

# РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКАЯ ТЕЛЕМЕХАНИКА

© Издательство «Радио и связь», 1986

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание книги вышло в 1979 г. Во втором издании учтено большое число замечаний и пожеланий читателей. Содержание ее значительно обновлено.

История техники знает много примеров радиопередачи подвижными механизмами, создававшимися для военных целей и нужд народного хозяйства. В наши дни благодаря прогрессу науки и техники отечественная радиотелемеханика достигла больших успехов и то, что совсем недавно считали фантастикой, сейчас становится явью. В подтверждение этому вспомним успешные действия «Луноходов» по командам с Земли из Центра управления космическими полетами.

Эта книга рассказывает о той области радиотелемеханики, в которой радиолюбители могут попробовать свои силы — о радиопередаче наземными, плавающими и летающими объектами. Управление по радио моделями — это своего рода малая радиотелемеханика, которая подчиняется всем законам большой радиотелемеханики, но имеет свою специфику.

Основную часть книги составляет описание нескольких вариантов испытанной в реальных условиях аппаратуры радиопередачи, разной по сложности в целевом назначении. В описании есть сведения о том, как изготовить и наладить аппаратуру. Особое внимание уделено многоканальной аппаратуре пропорционального управления.

Все устройства, о которых рассказывает книга, относительно просты по схеме, изготовлены из доступных деталей, не представляют трудности в налаживании.

Чем же обусловлено стремление радиолюбителей-моделистов к самостоятельному изготовлению аппаратуры?

Выпускаемая промышленностью аппаратура не всегда соответствует возрастающим требованиям моделистов. Многие радиолюбители стремятся внести свой вклад в разработку аппаратуры и ее совершенствование. В истории моделизма много примеров, когда на соревнованиях спортсмены добивались выдающихся успехов, управляя моделями посредством самостоятельно изготовленной аппаратуры.

Усложняются правила соревнований по радиопередаче моделями, растут требования к моделям, появляются новые виды соревнований — все это ставит перед радиолюбителями новые задачи. Например, на повестке дня стоит вопрос о создании многоканальной аппаратуры дискретно-пропорционального управления, позволяющей быстро путем замены кварцевых резонаторов перестроиться на новую волну, обеспечив тем самым одновременный запуск нескольких моделей без взаимных помех.

Описанию конкретной аппаратуры в книге предшествует небольшая теоретическая часть. В гл. 1 рассказано об основах радиотелемеханики для моделизма и о принципах построения разных систем. Бесподстроечная связь в современных системах радиотелемеханики обеспечена кварцевой стабилизацией частоты автогенератора передатчика и гетеродина приемника. В связи с этим гл. 3 посвящена теории автогенераторов с кварцевой стабилизацией частоты. Завершает книгу краткое описание несложных самодельных измерительных приборов и стендов, крайне необходимых моделисту для регулировки аппаратуры радиопередачи при ее изготовлении.

## 1. РАДИОТЕЛЕМЕХАНИКА ДЛЯ МОДЕЛИЗМА

Системы радиотелемеханики для моделизма допускают ряд упрощений, обусловленных спецификой использования и малым радиусом действия, стремлением к конструктивной простоте и другими соображениями, среди которых немаловажное значение имеет стоимость аппаратуры. В то же время возрастающие требования к характеру управления приводят к усложнению аппаратуры.

Системы радиомодельной телемеханики — неавтоматические. Важным звеном системы служит оператор, который зрительно обеспечивает обратную связь управления и передает необходимые команды управления, устраняющие рассогласование между требуемым направлением движения модели и реальным направлением к моменту передачи команды. Оператор управляет также работой всевозможных исполнительных механизмов на модели. Поскольку в задачу книги входит рассмотрение только радиомодельной телемеханики, то в дальнейшем, говоря о тех или иных вариантах систем, будем считать, что оператор присутствует в системе и тогда, когда рассказ идет о ее аппаратурной части.

В системе командного телеуправления аппаратурную часть называют командной радиолнией. На рис. 1 показана структурная схема командной радиолнии управления моделью. Любая система дистанционного

управления независимо от того, для каких целей она предназначена, имеет обязательное звено — канал связи. Известно несколько видов канала связи — проводной, акустический, ультразвуковой, световой, радиоканал. Чтобы управляемый объект выполнил нужную операцию, ему по каналу связи надо передать соответствующую команду. В простейшем случае каждая из команд может быть передана по отдельному каналу связи. Для управления стационарным объектом можно применять многожильный кабель.

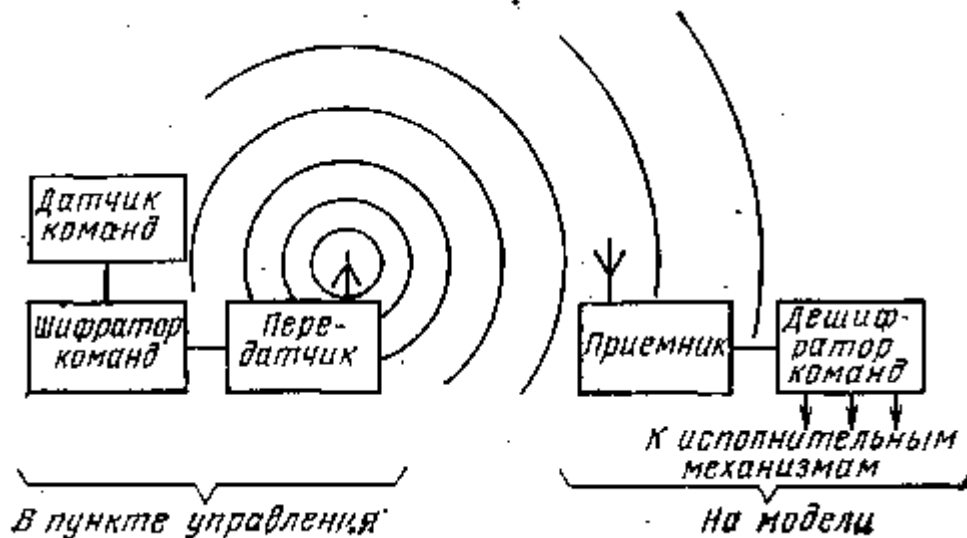


Рис. 1. Структурная схема командной радиолинии управления моделью

Управление по радио подвижными объектами сводится к передаче команд по одному и тому же каналу связи на одной несущей частоте с помощью командной радиолинии. Существуют различные принципы построения командных радиолиний, предназначенных для управления моделями. Наиболее проста и доступна для самостоятельного изготовления аппаратура телеуправления, в которой использован числоимпульсный принцип распределения команд. В недалеком прошлом такую аппаратуру применяло большинство моделестов. Затем она морально устарела, и принцип числоимпульсного распределения команд стал вспомогательным в многоканальных системах радиоуправления. Один из применявшихся вариантов построения такой системы показан на рис. 2.

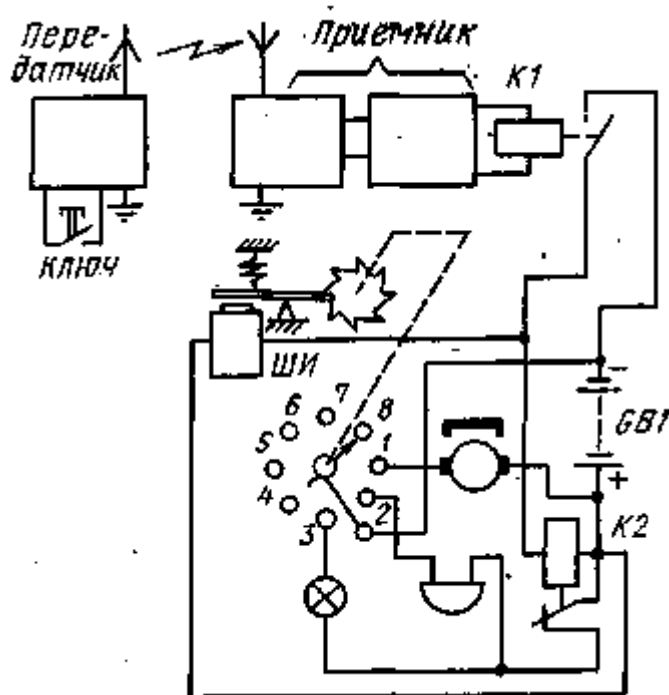


Рис. 2. Вариант построения аппаратуры числоимпульсной системы

Первоначально в моделизме широко применяли шаговые искатели всевозможных конструкций. Передатчики и приемники были ламповыми. На передающей стороне командной радиолинии устанавливали радиопередатчик сигналов и ключ, посредством которого передавали команды. Передатчик при этом излучал

посылки немодулированных колебаний, т. е. работал в импульсном режиме. На приемном конце на выходе приемника было включено чувствительное, быстродействующее реле К1, именуемое в дальнейшем первичное реле. Его контакты включали шаговый искатель (ШИ), отыскивающий нужную исполнительную цепь и подключающий ее к источнику тока. Для того чтобы щетка ШИ не была под напряжением во время движения, предусматривали реле времени К2. Оно быстро срабатывало при передаче первого в командной серии импульсов, разрывая своими контактами цепь подачи тока к исполнительным механизмам. Спустя некоторое время после установки щетки ШИ в нужное положение через контакты реле К2 автоматически подавался ток в исполнительную цепь. При необходимости исполнительные механизмы можно подключить к контактам ШИ, минуя реле К2.

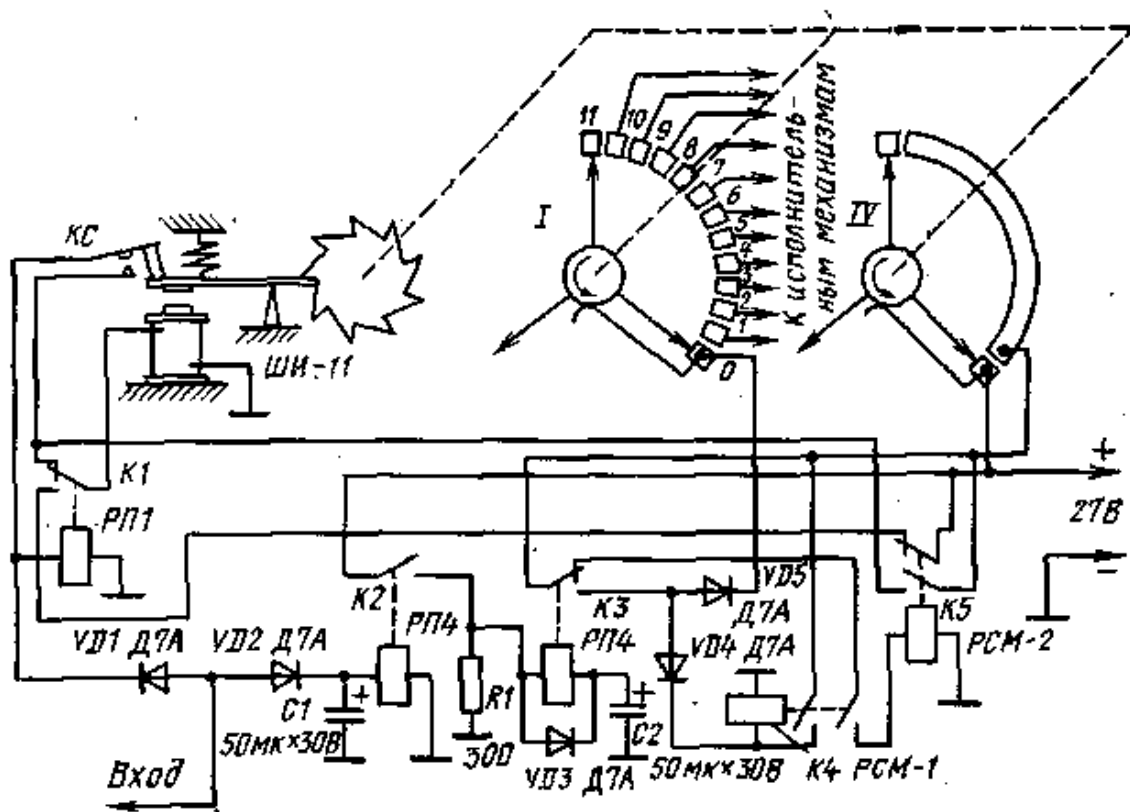


Рис. 3. Схема селекторного блока

Существовали и более сложные варианты схем для радиолиний с числоим-пульсным принципом подачи команд. Малое быстродействие и непригодность для пилотажных радиоуправляемых моделей — существенные недостатки такой аппаратуры. Однако этот принцип не следует отвергать совсем. Он может быть реализован как составная часть системы управления моделями с большим числом исполнительных механизмов (такowymi могут быть модели военных судов). Числоимпульсный принцип разделения команд лучше использовать так, чтобы каждой команде соответствовало конкретное число импульсов в командном сигнале, посланном с передатчика. В этом случае после приема каждой команды селекторный блок на борту модели должен быстро приходить в исходное состояние.

В отличие от предыдущего, устаревшего варианта радиолинии теперь широко применяют многоканальные радиолинии, также имеющие один высокочастотный канал связи, но обеспечивающие одновременную передачу ряда команд. В тех случаях, когда модель должна выподнять множество команд, не связанных с движением, выделяют дополнительный числоимпульсный канал. Основные каналы используют для управления движением модели.

На модели корабля можно установить селекторный блок, схема которого показана на рис. 3. Селекторный блок с одноканальным входом работает так, что после подачи на его вход серии командных импульсов тока к нужному выводу контактного поля ШИ автоматически поступает импульс тока для исполнения команды, а затем блок переходит в исходное состояние. Селекторным блоком управляют по выбранному каналу радиолинии. Исполнительную цепь выбирает ШИ. На его вход от первичного реле приемника поступают импульсы тока. Ток в обмотку электромагнита ШИ проходит через контакты реле К1.

При первом импульсе конденсатор С1 зарядится через диод VD2. Одновременно срабатывает реле К2 и через его контакты и диод VD3, минуя обмотку реле К3, зарядится конденсатор С2. В интервалах между командными импульсами якорь реле К2 остается притянутым, но после передачи серии импульсов конденсатор С1 разрядится через обмотку реле К2, и оно обесточится. Сразу же через обмотку реле К3 и резистор R1 станет разряжаться конденсатор С2. Реле К3 работает на очень короткое время (около 1 с), и к остановившейся щетке

ШИ кратковременно подключится напряжение бортовой сети (27 В). Так будет подан сигнал для включения автоматики исполнительных механизмов. Затем произойдет возврат всех элементов селекторного блока в исходное состояние.

Для этой цели в момент выдачи импульса исполнения реле К4, сработав, подготавливает цепь включения реле К5. Оно включается при размыкании контактов реле К3. В результате через замкнутые контакты реле К1 напряжение оказывается приложенным к обмотке электромагнита ШИ. Теперь контакты КС самохода включают реле К1, которое прервет подачу тока в обмотку электромагнита ШИ. Якорь ШИ, вернувшись в исходное положение, разомкнет контакты КС, обмотка реле К1 снова обесточится, и цикл начнет повторяться до тех пор, пока щетка IV не сойдет с широкого токосъема. У шагового искателя ШИ необходимо удалить группы II и III контактов вместе со щетками, а также заменить плоскую возвратную пружину на спиральную. Тогда на работу ШИ не будет влиять снижение напряжения аккумуляторной батареи, питающей бортовую сеть модели. Если интервалы в серии командных импульсов велики, то нужно увеличить емкость конденсатора С1. Ее определяют при налаживании. РШМ К2 и К3 должны иметь высокую чувствительность (обычно применяют поляризованное реле РП-4).<sup>4</sup>

Как уже было сказано, команды передают по нескольким каналам на одной несущей частоте; систему радиосвязи в этом случае называют командной многоканальной радиолинией. Многоканальные радиолинии по способу разделения каналов на приемной стороне делятся на радиолинии с частотным, временным и кодовым разделением каналов.

Для управления моделями в большинстве случаев применяют радиолинии с частотным разделением каналов. Здесь напряжение несущей частоты передатчика модулировано вспомогательными, так называемыми поднесущими частотами. Каждому каналу соответствует своя поднесущая частота, которая, в свою очередь, модулируется передаваемым по данному каналу сигналом управления. Команды могут быть как дискретными, так и плавно изменяющимися. Когда аппаратура многоканальной радиолинии предназначена для передачи конкретного числа команд, ее принято называть по их числу, например шестикомандная аппаратура. В приемнике в этом случае после детектора устанавливают ряд селективных фильтров, посредством которых модулированные сигналы поднесущих частот разделяют по каналам, где они демодулируются. Селективные фильтры обычно строят на базе LC-фильтров, реже применяют RC-фильтры. В зарубежной аппаратуре с числом каналов до десяти используют следующие под-несущие частоты: 1080, 1320, 1610, 1970, 2400, 2940, 3580, 4370, 5310, 6500 Гц. В радиолинии с этими поднесущими частотами обычно применяют сверхрегеративный приемник. Для восьмиканальной аппаратуры используют поднесущие частоты 825, 1110, 1700, 2325, 3000, 3670, 4300, 5700 Гц.

Длительное время в аппаратуре радиоуправления для селекции каналов применялись резонансные реле. Обычно их изготавливали на шесть каналов, но были и десятиканальные. Резонансные реле работают на частотах 200 — 600 Гц. Разница между частотами соседних каналов 20 — 30 Гц. Ширина полосы каждого канала находится в пределах 6 — 8 Гц. С применением резонансного реле выпускали аппаратуру РУМ-1. Системы радиоуправления с использованием в приемнике резонансного реле капризны в эксплуатации и нестабильны при изменении температуры. В настоящее время их применяют редко.

Сигналы поднесущих частот в аппаратуре для управления моделями модулируют или по амплитуде, или по частоте. Существуют системы управления, а которых команды различают по признаку разной длительности посылок сигналов поднесущих частот. Широкое распространение получила аппаратура, обеспечивающая последовательную передачу команд. В таких командных многоканальных радиолиниях с частотной селекцией сигнала управления число каналов обычно не превышает двенадцати. Существуют радиолинии для одновременной передачи двух и более команд. Однако если в радиолинии одновременно передают команды по четырем-пяти каналам, то избавиться от взаимных помех уже нелегко. Известно, что в многоканальной радиолинии с числом каналов  $n$ , когда все сигналы одновременно модулируют сигнал несущей частоты, глубина модуляции от каждого должна составить только  $100\%/n$ . Это приводит к уменьшению радиуса действия аппаратуры, к сложностям при налаживании и эксплуатации.

Существуют способы - практически одновременной передачи двух команд без снижения глубины модуляции в каждом канале. Это можно обеспечить передачей быстро чередующихся посылок (с частотой 50 — 100 Гц) в двух каналах при одновременном нажатии двух кнопок. Такие системы чаще всего находят применение в авиамodelьном спорте. Для судомodelьного и автомodelьного спорта можно пользоваться системами с последовательной передачей команд. Каждый вид моделизма предъявляет свои специфические требования к аппаратуре радиоуправления. Делать эту аппаратуру универсальной нерационально.

Рассмотрим вкратце, что следует считать оптимальным применительно к таким видам спорта, как судомodelизм, автомodelизм, авиамodelизм.

На спортивной радиоуправляемой модели корабля<sup>1</sup> исполнительными механизмами служат ходовые электродвигатели, электродвигатели рулевых машинок и разнообразных подруливающих устройств, а также шкотовых, лебедок на- моделях яхт. В зависимости от того, для каких состязаний изготавливается конкретная модель, определяют требования к аппаратуре радиоуправления и принципу передачи команд. Большинство спортсменов применяет простые системы радиоуправления. Для скоростных моделей с ходовым электродвигателем пригодна пятикомандная аппаратура с последовательной независимой -передачей команд: «Вперед», «Стоп», «Задний ход», «Лево руля», «Право руля». Для радиоуправляемых моделей парусных яхт и скоростных моделей с ходовым - двигателем внутреннего сгорания может быть применена четырехкомандная

аппаратура с последовательной передачей команд. Для этих же моделей в ряде случаев вполне оправдано применение более сложной многокомандной аппаратуры, обеспечивающей одновременную передачу двух команд, или аппаратуры с одним каналом пропорционального управления рулевым механизмом и несколькими каналами для разовых команд.

Для плавающих моделей с двигателями внутреннего сгорания применяются системы с двумя каналами пропорционального управления. Для радиоуправления моделью, предназначенной для соревнований по прохождению сложного курса, необходима семикомандная аппаратура с последовательной подачей команд: «Вперед», «Стоп», «Задний ход», «Разворот влево», «Разворот вправо», «Левый руль», «Правый руль». Команды «Разворот влево» или «Разворот вправо» заставляют ходовые винты вращаться в разные стороны в зависимости от того, в какую сторону необходимо развернуть модель, или же включают соответствующие подруливающие устройства. На таких моделях наряду с аппаратурой радиоуправления имеется блок автоматики, управляющий работой электродвигателей, в частности их реверсом.

На спортивной радиоуправляемой автомодели исполнительными механизмами являются один ходовой электродвигатель (реже два) и рулевая машинка (рулевой механизм). Поэтому на такой модели нецелесообразно применять усложненную систему радиоуправления. Например, пятиканальная аппаратура с последовательной передачей команд «Вперед», «Стоп», «Назад», «Налево»

«Направо» обеспечивает хорошую управляемость автомоделью на колесах. При некотором усложнении бортовой - автоматики возможно применение аппаратуры с четырьмя и даже с тремя каналами. Правда, иногда необходима многоканальная аппаратура, обеспечивающая одновременную передачу двух команд, или аппаратура с одним каналом пропорционального управления рулевым механизмом и несколькими каналами для разовых команд. Для управления автомоделями с двигателями внутреннего сгорания применяют системы с двумя каналами пропорционального управления.

Наиболее сложные и жесткие технические требования предъявляют к аппаратуре радиоуправления пилотажными моделями. Эти модели способны взлетать, набирать высоту, выполнять комплекс сложнейших фигур высшего пилотажа и совершать посадку. Находящаяся на модели бортовая аппаратура командной радиолинии управляет рулями высоты и поворота, элеронами, триммерами руля высоты, частотой вращения вала двигателя и включением тормоза. Управление полетом требует от моделиста большого мастерства.

Приобретение навыков пилотирования моделей идет, как обычно — от простого к сложному. Для простых моделей требуется менее сложная аппаратура. Так, например, для радиоуправляемой авиамодели с управлением рулем поворота и частотой вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания вполне достаточно трехкомандной аппаратуры дискретного управления. Среди радиоуправляемых авиамodelей в отдельные группы выделяют пилотажные модели, модели-копии самолетов, модели самолетов с посадкой в круг, модели планеров и модели-копии планеров. Для моделистов, пилотирующих сложные многофункциональные модели, нужна многоканальная аппаратура с пропорциональным управлением, легкая и компактная, экономичная по электропитанию, надежная в работе и удобная в эксплуатации.

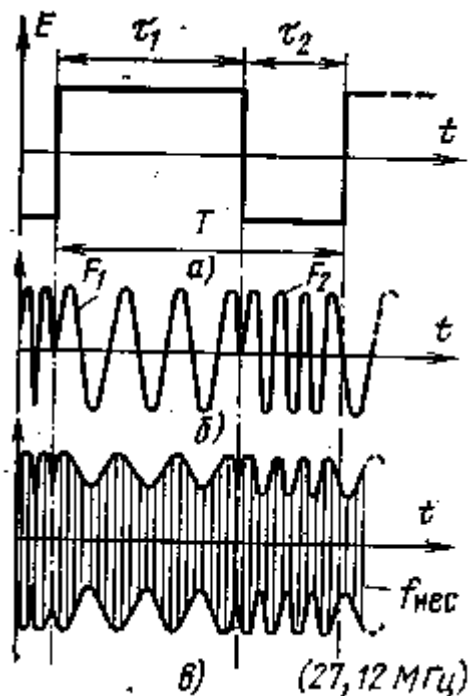


Рис. 4. Временные диаграммы, поясняющие метод формирования плавноизменяемой команды:

а — напряжение на выходе командодатчика; б — поднесущие частоты; в — излучаемый сигнал

Максимально допустимая мощность передатчика — 1 Вт. Рулевые машинки должны иметь продольные тяги или поворотные рычаги. Время движения рычага из нейтральной в крайнее положение и время возврата должно быть в пределах от 0,2 до 0,4 с. Усилие на рычаге рулевой машинки должно быть не менее 400 г.

Предмет особого внимания радиоинженеров, разрабатывающих и модернизирующих аппаратуру радиуправления моделями, — многоканальные радиолинии с пропорциональным управлением исполнительными механизмами. В этих системах перемещение тяги или отклонение поворотного рычага рулевой машинки модели пропорционально перемещению или наклону управляющего рычага передатчика радиопередающего устройства.

Существует ряд способов преобразования механического отклонения управляющего рычага командодатчика в электрические сигналы, которые будут зашифрованы и переданы командной радиолинией, приняты и расшифрованы на борту модели и снова преобразованы в соответствующее механическое отклонение рычага рулевой машинки.

По своему характеру команды управления могут быть подразделены на разовые (однократные и многократные) и непрерывные (плавно изменяющиеся). Непрерывные команды могут быть знакопеременными, т. е. такими, когда наряду с изменением амплитуды сигнала команды может смениться его знак с переходом через нуль. Это команды управления рулями, когда их нужно плавно поворачивать влево и вправо (или вверх и вниз) относительно нейтрального (нулевого) положения. Существует понятие коэффициента плавно изменяемой команды  $K_k$ , который является величиной относительной:

$$K_k = K/K_{\text{макс}}$$

где  $K$  — длительность передаваемой команды;  $K_{\text{макс}}$  — наибольшая возможная длительность передаваемой команды.

Широкое применение для передачи плавно изменяемых команд получил метод временных соотношений длительности посылки и паузы или длительностей двух биполярных импульсов за время постоянного периода при непрерывной передаче с постоянной частотой повторения [Этот метод раньше имел не вполне удачное наименование «разноплечевое меандра». Меандр, как известно, — это напряжение прямоугольной формы с постоянной скважностью, равной 2. — Прим. ред.]. Принцип реализации этого метода в командной радиолинии иллюстрируется рис. 4. Импульсы на выходе командодатчика имеют постоянный период повторения. На выходе командодатчика осуществляется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Команда определяется соотношением длительностей  $T_1$  и  $T_2$ :

$$K_k = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}$$

Импульсы с командодатчика преобразуются в шифраторе в частотно-манипулируемую поднесущую (ШИМ-ЧМн), показанную на рис. 4,б.

На рис. 4,в изображен вид излучаемого передатчиком сигнала (ШИМ — ЧМн — АМ). Приемник выделяет импульсы длительностью  $T_1$  и  $T_2$ . Временное соотношение этих импульсов преобразуется в напряжение или ток для управления исполнительным механизмом.

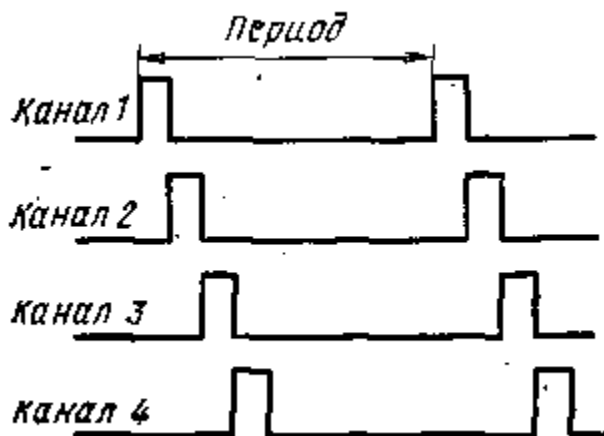


Рис. 5. Структура импульсной последовательности в каналах с временным уплотнением

В основу принципа построения большинства известных многоканальных командных радиолиний с пропорциональным управлением заложен метод временного разделения команд. Однако известны методы построения командных радиолиний с одновременной передачей сигналов пропорционального управления по двум каналам. В радиолиниях для управления моделями такой метод одновременной двухканальной передачи плавно изменяемых команд применяют весьма редко. Однако если быстро чередовать каналы, то команды будут обработаны как передаваемые одновременно. Такое чередование обеспечивает простой электронный

.коммутатор. В радиолиниях с тональными методами передачи команд нет необходимости в синхронизации, так как каналы разделяются низкочастотными фильтрами.



Рис. 6. Структура импульсной последовательности в каналах с синхронизацией паузой

Для передачи плавно изменяемых команд можно применить изменение частоты тональной посылки в определенных пределах в обе стороны от среднего значения, соответствующего нулевому значению команды. На среднюю частоту настраивают низкочастотный дискриминатор приемника. Выходное напряжение меняется от отрицательных до положительных значений пропорционально изменению частоты и отклонению рычага командодатчика. Усилитель постоянного тока усиливает эти перепады до значений, необходимых для работы электродвигателя рулевой машинки. Для того чтобы ее рычаг остановился в положении, пропорциональном постоянному напряжению на его входе, с выходной осью рулевой машинки связывают переменный резистор, включенный потенциометром. С него снимают напряжение, нейтрализующее действие входного напряжения при достижении рычагом требуемого положения, в результате чего он остановится. Отклонение рычага рулевой машинки будет тем точнее, чем больше коэффициент усиления усилителя рулевой машинки. Упомянутый метод применяют редко, так как приемная аппаратура при этом получается более тяжелой, имеет больший объем, регулировка ее сложнее, чем при других методах построения многоканальных линий с пропорциональным управлением.

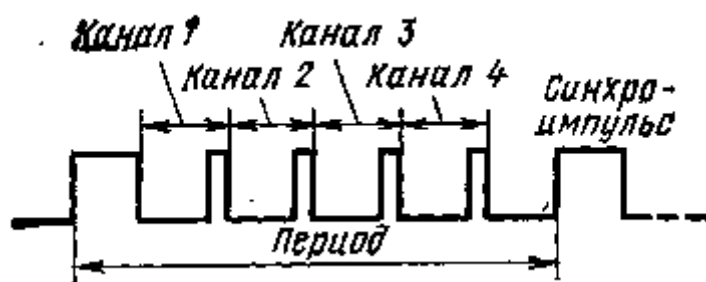


Рис. 7. Структура импульсной последовательности в каналах с синхронизацией маркерным импульсом

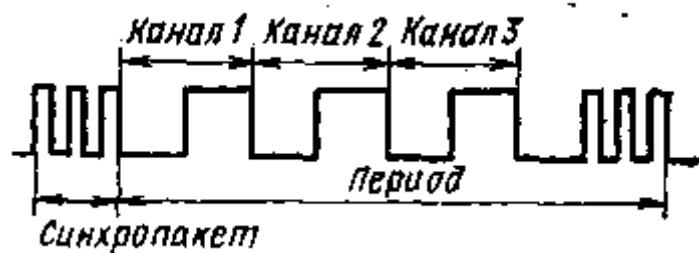
В настоящее время в многоканальных радиолиниях пропорционального управления широко применяют метод импульсной передачи команд при временном разделении каналов. При этом в шифраторах и дешифраторах широко используют мультивибраторы, одновибраторы, дифференцирующие и интегрирующие цепи и т. п. В этих системах отклонение рычага рулевой машинки пропорционально длительности передаваемого импульса.

В импульсных системах каждому каналу отводится отрезок времени, а все эти отрезки периодически повторяются (рис. 5). Такое распределение каналов именуется многоканальной системой с временным уплотнением. При передаче команд в этой системе необходимо сохранять последовательность каналов, для чего синхронизируют их передачу. Существует много способов синхронизации, но в аппаратуре для радиоуправления моделями используют лишь те, которые имеют наиболее простые схемно-конструктивные решения.

Зарубежная фирма «Симпроп Электроник» в аппаратуре «Супер Альфа 2007/5» для синхронизации использует паузу, расположенную между концом импульса последнего и началом импульса первого каналов (рис. 6). В дешифраторе приемника этой аппаратуры имеется узел, который при прохождении паузы с длительностью больше максимальной длительности одного канала установит счетчик каналов в исходное (нулевое) состояние, подготовив его для счета новой серии импульсов.

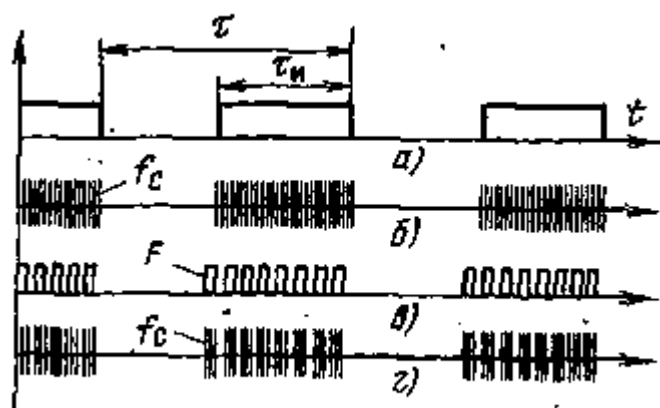
В аппаратуре «Вариопроп», выпускаемой фирмой «Граупнер Грундиг», использован другой способ синхронизации: в качестве маркера серии применяют импульс большой длительности (рис. 7). В этой системе синхронизирующие узлы помехоустойчивы. Они практически не реагируют на импульсную помеху, так как у

нее в большинстве случаев длительность мала, а у синхронизирующего, (маркерного) импульса длительность значительно больше.



**Рис. 8. Структура импульсной последовательности в каналах с синхронизацией маркерным пакетом импульсов**

В аппаратуре ТХ/РХ-14 (этой же фирмы) серия импульсов синхронизируется тремя импульсами малой длительности, образующими своеобразный пакет импульсов (рис. 8). В дешифраторе приемника имеется счетчик, который подсчитывает импульсы и только после этого включит счетчик каналов. Такой способ синхронизации надежно защищает дешифратор от помех, так как очень мала вероятность того, что помеха будет иметь вид такого пакета импульсов малой длительности.



**Рис. 9. Диаграммы передаваемого сигнала в системе «Двсороп»:**

**а** — в шифраторе при передаче плавноизменяемой команды; **б** — в эфире только плавноизменяемая команда; **в** — в шифраторе при одновременной передаче плавноизменяемой и дискретной команды; **г** — в эфире плавноизменяемая и дискретная команды одновременно

В импульсных многоканальных командных радиоприемах возможны следующие виды модуляции для передачи команд: амплитудно-импульсная (АИМ); широтно-импульсная (ШИМ); фазоимпульсная (ФИМ); кодоимпульсная (КИМ). Из перечисленных видов модуляции наибольшее распространение в аппаратуре радиоуправления моделями для передачи пропорциональных команд управления получила ШИМ. Значение плавно изменяемой команды передается путем изменения длительности импульсов при постоянной их амплитуде. Модуляция может быть односторонней или двусторонней. В первом случае длительность изменяют перемещением фронта или спада импульса по времени, а во втором — одновременно смещают и фронт и спад.

Остальные виды модуляции в аппаратуре радиоуправления моделями практически не применяют, поскольку АИМ не обладает помехоустойчивостью, а ФИМ и КИМ хотя и имеют высокую помехоустойчивость, но сложны в реализации. Следует отметить, что при временном разделении каналов можно добиться полного исключения взаимовлияния каналов.

Существуют смешанные (частотно-временные) варианты построения радиоприемов с пропорциональным управлением. Такие варианты могут быть реализованы для небольшого числа каналов (не более четырех). Эти же комбинированные методы находят применение при построении систем с дискретно-пропорциональным управлением («Диспроп»), в которых по одному или двум каналам передают плавно изменяемые команды пропорционального управления и одновременно по этим же или дополнительным каналам передают дискретные (разовые) команды, выделяемые в дешифраторе модели отдельно для управления различными исполнительными механизмами.

На рис. 9 показаны диаграммы, поясняющие метод передачи команд в аппаратуре «Диспроп», разработанной моделистом В. Дьячихиным. Эта аппаратура имеет один канал пропорционального управления и



несколько (4 — 6) каналов для передачи дискретных команд. Для формирования и передачи плавно изменяемой команды используется ШИМ одного импульса, который передается с постоянной частотой повторения. Соотношение длительностей импульса и паузы определяет значение и знак плавно изменяемой команды (например, «вправо» или «влево»). Дискретные команды передают путем модуляции звуковой частотой высокочастотных колебаний во время передачи импульсов плавно изменяемых команд. Каждому дискретному каналу соответствует свое фиксированное значение звуковой частоты (свой тон).

Глубокая модуляция (метод ключевания) несущей высокой частоты низкочастотной поднесущей определяет эффект дробления общего высокочастотного импульса на более короткие импульсы, следующие с звуковой частотой. Период  $T$  должен быть таким, чтобы за время самого короткого импульса плавно изменяемой команды уместилось не менее десяти периодов поднесущей звуковой частоты дискретной команды.

О том, как схемно и конструктивно решаются задачи в аппаратуре радиуправления моделями при тех или иных принципах построения современной командной радиолинии и методе передачи команд, рассказано в последующих главах.

Какими соображениями нужно руководствоваться при выборе готовой аппаратуры или при самостоятельном ее изготовлении? Какими должны быть режим работы и мощность излучения передатчика? Каким техническим требованиям должны удовлетворять передающая и приемная части аппаратуры?

Эти и другие вопросы встают перед моделистами, работающими над радиоэлектронной оснасткой управляемой модели.

Прежде всего перед самостоятельной постройкой или приобретением аппаратуры заводского изготовления следует получить в Государственной Инспекции Электросвязи разрешение на право пользования передатчиком для управления моделями. На любительском передатчике индивидуального и коллективного пользования для радиуправляемых моделей разрешается работать с мощностью излучения не более 1 Вт, типом излучения А-2 (амплитудномодулированные колебания) с шириной полосы излучаемых частот не более 25 кГц для передачи команд телеуправления в диапазонах 28 — 28,2 и 144 — 146 МГц и на частоте 27,12 МГц  $\pm 0,6\%$ .

#### **Использование таких передатчиков для проведения радиосвязи категорически запрещается!**

Следует заметить, что применение для целей радиуправления передатчиков с мощностью излучения менее 10 мВт, приобретаемых в торговой сети, не требует разрешения, о котором шла речь выше. К числу таких передатчиков, например, относится передатчик командного радиоконтакта «Импульс». Изменение схемного решения этих передатчиков и увеличение их мощности категорически запрещено.

Необходимую стабильность несущей частоты передатчика обеспечивают кварцевой стабилизацией задающего генератора. В ряде случаев после всесторонней проверки стабильности частоты при изменениях напряжения питания и температуры воздуха может быть применена - параметрическая стабилизация, если рабочая частота выбрана в середине диапазона, выделенного для радиуправления.

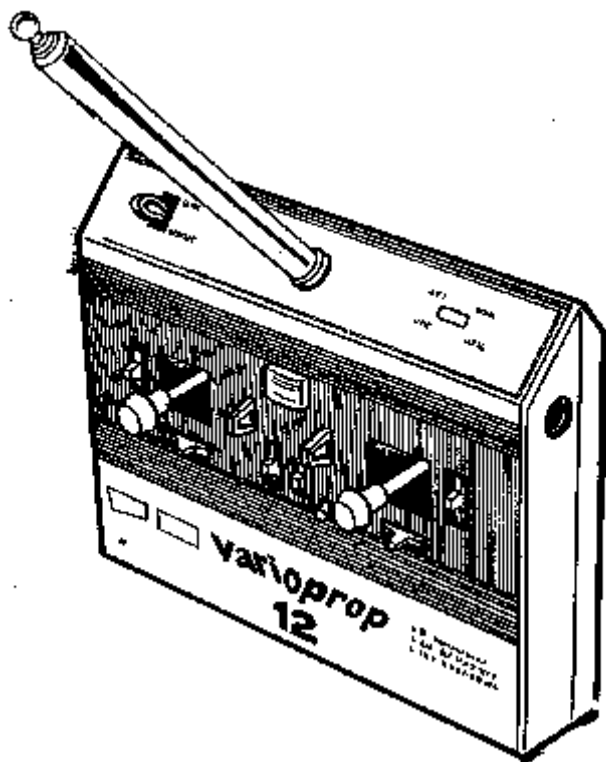


Рис. 10. Внешний вид передатчика в корпусе пультового типа

Для радиуправления моделями автомобилей и кораблей вполне приемлема мощность передатчика 0,15 — 0,5 Вт. Для управления авиамodelями желательно эту мощность выбирать близкой к 1 Вт, так как требуется повышенная надежность канала радиуправления.

