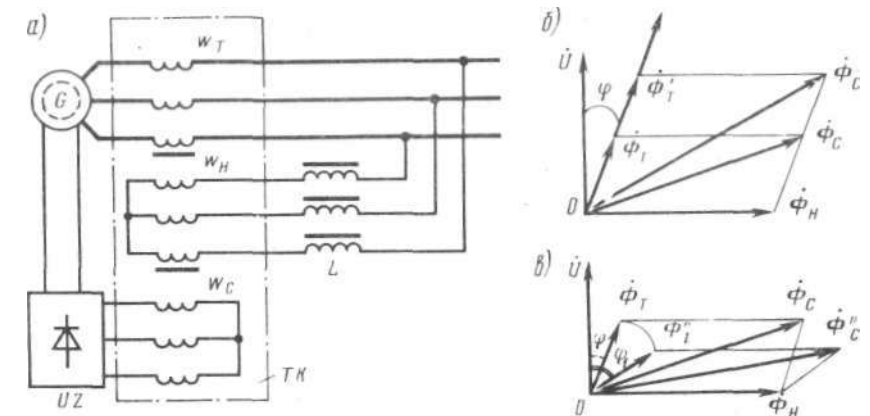


Рис. 4.1. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения с управлением по возмущению:

о — принципиальная схема; б, а — векторные диаграммы магнитных потоков ТК при изменении тока нагрузки соответственно по значению и характеру

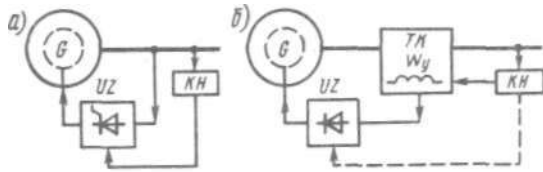


Рис 4.2. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения с управлением по отклонению:
 а — с корректором напряжения;
 б — комбинированная

суммировании магнитных потоков с компаундирующим элементом в виде дросселя L . Принципиально суммирование воздействий тока и напряжения может выполняться электрическим путем, а компаундирующим элементом может быть не только дроссель, но и конденсатор или магнитный шунт. Последний устанавливается у стержней TK , на которых расположены обмотки напряжения и i_{γ} . Магнитный поток рассеяния и индуктивное сопротивление этой обмотки увеличиваются, что эквивалентно включению дросселя.

Значительные размеры и масса ТК ухудшают массогабаритные показатели СЭС, кроме того, процесс компаундирования вызывает изменение магнитного потока ТК, что связано с увеличением времени регулирования.

Системы, действующие по отклонению напряжения. В таких системах исключен ТК, а АРН работает как корректор напряжения KH (рис. 4.2, а). Корректором измеряется истинное значение напряжения СГ, и в случае его отклонения вырабатывается управляющий сигнал, который через регулирующий элемент (например, управляемый выпрямитель UZ) корректирует ток возбуждения СГ. Через KH дополнительно осуществляется коррекция напряжения СГ по температуре и частоте. В KH включается схема (контур) для автоматического распределения реактивных нагрузок при параллельной работе СГ.

Без трансформатора компаундирования СВАРН более компактна, имеет меньшую массу и небольшое время регулирования.

Комбинированные системы. В схемах этих систем имеются ТК и KH (рис. 4.2, б). С помощью ТК регулирование выполняется с недостаточной точностью, однако это компенсируется наличием KH . В целом комбинированные СВАРН обладают высокой точностью стабилизации напряжения СГ. Ток с выхода KH поступает на обмотку i_{γ} управления, расположенную на магнитопроводе ТК. Как правило, при отключенном KH напряжение генератора увеличено (примерно на 10 % номинального) — ток обмотки w_{γ} размагничивает трансформатор компаундирования, уменьшая результирующий магнитный поток. В случае применения управляемого выпрямителя UZ корректор напряжения может воздействовать непосредственно на его систему управления.

Схемы KH и их элементная база отличаются большим разнообразием: они выполняются на базе магнитных усилителей или с применением полупроводниковых устройств.

Регулирование активной нагрузки СГ достигается изменением вращающего момента ПД, значение которого зависит от подачи топлива

или пара. В СВАРН нет электрической связи с приводным двигателем, поэтому с помощью этих систем нельзя влиять на перераспределение активной нагрузки. Только автоматизированные комплексы (например, "Ижора-М") имеют устройства автоматического воздействия на систему подачи топлива или пара.

Изменение реактивной нагрузки СГ достигается регулированием его тока возбуждения. При одиночной работе генератора СВАРН регулирует ток возбуждения с целью стабилизации напряжения. При параллельной работе СГ Правила Регистра СССР допускают неравномерность распределения реактивных нагрузок в пределах $\pm 10\%$ номинальной реактивной мощности. Для обеспечения указанного допуска в СВАРН вводятся схемы распределения реактивных нагрузок — реактивные компенсаторы, которые включаются только при параллельной работе.

Предположим, что 2 генератора равной мощности работают параллельно. Вследствие неодинакового статизма их внешних характеристик I_{u2} (рис. 4.3) при напряжении U генераторы нагружены неодинаковыми реактивными токами ($i_{p1} \Phi I^{\wedge}$). Кроме того, при уменьшении напряжения до значения U_2 изменения реактивных нагрузок неодинаковы ($D / j \Phi D_p / r$) — можно сделать вывод: при параллельной работе СГ статизм их внешних характеристик должен быть одинаковым.

Каждый из параллельно работающих СГ в схеме СВАРН имеет реактивный компенсатор, подключенный так, как показано на рис. 4.4, а — на KH подается напряжение, равное геометрической сумме напряжений $U_{BC} + U_R$ (рис. 4.4, б). Доля реактивной нагрузки на СГ

Рис 4.3. Внешние характеристики СГ с разным статизмом

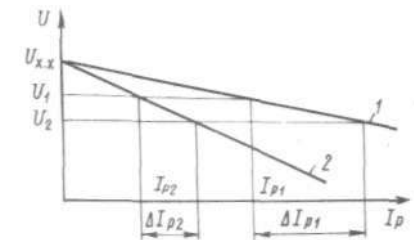
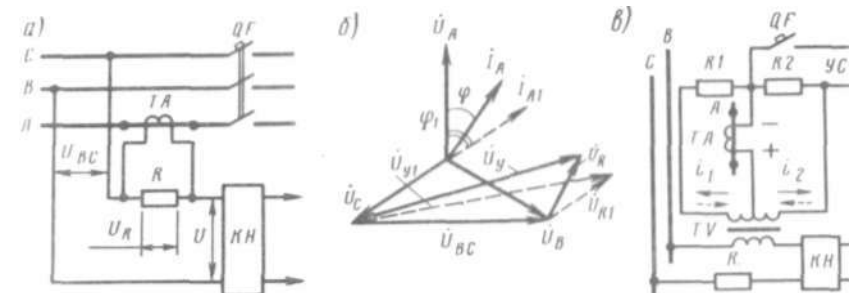


Рис 4.4. Реактивные компенсаторы:

а, б — схема статического компенсатора и его векторная диаграмма; в — схема астатического компенсатора



определяется коэффициентом мощности $\cos \varphi$. Вектор падения напряжения на резисторе R совпадает с вектором тока I_A , создающим это падение напряжения. Напряжение, поступающее в схему регулирования, $U = U_{bc} + U_R$. Это напряжение определяет значение ЭДС генераторов (так как оба генератора включены на общие шины, то их напряжения всегда равны). Из-за разного статизма характеристик СГ имеют неодинаковые реактивные нагрузки.

Допустим, реактивная нагрузка первого СГ увеличилась. В этом случае векторы I_A , U_R будут отставать на больший угол Φ_x (векторы $(AI) \wedge (Ri) \wedge a$ напряжение, поступающее в систему регулирования, увеличится до значения $V_{н1}$. С помощью KH ток возбуждения будет уменьшен, чему соответствует автоматический перевод части реактивной нагрузки на второй СГ. В схеме компенсатора СВАРН второго генератора также будет протекать процесс регулирования, в конце которого увеличение реактивной нагрузки на одном генераторе распределится равномерно между двумя генераторами. При статизме характеристик 3-4 % достигается устойчивое распределение реактивных нагрузок. При меньшем статизме устойчивость распределения нарушается и тогда применяют уравнивательные соединения между обмотками возбуждения СГ, компенсирующие неравенство токов возбуждения.

В результате изменения ЭДС генератора перераспределяются реактивные нагрузки, но одновременно изменяется напряжение, ухудшается процесс стабилизации, и чем больше статизм характеристик, тем в большей степени изменяется напряжение, поэтому применяют астатические компенсаторы с комбинированным управлением (рис. 4.4, в). В схемах таких компенсаторов резисторы $R2$ соединены уравнивательным соединением $УС$.

В режиме одиночной работы СГ уравнивательное соединение разомкнуто вспомогательным контактом QF автоматического выключателя. На вторичной обмотке трансформатора $ТА$ возникает ЭДС, значение которой пропорционально току нагрузки фазы A . Под действием ЭДС возникают токи $i_j = x_2$, которые по полуобмоткам трансформатора TV текут встречно, не индуцируя ЭДС во вторичной обмотке трансформатора.

При параллельной работе СГ контакт QF замкнут. Если нагрузки генераторов одинаковы, то в контурах их компенсаторов протекают одинаковые токи i_2 ; на резисторах $R2$ создаются одинаковые падения напряжения U_{R2} , и через $УС$ ток протекать не будет. При перегрузке первого СГ в контуре его компенсатора значения токов i_b , i_2 будут больше, чем в контуре компенсатора второго СГ. Теперь на резисторе $R2$ схемы компенсатора первого СГ падение напряжения окажется больше, чем на резисторе $R2$ компенсатора второго СГ. Через $УС$ между резисторами $R2$ компенсаторов потечет уравнивательный ток, который на этих резисторах создает дополнительное падение напряжения $A U_{R2}$. В схеме компенсатора первого СГ напряжение $A U_{R2}$ будет действовать согласно ЭДС трансформатора $ТА$, что приведет к увеличению тока i_2 . В

это же время в компенсаторе второго СГ напряжение $A U_{R2}$ будет действовать встречно ЭДС трансформатора $ТА$ и ток i_2 уменьшится. Во вторичных обмотках трансформатора TV возникнут ЭДС противоположной фазы и корректоры напряжения генераторов выработают противоположные управляющие сигналы: в СВАРН

первого СГ ток возбуждения будет уменьшен (уменьшение реактивной нагрузки), а в СВАРН второго СГ - увеличен (прием реактивной нагрузки).

Изменение частоты тока СГ компенсируется соответствующим регулированием напряжения. Для этого в схему KH включается контур частотной коррекции (рис. 4.5, а). Обычно это контур $L - C$, настроенный на определенную резонансную частоту, при которой контур имеет минимальное сопротивление. Например, если контур $L - C$ настроен на частоту 80 Гц, то при повышении частоты СГ (при $f_{ном} = 50$ Гц) сопротивление контура уменьшится и корректор уменьшит напряжение СГ.

В цепь KH может включаться резистор температурной компенсации, встроенный в обмотку статора генератора (резистор RK на рис. 4.5, б). При нагреве обмоток напряжение СГ уменьшается, в то же время нагревается и резистор RK : его сопротивление увеличивается, и на входе KH напряжение уменьшится. Корректор напряжения СВАРН изменит ток возбуждения СГ, в результате напряжение СГ увеличится $\Delta \varphi$.

Одним из требований, предъявляемых к СВАРН, является обеспечение надежного самовозбуждения СГ. При пуске СГ поле остаточного намагничивания ротора наводит ЭДС (несколько вольт) в обмотках статора: появляются небольшой ток в обмотках w_n (см. рис. 4.1), ЭДС в обмотках w_c и начальный ток возбуждения генератора. Увеличивается магнитный поток ротора, и происходит самовозбуждение. Если самовозбуждение протекает устойчиво без принятия дополнительных мер, то СВАРН снабжается только цепью подмагничивания ротора от другого источника на случай потери ротором остаточного намагничивания. Потеря остаточного намагничивания ротора возможна при КЗ генератора, во время ремонтных работ в результате сильных механических ударов по ротору СГ (например, при посадке соединительной полумуфты на вал ротора, выпрессовке болтов). Потеря остаточного намагничивания ротора возможна при длительном нахождении СГ вне эксплуатации. Компаундирующий элемент (L), обладая большим сопротивлением, уменьшает ток в обмотках w_n , что может привести к срыву процесса самовозбуждения.

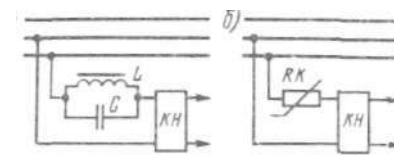


Рис 4.5. Принципиальные схемы контуров частотной коррекции $\langle p \rangle$ и температурной компенсации $\langle \phi \rangle$

Устойчивое самовозбуждение СГ обеспечивают схемы, показанные на рис. 4.6. На одном валу с СГ вращается генератор начального возбуждения *ГНВ*, в ротор которого вмонтированы пластины постоянных магнитов (рис. 4.6, а). При пуске СГ на небольших частотах вращения *ГНВ* через выпрямитель *UZ2* подмагничивает ротор постоянным током. После самовозбуждения на выходе выпрямителя *UZ1* напряжение больше, чем на выходе выпрямителя *UZ2*, последний запирается, и схема подмагничивания СГ оказывается автоматически отключенной.

В схеме, показанной на рис. 4.6, б, компаундирующий элемент ^ исключается на период самовозбуждения. В это время ток возбуждения мал и реле *КА* не срабатывает: его контакт шунтирует компаундирующий дроссель, уменьшая сопротивление цепи обмотки w_r . При такой схеме включения ЭДС начального возбуждения увеличена. В конце процесса самовозбуждения ток возбуждения СГ достигнет номинального значения, реле *КА* сработает, включая в цепь компаундирующий дроссель!

Для увеличения начального тока возбуждения в схемы СВАРН включают резонансные контуры (рис. 4.6, в). Контур *L-C* при небольшой частоте вращения ПД и резонансной частоте, на которую он настроен, имеет минимальное сопротивление, обеспечивая в ОБГ ток, достаточный для самовозбуждения генератора. В СВАРН без ТК отсутствие обмоток w_r и w_c снижает сопротивление цепи возбуждения и процесс самовозбуждения протекает более устойчиво. При номинальном напряжении СГ корректор напряжения *КН* (рис. 4.6, г) обеспечивает отпирание тиристорного преобразователя *UZ2*, преобразующего напряжение переменного тока СГ в постоянный ток возбуждения. В режиме начального возбуждения напряжение СГ небольшое и преобразователь *UZ2* закрыт, так как *КН* еще не работает. В это время реле *КА*

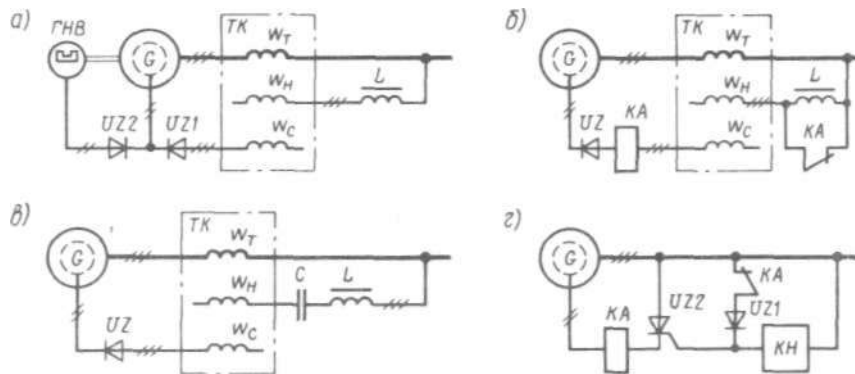


Рис. 4.6. Принципиальные схемы автоматического начального подмагничивания СГ с генератором начального возбуждения (а), шунтированием компаундирующего элемента (б), введением резонансного контура (в) и введением токового контура (г)

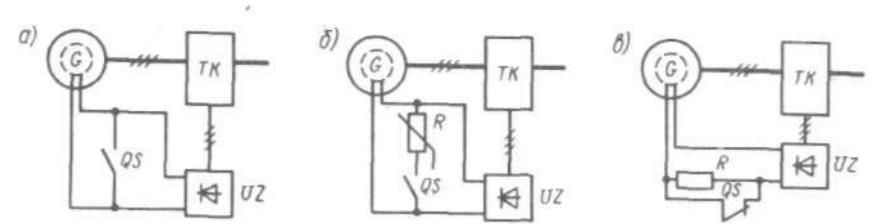


Рис. 4.7. Принципиальные схемы отключения возбуждения СГ при замыкании ОБГ коротко (а), на нелинейный резистор (б) и введением в цепь ОБГ резистора (в)

не включено и через его замкнутый контакт и выпрямитель *UZ1* от шин генератора подается напряжение управления на преобразователь *UZ*, в результате он открыт.

Для защиты генераторов от токов КЗ, возникающих в результате коротких замыканий в самом СГ или на кабеле до автоматического выключателя, в СВАРН включают устройства, позволяющие быстро уменьшить ток возбуждения генератора до нуля. Иногда этот процесс называют гашением поля генератора. При параллельном соединении контуров компаундирования (обмотки w_r и w_c на рис. 4.1) ток возбуждения "гасят" путем замыкания рубильника *QS* (рис. 4.7, а). При этом цепь обмотки w_r не размыкается и на выпрямителе *UZ* перенапряжения не возникает. Для ускорения гашения тока возбуждения в цепь ОБГ путем замыкания рубильника *QS* вводят полупроводниковый диод или варистор *R* с нелинейным сопротивлением (рис. 4.7, б), возрастающим по мере уменьшения ЭДС самоиндукции ОБГ. Когда выходные контуры компаундирования соединены последовательно, гашение тока возбуждения происходит при введении в цепь ОБГ резистора *R* (рис. 4.7, в). Сопротивление цепи возбуждения оказывается больше критического значения, и процесс самовозбуждения нарушается.

4.3. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения генераторов типа МСС

Генераторы типа МСС установлены на большом количестве судов отечественной постройки. Схема их СВАРН сравнительно проста (рис. 4.8, а), система показала себя надежной в эксплуатации. Основные элементы, входящие в систему: синхронный генератор *G*; трансформатор компаундирования *TK*; блок силовых выпрямителей *UZ1* (включен на напряжение суммирующей обмотки w_c и подает питание на обмотку *ОБГ*); генератор начального возбуждения *ГНВ* с выпрямителем *UZ2*; управляемый дроссель с рабочими обмотками w_r и обмоткой управления w_c ; компенсатор реактивной мощности (*ТА*, *РЗ*) с выключателем *SA*; резистор термокомпенсации *RK*; автоматический

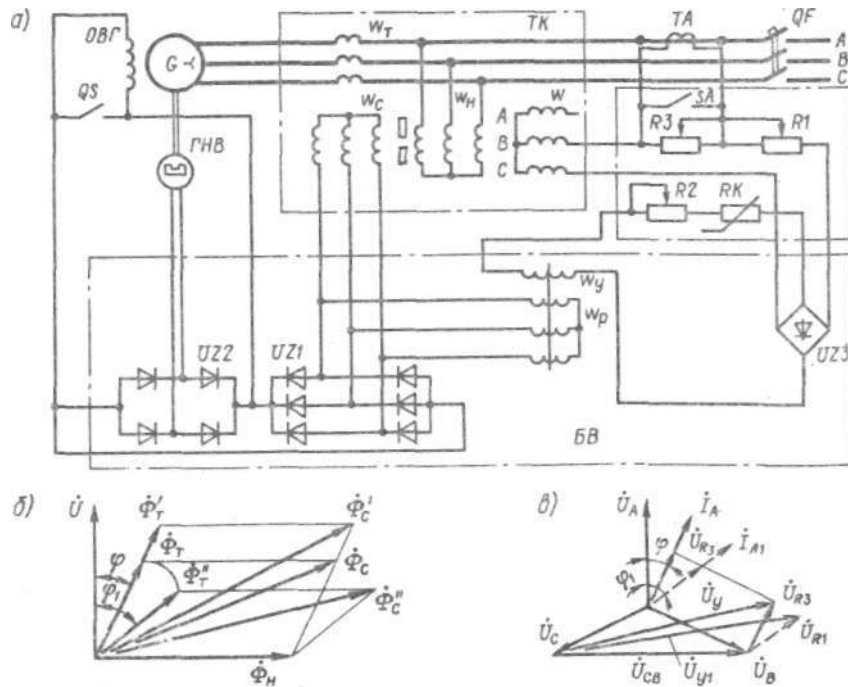


Рис. 4.8. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения СГ типа МСС:

a — принципиальная схема; *б, в* — векторные диаграммы магнитных потоков соответственно ТК и напряжений КН

выключатель *QF* генератора; выключатель тока возбуждения *QS*;
• дополнительные резисторы *R1, R2, R3*.

Вторичная обмотка *iv* трансформатора компаундирования и выпрямитель *UZ3* образуют цепь питания обмотки управления дросселя насыщения. Все 3-фазные обмотки *TK* расположены на 3-стержневом магнитопроводе. У стержня, на котором расположена обмотка w_p , установлен магнитный шунт, который увеличивает индуктивное сопротивление этих обмоток. Векторы тока и магнитного потока Φ_H обмоток w_H отстают от вектора напряжения на угол примерно 90° . Процесс амплитудно-фазового компаундирования поясняется с помощью векторной диаграммы, представленной на рис. 4.8, б.

В режиме начального возбуждения генератора *ГНВ* через выпрямитель *UZ2* обеспечивается устойчивое начальное возбуждение. В номинальном режиме работы СГ большее напряжение на выходе выпрямителя *UZ1* запирает выпрямитель *UZ2* и *ГНВ* оказывается отключенным. Часть энергии суммирующих обмоток w_c поступает в рабочие обмотки

w_p управляемого дросселя. При увеличении тока в обмотке управления w сердечник дросселя подмагничивается, поэтому индуктивное (полное) сопротивление обмоток w_p уменьшается. Увеличивается ток в этих обмотках (ток отбора), а значение тока в *OBГ* и напряжение генератора уменьшаются. Через управляемый дроссель происходит регулирование ЭДС генератора по напряжению и изменению температуры (температурная компенсация), а также распределение реактивных нагрузок при параллельной работе СГ.

При уменьшении напряжения СГ уменьшается напряжение на обмотках w и выпрямителе *UZ3*. Уменьшению тока в обмотке w_y будет соответствовать размагничивание магнитопровода дросселя и уменьшение тока в обмотках w_c . Следовательно, ток выпрямителя *UZ1* увеличится и напряжение СГ будет увеличено до стабилизируемого значения. При нагреве СГ падение напряжения на его обмотках увеличится и при неизменной ЭДС генератора напряжение уменьшится. При нагреве сопротивление резистора *RK*, встроенного в корпус СГ, увеличится, ток в обмотках w_y уменьшится, индуктивное сопротивление обмоток w_p увеличится, что приведет к увеличению тока возбуждения и напряжения СГ.

При одиночной работе генератора выключатель *SA* замкнут и ЭДС трансформатора тока *TA* не влияет на работу регулятора. При параллельной работе СГ выключатель *SA* разомкнут и ЭДС трансформатора *TA* создает ток через резистор *R3*, на нем возникает падение напряжения U_{R3} . На выпрямитель *UZ3* поступает напряжение управления $U_y = U_{CB} + U_{R3}$. При увеличении реактивного (индуктивного) тока генератора вектор полного тока фазы *A* (I_A) переместится в положение I_{A1} (рис. 4.8, в) и вектор падения напряжения на резисторе *R3* тоже переместится в положение U_{R1} . Напряжение управления $U_{y1} = U_{CB} + U_{R1}$ увеличится, что приведет к уменьшению ЭДС генератора, и часть индуктивной нагрузки автоматически перейдет на второй генератор. С помощью резистора *R2* можно изменять уставку стабилизации напряжения, а с помощью резистора *R1* — проводить настройку.

СВАРН данного типа обеспечивает стабилизацию напряжения СГ с отклонением $\pm 2,5\%$ номинального при условиях; установившегося температурного режима; изменении тока нагрузки от 0 до номинального значения; изменении коэффициента мощности от 0,7 до 0,9; колебаниях частоты вращения ПД в пределах $\pm 2\%$ номинальной. При параллельной работе СГ обеспечивается пропорциональное распределение реактивных нагрузок с отклонением не более $\pm 10\%$ номинальной реактивной нагрузки наибольшего генератора. При прямом пуске АД наибольшей мощности время восстановления напряжения составляет не более 0,8 с.

Настройку СВАРН начинают на холостом ходу путем регулирования воздушного зазора между магнитным шунтом и магнитопроводом *TK*. Необходимо, чтобы при частоте тока 51 Гц и отключенном регулируемом дросселе ЭДС генератора составляла $(1,10+1,13)I_{ном}$. После

этого включают цепь дросселя и резистором $R2$ уставки устанавливают нужное значение ЭДС (при включенном выключателе SA). Затем, переводя подвижной контакт резистора $R2$ в крайнее положение, проверяют диапазон изменения уставки (от 1,02 до $0,93E_{ном}$). Если диапазон регулирования нужно сместить, то это делают с помощью резистора $R1$. Далее генератор нагружают. Если при этом наблюдается резкое падение напряжения, то чередование фаз подключения обмотки w_H изменяют.

При любых неисправностях СВАРН нарушается режим возбуждения. Например, если СГ не возбуждается, то возможны обрыв цепи $ОВГ$ или выпрямителя $UZ1$ или их повреждение. Замкнутый в режиме пуска выключатель QS также исключает процесс самовозбуждения. При обрывах в цепях обмоток w_H и w_C , а также выпрямителей $UZ1$ и $UZ2$ напряжение холостого хода генератора будет пониженным, а при обрывах в цепи обмотки w_C напряжение СГ будет повышенным.

4.4. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения генераторов типа ГМС

Генераторы типа ГМС отечественного производства мощностью 200- 500 кВт, напряжением 230 и 400 В, частотой вращения 500 об/мин, с номинальным коэффициентом мощности 0,8 устанавливаются на судах отечественной постройки. В состав СВАРН этих генераторов, работающую по методу комбинированного управления, входят следующие элементы (рис. 4.9):

- синхронный генератор G с обмоткой возбуждения;
- генератор начального возбуждения $ГНВ$ с выпрямителем $UZ2$;
- трансформатор компаундирования TK с магнитным шунтом;
- блок силовых выпрямителей $UZ1$ с тиристором VS ;
- корректор напряжения $КН$;
- блок питания $БП$ (может не входить в комплект СВАРН);
- трансформатор тока $ТА$;
- рубильник гашения поля возбуждения QS .

Токовые обмотки w_T трансформатора компаундирования включены последовательно с обмотками статора СГ. Обмотки напряжения w_H соединены в "звезду" и подключены параллельно силовым обмоткам генератора. Обмотка возбуждения генератора получает питание через полупроводниковый выпрямитель $UZ1$ от вторичных, суммирующих обмоток w_C , соединенных в "звезду". Измерительные обмотки w_K соединены через резистор $R1$ и подключены на входные выводы 1 и 3 корректора. Для питания корректора $КН$ могут использоваться обмотки w_K или блок питания $БП$. Схемы включения обмоток w_K и трансформаторов $TV1$, $TV2$ блока питания позволяют получить на входе корректора (в точках 4 и 5) напряжение питания $КН$, совпадающее по фазе с напряжением U_{AB} .

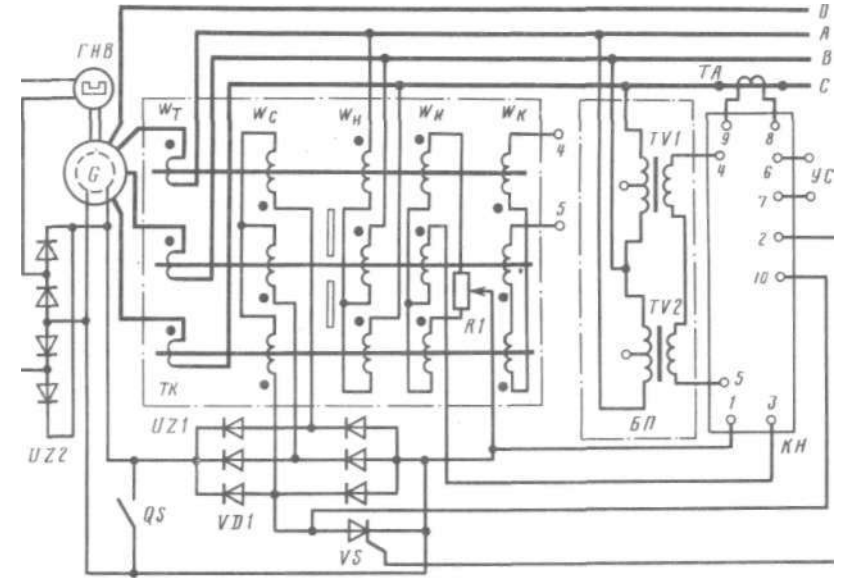


Рис. 4.9. Принципиальная схема системы возбуждения и автоматического регулирования напряжения СГ типа ГМС

Регулирование напряжения СГ по значению и характеру нагрузки (амплитудно-фазовое компаундирование) обеспечивается трансформатором TK , так же как и в схеме СВАРН генераторов типа МСС (векторные диаграммы работы TK приведены на рис. 4.8, б).

Воздействие корректора напряжения $КН$ на систему возбуждения осуществляется с помощью тиристора VS отбора. В процессе регулирования при положительном потенциале на аноде диода $VD1$ с помощью $КН$ открывается тиристор VS . В результате шунтируются диод $VD1$ и обмотка возбуждения генератора. Изменяя угол управления тиристора, удастся регулировать напряжение СГ в заданных пределах.

Генератор начального возбуждения $ГНВ$ представляет собой 1-фазный генератор переменного тока, магнитный поток которого создается полюсами из постоянных магнитов, установленными на роторе. Обмотка статора $ГНВ$ подключена к обмотке возбуждения генератора через выпрямитель $UZ2$. Статор $ГНВ$ крепится к корпусу блока контактных колец СГ и представляет собой кольцеобразное ярмо с четырьмя выступающими полюсами. Ярмо набрано из листов электротехнической стали. На полюсах расположены 4 катушки обмотки статора, соединенные в 2 параллельные ветви. Максимальное напряжение $ГНВ$ составляет 40-50 В, в то время как номинальное напряжение на выходе выпрямителя $UZ1$ - около 80 В, поэтому после самовозбуждения выпрямитель $UZ2$ запирается.

В качестве Кн в рассматриваемой схеме СВАРН используется блок корректора напряжения типа БКН-7 (рис. 4.10, а). Номинальное напряжение питания блока корректора составляет 36 В переменного тока и подается на выводы 4 и 5.

Регулирование напряжения СГ осуществляется методом отбора тока силового напряжения U_{ZI} (см. рис. 4.9) на шунтирующий тиристор VS . В процессе работы КН импульс напряжения регулирования с выводов 1, 2 корректора подается на катод и управляющий электрод силового тиристора VS . Степень воздействия силового тиристора на выпрямитель зависит от значения фазового сдвига импульса управления тиристора относительно момента времени возникновения положительного потенциала на аноде диода $VD1$. Угол фазового сдвига опре-

деляется значением отклонения входного напряжения измерительной обмотки i_n трансформатора компаундирования. Измеряемое с помощью обмотки n_n напряжение СГ подается на выводы 1 и 3 блока корректора (по фазе это напряжение совпадает с напряжением U_{AB}). Характеристика регулирования корректора напряжения СВАРН обеспечивает увеличение угла управления тиристора при уменьшении напряжения генератора и, наоборот, уменьшение угла управления при увеличении напряжения СГ.

Блок корректора состоит из следующих узлов (см. рис. 4.10, а);

цепи уставки заданного напряжения, состоящей из резисторов $R2-R7$, на которые через выводы 1, 3 подается напряжение U_{AB} измерительных обмоток w_k ;

источника напряжения постоянного тока, состоящего из диодов $VD3, VD4$, резисторов $R10, R12, R13$, фильтрующего конденсатора $C2$ и стабилитронов $VD8, VD10$;

устройства формирования пилообразного напряжения, состоящего из конденсатора $C3$, резистора #9, диода $VD6$, эмиттерного повторителя на транзисторе $VT2$ и резисторах $R14, R16$;

устройства сброса, состоящего из транзистора $VT1$, конденсатора $C1$, резисторов $R8, R11$, стабилитрона $VD2$ и защитного диода $VD5$;

триггера, состоящего из транзисторов $VT3, VT4$, резисторов $R17, R18, R20$, цепи положительной обратной связи на диоде $VD9$ и резисторе $R19$, стабилитрона $VD8$ и диода $VD7$;

устройства формирования импульсов управления тиристора VS (см. рис. 4.9), состоящего из трансформатора $TV4$, тиристора $VS1$, стабилитрона $VD13$, конденсатора $C4$, защитных диодов $VD14, VD15$, резисторов $R25, R26$;

устройства параллельной работы, состоящего из трансформатора $TV3$, резисторов $R2, R3$ и переключателя режимов с контактами $QS1, QS2$;

устройства контроля полярности напряжения на силовом тиристоре VS , состоящего из транзистора $VT5$, резисторов $R22, R23$, включенных через вывод 10.

На вход КН (точки 1, 3) подается синусоидальное напряжение управления Цдв. пропорциональное напряжению генератора, а на выводы 4, 5 подается напряжение питания корректора (см. рис. 4.9 и 4.10, а). Через резисторы $R7, R6, R5, R9$ и диод $VD6$ напряжением управления заряжается конденсатор $C3$ управления. Когда конденсатор $C3$ заряжается через резисторы и диод $VD6$, напряжение на нем не может превысить напряжение пробоя стабилитрона $VD8$ и транзистор $VT3$ остается закрытым (напряжение конденсатора $C3$ приложено к базе - эмиттеру транзистора $VT3$ через резистор $R15$ и стабилитрон $VD8$). Напряжение на конденсаторе $C3$ может превысить напряжение пробоя стабилитрона $VD8$, если в дальнейшем откроется транзистор $VT2$ и конденсатор $C3$ продолжит заряд через него.

Падение напряжения на резисторе $R14$ является напряжением

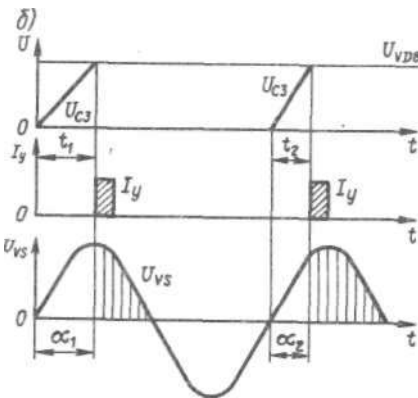
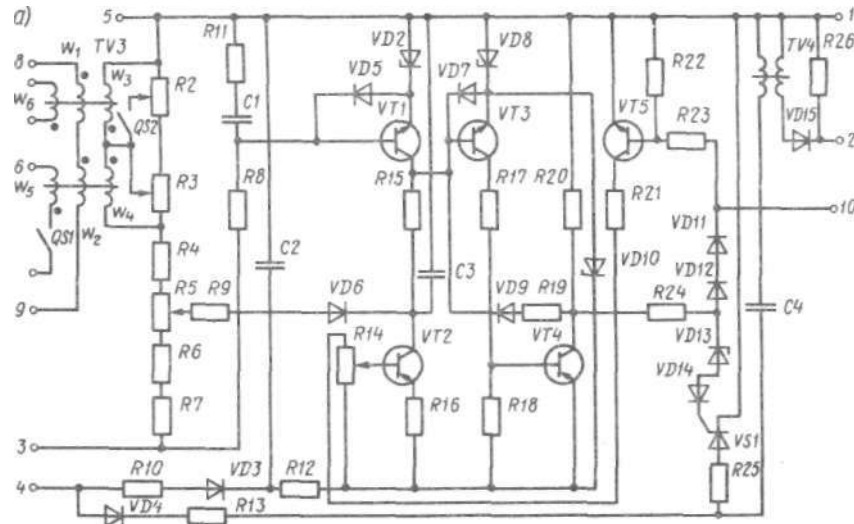


Рис. 4.10. Корректор напряжения системы возбуждения и автоматического регулирования напряжения СГ типа ГМС:
а — принципиальная схема; б — графики формирования сигналов управления

управления транзистора $VT2$. Если транзистор $VT5$ закрыт, то через резистор $R14$ не протекает ток и транзистор $VT2$ остается закрытым. Когда транзистор $VT5$ находится в открытом состоянии, на резисторе $R14$ возникает падение напряжения и транзистор $VT2$ открывается; конденсатор $C3$ продолжит заряд и при напряжении $U_{c3} > U_{VDS}$ откроется транзистор $VT3$. В результате через резистор $R18$ потечет ток, на нем возникнет падение напряжения, транзистор $VT4$ откроется. С коллектора транзистора $VT4$ через резистор $R24$ на катод стабилитрона $VD13$ будет подан положительный потенциал и он откроется. Возникнет ток управления тиристором $VS1$, протекающий по цепи: вывод $4-R10-VD3-R12-VT4-R24-VD13-VD14$ - управляющий электрод тиристора $VS1$ - катод - вывод 1 . Через открытый тиристор $VS1$ разрядится конденсатор $C4$. Со вторичной обмотки трансформатора $TV4$ через выводы $1, 2$ на силовой тиристор VS (см. рис. 4.9) поступит импульс напряжения управления.

Необходимо, чтобы отпирающие импульсы поступали на силовой тиристор VS только тогда, когда на аноде диода $VD1$ создается положительный потенциал. Для контроля полярности мгновенного напряжения на диоде $VD1$ в схеме предусмотрена электрическая связь силового выпрямителя с корректором через вывод 10 . Только при положительном потенциале на выводе 10 откроются транзисторы $VT5$ и $VT2$, переключатся транзисторы $VT3$ и $VT4$, откроется тиристор $VS1$. При отрицательном потенциале на аноде диода $VD1$ и на выводе 10 транзисторы $VT5$ и $VT2$ запираются, заряд конденсатора $C3$ не может продолжаться, транзисторы $VT3$ и $VT4$ не переключатся.

При номинальном значении напряжения СГ время заряда конденсатора $C3$ до напряжения $U_{c3} > U_{VDS}$ составляет t_1 (рис. 4.10, б). При увеличении напряжения СГ и входного напряжения КН время заряда конденсатора сократится до значения t_2 . Раньше возникнет импульс управления U_y , и силовой тиристор будет открываться при значении угла управления $\alpha_2 < \alpha_1$ что приведет к уменьшению тока возбуждения и напряжения СГ до заданного уровня. При уменьшении напряжения СГ время заряда конденсатора $C3$ увеличится, что приведет к увеличению угла управления силового тиристора, и напряжение СГ увеличится до стабилизируемого значения.

Для обеспечения требуемой точности работы корректора необходимо, чтобы заряд конденсатора $C3$ каждый период всегда начинался с одного и того же уровня напряжения. Для принудительного разряда конденсатора в конце каждого периода измерения используется устройство сброса. В начале положительной полуволны контролируемого напряжения заряжается конденсатор $C1$. Напряжение конденсатора приложено к базе-эмиттеру транзистора $VT1$ через стабилитрон $VD2$. Время заряда конденсатора $C1$ до значения $U_{ci} > U_{VD2}$ всегда больше времени заряда конденсатора $C3$ до значения $U_{Q3} > U_{VDS}$, поэтому после формирования корректором управляющего импульса открывается транзистор $VT1$ и через него разряжается конденсатор $C3$.

Устройство параллельной работы обеспечивает 3 режима работы СГ:

- автономной работы;
- параллельной работы с другими СГ, имеющими аналогичные СВАРН (с уравнительными соединениями по обмоткам трансформаторов $TV3$);
- параллельной работы с сетью или другими СГ (со статизмом по току).

В устройстве параллельной работы СГ обмотки w_1, w_2 (см. рис. 4.10, а) включены на вторичную обмотку трансформатора тока ТА (см. рис. 4.9). Обмотки w_3, w_4 включены встречно, и их ЭДС создают на резисторах $R2, R3$ падения напряжений противоположной фазы. Обмотки w_5, w_6 служат для подключения уравнительных связей при параллельной работе СГ. В устройстве параллельной работы происходит электромагнитное сложение сигналов по току, пропорциональному значению тока фазы C (в которую включен трансформатор TA), и напряжению на входе блока (выводы $1, 3$), пропорциональному значению линейного напряжения $\{U_{\Delta}\}$. Суммирование сигналов осуществляется по принципу, показанному на векторной диаграмме рис. 4.4, б. Входное (результатирующее) напряжение на резисторах $R2, R3$ определяется разностью падений напряжений на каждом резисторе и по фазе совпадает с направлением вектора тока I_Q .

В автономном режиме работы генератора контакт $QS1$ (см. рис. 4.10, а) разомкнут (уравнительное соединение не включено), а контакт $QS2$ замкнут, значения сопротивлений резисторов $R2, R3$ одинаковы. В этом случае падения напряжений на резисторах равны. Так как их векторы направлены встречно, дополнительное напряжение на вход корректора не поступает.

Второй режим работы выбирается при замкнутых контактах $QS1, QS2$ и при $R2=R3$, когда параллельно работают СГ с одинаковыми СВАРН. Контакты $QS1$ через уравнительное соединение соединяют обмотки w_5 одного генератора и обмотки w_6 другого генератора. При равенстве реактивных нагрузок СГ магнитные потоки соединенных обмоток одинаковы и ток в уравнительном соединении не протекает. При нарушении равенства реактивных нагрузок СГ на обмотках w_5 и w_6 , включенных через уравнительное соединение, будут создаваться неодинаковые магнитные потоки и через них потечет уравнительный ток. Так как обмотки w_5 и w_6 расположены на разных стержнях трансформаторов $TV3$, то в схеме одного корректора увеличится магнитный поток обмотки w_4 , а в схеме корректора второго генератора увеличится магнитный поток обмотки w_3 . На входе КН генератора, перегруженного реактивным током, напряжение увеличится, а на входе КН генератора с относительно меньшей реактивной нагрузкой напряжение уменьшится. Это приведет к соответствующему изменению токов возбуждения генераторов и выравниванию их реактивных нагрузок.

В третьем режиме работы СГ (со статизмом по току) устанавливается определенное неравенство сопротивлений резисторов $R2, R3$ путем

воздействия на их подвижные контакты или размыкания контакта $QS2$ (при замкнутом $QS1$). В результате нарушается равенство падений напряжений на резисторах и, в зависимости от соотношений их сопротивлений, при изменении реактивной нагрузки генератора происходит соответствующее регулирование тока возбуждения: напряжение СГ увеличится (генератор работает с отрицательным статизмом) или уменьшится (генератор работает с положительным статизмом). Этот режим работы, как правило, используется при параллельной работе СГ с береговой сетью (со статизмом по напряжению до 5 %).

В автоматическом режиме работы СВАРН генераторов типа ГМС обеспечивает поддержание напряжения с погрешностью $\pm 2,5\%$ номинального напряжения при йлавном изменении нагрузки от 0 до 100 % номинальной: $\cos \varphi = 0,5-0,8$ (с учетом изменения температуры генератора от начального значения до установившегося в нагретом состоянии). При этом частота вращения ПД генератора может изменяться в пределах $\pm 2,5\%$ номинального значения. В случае наброса (сброса) 100 %-ной нагрузки по току напряжение изменяется в пределах $\pm 20\%$ установившегося значения. Время восстановления напряжения до установившегося (с погрешностью $\pm 2,5\%$ номинального) не должно превышать 0,8 с. После отключения КЗ напряжение восстанавливается автоматически, время восстановления (с погрешностью $\pm 2,5\%$ номинального значения) не превышает 2 с. При изменениях суммарной нагрузки в пределах от 20 до 100 % неравномерность распределения реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами не превышает 10 % номинальной реактивной мощности наименьшего СГ, если неравномерность распределения активных мощностей не превышает 10 % номинальной мощности наименьшего СГ.

С помощью резистора $R5$ можно изменять уставку напряжения в пределах $\pm 5\%$ номинального напряжения (при $\cos \varphi = 0,8$) во всем диапазоне нагрузок и рабочих температур генератора.

Неисправности СВАРН проявляются в виде нарушения режима возбуждения. Любая неисправность вызывает увеличение или уменьшение тока возбуждения по сравнению с необходимым значением тока в данном режиме работы. При одиночной работе СГ неисправность проявляется в отклонении напряжения от номинального, а при параллельной работе - в повышении или понижении реактивной мощности СГ. Возможные неисправности СВАРН перечисляются в инструкциях по эксплуатации.

4.5. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения типа TUR/A

Система типа TUR/A (Польша) используется для судовых СГ мощностью 100-1600 кВ-А напряжением 400 или 500 В, частотой 50 или 60 Гц с номинальным коэффициентом мощности 0,8. Данная СВАРН не имеет трансформатора компаундирования и работает по отклонению напряжения (рис. 4.11).

Устройство и принцип действия. Напряжение между фазой A и нулевой точкой (U_{A0}) подается на управляемый выпрямитель, состоящий из диодов $VD21, VD22$ и тиристоров $VS1, VS2$. Ток возбуждения генератора и его напряжение пропорциональны степени открытия тиристоров $VS1, VS2$. Тиристоры управляются с помощью блокинг-

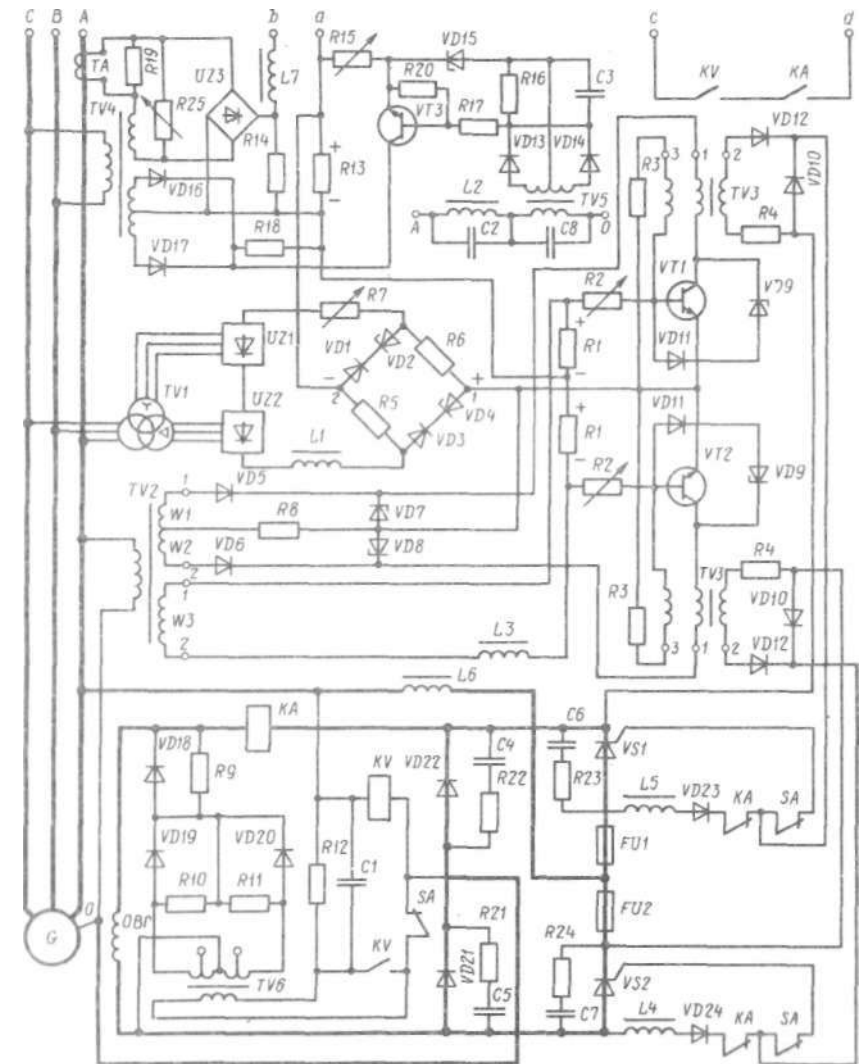


Рис. 4.11. Принципиальная схема системы возбуждения и автоматического регулирования напряжения типа TUR/A

генератора, собранного на транзисторах $VT1$, $VT2$. Напряжение управления ими формируется измерительной частью схемы (элементы $TV1$, $UZ1$, $UZ2$, $VD1$ - $VD4$, $R5$, $R6$, $R7$), включенной на напряжение генератора.

Часть схемы, собранная на трансформаторах $TV4$, TA , выпрямителе $UZ3$, резисторах $R13$, $R14$, $R19$ и дросселе $L7$, служит для автоматического распределения реактивных нагрузок при параллельной работе СГ. Схема, в которую входят транзистор $VT3$ и трансформатор $TV5$, при частоте СГ ниже $0,8/\omega_{ном}$ ограничивает увеличение тока возбуждения.

Устойчивое самовозбуждение СГ на холостом ходу обеспечивается устройством, состоящим из элементов $TV6$, KA , KV , CI , $R9$ - $R12$, $VD18$ - $VD20$. В этом режиме цепи управления тиристорами $VS1$ и $VS2$ шунтируются замкнутыми контактами реле KA и SA .

Начальное возбуждение СГ. В номинальном режиме работы тиристоры $VS1$, $VS2$ управляются с помощью блокинг-генератора ($VT1$, $VT2$) и под действием напряжения U_{A0} протекает ток возбуждения в обмотке $OBГ$.

В процессе самовозбуждения СГ блокинг-генератор не работает и в это время тиристоры открываются с помощью схемы начального возбуждения: ЭДС остаточного намагничивания (примерно 3,5 В в точках AO) подводится к трансформатору TVS через резистор $R12$ и замкнутый контакт SA . При таком значении ЭДС остаточного намагничивания самовозбуждение генератора не произойдет.

При частоте, несколько меньшей номинальной, в резонансном контуре, состоящем из конденсатора CI и индуктивности первичной обмотки трансформатора TVS , наступает резонанс напряжения и через трансформатор $TV6$, диоды $VD18$, $VD19$, $VD20$ в обмотку возбуждения генератора трансформируется импульс повышенного напряжения: ЭДС самовозбуждения увеличивается (примерно до 7 В). В результате ток управления тиристором $VS1$ протекает по цепи: фаза A - $L6$ - предохранитель $FU1$ - сглаживающий дроссель $L5$ - диод $VD23$ - замкнутые контакты KA - SA - управляющий электрод тиристора $VS1$ - его катод - обмотка реле KA - $OBГ$ - $VD21$ - нулевая точка. Во второй полупериод напряжения u_{ω} через дроссель $L4$, диод $VD24$, контакты KA и SA образуется цепь управления тиристором $VS2$ и он тоже открывается. Происходит возбуждение СГ, включаются реле KA и KV возбуждения. Контакты KV шунтируют трансформатор TVS , и контур начального возбуждения отключается. Цепь начального управления тиристорами $VS1$ и $VS2$ размыкается контактами KA . Теперь тиристоры управляются с помощью блокинг-генератора. Через замкнувшиеся контакты KV , KA и выводы c , d напряжение подается на включающее устройство АВ генератора.

Измерительная часть схемы. Включенный на 3-фазное напряжение СГ, измерительный трансформатор $TV1$ имеет две вторичные обмотки: одна включена по схеме "открытый треугольник" (утроение частоты), вторая - по схеме "звезда". Напряжения вторичных обмоток выпрямляются и последовательно суммируются выпрямителями $UZ1$, $UZ2$.

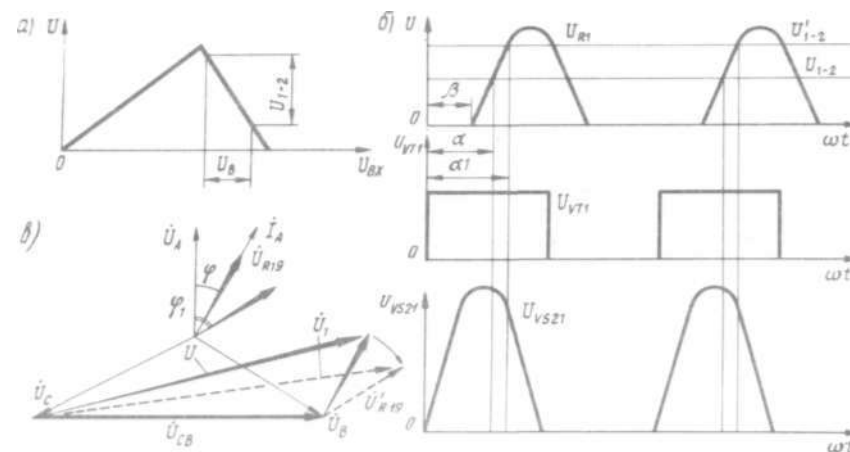


Рис. 4.12. Графики сигналов управления (а, б) и векторная диаграмма напряжений (в) системы возбуждения и автоматического регулирования напряжения типа ТУР/А

Такая схема обеспечивает минимальную пульсацию выпрямленного напряжения, поступающего на мост сравнения, состоящий из диодов $VD1$, $VD3$, стабилитронов $VD2$, $VD4$ и резисторов $R5$, $R6$. Параметры моста сравнения подобраны так (рис. 4.12, а), что напряжение U_{i-2} на выходе (в точках 1 и 2) больше входного напряжения U_B .

Блокинг-генератор собран на транзисторах $VT1$ и $VT2$. На их коллекторно-эмиттерные переходы подаются выпрямленные и стабилизированные напряжения со вторичных обмоток t_1 и w_2 трансформатора $TV2$. Напряжения питания прямой полярности поступают на каждый транзистор через половину периода. При помощи элементов $R8$, $VD7$, $VD8$ импульсы питания приобретают вид почти прямоугольных импульсов (рис. 4.12, б). Напряжение U_{i-2} управления моста сравнения поступает на транзисторы как напряжение отрицательного смещения: положительный потенциал точки 1 подан на эмиттеры, отрицательный точки 2 через резисторы $R13$, $R1$ и $R2$ - на базы.

Другое напряжение управления снимается со вторичной обмотки w_3 трансформатора $TV2$. Вектор этого напряжения сдвинут относительно ментора напряжения питания транзисторов на угол β (включая дроссель $L7$). Напряжение U_{w3} создает ток, протекающий через резисторы $R1$. Мгновенная полярность падений напряжений на резисторах $R1$ (показана на схеме) соответствует положительной мгновенной полярности ЭДС в точке / обмотки w_3 трансформатора $TV2$. В этот полупериод полярность падения напряжения на резисторе $R1$, включенном в схему транзистора $VT1$, соответствует созданию тока управления. Поэтому напряжение U_{R1} действует встречно с напряжением U_{i-2} моста и равнения. В это же время на резисторе $R1$, включенном в схему $VT2$,

напряжение U_m действует согласно с ξ_{1-2} и увеличивает значение напряжения отрицательного смещения.

При отклонениях напряжения СГ изменяются напряжения U_{1-2} и «и3» причем напряжение U_{1-2} изменяется в большей степени. Для упрощения графика (см. рис. 4.12, б) принято, что значение $C_{\omega 3}$ остается прежним. При номинальных значениях напряжений СГ и ξ_{1-2} напряжение U_{R1} превысит напряжение U_{1-2} при угле управления α . Этому углу соответствует момент открытия транзистора $VT1$ и тиристора $VS1$. Импульс тока в обмотке 1 импульсного трансформатора $TV3$ индуцирует напряжение управления U во вторичной обмотке 2. Положительный потенциал U через $VD12$ и замкнутый контакт SA поступает на управляющий электрод тиристора $VS1$, а отрицательный через $R4$ - на катод тиристора.

При повышении напряжения СГ напряжение U_{1-2} увеличится до значения U_{1-2} . Теперь транзистор и тиристор будут открываться с большей задержкой. Напряжение, подаваемое на обмотку $OB1$, уменьшится, и напряжение СГ будет уменьшено до стабилизируемого значения. Во вторые полупериоды напряжения $1/d$, мгновенная полярность напряжений на $R1$ изменится на противоположную, поэтому открываться будут $VT2$ и $VS2$. Обмотка 3 трансформатора $TV3$ служит для создания обратной гибкой положительной связи, фиксирующей точку отпирания транзистора.

При помощи стабилитронов $VD9$ транзисторы защищены от пробоя высоким напряжением питания. Диоды $VD12$ исключают подвод отрицательных потенциалов на управляющие электроды тиристоров, а с помощью диодов $VD10$ цепи управления тиристоров защищены от пробоя повышенным напряжением управления. Падение напряжения на $VD11$ используется для управления транзисторами, и в то же время включением этих диодов защищают транзисторы от пробоя высоким напряжением управления.

Распределение реактивных нагрузок. При параллельной работе СГ контуры автоматического распределения реактивных нагрузок обоих генераторов подключаются в общую схему через выводы B , a и уравнивательные соединения (см. рис. 4.11). Напряжение питания выпрямителя $UZ3$ составляет $\dot{U} = \dot{U}_{R19} + \dot{U}_{CB}$ (рис. 4.12, в). При увеличении реактивной нагрузки на генератор напряжение на выпрямителе $UZ3$ станет равным ξ . При равенстве реактивных нагрузок параллельно работающих генераторов напряжения на выходах выпрямителей $UZ3$ генераторов одинаковы: токи через уравнивательные соединения и резисторы $R13$ не текут.

Предположим, что первый СГ нагружен реактивной нагрузкой больше, чем второй СГ. В этом случае напряжение на выходе выпрямителя $UZ3$ первого СГ повысится и между контурами распределения реактивных нагрузок через уравнивательные соединения потечет ток. На резисторе $R13$ первого СГ возникает падение напряжения постоянного тока с полярностью, указанной на схеме. Напряжение ξ_{1-2} действует

согласно с напряжением ξ_{1-2} . Для транзистора $VT1$ увеличилось напряжение отрицательного смещения, как и в случае повышения напряжения генератора. Изменение параметров регулирования СВАРН приведет к уменьшению ЭДС первого СГ, чему соответствует уменьшение его реактивной нагрузки.

В то же время в СВАРН второго СГ падение напряжения на $R13$ имеет противоположную полярность и действует встречно с напряжением ξ_{1-2} . В схеме СВАРН второго СГ параметры регулирования изменятся так, что ЭДС этого генератора увеличится, чему соответствует увеличение его реактивной нагрузки.

Когда СГ работают отдельно, уравнивательные соединения на выводах B , a разомкнуты. Нагрузочный резистор $R14$ защищает выпрямитель $UZ3$ от токов перегрузки.

Ограничение тока возбуждения при понижении частоты. Известно, что ЭДС генератора и его напряжение прямо пропорциональны значению частоты, которая находится в прямой зависимости от частоты вращения ПД генератора. При изменениях частоты в пределах 0,8-1,2/ и соответствующих изменениях напряжения генератора СВАРН обеспечивает стабилизацию напряжения генератора. При низких частотах ток возбуждения СГ может оказаться недопустимо большим, и его ограничивают с помощью схемы, собранной на транзисторе $VT3$, который соединен с трансформатором $TV4$ через диоды $VD16$, $VD17$ и резисторы $R13$, $R15$. Цепь управления транзистора $VT3$ через стабилитрон $VD15$ и диоды $VD13$, $VD14$ подключена к трансформатору $TV5$, на который последовательно с резонансным контуром $L2-C2$ подается напряжение U_{A0} .

При частоте $> 0,8/f_{ном}$ контур имеет достаточно высокое сопротивление, поэтому напряжение в цепи управления транзистора недостаточно для пробоя стабилитрона $VD15$, вследствие чего транзистор $VT3$ остается закрытым, не влияя на работу СВАРН. При $< 0,8/f_{ном}$ в контуре наступит резонанс, сопротивление $L2-C2$ снижается, что приводит к увеличению напряжения на $TV5$. Пробивается $VD15$, и открывается $VT3$. Коллекторный ток транзистора $VT3$ создает падение напряжения на резисторе $R13$ с указанной на схеме полярностью. Как отмечалось выше, напряжение $U_{из}$, действуя согласно с U_{1-2} , изменит параметры регулирования так, что ток возбуждения СГ окажется ограниченным ξ пмчепия не более 1,2/ $f_{ном}$.

С помощью выключателя SA размыкают цепи начального и основного управления тиристорами $VS1$, $VS2$ в случае КЗ генератора. Тиристоры запираются, и цепь возбуждения СГ оказывается разомкнутой. Перегрузочная способность тиристоров значительно ниже перегрузочной способности других элементов схемы возбуждения. Для защиты от перегрузок и токов КЗ в цепи возбуждения применена максимальная токовая защита, обеспечиваемая быстродействующими предохранителями $FL7$ и $Ft/2$.

Погрешность стабилизации напряжения генератора посредством

СВАРН типа TUR/A составляет $\pm 1,7\%$ номинального при изменении нагрузки от нуля до номинального значения, при изменениях коэффициента мощности в пределах 0,6- 1,0 и возможных колебаниях частоты в пределах 47,5-52,5 Гц. Неравномерность распределения реактивной мощности при параллельной работе СГ не превышает 3 % номинальной реактивной мощности меньшего СГ.

Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения типа TUR/A разных модификаций широко используется на морских и речных судах, поэтому следует обратить внимание на ее конструктивные и эксплуатационные особенности. Так, регулятор размещен в открытом металлическом каркасе с примерными габаритными размерами 600x500x500 мм (масса около 85 кг). Все трансформаторы (кроме TV3), силовые выпрямители и тиристоры, предохранители, реле KV, часть дросселей и конденсаторов установлены в каркасе стационарно. Остальные элементы схемы СВАРН установлены в отдельных выдвижных панелях. Регулятор типа TUR/A имеет 6 таких панелей. На переднюю панель регулятора выведены: выключатель SA возбуждения, регулятор R7 уставки, регулятор R25 контура распределения реактивных нагрузок.

Имея хорошие технико-экономические показатели, СВАРН типа TUR/A не лишена недостатков. Например, не вырабатываются токовые импульсы регулирования, поэтому при КЗ ток возбуждения уменьшается еще до срабатывания защиты, что усложняет ее настройку. Опыт эксплуатации показал, что при изготовлении регулятора не совсем правильно выбран тепловой режим элементов. Отдельные устройства регулятора перегреваются, что приводит к преждевременному высыханию изоляции. Во избежание отказов можно рекомендовать применение дополнительной вентиляции, особенно при работе судов в тропической зоне. Конкретные неисправности регулятора напряжения и характерные признаки их проявления перечисляются в судовой технической документации. Характер неисправности позволяет определить, в какой части схемы возникла неисправность. Обычно неисправную панель заменяют. Неисправность в схеме панели находят путем контрольных измерений параметров отдельных элементов схемы.

Контрольные вопросы-задания

1. Почему в процессе работы СЭЭС напряжение генератора может отклоняться от номинального значения?
2. Какие требования по стабилизации напряжения СЭС предъявляются к СВАРН?
3. По каким принципам управления работают СВАРН?
4. Каково назначение компенсатора реактивной мощности в СВАРН?
5. Перечислите методы самовозбуждения СГ.
6. Зачем нужны корректоры напряжения в СВАРН?
7. Из каких основных элементов состоит СВАРН генераторов типа МСС?
8. Как изменяются параметры схемы СВАРН генераторов типа МСС при отклонениях напряжения и температуры?

9. Каким образом с помощью корректора напряжения изменяется напряжение генератора типа ГМС?

10. Какие элементы входят в состав СВАРН типа TUR/A?

11. Как обеспечивается начальное возбуждение в СВАРН типа TUR/A?

12. Используя схему, объясните, как работает блокинг-генератор в схеме СВАРН типа TUR/A?

13. Почему при параллельной работе генераторов с СВАРН типа TUR/A изменение значения реактивной мощности одного генератора приводит к возникновению процессов регулирования в обеих СВАРН?

14. Каким образом ограничивается значение тока возбуждения при значительном понижении частоты в СВАРН типа TUR/A?

Глава 5. СУДОВЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИХ АППАРАТУРА

5.1. Назначение, классификация и конструкция распределительных устройств

Назначение и классификация. Судовые электrorаспределительные устройства - это комплектные электротехнические устройства в виде щитов с аппаратами управления, защиты и сигнализации, предназначенные для приема и распределения электроэнергии между приемниками.

На судах устанавливают следующие виды распределительных щитов:

главный, предназначенный для присоединения источников электроэнергии к судовой силовой сети, управления их работой и распределения электроэнергии;

аварийный, являющийся частью аварийной СЭС и предназначенный для присоединения аварийных источников электроэнергии к **шаровой** сети, управления их работой и распределения электроэнергии;

районный, предназначенный для распределения электроэнергии в пределах определенного **района** судна и **обеспечивающий электроэнергией** несколько отсечных щитов;

отсечный, предназначенный для распределения электроэнергии в пределах отсека судна;

групповой, предназначенный для распределения электроэнергии между группой приемников одинакового назначения;

приемника, предназначенный для подачи электроэнергии на отдельный приемник, а также управления его работой;

электроснабжения с берега, предназначенный для присоединения судовой сети судна к береговой электрической сети или сети другого судна;

генераторный, предназначенный для передачи электроэнергии от генератора к определенному ГРЩ, а также для местного управления **генератором** в тех случаях, когда генератор и ГРЩ размещены в разных

отсеках судна (от генераторного щита могут получать электропитание отдельные приемники электроэнергии);

соединительный электрический ящик (щит), представляющий собой судовое электrorаспределительное устройство, предназначенное для соединения электрических цепей;

сигнализации и контроля, предназначенный для подачи сигналов (звуковых, световых) о состоянии контролируемых помещений, установок, систем, ЭП и других объектов.

Конструкция. По конструктивному исполнению РЩ бывают каркасные и блочные. Щиты в каркасном исполнении изготавливают, как правило, по индивидуальным чертежам, что затрудняет их производство и увеличивает стоимость. Блочные РЩ выпускают в виде нормализованных серий на напряжении 30 В постоянного тока и 220 и 380 В при частоте 50 и 400 Гц переменного тока. При необходимости из отдельных блочных ящиков можно комплектовать РЩ любых размеров и для любой схемы.

По степени защищенности от воздействия окружающей среды различают *защищенные* (IP21), *брызгозащищенные* (IP23) и *водозащищенные* (IP55) распределительные устройства. Ввод кабелей в щиты брызгозащищенного исполнения выполняют снизу через отверстия с обрамлениями, исключающими повреждение оболочки кабелей, а в щиты водозащищенного исполнения - через индивидуальные или групповые сальники.

По роду тока различают РЩ *постоянного* и *переменного* 1- и 3-фазного тока. Неизолированные участки проводов, кабелей и медных или алюминиевых шин должны окрашиваться в следующие отличительные цвета: на переменном токе зеленый для фазы *A*, желтый для фазы *B*, фиолетовый для фазы *C*, серый для нейтрального провода, черный для заземляющих проводов; на постоянном токе красный для положительного полюса, синий для отрицательного полюса, белый для уравнительной шины (провода), черный для заземляющей шины (провода).

Внутри корпусов РЩ размещают коммутационно-защитную аппаратуру, а на лицевой части - сигнальные лампы, электроизмерительные приборы - амперметры, вольтметры и переключатели к ним. Корпуса щитов, а также открывающиеся панели и дверцы, на которых расположены электроизмерительные приборы и аппаратура управления, должны быть надежно заземлены. На внутренней стороне дверцы РЩ должна быть схема коммутации с указанием наименования отходящих фидеров, номинальных токов предохранителей и уставок автоматических выключателей.

По наличию коммутационно-защитной аппаратуры все РЩ подразделяют на 2 типа: без выключающих устройств и с выключающими устройствами.

В РЩ *без выключающих устройств* содержатся только предохранители типа ИП постоянного тока напряжением 30 В и типа ПК перемен-

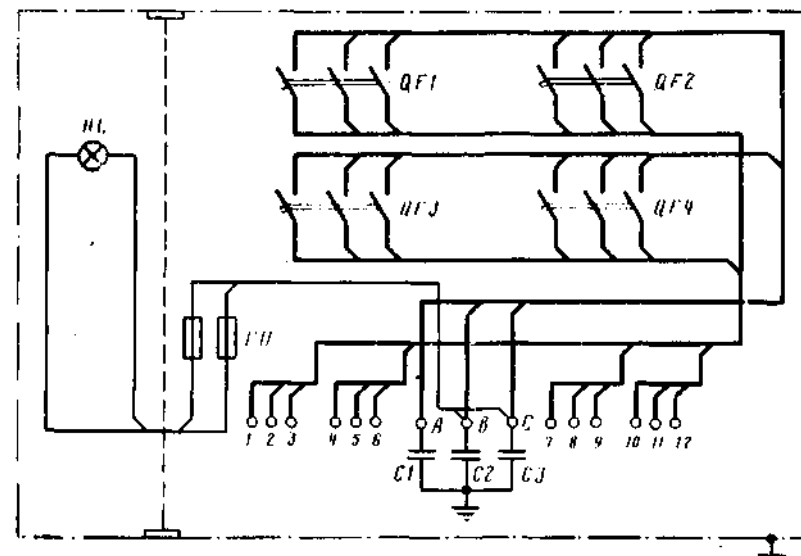
ного тока напряжением 380 В. Такие РЩ применяют на маломерных судах.

В обозначение РЩ входит тип, количество групп и номинальный ток предохранителей.

Например, ЩИПК2-50 [Щ - щит; ИП - предохранители типа ИП; К - для маломерных судов (катера); 2 - количество групп; 50 - номинальный ток, А].

Обычно РЩ с *выключающими устройствами* бывают двух видов: с пакетными выключателями и предохранителями, с автоматическими выключателями. РЩ первого вида, как правило, не применяют для питания 3-фазных АД. Это объясняется тем, что при перегорании предохранителя в одной фазе наступает 1-фазный режим АД с последующим его перегревом и выходом из строя. В то же время срабатывание АВ вследствие КЗ в любой фазе приводит к полному отключению асинхронный двигатель.

Районные, отсечные и групповые РЩ применяют в сетях постоянного тока напряжением 220 В при частоте 400 Гц. В качестве выключающих устройств в перечисленных РЩ используют АВ типов АК-50 и АС-25. В РЩ с четырьмя АВ типа АК-50 (рис. 5.1) питающий фидер подключают к выводам *A, B, C*, а отходящие к приемникам фидеры - к выводам *1-12* в нижней части щита. Цепь сигнальной лампы *Я!* защищена предохранителями *FU*. Внутри РЩ встроены защитные конденсаторы *C1-C3*, Дверца РЩ соединена с заземленным корпусом РЩ гибкой



Сие, 5.1. Принципиальная схема распределительного щита

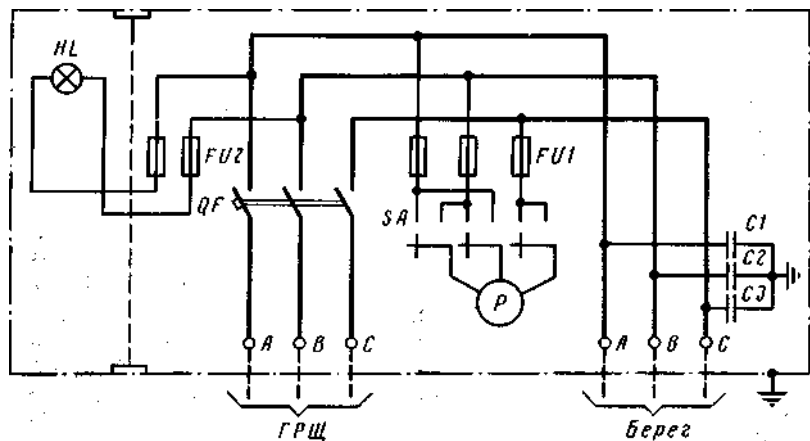


Рис. 5.2. Принципиальная схема щита электроснабжения с берега

переключкой. Принципиальные схемы других щитов отличаются от приведенной количеством АВ и числом полюсов каждого из них.

Щиты электроснабжения с берега выпускают на ток 100–3000 А и напряжения 220 В постоянного тока и 220 и 380 В переменного тока частотой 50 и 400 Гц. Внутри корпуса щита находится АВ типа АЗ700Р (АМ8, АМ 15) или только выводы (при длине кабеля между ЩЭСБ и ГРЩ менее Юм).

Щит электроснабжения с берега типа ШПБ 3-фазного переменного тока с АВ типа АЗ700Р (рис. 5.2) снабжен фазоуказателем Р с переключателем 54, служащими для проверки порядка чередования фаз береговой сети, и сигнальной лампой HL. Цепи фазоуказателя и сигнальной лампы защищены от токов КЗ предохранителями FU1 и FU2. Эти щиты обычно располагают в носовой или кормовой части судна на главной или вышерасположенной палубе.

Щиты сигнализации и аппаратуры сигнализации типов ШС и ШАС имеют блочную конструкцию и выполняются путем набора в унифицированные корпуса щитов модулей из полупроводниковых элементов. Это позволяет получить необходимые виды звуковой и световой сигнализации. Щиты этих типов выпускаются на напряжения 24 В постоянного и переменного тока, 127, 220 и 380 В переменного тока (число контролируемых цепей от 2 до 16).

Контрольные щиты КЩ в зависимости от типа могут иметь 2–3 встроенных электроизмерительных прибора (например, вольтметр, амперметр и частотомер), а также сигнальную лампу и переключатель к вольтметру. Эти щиты выпускают на напряжения до 320 В постоянного тока и до 380 В переменного тока.

5.2. Коммутационная аппаратура

Коммутационная аппаратура предназначена для коммутации силовых цепей, цепей управления и сигнализации без выполнения защитных функций. Эта аппаратура имеет ручное управление и коммутирует цепи под током или без него. К коммутационной аппаратуре следует отнести рубильники, разъединители, различные выключатели и переключатели.

Рубильники и рубильники-переключатели. Они являются простейшими коммутационными аппаратами силовых цепей: на изоляционной панели устанавливают неподвижные контакты-зажимы, в которые вводятся подвижные контакты-ножи, изготовленные из медных пластин. Рубильники служат для подвода питания на отдельные устройства и аварийного отключения питания (например, с электрокрана). Рубильники-переключатели подают напряжение на одну или другую линию.

Рубильники и рубильники-переключатели выпускают на токи 100, 200, 400 А. На такие же токи изготавливают рубильники-разъединители и переключатели-разъединители, которые в отличие от рубильников не предназначены для переключений приемников энергии, находящихся под нагрузкой. На современных судах рубильники применяют редко.

