

Schaltungsbuch für Gleich- und Wechselstromanlagen

Dynamomaschinen, Motoren und Transformatoren
Lichtanlagen, Kraftwerke und Umformerstationen

Ein Lehr- und Hilfsbuch

von

Dipl.-Ing. Emil Kosack

Oberstudiendirektor der Staatlichen Ingenieurschule
in Hagen

Fünfte, durchgesehene Auflage

Mit 306 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

ISBN 978-3-662-01744-9 ISBN 978-3-662-02039-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-02039-5

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage.

An Büchern über „Schaltungen“ ist die elektrotechnische Literatur nicht gerade reich, obwohl das Bedürfnis danach recht groß ist. Die in der Elektrotechnik vorkommenden Schaltungen sind so zahlreich, daß es nicht leicht ist, die richtige Auswahl zu treffen, ohne Gefahr zu laufen, den Leser zu ermüden oder ins. Rezeptmäßige zu verfallen, Meine Absicht war, im vorliegenden Buch eine Auswahl der g r u n d l e g e n d e n S c h a l t u n g e n der Starkstromtechnik zu geben und diese auf eine Reihe ausgeführter oder selbst entworfener Anlagen anzuwenden. Bei der Herstellung der Schaltbilder und Pläne ist größte Übersichtlichkeit angestrebt worden. Ferner wurde darauf Wert gelegt, daß der Stromweg genau verfolgt werden kann. Daher sind z. B. die Maschinen im allgemeinen durch ihre Wicklung angedeutet und nicht nur durch die Klemmen. So dürfte auch dem Anfänger der Zusammenhang und das Zusammenarbeiten aller Teile verständlich gemacht sein. Den Vorschriften des V e r b a n d e s D e u t s c h e r E l e k t r o t e c h n i k e r, namentlich dessen Klemmenbezeichnungen, ist überall Rechnung getragen worden.

Vorwort zur vierten Auflage.

Die vierte Auflage des Schaltungsbuches ist, ohne daß an dem grundlegenden Aufbau etwas geändert wurde, in allen Teilen einer sorgfältigen Durchsicht unterzogen worden, um es mit dem heutigen Stand der Elektrotechnik in Übereinstimmung zu bringen. Der Abschnitt über Wechselstrommotoren ist straffer gegliedert, den Stromrichtern, ihrer erhöhten Bedeutung entsprechend, ein besonderer Abschnitt gewidmet worden. Veraltetes und weniger Wichtiges wurde ausgeschieden. So war es möglich ohne nennenswerte Vergrößerung des Buchumfanges auszukommen. Besondere Aufmerksamkeit wurde, wie bisher, den Abbildungen zugewandt. Eine größere Anzahl derselben wurde neu gezeichnet, wobei die im Vorwort zur ersten Auflage angegebenen Richtlinien nicht außer acht gelassen wurden. Dabei wurden die seit dem Erscheinen der dritten Auflage des Buches neu festgesetzten Schaltzeichen des VDE weitgehend berücksichtigt, wenn auch infolge der Kriegsverhältnisse eine gewisse Beschränkung unvermeidlich war. So hoffe ich, daß die günstige Beurteilung, die dem Buche in seiner bisherigen Gestalt in reichem Maße zuteil wurde, ihm auch in der vorliegenden Neuauflage erhalten bleibt.

Eine angenehme Pflicht ist es mir, den Firmen und Fachgenossen zu danken, die mich bei der Neuauflage des Buches unterstützt haben. Insbesondere danke ich Herrn Dipl.-Ing. Hans - Joachim Kosack für seine Anregungen sowie Herrn Ingenieur Klippel, der wiederum besondere Sorgfalt und Mühe auf die Umänderung und Neuanfertigung der Vorlagen für die Abbildungen verwandt hat, und dem ich auch die Unterlagen für die in dem Buch neu aufgenommenen Ausführungen über elektrische Aufzüge verdanke. Auch dem Springer-Verlag möchte ich an dieser Stelle für seine Bereitwilligkeit danken, mit der er auf alle meine Wünsche eingegangen ist.