Передатчики для пропорционального управления имеют ряд особенностей. Для управления, как правило, применяют два рычага, которые перемещаются в одной или двух плоскостях. Для электропитания используют батареи герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов. Корпус такого передатчика чаще всего напоминает пульт управления, подобный изображенному на рис. 10. Передатчик вешают на шею на ремне. Телескопическую штыревую антенну располагают в положение, близкое к вертикальному.

При частотном (тональном) методе разделения команд предпочтителен режим работы передатчика, когда в паузах между командами он излучает колебания несущей частоты, которые могут быть модулированы нерабочим тоном. Этот режим позволяет повысить помехоустойчивость системы радиуправления. В промышленной и самодельной аппаратуре радиуправления применяют обычно передатчики, частота задающих генераторов которых стабилизирована кварцевыми резонаторами. Бортовая часть системы радиуправления моделями содержит приемник сигналов, дешифратор команд и комплект рулевых машинок или других исполнительных механизмов.

На транзисторах, микросхемах и миниатюрных радиодеталях возможно создание малогабаритных и экономичных супергетеродинных радиоприемников. В простой любительской аппаратуре для радиуправляемых моделей зачастую применяют сверхрегенеративные приемники, особенно в аппаратуре дискретного управления. Популярность последних обусловлена высокой чувствительностью, необходимой для уверенного приема сигналов управления на небольшую антенну, помехоустойчивостью, необходимой при размещении приемника в непосредственной близости от источников искровых радиопомех, простотой схемы, легкостью налаживания, малым потреблением электроэнергии, четкостью работы в условиях изменяющейся напряженности поля сигнала в месте приема. Такие недостатки сверхрегенеративного приемника, как широкая полоса пропускания, большой уровень шумов и нелинейные искажения, не играют большой роли при приеме команд управления моделями. Широкая полоса приемника снижает требования к стабильности частоты передатчика, что позволяет обойтись без Кварцевой стабилизации частоты задающего генератора передатчика.

Применяя высокочастотные транзисторы, можно построить сверхрегенеративные приемники, надежно работающие в диапазоне частот от 20 до 250 МГц. Все это, однако, не ставит под сомнение целесообразность применения приемников супергетеродинного типа, поскольку они имеют ряд преимуществ перед сверхрегенеративными. Нужно только иметь в виду, что для целей телеуправления супергетеродинный приемник должен обязательно иметь гетеродин с кварцевой стабилизацией частоты.

Выделяют (дешифруют) команды в приемном устройстве аппаратуры, работающей разовыми командами, чаще всего частотно-избирательными электронными реле с низкочастотными резонансными контурами. Системы с резонансными реле ненадежны, и в последнее время их применяют крайне редко.

В многоканальной аппаратуре пропорционального управления в основном используют кварцеванные супергетеродинные приемники. Ширина полосы частот усилителя ПЧ от 6,5 до 7 кГц. Промежуточная частота может быть в пределах 455 — 468 кГц. Частоту гетеродина в диапазоне 27 МГц выбирают ниже частоты передатчика из-за того, что этот диапазон близок к радилюбительскому диапазону 28 МГц, и если частота гетеродина выше частоты передатчика, то появляется вероятность приема по зеркальному каналу мощных радилюбительских станций.

Для ослабления приема зеркальных частот применяют также полосовые фильтры на входе приемника. Важно, чтобы автоматическая регулировка усиления (APY) работала эффективно, так как в процессе управления моделью расстояние между передатчиком и приемником может изменяться в сотни раз, в результате чего колебания напряженности поля в месте приема будут значительными.

Общая особенность шифраторов и дешифраторов радиолиний с временным разделением каналов — электронная коммутация каналов. Электронный блок рулевой машинки преобразует длительность поступающего с дешифратора канального импульса в механическое перемещение рычага рулевой машинки. В промышленной аппаратуре электронный блок обычно располагают в одном корпусе с рулевой машинкой, в радилюбительской — чаще всего на платах совместно с дешифратором, связанным с рулевой машинкой жгутом проводников с миниатюрным разъемом.

## 2. УСТРОЙСТВО РАДИОУПРАВЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ

Для получения разрешения на участие в соревновании размеры, масса и устройство модели должны соответствовать определенным конструктивным требованиям. При изготовлении модели, не предназначенной для соревнований, руководствуются только ее целевым назначением.

Из большого разнообразия авиамodelей наиболее сложны и поэтому должны быть изготовлены с максимальной тщательностью авиамodelи, предназначенные для выполнения фигур высшего пилотажа. Здесь очень многое зависит от мастерства авиамodelиста, управляющего моделью. Большим искусством управления должны обладать авиамodelисты и судомodelисты. В качестве примера на рис. 11 показана одна из четырех трасс для авиамodelей, управляемых по радио. Длина трассы — 100 м. Правилами соревнований предусмотрено, что в случае выезда авиамodelи с трассы или даже наезда одним колесом на край трассы

моделист обязан вернуть модель командами по радио на место нарушения и затем продолжить движение по трассе, а это потеря драгоценного времени. Побеждает тот, чья модель пройдет трассу за наименьшее время.

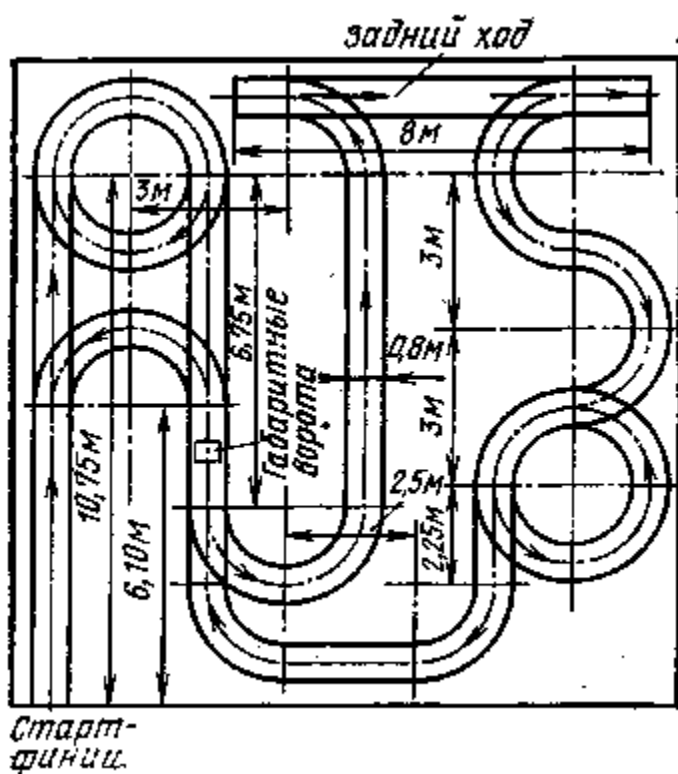


Рис. 11. Вариант трассы соревнования радиоуправляемых автомобилей

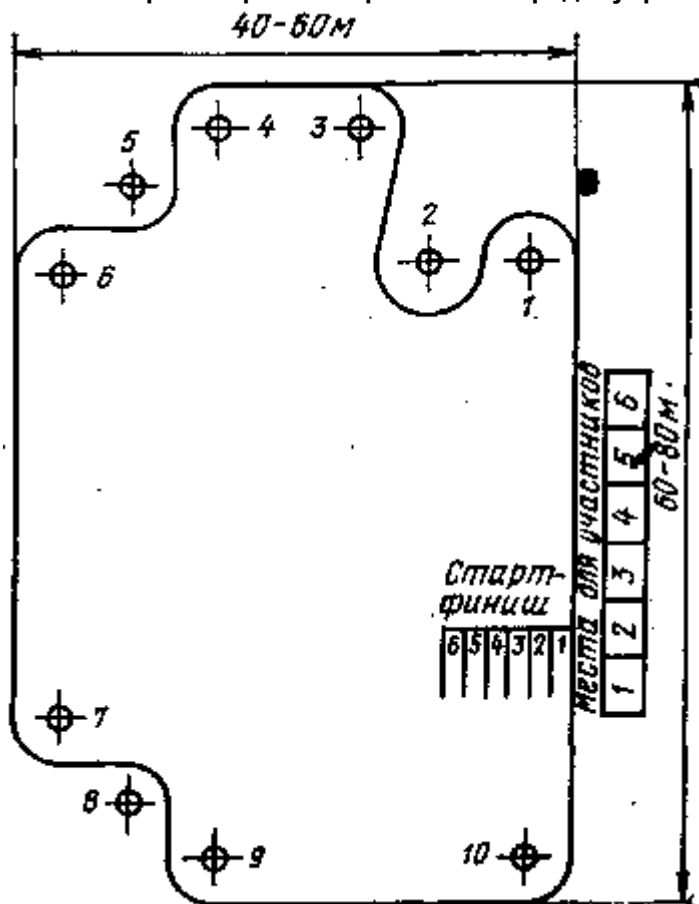
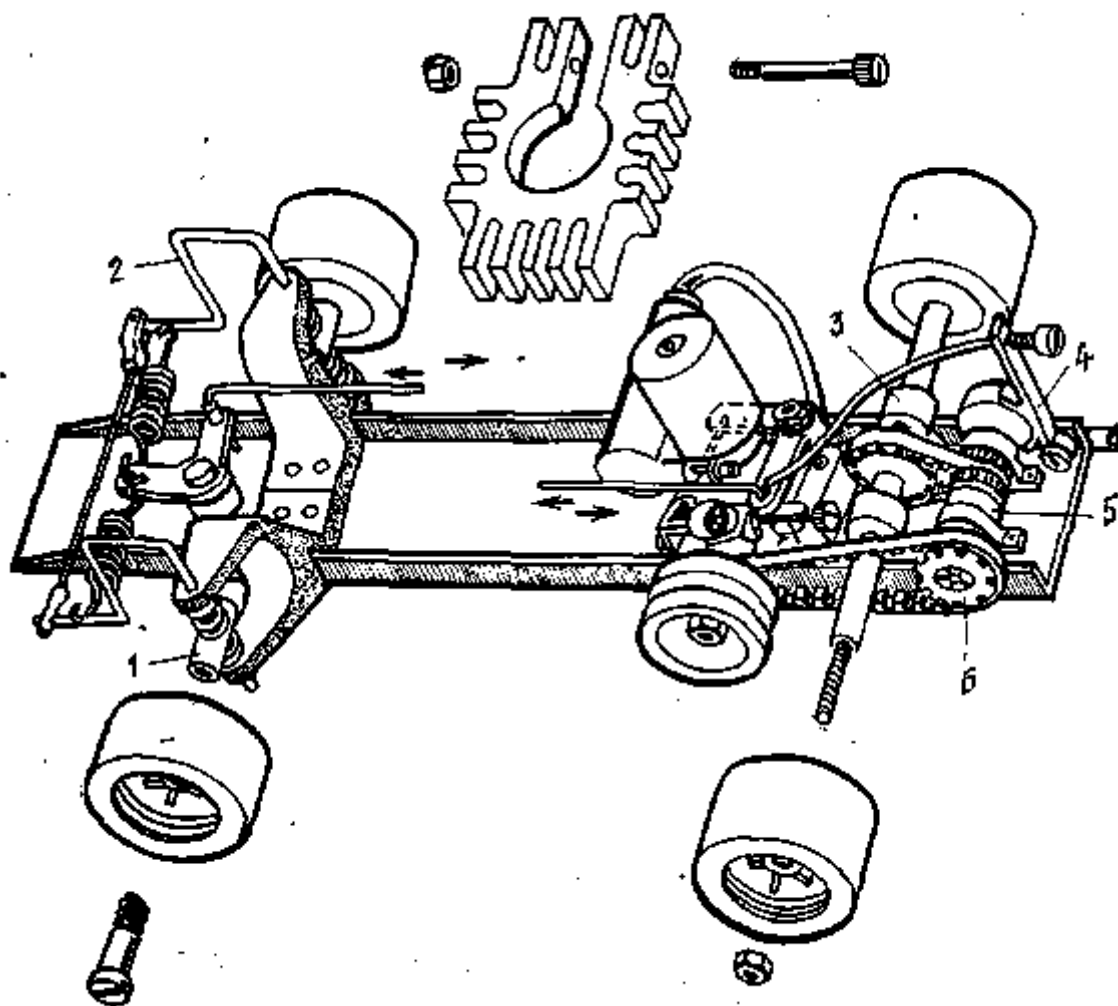


Рис. 12. Трасса для соревнований моделей Ф-1 и Ф-2

Соревнования проводят на двух разных трассах поочередно. За рубежом практикуют соревнования скоростных радиоуправляемых автомоделей с двигателями внутреннего сгорания. Модели представляют собой копии гоночных автомобилей, а сами соревнования напоминают шоссейные гонки в миниатюре. В каждом заезде участвует не менее трех автомоделей.



**Рис. 13. Конструкция шасси радиоуправляемой модели класса «Формула-1»:**

**1 — ось левого колеса; 2 — плечо рулевой трапеции; 3 — осевой подшипник; 4 — тормоз; 5 — подшипник промежуточной оси; 6 — сцепление**

В Советском Союзе такие соревнования также завоевывают все большую популярность. Модели, участвующие в скоростных соревнованиях, представляют копии (в масштабе 1 : 8) существующих гоночных автомобилей формулы Ф-1 (колеса открыты) или Ф-2 (колеса закрыты). На моделях установлены двигатели внутреннего сгорания с рабочим объемом цилиндра до 3,5 см<sup>3</sup>. Модель должна быть ярко окрашена. На кузов наносят не менее трех номерных знаков. Кроме того, модели с открытым салоном должны иметь макет водителя с сегментом руля. Двигатель снабжают глушителем шума. Стартуют одновременно четыре — шесть моделей. Если во время гонок модель переворачивается, останавливается или происходит поломка, механик имеет право устранить неполадку и модель продолжает гонку. Для соревнований радиоуправляемых скоростных моделей наиболее удобна площадка размером 80X60 м (можно и меньше). Схема одной из трасс доказана на рис. 12. Обозначают трассу ярко раскрашенными пустотелыми пластмассовыми цилиндрами диаметром 20 см.

Продолжительность заезда от 5 до 30 мин. На моделях устанавливают пропорциональную радиоаппаратуру со сменными кварцами. Моделистам, приступающим к изготовлению гоночных моделей, напомним, что гоночная радиоуправляемая модель с двигателем внутреннего сгорания и хорошо проработанной конструкцией всех агрегатов описана Е. М. Гусевым и М. С. Осинным в книге «Пособие для автомоделюв», выпущенной издательством ДОСААФ в 1980 г.

Радиоуправляемая модель гоночного автомобиля не должна быть крупнее 1/8 от прототипа, причем копируют только внешний вид. Максимальная ширина ее 26,5 см. На модели устанавливают двигатель внутреннего сгорания с объемом цилиндра до 3,5 см<sup>3</sup>. Сцепление и тормоз должны обеспечивать удержание модели на линии старта. Гонки, в которых одновременно участвуют несколько моделей, проводят в несколько

этапов. Обычно моделисты используют двух-канальную пропорциональную аппаратуру для управления поворотом ведомых колес и работой двигателя. Аппаратура каждой модели настроена на свою частоту, чтобы не было взаимных помех.

На рис. 13 показано шасси английской радиоуправляемой модели фирме «Челленджер». Основная особенность этой модели — применение зубчатого приводного ремня от вала двигателя к промежуточному шкиву, связанному с автоматическим сцеплением. Оно включается, как только вал двигателя, разгоняясь, достигнет половины номинальной частоты вращения. Ременная передача изолирует сцепление от вредного воздействия вибрации, идущей от двигателя и маховика; на задней промежуточной оси, связанной со сцеплением, установлен тормозной барабан, к которому прижат тормоз. Ведущая ось — стальная, диаметром 9,5 мм. На ее концах имеется резьба для крепления ведущих колес. Поворотная цапфа рулевой трапеции изготовлена из дюралюминия и снабжена двумя отверстиями. Одно из них сквозное — сквозь него проходит поворотный рычаг; в другом — резьба для ввинчивания осевого колесного винта. Цапфа подпружинена двумя цилиндрическими пружинами, надетыми на поворотный рычаг. Для крепления рулевых цапф служат дюралюминиевые профилированные кронштейны, привинченные к плоской дюралюминиевой раме с отогнутыми бортами.

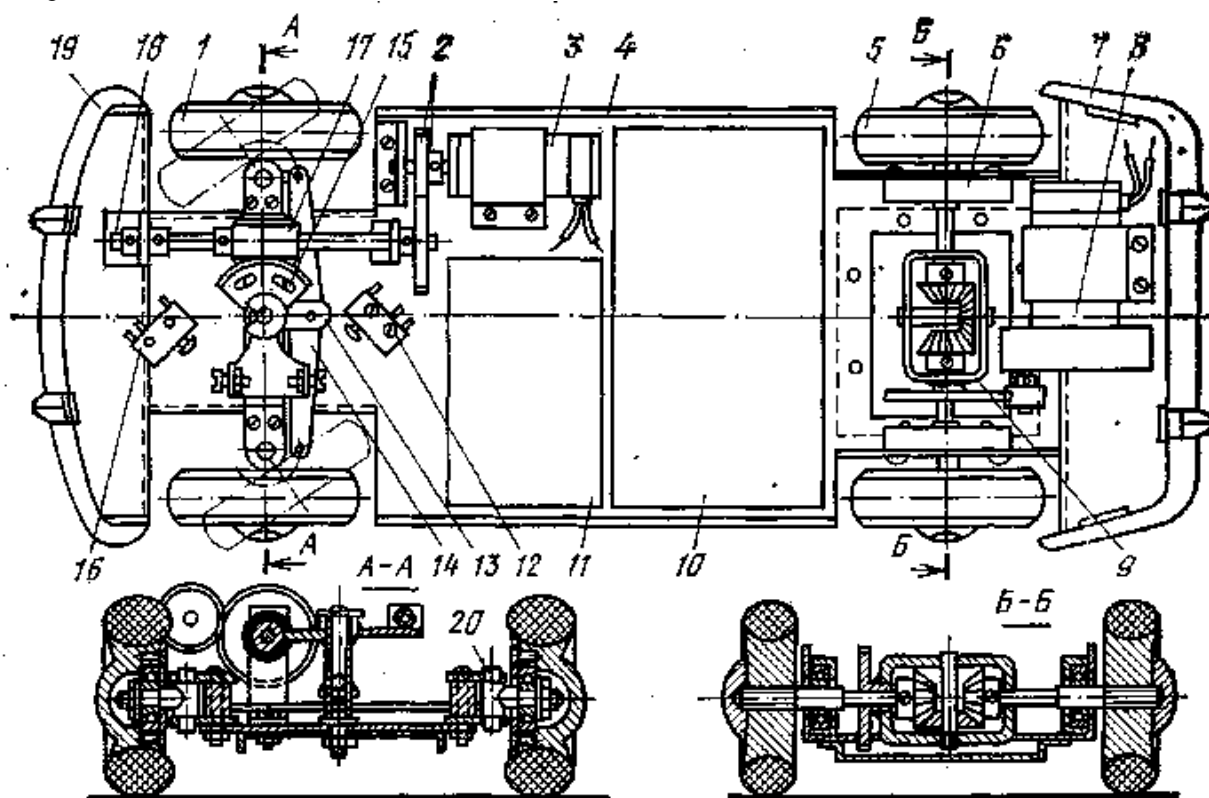


Рис. 14. Ходовая часть модели легкового автомобиля:

1 — ведомое колесо; 2 — шестерня редуктора рулевой машинки; 3 — электродвигатель рулевой машинки; 4 — рама; 5 — ведущее колесо; 6 — плата с запрессованным подшипником; 7 — вадний бампер; 8 — ходовой электродвигатель с редуктором; 9 — дифференциал; 10 — отс« питания; 11 — приемник; 12, 16 — конечные микровыключатели рулевого механизма; 13 — но-воротный рычаг; 14 — поперечная тяга рулевой трапеции; 15 — сектор поворотной шестерит рулевой машинки; 17 — червячная шестерня редуктора; 18 — ось червячной шестерни; 19 — передний бампер; 20 — поворотная цапфа с полуосью

Двигатель запускают рывковым шнуром, пропускаемым через канавку яа-ховика. Одна из рулевых машинок аппаратуры управления посредством тяги регулирует количество топливно-воздушной смеси, поступающей в камеру сгорания двигателя, поворачивает дроссельную заслонку в карбюраторе, меняя тем самым частоту вращения вала двигателя. При переходе двигателя на малую частоту вращения вала сцепление выключается и одновременно включается тормозной механизм — модель останавливается без наката. Более четкий переход на режим торможения обеспечивает одновременное перекрытие выпускного отверстия двигателя. На цилиндре двигателя крепят теплообменник.

Поворотами модели управляет другая рулевая машинка. С ней связана тяга, поворачивающая рулевой рычаг, который, в свою очередь, через пружины поворачивает всю рулевую трапецию. Электронную аппаратуру размещают в средней части модели, в футлярах, предохраняющих ее от пыли, брызг горячего и

масла. Кузов модели изготавливают из ударопрочной пластмассы, покрышки — из резины; материал дисков колес — пластмасса.

Радиоуправляемые модели для соревнований по прохождению фигурной трассы, как правило, оборудуют электродвигателями и малогабаритной- аккумуляторной батареей. Для них не существует ограничения по массе, но длина  $l$  должна превышать 50 см. Обязательное условие — соблюдение внешнего сходства с автомобилем-прототипом и по возможности соблюдение подобия в конструкции ходовой части. Изготовление такой модели под силу лишь опытным моделистам. Начинающим же любителям телемеханики следует начинать с моделей, имеющих упрощенную конструкцию ходовой части, например, такую, которая показана на рис. 14.

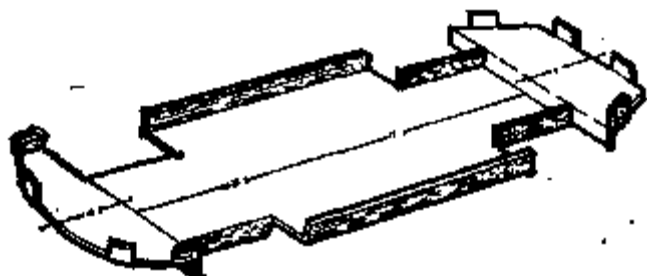


Рис. 15. Конструкция рамы автомоделей

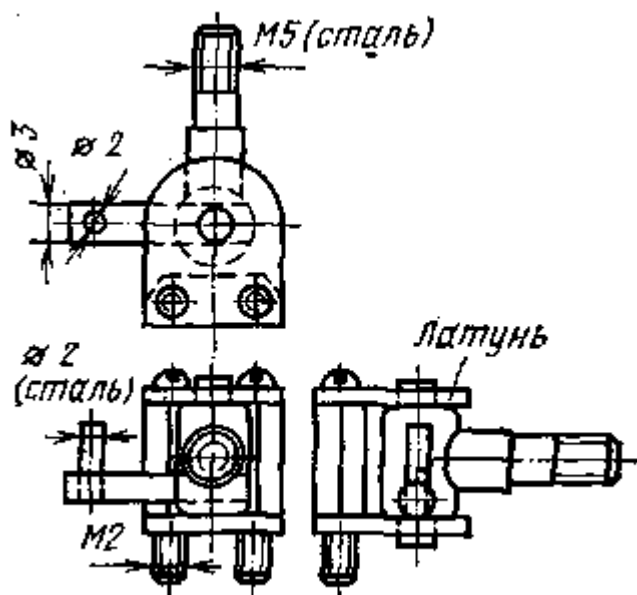


Рис. 16. Поворотная цапфа рулевой трапеции

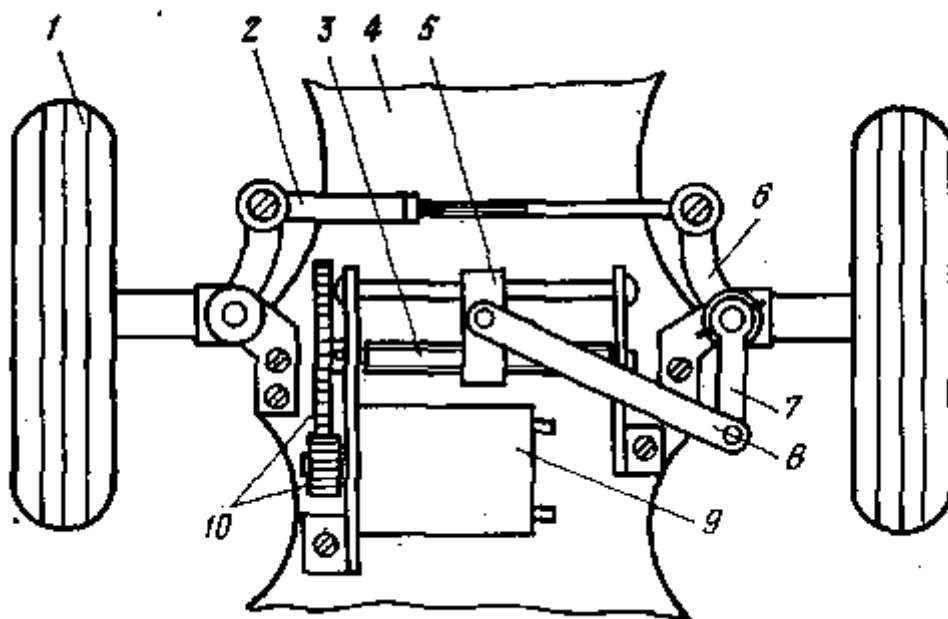


Рис. 17. Связь рулевой машинки с рулевой трапецией посредством продольно перемещающейся тяги:

1 — ведомое колесо; 2 — тяга рулевой трапеции; 3 — винт передачи; 4 — рама; 5 — водило; 6 — поворотная цапфа с полуосью; 7 — рычаг; 8 — тяга рулевой машинки; 9 — электродвигатель; 10 — цилиндрические шестерни редуктора рулевой машинки

В качестве прототипа кузова такой модели можно взять малолитражные автомобили «Москвич», «Жигули» или им подобные. На рис. 15 представлен эскиз конструкции рамы. Ее вырезают из листовой стали толщиной 1 мм. Длина модели в этом случае должна быть 30 — 35 см. Этот вариант модели не имеет системы подвески колес, нет полного подобия и в размещении ходового двигателя и карданной передачи. Однако заслуживают внимания механизм поворота ведомых колес и привод на ведущие колеса. Задний мост собран с применением дифференциала. Модель с такими агрегатами будет хорошо проходить трассу с множеством поворотов. Смонтированная непосредственно на шасси простая рулевая машинка рассчитана на управление от дискретной аппаратуры. Для выключения электродвигателя при крайних положениях рулевой трапеции служат конечные выключатели.

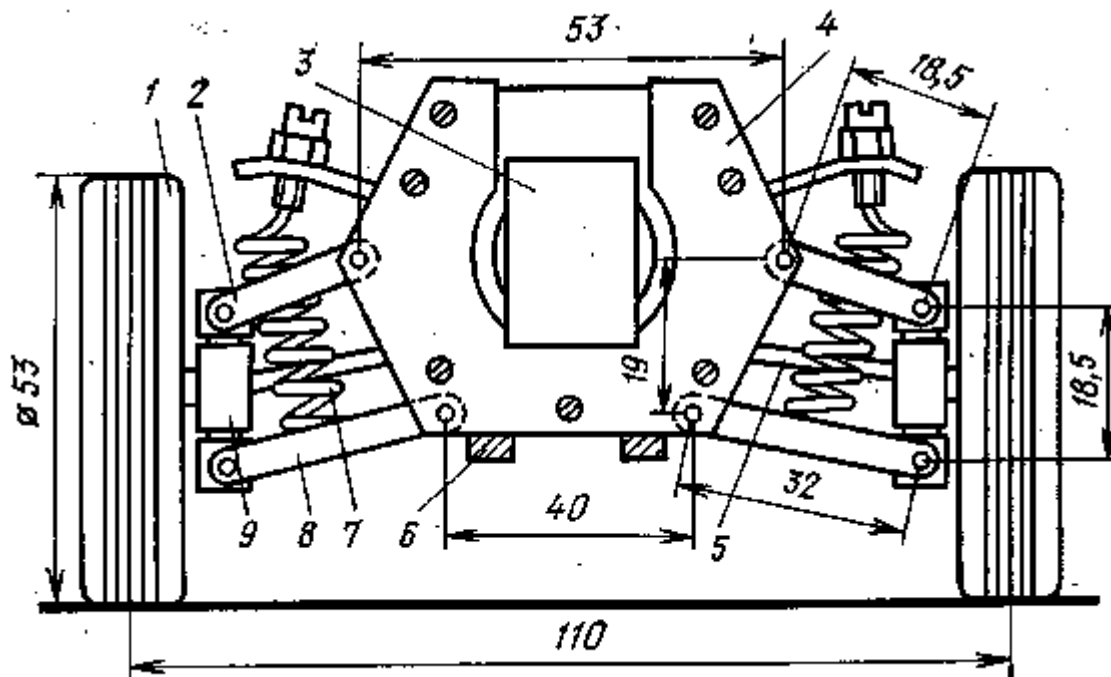
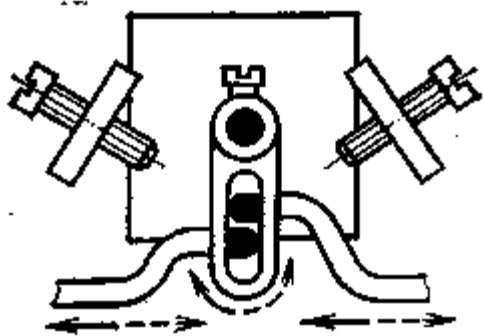


Рис. 18. Независимая подвеска ведомых колес автомодели на пружинных рессорах:

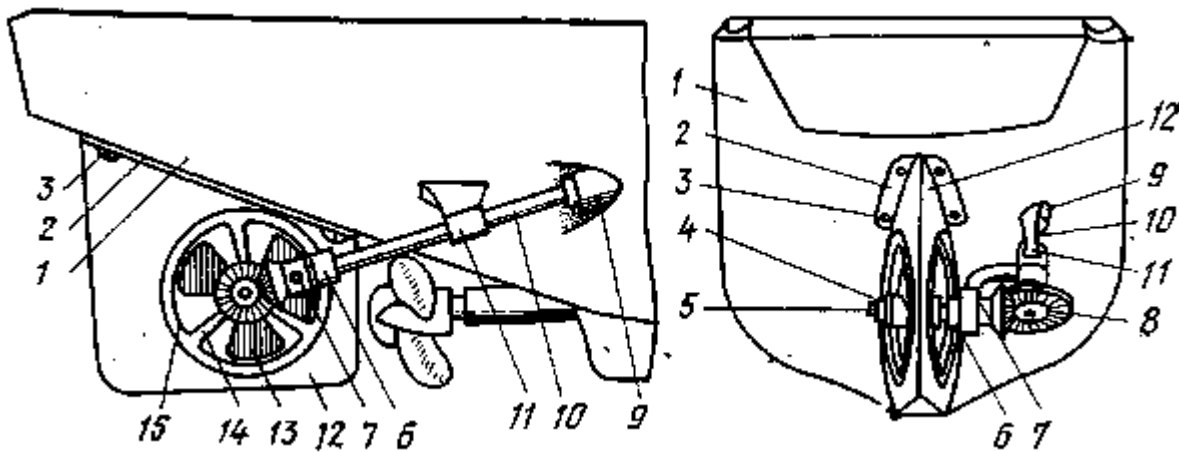
1 — правое колесо; 2 — верхний рычаг; 3 — электродвигатель рулевого механизма; 4 — передняя плата; 5 — тяга рулевой трапеции; 6 — рама; 7 — рессора; 8 — нижний рычаг; 9 — цапфа поворотная с полуосью



**Рис. 19. Узел связи поворотного рычага рулевой машинки с полутягами рулевой трапеции при независимой подвеске ведомых колес**

На рис. 16 показан узел рулевой трапеции — поворотная цапфа (в конструкции их две: левая и правая) с полуосью для ведомого колеса. На плоской раме в тех случаях, когда подвеска ведомых колес не предусматривается, часто применяют вариант связи рулевой машинки и рулевой трапеции продольно перемещающейся тягой (рис. 17). Аналогичные рулевые машинки могут быть изготовлены на базе различных малогабаритных электродвигателей. Хорошо себя зарекомендовали для этой цели электродвигатели от игрушечной электрифицированной железной дороги фирмы «Пико». На рис. 17 не показаны конечные выключатели электродвигателя рулевой машинки, но они, безусловно, должны быть установлены. С такой рулевой машинкой может быть механически связана подвижная контактная система, обеспечивающая электрическим путем само-возврат рычага рулевой машинки в исходное положение при прекращении команды. В ряде случаев именно такому варианту управления моделью отдают предпочтение.

Эскиз варианта подвески ведомых колес модели с помощью двух пружинных рессор показан на рис. 18. Бампер и часть рамы условно удалены. На рис. 19 показан вариант связи поворотного рычага рулевой машинки с полутягами рулевой трапеции при независимой подвеске ведомых колес.



**Рис. 20. Конструкция рулевого устройства модели радиоуправляемого судна**

Многие конструктивные решения, реализуемые в автомоделях, можно успешно применять и на радиоуправляемых судомоделях. В судомodelном спорте есть несколько классов радиоуправляемых моделей: скоростные, выполняющие фигурные курсы; модели, поражающие носовой иглой плавающие шары-модели, ведущие морской бой; парусные яхты.

Управление скоростной судомodelью с двигателем внутреннего сгорания аналогично управлению гоночной автомоделью. Если на судомodelи ставят два руля, то их оси связывают между собой рулевой трапецией. На моделях разрешено устанавливать активные рули, различные насадки и подруливающие устройства.

Примером модельного варианта активного руля может служить винтовой руль (рис. 20) конструкции судомodelиста И. Ефремова из г. Алма-Аты. С помощью этого руля модель судна способна разворачиваться на месте (без хода) на 360°. Как при переднем, так и при заднем ходе маневренность судна одинакова. Рассмотрим устройство винтового руля. Неподвижное перо 12 руля при помощи лапок 2 и винтов 3 прикреплено к корпусу 1 судна. В перо укреплено кольцо 14, в которое встроены трехлопастный гребной винт 13. На двух крышках кольца смонтированы подшипники 4 вала 5. Со стороны правой крышки установлен кронштейн 6, служащий



опорой конической пары шестерен 7, 8. Они винтами фиксированы на валах 5 и 10. На валах для этого предусмотрены лы-ски. Гребной вал 10 рулевого устройства заведен внутрь корпуса судна при помощи дейдвудной трубы 9 и кронштейна 11, прикрепляемого к корпусу.

Гребной вал руля рекомендуется приводить в движение электродвигателем мощностью 15 — 30 Вт. Диаметр рулевого винта и угол установки лопастей подбирают опытным путем. Для модели грузопассажирского судна водоизмещением 12 кг винт должен иметь диаметр 30 мм, четыре его лопасти следует установить под углом  $45^\circ$  к оси. Такой винт необходим для моделей, соревнующихся в прохождении фигурного курса. На скоростных и других моделях лучше работают рули с поворачивающимся пером и имеющие систему самоцентрирования при прекращении подачи рулевой команды.

Часто радиоуправляемые модели различных судов конструируют для демонстрационных и экспериментальных целей. В этих случаях на модели устанавливают всевозможные управляемые механизмы. Для их включения и выключения может быть применен селекторный блок, схема которого изображена на рис. 3.

Дадим также несколько советов, которые будут полезны при конструировании и изготовлении модели самолета. Авиамоделистам на начальном этапе освоения радиоуправления моделями самолетов следует ориентироваться на серийную аппаратуру «Супранар-83» и двигатель «Радуга» с объемом цилиндра 7 или 10  $\text{см}^3$ . Тем не менее и другие двигатели вполне пригодны для установки на модель самолета. На моделях-копиях самолетов Я-3, Я-6, «Тренер-226», АНТ-25, имеющих заостренный фюзеляж, можно ставить двигатель «Радуга» с объемом цилиндра 7  $\text{см}^3$ . Двигатель «Радуга» с объемом цилиндра 10  $\text{см}^3$  может поднять в воздух модели массой до 5 кг.

При применении калильного двигателя необходимо герметизировать электронную аппаратуру, находящуюся на борту, а модель покрыть тонким слоем эпоксидной смолы ЭД-6. Это обусловлено тем, что выхлопные газы, содержащие несгоревший метанол, растворяют краску и изоляцию радиоаппаратуры и эмалитовое покрытие обшивки модели.

Масса радиооборудования модели-копии самолета не должна превышать 40 — 45% ее общей массы. Нагрузка на несущую поверхность модели во время ее полета при скорости ветра 5 — 7 м/с должна быть не более 40 — 45 г/дм<sup>2</sup>. Центровку модели рассчитывают так, чтобы центр ее тяжести после размещения всего оборудования совпадал с центром давления крыла. При проектировании и изготовлении каркаса фюзеляжа нужно тщательно продумать узлы крепления шасси, приемника, рулевых машинок, источников питания, бака для горючего и т. д.