Пакетные выключатели и переключатели. В отличие от рубильников эти аппараты более универсальны и совершенны (рис. 5.3). Их изготавливают 2- и 3-полюсными из унифицированных контактных

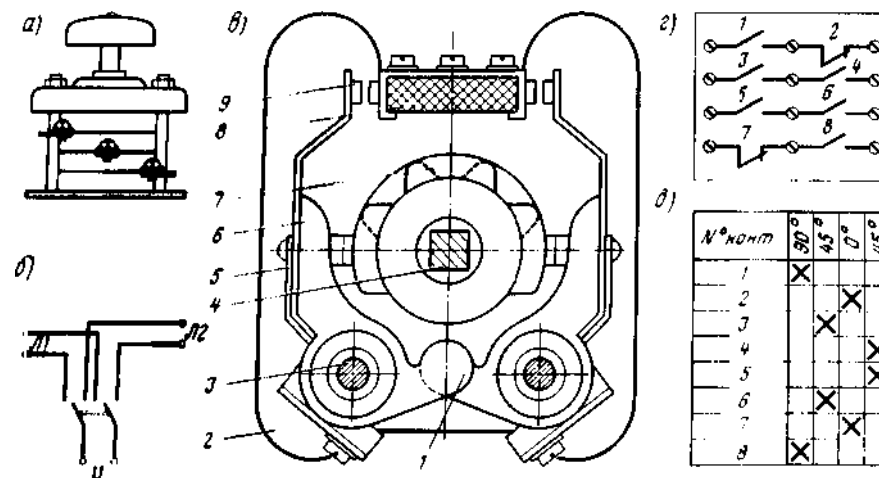


Рис. 5.3. Выключатели и переключатели:

а — ошшии вид пакетного выключателя-переключателя; б — схема пакетного переключателя на 2 направления; в — универсальный переключатель типа УП; г — схема включения контактов универсального переключателя; д — таблица замыкания контактов универсального переключателя

секций с поворотным приводом. Привод снабжается пружинами, позволяющими делать мгновенное переключение, независимо от скорости поворота рукоятки.

Пакетные выключатели морского исполнения типов ПВМ и ППВМ (герметичные) маркируют. Например ППВМЗ-100 - герметический пакетный выключатель, морской, 3-полосный, на 100 А.

Пакетные выключатели совместно с предохранителями образуют коммутационно-защитный блок отдельных потребителей.

Пакетные переключатели изготовляют из тех же контактных секций, что и выключатели, но их электрические схемы позволяют одну (главную 2- или 3-полосную) линию подключить к двум или трем линиям. На рис. 5.3, б показана электрическая схема 2-полосного пакетного переключателя ППМ2-10/Н2 на 2 направления. Напряжение U можно подать на выводы Л1 или Л2. Используя пакетный переключатель на 3 направления, можно переключать амперметр на 3 трансформатора тока, установленных на линиях питания трех потребителей.

Пакетные выключатели и переключатели устанавливают в силовых цепях, в цепях управления и сигнализации и выпускают на токи 6-400 А напряжением 220 и 380 В.

Универсальные переключатели типов УП, КФ, ПМ. Собирают эти переключатели из отдельных контактных секций, которых может быть 2, 4, 6, 8 и более. Каждая контактная секция (рис. 5.3, в) состоит из подвижных контактов 9, закрепленных на изоляционном кронштейне 6. Коммутируемый ток через гибкий медный канатик 5 отводится к нижнему контактному винту. Неподвижные контакты закреплены на изоляционной планке 8 и на этой же планке с помощью винтов и перемычек контакты включаются по определенной схеме. Ось 4 переключателя переводится в различные положения (их может быть до семи) с помощью рукоятки. При этом пластмассовые кулачки 7 под определенным углом воздействуют на отводы 1 кронштейнов 6, последние поворачиваются относительно оси 3, переключая контакты. Каждая контактная секция отделена от соседней изоляционной перегородкой 2. Рукоятка имеет пружинный самовозврат в нулевое положение или фиксацию рабочих положений.

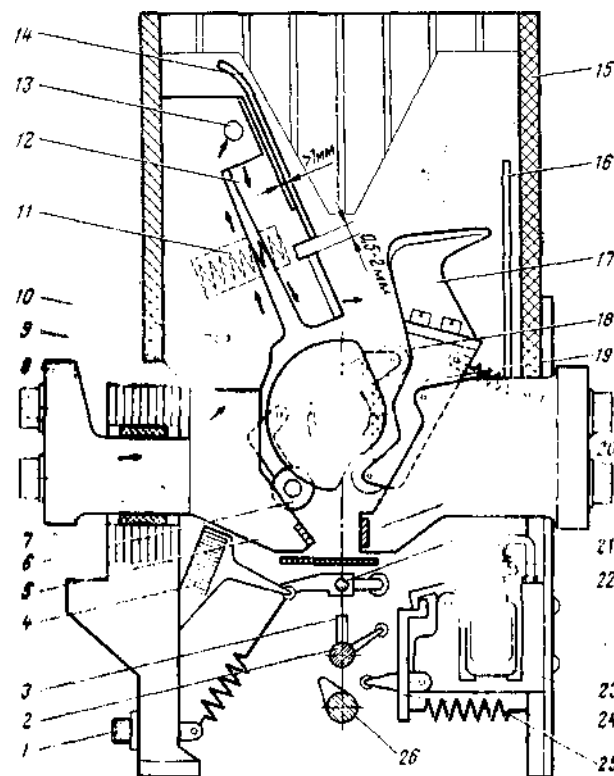
Универсальные переключатели типа УП имеют самые разнообразные схемы включения контактов. На рис. 5.3, г показана схема соединения контактов 4-секционного переключателя, а на рис. 5.3, д - таблица их замыканий. Контакты переключателей УП рассчитаны на ток 20 А и напряжение 400 В. В маркировку переключателя, кроме букв, входят цифры, показывающие число секций в переключателе и шифр его схемы.

Переключатели типа КФ (на ток 10 А), малогабаритные переключатели серии ПМ (на ток 6 А) и др., как и переключатели типа УП, имеют различные схемы переключений. Все они используются в качестве командоаппаратов для управления магнитными станциями, переключателей постов управления и электроизмерительных приборов, в схемах прямого управления маломощными ЭД и т. д.

5.3. Автоматические выключатели генераторов

Автоматические выключатели этой группы предназначены для коммутации и защиты генераторов СЭС. На судах применяются АВ серий АС и АМ. Автоматические выключатели серии АМ отличаются от выпускавшихся ранее АВ серии АС конструктивным исполнением контактной системы, максимальных расцепителей и привода. Специально изготовленные АВ могут работать в условиях тропического климата, при этом в обозначении типа АВ добавляется буква Т. Используют также АВ различных зарубежных фирм.

Конструкция и принцип действия. Автоматические выключатели серии АМ (рис. 5.4) выпускают 2- и 3-полосными на токи 800-5500 А. Номинальным током АВ считается ток, на который рассчитаны его главные контакты в продолжительном режиме работы. Для отключения токов КЗ в АВ устанавливают максимальные расцепители (реле максимального тока). Номинальные токи максимальных расцепителей



9м. 54. Автоматический выключатель серии АМ

могут отличаться от номинальных токов АВ. Так, в АВ типа АМ8 с $I_{ном} = 800$ А могут устанавливаться максимальные расцепители на номинальные токи 130, 190, 260, ..., 800 А.

Автоматический выключатель состоит из отдельных устройств: контактной системы, привода, механизма свободного расцепления, расцепителей, коммутатора.

Контактная система АВ каждого полюса состоит из комплекта главных и дугогасительных контактов. Главные неподвижные контакты 5 и 20 в местах касания с подвижными имеют вставки из серебряных пластин. Подвижный контакт-ролик 6, окантованный серебром, при повороте вала 19 с помощью выдвигного рычага вкатывается между неподвижными контактами, образуя надежный контакт. Несколько раньше кулачок, насаженный на вал 19, через ролик поворачивает дугогасительный контакт 17, который замыкается со вторым контактом 12. При включении АВ первыми замыкаются дугогасительные контакты 17, 12, а затем - главные. При отключении АВ размыкание контактов происходит в обратной последовательности: роликом 18 последними размыкаются дугогасительные контакты. Этим исключается появление электрической дуги на главных контактах.

При замыкании контактов 17, 12 возникает дуга, создающая силы электродинамического отталкивания. Для гашения этих сил дугогасительные контакты снабжены компенсационным устройством. Контакт 12 может поворачиваться относительно оси-3 на небольшой угол, и его положение в разомкнутом состоянии фиксируется пружиной И. Стойка 9 имеет прорезь 10, заполненную изоляционной прокладкой, и ток дугогасительных контактов направляется по наружной кромке стойки 9 через ось 13, контакт 12 и далее через контакты 17 и 20 (путь тока на рис. 5.4 показан стрелками). Между стойкой 9 и контактом 12 возникают силы электродинамического отталкивания. Сила давления тем больше, чем больше протекающий ток через контакты. Так обеспечивается надежное соприкосновение дугогасительных контактов даже во время появления дуги. Возникающая дуга удлиняется, движется по дугогасительным рогам 14, 16 и попадает в асбоцементную дугогасительную камеру 15 с прорезями. Здесь дуга охлаждается и гаснет. Должны выдерживаться указанные на чертеже зазоры между рогом 14, контактом 12 и укрепленной на нем контактной медно-графитовой пластиной. При отсутствии этих зазоров ухудшаются условия гашения Дуги.

Привод АВ может быть ручным (выполнен с помощью рукоятки) или электромеханическим (с помощью электродвигателя, работающего через редуктор). В первом случае для включения АВ рукоятку опускают вниз (до отказа), затем быстрым движением переводят ее вверх (до отказа). При выключении рукоятку резко переводят в нижнее положение. Электродвигательным приводом управляют с помощью выносных кнопок.

Механизм свободного расцепления - это система рычагов, валиков и пружин, через которые момент, приложенный к рукоят-

ке, или момент ЭД передается на вал 19. При включении АВ взводятся пружины механизма свободного расцепления. Если какие-либо из защит будут в это время воздействовать на отключающий валик 21, то механизм свободного расцепления не даст возможности АВ включиться. Отключение АВ происходит под действием опущенных пружин.

Остальные устройства АВ называются пристройками. Их число и виды определяются вариантом исполнения АВ. К пристройкам относятся максимальные расцепители (защита от токов КЗ или перегрузок), замедлители (реле времени), независимый и минимальный расцепители, коммутатор.

Автоматические выключатели серии АМ имеют максимальный расцепитель для отключения токов КЗ. Магнитопровод 8 расцепителя находится на токоведущей части контакта 5 и изолирован от него изоляционной втулкой 7. У АВ типа АМ8 магнитопровод заменен токовой катушкой. При возникновении тока КЗ магнитный поток в магнитопроводе становится достаточным для преодоления усилий противодействующих пружин и притяжения подвижного якоря 4 магнитопровода. Якорь 4 через кронштейн и ролик воздействует на рычаг. Возникает момент вращения селективного вала 21. Начинает действовать замедлитель (расположен с другой стороны АВ и на рис. 5.4 не показан). Замедлитель бывает часовым или анкерным. Только после истечения его выдержки времени валик 21 повернется так, что его кронштейн с роликом нажмет на пластину 3. Поворачивается отключающий валик 2, который через механизм свободного расцепления отключит АВ.

В схемах судовых генераторов обычно устанавливают 2 максимальные защиты: от токов КЗ и от перегрузок. АВ всегда имеют защиту от КЗ, а защита от перегрузок может выполняться другими устройствами, работающими не на отключение генератора, а на отключение малоотчетственных потребителей. Только по специальному заказу

могут изготавливаться АВ с дополнительными максимальными расцепителями, работающими в зоне перегрузок (на рис. 5.5: I - зона перегрузок; II - зона КЗ, начинается при $I = 2/I_{ном}$). Винтом 1 (см. рис. 5.4), изменяя натяжение противодействующей пружины, можно изменять границу зоны КЗ.

Замедлитель АВ может быть настроен на различные уставки срабатывания: 0,18, 0,38, 0,63 с (см. рис. 5.5). При возникновении любого тока больше $2/I_{ном}$ валик 21 через валик 2 отключит АВ с выдержкой времени, на которую настроен замедлитель. Время

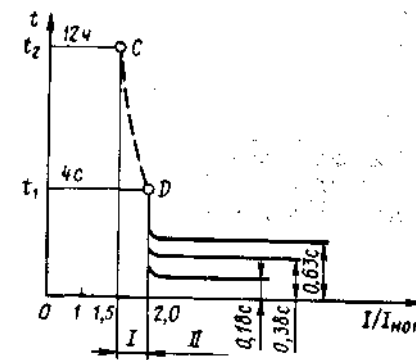


Рис 5.5. Времятоковая характеристика защит автоматического выключателя серии АМ

Автоматические выключатели серии АЗ300. Эти АВ, обладающие повышенной вибростойкостью, чаще других применяют на судах. Их изготавливают 2- и 3-полюсными, всегда в 3-полюсном корпусе. Установочные АВ серии АЗ300 первой и второй величины рассчитаны на токи до 100 А, третьей величины - 200 А и четвертой - 600 А. Автоматические выключатели АЗ300 могут иметь комбинированную защиту, защиту только от токов КЗ или вообще не иметь защит. В первом случае в АВ установлены электромагнитные расцепители с уставками на токи КЗ $(2,9 \sim 14) / I_{ном}$ и тепловые расцепители с уставками на токи перегрузки в пределах $(1,1 \sim 1,7) / I_{ном}$. Время срабатывания тепловых элементов расцепителя при токе перегрузки $1,1 / I_{ном}$ составляет 2-4 ч, а при токе перегрузки $7 / I_{ном}$ - в пределах 4-7 с (с холодного-состояния). После срабатывания тепловой защиты повторное включение возможно спустя 1-5 мин, что обусловлено остыванием теплового элемента.

Все установочные АВ данной серии имеют ручное управление со свободным расцепителем, моментным замыканием и размыканием контактов, в АВ 2-, 3- и 4-й величин устанавливают независимый (отключающий) расцепитель для дистанционного отключения. Независимый расцепитель - электромагнитный, его катушка рассчитана на кратковременный режим работы и после срабатывания должна отключиться.

Кожух АВ изготовлен из пластмассы и состоит из основания 9 и крышки 14 (рис. 5.7). Коммутирующие контакты выполнены из металлокерамических композиций на основе серебра. У АВ 4-й величины контактная система состоит из главных и дугогасительных контактов. У АВ других величин главные контакты 6 и 7 являются одновременно и дугогасительными. При включении контакты имеют небольшой пережат, обеспечивающий коммутацию тока верхними частями контактов (нижние рабочие части защищаются от преждевременного электрического износа). Неподвижные контакты 7 укреплены на медных шинах 8, имеющих вывод 10 для присоединения к внешней цепи. Подвижные контакты 6 укреплены на медном основании

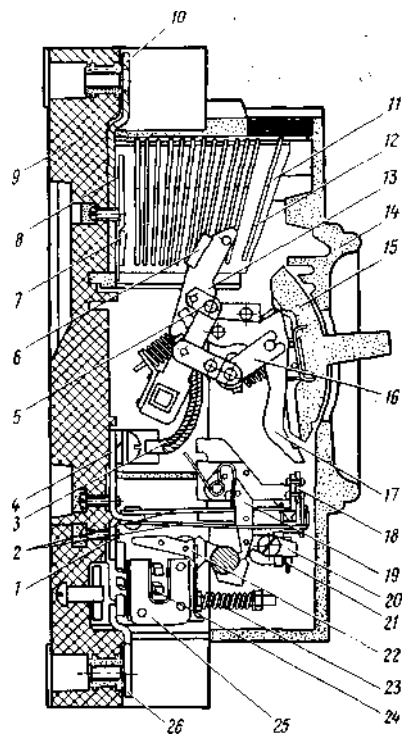


Рис 5.7. Установочный автоматический выключатель серии АЗ300

13, которое крепится на контактодержателе 5. Контакты 6 соединены гибким проводом 3 с шиной 4 расцепителя 18 максимального тока, подключенного к выводу 26 для присоединения к внешней цепи.

Дугогасительные камеры со стальными пластинами 12 расположены над контактами каждого полюса и укреплены в изоляционных стенках 11 камер. Дуга, возникающая при размыкании контактов, под действием электродинамических сил втягивается в дугогасительную решетку, разбивается на ряд коротких дуг и быстро гасится.

Расцепитель 18 состоит из механизма зацепления, удерживающей рейки 20 и токовых элементов. Механизм зацепления содержит собачку 19, валики и пружины, удерживающие собачку в определенном положении. Тепловые элементы расцепителей состоят из шин 1, 4 и двух биметаллических пластин 2, по которым протекает нагревающий ток. При нагревании биметаллические пластины изгибаются в разные стороны и регулировочными винтами 21 поворачивают удерживающую рейку. При этом собачка 19 проскакивает в паз рейки и освобождает рычаг 17, что приводит к размыканию контактов АВ.

В состав электромагнитного элемента расцепителя входят сердечник 25, якорь 22, возвратная пружина 23 и катушка 24 тока. Магнитная система расцепителя изготовлена из тонких листов электротехнической стали, скрепленных в общий магнитопровод, что позволяет использовать расцепитель на постоянном и переменном токе. При возникновении тока КЗ в одной из фаз срабатывает электромагнитный расцепитель этой фазы; якорь притягивается к сердечнику, воздействует на кулачок удерживающей рейки, поворачивая ее, далее через собачку 19 и рычаг 17 происходит отключение АВ.

Механизм 16 свободного расцепления обеспечивает моментное переключение контактов, независимо от скорости движения рукоятки 15 АВ. Во включенном положении АВ рукоятка управления занимает крайнее верхнее положение, в отключенном с помощью рукоятки - нижнее, в отключенном одной из защит - промежуточное положение.

Автоматические выключатели серии АК50. Обычно их изготавливают и пластмассовом корпусе на токи до 50 А и напряжения 400 и 230 В. Подвижные контакты / (рис. 5.8, о) закреплены на поворотной пластмассовой траверсе (на рисунке не показана) и соединены гибким проводником 2. При повороте траверсы подвижные контакты разрывают коммутируемую цепь в двух местах. Подвижные контакты и неподвижные 4 изготовлены из металлокерамики на основе серебра и расположены в дугогасительной камере, выполненной в виде стальных пластин 3, закрепленных в фибровых основаниях 5.

Выключатели АК50 изготавливают с максимальными расцепителями и гидравлическими замедлителями (АК50-2МГ и АК50-3МГ), с максимальными расцепителями без гидрозамедлителей (ЛК50-2М и АК50-3М) и без максимальных расцепителей (АК50-2 и АК50-3). Последние используют в качестве выключателей.

Максимальный расцепитель с гидрозамедлителем (рис. 5.8, б) выполнен из немагнитной трубки /, на которой находится катушка 5.

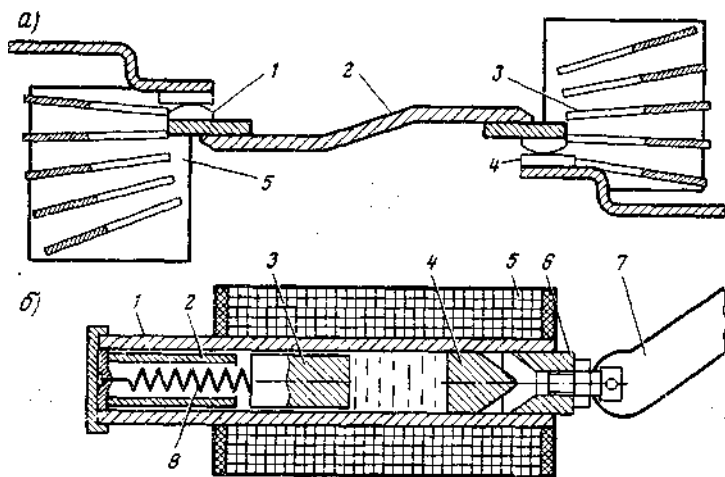


Рис. 5.8. Контактное устройство (а) и максимальный расцепитель (б) автоматического выключателя серии АК50

Катушка включена последовательно с контактами АВ, и через нее протекает коммутируемый ток. Трубка заполнена кремнийорганической жидкостью (масло с добавкой кремния). В неподвижной втулке 2 закреплена пружина 8, соединенная с плунжером 3. Сердечник 4 расцепителя закреплен в трубке неподвижно, а якорь 6 при достаточном усилии может быть притянутым к сердечнику 4, и тогда коромысло 7 будет воздействовать на механизм отключения АВ. При небольших токах перегрузки якорь 6 может притянуться к сердечнику 4 только после того, как плунжер, растягивая пружину, подойдет к сердечнику и обеспечит необходимую индукцию. При больших токах перегрузки якорь 6 притягивается к сердечнику 4 еще до полного приближения плунжера 3, а при КЗ якорь притягивается к сердечнику без участия плунжера 3. При токе $1,35 I_{ном}$ расцепитель срабатывает в течение 30 мин, при токе $6 I_{ном}$ - за 3-20 с, а при токе отсечки $I_{отс}$ ~ за 0,04 с.

Расцепители без замедлителя, обычно настраиваемые на токи (5-40) $I_{взм}$, срабатывают мгновенно. Контактное устройство всех АВ типа АК50 рассчитано на токи 50 А, но в АВ могут устанавливаться расцепители на разные токи (от 0,6 до 50 А).

Автоматические выключатели типов АЗ300 и АК50 удобны в эксплуатации, их контакты не требуют зачистки. После отключения АВ максимальным расцепителем рукоятку нужно перевести в крайнее нижнее положение (происходит зацепление механизма АВ) и затем переводом рукоятки вверх включить АВ. Если АВ отключит работающий приемник, то разрешается его включить повторно. После второго отключения следует выяснить причину срабатывания защиты.

5.5. Предохранители

Плавкие предохранители предназначены для защиты участков судовой сети и отдельных приемников от повышенных токов. Основными параметрами ПП являются: $I_{ном}$ - номинальный ток плавкой вставки, при котором она длительно не перегорает; $I_{отс}$ - ток отключения, который вызывает разрушение плавкой вставки, он равен $(1,25+1,45) I_{ном}$ для цинковых вставок, $(1,1+1,6) I_{ном}$ для серебряных вставок и $(1,6+2,0) I_{ном}$ для медных вставок; I_n - номинальный ток патрона (корпуса) предохранителя, на который рассчитаны токоведущие части зажимных устройств; $I_{уд}$ - ударный ток. При возникновении ударного (предельно отключаемого) тока корпус предохранителя будет разрушен, оплавятся зажимные устройства, разрушится изоляция. Например, для предохранителя с $I_n = 15$ А ток $I_{уд} \ll 1000$ А. К основным параметрам ПП следует отнести также напряжение предохранителя U_n (220, 380 или 500 В) и время плавления t , исчисляемое с момента возникновения тока отключения до момента погасания дуги после перегорания плавкой вставки.

Цинковые плавкие вставки (рис. 5.9, а) изготовляют с вырезами. Медные и серебряные плавкие вставки сравнительно тугоплавки, на них иногда наносят капли олова, которые, расплавляясь, понижают температуру плавления вставки. Плавкие вставки в зависимости от времени срабатывания могут изготовляться инерционными, нормальными и быстродействующими. Все ПП разделяют на трубчатые и пробочные.

Трубчатые предохранители типа ПР2. Выпускаемые на напряжения 220 и 500 В предохранители имеют патроны, рассчитанные на токи 15, 60, 100, 350, 600 и 1000 А. В комплект ПП входят цинковые плавкие вставки на токи от 6 до 1000 А. Например, с патроном на 60 А можно применить плавкие вставки на 15, 25, 35 и 60 А.

Предохранители ПР2 до 60 А состоят из фибрового патрона 1 (рис. 5.9, б) и нспрессованной п него латунной втулки 4. В прорезь втулки вставляют и загибают цинковую плавкую вставку 2. На втулку с резьбой навинчивают латунный колпачок 3, который прижимает плавкую вставку. Предохранители на токи более 60 А изготовляют с медными контактными ножами 5 (рис. 5.9, в). К ножу винтами привинчивают плавкую вставку, а положение ножа фиксируют шайбой 6 с прорезью.

Предохранители колпачками или ножами вставляют в пружинные тжимы, смонтированные на изоляционных панелях. Цинковые плавкие вставки обеспечивают нормальное быстродействие ПП. Предохранительные патроны на токи до 60 А вставляют и извлекают с помощью специальных фибровых клещей, на большие токи - с помощью пластмассовых рукояток, закрепленных на фибровом патроне.

Предохранители типа ПДС (сигнальные). Более удобны в эксплуатации тип ПДС. Их выпускают шести типоразмеров на токи 6-350 А и Нийржением 250 и 380 В.

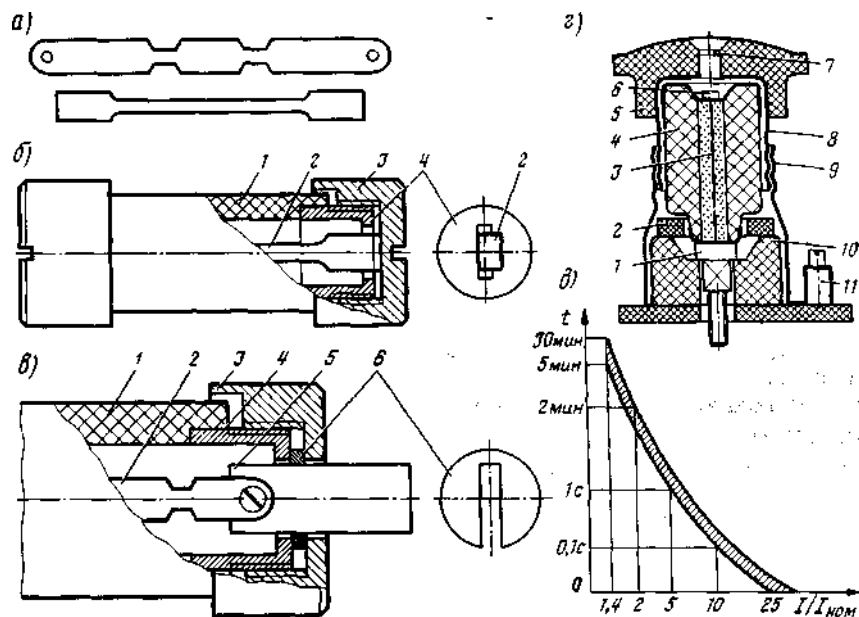


Рис. 5.9. Предохранители:
 а — плавкие вставки фигурные с вырезами; б, в — трубчатые соответственно с резьбовой насечкой и контактными ножами; г — пробочный; д — времятоковая характеристика

Предохранитель (рис. 5.9, г) состоит из фарфоровых трубки 4, основания; о и головки 5, направляющей шайбы 2, контактного латунного болта 1, серебряной плавкой вставки 3, сигнального бойка 6, стеклянного смотрового окна 7 и зажима П. На трубку 4 сверху и снизу напрессованы латунные наконечники, к которым припаяна плавкая вставка. Трубка заполнена кварцевым песком. Сигнальный боек припаян к концу плавкой вставки, и под ним имеется пружина. При перегорании плавкой вставки сигнальный боек отбрасывается пружиной. Контролируемый ток протекает через зажим 11, латунный резьбовой корпусе, резьбовую латунную втулку 8, верхний наконечник, плавкую вставку, нижний наконечник и контактный болт /. Резьбы на латунных элементах 8 и 9 имеют насечку, исключающую самоотвинчивание.

Предохранители типа ПД без сигнального устройства выпускают на токи до 600 А с плавкими вставками на 430, 500, 600 А.

Предохранители типов ПДС и ПД относятся к предохранителям с нормальным временем срабатывания, но они срабатывают быстрее, чем предохранители ПР2. Зависимость времени перегорания плавкой вставки от тока отключения называется его времятоковой характеристикой (на рис. 5.9, д в логарифмических шкалах приведена времятоко-

вая характеристика предохранителя ПР2 с плавкой вставкой на 200 А). Вид характеристики зависит от типа предохранителя, материала и формы плавкой вставки и многих других факторов. Неточность изготовления плавких вставок и неоднородность их металла создают зону разброса характеристик (заштрихованная на рисунке площадь).

Предохранителями нельзя защищать цепи от небольших перегрузок, они неудобны в обслуживании, поэтому их стремятся заменить АВ. Работающие в распределительных устройствах предохранители должны иметь надежные контакты плавких вставок с патронами и патронов с зажимами. Неплотное контактное соединение вызывает подгорание изоляции предохранителя, оплавление его контактных устройств и неточность срабатывания. Следует пользоваться только штатными плавкими вставками, разрешается временно применять плавкие вставки из медной проволоки, диаметр которой определяется по справочным таблицам в зависимости от тока отключения. Запрещается замена плавких вставок под напряжением. Если напряжение нельзя отключить, то предохранитель заменяют при отключенной линии приемника. Под предохранители нельзя подкладывать какие-либо металлические прокладки и проволоку. При перегорании плавкой вставки ее заменяют, при повторном перегорании необходимо установить причину неисправности.

5.6. Реле защиты

Реле защиты генераторов и приемников от токов КЗ, а иногда и от токов перегрузок являются неотъемлемой частью их автоматических выключателей. В АВ генераторов встроены также реле защиты СЭС от работы со значительно пониженным напряжением. На долю отдельно устанавливаемых в ПРЦ или ПУ реле остаются функции защиты генераторов от перехода в двигательный режим, что возможно при параллельной работе, а также функции ступенчатой защиты от перегрузок способом отключения менее ответственных приемников. Иногда устанавливают дополнительные защиты, например, отключающие защиты при понижении напряжения или обрыве одной фазы при питании судна с берега.

Реле защиты могут быть электромагнитной, индукционной и других систем, а также электронными. В последнем случае реле защиты часто изготавливают в виде отдельных защитных блоков, выполняющих несколько защитных функций, или защитные электронные устройства входят в общий комплекс автоматизации СЭС, например устройство токовой защиты УТЗ, устройство включения резерва УВР, защиты от обрыва фазы и пониженного напряжения ЗОФН в системе управления СЭС "Ижора".

Реле обратной мощности типа ИМ-149 (рис. 5.10, а). Оно изготовлено в базе индукционного механизма: на алюминиевый диск 9 действуют магнитные потоки катушек 1 напряжения и катушки 2 тока. Момент

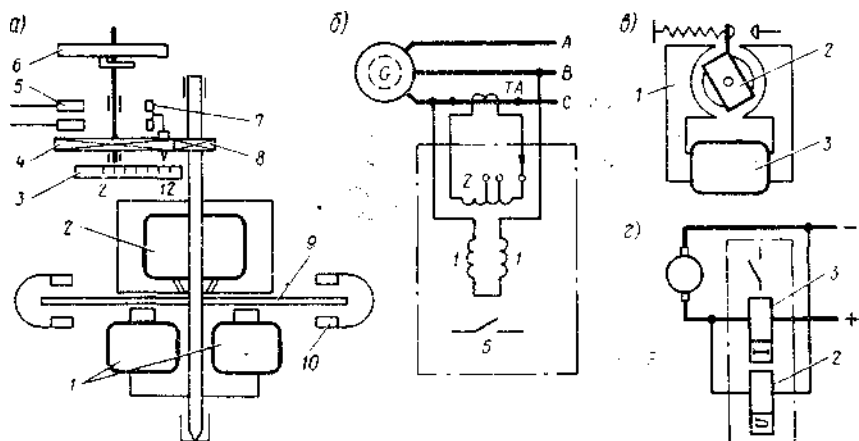


Рис. 5.10. Индукционное реле обратной мощности (а, б) и электромагнитное реле обратного тока (в, г)

вращения прибора пропорционален активной мощности $M = kIU \cos \varphi$. В генераторном режиме диск реле повернут влево до упора. Через шестерню 8 шестерня 4 повернута вправо и подвижный контакт 7, установленный на ней, максимально удален от контактов 5. При переходе СГ в двигательный режим векторы тока и магнитного потока электромагнита 2 изменят направление на 180° , поэтому момент вращения диска реверсируется. Подвижная часть реле поворачивается в другую сторону до замыкания контактов 5, через которые поступает питание на отключающий расцепитель АВ генератора. Вместе с генератором отключается и реле, механизм которого под действием спиральной пружины 6 возвращается в исходное положение. Положение подвижного контакта 7 на шестерне 4 относительно контактов 5 можно изменять, ориентируясь по шкале 3. Минимальному расстоянию между контактами 7 и 5 соответствует выдержка времени 2 с срабатывания реле, наибольшему расстоянию - 12 с. Поля постоянных магнитов 10 во время движения диска создают противодействующий момент подвижной части прибора. Обмотку 2 можно переключить на разное число витков, обеспечивая уставку срабатывания реле 6,4; 9,6 или 12 % номинальной активной мощности.

Реле ИМ-149 включаются через трансформаторы тока ТА (рис. 5.10, б). Номинальный ток вторичных обмоток (обмоток 2 реле) составляет 5А. Подбирая ТА по значениям тока первичной обмотки, реле можно использовать для генераторов разных мощностей.

Реле перегрузки типа ИМ-145. Конструктивно оно не отличается от реле ИМ-149. Движение диска у этих реле начинается тогда, когда ток генератора увеличится до значения тока уставки срабатывания. В отличие от реле обратной мощности контакты этих реле замыкают цепи АВ менее ответственных приемников.

Реле обратного тока типа ДТ. Эти реле служат для защиты генераторов постоянного тока от перехода в двигательный режим. Реле изготовлено в виде электромагнитного поляризованного механизма (рис. 5.10, в). На неподвижном магнитопроводе находится катушка 3 тока, а на поворотном сердечнике расположена катушка 2 напряжения. В генераторном режиме работы магнитный поток катушки 3 действует на сердечник согласно с усилием пружины, удерживая контакты реле разомкнутыми. При переходе генератора в двигательный режим изменяется направление тока через его якорь и катушку 3. Магнитный поток катушки 3 изменяет направление, преодолевает усилие пружины и, поворачивая сердечник, замыкает контакты.

Реле ДТ изготавливают на токи 6-1600 А. Обмотка катушки 2 рассчитана на 48 В, поэтому при включении реле в сеть ПО и 220 В необходимо использовать дополнительные резисторы сопротивлением 800 и 2200 Ом. Реле обратного тока ДТ-113 и ДТ-117 на ток 1600 А не имеют обмоток 3, поэтому их монтируют непосредственно на шине ГРЩ. Контакты реле могут быть замыкающими и размыкающими.

Бесконтактное реле обратного активного тока типа РОТ-51/401 (рис. 5.11). Оно предназначено для защиты ГА переменного тока от перехода в двигательный режим при параллельной работе. Реле имеет 3 уставки по обратному току: 5, 10 и 15 % номинального активного тока контролируемой сети. Уставки изменяют переключением выводов 3-6 на трансформаторе ТА.

Реле (рис. 5.11, а) состоит из измерительной части, собранной на кольцевом модуляторе (VD1-VD4) и согласующих трансформаторах тока (ТА) и напряжения (ТУ), реле времени (R10, C6-C9), исполнительной части (VT2-VT4) и устройства "отсечки" {VT1}.

Кольцевой модулятор с трансформаторами ТА и ТУ представляет собой фазочувствительную схему. Трансформатор тока ТА включен в фазу С, а трансформатор напряжения - на линейное напряжение ШС (рис. 5.11, б). Включив конденсатор С2, сдвигают вектор напряжения трансформатора TV на 30° относительно вектора UBO. Таким образом, вектор опорного напряжения, создаваемого трансформатором TV, совпадает с вектором активного тока фазы С. Так как $UTV \wedge TA > 180^\circ$ измерительная часть схемы будет реагировать на активный ток.

При работе контролируемого источника электроэнергии в генераторном режиме на рис. 5.12 мгновенные полярности ЭДС e_1 и e_2 в первый полупериод обозначены в окружностях. Так как $e_1 > e_2$, то направление токов через резисторы R6, R7 и кольцевой модулятор будет определяться мгновенной полярностью e_1 . Ток i_1 течет по цепи: точка 7-R8-R6 - точка а - R4-VD2 - точки 9 и 10 - C2 - точка 8. Ток i_2 пропорционален $e_1 + e_2$, так как эти ЭДС действуют согласно. В это же время течет ток i_3 через R7 по цепи: точка 7 - R8-R7-R3-VD3 - точки 11 и 10 - C2 - точка 8. Ток i_4 пропорционален $e_1 - e_2$, так как эти ЭДС действуют встречно. Следовательно, $i_4 > i_3$ падение напряжения на

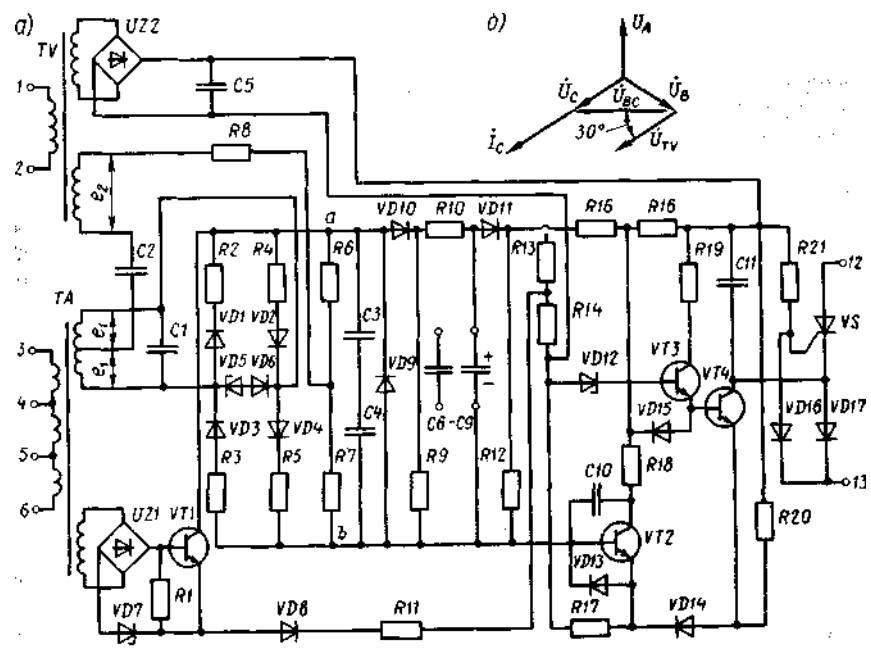


Рис 5.11. Реле обратного активного тока РЭТ-51/401:
а — принципиальная схема; б — векторная диаграмма

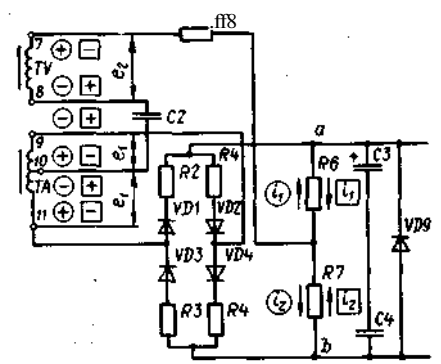


Рис 5.12. Принципиальная схема кольцевого модулятора реле РЭТ-Я/Ш

резисторе R_6 (U_{R_6}) больше, чем на R_7 (U_{R_7}). Мгновенная полярность в точках a, b будет определяться мгновенной полярностью падения напряжения на R_6 (в точке a потенциал "-", в точке b "+").

Во второй полупериод мгновенные полярности ЭДС на рис. 5.12 обозначены в квадратах. Токи через R_6 и R_7 будут течь в противоположном направлении, причем $I_6 > I_7$. Мгновенная полярность в точках a, b определится мгновенной полярностью падения напряжения на резисторе R_7 , через который течет ток i_7 . В точке a , как и в первый полупериод, потенциал "-", в точке b "+".

В этом режиме работы генератора под действием напряжения постоянного тока в точках a, b измерительной части схемы ток течет через диод VD_9 , а конденсаторы C_3, C_4 не заряжены.

При переходе генератора в двигательный режим вектор тока поворачивается относительно вектора напряжения на 180° , поэтому мгновенные полярности e изменятся относительно мгновенных полярностей e_g на противоположные. Полярность напряжения в точках a, b тоже изменится на противоположную (в точке a будет "+", в точке b будет "-"). Теперь конденсаторы C_3, C_4 зарядятся с указанной на схеме полярностью.

Напряжение U_{ab} через диод VD_{10} (см. рис. 5.11) подается на R_{10} и один из включенных конденсаторов C_6-C_9 . Время заряда конденсатора до напряжения срабатывания исполнительной части схемы находится в обратной зависимости от напряжения U_{ab} , а следовательно, от обратного активного тока. Переключением конденсаторов C_6-C_9 изменяют выдержку времени срабатывания реле в пределах 1-5 с.

Напряжение на выходе реле времени сравнивается с падением напряжения на резисторе R_{12} . При равенстве этих напряжений прекращается протекание тока управления транзистором VT_2 , в результате он закрывается, а составной транзистор VT_3, VT_4 открывается. Зарядается конденсатор C_{II} , и открывается тиристор V_5 , через который замыкается ток отключения АВ генератора.

Устройство "отсечки" служит для формирования выходного сигнала реле с минимальной выдержкой времени при обратном токе генератора больше, чем ток уставки. В таком режиме работы генератора напряжение выпрямителя UZ_1 становится больше напряжения стабилизации стабилитрона VD_7 и начинает течь ток управления транзистором VT_1 . Под действием напряжения U_{ab} ток потечет по цепи: $VT_1-VD_8-R_{11}-R_{14}-R_{17}-VD_{13}$. Падение напряжения на R_{14} оказывается достаточным для закрытия VT_2 , в результате реле срабатывает за 50-80мс.

Когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора тока TA достигнет значения, равного напряжению стабилизации диодов VD_5 и u_{-a} , они пробиваются. Вторичная обмотка трансформатора TL теперь замкнута через стабилитроны, и протекающий по этой цепи ток оказывает размагничивающее действие на сердечник трансформатора, вследствие чего трансформатор продолжает работать на линейном участке характеристики намагничивания.

5.7. Электроизмерительные приборы

Контролируя работу СЭЭС, необходимо систематически измерять напряжение источников электроэнергии, токи нагрузки генераторов, токи приемников, мощность генераторов, их электрическую частоту и сопротивление изоляции всех участков СЭЭС. В режимах синхронизации (Т для контроля значения и направления скольжения используют

синхроскопы. Перечисленные основные параметры контролируют приборами, установленными на ГРЩ или на ПУ в ЦПУ. Кроме того, у местных пультов управления ответственными и крупными приемниками также устанавливают амперметры. Вольтметрами и амперметрами комплектуют устройства заряда АБ, комплектом измерительных приборов снабжен щит аварийной электростанции.

Приборы магнитоэлектрической системы (рис. 5.13). Амперметры и вольтметры магнитоэлектрической системы применяют в СЭЭС постоянного тока. Их механизм состоит из постоянного магнита 1, магнитопровода 2, полюсных наконечников 3, сердечника 4 и рамки-катушки 5. Рамка, выполненная из тонкого изолированного провода, намотанного на алюминиевый каркас или изготовленная без каркаса, установлена в рабочем зазоре, где она может свободно перемещаться. Сердечник 4 неподвижен. Вращающий момент прибора возникает в результате взаимодействия тока, протекающего по рамке, с магнитным потоком постоянного магнита:

$$M = BS\omega I,$$

где B — магнитная индукция в зазоре; S — активная площадь рамки (произведение ее ширины на высоту); ω — число витков в рамке; I — ток в рамке.

Противодействующий момент создается тонкими спиральными противодействующими пружинами. Через эти же пружины к рамке подводят измеряемый ток. Площадь сечения провода рамки и пружин у приборов магнитоэлектрической системы рассчитана на протекание токов 150-200 мА. Для измерения больших токов пришлось бы увеличивать площадь сечения провода и пружин, что привело бы к увеличению массы подвижной части прибора и снижению его чувствительности. Для измерения больших токов используют шунты, которые у амперметров с пределом измерения до 30 А устанавливают внутри корпуса прибора. Такие приборы включают непосредственно в разрыв провода положительного полюса генератора или приемника. С амперметрами на токи более 30 А применяют наружные шунты.

При измерении напряжения магнитоэлектрическим прибором его шкалу градуируют в вольтах. Показание прибора соответствует падению напряжения на сопротивлении прибора. При измерении высоких напряжений прибор включают последовательно с добавочным резистором.

В СЭЭС постоянного тока нет необходимости устанавливать приборы для измерения мощности; ее можно вычислить, используя показание амперметра и вольтметра.

Приборы магнитоэлектрической системы точны, на них мало влияют внешние магнитные поля, так как они имеют свое сильное магнитное поле. В то же время они имеют сравнительно сложную конструкцию и по сравнению с приборами других систем менее надежны. Магнитоэлектрические приборы марок М150, М160 и М170 со шкалой 240° применяют в качестве амперметров и вольтметров.

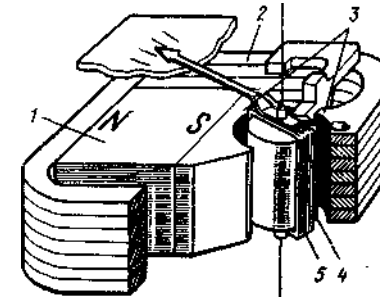


Рис 5.13. Прибор магнитоэлектрической системы

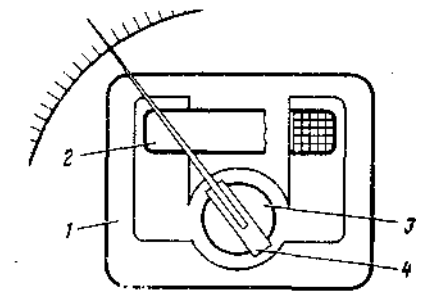


Рис 5.14. Схема прибора ферродинамической системы

Приборы ферродинамической системы (рис. 5.14) применяют в СЭЭС переменного тока. Магнитная цепь прибора образуется стальным наборным магнитопроводом 1 и неподвижным сердечником 3. На среднем сердечнике расположена неподвижная катушка 2, а в рабочем зазоре — катушка-рамка 4 подвижной части прибора. Принцип действия прибора основан на взаимодействии магнитных потоков подвижной и неподвижной катушек. Вращающий момент прибора

$$M = k \cos \phi I_1 I_2$$

где k — конструктивный коэффициент; ϕ — угол между векторами этих токов; I_1, I_2 — токи в катушках прибора.

Так как вращающий момент прибора пропорционален $\cos \phi$, прибор обладает фазочувствительностью. Противодействующий момент создают спиральные пружины — токоподводы рамки 4. Применение магнитопровода из электротехнической стали дает возможность получить большие индукции в зазоре и момент прибора, что позволяет установить механически более прочную подвижную систему и повысить надежность прибора. Эти приборы также имеют небольшую погрешность, обусловленную действием внешних магнитных полей. Теоретически шкала прибора неравномерна, однако, изготавливая приборы с неравномерным зазором, практически получают почти равномерную шкалу.

Приборы ферродинамической системы Д1600, Д1700, Д1800 со шкалой 240° используют в качестве амперметров и вольтметров, подключаемых через измерительные трансформаторы. Катушки приборов включают в параллельную или последовательную цепь. Амперметрами контролируют полный ток генератора или приемника. Произведение значений тока и напряжения определяет полную мощность.

Для непосредственного измерения активной мощности генератора 2 механизма ферродинамической системы, соединенные общей осью и

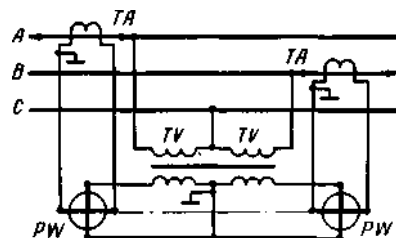


Рис. 5.15. Схема измерения активной мощности

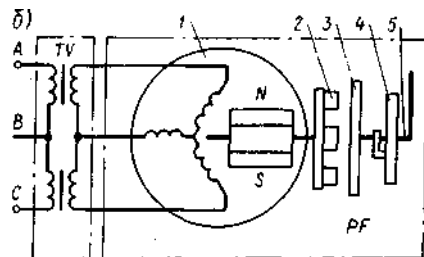
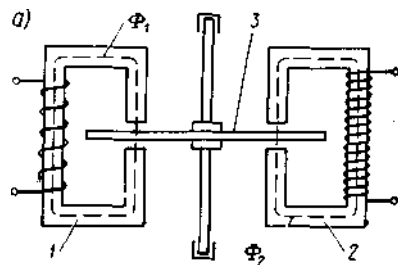


Рис. 5.16. Приборы индукционной системы:
а — схема механизма; б — схема подключения частотомера

расположенные в общем корпусе, подключают через измерительные трансформаторы по схеме, показанной на рис. 5.15.

Приборы электродинамической системы. В этих приборах также использован принцип взаимодействия магнитных полей двух катушек, но в отличие от приборов ферродинамической системы они не имеют магнитопровода и сердечника, что в значительной мере снижает вращающий момент и ограничивает область применения.

Приборы индукционной системы. Принцип действия приборов индукционной системы основан на взаимодействии переменного или вращающегося магнитного поля с вихревыми токами, индуцированными этими же потоками в подвижном алюминиевом диске. Двухпоточный индукционный механизм (рис. 5.16, а) состоит из электромагнитов 1, 2 и алюминиевого диска 3, через который замыкаются магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Вращающий момент прибора прямо пропорционален произведению значений магнитных потоков, частоте токов в катушках и синусу угла между векторами токов катушек электромагнитов. Зависимость вращающего момента прибора от угла сдвига фазы позволяет применять его для измерения энергии и мощности в СЭС переменного тока. На катушку электромагнита 1 через измерительный трансформатор тока подается напряжение, пропорциональное значению тока нагрузки генератора (или приемника), а на катушку электромагнита 2 через измерительный трансформатор напряжения подается напряжение генератора. Индукционный прибор типа И1604 применяют в СЭС переменного тока в качестве киловаттметра.

Индукционный частотомер (рис. 5.16, б) состоит из дополнительного устройства - понижающего трансформатора ГУ и прибора PF. В

корпусе прибора размещен синхронный электродвигатель 1. Магнитный поток его ротора создается пластинами постоянных магнитов. Синхронный двигатель вращает постоянные магниты 2, закрепленные на диске. При вращении постоянные магниты создают вращающийся магнитный поток, который, пересекая алюминиевый диск 3, наводит в нем вихревые токи. Вращающийся магнитный поток, взаимодействуя с вихревыми токами, создает момент вращения, который после поворота стрелки 5 компенсируется противодействующим моментом спиральной пружины 4. Вращающий момент прибора находится в прямой зависимости от частоты вращения постоянных магнитов 2, а частота вращения синхронного двигателя 1 прямо пропорциональна частоте напряжения питания.

Приборы вибрационной системы. Несмотря на наличие погрешности, обусловленной общей вибрацией корпуса судна, благодаря простоте конструкции эти приборы находят все большее применение на судах.

Измерительный механизм частотомера вибрационной системы (рис. 5.17, а) имеет электромагнит 1, обмотку которого включают в контролируемую сеть по схеме вольтметра. Якорь 2 с основанием 5 закреплен на эластичной опоре 6. В основании 5 закреплен ряд гибких стальных пластин 4, отогнутые концы которых окрашены в белый цвет и видны через окна лицевой панели 3 прибора. Под влиянием переменного поля электромагнита, созданного током, частота которого измеряется, пластины частотомера в момент прохождения тока через амплитудное значение притягиваются к электромагниту и удаляются от него при каждом нулевом значении тока. С наибольшей амплитудой колеблется та пластина, частота собственных колебаний которой равна удвоенному значению измеряемой частоты. Отогнутый конец этой пластины виден в окне шкалы как самый большой прямоугольник и указывает на шкале значение частоты. Шкала прибора имеет пределы 45-55 Гц.

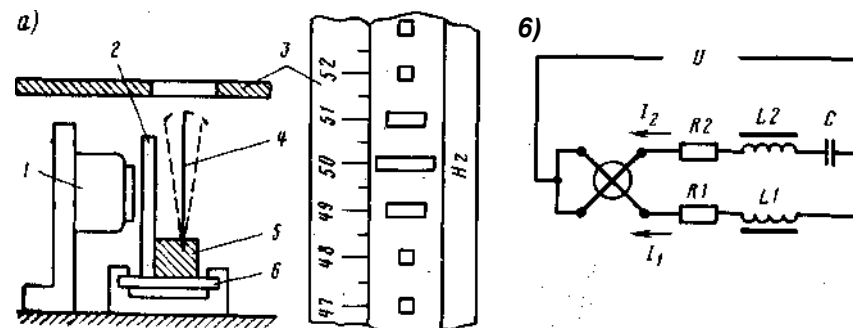


рис. 5.17. Схемы частотомеров вибрационной (а) и электромагнитной (б) систем

Удобны 2-элементные вибрационные (резонансные) частотомеры. В них размещено 2 независимых друг от друга прибора. Один подключается к шинам ГРЩ, второй - к еще не подключенному генератору. В режиме синхронизации по двум шкалам, расположенным одна над другой, легко определить разность частот судовой сети и синхронизируемого генератора.

Приборы электромагнитной системы. На судах их применяют в качестве амперметров, вольтметров, частотомеров, синхроскопов и др.

В частотомерах типов Э393, Э394 (рис. 5.17, б) применен электромагнитный логометр. Как видно из схемы, при изменении частоты токи i и I будут изменяться неодинаково, так как параметры элементов $\{R1, L1$ и $R2, L2, C\}$ цепей катушек прибора различны. Так, при увеличении частоты ток i будет уменьшаться, а ток $I/2$ увеличиваться. Очевидно, отношение токов, определяющее угол отклонения подвижной части прибора, зависит от частоты. Частотомеры этого типа выпускают в виде узкопрофильных приборов с оптическим указателем.

Неподвижная часть измерительного механизма синхроскопа типа Э1605 электромагнитной системы (рис. 5.18, а) состоит из трех катушек. Катушки 3, 5 имеют форму рамок, расположенных под углом 120° одна относительно другой. Третья катушка 4 цилиндрической формы расположена внутри катушек 3, 5. Подвижная часть прибора изготовлена в виде оси 1, к которой прикреплены сердечники-лепестки 2, б из тонких пластин электротехнической стали. Ось и сердечники-лепестки образуют Z-образную конструкцию. Катушки 3 и 5 включены на 3 фазы синхронизируемого генератора (рис. 5.18, б) и создают вращающийся магнитный поток, частота вращения которого пропорциональна электрической частоте генератора. Катушка 4, на которую подается линейное напряжение сети (второго генератора), создает пульсирующий магнитный поток. В приборе возникает суммарное эллиптическое магнитное поле, которое намагничивает подвижную часть прибора. При неравенстве частот сети и генератора ось эллиптического магнитного поля и подвижная часть прибора вращаются с угловой скоростью, пропорциональной разности частот. Направление вращения зависит от знака скольжения. При равенстве частот ось суммарного магнитного потока и ось прибора неподвижны.

Совпадению по фазе векторов напряжений генератора и сети соответствует только одно положение подвижной части прибора, отмеченное вертикальной чертой посередине шкалы прибора. По одну сторону от черты имеется надпись "Быстрее", по другую - "Медленнее". Если стрелка прибора вращается в сторону надписи "Быстрее", надо уменьшить частоту вращения подключаемого генератора и наоборот. В момент совмещения стрелки с вертикальной чертой включают АВ генератора. Если стрелка прибора неподвижна и не находится на вертикальной отметке, это свидетельствует о наступлении синхронно-несинфазного режима работы генератора (режим "зависания").

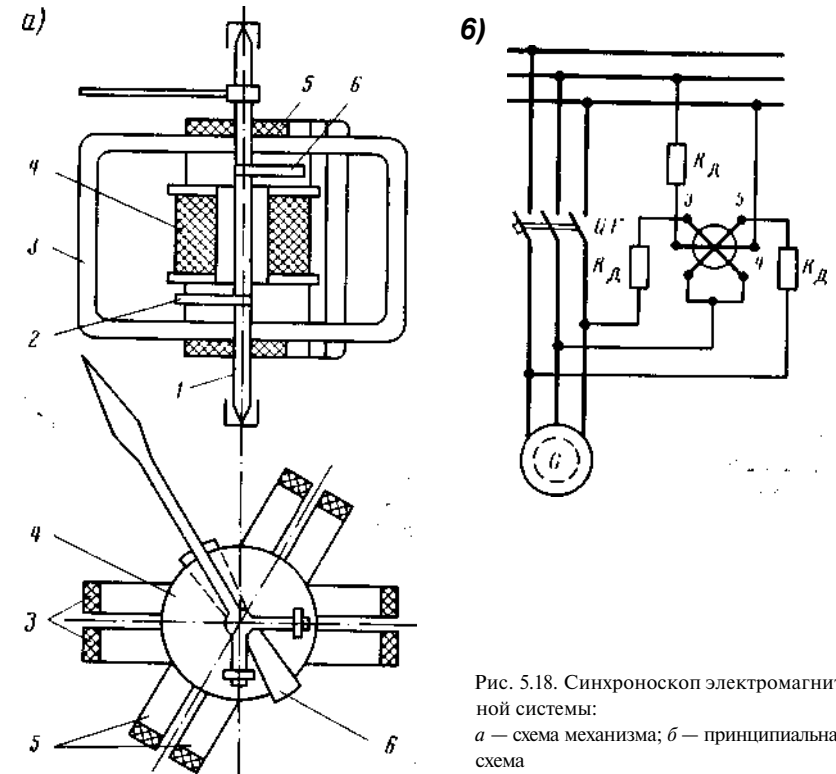


Рис. 5.18. Синхроскоп электромагнитной системы:
а — схема механизма; б — принципиальная схема

Узкопрофильные приборы (рис. 5.19). Свое название эти приборы получили от формы лицевой панели, которая имеет вид прямоугольника с одинаковой для всех приборов высотой (30 мм) и несколькими стандартными размерами по ширине (100, 160 и 240 мм), размер по глубине 180-300 мм. Таким образом, прибор оформлен в корпусе, имеющем форму плоской кассеты, и при той же длине шкалы узкопрофильные приборы занимают на щитах в 3-5 раз меньшую площадь по сравнению с приборами обычного исполнения. Внутри корпуса размещен магнитоэлектрический, электромагнитный или ферродинамический измерительный механизм с оптическим указателем. Для повышения информативности узкопрофильные приборы могут снабжаться двумя цветными светофильтрами (слева - зеленый, справа - красный). Светофильтры

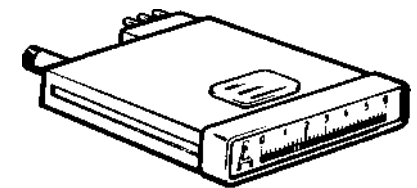


Рис. 5.19. Узкопрофильный электроизмерительный прибор

располагают за шкалой таким образом, чтобы световой указатель при выходе значения измеряемой величины за установленные пределы изменял свой цвет. Это существенно облегчает наблюдение за показаниями приборов, так как оператору достаточно взглянуть на группу приборов, чтобы заметить, какие параметры отклонились от нормы. Узкопрофильные приборы могут включаться непосредственно в контролируемую сеть, но чаще - через дополнительное устройство (преобразователь).

Узкопрофильные амперметры и вольтметры постоянного (М1737, М1738) и переменного (Э390) тока, частотомеры (Э393, Э394), ваттметры (Д390, Д391) и приборы, работающие в комплекте с термометрами сопротивления и термопарами, нашли применение в системах контроля, сигнализации и управления автоматизированными СЭЭС. В контактные узкопрофильные электроизмерительные приборы устанавливают контакты, которые переключаются прибором при выходе значения измеряемой величины за установленные пределы. Эти контакты используют для автоматического регулирования контролируемых параметров и дистанционной сигнализации.

Электронные измерительные приборы. Основными функциональными узлами этих приборов являются различные электронные устройства. Электронные приборы применяют для измерения электрических величин на постоянном и переменном токе, а также для наблюдения и исследования формы радиосигналов и характеристик радиоэлектронных устройств и генерирования испытательных сигналов. По принципу действия электронные приборы разделяют на аналоговые и цифровые. В аналоговых приборах, так же как и в обычных электромеханических приборах, показания являются непрерывной функцией измеряемой величины и регистрируются магнитоэлектрическим измерительным механизмом. Цифровые приборы автоматически вырабатывают дискретные сигналы измерительной информации, и их показания представляются в цифровой форме. Электронные измерительные приборы потребляют из контролируемой цепи значительно меньшую мощность, чем обычные приборы, так как имеют большое входное сопротивление.

В современных судовых электронных системах применяют электронные вольтметры, частотомеры, фазометры, измерительные генераторы, переносные комбинированные приборы. Электронные вольтметры составляют наиболее обширную группу среди электронных приборов. Для получения высокого входного сопротивления электронные вольтметры обычно выполняют на электронных лампах или полевых транзисторах.

Электронный вольтметр постоянного тока (рис. 5.20, а) содержит: входной резистивный делитель напряжения ($R1, R2, R3$) с переключателем SA ; усилитель постоянного тока, собранный на полевых транзисторах $VT1, VT2$; измерительный механизм PV магнитоэлектрической системы; блок питания E . В усилителе применена мостовая балансная схема усиления. В одну диагональ моста включен измерительный механизм, в другую - источник постоянного тока

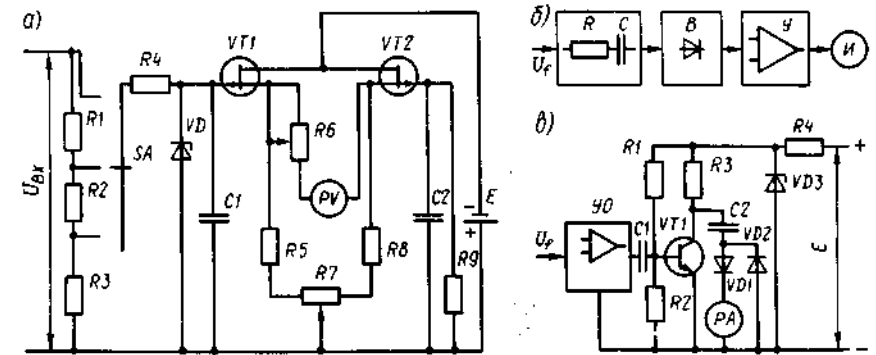


Рис. 5.20. Электронные измерительные приборы:

о — принципиальная схема вольтметра постоянного тока; 5, в — соответственно структурная и принципиальная схемы электронных частотомеров

E . При отсутствии измеряемого напряжения ($U_{BX} = 0$) с помощью потенциометра $R7$ стрелку прибора устанавливают на нулевую отметку. При поступлении на вход транзистора $VT1$ измеряемого напряжения U_{BX} ток транзистора $VT1$ становится отличным от тока транзистора $VT2$. Прибор PV регистрирует значение измеряемого напряжения с учетом положения переключателя SA . Вход усилителя блокирован от переменных напряжений фильтрами $C1, R4$ и $C2, R9$. Защита от перегрузок обеспечивается кремниевым стабилитроном VD .

Принципиально прибор можно выполнить на одном транзисторе, но он будет иметь более значительные погрешности, так как после установки стрелки на нулевую отметку и включения прибора ток измерительного механизма может измениться вследствие изменения внутреннего сопротивления транзистора, случайных колебаний напряжения питания и внешних условий. Мостовая балансная схема значительно снижает погрешность, так как в условиях влияния помех токи транзисторов изменяются одинаково.

Электронные вольтметры переменного тока дополнительно содержат преобразователь переменного напряжения в постоянное - детектор (выпрямитель). Электронные частотомеры разделяют на группы, различающиеся как техническими решениями, так и получаемой точностью измерения. Наиболее простым является метод измерения частоты с помощью вольтметра, основанный на зависимости сопротивления реактивных элементов от частоты протекающего по ним тока. Структурная схема такого частотомера представлена на рис. 5.20, б. Напряжение измеряемой частоты U_f поступает на электрическую схему, состоящую из резистора R и конденсатора C . Напряжение на входе выпрямительного устройства B , на выходе усилителя $У$ и тон измерителя $И$ зависят от значения измеряемой частоты.

Конденсаторный частотомер (рис. 5.20, в) состоит из усилителя-ограничителя u_0 и электронного коммутатора, выполненного на транзисторе $VT1$. Принцип работы частотомера заключается в следующем. Прямоугольные импульсы с частотой следования/ с выхода усилителя u_0 поступают на вход транзистора $VT1$. Во время действия на входе коммутатора отрицательного импульса транзистор $VT1$ закрыт и конденсатор $C2$ заряжается через ДЗ, диод $VD1$ и микроамперметр РА до напряжения, близкого к напряжению питания E . Импульс положительной полярности открывает транзистор, и конденсатор быстро разряжается через транзистор и диод $VD2$ до напряжения, близкого нулю. Таким образом, каждое колебание измеряемой частоты сопровождается протеканием через микроамперметр импульса тока заряда $C2$. Среднее значение тока через прибор прямо пропорционально значению измеряемой частоты. Конденсатор $C1$ - разделительный, диод $VD3$ стабилизирует напряжение питания.

Цифровые измерительные приборы. Многопредельные универсальные цифровые приборы предназначены для измерения напряжения постоянного и переменного тока, частоты, фазы, сопротивления и других электрических, а также неэлектрических величин. Они позволяют быстро и просто проводить точные измерения, осуществлять оперативный контроль большого числа измеряемых параметров, исключить субъективные ошибки из результатов измерений, регистрировать текущую измеряемую информацию с большой точностью и скоростью и выдавать ее в форме, удобной для обработки на быстродействующих цифровых вычислительных машинах. В цифровых приборах через небольшие промежутки времени измеряется значение непрерывной измеряемой величины, затем выполняется цифровое кодирование и результат измерения поступает на отсчетное устройство (дешифратор), с помощью которого результат измерения представляется в цифровой форме. Результаты измерений высвечиваются в виде чисел на люминесцентных, газоразрядных, полупроводниковых (светодиодные матрицы) или жидкокристаллических индикаторах.

Измерительные трансформаторы. Для расширения пределов измерения приборов переменного тока и подключения различных реле применяют трансформаторы тока TA и напряжения TV (см. рис. 5.15). При включении прибора через ИТ исключается гальваническая связь прибора с первичной цепью и повышается безопасность обслуживания, так как приборы оказываются включенными в заземленную низковольтную цепь. Применяя ИТ, уменьшают массу и габаритные размеры приборов.

С помощью ИТ тока подают питание на амперметры, токовые обмотки ваттметров, счетчиков, реле перегрузок, реле обратной мощности и другие устройства с небольшим сопротивлением. Для ИТ тока даже кратковременное размыкание цепи вторичной обмотки недопустимо, так как их нормальный режим работы близок режиму КЗ. При размыкании цепи вторичной обмотки ИТ тока компенсирую-

щий магнитный поток этой обмотки уменьшается до нуля, что приводит к увеличению суммарного потока и перенапряжению на отключенной обмотке. Отключая вторичную обмотку ИТ тока при демонтаже прибора, необходимо предварительно зашунтировать ее перемычкой. Измерительные трансформаторы тока выпускают на токи до 40 000 А при номинальных токах вторичных обмоток 1; 2; 2,5 и 5 А.

К выводам вторичных обмоток ИТ напряжения подключают вольтметры, частотомеры, синхроскопы и обмотки напряжения других приборов и реле. Обмотки подключаемых приборов и реле имеют большие значения сопротивлений, поэтому нормальный режим ИТ напряжения близок к режиму холостого хода. Их выпускают на напряжения от 380 В до 50 кВ с номинальными напряжениями вторичных обмоток 100 и 127 В.

Измерительные трансформаторы имеют погрешности, их выпускают нескольких классов точности. На судах применяют электроизмерительные приборы, ИТ, шунты и добавочные резисторы с классом точности не менее 2,5.

Измерительные приборы выпускают с различными степенями защиты от действия окружающей среды для эксплуатации в температурном диапазоне от -10 до +60 °С в условиях повышенной влажности. Пределы шкал вольтметров должны быть не менее $1,2U_{\text{ном}}$, амперметров - $1,3I_{\text{ном}}$, ваттметров - $1,3P_{\text{ном}}$, частотомеров $\pm 1,1/f_{\text{ном}}$. При параллельной работе генераторов шкалы амперметров и ваттметров должны быть рассчитаны на обратный ток или обратную мощность значением 15 % номинальных.

При ТО измерительных приборов 1 раз в месяц проверяют правильность положения стрелок относительно нулевых отметок. Щитовые мегаомметры и вольтметры для измерения сопротивления изоляции включают только на время контроля, синхроскопы - на время синхронизации, определяемое инструкцией. Ремонт электроизмерительных приборов и судовых условиях запрещен. Все приборы должны быть опломбированы, 1 раз и 2 года осуществляют их поверку в лабораториях береговых служб и наносят поперечное клеймо.

5.8. Главные распределительные щиты

Главный распределительный щит состоит из нескольких секций: генераторных (по числу генераторов СЭС), приемников и секции управления. Состав аппаратуры, входящей в схему ГРЩ, разнообразен и зависит от степени автоматизации СЭС и принятых методов управления.

На рис. 5.21 показана упрощенная схема ГРЩ переменного тока СЭС, не укомплектованной автоматизированным комплексом управления (обеспечивается только ручная точная синхронизация СГ). Щиты секций ГРЩ коммутируются между собой разъединителями $QS1$, $QS2$,

QS3 ручного управления. Автоматические выключатели QF1-QF6 и контактор KM служат для коммутации генератора на шины, соединения ГРЩ с береговым источником питания и АРЩ, подключения групп приемников и силового понижающего трансформатора TV2.

К понижающему трансформатору TV1 подключены аппаратура управления АВ генератора, реле времени KT, катушка напряжения реле обратной мощности Kh>, реле перегрузок KA2, двигатель M (через переключатель SA4) регулирования подачи топлива ПД, катушка напряжения киловаттметра PW, вольтметр PV, частотомер PF и синхроскоп PS. К трансформаторам тока ТА1 и ТА2 подключены токовые обмотки реле KW и реле перегрузок KA2, приборы PW и PA. Переключатель SA1 позволяет подключить синхроскоп PS тремя контактами к синхронизируемому генератору G1 или G2 и двумя контактами на

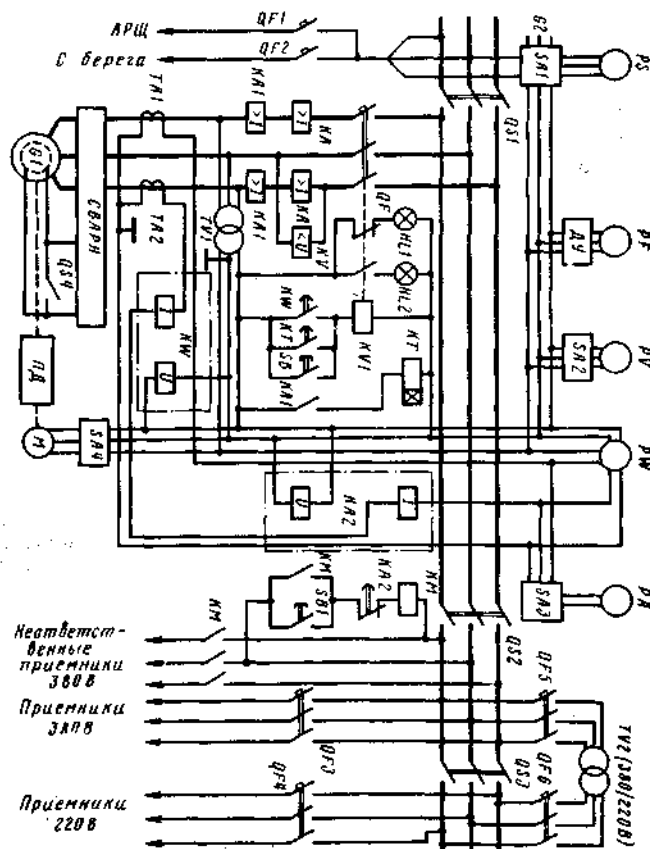
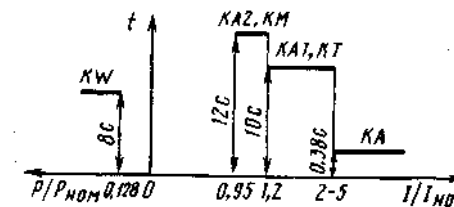


Рис. 5.21. Принципиальная схема ГРЩ переменного тока неавтоматизированной электростанции

Рис. 5.22. Характеристики защит генератора неавтоматизированной электростанции



шины. Переключатель SA2 обеспечивает измерение линейных напряжений, а переключатель SA3 - токов нагрузки двух фаз генератора.

В состав автоматического выключателя QF генератора входят расцепители защиты от токов КЗ и токов перегрузок (KA и KA1), минимальный KV и независимый KVI. Сигнальные лампы HL1 (желтая) и HL2 (зеленая) включены через вспомогательные контакты QF. Выключатель QS4 служит для гашения магнитного поля.

На рис. 5.22 представлены характеристики защит генератора СЭС, показанной на рис. 5.21. При КЗ [токи более $(2+5)/I_{ном}$] включаются расцепители KA, которые через замедлитель АВ с минимальной выдержкой времени (например, 0,38 с) отключат QF. При токах перегрузки $(1,2-2)/I_{ном}$ срабатывают расцепители KA1, через их контакты включаются реле времени KT. Через 10 с через контакты KT питание поступает на независимый расцепитель KVI и генератор отключается.

При токах $(0,95-1,2)/I_{ном}$ с выдержкой времени (например, 12 с) повернется диск индукционного реле перегрузок KA2, его контакт обесточит катушку контактора KM, который отключит ответственные приемники (камбузное оборудование, вентиляция помещений, кондиционер и т. д.). При переходе генератора в двигательный режим иопорачивается диск реле обратной мощности и с выдержкой времени (примерно, 8 с) через его контакты поступит питание на расцепитель KVI, что приведет к отключению QF и генератора. Кнопка SB служит для отключения (JF, a SH1 - для включения KM).

1 In судах ГРЩ устпнпнпнпнпнпнп м помещении МО или в ЦПУ. На пмтомпнп.шроианнх судах появилась тенденция переноса части функций управления СЭС с ГРЩ на пульт управления СЭУ судна, нчтому нл лицевых панелях ГРЩ количество органом управления сведено до минимума.

Техническое обслуживание ГРЩ -без разборки рекомендуется иромодип. не реже 1 раза в 6 мес. При этом удаляют загрязнения со шпиа и его аппаратуры, затягивают контакты, проверяют работу аипартурм ручного управления. При ТО с частичной разборкой (не реже 1 рпт м год) дополнительно зачищают контакты, заменяют изношенные дгщии, доподят до нормы сопротивление изоляции, регулируют йШтрпты. Затем ГРЩ проверяют в действии под нагрузкой. При выполнении ТО с ГРЩ полностью снимают напряжение, шины закорачивают перемычками и заземляют. Если это невозможно, то ГРЩ обесточивают по частим.