H a g e n, im Oktober 1941.

E. Kosack.

Vorwort zur fünften Auflage.

Nachdem die vierte Auflage des Schaltungsbuches bereits seit längerer Zeit vergriffen ist, war eine beschleunigte Herausgabe einer neuen Auflage notwendig. Aus kriegsbedingten Gründen mußte sie als unveränderter Abdruck der vierten Auflage erscheinen.

H a g e n, im September 1944.

E. Kosack.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

	Seite
1. Der Schaltplan	1
2. Anwendungsgebiete des Gleichstroms	2
3. Die Bedeutung des Wechselstroms	2

I. Schalter und Schutzeinrichtungen.

4. Die Schaltanlage	3
5. Die Schalter	4
6. Überstromschutz durch Schmelzsicherungen	4
7. Die Selbstschalter	5
a) Überstromschalter	5
b) Unterstromschalter	6
c) Richtungsschalter	6
d) Unterspannungsschalter	7
8. Schalter für Hochspannung	7
9. Fernsteuerung von Schaltern	8
10. Selbstauslösung der Hochspannungsschalter	9
a) Überstromauslösung	10
b) Richtungsauflösung	11
c) Unterspannungsauslösung	12
11. Leitungsschutz	12
12. Überspannungsschutz	14

II. Lampenschaltungen.

13. Ein- und mehrpoliges Schalten	16
14. Umschalten von Lampengruppen	16
15. Die Serienschaltung	17
16. Die Wechselschaltung	17
17. Die Treppenschaltung	17
18. Automatische Treppenbeleuchtung	18
19. Lampen in Reihenschaltung	19

III. Schaltung der Meßgeräte.

20. Strom- und Spannungsmesser	20
21. Umschalter für Spannungs- und Strommesser	20
22. Leistungsmesser	21
a) Für Gleichstrom und Einphasenwechselstrom	21
b) Für Drehstrom	22
23. Arbeitsmesser	24
24. Phasenmesser	26
25. Frequenzmesser	26
26. Erdschlußanzeige	26
a) Für Gleichstrom	26
b) Für Einphasenstrom	27
c) Für Drehstrom	27

IV. Elektrizitätswerke mit Gleichstrombetrieb.

A. Gleichstrommaschinen und Akkumulatoren.		Seite
27. Die fremderregte Maschine		29
28. Die Nebenschlußmaschine		29
29. Die Hauptschlußmaschine		30
30. Die Doppelschlußmaschine		30
31. Maschinen mit Wendepolen und kompensierte Maschinen		31
32. Schaltung und Drehsinn der Gleichstrommaschinen		32
33. Die Akkumulatorenbatterie		33
a) Der Einfachzellenschalter		33
b) Der Doppelzellenschalter		33
c) Der leitungsparende Zellschalter		34
B. Zweileiterzentralen.		
34. Betrieb mit einer Nebenschluß- oder Doppelschlußmaschine		35
35. Allgemeines über den Parallelbetrieb von Gleichstrommaschinen		35
36. Nebenschlußmaschinen im Parallelbetrieb		36
37. Doppelschlußmaschinen im Parallelbetrieb		37
38. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Einfachzellenschalter		38
39. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter		40
40. Nebenschlußmaschine, Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter und Zusatzmaschine		42
41. Wind-Elektrizitätswerk		44
42. Anlage mit Pufferbatterie und Piranimaschine		46
43. Die Meyersberg-Schaltung		49
C. Dreileiterzentralen.		
44. Dreileiteranlage mit Hintereinanderschaltung der Betriebsmaschinen		50
45. Dreileiteranlage mit Hintereinanderschaltung der Betriebsmaschinen und einer Akkumulatorenbatterie		52
46. Dreileiteranlage mit Akkumulatorenbatterie zur Spannungsteilung		53
47. Dreileiteranlage mit Ausgleichsmaschinen		55
48. Dreileitermaschine mit einer Akkumulatorenbatterie		56
V. Gleichstrommotoren.		
49. Der Nebenschlußmotor		56
50. Der Hauptschlußmotor		58
51. Der Doppelschlußmotor		58
52. Wendepolmotoren		59
53. Anlasser mit selbsttätiger Auslösung		59
54. Regelung der Drehzahl		60
55. Anlasser in Kahlenberg-Schaltung		61
56. Änderung der Drehrichtung		62
57. Wendeanlasser		63
58. Schaltwalzenanlasser		65
59. Steuerwalzen für Motoren doppelter Drehrichtung		67
60. Steuerwalze mit Nachlaufbremsung für beide Drehrichtungen		68
61. Steuerwalze für Hubmotoren in Senkbremsschaltung		69
62. Schützensteuerungen		71
63. Schützenselbstanlasser		72
64. Motorenanschlußanlage		72