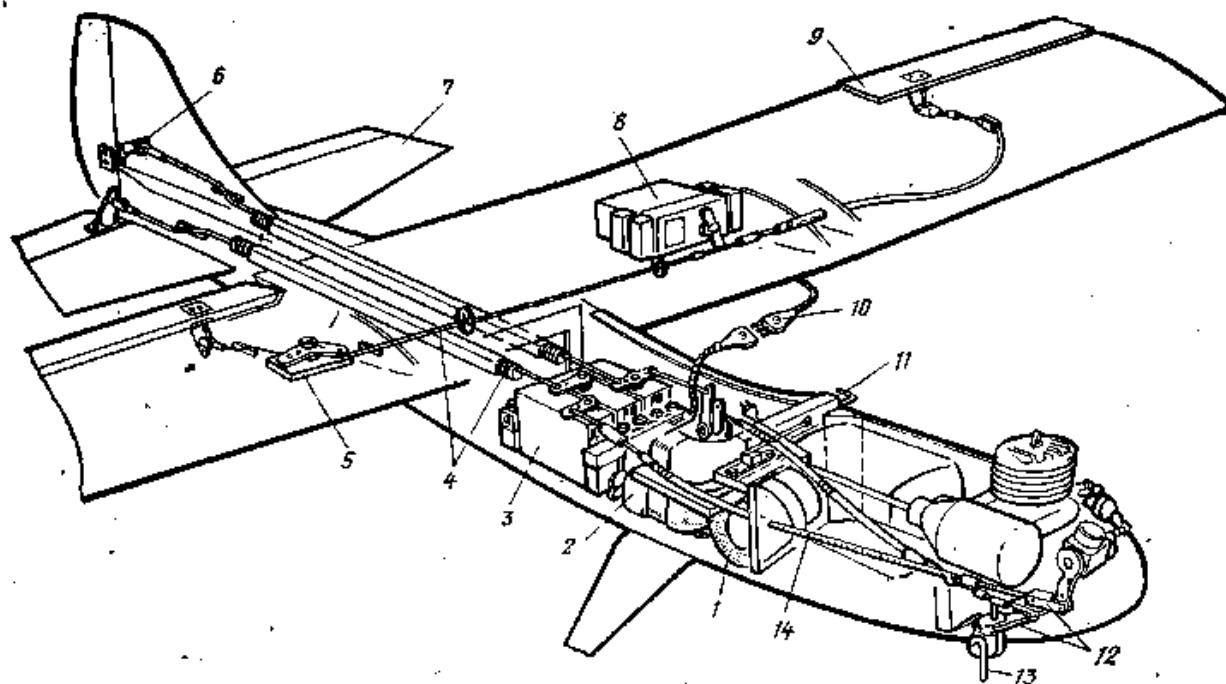


Рис. 21. Вариант размещения аппаратуры на радиоуправляемой авиамодели:

1 — источник электропитания; 2 — приемник; 3 — рулевые машинки управления (*Д* — частотой вращения вала двигателя, *РВ* — рулем высоты, *РП* — рулем поворота); 4 — тяги; 5 — рулевая качалка; 6 — рычаг руля поворота; 7 — руль высоты; 8 — рулевая машинка управления элеронами; 9 — элероны; 10 — соединительный кабель; 11 — тяга скользящего выключателя; 12 — поворотные рычаги; 13 — стойка переднего колеса; 14 — трос Бодуена

Наиболее проста конструкция моделей самолетов Я-3, Я-6, ЯК-12. Они хороши тем, что имеют высоко расположенное крыло, что обеспечивает повышенную устойчивость модели в полете. Фюзеляж у этих самолетов имеет большие плоские поверхности. Отсутствие сложных закруглений и переходов упрощает копирование. Модели-копии самолетов АНТ-25, ЯК-18, «Тренер-226» и другие, у которых низко расположено крыло, строят обычно моделисты с большим опытом.

Частотой вращения вала двигателя в полете управляют одновременным перекрытием отверстий впускного и выпускного патрубков дроссельными заслонками. Дроссельные заслонки могут быть секторными, пластинчатыми, золотниковыми. Серийные микродвигатели не оборудованы заслонками, их устанавливают сами моделисты. -

На рис. 21 показан вариант размещения аппаратуры радиоуправления на модели самолета. Рисунок носит схематический характер и дает лишь общее представление о характере конструкции. Изготовленная впервые радиоуправляемая модель самолета должна быть тренировочной, ее строят более прочной и устойчивой в полете, способной выдерживать грубые посадки и ошибки в технике пилотирования. Такие тренировочные авиамодели, сочетающие скорость в пилотажные возможности многокомандной модели с простотой пилотирования и устойчивостью в полете, конструируют многие ведущие мастера авиамodelьного спорта. Вот технические данные тренировочной модели, сконструированной И. Никифоровым (Московский областной технический клуб спортивного иоде-лизма): размах крыла 1880 мм; длина модели 1350 мм; площадь несущих по-верхностей 69 дм<sup>2</sup>; площадь крыла 55,1 дм<sup>2</sup>; полетная масса 2950 г; масса фюзеляжа без двигателя 1150 г; центровка в процентах *САХ* — 30%; угол *У* крыла 6°; отношение диаметра к шагу винта модели 260/140; объем цилиндра двигателя 5 см<sup>3</sup>; число команд управления 8.

Для повышения надежности работы радиоаппаратуры приемник и источник питания перед установкой в модель обертывают поролоном или губчатой резиной. Все механические тяги, узлы и детали крепления нужно изготавливать с высокой точностью, без люфтов.

Успешному пилотированию модели должны предшествовать регулярные тренировки моделиста по установленной программе. Необходимо выработать сноровку в управлении моделью при освоении отдельных элементов полета а толь-ко потом, выявив полетные возможности модели, переходить к отработке фигур высшего пилотажа..

### 3. КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР — ВАЖНЕЙШЕЕ ЗВЕНО АППАРАТУРЫ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ

Автоматическое вхождение в связь — условие, которому должна удовлетворять современная аппаратура для радиоуправления моделями. Бесподстровч-ная радиосвязь обеспечивается кварцевой стабилизацией частоты автогенераторов, находящихся в задающем генераторе передатчика и в гетеродине приемника.

Радиолюбители зачастую используют случайные кварцевые резонаторы (кварцы), предназначенные для разнообразной аппаратуры и без технического паспорта с указанием параметров резонаторов. В связи с этим произвести полный расчет автогенератора с кварцевой стабилизацией частоты не всегда возможно, но радиолюбители методом проб в процессе настройки аппаратуры добиваются желаемых результатов. Зная принцип действия применяемого варианта автогенератора, можно значительно проще и точнее установить задающий генератор или гетеродин на требуемую частоту.

Поговорим вначале об обычном -автогенераторе, а затем о наиболее приемлемых вариантах автогенераторов с кварцевыми резонаторами. Начнем с ответа на вопрос: что же такое автогенератор?

Автогенератор — это преобразователь энергии источника питания в энергию высокочастотных колебаний, работающий без постоянного внешнего воздействия. Толчком для возбуждения автогенератора служат кратковременные переходные процессы при включении истрлника питания и флуктуации тока в цепи транзистора. Если удовлетворяются условия самовозбуждения, возникшие в контуре автогенератора, слабые колебания усиливаются, а это значит, что в контур автогенератора в каждом последующем периоде колебаний поступает больше энергии, чем в нем теряется. Амплитуда от цикла к циклу нарастает, но не беспрельдно, поскольку автогенератор — система нелинейная. Через несколько циклов нарастание амплитуды колебаний замедляется и в некоторый момент колебания становятся стационарными, т. е. достигается баланс амплитуд.

Условия баланса амплитуд  $S_1 R_y = 1$ , где  $S_1$  — крутизна коллекторного тока по первой гармонике, которая для недонапряженного режима генератора определяется по формуле:

$$S_1 - S_{Y1}(\Phi),$$

где, в свою очередь,  $Y_1(\Phi)$  — коэффициент разложения косинусоидального импульса тока по первой гармонике (его значение находят по таблице);  $R_y$  — управляющее сопротивление автогенератора, выражаемое через эквивалентное сопротивление контура  $R$  и коэффициент обратной связи  $K$  соотношением  $R_y = KR_n$ . В теории генераторов введено понятие фактора регенерации

$$G = SR_y.$$

Коэффициент  $\gamma_i(\Phi)$  выражается через фактор регенерации формулой:  $Y_1(\Phi) = 1/G$ .

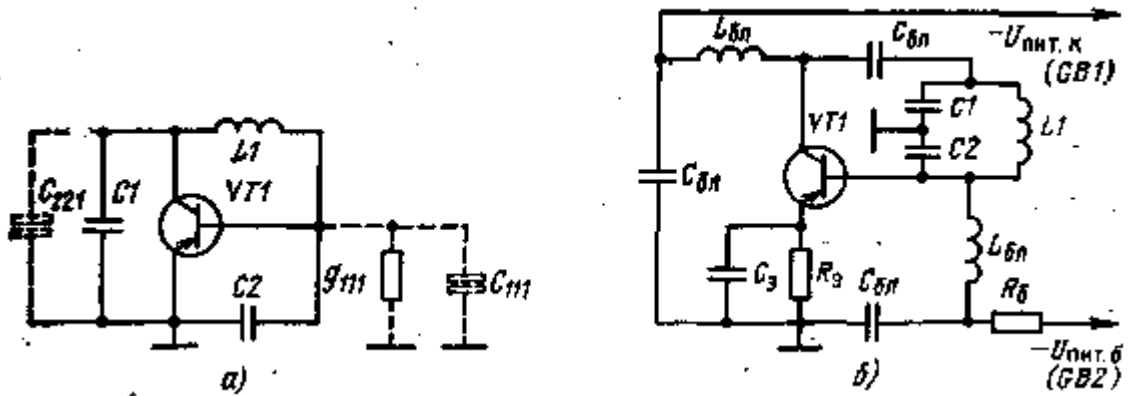


Рис. 22. Автогенератор по схеме емкостной «трехточки»: а — эквивалентная схема; б — вариант построения схемы с внешним источником питания цепи базы

При расчетах автогенераторов обычно задаются величинами  $S$  и  $K$ . Условие самовозбуждения:  $S_n R_y = 1$ , где  $S_n$  — крутизна статической характеристики коллекторного тока в точке покоя. Любой автогенератор с транзистором можно рассматривать как усилитель с положительной обратной связью, у которого произведение коэффициента усиления мощности на коэффициент обратной связи имеет модуль, равный единице, а фазовый угол для требуемой частоты должен быть равен нулю.

Существует ряд типовых схем автогенераторов. Из них наиболее распространены три: емкостная «трехточка» (рис. 22), индуктивная «трехточка», с трансформаторной обратной связью. Условие баланса фаз в автогенераторе по обобщенной трехточечной схеме выражается формулой  $X_{гб} + X_{ак} = -X_{бк}$ , где  $X_{гб}$ ,  $X_{зк}$ ,  $X_{бк}$  — реактивное сопротивление между соответствующими выводами транзистора. По некоторым соображениям, о чем будет сказано ниже, предпочтение отдают емкостной «трехточке». В теории автогенераторов для емкостной «трехточки» существуют формулы:

$$C_1 [\text{пФ}] = \frac{1,59 \cdot 10^6}{f_k [\text{МГц}]} \frac{S [\text{А/В}]}{G} Q \frac{K}{1 + K};$$

$$C_2 [\text{пФ}] = \frac{1,59 \cdot 10^6}{f_k [\text{МГц}]} \frac{S [\text{А/В}]}{G} Q \frac{1}{1 + K},$$

где  $f_k$  — частота генерации. Из этих формул видно, что емкость конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  уменьшается с увеличением коэффициента  $G$ . При этом становится заметнее влияние входных и выходных цепей транзистора ( $C_m$ ,  $g_{in}$ ,  $S_{a1}$ ) на нестабильность частоты автогенератора. Следует иметь в виду, что в емкости  $C_1$  и  $C_2$  входят, кроме самих конденсаторов, емкость монтажа, емкость выхода и входа транзистора, вносимые емкости подключаемых каскадов. Обычно рекомендуют выбирать  $G=2-4$ . Составляющие нестабильности из-за изменения параметров входной и выходной цепей транзистора зависят также и от коэффициента обратной связи  $K$ . Существует оптимальное значение  $K=K_{opt}$ , при котором будет обеспечена максимальная стабильность частоты. Коэффициент обратной связи  $K$  можно подбирать экспериментально. С увеличением добротности  $Q$  контура автогенератора влияние упомянутых составляющих нестабильности уменьшается. Как уже было сказано, стабильность частоты генератора зависит от добротности контура и постоянства его параметров. Фазовый сдвиг в цепи обратной связи генератора изменяется с изменением внутреннего сопротивления и входной емкости транзистора, например, в связи с изменением температуры или питающего напряжения.

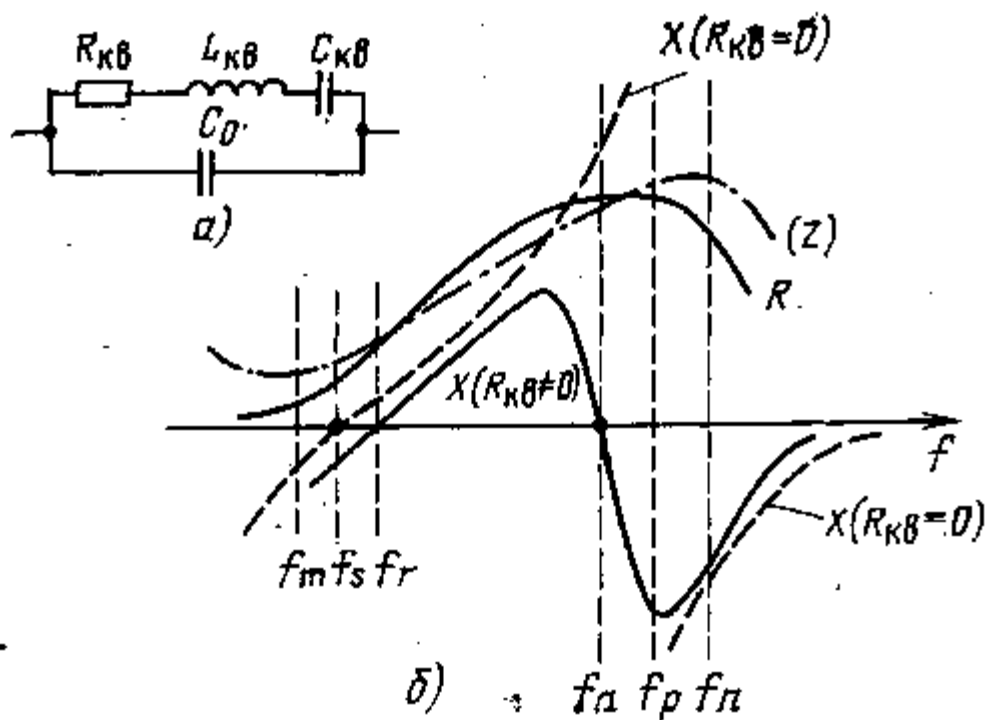


Рис. 23. Эквивалентная схема кварцевого резонатора (а) и зависимости активного, реактивного и модуля комплексного сопротивлений кварцевого резонатора от частоты (б)

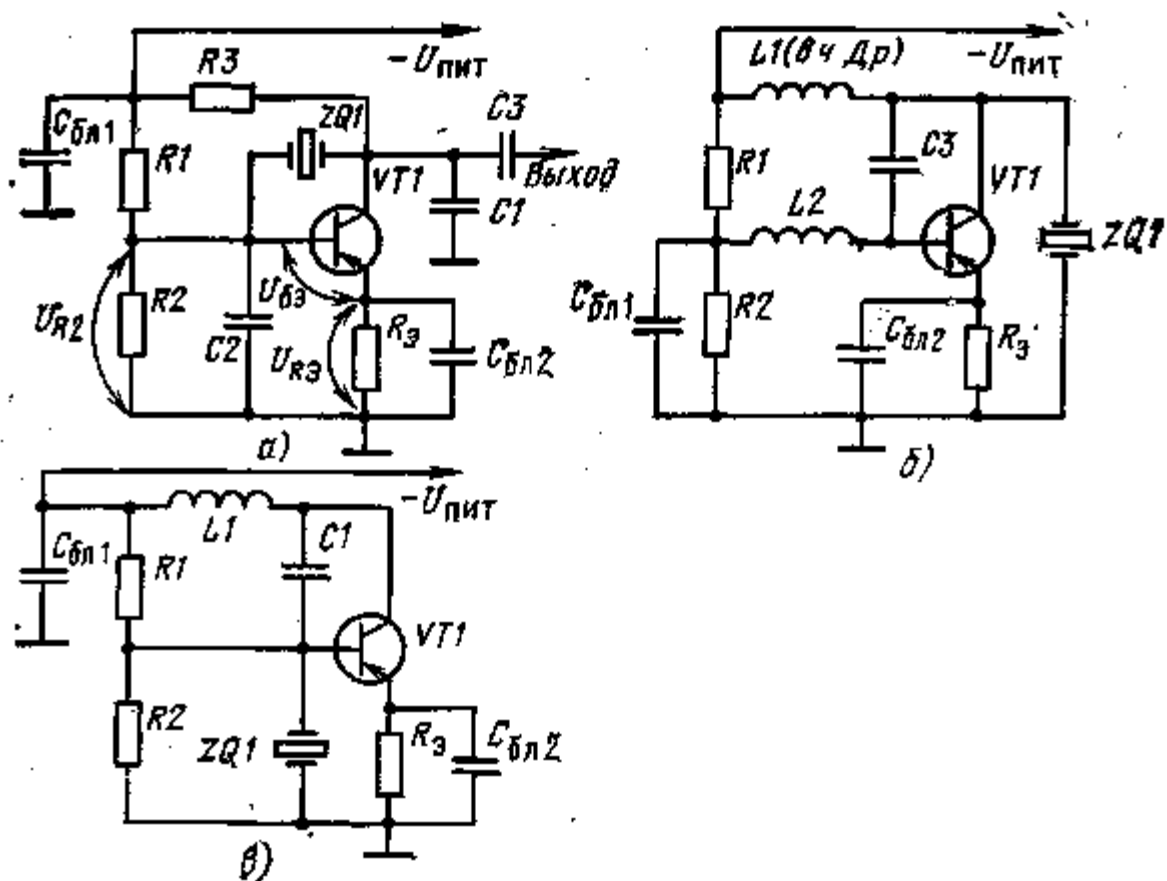
В высокостабильных автогенераторах в качестве контуров или их элементов применяют электромеханические резонаторы, обладающие высокой добротностью и достаточной для практики температурной стабильностью. Наибольшее применение находят кварцевые резонаторы. Переменное напряжение, приложенное к Граням кварцевого резонатора, вызывает его колебания. Резонансная частота механических колебаний определяется размерами пластины. Резонатор рассеивает очень малую часть энергии, поэтому кварцевые резонаторы имеют эквивалентную добротность  $Q$  от 10000 до 1 000000.

Эквивалентная схема кварцевого резонатора изображена на рис. 23. У этого контура, если пренебречь сопротивлением потерь  $R_{кв}$ , будут две резонансные частоты — последовательного резонанса  $f_s$  и параллельного резонанса  $f_p$ , определяемые по формулам

$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{кв} C_{кв}}} ; \quad f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{кв} + C_0}{L_{кв} C_{кв} C_0}} ,$$

где  $L_{кв}$ ,  $C_{кв}$ ,  $C_0$  — элементы эквивалентного контура.

Кривая зависимости реактивного сопротивления кварца от частоты без учета потерь показана на рис. 23,6 штриховой линией. В первом случае ( $f_s$ ) реактивное сопротивление  $X$  равно нулю, во втором ( $f_p$ ) — бесконечности. С учетом потерь контур обладает комплексным сопротивлением  $Z=R+jX$ . На том же рис. 23 показаны зависимости реактивного и активного сопротивления и модуля комплексного сопротивления  $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$  от частоты. Разность частот  $f_p - f_s = \Delta f$  называют шириной резонансного интервала.



**Рис. 24. Варианты схемы кварцевого генератора параллельного резонанса, с возбуждением кварца на основной частоте:**

**а — емкостная «трехточка»; б, в — индуктивная «трехточка»**

Известно, что эквивалентная индуктивность на  $n$ -й механической гармонике кварца практически не меняется по сравнению с индуктивностью на основной частоте, эквивалентная емкость меньше в  $n^2$  раз, а резонансный интервал — в  $n$  раз. Следует отметить, что добротность резонатора наиболее высокая на той гармонике, которая указана в его паспорте как рабочая, и соответственно на частоте, указанной на его корпусе.

Еще одно общее положение. Как и многим другим элементам, кварцу характерна допустимая мощность рассеивания, превышение которой может вывести его из строя. Обычно на кварце рассеивается менее 10% мощности, подводимой к генератору, что для разных типов резонаторов соответствует 2 — 4 мВт.

Теперь непосредственно о кварцевых генераторах. Их подразделяют на генераторы параллельного резонанса (осцилляторные) и последовательного (фильтровые). Кварцы в них могут работать как на основной частоте, так и на нечетных механических гармониках. В осцилляторных генераторах кварц возбуждается на частоте внутри резонансного интервала, но вблизи параллельного резонанса его реактивное сопротивление имеет индуктивный характер. В генераторе последовательного резонанса возбуждение происходит на частоте вблизи последовательного резонанса, реактивное сопротивление кварца при этом равно нулю, а его активное сопротивление очень мало.

На рис. 24 показаны варианты схемы генераторов параллельного резонанса, в которых кварц работает на основной частоте. В-радиолюбительских конструкциях наиболее распространены генераторы по схеме емкостной «трехточки», когда кварц включен между коллектором и базой транзистора (рис. 24,а). Они просты по конструкции и настройке и обеспечивают хорошую стабильность частоты. На рис. 25 изображена практическая схема осцилляторного кварцевого генератора с емкостной «трехточкой» на частоте 14,1 МГц и показана его связь с удвоителем частоты.

На рис. 26 показана схема возбуждения кварца на механических гармониках. Для этого один из конденсаторов емкостной «трехточки» заменен параллельным контуром, который настраивают в резонанс на частоту ниже частоты генерации. В результате контур будет иметь емкостную проводимость на частоте нужной гармоники, а на низших гармониках и на основной частоте — индуктивную проводимость, что исключает возможность генерации на низших гармониках и основной частоте. Сказанное поясняет рис. 27, где представлены диаграммы реактивного сопротивления последовательного и параллельного контуров. На рис. 27 приняты обозначения:  $wL$  — сопротивление индуктивной части последовательного контура;  $1/wC$  — сопротивление индуктивной части последовательного контура;  $Z$  — общее сопротивление последовательного контура;  $1/wL$  — проводимость индуктивной ветви параллельного контура;  $oC$  — проводимость емкостной, ветви параллельного контура;  $Y$  — суммарная проводимость параллельного контура.

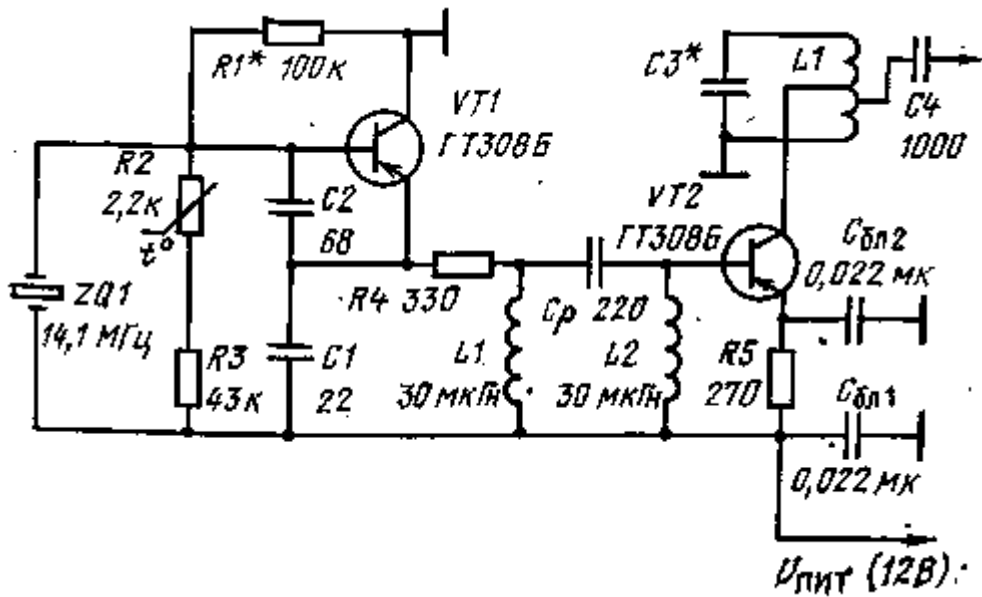


Рис. 25. Схема задающего генератора и удвоителя частоты

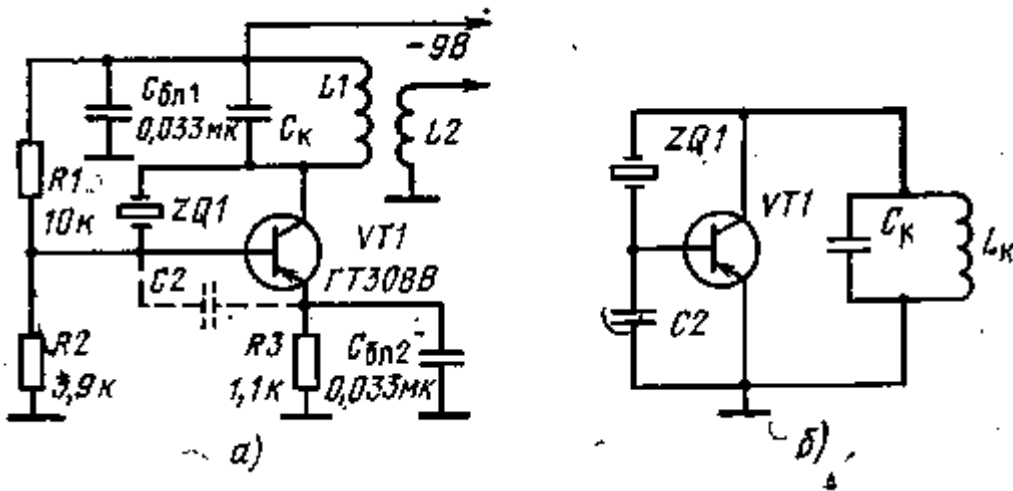


Рис. 26. Схема автогенератора (емкостная «трехточка») для возбуждения кварцевого резонатора на гармониках (а) и ее эквивалентная схема (б)

В осцилляторных генераторах, работающих на частоте выше 20 МГц, обычно возбуждают кварц на третьей или пятой гармониках, но не более высоких, так как там сильнее сказывается вредное влияние статической емкости и емкости монтажа.

Для расчета генератора, схема которого показана на рис. 25, существуют простые формулы для емкости конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  (в пикофарадах), модуля коэффициента обратной связи  $|K|$  и высокочастотного напряжения на коллекторе (в вольтах):

$$C_1 = \frac{159 \cdot 10^3}{f_r} \sqrt{\frac{K_0}{R_y R_{кв}}}; \quad C_2 = \frac{C_1}{K_0};$$

$$|K| = \frac{K_0}{\sqrt{1 + \frac{X_2^2}{R_y^2}}}; \quad U_{к-} = \frac{U_B}{|K|}$$

Здесь  $R_y$  выбирается из расчета недонапряженного режима автогенератора;  $X_2$  — емкостное сопротивление конденсатора  $C_2$ ;  $K_0$  — коэффициент, определявший отношение емкостей конденсаторов  $C_2/C_1 = 1/K_0$ ;  $f_r$  — частота генерации, МГц;  $R_{кв}$  — эквивалентное активное сопротивление кварца. В генераторах на транзисторах серий П403, ГТ308 или им подобных значение  $K_0$  берут равным 1 — 1,5, а на транзисторах серий П411, ГТ311 — 0,7 — 0,8.

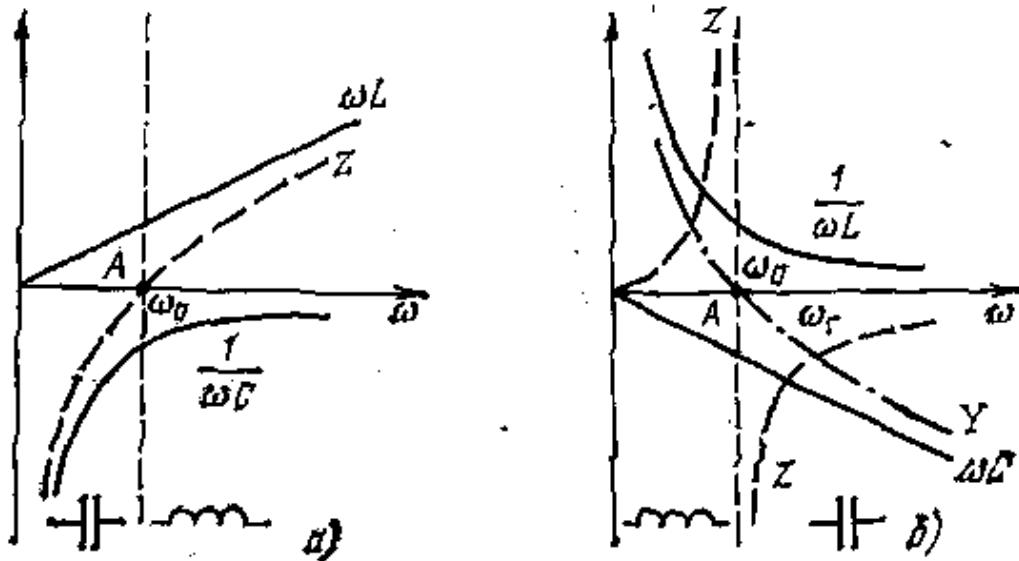


Рис 27 Диаграммы реактивного сопротивления:  
а — последовательного контура; б - параллельного контура

При питании цепей коллектора и базы транзистора от общего источника Упит (см. рис. 24,а) справедливо соотношение:

$$U_{R2} = U_{\text{пит}} \frac{R2}{R1 + R2}$$

$$R_{\text{бэ}} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

Эквивалентное сопротивление в цепи базы должно быть равно 5 — 10 кОм. Сопротивление резисторов делителя определяют по формулам

$$R1 = \frac{R_{\text{бэ}}}{A}; \quad R2 = \frac{R_{\text{бэ}}}{1-A},$$

где

$$A = U_{R2} / U_{\text{пит}}$$

Для определения значения коэффициента  $A$  нужно в собранном генераторе, до установки кварца, временным делителем с переменным резистором установить коллекторный ток в пределах 2 — 3 мА. После этого следует измерить напряжение  $U_{R2}$ , а затем рассчитать  $R1$  и  $R2$ . Сопротивление резистора  $R8$  определяет температурную стабильность генератора. Существуют рекомендации по выбору этого резистора. Для транзисторов серии ГТ308, а также для близких к ним по параметрам  $R9$  берут равным 300 Ом, а для транзисторов серии ГТ311 и им аналогичных — 390 Ом. Сопротивление нагрузочного резистора  $R3$  определяют по формулам

$$R3 = \frac{10}{\omega_r C_1'}; \quad C_1' = C1 + C_M + C_{\text{вых}}$$

где  $C1$  — емкость внешнего конденсатора,  $C_M$  — емкость монтажа (3 — 5 пФ);  $C_M$  и  $C_{\text{вых}}$  — входная и выходная емкости транзистора на частоте генерации. По аналогии  $C2' = C2 + C_M + C_{\text{вх}}$ .

Емкость конденсатора-  $C3$  определяют из соотношения  $C3 = (0,01 — 0,1)C1$ . Емкость блокировочных конденсаторов (в пикофарадах) рассчитывают по формулам

$$C_{\text{бл } 1} = \frac{1,59 \cdot 10^6}{R3 f_r}; \quad C_{\text{бл } 2} \geq \frac{1,59 \cdot 10^6}{R_B f_r},$$

где  $K_э$  — сопротивление в омах;  $f_r$  — частота в мегагерцах.

Перейдем к варианту генератора с емкостной «трехтонкой» и кварцем, работающим на нечетной механической гармонике (см. рис. 26). Там роль конденсатора  $C1$  контура автогенератора играет параллельный контур  $C_K L_K$  (см. рис. 26,б). Как уже отмечалось, на частоте генерации этот контур должен иметь емкостное сопротивление, т. е. его резонансная частота  $f_0$  должна быть ниже частоты генерации. Параметры контура следует выбирать так, чтобы его *собственная* частота равнялась  $f_0 = (0,7 — 0,8)f_r$ .

Обратимся к рис. 27,б. На частоте  $\omega_r$  имеется результирующая емкостная проводимость  $B = \omega_r C'_{экв} = \omega_r C'_K - 1/\omega_r L_K$ , где  $C_K$  и  $L_K$  — соответственно емкость и индуктивность контура. Обычно индуктивность  $L_K$  обусловлена конструктивными соображениями.

Емкость  $C'_{экв}$  выбирают равной емкости конденсатора  $C1$ , определяемой методом, изложенным выше. После этого получим:

$$C'_K = \frac{\omega_r C1 + \frac{1}{\omega_r L_K}}{\omega_r};$$

$$C'_K = C_K + C_{вых} + C_M + C_{внос}.$$

Обобщенную емкость контура  $C'_K$  (в пФ) можно определить, задавшись индуктивностью  $L_K$  (в мкГн), по формуле:

$$C'_K = \frac{25300}{f_0^2 L_K}.$$

Конкретная емкость конденсатора  $C_K$ :

$$C_K = C'_K - C_{вых} - C_M - C_{внос}.$$

При определении  $C_{внос}$  исходят из характера подключения буферной ступени к автогенератору. Возможны три варианта подключений внешней нагрузки (рис. 28) — с индуктивной, автотрансформаторной и внешнеемкостной связью.

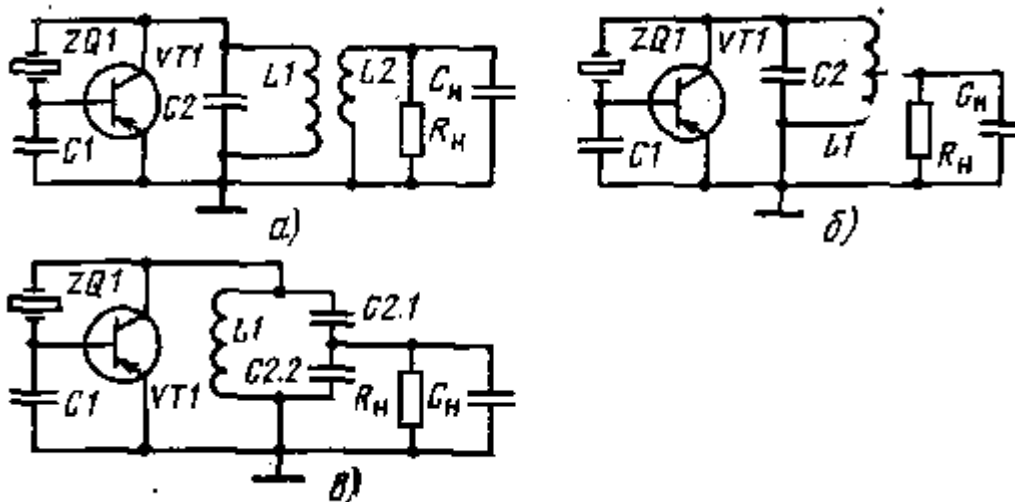


Рис. 28. Эквивалентные схемы генератора вида емкостная «трехточка» с работой кварцевого резонатора на механических гармониках:

а — связь с нагрузкой индуктивная; б — автотрансформаторная связь с нагрузкой; в — внешнеемкостная связь с нагрузкой

Связь с нагрузкой выбирается из условия оптимального согласования:

$$K_{вкл} = \sqrt{\frac{R_н}{R_{0э}}},$$

где  $K_{вкл}$  — коэффициент включения (коэффициент трансформации);  $R_н$  — сопротивление нагрузки;  $R_{0э} = 10^6 L_K / C_K R_K$  — эквивалентное сопротивление контура (здесь  $R_K$  — активное сопротивление контура).

Известно, что при индуктивной связи с нагрузкой максимальное выходное напряжение будет при отношении  $L2/L1 = 0,15 — 0,2$  (см. рис. 28,а). Катушку  $L2$  следует располагать между витками катушки  $L1$ . При



автотрансформаторной и внешнеемкостной связи с нагрузкой коэффициент включения выбирают в пределах 0,1 — 0,3.

Вносимая в контур емкость со стороны нагрузки

$$C_{в нос} = K_{вкл}^2 C_{н}.$$

Если подключение нагрузки индуктивное, то для определения параметров контура используется формула

$$K_{тр} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1} \frac{K_{св}}{1 + K_{св}^2}}$$

Здесь  $K_{тр}$  — коэффициент трансформации;  $L_2$  — индуктивность катушки связи с нагрузкой;  $L_1$  — индуктивность катушки контура, например, для частоты в пределах 20 — 30 МГц ее выбирают равной 0,6 мкГн;  $K_{св}$  — коэффициент связи между катушками, определяемый по формуле:

$$K_{св} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

$$M = \frac{L_{с огл} - L_{в стр}}{4}$$

где  $\frac{4}{4}$  — взаимная индуктивность ( $L_{с огл}$  — суммарная индуктивность при согласном последовательном включении катушек,  $L_{в стр}$  — суммарная индуктивность при встречном последовательном включении катушек).

Необходимую расстройку контура для обеспечения устойчивой генерации можно определить и опытным путем, задавшись индуктивностью катушки  $L_1$  и коэффициентом связи с нагрузкой. Используя генератор в режиме усилителя на частоте генерации и изменяя емкость конденсатора  $C_2$ , снимают зависимость выходного напряжения от емкости  $C_2$ . Определив максимум напряжения на контуре, увеличивают емкость  $C_2$  до тех пор, пока выходное напряжение не уменьшится на 30% от максимального. Необходимо, чтобы добротность катушки  $L_1$  была не хуже 50.

Кварцевые генераторы, собираемые по осцилляторной схеме, имеют узкие пределы регулировки номинала рабочей частоты. Следует иметь в виду и то, что обычно кварцевые резонаторы при изготовлении регулируют совместно с генератором по схеме последовательного резонанса. Из разновидностей генераторов с кварцем, работающим вблизи последовательного резонанса, представляют интерес те, у которых кварц включен в контур, хотя существуют и генераторы с кварцем в цепи обратной связи. В генераторе с кварцем в контуре мож-«о подстраивать частоту внешними элементами, причем зона подстройки частоты гораздо шире, чем у кварцевых генераторов других видов.

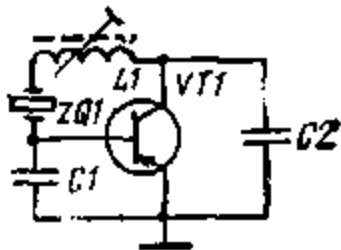


Рис. 29. Эквивалентная схема кварцевого генератора с кварцем в индуктивной ветви емкостной «трехточки»

Рассмотрим генераторы с кварцем в контуре, предназначенные для работы с частотой в пределах 5 — 50 МГц. На рис. 29 изображена схема генератора с емкостной «трехточкой» и с кварцем в индуктивной ветви контура. Емкость контура генератора составлена из последовательно соединенных емкостей конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ .

Генерация происходит на частоте, близкой к частоте последовательного резонанса кварца, у которого в этом случае общее сопротивление минимально и носит активный характер. Катушкой  $L_1$  (при перекрытии по индуктивности не менее чем в два раза) удается подстраивать частоту генерации в пределах  $\pm(20 — 50)10^{-6}$  от номинального значения. Индуктивность катушек  $L_1$  (в мкГн) определяют по формуле

$$L_1 = \frac{2,53 \cdot 10^4}{f_r^2 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — емкости конденсаторов в пФ;  $f_r$  — частота в МГц.