5.9. Выбор коммутационно-защитной аппаратуры

Выбираемая для установки на судне аппаратура прежде всего должна соответствовать требованиям Правил Регистра СССР или других документов, определяющих условия работы СЭО. Эти требования определяют температурные условия работы аппаратуры, условия влажности, вибрации, качки и т. д. В зависимости от места установки аппаратуры на судне выбирают его степень защищенности, определяют способ крепления и подвода питания.

Любой аппарат выбирают с учетом рода тока, значений частоты напряжения и тока нагрузки. Учитывают количество фаз (полюсов). Должны соблюдаться условия:

$$U_{ном} \geq U_{раб} \quad I_{ном} \geq I_{раб}$$

где $U_{ном}$, $I_{ном}$ — номинальные напряжение и ток аппарата; $U_{раб}$, $I_{раб}$ — рабочие напряжение и ток, действующие в данной схеме.

Невыполнение 1-го условия приведет к пробое изоляции аппарата и возникновению КЗ. Кроме того, при повышенном напряжении увеличивается время гашения дуги и контакты аппарата могут оплавиться. Выполнение 2-го условия необходимо во избежание перегрева аппарата. При $I > I_{раб}$ в аппарате выделяется повышенное количество теплоты, что приводит к перегреву токоведущих устройств и выходу из строя изоляционных конструкций.

При выборе коммутационной аппаратуры, к которой относятся контакторы, переключающие (не защитные) реле, пакетные выключатели и переключатели, разъединители и т. д., достаточно выполнить указанные условия. Выбор же защитных и коммутационно-защитных устройств имеет свои особенности.

Выбор предохранителей. Вначале выбирают плавкую вставку ПП, а затем — патрон. Для защиты сетей освещения, отопления, сигнализации и других сетей, в которых не возникают пусковые токи, выбирают плавкую вставку по условию

$$I_{п.в} \geq W$$

При выборе плавкой вставки, защищающей ЭД, следует учитывать условия пуска: плавкая вставка не должна перегорать в пусковом режиме. Номинальный ток плавкой вставки одиночно работающего электродвигателя

$$I_{п.в} > k I_{ном}$$

где k — коэффициент, учитывающий условия пуска; $I_{ном}$ — номинальный ток электродвигателя.

Для ЭД с легкими условиями пуска принимают $k = 1,5$, с тяжелыми условиями пуска — $k = 2,5$.

При выборе плавкой вставки, устанавливаемой для защиты нескольких (л) ЭД, считают, что двигатель, имеющий наибольший пусковой ток, находится в пусковом режиме ($W_{ном1}$), а остальные развивают номинальные токи:

$$I_{п.в} \geq k I_{ном1} + k_0 (I_{ном2} + I_{ном3} + \dots + I_{номл})$$

где $I_{ном1} \dots I_{номл}$ — номинальные токи ЭД; k_0 — коэффициент, учитывающий одновременность работы ЭД.

Далее выбирают патрон предохранителя с соблюдением условий:

$$I_{п} \geq I_{ном}; \quad U_{п} \geq U_{ном}$$

где $I_{п}$, $U_{п}$ — номинальные соответственно ток и напряжение выбираемого патрона; $I_{ном}$ — номинальный ток защищаемого ЭД (или сумма номинальных токов всех ЭД); $U_{ном}$ — номинальное напряжение ЭД.

При отключении токов КЗ должна перегорать плавкая вставка без нарушения механической прочности патрона (без его разрушения). Ток, разрушающий предохранитель, называется предельным током КЗ, или ударным током ($I_{уд}$). Его значения приводятся в таблицах предохранителей и аппаратов. Расчетный ток КЗ защищаемой цепи должен быть меньше или равняться ударному току:

$$I_{кз} \leq I_{уд}$$

Выбор автоматических выключателей. Сначала выбирают максимальные расцепители по условию

$$I_{ном.р} \geq I_{раб}$$

где $I_{ном.р}$ — номинальный ток выбираемого расцепителя; $I_{раб}$ — рабочий ток защищаемой цепи, генератора или приемника (находит по формулам, приведенным в п. 9.3).

Номинальный ток расцепителя определяет номинальный ток АВ и по серии (марку).

Чтпм выбирают ток / трогания расцепителя в зоне КЗ (под током тротпин понимается ток срабатывания или ток уставки электромагнитных расцепителей АВ в зоне КЗ). В любом случае ток трогания должен быть более $2 I_{раб}$: расцепитель не должен срабатывать от пусковых токов. В каждом конкретном случае / определяют с учетом характеристик защищаемого объекта.

Время срабатывания расцепителя в зоне КЗ должно быть не более 1 г. При этом должна обеспечиваться избирательность защиты данного участка > пи: время отключения АВ должно уменьшаться ступенями от электроэнергии к приемникам. Ближайшими к приемникам электронными коммутационно-защитными устройствами могут быть

АВ серий АС25, АК50, А3300 или А3700БР, у которых время отключения токов КЗ не превышает 0,04 с. Аппаратами следующей ступени (АВ, питающие групповые щиты) могут быть АВ серии А3700СР с уставками по времени 0,1 и 0,25 с. Наконец, для коммутации генераторов СЭС рационально установить АВ серий АМ или ВА73 с настройкой их на время срабатывания 0,38; 0,63; 1,0 с.

Далее необходимо проверить АВ по воздействию на них токов КЗ. Протекая по АВ, ток КЗ создает электродинамические и тепловые нагрузки на его токоведущие и изолирующие части, значение которых в десятки раз превышает номинальные. Отключение тока КЗ связано с возникновением интенсивной дуги. Каждый АВ рассчитывают на определенные предельные значения токов КЗ, которые могут протекать и отключать АВ без повреждения его конструкции.

Контрольные вопросы-задания

1. Чем отличаются пакетные переключатели от универсальных переключателей?
2. Перечислите основные элементы генераторного АВ.
3. Какие защиты устанавливаются в АВ типа А3300?
4. Каковы конструктивные особенности АВ типа АК50?
5. Почему эксплуатационные характеристики АВ значительно лучше характеристик пакетных выключателей, установленных с предохранителями?
6. Назовите причины перехода СГ в двигательный режим.
7. Почему при переходе СГ в двигательный режим на выходе кольцевого модулятора реле типа РОТ-51/401 полярность напряжения изменяется на противоположную?
8. В каких случаях в схеме реле типа РСТ-51/401 срабатывает устройство "отсечки"?
9. Какие электроизмерительные приборы установлены в коммутационных устройствах СЭС?
10. Как включается прибор ферродинамической системы для измерения активной мощности СГ?
11. Чем отличаются узкопрофильные электроизмерительные приборы от обычных?
12. Почему схема электронного вольтметра (см. рис. 5.20,а) собрана на двух транзисторах?
13. Как включаются измерительные трансформаторы?
14. Пользуясь схемой (см. рис. 5.21), укажите устройства в схеме ГРЩ переменного тока, которые подключены к трансформаторам тока.
15. По каким параметрам выбирают коммутационную и защитную аппаратуру СЭС?

Глава 6. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ГЕНЕРАТОРОВ

6.1. Особенности параллельной работы

Под параллельной работой понимают работу двух или более генераторов на общую сеть. Необходимость в параллельной работе может возникнуть в следующих случаях:

если мощность одного генератора недостаточна для обеспечения заданного эксплуатационного режима работы судна;

при проходе узкостей, когда включение резервного генератора повышает живучесть СЭС и безопасность плавания;

при переводе нагрузки с одного генератора на другой с целью останова одного из генераторных агрегатов для ТО, ремонта и др.

В настоящее время параллельная работа генераторов является основным режимом работы СЭС.

Отметим основные особенности параллельной работы генераторов: обеспечивается бесперебойность в снабжении электроэнергией приемников путем включения резервного генератора взамен вышедшего из строя;

достигается наиболее полная загрузка генераторов путем своевременного отключения одного или нескольких из них при уменьшении общей нагрузки СЭС;

увеличиваются токи КЗ, в связи с чем повышаются требования к электродинамической и термической устойчивости коммутационно-защитной аппаратуры;

усложняется система управления СЭС вследствие применения узлов синхронизации, распределения активных и реактивных нагрузок, защиты от перехода СГ в двигательный режим и др.

Регистр СССР предъявляет следующие требования к генераторам, предназначенным для параллельной работы:

отношение номинальных мощностей генераторов не должно превышать 3:1 (в противном случае параллельная работа генераторов будет неустойчивой);

степень неравномерности активных и реактивных нагрузок генераторов не должна превышать $\pm 10\%$ номинальных активной и реактивной мощностей меньшего из параллельно работающих генераторов.

Пропорциональное распределение активной нагрузки параллельно работающих генераторов обеспечивается применением функционально специализированных устройств распределения мощности (например, типа УРМ в системе "Ижора") или регуляторами частоты вращения ПД, а реактивной нагрузки - системами самовозбуждения и автоматического регулирования напряжения совместно с устройствами статизма и уравнивающими связями.

6.2. Условия синхронизации и последствия их нарушений

Условия синхронизации. Подготовка СГ к включению на параллельную работу и сам процесс включения называются синхронизацией. Перед включением СГ на параллельную работу необходимо выполнить следующие условия синхронизации:

1) равенство напряжения U сети и ЭДС E_r подключаемого генератора, т. е. $|E/J|=|E_r|$;

2) равенство частот сети / и подключаемого генератора / т. е. $f = f_r$;

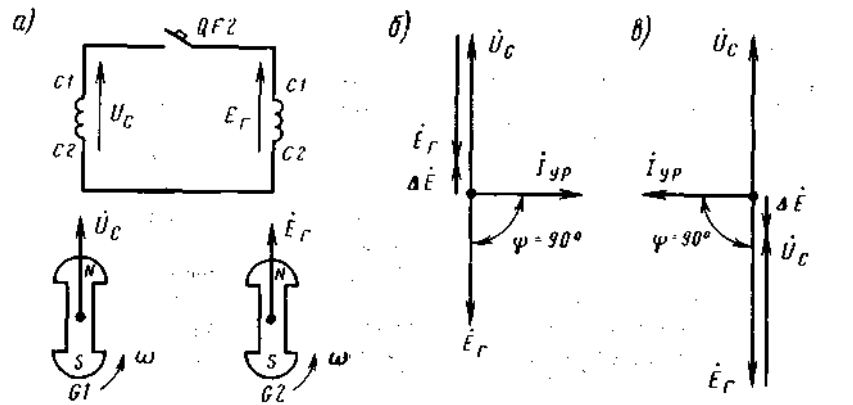


Рис. 6.1. Точная синхронизация:
 а, б — схемы замещения СЭС; в — векторные диаграммы напряжений соответственно при $|U_c| > |E_m|$

3) совпадение по фазе одноименных векторов фазных напряжений обоих генераторов, или, иначе, равенство нулю угла сдвига по фазе указанных векторов, т. е. $\phi = 0^\circ$;

4) одинаковый порядок чередования фаз 3-фазных генераторов, т. е. $A_c - B_c - C_c$ и $A_r - B_r - C_r$.

Если все условия синхронизации выполнены, то включение генератора на шины ПЩ будет безударным, а сам генератор после включения останется работать в режиме холостого хода.

Последствия нарушений условий синхронизации. От того, какое именно условие не выполнено, зависят последствия нарушения условий синхронизации. Рассмотрим поочередно нарушение каждого из перечисленных условий. При этом с целью упрощения объяснения будем считать, что СЭС (рис. 6.1, а) состоит из двух 1-фазных генераторов $G1$ и $G2$, причем $G1$ работает в режиме нагрузки с напряжением E_r , а $G2$ с ЭДС E не включен на параллельную работу и находится в режиме холостого хода.

Кроме того, совместим векторы E_r и E с осями роторов генераторов. Такое совмещение для генератора $G2$ возможно, потому что от положения ротора зависит мгновенное значение ЭДС статора, которое, в свою очередь, на векторной диаграмме определяется положением вектора ЭДС. Например, если ротор $G2$ расположен вертикально, то обмотку статора $C1-C2$ пересекает максимальный магнитный поток, индуцирующий максимальную ЭДС, которой соответствует вертикальное положение вектора ЭДС E_r . Совмещение вектора E и оси ротора $G1$ допустимо при условии, что активная нагрузка генератора невелика по сравнению с номинальной. Действительно, из теории электрических машин известно, что при работе генератора в режиме нагрузки на его

выводах устанавливается напряжение $U = E - AU$, где AU - падение напряжения в обмотке статора. При небольших нагрузках генератора можно принять $AU = 0$, поэтому $U = E$. Такое допущение позволяет упростить последующее объяснение.

Пусть нарушено первое условие, т. е. $|U_c| \neq |E_r|$. Выполнение 2-го условия ($\omega_c = \omega_r$) означает, что роторы обоих генераторов имеют одинаковую частоту вращения. Выполнение 3-го условия, т. е. совпадение по фазе напряжения U_c и ЭДС E_r , означает совпадение мгновенной полярности напряжения и ЭДС (например, "плюс" на выводах $C1$ и "минус" на выводах $C2$ обмоток статоров). Во вторую половину периода переменного тока мгновенная полярность изменится на обратную. Условно совпадение по фазе векторов U_c и E_r показано их одинаковым расположением (от $C2$ к $C1$) на рис. 6.1, а.

С момента включения генератора $G2$ на параллельную работу при помощи автоматического выключателя $QF2$ обмотки статоров обоих генераторов образуют замкнутый контур, в котором векторы U_c и E_r расположены встречно. Поэтому на векторных диаграммах (рис. 6.1, б, в) эти векторы находятся в противофазе.

Если $|E_r| > |E|$ (см. рис. 6.1, б), в контуре возникнет результирующая ЭДС $\Delta E = U_c + E_r$, совпадающая по фазе с большим из векторов, т. е. с U_c . Эта ЭДС вызовет в контуре уравнивающий ток $I_{ур} = \Delta E / (X_c + X_m)$, где X_c, X_m - индуктивные сопротивления обмоток статоров генераторов $G1$ и $G2$. Активными сопротивлениями этих обмоток можно пренебречь вследствие их малости.

Таким образом, уравнивающий ток по отношению к ЭДС ΔE является индуктивным и отстает от нее на 90° . Одновременно вектор $I_{ур}$ отстает по фазе от вектора напряжения U_c на 90° и опережает на тот же угол вектор E_r . Поэтому $I_{ур}$ является индуктивным для генератора с большим напряжением и емкостным по отношению к генератору с меньшей ЭДС. Этот ток создает продольный размагничивающий поток и обмотке статора генератора $G1$, стремясь уменьшить напряжение U_c , и продольный подмагничивающий поток в обмотке статора $G2$, увеличив ЭДС E_r . В итоге действие уравнивающего тока приведет к выравниванию напряжений обоих генераторов.

При $|E| < |E_r|$ действие уравнивающего тока проявляется аналогично (см. рис. 6.1, в): уравнивающий ток подмагничивает генератор с меньшим напряжением U_c и размагничивает генератор $G2$ с большей ЭДС.

По отношению к каждому генератору $I_{ур}$ является реактивным, и включение генератора $G2$ на параллельную работу будет безударным, т. е. без механических толчков на валу генератора, следовательно, электромагнитная мощность синхронного генератора $P_{эм} = m \cdot E_r \cdot I_{ур} \cdot \sin \phi$, где m - число фаз; E_r - ЭДС генератора; $I_{ур}$ - ток статора; ϕ - угол сдвига по фазе векторов E_r и $I_{ур}$. Для генератора $G2$ угол $\phi = 0$ и $P_{эм} = 0$. Значит, электромагнитный момент на валу статора $M_{эм} = P_{эм} / \omega = 0$.

Однако уравнивающий ток нагружает обмотки статоров обоих генераторов, нагревая их и линии электропередачи между генераторами и не позволяя использовать генераторы по току полностью.

При нарушении второго условия синхронизации $f_s \neq f_c$. Включение генератора на параллельную работу приводит к несинхронному режиму их работы. Поскольку выполняются 1-е и 3-е условия синхронизации, т. е. $|U_c| = |E_r|$ и $\varphi = 0^\circ$, включение генератора будет безударным, однако вслед за этим возникнет переходный процесс, характер которого определяется значением частоты скольжения $f_s = f_c - f_r$.

Если это значение составляет несколько герц, ротор подключенного генератора может не войти в синхронизм и будет перемещаться относительно ротора другого генератора в направлении, зависящем от соотношения частот генераторов. При $f_r > f_c$ ротор подключенного генератора $G2$ будет обгонять ротор генератора $G1$, если же $f_r < f_c$ - будет отставать. Поэтому взаимное положение роторов в разные моменты времени может быть одинаковым, противоположным (отличающимся на 180°) и любым другим. Возникающие при этом механические толчки на валу могут привести к тому, что не только подключенный генератор не войдет в синхронизм, но могут выпасть из синхронизма другие параллельно работающие генераторы.

Если разность частот невелика, то после подключения генератора его ротор совершит несколько колебательных движений (качаний) с постепенно убывающей амплитудой и затем под действием синхронизирующей мощности $P_{сх}$ втянется в синхронизм. Роторы обоих генераторов станут вращаться с одинаковой частотой.

Последствия нарушения третьего условия ($\varphi \neq 0^\circ$) зависят от взаимного положения роторов в момент включения генератора на параллельную работу. Поскольку выполняются 1-е и 2-е условия синхронизации, то $|U_c| = |E_r|$ и $f_r = f_c$.

Вначале примем, что выполняется также 3-е условие, т. е. роторы обоих генераторов в любой момент времени занимают одинаковое положение по отношению к статорным обмоткам, генераторов (такое, например, как на рис. 6.1, а). Поэтому векторы \dot{U} и \dot{E}_c параллельны, т. е. совпадают по фазе ($\varphi = 0^\circ$). С момента включения генератора $G2$ на параллельную работу в замкнутом контуре, образованном статорными обмотками $C1-C2$ обоих генераторов, векторы U и \dot{E}_c находятся в противофазе и взаимокompенсуются. Поэтому результирующая ЭДС $\Delta \dot{E} = \dot{U}_c + \dot{E}_r = 0$, уравнивающий ток $I_{ур} = \Delta E / (X_c + X_r) = 0$, электромагнитная мощность генератора $P_{эм} = 0$ и электромагнитный момент $M_{эм} = 0$. Включение будет безударным, реактивные токи статорных обмоток отсутствуют.

Если ротор одного из генераторов в момент включения "перевернут", т. е. положение роторов обоих генераторов отличается на 180° , то векторы U_c и \dot{E}_r в контуре, образованном статорными обмотками генераторов, окажутся направленными согласно. Результирующая ЭДС $\Delta \dot{E}$ в этом контуре достигает двойного фазного напряжения. Включение

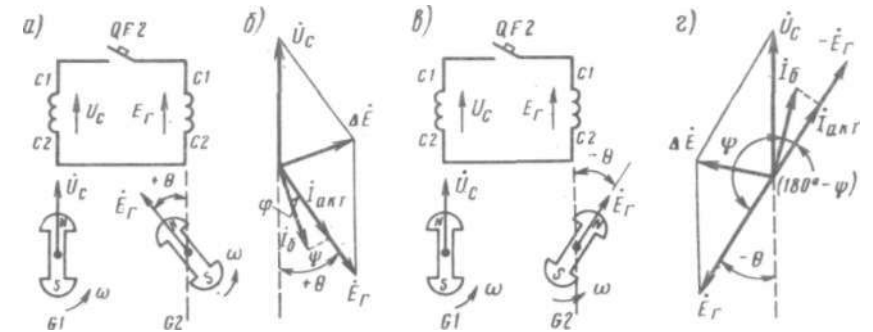


Рис. 6.2. Синхронизация при несовпадении векторов фазных напряжений генераторов: «а» — схемы замещения СЭС; б, в — векторные диаграммы напряжений соответственно при $\theta > 0$ и $\theta < 0$.

сопровождается образованием уравнивающего тока, равного ударному току КЗ одного генератора.

Если в момент включения генератора $G2$ на параллельную работу его ротор опередил ротор генератора $G1$ на угол θ (рис. 6.2, а) или, наоборот, отстал от ротора $G1$ на угол $-\theta$ (рис. 6.2, в), в обоих случаях возникает результирующая ЭДС $\Delta \dot{E}$, вектор которой построен по правилу параллелограмма на основании уравнения $\Delta \dot{E} = \dot{U}_c + \dot{E}_r$. Ток биения $I_{б} = \Delta E / (X_c + X_r)$, образованный под действием ЭДС $\Delta \dot{E}$ и отстающий от нее на ψ , в первом случае имеет активную составляющую $I_{акт} = I_b \cos \psi > 0$, совпадающую по фазе с ЭДС E_m (рис. 6.2, б). Во 2-м случае активная составляющая тока биения $I_{акт} = I_b \cos (180^\circ - \psi) < 0$ находится в противофазе с ЭДС E_r (рис. 6.2, в). Поэтому в 1-м случае электромагнитная мощность подключенного генератора $P_{эм} = m E_r I_b \cos \psi > 0$, а во 2-м $P_{эм} = m E_r I_b \cos (180^\circ - \psi) < 0$. В результате включение генератора $G2$ сопровождается толчком на валу в 1-м случае тормозного, а во втором ускоряющего характера. При этом включение генератора в 1-м случае сопровождается его переходом из режима холостого хода в генераторный с частичным приемом активной нагрузки от 1-го генератора, а во 2-м - переходом в двигательный режим с созданием дополнительной нагрузки на генератор $G1$. Поскольку в двигательном режиме электромагнитный момент имеет ускоряющий характер, т. е. совпадает с моментом ПД генератора, возможен переход упомянутого двигателя в режим разноса.

Природа токов уравнивающего $I_{ур}$ и биения $I_{б}$ одинакова - оба возникают под действием ЭДС $\Delta \dot{E}$. Разница между ними заключается в том, что уравнивающий ток возникает при $|U_c| \neq |E_r|$ и имеет реактивный характер, а ток биения $I_{б}$ появляется при несинхронном включении ($\varphi \neq 0^\circ$) и имеет значительную активную составляющую $I_{акт}$, которая вызывает толчки (удары) по валу генератора.

Нарушение четвертого условия сопровождается образованием в обмотках статоров генераторов токов КЗ. Одинаковый порядок чередования фаз обеспечивается при монтаже генераторов и ГРЩ и проверяется только при первом включении генераторов на шины ГРЩ.

6.3. Методы синхронизации

Существует 3 метода синхронизации: точной, грубой и самосинхронизации. Каждый из методов может выполняться вручную, полуавтоматически или автоматически. На современных судах наиболее часто применяют метод точной синхронизации, реже - грубой синхронизации и крайне редко - самосинхронизации. Такое различие объясняется особенностями каждого, способа.

Метод точной синхронизации. Суть метода состоит в том, что подключаемый генератор включается на шины ГРЩ с соблюдением всех условий синхронизации.

Выполнение первого условия на практике осуществляется автоматически, так как СГ снабжены системами самовозбуждения и автоматического регулирования напряжения *СВАРН* (рис. 6.3). Равенство частот достигается подгонкой частоты подключаемого СГ к частоте работающего. Для этого на панели управления ГРЩ располагают реверсивные переключатели *SB1* и *SB2*, при помощи которых включают серводвигатель *M1* или *M2* регулятора частоты вращения подключаемого СГ в ту или иную сторону. Визуальный контроль за выполнением первых двух условий на практике выполняется одновременно, поочередным подключением к каждому генератору вольтметра *PV* и частотомера *PF* переключателем *S2*.

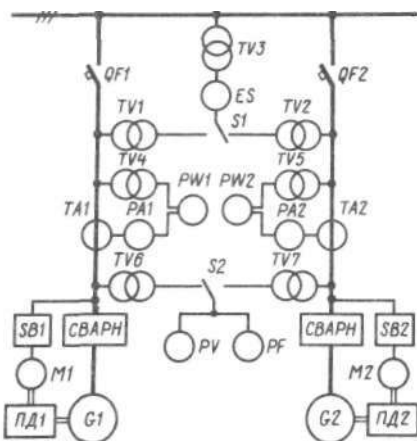


Рис 6.3. Принципиальная схема точной синхронизации

Совпадение по фазе одноименных векторов фазных напряжений проверяется при помощи синхроскопа *ES* и достигается при одинаковом положении роторов работающего и подключаемого генераторов по отношению к статорам. Для этого воздействуют короткими импульсами на серводвигатель регулятора частоты вращения подключаемого СГ, добиваясь момента, когда стрелка синхроскопа расположится вертикально, напротив отметки на шкале прибора. В этот момент времени включают СГ на шины ГРЩ при помощи автоматического выключателя *QF1* (*QF2*).

При точном соблюдении условий синхронизации включение СГ на шины будет безударным, а сам генератор после включения останется работать в режиме холостого хода. После этого подключенный СГ нагружают активной нагрузкой, одновременно разгружая другой, для чего увеличивают подачу топлива (пара) у подключаемого ГА и одновременно уменьшают у другого. Распределяют активную нагрузку пропорционально номинальным активным мощностям генераторов и контролируют при помощи киловаттметров *PW1* и *PW2*, обычно включаемых через трансформаторы тока *TA1* и *TA2* и напряжения *TV4* и *TV5*.

Распределение реактивной нагрузки происходит автоматически путем воздействия систем самовозбуждения и автоматического регулирования напряжения *СВАРН* обоих* генераторов на токи возбуждения. При этом ток возбуждения подключенного СГ автоматически увеличивается, а другого уменьшается. Пропорциональность распределения реактивной нагрузки проверяется при помощи килоамперметров *PA1* и *PA2*, т. е. косвенно, так как эти приборы показывают полные, а не реактивные токи генераторов. Если у двух однотипных СГ одинаковы показания киловаттметров (т. е. одинаковы активные токи) и неодинаковы показания килоамперметров, значит, неодинаковы реактивные токи.

Из всего изложенного следует, что включение СГ на параллельную работу представляет собой довольно трудную задачу. Основная трудность заключается в определении момента совпадения по фазе напряжений СГ, включаемых на параллельную работу. Для определения указанного момента при автоматической точной синхронизации используют синхронизаторы, а при точной синхронизации вручную применяют синхроскопы.

Синхроскопы. На практике применяют синхроскопы двух типов: на лампах накаливания и на основе сельсинов (см. п. 5.7).

Простейший ламповый синхроскоп имеет в своем составе синхронизирующую лампу *HL*, которую присоединяют к выводу генератора и шине сети так, как показано на рис. 6.4, а. Таким образом, указанная лампа оказывается включенной между одноименными выводами *С1* обоих генераторов (рис. 6.4, б). При неодинаковых частотах СГ на зажимах лампы *HL* возникает напряжение биения (U_6 , представляющее собой сумму мгновенных значений напряжений сети U_c и ЭДС E_c подключаемого генератора (рис. 6.4, в).

Огибающая *ABCDE* положительных полуволн напряжения биения, выполненная штриховой линией, характеризуется периодом биения $T_s = 1/f_s$ и максимальным значением напряжения биения $E_{6\max}$. На этой кривой точками *B* и *D* обозначены узлы, в которых напряжение биения ($U_6 = 0$). В моменты времени, соответствующие узлам, лампа *HL* гаснет, а роторы СГ занимают одинаковое положение по отношению к статорным обмоткам, поэтому напряжение U_c и ЭДС E_c находятся в противофазе в контуре, образованном статорными обмотками, и **взаимокомпенсируются**.

В моменты времени, соответствующие точкам *A*, *C*, *E*, лампа *HL* горит наиболее ярко, так как напряжение *u* и ЭДС \mathcal{E}_r в упомянутом контуре совпадают по фазе. Положение роторов обоих генераторов отличается на 180° , напряжение биения $u_s = \mathcal{U}_{\text{таж}} \cdot 2/\dots$. Если лампа *HL* мигает часто, это является признаком большой разницы в частотах генераторов. Если накал лампы *HL* в течение определенного промежутка времени не изменяется, это свидетельствует о "зависании" подключаемого генератора. В этом случае оба СГ работают в синхронно-несинфазном режиме, при котором их роторы вращаются с одинаковой частотой, но в любой момент времени занимают неодинаковое положение по отношению к статорным обмоткам. Поэтому напряжение биения не изменяется по амплитуде, яркость лампы *HL* постоянна.

Включение генератора на шины проводят в моменты времени, соответствующие точкам *B* и *D*, в которых напряжение биения $u_s = 0$. На практике импульс на включение АВ генератора надо подавать с некоторым опережением по времени $t_{\text{оп}}$, с учетом собственного времени t срабатывания АВ. Безударное включение достигается при условии $t_{\text{оп}} = t_{\text{авт}}$.

Выводы, полученные для 1-фазных генераторов, справедливы для 3-фазных СГ. В сетях 3-фазного переменного тока применяют стрелочные (см. п. 5.7) и 3-фазные лампы синхроскопы.

В ламповых 3-фазных синхроскопах лампы накаливания включают по одной из двух схем: "на погасание" или "на вращение огня" (рис. 6.5).

В схеме "на погасание" каждая лампа *HL1*, *HL2* и *HL3* включается между одноименными фазами сети и генератора (рис. 6.5, *a*). Напряже-

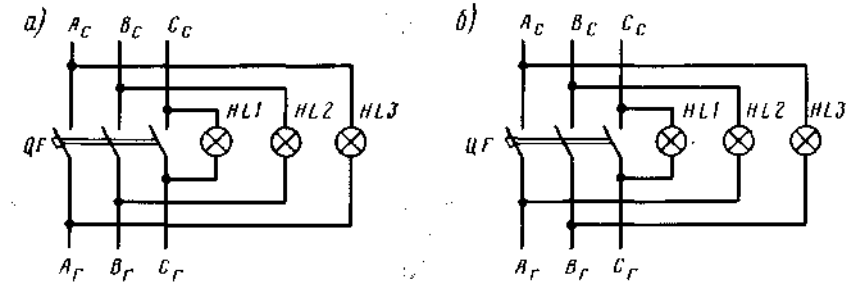


Рис. 6.5. Схемы ламповых синхроскопов на "погасание" (*a*) и "вращение огня" (*b*)

ние биения на каждой лампе пульсирует с частотой скольжения $f_c - f_r$. Генераторный АВ включают в момент погасания ламп.

В схеме "на вращение огня" лампа *HL1* включается между одноименными фазами, а лампы *HL2* и *HL3* - "накрест", т. е. между разноименными фазами генератора и сети (рис. 6.5, *b*). Лампы загораются поочередно, причем частота "вращения огня" пропорциональна разности частот генератора и сети, а направление вращения определяется знаком этой разности. По направлению "вращения огня" можно определить, как надо изменять частоту вращения подключаемого генератора, чего нельзя сделать при использовании схемы "на погасание". Автоматический выключатель включают при погасании лампы *HL1*.

Метод грубой синхронизации. Метод заключается в том, что генератор подключают на шины ГРЩ не прямо, как при точной синхронизации, а через токоограничивающее реактивное сопротивление *X* включенное в каждую фазу (рис. 6.6, *a*). Это сопротивление называется реактором.

Грубую синхронизацию выполняют в следующем порядке: уравнивают частоты и напряжения СГ, что проверяют при помощи частотомера *PF* и вольтметра *PV*; в произвольный момент времени замыкают контакт *KM2* (*KM1*), тем самым включая генератор *G2* (*G1*) на шины ГРЩ через реактор *X* • через несколько секунд, в течение которых генератор втягивается в синхронизм, включают АВ *QF2* (*QF1*) и размыкают контакт *KM2* (*KM1*).

Поскольку включение генератора на шины выполняют в произвольный момент времени, роторы СГ, а значит, векторы напряжения сети \dot{u}_c и ЭДС \mathcal{E}_r подключаемого генератора в момент включения могут занимать любое взаимное положение. Поэтому включение СГ сопровождается бросками тока и механическими ударами на валу, которые ограничиваются реактором до безопасных значений. Сам же метод иногда называют методом несинхронного включения СГ.

Сопротивление реактора рассчитывают исходя из наиболее тяжелого случая включения, когда положение роторов СГ отличается на 180° . При этом векторы *U* и E_m в контуре, образованном статорными обмот-

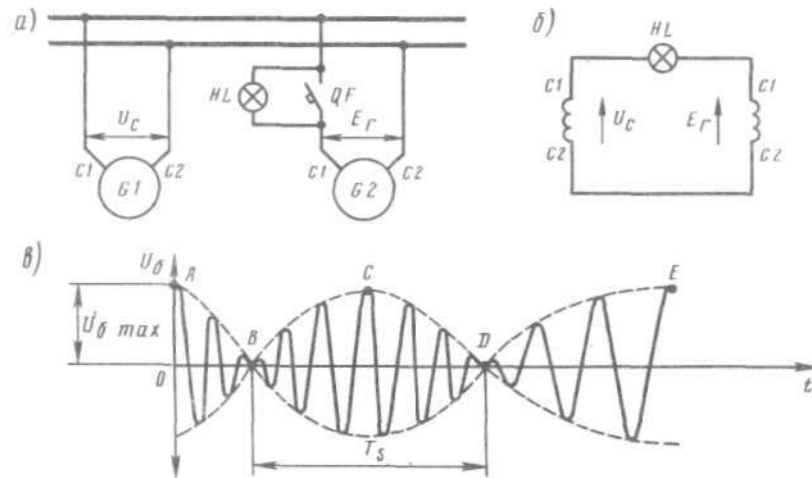


Рис. 6.4. Схема подключения простейшего лампового синхронизатора (*a*), схема его замещения (*b*) и график напряжения биения (*в*)

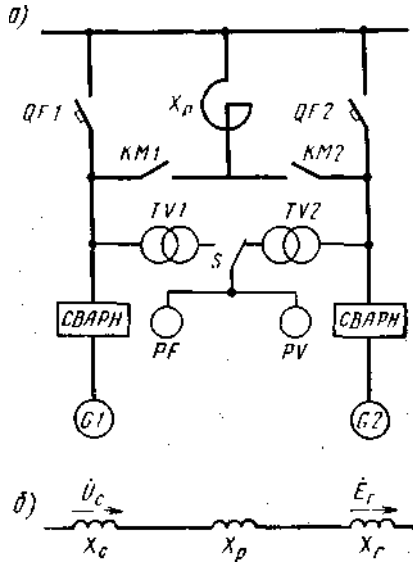
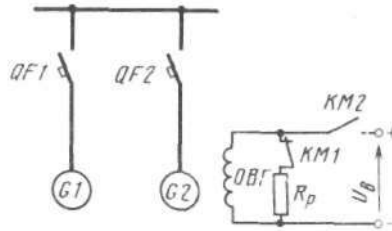


Рис 6.6. Схемы грубой синхронизации (а) и замещения для одной фазы (б)

Рис 6.7. Схема самосинхронизации



хами генераторов, совпадают по фазе, т. е. $U_c + \mathcal{E}_r = 2U_c$. Тогда наиболее значение тока в момент включения определится по схеме замещения $(I_{\text{вкл max}} = 2U_c / (X_c + X_p + X_r) \leq (2,5 - 3,5)I_{\text{ном}}$, где $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток генератора.

На многих судах грубая синхронизация СГ выполняется полуавтоматически: уравнивание напряжений генераторов обеспечивают автоматические регуляторы напряжения, примерное уравнивание частот выполняет оператор, а выбор момента включения генератора на линии при $U + \mathcal{E}_r = 0$ обеспечивает аппаратура схемы синхронизации.

К достоинствам метода можно отнести простоту, надежность и непродолжительность. Метод допускает погрешность при уравнивании напряжений генераторов до $\pm 10\%$ номинального и частот до $\pm(3-4)\%$ номинальной. При правильном расчете и выборе реактора втягивание включенного генератора в синхронизм происходит в течение 1,5-3,0 с, а провал напряжения не превышает 20% номинального. Процесс синхронизации длится недолго, поэтому реактор рассчитывают на непродолжительную работу. Сопротивление реакторов зависит от мощности синхронизируемых СГ и обычно составляет несколько омов, а масса - десятки килограммов. Генераторы синхронизируются с сетью поочередно, поэтому для их включения на шины ПРЦ используют один и тот же реактор.

Метод самосинхронизации. При самосинхронизации (рис. 6.7) подключаемый СГ разгоняют до частоты вращения, отличающейся от синхронной на 2-5%. Обмотка возбуждения генератора ОВГ отключена от источника возбуждения (разомкнут контакт KM2) и замкнута на

разрядный резистор D_p (замкнут контакт $1 < M1$). В произвольный момент времени невозбужденный генератор при помощи автоматического выключателя QF2 подключают на шины и одновременно или с незначительной задержкой подают возбуждение (замыкается контакт KM2 и размыкается KM1). Далее генератор втягивается в синхронизм под действием синхронизирующей мощности $P_{\text{сх}}$.

В момент включения на шины ЭДС невозбужденного генератора $E_m = 0$, поэтому максимальное значение тока включения будет вдвое меньше максимального тока при синхронизации возбужденного генератора и составит $(2,0 - M,5) / I_{\text{ном}}$. Провалы напряжения достигают 50% номинального, а втягивание в синхронизм заканчивается через несколько секунд после включения СГ на шины. Разрядный резистор R предназначен для исключения перенапряжений в обмотке возбуждения ОВГ в момент включения СГ на шины.

Метод самосинхронизации прост и непродолжителен по времени. Недостатками метода являются провалы напряжения и удары на валу генераторов. Поэтому самосинхронизация может применяться в СЭЭС, включенная мощность которых значительно превышает мощность единичного СГ (например, в гребных электрических установках).

614. Распределение активной нагрузки

После включения СГ на параллельную работу его необходимо нагрузить, при этом распределяя нагрузку между включенными СГ пропорционально их номинальным активным мощностям.

Распределение активной нагрузки осуществляют путем изменения подачи топлива (пара), т. е. по регуляторным характеристикам ПД. Равномерность распределения зависит от наклона (статизма) характеристик (рис. 6.8). При этом меньшему наклону характеристики соответствует большая активная нагрузка генератора, что следует из сравнения регуляторных характеристик 1 и 2- При одинаковой (номинальной) частоте вращения $\omega_{\text{ном}}$ активная нагрузка 1-го генератора составляет P_1 , а второго - P_2 , причем $P_1 > P_2$.

Для того чтобы вручную распределить активные нагрузки и в то же время оставить частоту генераторов неизменной, надо увеличить подачу топлива (пара) на ГА, имеющий меньшую нагрузку, и одновременно уменьшить подачу топлива (пара) на ГА с большей нагрузкой. При этом регуляторные характеристики пе-

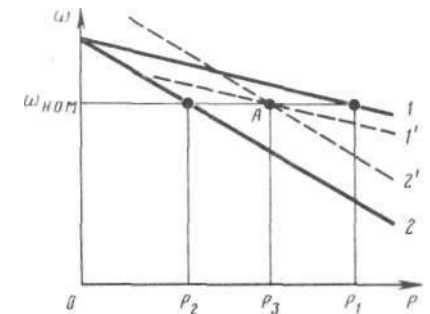


Рис 6.8. Регуляторные характеристики приводных двигателей СГ при распределении активных нагрузок вручную

ремещаются параллельно самим себе: характеристика 2 второго ГА вверх, а характеристика 1 первого ГА вниз. Изменение подачи топлива (пара) следует прекратить в момент, когда характеристики пересекутся в точке *A*. Каждый генератор будет нагружен одинаковой мощностью: $P_3 = (P_2 + P_2)/2$.

Важной особенностью систем автоматического распределения активной нагрузки является выделение так называемого *базового генератора*, у которого исключают воздействие серводвигателя на топливную рейку дизеля. По этой причине положение регуляторной характеристики базового генератора не изменяется. Выделение базового генератора связано с тем, что без него частота системы из нескольких параллельно работающих СГ становится неопределенной и произвольно изменяется в обе стороны от номинальной. Переходный процесс становится колебательным, а работа системы распределения нагрузки - неустойчивой. По отношению к базовому остальные генераторы являются *подстраиваемыми*.

При автоматическом распределении активной нагрузки (рис. 6.9, *a*) используют датчики активного тока *B1* и *B2*, подключаемые к генераторам через трансформаторы напряжения *TV1* и *TV2* и трансформаторы тока *TA1* и *TA2*. Выходы этих датчиков соединены последовательно, а

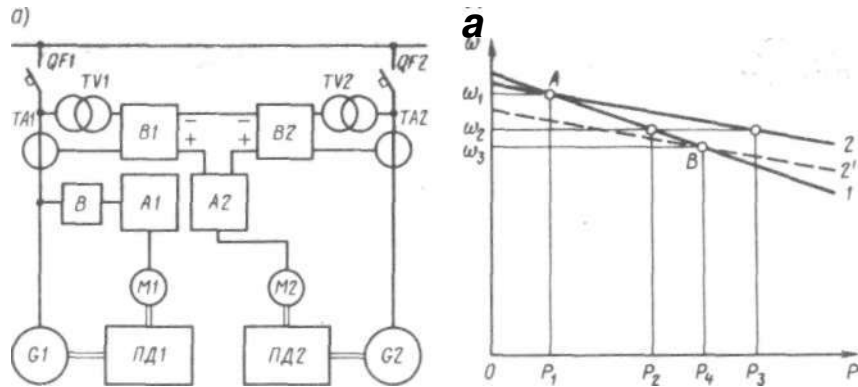


Рис 6.9. Система автоматического распределения активных нагрузок СГ:
a — структурная схема; *б* — регуляторные характеристики приводных двигателей СГ

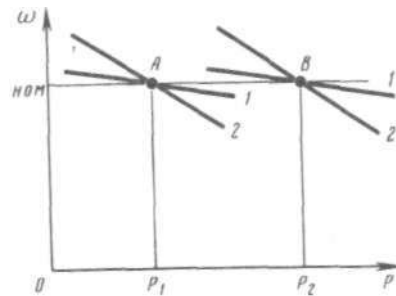


Рис 6.10. Регуляторные характеристики приводных двигателей при распределении активных нагрузок СГ с сохранением частоты

напряжения на выходах направлены встречно. Такой способ соединения выходов называют дифференциальной схемой. Результирующий сигнал в виде напряжения определенного значения и полярности поступает на вход усилителя *A2*, на выход которого подключен серводвигатель *M2* приводного двигателя подстраиваемого генератора *G2*. Серводвигатель *M1* приводного двигателя базового генератора *G1* не связан с усилителем *A2*, что исключает воздействие на него со стороны системы автоматического распределения активных нагрузок.

В исходном состоянии базовый *G1* и подстраиваемый *G2* генераторы нагружены каждый мощностью P_j , т. е. общая нагрузка составляет $2P_j$. Этому состоянию соответствует точка *A* (рис. 6.9, *б*). При увеличении общей нагрузки до значения $(P_2 + P_2)$ угловая скорость обоих генераторов уменьшится до ω_2 ; нагрузка базового генератора составит P_2 , подстраиваемого - P_3 . Равновесие между напряжениями на выходах датчиков *B1* и *B2* нарушится, поэтому серводвигатель *M2* начнет уменьшать подачу топлива дизеля *ПД2*. Регуляторная характеристика 2 подстраиваемого генератора переместится вниз и займет положение характеристики 2'. Новое состояние равновесия наступит в точке *B* пересечения характеристик 1 и 2'. При этом положение регуляторной характеристики базового генератора не изменилось. Каждый генератор нагружен одинаковой мощностью: $P^* = (P_2 + P_2)/2$. Угловая скорость обоих генераторов также одинакова и составляет ω_3 . Наличие зон нечувствительности регуляторов частоты вращения ПД генераторов приводит к тому, что нагрузки параллельно работающим генераторов распределяются с некоторой погрешностью ΔP , значение которой не должно превышать $\pm 10\%$ номинальной активной мощности наибольшего генератора.

Недостатком рассмотренной системы автоматического распределения активной нагрузки является изменение частоты вращения СГ при изменении нагрузки.

Если требуется повышенная стабильность частоты, серводвигатель *M1* приводного двигателя *ПД1* генератора *G1* включается через усилитель *A1* на датчик частоты *B* (см. рис. 6.9, *a*). Пусть в исходном состоянии общая нагрузка СЭС составляет $2P_j$, регуляторные характеристики 1 и 2 пересекаются в общей точке *A* (рис. 6.10) при номинальной угловой скорости $\omega_{ном}$, каждый генератор нагружен мощностью P_j . Увеличение нагрузки СЭС до значения $2P_2$ сопровождается снижением угловой скорости и возникновением токов в усилителях *A1* и *A2* (см. рис. 6.9, *a*). Включение серводвигателей *M1* и *M2* приведет к параллельному смещению регуляторных характеристик и восстановлению частоты. Работа серводвигателей прекратится в момент времени, когда характеристики пересекутся в точке *B*.

Подобное пропорциональное распределение активной мощности с сохранением частоты ранее выполняли устройства типа УРЧН (устройства автоматического регулирования частоты и распределения активной нагрузки), которые применялись совместно с датчиком частоты. В

связи с внедрением новых типов 2-импульсных регуляторов частоты вращения ПД задача поддержания частоты исключена из функций автоматизированных устройств СЭС. В настоящее время распределение активных нагрузок выполняют устройство распределения мощности типа УРМ в системе "Ижора" (включено постоянно) и блок распределения нагрузок генератора типа БРНГ в системе "Ижора-М".

6.5. Распределение реактивной нагрузки

Распределение реактивной нагрузки при параллельной работе СГ проводится путем изменения тока возбуждения генераторов. Равномерность распределения зависит от наклона внешних характеристик СГ, причем меньшему наклону характеристики соответствует больший ток нагрузки, что следует из сравнения внешних характеристик 1 и 2 (рис. 6.11). При одинаковом номинальном напряжении $U_{ном}$ ток нагрузки 1-го генератора составляет I_1 , а 2-го - I_2 , причем $I_1 > I_2$.

Для того чтобы вручную распределить реактивные нагрузки и в то же время оставить напряжение СГ неизменным, надо увеличить ток возбуждения генератора с меньшим током нагрузки и одновременно уменьшить у генератора с большим током нагрузки. При этом внешние характеристики СГ переместятся параллельно самим себе: характеристика 2 вверх, а характеристика 1 вниз. Изменение токов возбуждения надо прекратить в точке А, где реактивные нагрузки равны.

Для автоматического распределения реактивной нагрузки между СГ, снабженными системами амплитудно-фазового компаундирования, при одинаковом наклоне (статизме) внешних характеристик применяют уравнивательные связи (рис. 6.12).

Для однотипных генераторов с одинаковым номинальным напряжением возбуждения уравнивательную связь устанавливают между обмотками возбуждения, т. е. на стороне постоянного тока. При замыкании контактов КМ1 обмотки возбуждения соединяются параллельно, поэтому любое изменение напряжения на одной из них автоматически приводит к такому же изменению напряжения на другой.

Уравнивательные соединения применяют также на стороне переменного тока. Для СГ одинаковой мощности могут быть установлены уравнивательные соединения между выходными обмотками L3 компаундирующих трансформаторов. При замыкании контактов КМ2 эти обмотки соединяются параллельно, поэтому изменение напряжения на одной из них вызовет такое же изменение напряжения на другой. Для СГ разной мощности, имеющих разные напряжения возбуждения, применяют дополнительные обмотки L4 с одинаковыми выходными напряжениями. Если реактивные нагрузки СГ одинаковы, то в уравнивательных проводах, соединяющих эти обмотки, токи не протекают. При изменении реактивной нагрузки одного из генераторов возникающие между обмотками L4 уравнивательные токи будут подмагничивать магнитопровод одного из компаундирующих трансформаторов и

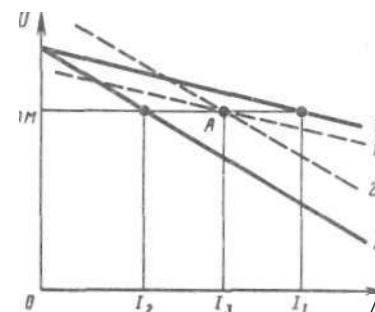
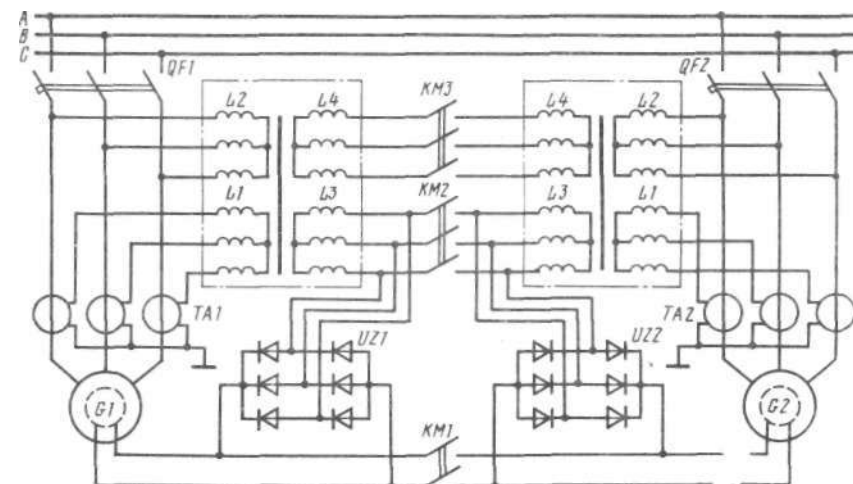


Рис 6.11. Внешние характеристики СГ при распределении реактивных нагрузок

Рис 6.12. Принципиальная схема различных способов подключения уравнивательных связей между параллельно работающими СГ



размагничивать магнитопровод другого, что приведет к выравниванию реактивных нагрузок генераторов.

Если уравнивательные связи не используются, пропорциональное распределение реактивных нагрузок достигается применением устройств статизма, при помощи которых в КН вводят сигнал, пропорциональный току нагрузки (см. п. 4.2).

6.6. Параллельная работа генераторов постоянного тока

Условия включения на параллельную работу. Таких условий 2:

- 1) полярность зажимов подключаемого генератора должна соответствовать полярности шин;
- 2) ЭДС подключаемого генератора должна равняться напряжению на шинах.

Пусть на шины включен генератор G1, а генератор G2 вводится в работу (рис. 6.13, а). Если оба условия выполнены, то после включения

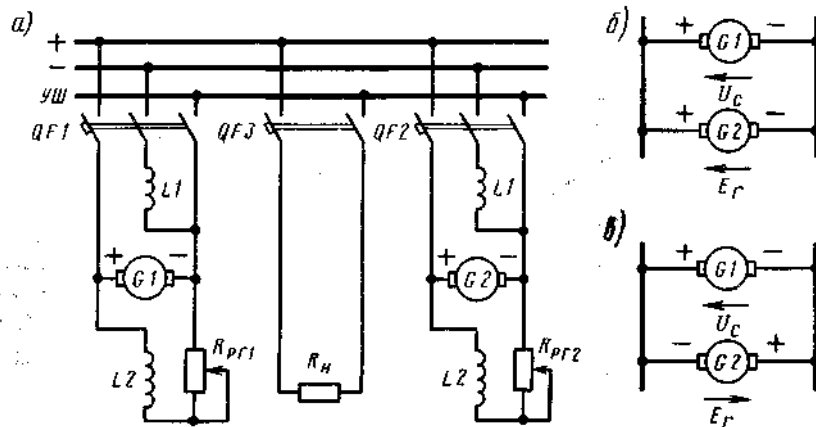


Рис. 6.13. Принципиальная схема параллельной работы генераторов постоянного тока смешанного возбуждения (а), схемы замещения цепей обмоток якорей при соответствии (б) и несоответствии (в) полярности шин и генератора

генератора G_2 на шины в цепи, образованной последовательно соединенными обмотками якорей генераторов, ЭДС E_m и напряжение Π , действуют встречно и взаимно компенсируются (рис. 6.13, б). Поэтому ток якоря подключенного генератора $I_{a2} = (\mathcal{E}_r - U_c) / R_{a2} = 0$. Это означает, что после включения генератор G_2 останется работать в режиме холостого хода.

При нарушении 1-го условия положительный вывод генератора G_2 соединяется с отрицательной шиной, а отрицательный зажим - с положительной (рис. 6.13, в). При этом в цепи обмоток якорей генераторов ЭДС E_m и напряжение U действуют согласно, вследствие чего в указанной цепи возникнет результирующая ЭДС $\mathcal{L}\mathcal{E} = \Pi + E_m \cdot 2l/c$. Под действием этой ЭДС через обмотки якорей, имеющие небольшое сопротивление, потечет ток КЗ.

Соответствие полярности зажимов генератора и полярности шин обеспечивается при монтаже генератора во время постройки судна и в дальнейшем не проверяется.

Последствия нарушения 2-го условия зависят от соотношения ЭДС генератора и напряжения на шинах. При $E_m > U_c$ ток якоря подключенного генератора $I_{a2} = (E_m - U_c) / R_{a2} > 0$. Это означает, что включенный генератор перейдет из режима холостого хода в генераторный и примет на себя часть нагрузки работающего генератора. Включение на шины сопровождается толчком на валу генератора тормозного характера, что объясняется действием электромагнитного момента генератора: $M = \kappa I_{a2} \Phi$, где κ - конструктивный коэффициент; Φ - магнитный поток.

При $\mathcal{E}_r < U_c$ ток якоря генератора $I_{a2} = (\mathcal{E}_r - U_c) / R_{a2} < 0$. Это означает, что после включения генератор станет работать в двигательном

режиме и создаст дополнительную нагрузку на работающий генератор. Электромагнитный момент генератора $M_{эм} = \kappa (-I_{a2}) \Phi < 0$, т. е. совпадает по направлению с моментом ПД, который вследствие этого может пойти "вразнос". Выполнение 2-го условия проверяется при помощи вольтметра, поочередно подключаемого к шинам и выводам генератора.

Включение генератора на шины проводится в следующем порядке: генератор G_2 приводится во вращение с номинальной частотой;

при помощи регулировочного реостата R_2 устанавливают на зажимах генератора ЭДС $E_m \cdot U'$,

подключают генератор на шины при помощи автоматического выключателя QF_2 .

После включения на шины генератор G_2 нагружают, распределяя нагрузку между генераторами пропорционально номинальной мощности каждого из них.

Перевод и распределение нагрузки. Воздействуя на регуляторы возбуждения генераторов R_1 и R_2 в цепях параллельных обмоток возбуждения L_2 , осуществляют распределение нагрузки. При этом увеличивают ток возбуждения у генератора G_2 и уменьшают у генератора G_1 . Такое одновременное и противоположное по характеру изменение токов возбуждения не только обеспечивает распределение нагрузки, но позволяет сохранить постоянство напряжения на шинах:

$$U = \frac{1E_{g1} + 1E_{g2}}{g_1 + g_2 + g_n} \approx \text{const},$$

где \mathcal{E}_j , E_n — ЭДС генераторов; g_1, g_2, g_n ~ проводимости ветвей с генераторами и ветви с эквивалентным сопротивлением нагрузки i_n сети.

Для обеспечения устойчивой параллельной работы генераторов смешанного возбуждения последовательные обмотки $B1$ соединяют параллельно при помощи уравнильной шины U_{III} . Если ЭДС одного из генераторов возрастет (например, вследствие увеличения частоты вращения ПД), то увеличится ток нагрузки этого генератора. Часть этого тока пойдет по последовательной обмотке другого генератора. Магнитный поток этого генератора возрастет, его ЭДС также увеличится, и поэтому увеличится его ток нагрузки. В результате нагрузка автоматически распределится между генераторами пропорционально номинальной мощности каждого из них.

При обрыве уравнильного провода случайное увеличение ЭДС любого генератора приведет к увеличению его тока нагрузки. Этот ток, протекая по последовательной обмотке, еще больше увеличит ЭДС этого генератора, что, в свою очередь, приведет к дальнейшему увеличению тока нагрузки. Второй генератор при этом будет разгружаться. Из приведенного примера следует, что устойчивая параллельная работа генераторов смешанного возбуждения без уравнильного провода невозможна.

Контрольные вопросы-задания

#*

1. Каковы последствия нарушений условий синхронизации?
2. В чем заключаются основные особенности разных способов синхронизации?
3. От чего зависит в ламповых синхроскопах направление "вращение огня" и частота мигания ламп синхроскопа?
4. Каким образом при параллельной работе СГ переводят активную и реактивную нагрузки?
5. Каковы достоинства и недостатки метода базового генератора при распределении активных нагрузок СГ?
6. Каковы последствия нарушения условий включения на параллельную работу ГПТ?
7. Объясните необходимость уравнильного провода при параллельной работе генераторов смешанного возбуждения.

Глава 7. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

7.1. Классификация и структура

Управление СЭЭС во всех режимах работы судна обеспечивается *системой управления*, представляющей собой функционально и конструктивно законченное устройство или совокупность нескольких связанных подсистем, каждая из которых выполняет одну или несколько функций.

Классификация СУ СЭЭС. В настоящее время на транспортных судах применяют различные СУ СЭЭС, которые принято классифицировать по следующим признакам:

структуре - системы в виде двух автономных подсистем, одна из которых обеспечивает автоматизированное дистанционное управление ПД генераторов, а другая выполняет синхронизацию генераторов, распределение нагрузки и др.; в виде единой СУ, обеспечивающей выполнение в полном объеме необходимых функций управления, контроля и защиты СЭЭС;

использованию ЭВМ - системы, в которых используется общесудовая управляющая ЭВМ и системы, использующие функционально специализированные ЭВМ (возможно использование обоих типов ЭВМ с разделением функций между ними);

способу реализации функций синхронизации и распределения нагрузки - системы с общим для всех ГА каналом синхронизации и распределения нагрузки; с автономными каналами для каждого ГА; комбинированная с общим каналом синхронизации и отдельными каналами распределения нагрузки;

элементной базе - системы, построенные на элементах релейно-контакторных, полупроводниковых, микроэлектронных в виде больших интегральных схем (БИС), а также на основе ЭВМ и микропроцессоров (в СУ СЭЭС современных судов используется смешанная элементная база).

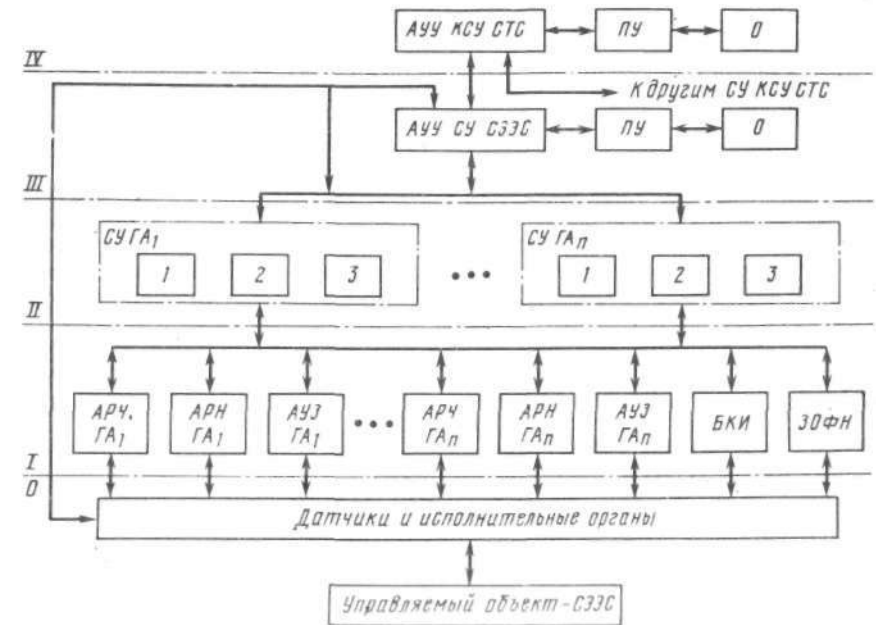


Рис. 7.1. Структурная схема системы управления СЭЭС:

О, I, II, III и IV - уровни иерархии: АУУ КСУ СТС - автоматическое управляющее устройство комплексной системой управления судными техническими средствами; АУУ СУ СЭЭС - такое же устройство системы управления СЭЭС; ПУ - пулы управления; О - оператор; СУ ГА - система управления генераторным агрегатом; АРЧ - автоматический регулятор частоты вращения приводного двигателя генератора; АРН - автоматический регулятор напряжения генератора; АУЗ - автоматическое устройство защиты ГА; ЗОФН - устройство защиты СЭЭС от обрыва фазы и сигнализации о снижении напряжения при питании с берега; БКИ - блок контроля изоляции СЭЭС; 1 - звено контроля и защиты приводного двигателя ГА; 2 - звено управления приводным двигателем ГА; 3 - звено синхронизации, распределения нагрузки и регулирования частоты

Структура СУ СЭЭС. Построение СУ СЭЭС осуществляют по иерархическому принципу, в соответствии с которым более низкому уровню иерархии соответствует меньшее число однотипных решаемых задач или алгоритмов. На структурной схеме подобной СУ СЭЭС (рис. 7.1) можно выделить следующие уровни иерархии:

верхний IV - уровень КСУ СТС, на котором обеспечивается управление судна в целом оператором (судоводителем). На этом уровне задается режим работы СЭЭС (ходовой, маневров и др.), от которого зависит количество используемых ГА, приоритет включения резервных ГА и мощных приемников электроэнергии и т. д. (в качестве АУУ КСУ СТС может использоваться общесудовая мини-ЭВМ);

групповой III - уровень отдельных технологических систем, одной из которых является СУ СЭЭС. На этом уровне выполняются следующие функции: изменение состава работающих ГА в соответст-

вии с режимом работы судна, выбор очередности пуска резервных ГА и обеспечение программированного пуска мощных приемников, вывод судна из обесточенного состояния, защита СЭЭС от токов КЗ и др. В качестве АУУ СУ СЭЭС может использоваться специализированная микроЭВМ;

локальных СУ Л,, включающий системы управления отдельными ГА. На этом уровне обеспечиваются: управление приводными двигателями ГА (поддержание в состоянии резерва, пуск, остановка, контроль и защита) по сигналу от АУУ СУ СЭЭС или по команде оператора группового уровня III из ЦПУ, синхронизация и распределение нагрузки между параллельно работающими генераторами, регулирование частоты;

локальных средств автоматизации /, включающий регуляторы частоты и напряжения, устройства защиты, блокировки и др.;

воздействий 0, включающий исполнительные органы (серводвигатели топливных насосов и паровпускных клапанов ПД), датчики (частоты вращения, температуры и др.) управляемых объектов (дизелей, турбин и генераторов), органы ручного управления и др.

Рациональной по структуре системой управления СЭЭС считается такая, которая в случае отказа обеспечивает работоспособность СЭЭС при помощи локальных средств автоматизации.

На судах со знаком автоматизации А2 объем автоматизации СЭЭС соответствует совокупности функций звеньев трех нижних уровней (0, I и II), а со знаком А1 - всех пяти уровней.

Основные этапы развития СУ СЭЭС. В период 1960-1970 гг. СУ СЭЭС были локальными и разрабатывались отдельно для каждого проекта судна.

В начале 1970-х гг. на судах отечественной постройки в составе комплекса "Залив" была внедрена унифицированная СУ СЭЭС типа "Ижора", которая в совокупности с системой дистанционного автоматизированного управления типа ДАУ СДГ-Т судовыми дизель-генераторами обеспечила автоматическое и дистанционное управление из ЦПУ электроэнергетическими установками на судах со знаком автоматизации А1 и А2. В состав системы "Ижора" входят следующие унифицированные устройства автоматизации: синхронизации генераторов УСГ-Ш (позднее УСГ-35), распределения мощностей УРМ, включения резерва УВР, защиты генераторов от перегрузки УТЗ (устройство токовой • защиты), контроля сопротивления изоляции УКИ (позднее ПКИ).

С 1981 г. на судах в составе комплекса "Залив-М" устанавливается СУ СЭЭС типа "Ижора-М", применяемая совместно с системой ДАУ ДГ типа "Роса-М". Система "Ижора-М" обладает расширенными функциональными возможностями, увеличенным ресурсом (20 лет вместо 10-12 у системы "Ижора"), построена на более совершенной элементной базе (печатные платы, микросхемы и др.). Конструктивно система представляет собой наборный щит управления, состоящий из шкафов,

контейнеров и модулей. В ее состав входят следующие функциональные блоки (модули): синхронизации генераторов БСГ, контроля загрузки генераторов БКЗГ, измерителей активного тока БИАТ, контроля параметров (напряжения и частоты) генераторов БКПГ, распределения нагрузки между параллельно работающими генераторами БРНГ, блокировки пуска мощных приемников ББП, контроля сопротивления изоляции БКИ. Одновременно упрощена структура системы, в которой блок БКЗГ выполняет функции блоков УВР и УТЗ системы "Ижора", а датчик активного тока БИАТ является общим для блоков БКЗГ и БРНГ (в системе "Ижора" в состав каждого из устройств УВР, УТЗ и УРМ входит отдельный датчик тока).

На большинстве современных судов иностранной постройки объем автоматизации СЭЭС в большей или меньшей степени соответствует приведенному ниже для системы "Ижора-М", причем СУ СЭЭС некоторых из них построены на основе микропроцессорных систем. Такие системы имеют децентрализованный принцип построения, при котором функционально специализированные микроЭВМ обеспечивают управление СЭЭС на уровне локального процесса. Например, на судах типа "Капитан В. Ушаков", построенных в ГДР, микропроцессорная система типа ASA-S применяется для управления СЭЭС, включающей 4 генераторных агрегата. В состав системы ASA-S входят 2 микроЭВМ типа K1510, одна из которых (DMR) управляет приводными двигателями, другая (GMR) - генераторами на основании информации, поступающей от датчиков и преобразуемой в управляющие воздействия в соответствии с заданными алгоритмами.

Система управления СЭЭС типа "Ижора-М". Система обеспечивает управление СЭЭС в следующем объеме: автоматический пуск и остановка резервного ГА, автоматическая синхронизация, распределение нагрузки, стабилизация напряжения и частоты ГА и др. С помощью схемы (рис. 7.2) определим последовательность некоторых автоматических операций.

Предположим, что на шины ГРЩ включен базовый генератор $G1$, а в резерве находится генератор $G2$. Выбор резервного генератора проводится путем установки переключателя "Выбор резерва" на щите управления ЭУ в ЦПУ в необходимое положение (на схеме не показан). Резервный ГА находится в режиме, при котором обеспечивается поддержание дизеля в предпусковой готовности посредством автоматизированного подогрева масла в смазочной системе и охлаждающей воды.

При увеличении нагрузки на генераторе $G1$ до $(0,85+0,90) P_{ном}$ напряжение U_j на одном из двух выходов блока измерителя активного тока $БИАТ1$, подключенного к генератору $G1$ при помощи трансформаторов напряжения $TV4$ и тока $TA2$, становится достаточным для появления на выходе / блока $БКЗГ1$ контроля загрузки генератора сигнала на включение резервного генератора. Этот сигнал поступает в систему $ДАУ2$, которая обеспечивает автоматический пуск дизеля резервного ГА. При достижении дизелем частоты вращения, близкой номинальной,

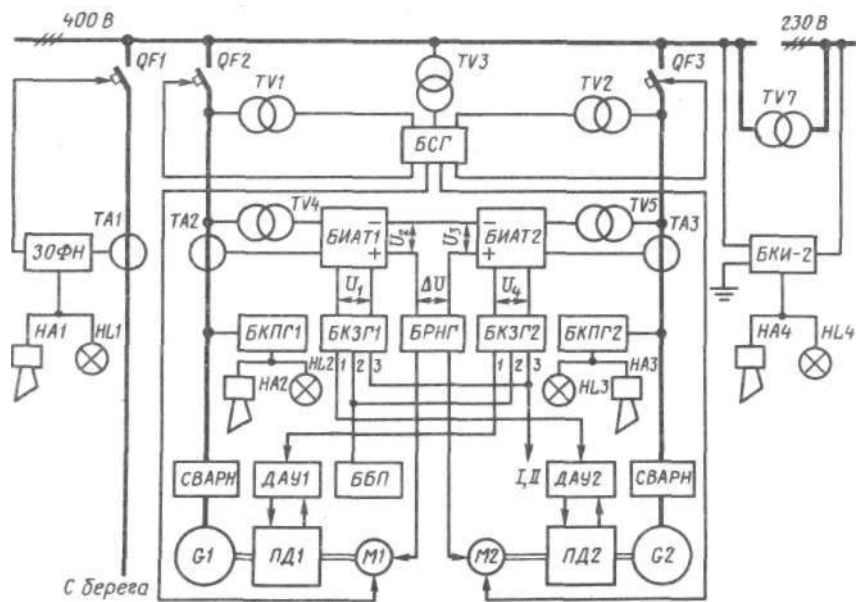


Рис. 7.2. Структурная схема автоматизированной СЭС

автоматически включается блок *БСГ* синхронизации генераторов, который воздействует на серводвигатель *М2* подачи топлива резервного ГА и подгоняет его частоту вращения к частоте вращения базового ГА. Если разность частот и напряжений обоих генераторов находится в допустимых пределах, *БСГ* выдает сигнал на включение генераторного автоматического выключателя *QF3*, после чего отключается. Одновременно выходы блоков *БИАТ1* и *БИАТ2* обоих генераторов с напряжениями U_2 и U_3 соединяются последовательно, результирующий сигнал в виде напряжения $AU = U_2 - U_3$ определенной полярности поступает на вход блока *БРНГ* распределения нагрузок генераторов. В зависимости от полярности напряжения на выходе блока *БРНГ* серводвигатель *М2* резервного ГА включается в направлении на увеличение или уменьшение подачи топлива. Тем самым обеспечивается пропорциональное распределение активной нагрузки между параллельно работающими генераторами.

Система "Ижора-М" предусматривает включение резервного ГА не только при перегрузке базового ГА, но и в других случаях: при обесточивании шин ГРЩ, снижении частоты вращения ГД или давления пара перед турбогенератором, по сигналу "Неисправность" из системы "Роса-М" работающего ДГ. Если включение резерва мощности не предусмотрено, автоматическая разгрузка генераторов проводится путем отключения неответственных приемников. При увеличении

нагрузки на любом из работающих генераторов до $(1,0 \text{--} 1,1)P_{\text{ном}}$ отключение происходит в 2 степени с выдержкой времени между ними. При нагрузке $(1,3 \text{--} 1,5)P_{\text{ном}}$ обе степени отключаются без выдержки времени. Для этого используют выходы 3 блоков *БКЗГ* обоих генераторов.

Система управления СЭС обеспечивает автоматическую блокировку пуска из ходовой рубки мощных приемников в случаях, когда электростанция не имеет запаса мощности (при работе одного генератора, при работе двух генераторов с нагрузкой свыше $0,7P_{\text{ном}}$). Для блокировки пуска используются выходы 2 блоков *БКЗГ1* и *БКЗГ2* и блок *ББИ* блокировки пуска мощных приемников. При этом в ходовой рубке загорается световое табло "Пуск запрещен". При необходимости пуска мощных приемников необходимо предварительно провести пуск резервного ГА из ЦПУ со щита управления СЭС, после чего включать мощные приемники (пожарный насос и др.) из ходовой рубки с промежутками времени $0,8 \text{--} 3,8$ с между пусками. Пуск мощных приемников не блокируется в следующих режимах: при работе трех и более генераторов, при работе двух генераторов с нагрузкой на каждом, не превышающей 70 % номинальной активной мощности.

При уменьшении нагрузки на каждом параллельно работающем генераторе до 30 % номинальной один из блоков *БКЗГ* (или оба одновременно) выдает сигнал в ЦПУ на световое табло "Нагрузка 30 %". Решение об отключении одного из генераторов принимает оператор.

На судах с двумя электростанциями непрерывность электроснабжения ответственных приемников обеспечивается путем их переключения с одной СЭС на другую при помощи устройства типа УПП.

При электроснабжении судна с берега для защиты судовых приемников от обрыва фазы и сигнализации о снижении напряжения применяется устройство типа ЗОФН. При обрыве фазы ЗОФН выдает сигнал на отключение АВ питания с берега (*QF1*), а при снижении напряжения до 85 % номинального включает световой и звуковой сигналы (*HL1* и *HA1*).

Система самовозбуждения и автоматического регулирования напряжения *СВАРН* обеспечивает: в режиме холостого хода самовозбуждение генератора при достижении частоты вращения 90-95 % номинальной, в режиме нагрузки автоматическое регулирование напряжения. При параллельной работе генераторов *СВАРН* дополнительно обеспечивает пропорциональное распределение реактивной нагрузки.

Визуальный контроль мощности, напряжения и частоты генераторов осуществляют при помощи узкопрофильных электроизмерительных приборов на лицевой части ГРЩ. Щитовые вольтметр и частотомер при помощи общего переключателя поочередно могут подключаться к каждому генератору и шинам ГРЩ, что позволяет уменьшить количество щитовых приборов. При отклонении напряжения и частоты генератора от заданных значений блок *БКПП* контроля параметров генератора с выдержкой в несколько секунд включает световой *HL2* (*HL3*) и звуковой *HA2* (*HA3*) сигналы.

Непрерывный контроль сопротивления изоляции силовой сети напряжением 380 В и осветительной напряжением 220 В обеспечивает 2-канальный блок контроля изоляции типа БКИ-2. При снижении сопротивления изоляции в любой из указанных сетей до установленного предела включаются световой *НЛ4* и звуковой *НА4* сигналы.

Схема контроля и сигнализации системы "Ижора-М" обеспечивает аварийную и предупредительную сигнализацию с выдачей соответственно критического и некритического сигналов в систему централизованного контроля типа "Шипка-М" для последующей обработки в блоках обобщенной аварийно-предупредительной сигнализации. При отклонении контролируемого параметра от установленного предела световое табло загорается мигающим светом. После нажатия на кнопку "Сброс мигания" световой сигнал при сохранении отклонения имеет постоянное свечение и гаснет при возвращении параметра в норму.

Система "Ижора-М" предусматривает контроль исправности отдельных блоков, субблоков и кассет. Устраняют неисправности путем замены вышедшего из строя узла.

7.2. Автоматизированные устройства оценки параметров синхронизации

Автоматизированные устройства оценки параметров синхронизации, или иначе, автоматические синхронизаторы, обеспечивают практически безударное включение СГ на шины методом точной синхронизации. Существующие АС допускают включение СГ при неточном выполнении условий синхронизации, что позволяет ускорить процесс синхронизации и одновременно упростить схему самого АС. Синхронизация считается возможной, если разность напряжений генератора и сети $D/\% < (0,10-0,12)/\%_{НОМ}$, разность частот $A/\% < (0,005-0,015)/\%_{НОМ}$, угол сдвига фаз одноименных векторов фазных напряжений генератора и сети $\phi < 10^\circ$.