VI. Elektrizitätswerke mit Wechselstrombetrieb.**A. Wechselstrommaschinen.**

65. Der Einphasengenerator	72
66. Der Drehstromgenerator	74

Inhaltsverzeichnis.

VII

Seite

67. Selbsttätige Spannungsregelung	75
68. Differentialschutz von Wechselstrommaschinen	78
69. Selbsttätige Feldschwächung	79
70. Erdschlußschutz	80

B. Wechselstromzentralen.

71. Zentrale mit einer Einphasenmaschine für Niederspannung	81
72. Zentrale mit einer Drehstrommaschine für Niederspannung	81
73. Zentrale mit einer Drehstrommaschine für Hochspannung	82
74. Allgemeines über den Parallelbetrieb von Wechselstrommaschinen	83
a) Einphasenanlagen	83
b) Drehstromanlagen	85
75. Grundlegende Schaltungen von Wechselstromzentralen	88
76. Schaltungen für die Erregung	91
77. Allgemeine Anordnung des Überspannungsschutzes	92
78. Eigenbedarfsanlagen in Wechselstromzentralen	92
79. Niederspannungs-Drehstromzentrale	92
80. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit unmittelbarer Auslösung der Leistungsschalter	93
81. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Relaisauslösung der Leistungsschalter	95
82. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren	97
83. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und Transformator-Umschaltchiene	99
84. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und Sammelschienen für die Unter- und Oberspannung	102
85. Drehstromzentrale für Höchstspannung	102

VII. Umspannanlagen.

A. Transformatoren.

86. Der Einphasentransformator	104
87. Der Drehstromtransformator	105
88. Transformatoren in Sparschaltung	106
89. Regeltransformatoren	106
90. Transformatoren in Skottischer Schaltung	107
91. Differentialschutz für Transformatoren	107
92. Transformator mit Buchholzschutz	107

B. Transformatoren- und Schaltstationen.

93. Grundlegende Schaltungen von Transformatorenanlagen	108
94. Transformatorenstation einfachster Art	110
95. Station mit Einzeltransformator	111
96. Station mit parallel geschalteten Transformatoren	112
97. Fahrbare Netztransformatorenstation	113
98. Umspannwerk	115
99. Umspannwerk mit Reservegenerator und Umformer	117
100. Schaltstation eines Drehstrom-Überlandwerkes	118

C. Drehtransformatoren.

101. Der Drehtransformator als Spannungsregler	119
102. Spannungsregelung einer Drehstrom-Hochspannungsleitung	120

VIII. Wechselstrommotoren.

A. Synchronmotoren.

103. Schaltung und Eigenschaften der Motoren	122
104. Anlassen mittels Anwurfmotors	122
105. Drehstromseitiges Anlassen des Synchronmotors	123
106. Drehstrom-Synchronmotoren mit Anlaufwirkung	124