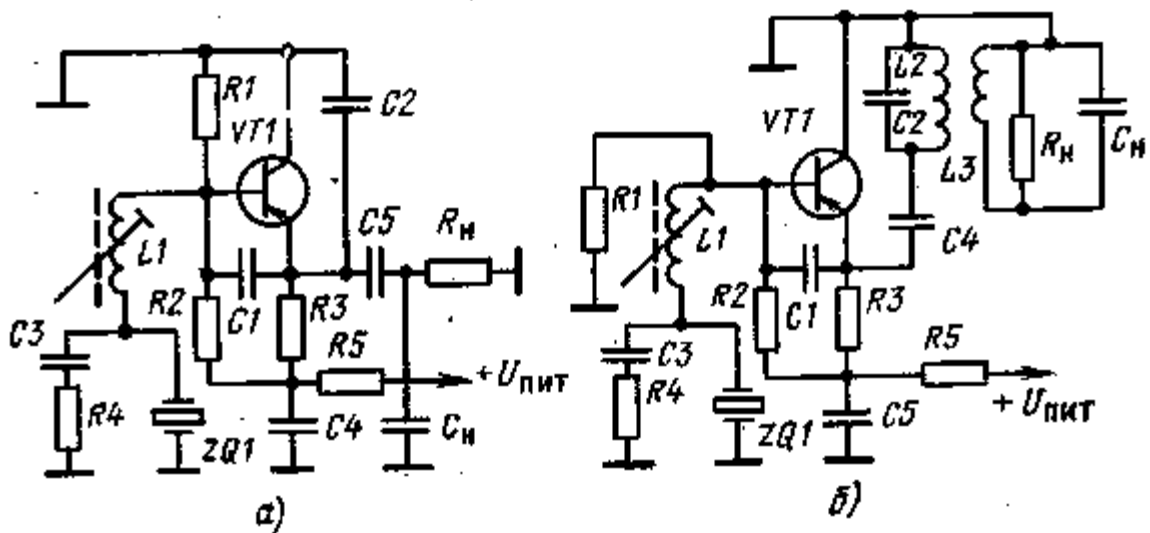


Рис. 30. Схемы генератора с кварцевым резонатором, работающим вблизи последовательного резонанса:

а — на основной частоте; б — на механической гармонике

На рис. 30 показаны схемы генераторов с последовательным резонансом. Оба генератора имеют эквивалентную схему, изображенную на рис. 29, только во втором из них (рис. 30,б) последовательно с катушкой L1 включен конденсатор C3, образуя с ней последовательный контур, который должен быть настроен на частоту ниже частоты генерации. В результате на частоте генерации контур L1C3 будет иметь сопротивление индуктивного характера (см. рис. 27). Таким же образом может быть рассчитан и разделительный конденсатор C3 в генераторе на схеме на рис. 30,а.

Контур L1C3 включают последовательно с кварцем в тех случаях, когда требуется перестраивать частоту генератора в более широких пределах. Практически в таком случае удастся расширить пределы подстройки частоты в 3 раза  $[\pm(60 - 150)10^{-6}f_0]$ . Для этого увеличивают индуктивность также в 3 раза и включают конденсатор C3 такой емкости, при которой кварц возбуждается вблизи последовательного резонанса. Подборкой конденсатора C3 можно грубо определить номинальную частоту генерации, а подстроечником катушки L1 — установить ее точно.

В генераторе (по схеме рис. 30,б), где кварц работает на механической гармонике, пределы перестройки частоты одной только катушкой L1, включенной последовательно с кварцем, меньше, чем на его основной частоте. Практически катушкой удастся перестраивать частоту генерации в пределах  $\pm 15 \cdot 10^{-6}$ . Для расширения этих пределов индуктивность катушки, ориентировочное значение которой предварительно рассчитывают, увеличивают в 2 — 3 раза и последовательно с ней включают конденсатор такой емкости, при которой кварц возбуждается вблизи последовательного резонанса механической гармоники. Практически удастся подстраивать частоту в пределах  $\pm 30 \cdot 10^{-6}$ . Параллельный контур L2C2 с учетом вносимой в него емкости выполняет роль конденсатора C1 в схемах емкостной «трехточки» (см. рис. 26).

Сопротивление резистора R4 (в омах) определяют по формуле

$$R_4 = \frac{1,59 \cdot 10^6}{f_r C_0},$$

где  $f_r$  — в мегагерцах;  $C_0$  — статическая емкость кварца, пФ.

Этот резистор, шунтирующий кварц, предотвращает паразитные колебания, обусловленные индуктивностью катушки L1 и статической емкостью кварца. В остальном расчет не отличается от расчета обычного генератора по схеме емкостной «трехточки».

## 4. АППАРАТУРА ДИСКРЕТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Движением модели можно управлять разовыми (дискретными) командами. Характер этих команд, передаваемых оператором, зависит от вида исполнительного механизма на модели. В тех случаях, когда команды служат для включения и выключения исполнительных механизмов, они кратковременны. При управлении рулями длительность команды определяет необходимый угол поворота руля.

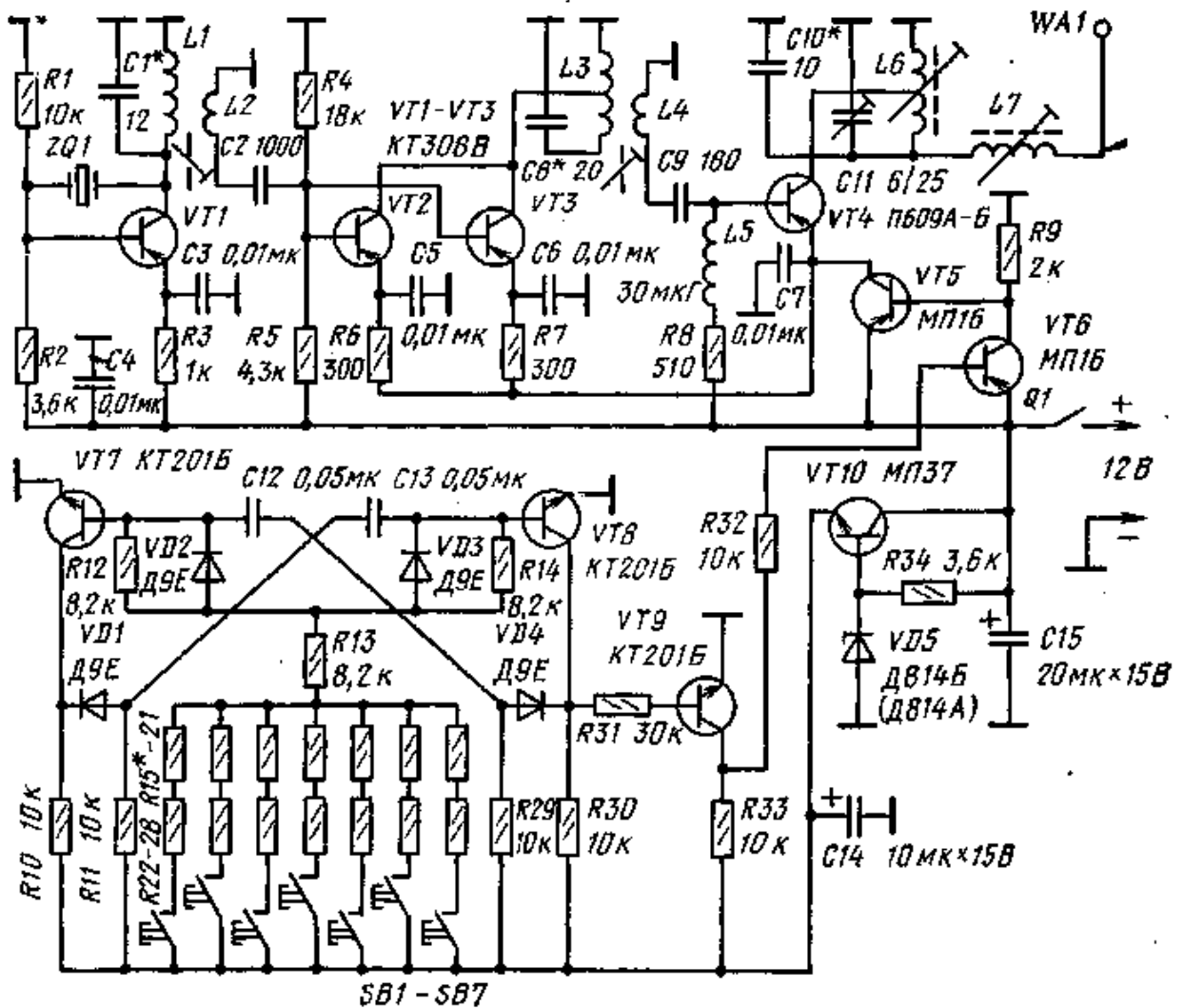


Рис. 31. Схема семикомандного передатчика

В настоящее время существуют разные варианты аппаратуры, как промышленной, так и самодельной, для дискретного управления движением моделей.

Схема любительского передатчика дискретного управления показана на рис. 31. Передатчик работает разовыми командами по семи каналам в любой последовательности. Рабочая частота  $27,12 \text{ МГц} \pm 0,05\%$  или на фиксированной частоте в диапазоне  $28 - 28,2 \text{ МГц}$ . Мощность излучения —  $0,3 \text{ Вт}$ . В задающем генераторе использован кварцевый резонатор. Передатчик питается от трех батарей 3336. Дальность действия передатчика до  $500 \text{ м}$  (на земле), если на модели установлен приемник, собранный по схеме, изображенной на рис. 33, и длиной приемной антенны не менее  $30 \text{ см}$ .

Задающий генератор собран на транзисторе VT1. Кварц ZQ1 возбуждается на частоте  $27,12 \text{ МГц} \pm 0,05\%$ , а контур L1C1 настраивают на более низкую частоту, в результате на частоте  $27,12 \text{ МГц}$  он имеет емкостную проводимость и создаются условия для самовозбуждения по схеме емкостной «трехточки», в которой роль индуктивности выполняет кварц. С обмотки связи L2 напряжение поступает к буферному каскаду, в котором работают транзисторы VT2 и VT3, включенные параллельно. Контур L3C8 настроен на частоту  $27,12 \text{ МГц}$ .

Выходной каскад (усилитель мощности) выполнен на транзисторе VT4. Нагрузкой его является контур L5C10C11, к которому через согласующую катушку L7 подключена излучающая антенна WA1.

Модулятор собран на транзисторах VT5, VT6, VT9. Когда открыт транзистор VT5, открыты и транзисторы выходного и буферного каскадов, и передатчик излучает высокочастотные колебания.

Шифратором служит мультивибратор на транзисторах VT7, VT8. Он генерирует колебания прямоугольной формы. При нажатии на одну из семи командных кнопок SB1 — SB7 мультивибратор начинает генерировать одну из частот соответственно  $1080, 1320, 1610, 1970, 2400, 2940, 3580 \text{ Гц}$ , а передатчик излучает высокочастотные колебания, модулированные звуковой частотой.

Стабилизатор напряжения, выполненный на транзисторе VT10 и стабилитроне VD5, обеспечивает стабильность частоты мультивибратора при изменении напряжения питания с  $12$  до  $8,5 \text{ В}$ , тем не менее при разрядке батареи до  $9 \text{ В}$  ей следует заменить новой.

Антенна — штыревая длиной 1 м.

Особенность передатчика в том, что с корпусом (общий провод) соединен минусовой вывод источника питания. Это упрощает монтаж высокочастотных цепей выходной и буферной ступеней, а контуры можно настраивать не только подстроечниками катушек, но и подстроечными конденсаторами, роторы которых соединены с общим проводом.

В высокочастотной части передатчика применены керамические конденсаторы. Для изготовления дросселя L5 на резистор МЛТ-1 сопротивлением не менее 200 кОм наматывают (до заполнения) один слой провода ПЭЛ 0,08. Концы катушки припаивают к выводам резистора. Конденсаторы С12 и С13 в мультивибраторе лучше применять бумажные, например МБМ. Транзисторы рекомендуется применять с коэффициентом  $L_{210}$ , равным 40 — 60.

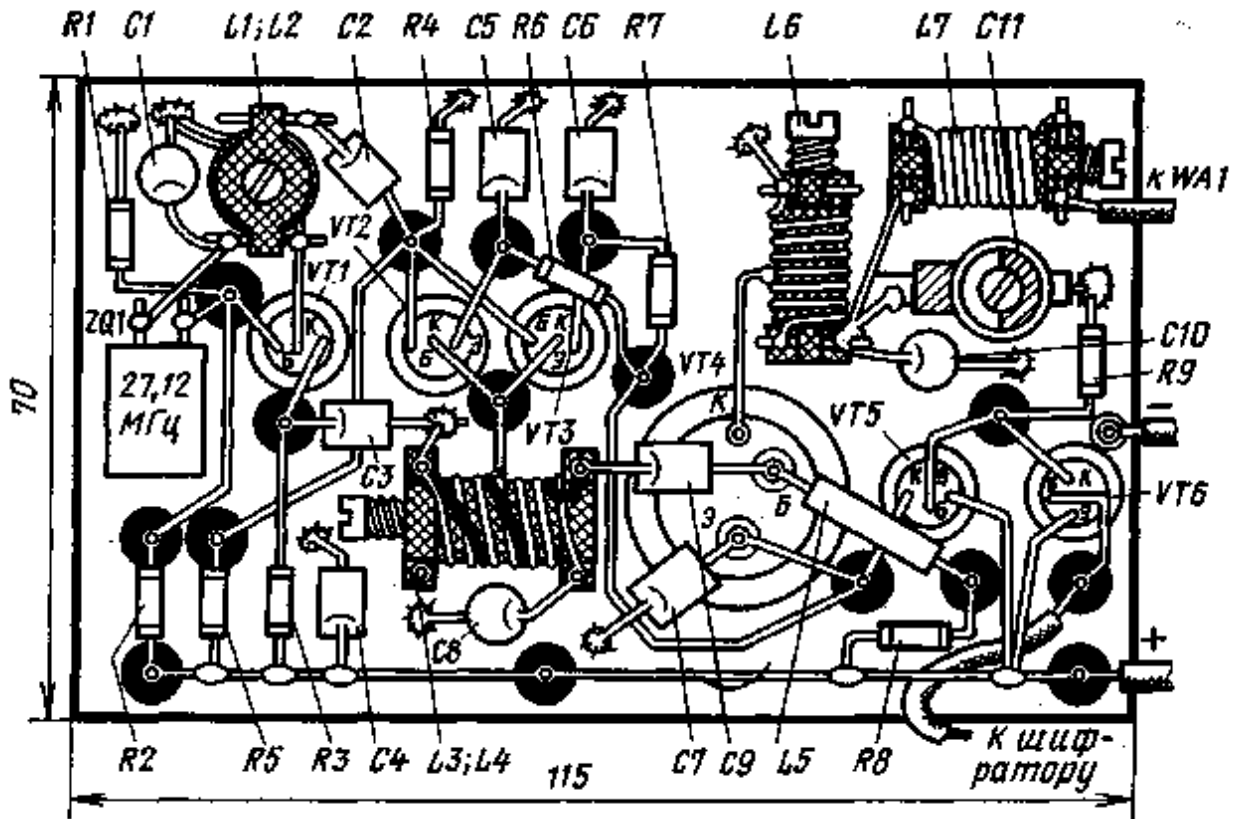


Рис. 32. Монтажная плата высокочастотной части семикомандного передатчика

Самостоятельно изготавливают согласующую катушку и все контурные катушки. Катушку L1 наматывают виток к витку проводом ПЭВ-2 0,35 на каркасе диаметром 7 мм. Число витков-18. Внутри каркаса помещен подстроечник из карбонильного железа. Катушка L2 содержит два витка провода ПЭЛШО 025. Ее наматывают поверх катушки L1.

Катушки L3 и L6 наматывают посеребренным проводом диаметром 0,5-0,8 мм на каркасах диаметром 9 мм. Зазор между витками-0,5 мм. Катушки содержат по десять витков с отводом от середины. Катушку L4 (два витка провода ПЭЛШО 0,25) наматывают поверх катушки L3 между ее витками. Индуктивность катушек L3 и L6 без подстроечника - 0,35 мкГн. Полностью ввинченный подстроечник из карбонильного железа увеличивает индуктивность примерно в 2 раза, а из латуни - уменьшает в 1,5 раза. При отсутствии посеребренного провода катушки L3 и L6 могут быть намотаны проводом ПЭВ-2 0,65-0,8. Катушку L7 наматывают проводом ПЭВ-2 0,65 на гладком каркасе диаметром 9 мм. Намотка рядовая на длине 15 мм. Каркасы всех катушек выполнены из высокочастотного изоляционного материала.

Передатчик монтируют на плате из фольгированного стеклотекстолита. Выводы деталей припаивают к запрессованным в плату пропалочным шпилькам, вокруг которых удалена фольга. Оставшаяся фольга служит общим проводом. Для того чтобы монтаж был жестким, выводы деталей укорачивают на 10 — 15 мм.

Смонтированную плату укрепляют в кожухе как можно ближе к антенному вводу. Материал кожуха-дюралюминий или латунь. Между кожухом и общим проводом платы должен быть надежный контакт.

На рис. 32 показан монтаж высокочастотной части передатчика. Расположение контурных катушек обеспечивает свободный доступ к подстроечникам. Выводы деталей, соединяемых по схеме с общим проводом, припаивают к фольге платы. Фольгу перед монтажом зачищают мелкой наждачной бумагой до металлического блеска.

Монтаж низкочастотной части передатчика выполняют на второй плате из стеклотекстолита или гетинакса. Расположение деталей — произвольное. Командные кнопки и выключатель питания размещают на одной из стенок кожуха. С платой их соединяют гибкими проводниками.

Отсек, в котором располагают батареи питания, следует отделить перегородкой с тем, чтобы защитить платы от порчи при возможном нарушении герметичности элементов питания.

Конструкцию кожуха, размещение кнопок, антенны и плат продумайте сами. Для переноски и удобства пользования передатчиком (при передаче команд) его необходимо снабдить ремнем.

Налаживание передающего устройства начинают с установки фиксированных значений частоты мультивибратора. Вместо постоянных резисторов R15-R28 временно включают последовательную цепь из переменного резистора сопротивлением 47 кОм и постоянного с меньшим сопротивлением. По цифровому частотомеру или звуковому генератору и осциллографу устанавливают выбранную частоту, после чего переменный резистор заменяют постоянным соответственного номинала. С увеличением частоты сопротивление включаемых резисторов будет уменьшаться. При изменении сопротивления резисторов R15 — R28 от 47 кОм до нуля и при напряжении питания 8 В мультивибратор генерирует колебания, частота которых изменяется от 0,8 до 8 кГц.

Налаживание высокочастотной части передатчика начинают с задающего генератора. Вращая подстроечник катушки L1, проверяют ламповым вольтметром наличие колебаний. Затем детекторную головку вольтметра подключают к катушке L2. Уменьшают напряжение питания до 8 В и убеждаются, что работа генератора остается устойчивой.

Соединяют выводы коллектора и эмиттера транзистора VT5 и подстроечниками настраивают в резонанс контуры L3C8 и L6C10C11, если необходимо, подбирают контурные конденсаторы. Если лампу накаливания на ток 25 — 40 мА и напряжение 6 — 10 В включить последовательно с антенной, можно по свечению лампы убедиться в наличии высокочастотных колебаний в цепи антенны. Элементы, обозначенные на схеме звездочкой, могут потребовать подборки в процессе налаживания.

Выходной каскад согласуют с антенной подстроечниками катушек L6 и L7. Эту операцию лучше всего выполнять с использованием индикатора поля, добиваясь максимального показания измерительного прибора. Антенна при этом должна быть подключена и полностью развернута. Индикатор поля размещают на таком расстоянии, чтобы при наличии сигнала стрелка микроамперметра находилась в средней части шкалы.

После этого переключку между коллектором и эмиттером транзистора VT5 удаляют. В заключение рекомендуется вместо микроамперметра в индикаторе поля включить резистор сопротивлением 10 кОм и на экране осциллографа, подключенного к этому резистору, проконтролировать форму протектированных звуковых колебаний при нажатии той или иной командной кнопки.

После окончания налаживания подстроечники катушек необходимо зафиксировать в каркасах нитроэмалью.

Приемник (см. принципиальную схему на рис. 33) содержит апериодический УВЧ, сверхрегенеративный детектор, усилитель НЧ, эмиттерный повторитель и дешифратор. Сверхрегенеративный детектор выполнен на транзисторе VT2. Контур L1C6 подстроечником из карбонильного железа настраивают на частоту передатчика. Частота гашения определяется цепочкой R5, C5. Фильтр R6, CЮ, L3, C9 не пропускает в низкочастотный тракт колебания с частотой гашения. Усилитель НЧ, выполненный на транзисторах VT3, VT4, усиливает и ограничивает сигнал. Эмиттерный повторитель на транзисторе VT5 согласует выход усилителя НЧ со входом дешифратора. Питание приемника стабилизировано электронным стабилизатором, собранным на транзисторе VT6 и стабилитроне VD1. Этим обеспечено постоянство уровня сигнала на выходе эмиттерного повторителя при частичной разрядке батареи питания.

Приемник имеет семиканальный дешифратор (на схеме показана одна из его семи ячеек). Каждая ячейка представляет собой частотно-избирательное электронное реле, настроенное на одну из частот: 1080, 1320, 1610, 1970, 2400, 2940, 3580 Гц.

Резистор R16 и контур L4C16 образуют Г-образный фильтр, настроенный на частоту канала. Для сигнала, частота которого совпадает с резонансной частотой контура, полное сопротивление контура велико; сигнал с любой другой частотой будет через этот контур замкнут на общий провод. Усиленный транзистором VT7 полезный сигнал с обмотки реле K1 через конденсатор C17 поступает на диод VD2, выпрямляется и еще более приоткрывает транзистор. В результате коллекторный ток транзистора VT7 резко возрастает и реле K1 срабатывает. Сопротивление резистора R16 наряду с добротностью контура L4C16 определяет избирательные свойства и чувствительность ячейки. Для четкой работы дешифратора с LC-контурами необходимо постоянство сигнала на его входе. Эту задачу выполняет усилитель-ограничитель (VT3, VT4).

При свежем комплекте батарей ( $U_{пит} = 9$  В) приемник потребляет ток 30 мА при отключенном передатчике и 75 мА — при подаче команды. Приемник питается от двух батарей 3336, соединенных последовательно. Допустимое напряжение питания  $9В \pm 1,5$  В. Батареи «Крона» не годятся, так как у них слишком мала электрическая емкость.

В приемнике применены реле РЭС-15 (паспорт РС4.591.002), возможна замена реле РЭС-15 на реле РЭС-10 (паспорт РС4.524.308).

Самодельными деталями приемника являются катушка L1 и катушки L4 дешифратора. Катушка L1 содержит 16 витков провода ПЭВ-2 0,51, намотанных виток к витку на каркасе диаметром 8 мм с резьбовым отверстием под карбонильный или латунный подстроечник. Индуктивность катушки без подстроечника — 1,2 мкГн, с карбонильным подстроечником — 1,75 мкГн, с латунным — 0,95 мкГн.

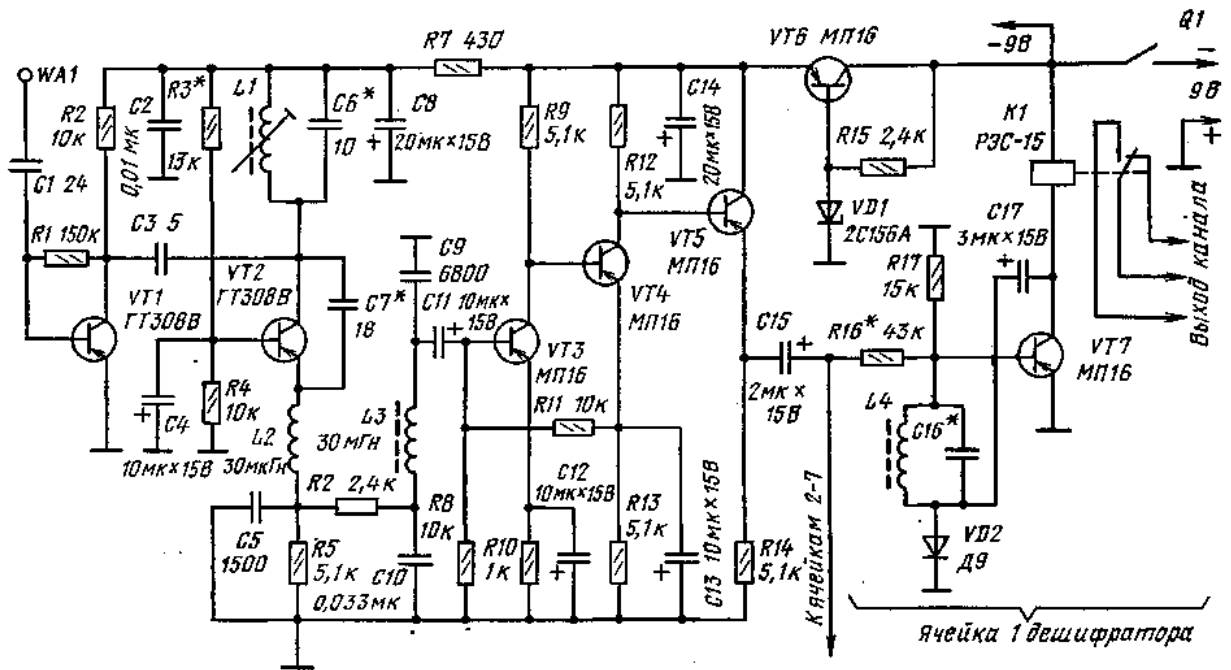


Рис. 33. Схема приемника семикомандной аппаратуры

Для изготовления катушек дешифратора лучше применять ферритовые бронеовые магнитопроводы с магнитной проницаемостью 1000 — 2000 с резьбовым подстроечником. Габариты магнитопровода: диаметр — 19 мм, высота — 16 мм. Внешние края чашек должны быть подогнаны один к другому. Между кромками внутренних цилиндров чашек необходимо создать (шлифовкой) зазор около 0,5 мм. Поскольку ферритовые магнитопроводы имеют разброс значения магнитной проницаемости, указать точно число витков каждой катушки затруднительно. Рекомендуется намотать на каркас до его заполнения провод ПЭВ-2 и, постепенно уменьшая число витков и регулируя положение подстроечника, добиться требуемой индуктивности катушки. Диаметр провода при намотке катушек для первых трех каналов — 0,08 — 1 мм, а для остальных — 0,11 — 0,14 мм. Катушки дешифраторов можно намотать и на кольцевые магнитопроводы типоразмера К17Х8Х5 из феррита с магнитной проницаемостью 2000. Обмотка состоит из 600 — 800 витков провода ПЭВ-2 0,06 или ПЭВ-2 0,08. В этом случае настройку контуров в резонанс следует вести подбором конденсатора.

Приемник лучше всего монтировать на двух платах из фольгированного ге-тинакса или стеклотекстолита. По окончании монтажа платы скрепляют одну над другой. Выводы деталей припаивают к проволочным шпилькам, запрессованным в отверстия платы. В местах установки шпилек фольгу вырезают по кругу диаметром 5 мм. Оставшаяся фольга служит общим проводом и экранирующей перегородкой.

Детали на платах следует располагать подобно тому, как они расположены на принципиальной схеме. Габариты плат определяют исходя из имеющихся деталей. Часть деталей (например, резисторы) можно разместить и на другой стороне платы. К деталям, которые в процессе налаживания аппаратуры могут быть заменены, должен быть удобный доступ. На одной из плат собирают высокочастотную часть приемника, усилитель НЧ, ограничитель и одну ячейку дешифратора, на другой — остальные шесть ячеек дешифратора.

На рис. 34 показан вариант монтажа приемника и одной ячейки дешифратора. Дроссель L3 и катушку L4 селективного реле в ячейке дешифратора, намотанные на ферритовых кольцевых магнитопроводах, крепят к плате латунными винтами. Контурную катушку L1 укрепляют на латунном или дюралюминиевом угольнике. Шесть других ячеек дешифратора монтируют на второй плате с такими же габаритами. Выводы контактов реле подключают к жгуту с разъемом для присоединения к исполнительным механизмам. Антенный ввод к плате выполняют гибким проводником.

Приемник помещают в футляр, изготовленный из любого материала, кроме стали.

Налаживание начинают с усилителя НЧ, предварительно отключив его от детектора. Через конденсатор емкостью 1 мкФ на базу транзистора VT3 подают сигнал напряжением 5 мВ, частота которого равна частоте одного из каналов. К резистору R14 подключают низкочастотный осциллограф и контролируют ограничение сигнала. Затем напряжение сигнала увеличивают до 50 мВ. Уровень сигнала на выходе эмиттерного повторителя не должен существенно изменяться. При недостаточном усилении транзисторы VT3 и VT4 берут с большим коэффициентом передачи тока.

Низкочастотные контуры дешифратора в резонанс на заданную частоту настраивают подстроечниками катушек L4 и подборкой конденсаторов C16. При этом измеряют коллекторный ток транзистора VT7 миллиамперметром со шкалой на 50 мА. Резистор R16 вначале выбирают с большим номиналом, чем указано, для того чтобы транзистор VT7 не насыщался. После настройки контура резистор R16 выбирают таким, чтобы

при поступлении сигнала с частотой соответствующего канала реле четко срабатывало. При поступлении других сигналов и свехрегенеративного шума коллекторный ток транзистора VT7 не должен превышать половины тока срабатывания реле.

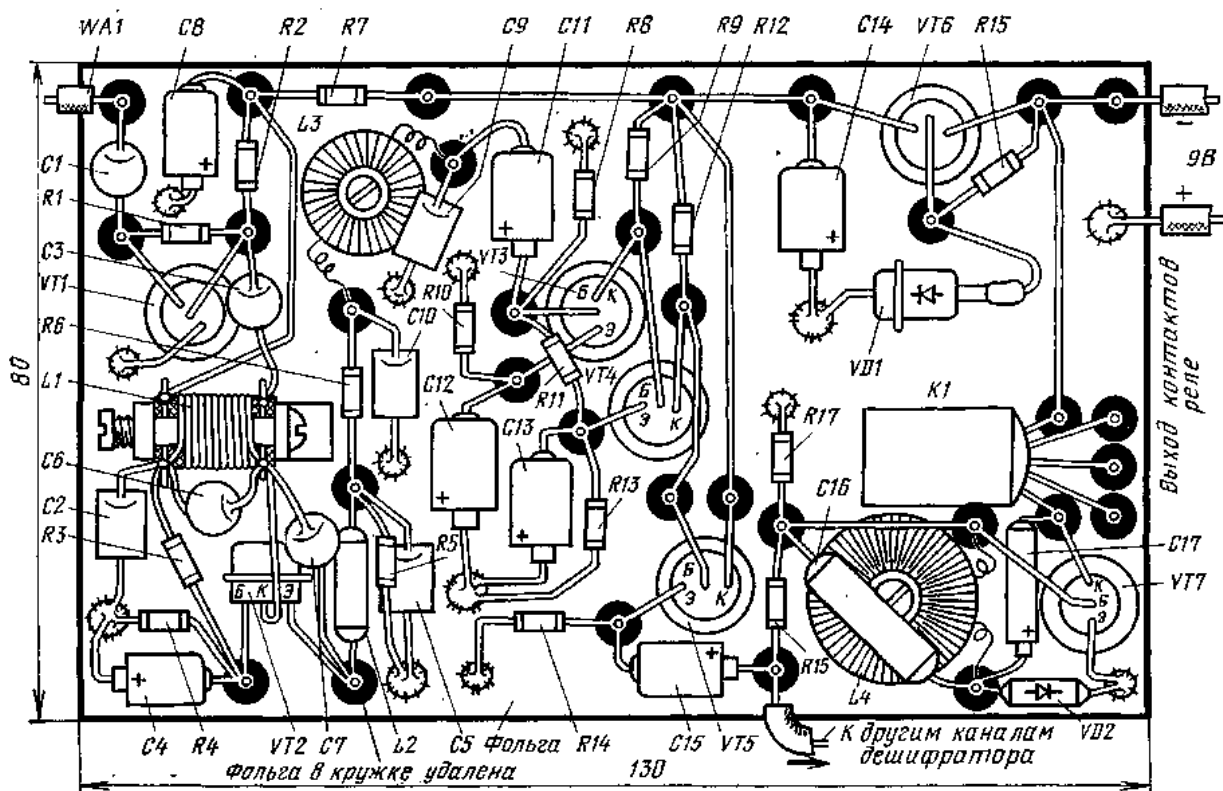


Рис. 34. Монтажная плата приемника и одной ячейки дешифратора

После настройки усилителя НЧ и дешифратора к базе транзистора VT3 прищипывают отключенный ранее конденсатор СП. К антенному вводу подключают штыревую антенну длиной 30 см. К плюсовой обкладке конденсатора С15 и общему проводу подключают высокоомные (более 1 кОм) головные телефоны, а к эмиттеру транзистора VT5 — осциллограф. В двух метрах от приемника устанавливают передатчик, у которого вместо антенны подключен ее эквивалент (резистор сопротивлением 100 — 150 Ом) и проводник длиной 10 см.

При включении питания приемника (передатчик выключен) в телефонах будет прослушиваться шум, а на экране осциллографа будут наблюдаться хаотические шумовые выбросы. Подборкой резистора R3 и конденсатора C7 (в пределах 12 — 27 пФ) необходимо добиться максимального и устойчивого шума приемника при любом положении подстроечника катушки L1.

Включают передатчик, излучение которого модулировано тоном одной из команд, и настраивают приемник на частоту передатчика. Емкость конденсатора С6 должна быть такой, чтобы приемник можно было настроить на нужную частоту при среднем положении подстроечника катушки L1. Затем проверяют прохождение команд по всем каналам, а также помехоустойчивость приемника как при наличии сигнала с передатчика, так и при отсутствии. Для этого на расстоянии 15 см от антенны приемника устанавливают и включают маломощный электродвигатель, у которого сильное искрение между коллектором и щетками. Если замечены кратковременные срабатывания отдельных реле дешифратора, необходимо заменить конденсатор С17 на другой, с несколько меньшей емкостью, и немного уменьшить усиление выходной ступени усилителя НЧ, включив в цепь эмиттера транзистора VT4 резистор сопротивлением 5 — 10 Ом.

Затем приемник устанавливают на модель и проверяют точность настройки на рабочую частоту передатчика, удалив его на 100 — 200 м. При проверке применяют высокоомные головные телефоны и небольшую индикаторную лампу, которую подключают к каждому из семи каналов. Если настройка приемника на частоту передатчика неточна, необходимо отверткой через отверстие в корпусе повернуть подстроечник катушки L1.

Когда аппаратура установлена на модели, то сначала включают питание приемника, а затем — системы автоматики, так как в момент подачи питания на приемник обычно происходит кратковременное срабатывание некоторых реле и изменяется состояние исполнительных механизмов. Для питания аппаратуры не рекомендуется использовать общую бортовую батарею, поскольку по цепям питания рулевых машинок и реле могут распространяться помехи, способные вызвать ложные срабатывания дешифратора.

Перелазать команды следует поочередно. Одновременная подача двух команд в этой системе не предусмотрена. В описанной аппаратуре радиуправления число каналов может быть доведено до десяти. В этом случае нужно соответственно увеличить число резисторов, подключаемых кнопками в шифраторе

передатчика, и число ячеек (селективных реле) в дешифраторе приемника. Для новых каналов используют поднесущие частоты 4370, 5310, 6500 Гц.

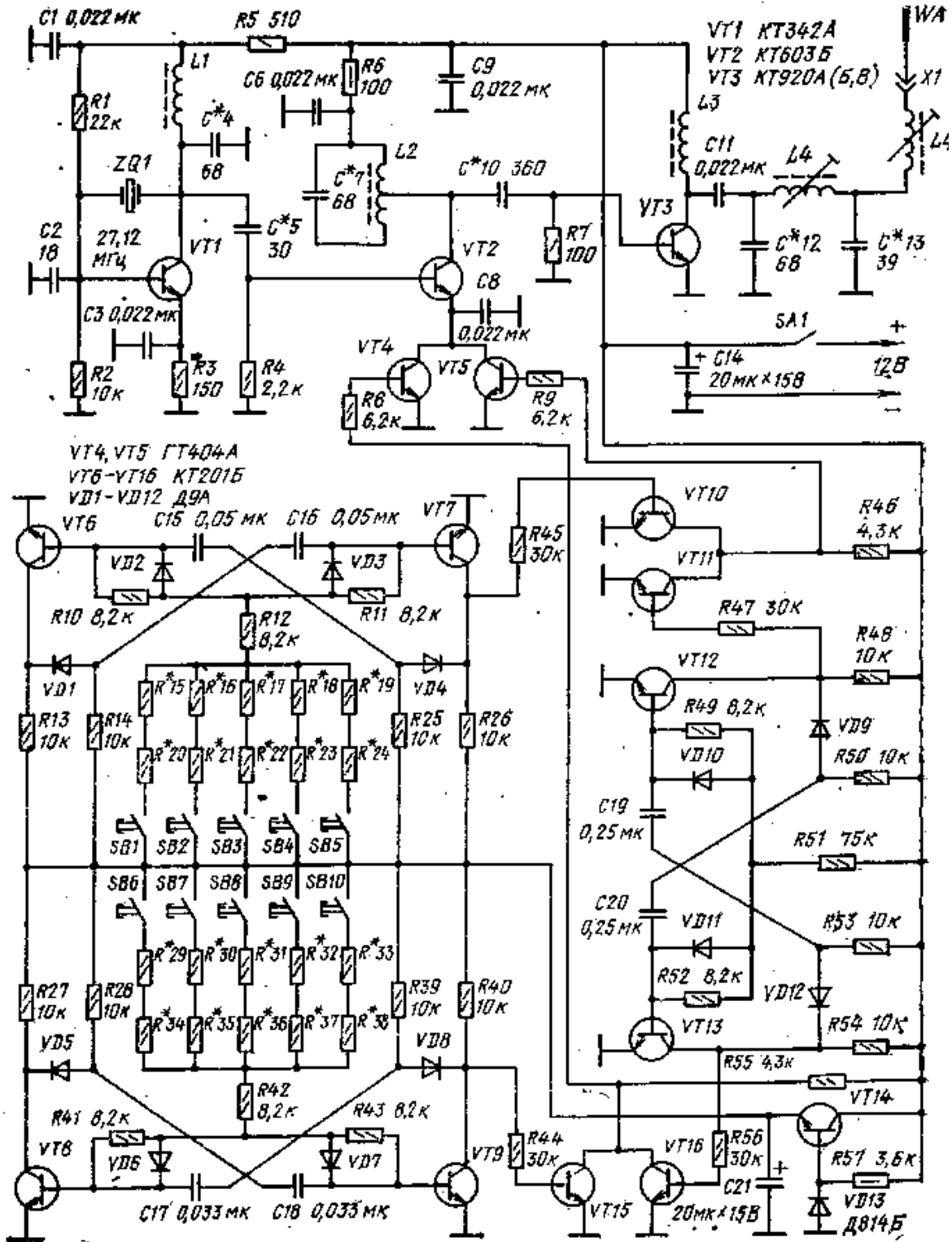


Рис. 35. Схема передатчика для передачи двух команд одновременно

Приобретая опыт в изготовлении и эксплуатации аппаратуры с последовательной передачей команд, моделист может перейти к системе с одновременной передачей двух команд. Такая аппаратура позволит улучшить управление моделью. Приемник в этой системе не меняется. Число каналов — десять.

Изменению подвергают передатчик. Он более мощный по сравнению с предыдущим вариантом. Принцип модуляции — тот же.

Схема передающего устройства показана на рис. 35. Высокочастотный блок передатчика выполнен на транзисторах VT1 — VT3. Он состоит из задающего генератора (VT1) с кварцевой стабилизацией частоты, предоконечного усилителя (VT2), модулируемого ключевым методом посредством двух транзисторов VT4,



VT5, и выходного каскада — усилителя мощности, работающего на штыревую антенну WAJ. Передатчик обеспечивает мощность излучения около 1 Вт.

Шифратор содержит три мультивибратора — два командных (на транзисторах V-T6, VT7 и VT8, VT9). и один коммутирующий.