В СЭС напряжение генераторов поддерживается постоянным при помощи АРН. Поэтому на долю аппаратуры, осуществляющей синхронизацию, остаются процессы подгонки частоты и определение момента выдачи сигнала на включение АВ генератора. Этот сигнал надо подавать с некоторым опережением по времени (f_{on}) относительно момента совпадения фаз, потому что АВ генератора имеет собственное время срабатывания ($f_{ав1}$).

Принцип действия автоматических синхронизаторов. По принципу действия различают АС с постоянным временем опережения и постоянным углом опережения. В каждом из них для определения момента выдачи импульса на включение генераторного АВ используется напряжение биения U_b .

Для получения этого и других напряжений, применяемых в синхронизаторах, используем схему с гипотетическими трансформаторами

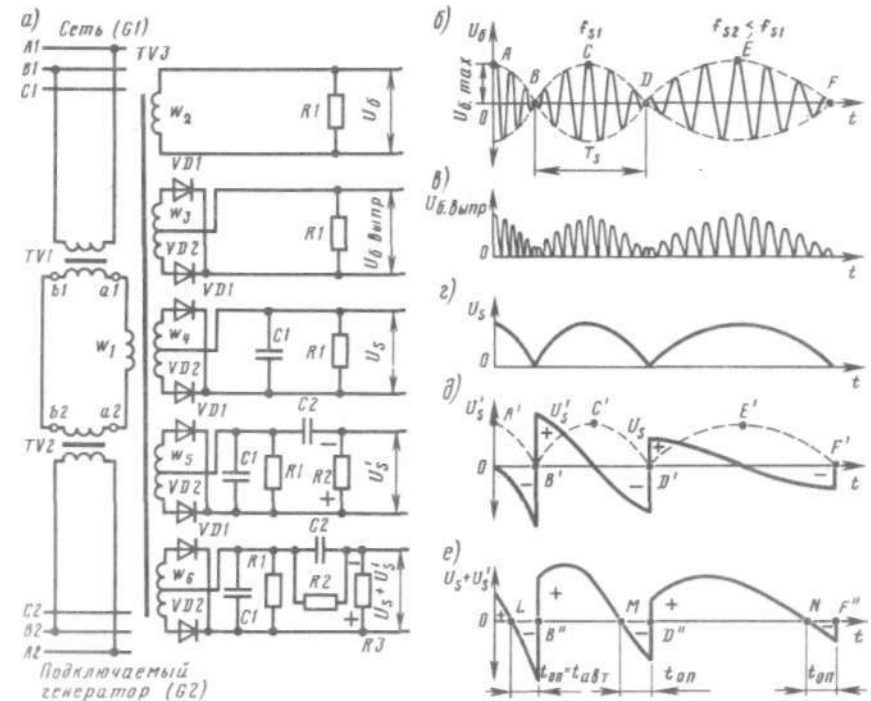


Рис. 7.3. Схема подключения трансформаторов напряжения *TV1-TV3* (а) и графики напряжений вторичных обмоток трансформатора *TV3* (б—е)

напряжения *TV1*, *TV2*, *TV3* (рис. 7.3, а). Трансформаторы *TV1* и *TV2* ик точены на одноименные линейные напряжения соответственно сети и подключаемого генератора. Вторичные обмотки этих трансформаторов с напряжениями U_{a1b1} и U_{a2b2} присоединены одноименными выводами *a1* и *a2* к первичной обмотке *Wj* трансформатора *TV3*. Поэтому на ней при U_g / U_c возникает напряжение биения $U_{ala2} = U_{albl} - U_{a2b2}$, которое на каждой из вторичных обмоток $w_2 - w_6$ понижается до напряжения *U*.

Напряжение биения U_b на резисторе *III* в цепи вторичной обмотки w_2 представляет собой периодически изменяющуюся величину с периодом $T_s = 1/f_s$ и амплитудой U_{max} , равной двойному фазному напряжению генератора (рис. 7.3, б). При приближении частоты f_g генератора к частоте f_c сети частота скольжения $f_s = f_c - f_g$ уменьшается, а период T_s увеличивается. Максимальное значение напряжения биения U_{max} достигается в моменты времени, когда положение роторов генераторов отличается на угол 180° (точки *A*, *C* и *E*) и от частоты скольжения не зависит. Точками *B*, *D* и *F* обозначены узлы, в

которых $f_g = 0$. Поэтому включение генератора в моменты времени, соответствующие узлам, будет безударным. Штриховой линией $ABCDEF$ обозначена огибающая напряжения биения, проведенная через вершины положительных полуволн.

Выпрямленное напряжение биения U_s получается при помощи диодов $VD1$ и $VD2$ в цепи вторичной обмотки w_2 (рис. 7.3, в).

Напряжение огибающей U_s получено применением фильтрующего конденсатора $C1$ в цепи вторичной обмотки w_2 (рис. 7.3, г). Это напряжение называется так потому, что его форма повторяет кривую $ABCDEF$.

Производная напряжения огибающей $U'_s = dU_s/dt$ представляет собой напряжение, полученное при помощи дифференцирующей цепочки $R2-C2$ в цепи вторичной обмотки w_2 (рис. 7.3, д). При увеличении на участке BC напряжения огибающей биения от нуля до максимального зарядный ток конденсатора $C2$ создает на резисторе $R2$ напряжение $U'_s > 0$ (с указанной полярностью). Участку $C D'$ соответствует разряд конденсатора $C2$ через резисторы $R1$ и $R2$ с изменением полярности напряжения U'_s на обратную ($U'_s < 0$). С уменьшением частоты скольжения (например, при $f_{s2} < f_{s1}$) кривая $U'_s(t)$ становится более пологой, амплитуда напряжения U'_s уменьшается.

Суммарное напряжение ($U_s + U'_s$ на резисторе $R3$ в цепи вторичной обмотки w_2) получено совмещением схем цепей обмоток w_2 и w_3 (рис. 7.3, е). Положительным значением этого напряжения соответствует обозначенная на резисторе $R3$ полярность.

Применение этого напряжения позволило создать автоматические синхронизаторы с постоянным временем опережения. В таких синхронизаторах импульс на включение генераторного АВ выдается в точках L , M или N с одним и тем же временем опережения $t_{оп}$, равным собственному времени $t_{авт}$ срабатывания АВ, т. е. $t_{оп} = t_{авт}$. Поэтому включение генератора происходит в узлах B'' , D'' или F'' и будет безударным при любых допустимых значениях частоты скольжения.

Автоматические синхронизаторы с постоянным углом включения выдают импульс на включение генераторного АВ при уменьшении угла Φ сдвига по фазе одноименных векторов фазных напряжений сети и генератора до заданного значения $\Phi < 10^\circ$. Постоянство заданного угла Φ означает постоянство напряжения огибающей "яше" U_s в достижении которого в точках A , C или E синхронизатор выдает импульс на включение АВ (рис. 7.4).

Пусть при $f_s = f_{s2}$ произошло безударное подключение генератора, поскольку выполнено условие безударного включения $t_{он2} = t_{авт}$. При этом импульс на включение АВ выдан синхронизатором в точке C при $t_{оп} = t_{авт}$ подключение генератора к шинам произошло в узле O .

При увеличенной частоте скольжения $f_{s1} > f_{s2}$ импульс на включение АВ будет выдан в точке A . Включение генератора на шины произойдет через промежуток времени, равный собственному времени t

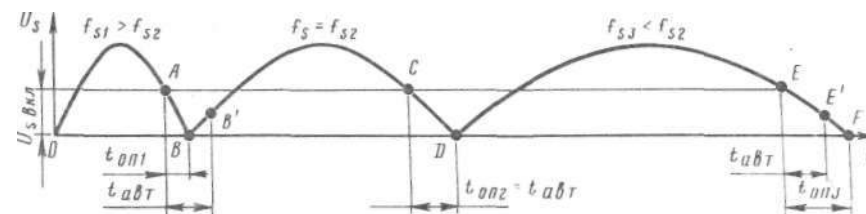


Рис. 7.4. График напряжения огибающей автоматического синхронизатора с постоянным углом включения

срабатывания АВ, т. е. в точке B . Значит, в этом случае генератор подключается к шинам с некоторым запаздыванием по отношению к Узлу $t_{авт} > t_{он1}$.

При пониженной частоте скольжения $f_{s3} < f_{s2}$ импульс на включение АВ будет выдан в точке E . Подключение генератора к шинам произойдет в точке E , т. е. с опережением по отношению к узлу F ($t_{авт} < t_{он3}$).

В последних двух случаях подключение генератора будет сопровождаться ударами на валу генераторов.

Таким образом, безударное включение генератора получается только при одной определенной частоте скольжения f_{s2} , что является недостатком синхронизаторов данного типа и ограничивает их применение. Вместе с тем такие АС просты по устройству, так как в них используется напряжение огибающей биения U_s получаемое при помощи простейших схем (см. рис. 7.3).

Блок синхронизации генераторов БСГ. Блок входит в состав СУ СЭЭС типа "Ижора-М" и предназначен для включения СГ на параллельную работу методом точной синхронизации с предварительной автоматической подгонкой частоты подключаемого генератора к частоте работающего. Блок выдает сигнал на включение АВ при разности напряжений генераторов $AU < 0,12U_{ном}$, разности частот $0,2 \text{ Гц} < \Delta f \leq 0,6 \text{ Гц}$ и угле сдвига фаз одноименных векторов напряжений генераторов $\phi < 10^\circ$. Элементной базой блока в основном являются микросхемы (логические элементы, генераторы импульсов, счетчики, дешифраторы, триггеры и др.).

Рассмотрим устройство блока и взаимодействие его отдельных узлов (рис. 7.5). Напряжение работающего генератора $G1$ подается на трансформаторы $TV1$ и $TV3$, подключаемого $G2$ - на трансформатор $TV2$. Пониженное трансформатором $TV3$ напряжение поступает на узел питания $УП$, с выхода которого стабилизированное напряжение $+5 \text{ В}$ и нестабилизированное $+27 \text{ В}$ подается на остальные узлы схемы. С выходов трансформаторов $TV1$ и $TV2$ напряжения поступают на вход узла $УСН$ сравнения напряжений и входы формирователей $\Phi1$ и $\Phi2$.

При $\Delta U > 0,12U_{ном}$ с выхода узла $УСН$ на вход узла $УС$ синхронизации поступает запрет на синхронизацию в виде логического нуля.

Формирователи $\Phi 1$ и $\Phi 2$ напряжения предназначены для получения импульсов напряжений двух видов: длинных (продолжительность равна половине периода напряжения генератора), коротких (продолжительность определяется параметрами схемы формирователя). Частоты импульсов обоих видов одинаковы и равны частоте работающего (подключаемого) генератора. Импульсы 1-го вида поступают на вход узла $УС$, 2-го - на вход узла $УПЧ$ подгонки частоты.

Кварцевый генератор $УЗ$ вырабатывает импульсы стабильной частоты 100 кГц, поступающие на вход триггера DT , работающего в режиме делителя частоты. С выхода триггера импульсы частотой 50 кГц поступают на входы узлов $УС$ и $УПЧ$. Узел $УУ$ установки предназначен для приведения всех триггеров БСГ в необходимое исходное состояние при включении блока.

Узел подгонки частоты вырабатывает сигналы на увеличение или уменьшение частоты подключаемого генератора, а при достижении допустимой разности частот выдает сигнал "Д/в норме" в виде логической единицы, поступающей на вход узла $УС$. Узел синхронизации выдает сигнал на включение АВ генератора при условии, что значения разности напряжений DU и частот DF , а также угла (ρ сдвига фаз напряжений генераторов находятся в установленных пределах. Для повышения надежности схемы синхронизации в ней используется 2 блока БСГ, выходы которых в виде замыкающих контактов электромагнитных реле включены по схеме совпадения И, т. е. последовательно.

Устройство синхронизации генераторов УСГ-35. Оно предназначено для включения СГ на параллельную работу методом точной синхронизации с автоматической подгонкой частоты подключаемого генератора к частоте работающего. Устройство УСГ-35 подключается к сети и синхронизируемому генератору через измерительные трансформаторы напряжения $TV1-TV3$ (рис. 7.6). Вторичные обмотки этих трансформаторов присоединены к выводам $A1, B1, C1$ и $A2, B2$ трансформаторно-выпрямительного блока $ТВБ$ синхронизатора.

Блок $ТВБ$ предназначен для формирования управляющих сигналов и питания коллекторных цепей и цепей смещения транзисторов. В его состав входят трансформаторы напряжения $TV1-TV5$, а также полупроводниковые диоды и сглаживающие фильтры в цепях вторичных обмоток перечисленных трансформаторов (упомянутые диоды и фильтры изображены на рис. 7.9, 7.12).

Из блока $ТВБ$ управляющие сигналы поступают на входы основного $ОКС$ и резервного $РКС$ каналов синхронизации и блоков подгонки частоты $БПЧ1$ и $БПЧ2$ (рис. 7.7). Каналы и блоки предназначены:

$ОКС$ - для выдачи сигнала на включение АВ генератора с заданным временем $t_{он}$ опережения (на выходе канала $ОКС$ включено реле напряжения $KV2$);

$РКС$ - для ограничения зоны синхронизации при выходе из строя элементов канала $ОКС$ (на выходе канала $РКС$ включено реле $KV1$). Замыкающие контакты реле $KV2$ и $KV1$ соединены последовательно и образуют схему совпадения $СС$. Поэтому при исправной работе обоих

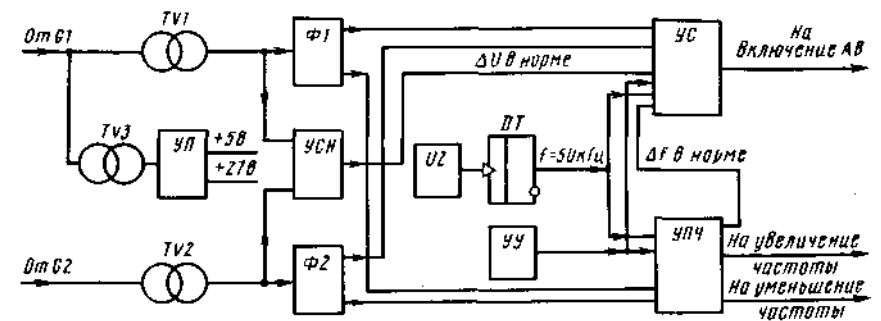


Рис. 7.5. Функциональная схема блока синхронизации БСГ

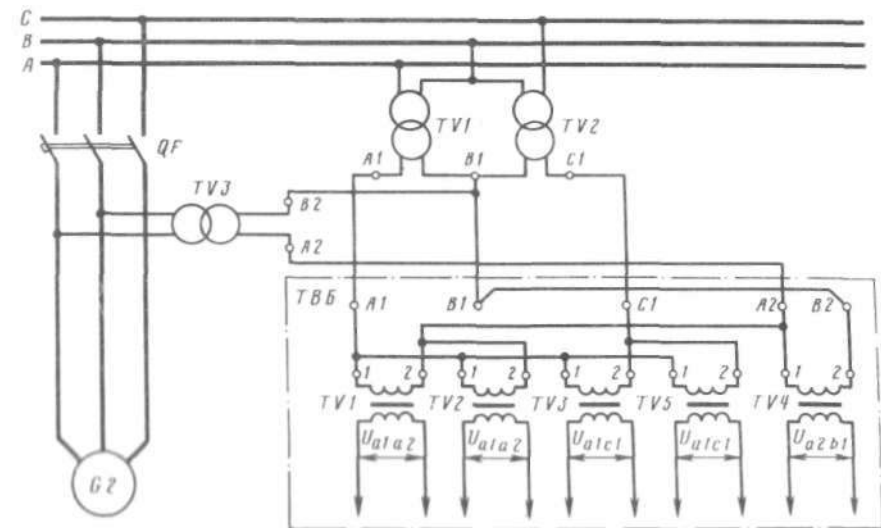


Рис 7.6. Схема подключения устройства синхронизации УСГ-35

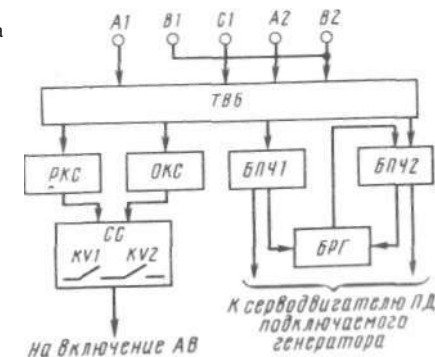


Рис. 7.7. Функциональная схема устройства синхронизации УСГ-35

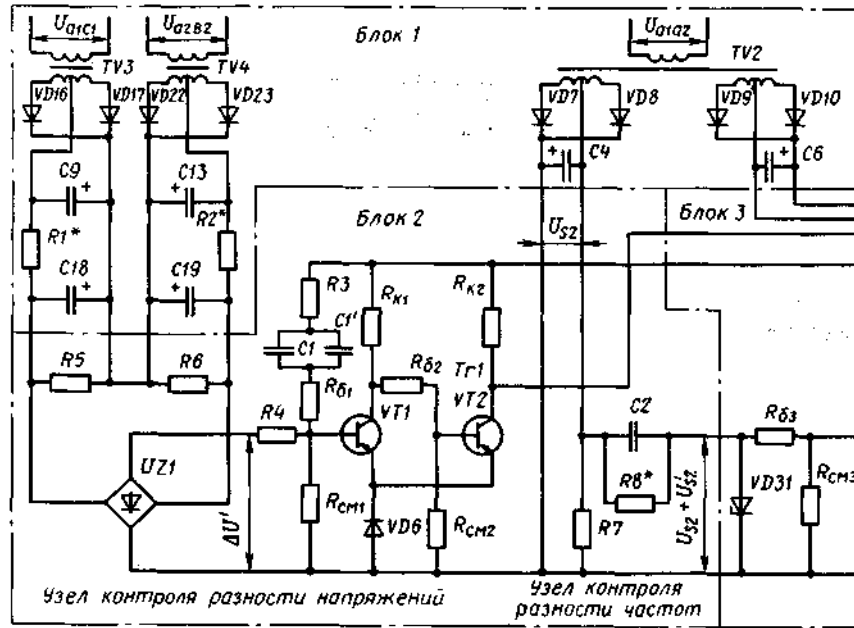
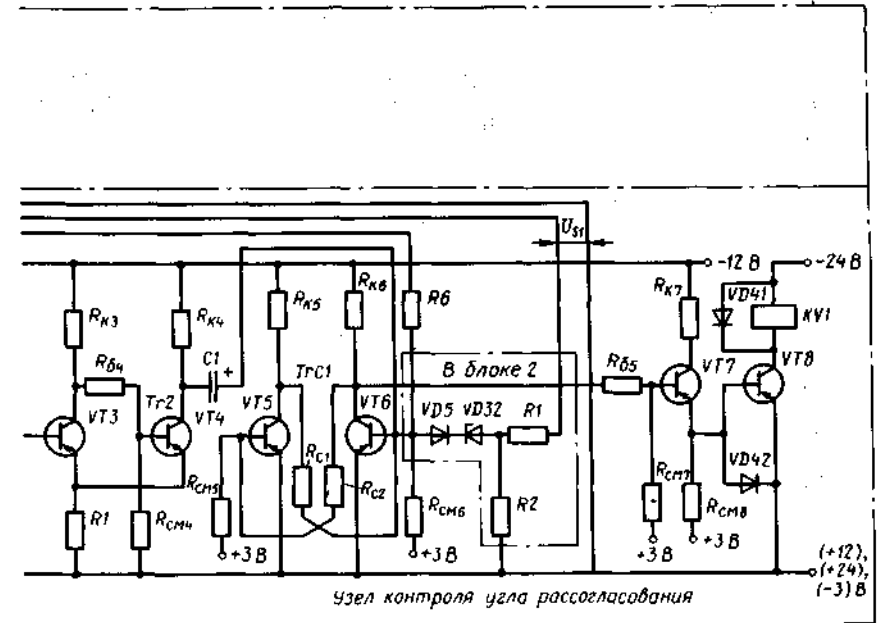


Рис. 7.9. Принципиальная схема резервного

транзистора $VT1$ - резистор R_{61} - конденсаторы $C1, C1'$ - резистор $R3$ - " - " 12 В. Зарядный ток конденсаторов кратковременно удерживает триггер $Tr1$ в опрокинутом состоянии, при котором $VT1$ открыт, а $VT2$ закрыт. Выходное напряжение транзистора $VT2$ близко к 12 В, поэтому транзистор $VT6$ открывается током базы по цепи: "+" 12 В - переход эмиттер - база транзистора $VT6-R6-R_{K2}$ - " - " 12 В. Тем самым триггер $Tr1$ автоматически устанавливается в исходное состояние, при котором $VT6$ открыт, а $VT5$ закрыт. Открытый $VT6$ шунтирует вход составного транзистора $VT7-VT8$, поэтому оба транзистора $VT7$ и $VT8$ закрыты, реле $KV1$ обесточено.

По окончании заряда конденсаторов $C1$ и $C1'$ ток базы транзистора $VT1$ становится равным нулю, в результате $VT1$ закрывается, а $VT2$ открывается, так как эти транзисторы образуют триггер Шмита. При этом нарушается цепь тока базы транзистора $VT6$ через резисторы $R6$ и R_{K2} . Однако триггер $Tr1$ остается в исходном состоянии, так как транзистор $VT6$ удерживается в открытом состоянии током базы через резисторы R_{C1} и R_{K5} . Открытый $VT6$ шунтирует вход транзистора $VT5$, который по этой причине остается закрытым.

Если разность напряжений генераторов превысит допустимую, напряжение ΔU на выходе выпрямителя $UZ1$ становится достаточным для опрокидывания триггера $Tr1$. При этом транзистор $VT1$ открывает-



канала синхронизации устройства УСТ-35

ся током базы через $VD6$ и $R4$. Поэтому закрывается транзистор $VT2$, вследствие чего восстанавливается цепь тока базы транзистора $VT6$ через $R6$ и R_{K2} . Триггер $Tr1$ принудительно удерживается в исходном состоянии, реле $KV1$ не включается. Такое состояние триггера будет сохраняться до тех пор, пока существует неравенство напряжений СГ.

Настройку узла на необходимое значение уставки $All = (8+2) \%$ номинального напряжения проводят подбором резисторов $R1 = R2$. Например, при увеличении номинальных сопротивлений этих резисторов токи через $R1, R5$ и $R2, R6$ уменьшаются, поэтому уменьшаются падения напряжений на $R5$ и $R6$. Теперь для получения прежнего значения напряжения ΔU , при котором происходит опрокидывание $Tr1$, необходима большая разность ΔU напряжений генераторов.

Работу узлов контроля угла рассогласования напряжений и разности частот генераторов можно пояснить при помощи графиков, изображенных на рис. 7.10.

Контроль угла рассогласования напряжений проводится косвенно, при помощи напряжения U_{ij} , приложенного к делителю напряжения $R1-R2$ в блоке 2. При достижении заданного при настройке угла рассогласования напряжение U_{ij} становится равным напряжению пробоя стабилитрона $VD32$ (точка A , на рис. 7.10, а). Поэтому образуется цепь тока базы транзистора $VT6$: "+" ($VD9-VD10$) - переход эмиттер - база

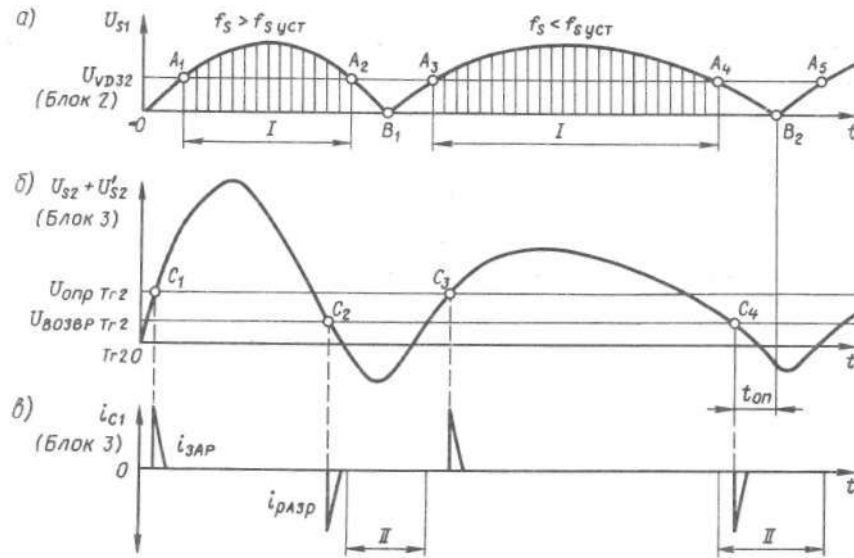


Рис. 7.10. Графики напряжений (а, б) и тока (в) резервного канала синхронизации устройства УСГ-35:
/— зона запрета; II— зона синхронизации

транзистора $VT6$ - $VD5$ - $VD32$ - $R1$ - "-". Эта цепь, удерживающая открытым транзистор $VT6$, будет сохраняться до тех пор, пока напряжение U_{S1} не уменьшится до значения напряжения запирающего стабилитрона $VD32$ (точка, A_2). Таким образом, промежуток времени между точками A_1 и A_2 (A_3 и A_4) является своеобразной временной зоной запрета на синхронизацию по углу рассогласования напряжений. Зоны запрета чередуются с зонами синхронизации между точками A_2 - A_3 (A^{\wedge} - A_3). Внутри зон запрета находятся узлы напряжения огибающей (точки B_1, B_2), в которых напряжение $U_{S1} = 0$, т. е. $\varphi = 0^\circ$. Напомним, что в моменты времени, соответствующие узлам, роторы генераторов занимают одинаковое положение по отношению к статорным обмоткам и включение генератора на шины будет безударным.

При контроле разности частот используется напряжение $U_{S2} + U_{S2}' >$ приложенное к делителю напряжения $jR_{C43} - R_{B3}$ на входе триггера $Tm2$.

При увеличении напряжения ($U_{S2} + U_{S2}'$) до значения $[U_{опр} T_{T2}]$ (точка $C1$ на рис. 7.10, б) триггер T_{T2} переходит из исходного состояния в противоположное, при котором транзистор $VT3$ открыт, а $VT4$ закрыт. Напряжение на выходе транзистора $VT4$ увеличивается до 12 В, поэтому образуется цепь заряда конденсатора $C1$ в блоке 3: "+" 12 В - переход эмиттер - база транзистора $VT6$ - $C1$ - R_{K4} - "-" 12 В. В результате заряда напряжение на $C1$ достигнет 12 В с полярностью "+" на

правой обкладке, "-" на левой. Заряд конденсатора происходит в течение небольшого промежутка времени, поэтому зарядный ток имеет форму остроконечного импульса (рис. 7.10, в).

При уменьшении напряжен $U_{S2} + U_{S2}'$ до значения $U_{возвр. Tr2}$ (точка C_2) триггер T_{T2} возвращается в исходное состояние, $VT3$ запирается, $VT4$ открывается. Через открывшийся транзистор $VT4$ и резистор $R1$ в блоке 3 конденсатор $C1$ окажется подключенным к входу транзистора $VT6$, стремясь запереть его и тем самым опрокинуть триггер $TrC1$. Дальнейшая работа узла зависит от разности частот генераторов.

При увеличенной разности, т. е. при $f_s > f_{sycr}$, момент времени, соответствующий точке C_3 , попадает в зону запрета по углу рассогласования напряжений. При этом стабилитрон $VD32$ пробив, и ток базы транзистора $VT6$, протекающий через стабилитрон, удерживает $VT6$ в открытом состоянии. Опрокидывания триггера $TrC1$ не происходит. Конденсатор $C1$ перезаряжается до напряжения 12 В с обратной полярностью по цепи: "+" 12 В - (блок 3) - $VT4$ - $C1$ - R_{C1} - R_{K5} - "-" 12 В. В процессе перезаряда в определенный момент времени напряжение на $C1$ уменьшается до нуля, и с этого момента запирающее действие $C1$ на триггер $TrC1$ прекращается.

При допустимой разности частот, т. е. при $f_s < f_{sycr}$, момент времени, соответствующий точке C_4 , находится вне зоны запрета (стабилитрон $VD32$ закрыт). Напряжение конденсатора $C1$ запирает $VT6$, поэтому открывается $VT5$, триггер $TrC1$ опрокидывается. Напряжение на выходе транзистора $VT6$ увеличивается до 12 В, поэтому составной транзистор $VT7$ - $VT8$ опирается током базы, протекающим по цепи: "+" 12 В — переходы эмиттер - база транзисторов $VT8$ и $VT7$ - R_{65} - R_{K6} - "-" 12 В. В результате включается реле $KV1$.

Настройку рассмотренных узлов контроля проводят изменением номинальных сопротивлений резисторов: $R2$ в узле контроля угла рассогласования напряжений и $R8$ в узле контроля разности частот. Оба резистора расположены в блоке 2.

Основной канал синхронизации УСГ-35 состоит из двух узлов: контроля рассогласования напряжений и контроля разности частот, устроенных аналогично одноименным узлам резервного канала. Поэтому ограничимся рассмотрением функциональной схемы основного канала синхронизации (рис. 7.11). Первый из узлов построен

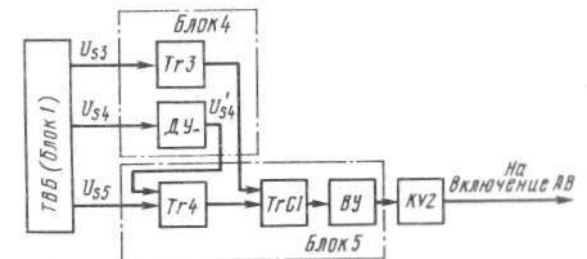


Рис. 7.11. Функциональная схема основного канала синхронизации устройства УСГ-35

на триггере $Tz3$ Шмитта, на вход которого из блока TBB поступает напряжение u_{z3} огибающей. Узел контроля разности частот включает в себя триггер $Tm4$ Шмитта с входным напряжением U_s . Для более точной настройки времени t_{om} опережения введен дифференцирующий узел $ДУ$, с выхода которого напряжение $U_{f^{\wedge}}$ поступает на вход $Tm4$. На вход симметричного триггера $TrC1$ подаются выходные напряжения триггеров $Tz3$ и $Tz4$. Если условия синхронизации по углу рассогласования и разности частот выполняются, с выхода триггера $TrC1$ через выходной усилитель BV поступает сигнал на включение реле $KV2$.

Питание на основной и резервный каналы синхронизации подается одновременно (с момента окончания автоматического пуска РДГ). Замыкающие контакты реле $KV1$ и $KV2$ включены последовательно в цепи катушки электромагнита генераторного АВ, поэтому включение АВ возможно в случае одновременного срабатывания обоих каналов синхронизации.

7.3. Автоматизированные устройства подгонки частоты

Для автоматической подгонки частоты подключаемого генератора к частоте работающего (сети) в устройстве синхронизации генераторов УСГ-35 системы управления СЭС типа "Ижора" применяют блоки $БПЧ1$ и $БПЧ2$ подгонки частоты (рис. 7.12).

В состав блока $БПЧ1$ ($БПЧ2$) входят триггер $Tz5$ ($Tmб$) Шмитта, одновибратор $ОВ1$ ($ОВ2$) и реле $KV3$ ($KV4$). Последнее предназначено для включения серводвигателя подключаемого генератора в направлении уменьшения (увеличения) частоты вращения ПД. На вход триггера $Tm5$ ($Tmб$) из трансформаторно-выпрямительного блока TBB поступает напряжение U_s (U_{s2}) огибающей, которое при достижении определенного порогового значения опрокидывает триггер $Tm5$ ($Tmб$) и одновибратор $ОВ1$ ($ОВ2$), в результате включается реле $KV3$ ($KV4$). Одновременная работа блоков подгонки исключена, так как при опрокидывании одного из триггеров ($Tm5$ или $Tmб$) на вход одновибратора другого канала поступает импульс, исключающий его опрокидывание. Для

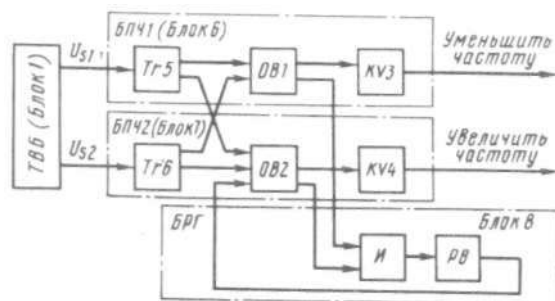


Рис. 7.12. Функциональная схема блоков подгонки частоты и развода генераторов устройства УСГ-35

повышения надежности используется дублирующая блокировка при помощи размыкающих контактов одного реле в цепи катушки другого.

Оба блока подгонки взаимодействуют с блоком $БРГ$ развода генераторов, назначение которого состоит в выведении подключаемого генератора из режима "зависания" (синхронно-несинфазного режима). В этом режиме блоки $БПЧ1$ и $БПЧ2$ перестают выдавать сигналы на изменение частоты вращения подключаемого генератора. Оба одновибратора воздействуют через схему совпадения И на реле времени $РВ$, которое через определенный промежуток времени выдает сигнал на опрокидывание $ОВ2$ и включение реле $KV4$.

Блоки подгонки частоты БПЧ. Схемы и принцип действия блоков подгонки идентичны. Блок $БПЧ1$ (рис. 7.13, о) включает триггер $Tm5$ Шмитта на транзисторах $VT1$, $VT2$ и одновибратор $ОВ1$ на транзисторах $VT3$, $VT4$ и конденсаторе $C3$. Триггер и одновибратор связаны при помощи конденсатора $C2$.

Для управления блоками используются напряжения u_{s1} и U_{s2} огибающей, полученные при помощи трансформаторов $TV2$, $TV3$ и $TV4$ блока TBB . К первичной обмотке трансформатора $TV2$ приложено напряжение биения $U = U_{a1b1} - U_{a2b2}$, где U_{a1b1} и U_{a2b2} - одноименные линейные напряжения соответствующего работающего и подключаемого генераторов (рис. 7.13, б). Напряжение вторичной обмотки трансформатора $TV2$ выпрямляется диодом $VD11$ и фильтруется конденсатором $Cб$. Полученное таким образом напряжение U_{s1} подается на вход блока $БПЧ1$. К первичным обмоткам трансформаторов $TV3$ и $TV4$ приложены линейные напряжения U_{a1c1} и U_{a2c2} обоих генераторов. Вторичные обмотки этих трансформаторов соединены последовательно для получения напряжения биения $U_2 = U_{a1c1} - U_{a2c2}$ (рис. 7.13, в), которое выпрямляется диодом $VD24$ и фильтруется конденсатором $CЮ$. Полученное таким образом напряжение U_{s2} подается на вход блока $БПЧ2$. Напряжения U_1 и U_2 сдвинуты по фазе на угол 60° (рис. 7.13, г), поэтому на такой же угол сдвинуты напряжения U_{s1} и U_{s2} (рис. 7.13, а).

При разгоне РДГ до подсинхронной частоты вращения система ДАУ СДГ-Т формирует сигнал на включение устройства синхронизации генераторов УСГ-35. С этого момента на блоки $БПЧ1$ и $БПЧ2$ подаются напряжения питания 12 и 24 В постоянного тока и входные напряжения

Если напряжение U_{s1} на входе блока $БПЧ1$ недостаточно для пробоя стабилитрона VDU (см. рис. 7.13, д, участок $O A$), то триггер $Tz5$ находится в исходном состоянии, когда транзистор $VT1$ закрыт, а $VT2$ открыт. Конденсатор $C2$ заряжен до напряжения 12 В (с обозначенной на схеме полярностью) по цепи: "+" 12 В - $R3$ - открытый $VT2$ (блок 7) - $R4-C2-R_{кx}$ (блок б) - "-" 12 В. Транзистор $VT4$ открыт током базы, протекающим через резистор $R7$, и поэтому шунтирует вход транзистора $VT3$. Последний закрыт напряжением + 3 В смещения, реле $KV3$ обесточено. Конденсатор $C3$ заряжен до напряжения 24 В (с обозначен-

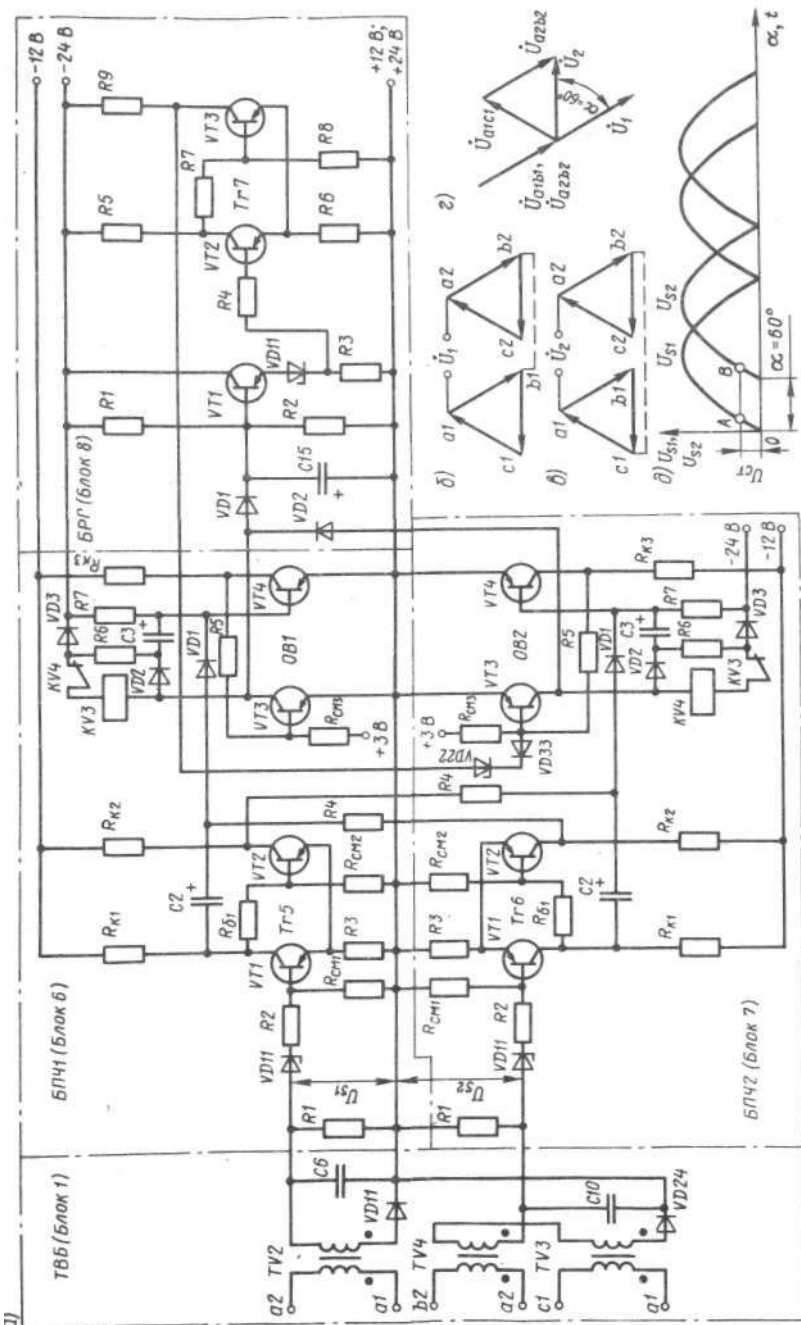


Рис. 7.13. Блоки подгонки частоты и развода генераторов устройства УСТ-35: а — принципиальная схема; б, в, г — векторные диаграммы напряжений; д — графики напряжений

ной на схеме полярностью) по цепи: "+" 24 В - переход эмиттер - база транзистора $VT4-C3-R6-VD3$ - "-" 24 В

Очередность работы блоков подгонки зависит от соотношения частот подключаемого генератора f_g и сети / Например, если $f_g > f_n$ то напряжение U_{s1} на входе блока БПЧ1 опережает по углу, а значит, по времени напряжения U_{s2} на входе блока БПЧ2 (см. рис. 7.13, д). При увеличении напряжения U_{s1} до напряжения U пробоя стабилитрона $VD11$ (точка А) последний пробивается и через него и резисторы D_{cm1} , $R2$ (блок 6) протекает ток, создающий на D_{cm1} напряжение, опрокидывающее $Tm5$. Через открытый транзистор $VT1$ и диод $VD1$ напряжение конденсатора $C2$ оказывается приложенным к входу транзистора $VT4$ и запирает его. Поэтому $VT3$ открывается током базы через $R5$ и $R_{кз}$, включается реле $KV3$, и частота вращения подключаемого генератора снижается. Длительность срабатывания реле определяется временем разряда конденсатора $C3$ через открытый транзистор $VT3$, диод $VD2$ и резистор $R7$. В течение этого промежутка времени конденсатор $C3$ удерживает $VT4$ закрытым.

Таким образом, конденсатор $C2$ обеспечивает опрокидывание одновибратора $OB1$ и включение реле $KV3$, а конденсатор $C3$ удерживает одновибратор в опрокинутом состоянии. При уменьшении напряжения на $C3$ до нуля его запирающее действие на транзистор $VT4$ прекращается, одновибратор устанавливается в исходное состояние, реле $KV3$ обесточивается.

Одновременная работа блоков БПЧ1 и БПЧ2 исключается тем, что в момент опрокидывания триггера $Tm5$ конденсатор $C2$ (блок 7) перезаряжается до напряжения 12 В с обратной полярностью по цепи: "+" 12 В - $R_{cm2} - R_{б1} - C2 - R4$ (блок 7) - $R_{к2}$ (блок 6) - "-" 12 В. Поэтому опрокидывание триггера $Tm5$ при $U_{s2} = U_n$ (точка В) не приведет к включению реле $KV4$. Кроме того, одновременное включение реле $KV3$ и $KV4$ исключается применением замыкающих контактов одного реле в цепи катушки другого.

Блок развода генераторов БРГ. Связанный с блоками подгонки частоты блок развода генераторов БРГ выдает сигнал на увеличение частоты вращения подключаемого генератора при частоте скольжения $f_s \leq 0,1$ Гц. В состав БРГ (см. рис. 7.13, а, блок 8) входят эмиттерный триггер Шмитта на транзисторе $VT1$ и триггер Шмитта на транзисторах $VT2, VT3$. Напряжение с выхода триггера подается через стабилитрон $VD22$ и диод $VD33$ (блок 7) на вход одновибратора $OB2$.

На входе эмиттерного повторителя включен конденсатор $C15$. При $f_s > 0,1$ Гц этот конденсатор не успевает зарядиться до напряжения пробоя стабилитрона $V/Ш$ (шин S), как как при срабатывании БПЧ1 или БПЧ2 конденсатор шунтируется открытым транзистором $VT3$ (блок 6 или 7) и диодом $VD1$ или $VD2$ (блок. H). Поэтому транзисторы $VT1$ и $VT2$ (блок 8) остаются закрытыми, а $VT3$ - открытым, причем напряжение на его выходе близко нулю и не влияет на состояние элементов БПЧ2.

При $j < 0,1$ Гц промежуток времени между включениями реле $KV3$ ($KV4$) увеличивается. В результате конденсатор $C15$ успевает зарядиться через резистор $R1$ (блок 8) до напряжения пробоя стабилитрона $VD11$, после чего триггер $Tz7$ опрокидывается. Напряжение на выходе закрывшегося $VT3$ увеличивается до 24 В и становится достаточным для пробоя стабилитрона $VD22$ (блок 7) на входе одновибратора $OB2$. Последний опрокидывается, через открытый $VT3$ включается реле $KV4$, замыкающее свои контакты в цепи серводвигателя ПД генератора. Работа серводвигателя приводит к "разведению" скоростей частот вращения генераторов, причем в сторону увеличения частоты вращения подключаемого СГ.

В режиме "зависания", когда роторы подключаемого и работающего СГ вращаются с одинаковой частотой, но занимают неодинаковое взаимное положение, блоки подгонки частоты перестают срабатывать. Конденсатор $C15$ заряжается до напряжения пробоя стабилитрона $VD11$ (блок 8). Далее работа блока $БПГ$ повторяется, в результате подключаемый генератор увеличивает частоту вращения. Таким образом, применение блока $БПГ$ позволяет существенно уменьшить время синхронизации.

7.4. Автоматизированные устройства распределения активных нагрузок

Активные нагрузки должны распределяться пропорционально номинальным активным мощностям СГ. При этом соотношение мощностей параллельно работающих СГ не должно превышать 3:1, в противном случае параллельная работа СГ становится неустойчивой.

Во входных цепях устройств распределения активных нагрузок используются напряжения, пропорциональные активным мощностям СГ. Для получения этих напряжений служат датчики (измерители) активного тока. Конструктивно датчики могут быть выполнены в виде отдельного блока (БИАТ) или входить в состав самого устройства (УРМ-35).

Блок измерителя активного тока БИАТ. Блок входит в СУ СЭЭС типа "Ижора-М" и предназначен для получения на каждом из двух его выходов напряжения, пропорционального активной мощности (активному току) СГ. Блок устанавливают на каждом СГ и подключают к нему при помощи трансформатора тока $TA1$ и трансформаторов напряжения $TV1$ и $TV2$ (рис. 7.14, а). Возможно непосредственное (без упомянутых трансформаторов напряжения) включение блока на фидер генератора напряжением 127, 220 или 380 В. В состав блока входят 2 касеты: контроля неисправности типа ККН и формирования активного тока типа КФАТ.

Кассета ККН предназначена для выдачи светового сигнала при выходе из строя элементов кассеты КФАТ и включает в себя 2 многообмоточных трансформатора $TV3$, $TV4$, исполнительную часть на

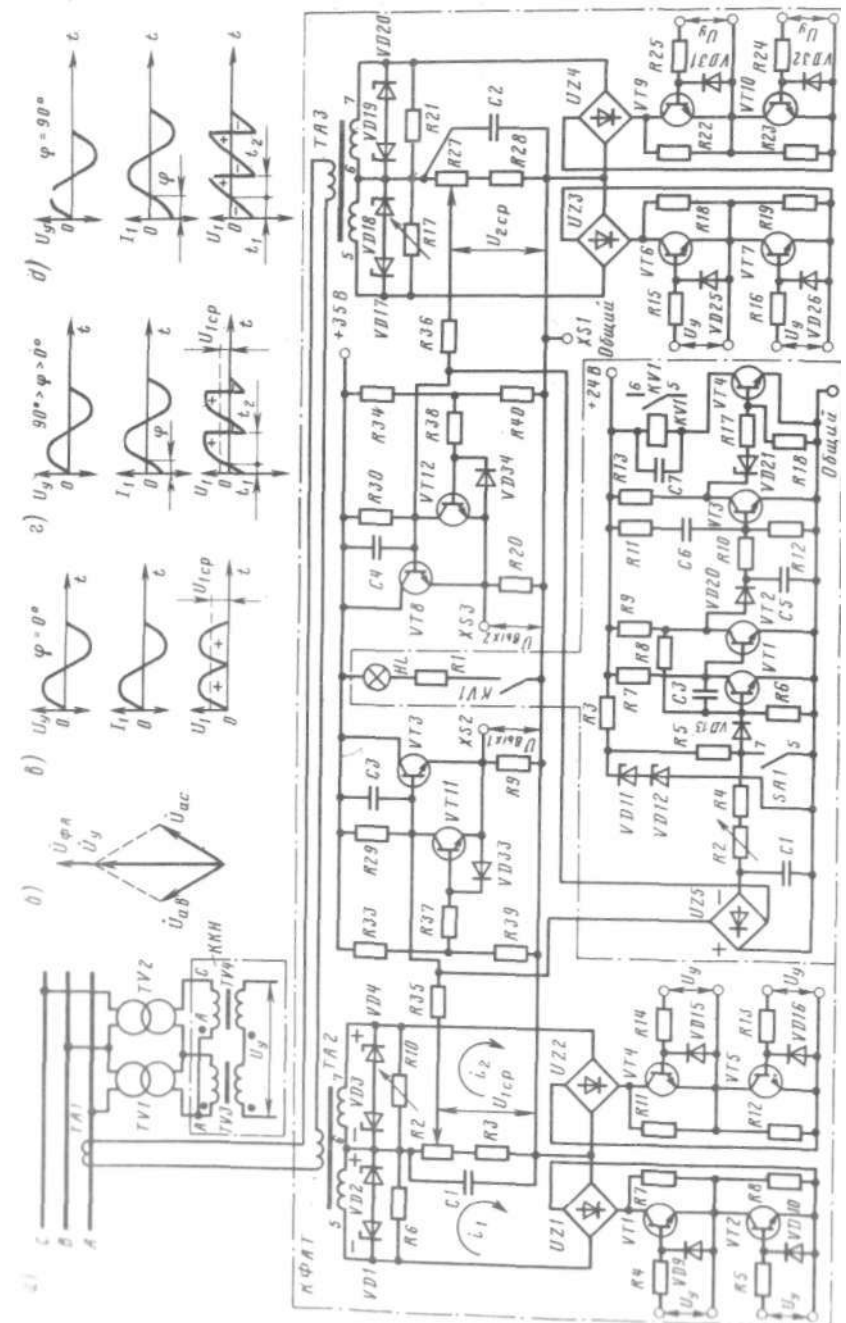


Рис 7.14. Блок измерителя активного тока БИАТ: а — принципиальная схема; б — векторная диаграмма напряжения управления; в, г, д — графики напряжений и токов соответственно при активной, индуктивной и индуктивной нагрузках СГ

транзисторах $VT1-VT4$ и реле напряжения KVI . Часть вторичных обмоток упомянутых трансформаторов соединена последовательно-согласно для получения напряжения LL управления транзисторными ключами кассеты КФАТ. Это напряжение представляет собой геометрическую сумму напряжений U_{ab} и U_{ac} вторичных обмоток и совпадает по фазе с напряжением фазы A генератора (рис. 7.14, б). Вторая часть обмоток использована для получения напряжений питания 24 и 35 В постоянного тока (на рис. 7.14, а не показана).

Кассета КФАТ предназначена для получения напряжения, пропорционального активной мощности СГ, и включает в себя 2 одинаковых канала формирования активного тока. Каждый канал состоит из согласующего трансформатора тока $TA2$ ($TA3$), выпрямителей $UZ1$, $UZ2$ ($UZ3$, $UZ4$), транзисторных ключей $VT1$, $VT2$, $VT4$, $VT5$ ($VT6$, $VT7$, $VT9$, $VT10$), эмиттерного повторителя на транзисторе $VT3$ ($VT8$) и узла защиты элементов схемы от токов перегрузки на транзисторе $VT11$ ($VT12$). Применение двух каналов объясняется необходимостью получения напряжений $[7_{\text{вых}}]$ и $U_{\text{вух2}}$ на выходах каналов. Первое из указанных напряжений с резистора $R9$ подается на вход блока БКЗГ контроля загрузки генератора, а второе с резистора $R20$ - на вход блока БРНГ распределения активных нагрузок генераторов. Кроме того, наличие двух каналов позволяет обеспечить "перекрестный" контроль исправности каналов.

Рассмотрим принцип действия* кассеты КФАТ на примере 1-го канала. Канал представляет измеритель активного тока и имеет вход по току нагрузки и вход по напряжению (вход по току образован при помощи согласующего трансформатора тока $TA2$, вход по напряжению обеспечивается трансформаторами напряжения $TV3$ или $TV4$). Напряжение управления U опирает пары транзисторных ключей $VT1-VT2$ и $VT4-VT5$ поочередно (со сдвигом на угол 180°).

При активной нагрузке ток и напряжение генератора совпадают по фазе: угол $\phi = 0^\circ$ (рис. 7.14, в). Поэтому совпадают по фазе напряжение U , пропорциональное напряжению генератора, и ток I_x первичной обмотки трансформатора тока $TA2$, пропорциональный току нагрузки. В положительный полупериод напряжения U управления открыты транзисторы $VT1$, $VT2$. В этот полупериод на выводах 5-7 вторичной обмотки трансформатора $TA2$ под действием магнитного потока тока I_j возникает напряжение с полярностью, обозначенной на схеме (см. рис. 7.14, а), вызывающее протекание тока j по цепи: "+" на выводе 6- $R2$, $R3$ - выпрямитель $UZ1$ - транзисторы $VT1$, $VT2$ - выпрямитель $UZ1$ - "-" на выводе 5. В следующий полупериод напряжения U управления запираются транзисторы $VT1$, $VT2$ и отпираются $VT4$, $VT5$. Одновременно изменяется мгновенная полярность напряжения на вторичной обмотке трансформатора $TA2$. Ток I_j течет по цепи: "+" на выводе 6- $R2$, $R3$ - $UZ2$ - $VT4$, $VT5$ - $UZ2$ - "-" на выводе 7. Таким образом, через резисторы $R2$, $R3$ протекает выпрямленный 2-полупериодный ток. Напряжение I_j на резисторах $R2$, $R3$, пропорциональное выпрямленному току, поступает на вход эмиттерного повторителя на

транзисторе $VT3$ и одновременно на выпрямитель $UZ5$ на входе кассеты KKH . На выходе эмиттерного повторителя включен резистор $R9$, с которого напряжение $1/I_{\text{вых}}$ подается на вход БКЗГ.

При активно-индуктивной нагрузке ток отстаёт от напряжения на угол $90^\circ > \phi > 0^\circ$ (рис. 7.14, з). В течение каждого полупериода напряжения U направление тока через резисторы $R2$, $R3$ изменяется дважды. Например, в положительный полупериод в промежутке времени Δt ток $I_j < 0$, чему соответствует полярность напряжения на выводах 5-7, обратная указанной на схеме. Ток i_x через резисторы $R2$, $R3$ протекает в направлении от $R3$ к $R2$. В промежутке времени t_2 ток $I_j > 0$, поэтому направление тока I_j изменяется на обратное. В результате среднее значение тока через резисторы $R2$, $R3$ уменьшается, поэтому уменьшается напряжение U на этих резисторах. В отрицательный полупериод напряжения U среднее значение выпрямленного тока через резисторы $R2$, $R3$ определяется аналогичным действием тока i_x .

При индуктивной нагрузке $\phi = 90^\circ$ (рис. 7.14, д), кривая тока через резисторы $R2$, $R3$ становится симметричной относительно оси абсцисс. Поэтому среднее значение выпрямленного тока, а значит, и напряжения I_j уменьшается до нуля.

Изменение в необходимых пределах напряжения $\{I_{\text{вых}}\}$ на выходе канала проводят при помощи резисторов $R10$ ("грубо") и $R2$ ("точно").

Для повышения надежности канала в схему введены элементы защиты. При возникновении токов КЗ генератора напряжение на вторичной обмотке трансформатора $TA2$ увеличивается до значения, при котором пробиваются стабилитроны $VD1$, $VD3$ или $VD2$, $VD4$ (в зависимости от полупериода). Тем самым шунтируется вторичная обмотка трансформатора $TA2$, поэтому напряжения U и $U_{\text{вух}}$ ограничиваются до безопасных значений.

Дополнительно защиту от токов перегрузки обеспечивает транзистор $VT11$, включенный по схеме с общим эмиттером. Делитель напряжения на резисторах $R33$, $R39$ служит для получения на резисторе $R39$ напряжения смещения транзистора $VT11$. Резистор $R9$, включенный в общую эмиттерную цепь транзисторов $VT3$ и $VT11$, обеспечивает по отношению к транзисторам отрицательную обратную связь по току. При увеличении нагрузки генератора напряжение $[7_{\text{вых}}]$ увеличивается. Это приводит к уменьшению напряжения на входе транзистора $VT11$, так как оно определяется разностью напряжений на резисторах $R39$ и $R9$. Вследствие этого ток через транзистор $VT11$ и резисторы $R29$, $R9$ уменьшится. Тем самым напряжение $[7_{\text{вых}}]$ будет ограничено до значения, безопасного для входных цепей блока БКЗГ.

Принцип действия кассеты KKH заключается в сравнении напряжений U_1 и U_2 , подаваемых через резисторы $R35$ и $R36$ на выпрямитель $UZ5$ на входе кассеты. Если оба канала кассеты КФАТ исправны, напряжения I_j и U одинаковы и компенсируют одно другое на выпрямителя $UZ5$, т. е. напряжение на выходе выпрямителя равно нулю. Транзистор $VT1$ открыт током базы, протекающим через

резисторы $R3$, $R5$, диод $VD13$ и переход база - эмиттер транзистора $VT1$, поэтому шунтирует вход транзистора $VT2$. Последний закрыт, напряжение на его выходе равно 24 В, поэтому конденсатор $C5$ заряжен до напряжения 24 В через резистор $R9$ и диод $VD20$. Транзистор $VT3$ открыт базовым током через резисторы $R9$, $R10$ и диод $VD20$ и шунтирует вход транзистора $VT4$. Последний закрыт, реле $KV1$ обесточено.

При выходе из строя элементов кассеты $K\Phi AT$, приводящем к изменению напряжений U_x или U_z на 1 В, на выходе выпрямителя $UZ5$ появляется напряжение, запирающее транзистор $VT1$. Вследствие этого открывается $VT2$, напряжение на выходе которого уменьшается до нуля. Конденсатор $C5$ разряжается через $R10$, $R12$ и тем самым в течение 2-4 с поддерживает падение напряжения на $R12$, удерживающее транзистор $VT3$ в открытом состоянии. Таким образом исключается ложное срабатывание кассеты при кратковременном нарушении равновесия напряжений U_z и U_x . По истечении выдержки времени транзистор $VT3$ запирается, пробивается стабилитрон $VD2L$. Поэтому транзистор $VT4$ отпирается током базы, протекающим через резисторы $R13$, $R17$, стабилитрон $VD21$ и переход эмиттер - база транзистора $VT4$: реле $KV1$ включается.

Для проверки исправности кассеты KKH нажимают кнопку $SA1$, тем самым шунтируя вход транзистора $VT1$. Последний запирается, и далее схема KKH работает как при неисправности элементов кассеты $K\Phi AT$. Если кассета исправна, включается реле $KV1$ и загорается сигнальная лампочка HL .

При номинальных токе нагрузки и коэффициенте мощности напряжение на выходе каждого канала составляет 20 В. Для контроля напряжения на выходе 1-го канала используют гнезда $XS1$ и $XS2$, на выходе 2-го канала - гнезда $XS1$ и $XS3$.

Блок распределения активных нагрузок генераторов БРНГ. Блок входит в состав СУ СЭЭС типа "Ижора-М" и предназначен для автоматического распределения активных нагрузок между параллельно работающими СГ. Работа блока начинается с момента включения АВ резервного генератора, т. е. сразу после окончания процесса синхронизации и продолжается в течение 8-38 с, после чего блок автоматически отключается при помощи реле времени. Таким образом, распределение нагрузок осуществляется только на время приема нагрузки резервным генератором. В дальнейшем распределение активных нагрузок выполняют АРЧ генераторных агрегатов.

Блок вырабатывает непрерывный или импульсный сигнал в зависимости от значения степени неравномерности АР распределения активных нагрузок, граничное значение которого $ЛР_{гр}$ может устанавливаться в пределах $\pm 0,15$, $\pm 0,25$, $\pm 0,35P_{ном}$ генератора. При $АР > ЛР_{гр}$ блок обеспечивает непрерывное включение серводвигателя резервного ГА, ускоряя процесс распределения нагрузок; при $ДР < АР_{гр}$ - импульсное включение серводвигателя, что позволяет избежать перерегулирования.

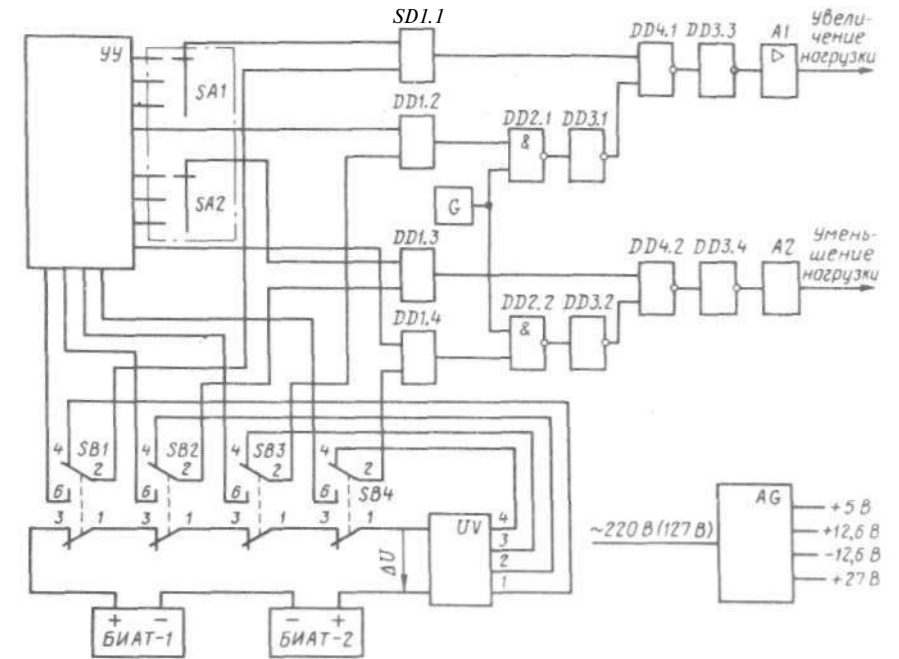


Рис. 7.15. Функциональная схема блока распределения активных нагрузок генераторов БРНГ

Элементной базой блока в основном являются микросхемы (логические элементы/генератор импульсов, усилитель и др.).

В состав блока (рис. 7.15) входят: узел уставки $УУ$ с 2-полюсным переключателем уставок $SA1$, при помощи которого задают указанные выше значения $ДР_{гр}$; 2-полюсные кнопки $SB1-SB4$ для контроля исправности блока; формирователь сигналов $УВ$; компараторы $DD1.1-DD1.4$, представляющие сравнивающие устройства с аналоговым входом и дискретным выходом; логические элементы $DD2.1$, $DD2.2$ (И - НЕ), $DD3.1-DD3.4$ (НЕ), $DD4.1$, $DD4.2$ (ИЛИ - НЕ) и выходные усилители $A1$, $A2$. На выходах этих усилителей включены реле "увеличение нагрузки" и "уменьшение нагрузки".

Напомним алгоритмы функционирования логических элементов:

элемент И - НЕ - если на всех без исключения входах логические единицы, на выходе логический 0; если хотя бы на одном входе 0, на выходе 1;

элемент ИЛИ - НЕ - если на любом входе 1, на выходе 0; если на всех без исключения входах 0, на выходе 1;

элемент НЕ - если на входе 1, на выходе 0; если на входе 0, на выходе 1.

Выходные усилители $A1$ и $A2$, не являясь собственно логическими элементами, реализуют логическую функцию ДА (повторение): если на входе 1, на выходе 1; если на входе 0, на выходе 0.

Питание элементов блока обеспечивает узел питания AG , на вход которого подается напряжение 220 В (127 В) частотой 50 Гц, а с выхода снимаются напряжения: нестабилизированное +27 В и стабилизированные +5, +12,6 и -12,6 В.

После включения на шины резервного генератора (обозначим его СГ2 в отличие от базового СП) выходы блоков измерителей активного тока БИАТ-1 и БИАТ-2 обоих генераторов соединяются последовательно. Поэтому при неодинаковых активных нагрузках генераторов через контакты 3-1 кнопок $SB1-SB4$ на вход формирователя UV подается напряжение $D/\text{ф}$, пропорциональное степени неравномерности активных нагрузок генераторов. С выходов 1-4 формирователя через контакты 4-2 кнопок $SB1-SB4$ напряжения $u\$/$ поступают на нижние входы компараторов $DD1.1-DD1.4$. Из узла уставок $УУ$ на верхние входы этих компараторов подаются напряжения уставок $U_{уст}$, причем на входы компараторов $DD1.2$ и $DD1.4$ непосредственно, а на $DD1.1$ и $DD1.3$ через переключатель уставок $SA1$.

Принцип действия компаратора основан на сравнении двух входных напряжений: уставки $U_{уст}$ и формирователя U^{\wedge} . На выходе компаратора устанавливается логический 0 при $U_{уст} > U^{\wedge}$ и логическая 1 при $U_{уст} < U^{\wedge}$. Напряжение уставки компаратора $DD1.1$ ($DD1.3$) выше, чем $DD1.2$ ($DD1.4$). Схемы компараторов построены на операционных усилителях типа К1УТ401Б.

Предположим, что активная нагрузка СП больше, чем СГ2. Напряжение $t/\text{ф}$ на входе формирователя UV имеет полярность напряжения на выходе блока БИАТ-1. При этом на выходах 2, 4 формирователя напряжение $Ш = 0$, а на выходах 1, 3 напряжение $Ш$ пропорционально степени неравномерности активных нагрузок. Таким образом, на нижние входы компараторов $DD1.3$ и $DD1.4$ напряжения с формирователя не поступают. Поэтому на выходах этих компараторов будут логические нули, вследствие чего становится невозможным включение реле "уменьшение нагрузки". С выходов 1, 3 формирователя напряжение $Ш$ поступает на нижние входы компараторов $DD1.1$ и $DD1.2$. Уровень сигналов (0 или 1) на выходах компараторов $DDL 1$ и $DD1.2$ зависит от степени неравномерности нагрузок генераторов.

Если степень неравномерности нагрузок $AP > AP_{кр}$, а такое возможно сразу после включения СГ2 на шины, когда вся нагрузка находится на СП, то на выходах компараторов $DD1.1$ и $DD1.2$ будут логические единицы. С выхода компаратора $DD1.1$ логическая 1 поступает на верхний вход элемента $DD4.1$. Поэтому на его выходе будет логический 0, поступающий на вход элемента $DD3.3$. С выхода элемента $DD3.3$ логическая 1 поступает на вход усилителя $A1$, в результате реле "увеличение нагрузки" работает непрерывно.

По мере перевода нагрузки на СГ2 степень неравномерности нагрузок уменьшается до заданного переключателя $SA1$ граничного значения $DP_{кр}$. В этом случае на входе компаратора $DD1.1$ напряжение формирователя уменьшается до значения $Ш < U^{\wedge}$, поэтому на выходе элемента $DD1.1$ устанавливается логический 0. Однако уменьшение напряжения на входе элемента $DD1.2$ недостаточно для изменения состояния $DD1.2$, поэтому на выходе элемента $DD1.2$ сохраняется логическая 1, поступающая на верхний вход элемента $DD2.1$. В промежутки времени, когда генератор импульсов G выдает сигнал в виде логической 1, на оба входа элемента $DD2.1$ поступают логические единицы, вследствие чего на его выходе будет логический 0. В результате на выходах элементов $DD3.1$ - логическая 1, $DD4.1$ - логический 0, $DD3.3$ - логическая 1. На выходе усилителя $A1$ включается реле "увеличение нагрузки". При снятии сигнала генератора G на выходе усилителя $A1$ устанавливается логический 0, упомянутое реле отключается. Таким образом, реле "увеличение нагрузки" включается в такт сигналам генератора импульсов G .

При уменьшении степени неравномерности нагрузки до некоторого минимального значения AP_{min} (обычно $AP_{min} = S P_{ном}$) на входе компаратора $DD1.2$ устанавливается логический 0. В этом случае на выходах элементов устанавливаются следующие сигналы: $DD2.1$ - логическая 1, причем импульсы генератора G не изменяют состояние этого элемента; $DD3.1$ - логический 0; $DD4.1$ - логическая 1; $DD3.3$ - логический 0. Реле "увеличение нагрузки" отключается.

Исправность БРНГ проверяют при помощи кнопок $SB1-SB4$. Нажатие любой из них приводит к снятию напряжений U^{\wedge} со входов компараторов $DD1.1-DD1.4$ вследствие размыкания контактов 3-Г нажатой кнопки и подаче на вход соответствующего компаратора сигнала из узла уставок $УУ$ через замыкающие контакты 2-б этой кнопки. Для получения непрерывного (импульсного) сигнала на выходе усилителя $A1$ нажимают кнопку $SB1$ ($SB3$), на выходе усилителя $A2$ - кнопку $SB2$ ($SB4$).

Устройство распределения мощности УРМ-35. Устройство входит в состав СУ СЭЭС типа "Ижора" и обеспечивает распределение активных нагрузок между параллельно работающими СГ с погрешностью $\pm 0,05P_{ном}$ при изменении суммарной нагрузки судовой электростанции от 0,2 до $1,1P_{ном}$. Устройство состоит из трех блоков: УРМ-35Д - датчик активного тока, УРМ-35Ф - формирователь импульсов, УРМ-35У - усилитель. Последние 2 блока конструктивно объединены в общем корпусе.

Датчик активного тока типа УРМ-35Д (рис. 7.16) предназначен для получения на его выходе напряжения, пропорционального активной мощности СГ. Датчик устанавливают на каждом генераторе и подключают при помощи трансформаторов напряжения $TV1, TV2$ и трансформатора тока $TA1$. В состав датчика входят тороидальные трансформаторы напряжения $TV3, TV4, TV5$, согласующий трансформатор тока $TA2$, выпрямители $UZ1, UZ2$ и резисторы $R1-R4$.

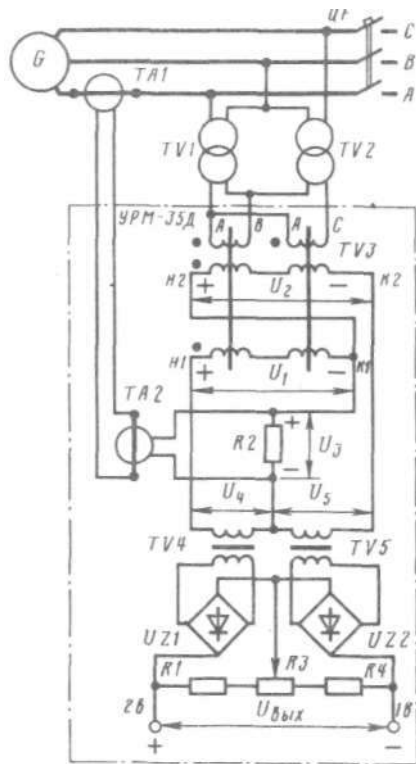
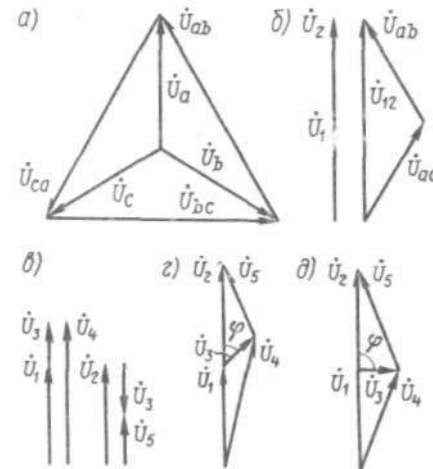


Рис 7.16. Принципиальная схема датчика активного тока УРМ-35Д

Рис 7.17. Векторные диаграммы напряжений:

а — синхронного генератора; б — на входе трансформатора TV3 датчика активного тока; в, г, д — на выходе датчика активного тока соответственно при активной, активно-индуктивной и индуктивной нагрузках



Трансформатор TV3 состоит из двух тороидальных магнитопроводов с первичными обмотками, включенными через понижающие трансформаторы TV1, TV2 на линейные напряжения \dot{u}_{ac} генератора (рис. 7.17, а). Магнитопроводы охвачены вторичными обмотками с выводами n1-k1 и n2-k2, соединенными последовательно-согласно для получения напряжения $\dot{u}_{12} = U_{ab} + U_{ac}$ совпадающего по фазе с напряжением фазы А (рис. 7.17, б). При этом напряжения \dot{U}_1 и \dot{U}_2 на указанных вторичных обмотках одинаковы ($U_1 = U_2 = U_{12}/2$) и приложены к первичным обмоткам трансформаторов TV4 и TV5. Трансформатор тока TA2 подключен к выводам вторичной обмотки трансформатора тока TA1 фазы А. Поэтому напряжение U_3 на резисторе R2 совпадает по фазе с током фазы А.

При холостом ходе $\dot{U}_3 = 0$, поэтому к первичным обмоткам трансформаторов TV4 и TV5 приложены одинаковые напряжения: $U_4 = u_1$ и $U_5 = u_2$. Вторичные напряжения этих трансформаторов одинаковы и после выпрямления компенсируют одно другое на выходе датчика, $U_{вых} = 0$.

При активной нагрузке напряжения \dot{U}_1 , \dot{U}_2 и \dot{U}_3 в один полупериод переменного тока имеют полярность, обозначенную на рис. 7.16. При этом напряжения \dot{U}_1 и \dot{U}_2 совпадают по фазе, а напряжения \dot{U}_2 и \dot{U}_3 противоположны по фазе (рис. 7.17, в). В результате напряжение \dot{U}_4 на первичной обмотке трансформатора TV4 увеличится до значения $U_4 = U_1 + U_3$, а на первичной обмотке трансформатора TV5 уменьшится до $U_5 = U_2 - U_3$. На выходе датчика появится напряжение $U_{вых} > 0$.

По мере увеличения угла ϕ сдвига тока нагрузки относительно напряжения разница между напряжениями \dot{U}_1 и U_5 уменьшается (рис. 7.17, г) и при индуктивной нагрузке ($\phi = 90^\circ$) эти напряжения становятся одинаковыми (рис. 7.17, д). В последнем случае $U_{вых} = 0$.

Таким образом, напряжение на выходе датчика имеет наибольшее значение при активной нагрузке и равно нулю при индуктивной нагрузке.

При параллельной работе СГ выходы датчиков соединяют посредством вспомогательных контактов генераторных АВ. Например, при включении на параллельную работу базового СП и резервного СГ генераторов замыкаются вспомогательные контакты K1 и K2 (рис. 7.18), образуя последовательную цепь, в которой выходные напряжения $U_{вых1}$ и $U_{вых2}$ датчиков направлены встречно и при одинаковой активной нагрузке генераторов взаимно компенсируются. Напряжение рассогласования $AU = U_{вых1} - U_{вых2} = 0$. При неодинаковых активных нагрузках на выходе цепи возникает напряжение AU определенной полярности, которое подается на вход блока УРМ-35Ф.