B. Induktionsmotoren (Asynchronmotoren).		Seite
107. Allgemeines		125
108. Der Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer		126
109. Der Kurzschlußläufermotor mit umschaltbaren Sicherungen		126
110. Der Kurzschlußläufermotor mit Steuerschalter		127
111. Der Kurzschlußläufermotor mit Anlasser		127
112. Der Kurzschlußläufermotor mit Anlaßtransformator		128
113. Der Kurzschlußläufermotor mit Stern-Dreieckschaltung		128
114. Der polumschaltbare Motor		130
115. Der Drehstrommotor mit Schleifringläufer		131
116. Der Drehstrommotor mit Anlasser in Kahlenbergschaltung		131
117. Der Drehstrommotor mit zweiphasigem Läufer		132
118. Der Einphasenmotor		133
119. Regelung der Drehzahl		133
120. Wendeanlasser		133
121. Schaltwalzenanlasser		134
122. Steuerwalzen		136
123. Druckknopfsteuerung für einen Drehstrommotor		137
124. Lastenaufzug mit Antrieb durch Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer		138
125. Personenaufzug mit Drehstrommotor mit Schleifringläufer		141
126. Schützenselbstanlasser		142
127. Drehstrommotoren im Anschluß an ein Niederspannungsnetz		143
128. Drehstrommotoren im Anschluß an ein Hochspannungsnetz		144
C. Kollektormotoren.		
129. Allgemeines		144
130. Der Einphasen-Hauptschlußkollektormotor		145
131. Der Einphasen-Kurzschlußkollektormotor		146
132. Der Hauptschluß-Kurzschlußkollektormotor		146
133. Der Drehstrom-Hauptschlußkollektormotor		147
a) Motor mit einfachem Bürstensatz		147
b) Motor mit doppeltem Bürstensatz		148
134. Der Drehstrom-Nebenschlußkollektormotor		148
a) Motor mit Läuferspeisung		148
b) Motor mit Ständerspeisung		149
135. Drehstrom-Kollektormotor im Anschluß an ein Hochspannungsnetz		150
D. Induktionsmotoren mit Phasenausgleich.		
136. Allgemeines		151
137. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Eigenerregung		151
138. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Selbsterregung		153
139. Der Frequenzwandler		154
140. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Netzerregung		155
141. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Eigenkompensierung		156
a) Motor mit Ständerspeisung		156
b) Motor mit Läuferspeisung		156
142. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Gleichstromerregung		157
a) Motor mit Ständerspeisung		157
b) Motor mit Läuferspeisung		158
143. Phasenkompensierung durch Kondensatoren		158
IX. Umformeranlagen.		
144. Allgemeines		159
A. Synchron Motorgeneratoren.		
145. Gleichstromseitiges Anlassen des Motorgenerators		160
146. Motorgenerator mit Anwurfmotor		162
147. Drehstromseitiges Anlassen des Motorgenerators		163

B. Asynchrone Motorgeneratoren.		Seite
148. Motorgenerator für Niederspannung		163
149. Motorgenerator für Hochspannung		164
150. Umformeranlage zum Betrieb einer Grubenbahn		165
151. Umformeranlage zum Betrieb einer Straßenbahn		166

C. Einankerumformer.

152. Bauart und Schaltung des Umformers.	168
153. Gleichstromseitiges Anlassen des Umformers	169
154. Umformer mit Anwurfmotor	170
155. Drehstromseitiges Anlassen des Umformers.	170
156. Spannungsregelung des Einankerumformers	171
a) Regelung durch Drosselspulen	172
b) Regelung mittels Drehtransformators	172
157. Umformeranlage mit umschaltbarem Lichtnetz	172
158. Umformeranlage mit Dreileiter-Gleichstrombetrieb	175
159. Umformeranlage mit Drehtransformator	176
160. Einankerumformer in Verbindung mit einer Puffermaschine	178

D. Kaskadenumformer.

161. Bauart und Schaltung der Umformer	179
--	-----

X. Stromrichteranlagen.

162. Quecksilberdampfgleichrichter für Einphasenstrom	181
163. Gleichrichter für Drehstrom	182
164. Gleichrichter für Drehstrom in Parallelschaltung und mit selbsttätiger Zündung	184
165. Gleichrichter in Verbindung mit der Eigenbedarfsanlage eines Drehstromwerkes.	186
166. Großgleichrichter für Drehstrom	187
167. Gleichrichteranlage zum Betrieb einer Straßenbahn.	188
168. Stromrichter mit Gittersteuerung, Toulonsteuerung	191
169. Stromrichter zum Betrieb eines regelbaren Gleichstrommotors, magnetische Stoßsteuerung	193
170. Trockengleichrichter	195