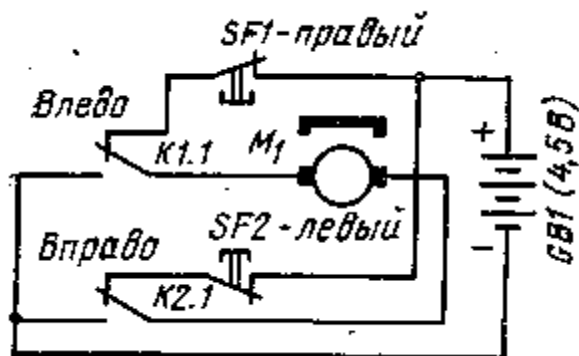


Рис. 36. Схема простой рулевой машинки

При нажатии на одну из пяти кнопок SB1 — SB5 передается команда первой группы, а при нажатии на кнопку из группы SB6 — SB 10 передается одновременно вторая команда. Каждый мультивибратор соответственно генерирует импульсы с определенными фиксированными частотами. Импульсы от верхнего по схеме командного мультивибратора поступают на левое плечо узла совпадения на транзисторах VT10, VT11, а импульсы от нижнего — на левое плечо нижнего по схеме узла совпадения (VT15, VT16). На правые плечи этих узлов совпадения поданы управляющие импульсы от третьего — коммутирующего мультивибратора (VT12, VT13). Он работает с частотой 50 — 60 Гц. Когда управляющий импульс отрицательный (условно), поскольку напряжение на коллекторе транзистора мультивибратора в это время равно нулю, то через плечо соответствующего узла совпадения ток не протекает, в результате левое плечо не зашунтировано и импульсы от командного мультивибратора попадают на вход модуляторного ключа. Транзисторы VT4, VT5 ключа работают поочередно, в такт с коммутирующим мультивибратором при двух нажатых командных кнопках, по одной из каждой группы.

В эфир антенна WA1 излучит два модулированных колебания, чередующихся с частотой, на которой работает коммутирующий мультивибратор. На приемной стороне одновременно сработают реле в двух ячейках дешифратора, настроенных на частоты, соответствующие этим командам. При настройке шифратора следует убедиться по осциллографу, что длительность управляющих импульсов и пауза между ними равны. Передающее устройство работает так, что если командные кнопки не нажаты, то ключевые транзисторы закрыты и передатчик не излучает высокочастотных колебаний.

Командные мультивибраторы настраивают подборкой резисторов, включаемых последовательно с кнопками, на частоты 1080, 1320, 1610, 1970, 2400 Гц — верхний мультивибратор; 2940, 3580, 4370, 5310, 6500 Гц — нижний.

При регулировке необходимо проверить отсутствие колебаний мультивибраторов при отпущенных кнопках. В остальном налаживание аппаратуры аналогично ранее описанному, но с учетом специфики работы передатчика. Для настройки выходной ступени (подгонка индуктивности катушек с подстречными и подборка конденсаторов) на максимальную отдачу мощности в антенну следует между антенной и катушкой L5 временно включить тепловой высокочастотный миллиамперметр T22 со шкалой на 300 мА. В крайнем случае, вместо миллиамперметра можно включить лампу накаливания на 3,5 В или 2,5 В. Для настройки передатчика в режиме несущей частоты необходимо временной перемычкой соединить эмиттер транзистора VT2 с общим проводом. Задающий генератор потребляет ток 5 — 6 мА, а ступени на транзисторах VT2, VT3 — 375 — 400 мА.

Конденсаторы в передатчике следует применять в основном керамические, в мультивибраторах можно использовать конденсаторы МБМ.

Катушки имеют следующие характеристики: L1, L4 — 10 витков рядовой намотки, на каркасе диаметром 5 — 6 мм (индуктивность 0,5 мкГн); L2 — 5+5 витков рядовой намотки на таком же каркасе (общая индуктивность 0,5 мкГн); L5 — 15 витков рядовой намотки на каркасе диаметром 6 мм. Индуктивность 1,4 — 1,5 мкГн). Провод ПЭВ-2 0,5. Дроссель L3 имеет индуктивность 20 — 30 мкГн.

В низкочастотных цепях следует применять транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока в схеме с общим эмиттером ( $A_{213}$ ) не менее 50 (VT4 — VT16). Возможны следующие варианты замены транзисторов и диодов: вместо КТ342А — КТ306Б, КТ316Г; вместо КТ603Б — КТ355А; вместо КТ920А — КТ920Б, КТ920В, КТ925Б, КТ606А; вместо ГТ404А — КТ815А — КТ815В; вместо КТ201Б — МП37, МП38, КТ307Б, КТ312Б, КТ315Б — КТ315Г; вместо Д9А — Д20, Д219А, Д22.0А, Д220Б, Д310; вместо Д814Б — КС482А, Д814В, Д809, Д818А — Д818Е.

Завершим рассмотрение самодельной дискретной аппаратуры кратким описанием наиболее простой схемы рулевой машинки (рис. 36). В системе автоматики управления рулевой машинкой включены контактные группы реле дешифратора.

При подаче команды «Лево -руля» к электродвигателю М1 рулевой машинки через контакты реле дешифратора подключается плюсовой вывод батареи GB1, а при подаче команды «Право руля» — минусовой. Так реверсируют рулевую машинку. По окончании команды рулевая машинка остается в том же положении. Конечные выключатели SF1 и SF2 предохраняют рулевую машинку от йоломки при чрезмерно длительной подаче команды. Дойдя до своего крайнего положения, ползунок привода размыкает соответствующий конечный выключатель, и электродвигатель останавливается. Существует большое разнообразие конструкций рулевых машинок для аппаратуры дискретного управления. На рис. 14 и 17 показаны характерные варианты конструкций рулевых машинок, смонтированных на модели.

## 5. ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМИ МОДЕЛЯМИ

Ранее было упомянуто, что системы радиоуправления моделями делят «я две группы — дискретные и пропорциональные. Аппаратура, которая описана в этой главе, по принципу действия — дискретная, однако позволяет вносить в процесс управления пропорциональные элементы. Такая аппаратура вполне доступна для изготовления и применения начинающим моделистам.

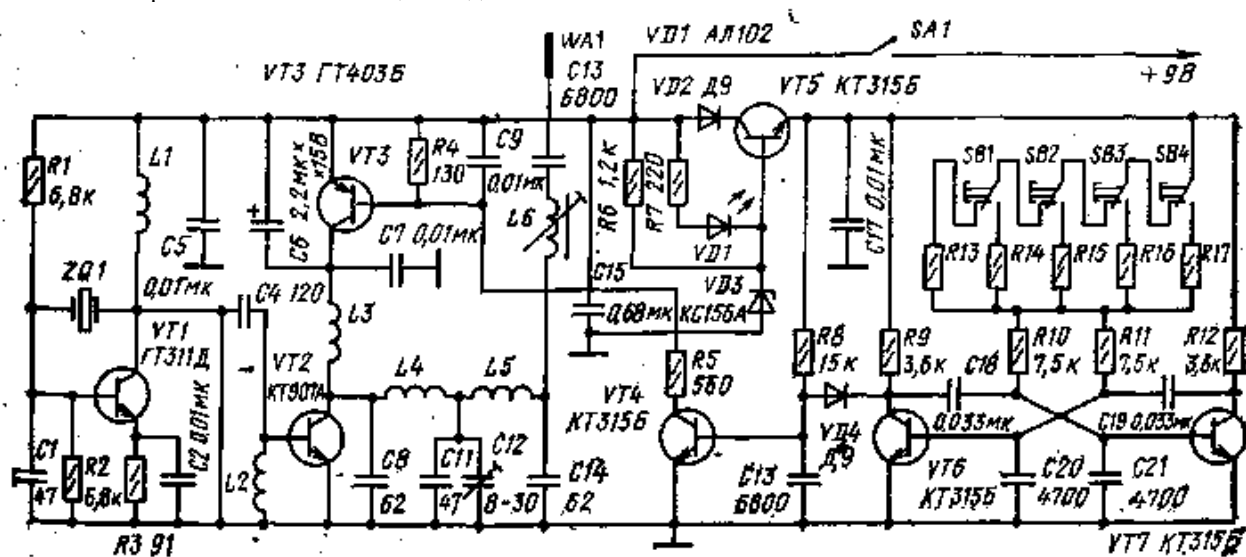


Рис. 37. Схема передающего устройства

Радиолюбителям, интересующимся радиоуправлением, наверняка знакомы промышленные образцы дискретной аппаратуры, такие как «Сигнал», «Пилот», «Старт», «РУМ-2», а также аналогичные им примеры радиолюбительских разработок. Следует, однако, сразу же заметить, что порой указанная выше аппаратура не обеспечивает надежной связи с моделями, особенно авиационными. Обусловлено это несколькими причинами. Приемник этих систем выполнен по схеме сверхрегенератора, полоса пропускания которого достигает нескольких сотен килогерц, что приводит к частому проникновению помех в командные каналы. Кроме того, несмотря на некоторые преимущества приемника, построенного по схеме сверхрегенератора — обычно на первый план выдвигают простоту изготовления, добиться его устойчивой работы в течение длительного времени не всегда удается. Недостатки передатчиков перечисленных образцов аппаратуры связаны, главным образом, с их недостаточной мощностью.

Отличительной особенностью описываемой аппаратуры (она разработана в Центральном спортивно-техническом клубе авиационного моделизма) состоит в использовании простого и вместе с тем весьма мощного передатчика. Приемник выполнен по супергетеродинной схеме. Число каналов — четыре. Использование аналоговой микросхемы (K237ХК2) в тракте усиления промежуточной частоты и пьезофильтров вместо LC-фильтров позволило получить приемник с узкой полосой пропускания. Постройка нескольких образцов показала хорошую повторяемость, а длительная эксплуатация на самых разнообразных моделях — надежную и безотказную работу системы даже в условиях интенсивных помех. Рабочая частота системы — 27,12 МГц  $\pm 0,6\%$ . Мощность передатчика — 600 мВт. Модулирующие командные частоты передатчика — 800, 1100, 1700, 2350 и 3000 Гц. Чувствительность приемника — 5 мкВ.

Схема передающего устройства изображена на рис. 37. Оно состоит из шифратора и передатчика.

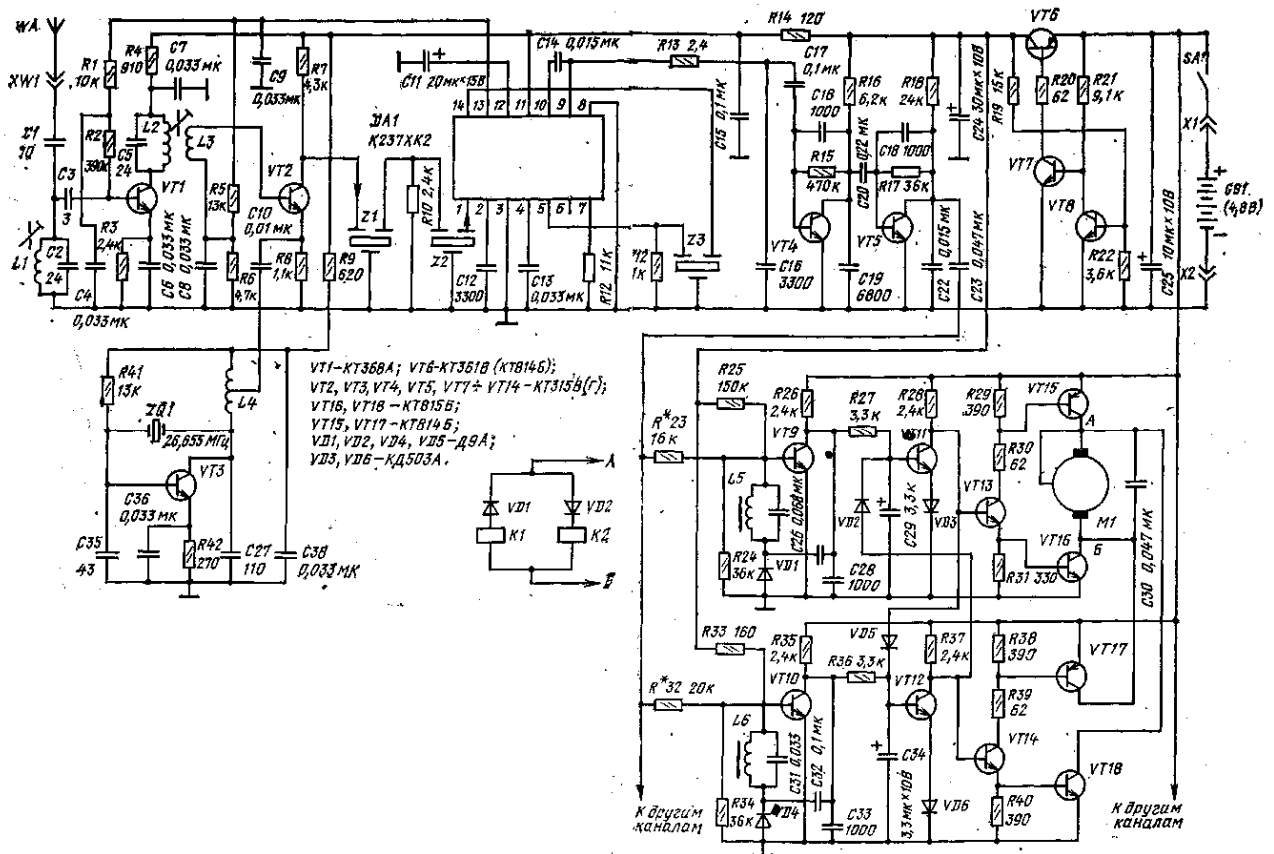


Рис. 38. Схема приемного устройства

На транзисторах VT6 и VT7 выполнен автоколебательный симметричный мультивибратор шифратора. Частота вырабатываемых им прямоугольных импульсов определяется постоянной времени  $(R10+R^*)C18$ , где  $R^*$  — один из резисторов R13 — R17, подключаемых кнопками SB1 — SB4. Если ни одна из кнопок управления не нажата, то подключен резистор R13, что приводит к работе мультивибратора на частоте 3000 Гц и модуляции высокочастотного излучения этой частотой. Модуляция излучения при отсутствии сигналов, несущих информацию исполнительным механизмам, позволяет уменьшить вероятность проникновения помех в тракт приемника. При нажатии на одну из четырех кнопок управления SB1 — SB4 частота модуляции изменяется. Таким образом формируются четыре команды.

Напряжение питания шифратора с целью поддержания неизменности модулирующих частот стабилизировано параметрическим стабилизатором R6V VD3 с усилителем тока на транзисторе VT5. В стабилизатор включен светодиод VDI, предупреждающий о недопустимом снижении напряжения источника питания.

Сигнал, сформированный шифратором, через диод VD4 и буферный транзистор VT4 передается на базу модулирующего транзистора VT3. Передатчик модулирует периодическим включением и выключением питания транзистора VT2 выходного каскада передатчика — усилителя мощности.

Задающий генератор передатчика выполнен на транзисторе VT1 с кварце-той стабилизацией частоты. Следует заметить, что генератор без изменения номиналов элементов позволяет при сохранении остальных параметров менять частоту излучения в небольших пределах путем замены кварцевых резонаторов. Напряжение высокой частоты через конденсатор связи C4 поступает на вход усилителя мощности.

В коллекторной цепи транзистора VT2 включено согласующее устройство — двойной П-образный фильтр C8, L4, СП, C12, L5, C14, предназначенный для обеспечения оптимальной связи усилителя мощности с антенной, а также для фильтрации гармоник несущей частоты. «Удлинительная» катушка L6 служит для компенсации емкостной составляющей штыревой антенны, поскольку ее длину выбирают в целях удобства эксплуатации равной обычно 1,2 — 1,5 м, а это меньше четверти длины волны излучения (2,5 м).

Схема приемного устройства показана на рис. 38. Оно состоит из приемника и дешифратора командных частот. На схеме дешифратора изображены два канальных электронных блока, выделяющих командные частоты. Остальные два по схеме тождественны показанным.

Приемник выполнен, как уже говорилось, по супергетеродинной схеме. Вход-вой контур JL1, C2) приемника настроен на несущую частоту передатчика, связь с антенной емкостная. Через конденсатор C3 принятый высокочастотный сигнал поступает на вход резонансного усилителя, выполненного на транзисторе VT1. Такое решение увеличивает общую чувствительность приемника и его избирательность по зеркальному каналу. Транзистор VT1 включен по схеме с общим эмиттером. Резистор R3 в цепи эмиттера создает отрицательную обратную связь и способствует устойчивой работе усилителя и его термостабилизации. Через

резисторы R1 и R2 на базу транзистора VT1 подано начальное смещение и поступает управляющий сигнал АРУ.

Нагрузкой УВЧ является резонансный контур L2C5, также настроенный на несущую частоту. Принятый и усиленный сигнал через катушку связи поступает на базу транзистора VT2, на котором выполнен смеситель. Сигнал гетеродина поступает в цепь эмиттера смесителя через конденсатор C10.

Гетеродин собран на транзисторе VT3. Для обеспечения устойчивой работы гетеродина сигнал снят со средней точки дросселя L4. Частота - кварцевого резонатора ZQ1 приемника должна отличаться от частоты кварцевого резонатора в задающем генераторе передатчика ровно на 465 кГц. Это связано с тем, что нагрузкой смесителя служат пьезокерамические фильтры Z1, Z2 (ФПШ-0,15, ФШП-0,17 или ФПП-0,26), работающие на фиксированной частоте. Следует, однако, заметить, что у большого числа фильтров их амплитудно-частотная характеристика имеет два горба, причем высокочастотный горб выше и приходится на частоту 468 — 470 кГц. Поэтому оказывается допустимым использование кварцевых, резонаторов в передатчике и приемнике с разницей по частоте от 465 до 470 кГц.

Усилитель промежуточной частоты приемника выполнен на микросхеме DA1, которая представляет собой аperiodический усилитель напряжения с детекторов и цепями АРУ. Ее включение соответствует типовому режиму, рекомендуемому справочной литературой. Отличием является лишь включение еще одного избирательного фильтра Z3 между ступенями усилителя микросхемы вместо обычно используемого конденсатора связи. Это способствует сужению полосы пропускания приемника и повышению его избирательности. Использование пьезо-фильтров в усилителе Промежуточной частоты значительно упрощает налаживание приемника, поскольку усилитель ПЧ в этом случае практически не требует настройки.

Сигнал промежуточной частоты поступает на вывод 1 микросхемы; с вывода 13 снимается напряжение АРУ. Сигнал низкой частоты с выхода микросхемы (с вывода 9) поступает на вход двухкаскадного усилителя низкой частоты, выполненного на транзисторах VT4, VT5 по схеме с общим эмиттером.

Для повышения устойчивости работы приемника напряжение питания приемника стабилизировано стабилизатором на транзисторах VT6 — VT8. Кроме того, введены цепи развязки R14, C15 и R9, C38.

Напряжение низкой частоты с коллектора транзистора VT5 через конденсатор C23 поступает на дешифратор. В цепи базы транзисторов VT9, VT10 включены параллельные LC-контур, каждый из которых настроен на одну из частот шифратора передающего устройства. Если частота напряжения, поступающего на базы транзисторов, не совпадает с резонансной частотой контура, например L5, C26, то его сопротивление мало, транзистор VT9 закрыт, VT11 открыт; транзисторы VT13, VT15, VT16 закрыты и напряжение питания не поступает на электродвигатель M1 исполнительного устройства. При совпадении одной из командных частот с резонансной частотой контура его сопротивление увеличивается, что приводит к открыванию закрытых транзисторов канала и закрыванию открытых, в результате чего электродвигатель включается и отклоняет, например, руль модели.

Если частота управляющего сигнала совпадает с резонансной частотой контура L6C31, то электродвигатель вращается в обратную сторону. Диоды VD2, VD5 защищают исполнительный узел от одновременного открывания транзисторов VT15 и VT16, VT17 и VT18 моста, управляющего работой электродвигателя. На схеме показан также вариант включения вместо электродвигателя исполнительных реле K1 и K2.

В аппаратуре применяют в основном готовые радиодетали. Самостоятельно изготавливают печатные платы (из фольгированного стеклотекстолита) и катушки индуктивности. Транзисторы серии КТ315 можно заменить на любые маломощные *n-p-n* транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока ( $h_{21э}$ ) не менее 150 — 200. Транзистор КТ907А передатчика может быть заменен на КТ904А, КТ904Б, КТ606А, КТ606Б. Модулирующий транзистор VT3 лучше использовать германиевый, поскольку у германиевых напряжение насыщения меньше; подходят ГТ402Б, ГТ402Г, МП25, МП26.

В приемнике также возможна замена транзисторов серии КТ315 на аналогичные. Что касается пар транзисторов VT15 и VT16, VT17 и VT18 в узле управления двигателем, то пары КТ814Б, КТ815Б и КТ816Б, КТ817Б здесь наиболее удачны, поскольку обладают небольшими габаритами и допускают ток коллектора в насыщении до 1 А (а транзисторы серий КТ816, КТ817 — до 3А), Это позволяет управлять практически всеми доступными любителям малогабаритными электродвигателями. Часто рекомендуемая пара транзисторов МП38, МП42 очень чувствительна к перегрузкам и требует применения электродвигателей с малым током потребления (не более 150 мА).

Конденсаторы лучше всего применять керамические, например серии КМ (КМ-4 — КМ-6). Следует выбрать наиболее стабильными конденсаторы C18, C19 в шифраторе передатчика, C2, C5, C26, C31 в приемном устройстве.

Катушки L4 — L6 передатчика имеют следующие конструктивные характеристики: L4 — 15 витков провода ПЭЛ 0,8, намотка бескаркасная, длина катушки 10 мм, диаметр 7 мм; L5 — 20 витков провода ПЭЛ 0,8, намотка бескаркасная, длина катушки 12 мм, диаметр 7 мм; L6 — 18 витков провода ПЭЛ 0,1, намотка рядовая на гладком пластмассовом каркасе диаметром 5 мм, ферритовый высокочастотный подстроечник диаметром 4 мм.

Дроссели L1 — L3 наматывают проводом ПЭЛ 0,16 на резистор-ах МЛТ-0,25 сопротивлением более 20 кОм, L1 содержит 33 витка, L2 и L3 — по 28 витков.

Катушки приемника имеют следующие конструктивные характеристики: L1 — 15 витков провода ПЭЛ 0,25 виток к витку на гладком пластмассовом каркасе диаметром 5 мм, высокочастотный ферритовый подстроечник

диаметром 4 мм; L2 и L3 — 15 и 2 витка провода ПЭЛ 0,25 на таком же каркасе с таким же подстроечником; катушку L3 наматывают поверх L2, покрытой слоем конденсаторной или другой тонкой бумаги.

Таблица I

Параметр	Значение			
	800	1100	1700	2350
Частота настройки контура, Гц	800	1100	1700	2350
Емкость конденсатора контура, мкФ	0,1	0,068	0,047	0,033
Индуктивность катушки контура, мГн	380	310	186	138
Число витков	233	206	125	92

Дроссель L4 наматывают проводом ПЭЛ 0,12; обмотка содержит 24 витка с отводом от середины. Катушки L5 — L8 намотаны каждая на двух сложенных вместе и склеенных кольцах типоразмера K10X6X3 из феррита 1000НН ил» 2000НН. Можно применять магнитопровод и большого сечения. Число витков следует либо определить опытным путем, либо рассчитать (расчет дан в статье Р. Малинина «Расчет индуктивностей на кольцевых магнитопроводах» в журнале «Радио», 1980, № 7, с. 45).

Точной настройки резонансного контура на заданную частоту добиваются подборкой конденсатора контура или числа витков катушки.

В табл. 1 представлен один из вариантов характеристик низкочастотных контуров (магнитная проницаемость феррита 1000, провод ПЭЛШО 0,07 — 0,08),

Перед включением передатчика и приемника следует тщательно проверить монтаж. В качестве источников питания лучше всего использовать батареи малогабаритных аккумуляторов емкостью 0,5 — 1 А-ч (например, Д-0.5Д ЦНК-0,45 или ЦНК-0,9). Аккумуляторы обладают по сравнению с гальваническими элементами значительно меньшим внутренним сопротивлением, что способствует более надежной работе устройства. Кроме того, уже в течение сезона эксплуатации аппаратуры (как правило, лета) расходы на приобретение аккумуляторов полностью окупаются.

Шифратор передатчика при правильном монтаже и исправных элементах требует только точной установки значений частоты, указанных в таблице, подборкой резисторов R13 — R17 и контроля частоты по осциллографу, а еще лучше по частотомеру. Использовать вместо постоянных резисторов подстроечные здесь не рекомендуется, так как они ненадежны в полевых условиях.

Задающий генератор при исправных деталях начинает работать сразу. Налаживание высокочастотной части обычно сводится к согласованию выходной ступени с антенной по максимуму тока через высокочастотный тепловой миллиамперметр, включенный в цепь антенны. Максимум тока добиваются подстроечником катушки L6. Участвует в подстройке и конденсатор C12.

Значения сопротивления резисторов R13 — R17 (в пределах 8 — 33 кОм) определяют опытным путем, устанавливая мультивибратор (VT6 — VT7) на соответствующие частоты. При отпущенных кнопках SB1 — SB4 мультивибратор генерирует колебания с частотой 3000 Гц.

Налаживание приемника сводится к настройке в резонанс контуров L1C2 и L2C5, Подключив антенну — проводник длиной 1 м — и вращая поочередно под-строечники катушек этих контуров, добиваются устойчивого изображения низкочастотного сигнала на экране осциллографа, подключенного к выходу микросхемы. На коллекторе транзистора VT5 наблюдают при этом сигнал той же частоты, но с амплитудой, почти равной напряжению питания.

Настройка дешифраторов состоит в настройке в резонанс контуров L5C26; -L6C31 и других. Рекомендуется это проделать предварительно, подавая сигнал соответствующей частоты со звукового генератора. После предварительной установки частоты контуров дешифратора приступают к окончательной настройке, подавая сигналы от передатчика.

Затем проверяют работу устройства в целом. Следует иметь в виду, что приемник и передатчик должны быть удалены один от другого. Окончательную проверку проводят в полевых условиях. Дальность связи между объектами на земле должна быть не менее 600 — 800 м.

## 6. АППАРАТУРА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аппаратуру пропорционального управления моделями изготавливают многие зарубежные фирмы. В основном это импульсная многоканальная аппаратура, укомплектованная рулевыми машинками. Ее схемные решения вполне могут быть использованы для изготовления аппаратуры в любительских условиях,

Известный чешский инженер-конструктор В. Валента так и поступил. Он взял за основу аппаратуру системы «Телепроп», внес в нее необходимые изменения и изготовил свой, модернизированный вариант. Описание этой аппаратуры познакомит читателя с тем, как на практике реализуют один из принципов построения импульсной многоканальной радиолинии пропорционального управления. Особенность этой системы в том, что при передаче на борт радиоуправляемой модели информации о положении ручек управления

командодатчиков применяется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) с временным разделением каналов управления и синхропаузой (рис. 39). Модулирующий сигнал формируют тактовый 17=20 мс) и многофазный регулируемый мультивибраторы, дифференцирующие цепи, диодные суммирующие ячейки и выходной одновибратор.

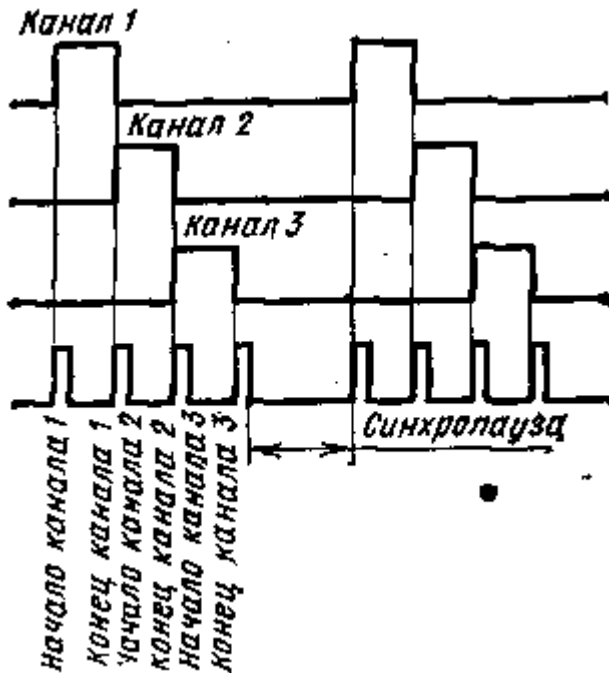


Рис. 39. Эпюры, поясняющие структуру импульсной последовательности в командных каналах

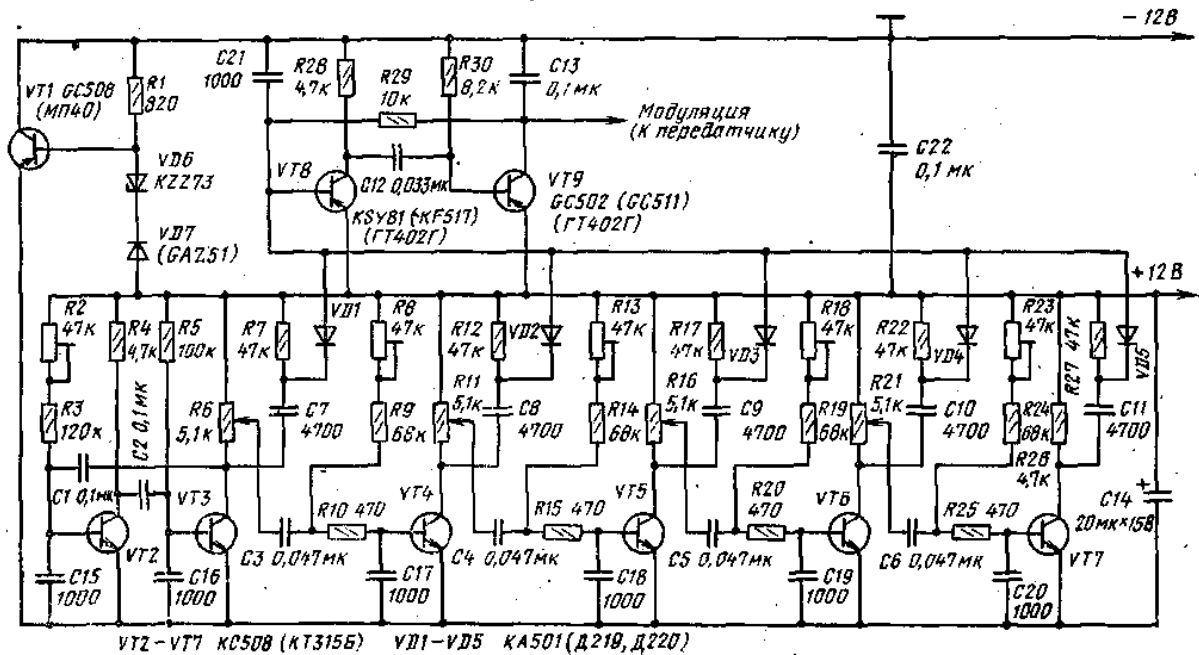


Рис. 40. Схема четырехканального шифратора.

На рис. 40 показана принципиальная схема четырехканального шифратора. Мультивибратор на транзисторах VT2, VT3 запускает многофазный мультивибратор, транзисторы VT4 — VT7 которого открыты током базы через резистивные цепи.

Предположим, что в начальный момент времени транзистор VT3 закрыт. Конденсатор C3 заряжается до некоторого напряжения, зависящего от положения движка переменного резистора R6. При переключении мультивибратора транзистор VT3 откроется и напряжение конденсатора C3 закроет транзистор VT4. Транзистор VT4 будет закрыт до тех пор, пока конденсатор C3 не разрядится через цепь R8, R9. Таким образом, время переключения транзистора VT4 зависит от положения движка переменного резистора R6, соединенного с

управляющим рычагом командодатчика, и от положения движка подстроечного резистора R8, устанавливающего ширину импульса при нейтральном положении этого рычага.

К коллектору транзисторов VT3 — VT7 подключены дифференцирующие цепи C7, R7, C8, R12 и т. д., подключенные через диоды VD1 — VD5 к -Сборной линии. На ней формируется сигнал, состоящий из синхروпаузы и продифференцированных коротких импульсов, возникающих в начале и конце канального интервала. Эпюры - коллекторного напряжения транзисторов шифратора показаны на рис. 41.

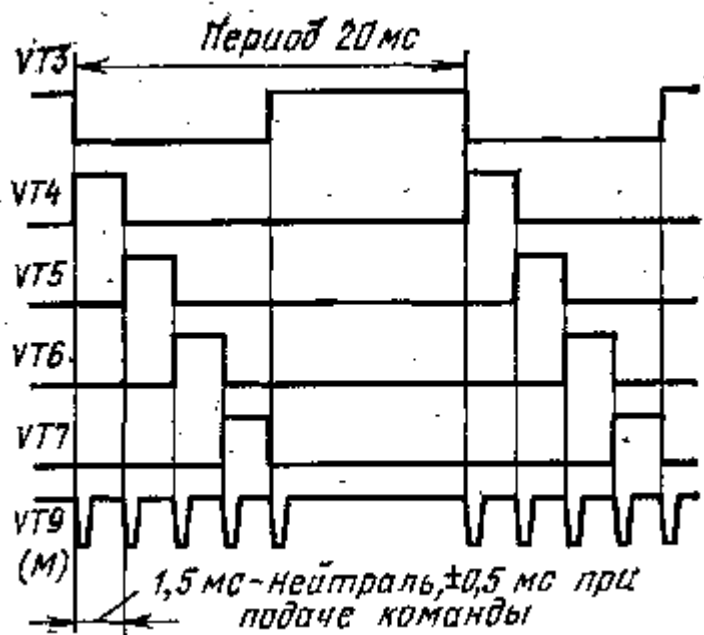


Рис. 41. Эпюры напряжения на коллекторах транзисторов шифратора

Модулирующий транзистор передатчика работает как ключ, который в ритме модуляции подключает напряжение питания к выходной ступени. Так как узкие импульсы на сборной линии (рис. 42) из-за разброса номиналов элементов дифференцирующих цепей имеют разную длительность, то модулятор формирует модулирующий сигнал в виде импульсов с определенными параметрами. Для этой цели предназначен одновибратор на транзисторах VT8, VT9 (рис. 40), постоянную времени которого выбирают соответственно длительности импульса. Транзистор VT9 одновременно служит модулятором.



Рис. 42. Импульсы на сборной линии, модулирующий и модулированный сигналы

Для налаживания шифратора необходим осциллограф с калибровкой временной развертки. К шифратору подключают батарею с напряжением 12 В. По осциллографу проверяют эпюры коллекторного напряжения (рис. 41).



Рис. 43. Эпюра напряжения на выходе модулятора

Подстроечным резистором R2 устанавливают необходимую длительность периода мультивибратора (20 мс). Длительность каждого канального импульса при нейтральном положении рычага командодатчика должна быть

1,5 мс. При переводе рычага командодатчика в крайние положения длительность канального импульса изменяется соответственно на +0,5 или — 0,5 мс. Таким образом, пределы изменения длительности импульса 1 — 2 мс. Подстроечными резисторами R8, R13, R18, R23 устанавливают необходимую длительность импульса в каждом канале при нейтральном положении рычага. G рычагами в ком. аи до датчике передающего устройства механически связаны движки переменных резисторов R6, R11, R16 и R21.

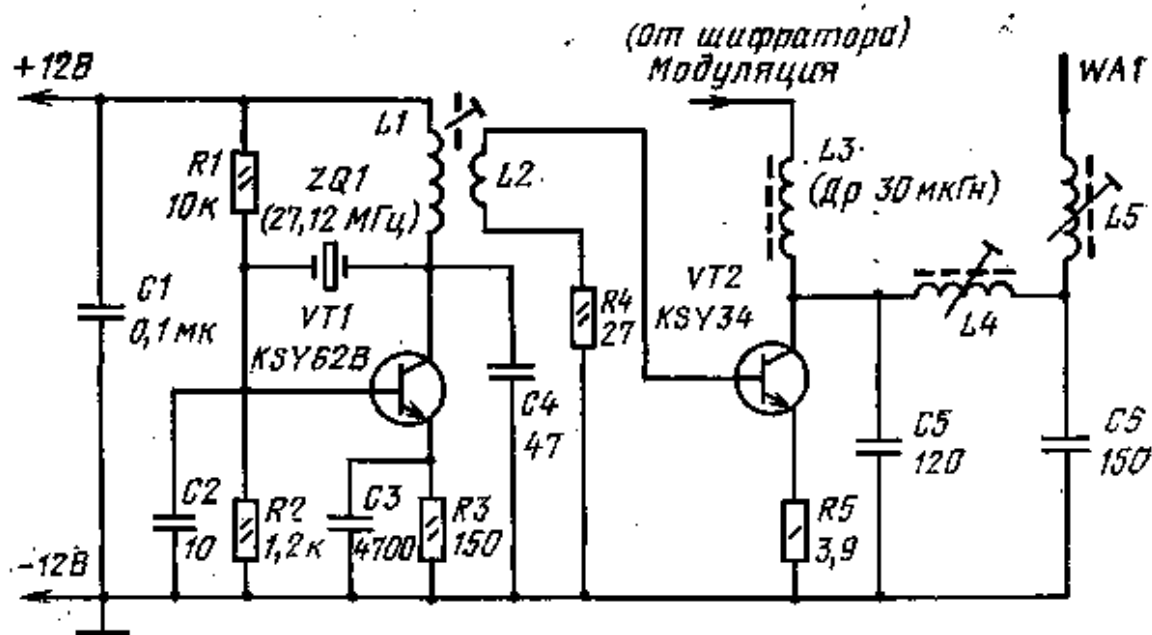


Рис. 44. Схема передатчика

Далее контролируют по осциллографу напряжение на сборной линии. Коллектор транзистора VT9 через резистор сопротивлением 100 Ом временно соединяют с общим проводом (с минусовым выводом источника питания). Эюра напряжения должна соответствовать рис. 43. Конденсатор C13 предназначен для придания импульсам модулирующего сигнала формы трапеции. Такая форма импульса снижает уровень гармоник в высокочастотном сигнале, сужает полосу излучения и повышает выходную мощность передатчика. Если длительность импульса отличается от 200 мкс, то ее изменяют подборкой конденсатора C12. Замыкающий резистор сопротивлением 100 Ом снимают — шифратор можно подключать к передатчику.

Задающий генератор передатчика (рис. 44) выполнен по схеме с кварцевой стабилизацией частоты. Связь между ступенями индуктивная. К коллектору транзистора выходного каскада подключен П-фильтр C5, L4, C6., который эффективно подавляет гармонические составляющие. Катушка L5 — согласующая. Рекомендуемая длина антенны — 1400 мм. В передатчике могут быть применены следующие отечественные транзисторы: VT1 — серий КТ315 — КТ316; КТ306А — КТ306В, КТ603; VT2 — серий КТ603, КТ904А, КТ606А.

Катушки имеют следующие характеристики: L1 — 14 витков провода ПЭВ-2 0,8 на каркасе диаметром 8 мм с ферритовым подстроечником длиной 10 мм; L2 — 5 — 6 витков монтажного провода диаметром 0,8 мм в хлорвиниловой или фторопластовой изоляции, L2 наматывают поверх L1; L4 — 7 витков провода ПЭВ-2 0,8 на таком же каркасе, как и L1; L5 — 19 — 25 витков ПЭВ-2 0,3 на том же каркасе (число витков подбирается в зависимости от длины примененной антенны).

Кварцевый резонатор применяют на частоту  $27,12 \text{ МГц} \pm 0,05\%$ . Рекомендуется испытывать передатчик с полностью развернутой антенной. При эксплуатации передатчика без антенны опасна тепловая перегрузка оконечного транзистора. «Удлинительную» катушку L5 антенны, если она применена, настраивают по индикатору напряженности поля. Корпус передатчика соединяют с общим проводом в одной точке.