Блок формирователя импульсов УРМ-35Ф (рис. 7.19) предназначен для преобразования напряжения А [рассогласования на его входе в пакет импульсов напряжения прямоугольной формы на выходе. В состав блока входят элементы питания, формирования импульсов "больше" и "меньше", а также генератор пилообразного напряжения ПН (на рис. 7.19 не показан). Элементы питания включают в себя многообмоточный трансформатор TV1, а также диоды, фильтры и стабилизаторы напряжения (последние как рис. 7.19 не показаны). Элементы формирования импульсов "больше" и "меньше" построены одинаково и включают в себя

триггер Tr1 (Tz2) Шмитта на транзисторах VT1, VT3 (VT2, VT4), эмиттерный повторитель на транзисторе VT5 (VT6), стабилитрон VD7 (VD8), тиристор VSU (VS12) с управлением по аноду и выпрямитель UZ1 (UZ2). Указанные элементы имеют входы: общий с выводами 8в и 7в и отдельные, образованные диодом VD6 (VD5) и резистором R4 (R5). На общий вход поступает напряжение AU рас-

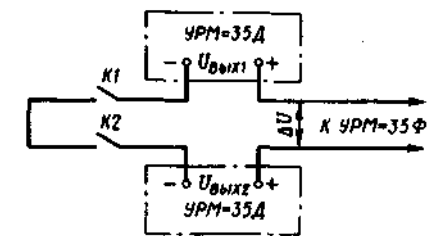


Рис 7.18. Схема подключения датчиков активного тока УРМ-35Д при параллельной работе двух СГ

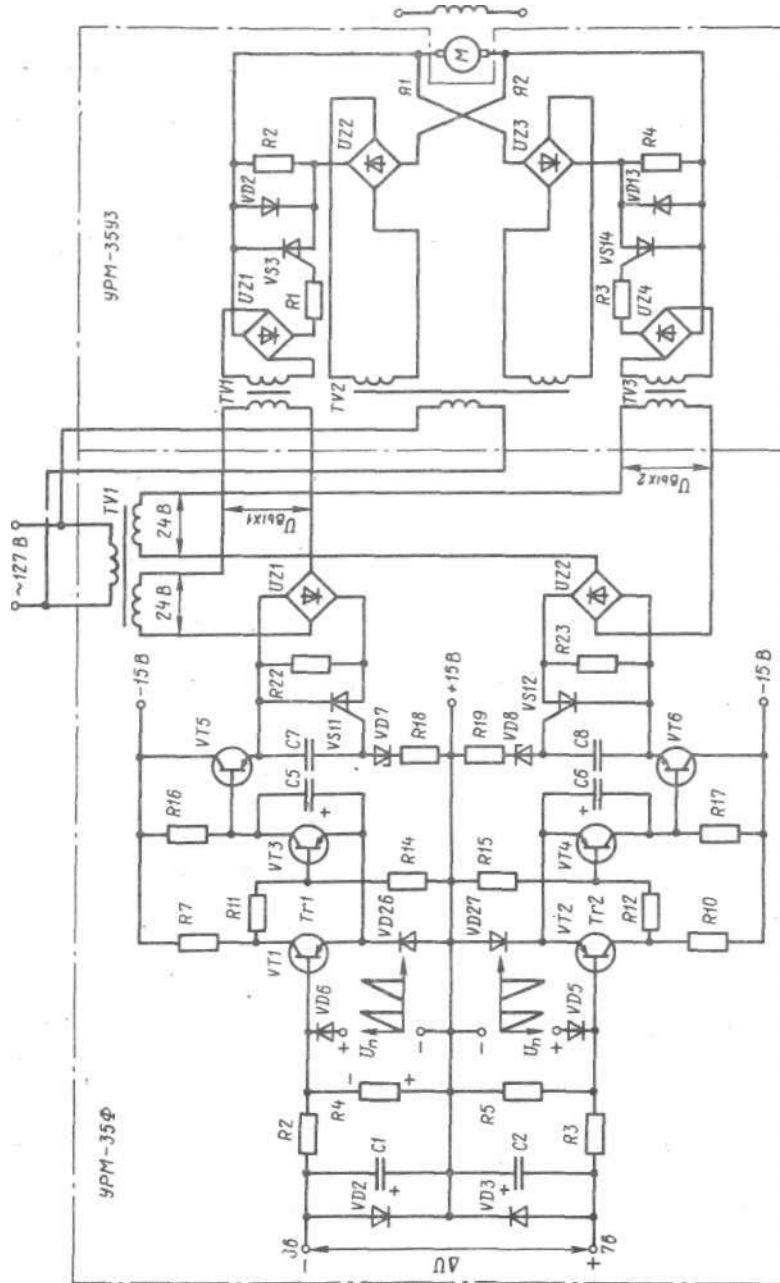


Рис. 7.19. Принципиальные схемы формирователя UPM-35Ф и усилителя UPM-35УЗ

согласования. На отдельные входы с выхода генератора пилообразного напряжения ПН поступает напряжение U_n с обозначенной на схеме полярностью.

Исходному состоянию схемы формирователя соответствует равенство активных нагрузок параллельно работающих СГ, при котором $\Delta U = 0$. Под действием напряжения U_n транзисторы $VT1$ и $VT2$ закрыты. Поэтому открыты транзисторы $VT3$ и $VT4$, их выходные напряжения малы и недостаточны для пробоя стабилитронов $VD7$ и $VD8$. Резисторы $R22$ и $R23$ (имеют большое сопротивление) включены на стороне постоянного тока последовательно с вторичными обмотками трансформатора $TV1$ блока UPM-35Ф и уменьшают практически до нуля напряжения $U_{\text{вых}1}$ и $U_{\text{вых}2}$ поступающие на первичные обмотки трансформаторов $TV1$ и $TV3$ блока UPM-35УЗ.

Блок усилителя UPM-35У предназначен для усиления импульсов напряжения, поступающих на его вход из формирователя импульсов UPM-35Ф, имеет 5 модификаций, отличающихся типом серводвигателя, подключаемого к выходу усилителя. В качестве примера рассмотрим усилитель типа UPM-35УЗ, предназначенный для управления серводвигателем постоянного тока напряжением 27 В с независимым возбуждением (см. рис. 7.19).

В состав блока усилителя входят элементы питания и элементы импульсов "больше" и "меньше". Элементы питания включают в себя трансформатор напряжения $TV2$ и выпрямители $UZ2$ и $UZ3$. Элементы импульсов "больше" и "меньше" одинаковы по устройству. Элемент "больше" ("меньше") включает в себя трансформатор $TV1$ ($TV3$), выпрямитель $UZ1$ ($UZ4$), транзистор $VS3$ ($VS14$), диод $VD2$ ($VD13$) и резисторы $R1$, $R2$ ($R3$, $R4$). Нагрузкой для усилителя является обмотка якоря серводвигателя M .

Рассмотрим работу блока UPM в целом. Предположим, что активная нагрузка базового генератора СП больше, чем резервного СГ2. Вследствие этого напряжения на выходах датчиков активного тока UPM-35Д неодинаковы, причем $U_{\text{вых}1} > U_{\text{вых}2}$. В результате к входу 8-7 формирователя UPM-35Ф будет приложено напряжение ΔU с полярностью, обозначенной на рис. 7.19.

Принцип действия формирователя основан на сравнении двух напряжений: рассогласования ΔU и пилообразного U_n (рис. 7.20, а). Если $\Delta U > U_n$ (участок AB), через диод $VD3$, резисторы $R4$ и $R2$ протекает ток, создающий на $VD3$ напряжение, удерживающее транзистор $VT2$ закрытым. Тем самым исключается срабатывание элемента импульса "меньше". В то же

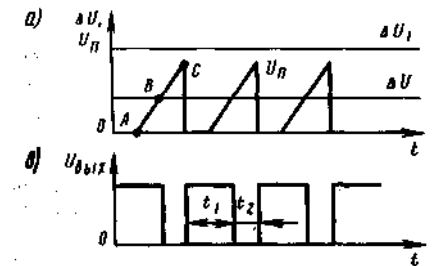


Рис. 7.20. Графики напряжений на входе (а) и выходе (б) формирователя UPM-35Ф

время напряжение на резисторе $R4$ (полярность обозначена на рис. 7.19) опрокидывает триггер $Tm1$. При этом транзистор $VT1$ открывается, а транзистор $VT3$ закрывается. Напряжение на выходе закрытого $VT3$ увеличивается до напряжения пробоя стабилитрона $VD7$. Последний открывается, при этом образуется цепь: "+" 15 В - $R18$ - $VD7$ - управляющий электрод - катод тиристора $VS11$ - переход эмиттер - база транзистора $VT5$ - $R16$ - "-" 15 В. В результате открываются тиристор $VS11$ и транзистор $VT5$. Открытый $VS11$ шунтирует резистор $R22$, и напряжение $U_{\text{вых}}$ увеличивается до 24 В. Поэтому увеличивается напряжение на выходе выпрямителя $UZ1$ и открывается тиристор $VS3$, шунтирующий резистор $R2$. Через обмотку якоря серводвигателя потечет ток по цепи: "+" $UZ2$ - $VS3$ - обмотка якоря $Я1$ - $Я2$ - "-" $U_{г2}$.

Если $U < U_n$ (участок BC на рис. 7.20, а), то полярность напряжения на резисторе $R4$ изменится на обратную под действием большего напряжения u_n . Это приводит к запираанию транзистора $VT1$ и исключению действия элемента импульса "больше". Таким образом, на выходе формирователя появляется напряжение $[U_{\text{вых}}]$ с длительностью импульса t_1 и длительностью паузы t_2 (рис. 7.20, б). Периодическое включение серводвигателя приводит к увеличению активной нагрузки $СГ2$ и уменьшению напряжения AU . При $AU = 0$ серводвигатель останавливается. При большей разности активных нагрузок обоих генераторов, что может происходить сразу после синхронизации $СГ2$, серводвигатель работает не в импульсном, а непрерывном режиме. При этом напряжение рассогласования AU непрерывно превосходит пилообразное напряжение U_n (см. рис. 7.20, с).

7.5. Автоматизированные устройства включения резерва

Автоматизированные устройства включения резерва типа УВР предназначены для выдачи сигналов в следующих случаях: при увеличении нагрузки на базовом генераторе до $(0,85-0,90)P_{\text{ном}}$ (по сигналу устройства происходит пуск резервного ГА с последующим включением резервного СГ на шины); при уменьшении нагрузки на каждом из параллельно работающих генераторов до $(0,3-0,4)P_{\text{ном}}$ (включаются световая и звуковая сигнализации, а решение об отключении резервного генератора принимает оператор). Таким образом, применение подобных устройств обеспечивает практически бесперебойное и экономичное производство электроэнергии на судах.

Конструктивно устройства могут выполняться в виде отдельного унифицированного устройства (например УВР-1) или входить в состав устройств с расширенными функциональными возможностями (БКЗГ).

Блок контроля загрузки генераторов БКЗГ. Для формирования сигналов при увеличении (уменьшении) активной мощности генератора до заданного значения на вход блока БКЗГ подается напряжение с выхода первого канала блока БИАТ. Этот вход образован параллельно

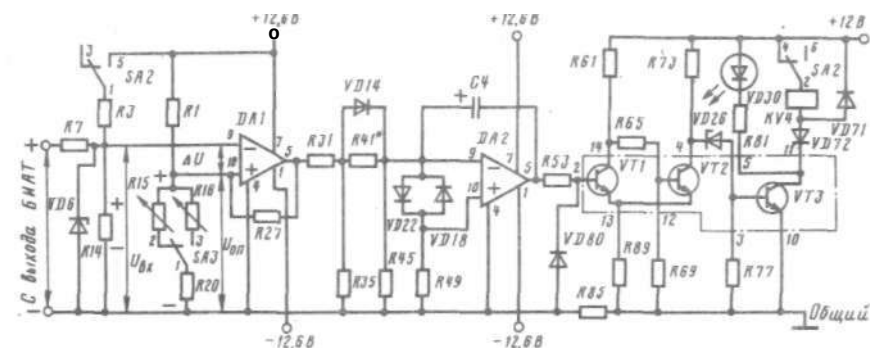


Рис. 7.21. Принципиальная схема канала контроля загрузки генератора с уставкой 0,9 (М)Р_{ном}

включенными входами шести каналов контроля загрузки генератора: первый из каналов срабатывает при снижении активной мощности генератора до $0,3P_{\text{ном}}$, остальные - при повышении активной мощности до $0,7; 0,7 (0,8); 0,9 (1,0); 1,0 (1,1)$ и $1,3 (1,5)P_{\text{ном}}$.

Рассмотрим работу канала повышения нагрузки до $0,9 (1,0)P_{\text{ном}}$ (рис. 7.21). Канал построен на интегральных операционных усилителях $DA1$ типа К1УТ401Б и транзисторной матрице $DD1$ типа КШТ251. Каждый ОУ имеет два входа 9 и 10 и один выход 5. Входы ОУ, обозначенные знаками "+" и "-", называются соответственно прямым (10) и инвертирующим (9). Если напряжение сигнала поступает на прямой вход, то полярность (фаза) напряжений на входе и выходе ОУ совпадает. При использовании инвертирующего входа полярность (фаза) напряжений на входе и выходе противоположна. Чтобы выходное напряжение ОУ могло иметь ту или иную полярность (фазу), в схеме предусмотрены 2- источника питания: с положительным $+12,6$ В и отрицательным $-12,6$ В напряжениями относительно заземленной общей точки схемы. Транзисторная матрица $DD1$ использована для построения триггера Шмита на транзисторах $VT1$, $VT2$ и выходного усилителя на транзисторе $VT3$, в цепь коллектора которого включено реле напряжения $KV4$.

Принцип действия канала основан на сравнении двух напряжений: входного $U_{\text{вх}}$ пропорционального активной мощности генератора, и опорного $U_{\text{он}}$, задающего уставку канала по активной мощности. Для получения указанных напряжений в схеме использованы делители напряжения $R7, R14$ и $R1, R15, R20$ при уставке $0,9P_{\text{ном}}$, а также $R1, R16, R20$ при уставке $1,0P_{\text{ном}}$. Выбор уставки проводят путем установки переключателя $SA3$ в соответствующее положение. Напряжения $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{он}}$ имеют одинаковую - положительную - относительно корпуса полярность. Поэтому между входами 9 и 10 усилителя $DA1$ приложено так называемое дифференциальное напряжение: $AU = U_{\text{вх}} - U_{\text{он}}$.

При активной мощности генератора, меньшей $0,9P_{\text{ном}}$, напряжение $U_{\text{вх}} < U_{\text{от}}$. Поскольку из этих напряжений большее приложено к прямому входу 10 , полярность напряжения на выходе усилителя $DA1$ повторяет полярность напряжения $U_{\text{от}}$, т. е. на выводе 5 имеется положительный потенциал относительно корпуса. Напряжение с выхода усилителя $DA1$ при помощи делителя напряжения $R31, R35$ и цепочки $VD14-R45$ и $VD22(VD18)-R49$ последовательно уменьшается до необходимого значения на входе усилителя $DA2$. Протекающий при этом через $R31, VD14, VD22$ и $R49$ ток создает на $VD22$ небольшое прямое падение напряжения, приложенное "плюсом" к инвертирующему 9 и "минусом" к прямому 10 входам. Таким образом, полярность напряжения на входе усилителя $DA2$ противоположна полярности напряжения на входе усилителя $DA1$. Поэтому на выходе 5 усилителя $DA2$ имеется отрицательный потенциал. Через $R85, VD80$ и $R53$ протекает ток, создающий на $R85$ и $VD80$ падение напряжения, запирающее транзистор $VT1$. Триггер Шмитта находится в исходном состоянии, напряжение на выходе открытого $VT2$ невелико и недостаточно для пробоя стабилитрона $VD26$. Поэтому закрыт транзистор $VT3$, реле $KV4$ обесточено. Конденсатор $C4$ через $R31$ и $VD14$ заряжен до напряжения 12 В (полярность обозначена на схеме) с момента подачи напряжений питания на схему блока.

При увеличении мощности генератора более $0,9P_{\text{ном}}$ напряжение $U_{\text{вх}} > U_{\text{от}}$ поэтому полярность напряжения AU на входе усилителя $DA1$ изменится на обратную, а на выходе устанавливается отрицательный потенциал. Ток, протекающий через $R49, VD18, R41, R31$, создает на диоде $VD18$ прямое падение напряжения, приложенное плюсом к входу 10 и минусом к входу 9 усилителя $DA2$. Вследствие этого на выходе усилителя $DA2$ устанавливается положительный потенциал, и через $R53$, переход база - эмиттер транзистора $VT1, R89$ потечет ток базы транзистора $VT1$. Последний откроется, закроется $VT2$, напряжение на выходе которого увеличится до 12 В. Поэтому пробивается стабилитрон $VD26$, через него и резисторы $R73, R77$ потечет ток. Возникающее при этом падение напряжения на $R77$ отпирает транзистор $VT3$. Включается реле $KV4$, выдающее сигнал в систему "Роса-М" на пуск резервного ГА. Одновременно загорается светодиод $VD30$ "90 %".

Конденсатор $C4$ исключает ложное включение реле $KV4$ при кратковременном увеличении мощности более $0,9P_{\text{ном}}$. В этом случае "опрокидывание" усилителя $DA1$ происходит мгновенно, вследствие чего начинается разряд $C4$ через $R41-R35$ и одновременно через $R22, R49, VD80, R53$. Разрядный ток конденсатора $C4$ в течение 2,0-2,4 с удерживает на диоде $VD22$ напряжение, препятствующее "опрокидыванию" усилителя $DA2$. Необходимую уставку времени получают изменением номинального сопротивления резистора $R41$.

Для проверки исправности канала служит переключатель $SA2$ с двумя положениями - "Работа" и "Проверка". На схеме состояние контактов переключателя $SA2$ соответствует положению "Работа". В положении "Проверка" через контакты 1, 5 переключателя $SA2$ обра-

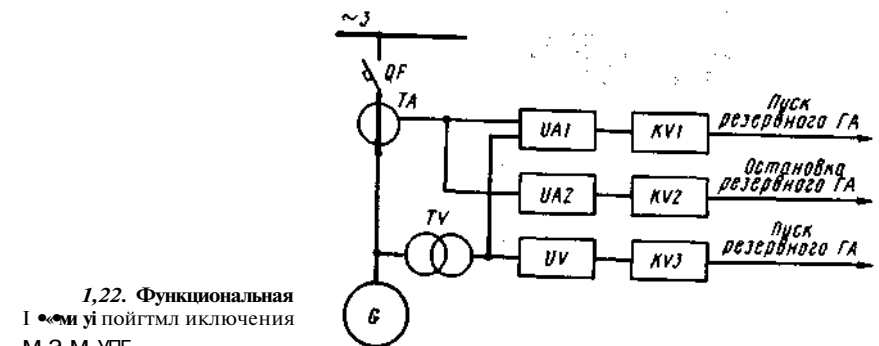
зуется цепь делителя напряжения $R3, R14$, при помощи которой на $R14$ получают напряжение $U_{\text{вх}} > U_{\text{от}}$. Тем самым имитируется увеличение активной нагрузки генератора до $0,9P_{\text{ном}}$. Размыкающие контакты 2, 4 переключателя $SA2$ отключают реле $KV4$. Если канал исправен, загорается светодиод $VD30$.

Схема канала контроля понижения мощности до $0,3P_{\text{ном}}$ построена на аналогичных элементах, но имеет обратный порядок срабатывания. При этом включается звуковой сигнал и загорается световое табло "Нагрузка 30 % номинальной".

Устройство включения резерва УВР-1. Устройство входит в состав СУ СЭС типа "Ижора" и предназначено для формирования сигналов на включение резервного СГ при перегрузках и снижении напряжения на шинах СЭС ниже допустимого значения, а также на остановку одного из параллельно работающих генераторов при снижении нагрузки. Устройство включает 3 элемента (повышения нагрузки, снижения нагрузки и снижения напряжения) и имеет 4 модификации, отличающиеся типом датчиков тока элемента повышения нагрузки и напряжением источника питания.

Структурная схема УВР (рис. 7.22), соответствующая одной из модификаций, состоит из датчиков активного тока $UA1$, полного тока $UA2$ и напряжения UV , к выходам которых подключены электронные реле соответственно повышения нагрузки $KV1$, снижения нагрузки $KV2$ и снижения напряжения $KV3$. Устройство подключается к генератору 3-фазного переменного тока через трансформаторы тока TA и напряжения TV .

При увеличении активного тока до $(0,85-0,90)/I_{\text{ном}}$ реле $KV1$ срабатывает и через свои замыкающиеся контакты формирует сигнал на пуск резервного ГА. При снижении полного тока на каждом из параллельно работающих генераторов до $(0,3-0,4)/I_{\text{ном}}$ реле $KV2$ теряет питание и формирует сигнал на остановку резервного ГА. Аналогично работает элемент снижения напряжения. При длительном снижении напряжения до $(0,85+0,90)/U_{\text{ном}}$ или исчезновении его реле $KV3$ теряет питание и формирует сигнал на остановку работающего и пуск резерв-



1,22. Функциональная схема устройства включения резерва

ного ГА. Сигналы перечисленных выше элементов поступают в систему ДАУДГ.

Дистанционное автоматизированное управление ДГ. Системы ДАУ ДГ предназначены для автоматизации процессов пуска, остановки, контроля и защиты дизелей, входящих в состав ГА. На судах отечественной постройки применяют системы ДАУ ДГ типов СДГ-Т и "Роса-М". Объем автоматизации этих систем примерно одинаков. Система ДАУ СДГ-Т обеспечивает следующие операции:

- автоматическое поддержание дизеля в состоянии резерва;
- автоматический пуск и вывод дизеля на номинальную частоту вращения при появлении сигнала из блока устройства включения резерва об увеличении нагрузки на базовом генераторе;
- дистанционный пуск и автоматический вывод дизеля на номинальную частоту вращения, а также дистанционную остановку по сигналу оператора с основного или выносного пульта управления;
- аварийную остановку дизеля при превышении допускаемой температуры воды в системе охлаждения, масла в смазочной системе и частоты вращения;
- аварийную остановку дизеля при снижении давления воды в системе охлаждения и масла в смазочной системе;
- аварийную и предупредительную сигнализацию;
- встроенный функциональный контроль исправности системы.

Системы ДАУ СДГ-Т и "Роса-М" имеют смешанную элементную базу, причем блоки управления первой из них выполнены в основном на диодно-транзисторной логике, а второй - на электромагнитных реле. Обе системы являются унифицированными и обеспечивают управление генераторами постоянного и переменного тока мощностью 100-1000 кВт по одной из пяти программ (в соответствии с типом дизеля).

Система ДАУ СДГ-Т состоит из четырех частей (рис. 7.23): блока питания БП, основного ОПУ и выносного ВПУ пультов управления и блока управления БУ. Блок питания предназначен для электроснабжения системы выпрямленными напряжениями 24, 12 и 3 В от судовой сети переменного тока или от АБ при исчезновении напряжения сети.

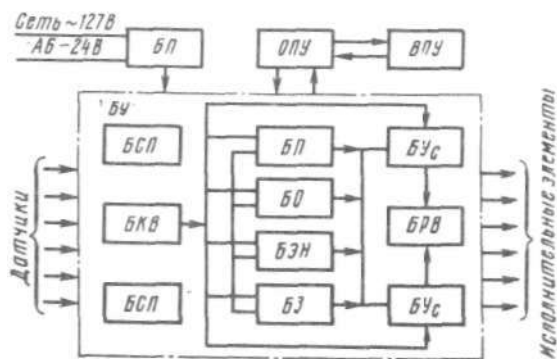


Рис. 7.23. Функциональная схема системы ДАУ СДГ-Т

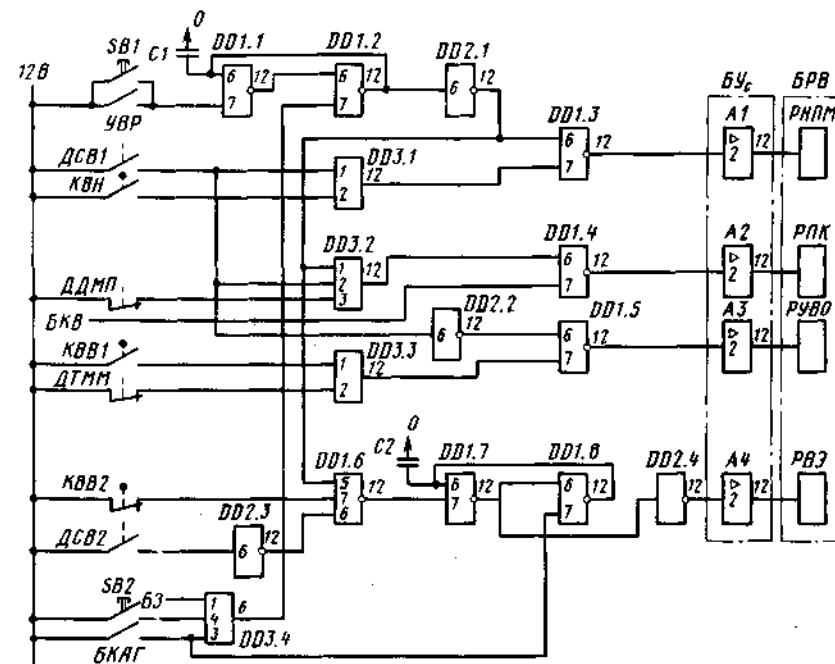


Рис. 7.24. Принципиальная схема блока пуска системы ДАУ СДГ-Т

Основной ОПУ и выносной ВПУ пульты управления, размещенные соответственно в непосредственной близости с ДГ и в ЦПУ, состоят из органов управления и сигнальных табло, причем в меньшем объеме у ВПУ. В блок управления входят следующие функциональные блоки: стабилизированного питания БСП (2), контроля времени БКВ, пуска БП, остановки БО, аварийных защит БЗ, неотключаемых элементов БЭН, усилителей БУС (2) и выходных реле БРВ.

В блоке пуска (рис. 7.24) системы ДАУ СДГ-Т можно выделить 3 основные части: задающую, логическую и исполнительную. Задающая часть образована контактами первичных датчиков и органов управления, по командам которых обеспечивается необходимая технологическая последовательность операций при пуске:

SB1 - замыкающие контакты кнопки "Пуск" на ВПУ или ОПУ (см. рис. 7.23);

УВР - замыкающие контакты элемента повышения нагрузки устройства включения СЭС, замыкаются при повышении нагрузки на базовом генераторе до $(0,85 \sim 0,90) P_{ном}$;

DCB1 - замыкающие контакты 1-го датчика частоты вращения дизеля, замыкаются при частоте вращения 165-185 об/мин;

КВН - замыкающие контакты конечного выключателя нижнего положения рейки топливного насоса, которому соответствует минимальная подача топлива;

ДДМП - размыкающие контакты датчика минимального давления масла, размыкаются при давлении масла $p > 4,9 \cdot 10^4$ Па;

БКВ - сигнал 1 из блока контроля времени, появляется через 35 с после начала пуска Дизеля с помощью воздуха;

КВВ1 - замыкающие контакты конечного выключателя верхнего положения рейки топливного насоса, замыкаются при подходе рейки к верхнему положению, соответствующему максимальной подаче топлива;

ДТММ - размыкающие контакты датчика минимальной температуры масла, размыкаются при увеличении температуры до 30 °С;

КВВ2 - вторая пара контактов конечного выключателя верхнего положения рейки топливного насоса, размыкаются при подходе рейки к верхнему положению;

ДСВ2 - замыкающие контакты датчика подсинхронной частоты вращения, замыкаются при частоте вращения около 500 об/мин;

БЗ - сигнал 1 из блока аварийных защит, поступает в *БП* при аварийной температуре воды (85 °С), температуре масла 75 °С или аварийном увеличении частоты вращения дизеля до 575 об/мин;

SB2 - замыкающие контакты кнопки "Стоп" на ДЛУили *ОПУ*;

БКАГ - вспомогательные контакты генераторного АВ, замыкаются при включении генератора на шины ГРЩ.

Логическая часть построена на логических элементах *DD1.1-DD1.8* (ИЛИ - НЕ), *DD2.1-DD2.4* (НЕ) и *DD3.1-DD3.4* (ИЛИ). При этом на элементах *DD1.1*, *DD1.2* и *DDL 7*, *DD1.8* построены триггеры соответственно "Память пуска" и "Память включения электростанции". Алгоритмы функционирования элементов ИЛИ - НЕ и НЕ приведены выше (см. п. 7.5). Алгоритм элемента ИЛИ следующий: если на любом входе сигнал 1, то на выходе тоже 1; если на всех входах нули, то на выходе тоже нуль.

Исполнительная часть схемы блока включает усилители *A1-A4* и реле: насоса прокачивания масла *РНПМ*, пускового клапана *РПК*, увеличения частоты вращения *ПУВО* и включения электростанции *ПВЭ*.

В состав блока пуска входит только логическая часть, элементы задающей и исполнительной частей подключаются к упомянутому блоку посредством разъемных соединений.

При включений системы ДАУ триггеры "Память пуска" и "Память включения электростанции" при помощи конденсаторов *C1* и *C2* автоматически приводятся в исходное состояние, при котором на выходах *I2* появляются сигналы: 1 - у элементов *DD1.1* и *DD1.7*; 0 - у элементов *DD1.2* и *DD1.8*. Реле *РНПМ*, *РПК*, *ПУВЛ* и *ПВЭ* питания не получают.

Процесс пуска начинается после замыкания контактов *УВР* или при нажатии кнопки *SB1*. При этом на вход 7 элемента *DD1.1* подается сигнал 1 в виде потенциала - 12 Б. Триггер "Память пуска" опрокиды-

вается, поэтому на выходе *I2* элемента *DD1.2* - сигнал 1, поступающий на вход 6 элемента *DD2.1*, с выхода которого сигнал 0 поступает на вход 6 элемента *DD1.3*. Вследствие того что контакты датчиков *ДСВ1* и *КВН* разомкнуты, на обоих входах элемента *DD3.1* будут сигналы 0, на его выходе *I2* также 0, поступающий на вход 7 элемента *DD1.3*. Таким образом, на обоих входах элемента *DD1.3* сигналы 0, а на его выходе 1, поступающая на вход усилителя *A1*. На выходе усилителя сигнал 1, поэтому включается реле *РНПМ*. Пуск не состоится, если контакты *ДСВ1* или *КВН* в исходном состоянии замкнуты.

При увеличении давления масла до $p > 4,9 \cdot 10^4$ Па размыкаются контакты *ДДМП*, поэтому на входах *1, 2* в. *3* элемента *DD3.2* сигналы 0, на его выходе также 0. Теперь на входах 6 и 7 элемента *DD1.4* сигналы 0, на его выходе 1, включается реле *РПК*, вследствие чего начинается пуск дизеля с помощью воздуха.

При достижении дизелем частоты вращения 165-185 об/мин замыкаются контакты *ДСВ1*, сигнал 1 поступает на входы элементов *DD3.1*, *DD3.2* *HDD2.2*, в результате отключаются реле *РНПМ* и *РПК*, а на выходе элемента *DD2.2* устанавливается сигнал 0. Время разгона дизеля до указанной частоты вращения контролируется при помощи блока контроля времени. Если за 35 с дизель не сможет достичь частоты вращения 165-185 об/мин, из *БКВ* поступает сигнал 1 на вход 7 элемента *DDL 4*, вследствие чего отключается реле *РПК*, пуск прерывается.

Если к моменту увеличения частоты вращения до 165-185 об/мин температура масла достигнет 30 °С, размыкаются контакты *ДТММ*. Теперь на обоих входах элемента *DD3.3* сигналы 0, на его выходе тоже 0, поступающий на вход 7 элемента *DD1.5*. На входе 6 этого элемента также 0 с выхода элемента *DD2.2*. Поэтому на выходе элемента *DD1.5* будет сигнал 1, включается реле *ПУВО*. Серводвигатель начинает перемещать рейку топливного насоса в верхнее положение. Таким образом, после отключения *РПК* и включения *ПУВО* процесс пуска дизеля продолжается на топливе.

При достижении частоты вращения около 500 об/мин замыкаются контакты *ДСВ2* и *КВВ1* и размыкаются контакты *КВВ2*. При замыкании *КВВ1* отключается *ПУВО*, серводвигатель останавливается. После размыкания *КВВ2* и замыкания *ДСВ2* на всех входах элемента *DD1.6* сигналы 0, на его выходе 1, в результате опрокидывается триггер "Память включения электростанции". На выходе *I2* элемента *DD1.7* сигнал 0, на выходе элемента *DD2.4* сигнал 1, включается реле *ПВЭ*. Через контакты *ПВЭ* включается световое табло "Готов к приему нагрузки" на *ВПУ* и *ОЛУ* и передается команда в систему "Ижора" на включение синхронизатора УСГ-35. •

После синхронизации и включения генераторного АВ замыкается вспомогательный контакт *БКАГ*, возвращающий триггеры "Память пуска" и "Память включения электростанции" в исходное состояние, при этом отключается реле *ПВЭ*. Таким образом, схема блока пуска возвращается в исходное состояние.

В аварийных случаях пуск прекращается при поступлении сигнала 1 из блока защиты через элемент $DD3.4$ на вход 7 элемента $DD1.2$ триггера "Память пуска". Подобным же образом прекращается процесс пуска при нажатии на кнопку $SB2$ "Стоп".

7.6. Автоматизированные защитные устройства генераторов

В соответствии с Правилами Регистра СССР генераторы, предназначенные для параллельной работы, должны иметь следующие виды ЗУ: от токов КЗ, токов перегрузки, снижения напряжения, перехода генератора в двигательный режим. Конструктивно перечисленные ЗУ могут быть составной частью генераторного АВ, а также выполняться отдельно от АВ в виде узкоспециализированного унифицированного устройства (например, УТЗ) или отдельного узла устройства с расширенными функциональными возможностями (например, БКЗГ). Применение ЗУ обеспечивает практически бесперебойное снабжение приемников электроэнергией и тем самым повышает безопасность плавания. В качестве примера рассмотрим защиту генераторов от токов перегрузки.

Блок контроля загрузки генераторов БКЗГ. Блок обеспечивает защиту СГ от токов перегрузки при помощи двух каналов контроля загрузки с уставками $1,0 (1,1)$ и $1,3 (1,5)P_{ном}$. Схемы этих каналов подобны ранее рассмотренной схеме канала контроля загрузки генератора до $0,9 (1,0)P_{ном}$ (см. рис. 7.21), поэтому ограничимся описанием алгоритма работы каналов.

Канал с уставкой $1,0 (1>1)P_{ном}$ состоит из двух последовательно включенных ступеней. Первая ступень имеет уставки по активной мощности $1,0$ или $1DP_{ном}$ и по времени $2,0; 4,0; 10,0$ или $20,0$ с, задаваемые при помощи соответствующих переключателей. Выдержка времени 2-й ступени не регулируется и составляет $4,0$ с. При увеличении активной мощности генератора до $1,0 (1,1)P$ первая ступень с выдержкой времени отключает 1-ю группу неответственных приемников и одновременно подает сигнал на вход 2-й ступени. Если за время $4,0$ с перегрузка генератора не исчезнет, 2-я ступень выдает сигнал на отключение 2-й группы неответственных приемников.

В отличие от рассмотренного канал с уставкой $1,3 (1>5)P_{ном}$ выдает сигнал на одновременное отключение обеих групп неответственных приемников. Этот режим работы канала называют отсечкой.

Устройство токовой защиты УТЗ-1. Устройство входит в состав СУ СЭС типа "Ижора" и предназначено для защиты СГ от токов перегрузки посредством отключения неответственных приемников электроэнергии. Устройство устанавливают на каждом генераторе. Оно имеет 2 модификации: УТЗ-1А и УТЗ-Ш, обеспечивающие срабатывание устройств соответственно по активному и полному току нагрузки генератора.

Каждая модификация имеет 2 ступени выдачи сигналов. Алгоритмы работы обеих ступеней подобны рассмотренным выше для каналов контроля загрузки генераторов $1,0 (1,1)P_{ном}$ и $1,3 (1,5)P_{ном}$ блока БКЗГ. Первая ступень выдает сигнал с постоянной выдержкой времени при токе нагрузки $I = (1,0 - H, 1) / I_{ном}$. При больших токах выдержка времени ступени уменьшается обратно пропорционально току. Вторая ступень выдает сигнал с постоянной выдержкой времени в случае сохранения перегрузки после срабатывания 1-й и без выдержки времени при токе нагрузки $I > (1,3 - 4,5) / I_{ном}$ (режим отсечки).

Устройство УТЗ-1А (рис. 7.25, а) подключается к генератору при помощи трансформаторов тока $TA1$ и напряжения $TV1$ и $TV2$. Первая ступень выдачи сигналов состоит из измерительной и исполнительной частей. Измерительная часть включает в себя датчики активного тока $ДАТ-1$ и $ДАТ-2$ с общими для обоих датчиков трансформаторами тока $TA2$ и напряжения $TV3$. Датчик $ДАТ-1$ построен на трансформаторах напряжения $TV5, TV6$, выпрямителях $UZ1, UZ2$, резисторах $R7-R9$. Выходное напряжение $U_{дат}$ датчика снимается с потенциометра $RP10$. Датчик $ДАТ-2$ включает потенциометр $RP2$, резисторы $R3-R6$ и диоды $VD1, VD2$. Выходное напряжение $U_{де}$ снимается между точками d и e датчика. Применение двух ДАТ вызвано необходимостью получения в 1-й ступени выдержки времени, находящейся в обратной зависимости от тока нагрузки.

Исполнительная часть 1-й ступени построена на транзисторах $VT1-VT7$ и реле напряжения $KV1$. При этом транзисторы $VT1, VT4$ и $VT5$ включены по схеме эмиттерного повторителя, а пары транзисторов $VT2, VT3$ и $VT6, VT7$ образуют триггеры $T_{1,2}$ Шмитта.

Вторая ступень выдачи сигналов включена последовательно с первой и построена на транзисторах $VT8-VT10$ и реле $KV2$ напряжения. Транзистор $VT8$ включен по схеме эмиттерного повторителя, транзисторы $VT9, VT10$ образуют триггер $T_{2,3}$ Шмитта.

В качестве источника питания используется многообмоточный трансформатор $TV4$. Выпрямленное диодами $VDU-VD12$ и стабилизированное при помощи стабилитронов $VD41, VD42$ напряжение $U_{ст} = 24$ В используется для питания исполнительных частей обеих ступеней. Напряжения $U_{н2}$ и $U_{н3}$ постоянного тока, полученные при помощи диодов $VD13-VD16$ служат для питания катушек реле $KV1$ и $KV2$.

При токе нагрузки генератора, меньшем тока уставки, напряжение $U_{де}$ с выхода $ДАТ-2$ недостаточно для пробоя стабилитрона $VD45$. Последний закрыт, поэтому напряжение на входе триггера $T_{1,2}$ снимается с резистора $R13$, отсутствует. Триггер находится в исходном состоянии, при котором транзистор $VT2$ закрыт, а $VT3$ открыт. Напряжение на выходе открытого $VT3$ близко к нулю, поэтому закрыт $VT4$ и на резисторе $R21$ напряжение $U_{с2} = 0$. Поскольку ток нагрузки генератора меньше тока уставки, напряжение $U_{с1}$ на выходе $ДАТ-1$, снимаемое с потенциометра $RP10$, недостаточно для пробоя стабилитронов $VD46, VD47$. Поэтому разряжен конденсатор $C6$ и закрыт стабилитрон $VD48$.

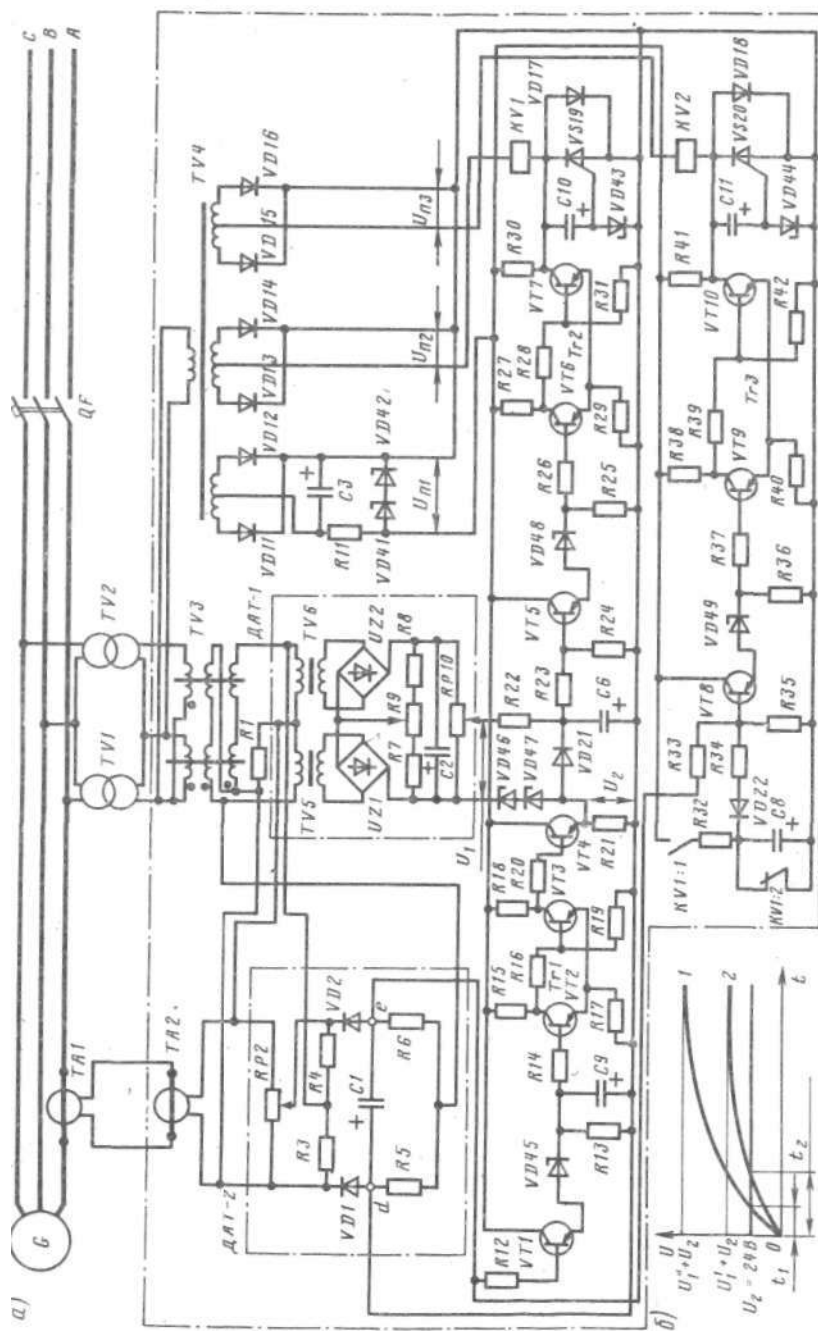


Рис. 7.25. Принципиальная схема устройства токовой защиты УТЗ-1А (а), графики заряда конденсатора C_6 при различных токах нагрузки СГ (б)

Триггер T_2 находится в исходном состоянии: транзистор VT_6 закрыт, VT_7 открыт. Последний шунтирует цепь со стабилитроном VD_{43} и тиристором VS_{19} , реле KV_1 обесточено. Контакты KV_{U1} этого реле разомкнуты, поэтому напряжение на входе 2-й ступени отсутствует. Схема 2-й ступени на транзисторах VT_8 - VT_{10} и часть схемы 1-й ступени на транзисторах VT_5 - VT_7 подобны, поэтому идентичные элементы обеих ступеней находятся в одинаковом состоянии, реле KV_2 обесточено.

При увеличении тока нагрузки генератора до тока уставки напряжение U_{de} на выходе $ДАТ-2$ достигает значения напряжения пробоя стабилитрона VD_{45} . Последний пробивается, что приводит к опрокидыванию триггера Tm_1 . Напряжение на выходе закрытого VT_3 увеличивается до 24 В. Поэтому открывается транзистор VT_4 и на резисторе R_{21} устанавливается неизменное напряжение $U_2 = 24$ В. Одновременно напряжение ψ на выходе $ДАТ-1$ становится достаточным для пробоя стабилитронов VD_{46} , VD_{47} . С этого момента образуется цепь заряда конденсатора C_6 : потенциометр RP_{10} - стабилитроны VD_{46} , VD_{47} - резистор R_{21} - конденсатор C_6 - резистор R_{22} . В этой последовательной цепи падения напряжений ψ и U_2 действуют согласно, поэтому конденсатор C_6 стремится зарядиться до напряжения $(\psi + U_2)$. Однако при достижении на конденсаторе C_6 напряжения $\psi = 24$ В отпирается диод VD_{21} , вследствие чего заряд C_6 прекращается. Таким образом, конденсатор C_6 заряжается по начальному участку экспоненциальной кривой 1 (2) до одного и того же значения напряжения $\psi = 24$ В (рис. 7.24, б).

Получаемая при заряде C_6 выдержка времени 1-й ступени обратно пропорциональна току нагрузки генератора. Пусть, например, при определенном токе нагрузки напряжение на выходе $ДАТ-1$ составит U_1 . При этом заряд конденсатора происходит по кривой 2, чему соответствует выдержка времени t_2 . Увеличение тока нагрузки вызовет пропорциональное увеличение напряжения до значения U_1' . Тогда заряд конденсатора осуществится по кривой 1, и выдержка времени уменьшится до значения t_1 .

Как только напряжение на C_6 достигнет напряжения пробоя стабилитрона VD_{48} , последний пробивается. Это приводит к опрокидыванию триггера T_2 . Напряжение на выходе закрывшегося транзистора VT_7 увеличивается до 24 В, поэтому пробивается стабилитрон VD_{43} . Через него и резистор R_{30} потечет ток управления тиристора VS_{19} . Последний откроется, сработает реле KV_1 , что вызовет отключение 1-й группы неотвеченных приемников. Одновременно с этим замыкаются контакты KV_{1-1} и размыкаются KV_{1-2} . Начинается заряд конденсатора C_8 через резистор R_{32} . При увеличении напряжения на C_8 до напряжения пробоя стабилитрона VD_{49} последний пробивается. Триггер T_2 опрокидывается, открывается тиристор VS_{20} , включается реле KV_2 . При этом отключается 2-я группа неотвеченных приемников.

При увеличении тока нагрузки генератора до установленного наибольшего значения происходит практически мгновенное срабатывание 2-й ступени независимо от 1-й. В этом случае напряжение с выхода ДАТ-2 становится достаточным для пробоя стабилитрона VD49. В результате через резистор R36, VD49, резистор R33 образуется цепь тока базы транзистора VT8, который откроется. Далее работа схемы 2-й ступени повторяется.

Токи уставок составляют: для 1-й ступени $I_{уст} = (1, (N-1,1)) / I_{ном}$; 2-й ступени в режиме отсечки $I_{уст} = (1,3-Ч,5) / I_{ном}$. Настройку указанных значений токов уставок проводят: 1-й ступени потенциометром RP2; 2-й ступени изменением номинального сопротивления резистора R33. Выдержку времени регулируют: 1-й ступени в пределах 1,5-10 с потенциометром RP10 и изменением емкости конденсатора С6; 2-й ступени в пределах 2-6 с изменением номинального сопротивления резистора R32.

7.7. Микропроцессорные системы управления

Широкое внедрение малогабаритных и быстродействующих микропроцессорных средств обработки информации обеспечило создание принципиально новых СУ СТС.

Структура микропроцессорных систем управления. В общем случае в состав микропроцессорных СУ (рис. 7.26) входят: объект управления ОУ (например, ДГ или СГ); пульт управления ПУ; микроЭВМ; интерфейсные (согласующие) устройства ИУ1 и ИУ2; датчики Д; усилители мощности УМ; исполнительные механизмы ИМ; блок индикации БИ (в большинстве случаев он встроен в ПУ, но на рис. 7.26 показан отдельно с целью упрощения структурной схемы). Помимо перечисленных компонентов, в состав таких СУ входят каналы передачи данных, контроллеры и др.

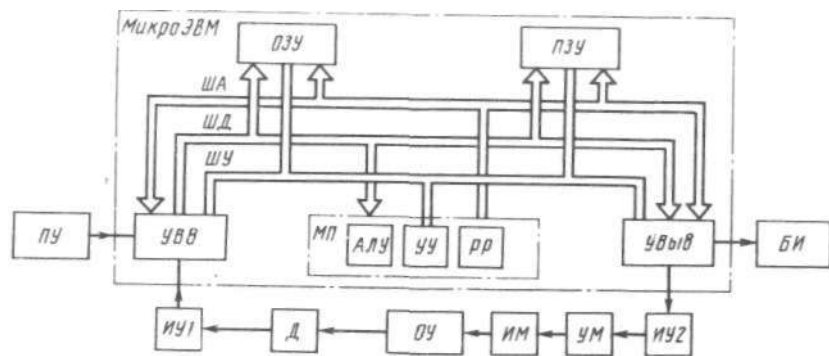


Рис. 7.26. Структурная схема микропроцессорной системы управления

МикроЭВМ - вычислительная машина, представляющая собой совокупность микропроцессора МП, устройств ввода УВв и вывода УВыв информации, запоминающих устройств ОЗУ и ПЗУ.

Процессором ЭВМ называется устройство для автоматической обработки цифровой информации по заданному алгоритму.

Процессор, выполненный в виде одной или нескольких микросхем с высокой степенью интеграции, называется микропроцессором. Микропроцессоры СУ обычно выполняют ограниченный объем арифметических операций, что позволяет упростить структуру и свести к минимуму размеры МП. В состав МП входят: арифметико-логическое устройство АЛУ, устройство УУ управления и рабочие регистры РР.

Арифметико-логическое устройство предназначено для выполнения арифметических и логических операций. К первым из них относятся сложение, вычитание, преобразование двоичных чисел и др., ко вторым - инверсия, конъюнкция, дизъюнкция и др. Это устройство построено на сумматорах, элементная база которых состоит из 1-разрядных сумматоров, регистров сдвига, инверторов и т. д. на основе интегральных микросхем.

Устройство управления обеспечивает выполнение операций в определенной последовательности, заданной алгоритмом, а также связи микропроцессора с ОЗУ, ПЗУ, УВв и УВыв. Элементной базой УУ являются дешифраторы на основе интегральных микросхем.

Рабочие регистры, служащие для временного хранения и преобразования данных и команд, строятся на типовых элементах - триггерах и логических схемах И, ИЛИ, НЕ.

Запоминающие устройства реализуют прием, хранение и выдачу информации и программ ее обработки. Их подразделяют на постоянные и оперативные. Постоянные запоминающие устройства ПЗУ используют для хранения программ работы МП и констант, причем информация, заложенная в ПЗУ, не теряется при отключении питания. *Оперативные* запоминающие устройства ОЗУ применяют для хранения данных, которые обрабатываются при помощи МП. Для построения запоминающих устройств используют кольцевые ферритовые сердечники или БИС.

Характерной особенностью микроЭВМ является наличие стековой памяти. *Стеком* называют запоминающее устройство "магазинного" типа, ячейки которого заполняются последовательно (одна за другой). Аналогично, ячейка за ячейкой, происходит вывод информации из стека. Таким образом, перемещение чисел внутри стека напоминает перемещение патронов внутри магазина пистолета. Стековая память позволяет упростить обработку программ и повысить быстродействие АЛУ. В качестве стека может использоваться отдельная микросхема или просто часть ОЗУ.

В сложных микропроцессорных системах для хранения больших объемов информации используют *внешние* запоминающие устройства, конструктивно не объединенные с блоками ЭВМ и реализуемые на магнитных лентах, дисках или барабанах.

Устройства ввода и вывода информации предназначены для ввода обрабатываемой информации в *МП*, вывода и наглядного представления обработанной информации. Для ввода информации используют пульты управления с клавиатурой, выключателями, переключателями и т. д., а также пишущие машинки и телетайпы с перфопроставками, оптические считывающие устройства и др. Для вывода информации применяют бумажные ленты с цифровым и буквенно-цифровым текстом, графиками, а также дисплеи, экраны, табло, микрофильмы и др.

Совокупность информационных каналов микроЭВМ называется шиной. Шины выполняют в виде пучка проводов или печатной схемы и подразделяют на 3 вида: адресные, данных и управления.

Шина *адресная ША* предназначена для передачи адреса ячейки памяти с данными или командой от микропроцессора к *ОЗУ*, *ПЗУ*, *УВв* и *УВыв*. С помощью *ША* отключается или выбирается правильный тракт для электрического соединения между собой отдельных компонентов микропроцессорной системы. Эту шину называют 1-направленной, так как информация поступает в одном направлении - от *МП* к перечисленным выше компонентам. Для микропроцессоров типов 8080, 8085, применяемых в судовых *СУ*, характерна 16-разрядная *ША*, состоящая из 16 физических линий, выводы которых обозначают *AQ* - L15.

Шина *данных ШД* - это 2-направленная линия для обмена данными между отдельными компонентами микроЭВМ. Для микропроцессоров типов 8080, 8085 характерны 8-разрядные *ШД*, их выводы обозначают *D₀-D₇*.

Шина *управления ШУ* предназначена для передачи тактовых, синхронизирующих сигналов, а также информации о состоянии (статусе) компонентов микроЭВМ. Часть линий *ШУ* является 1-направленной, часть - двунаправленной, поэтому на рис. 7.26 направленность этой шины не обозначена. У микропроцессоров типов 8080, 8085 на этой шине действуют сигналы *SYNC* ("Синхронизация"), *DBJN* ("Ввод данных") и др.

Объединение различных компонентов микропроцессорной *СУ* должно проводиться с учетом характера и временных параметров сигналов на стыках между компонентами. Чтобы сигналы были совместимыми, применяют вспомогательные устройства, называемые интерфейсными. Эти устройства можно разделить на 2 группы. Первая группа обеспечивает подключение *ОЗУ*, *ПЗУ*, *УВв* и *УВыв* к шинам *МП* и решает задачи синхронизации и управления шиной, а также выборки компонентов, обеспечивающих своевременную передачу данных между *МП* и выбранным компонентом. Вторая группа обеспечивает "стыковку" микроЭВМ с внешними компонентами (например, с периферийными устройствами, каналами передачи данных, контроллерами) и преобразование внешних сигналов в сигналы, совместимые с сигналами на шинах, а также обратное преобразование. Так, если датчики *D* имеют аналоговые выходные сигналы, интерфейсное устройство *ИУ1* может представлять собой АЦП. В тоже время для управления работой

механизма *ИМ* (например, серводвигателем *ПД* генератора) могут использоваться аналоговые сигналы. В этом случае интерфейсное устройство *ИУ2* представляет собой ЦАП.

В общем случае совокупность унифицированных технических и программных средств, используемых для сопряжения компонентов в вычислительной системе или между системами, называют интерфейсом.

В настоящее время на базе микроЭВМ разработаны и успешно эксплуатируются микропроцессорные *СУ*, обеспечивающие автоматическое управление комплексами судовых систем и механизмов (например, энергетической и электроэнергетической установками).

Микропроцессорная система *ASA-S*. Система предназначена для автоматического управления судовой электроэнергетической установкой из четырех *ГА*. В качестве *ГА* используются *ДГ* и *ВГ*, причем параллельная работа *ВГ* и *ДГ* предусмотрена в течение непродолжительного времени (до 15 с). Система включает связанные между собой микроЭВМ дизеля (*DMR*), микроЭВМ генератора (*GMR*) и устройство защиты *ГА* (*AGS*). МикроЭВМ типа *K1510* разработаны фирмой "Роботрон" (*ГДР*).

Система обеспечивает:

- автоматическое включение и отключение *ГА* в заданном оператором порядке;
- автоматические нормальный и экстренный пуски *ГА*, контроль времени пуска;
- автоматическую синхронизацию и включение *ГА* на параллельную работу, контроль времени синхронизации;
- автоматическую остановку работающих *ГА* при снижении частоты тока и напряжения с последующими экстренным пуском 1-го резервного *ГА* и нормальным пуском 2-го резервного *ГА*;
- регулирование частоты и распределение активной нагрузки при хрипнет.пои работе *ГЛ*;
- опрос запаса мощности работающих *ГА* перед включением мощных приемников электроэнергии;
- защиту генераторов от токов перегрузки и *K3*;
- циклический обегаяющий контроль параметров дизелей и генераторов и цифровую индикацию аварийно-предупредительных сигналов;
- циклический контроль исправности модулей системы.

МикроЭВМ системы построены на 55 модулях 17 различных типов и включают в себя следующие устройства (рис. 7.27): центральное вычислительное *ЦВУ* (модули *ZVE1* и *ZVE2*); запоминающее (модули *OSS*, *PFS* и *ZVZ* соответственно оперативной, постоянной и стековой памяти); ввода-вывода информации (модули *ASI-E*, *ASI-A*, *DAR*, *DAZ*); аналого-цифровые преобразователи (модули *ADU101* и *ADU102*); измерения периодов и разности фаз напряжений (модуль *PPM001*); дополнительных функций (модуль *RtJB*) И др. Устройства *ASI-E*, *ASI-A*, *DAR*, *PGA* и *HCB* по отношению к *МП* являются интерфейсными.

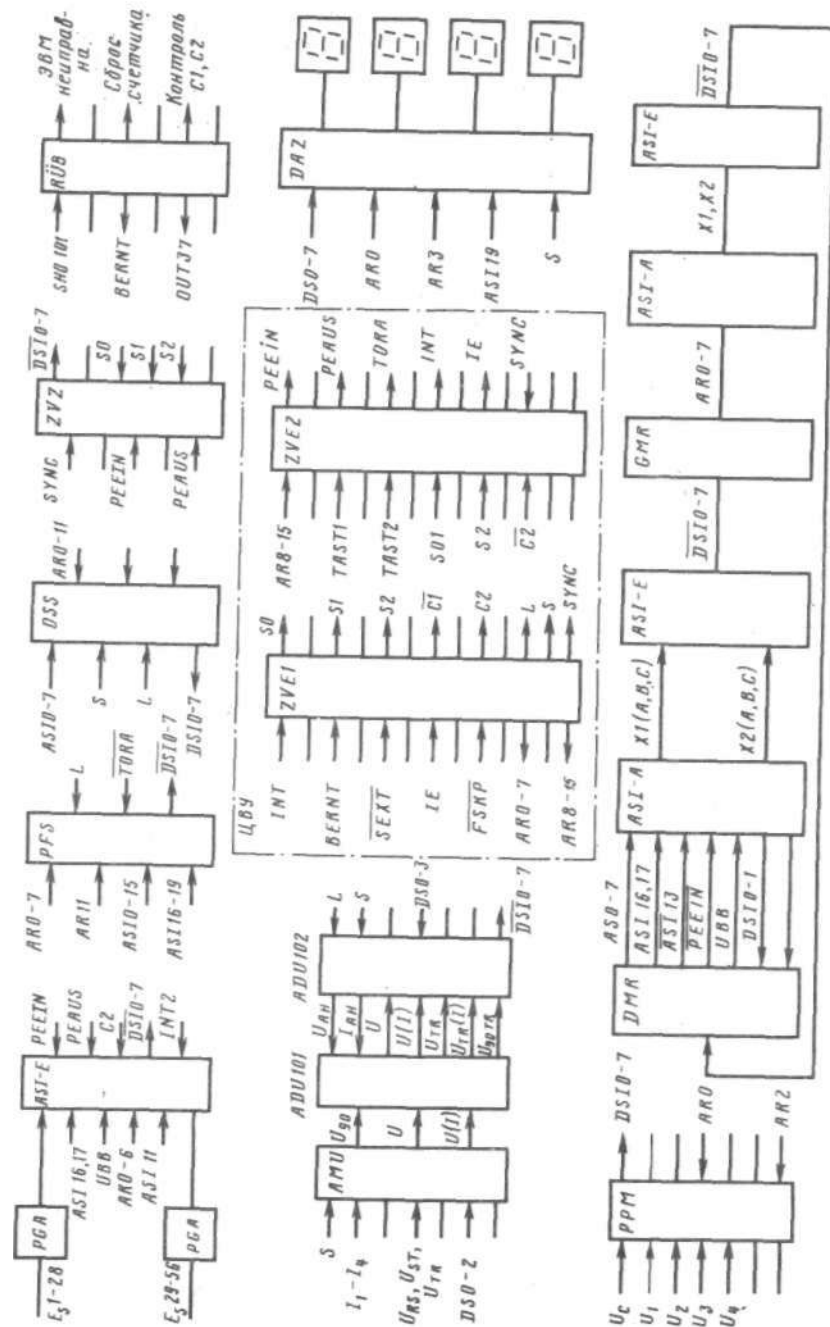


Рис. 7.27. Функциональная схема микропроцессорной системы управления АСА-S

Информация о режимах работы СЭС, видах управления и состоянии ГА поступает на шины микроЭВМ от органов управления (выключателей и переключателей, кнопок) на пульте управления СЭС и различных датчиков через модули *PGA*, *ASI-E*, *ADU*, *AMU* и *PPM*. В системе *ASA-S* применяются датчики двух видов: с дискретными и аналоговыми выходными сигналами.

Дискретные сигналы (0 или 1) получают при помощи 2-позиционных датчиков, блок-контактов АВ генераторов, контактов кнопок и реле. Эти сигналы поступают на шины микроЭВМ через согласующее устройство, образованное релейными модулями *PGA* и модулем *ASI-E* ввода данных процесса. Всего релейных модулей 10, в каждом модуле 28 реле. Таким образом, в систему *ASA-S* может поступать информация от 280 2-позиционных датчиков. Из 7 модулей ввода данных 2 относятся к системе управления генераторами (*GMR*) и 5 к системе управления дизелями (*DMR*). При этом 2 модуля (по одному от каждой системы) участвуют в обмене информацией между обеими микроЭВМ, а в остальные через контактные соединения *X1* и *X2* поступают дискретные сигналы от модулей *PGA*.

Аналоговые сигналы в виде тока, напряжения, частоты, угла свига по фазе получают при помощи трансформаторов тока и напряжения и преобразуются в дискретные модулями *AMU001*, *ADU101*, *ADU102* и *PPM00L*. С выходов перечисленных модулей информация поступает непосредственно на шины микроЭВМ, без применения специальных устройств ввода.

Модуль *AMU001* представляют собой аналоговый мультиплексор и обеспечивает: преобразование токов $I_j - I_4$ генераторов в пропорциональные им напряжения $u(I)$; преобразование линейных напряжений U_{RS} и U_{TR} к виду U_{op} удобному для последующего ввода в микроЭВМ с целью определения в последней активной нагрузки генератора перемножением тока и напряжения генератора; поочередное подключение каналов тока к модулю *ADU101* при помощи мультиплексора на логических элементах и двунаправленных ключах.

Модуль *ADU101* представляет собой аналого-цифровой преобразователь и предназначен для преобразования синусоидальных напряжений U , $U(I)$, φ_{90} дискретные сигналы U_{TR} , $U_{TR}(I)$, $U_{90/UTR}$, а также запоминания мгновенных значений U и $U(I)$. Указанные сигналы передаются на вход модуля *ADU102*. Модуль *ADU102* преобразует аналоговые сигналы U и $U(I)$ в цифровые коды, передаваемые на шины микроЭВМ.

Модуль *PPM001* предназначен для измерения периодов напряжений генераторов $\Pi - \xi_4$ и судовой сети U_c , а также для измерения разности фаз напряжений сети и подключаемого генератора. Полученная цифровая информация поступает в микроЭВМ, которая при синхронизации рассчитывает момент подачи импульса на включение АВ генератора.

Модули *ZVE1* и *ZVE2* образуют центральное вычислительное устройство *ЦВУ*, предназначенное для обработки информации, поступающей по шинам данных в микропроцессор типа U808D (в модуле *ZVE1*). Микропроцессор организует обмен информацией: между внутренней памятью МП и внешней стековой памятью; между памятью и интерфейсными модулями; между интерфейсными модулями. Обмен данными и адресами внутри МП осуществляется через шины *D0-D7*. Для запоминания информации используются регистры *AR0-AR7* и *AR8-AR15*. Работа *ЦВУ* происходит по командам программы, хранящейся в модуле *PFS*.

Модули *PFS* и *OSS*, выполняющие функции соответственно *ПЗУ* и *ОЗУ*, образуют основную память микроЭВМ. Модуль *PFS* содержит "жесткую", т. е. не изменяемую в ходе процесса управления, программу работы микроЭВМ и константы. Программа вводится в модуль при помощи специального программирующего устройства и поэтому допускает многократное изменение при вводе. В системе *ASA-S* установлены 7 модулей *PFS* с общим объемом памяти 28 Кбайт. Модуль *OSS* содержит данные процесса, поступающие в него через МП из модулей *ASI-E*, *ADU102*, *PPM001*. Модуль *OSS* имеет 3 состояния: хранение данных процесса (команда *BERNTL=0*), запись (по команде *S=1* происходит запись информации из модуля *OSS* в модуль *ZVE1*), чтение (по команде *L=1* происходит считывание информации в обратном порядке). В систему *ASA-S* входят 2 модуля *OSS*, по одному в каждой микроЭВМ.

Помимо постоянной памяти, микроЭВМ содержит стековую, построенную на модуле *ZVZ*. Стековая память является внешней по отношению к внутренней памяти МП. Она используется для временного хранения информации, находившейся в МП, при прерывании основной программы. Перевод информации из МП в модуль *ZVZ* проводится по команде *PUSH*. Освободившиеся в МП регистры общего назначения используются для выполнения подпрограмм (например, при проверке исправности модулей). Возвращение информации из модуля *ZVZ* в МП выполняется по команде *POP* после выполнения подпрограммы.

Для вывода данных процесса управления используют 7 модулей *DAR* (на рис. 7.27 не показаны), из которых 4 используются в системе управления генераторами *GMR*, а остальные в системе управления дизелями *DMR*. Вывод данных происходит по команде *OUT* с дополнением номера модуля (например, *OUT21*). Данные процесса передаются из модуля *ZVE1* в модуль *DAR* по шинам *AR0-AR7*.

Для цифрового отображения информации каждая микроЭВМ снабжена модулем цифровой индикации *DAZ*. Информация выводится на табло с 7-сегментными светодиодными индикаторами. Выведенные числа отображают аварийные сигналы процесса или цифровые коды неисправности (например, коду 3902 соответствует неисправность модуля *ZVZ*).

В процессе работы системы *ASA-S* необходим обмен информацией между обеими микроЭВМ (например, такой, как "запрос синхронизации", "неудавшийся пуск" и др.). Для этого в системе имеется 2 канала сопряжения микроЭВМ, образованные модулями *ASI-A* и *ASI-E*. Обмен данными происходит периодически, при помощи специальных временных программ. На время выполнения программы обмена (0,4 с) основная программа прерывается.

Расширение функций управления системы *ASA-S* выполняет модуль дополнительных функций *RUB*. Этот модуль циклически (через каждые 0,4 и 6,4 с) вырабатывает сигналы *INT3=0* и *INT2=0* прерывании основной программы, поступающие в модуль *ZVE2* (по 1-му сигналу включается подпрограмма ввода данных в микроЭВМ от модуля *ASI-E*, по 2-му - подпрограмма проверки модулей системы *ASA-S*). После выполнения подпрограмм действие основной программы восстанавливается.

Для проверки исправности модулей нажимают кнопку *SHO101*. При этом на выходе модуля *RUB* появляется сигнал *BERNT=1*, поступающий в модуль *ZVE1*, после чего модули *ZVE1* и *ZVE2* формируют сигнал *INT0* прерывания основной программы.

В рассмотренной системе запись команд выполнена на алгоритмическом языке ассемблера с помощью слов, их частей или символов. В качестве примера приведем некоторые команды МП и укажем их назначение:

READY ("Готов") - организация обмена данными между *МП* и *ОЗУ* и *ПЗУ*, а также между *МП* и *УВв* и *УВыв* (см. рис. 7.26);

INTE ("Прерывание разрешено") - разрешение прерывания основной программы в случае начала выполнения определенной подпрограммы (например, самодиагностирования);

HOLD ("Захват") - перевод адресной шины и шины данных в отключенное от МП состояние;

INT ("Запрет прерывания") - запрет прерывания основной программы;

RESET ("Сброс") - сброс счетчика команд на ноль;

WAIT ("Ожидание") - перевод МП в режим ожидания или прерывания основной программы;

DBIN ("Ввод данных") - подтверждение перевода шины данных в режим ввода данных;

SYNC ("Синхронизация") - синхронизация работы *МП* с *ОЗУ*, *ПЗУ*, *УВв* и *УВыв* и др.

Устройство защиты генераторов *AGS* системы *ASA-S*, устанавливаемое на каждом генераторе, обеспечивает следующие виды защит: от токов перегрузки отключением в 2 ступени неотчетственных приемников; от токов КЗ, перехода СГ в двигательный режим, обрыва фазы и

по максимальному напряжению отключением АВ генератора. Кроме того, устройство выдает сигнал в микроЭВМ в следующих случаях: при наступлении режима "блек-аут" (снижение напряжения на 20 % или частоты на 10 %, обрыв фазы или увеличение напряжения выше номинального); превышении номинальной частоты вращения ГА.

Проверка исправности модулей устройства выполняется через каждый час автоматически или вручную. Цикл проверки занимает 12 с. Неисправные модули определяются при помощи цифровых кодов на табло модуля DAZ001.

7.8. Надежность, диагностирование и прогнозирование технического состояния

Основные сведения о надежности. Важнейшим требованием, предъявляемым к СУ СЭС, является надежность. Составные части современных СУ СЭС - функциональные устройства, узлы и блоки - построены на электронной аппаратуре. Поэтому надежность упомянутых СУ определяется надежностью электронной аппаратуры.

Надежность аппаратуры - это свойство аппаратуры, заключающееся в способности безотказно выполнять заданные функции при сохранении своих основных характеристик в установленных пределах. Неисправность аппаратуры, без устранения которой выполнение всех или хотя бы одной из основных функций аппаратуры невозможно, называется *отказом*. Отказы могут быть частичными, когда аппаратура перестает выполнять одну или несколько из основных функций, и полными, когда прекращается выполнение всех функций.

Надежность аппаратуры обеспечивается сочетанием свойств безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказность - это свойство аппаратуры сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Основными показателями безотказности являются: наработка на отказ, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы.

Долговечность - это свойство аппаратуры сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонта. Основными показателями долговечности являются: ресурс (время) до среднего или капитального ремонта, назначенный (суммарный) ресурс, назначенный (календарный) срок службы.

Ремонтпригодность - это свойство аппаратуры поддерживать и восстанавливать работоспособное состояние при соответствующем ТО и ремонтах. Основными показателями ремонтпригодности являются: вероятность восстановления работоспособного состояния и среднее время восстановления.

Сохраняемость - это свойство аппаратуры сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности во время и после хранения и транспортировки.

Из перечисленных свойств надежности важнейшим является безотказность. Рассмотрим более подробно основные показатели безотказности.

Наработка на отказ - это время нормальной работы аппаратуры между двумя смежными отказами. Чтобы оценить среднюю наработку на отказ некоторого экземпляра аппаратуры, его испытывают до 10-15 отказов, восстанавливая работоспособность образца после каждого из них. Средняя наработка (ч) при таком эксперименте определяется как частное от деления времени t_c испытания на количество отказов n за этот срок:

$$t_{cp} = \Phi -$$

Интенсивность отказов - величина, значение которой обратно средней наработке на отказ (1/ч): $\lambda = 1/t_{cp}$. Чем больше интенсивность отказов, тем менее надежна аппаратура.

Вероятность безотказной работы - это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет, обычно подчиняется экспоненциальному закону распределения (рис. 7.28):

$$P = \exp[-\lambda t / \Gamma_{cp}].$$

Как следует из графика, вероятность безотказной работы наибольшая ($P_0 = 1$) при $t/\Gamma_{cp} = 0$ (аппаратура не работала) и наименьшая ($P_0 = 0$) при $1/\Gamma_{cp} \approx 5$ (время работы аппаратуры примерно в 5 раз больше наработки на отказ).

Существенное влияние на надежность аппаратуры оказывают климатические условия, уровень подготовки обслуживающего персонала и качество ТО и ремонта, режим работы аппаратуры, продолжительность ее эксплуатации. Для уменьшения влияния климатических условий аппаратуру выпускают в соответствующем исполнении (например, тропическом). Опыт показывает, что до 20 % всех отказов электронной аппаратуры происходит по вине обслуживающего персонала, поэтому квалификация персонала, а также объем и качество технической документации, придаваемой к аппаратуре, находятся в прямой связи со степенью надежности аппаратуры. Интенсивность отказов при эксплуатации аппаратуры с малыми нагрузками существенно снижается, а при частых включениях и выключениях значительно увеличивается.

Продолжительность эксплуатации аппаратуры условно можно разделить на 3 этапа. На первом, называемом периодом приработки и составляющем десятки или сотни часов, наблюдается повышенная интенсивность отказов, что объясняется технологическими недоработками и недостаточным освоением аппаратуры. Второй этап (тысячи

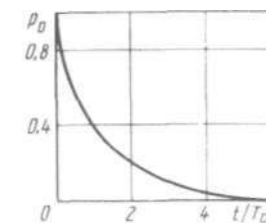


Рис. 7.28. График вероятности безотказной работы аппаратуры СУ

часов) характеризуется постоянной интенсивностью отказов, которые носят случайный характер и лишь частично обусловлены изнашиванием элементов и ухудшением их параметров. Третьему этапу (сотни часов) соответствует повышенная интенсивность отказов, что объясняется естественным старением элементов резисторов, конденсаторов, механических и электрических узлов, ухудшением изоляции и т. д.).

Надежность сложных СУ, к которым относятся СУ СЭЭС, необходимо не только оценивать по рассмотренным выше показателям, но и связывать с разными уровнями качества и эффективности их функционирования. Например, отказ или повреждение одного из генераторов не приводит к перебоям в снабжении электроэнергией приемников. Выход из строя двух генераторов вызывает необходимость в ограничении потребляемой энергии путем отключения неответственных приемников. При отказе основной электростанции аварийная способна обеспечить электроэнергией ответственные приемники.

Для повышения надежности СУ СЭЭС применяют разные способы, в их числе резервирование отдельных устройств, блоков и узлов, обеспечение дополнительных связей между элементами СУ СЭЭС. Высокую степень надежности имеют кибернетические (самонастраивающиеся) системы, в которых отказ какого-либо элемента сопровождается перераспределением его функций между другими работоспособными элементами без изменения уровня эффективности работы системы. Одним из важных средств обеспечения и поддержания надежности СУ СЭЭС является их диагностирование.