XI. Anlaß- und Regelsätze.

A. Maschinensätze mit Gleichstrom-Regelmotor.

171. Die Leonardschaltung für Gleichstrom.	196
172. Die Leonardschaltung für Drehstrom	197
173. Die Ilgnerschaltung	198
174. Die Zu- und Gegenschaltung für Gleichstrom	199
175. Die Zu- und Gegenschaltung für Drehstrom	200

B. Regelsätze für Drehstrom.

176. Die Kaskadenschaltung im allgemeinen	201
177. Kaskade zweier Drehstrom-Induktionsmotoren	202
178. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Kollektorhintermotor.	203
a) Mechanisch gekuppelter Regelsatz	203
b) Elektrisch gekuppelter Regelsatz	204
179. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Gleichstromhintermotor	205
a) Mechanisch gekuppelter Regelsatz	205
b) Elektrisch gekuppelter Regelsatz	207
180. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Frequenzwandler	208

	Seite
181. Regelung eines Drehstrom-Induktionsmotors auf unter- und über-synchronen Lauf	209
a) Regelsatz mit Drehstrom-Erregermaschine, mechanisch und elektrisch gekuppelt	209
b) Regelsatz mit Drehstrom-Kollektormotor, elektrisch gekuppelt	211
182. Der Doppelkurzschlußkollektormotor	212

Anhang.

A. Die wichtigsten Klemmenbezeichnungen	213
I. Gleichstrom	213
II. Wechselstrom	213
B. Die in den Schaltplänen hauptsächlich verwendeten Abkürzungen	213
I. Maschinen	213
II. Meß- und Prüfgeräte	213
III. Apparate	214
C. Abkürzungen im Text	214
D. Schrifttumshinweise	214
Namen- und Sachverzeichnis	215

Deutsche Normen.

Vom VDE sind in Zusammenarbeit mit dem Normenausschuß der deutschen Industrie folgende Normblätter über

Schaltzeichen und Pläne für Starkstromanlagen

herausgegeben, auf die an dieser Stelle hingewiesen sei:

<i>DIN VDE</i> 709: Allgemeine Vorbemerkung.
„ „ 710: Stromarten und Schaltarten.
„ „ 711: Leitungen.
„ „ 712: Grundsätzliche Schaltzeichen.
„ „ 713: Schaltgeräte, Meldegeräte.
„ „ 714: Umspanner und Drosselspulen.
„ „ 715: Maschinen, Stromrichter, Elektroöfen.
„ „ 716: Meßgeräte, Relais und Auslöser, Meßwandler.
„ „ 717: Leitungspläne.
„ „ 718: Anschlußpläne.
„ „ 719: Schaltpläne.

Ferner sei aufmerksam gemacht auf das Normblatt

DIN VDE 705: Kennfarben für blanke Leitungen in Starkstrom-Schaltanlagen.

Die Normblätter können durch den Beuth-Verlag, Berlin, bezogen werden.

Einleitung.

1. Der Schaltplan.

Der Stromlauf innerhalb einer elektrischen Maschine oder eines Gerätes, wie auch der Zusammenhang und die Verbindung der in einer elektrischen Anlage aufgestellten Maschinen und Apparate untereinander sowie mit dem Leitungsnetz kann in schematischer Weise durch ein Schaltbild oder einen Schaltplan übersichtlich dargestellt werden. Alle Teile der Anlage werden hierbei symbolisch durch zeichnerische Abkürzungen, Schaltzeichen, wiedergegeben. Der Schaltplan stellt gewissermaßen eine Art stenographischer Wiedergabe des elektrischen Teiles der Anlage dar.

Beim Entwurf größerer Anlagen ist die Ausarbeitung des Schaltplans eine der ersten vorzunehmenden Arbeiten. An Hand des Planes können die verschiedenen Betriebsmöglichkeiten auf ihre Durchführbarkeit geprüft und etwa erforderliche Abänderungen der Schaltung vorgenommen werden. Auch bildet er die Unterlage für die Aufstellung des Kostenanschlages.