На рис. 45 показан чертеж печатной платы передатчика. Плата показана со стороны деталей. Для питания передатчика применяют батарею из десяти никель-кадмиевых аккумуляторов ЦНК-0,45 или ЦНК-0,9У2. Запасным источником питания могут служить три батареи 3336, соединенные последовательно.

Окончательно настраивают передатчик после установки его в корпус. Одновременно подстраивают «удлинительную» катушку антенны, при этом передатчик должен быть в руках. Мощность передатчика приблизительно равна 500 мВт. Рекомендуется оконечный транзистор передатчика установить на теплоотвод.

Бортовая часть аппаратуры содержит приемник, дешифратор, четыре одинаковых сервоусилителя и рулевые машинки. Приемник представляет собой супергетеродин, настроенный на фиксированную частоту. Для обеспечения бесподстроечной связи гетеродин приемника собирают по схеме генератора с кварцевой стабилизацией частоты. Схема приемника изображена на рис. 46. На входе приемника применен полосовой фильтр, отделяющий антенну от входного транзистора VT1. Это увеличивает избирательность и уменьшает обратное излучение гетеродина в антенну, позволяет без перестройки входных контуров применить любой



высокочастотный канал в частотных пределах, выделенных для радиуправления моделями, путем простой замены кварцевого резонатора. При этом разница по частоте между соседними каналами может быть равна 0,01 МГц.

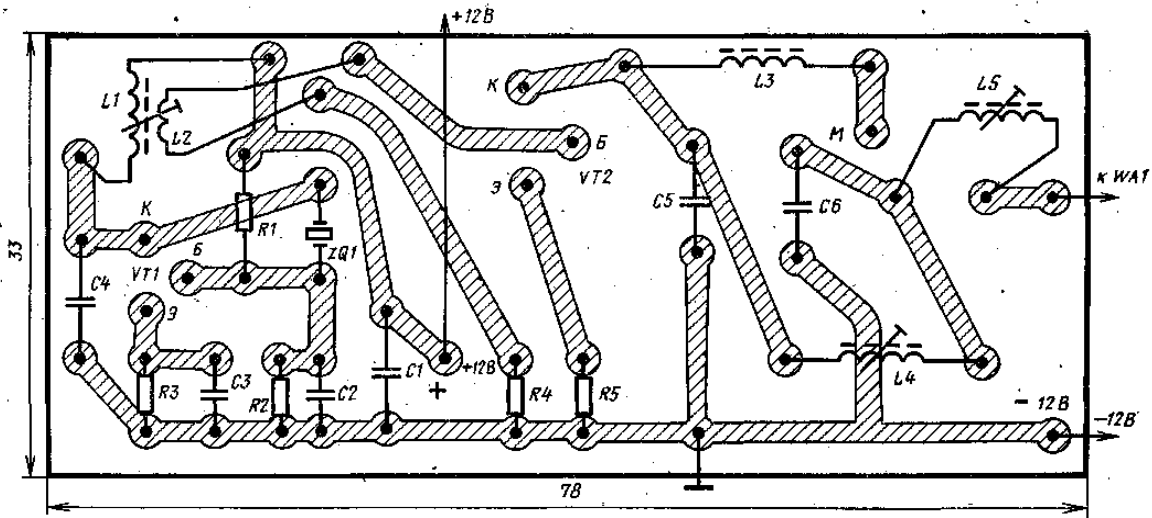


Рис. 45. Монтажная плата передатчика

Гетеродин работает на частоте, которая ниже частоты принимаемого сигнала на 465 кГц. Диод VD3 служит детектором сигнала, а VD2 — детектором сигнала АРУ. Напряжение сигнала для АРУ снимается с первичной обмотки трансформатора промежуточной частоты [Трансформаторами промежуточной частоты В. Валента называют фильтры промежуточной частоты, представляющие собой одиночные контуры с катушкой связи.] и выпрямляется кремниевым диодом, который одновременно определяет рабочую точку смесителя и транзисторов усилителя промежуточной частоты. Четкая работа системы АРУ важна, главным образом, при небольших расстояниях приемника от передатчика.

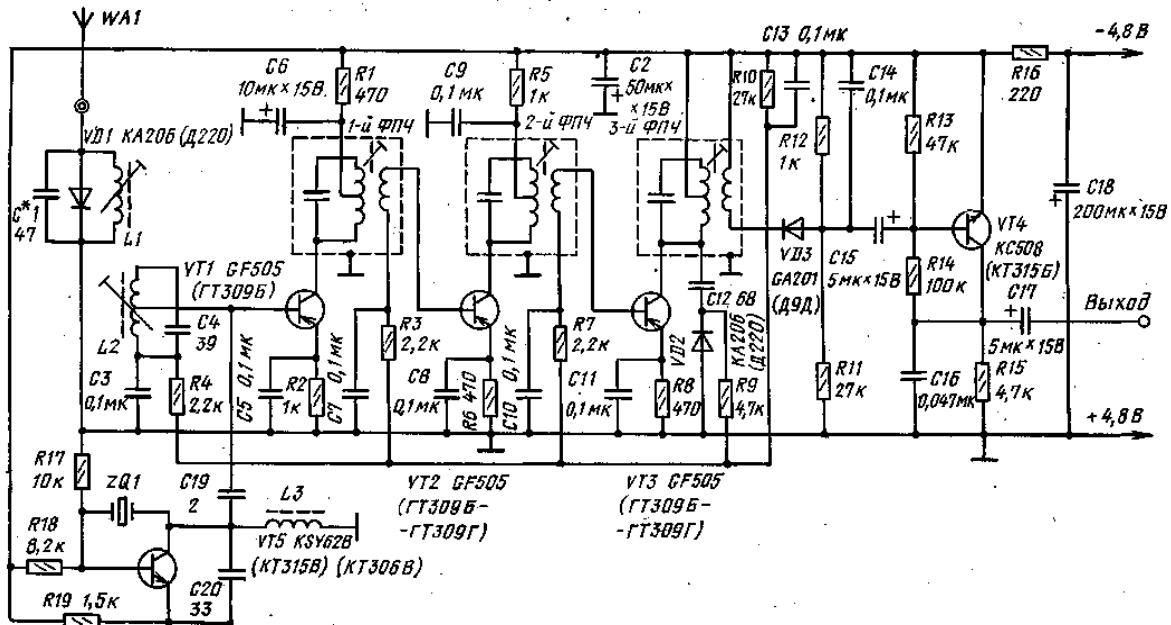


Рис. 46. Схема приемника

Приемник рассчитан на применение готовых деталей, в том числе и трансформаторов промежуточной частоты. Промежуточная частота может быть в пределах от 455 до 468 кГц. Показателем качества трансформатора высокой частоты является добротность. Она должна быть равна 120 — 140. Ширина полосы принимаемого сигнала 8 — 10 кГц. Монтировать приемник следует на одной плате. Монтаж может быть любым. Каркасы катушек L1 и L2 имеют диаметр 5 мм. Подстраивают катушку ферритовыми сердечниками, расстояние между осями катушек равно 9 мм (необходимо строго выдерживать это расстояние), катушки намотаны проводом ПЭВ-2 0,3; L1 содержит 10 витков, а L2 — 13 витков с отводом от третьего витка, считая от заземленного через конденсатор СЭ конца. Высокочастотный дроссель L3 наматывается на изоляционном каркасе диаметром 3 мм и длиной 11 мм проводом ПЭВ-2 0,06 виток к витку до заполнения. Дроссель можно намотать и на резисторе МЛТ-0,5 сопротивлением не менее 100 кОм.

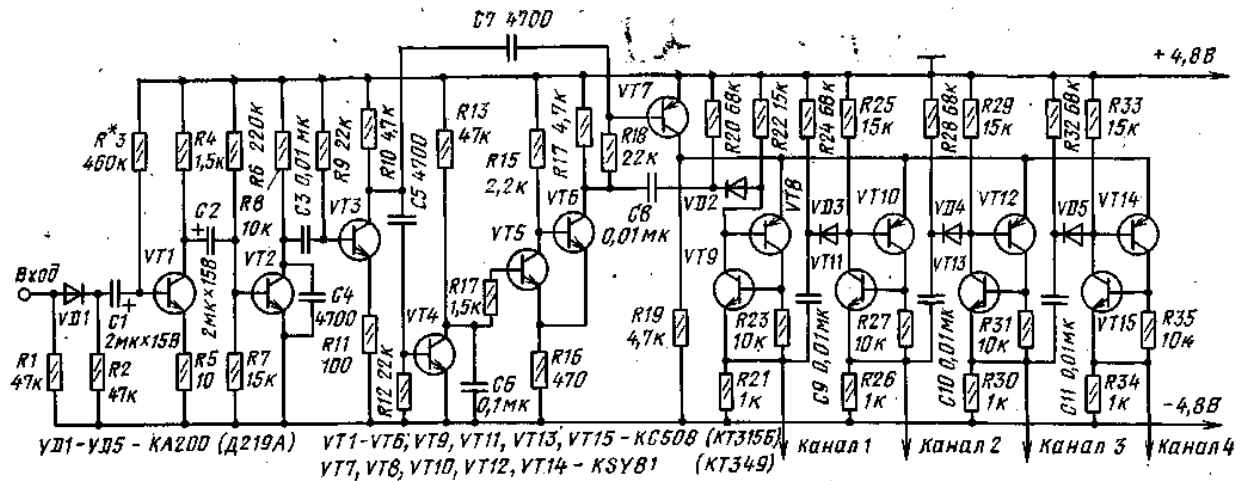


Рис. 47. Схема четырехканального дешифратора

Налаживание приемника заключается в настройке входного полосового фильтра и трансформаторов промежуточной частоты. Автор рекомендует настраивать приемник по сигналам передатчика с укороченной антенной. Если настраивать приемник от генератора стандартных сигналов, необходимо очень точно знать частоту передатчика и настроить на нее генератор. Перед настройкой к приемнику подключают антенну длиной 1 м, а к выходу — высокоомные телефоны.

Сначала настраивают входной фильтр L1C1 и по мере увеличения чувствительности передатчик удаляют на такое расстояние, чтобы сигнал в телефоне был слышен слабо, и снова добиваются максимума при настройке (в том числе и уточнением режима транзистора VT4). Затем подстраивают трансформаторы промежуточной частоты.

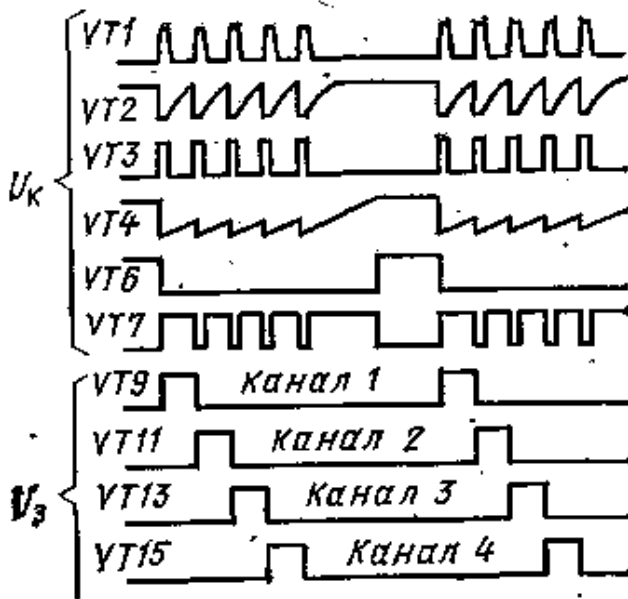


Рис. 48. Эпюры напряжений в дешифраторе

Схема дешифратора приемника представлена на рис. 47. Диод VD1 предназначен для того, чтобы не пропустить сигнал помехи с амплитудой меньше прямого падения напряжения на нем, т. е. около 0,6 В. Амплитуда полезных сигналов, поступающих с выхода приемника, равна приблизительно 1,1 В.

Полезный сигнал поступает на базу транзистора VT1, работающего инвертором. Транзисторы VT2 и VT3 — усилители-формирователи импульсов. Транзистор VT4 в отсутствие сигнала закрыт, и конденсатор C6 заряжен до полного напряжения питания. Первый же импульс откроет транзистор VT4 и разрядит этот конденсатор. На транзисторах VT5 и VT6 собран триггер Шмитта, который периодически открывает транзистор VT7, а он в свою очередь в эти моменты пропускает тактовые импульсы напряжения на сборную линию. Транзисторы VT8, VT10, VT12, VT14 входят в состав триггеров сдвигового регистра. Через диод VD2 запускается первый триггер регистра.

Эпюры коллекторного напряжения на транзисторах дешифратора и форма канальных импульсов на эмиттерах транзисторов VT9, VT11-, VT13, VT15 показаны на рис. 48. Сдвиговый регистр на транзисторах

различной структуры очень прост и вполне конкурентоспособен по сравнению с регистром на транзисторах, применяемых рядом зарубежных фирм. В дешифраторе следует использовать транзисторы с коэффициентом  $h_{21э} > 50$ .

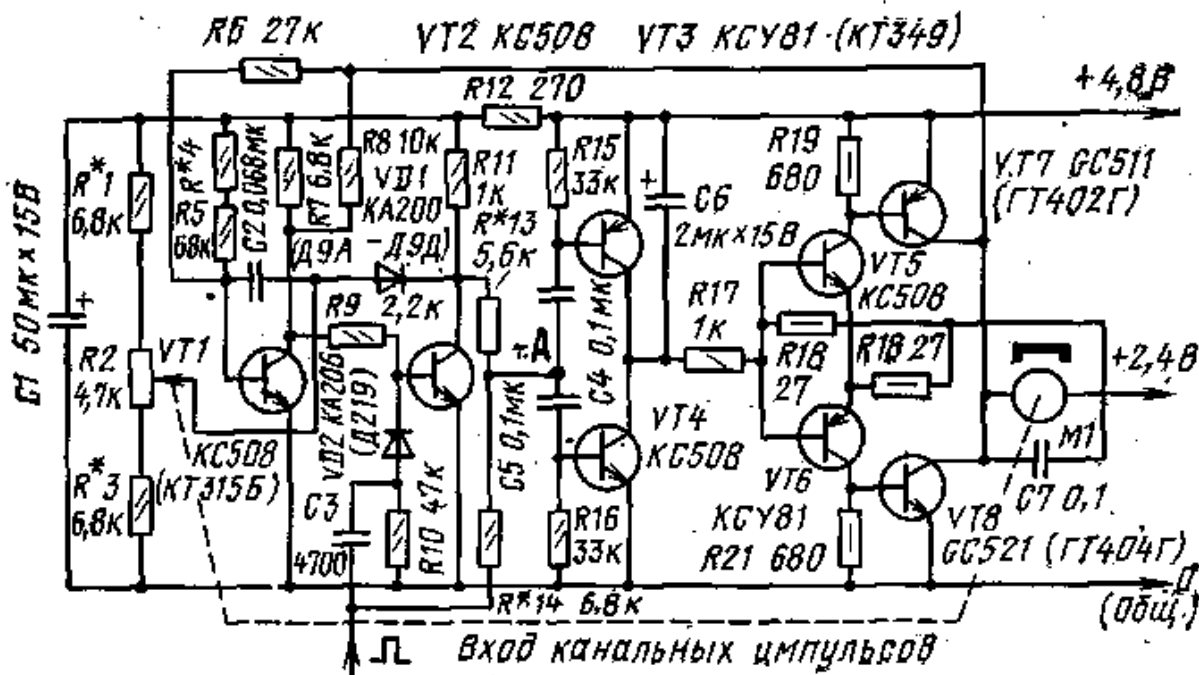


Рис. 49. Схема электронного блока рулевой машинки

Налаживание дешифратора несложно. Сначала подбирают резистор R3 так, чтобы на коллекторе транзистора VT1 было напряжение 1,5 — 2,5 В. Сопротивление резистора изменяют в пределах 430 — 820 кОм.

Завершающим звеном бортовой аппаратуры является электронный блок рулевой машинки. В системе использованы рулевые машинки «Вариопроп». Принципиальная схема электронного блока рулевой машинки представлена на рис. 49. Назначение блока — совместно с двигателем рулевой машинки преобразовать длительность поступающих с дешифратора импульсов в механическое отклонение рычага рулевой машинки, пропорциональное длительности канального импульса, которая в свою очередь, пропорциональна отклонению рычага командодатчика. Одновибратор, собранный на транзисторах VT1 и VT2 и запускаемый фронтом входного канального положительного импульса, генерирует импульс отрицательной полярности. Оба импульса — положительный канальный и отрицательный одновибратора поступают через резисторы R13 и R14 в точку А для сравнения. При запуске одновибратора и нейтральном положении рычага рулевой машинки с коллектора транзистора VT2 в точку А поступает отрицательный импульс длительностью 1,5 мс. Длительность импульса одновибратора регулируют переменным резистором R2, движок которого механически связан с выходным валом рулевой машинки. В результате сравнения образуются короткие импульсы, полярность которых зависит от направления движения рычага командодатчика из нейтрального положения. При одинаковой длительности сравниваемых импульсов сигнал на вход усилителя постоянного тока, питающего рулевую машинку, не поступает, поэтому вал электродвигателя рулевой машинки не вращается.

Рассмотрим случай, когда импульсы одновибратора уже канальных. После вычитания получим положительные импульсы, длительность которых тем меньше, чем меньше разница в длительности сравниваемых импульсов. Положительные импульсы открывают ключ на транзисторе VT4 и заряжают интегрирующий конденсатор C6 отрицательным по отношению к средней точке источника питания напряжением, которое поступает на усилитель постоянного тока на транзисторах VT6, VT8. Электродвигатель M1 включается и через понижающий редуктор перемещает вал руля и связанный с ним движок переменного резистора R2 в соответствии со схемой. Длительность положительного импульса одновибратора увеличивается и, когда она сравнивается с длительностью канального импульса, напряжение в точке А станет равным нулю. Транзистор VT4 закроется, конденсатор C6 разрядится до половины напряжения питания, транзисторы VT6 и VT8 закроются, двигатель остановится.

Однако система, содержащая интегрирующие звенья (конденсатор C6 и электродвигатель рулевой машинки), обладает инерционностью. Поэтому двигатель необходимо выключить несколько ранее того момента, когда станут одинаковыми сравниваемые импульсы. Для этого вводят отрицательную обратную связь, поскольку иначе начнутся механические колебания выходного вала рулевой машинки. Напряжение отрицательной обратной связи с выхода усилителя рулевой машинки подано на вход одновибратора через резисторы R6 и R8.

В случае, когда импульс одновибратора имеет большую длительность, чем каналный, в точке А образуются отрицательные импульсы. Они открывают ключ на транзисторе VT3, конденсатор С6 заряжается положительно по отношению к вредней точке источника питания, открываются транзисторы VT5 и VT7, и две-т-атель вращается в обратную сторону, перемещая движок переменного резистора R2 вверх по схеме. Как только входной каналный импульс по длительности сравняется с импульсом одновибратора, вращение вала двигателя руле-ой машинки прекратится.

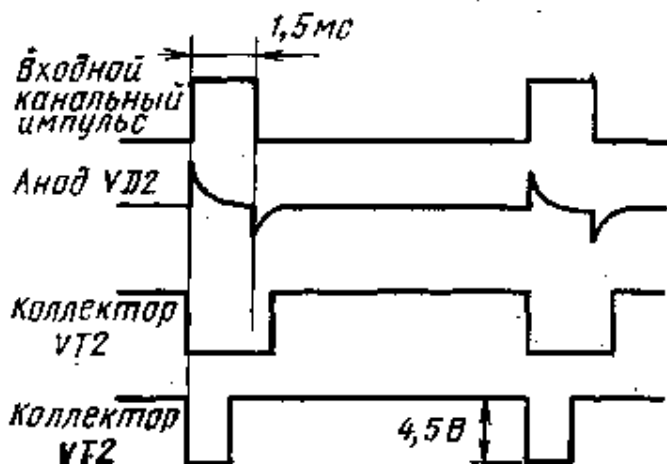


Рис. 50. Эпюры напряжений в одновибраторе

Резистор R12 и конденсатор С1 образуют фильтр в цепи питания одновибратора, необходимый для развязывания цепей питания одновибраторов, так «как при работе рулевых машинок перепады тока, а значит, и колебания напряжения питания — значительны. Это приводит к изменению параметров импульсов одновибратора и нарушает пропорциональность отклонения рычага передатчика и рулевой машинки.

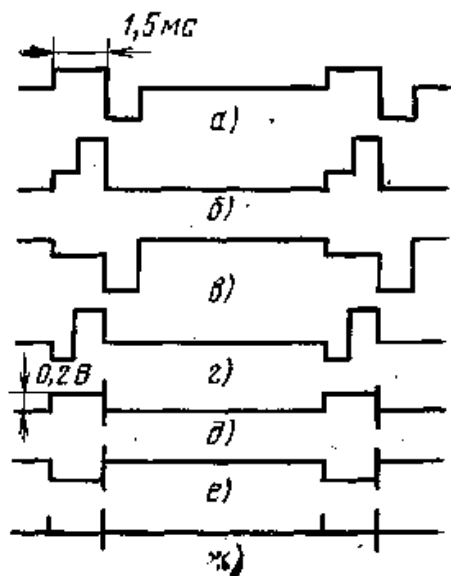


Рис. 51. Эпюры напряжений в точке А

К преимуществам описанного электронного блока по сравнению с аналоговыми следует отнести то, что оконечный усилитель работает в ключевом режиме: открыт или закрыт. Время, в течение которого усилитель находится в закрытом или открытом состоянии, зависит от амплитуды проинтегрированного пилообразного напряжения. Как только разница в длительностях импульсов канала и одновибратора начнет приближаться к нулю, амплитуда пилообразного напряжения станет минимальной. При этом на электродвигатель поступают импульсы малой длительности, и он, замедляясь, доводит руль до нужного положения.

Рассмотренный принцип широко применяют при создании аппаратуры пропорционального управления. Схемные решения отличаются большим разнообразием, например, способом запуска одновибратора, включением переменного резистора в механической обратной связи, изменением полярности или усилением входного каналного импульса, заменой усилителя на транзисторах VT5, VT6 триггером Шмитта и т. д.

Электронный блок рулевой машинки монтируют на отдельной плате. На ней размещают все элементы, кроме переменного резистора R2 и электродвигателя M1. Рассмотрим процесс налаживания электронного блока рулевых машинок. Подборкой резисторов R1 и R3 устанавливают максимальный поворот рычага рулевой

машинки. При этом удобно пользоваться управляющими сигналами передатчика. Вход электронного блока подключают к дешифратору. Гибкими проводниками подключают к плате выводы от переменного резистора R2 и электродвигателя. Включают питание, но средний вывод батарей пока оставляют сво-6.ОДНЫМ. Рычаг рулевой машинки устанавливают в нейтральное положение. Временно вместо резистора R4 подключают переменный резистор сопротивлением 47 кОм. На экране осциллографа наблюдают эпюры напряжения в отдельных точках. Они должны соответствовать рис. 50. Затем подключают осциллограф ж точке А и наблюдают форму напряжения, изображенную на рис. 51,а — г. С дешифратора должны поступать импульсы, соответствующие нейтральному положению рычага командодатчика. Длительность этих импульсов — 1,5 мс.

Переменным резистором, включенным вместо R4, устанавливают такое на-яржение смещения на базе транзистора VT1, чтобы в точке А форма сигнала соответствовала рис. 51,5 или е. Подбирая резисторы R13 или R14, нужно до-биться того, чтобы выброс напряжения наблюдался только в начале и конце канального импульса (рис. 51,яс). Измерив сопротивление переменного резистора, соответствующее этому случаю, впаявают на плату постоянный резистор R4 с . таким же сопротивлением. Теперь подключают средний, вывод батареи. Двигатель рулевой машинки должен при этом остаться в нейтральном положении, а яри изменении команды, т. е. при перемещении рычага командоотдатчика передающего устройства, он должен равномерно вращаться. Транзисторы структуры *p-n-p* в усилителе постоянного тока следует применять с коэффициентом переда-чи тока базы  $\beta_{21} > 80$ .

## 7. ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ МОДЕЛИ С ХОДОВЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Большинство авто-и судомоделей приводится в движение электродвигателями. Развитие модельной техники пропорционального управления позволило-решить задачу реверса ходового электродвигателя и плавное регулирование частоты вращения его вала в обоих направлениях. Плавное регулирование скорости движения дает возможность проводить модель безошибочно по сложным трассам.

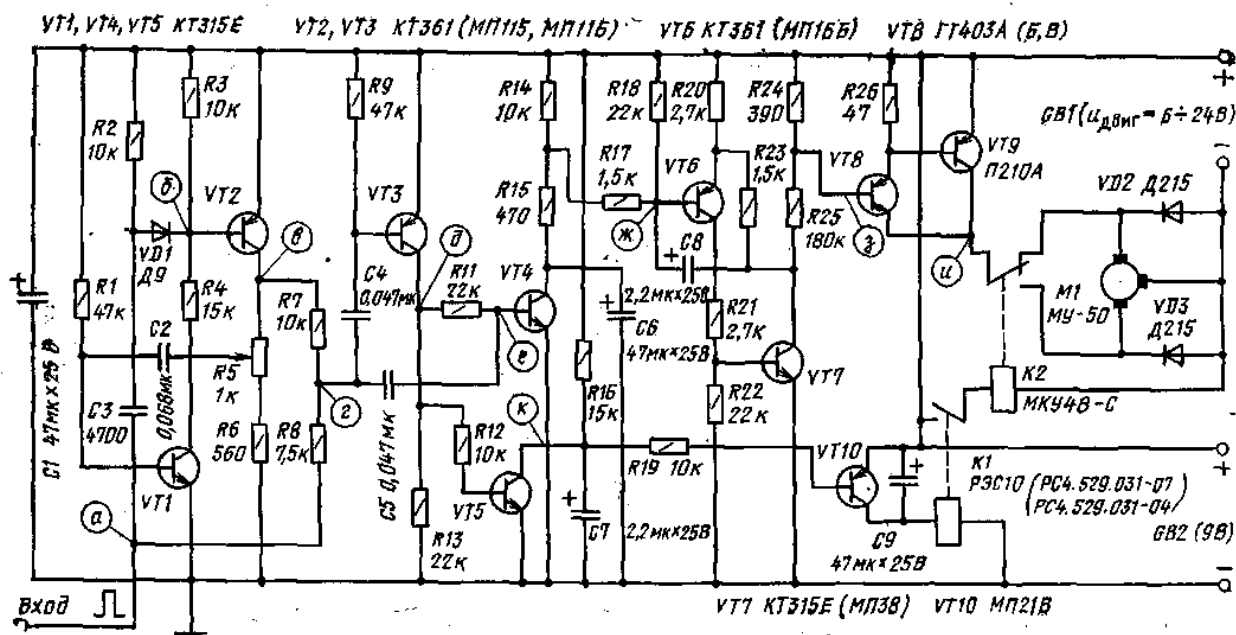


Рис. 52. Схема пропорционального управления частотой вращения вала ходового электродвигателя

Рассмотрим один из вариантов пропорционального управления частотой вращения ходового электродвигателя. Электронный блок этого своеобразного механизма преобразует длительность канальных импульсов в частоту вращения вала ходового электродвигателя и обеспечивает его реверсирование. Для управления таким блоком подходят импульсные системы пропорционального многоканального радиоуправления, у которых длительность канальных импульсов находится в пределах от  $1 \pm 0,5$  до  $2 \pm 0,5$  мс. Амплитуда канальных импульсов должна быть 4 — 9 В.

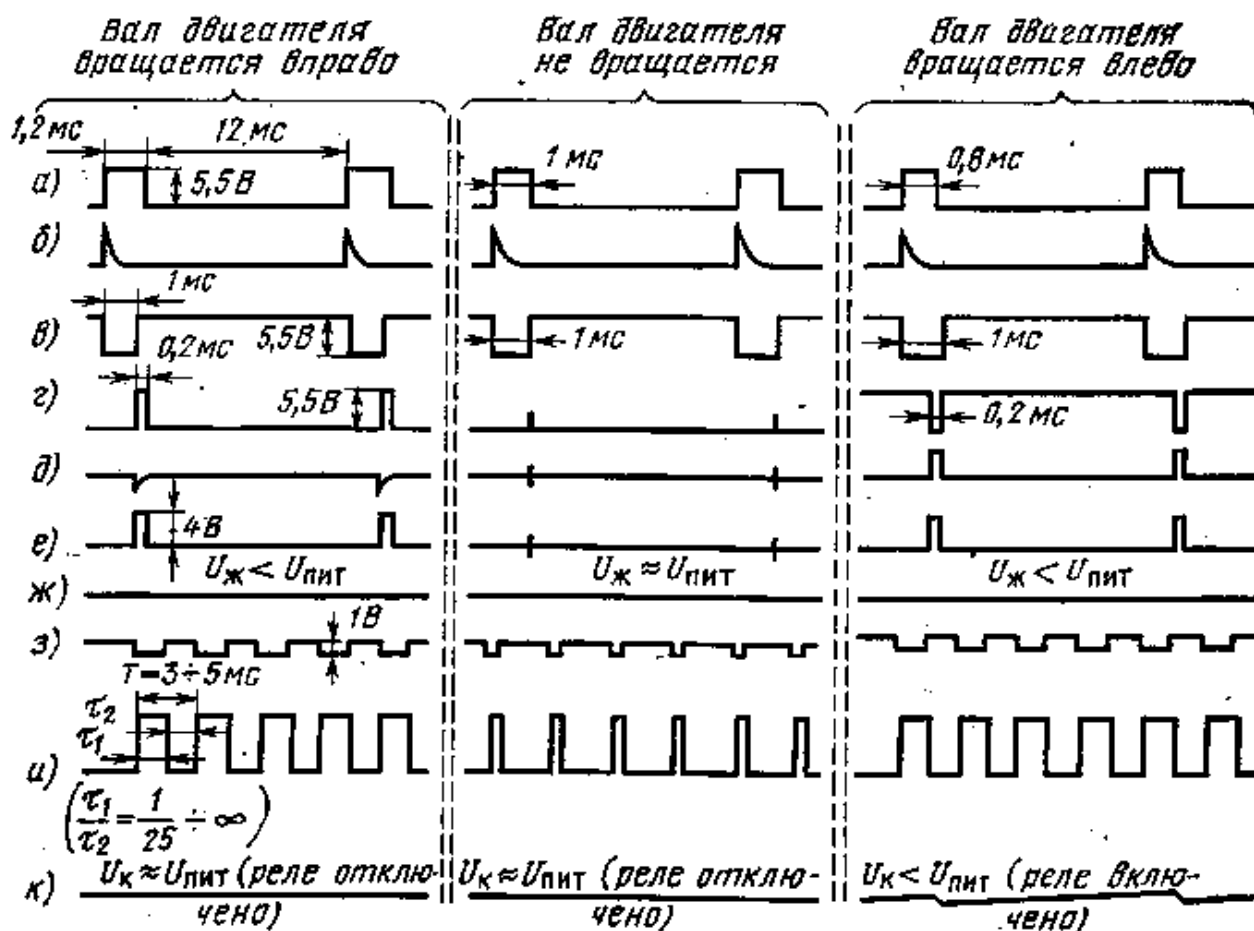


Рис. 53. Эпюры напряжений

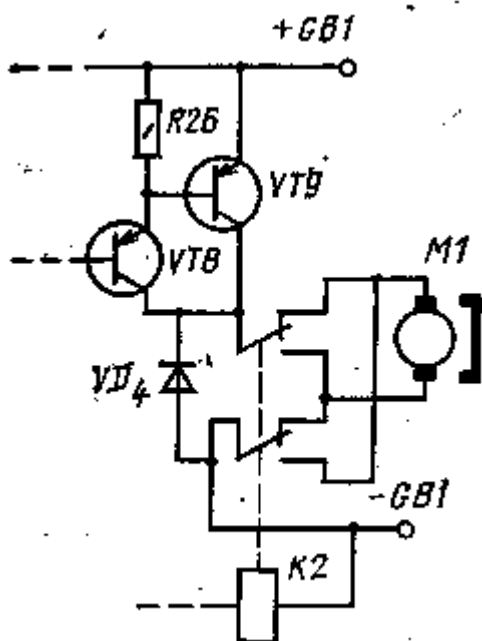
Схема блока управления частотой вращения вала электродвигателя изображена на рис. 52. В этом блоке могут работать электродвигатели с потреблением тока от 0,2 до 10 — 12 А. Блок надежен в работе, его особенность — отсутствие обратной связи.

С дешифратора на вход блока поступают каналные импульсы положительной полярности. Импульсы после дифференцирования конденсатором С3 фронтом запускают одновибратор на транзисторах VT1, VT2. На коллекторе транзистора VT2 (точка в) формируются импульсы отрицательной полярности, калиброванные по длительности. Эпюры напряжения в разных точках блока показаны на рис. 53. Они сняты для случая питания блока напряжением 6 В, а электродвигателя — 12 В. Длительность каналного импульса равна 1 мс и изменяется в процессе управления на  $\pm 0,2$  мс.

Входной каналный импульс и импульс одновибратора в точке г складываются. Если результирующий импульс положителен, то пройдя через конденсатор С5, он откроет транзистор VT4 интегрирующей ступени и изменит напряжение на базе транзистора VT6. На транзисторах VT6 и VT7 собран мультивибратор. Изменение режима транзистора VT6 вызывает изменение частоты и длительности генерируемых импульсов. Если же результирующий импульс в точке г отрицателен, то он инвертируется каскадом на транзисторе VT3 и также открывает транзистор VT4.

Импульсы прямоугольной формы с мультивибратора поступают на усилитель мощности на транзисторах VT8, VT9. В коллекторную цепь транзистора VT9 включен ходовой электродвигатель, частота вращения вала которого зависит от частоты и скважности импульсов. Выходной транзистор усилителя мощности работает в ключевом режиме, потери на нем незначительны. При равенстве амплитуде каналного импульса и импульса одновибратора двигатель остановится. Как показывает эпюра напряжения в точке и, двигатель полностью не обесточивается, но мощность на нем не превышает долей ватта.

Если же суммарный импульс в точке г станет отрицательным, изменится направление вращения вала электродвигателя (произойдет реверсирование). Переключают ходовой электродвигатель контакты реле K2, которое срабатывает после срабатывания промежуточного реле K1, являющегося нагрузкой транзистора VT10. Интегрирующий конденсатор С7 поддерживает постоянство напряжения на базе транзистора VT10 при появлении положительных импульсов на базе транзистора VT5. Конденсатор С9 сглаживает напряжение на транзисторе VT10 «препятствует дребезжанию контактов реле KL».



**Рис. 54. Схема включения ходового электродвигателя « постоянным магнитом**

На рис. 54 показан вариант схемы включения ходового электродвигателя с возбуждением от постоянного магнита.

Налаживают блок, пользуясь осциллографом. Процесс начинают с узла сравнения. Необходимо следить, чтобы отношение длительности паузы к длительности выходных импульсов мультивибратора менялось при изменении ширины входного канального импульса. Выходной транзистор должен полностью открываться. Между эмиттером и коллектором транзистора VT9 подключают вольтметр. Его показание должно быть близко к нулю при максимальном напряжении на двигателе. Если транзистор VT9 не открывается полностью, его следует заменить на другой, с большим значением коэффициента  $\beta_{213}$ , или же заменить транзисторы VT6 — VT8 другими, с большим значением этого коэффициента.

Затем добиваются четкой работы реле K1. Если оно не срабатывает при минимальном напряжении на двигателе, то следует подобрать транзисторы VT5 в VT10 с большим значением  $h_{13}$ , а также уточнить номиналы резисторов в их базовых цепях. При токе нагрузки электродвигателя до 4 А можно выбрать R25 сопротивлением 300 Ом; R26 — 390 Ом; VT8 — из серии МП16; VT9 — из серии П214-П217, П4. Надежность работы блока при управлении мощными электродвигателями может быть повышена применением вместо одного транзистора VT9 двух, включенных параллельно и установленных на теплоотводы.

## 8. «РУМПРОП-8»

«Румпроп-8» — радиоаппаратура летающей модели, обеспечивающая пропорциональное управление четырьмя миниатюрными рулевыми машинками, каждая из которых управляется двумя плавными командами («вверх — вниз», «влево — вправо» и т. д.). Число каналов пропорционального управления — четыре. Разработана эта аппаратура в спортивно-техническом клубе Московской области под руководством одного из авторов книги М. Е. Васильченко. «Румпроп-8» изготавливали многие спортсмены-авиамоделисты и успешно выступали с ней на соревнованиях, управляя пилотажными моделями. Модель с такой аппаратурой может выполнять все фигуры высшего пилотажа. Радиус действия аппаратуры на земле 800 — 1000 м. Рабочая частота передатчика:  $27,12 \pm 0,6$  МГц. Мощность передатчика: 0,8 — 1 Вт.

В аппаратуре «Румпроп-8» использованы принципы электронно-вычислительной, техники и импульсной многоканальной радиосвязи. Разделение каналов временное, что позволяет передавать команды по всем каналам одновременно и независимо одна от другой. В каждом канале пропорционального управления есть следящая система. Она преобразует электрическое напряжение (пропорциональное управляющему сигналу) в механическое отклонение рулей. Электрическая следящая система состоит из дешифратора-усилителя, исполнительного электродвигателя и резистора обратной связи. Система передачи канальных импульсов и синхронизация каналов такие же, как и в аппаратуре «Вариопроп» (см. рис. 7).

Для синхронизации применяется импульс, длительность которого значительно превосходит длительность разделительных импульсов. Как уже упоминалось ранее, такая синхронизация имеет повышенную устойчивость к импульсным помехам, проникшим в тракт дешифрации. Передающее устройство аппаратуры «Румпроп-8» состоит из шифратора, формирующего серии канальных импульсов, изменение длительности которых пропорционально отклонению рычагов управления высокочастотного блока-передатчика, и

собственно передатчика. На рис. 55 показаны структура модулирующего сигнала и вид сигнала, излучаемого передатчиком.

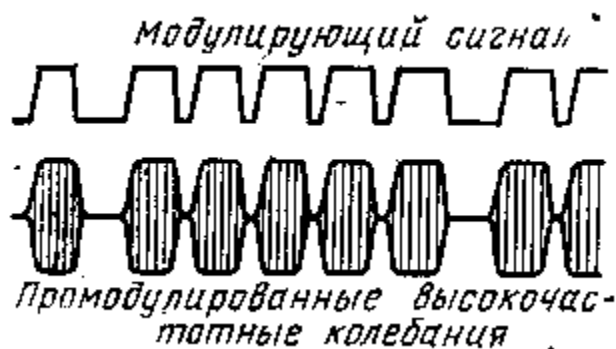


Рис. 55. Эпюры сигналов аппаратуры с Румпроп-8»

Бортовая аппаратура принимает, усиливает и выделяет серии канальных импульсов, поступающих на формирователь, который, в свою очередь, разделяет импульсные посылки на сигналы запуска и сброса, необходимые для работы электронного блока рулевой машинки. В электронном блоке происходит выделение своего канального импульса, который сравнивается с образцовым импульсом ждущего мультивибратора. При наличии разностного сигнала между ними вал исполнительного механизма поворачивается на угол, пропорциональный длительности разностного сигнала. Для установки в исходное (нулевое) состояние-счетчика каналов используется синхронизирующий импульс. Перейдем к рассмотрению схем и конструктивных особенностей аппаратуры.