Диагностирование и прогнозирование технического состояния СУ СЭЭС. Диагностирование СУ СЭЭС заключается в изучении признаков неисправностей, а также разработке методов и средств обнаружения и локализации этих неисправностей. Диагностирование осуществляется либо путем внешнего осмотра, либо при помощи диагностической аппаратуры или диагностической программы. Информация, накопленная в процессе диагностирования СУ, используется для прогнозирования технического состояния этих систем. Задача прогнозирования заключается в оценке степени работоспособности или в оценке вероятности отказа на некотором предстоящем этапе эксплуатации СУ. Решение этой задачи позволяет: правильно планировать ТО и ремонты оборудования (по фактическому состоянию); своевременно заменять или ремонтировать блоки и узлы СУ, имеющие повышенную вероятность отказа; правильно комплектовать набор запасных частей блоков.

В настоящее время созданы специализированные устройства для поиска неисправностей в блоках СУ СЭЭС, а также контрольно-измерительные комплексы для проверки и восстановления работоспособности блоков и модулей СУ с однотипными логическими элементами (например, комплекс КИК-1).

Более широкими возможностями обладает автоматизированная система АСДН диагностирования и наладки судовых СУ. Эта система предназначена для диагностирования и наладки блоков СУ, использующих элементную базу разных типов: микросхемы ТТЛ и К-МОП

структур, логические элементы серий "Логика-Г", "Транслог", "Урсалог" и аналогичные им.

Работой системы АСДН (рис. 7.29) управляет устройство функционально-статического контроля УФСК "Логикон", представляющее собой процессор системы. Блок управления БУ предназначен для хранения оперативной информации и выполнения программы управления. Накопитель диагностической информации ИДИ служит для длительного хранения программ работы АСДН и диагностической информации. Устройство УВВИ ввода-вывода информации обеспечивает загрузку в память системы АСДН программ ее работы и диагностической информации, а также вывода и документирования диагностической информации. В состав УФСК входит также блок БИ индикации. Устройство УС сопряжения предназначено для согласования характеристик управляющих сигналов УФСК с характеристиками сигналов блоков СУ СЭЭС. В это устройство входит блок БСК сопряжения компараторов, который формирует характеристики входных сигналов блоков СУ, а также блок БСФ сопряжения формирователей, который формирует характеристики выходных сигналов АСДН, поступающих в блоки СУ. Блок БИМ имитаторов и нагрузок предназначен для создания имитирующих сигналов датчиков на входах и нагрузок на выходах блоков СУ с последующим диагностированием блоков.

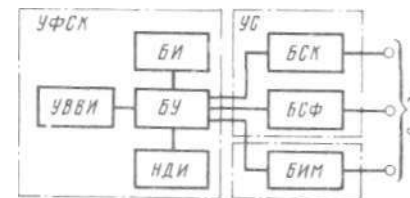


Рис 7.29. Функциональная схема автоматизированной системы диагностики и наладки судовых систем управления АСДН

Внедрение на флоте СУ СЭЭС с ЦВМ позволяет значительно расширить возможности подобных систем. Применяемая на судах отечественной постройки СУ СЭЭС типа "Ижма-Б", помимо традиционных задач управления и контроля СЭЭС, позволяет решать задачи диагностирования и прогнозирования в следующем объеме:

- автоматическая регистрация состояния, параметров и неисправностей СЭЭС и ее СУ;
- диагностирование СЭЭС и ее СУ;
- автоматическая выдача рекомендаций о способах устранения неисправностей в СУ;
- использование в управлении результатов диагностирования оборудования СЭЭС.

Характерные неисправности СУ СЭЭС. Опыт эксплуатации отечественных СУ СЭЭС типов "Ижора" и "Ижма" показал, что они имеют невысокие показатели контролеспособности и ремонтпригодности. В этих СУ отсутствует сигнализация о неисправности каждого функционального устройства. Обслуживающему персоналу приходится затрачивать длительное время на определение неисправностей в СУ и их устранение. Для организации ТО СУ и ее элементов необходимы универсальные приборы с большим внутренним сопротивлением,

осциллографы, вспомогательное оборудование и специальная оснастка.

В системе управления СУ СЭЭС типа "Ижора-М" предусмотрен регламентный контроль исправности всех блоков, которые скомпонованы в стандартных типовых кассетах и легко заменяются при неисправностях.

В СУ СЭЭС фирм "Стромберг", АСЕА (например, АХИМ, ГЕНА-С) элементная база построена на логических элементах. Функциональные модули этих СУ выполнены на стандартных печатных платах, что дает возможность доступа к отдельным узлам и элементам модулей с целью проверки и ремонта. Перечисленные выше СУ имеют встроенный контроль самой системы и блоков, а также контрольные точки для диагностирования. Тем не менее поиск и устранение неисправностей связаны с большими трудозатратами. Основными причинами этого являются: усложнение схем управления вследствие применения интегральных схем, неполнота практических рекомендаций по методам поиска и устранения дефектов в технической документации, неполнота номенклатуры контрольно-измерительных приборов, устройств и инструментов, недостаточный опыт обслуживающего персонала по отысканию неисправностей и их устранению.

Виды и доля (%) в общем количестве неисправностей, вызывающих отказы в работе СУ СЭЭС на логических элементах, следующие.

Обрывы, межвитковые замыкания в обмотках, замыкание контактов, увеличение сопротивления контактов реле и контакторов	15—20
Обрывы, пробой в полупроводниковых приборах	15—20
Износ элементов	10—15
Нарушение изоляции	5—10
Поломки механические	5—10
Заедания механические	3—5
Обрывы в местах пайки и выводных соединениях	3—5
Нарушения регулировки	8—10
Прочие	3—5

Опыт эксплуатации СУ СЭЭС показал, что наибольшие трудозатраты на поиск неисправностей свойственны электронным схемам возбуждения СГ, блокам синхронизации и распределения нагрузки. Наибольшие трудозатраты на устранение неисправностей присущи АВ генераторов вследствие сложности кинематики и блокам автоматизированного управления ДГ.

Способы устранения неисправностей СУ СЭЭС и их отдельных элементов приведены в технической документации.

7.9. Техническая эксплуатация автоматизированных устройств

Техническая эксплуатация и ответственность за исправное состояние автоматизированных устройств возлагаются на членов судового экипажа, в заведовании которых они находятся:

на судовых механиков в части пневматических, гидравлических и механических средств автоматизации в соответствии с их заведованием;

на электромехаников в части электрических средств автоматизации, в том числе электрических элементов, конструктивно входящих в состав перечисленных выше средств автоматизации.

На судах со знаком автоматизации А1 в символе класса Регистра СССР или соответствующими знаками автоматизации иностранных классификационных обществ организация технического использования СТС должна соответствовать требованиям Положения об эксплуатации судов без постоянного присутствия вахтенного персонала в центральном посту управления и машинных отделениях. Вне зависимости от знака автоматизации при эксплуатации автоматизированных устройств обязательно выполнение ПТЭ СТС и инструкций.

Ввод автоматизированных устройств в режим автоматического или дистанционного управления выполняют после проведения работ по подготовке средств автоматизации к действию. Указанные средства должны использоваться в полном объеме, соответствующем присвоенному судну знаку автоматизации и принятой форме вахтенной службы. Ввод в действие автоматизированных устройств после продолжительного нерабочего периода, ТО с выводом из действия или ремонта должен выполняться механиком по заведованию с участием старшего электромеханика. При вводе в действие автоматизированных устройств необходимо:

- убедиться в готовности технических средств к действию;
- установить органы управления в исходное положение;
- включить питание и по сигнальным лампам и штатным контрольно-измерительным приборам убедиться в подаче напряжения;
- убедиться в правильности действия автоматизированных устройств по лампам исполнительной сигнализации или при помощи других средств контроля после изменения положения органов управления или нажатия кнопки "Пуск".

Проверка функциональных узлов автоматизированных устройств должна проводиться в порядке, установленном инструкциями завода-изготовителя. При ежедневном осмотре электрооборудования старший электромеханик обязан:

- провести внешний осмотр автоматизированных устройств и отдельных узлов, обращая внимание на их чистоту, отсутствие посторонних предметов, потеков жидкостей, коррозионных и механических повреждений, а также закрытие крышек и дверей;
- проверить исправность сигнальных ламп, находящихся в действии, и заменить неисправные.

При обнаружении выхода контролируемых или регулируемых параметров, временных задержек, уставок срабатывания за пределы установленных значений необходимо в возможно короткий срок выполнить настройку и регулировку средств автоматизации (механиком по заведованию совместно со старшим электромехаником или

специализированной береговой организацией). В случае систематических отказов автоматизированных устройств соответствующее донесение направляется судовладельцу.

Отключение автоматизированных устройств и переход на ручное управление проводятся с разрешения старшего механика и с ведома вахтенного механика при ТО или ремонте, а также для устранения неисправностей. При выводе из действия автоматизированных устройств необходимо:

установить органы управления в положение, соответствующее выключенному состоянию;

убедиться в правильности выполнения команды по лампам исполнительной сигнализации или при помощи других средств контроля;

выключить питание.

При исчезновении питания или возникновении неисправностей в работе автоматизированных устройств, а также при появлении сигналов, причину которых лица вахтенной службы определить не в состоянии, необходимо сообщить об этом старшему электромеханику. При обесточивании судна вахтенный механик и старший электромеханик должны принять все меры к немедленному восстановлению работы автоматизированных устройств, руководствуясь инструкциями, которые должны быть разработаны судовладельцем для каждого типа судна и вывешены в машинном отделении (ЦПУ). При непосредственной угрозе затопления автоматизированных устройств они должны быть выведены из действия.

Контрольные вопросы-задания

1. Назовите операции, выполняемые на разных уровнях иерархии СУ СЭЭС.
2. Каковы преимущества системы управления СЭЭС "Ижора-М" по сравнению с системой "Ижора"? Каким образом они достигнуты?
3. Почему АС с постоянным углом опережения нашли ограниченное применение?
4. Какие узлы резервного канала синхронизации контролируют выполнение условий синхронизации?
5. Каким образом исключается одновременная работа блоков подгонки частоты синхронизатора УСГ-35?
6. В чем заключается режим "зависания" синхронного генератора?
7. С какой целью в блоке БИАТ используются 2 канала формирования активного тока?
8. При каких условиях в блоке БРНГ достигаются непрерывный и импульсный режимы работы реле "увеличение нагрузки" ("уменьшение нагрузки")?
9. Чем определяется полярность (фаза) напряжения на выходе операционного усилителя блока БКЗГ?
10. Какую блокировку обеспечивает контакт КВН блока пуска системы ДАУ СДГ-Г?
11. С какой целью в блоке устройства токовой защиты УТЗ-1А использованы 2 датчика активного тока?
12. Чем отличается микропроцессор от микроЭВМ?
13. Перечислите запоминающие устройства, применяемые в микроЭВМ.
14. Какие основные элементы включают в себя микропроцессорные СУ?
15. Каким образом в системе ASA-S организован обмен информацией между микроЭВМ систем GMP и DMP?
16. В чем заключаются обязанности судовых электромехаников и механиков при обслуживании автоматизированных устройств?

Глава 8. АВАРИЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

8.1. Требования к аварийным электростанциям

Аварийная СЭС предназначена для подачи питания на ответственные приемники электроэнергии при аварийном состоянии основной судовой электростанции.

Аварийная СЭС состоит из источника энергии и распределительного щита, расположенных в специальном помещении. Аварийная СЭС устанавливается на всех самоходных судах, кроме тех, у которых основными источниками электроэнергии являются АБ, при условии, что, по крайней мере, одна из них по емкости и расположению отвечает требованиям, предъявляемым к аварийному источнику. Мощность аварийной судовой электростанции должна быть достаточной для одновременного электроснабжения всех своих приемников электроэнергии.

Источником электроэнергии аварийной СЭС может быть ДГ или АБ. Аккумуляторные батареи должны включаться в аварийную сеть при отключении напряжения в основной сети. Источники аварийной СЭС защищаются только от токов КЗ.

На пассажирских судах аварийная СЭС должна сохранять работоспособность в течение 36 ч, на грузовых судах неограниченного и ограниченного районов плавания 1, валовой вместимостью 300 рег. т и более- 18 ч.

На грузовых судах аварийная СЭС обеспечивает электроэнергией сети аварийного освещения, сигнально-отличительные фонари, сети авральной сигнализации, внутренней связи и сигнализации, необходимые при аварии, радио- и навигационное оборудование, системы обнаружения пожара, звуковые сигнальные средства, пожарный насос и рулевое устройство (на время 10 или 20 мин).

Пуск АДГ может быть ручным или автоматическим, во 2-м случае АДГ должен пуститься и принять номинальную нагрузку за время, не превышающее 45 с. Если не предусмотрен автоматический пуск или нагрузка может быть принята за время более 45 с, должен быть предусмотрен кратковременный аварийный источник энергии. Таким источником является АБ, которая без дополнительного заряда в течение 30 мин обеспечивает питанием сети аварийного освещения, сигнально-отличительные фонари, сети авральной сигнализации и внутренней связи, необходимые при аварии, системы обнаружения пожара в помещениях судна, звуковые сигнальные средства и лампы дневной сигнализации.

Помещение аварийной СЭС должно находиться выше палубы переборки, вне шахты машинных помещений и в корму от таранной переборки. Выход из этого помещения должен вести непосредственно на открытую палубу.

8.2. Коммутационные устройства и СВАРН аварийных электростанций

При аварийном состоянии основной СЭС аварийная электростанция становится автономным и единственным источником электроэнергии на судне. В нормальном режиме работы судна АДГ не работает, но часть коммутационных устройств шита аварийной СЭС используют для подачи питания от ГРЩ, при разряде подключаются на заряд АБ, контролируют сопротивление изоляции. В этом режиме приемники аварийной СЭС получают питание от ГРЩ, а в аварийном режиме они переключаются на электроснабжение от АДГ.

На рис. 8.1 представлена упрощенная схема одного из вариантов АРЩ аварийной СЭС. В неаварийном режиме на его шины от ГРЩ по двум кабелям подается напряжение 380 В и по одному - 220 В. С помощью кнопки *SB5* или *SB6* включается один из контакторов *KM1* или *KM2*. На шины 220 В можно подать питание от шин 380 В через трансформатор *TV*, автоматический выключатель *QF2* и контактор *KM3*. Размыкающие вспомогательные контакты *KM3* и *KM4* исключают одновременное включение напряжения 220 В от ГРЩ и от шин 380 В через ГУ. В аварийном режиме пускается АДГ и его генератор *G* подключается на шины 380 В через автоматический выключатель *QFL*.

Конструктивно представленная схема шита смонтирована в 4-панельном щите. На его панелях установлены кнопки управления контакторами, контрольно-измерительные приборы с переключателями, кнопки проверки пуска АДГ, устройство контроля сопротивления изоляции, кнопки включения АВ генератора. Нагрузка аварийной СЭС контролируется общим амперметром, наиболее мощные приемники электроэнергии имеют отдельный амперметр с переключателем. Зарядные статические устройства стартерных батарей АДГ и аппаратура СВАРН установлены в щите или отдельно в помещении аварийной СЭС.

Требования Правил Регистра СССР к стабилизации напряжения АДГ менее жесткие (допускается погрешность $\pm 3,5\%$ номинального напряжения), поэтому СВАРН аварийной СЭС выполнена по простейшей схеме (обычно без КН).

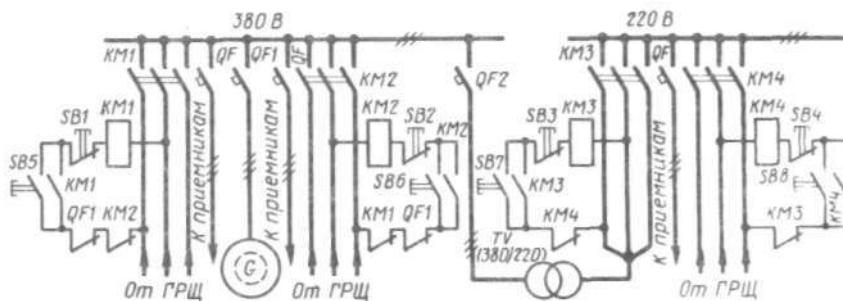


Рис. 8.1. Принципиальная схема АРЩ

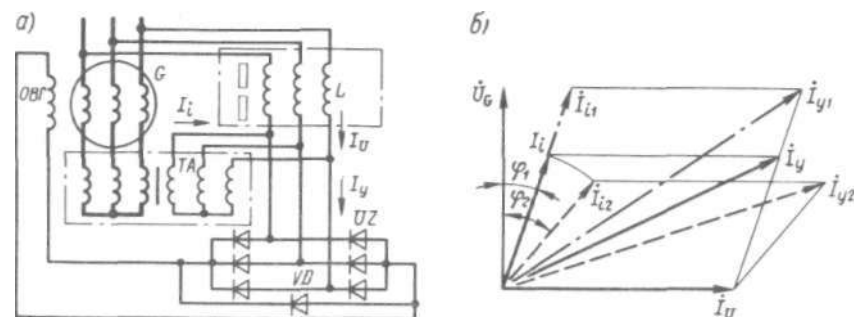


Рис. 8.2. Схема системы возбуждения АДГ фирмы "Эльмо":
а — принципиальная схема; б — векторная диаграмма токов

Генераторами аварийной СЭС могут быть СГ типа МСС со своей СВАРН. Система возбуждения АДГ фирмы "Эльмо" (ГДР) с генератором типа SSED имеет свои конструктивные и схемные особенности (рис. 8.2). Все элементы СВАРН установлены непосредственно в цилиндрическом корпусе генератора со стороны, противоположной приводу (за щеточным аппаратом). Такое решение привело к увеличению длины корпуса генератора и объединению СВАРН с ним в единый блок. В комплект СВАРН (рис. 8.2, а) входят трансформатор тока *ТА*, дроссель *L*, выпрямитель *UZ* и защитный выпрямитель *VD*. Первичные обмотки трансформатора *ТА* включены не на выходе СГ, а с противоположной стороны. Компаундирующий дроссель состоит из общего 3-стержневого магнитопровода, между стержнями которого и верхним ярмом имеется регулируемый воздушный зазор. Сигналы по току и напряжению суммируются в электрической цепи (без общего трансформатора), процесс амплитудно-фазового компаундирования поясняется векторной диаграммой (рис. 8.2, б). Достигается стабильность напряжения с погрешностью $\pm 2,5\%$ номинального напряжения во всем диапазоне нагрузок при $\cos \Phi = 0,5+0,9$. Ограничитель напряжения *VD* представляет собой выпрямитель из восьми селеновых элементов. На участке проводимости характеристика *VD* более крутая, чем у германиевых диодов выпрямителя *UZ*, поэтому при перенапряжениях на стороне постоянного тока (при КЗ и в переходных режимах) сопротивление выпрямителя *VD* значительно уменьшается, ток замыкается через него, чем и достигается защита выпрямителя *JJZ*. Диоды выпрямителя *UZ* выбраны с 3-кратным запасом по току, поэтому СВАРН имеет достаточную надежность. Элементы СВАРН хорошо охлаждаются, находясь в потоке воздуха, втягиваемого крылаткой генератора в его корпус.

В цепи ОВГ не установлен ручной регулятор напряжения, поэтому значение напряжения СГ настраивается на фирме-изготовителе путем регулирования воздушного зазора в дросселе. Для настройки СВАРН в судовых условиях генератор нагружают активным током 80-100 %

номинального и, регулируя воздушный зазор дросселя, устанавливают напряжение на 2-3 % больше номинального (с расчетом, что при активно-индуктивной нагрузке оно уменьшится). При пробных пусках АДГ без нагрузки напряжение генератора окажется пониженным, но при подключении нагрузки в работу включается трансформатор тока *ТА* и напряжение восстановится.

8.3. Автоматический пуск аварийного дизель-генератора, включение нагрузки

^ После обесточивания судна автоматическая СУ АДГ по определенной программе обеспечивает:

отключение фидеров питания щита аварийной СЭС от ГРЩ;
 ^ прокачивание масла в смазочной системе дизеля и перемещение рейки регулирования подачи топлива в положение минимальной подачи;

включение стартера, вращающего дизель;
 исключение повторного включения стартера при удавшемся пуске и обеспечение еще двух включений стартера в случае неудавшегося пуска;

при удавшемся пуске перемещение рейки регулирования подачи топлива в положение номинальной подачи;

включение АВ после возбуждения генератора с одновременным приемом нагрузки ранее включенных приемников или прием нагрузки в 2 ступени;

возвращение системы автоматического пуска АДГ в исходное состояние;

прерывание программы пуска и возврат СУ в исходное состояние в случае включения питания основной СЭС.

Программа пуска может быть реализована с помощью электромеханических контактных устройств или электронной схемы. В 1-м случае при аварии основной СЭС включается ЭД программного устройства, который через замедляющий редуктор вращает кулачковый валик. Последний, в определенной последовательности, с заданными промежутками времени переключает контакты, которые, в свою очередь, управляют реле и другими устройствами, обеспечивающими пуск АДГ и включение нагрузки. Во 2-м случае с помощью электронной схемы реализуется программа управления контактной частью схемы пуска АДГ и включения нагрузки.

Рассмотрим унифицированную систему пуска АДГ с дизелями типов 1Д6-150М (мощность 100 кВт), 6412/14 (50 кВт) и 4410,5/13 (25 кВт). Система состоит из пульта с кнопками для ручного пуска и сигнальными устройствами, блока автоматического управления и элементов, смонтированных на дизеле. Устройство программного управления пуском (рис. 8.3) получает питание от аккумуляторной батареи *ГВ*, имеющей несколько выводов (это позволяет получить напряжения разных значений).

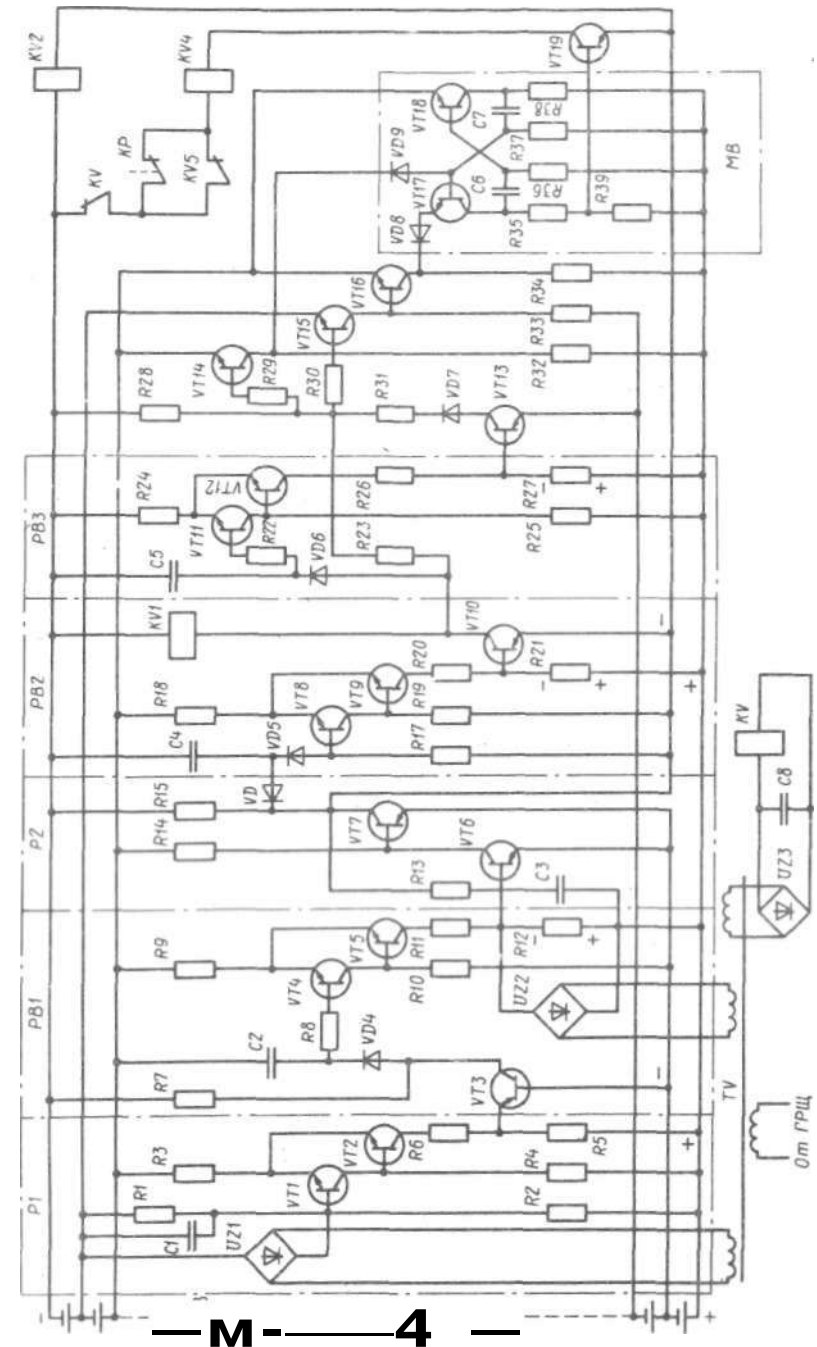


Рис. 8.3. Принципиальная схема устройства программного управления пуском АДГ

В исходном состоянии (в неаварийном режиме) на трансформатор *TV* поступает напряжение от ГРЩ, включается реле *KV* контроля напряжения и его контакт повторно прерывает цепь реле *KV4* пуска (она прервана также закрытым в этом режиме транзистором *VT19*). Через резисторы *R1*, *R3* на транзистор *VT1* подано напряжение отрицательного смещения, однако он открыт более высоким напряжением управления выпрямителя *UZ1*. В открытом состоянии сопротивление транзистора *VT1* близко к нулю, на нем нет падения напряжения. На эмиттер и базу транзистора *VT2* поданы напряжения практически одинаковых потенциалов, поэтому он закрыт. Через *R5* на эмиттер - базу транзистора *VT3* поступает напряжение положительного смещения, поэтому этот транзистор открыт. Через него заряжен конденсатор *C2*, через *R8* течет ток управления транзистора *VT4* и он открыт, а транзистор *VT5* закрыт. Через транзистор *VT6* течет ток управления, создаваемый падением напряжения на резисторе *R12*, через который течет ток нагрузки выпрямителя *UZ2*. Транзистор *VT7* закрыт. Состояние остальной части схемы изменяется при переключении транзистора *VT7*. Так как он закрыт, конденсатор *C4* не заряжен и на транзистор *VT8* тоже закрыт. На коллектор - эмиттер транзистора *VT8* не поступает напряжение, поэтому, несмотря на то, что он закрыт, на нем нет падения напряжения и транзистор *VT9* тоже закрыт. Транзистор *VT10* закрыт, так как на него поступает напряжение отрицательного смещения батареи. Так как *VT10* закрыт, конденсатор *C5* не заряжен, поэтому *VT11* тоже закрыт, на его коллекторно-эмиттерном переходе создается падение напряжения, которое является напряжением управления транзистора *VT12*, он открыт. Протекающий через *VT12* ток создает на резисторе *R27* падение напряжения, которое компенсирует напряжение отрицательного смещения батареи, и транзистор *VT13* открыт. Через него текут токи управления транзисторов *VT14*, *VT15*, они открыты. На базу транзистора *VT16* подан отрицательный потенциал с коллектора транзистора *VT15*, поэтому *VT16* закрыт. На транзисторах *VT17* и *VT18* собрана схема мультивибратора *MB*. С коллектора транзистора *VT16* на базу транзистора *VT17* подан положительный потенциал, следовательно, *VT17* закрыт (соответственно *VT18* открыт). Через *R39* на транзистор *VT19* поступает напряжение отрицательного смещения батареи, и он закрыт.

В начале аварийного режима отключается напряжение на трансформаторе *TV*, отключается реле контроля напряжения и его замкнувшийся контакт подготавливает к включению реле *KV4* пуска. Закрывается *VT1*, так как выпрямитель *UZ1* обесточен, открывается *VT2*. На резисторе *R5* создается падение напряжения, которое больше напряжения положительного смещения батареи, и *VT3* закрывается. Транзистор *VT4* не закрывается, конденсатор *C2*, разряжаясь через базу - эмиттер транзистора *VT4*, еще 30 с будет создавать ток управления. Так формируется выдержка времени всего цикла работы схемы автоматического пуска.

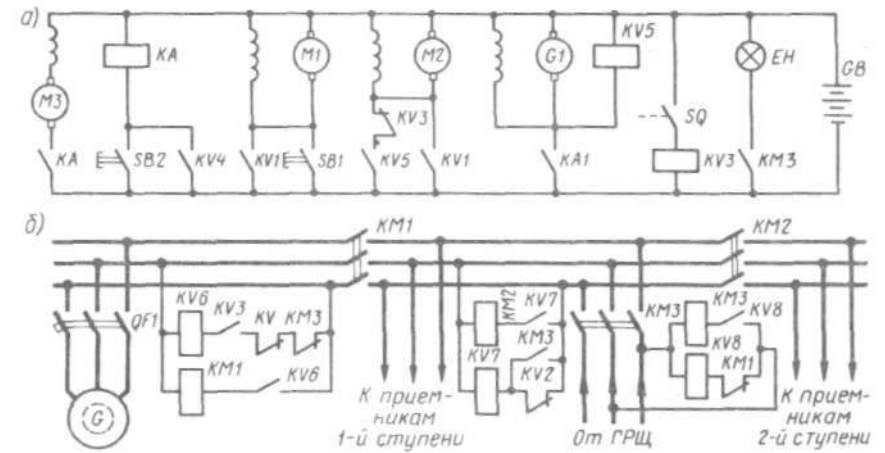


Рис. 8.4. Принципиальные схемы пуска АДГ (а) и включения нагрузки (б)

Транзистор *VT5* остается закрытым. Выпрямитель *UZ2* обесточен, и на резисторе *R12* нет падения напряжения, следовательно, транзистор *VT6* закрывается, а *VT7* открывается. Начинается заряд конденсатора *C4*, и в течение времени заряда (3 с) конденсатор шунтирует цепь управления транзистора *VT8*: он остается закрытым. Через открытый *VT7* на коллектор - эмиттер транзистора *VT8* подается напряжение батареи и, так как он закрыт, на нем возникает падение напряжения. Открывается *VT9*, возникает падение напряжения на резисторе *R21*, открывается *VT10*, и включается реле *KV1* прокачивания масла, которое включает на 3 с электродвигатели масла *M1* и топлива *M2* (рис. 8.4, а). Через *VT10* (см. рис. 8.3) мгновенно заряжается конденсатор *C5*, открывается *VT11*. Закрывается *VT12*, поэтому на *R27* не создается падения напряжения и *VT13* закрывается. Состояние транзисторов *VT14*, *VT15* не изменяется, потому что через открытый *VT10* продолжают протекать их токи управления.

Через 3 с прекращается заряд конденсатора *C4*, открывается *VT8*, закрываются *VT9* и *VT10*: реле прокачивания масла отключается. Транзистор *VT11* остается открытым, потому что через его базу - эмиттер разряжается конденсатор *C5*. Транзисторы *VT12*, *VT13* остаются закрытыми. Так как транзистор *VT10* закрыт, то закрываются транзисторы *VT14*, *VT15*. Открывается *VT16*, и мультивибратор *MB* начинает работать в следующем режиме: 3 с открыт транзистор *VT17*, затем 2 с он закрыт и открыт *VT18*, с 4-й по 16-ю секунду (включительно) трижды открывается *VT17* с промежутками в 2 с. Когда транзистор *VT17* находится в открытом состоянии, на резисторе *R39* возникает падение напряжения и открывается *VT19*, трижды включается реле *KV4*. Если пуск удался с 1-й попытки, то реле *KV5* удавшегося пуска и центральное реле *KU* разомкнул свои контакты, и реле *KV4* не сработает

повторно при отработке мультивибратором еще двух циклов. Через 16 с после начала аварийного режима закончится разряд конденсатора $C5$, транзистор $VT11$ закрывается, транзисторы $VT12-VT15$ открываются, $VT16$ закрывается, в результате МВ отключится. В промежутке времени с 17-й по 30-ю секунду в схеме никаких изменений не происходит. Через 30 с прекратится разряд конденсатора $C2$, закроется $VT4$, откроются $VT5$ и $VT6$, закроется $VT7$. Остальная часть схемы возвращается в исходное состояние. В случае возникновения питания от ГРЩ транзисторы $VT7-VT5$ переключаются, но на резисторе $R12$ останется падение напряжения, создаваемое током выпрямителя $UZ2$, поэтому транзисторы $VT6-VT19$ не переключатся. Вся схему программного управления можно представить как состоящую из переключающих реле PI , $P2$ и реле времени $PВ1-PВ3$.

В неаварийном режиме напряжение с шин ГРЩ подается на реле $KV8$ (рис. 8.4, б), включаются контакторы $KM2$, $KM3$ и промежуточное реле $KV7$. Приемники 1-й и 2-й ступеней включаются на напряжение ГРЩ. Автоматический выключатель $QF1$ включен, но аварийный генератор отключен от шин щита контактором $KM1$.

При аварийном состоянии основной СЭС отключаются контакторы $KM3$ и $KM2$, начинает работать схема программного управления автоматическим пуском АДГ, до момента включения аварийного генератора G судно остается обесточенным. На 3 с включается реле $KV1$, его контакты подают питание на двигатели прокачивания масла $M1$ и подачи топлива $M2$ (см. рис. 8.4, а), причем $M2$ передвигает рейку подачи топлива в положение минимальной подачи. Далее через $VT19$ подается питание на реле $KV4$ пуска, его контакты замыкаются в цепи реле $КА$. Напряжение батареи GB подается на стартер $M3$, и начинается проворачивание дизеля.

Если пуск удался, то с увеличением частоты вращения АДГ возбуждается маломощный вспомогательный генератор $G1$, навешенный на дизель, и включается реле $KV5$ удавшегося пуска. Через его контакты вновь подается питание на двигатель $M2$, и он передвигает рейку в положение номинальной подачи топлива, после чего замыкается конечный выключатель SQ . Включается промежуточное реле $KV3$. Его замыкающий контакт отключает двигатель регулирования подачи топлива, а замыкающий через промежуточное реле $KV6$ обеспечивает подачу питания на контактор $KM1$, в результате приемники 1-й ступени подключаются на напряжение аварийного генератора G . В конце цикла работы схемы программного управления закрывается транзистор $VT7$ (см. рис. 8.3), выключается реле $KV2$, включаются реле $KV7$ и контактор $KM2$, коммутирующий приемники 2-й ступени на шины щита аварийной СЭС.

Если АДГ не пускается, то включается тревожная сигнализация (ее элементы на схеме не показаны). Ручной пуск АДГ осуществляется с помощью кнопок $SB1$ и $SB2$.

Так как аварийная СЭС является наиболее ответственным устройством судна, то ей уделяется особое внимание: каждую неделю элект-

ромеханик с механиком по заведованию проверяют исправность всех элементов, наличие топлива, воздуха в пусковых баллонах, степень заряда АБ, а также выполняют пробные пуски АДГ (обычно проводят ручной пуск на воздухе, пуск с помощью кнопок $SB1$ и $SB2$, пуск через программное устройство). Один раз в 6 мес выполняют пробный пуск и включение аварийной СЭС в режиме обесточивания судна.

8.4. Судовые аккумуляторы и гальванические элементы

Кислотные и щелочные АБ применяют на судах для питания электроэнергией сетей управления автоматических устройств, аварийного освещения, авральной и пожарной сигнализации, радио- и телефонной связи, отличительных огней, для пуска дизелей с помощью стартеров.

Электрический аккумулятор - это химический источник электроэнергии. Его действие основано на обратимых электрохимических процессах. Во время заряда аккумулятора энергия зарядного устройства превращается в химическую энергию, которая накапливается в аккумуляторе. Если к аккумулятору подключить приемник электроэнергии, то аккумулятор будет разряжаться, т. е. его химическая энергия вновь будет превращаться в электрическую. Такие процессы заряда-разряда аккумулятора повторяются неоднократно.

Аккумуляторная батарея состоит из нескольких электрохимических элементов, собранных в общий корпус (см. рис. 8.5, 8.6) и включенных по определенной схеме. Обычно в аккумуляторной батарее несколько банок, в каждой банке блоки положительных и отрицательных пластин соединены параллельно.

Электродвижущая сила E аккумулятора - разность потенциалов положительного и отрицательного электродов при разомкнутой внешней цепи. Значение E зависит, главным образом, от состояния активной массы пластин и состава электролита, но не зависит от размеров пластин аккумулятора. Электролиты - это растворы кислоты или щелочи в дистиллированной воде. Состояние электролита характеризуется его плотностью. Плотность щелочи и кислоты больше плотности воды, поэтому определенной концентрации кислоты или щелочи в воде соответствует определенная плотность электролита.

Напряжение U аккумулятора - разность потенциалов положительного и отрицательного электродов при замкнутой внешней цепи (при этом в цепи протекает ток). Напряжение отличается от ЭДС значением падения напряжения внутри аккумулятора, которое определяется внутренним сопротивлением $R_{вн}$ аккумулятора и током, проходящим через него. При заряде аккумулятора U больше ЭДС, при разряде - меньше. Конечное напряжение аккумулятора при его разряде - напряжение, ниже которого аккумулятор разряжать не рекомендуется исходя из условий длительной эксплуатации. Внутреннее сопротивление

ние аккумулятора, состоящее из сопротивлений электролита, пластин и сепаратора (перфорированный изолятор между пластинами), постоянно: при разряде и понижении температуры оно увеличивается.

Емкость C аккумулятора - количество электричества, которое может дать полностью заряженный аккумулятор при разряде неизменным током определенного значения до конечного напряжения:

$$C = I_p t_p,$$

где I_p - ток разряда, А; t_p — продолжительность разряда, ч.

Емкость аккумулятора зависит от количества активной массы и конструкции пластин, количества и концентрации электролита, температуры, степени изношенности аккумулятора, наличия примесей в электролите и многих других факторов.

Заряженный аккумулятор подвержен саморазряду в результате протекающих побочных реакций, утечек тока через корпус и т. д. (например, саморазряд кислотных аккумуляторов составляет 1 % их емкости в сутки).

Гальванические элементы (ГЭ) отличаются от аккумуляторов необратимостью электрохимического процесса разряда (являются устройствами 1-разового использования). Постоянная готовность ГЭ к работе позволяет применять их в переносных радиоустройствах, комбинированных измерительных приборах, электрических фонарях и спасательных средствах. Гальванические элементы разделяют на сухие и водоналивные (активируемые), по форме исполнения - на баночные и галетные. Наиболее распространены марганцево-цинковые ГЭ.

Сухой баночный ГЭ состоит: из анода - угольного стержня, окруженного активной массой (оксидом марганца в смеси с графитом); цинкового катода - цилиндрической или прямоугольной банки; электролита - желеобразного хлорида аммония. Банка сверху залита смолой.

Сухой галетный ГЭ состоит из спрессованного из активной массы (оксид марганца с графитом) анода в виде прямоугольного брикета, пропитанной электролитом (хлорид аммония) картонной диафрагмы и пластинчатого цинкового катода. Элемент заключен в поливинилхлоридный корпус. Сухие ГЭ подвержены саморазряду, поэтому их сохранность не превышает 1,5 года. Выпускают сухие ГЭ для различных температурных условий.

Водоналивной марганцево-цинковый ГЭ заполнен кристаллическим хлоридом аммония: только после добавления пресной или дистиллированной воды хлорид аммония превращается в электролит и ГЭ может работать. Водоналивной медно-магний ГЭ работает на хлоридном электролите и активизируется морской водой, что позволяет использовать его в устройствах световой сигнализации и радиостанциях спасательных средств (плотиков, жилетов и т. д.).

8.5. Кислотные аккумуляторы

Устройство. Кислотный аккумулятор (рис. 8.5) состоит из эбонитового или пластмассового корпуса 5, отрицательных 1 и положительных 4 пластин, собранных с помощью соединительных мостиков (бареток) 3 в полублоки, и электролита, в который погружены пластины. С помощью борнов 2 (полюсных выводов) и межэлементных соединений (перемычек) 6 блоки пластин соединяют в электрическую цепь. Для изоляции разноименных пластин в аккумуляторе применяют сепараторы из различных пластмасс, на крышках аккумулятора устанавливают вывинчивающиеся пробки 7, в нижней части пластины опираются на изоляционные призмы 8.

Положительные и отрицательные пластины отливают в виде решеток из химически чистого свинца с 5-10 %-ной присадкой сурьмы. Решетки пластин заполняют активными массами: активная масса положительных пластин состоит из свинцового сурика PbO_2 и сульфата аммония, отрицательных - из свинцового глета (губчатый свинец) с добавлением сернокислого бария. Отрицательные пластины механически более прочны, поэтому в блоке их на одну больше, они располагаются с обеих сторон.

Электролитом служит раствор химически чистой серной кислоты в дистиллированной воде. Когда серную кислоту вливают в воду, в результате химической диссоциации часть молекул кислоты распадается на положительные и отрицательные ионы H_2 и SO^{4-} . Таким образом в электролите присутствуют ионы-носители электрического заряда и целые молекулы кислоты H_2SO_4 . Во время разряда аккумулятора в нем протекают следующие реакции: у отрицательных пластин $Pb + SO_4 = PbSO_4$, у положительных пластин $PbO_2 + H_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + 2H_2O$. Положительные и отрицательные ионы электролита вступают в реакцию с активными массами пластин, изменяя их состав и отдавая электрический заряд на пластину. На всех пластинах образуется

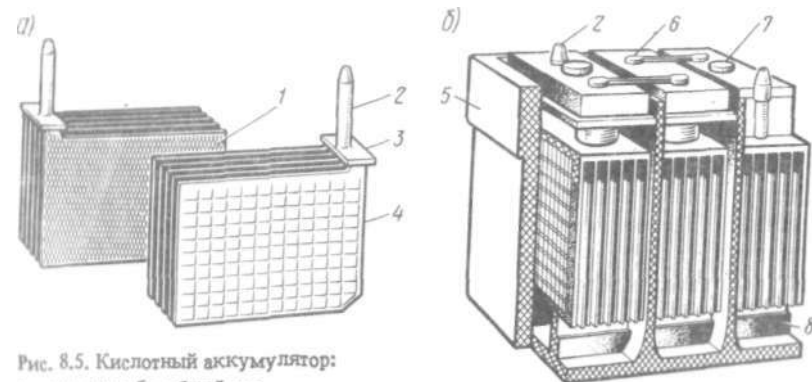


Рис. 8.5. Кислотный аккумулятор:
а - пластины; б - общий вид

сульфат свинца $PbSO_4$. Количество ионов SO_4 в электролите уменьшается, поэтому его плотность в процессе разряда заметно снижается. Аккумулятор будет источником электроэнергии до тех пор, пока текут реакции разряда, а они возможны, если еще не вся активная масса пластин PbO_2 и Pb превращены в $PbSO_4$ т. е. пока в растворе есть ионы. Полный разряд не рекомендуется.

При подключении аккумулятора к источнику постоянного тока под действием зарядного тока протекают обратные реакции заряда: у отрицательных пластин $PbSO_4 + H_2 = Pb + H_2SO_4$, у положительных пластин $PbSO_4 + 2H_2O + SO_4 = PbO_2 + 2H_2SO_4$. В результате $PbSO_4$ распадается на исходные материалы пластин, и в раствор выделяется кислота, поэтому плотность увеличивается до исходного значения (1,24-1,31 г/см³ в зависимости от климатических условий), причем ЭДС заряженного аккумулятора составляет 2,1 В. Опытным путем установлена зависимость между ЭДС и плотностью электролита для кислотного аккумулятора: $E = 0,84 + d$.

Напряжение аккумулятора в режимах разряда и заряда:

$$U_p = 0,84 + d - I_p R_{вн};$$

$$U_z = 0,84 + d + I_z R_{вн}$$

Кислотные аккумуляторы обладают небольшим внутренним сопротивлением: $R_{вн} \approx 0,005 \text{ Ом}$.

Эксплуатация. При нормальном обслуживании аккумуляторов сульфат свинца $PbSO_4$, образующийся на пластинах, полностью распадается в конце заряда, и аккумулятор восстанавливает свою емкость. Если в течение нескольких суток полностью или частично разряженный аккумулятор не зарядить, то $PbSO_4$ может перекристаллизироваться в крупнозернистую соль того же химического состава. Такой сульфат не распадается при последующем заряде. Аккумулятор начинает "кипеть", так как реакции распада сульфата свинца не протекают и энергия источника расходуется на нагрев электролита. Возникает так называемый процесс сульфатации, в результате аккумулятор теряет часть емкости.

Основной эксплуатационный недостаток кислотных аккумуляторов: во избежание сульфатации АБ нужно держать всегда заряженными, что требует постоянного ухода за ними. По сравнению с щелочными аккумуляторами кислотные имеют и преимущество: низкое (примерно в 10-15 раз меньше, чем у щелочных) внутреннее сопротивление R . Поэтому только кислотные аккумуляторы могут использоваться в качестве стартерных, так как большие разрядные токи / создают сравнительно малое падение напряжения на аккумуляторе: $\Delta U = I \cdot R_{вн}$. В результате аккумулятор при разряде практически сохраняет напряжение: $U = E - \Delta U$.

Нормальным током разряда кислотной АБ считается ток, составляющий около 10 % емкости АБ. Например, для батареи 6СТЭ-128

нормальный ток разряда $I_n = 12,8 \text{ А}$; полную емкость АБ отдает за 10 ч: $C = 12,8 \cdot 10 = 128 \text{ А-ч}$; при работе со стартером эта АБ разряжается током 300-400 А за короткое время. Для аккумулятора такой режим неблагоприятен, так как при обильном выделении $PbSO_4$ может возникнуть деформация пластин и возможно выпадение активной массы. Стартерный режим при температуре 30 °С может длиться не более 5,5 мин, а при температуре -18 °С - всего 2 мин. Полную емкость аккумулятор, конечно, не отдает, но его напряжение понижается до 1,5 В.

При эксплуатации кислотных АБ необходимо обеспечить нормальные режимы разряда и заряда, наблюдать за плотностью электролита, поддерживать чистоту батарей, так как загрязнение увеличивает степень саморазряда. Электролит готовят в чистой стеклянной, фарфоровой, эбонитовой или эмалированной посуде. В воду осторожно вливают кислоту, размешивая раствор стеклянной или эбонитовой палочкой. Раствору нужно дать остыть до температуры 25 °С. Обычно плотность электролита предварительно устанавливают 1,4, а затем перед заливкой в аккумулятор плотность доводят до нормы.

При вводе в эксплуатацию новых АБ после заливки электролита в течение 3-6 ч дают возможность активной массе пластин хорошо пропитаться, проверяют уровень электролита в банках и заряжают током, несколько меньшим 10 % емкости. Через каждый час проверяют температуру и плотность. В случае нагрева выше 45 °С прекращают заряд и охлаждают АБ до 35 °С. Конец заряда определяют по обильному газовыделению ("кипению"), а также по постоянству напряжения и плотности электролита в течение последних 2 ч заряда. В конце заряда напряжение достигает 2,75-2,80 В.

В режиме разряда по напряжению аккумулятора можно ориентировочно определить степень его заряженности: при напряжении 2,0-1,9 В аккумулятор полностью заряжен; при 1,9-1,8 В заряжен на 75 %; при 1,8-1,7 В заряжен на 50 %; при 1,7-1,6 В заряжен на 25 %; и при 1,6-1,5 В полностью разряжен. Для повышения надежности кислотных АБ, а также с целью предотвращения замерзания электролита (когда плотность понижена) их рекомендуют разряжать не более чем на 50 %.

Систематический перезаряд АБ, во время которого в аккумуляторах действуют повышенные температуры, вызывает разрушение активной массы. Постоянный недозаряд способствует возникновению процесса сульфатации, признаками которого являются повышение напряжения в начале заряда, преждевременное "кипение", незначительное повышение плотности в процессе заряда, повышение температуры и быстрое понижение напряжения в процессе разряда. Сульфатирующий аккумулятор разряжают, заменяют электролит дистиллированной водой и заряжают током, составляющим 0,5 нормального тока заряда, до достижения постоянства плотности и напряжения в течение 6 ч при обильном газовыделении. Затем плотность доводят до номинального значения.

Загрязнение электролита посторонними примесями (например, при использовании нестандартной кислоты) приводит к разрушению активных масс пластин, у таких АБ наблюдается повышенный саморазряд. Неправильное подключение АБ или ее отдельных банок в зарядную цепь может привести к изменению полярности пластин.

Правила обслуживания аккумуляторов предусматривают еженедельный осмотр АБ и аккумуляторных помещений. Ежемесячно проводится протирка аккумуляторов, проверка уровня электролита, плотности, выполняется заряд. Режимы и периодичность зарядов АБ определяются условиями их эксплуатации и соответствующими инструкциями.

8.6. Щелочные аккумуляторы

Устройство. Если кислотные аккумуляторы используют в качестве стартерных, то для питания прочих низковольтных устройств применяют щелочные кадмиево-никелевые и железоникелевые аккумуляторы (они одинаковы по конструкции и составу электролита).

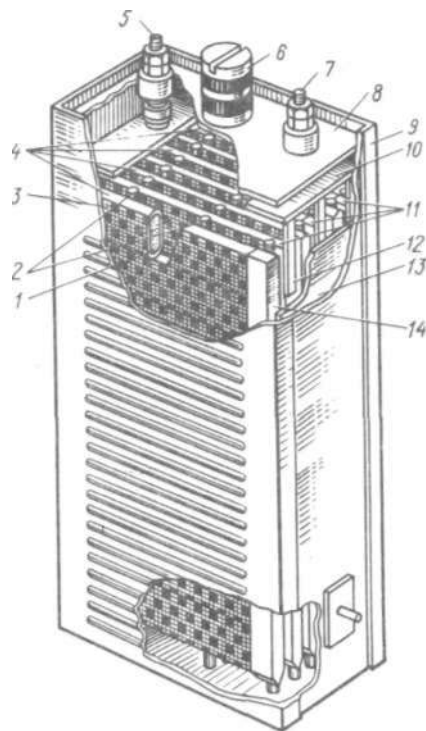


Рис. 8.6. Щелочной аккумулятор

Корпус 9 щелочного аккумулятора (рис. 8.6) изготовляют сварным из листовой стали, покрытой никелем. Технология изготовления положительных 4 и отрицательных 11 пластин одинакова: их выполняют из тонких перфорированных листов стали в виде ламелей-футляров 3, в которые помещается активная масса 1.

Гидрат окиси никеля Ni(OH)_2 служит активной массой положительных пластин щелочных аккумуляторов обоих типов. Активная масса отрицательных пластин у кадмиево-никелевых аккумуляторов состоит из смеси губчатого кадмия с железом, а у железоникелевых - из смеси электрохимически активного железа (губчатого железа) с его окислами и небольшого количества окиси ртути. В электрохимических процессах участвуют Cd или Fe, а присадки улучшают электрохимические свойства МЭСС.

С помощью контактных пластин 12 и соединительных бареток 10 пластины собирают в блоки и через выводы 5, 7 соединяют с внешней цепью. В стальной крышке 8 расположены пробки 6, в которых устроены небольшие отверстия для вентиляции. Изоляция пластин одна от другой и от корпуса достигается установкой распорных эбонитовых палочек 2 и эбонитовых пластин 13 со стойками 14. У кадмиево-никелевых аккумуляторов крайние пластины всегда положительные, у железоникелевых отрицательные. При сборе в батарею аккумуляторы монтируют на изоляционных прокладках в общем деревянном или пластмассовом ящике и надежно изолируют от корпуса судна.

Электролитом служит раствор едкого кали KOH или натра NaOH (плотность 1,19-1,21 г/см³) в дистиллированной воде с небольшой добавкой едкого лития LiOH, который увеличивает срок службы аккумуляторов в 2-2,5 раза.

Реакции разряда-заряда (на примере кадмиево-никелевого аккумулятора) следующие: у положительных пластин $\text{Ni(OH)}_2 + \text{K}^+ \rightarrow \text{Ni(OH)}_2 + \text{KOH}$; у отрицательных пластин $\text{Cd} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cd(OH)}_2$. Образовавшиеся при разряде гидроокиси Ni(OH)_2 и Cd(OH)_2 не обладают какими-либо отрицательными свойствами, поэтому щелочные аккумуляторы могут длительное время находиться в разряженном состоянии, следовательно, их обслуживание упрощается.

Так как ионы K^+ и OH^- или целые молекулы KOH присутствуют в левых и правых частях уравнений реакций, плотность электролита в процессе разряда-заряда почти не изменяется. ЭДС заряженного аккумулятора составляет 1,35 В, при разряде уменьшается до 1 В (зависит от состояния активных масс пластин и в меньшей степени от плотности электролита и температуры эксплуатации). Напряжение заряженного аккумулятора составляет 1,25 В, разряжают его до напряжения не ниже 1,1 В. Например, батарея 10 КН-100 (кадмиево-никелевая батарея, собранная из 10 банок, общей емкостью 100 А·ч) имеет номинальное напряжение $M_{\text{н}} \cdot 12,5$ В. Рекомендованы 6-часовой режим заряда током 25 А (1/4 емкости) и 8-часовой режим разряда током 12,5 А (1/8 емкости). Допускается 1-часовой режим разряда током 100 А.

Внутреннее сопротивление щелочных аккумуляторов, составляющее 0,03-0,05 Ом, сравнительно высоко, поэтому их нельзя использовать в стартерном режиме.

Эксплуатация. Для пользования в судовых условиях едкие кали KOH и натр NaOH поставляются в жидком (плотностью 1,41 г/см³) или твердом (иногда с добавкой едкого лития) виде. Для приготовления электролита пригодна дождевая и питьевая вода. После растворения щелочи в железной, стеклянной или пластмассовой посуде раствор выдерживают в течение 3-6 ч до полного осветления. Осветленную часть раствора при температуре не выше 30 °С доводят до нужной плотности и заливают в аккумулятор. Во избежание поглощения электролитом углекислого газа из воздуха в каждый аккумулятор

вливают несколько капель вазелинового масла или керосина. После заливки нового аккумулятора электролитом его выдерживают в течение 2-10 ч (для пропитки пластины) до появления начального напряжения. Затем проводят 2-4 цикла заряд-разряд в соответствии с инструкцией.

Смену электролита выполняют через каждые 100-150 рабочих циклов, а также при хранении аккумулятора без действия сроком более одного года или при использовании его при температуре ниже -20 °С. Перед сменой электролита аккумулятор разряжают до 1 В, промывают и немедленно заливают электролитом.

Кроме нормальных 6-часовых режимов заряда при $I_p = 0,25C$, через каждые 10 циклов (примерно 1 раз в месяц) или после глубоких разрядов делают усиленный заряд тем же током, но в течение 12 ч. При зарядах температура аккумулятора не должна превышать 45 °С. В начале заряда напряжение аккумулятора составляет 1,4-1,45 В, в конце - 1,75-1,95 В. Конец заряда характеризуется бурным газовыделением и постоянством ЭДС аккумулятора.

При разряде аккумулятора в 8-часовом или более длительном режиме ($I_p = 0,125C$) напряжение должно уменьшиться не ниже 1,1 В, при 1-часовом режиме разряда - до 0,5 В. После 100-150 циклов работы проводят контрольно-тренировочные циклы, предусматривающие непрерывные и полные заряды-разряды с заменой электролита. Если в конце этих циклов за 6 ч разряда током $I = 0,125C$ напряжение уменьшается до 1 В и ниже, аккумулятор подлежит замене.

Наличие примесей в электролите, отсутствие в нем присадки едкого лития, систематические недозаряды, глубокие разряды, утечка тока и работа при температурах выше 35 °С могут быть причиной понижения емкости щелочных АБ. Работа при повышенных токах, низком уровне электролита и наличии неплотностей на выводах может вызвать перегрев аккумулятора. При КЗ утечках тока и накоплении осадков аккумулятора может иметь пониженное напряжение.

В небольших количествах выпускаются никель-кадмиевые безламельные щелочные аккумуляторы, у которых активная масса наносится на стальную решетку пластин и спекается. У этих аккумуляторов $R_m \approx 0,005$ Ом, поэтому они могут работать с большими разрядными токами со стабильным напряжением, но срок их службы мал (примерно 300 циклов). В марку такого аккумулятора добавляется буква Б.

Серебряно-цинковые аккумуляторы обладают высокой стабильностью напряжения при больших разрядных токах и имеют малые массу и габаритные размеры. Однако их стоимость высока, а ресурс довольно низок (до 100 циклов). Эти аккумуляторы имеют $R_{вн} \approx 0,001$ Ом, $E = (1,7-5-1,4)$ В, напряжение в заряженном состоянии 1,6-1,5 В. Серебряно-кадмиевые аккумуляторы обладают несколько худшими рабочими характеристиками, но в эксплуатации выдерживают до 500 циклов.

8.7. Выбор и размещение аккумуляторов, техника безопасности при обслуживании

Выбор и размещение. Тип аккумуляторов, их количество и параметры определяются их назначением на судне. Для увеличения напряжения АБ соединяют последовательно, для обеспечения режимов работы с большими токами - параллельно. Разрядная емкость (А-ч) аккумуляторной батареи для сетей освещения и сигнализации $C_x = PT/U$, где P - потребляемая мощность, Вт; T - длительность электропитания, ч; U - номинальное напряжение батареи, В.

Для питания электростартеров устанавливают две АБ, причем емкости одной из них должно хватать на 6 пусков длительностью 5 с. Емкость (А-ч) одной стартерной батареи $C_2 = \frac{W}{C_{ст} t_n} > W$ - ток стартера (принимается равным 400 А); n - число пусков; t_n - длительность пуска, ч.

Учитывая ухудшение свойств аккумуляторов в процессе эксплуатации, их расчетную емкость несколько увеличивают.

Аккумуляторные батареи малого аварийного освещения, связи, пожарной и аварийной сигнализации размещают в специальных помещениях выше палубы переборок, вне шахты МО, с выходом на открытую палубу. Батареи другого назначения мощностью более 2 кВт или напряжением выше безопасного размещают в аналогичном помещении или на открытых палубах в аккумуляторных ящиках. При мощности 0,2-2 кВт АБ устанавливают в ящиках, внутри корпуса судна (кроме жилых помещений), а при мощности менее 0,2 кВт - в таких же помещениях без специальных ящиков. Совместная установка щелочных и кислотных АБ недопустима. Аккумуляторы размещают на стеллажах, их надежно закрепляют. Для вентиляции воздухом со всех сторон аккумулятора должен быть обеспечен зазор не менее 15 мм.

Во время работы АБ могут выделять взрывоопасный газ, поэтому аккумуляторные помещения, шкафы и ящики оборудуют приточно-вытяжной вентиляцией. Через аккумуляторные помещения не прокладывают транзитные кабели и трубопроводы, в них устанавливают взрывобезопасные светильники с вынесенными наружу выключателями. При снижении температуры ниже 5 °С помещения отапливают. Установка электрических грелок запрещена.

Техника безопасности. Так как в аккумуляторе имеются химически опасные вещества и в процессе работы выделяются взрывоопасные газы, технике безопасности следует уделять особое внимание. Серная кислота, попавшая на кожу, вызывает ожоги, а ее пары, попадая в дыхательные пути, вызывают раздражение или ожог слизистой оболочки. Попавшую на кожу кислоту или электролит нейтрализуют 5 %-ным водным раствором соды или 10 %-ным водным раствором нашатырного спирта. Попадание щелочи на кожу или слизистую оболочку вызывает разрушение ткани (появление язв). Особо опасно попадание даже малых количеств щелочи в глаза. Попавшую на кожу или в глаза щелочь удаляют путем промывания раствором борной кислоты

(10 %-ный - для кожи, 2 %-ный - для глаз) и большим количеством воды, после чего необходимо обратиться к врачу.

Во время работы с электролитами нужно пользоваться специальной одеждой: шерстяной костюм, резиновый фартук, очки, перчатки, сапоги. Необходимо соблюдать особую осторожность при разливе кислоты и дроблении щелочи.

Все работы, связанные с монтажом или демонтажем, можно проводить только при отключенных АБ, а если применяется пайка или газовая резка, то АБ следует разрядить и хорошо проветрить помещение. Пользоваться металлическим инструментом надо с большой осторожностью, так как оставленные на аккумуляторе металлические предметы могут вызвать КЗ и взрыв.

8.8. Зарядно-питающие устройства аккумуляторов

Инструкции заводов-изготовителей предусматривают заряд АБ в режиме постоянства тока (иногда в 2 степени). Такой режим заряда обеспечивает наибольший срок службы АБ. Для того чтобы зарядный ток I_3 не изменялся на протяжении всего цикла заряда, нужно увеличивать зарядное напряжение U_3 , так как по мере заряда батареи ее ЭДС увеличивается, при $U_3 = \text{const}$ зарядный ток будет уменьшаться. Проще заряжать АБ при неизменном напряжении U . Этот режим протекает с уменьшающимся I_3 . Его технически обеспечить проще, так как $U_3 = \text{const}$, но такой заряд менее благоприятен для АБ.

Так как большинство судов построено с СЭЭС переменного тока, то для заряда АБ требуются преобразователи. Их собирают на статических выпрямителях или тиристорах UZ (рис. 8.7), только на старых судах можно встретить вращающиеся преобразователи переменного тока. Большинство зарядных устройств работают параллельно с АБ, заряжая их и поддерживая напряжение на приемниках. При отключении зарядных устройств АБ продолжает энергоснабжение приемников электроэнергии. Зарядные устройства не включают непосредственно на стартер. Комплекс оборудования, обеспечивающий заряд АБ, а иногда и одновременное питание низковольтных приемников, называется зарядно-питающим устройством. Схемы и конструктивное исполнение ЗПУ отличаются большим разнообразием.

На рис. 8.7 показано ЗПУ с автоматическим зарядным устройством AZ . В ЗПУ входят также электродвигатель M вентилятора аккумуляторного помещения с пускателем $KM2$, аккумулятором GB и $PЩ$. При наличии напряжения 380 В нажатием на кнопку $SB1$ включают схему заряда и двигатель M . При его перегрузке с помощью тепловых реле $FP1$, $FP2$ отключаются M и зарядное устройство AZ . Таким образом предотвращается накопление взрывоопасных газов в аккумуляторной.

Выпрямительное устройство UZ собрано на диодах и тиристорах. Сигнал управления зарядным током создается трансформатором тока TA . Блок $БУ$ автоматического управления зарядным током имеет

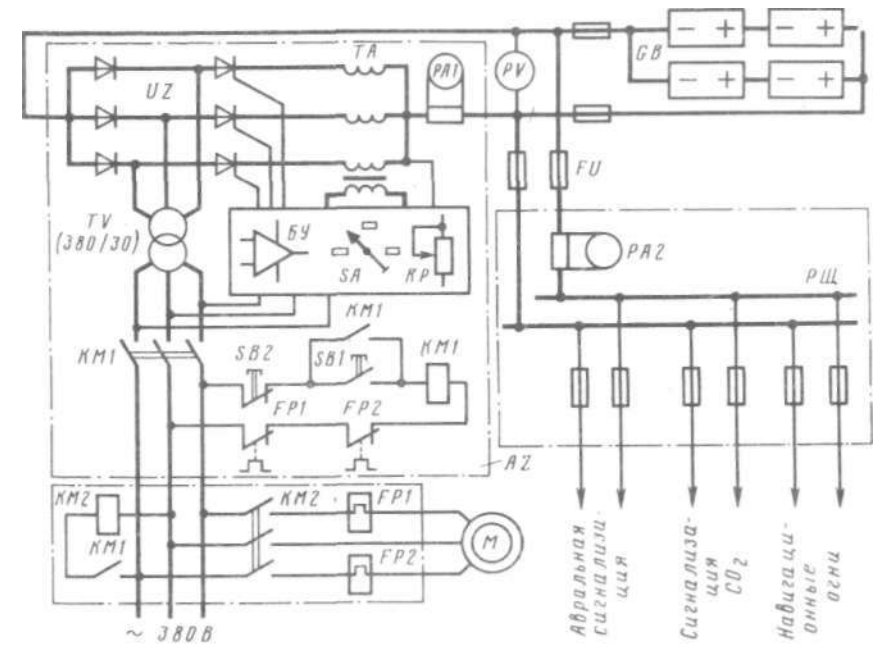


Рис. 8.7. Принципиальная схема зарядно-питающего устройства с автоматическим управлением

переключатель, позволяющий перейти на ручное управление. Напряжение ЗПУ одновременно поступает на аккумуляторы и $PЩ$. Блок управления собран на операционных усилителях. Переключателем SA можно выбрать один из трех режимов его работы. Первый режим ($U_3 = 25+27$ В) нормального заряда и второй ($U_3 = 27+31$ В) ускоренного заряда фактически обеспечивают заряд с ручным управлением. Регулирование напряжения в указанных пределах осуществляется переменным резистором RP . В третьем, автоматическом, режиме в зависимости от значения зарядного тока напряжение изменяется автоматически в пределах 25-31 В. Приемники, получающие питание от $PЩ$, могут работать при таких колебаниях напряжения питания. При КЗ на выходе выпрямителя UZ автоматически увеличивается угол управления тиристорами и напряжение ЗПУ уменьшается до безопасного для приемников значения. Контроль параметров заряда осуществляется по амперметру $PA1$ и вольтметру PV , контроль нагрузки - по амперметру $PA2$.

Повышенной надежностью и другими высокими эксплуатационными качествами обладают зарядные агрегаты типа ВАКЗ (выпрямительный агрегат, кремниевый, зарядный). Например, агрегат типа ВАКЗ-1-4-40М (морской, напряжение питания 220/380 В, частота 50 Гц,

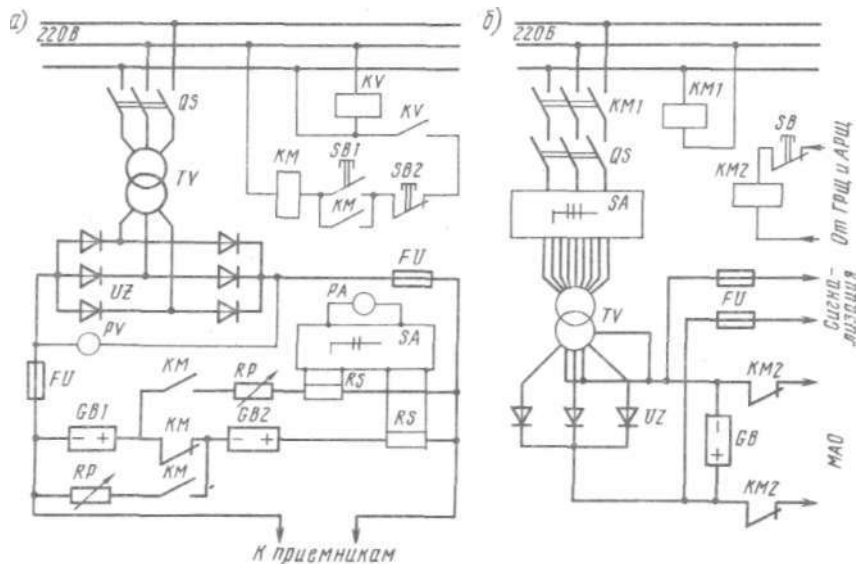


Рис. 8.8. Принципиальные схемы зарядно-питающих устройств с ручным управлением: а - с переключающим контактором; б - с секционированием первичной обмотки трансформатора

номинальная мощность 1 кВт) обеспечивает автоматическую стабилизацию зарядного тока в диапазоне 3-25 А при автоматическом изменении напряжения на выходе от 12 до 40 В. Схема зарядного агрегата собрана на шести тиристорах, управляемых по значению зарядного тока.

на рис. 8.8 показаны схемы более простых ЗПУ с ручным регулированием значения зарядного тока. При наличии напряжения 220 В (рис. 8.8, а) включается реле КУ и при нажатии на кнопку SB1 включается контактор KM. Через его замкнувшиеся контакты и регулировочные резисторы RP протекает ток заряда аккумуляторов. С помощью шунтов RS и переключателя SA контролируют ток заряда. При отсутствии напряжения 220 В контактор KM, потеряв питание, переключает аккумуляторы GB1, GB2 в последовательную цепь и на приемники. В схеме ЗПУ, представленной на рис. 8.8, б, регулирование напряжения заряда выполняется с помощью переключателя SA, подключенного к секционированным первичным обмоткам трансформатора ГУ питания. В неаварийном режиме контакторы KM1 и KM2 находятся под напряжением. Через выпрямитель UZ заряжается батарея GB и одновременно напряжение поступает на цепи сигнализации. В аварийном режиме контакторы обесточиваются, заряд аккумуляторной батареи GB прекращается: теперь ее электроэнергия расходуется на питание сетей сигнализации и малого аварийного освещения MAO.

Контрольные вопросы-задания

1. Перечислите основные требования Правил Регистра СССР к аварийным электростанциям.
2. Какие судовые устройства и системы являются приемниками электроэнергии аварийной СЭС?
3. Как осуществляется питание приемников аварийной СЭС в нормальном режиме работы судна?
4. Используя схему (см. рис. 8.2), назовите назначение всех коммутационных устройств.
5. Какие функции выполняются с помощью программы автоматического пуска АДГ?
6. Используя схему, объясните, как формируется выдержка времени всего цикла автоматического пуска АДГ.
7. Как действует схема, с помощью которой обеспечивается предварительное прокачивание масла в смазочной системе АДГ?
8. Используя схему (см. рис. 8.4), объясните порядок включения нагрузки после автоматического пуска АДГ.
9. Как устроены гальванические элементы?
10. Как устроен кислотный аккумулятор?
11. Используя химические реакции, объясните процессы, происходящие в кислотном аккумуляторе при его разряде и заряде.
12. В чем заключается процесс сульфатации кислотного аккумулятора и каковы его последствия?
13. Как устроен щелочной аккумулятор?
14. Назовите основные достоинства и недостатки кислотных и щелочных аккумуляторов.
15. Как определить расчетную емкость аккумуляторных батарей?
16. Перечислите основные правила техники безопасности, которые необходимо соблюдать при обслуживании аккумуляторов.

Глава 9. СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

9.1. Классификация электрических сетей

Электрические сети предназначены для распределения и передачи электроэнергии и состоят из электрораспределительных щитов и линий электропередачи. Электрические сети подразделяют на силовые, аварийные и приемников.

Силовая электрическая сеть предназначена для распределения электроэнергии на участках от ГРЩ до приемников или преобразователей электроэнергии. Различают следующие типы силовых электрических сетей: фидерную, магистральную и магистрально-фидерную.

В случае использования *фидерной* сети (рис. 9.1, а) ответственные и наиболее мощные приемники Ш и П2 получают питание непосредственно от ГРЩ по отдельным фидерам, а приемники ПЗ-П8 - от электрораспределительных щитов (районного РРЩ1, отсечных ОРЩ1-ОРЩ3 и групповых ГрЩ1-ГрЩ2), соединенных с ГРЩ фидерами.

При использовании *магистральной* сети (рис. 9.1, б) приемники электроэнергии П1-П6 получают питание от электрораспределительных щитов РЩ1-РЩ3 или магистральных коробок МК1-МК3, присоединенных параллельно к магистральным линиям МЛ1-МЛ3.

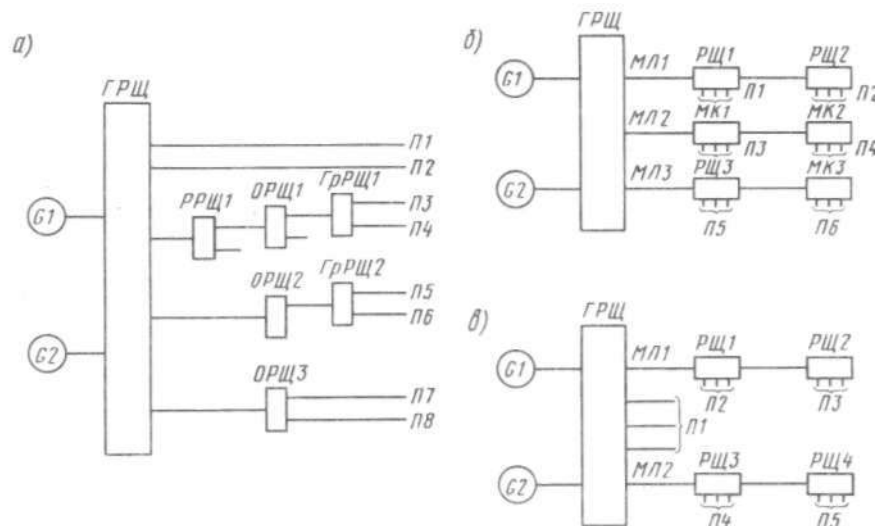


Рис. 9.1. Принципиальные схемы силовых электрических сетей:
 а — фидерной; б — магистральной; в — магистрально-фидерной

На современных судах применяют *магистрально-фидерную* сеть (рис. 9.1, в). В этой сети приемники П1 получают питание по фидерам, а приемники П2-П5 - по магистральным линиям МЛ1 и МЛ2.

Сравним свойства разных типов силовых электрических сетей. Фидерная сеть более надежна по сравнению с магистральной, так как при повреждении любого фидера лишается питания отдельный приемник или группа приемников, в то время как при повреждении магистральной линии прекращается питание всех приемников или части их (в зависимости от места повреждения линии). Вместе с тем фидерная сеть имеет увеличенную массу по сравнению с магистральной. Ее применяют для питания отдельных ответственных приемников или групп приемников (например, рулевого и якорного устройств, электромеханизмов СЭУ). Магистральную сеть используют в основном для питания неотчетственных приемников (например, сети освещения). При этом к одной линии электропередачи (магистральной) подключают светильники и розетки в нескольких смежных помещениях. Магистрально-фидерная сеть соединяет достоинства и недостатки фидерной и магистральной сетей.

Выбор того или иного типа силовой сети зависит от ряда факторов, среди которых наиболее существенными являются назначение судна, мощность его электроэнергетической системы, а также количество и распределение приемников электроэнергии.

Аварийная электрическая сеть предназначена для распределения электроэнергии на участке от АРЩ до приемников, перечень которых определен Правилами Регистра СССР.

Электрическая сеть приемников предназначена для распределения электроэнергии от определенного распределительного щита или преобразователя электроэнергии до одноименных приемников. К таким сетям относят сети основного освещения, аварийного освещения, переносного освещения, сеть установок слабого тока, сеть радиотрансляции и др.

Сеть *основного освещения* применяется для снабжения электроэнергией осветительных приборов и получает питание, как правило, от электрораспределительных щитов различного назначения: наружного освещения, освещения МО, служебных и пассажирских помещений и др. Напряжение сетей основного освещения составляет 220 В (реже 127 В). Правила Регистра СССР допускают применение этих сетей для питания маломощных бытовых электроприборов (каютных вентиляторов, холодильников и др.), а также электрических грелок.