Схема передающего устройства изображена на рис. 56. На этой схеме приведены схемы шифратора и передатчика.

На транзисторах 2VT3, 2VT4 выполнен управляемый мультивибратор, который генерирует импульсы запуска четырехканального шифратора. На транзисторах 2VT5 — 2VT8 выполнен многофазный мультивибратор, транзисторы которого в исходном положении открыты. Такой режим их работы устанавливается выбором напряжения смещения. Прямоугольный импульс положительной полярности снимается с части коллекторной нагрузки транзистора 2VT4 и своим спадом меняет полярность напряжения на обкладках конденсатора 2C7, в результате чего транзистор 2VT5 закрывается. Время нахождения транзистора 2VT5-в закрытом состоянии определяется емкостью конденсатора 2C7 и положением движка переменного резистора 2R1.1. По окончании перезарядки конденсатора-2C7 транзистор 2VT5 открывается и на его коллекторной нагрузке формируется прямоугольный импульс, поступающий на три цепи: на вход следующего звена мультивибратора, которое работает аналогично предыдущему, через диод 2VD3 на сборную линию для управления формирователем синхроимпульса и на дифференцирующую цепь 2C10, 2R15, с которой импульсы отрицательной полярности поступают на формирователь разделительных импульсов на транзисторе 2VT9.

В исходном состоянии транзистор 2VT9 открыт. Отрицательные импульсы на короткое время закрывают транзистор 2VT9, и на его коллекторной нагрузке выделяются разделительные импульсы, длительность которых можно менять подборкой резистора 2R32. Положительные импульсы, сформированные звеньями многофазного мультивибратора, через диоды 2VD3, 2VD5, 2VD7, 2VD9 поступают на сборную линию и закрывают диод 2VD2. Транзистор 2VT2, на котором собран формирователь синхроимпульса, открывается и устанавливает мультивибратор в устойчивое состояние, при котором транзистор 2VT3 закрыт, а транзистор 2VT4 открыт. В таком состоянии мультивибратор находится до срабатывания четвертого звена многофазного мультивибратора. После этого диод 2VD2 открывается и закрывает транзистор 2VT2. Мультивибратор снова формирует положительный импульс, который спадом запускает шифратор. Этот импульс через цепь 2R10, 2VD12 поступает на базу транзистора 2VT10. Сюда же с коллектора транзистора 2VT9 через диод 2VD11 приходят со звеньев мультивибратора импульсы, продифференцированные цепями 2C10, 2R15; 2C12, 2R21; 2C14, 2R26; 2C15, 2R31. Таким образом, на коллекторе транзистора VT10 формируется сигнал, форма которого изображена на рис. 57.

Сигнал, сформированный цепью 2R37, 2C16, передается на вход модулятора передатчика, выполненного на транзисторе 1VT3.

В задающем генераторе передатчика применена кварцевая стабилизация частоты. Кварцевый резонатор работает на третьей механической гармонике. Напряжение высокой частоты через катушку связи 1L2 поступает на вход усилителя мощности, выполненного на транзисторе 1VT2. Усилителем мощности управляет модулятор на транзисторе 1VT3, который работает в ключевом режиме.

В коллекторную цепь транзистора 1VT2 включено согласующее устройство — П-образный фильтр 1C9, 1L6, 1011, предназначенный для обеспечения оптимальной связи усилителя мощности с антенной, а также для фильтрации гармоник несущей частоты. Катушка 1L7 служит для компенсации емкостной составляющей штыревой антенны.



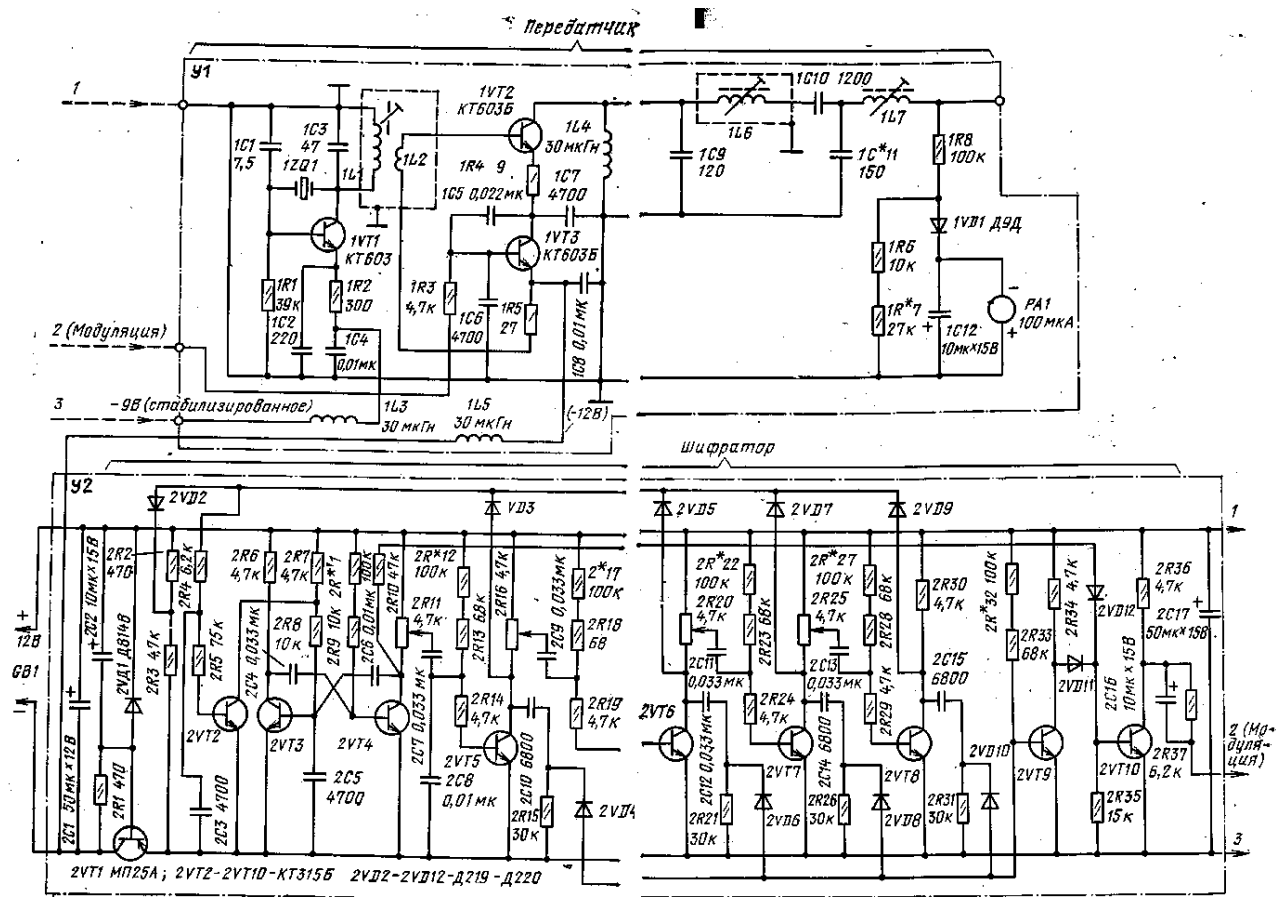


Рис. 56. Схема передающего устройства «Румпроп-8»

Для визуального контроля работы передатчика предусмотрен микроампер-метр 1РА1. Высокочастотные дроссели 1L3, 1L5 и конденсаторы 1C4, 1C8 повышают устойчивость работы передатчика при уменьшении напряжения батарей питания и устраняют проникновение высокой частоты в цепи питания.



Рис. 67. Форма сигнала на коллекторе транзистора VT10 в передающем устройстве

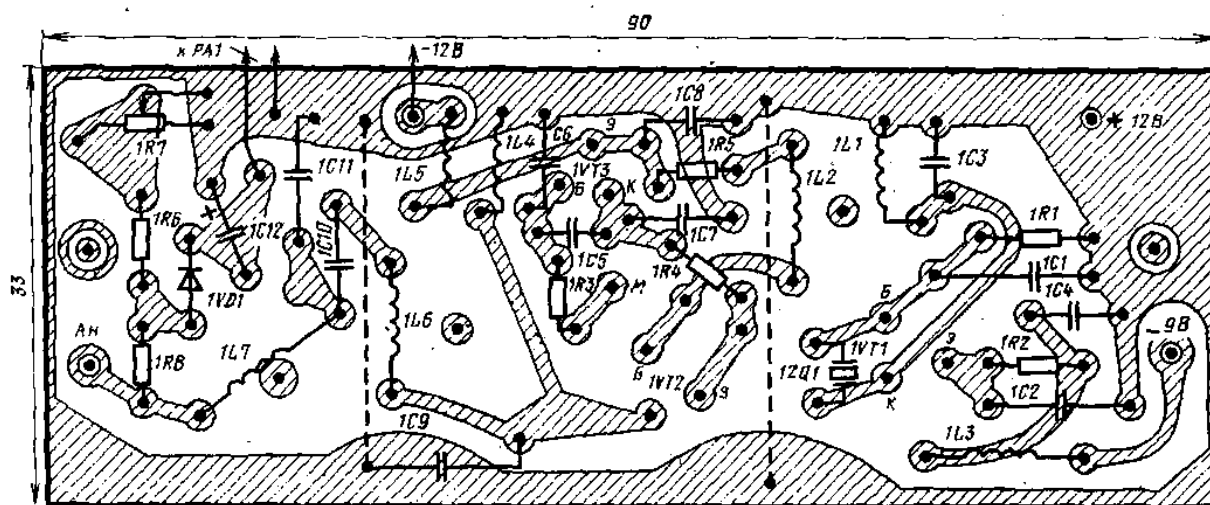
Катушки индуктивности передающего устройства изготавливают самостоятельно. Их наматывают на каркасах диаметром 7,5 — 8 мм с резьбовым отверстием под карбонильный подстроечник. Катушка 1L1 содержит 16 витков провода ПЭВ-2 0,47; 1L2 — 5 витков такого же провода, намотанных поверх катушки 1L1; 1L6 — 9 витков провода ПЭВ-2 1; 1L7 — 16 витков провода ПЭВ-2 0,47. Индуктивность высокочастотных дросселей L3, L4 — 20 — 40 мкГн.

В задающем генераторе транзистор КТ603Б (1VT1) может быть заменен на транзистор серии КТ355 с  $h_{213} > 180$ . В усилителе мощности (1VT2) могут быть использованы транзисторы серий КТ904, КТ606.

Передающее устройство монтируют на двух печатных платах из фольгиро-ванного стеклотекстолита толщиной 1,5 — 2 мм. На одной из плат монтируют шифратор, на другой — передатчик (рис. 58). Переменные резисторы 2R11, 2R16, 2R20, 2R25 устанавливают в механизмах управления (командо-датчиках) и подключают к плате гибкими проводниками с разъемами. Корпус передающего устройства лучше всего, изготовить из листового дюралюминия толщиной 1,5 — 2 мм и оклеить дерматином или декоративной пленкой. Рекомендуемая форма корпуса — пультовая, аналогичная изображенной на рис. 10.

На лицевой панели располагают выключатель питания, рычаги управления, стрелочный индикатор контроля работы передатчика. Рычаг управления, соответствующий первому и второму каналам, размещают справа, а второй — слева. Внутри корпуса, в его нижней части предусматривают отсек питания с батареей из аккумуляторов Д-0,5, ЦНК-0,45, или ЦНК-0,9У2. В крайнем случае источником питания могут служить три батареи 3336, соединенные последовательно. Над отсеком питания укрепляют плату шифратора. В верхней части корпуса, на скосе передней панели устанавливают плату передатчика, заключенную в металлическую экранирующую коробку. Передатчик соединяют с антенным гнездом коротким проводником. Экранирующие элементы подключают к плюсовому выводу источника питания и корпусу передающего устройства. Такая

компоновка, проверенная опытом эксплуатации, обеспечивает свободный доступ к монтажным платам и устраняет влияние блока передатчика на шифратор. Для удобства монтажа и налаживания соединения между платами и механизмами управления выполняют проводниками с разъемами. Соединительные провода должны быть возможно короче, свивать их между собой не рекомендуется.



**Рис. 58. Монтажная плата передатчика**

На рис. 59 показаны эскизы узлов и деталей механизма управления. Изготовлению механизмов управления следует уделить особое внимание, так как неравномерность хода ручки и отсутствие мягкой, но четкой фиксации ее нейтрального положения затруднят управление моделью. Рычаги механически связаны с осями переменных резисторов шифратора, управляющих длительностью канальных импульсов звеньев многофазного мультивибратора. Конструкция механизма управления, как это видно из рис. 59, позволяет перемещать ручку управления сразу в двух плоскостях, подавая, таким образом, команды одновременно по обоим каналам. Для корректировки нейтрального положения ручки управления как на земле перед стартом модели, так и во время полета модели предусмотрены механические триммеры — поворотные рычаги, связанные с корпусом каждого из переменных резисторов механизма. Переменные резисторы — СПО-А-2Вт 3,3 кОм. Антенна передатчика — телескопический штырь от переносного радиовещательного приемника. Длина штыря в выдвинутом состоянии — 1,45 м.

В состав бортовой части аппаратуры «Румпроп-8» входят приемник, усилитель-формирователь, четыре канальных электронных блока, четыре рулевые ма-шинки. Каждый электронный блок со своей рулевой машинкой представляет собой следящий механизм пропорционального управления. Приемную аппаратуру питают от аккумуляторной батареи напряжением 4,8 В.

Приемник для пропорционального радиоуправления моделями в системе «Румпроп-8» изготовлен по супергетеродинной схеме. Возможны два варианта: с применением в усилителе ПЧ контуров от приемника «Сокол» (или самодельных контуров) и с усилителем ПЧ на пьезофильтрах ФПШ-0,15 (ФПШ-0,17).

Первый вариант приемника имеет чувствительность 5 мкВ. Он собран на шести транзисторах. Промежуточная частота — 465 кГц. Принципиальная схема приемника изображена на рис. 60. Входной контур L1C1 настроен на частоту 27,12 МГц. Связь входного контура с антенной — емкостная, а с усилителем ВЧ — индуктивная, через катушку связи L2.

На транзисторе VT1 собран резонансный усилитель ВЧ, который увеличивает общую чувствительность приемника и его избирательность по зеркальному каналу. Через резистор R1 на базу транзистора подано начальное смещение и управляющий сигнал АРУ. Резистор R2 улучшает термостабильность усилителя ВЧ. Нагрузкой усилителя ВЧ служит резонансный контур L3C5, настроенный на частоту 27,12 МГц. Резистор R3 и конденсатор Сб образуют развязывающий фильтр.

Через катушку связи L4 сигнал поступает на смеситель, выполненный на транзисторе VT2. На его эмиттер через конденсатор C12 поступает напряжение гетеродина. Частота гетеродина стабилизирована кварцевым резонатором; она ниже частоты принимаемого сигнала на промежуточную частоту. Контур, состоящий из катушки L11 и конденсатора С9, включенный в коллекторную цепь транзистора VT3, предназначен для обеспечения возбуждения кварцевого резонатора на третьей гармонике. Рабочая частота гетеродина — 26,655 МГц.

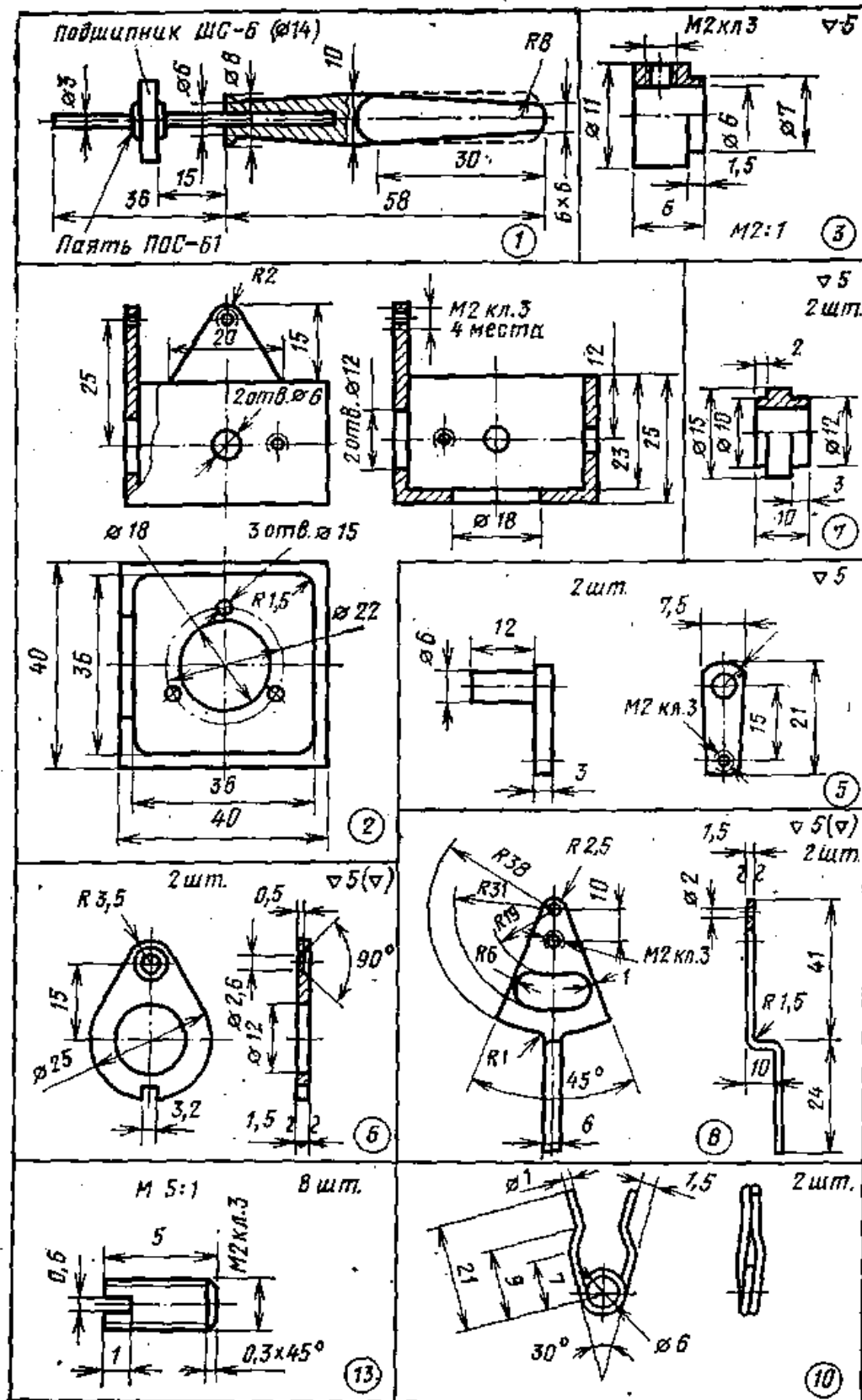
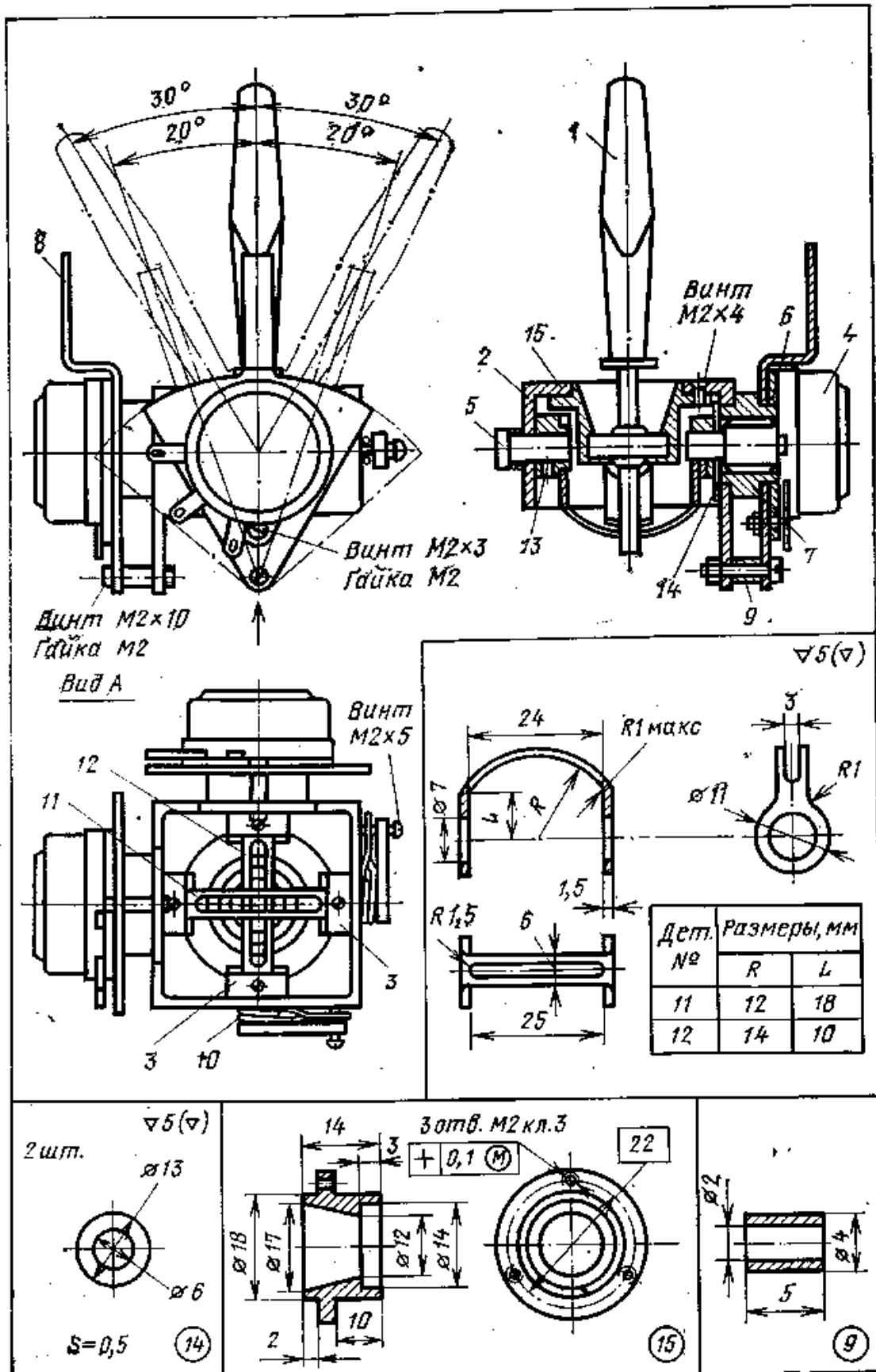


Рис. 59. Устройство механизма управления:

1 — рычаг управления (ось — сталь, подшипник ШС-6 Ø 14); 2 - корпус (дюралюминий Д16Т, латунь ЛС59-1); 3 - втулка крепления коромысла (ЛС59-1); 4 - резистор переменный СП-1. 5 — полуось с рычагом возврата в нейтраль (сталь); 6 — плата крепления резистора (ЛС59-1, Д16Т); 7 - промежуточная втулка резистора (Д16Т); 8 — рычаг триммера (ЛСД59-1, сталь); 9 —

втулка (ЛС59-1); 10 — пружина возврата в нейтраль (проволока ОВС); 11, 12 — коромысло ЛС59-1); 13 — винт стопорный (сталь); 14 — шайба (ЛС59-1); 15 — профилированная втулка крепления рычага управления (Д16Т)



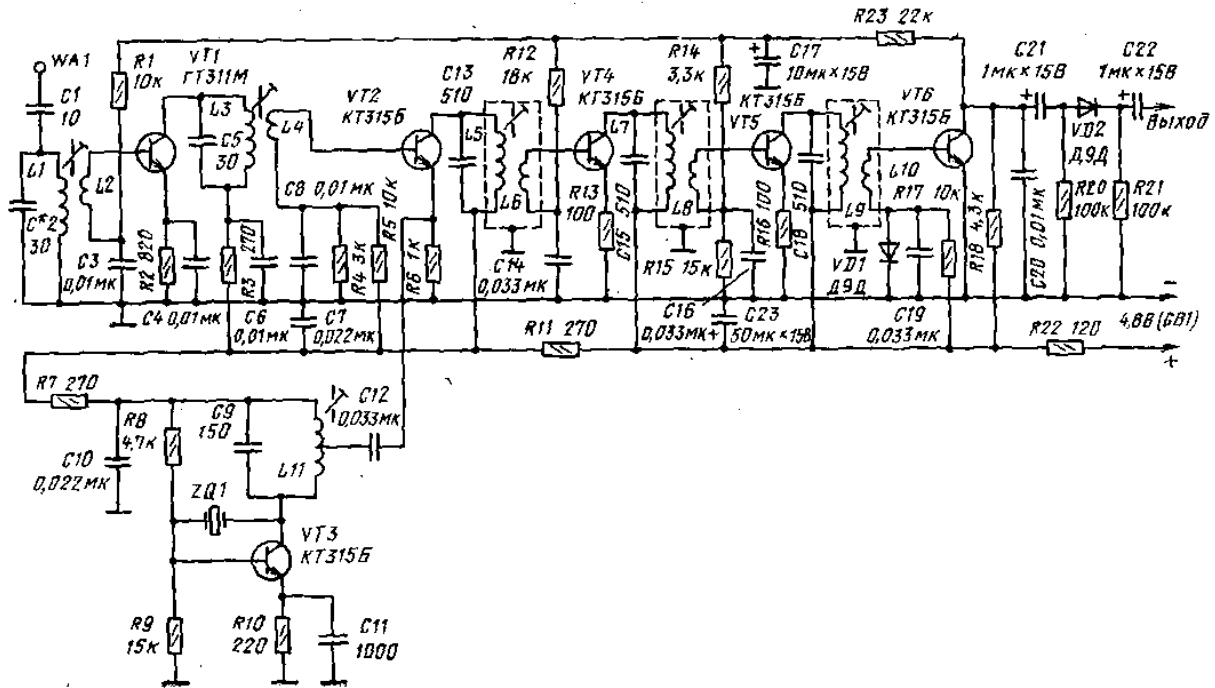


Рис. 60. Схема первого варианта приемнику

Нагрузкой смесителя служит одиночный контур L5C13, настроенный на промежуточную частоту 465 кГц. Усилитель ПЧ собран на транзисторах VT4 и VT5. Нагрузкой каждого из них служат одиночные контуры, настроенные на частоту 465 кГц. Связь между каскадами усилителя ПЧ, а также между ним, смесителем и детектором — трансформаторная. Оба каскада усилителя ПЧ охвачены системой АРУ.

Для увеличения стабильности работы усилителя ПЧ в цепи эмиттеров транзисторов VT4, VT5 введена отрицательная обратная связь по постоянному и переменному току, что, казалось бы, должно уменьшить чувствительность приемника. Однако из-за отсутствия блокировочных конденсаторов в эмиттерной цепи эта связь увеличивает входное сопротивление транзисторов, а следовательно, уменьшает шунтирование контуров ПЧ и повышает избирательность и усиление усилителя ПЧ.

Сигнал ПЧ поступает на детектор, выполненный на транзисторе VT6, который одновременно является и детектором системы АРУ. Чтобы предохранить приемник от перегрузки при небольших расстояниях от передатчика и обеспечить нормальную работу детектора, в приемнике применена система АРУ с подачей регулирующего напряжения в базовые цепи транзисторов VT1, VT4 и VT5.

Система АРУ работает следующим образом. Чем больше амплитуда сигнала на входе приемника, тем больше открывается транзистор детектора, падает напряжение на его коллекторе. Положительное напряжение смещения на базе транзисторов в усилителях НЧ и ПЧ (VT1, VT4, VT5) снижается, усиление каскадов уменьшается.

К базе транзистора подключен делитель, состоящий из резистора R17 и кремниевого диода VD1. За счет падения напряжения на прямом сопротивлении диода на базе транзистора VT6 создается начальное смещение 0,6 В, и для открывания транзистора достаточно иметь во вторичной обмотке катушки L10 напряжение сигнала 0,1 В.

Цепь R20, VD2, R21 играет роль порогового устройства, не пропускающего яа выход шумы, которые вместе с полезным сигналом поступают с детектора.

Так как уровень полезного сигнала на выходе детектора выше уровня шумов не менее чем на 0,2 В, сигнал беспрепятственно проходит пороговое устройства поступает на вход усилителя-формирователя канальных импульсов приемника.

Для повышения стабильности работы приемника цепи питания усилителе! ВЧ и ПЧ, смесителя и детектора развязаны фильтрами R11C7, R3C6 и R22C23, Монтажная плата первого варианта приемника показана на рис, 61.

На рис. 62 изображена принципиальная схема второго варианта приемника е усилителем-формирователем. Входное, устройство, усилитель ВЧ и гетеродин у этого приемника такие же, как и у предыдущего, различие лишь в усилителе ПЧ. Сигнал промежуточной частоты выделяется пьезоэлектрическим фильтров 1Z1. Далее сигнал поступает на трехкаскадный усилитель ПЧ, выполненный на транзисторах 1VT4 — 1VT6. Выходной

фильтр 1Z2 дополнительно повышает избирательность по соседнему каналу. Детектор собран на транзисторе 1VT7. Система АРУ работает так же, как и в первом варианте приемника.

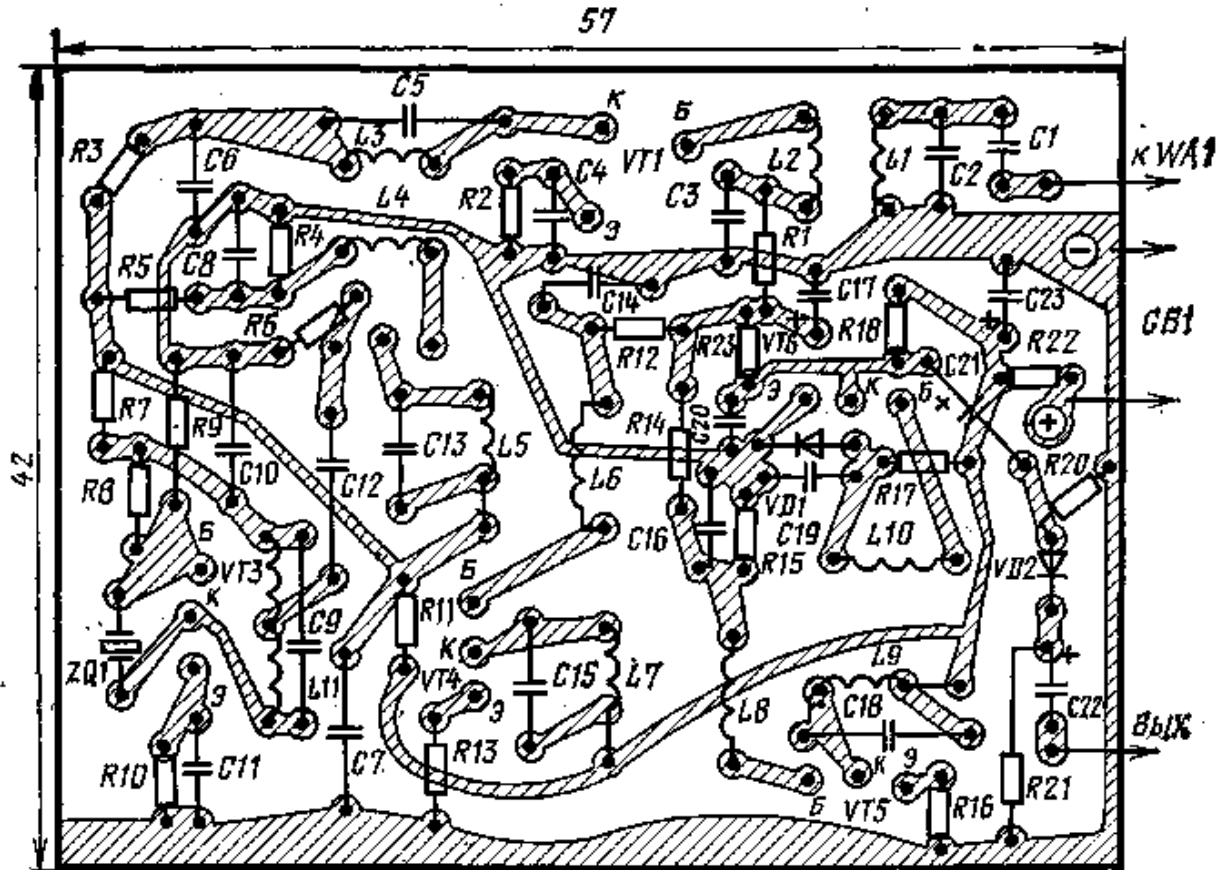


Рис. 61. Монтажная плата первого варианта приемника

Основное достоинство этого приемника — простота налаживания, так как усилитель ПЧ на пьезофильтрах не требует настройки.

Импульсный сигнал, выделенный детектором, поступает на вход усилителя-формирователя. Смещение на базе транзистора 2VT1 выбрано таким, чтобы устройство реагировало только на те импульсы, амплитуда которых превышает 350 мВ. Это сделано для повышения помехоустойчивости системы, так как уровень шумов на входе формирователя меньше этого порогового значения. Дроссель 2L1 служит фильтром ВЧ. Чтобы не нагружать выходной каскад приемника и обеспечить большее усиление первого каскада формирователя, напряжение смещения и входной сигнал подаются через относительно высокоомные резисторы 2R2 и 2R3.

Сигнал с выхода трехступенного усилителя на транзисторах 2VT1 — 2VT3 поступает на вход триггера Шмитта, выполненного на транзисторах 2VT4, 2VT5. В исходном состоянии, когда на его входе нет полезного сигнала, транзистор 2VT4 открыт, а 2VT5 закрыт; конденсатор 2C2 заряжен до напряжения питания. Если на вход триггера поступают короткие разделительные импульсы (0,2 — 0,3 мс), то конденсатор 2C2 не успевает разрядиться до напряжения, при котором транзистор 2VT7 закроется. При поступлении на вход триггера импульса, соответствующего по длительности синхроимпульсу (1 — 1,2 мс), конденсатор 2C2 успевает разрядиться до напряжения закрывания транзистора 2VT7 и на коллекторе транзистора 2VT8 формируется импульс, из которого после дифференцирования цепью 2C5, 2R26 выделяется положительный запускающий импульс (выход 2).

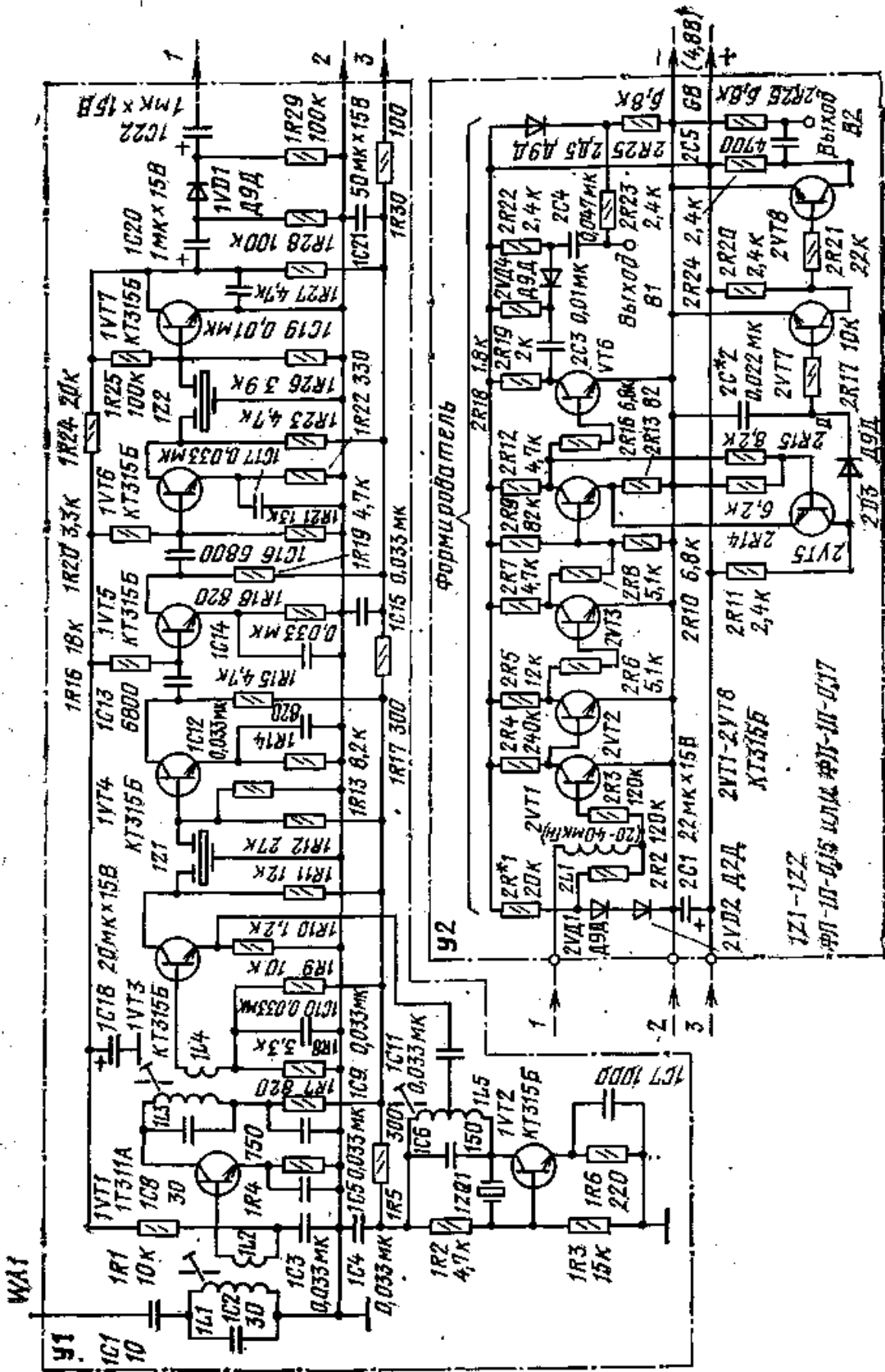


Рис. 62. Схема второго варианта приемника и усилителя-формирователя каналов

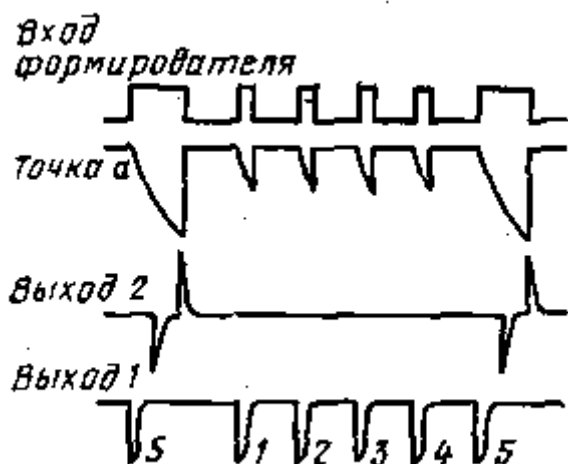


Рис. 63. Эпюры импульсных напряжений в усилителе-формирователе

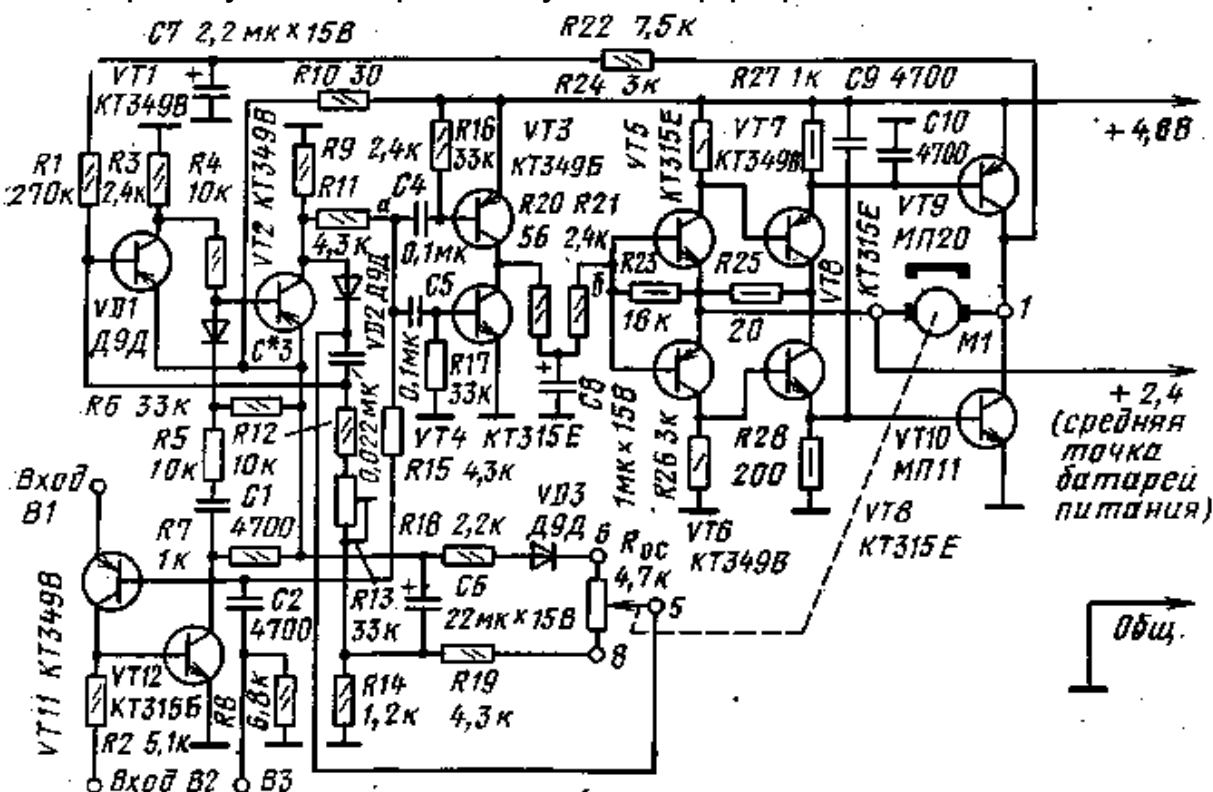


Рис. 64. Схема электронного блока рулевой машинки «Румпроп-8»

Снимаемый с коллектора транзистора 2VT4 сигнал использован для формирования импульсов сброса. Этот сигнал после усиления транзистором 2VT6 и дифференцирования цепью 2C3, 2R19 через диод 2VD4 поступает на выход 1. На этот выход подано постоянное напряжение с делителя 2VD5 2R25; необходимое для выбора режима работы дешифратора. Эпюры напряжения в точке *a* и на выходах 1 и 2 для случая, когда дешифратор отключен, показаны на рис. 63. Принципиальная схема электронного блока рулевой машинки изображена на рис. 64. В отличие от аппаратуры, описанной в гл. 6, дешифратор аппаратуры «Румпроп-8» (четырёхразрядный сдвиговый регистр) разделен на отдельные разряды, каждый из которых размещен совместно с электронным блоком рулевой машинки. Поэтому под электронным блоком аппаратуры «Румпроп-8» будем подразумевать узел, состоящий из ждущего мультивибратора, устройства сравнения, интегрирующей ступени, усилителя постоянного тока и одного разряда сдвигового регистра (дешифратора).