Сеть *аварийного освещения* является составной частью сети основного освещения. Эта сеть получает питание от АРЩ и поэтому снабжается электроэнергией практически бесперебойно: при нормальном режиме работы основной электростанции от ГРЩ через шины АРЩ, а при выходе ее из строя от АДГ. При обесточивании основной и аварийной электростанций автоматически включается сеть аварийного освещения напряжением 12 или 24 В, питающая от АБ ограниченное количество осветительных точек в постах управления, коридорах и проходах.

Сеть *переносного освещения* применяется для снабжения электроэнергией переносных светильников напряжением 12 или 24 В, позволяющих усилить местную освещенность при проведении ТО или ремонтных работ. Для получения указанных напряжений используют понижающие трансформаторы соответствующей мощности.

Сеть *установок слабого тока* обеспечивает работу телефонов внутренней связи, машинных телеграфов, рулевых указателей, звонковой и пожарной сигнализации и других приемников ограниченной мощности.

Сеть *радиотрансляции* соединяет радиотрансляционный узел с громкоговорителями, установленными в различных помещениях судна.

Электрические сети выполняются изолированными от корпуса судна. Исключение составляют электрические сети маломерных судов (небольших буксиров, катеров, мотоботов и др.), на которых допускается применение корпуса судна в качестве второго провода при напряжениях до 30 В переменного и 55 В постоянного тока.

Передачу электроэнергии постоянного и 1-фазного переменного тока осуществляют 2-проводными линиями электропередачи, а 3-фазного тока - 3-проводными (редко 4-проводными) линиями электропередачи. В последнем случае линия электропередачи состоит из 3-х г разных и 1-го нулевого провода и применяется на плавсредствах дебаркадерах, брандвахтах и др.), получающих электроснабжение с берега.

9.2. Судовые кабели и провода

Передача электрической энергии в силовых и осветительных сетях и телефонная связь осуществляются при помощи кабелей и проводов. Кабель состоит из одного или нескольких изолированных проводников, заключенных в общую защитную, а поверх нее герметичную оболочку. Кабели можно прокладывать в сырых помещениях и на открытой палубе. Провод по сравнению с кабелем имеет облегченную защитную оболочку. Поэтому провода прокладывают только в сухих и отапливаемых помещениях.

Кабели и провода для силовых и осветительных установок рассчитывают на напряжение до 700 В переменного или 1000 В постоянного тока, для телефонных установок - на напряжение 100 В постоянного тока. Помимо судовых проводов, внутри приборов и аппаратуры применяют изолированные монтажные провода, допускающие непосредственную прокладку по металлическим деталям. Для соединения антенны судовой радиостанции с антенным вводом применяют разновидность неизолированных проводов - антенные канатики.

К кабелям и проводам предъявляется ряд требований, обусловленных особенностями прокладки и эксплуатации: повышенная гибкость (что важно при прокладке трасс в ограниченных по размеру судовых помещениях); электрическая прочность изолирующих оболочек; негорючесть; стойкость к воздействию воды, масла и др.

Токоведущие жилы скручивают из отдельных отожженных медных проволок с площадью поперечного сечения от 0,35 до 625 мм² для силовых кабелей и проводов и 1 мм² для телефонных проводов. Жилы заключены в изолирующую оболочку из резины, поливинилхлоридного пластиката и полиэтилена, стекловолокна, фторопласта-4 и др. Наружные защитные оболочки кабелей изготавливают из маслбензостойкой, не распространяющей горения резины, шлангового поливинилхлоридного пластиката и свинца. Поверх изолирующей оболочки кабели и провода могут иметь металлические оболочки различного назначения. Для уменьшения помех радиоприему применяют экранирующие оболочки из медной луженой проволоки, охватывающие весь кабель, жилы внутри кабеля экранируют металлизированной бумагой. Для защиты от механических повреждений используют неэкранирующую оплетку из стальной оцинкованной проволоки (панцирную оплетку) или металлическую броню из стальной ленты или проволоки. Лента (проволока) наматывается спирально и образует сплошной цилиндрический слой. Допускается применение кабелей с оболочками из меди, чистого свинца и его сплавов.

Обозначение кабелей и проводов состоит из марки, числа жил и площади их поперечного сечения, значения допустимого напряжения (например, кабель КНРЭ 3х25-500). Буквы в марке обозначают:

1. Для кабелей силовых приемников и осветительных приборов: К - кабель, Н - негорючий, Р - резиновая изоляция жил и наружная

оболочка, П - оплетка из стальных оцинкованных проволок, Э - экранированный, М - морской, Б - изоляция на основе бутилкаучука, В - поливинилхлоридная оболочка, О - облегченный, к - устойчивый к воздействию коррозии. На судах для таких приемников применяют кабели типов КНРк, КНРП, КНРЭ, КБН, КБНЭ, КОВЭ (при неподвижной прокладке) и РШМ, НРШМ (при подвижной).

2. Для кабелей управления, связи, телефонии (в дополнение к указанным выше обозначениям): С - судовой, М - малогабаритный, Т - телефонный. К таким кабелям относятся кабели типов КНРТ, КНРТП, КНРТЭ, КНРЭТЭ и др. Если буква Э находится внутри марки кабеля, то это означает, что экранируется одна или несколько жил, если в конце марки, то экранируется весь кабель.

Судовые кабели и провода имеют, как правило, многопроволочные жилы, что увеличивает их гибкость и исключает переломы жил вследствие вибрации и других механических воздействий. Количество жил в различных кабелях составляет 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 12, 14, 16, 19, 24, 27, 30, 33, 37, 41, 44, 48, 52 и 61, что удовлетворяет потребностям судовых электрических сетей любого назначения. В сетях постоянного и 1-фазного переменного тока используют 1- и 2-жильные кабели, причем применение 2-жильных кабелей с площадью поперечного сечения более 6 мм² считается нерациональным. В сетях 3-фазного переменного тока применяют, как правило, 3-жильные кабели с площадью поперечного сечения не свыше 240 мм² (с целью облегчения монтажа), а для сетей внутренней связи, цепей управления и контрольных цепей используют многожильные кабели.

Внедрение новых видов изоляций с повышенными тепловыми нагрузками (бутилрезиновая, кремнийорганическая, минеральная и др.) позволяет уменьшить массу кабельных сетей вследствие уменьшения толщины изоляционных оболочек и одновременно увеличить срок службы кабелей. Последнее позволяет обойтись без трудоемкого и дорогостоящего ремонта кабельных трасс в течение всего периода эксплуатации судна. Следует заметить, что применение на судах кабелей с минеральной изоляцией проблематично. Такие кабели представляют собой медную трубку, внутри которой запрессованы в непроводящей окиси магния одна или несколько медных жил. Эти кабели огнестойки, компактны, долговечны, однако их недостатком является отсутствие гибкости.

9.3. Расчет кабелей по току нагрузки, их выбор и проверка

Надежность СЭО во многом определяется состоянием изолирующих оболочек кабелей и проводов, которое зависит в основном от характера и продолжительности тепловых процессов при нагреве оболочки током жилы. Теория тепловых процессов достаточно сложна и используется на стадии разработки образцов кабельной продукции. Она позволяет по заданной площади поперечного сечения жилы и

известным тепловым характеристикам изоляции оболочки определить значение длительно допустимого тока жилы. На практике приходится решать обратную задачу, которую упрощенно можно сформулировать так: по заданному или рассчитанному значению тока найти площадь поперечного сечения жилы кабеля. Для этого используют готовые таблицы норм токовых нагрузок кабелей и проводов. Выбор кабеля дополняют проверкой его на потерю напряжения в линии.

Определение расчетных токов кабелей. Расчетный ток (А) кабеля, питающего:

двигатель постоянного тока

$$I_{расч} = 10^3 P_{ном} k_z / (U_{ном} \eta_{ном}),$$

трехфазный асинхронный двигатель

$$I_{расч} = 10^3 P_{ном} k_z / (\sqrt{3} U_{ном} \eta_{ном} \cos \varphi_{ном}),$$

где $\hat{P}_{ном}$ - номинальная мощность двигателя, кВт; k_z - коэффициент загрузки двигателя; $\hat{U}_{ном}$ - номинальное напряжение двигателя (для асинхронного двигателя линейное), В; $\eta_{ном}$ - номинальный КПД двигателя; $\cos \varphi_{ном}$ - номинальный коэффициент мощности двигателя;

группу приемников постоянного тока

$$I_{расч} = k_o \sum_{i=1}^n I + I_{зап}$$

где k_o - коэффициент одновременности работы приемников, питающихся от данного фидера; n - число приемников; $\sum_{i=1}^n I$ - сумма полных токов всех n приемников, питающихся от данного фидера, А; $I_{зап}$ - ток запасных ответвлений, А;

группу приемников переменного тока

$$I_{расч} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n I_a)^2 + (\sum_{i=1}^n I_p)^2}$$

где $\sum_{i=1}^n I_a = I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{an}$ и $\sum_{i=1}^n I_p = I_{p1} + I_{p2} + \dots + I_{pn}$ - арифметические суммы соответственно активных и реактивных токов приемников, А ($I_{ai} = I_i \cos \varphi_i$ и $I_{pi} = I_i \sin \varphi_i$, здесь i - полный ток i -го приемника).

Выбор площади поперечного сечения жил кабелей. Для выбора площади поперечного сечения жил кабелей используют таблицы норм токовых нагрузок (табл. 2). Эти нагрузки допускаются при прокладке не более 6 кабелей в одном пучке или в 1 ряд с плотным прилеганием одного к другому, или в 2 ряда, независимо от числа кабелей, но при условии, что между группой или пучком из 6 кабелей имеется свободное пространство для циркуляции воздуха.

Таблица 2. Нормы длительно допустимых токов (А) морских силовых кабелей и проводов с различной изоляцией при нагреве токопроводящей жилы до определенной температуры (указана в скобках) при температуре окружающей среды 45 °С

Площадь поперечного сечения жилы, мм ²	Поливинилхлоридная (60 °С)	Бутиловая (80 °С)	Минеральная (95 °С)
1,0	8	15	20
2,5	17	26	32
6,0	29	45	55
10,0	40	63	75
25,0	71	110	135
50,0	105	165	200
95,0	165	260	310
150,0	220	340	410
240,0	290	460	—
300,0	335	530	—

Если фактические условия отличаются от перечисленных нормированных, вводят поправочные коэффициенты k_z - k_z ; коэффициент k_z учитывает изменение условий прокладки кабелей (при прокладке более 6 кабелей или при отсутствии свободного пространства между ними $k_z = 0,85$); коэффициент k_2 - изменение числа жил в кабеле (для 2-жильных кабелей $k_2 = 0,85$, для 3- и 4-жильных $k_2 = 0,7$); коэффициент k_3 - изменение режима работы (при кратковременном режиме $k_3 = 1,06-1,46$, при повторно-кратковременном $k_3 = 1,24-1,51$); коэффициент k_4 - отличие температуры окружающей среды от нормированной 45 °С (для температур 35-85 °С $k_4 = 1,29-0,45$).

Площадь поперечного сечения жил кабеля выбирают из условия $I_{расч} \leq I_{доп}$. Расчетный ток кабеля, А; $I_{доп}$ - допустимый ток нагрузки для кабеля с выбранной площадью поперечного сечения жил при нормированных условиях эксплуатации. Если приведенное выше условие не соблюдается, то по табл. 2 выбирают ближайшее большее значение площади поперечного сечения кабеля и соответствующее ему новое значение $I_{доп}$, затем повторяют расчет.

Проверка кабелей на потерю напряжения. Напряжение на выводах приемника электроэнергии всегда меньше напряжения на шинах ГРЩ вследствие потерь напряжения в линии между ГРЩ и приемником. В линиях электропередачи постоянного тока потеря напряжения численно равна арифметической разности напряжений в начале и конце линии, причем понятия "потеря напряжения" и "падение напряжения" равнозначны. В линиях передачи переменного тока потеря напряжения численно равна арифметической разности модулей (т. е. полных значений) напряжений в начале и конце линии, а падение напряжения определяется геометрической разностью напряжений в начале и конце линии.

Потеря напряжения (%) в линии электропередачи постоянного тока $\Delta U = 2 \cdot 10^2 \Pi / (\gamma s U_{\text{ном}})$ или $\Delta U = 2 \cdot 10^5 P_1 I / (\gamma s U_{\text{ном}}^2)$, где 2 - коэффициент, учитывающий наличие двух проводов линии; I - ток приемника, А; l - длина линии, м; $\gamma = 48,1 \text{ м}/(0 \text{ м} \cdot \text{мм}^2)$ - удельная проводимость меди при 65 °С; 5 - площадь сечения жилы кабеля, мм²; $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение приемника, В; P^{\wedge} - потребляемая из сети мощность приемника, кВт.

В сетях переменного тока потеря напряжения имеет активную и реактивную (индуктивную) составляющие, причем последней можно пренебречь, так как при частоте тока 50 Гц она значительно меньше активной. С учетом этого потеря напряжения (%) в 1-фазной линии электропередачи переменного тока

$$\Delta U = 2 \cdot 10^2 \Pi \cos \varphi / (\gamma s U_{\text{ном}}) \text{ или } \Delta U = 2 \cdot 10^5 P_1 I / (\gamma s U_{\text{ном}}^2).$$

Потеря напряжения (%) в каждом проводе 3-фазной линии электропередачи

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 10^2 \Pi \cos \varphi / (\gamma s U_{\text{ном}}) \text{ или } \Delta U = \sqrt{3} \cdot 10^5 P_1 I / (\gamma s U_{\text{ном}}^2),$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное линейное напряжение приемника, В.

В случае если линия электропередачи обеспечивает электроэнергией несколько приемников, потеря напряжения определяется отдельно для каждого участка, в пределах которого площадь сечения и ток не изменяются. Тогда для наиболее удаленного приемника потеря напряжения в линии определится суммой потерь на отдельных участках: $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \dots + \Delta U_n$.

Потеря напряжения на участке ПРЦ (РЦ) - приемник при номинальной нагрузке не должна превышать: 7 % для силовых, нагревательных и отопительных приемников с длительным режимом работы; 10 % для силовых, нагревательных и отопительных приемников с кратковременным и повторно-кратковременным режимами работы; 10 и 5 % для сетей освещения и сигнализации при напряжении соответственно не более 55 и свыше 55 В. Потеря напряжения на участке ПРЦ (АРЦ) - генератор не должна превышать 1 % номинального, а на кабеле, питающем 3-фазный АД, - 25 % номинального в момент прямого пуска.

9.4. Методы прокладки кабелей

На судах кабели и провода прокладывают в виде кабельных трасс, состоящих из отдельных кабелей или групп кабелей. Последние образуют ряды и пучки.

Ряд - это группа кабелей, имеющая общее крепление, в которой каждый кабель соприкасается с двумя соседними, кроме крайних (рис. 9.2, а). Если группа кабелей состоит из двух рядов, не разделенных зазором и имеющих общее крепление, то прокладка называется 2-рядной (рис. 9.2, б), если в группе 3 и более рядов, кабели образуют пучок (рис. 9.2, в).

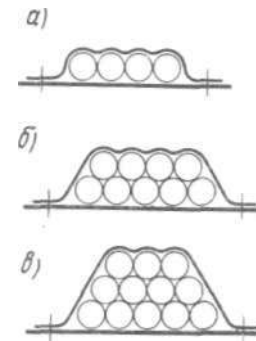


Рис 9.2. Способы прокладки кабелей: о - 1-рядный; б - 2-рядный; з - пучком

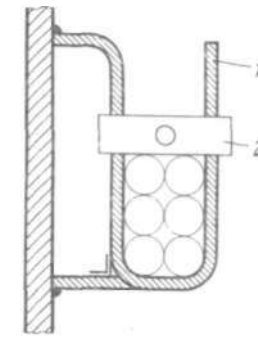


Рис. 9.3. Кассета со скользящим Замком

При прокладке отдельных кабелей применяют скобы, скоб-мосты и перфорированные панели. При прокладке рядов и пучков кабелей применяют специальные подвески, называемые кассетами (рис. 9.3). Кассета состоит из П-образного корпуса 1 и подвижного замка 2, который перемещается вдоль корпуса кассеты в зависимости от ее заполнения. Кассеты приваривают к корпусу судна на определенном расстоянии одна от другой по длине трассы, их можно устанавливать вертикально, горизонтально и наклонно. Пучки кабелей в кассеты укладывают без крепления, что значительно ускоряет и упрощает монтажные работы. Кассетами и скобами крепят кабели с площадью поперечного сечения пучка соответственно до 400 и 150 см². Применяется также свободная укладка кабелей в трубы и желоба.

Кабельные трассы должны быть по возможности прямыми, доступными для осмотра и обслуживания. Места изгиба кабелей должны иметь определенное значение внутреннего радиуса R : обычно $R = (2-10)d$, где d - внешний диаметр кабеля. Для снижения трудоемкости монтажа не рекомендуется применять 1-жильные кабели с площадью сечения жилы более 240 мм², а также 2- и 3-жильные кабели с площадью сечения жил более 120 мм². Поэтому при прокладке трасс для мощных приемников допускается замена одного кабеля несколькими одинаковыми с сохранением суммарной площади сечения жил в фазе или полюсе.

При прокладке кабельных трасс стремятся к минимальному числу пересечений, а в местах пересечений устанавливают мостики, чтобы избежать взаимного касания трасс. При прокладке кабелей, идущих параллельно переборкам, подверженным запотеванию, между кабелями и переборками должно оставаться свободное пространство. Расстояние кабельных трасс от наружной обшивки, противопожарных и водонепроницаемых переборок должно быть не менее 20 мм, от двойного дна и от цистерн топлива и масла - не менее 50 мм, от источников тепла - не менее 100 мм.

Во взрывоопасных помещениях и пространствах разрешается прокладывать кабели, предназначенные только для электрического оборудования, установленного в этих помещениях и пространствах. При этом электрическое оборудование должно быть взрывозащищенного исполнения: искробезопасного (Exi), с оболочкой под избыточным давлением (Exr), с взрывонепроницаемой оболочкой (Exd) или повышенной надежности против взрыва (Exe). Допускается прокладка транзитных кабелей через упомянутые помещения и пространства при условии, что кабели имеют металлическую броню или оплетку, покрытую неметаллической оболочкой, свинцовую оболочку с дополнительной механической защитой.

Не рекомендуется прокладывать кабели под настилом, если же такая прокладка необходима, кабели должны прокладываться в металлических трубах или в закрытых каналах. В местах трассы, где возможны разрыв или повреждение кабеля вследствие деформации корпуса судна из-за волнения моря или нагрева, устраивают компенсационные петли, внутренний диаметр которых должен составлять не менее 12 наружных диаметров кабеля.

При прокладке через водонепроницаемые переборки применяют сальники для одиночных кабелей и кабельные коробки для пучков кабелей. Прокладка кабелей через палубы выполняется в металлических трубах (стояках) или металлических стаканах. Проходы кабелей через водонепроницаемые переборки и палубы должны надежно быть уплотнены, для чего кабельные коробки заполняют уплотнительными массами, стойкими к воздействию огня, воды и нефтепродуктов, не дающими усадок и нарушений герметичности в процессе эксплуатации.

Металлические или броневые оболочки кабелей должны быть надежно заземлены, т. е. электрически соединены с корпусом судна. Для заземления применяют медный провод или металлические скобы, плотно прилегающие к оболочке кабеля. Если кабель проходит через кабельный сальник, для заземления применяют кольца, находящиеся внутри сальника.

Для образования ответвлений от судовых кабелей и проводов применяют разветвительные (крестовые) коробки, внутри которых электрическое соединение кабелей проводят при помощи винтовых зажимов. Для маркировки кабелей и проводов применяют бирки - латунные или фибровые пластинки, прикрепленные к кабелю узким пояском из латуни или оцинкованной стали. На пластинки наносят необходимые маркировочные надписи.

9.5. Защита приемников электроэнергии и электрических сетей

Режимы работы электрических сетей и приемников электроэнергии взаимосвязаны. Это объясняется тем, что электрические сети и приемники связаны гальванически, а ток нагрузки приемника протекает по

цепи: источник электроэнергии - кабель (провод) - приемник. Нарушение нормального режима работы приемника сопровождается нарушением режима работы электрической сети, связанной с этим приемником. Справедливо и обратное утверждение. Например, межвитковое замыкание в обмотке статора АД приводит к увеличению тока как в поврежденной фазе АД, так и в линейном проводе, соединенном с этой фазой. Подобно этому обрыв линейного провода электрической сети вызывает 1-фазный режим работы АД, сопровождаемый увеличением тока в двух остальных фазах АД и линейных проводах.

Защитные устройства. Надежность работы приемников электроэнергии и электрических сетей в нормальном и аварийном режимах обеспечивается комплексом мероприятий, в том числе применением защитных устройств, обеспечивающих защиту от токов КЗ, токов перегрузки, понижения напряжения, обрыва фазы и др. В качестве ЗУ применяют предохранители, селективные и установочные АВ, реле и др. Развитие полупроводниковой техники позволило перейти от ЗУ, которые обеспечивали один, определенный вид защиты, к устройствам, совмещающим в одном изделии несколько видов защит, - тем самым возможно обеспечить полноту, быстрдействие и надежность защит.

ЗУ электрических двигателей должны быть следующих видов: от токов КЗ, токов перегрузки, самопроизвольного повторного пуска ЭД при восстановлении напряжения после обесточивания или снижения напряжения до 60 % и менее (нулевая защита). Исключение составляют ЭД электрогидравлических рулевых устройств, для которых предусмотрена защита только от токов КЗ, а вместо защиты от перегрузки устанавливается сигнализация и не допускается применение нулевой защиты. Последнее обеспечивает повторный автоматический пуск ЭД после восстановления напряжения, тем самым повышается надежность работы рулевого устройства.

ЗУ трансформаторов от токов КЗ и токов перегрузки устанавливают в цепях первичных обмоток. Для трансформаторов мощностью до 6,3 кВ·А допускается применение только предохранителей.

ЗУ измерительных и регистрирующих приборов и контрольных ламп должны обеспечивать защиту от токов КЗ. Допускается применение устройств для ограничения токов КЗ.

ЗУ от обрыва фазы устанавливаются в цепи фидера питания с берега и предназначены для его отключения при обрыве фазы. Тем самым исключается массовый выход из строя судовых 3-фазных АД вследствие перегрузки по току при работе в 1-фазном режиме. Этот вид защиты может быть построен на операционном усилителе DA типа 140УД1В(рис.9.4,а).

Принцип действия ЗУ основан на сравнении двух напряжений: входного $U_{вх}$ и опорного $U_{оп}$, приложенных соответственно к инверсному 9 и прямому 10 входам. Напряжение $U_{вх}$ получено при помощи схемы выпрямления на диодах VD1-VD3 и пропорционально току фидера питания с берега. Напряжение $U_{оп}$ создано током, протекающим

по цепи: "+" 6,3 В - потенциометр $RP1$ - корпус, снимается с нижней части потенциометра. Дифференциальное входное напряжение $AU = U_{Bx} - U_{on}$ между входами 9 и 10 имеет полярность большего из этих напряжений.

При нормальном режиме работы береговой сети $f_{Bx} > U_{on}$ (рис. 9.4, б), поэтому напряжение AU имеет полярность: "+" на входе 9, "-" на входе 10. Через входы усилителя DA протекает ток по цепи: "+" схемы выпрямления - $R4$ - вход 9 - вход 10 - $R5$ - $RP1$ - "-" схемы выпрямления. На выходе усилителя DA существует небольшое отрицательное напряжение t_{Bbix1} (рис. 9.4, в), недостаточное для включения реле $KV1$.

При обрыве фазы токи в исправных фазах одинаковы по значению и сдвинуты на 180° . При этом в промежутках времени Δt входное напряжение уменьшается до значения $U_{Bx} < U_{on}$ (рис. 9.4, г), вследствие чего полярность напряжения AU изменяется на обратную. Через входы усилителя DA потечет ток обратного направления по цепи: "+" 6,3 В - верхняя часть $RP1$ - $R5$ - вход 10 - вход 9 - $VD4$ - корпус. На выходе усилителя DA напряжение скачком изменится от t_{Bbix1} до U_{Bbix2} (рис. 9.4, д). При этом включается реле $KV1$, замыкающее свои контакты в цепи независимого расцепителя АВ питания с берега, который отключает береговую сеть от судна.

Диодный ограничитель напряжения на диоде $VD4$ предназначен для ограничения напряжения на входе 9 до безопасного значения при

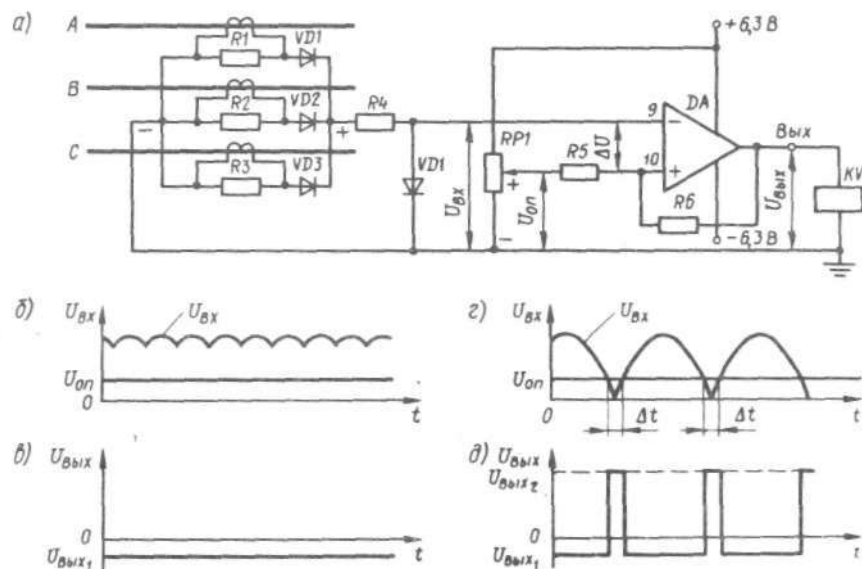


Рис. 9.4. Принципиальная схема защитного устройства от обрыва фазы (в) и графики напряжений (б, в, г, д)

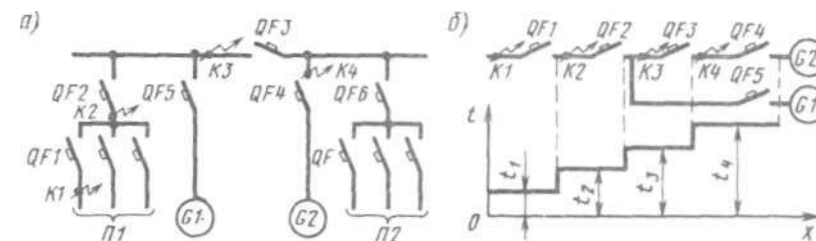


Рис. 9.5. Избирательная защита участков электрической сети: а — принципиальная схема; б — временная диаграмма

токах перегрузки и $K3$ в цепи фидера питания с берега. При номинальном токе фидера ток через $VD4$ не протекает, так как прямое напряжение на диоде меньше порогового, при котором диод открыт. При увеличении тока в цепи фидера увеличивается выпрямленное диодами $VD1$ - $VD3$ напряжение, вследствие чего напряжение на $R4$ становится больше порогового. Через резистор $R4$ и открытый диод протекает ток, создающий на $VD4$ практически неизменное напряжение. Последнее объясняется тем, что при увеличении выпрямленного напряжения одновременно возрастает падение напряжения на $R4$.

Входящие в состав СУ СЭС "Ижора" и "Ижора-М" устройства защиты от обрыва фазы и сигнализации о снижении напряжения типа ЗОФН недостаточно надежны в эксплуатации и требуют доработки.

Избирательность защиты электрических сетей. Это свойство защиты состоит в отключении в кратчайшее время поврежденного участка сети с сохранением бесперебойного снабжения электроэнергией остальных. Пусть работу приемников электроэнергии обеспечивает генератор $G2$, а генератор $G1$ отключен (рис. 9.5, о). Включены АВ: генератора $QF4$, секционный $QF3$, распределительного щита $QF2$ и отдельного приемника $QF1$. Точками $K1$ - $K4$ обозначены возможные места (ступени) $K3$. При $K3$ на любой из ступеней должен отключиться только один из перечисленных АВ. Избирательность защиты сети можно получить настройкой ЗУ по времени отключения или току срабатывания.

Избирательность защиты по времени отключения достигается при выполнении условия $t_x < t_2 < \dots < t_n$, где t_1, t_2, \dots, t_n - время отключения АВ на соответствующем участке сети. Таким образом, быстрее остальных должен отключаться АВ, наиболее удаленный от генератора. Например, при $K3$ в точке $K1$ первым должен отключиться выключатель $QF1$ (рис. 9.5, б). Нарушение этого условия приводит к необоснованному отключению неповрежденных участков сети и затрудняет поиск поврежденного участка.

Избирательность защиты по времени невозможно обеспечить при помощи установочных АВ, отключающих токи $K3$ практически мгновенно, так как собственное время срабатывания всех аппаратов этого

типа примерно одинаково и не регулируется. Поэтому установочные АВ применяют для защиты наиболее удаленных от генераторов участков электрической сети (в основном фидеров с приемниками электроэнергии). Создать систему избирательной защиты по времени позволяют селективные АВ типов АМ и АМ-М, снабженные замедлителями расцепления с уставками на срабатывание в зоне токов КЗ: 0,18; 0,38; 0,63 и 1,0 с. Указанные уставки обеспечивают возможность построения 5-ступенной системы защиты по времени при условии, что на последней ступени применен установочный АВ с собственным временем срабатывания $t < 0,03$ с.

Избирательность по времени можно получить при помощи предохранителей. Для этого необходимо, чтобы номинальные токи плавких вставок предохранителей на защищенных смежных участках сети отличались не менее чем на 3-4 ступени применяемого рода номинальных токов: 6, 10, 15, 20, 25, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 225, 300, 350, 430, 500 и 600 А.

Избирательность защиты по току срабатывания достигается при выполнении условия $i_j < i_2 < \dots < i_n$, где i_j, i_2, \dots, i_n - токи срабатывания (отключения) ЗУ на отдельных участках сети. Таким образом, ток отключения ЗУ должен уменьшаться по ступеням защиты в направлении от источника электроэнергии к приемникам. Однако практически добиться полной избирательности по току не всегда возможно вследствие того, что токи КЗ отдельных участков электрической сети могут достигать значений, при которых происходит одновременное отключение АВ на двух-трех защищаемых смежных участках.

9.6. Простейшие методы контроля сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции кабелей и проводов. Изолирующие оболочки кабелей и проводов не являются идеальными диэлектриками. Это означает, что через оболочку любого провода протекает ток I^{\wedge} утечки, источником которого является генератор СЭС или любой другой источник электроэнергии. Сопротивление оболочки провода протеканию упомянутого тока называется сопротивлением изоляции $R = U/I^{\wedge}$, где U - напряжение источника электроэнергии.

Различают 2 вида сопротивления изоляции: отдельного провода относительно корпуса z (r_2) и между токоведущими жилами r_{12} (рис. 9.6, а). Поэтому ток утечки I^{\wedge} имеет 2 составляющие: $I^{\wedge} = C/(tj + r_2)$ и $I^{\wedge} = U/r_{12}$, причем $I^{\wedge} \ll IL + I^{\wedge}$. В сетях переменного тока ток утечки имеет активную и емкостную составляющие. Наличие последней объясняется тем, что жила и корпус судна образуют своеобразные обкладки конденсатора, между которыми заключен диэлектрик - оболочка кабеля. Поэтому полное сопротивление Z изоляции провода относительно корпуса образовано параллельно соединенными активным r и емкостным x_c сопротивлениями (рис. 9.6, б).

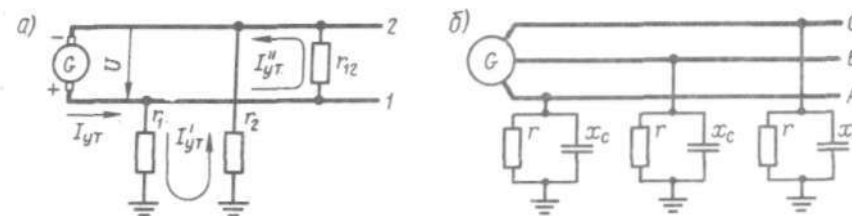


Рис. 9.6. Схемы электрических сетей постоянного (а) и переменного (б) тока с различными видами сопротивления изоляции

Токи утечки каждого элемента длины кабеля, замыкаясь через источник, образуют параллельные ветви. Поэтому чем длиннее линия, тем больше параллельных ветвей для указанных токов и тем меньше сопротивление изоляции линии. Токи утечки создаются не только линиями электропередачи, но также источниками и приемниками электроэнергии через сопротивление изоляции обмоток электрических машин. Поэтому одновременное включение большого числа приемников, каждый из которых имеет достаточно высокое сопротивление изоляции, может привести к значительному снижению сопротивления изоляции судовой сети.

Токи утечки, помимо тока жилы, вызывают дополнительный нагрев изоляции и ускоряют ее старение. Поэтому нагрев изоляции токоведущих жил кабелей и проводов не должен превышать пределов температур ($^{\circ}C$), допускаемых классом изоляции:

A	105	B	130	H	180
E	120	F	155	C	> 180

На состояние изоляции также существенно влияют внешние факторы: влажность и температура воздуха, вибрация и др. Снижение сопротивления изоляции ниже установленных норм (табл. 3) может вызвать пожар электрооборудования или стать причиной поражения человека электрическим током.

Систематический контроль сопротивления изоляции может проводиться как при снятом напряжении, так и при его наличии на электрооборудовании.

Измерение сопротивления изоляции СЭС, не находящегося под напряжением. На судах для измерения сопротивления изоляции обесточенного СЭО применяют специальные электроизмерительные приборы - переносные мегаомметры типов М1 101, М1 102, БМ-1 и БМ-2. Принцип действия приборов заключается в искусственном создании и последующем измерении тока утечки, значение которого зависит от сопротивления изоляции. Поэтому мегаомметры имеют источник утечки (источник питания) и измерительное устройство со шкалой, мроградуированной в килоомах или мегаомах.

Таблица 3. Нормы сопротивления изоляции

Электрооборудование	Сопротивление изоляции в нагретом состоянии, МОм	
	нормальное	минимально допустимое
Электрические машины	0,7	0,2
Магнитные станции, пусковые устройства	0,5	0,2
Шиты (главные, аварийные, распределительные), пульты управления (при отключенных внешних цепях, сигнальных лампах указателей заземления, вольтметрах и др.) напряжением, В:		
до 100	0,3	0,06
101-500	1,0	0,2
Аккумуляторные батареи (при отключенных приемниках) напряжением, В:		
до 24	0,1	0,02
25-220	0,5	0,1
Фидер кабельной сети напряжением, В:		
освещения:		
до 100	0,3	0,06
101-220	0,5	0,2
силовой 100—500	1,0	0,2
Цепи управления, сигнализации и контроля напряжением, В:		
до 100	0,3	0,06
101-500	1,0	0,2

Индукторный мегаомметр типа М1101 (рис. 9.7, а) снабжен встроенным генератором (индуктором) переменного тока G с ручным приводом. Напряжение генератора, выпрямляемое несимметричной мостовой схемой на диодах $VD1$, $VD2$, конденсаторах $C1$, $C2$, подается на измерительное устройство $ИУ$ логометрического типа с рабочей $1-1$ и противодействующей $2-2$ рамками. Обе рамки и укрепленная с ними на одной оси стрелка образуют подвижную систему, поворачивающуюся внутри поля постоянного магнита $N-S$. Вращающиеся моменты обеих рамок направлены противоположно, причем по часовой стрелке у противодействующей рамки. На лицевой части прибора имеются зажимы $З$ (земля), $Л$ (линия), $Э$ (экран) и переключатель SI с двумя положениями: МОм и кОм. Провод, идущий изнутри прибора к зажиму $Л$, экранирован, причем экранирующая оболочка соединена с зажимом $Э$.

На схеме переключатель SI находится в положении МОм. При вращении рукоятки генератора G образуются 2 параллельные ветви (рис. 9.7, б) с токами $I_1 = U/(R_{1-1} + R_4 + R_3)$ и $I_2 = U/(R_{2-2} + R_1 + R_x + R_2)$, где R_{1-1} и R_{2-2} — сопротивления соответственно измерительной и противодействующей рамок. В ветви с током I_2 сопротивления R_x и R_2 соединены последовательно. Из соотношений, приведенных для

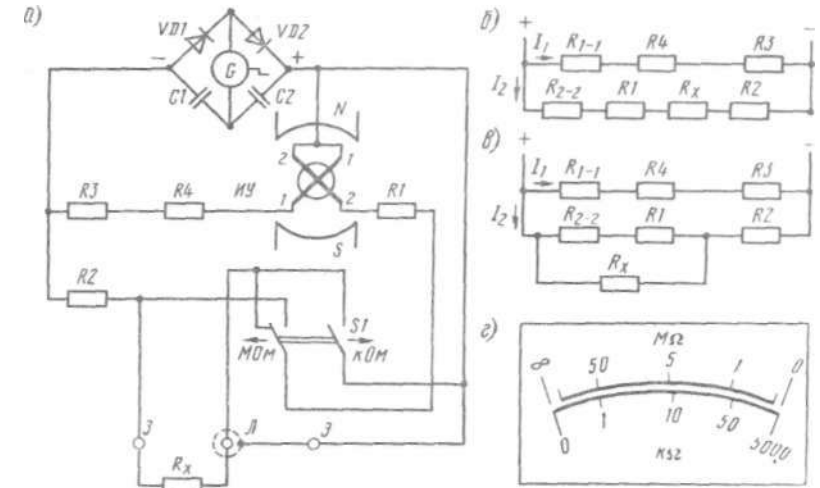


Рис. 9.7. Индукторный мегаомметр М1101:

а — принципиальная схема; б, в — схемы замещения при измерении сопротивления изоляции в положениях соответственно "МОм" и "кОм"; г — шкала

токов I_1 и I_2 , следует, что с уменьшением R_x ток I_x не изменяется, а ток I_2 увеличивается. Поэтому угол поворота подвижной части прибора $\alpha = k I_2 / I_1$ увеличивается и при $R_x = 0$ становится наибольшим. Стрелка прибора устанавливается в крайнее правое положение напротив отметки "0" верхней шкалы (рис. 9.7, г).

Если переключатель SI перевести в положение кОм, измеряемое сопротивление R_x относительно участка цепи с измерительной рамкой $2-2$ подключается параллельно (рис. 9.7, в) и при $R_x = 0$ замыкает рамку накоротко. Вращающий момент измерительной рамки уменьшается до нуля, стрелка прибора под действием вращающего момента рабочей рамки поворачивается против часовой стрелки и устанавливается напротив отметки "0" нижней шкалы.

Безындукторный мегаомметр типа БМ-1 (рис. 9.8) более удобен в эксплуатации, так как вместо генератора с ручным приводом источником питания в нем служит батарея GB из трех сухих элементов общим напряжением 4,8 В. При нажатии кнопки SB , вмонтированной в один из двух щупов прибора, питание от батареи подается на мультивибратор, собранный на транзисторах $VT1$ и $VT2$, резисторах $R2-R6$ и конденсаторах $C1$, $C2$. Мультивибратор представляет собой генератор периодических импульсов прямоугольной формы. Эти импульсы через транзисторы $VT3$ и $VT4$, работающие в ключевом режиме, подаются поочередно на одинаковые половины tj_1 и w_2 первичной обмотки трансформатора TV . При этом через коллектор - эмиттер транзистора

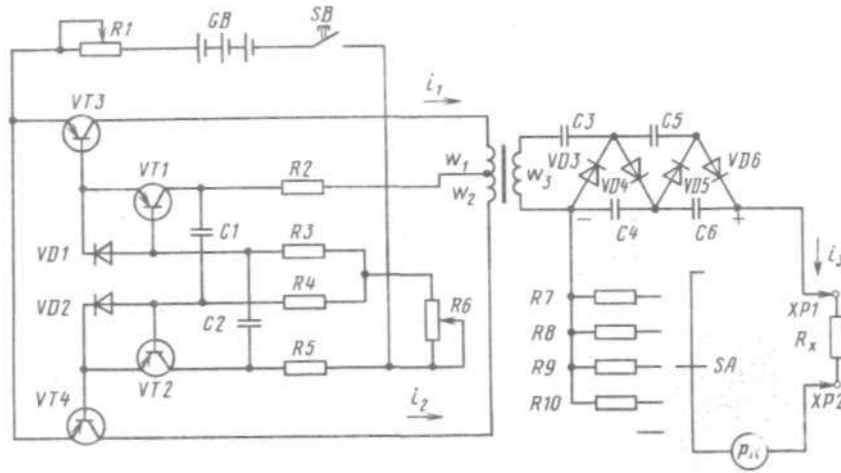


Рис. 9.8. Принципиальная схема безындукторного мегаомметра БМ-1

VT3 (VT4), половину обмотки w_1 (w_2) первичной обмотки и контакты кнопки SB протекает пульсирующий ток i_x (i_2). В результате во вторичной обмотке w_2 индуцируется переменная ЭДС, поступающая на умножитель напряжения на конденсаторах C3-C5 и диодах VD3-VD6. Умножитель напряжения одновременно выполняет функцию выпрямителя, поэтому в измерительной цепи протекает выпрямленный ток i_x . В состав этой цепи входят резисторы R7-R10, переключатель SA пределов измерения сопротивлений, микроамперметр PR, шкала которого проградуирована в мегаомах, и измеряемое сопротивление R_x

Переменные резисторы служат: R1 - для установки стрелки прибора на нулевую отметку (до начала измерений); R6 - для получения необходимого значения тока базы транзисторов VT1 и VT2. Диоды VD1 и VD2 обеспечивают температурную стабилизацию режима работы этих транзисторов.

Правила измерения сопротивления изоляции заключаются в следующем. Сначала проверяют исправность мегаомметра, для чего соединяют накоротко зажимы Л и З, и, вращая рукоятку, убеждаются в установке стрелки прибора на нулевую отметку. Затем отключают напряжение с объекта измерения, после чего обязательно проверяют отсутствие напряжения исправным индикатором. Отсчет сопротивления изоляции следует проводить через 1 мин после приложения рабочего напряжения мегаомметра. Считается, что по истечении этого времени закончится заряд емкостей объектов измерений - электрических сетей или машин, и токи утечки через емкости, создающие погрешности измерений, уменьшатся до нуля. После окончания измерений необходимо снять с сети заряд кратковременным заземле-

нием жил или их соединением между собой. Это позволит избежать поражения человека электрическим током при случайном прикосновении к жилам.

Для измерения сопротивления изоляции линии относительно корпуса мегаомметр включают между корпусом судна и поочередно каждой жилой кабеля (источники тока и приемники должны быть отключены). При этом измеряют не истинное, а эквивалентное сопротивление изоляции, которое всегда меньше истинного. Например, в 2-проводной линии (рис. 9.9, а) эквивалентное сопротивление изоляции R_j провода / относительно корпуса образовано двумя параллельными ветвями (рис. 9.9, б). Поэтому $R_x = r_1 r_2 / (r_1 + r_2 + r_{12}) < m_x$.

Для измерения сопротивления изоляции между проводами линии мегаомметр включают поочередно между парами проводов. В 2-проводной линии (рис. 9.9, в) эквивалентное сопротивление изоляции R_{12} образовано двумя параллельными ветвями (рис. 9.9, з), поэтому $i_{12} = u / (r_1 + r_2 + r_{12})$. При измерении относительно корпуса сопротивления изоляции кабеля с влажной или загрязненной поверхностью через рабочую рамку мегаомметра протекает дополнительно поверхностный ток утечки. Для исключения влияния последнего на изолирующую оболочку кабеля накладывают несколько витков проволоки, соединяя их с зажимом Э (рис. 9.10).

Во всех случаях измерения сопротивления изоляции жилы относительно корпуса к жиле присоединяют отрицательный полюс мегаомметра (зажим Л), а к корпусу - положительный (зажим З). При нарушении этого правила в месте присоединения вывода мегаомметра к жиле возникает явление электролиза, приводящее к увеличению в указанном месте переходного сопротивления и вносящее погрешность в результате измерения.

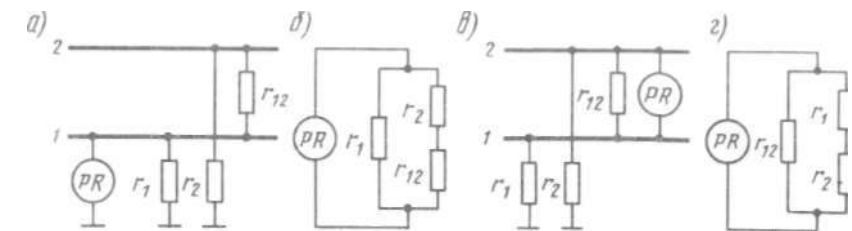


Рис. 9.9. Схемы измерения сопротивления изоляции и замещения при измерении относительно корпуса (а, б) и между жилами (в, з)

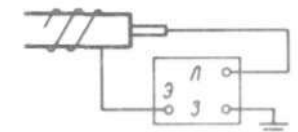


Рис. 9.10. Схемы измерения сопротивления изоляции кабеля с влажной или загрязненной поверхностью

Таблица 4. Номинальные данные мегаомметров для измерения изоляции электрических сетей с различным напряжением

Напряжение сети, В	Выходное напряжение прибора, В	Верхний предел измерения, МОм
24	100	100
110-250	250	300
400	500	500
1000	1000	1000
> 1000	2500	3000

Измерение сопротивления изоляции обмоток электрических машин и трансформаторов проводится так же, как и линий электропередачи. Последние должны быть отключены, а сопротивление изоляции каждой обмотки необходимо измерять отдельно.

Выходное напряжение мегаомметров должно соответствовать напряжению измеряемой сети. Если напряжение мегаомметра значительно больше напряжения сети, возможен пробой изоляции при измерениях, если меньше, измеренное прибором сопротивление изоляции будет больше действительного. Поэтому выпускают мегаомметры пяти модификаций, отличающихся выходными напряжениями и наибольшими значениями измеряемого сопротивления (табл. 4).

Измерение сопротивления изоляции СЭО, находящегося под напряжением. Сопротивление изоляции электрических сетей, находящихся под напряжением, измеряют с включенными приемниками посредством щитовых вольтметров и мегаомметров. В сетях постоянного тока (рис. 9.11, а) на ПРЩ устанавливают вольтметр *PV* с известным внутренним сопротивлением $R_b > 100$ кОм. При помощи 2-полюсного переключателя 5 проводов 3 измерения напряжения: в положении 1 измеряют напряжение U судового сети, в положении 2 - напряжение U_1 между положительной шиной и корпусом, в положении 3 - напря-

жение U_2 между отрицательной шиной и корпусом. Эквивалентное сопротивление изоляции сети относительно корпуса

$$r_c = R_b \left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1 \right).$$

В сетях переменного тока (рис. 9.11, б) используют схему с тремя вольтметрами *PV1-PV3*, соединенными в "звезду" (нулевая точка заземлена). Если сопротивление изоляции каждого провода одно и то же, так как $r_1 = r_2 = r_3$, то при нажатии на кнопку *S* показания вольтметров будут одинаковыми и равными фазному напряжению. При уменьшении сопротивления изоляции показания вольтметра, соединенного с поврежденным проводом, уменьшаются, а двух других увеличиваются. Например, при замыкании провода 1 на корпус ($r_1 = 0$) показания вольтметра *PV1* уменьшатся до нуля, так как указанный вольтметр замкнут накоротко параллельно включенным r_2 , а вольтметры *PV2* и *PV3* покажут линейные напряжения. Недостаток схемы состоит в том, что при равномерном уменьшении сопротивления изоляции всех трех проводов показания вольтметров не будут изменяться. Кроме того, схема не позволяет определить значение сопротивления изоляции проводов непосредственно в единицах сопротивления.

Последнего недостатка лишены схемы, в которых применяют щитовые мегаомметры разных типов. В основу работы этих приборов положен метод наложения постоянного тока на сеть переменного тока. В схеме, показанной на рис. 9.11, в, для получения постоянного тока используется непосредственно сеть переменного тока, напряжение которой выпрямляется диодами *VD*. Для ограничения токов утечки $I_{ут}$ последовательно с диодами включены резисторы *R*. В качестве измерительного прибора использован миллиамперметр *PR* постоянного тока, шкала которого проградуирована в килоомах.

9.7. Автоматизированные методы контроля сопротивления изоляции

Для автоматизированного контроля сопротивления изоляции электрических сетей применяют разные методы, однако наибольшее распространение получил метод наложения постоянного тока на контролируруемую сеть переменного тока. Этот метод использован в блоке контроля изоляции типа БКИ-2, входящем в СУ СЭЭС "Ижора-М".

Блок контроля изоляции БКИ-2. Этот блок предназначен для непрерывного автоматического контроля сопротивления изоляции двух электрически не связанных сетей напряжением до 400 В как под напряжением, так и при обесточивании. Такими сетями обычно являются силовая напряжением 380 В и освещения напряжением 220 В, поэтому блок БКИ-2 имеет 2 одинаковых по устройству канала.

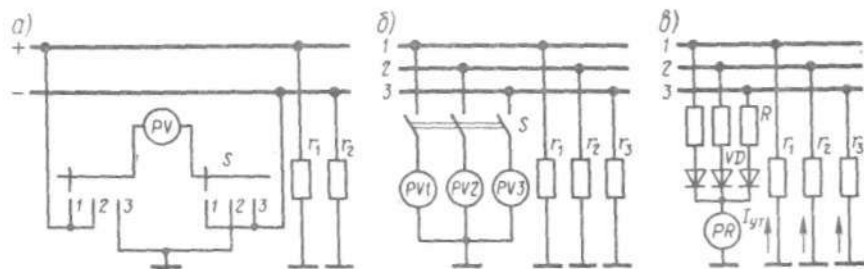


Рис. 9.11. Схемы измерения сопротивления изоляции электрических сетей постоянного (а) и переменного (б, в) тока

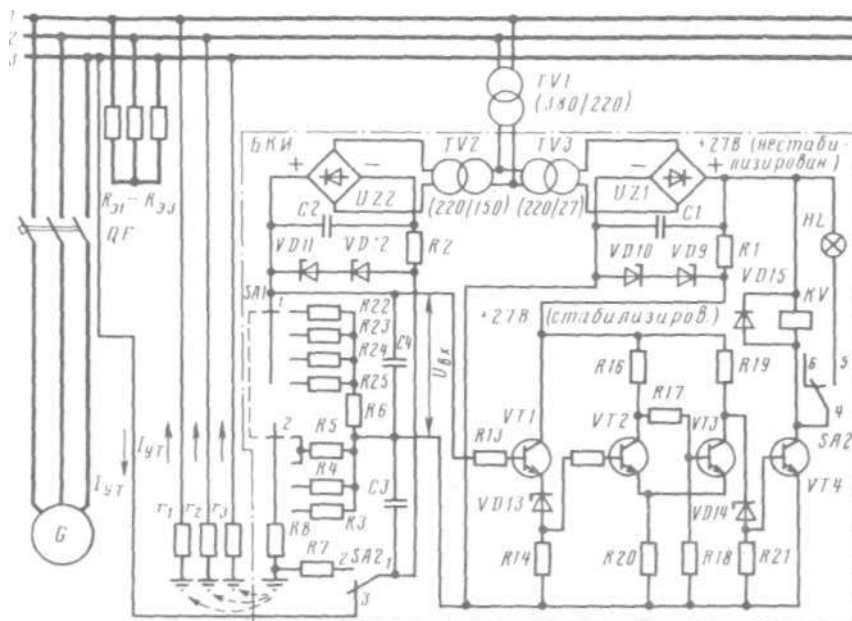


Рис. 9.12. Принципиальная схема канала контроля силовой сети напряжением 380 В блока контроля изоляции БКИ-2

Канал контроля силовой сети 380 В (рис. 9.12) питается от указанной сети, напряжение которой понижается до 220 В при помощи трансформатора напряжения $TV1$, а затем до 150 и 27 В соответственно трансформаторами $TV2$ и $TV3$. Напряжение 150 В предназначено для создания тока утечки $I_{ут}$ через измеряемое сопротивление изоляции, поэтому выпрямляется при помощи выпрямителя UZZ . Для стабилизации напряжения и тем самым исключения ложных срабатываний блока в схеме использован параметрический стабилизатор напряжения на стабилитронах $VDU-VDI2$ и резисторе $R2$. Конденсатор $C2$ выполняет функцию фильтра. Стабилизированное напряжение 150 В подается на измерительную цепь, которая включает в себя резисторы $R22-R25$ уставок сопротивления изоляции, резисторы $R3-R8$, переключатель уставок $SA1$ и фильтрующие конденсаторы $C3, C4$.

Напряжение 27 В предназначено для питания исполнительной части блока, построенной на транзисторах $VT1-VT4$ и реле напряжения KV . При этом на участке схемы с транзисторами $VT1-VT3$ используется стабилизированное, а на участке с $VT4$ нестабилизированное напряжение. Транзисторы $VT2$ и $VT3$ образуют триггер Шмитта.

Переключатель $SA1$ имеет 4 положения, соответствующие четырем значениям (уставкам) сопротивления изоляции контролируемой сети:

200, 100, 50 и 25 кОм. Кнопка $SA2$ служит для проверки исправности блока.

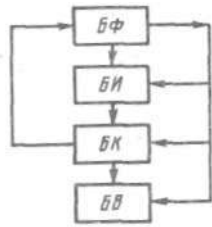
Электрическая сеть с включенными в нее источниками и приемниками электроэнергии имеет определенные значения эквивалентного сопротивления изоляции относительно корпуса ($r_{и}, r_2, m_3$) и эквивалентного активного сопротивления (D_{31}, I_{32}, I_{33}). На практике 2-е из названных сопротивлений значительно меньше 1-го, поэтому можно принять $I_{31} = I_{32} = D_{33} = 0$, что равнозначно соединению между собой проводов 1, 2, 3. Тогда резисторы r_1, r_2, m_3 окажутся соединенными параллельно, и при $m_x = m_2 = r_3 = r$ эквивалентное сопротивление изоляции электрической сети $r_3 = r/3$.

Канал работает следующим образом. При включении блока под действием напряжения 150 В образуется цепь тока утечки: "+" UZZ - контакт 1 переключателя $SA1-R22-R6-R5$ - контакт 2 переключателя $SA1-R8$ - корпус - параллельно соединенные r_1, r_2, r_3 - провод 3 - контакты 3, 1 кнопки $SA2-R2$ - "-" UZZ . Ток утечки создает на участке $(R22 + R6)$ измерительной цепи напряжение $U_{вх}$, которое подается на эмиттерный повторитель на транзисторе $VT1$, образующий вход измерительной части блока. Повторитель имеет большое входное сопротивление. Это позволяет исключить шунтирующее действие элементов исполнительной цепи на упомянутый участок измерительной цепи и тем самым избежать ложных срабатываний блока.

При сопротивлении изоляции сети, большем заданного переключателем $SA1$ сопротивления уставки, ток утечки невелик, поэтому напряжение $U_{вх}$ недостаточно для пробоя стабилитрона $VD13$. Ток через резистор $R14$ и падение напряжения на нем равны нулю, закрыт транзистор $VT2$ и открыт $VT3$. Последний шунтирует вход транзистора $VT4$, поэтому $VT4$ закрыт, катушка реле KV обесточена.

При снижении сопротивления изоляции сети до значения, меньшего уставки, ток I увеличивается до значения, при котором $U_{вх}$ становится достаточным для пробоя $VD13$. При этом образуется цепь тока базы транзистора $VT1$: "+" $UZZ-R13$ - база - эмиттер транзистора $VT1-VDI3-R14-R5$ - контакт 2 переключателя $SA1-R8$ - корпус - параллельно соединенные r_1, r_2, r_3 - провод 3 - контакты 3, 1 кнопки $SA2-R2$ - "-" UZZ . Транзистор $VT1$ открывается, вследствие чего через $R1$, коллектор-эмиттер транзистора $VT1, VD13, R14$ потечет ток, создавая на $R14$ напряжение, «опрокидывающее триггер Шмитта на транзисторах $VT2, VT3$. Напряжение на выходе закрытого $VT3$ увеличивается до напряжения пробоя стабилитрона $VD14$, поэтому через $R19$ и $R21$ потечет ток и падение напряжения на $R21$ станет достаточным для отпирания транзистора $VT4$. При этом получит питание реле KV , включающее цепь сигнализации.

Для контроля исправности блока нажимают 2-полюсную кнопку $SA2$, через контакты 1, 2 которой в измерительную цепь вместо m_x, r_2, r_3 вводится резистор $R7$, имитирующий снижение сопротивления изоляции сети. Если блок исправен, включается реле KV и одновременно



загорается сигнальная лампочка *HL*, цепь которой образована контактами 4,5 кнопки *SA2*.

Для определения поврежденного элемента сети на ГРЩ поочередно отключают фидеры (если это возможно по условиям эксплуатации) до тех пор, пока не будет обнаружен фидер, отключение которого привело к восстановлению сопротивления изоляции. Дальнейший поиск проводится, как правило, на обесточенном СЭО при помощи переносного мегаомметра и отнимает немало времени,

Рис. 9.13. Структурная схема автоматической системы диагностирования изоляции СЭЭС

Автоматическая система диагностирования изоляции. Разработанная в последнее время система диагностирования изоляции сводит к минимуму время поиска поврежденного участка или элемента электрической сети. В состав системы входят 4 блока (рис. 9.13). Функциональный блок *BF* совмещает функции источника питания остальных блоков системы и блока формирования контрольных напряжений с последующей выдачей их в судовую сеть и на обесточенные элементы СЭЭС. Кроме того, это блок выдает в измерительный блок *BI* напряжения, пропорциональные токам утечки всей СЭЭС и ее отдельных элементов. В блоке *BI* указанные напряжения преобразовываются и измеряются. С выхода этого блока напряжения, пропорциональные активным сопротивлениям изоляции всей СЭЭС и ее отдельных элементов, поступают на вход контролирующего блока *BK*, в котором сравниваются с напряжениями уставок. При снижении сопротивления изоляции до недопустимого уровня блок *BK* разрешает работу выходного блока *BV*. Последний включает сигнализацию, указывает номер элемента СЭЭС с дефектом изоляции и регистрирует результаты контроля.

Описанная система позволяет автоматизировать отключение элементов СЭЭС с пониженной изоляцией и одновременное включение резервных. Ее применение в качестве подсистемы управления СЭЭС дает возможность практически бесперебойно снабжать электроэнергией СТС, и в первую очередь средства, обеспечивающие безопасность плавания.

9.8. Защита от помех радиоприему

Источники помех. Такими источниками на судах могут быть эхолоты, гидролокаторы, а также ЭП, в состав которых входят статические преобразователи электроэнергии на тиристорах. Все эти устройства потребляют из сети энергию в виде последовательных импульсов, создающих вокруг устройств электромагнитные колебания высокой частоты. Колебания помех попадают в радиоприемную аппаратуру как через наружные антенные устройства, так и по питающим кабелям судовой электросети. Источниками помех радиоприему являются

также искрящие щетки электрических машин. Они создают электромагнитные колебания практически неограниченного спектра частот, перекрывающего все диапазоны радиоприема. Искрение возникает и при размыкании контактов выключателей и переключателей, контакторов, реле и других электромагнитных аппаратов.

Методы защиты от помех. На судах нашли широкое применение следующие методы: рациональный выбор мест установки электрических устройств и прокладки кабельных трасс; применение шунтирующих цепочек, встроенных или приставных фильтров; экранирование кабелей и проводов; заземление СЭО.

Электрические устройства, создающие помехи радиоприемнику, должны располагаться на возможно большем расстоянии от судовых средств радиосвязи в помещениях, металлические части конструкций которых являются естественным экраном. Кабели эхолотов, гидролокаторов и других устройств, несущие импульсы большой силы тока, должны прокладываться в металлических трубах отдельно от других кабелей. В электромагнитных аппаратах применяют шунтирующие цепочки *C*- и *LC*-типа (рис. 9.14, *a*, *b*), включенные параллельно контактам аппаратов.

Встроенные фильтры, чаще всего *C*-типа, являются составной частью конструкции электрических устройств и обеспечивают их индивидуальную или групповую защиту. Конденсаторы *C1*, *C2* машин постоянного тока (рис. 9.14, *в*), располагаемые в коробке выводов, являются средством индивидуальной защиты. Групповую защиту осуществляют конденсаторы, встраиваемые внутрь корпусов РЩ.

Приставные фильтры типов *ФЕ* и *ФИЕ* (рис. 9.14, *г*, *д*) выпускают в виде законченных изделий в корпусе брызгозащищенного исполнения. Буквы в типе фильтров обозначают: *Ф* - фильтр, *Е* - емкость, *И* - индуктивность. Фильтры применяют для подавления помех радиоприему в диапазоне 0,16-150 МГц в электрических сетях постоянного и переменного тока и включают в рассечку кабеля, т. е. последовательно с линией электропередачи. Выводы 1-1 соответствуют входу, выводы 2-2 - выходу фильтров. Номинальные токи фильтров составляют 4, 10, 20 и 70 А. Основной характеристикой фильтра является эффективность, показывающая, во сколько раз фильтр снижает уро-

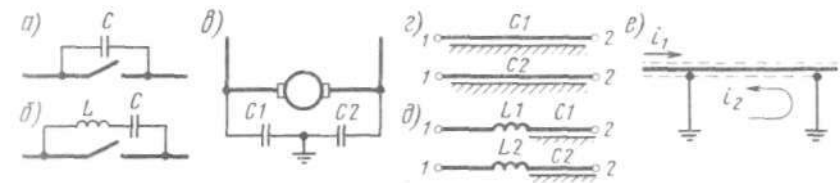


Рис. 9.14. Схемы защиты от помех радиоприему при помощи шунтирующих цепочек *C*-типа (*a*) и *LC*-типа (*б*), встроенных конденсаторов (*в*), приставных фильтров типа *ФЕ* (*г*) и *ФИЕ* (*д*), экранирования кабеля (*е*)

вень помех. Эффективность фильтров ФЕ и ФИЕ составляет 15-100 ед., причем большей эффективностью обладают фильтры типа ФИЕ.

Экранирование кабелей и проводов проводят при помощи наружной металлической оболочки, которую обязательно заземляют, т. е. электрически соединяют с корпусом судна на обоих концах кабеля или провода (рис. 9.14, е). Эту оболочку по отношению к токоведущей жиле кабеля можно рассматривать как вторичную обмотку трансформатора, первичной обмоткой которого является жила. Высокочастотная составляющая тока i_j жилы создает электромагнитное поле, которое пересекает экранирующую оболочку и наводит в ней вторичную ЭДС той же частоты. Поэтому в короткозамкнутой цепи экранирующая оболочка - корпус судна протекает ток i_2 , который создает собственное высокочастотное электромагнитное поле, направленное навстречу электромагнитному полю тока жилы и практически компенсирующее его.

Заземленные металлические корпуса электрических машин, приборов, аппаратов и др. представляют собой естественные экраны. Для снижения уровня помех наряду с заземлением оболочек кабелей добиваются непрерывности экранирования, т. е. электрического соединения оболочек кабелей не только с корпусом судна, но и с заземленными металлическими корпусами и кожухами устройств. Допустимые уровни напряжений электрических помех на зажимах электрических устройств - источников помех - устанавливаются Правилами Регистра СССР. Например, допустимый уровень помех частотой 1 МГц в районах ниже главной палубы составляет 3,9 мВ, выше главной палубы - 0,78 мВ, на палубе рулевой рубки - 0,07 мВ.

9.9. Техническая эксплуатация электрических сетей

Техническую эксплуатацию электрических сетей регламентируют следующие основные руководящие документы (РД):

в обычной эксплуатационной обстановке - РД 31.21.30-83 "Правила технической эксплуатации судовых технических средств";

при электроснабжении с берега во время стоянки в портах - РД 31.21.81 - 79 "Инструкция по электроснабжению судов от береговой сети";

при электроснабжении с берега во время стоянки на судостроительном или судоремонтном заводе - РД 31.83.03-67 "Правила по электробезопасности ремонтируемых и строящихся судов ММФ".

На судах, помимо стационарных, могут применяться временные электрические сети. Использование последних допускается в следующих случаях: для подключения изотермических контейнеров и зерноперегрузателей, подключения лихтеров и толкаемых составов, электроснабжения судна от береговой сети во время стоянок в портах и на судоремонтных заводах, в аварийных случаях.

Техническое обслуживание имеет целью поддержание исправного технического состояния электрических сетей. Все кабель-

ные сети должны тщательно осматриваться не реже 1 раза в 6 мес. При этом проверяют: наличие и состояние защитных кожухов и состояние оболочек кабелей (в них не должно быть прожогов, разрывов и вмятин); нагрев кабелей; исправность заземлений металлических оплеток кабелей; отсутствие масла и топлива на кабелях; состояние окраски и антикоррозионных покрытий кабелей. Одновременно проверяют прочность крепления перемычек и шин защитных заземлений. Переходное сопротивление между заземляющим винтом и оболочкой кабеля, измеренное омметром, не должно превышать 0,01 Ом.

Кабельные проходные коробки и групповые сальники необходимо проверять на герметичность всякий раз, когда возникает подозрение в нарушении их герметичности, и не реже 1 раза в 4 года. Окраска кабелей, конструкций их крепления и кожухов на открытых палубах и в трюмах проводится не реже 1 раза в 4 года силами единой технической службы под руководством боцмана.

Важнейшим эксплуатационным параметром электрических сетей является сопротивление изоляции, измерение которого должно проводиться не реже 1 раза в сутки при помощи щитового мегаомметра. Независимо от этого необходимо не реже 1 раза в месяц измерять при помощи переносного мегаомметра сопротивление изоляции всего электрооборудования, включая кабельные сети. Результаты измерений вносят в журнал технического состояния электрооборудования.

Ремонт электрических сетей чаще всего заключается в замене поврежденных участков кабельной трассы или их сращивании с одноименной установкой кабельной муфты. В последнем случае необходимо разрешение Регистра СССР.

Электробезопасность при обслуживании электрических сетей регламентируется Правилами Регистра СССР, которые устанавливают следующие значения безопасного напряжения на судах: 55 В между полюсами постоянного тока; 55 В между фазами или между фазами и корпусом судна при переменном токе. При этом под безопасным понимают напряжение, не представляющее опасности для обслуживающего персонала.

Степень поражения человека электрическим током зависит от ряда факторов, главными из которых считают силу тока, его род и частоту, продолжительность воздействия приложенного напряжения и др. Смертельно опасной силой тока обычно считается 100 мА при частоте 50- 60 Гц. Электрическое сопротивление человеческого организма при чистой и сухой поверхности кожи составляет десятки килоом, а при загрязненной и влажной коже уменьшается до 0,6-1,0 кОм. Наибольшую опасность представляют также контакты с токоведущими частями, при которых ток проходит через важнейшие жизненные центры организма - сердце, легкие, мозг.

Опасность поражения электрическим током во многом зависит от характера помещения, в котором находятся или работают люди. В этом отношении судовые помещения делят на 3 категории;

1. Помещения с повышенной опасностью, которым присуще одно из следующих условий: повышенная влажность (более 75 %); высокая температура (более 30 °С); токопроводящие палубы и настилы; возможность одновременного контакта человека с металлическими корпусами электрооборудования и металлическими предметами, заземленными на корпус судна. К таким помещениям относятся камбузы, провизионные кладовые, МКО и румпельные отделения.

2. Помещения особо опасные, которым присущи одновременно 2 или более перечисленных выше условий, а также при наличии сырости (при относительной влажности до 100 %) или химически активной среды (едких паров, газов, жидкостей), способных разрушить изоляцию токоведущих частей. К таким помещениям относятся коффердамы, танки, цистерны, прачечные, бани и др.

3. Помещения, не имеющие условий, создающих повышенную или особую опасность.

Для надежного обеспечения электробезопасности на судах предусматривают целый комплекс мероприятий:

1. Ограничение напряжения в главных цепях и цепях управления до 230 В постоянного тока и 400 В переменного тока (кроме судов с ГЭУ), до 42 В для переносных инструментов, до 12 В для ручных переносных светильников.

2. Ограничение выбора систем распределения электроэнергии. На судах применяют 3-проводные системы с изолированной или компенсированной нейтралью. При 1-фазном касании токоведущих частей в системе с изолированной нейтралью значение тока, протекающего через тело человека, меньше, чем в системах с заземленной нейтралью (оно определяется в основном электрической емкостью электросети относительно корпуса). При компенсации нейтрали сила тока значительно уменьшается.

3. Использование СЭО в морском исполнении, а также надежную изоляцию и закрытие токоведущих частей.

4. Применение защитного заземления, т. е. электрического соединения с корпусом судна корпусов

электрических машин, металлических частей кожухов, корпусов пускорегулирующей аппаратуры и распределительных устройств, светильников, измерительных приборов и др., работающих при напряжении свыше 12 В. Человек, прикоснувшийся к заземленному корпусу электродвигателя М, оказавшемуся под напряжением, окажется включенным параллельно замыкающей перемычке X

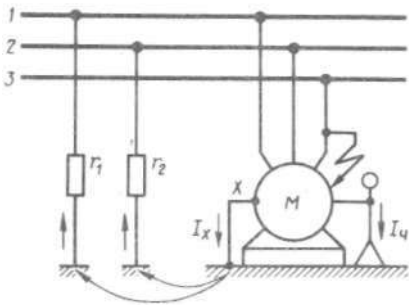


Рис 9.15. Схема защитного заземления приемника электроэнергии

(рис 9.15). Сопротивление перемычки ВО МНОГО раз меньше сопро-

тивления тела человека. Поэтому основная часть тока замыкания будет проходить через перемычку в виде тока I_x , а ток через тело человека $I_{ч}$ будет мал. На схеме резисторами r_1 и r_2 обозначено сопротивление изоляции проводов 1 и 2 относительно корпуса.

5. Использование защитных устройств, снимающих напряжение при проникновении человека в опасную зону; применение индивидуальных защитных средств и изолированного инструмента, а также устройств защитного отключения и замыкания, компенсаторов токов замыкания и др.

Для защиты от статического электричества используют материалы, имеющие удельное электрическое сопротивление не более 10^6 Ом·см, т. е. не являющиеся диэлектрическими, и тщательно заземляют оборудование на корпус судна.

Перед началом работ с частичным или полным снятием напряжения электротехнический персонал обязан выполнить следующие мероприятия: осуществить необходимые отключения; вывесить запрещающие плакаты "Не включать - работают люди!"; проверить отсутствие напряжения на токоведущих частях заведомо исправным индикатором (при этом отсутствие напряжения должно быть проверено между фазами и на каждой фазе по отношению к заземленным частям); непосредственно после проверки отсутствия напряжения, в необходимых случаях, наложить переносные заземления и вывесить плакат "Работать здесь".

При аварийных работах на неотключенных токоведущих частях необходимо: токоведущие части, на которых не предусматриваются работы, оградить диэлектрическими матами и др.; работать в комбинезоне с рукавами, застегнутыми у кистей, в головном уборе, диэлектрических галошах или стоять на диэлектрическом коврике; пользоваться электроинструментом с изолированными рукоятками; работы выполнять вдвоем (со страхующим).

Пожарная безопасность обеспечивается соблюдением ППЭ СТС и правил техники безопасности. Температура отдельных частей электрооборудования и оболочек кабелей и проводов не должна превышать допустимую классом изоляции. Необходим систематический контроль состояния сопротивления изоляции электрооборудования и электрических сетей. Категорически запрещается использовать бензин и другие легковоспламеняющиеся жидкости для протирания коллектора, щеток и других частей электрических машин, находящихся под напряжением. В коммутационно-защитных аппаратах должны быть исправные дугогасительные устройства. Токи уставок разделителей АВ и плавких вставок должны соответствовать расчетному току нагрузки.

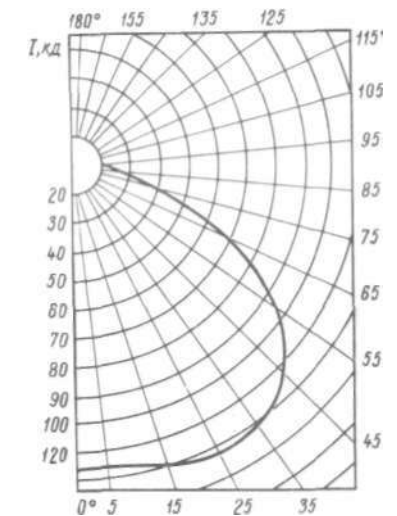
В аккумуляторных помещениях нельзя пользоваться открытым огнем, в них следует применять светильники взрывобезопасного исполнения с вынесенными наружу выключателями. Включают вентилятор до начала заряда АБ и выключают спустя некоторое время после

10.1. Основы светотехники

Лучистая энергия, излучаемая в виде электромагнитных колебаний в пространство, является одной из известных форм энергии. В зависимости от длины λ волны (то же, что и от частоты колебаний) лучистая энергия может иметь различные свойства и характер действия. У излучений в виде радиоволн $\lambda = (10\ 000+0,0001)$ м, у инфракрасных лучей $\lambda = (100+0,77)$ мкм, у видимой части лучистой волны (световой) $\lambda = (0,77+0,38)$ мкм, ультрафиолетовые лучи имеют длину волны $\lambda = (0,38+0,008)$ мкм, у рентгеновских, гамма- и космических лучей $\lambda < 0,008$ мкм. Радиоволны излучаются искусственными вибраторами. Инфракрасные лучи образуются, главным образом, при колебаниях отдельных частей молекул или групп атомов. Видимые и ультрафиолетовые лучи излучаются атомами и молекулами веществ в результате изменения состояний электронов на внешних орбитах. Рентгеновские лучи возникают в результате изменений состояний электронов на внутренних орбитах. Гамма-лучи появляются в результате распада радиоактивных элементов.

Итак, свет представляет собой поток электромагнитных колебаний с длиной волны $0,77-0,38$ мкм. В человеческом глазе этот поток, попадая на сетчатку, преобразуется в биологическую энергию и воспринимается как свет. Восприятие света глазом пропорционально его чувствительности к различным цветам, точнее - к различным длинам волн. Диапазон длин волн $0,77-0,38$ мкм в глазе преобразуется в свет разных цветов, к каждому из которых глаз проявляет разную чувствительность. Наиболее видимыми являются желто-зеленые излучения с длиной волны $0,555$ мкм.

Одной из основных величин в светотехнике является световой поток Φ , представляющий собой мощность лучистой энергии, оцениваемую по световому ощущению. За единицу светового потока принят люмен (лм). Например, лампа накаливания мощностью 40 Вт и напряжением 220 В излучает световой поток 268 лм, а люминесцентная лампа типа ЛБ мощностью 40 Вт - 2350 лм.



р[^]_ш. кривая распределения силы
л[^] светильника типа 335А

окончания заряда, что позволяет избежать образования взрывоопасной смеси выделенных при заряде газов и воздуха.

Необходимо тщательно проверять состояние опрессовки, пропайки кабельных наконечников и плотность их закрепления на контактных шпильках. Следствием неплотной опрессовки или некачественной пропайки является плохой контакт между жилой и наконечником. В таких местах резко увеличивается переходное сопротивление и количество выделяемой в нем теплоты, что может привести к пожару электрооборудования.

На нефтеналивных судах, помимо обычных защитных заземлений, применяют заземление корпуса судна, т. е. электрическое соединение корпуса с заземлением на берегу или с корпусом другого судна. После постановки судна к причалу заземляющий кабель подают на берег и надежно соединяют с береговым трубопроводом. Затем включают рубильник в цепи заземляющего кабеля, тем самым уравнивая потенциалы корпуса судна и берегового трубопровода. Отключают заземляющий кабель в обратном порядке. Таким образом, соединение и рассоединение трубопроводов проводятся при заземленном корпусе судна, что позволяет избежать искрообразования между фланцами обоих трубопроводов в момент их касания или разделения вследствие разности потенциалов берегового трубопровода и корпуса судна.

Контрольные вопросы-задания

1. В чем заключаются достоинства и недостатки радиальной, магистральной и смешанной систем распределения электроэнергии?
2. Чем отличаются судовые кабели от проводов?
3. Почему для защиты АД предпочтительнее применять АВ, а не предохранители?
4. Назовите общие требования к защитным устройствам.
5. Каким образом обеспечивается избирательность защиты электрических сетей по времени и току?
6. Как влияют на сопротивление изоляции судовой сети длина кабельных трасс и количество включенных приемников электроэнергии?
7. Почему стрелка мегаомметра типа М1101 отклоняется в разные стороны при измерении $R_x = 0$ на диапазонах "кОм" и "МОм"?
8. Каким образом исключается влияние исполнительной части блока БКИ-2 на результат контроля сопротивления изоляции?
9. Каковы основные особенности автоматической системы диагностирования изоляции?
10. Каким образом подавляются высокочастотные помехи радиоприему при заземлении оболочек кабелей?
11. Перечислите основные меры электро- и пожаробезопасное™ при обслуживании электрических сетей.

Реальный источник света распределяет световой поток в пространстве неравномерно. Пространственная плотность светового потока носит название силы света: $I = \Phi / Q$, где Q - телесный угол. За единицу силы света принята кандела (кд). Силу света, равную 1 кд, имеет точечный источник света, который в пределах телесного угла 1 стерадиан (ср) создает световой поток, равный 1 лм (1 кд = 1 лм/1 ср). Стерadian - угол, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную квадрату радиуса данной сферы. Сила света определяется конструкцией осветительного прибора и значением светового потока источника света. Она большая у сигнального прожектора, где угол Q мал, и имеет небольшое значение у обычного светильника. Чтобы иметь представление о том, как в разных направлениях данный светильник распространяет свет, строят кривые светораспределения (рис. 10.1), которые позволяют определить силу света от данного светильника в любом направлении при условной лампе в светильнике, создающей поток 1000 лм.

Для оценки условий освещения обычно пользуются понятием освещенности. За единицу освещенности принят люкс (лк). Освещенностью называется поверхностная плотность светового потока $E = \Phi / S$, где Φ - световой поток, лм; S - площадь освещаемой поверхности, м². Например, в летний полдень освещенность составляет около 100 000 лк, в полнолуние - 0,2 лк, на столе в аудитории - 150 лк. Освещенность на судах нормируется Правилами Регистра СССР. Так, для помещений ЦПУ и МО освещенность должна быть не менее 75 лк, для проходов и палуб - 50 лк.

10.2. Источники света

Источники света, применяемые на судах, разделяют на тепловые (лампы накаливания) и газоразрядные (люминесцентные лампы низкого и высокого давления).

Лампы накаливания. Эти лампы состоят из стеклянной колбы, внутри которой на стеклянном стержне с помощью молибденовых крючков закреплена нить накала из вольфрамовой проволоки. Два платинитовых или никелевых электрода соединяют концы нити накала с цоколем, изготовленным из латуни или оцинкованной стали. Лампы малой мощности выполняют вакуумными, а колбы ламп большой мощности заполняют смесью тяжелых инертных газов (аргон, криптон, азот) под давлением около 80 кПа. Основная цель заполнения ЛН инертным газом - замедлить испарение материала нити (увеличить время горения M) и уменьшить передачу теплоты к колбе.

Температура нити накала вакуумных ЛН составляет около 2400 °С, а газонаполненных - около 2900 °С. С повышением температуры накала увеличивается световая отдача ϕ лампы — отношение светового потока (лм) лампы к ее электрической мощности (Вт). Лампы накаливания большой мощности, а также лампы низкого напряжения,

имеющие более толстую нить и, следовательно, допускающие более высокую температуру накала, обладают большей световой отдачей по сравнению с ЛН малой мощности и высокого напряжения.

К применению на судах рекомендованы лампы судовые и общего назначения, с обычной и цилиндрической колбой (продолжительность горения 1000 ч), а также низковольтные миниатюрные и автомобильные лампы, лампы прожекторные мощностью 500-5000 Вт с небольшой продолжительностью горения (30-400 ч), лампы зеркальные с внутренним зеркальным покрытием колбы для концентрации светового потока и лампы кварцевые галогенные (йодистые). Последние изготовлены в виде горизонтально устанавливаемых цилиндрических кварцевых трубок небольших габаритных размеров со спиральной нитью накала, расположенной по длине трубки. При напряжении 200 В их мощность (1500 и 1000 Вт) обеспечивает мощный световой поток (33 000 и 22 000 лм) при сроке службы 2000 ч. В состав инертных газов кварцевой лампы введены галогены (йод или бром), что обеспечивает оседание испаряющегося вольфрама на нить накала и повышает срок службы лампы.

Лампы накаливания широко используют благодаря ряду достоинств: простоте конструкции и низкой стоимости, широкому диапазону шкал мощностей и напряжений, разнообразию форм и размеров, простоте подключения к сети, отсутствию периода разгорания и широкому диапазону рабочих температур (± 60 °С). В то же время они имеют существенные недостатки: низкий КПД (2-3 %), большую зависимость характеристик ламп от колебаний напряжения (рис. 10.2), отличие спектрального состава от естественного света.

Люминесцентные лампы низкого давления. По сравнению с лампами накаливания ЛЛ являются более совершенными источниками света. На судах широко применяют трубчатые ЛЛ. Они выполнены в виде стеклянных трубок длиной 0,3-0,6 м (при напряжении 127 В) и 0,9-1,5 м (при напряжении 220 В). На внутреннюю поверхность ламп нанесен слой люминофора. На концах трубки впаяны 2 электрода в виде вольфрамовой спирали, покрытой слоем оксида для увеличения эмиссии электродов. После откачивания воздуха в лампу вводится капля ртути и инертный газ под давлением 400 Па. Принцип горения лампы основан на явлении люминесценции: атомы аргона, а затем смеси атомов аргона и ртути под действием разности потенциалов на электродах начинают излучать ультрафиолетовые лучи (электр люминесценция). Лучи, попадая на люминофор, вызывают его видимое свечение (фотолюминесценция). Изменяя состав люминофора, получают ЛЛ трех типов: ЛД - лампы дневного света, ЛДЦ - лампы дневного света с улучшенной цветопередачей, ЛБ - лампы белого света. В судовых условиях в основном применяют ЛЛ типа ЛБ со спектральным составом, близким к естественному свету.

Оптимальная температура работы ЛЛ составляет 20- 25 °С. Отклонение температуры в любую сторону уменьшает светоотдачу. При снижении напряжения на 10 % номинального лампы могут не зажечься

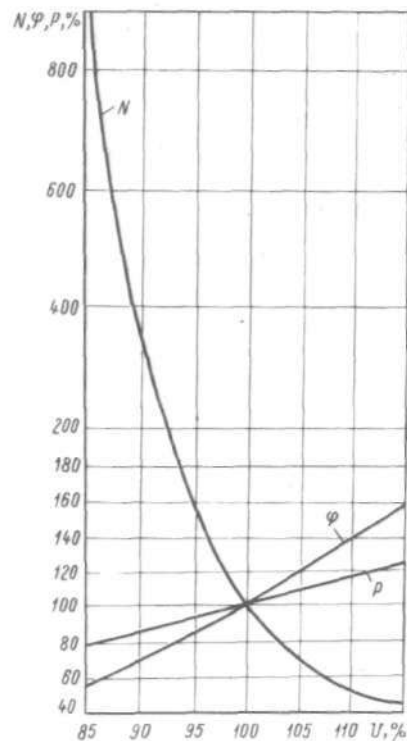
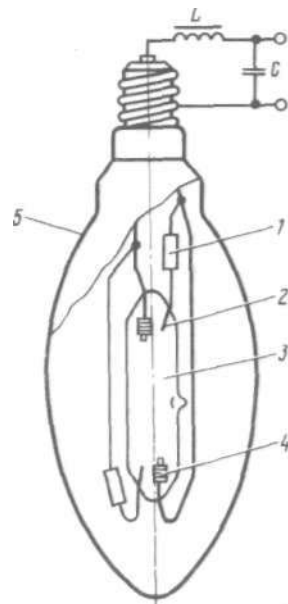


Рис. 10.2. Характеристики ламп накаливания

Рис. 10.3. Дуговая ртутная 4-электродная лампа типа ДРЛ



или мигать. Частота включений ЛЛ влияет на срок их службы, так как в момент включения происходит распыление оксидного покрытия электродов, при полном расходе которого лампа перестает загораться.

По сравнению с ЛН люминесцентные лампы имеют КПД и срок службы в 3-4 раза больше, они стойки к воздействию вибраций и ударов, при колебаниях напряжения сети параметры горения изменяются незначительно, обладают небольшой яркостью, имитируют естественное дневное освещение. К недостаткам ЛЛ следует отнести: зависимость световых параметров от температуры; наличие стробоскопического эффекта (неосуществимые глазом мигания света могут совпасть с частотами механических колебаний тел, в результате искажается действительное представление о движении тел, т. е. движущаяся деталь может показаться неподвижной); необходимость применения достаточно сложных и тяжелых пусковых устройств в связи с тем, что напряжение зажигания лампы превышает рабочее напряжение лампы, а иногда и напряжение сети; наличие периода зажигания; токсичность паров ртути, которые могут появиться при разрушении лампы.

Люминесцентные лампы тлеющего разряда применяются как сигнализационные. Они состоят из небольшой стеклянной цилиндрической колбы, покрытой люминофором. Внутри впаяны 2 близко расположенных электрода. В зависимости от состава люминофора лампы дают желтый, зеленый, оранжевый и другие цвета (соответственно типы ТЛЖ, ТЛЗ, ТЛО и др.).

Люминесцентные лампы высокого давления. Наиболее распространены ЛЛ высокого давления типа ДРЛ (дуговая ртутная лампа). Они состоят из стеклянной колбы 5, покрытой внутри люминофором, и заключенной в ней кварцевой трубки 3, заполненной аргоном при давлении 400 Па с добавкой ртути (рис. 10.3). В торцы кварцевой трубки впаяны активированные рабочие 4 и поджигающие 2 электрода, включенные через резисторы /.

При включении лампы в сеть между рабочими и поджигающими электродами возникает тлеющий разряд, ионизирующий аргон. При достаточной ионизации разряд перебрасывается в промежуток между рабочими электродами, после чего начинается процесс испарения ртути и повышения давления внутри трубки до 500-10 000 Па. Возникший дуговой разряд сопровождается интенсивным излучением ультрафиолетовых лучей. Люминофор преобразует невидимое ультрафиолетовое излучение в свет. Схема включения лампы ДРЛ состоит из дросселя L , ограничивающего ток лампы и стабилизирующего режим горения, конденсатора C , подавляющего радиопомехи. Период разгорания лампы составляет 3-10 мин.

Световой поток и процесс зажигания лампы не зависят от температуры окружающей среды, так как большая колба заполнена углекислым газом, являющимся теплоизолирующей оболочкой. Достоинством ламп ДРЛ является сочетание малых габаритных размеров с большим световым потоком (10-46 клм при мощностях ламп 250-1000 Вт). К недостаткам ламп ДРЛ следует отнести наличие периода разгорания. После погасания повторное включение возможно только через 5-10 мин после охлаждения лампы.

Двухэлектродные лампы ДРЛ не имеют зажигающих электродов, и их схема включения усложнена трансформатором, разрядником и другими элементами.

Существуют дуговые ксеноновые, криптоновые, натриевые и металлогалогенные лампы, отличающиеся различными цветовыми оттенками.

10.3. Схемы подключения люминесцентных ламп

В состав пускорегулирующего аппарата ЛЛ входят дроссели, стартеры, конденсаторы и резисторы. Стартер (рис. 10.4, а), служащий для замыкания (размыкания) цепи пуска ЛЛ, изготавливают в виде стеклянной колбы 2, в которую впаяны 2 стальных электрода 4. К одному из электродов приварена биметаллическая пластина 3. Для

подключения стартера на изоляторе 5 смонтированы алюминиевые или латунные штыри 6. В отверстия штырей заведены концы электродов, и затем штыри в месте соединения опрессованы. Рядом с колбой стартера размещен конденсатор 1. Все устройство закрыто алюминиевым футляром с изоляционной прокладкой.

Простейшая схема подключения ЛЛ показана на рис. 10.4, б. В исходном состоянии сопротивление стартера VK и лампы EL очень большие. При подаче питания в стартере появляется тлеющий разряд между его электродами и сопротивление стартера уменьшается. Через обмотки 2-катушечного дросселя L , электроды лампы и область тлеющего разряда стартера протекает ток прогрева электродов. Тлеющий разряд вызывает изгиб биметаллической пластины стартера, и она замыкается с электродом. Теперь сопротивление стартера близко к нулю, поэтому через электроды лампы протекает ток, прогревающий их до температуры 800-900 °С. При этом благодаря термоэмиссии внутри лампы появляется достаточное число электронов. Из-за отсут-

ствия тлеющего разряда электроды стартера остывают и размыкаются. Разрыв цепи вызывает всплеск ЭДС самоиндукции на дросселе, создающей на электродах лампы импульс высокого напряжения, под действием которого происходит ионизация аргона и паров ртути - лампа зажигается. Теперь сопротивление ЛЛ мало, но ток лампы и напряжение на ней ограничены сопротивлением последовательно включенных обмоток дросселя. Стартер оказывается под пониженным напряжением и повторно не срабатывает.

Использование дросселя приводит к снижению $\cos \phi$. Для его повышения в схему включается конденсатор $C2$, который при выключении лампы разряжается через резистор R . Конденсаторы $C1$ и $C3$ служат для уменьшения радиопомех, создаваемых стартером.

Наличие стартера - контактного устройства - снижает надежность работы ЛЛ. Схема бесстартерного пускорегулирующего аппарата (рис. 10.4, в) собрана на автотрансформаторе TV и дросселе L . Пока лампа не зажглась, через дроссель течет небольшой ток, обусловленный достаточно высоким сопротивлением обмотки w_1 . На дросселе существует небольшое падение напряжения, поэтому к обмотке w_2 трансформатора приложено почти все напряжение сети, которое обеспечивает повышенное напряжение в обмотках w_2 и w_3 . В результате создаются условия для прогрева электродов и возникновения эмиссии. Лампа зажигается, и ее сопротивление уменьшается. Теперь через дроссель течет ток лампы. На дросселе увеличивается падение напряжения, а напряжение на обмотках автотрансформатора уменьшается. В данной схеме дроссель не используется в процессе зажигания ЛЛ, но выполняет свою вторую роль - ограничивает напряжение на ЛЛ после зажигания.

По сравнению с 1-ламповыми светильниками 2-ламповые (рис. 10.4, г) более компактны. Лампа $EL2$ включена через конденсатор $C2$, поэтому вектор ее тока опережает вектор тока лампы $EL1$. Невидимые мигания ламп возникают несинхронно. Стробоскопический эффект можно уменьшить, подключая светильники данного помещения в разные фазы 3-фазной сети.

Люминесцентные лампы по сравнению с ЛН более экономичны, но в пускорегулирующих аппаратах этих ламп расходуется около 30 % электроэнергии, подводимой из сети. Наиболее простой и рациональной, с точки зрения минимальных массы и потерь, является резонансная схема подключения (рис. 10.4, д), которая используется в сетях с частотой 400 Гц. С помощью резонансного эффекта, создаваемого цепью $L-C1, C2$, в пусковой период на лампе возникает напряжение, в 1,5-2,3 раза большее напряжения сети. После зажигания лампы резонанс нарушается включением сопротивления лампы. Бесстартерные схемы все же имеют дополнительные потери, обусловленные наличием небольшого тока накала даже после зажигания лампы, но этот недостаток компенсируется высокой надежностью бесстартерных схем и увеличением срока службы ЛЛ (примерно на 50 %).

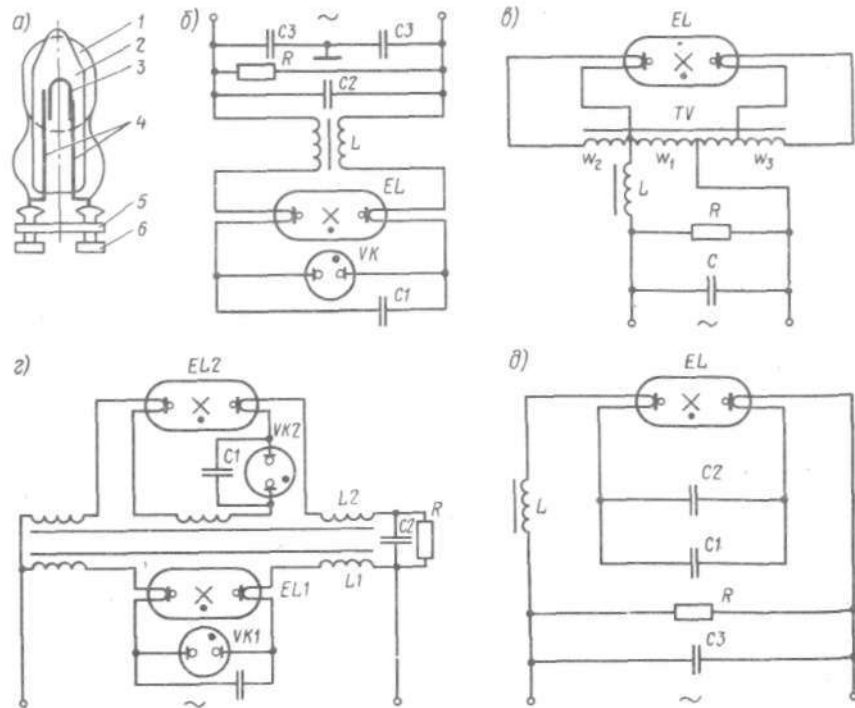


Рис. 10.4. Схемы подключения люминесцентных ламп: а - стартер; б, в - соответственно параллельная и автотрансформаторная схемы подключения; г - схема 2-лампового светильника; д - резонансная схема подключения

10.4. Светильники и прожекторы

Для рационального распределения светового потока применяют осветительные приборы, которые разделяют на 2 группы: приборы ближнего действия - светильники и дальнего действия - прожекторы. В состав осветительного прибора входят источник света и светильник (арматура).

Светильники. Обычно светильник состоит из корпуса, отражателя, рассеивателя или защитного стекла, ламподержателей, пускорегулирующей аппаратуры (для ЛЛ), колодки выводов, устройства уплотнения ввода кабеля (для наружных и взрывозащищенных светильников) и деталей крепления.

Светильники классифицируют так:

по назначению: общего, местного освещения и специальные;
принципу установки: подвальные, переборочные, переносные (настольные, напольные и подвесные);

виду источника света: с ЛН и с газоразрядными лампами;

габаритным размерам: светильники нормальных размеров и малогабаритные (с малогабаритными лампами);

исполнению: защитные (без уплотнения), водозащищенные (защищенность против обливания водой), герметичные (рассчитаны на определенное давление воды или газа), взрывозащищенные (взрыв газа внутри светильника должен исключать взрыв взрывоопасной среды в помещении).

Защита светильников от влияния агрессивной внешней среды, ударных и вибрационных нагрузок, качки судна достигается их специальным конструктивным исполнением, применением антикоррозионных покрытий и материалов, использованием термостойких прокладок и стекол, установкой на амортизаторах и креплением во время качки настольных и других переносных светильников. Специальная технология изготовления светильников обеспечивает их защиту при использовании в условиях тропического климата.

Перераспределение светового потока в светильнике связано с потерями на поглощение энергии в отражателе, рассеивателе и других частях светильника. В результате световой поток светильника оказывается меньше, чем световой поток лампы. Отношение этих потоков определяет КПД светильника. У лучших светильников КПД составляет 0,7-0,85.

На судах наиболее распространены следующие светильники:

подпалубный типа 328 (рис. 10.5, а, б) водозащищенного исполнения под лампу нормального размера мощностью 60 Вт, имеющий амортизатор А и различные защитные устройства;

подпалубный типа 56 (рис. 10.5, в) водозащищенного исполнения под миниатюрную лампу напряжением 12-24 В и мощностью 25 Вт (используется как светильник малого аварийного освещения);

плафон каютный типа 434У (рис. 10.5, г) защищенного исполнения с двумя лампами мощностью по 60 Вт и напряжением 127, 220 В;

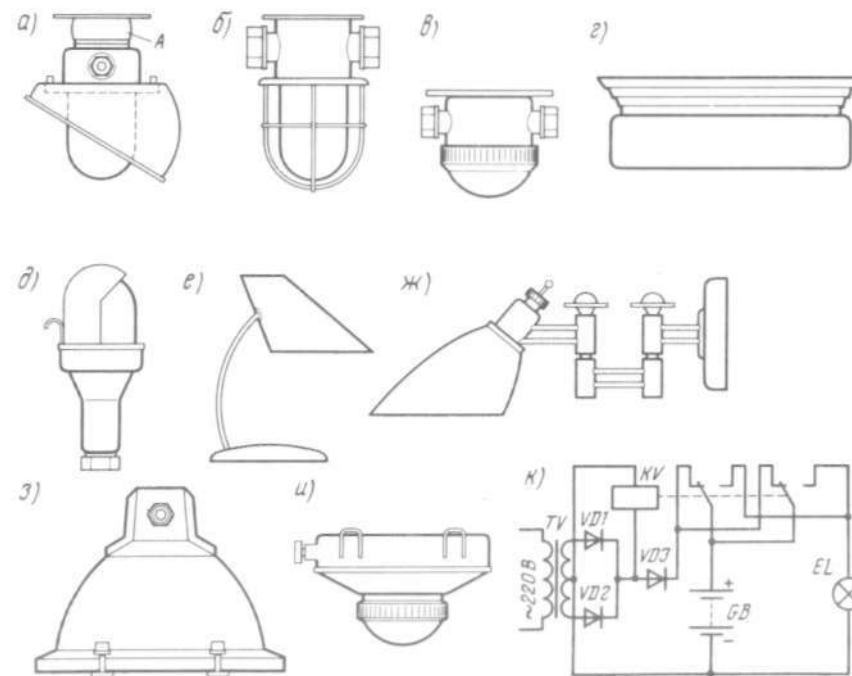


Рис. 10.5. Судовые светильники:

а, б — подпалубные; г — плафон каютный; д — переносной; е — настольный; ж — штурманский; з — салинтовый; и — аккумуляторный; к — схема подключения аккумуляторного светильника

переносной (рис. 10.5, д) водозащищенного исполнения с миниатюрной лампой напряжением 6, 12, 24 В и мощностью 25 Вт;

настольный типа 855 (рис. 10.5, е);

штурманский типа СС-350 (рис. 10.5, ж) с лампой нормального размера мощностью 60 Вт;

салинтовый (рис. 10.5, з) водозащищенного исполнения, снабжающийся мощными лампами накаливания или лампами ДРЛ и служащий для освещения больших открытых пространств (например, мест выполнения грузовых операций);

аварийный аккумуляторный типа 621М (рис. 10.5, и).

В схеме подключения (рис. 10.5, к) аккумуляторного светильника при наличии напряжения 220 В от основной или аварийной электростанции реле *KV* включено, через его замкнутые контакты протекает ток заряда щелочной батареи *GB*. В это время помещение освещается другим светильником. Когда не работают основные и аварийные генераторы, реле *KV*, отпуская якорь, своими контактами переключает батарею *GB* на лампу *EL* напряжением 3,75 В. Понижающий трансформатор *TV*, диоды и батарея размещены в корпусе светильника.

На судах применяют также светильники медицинские, надкоечные, подсвечивания, светильники-указатели и др.

На каждый светильник имеются кривые светораспределения (см. рис. Ю.1), по которым можно определить силу света в любом направлении, и кривые пространственных изолукс (см. рис. 10.7, б). По этим кривым в зависимости от высоты подвешивания светильника можно определить освещенность в заданной точке освещаемой поверхности. Кривые светораспределения и пространственных изолукс вычерчены с расчетом установки в светильнике условной лампы, создающей световой поток 1000 лм.

Светильники с ЛЛ по сравнению со светильниками ЛН имеют более сложную конструкцию, так как в них размещена пускорегулирующая аппаратура. Яркость ЛЛ выше допустимой, поэтому светильники снабжают рассеивателями (колпаками) из молочного или опалового органического стекла или устанавливают светорассеивающие решетки. В светильниках водозащищенного исполнения ЛЛ размещены в трубках из полупрозрачного органического стекла. В светильниках устанавливают трубчатые ЛЛ типов ЛБ15, ЛБ40 (15 и 40 Вт). Светильники могут быть 1, 2, 3 и 4-ламповыми (светильник типа 754 является 6-ламповым). Светильники с ЛЛ подразделяют на подпалубные, щитовые, прикроватные, угловые и прикарнизные.

Прожекторы. Осветительный прибор дальнего действия, в котором световой поток источника света концентрируется при помощи оптического устройства в направленный пучок света, называют прожектором. Обычно угол рассеяния у сигнальных прожекторов составляет 3-9° (при этом достигается максимальная сила света). На сигнальный прожектор можно установить линзовый рассеиватель, увеличивающий угол рассеяния до 35-40° (при этом освещаемая площадь увеличивается, а сила света уменьшается). Прожекторы используют для освещения далеко расположенных объектов или близлежащих пространств, также их можно применять в качестве сигнальных. Прожекторные лампы накаливания имеют большую мощность (500-5000 Вт) и работают в напряженном тепловом режиме, поэтому их срок службы обычно всего 30-150 ч (редко 400 ч).

Морской сигнальный прожектор МСПЛ-л45/2 (рис. 10.6, а) состоит из тумбы 3 и корпуса 2, который с помощью опор покоится на лире 4. Корпус защищен стеклом 1 (с задней стороны крышкой). Вместе с лирой прожектор может поворачиваться относительно вертикальной оси, а на опорах лиры поворачивается относительно горизонтальной оси. Прожектор фиксируют в нужном положении с помощью зажимов 5 и 9. Рукоятка 6 позволяет управлять решеткой 8 с поворотными жалюзи, которые позволяют быстро перекрывать свет для подачи сигналов азбуки Морзе. Визирное устройство 7 позволяет ориентировать прожектор на нужный объект. Выключатель 10 коммутирует прожекторную лампу мощностью 1000 Вт. Сверху корпуса 2 имеется кожух с вырезом для выхода нагретого воздуха. При освещении рабочих мест стекло 1 заменяют линзовым рассеивателем.

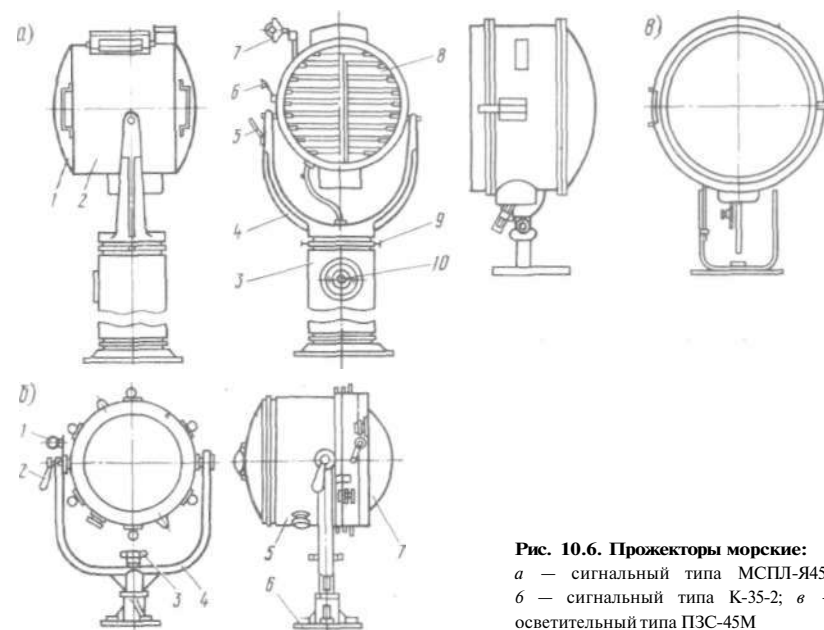


Рис. 10.6. Прожекторы морские:
 а — сигнальный типа МСПЛ-л45/2;
 б — сигнальный типа К-35-2; в —
 осветительный типа ПЗС-45М

Морской сигнальный прожектор К-35-2 (рис. 10.6, б) крепят к фундаменту с помощью фланца 6. Он также имеет поворотные жалюзи, управляемые рукояткой 7. Положение прожектора фиксируется зажимами 2 и 3. Прожектор рассчитан на лампы мощностью 220 Вт (при напряжении 24 В) и 300 Вт (ПО и 127 В), его габаритные размеры (535x570x510) меньше габаритных размеров прожектора МСПЛ-л45/2 (1630x680x550).

Прожекторы заливающего света ПЗС-45М и ПЗС-35М (рис. 10.6, в) с диаметрами отражателей соответственно 450 и 350 мм не имеют фокусирующих устройств и жалюзи. Их устройство гораздо проще: цилиндрический корпус, металлический отражатель, защитное стекло и элементарное поворотное устройство. Прожекторы ПЗС с лампами накаливания мощностью 1000 и 500 Вт применяют для освещения рабочих мест (например, при погрузке).

Прожектор "Суэцкий" устанавливают в носовой части судна и включают при проходе Суэцкого канала. В прожекторе установлены 2 лампы мощностью по 2000 Вт (рабочая и резервная) напряжением 127 или 220 В. Стекланный параболический отражатель диаметром 600 мм состоит из двух половин, каждая из которых может поворачиваться относительно вертикальной оси. Можно получить 1 пучок света или 2 с темным промежутком до 15° для одновременного ориентирования относительно двух берегов сравнительно узкого канала.

В светильники следует устанавливать только штатные исправные лампы. Светильники должны быть полностью укомплектованы стеклами, защитными сетками и т. д. Переносные светильники и взрывобезопасные аккумуляторные светильники проверяют не реже 1 раза в месяц, а также перед каждым использованием. При выполнении работ в сырых и закрытых помещениях и пространствах (внутри цистерн, котлов, в льялах и т. д.) применяют переносные светильники напряжением не выше 12 В. Не реже 1 раза в 3 мес светильники очищают и заменяют неисправные детали, а 1 раз в год выполняют обслуживание светильников с частичной разборкой и измерением сопротивления изоляции.

Прожекторы во время бездействия должны быть зачехлены. Во время их осмотров проверяют плавность хода жалюзи, устраняют заедания в устройствах поворота. Отражатели и защитные стекла очищают мягкими кистями или ветошью. Хромированные отражатели протирают салфеткой с меловой пудрой. Отражатели с серебряным покрытием нужно очищать осторожно, так как они покрыты тонким слоем бесцветного лака.

10.5. Расчет электрического освещения

Правила Регистра СССР регламентируют нормы освещенности судовых помещений и палуб. Для выполнения этих норм необходимо провести расчеты соответствующего количества светильников общего или местного освещения с определенной мощностью источника света. Все светотехнические расчеты разделяют на 2 вида. Расчеты 1-го вида применяют для определения нужного количества светильников при заданной освещенности. Расчеты 2-го вида являются проверочными (при известном количестве светильников, после их выбора, определяют действительную освещенность в разных точках освещаемой поверхности).

Метод удельной мощности. Этот метод позволяет простейшим способом определить ориентировочную суммарную мощность источников света для данного помещения и затем выбрать нужное количество светильников. Потребляемая осветительной установкой общая мощность (Вт)

$$P = pS,$$

где P — удельная мощность, Вт/м² (выбирают по таблицам в зависимости от характеристик помещения и светильника, при заданном значении E); S — площадь помещения, м².

Необходимое для установки количество светильников

$$N = P / (n p_n),$$

где n — число ламп в светильнике; p_n — мощность одной лампы.

Метод коэффициента использования светового потока. С помощью этого метода можно определить количество светильников для общего освещения помещения:

$$N = SE_{\min} k_z z / (n \Phi_n \eta).$$

Площадь (м²) помещения задается условиями расчета. Минимальная нормируемая освещенность E_{\min} (лк) устанавливается Правилами Регистра СССР. Коэффициент k_z запаса учитывает эксплуатационное снижение освещенности вследствие загрязнения светильников и отражающих плоскостей помещения, а также уменьшение светового потока ламп в процессе эксплуатации ($f_c = 1,15-2,0$ и выбирается по таблице). Коэффициент z неравномерности освещения составляет 1,1 для люминесцентных ламп и 1,15 для ламп накаливания. Он учитывает неравномерность расположения светильников. Зная характеристики помещения, проекант ориентируется на определенный тип светильников, поэтому количество ламп в светильнике и их мощность известны. По мощности и типу ламп с помощью таблицы находят значение светового потока Φ_d . Коэффициент x использования светового потока выбирают по таблице в зависимости от типа светильника, соотношения размеров помещения и коэффициентов отражения поверхностей помещения. Значение η лежит в пределах 0,12-0,63.

После определения количества светильников их необходимо разместить на подволоке наиболее рационально, чтобы получить равномерную освещенность.

Точечный метод. Этот метод дает возможность определить освещенность в любой точке рабочей поверхности при известном расположении, типе светильников и мощности ламп. Освещенность от всех светильников находят в нескольких точках поверхности и сравнивают ее с нормируемой. Таким образом, точечный метод расчета является проверочным и его можно выполнять двумя способами: с помощью пространственных изолюкс и кривых распределения силы света.

Точечный метод расчета с помощью пространственных изолюкс позволяет определить освещенность в выбранной точке поверхности (рис. 10.7, а):

$$E = n \Phi_n \mu \Sigma e / (10^3 k_z),$$

где n — число ламп в светильнике; Φ_n — световой поток одной лампы; μ — коэффициент дополнительной освещенности, учитывающий влияние удаленных светильников и отраженность света (выбирают в пределах 1,0—1,3 с учетом расположения контролируемой точки); e — условная горизонтальная освещенность (определяют по графикам пространственных изолюкс).

На рис. 10.7, б представлен график пространственных изолюкс для светильника типа СС-834 с источником света, световой поток которого равен 1000 лм. Пространственные изолюксы представляют собой

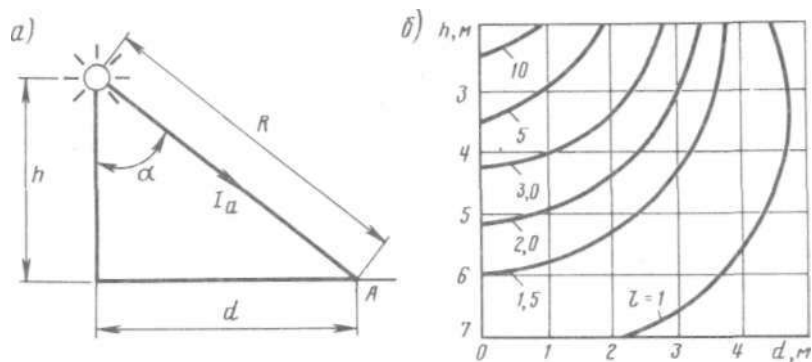


Рис. 10.7. Схема расположения светильника (а) и кривые пространственных изолюкс (б)

кривые, проходящие через геометрические места точек, имеющих одинаковую освещенность. По координатам расположения светильника определяют значение e от одного светильника, а затем определяют суммарную освещенность I_{Σ} от всех светильников.

Точечный метод расчета с помощью кривых распределения силы света основан на использовании закона зависимости освещенности от силы света, называемого законом квадрата расстояния (R). Освещенность в точке (см. рис. 10.7, б)

$$E_1 = I_n \cos \alpha / R^2 = I_n \cos^3 \alpha / h.$$

По кривой светораспределения для данного светильника (см. рис. 10.1) определяют силу света / (кд) в контролируемой точке под углом α при условной лампе, создающей световой поток 1000 лм. Для лампы со световым потоком Φ_n сила света $I_n = \Phi_n / \Omega$. Высоту подвеса h светильника подставляют в формулу в метрах. Так определяют освещенность в контролируемой точке от каждого светильника ($E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$). Затем находят суммарную освещенность в точке $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$.

Полученные значения освещенности в разных точках освещаемой поверхности сравнивают со значением нормируемой освещенности.

10.6. Световая сигнализация

Для обеспечения безаварийного и безопасного судовождения все суда снабжают навигационными огнями, предусмотренными Международными правилами предупреждения столкновений судов в море (ППСС и Правилами Регистра СССР). Все суда разделяют на группы, и для каждой группы устанавливают количество навигационных огней,

их цветность, дальность действия, направление и значение углов свечения, а также расположение их на судне (рис. 10.8).

Расположение навигационных огней на судне в темное время суток дает возможность наблюдателю установить направление движения судна. При стоянке судна на якоре в темное время зажигают 2 белых огня кругового действия на корме и баке. На судах, потерявших управление, зажигают 2 красных круговых огня, расположенных по вертикальной линии в наиболее видном месте судна. Если такое судно имеет ход, то дополнительно к этим огням зажигают бортовые и кормовой огни. Различные навигационные огни зажигают на судах при буксировке, лове рыбы, производстве дноуглубительных работ и т. п.

Навигационные (отличительные) огни выполняют в виде фонарей (светильников) специальной конструкции. Конструкция, оптическое устройство и мощность лампы фонаря должны обеспечивать выполнение предъявляемых к нему требований по дальности, цветности и направлению свечения. Фонари имеют водозащищенное исполнение, надежно закреплены на штатных местах. Необходимо предусмотреть возможность быстрой замены фонаря запасным. В фонарях применяют меры, исключающие самоотвинчивание ламп.

Кроме навигационных огней, для сигнализации используют прожекторы и сигнальные проблесковые огни, которые обычно включают через ключ Морзе.

Для управления сигнально-отличительными фонарями в рулевой рубке устанавливают коммутаторы или пультаы. Они получают питание

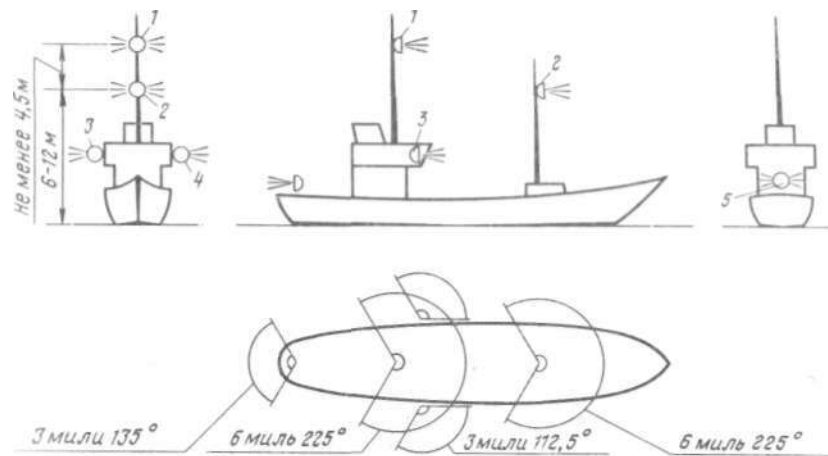


Рис. 10.8. Расположение навигационных огней, зажигаемых во время хода на судне с механическим двигателем длиной более 50 м:

1, 2 — топовые белые; 3, 4 — отличительные соответственно правого (зеленый) и левого (красный) бортов; 5 — кормовой (гакобортный) белый

по двум фидерам. Переключатель питания установлен на коммутаторе. Коммутаторы сигнально-отличительных огней работают по следующему принципу: при погасании фонаря вырабатывается звуковой и визуальный сигнал, позволяющий определить неисправный фонарь.

Отечественной промышленностью выпускаются унифицированные релейные коммутаторы на 3, 5, 7 и 10 огней напряжениями 24, 110, 127 и 220 В. В то же время на судах применяются нестандартные релейные и бесконтактные коммутаторы и пульты управления фонарями.

Принцип включения лампы одного отличительного фонаря (рис. 10.9) состоит в следующем. При включении фонаря выключателем *SA* загорается лампа *HL*, расположенная в фонаре, и одновременно включается сигнальное реле *KA*. Его разомкнувшийся контакт обрывает цепь питания электрзвонка *HA*. Одновременно якорем реле *KA* поворачивается сигнальное устройство и против смотрового окна устанавливается сигнализационный бленкер. При перегорании лампы *HL* реле *KA* теряет питание, его замкнувшийся контакт замыкает цепь питания звонка, поворачивается визуальное устройство, уводя из смотрового окна бленкер. Установив, какой фонарь погас, его выключают выключателем *SA*, прерывая цепь питания звонка. Каждый фонарь включается в коммутаторе по рассмотренной схеме, звонок является общим и включается при потухании любого фонаря.

В схемах коммутаторов типа КСКП (рис. 10.10) переменного тока использован метод параллельного подключения цепей контроля исправности фонаря. На рисунке представлена схема подключения лампы *HL* одного из фонарей с помощью датчика тока *ДТ-127*. Дополнительное устройство *ДУ-127* является общим для датчиков тока всех фонарей, коммутируемых в рассматриваемом устройстве. На коммутатор подается напряжение 127 (220) В по одному из фидеров, проложенных по разным бортам судна. Надежность работы фонарей достигается путем установки в них ламп с двумя нитями накала или двух ламп, а также использования двух фонарей.

Для включения первой нити накала лампы *HL* переключатель *SA* переводится в положение 1: ток протекает по цепи: предохранитель *FU1* - сглаживающий дроссель *L1* - резисторы *R1-R4* - резисторы *R17, R18* - предохранители *FU5, FU3* - контакты переключателя *SA* - выключатель контроля *SA3* - дроссель *L3* - предохранитель *FU2*. В один из полупериодов напряжения питания на резисторах *R1-R4* происходит падение напряжения с мгновенной полярностью, соответствующей, подаче на эмиттер транзистора *VT1* положительного потенциала. Транзистор *VT1* открывается, и одновременно замыкается цепь питания светодиода *HL1*. В другой полупериод *VT1* закрывается, но при частоте 50 Гц глаз человека не замечает миганий светодиода *HL1*. Открытый *VT1* шунтирует резистор *R7*, на нем не возникает падения напряжения, поэтому *VT2* закрыт, реле *KV* и звонок *HA* не включены.

При перегорании нити на *R1-R4* падение напряжения исчезает, *VT1* закрывается, светодиод гаснет. Теперь на *R7* возникает падение напряжения. Пробивается стабилитрон *VD4*, открывается *VT2*, включаются

Рис 10.9. Схема подключения отличительного фонаря через контактный коммутатор

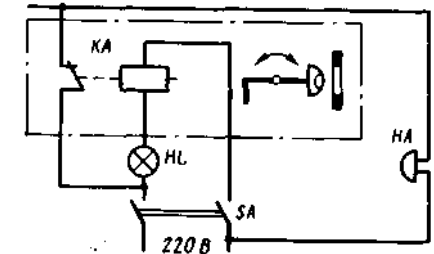
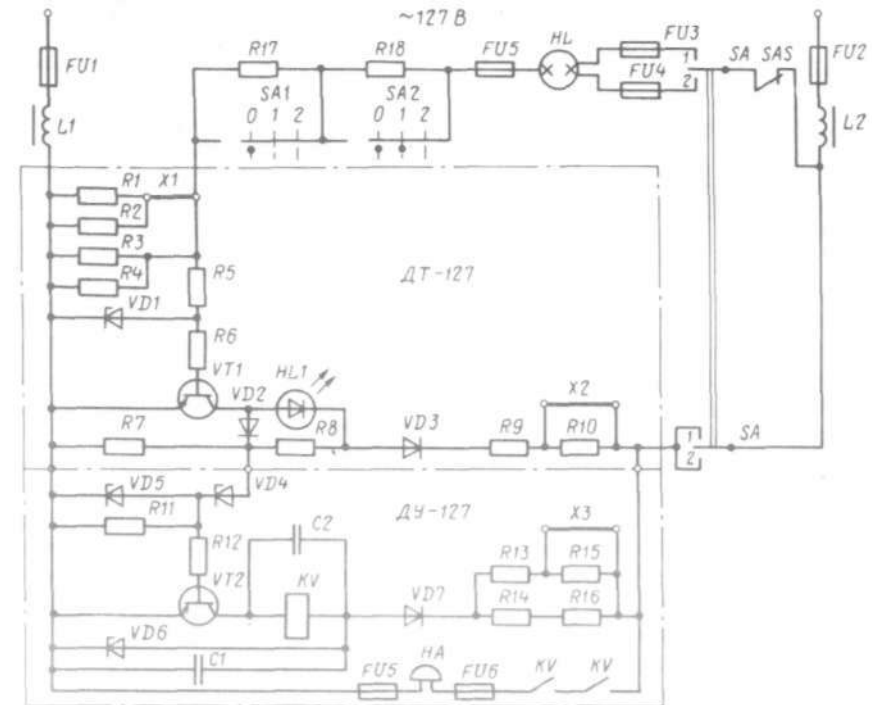


Рис 10.10. Схема подключения фонаря через коммутатор КСКП-Б2-3



реле *KV* и звонок *HA*. Услышав звонок и по погасшему светодиоду определив фонарь, в котором погасла лампа, его переключатель *SA* переводят в положение 2, т. е. на вторую нить накала (на вторую лампу), свечение светодиода будет сигнализировать о включении фонаря. На реле *KV* через *VD7* подается 1-полупериодное напряжение, во второй полупериод через реле разряжается конденсатор *C2*. Стабилитроны *VD1, VD5* стабилизируют напряжения управления транзисторов, стабилитрон *VD6* - коллекторное напряжение транзистора *VT2* и напряжение реле *KV*.

Переключателем *SA1* можно регулировать яркость свечения фонаря: в положении *0* - наибольшая яркость, в положении *1* вводится *R17*, а в положении *2* введены *R17*, *R18*, поэтому яркость понижается. Размыкая выключатель *SA3* ("Контроль"), по потуханию светодиода и работе звонка убеждаются в исправной работе коммутатора. При снятых перемычках X_1 , X_2 , X_3 коммутатор можно включать в сеть 220 В. В коммутаторах имеются выводы для подключения мегаомметра при контроле сопротивления изоляции.

Техническое обслуживание фонарей и коммутатора рекомендуется проводить без их разборки не реже 1 раза в 3 мес. При этом все детали проверяют, очищают, поджимают контактные и крепежные соединения, измеряют сопротивление изоляции. Затем проверяют работу коммутатора и всех фонарей.

Включает сигнально-отличительные фонари вахтенный помощник капитана. На каждой вахте и перед каждым выходом в море необходимо проверять их работу. Для обеспечения необходимой дальности видимости огней и надежной работы коммутатора в фонари следует устанавливать лампы только проектной мощности.

10.7. Электронагревательные приборы

Электронагревательные приборы преобразуют электрическую энергию в тепловую. Их изготавливают в виде приборов сопротивления, индукционных или радиационных устройств. Электронагревательные приборы имеют довольно высокий КПД (более 0,83).

Приборы сопротивления. Простейшие приборы этого типа выполняют открытыми. Их спирали из нихромовой или фехральной проволоки закрыты керамическими бусами или уложены в пазы керамики. Иногда проволоку наматывают на керамические или покрытые миканитом каркасы. Простейшими электронагревательными приборами являются открытые электроплиты, утюги, паяльники и т. п. Они имеют небольшой срок службы (около 1000 ч).

Большую часть электрических нагревательных устройств изготавливают на базе герметичных трубчатых электронагревателей (ТЭН). В медной, латунной или стальной нержавеющей трубке 5 (рис. 10.11), заполненной кварцевым песком или порошком оксида магния 4 и закрытой с торцов изоляционными керамическими втулками 1, посаженными на герметике 2, расположена нагревательная спираль 3 из нихрома или фехрала. Спираль соединяют с внешней цепью с помощью шпилек 6 и гаек 7. Мощность трубчатых электронагревателей 250—3000 Вт, напряжение 24–380 В, срок службы 10 000 ч.

Электрические грелки отопления мощностью 250–3000 Вт представляют собой батарею ТЭН, закрепленную на общем основании и закрытую перфорированным металлическим кожухом. Электрогрелки устанавливают стационарно и изолируют от обшивки помещения тепловым экраном из негорючего материала. Коммутируют их пере-

ключателями, с помощью которых можно регулировать тепловой режим. Электрогрелки подключают к щитам электроотопления или освещения. При отключении грелки отсоединяют все фазы напряжения питания.

Электрические калориферы выполняют в виде цилиндрического корпуса с фланцами, внутри которого установлены ТЭН. Калориферы монтируют в каналах судовой вентиляции или вместе с подсоединенными к ним вентиляторами, т. е. образуют переносной блок, используемый для прогрева и сушки. Мощность калориферов составляет 2,1–7,5 кВт при подаче работающих с ними вентиляторов 100–600 м³/ч. Входящий в калорифер воздух перегревается на 37 ± 10 °С.

Водонагреватели, обеспечивающие подогрев питьевой и мытьевой воды до температуры 35–70 °С, могут быть приборами непрерывного и периодического действия. Их изготавливают в виде баков с ТЭН мощностью 0,8–3 кВт и соответствующей водяной арматурой. Кипятильники мощностью 4–33 кВт могут быть приборами непрерывного или периодического действия. Некоторые из них снабжают устройствами автоматического управления. Маслонагреватели предназначены для подогрева масла и топлива, имеющих температуру вспышки паров не ниже 60 °С. Маслонагреватели в виде баков с ТЭН выполняют мощностью 0,35–3 кВт на напряжение 24–380 В.

Камбузными приборами являются электроплиты, хлебопечкарные печи, котлы для приготовления пищи и др. Плиты могут иметь 2–6 конфорок и духовки. С помощью пакетных переключателей можно переключать установленные в них ТЭН, регулируя мощность конфорок и духовок. Мощность камбузных электроплит составляет 5,4–22,7 кВт. На них можно готовить пищу на 15–300 чел.

К бытовым электронагревательным приборам относят гладильные машины, сушильные барабаны, переносные кипятильники, утюги и др.

Для ремонта и монтажа используют электрические паяльники, тигли и вулканизаторы. В тиглях расплавляют припой, в которых методом погружения проводят лужение электроконтактных устройств. В паяльниках и тиглях нагревательные элементы изготовлены из нихромовой проволоки, наложенной на миканит или асбоцементный цилиндр. Мощность тиглей 150–300 Вт, вместимость 25–75 см³. Электрический вулканизатор служит для ремонта оболочек кабеля. Вулканизаторы мощностью до 1,0 кВт состоят из двух шарнирно соединенных

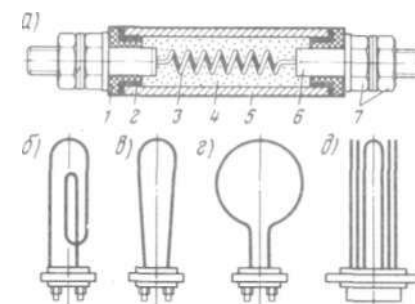


Рис 10.11. Герметичные трубчатые электронагреватели:

a - конструкция; *б*, *в*, *г* - для работы соответственно в воздушной, масляной и водяной средах; *д* - блочный

полуцилиндрических форм, в которые вмонтированы ТЭН. Формы собирают в полый цилиндр, охватывающий ремонтируемый кабель.

Индукционные нагревательные устройства. Они выделяют теплоту при действии вихревых токов, наводимых электромагнитным полем высокой частоты. Например, индуктор высокой частоты наводит вихревые токи в специальном сосуде для приготовления пищи, в результате выделяемая теплота обеспечивает быстрое и качественное приготовление пищи с сохранением питательных свойств продуктов. В береговых условиях индукционный метод нагрева используется для термической обработки металлов, сушки волокнистых материалов и других технологических и медицинских целей.

Радиационные нагревательные устройства- Простейшим устройством этого типа является зеркальная лампа инфракрасного излучения с пониженной температурой нити накала и повышенным сроком службы (не менее 5000 ч). Лампа обеспечивает глубокий прогрев крупных устройств, поэтому ее рационально использовать при сушке электрических машин.

Техническое обслуживание электронагревательных приборов. Рекомендуется выполнять ТО без разборки не реже 1 раза в 3 мес. При этом вскрывают кожухи, проверяют состояние нагревателей, поджимают контактные соединения, проверяют изоляционные устройства, измеряют сопротивление изоляции (оно должно быть не менее 1 МОм). Все детали нагревательного устройства тщательно очищают. Обслуживание электронагревательных приборов с частичной и полной разборкой проводят соответственно 1 раз в 6 мес и 1 раз в 2 года.

При каждом включении электронагревателя проверяют защитное заземление, отсутствие рядом горючих материалов. Над ТЭН при их включении должен быть уровень воды не менее 50 мм. Пользование любыми переносными электронагревательными устройствами разрешено только в специально выделенных помещениях, где оборудована сигнализация и имеются соответствующие приспособления. Электронагреватели нельзя оставлять включенными без присмотра.

Контрольные вопросы-задания

1. Назовите основные единицы светотехнических величин.
2. Как устроены и каковы характеристики ламп накаливания?
3. Как устроены и каковы характеристики люминесцентных ламп?
4. Из каких элементов состоят дуговые ртутные люминесцентные лампы?
5. Используя схемы, объясните процессы, происходящие при включении люминесцентных ламп.
6. Используя рис. 10.5, дайте характеристики судовым светильникам.
7. Как устроены судовые прожекторы?
8. Как рассчитать необходимое количество светильников методом удельных мощностей?
9. Как определить необходимое количество светильников при расчете с помощью коэффициента использования светового потока?
10. Каковы основные требования Правил Регистра СССР к навигационным огням и их коммутаторам?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В развитии судовой электроэнергетики в последние годы наметились значительные количественные и качественные изменения. Продолжается дальнейший рост установленных мощностей СЭС, обусловленный увеличением водоизмещения и скорости судов, а также насыщением их мощными приемниками электроэнергии. Например, суммарная установленная мощность генераторов на пассажирских судах превышает 16 МВт, на супертанкерах эта мощность достигает 5-6 МВт, на контейнеровозах составляет 8-10 МВт. Единичные мощности СГ увеличились до 2-2,5 МВ-А, а мощности АД ряда судовых электроприводов достигают 800-1000 кВт. Наряду с обычными СГ с самовозбуждением начали широко применяться БСГ, а также СГ с неявнополюсным ротором при низких частотах вращения.

Значительное внимание уделяется разработке и применению новых источников электроэнергии и двигателей, а также глубоководного погружного электрооборудования. Ведутся проработки проектов судов со сверхпроводящим и криогенным электрооборудованием.

Создание судов с новыми принципами движения (на воздушной подушке, на подводных крыльях, экранопланов и др.) привело к разработке облегченного СЭО с повышенными частотами тока и вращения.

Продолжаются интенсивные работы по использованию в судовых ЭП управляемых вентилях, позволяющих значительно улучшить массогабаритные показатели, увеличить КПД и повысить производительность механизмов.

На современных судах кабельные сети достигают таких размеров, что их размещение в ряде случаев представляет значительные трудности. К настоящему времени разработаны и используются на судах облегченные кабели с новыми электроизоляционными и защитными материалами, обладающими рядом преимуществ по сравнению с обычной резиновой изоляцией на основе натурального каучука.

Сокращение численности экипажей и длительный отрыв судов от баз ремонта потребовали резкого повышения качества СЭО, увеличения сроков его службы до срока службы самого судна (15-20 лет). Для решения этой проблемы создаются новые виды электрической изоляции, исключаются щеточно-контактные узлы в электрических машинах и преобразователях, а также в коммутационно-защитной аппаратуре, электромашинные преобразователи электроэнергии заменяются, где

это возможно, статическими. Создаются комплекты устройств судового электрооборудования, в которых силовые элементы неразрывно связаны с управляющими как схемно, так и конструктивно.

Повышается уровень комплексной автоматизации судов, предусматривающей централизованное управление СЭУ и СЭЭС на базе ЭВМ. Продолжает совершенствоваться программное обеспечение судовых ЭВМ, которые, как правило, являются модификациями машин берегового исполнения. Особое внимание уделяется повышению надежности СЭЭС. Это обусловлено тем, что вследствие повышения сложности СЭЭС происходит экспоненциальный рост среднего числа отказов.

На современном этапе можно выделить следующие основные направления развития СЭЭС:

рост мощностей СЭС, особенно специализированных судов (плавучие буровые установки, суда с ГЭУ и др.);

создание коммутационно-защитной аппаратуры с повышенной устойчивостью к токам КЗ, что позволит повысить мощность СЭС до 20-50 МВт при напряжениях 3-10 кВ;

оптимизация параметров электроэнергии СЭЭС путем применения ЭВМ для стабилизации напряжения и частоты тока СГ;

создание высоконадежных микропроцессорных СУ СЭЭС, выполненных по модульному принципу на уровне сменных электронных блоков с автоматическими самодиагностированием и самоконтролем.

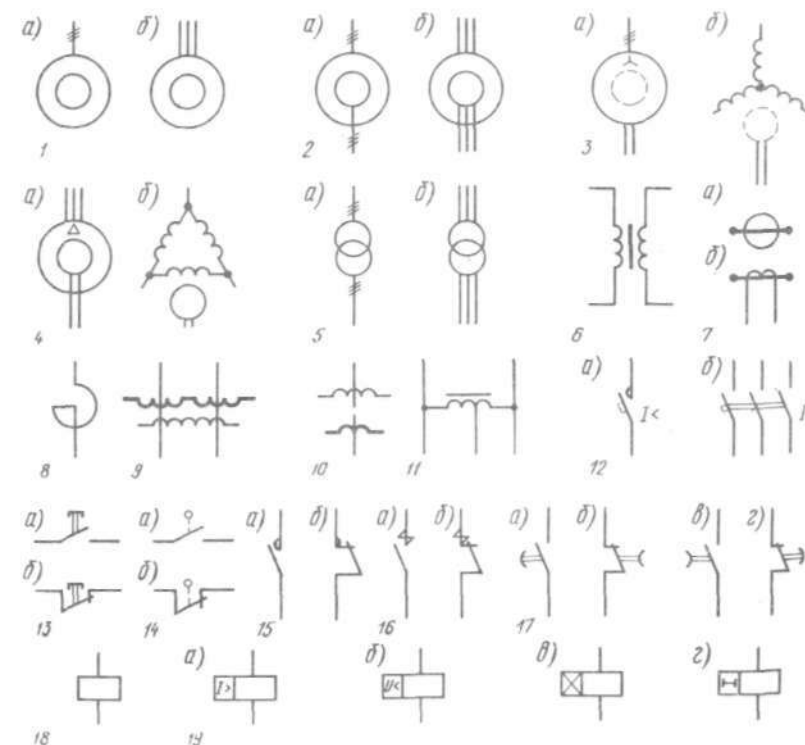
Дальнейшее развитие СЭЭС будет зависеть от решения ряда проблем, основными из которых являются:

разработка, исследование и внедрение новых источников электроэнергии с непосредственным преобразованием тепловой и ядерной энергии в электрическую;

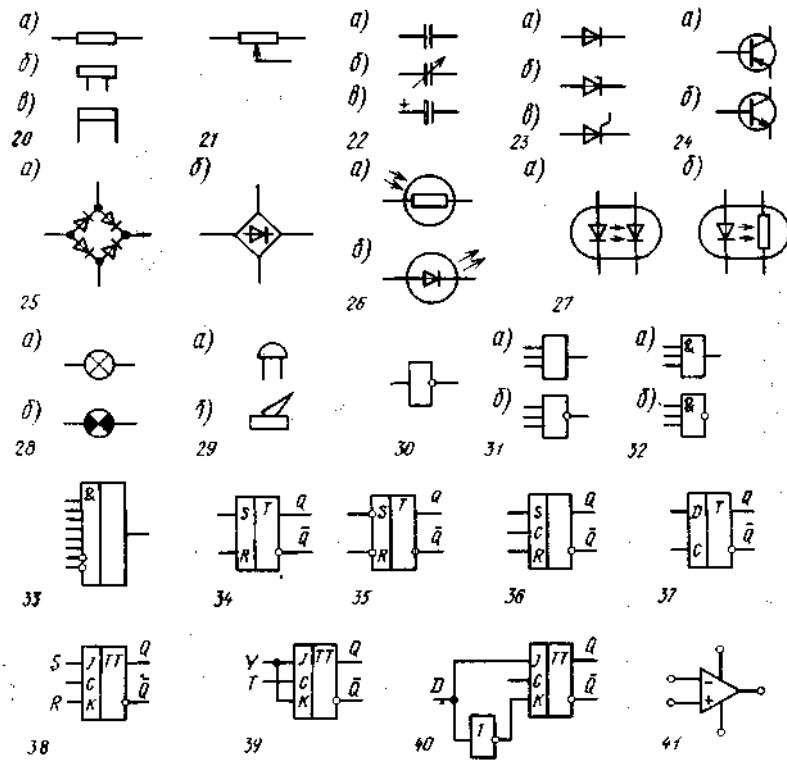
создание новых типов электромагнитных двигателей;

создание СЭЭС со сверхпроводящим электрооборудованием.

**УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ**



1. Машина асинхронная 3-фазная с короткозамкнутым ротором при однолинейном (а) и многолинейном (б) способах изображения выводов обмотки статора.
2. Машина асинхронная 3-фазная с фазным ротором при однолинейном (а) и многолинейном (б) способах изображения выводов обмотки статора.
3. Машина синхронная 3-фазная явнополюсная с обмоткой возбуждения на роторе при упрощенном (а) и развернутом (б) способах изображения обмотки статора.
4. Машина синхронная 3-фазная неявнополюсная с обмоткой возбуждения на роторе при упрощенном (а) и развернутом (б) способах изображения обмотки статора
5. Трансформатор напряжения 3-фазный при однолинейном (а) и многолинейном (б) способах изображения обмоток
6. Трансформатор напряжения 1-фазный с обмотками, изображенными развернутым способом
7. Трансформатор тока, вторичная обмотка которого изображена упрощенным (а) и развернутым (б) способами
8. Реактор
9. Усилитель магнитный с двумя магнитопроводами, с двумя рабочими и одной управляющей обмоткой (совмещенный способ изображения)



10. Усилитель магнитный с одной рабочей и одной обмоткой управления (разнесенный способ изображения)

11. Автотрансформатор

12. Автоматические выключатели 1-полюсный минимального тока (а) и 3-полюсный максимального тока (б)

13. Выключатели кнопочные нажимные с замыкающим (а) и размыкающим (б) контактами

14. Выключатели путевые с замыкающим (а) и размыкающим (б) контактами

15. Силовые замыкающий (а) и размыкающий (б) контакты контакторов без дугогашения

16. Силовые замыкающий (а) и размыкающий (б) контакты контакторов с дугогашением

17. Замыкающие (а, в) и размыкающие (б, г) контакты реле времени с выдержкой времени при замыкании (а, б) и размыкании (в, г)

18. Общее обозначение катушки электромагнитов и воспринимающей части электро-тепловых реле

19. Обмотки реле максимального тока (а), минимального напряжения (б) и времени, работающего с замедлением при срабатывании (в) и отпуске (г)

20. Резисторы постоянные без отводов (а), с отводами (б) и шунт (в)

21. Резистор переменный (стрелка обозначает подвижный контакт)

22. Конденсаторы постоянной (а), переменной (б) емкости и электролитический поляризованный (в)

23. Полупроводниковые диоды (а), стабилитрон (б) и тиристор с управлением по катоду (а)

24. Транзисторы с переходами р-п-р (а) и п-р-п (б)

25. Однофазная мостовая выпрямительная схема при развернутом (а) и упрощенном (б) способах изображения

26. Фоторезистор (а) и фотодиод (б)

27. Оптроны диодный (а) и резисторный (б)

28. Лампы осветительная (а) и сигнальная (б)

29. Электровзвонок (а) и электрогудок (б)

30. Логический элемент НЕ

31. Логические элементы ИЛИ (а) и ИЛИ-НЕ (б)

32. Логические элементы И (а) и И-НЕ (б)

33. Комбинационный логический элемент И с шестью прямыми и двумя инверсными входами

34. Асинхронный RS-триггер на логических элементах ИЛИ-НЕ

35. Асинхронный RS-триггер на логических элементах И-НЕ

36. Синхронный RS-триггер

37. D-триггер на логических элементах И-НЕ

38. JK-триггер

39. T-триггер на базе Ж-триггера

40. D-триггер на базе JK-триггера

41. Операционный усилитель

БУКВЕННЫЕ КОДЫ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ВИДОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Таблица П2

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Вид элемента	Двухбуквенный код
A	Устройство (общее обозначение)	Блок реле	AK
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот	Громкоговоритель Сельсин-датчик Сельсин-приемник Телефон (капсюль) Тепловой датчик Фотоэлемент Микрофон Датчик давления Тахогенератор	BA BC BE BF BK BL BM BP BR
C	Конденсаторы	-	-
D	Интегральные схемы	Схема интегральная аналоговая То же цифровая, логический элемент	DA DD
E	Элементы разные	Нагревательный элемент Лампа осветительная	EK EL
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Предохранитель плавкий	
G	Генераторы, источники питания	Батарея аккумуляторов	GB
H	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор сигнализации звуковой То же световой	HA HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое Реле указательное Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле времени Реле напряжения	KA KH KK KM KT KV
L	Катушки индуктивности, дроссели	Обмотка возбуждения генератора	LG
M	Двигатели	-	~
P	Приборы, измерительное оборудование	Амперметр Частотомер Счетчик активной энергии Счетчик реактивной энергии Омметр Регистрирующий прибор Часы, измеритель времени Вольтметр Ваттметр	PA PF PI PK PR PS PT PV PW

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Вид элемента	Двухбуквенный код
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (электрооборудование и т. д.)	Выключатель автоматический Короткозамыкатель Разъединитель	QF QK QS
R	Резисторы	Терморезистор Потенциометр Шунт измерительный	RK RP RS
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатель или переключатель Выключатель кнопочный Выключатель автоматический Выключатель, срабатывающий от положения (путевой) То же от частоты вращения	SA SB SF* SQ SR
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока То же напряжения	TA XV
И	Преобразователи электрических величин в электрические, устройства связи	Модулятор Преобразователь частоты, инвертор, выпрямитель	IB UZ
W	Линии и элементы СВЧ	Ответвитель	WE
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод, стабилитрон Тиристор Транзистор	VD VS VT
X	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий Штырь Гнездо Соединение разборное	XA XP XS XT
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит Тормоз с электромагнитным приводом	YA YB
Z	Устройства оконечные, фильтры, ограничители	Ограничитель Фильтр кварцевый	ZL ZQ

Обозначение применяют для аппаратов, не имеющих контактов в силовых цепях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А. П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. М.: Транспорт, 1988. 328 с.
2. Гивоне Д., Россер Р. Микропроцессоры и микрокомпьютеры. М.: Мир, 1983. 464 с.
3. Жежеленко И. В., Рабинович М. Л., Божко В. М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. Киев: Техника, 1981. 160 с.
4. Захаров О. Г. Словарь-справочник по настройке судового электрооборудования. Л.: Судостроение, 1987. 216 с.
5. Константинов В. Н. Системы и устройства автоматизации судовых электроэнергетических установок. Л.: Судостроение, 1988. 312 с.
6. Лейкин В. С., Михайлов В. А. Автоматизированные электроэнергетические системы рыбопромысловых судов. М.: ВО "Агропромиздат", 1987. 327 с.
7. Максимов Ю. И. Новые источники и преобразователи электрической энергии на судах. Л.: Судостроение, 1980. 224 с.
8. Максимов Ю. И., Павлюченко А. М. Эксплуатация судовых синхронных генераторов. М.: Транспорт, 1976. 200 с.
9. Правила классификации и постройки морских судов / Регистр СССР. Л.: Транспорт, 1990. 928 с.
10. Правила технической эксплуатации судовых технических средств. М.: В/О "Мортехинформреклама", 1984. 338 с.
- И. Справочник судового электротехника / Под ред. Г. И. Китаенко. Л.: Судостроение, 1980. 528 с.
12. Судовая электротехника и электроника / Под ред. Д. В. Вилесова. Л.: Судостроение, 1985. 312 с.
13. Судовые электроустановки и их автоматизация / К. Т. Витюк, П. И. Гриценко, П. К. Коробов, В. В. Тихонов. М.: Транспорт, 1986. 448 с.
14. Сухарев Е. М. Судовые электрические станции, сети и их эксплуатация. Л.: Судостроение, 1986. 304 с.
15. Хайдуков О. П., Дмитриев А. Н., Запорожцев Г. Н. Эксплуатация электроэнергетических систем морских судов: Справочник. М.: Транспорт, 1988. 223 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.	3
Список принятых сокращений.	5
Введение.	7
Глава 1. Основные характеристики судовых электроэнергетических систем.	10
1.1. Термины и определения. Классификация.	10
1.2. Структурные схемы СЭЭС.	13
1.3. Структурные схемы СЭС.	15
1.4. Параметры СЭЭС.	16
1.5. Приемники электроэнергии.	18
Глава 2. Источники электроэнергии.	22
2.1. Приводные двигатели генераторов и автоматические регуляторы частоты вращения.	22
2.2. Генераторы переменного тока.	25
2.3. Генераторы постоянного тока.	28
2.4. Перспективные источники электроэнергии.	30
2.5. Техническая эксплуатация источников электроэнергии.	32
Глава 3. Выбор генераторных агрегатов судовых электростанций.	35
3.1. Основные сведения.	35
3.2. Табличный метод определения мощности СЭС.	38
3.3. Аналитический метод определения мощности СЭС.	42
3.4. Выбор количества и мощности генераторов.	43
Глава 4. Системы возбуждения и автоматического регулирования напряжения синхронных генераторов.	45
4.1. Качество электроэнергии.	45
4.2. Принципы построения систем автоматического регулирования напряжения.	48
4.3. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения генераторов типа МСС.	55
4.4. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения генераторов типа ГМС.	58
4.5. Система возбуждения и автоматического регулирования напряжения типа ТШ/А.	64
Глава 5. Судовые распределительные устройства и их аппаратура.	71
5.1. Назначение, классификация и конструкция распределительных устройств.	71
5.2. Коммутационная аппаратура.	75
5.3. Автоматические выключатели генераторов.	77
5.4. Автоматические выключатели приемников электроэнергии.	81
5.5. Предохранители.	85
5.6. Реле защиты.	87
5.7. Электроизмерительные приборы.	91
5.8. Главные распределительные щиты.	101
5.9. Выбор коммутационно-защитной аппаратуры.	104

Глава 6. Параллельная работа генераторов	.106
6.1. Особенности параллельной работы	.106
6.2. Условия синхронизации и последствия их нарушений	.107
6.3. Методы синхронизации	.112
6.4. Распределение активной нагрузки	.117
6.5. Распределение реактивной нагрузки	.120
6.6. Параллельная работа генераторов постоянного тока	.121
Глава 7. Системы управления судовыми электроэнергетическими системами	.124
7.1. Классификация и структура	.124
7.2. Автоматизированные устройства оценки параметров синхронизации	"
7.3. Автоматизированные устройства подгонки частоты	.1"
7.4. Автоматизированные устройства распределения активных нагрузок	146
7.5. Автоматизированные устройства включения резерва	.1"
7.6. Автоматизированные защитные устройства генераторов	.1'6
7.7. Микропроцессорные системы управления	.170
7.8. Надежность, диагностирование и прогнозирование технического состояния	.178
7.9. Техническая эксплуатация автоматизированных устройств	.182
Глава 8. Аварийные источники электроэнергии	↓°~
8.1. Требования к аварийным электростанциям	.:Г!
8.2. Коммутационные устройства и СВАРН аварийных электростанций	
8.3. Автоматический пуск аварийного дизель-генератора, включение на-	100
грузки	
8.4. Судовые аккумуляторы и гальванические элементы	"~
8.5. Кислотные аккумуляторы	
8.6. Щелочные аккумуляторы	.198
8.7. Выбор и размещение аккумуляторов, техника безопасности при обслуживании	.201
8.8. Зарядно-питающие устройства аккумуляторов	.202
Глава 9. Судовые электрические сети	.205
9.1. Классификация электрических сетей	.205
9.2. Судовые кабели и провода	т™
9.3. Расчет кабелей по току нагрузки, их выбор и проверка	.209
9.4. Методы прокладки кабелей	.212
9.5. Защита приемников электроэнергии и электрических сетей	.214
9.6. Простейшие методы контроля сопротивления изоляции	.218
9.7. Автоматизированные методы контроля сопротивления изоляции	...~5
9.8. Защита от помех радиоприему	.228
9.9. Техническая эксплуатации электрических сетей	."
Глава 10. Судовая светотехника и электронагревательные приборы	.235
10.1. Основы светотехники	.235
10.2. Источники света	.236
10.3. Схемы подключения люминесцентных ламп	.239
10.4. Светильники и прожекторы	.242
10.5. Расчет электрического освещения	.246
10.6. Световая сигнализация	.248
10.7. Электронагревательные приборы	.252
Заключение	.255
Приложение 1. Условные графические обозначения, используемые в электрических схемах	.257
Приложение 2. Буквенные коды наиболее распространенных видов элементов электрических схем	.260
Список литературы	.262