Принципиальных различий в способе выделения канальных импульсов и преобразования их длительности в отклонение рычагов рулевых машинок в аппаратуре «Румпроп-8» и в аппаратуре, описанной в гл. 6, не имеется.

Разряд сдвигового регистра собран на транзисторах VT11 и VT12 и представляет собой статический триггер. В исходном состоянии оба транзистора закрыты. Положительный запускающий импульс, фронт которого совпадает по времени с началом первого канального импульса, с выхода B2 усилителя-формирователя поступает на базу транзистора VT12 и открывает его. Отрицательный импульс с коллектора транзистора VT12



открывает транзистор VT11. В свою очередь, транзистор VT11 своим коллекторным током поддерживает открытым транзистор VT12. Процесс протекает лавинообразно и практически мгновенно оба транзистора переходят в режим насыщения. При этом запускается ждущий мультивибратор на транзисторах VT1 и VT2.

В исходном состоянии транзистор VT1 открыт, а VT2 — закрыт, конденсатор C3 заряжен до напряжения, определяемого положением движка переменного резистора обратной связи, который механически связан с выходным валом рулевой машинки. При поступлении сигнала отрицательной полярности на базу транзистора VT2 он открывается и на выходе ждущего мультивибратора формируется положительный прямоугольный импульс, длительность которого определяется емкостью конденсатора C3, напряжением на нем и сопротивлением резисторов R12 — R14. Отрицательный каналный импульс с дешифратора и положительный со ждущего мультивибратора через резисторы R11 и R15 поступают на вход каскада сравнения (точка а), где они сравниваются по длительности.

При равной длительности напряжение в точке а равно половине напряжения питания. Транзисторы VT3 и VT4 закрыты, конденсатор C8, входящий в интегрирующую цепь C8R20, заряжен до половины напряжения питания. Если изменить длительность каналного импульса, то в точке а появится импульс, длительность которого равна разности длительностей сравниваемых импульсов, а его полярность соответствует полярности более продолжительного импульса. Эпюры импульсного напряжения в разных точках электронного блока рулевой машинки показаны на рис. 65.

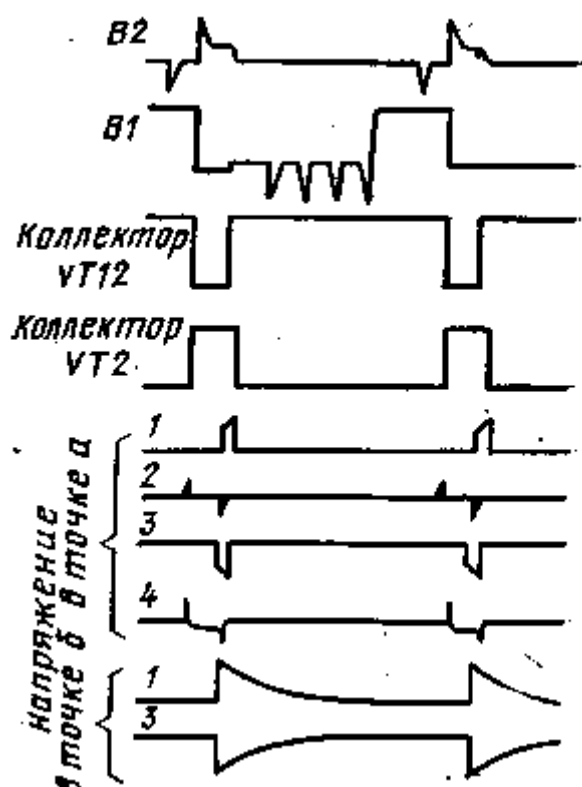


Рис. 65. Эпюры импульсных напряжений в электронном блоке рулевой машинки

При положительном разностном сигнале открывается транзистор VT4, через него начинает разряжаться конденсатор C8, в результате чего на базе каждого из транзисторов VT5 и VT6 (точка б) появится пилообразное напряжение. Это напряжение усиливается транзисторами VT6, VT8 симметричного усилителя постоянного тока и подается на базу транзистора VT10, работающего в ключевом режиме. В результате этого на обмотках электродвигателя появится импульсное напряжение, длительность импульсов которого тем больше, чем сильнее рассогласование длительностей импульсов в точке а. Электродвигатель начинает вращаться и через редуктор вращает ось переменного резистора обратной связи.

Это продолжается до тех пор, пока длительности импульсов ждущего мультивибратора и каналного не сравняются и электродвигатель обесточится. Рычаг рулевой машинки займет новое положение, пропорциональное изменению длительности каналного импульса, т. е. произойдет автоматическое отслеживание изменения положения рычага управления командодатчика.

Как только на эмиттер транзистора VII с выхода B1 усилителя-формирователя поступит первый отрицательный импульс сброса, статический триггер возвратится в исходное состояние. Канальные импульсы перестанут поступать на каскад сравнения (точка а), дифференцирующая цепь C2, R8 сформирует короткий положительный импульс, совпадающий по времени с окончанием первого каналного, и он поступает на электронный блок рулевой машинки следующего (второго) канала, в котором повторится весь процесс, протекавший в электронном блоке рулевой машинки первого канала. При поступлении с выхода усилителя-

формирователя второго, третьего и четвертого импульсов сброса триггеры сдвигового регистра последовательно переходят в режим насыщения, а затем устанавливаются в исходное состояние. Если за время передачи одной серии канальных импульсов произошло нарушение работы дешифратора (сбой), то пятым импульсом, который по времени совпадает с началом синхримпульса, дешифратор устанавливается в исходное состояние (обнуляется). При приеме последующих серий канальных импульсов цикл работы электронных блоков рулевых машинок повторяется.

Для повышения устойчивости работы электронного блока рулевой машинки в него введена отрицательная обратная связь (цепь R22, C7, R1), предусмотрен фильтр в цепи питания триггера и ждущего мультивибратора (R10, C6). Самовозбуждению выходной ступени на высоких частотах препятствуют конденсаторы C9 и CЮ.

Поясним, как подключают электронные блоки рулевых машинок к выходам 1 и 2 усилителя-формирователя. Выход 1 — общий для всех электронных блоков, к нему подключают входы 1. Выход 2 усилителя-формирователя соединяют со входом 2 первого электронного блока. Выход 3 первого электронного блока подключают ко входу 2 второго; выход 3 второго соединяют со входом 2 третьего и т. д. Для питания всех электронных блоков используют общую батарею с напряжением 4,8 В с отводом от средней точки. Батарея состоит из четырех герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов Д-0,5.

Приемник монтируют вместе с усилителем-формирователем и первым электронным блоком рулевой машинки на одной печатной плате из фольгированного стеклотекстолита. Остальные три электронных блока монтируют на второй плате. Монтаж обычно получается очень плотным, Многие детали, особенно резисторы, монтируют перпендикулярно плоскости платы, изогнув Г-образно второй вывод.

Катушки L1 — L4 приемника (см. схему рис. 60) наматывают на одинаковых каркасах диаметром 6 мм с подстроечниками из карбонильного железа или феррита (№ 2 М4ХН.5). Провод ПЭВ-1 0,41. В контурах усилителя ПЧ используют после соответствующей переделки контуры ПЧ от приемника «Сокол», про» вод ПЭВ-1 0,16. Намоточные данные катушек приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

Обозначение на схеме	Число витков	Провод	Обозначение по схеме	Число витков	Провод
L1, L3	12	ПЭВ-1 0,41	L5, L7, L9	100	ПЭВ-1 0,16
L2	1	ПЭВ-1 0,41	L6, L8	10	ПЭВ-1 0,16
L4	3	ПЭВ-1 0,41	L10	10	ПЭВ-1 0,16

Катушку гетеродина L11 наматывают на резисторе МЛТ-0,25 100 кОм. Она содержит 24 витка провода ПЭВ-1 0,16 с отводом от середины. Конденсаторы C1, C2, C5 — КТ-1 или КД-1; в контурах усилителя ПЧ C13, C15, C18 — ПМ-1 или КЛС с ТКЕ не хуже М750; оксидные конденсаторы — К50-6, остальные — КМ. На выводы радиоэлементов рекомендуется надеть отрезки изолирующей трубки. Антенной приемника может служить гибкий проводник длиной 1 м. Вмек« сто транзистора ГТ311М можно применить любой транзистор из серий КТ316 или КТ315Б — КТ315Е.

В электронных блоках рулевых машинок используют транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока более 100. Транзисторы КТ349М мож-но заменить транзисторами из серий КТ373, КТ326, КТ345. Емкость конденсатора C3 должна быть в пределах 0,15 — 0,33 мкФ. неполярные конденсаторы — КМ-6 или КЛС, C6 — К50-6. Переменный резистор — СП5-3..

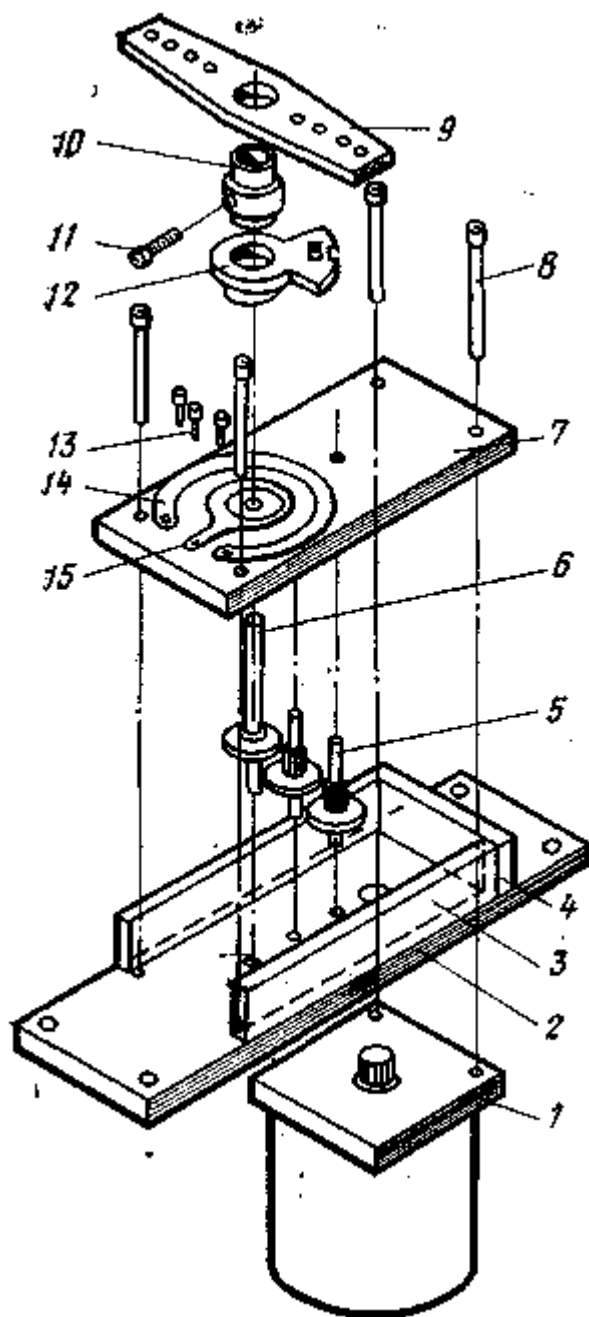
Составной частью следящего механизма является рулевая машинка. На рис. 66 в развернутом виде показано устройство рулевой машинки аппаратуры «Румпроп-8». В рулевых машинках применены микродвигатели ДК-19.

Перед налаживанием приемника следует проверить потребляемый им ток, он не должен существенно превышать 10 мА.

Налаживание усилителя ПЧ (по схеме рис. 60) сводится к настройке одиночных контуров на промежуточную частоту 465 кГц. Для этого на базу транзистора VT5 через разделительный конденсатор емкостью 0,01 мкФ подают от ГСС сигнал частотой 465 кГц, промодулированный по амплитуде колебаниями частотой 1 кГц; коэффициент модуляций — 80%. Вращая подстроечник контура L9C18, добиваются максимального значения низкочастотного сигнала на выходе детектора. Затем аналогично настраивают контуры L7C15 и L5C13, подавая последовательно сигнал от ГСС на базы транзисторов VT4 и VT2. Чувствительность усилителя с базы транзистора VT2 должна быть около 20 мкВ, при этом амплитуда сигнала на выходе детектора — не менее 400 мВ. При недостаточной чувствительности тракта усиления ПЧ следует заменить резистор R16 на другой, с меньшим сопротивлением.

После налаживания усилителя ПЧ проверяют наличие сигнала гетеродина на эмиттере транзистора VT2 и приступают к настройке входного контура и контура усилителя ВЧ. Для этого на антенное гнездо подают от ГСС сигнал частотой 27,12 МГц, модулированный сигналом частотой 1 кГц. Коэффициент модуляции устанавливают равным 80%. Под-строечниками настраивают контуры L1C2 и L3C5 на частоту генератора, при этом чувствительность приемника со входа должна возрасти до 5 мкВ.

Окончательно настраивают приемник по сигналу передатчика. Для этого антенну передатчика укорачивают до минимума (10 — 15 см), а сам передатчик располагают на таком расстоянии, чтобы его сигналы были существенно ослаблены.



**Рис. 68. Рулевая машинка аппаратуры «Румпроп-8»:**

1 — электродвигатель ДК-19 с фланцем и ведущей шестерней; 2 — плата нижняя; 3 — стенка боковая (2 шт.); 4 — стенка задняя; 5 — шестерня промежуточная двойная (2 шт.); 5 — шестерня ведомая; 7 — плата верхняя; 8 — стяжной винт (4 шт.); 9 — качалка; 10 — ступица; 11 — винт ступицы; 12 — движок переменного резистора; 13 — винт контактный (3 шт.); 14 — резистивная подковка переменного резистора; 15 — контактное кольцо

Усилитель-формирователь и электронный блок рулевых машинок настраивают отдельно от высокочастотного тракта. Сигнал с выхода шифратора подают на вход усилителя-формирователя через бумажный конденсатор емкостью 5 — 10 мкФ. Форму импульсов в различных точках устройства сравнивают с осциллограммами, изображенными на рис. 63.

Убедившись в четкой работе усилителя-формирователя, приступают к налаживанию электронного блока рулевой машинки. Выходной вал рулевой машинки устанавливают в нейтральное положение (движок переменного резистора — на середину).

Электродвигатель отключают от средней точки источника питания. Движок подстроечного резистора R13 в электронном блоке (рис. 64) устанавливают в среднее положение. После этого электронный блок подключают к усилителю-формирователю и по осциллографу контролируют работу всех каскадов. Эпюры импульсного напряжения в различных точках блока изображены на рис. 65.

Убедившись в правильной работе триггера, приступают к ждущему мультивибратору. Рычаги командодатчиков устанавливают в нейтральное положение. Подключив осциллограф к точке *a* и подстраивая резистор R13, устанавливают длительность импульса ждущего мультивибратора равной длительности канального импульса. При совпадении длительностей форма импульсов в точке *a* должна соответствовать эпюре 2 на рис. 65. При перемещении рычага управления из одного крайнего положения в другое форма сигнала в точке *a* должна соответствовать эпюрам 1 и 3. Если амплитуды импульсов канального и ждущего мультивибратора не равны, то в результате сложения появляется «ступенька», показанная на эпюре 4. Для того чтобы ее убрать, подбирают резистор R15.

Затем проверяют работу интегрирующего усилителя. Для этого подключают поочередно осциллограф к базе транзисторов VT5, VT6 (точка *b*) и сравнивают форму напряжения с эпюрами при нейтральном и крайних положениях рычага управления исследуемого канала. Только после этого подключают среднюю точку батареи питания.

Выходной вал рулевой машинки должен остаться в нейтральном положении. Если выходной вал рулевой машинки начинает резко вращаться до упора, следует поменять местами выводы электродвигателя. Манипулируя рычагом управления канала, проверяют четкость и пропорциональность работы исполнительного механизма. При сильных колебаниях рычага рулевой машинки относительно некоторого положения как в режиме ожидания, так и в процессе управления, необходимо подобрать резистор R1 в цепи обратной связи.

В такой же последовательности налаживают остальные электронные блоки рулевых машинок. Электрически соединяют платы между собой и проверяют работоспособность устройства при одновременной манипуляции всеми рычагами управления командодатчиков.

Окончательно проверяют работу аппаратуры в комплексе при работе передатчика и приемника. Если необходимо, корректируют подстроечные резисторы R13 в каждом электронном блоке, изменяя в небольших пределах длительность импульса ждущего мультивибратора. Не рекомендуется включать электронные блоки без рулевых машинок, так как в этом случае возможен выход из строя оконечных транзисторов VT9 и VT10.

## 9. ПРИБОРЫ-ПОМОЩНИКИ

В предыдущих главах было упомянуто, что в процессе изготовления и при регулировке аппаратуры радиуправления потребуется комплект измерительных приборов, таких как авометр, генераторы высокой и звуковой частот, осциллограф, универсальный вольтметр с высокоомным входом, цифровой частотомер и ряд других. Некоторые приборы, необходимые моделистам-конструкторам, промышленность не выпускает, несмотря на их простоту, но их самостоятельное изготовление не отличается большой трудоемкостью и вполне доступно опытным радиолюбителям. В число таких приборов-помощников входят индикатор высокочастотного поля, прибор для проверки транзисторов, универсальный вольтметр с батарейным питанием, прибор для настройки электронных блоков рулевых машинок.

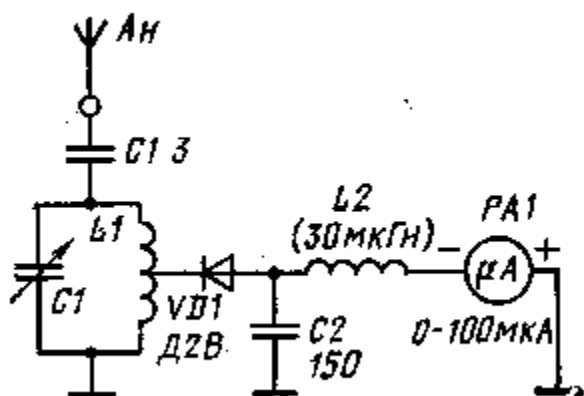


Рис. 67. Схема индикатора поля

Индикатор высокочастотного поля используют для обнаружения излучения-передатчика и грубого измерения частоты колебаний, а также как индикатор напряженности поля при согласовании выхода передатчика с сопротивлением излучения антенны. На рис. 67 показана схема простого индикатора напряженности поля. Индикатор представляет собой детекторный приемник, нагрузкой которого служит микроамперметр на ток полного отклонения стрелки 100 мкА.

Прибор собирают на изоляционной плате. Антенна — тонкий металлический штырь длиной 20 — 30 см. Для диапазона 25 — 31 МГц контурную катушку L1 заматывают на каркасе диаметром 12 мм. Она содержит 12 — 14 витков провода ПЭВ-1, Конденсатор C1 — подстроенный с воздушным диэлектриком. Ось ротора выводят на переднюю панель и снабжают лимбом с нанесенной шкалой, проградуированной в мегагерцах.

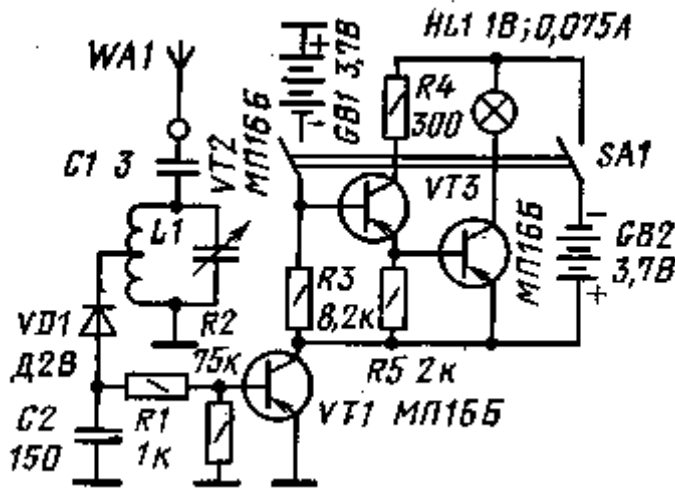


Рис. 68. Схема индикатора излучения

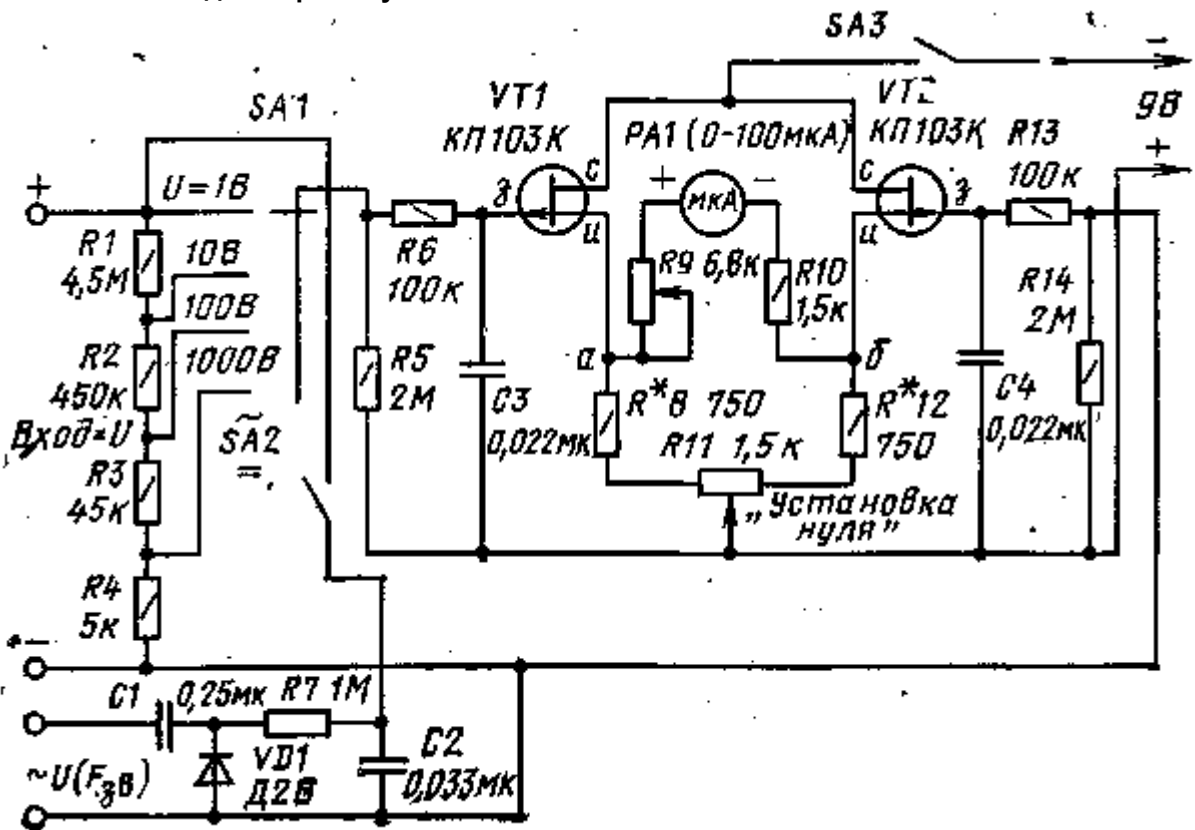
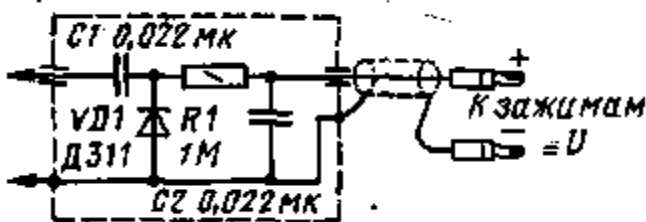


Рис. 69. Схема универсального вольтметра с батарейным питанием



**Рис. 70. Схема выносной головки для универсального вольтметра**

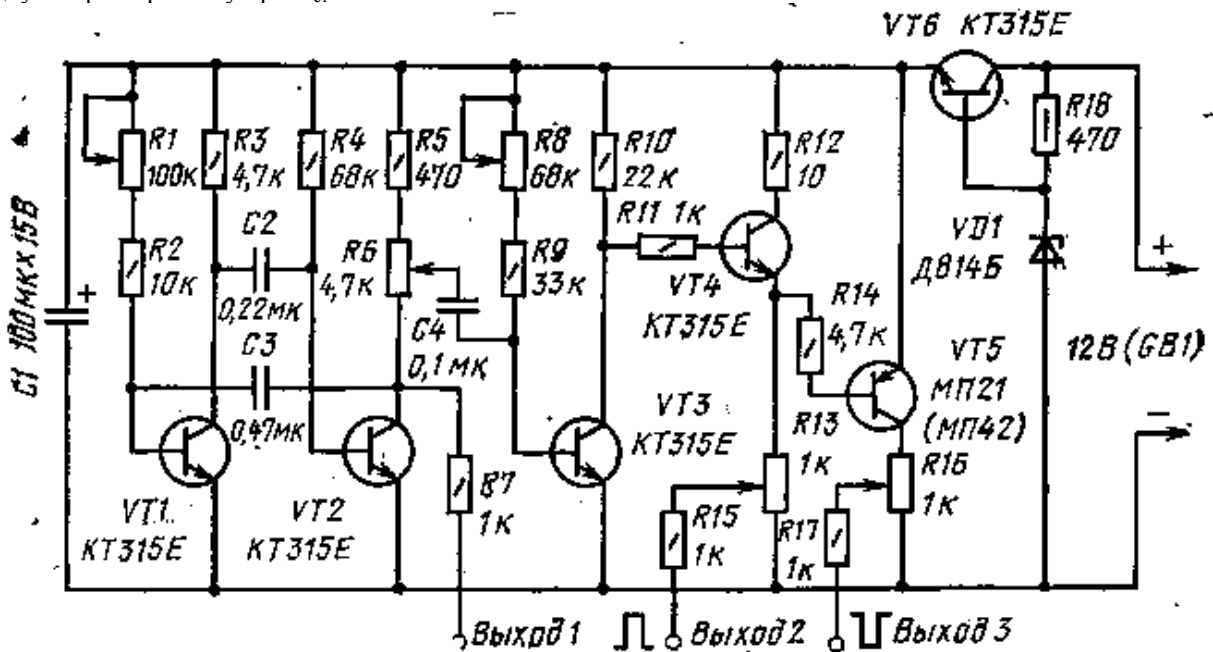
На рис. 68 представлена схема варианта индикатора излучения передатчика с визуальным контролем. Для контроля использована лампа от карманного фонаря, рассчитанная, на напряжение 1 В (МШ-0,068). Индикатор представляет собой детекторный приемник с двухкаскадным усилителем постоянного тока на транзисторах МП16Б (или им аналогичных). В цепь коллектора выходного транзистора VT3 включена индикаторная лампа. Индикатор смонтирован на изоляционной плате и вместе с батареями питания размещен в пластмассовом футляре подходящих размеров. Каждую батарею питания можно составить из трех дисковых герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов Д-0 25.

Приближенно проградуировать шкалу индикатора поля можно по сигналу от измерительного генератора высокой частоты. К его выходу подключают отрезок провода длиной 30 см. Вблизи этого провода располагают штыревую антенну градуируемого индикатора поля.

Универсальный вольтметр, схема которого изображена на рис. 69, прост изготовлении и налаживании.

Входное сопротивление его около 2 МОм на пределе измерения постоянно-то напряжения 1 В и 4,5 МОм на остальных пределах (10, 100, 1000 В). Напряжение высокой и звуковой частот можно измерять в пределах от 0,1 до 25 В. Транзисторы VT1 и VT2 образуют парафазный истоковый повторитель. Измеряемое напряжение приложено к затворам транзисторов и одновременно к цепи R5, R14. В результате между затвором и истоком каждого транзистора действует половина измеряемого напряжения, но с разной полярностью. Это приводит к тому, что в одном плече ток стока уменьшается, в другом — увеличивается и между точками а и б появляется разность потенциалов, отклоняющая стрелку микроамперметра РА1 пропорционально приложенному напряжению.

Цепь C1, VD1, R7, C2 предназначена для измерения напряжения 34. Напряжение ВЧ измеряют с помощью выносной головки, схема которой показана на рис. 70. Питает прибор от батареи с напряжением 9 В. Транзисторы для вольтметра должны быть подобраны близкими по параметрам. Для подбора транзисторов можно воспользоваться устройством, схема которого изображена на рис. 73. Для каждого транзистора снимают проходную характеристику при  $U_{ст} = -9 В$ .



**Рис. 71. Схема прибора для налаживания электронного блока рулевой машинки**

При налаживании прибора подбирают резисторы R8 и R12 так, чтобы при шодаче на вход напряжения 1 В стрелка микроамперметра отклонилась на 100 мкА. Если необходимо, регулируют резистор R9. Проверяют линейность шкалы, для чего напряжение на входе изменяют ступенями через 0,1В в пределах от 0 до 1 В. Заменять шкалу микроамперметра не нужд. При измерении напряжения высокой или звуковой частоты следует пользоваться градуировочны-ми таблицами. В вольтметре могут быть применены полевые транзисторы КП103Л или 1Ш302А, КП303В, КП303Д (в последнем случае следует изменить полярность включения батареи).

При изготовлении и эксплуатации аппаратуры пропорционального радиоуправления зачастую необходимо подстроить или проверить электронный блок рулевой машинки. Обычно для этой цели используют хорошо налаженную передающую и приемную аппаратуру пропорциональной командной радиолнии. Недостаток этого метода в том что из-за возможных искажений сигнала в тракте оценка качества рулевого привода может оказаться неверной. Ниже описан несложный прибор, который выполняет функции передатчика и приемника, вернее, имитирует процесс передачи, приема и дешифровки сигнала в канале пропорционального управления.

Прибор (рис. 71) содержит генератор импульсов, частоту и длительность которых можно менять в необходимых пределах. У прибора два выхода (2 и 3), с которых снимают импульсное напряжение с разной полярностью. На транзисторах VT1 и VT2 собран мультивибратор, частоту которого регулируют переменным резистором R1, а длительность канальных импульсов — R6, а также подборкой резистора R9 и R8. С коллектора транзистора VT3 снимают положительные импульсы с периодом повторения от 10 до 30 мс в зависимости от положения движка переменного резистора R1. Длительность этих импульсов можно изменять от 0,2 до 2,5 мс. Транзистор VT4 — буферный, он обеспечивает согласование прибора с нагрузкой, подключаемой к выходу 2. Амплитуду выходных положительных импульсов регулируют переменным резистором R13. Каскад на транзисторе VT5 — инвертирующий. На выходе могут быть получены импульсы отрицательной полярности.

Транзистор VT6 и стабилитрон VD1 образуют стабилизатор напряжения питания прибора. На выход 1 поступает импульсный сигнал, предназначенный для внешней синхронизации осциллографа, применяемого при измерениях формы и длительности импульсов. Ручки переменных резисторов R1 и R6 выводят на лицевую панель прибора и снабжают шкалами, которые следует отградуировать, с помощью осциллографа. Перемещением движка переменного резистора R8 устанавливают ширину импульса 1,5 мс. При этом движок переменного резистора R6 должен находиться в среднем положении. Амплитуду импульсов на выходах 1 и 2 устанавливают на уровне 4,5 В. Источник питания электронного блока рулевой машинки минусовым выводом подключают к минусовому общему проводу прибора.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы радиуправления/Под ред. В. А. Вейцель и В. Н. Типугина — М.: ч Сов. радио, 1973. — 464 с.
2. Гюнтер Миль. Электронное дистанционное управление моделями: Пер. с нем./Под ред. А. В. Дьякова. — М.: ДОСААФ, 1980. — 416 с.
3. Войцеховский Я. Дистанционное управление моделями: Пер. с польск./Под ред. А. П. Павлова и Н. Н. Пуяткина. — М.: Связь, 1977. — 432 с.
4. Потапов В. Н., Хухра Ю. С. Пилотажные радиоуправляемые модели самолетов. — М.: ДОСААФ, 1965. — 118 с.
5. Дьяков А. В. Радиоуправляемые автомодел. — М.: ДОСААФ, 1973. — 120 с.
6. Юные корабли/Под ред. Г. П. Осипова. — М.: ДОСААФ, 1976. — 248 с.
7. Бобров Н. В. Радиоприемные устройства. — М.: Энергия, 1958. — 448 с.
8. Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах/Под ред. Р. А. Валитова и И. А. Попова. — М.: Сов. радио, 1973.
9. Дьячихин В., Катин Л. Пропорциональное плюс дискретное. — «Моделист-конструктор», 1975, № 10, с. 38, 39; № 11, с. 34 — 36.
10. Гаевский О. К. Технология изготовления авиационных моделей. — М.: Обо-ронгиз, 1953. — 340 с.
11. Целовальников А. С. Справочник судомоделиста. Часть I. — М.: ДОСААФ, 1978; часть II — 1981.
12. Гусев Е. М., Осипов М. С. Пособие для автомоделлистов. — М.: ДОСААФ, 19-80. — 144 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие

1. Радиотелемеханика для моделизма
  2. Устройство радиоуправляемых моделей
  3. Кварцевый генератор — важнейшее звено аппаратуры радиуправления
  4. Аппаратура дискретного управления
  5. Четырехканальная аппаратура для радиуправления авиационными моделями
  6. Аппаратура пропорционального управления
  7. Пропорциональное управление скоростью модели с ходовым электродвигателем
  8. «Румпроп-8»
  9. Приборы-помощники
- Список рекомендуемой литературы

**ББК 32.884.19**

**В19**

**УДК 621.398: [621.396.6:64]**

Редакционная коллегия я:

*Б. Г. Белкин, С. А. Бирюков, В. Г. Борисов, В. М. Бондаренко, Е. Н. Генцишта, А. В. Гороховский, С. А. Ельяшкевич, И. П. Жеребцов, В. Г. Корольков, В. Т. Поляков, А. Д. Смирнов, Ф. И. Тарасов, О. П. Фролов, Ю. Л. Хотунцев, Н. И. Чистяков*

Васильченко М. Е., Дьяков А. В.

В19 Радиолобительская телемеханика. — 2-е изд., пере-раб. и доп. — М.: Радио и связь, 1986. — 88 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1094). 50 к. 280 000 экз.

Изложены основы радиотелемеханики и принципы построения различных систем управления по радио моделями самолетов, автомобилей, кораблей. Подробно описаны несколько вариантов самодельной аппаратуры радиуп-равления. По сравнению с первым изданием (1979 г.) внесены исправления и дополнения согласно пожеланиям читателей.

Для широкого круга радиолобителей.

2402020000-041  
В-----70-86  
046 (00-86

ББК 32.884.19

Рецензент *В. Е. Мерзликин*

ВАСИЛЬЧЕНКО МИХАИЛ ЕВСЕЕВИЧ ДЬЯКОВ АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

### РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКАЯ ТЕЛЕМЕХАНИКА

Руководитель группы Массовой радиобиблиотеки И. Н. Сулова

Редактор Л. Н. Ломакин

Редактор издательства И. Н. Сулова

Художественный редактор Н. С. Шенин

Технический редактор И. Л. Ткаченко

Корректор Г. Г. Казакова

ИБ № 893

Сдано в набор 19.07.85 Подписано в печать 29.12.85

Т-24356 Формат 60X90 1/16 Бумага типогр. N 3 Гарнитура литературная

Печать высокая Усл. печ. л. 5,5 Усл. кр.-отг. 5,75 Уч.-изд. л. 6,66 Тираж 280 000 экз. (3-й завод 80001 — 140000 экз.) Изд. № 20753 Зак. N 89. Цена 50 к.

Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Московская типография № 5 ВГО «Союзучетиздат». 101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

OCR Pirat