Für in Betrieb befindliche Anlagen gibt der Schaltplan Auskunft über die Anordnung und das Zusammenarbeiten aller ihrer Teile. Er ermöglicht es, die einzelnen Stromwege zu verfolgen. Die zur Erreichung eines bestimmten Betriebszustandes notwendigen Schaltgriffe können aus ihm abgelesen werden, und für die Feststellung der Ursache von Störungen ist er unentbehrlich. Daher muß auch nach den vom VDE herausgegebenen „Vorschriften für den Betrieb von Starkstromanlagen“ in jedem elektrischen Betriebe eine schematische Darstellung der Anlage vorhanden sein. Auch wird empfohlen, an wichtigen Schaltstellen und in Transformatorenstationen, namentlich bei Hochspannung, ein Teilschema anzubringen, aus dem insbesondere die Abschaltbarkeit der einzelnen Teile hervorgeht.

Von den im folgenden wiedergegebenen Schaltungen können namentlich die Pläne ganzer Anlagen je nach den besonderen Verhältnissen mannigfache Abänderungen erfahren. Sie sind daher lediglich als Beispiele dafür aufzufassen, wie in einem vorliegenden Falle die Anlage eingerichtet werden kann. Im Text ist auf die Maschinen und Apparate selbst nur insoweit eingegangen, als es für das Verständnis der Schaltungen notwendig ist.

In einzelnen Fällen ist für die Pläne eine vereinfachte einpolige Darstellungsweise angewendet worden. Sie wird bevorzugt, wenn es sich nur darum handelt, den Kraftlauf einer Anlage in seinen Grundzügen anzugeben, also lediglich einen allgemeinen Überblick über die Schaltung zu gewinnen.

2. Anwendungsgebiete des Gleichstroms.

Von grundsätzlicher Bedeutung beim Entwurf eines Elektrizitätswerks ist die Wahl der Stromart. In der ersten Zeit der Elektrotechnik wurde hauptsächlich der Gleichstrom angewendet, der auch heute noch in vielen Anlagen zu finden ist. Für die Erzeugung elektrischen Lichtes hat er sich von jeher bewährt. Aber auch für die elektrische Kraftverteilung kann er mit Vorteil benutzt werden. Namentlich eignet sich der Gleichstrom für motorische Antriebe, bei denen eine weitgehende oder besonders feine Geschwindigkeitsregelung erforderlich ist. Auch elektrische Straßen- und Grubenbahnen werden fast allgemein mit Gleichstrom betrieben. Infolge seiner Eigenschaft, elektrolytische Wirkungen auszuüben, können die zur Aufspeicherung elektrischer Energie dienenden Akkumulatoren in Gleichstromanlagen Aufstellung finden, ein besonderer Vorteil gegenüber dem Betriebe mit Wechselstrom. Schließlich ist dem Gleichstrom eine Reihe weiterer Anwendungsgebiete in der elektrochemischen Industrie vorbehalten.

3. Die Bedeutung des Wechselstroms.

Gleichstrommaschinen lassen sich im allgemeinen nur für verhältnismäßig geringe Spannungen herstellen, ein Umstand, der der Anwendung des Gleichstromes dann außerordentlich hinderlich ist, wenn es sich um Energieübertragungen auf große Entfernungen handelt. In dieser Hinsicht ist ihm der Wechselstrom weitaus überlegen. Er kann unmittelbar in den Maschinen mit hoher Spannung erzeugt werden, und diese läßt sich, wenn es erforderlich ist, durch Transformatoren noch weiter erhöhen. Umgekehrt kann der Strom an den Verbrauchsstellen, wiederum mittels Transformatoren, in einfacher Weise auf Niederspannung herabgesetzt werden. Die meisten großen Elektrizitätswerke liefern daher heute Wechselstrom. Besonders wird der Dreiphasenstrom bevorzugt, der sich aus drei um je eine Drittelperiode gegeneinander versetzten Wechselströmen zusammensetzt und gewöhnlich Drehstrom genannt wird. Aber auch dem einphasigen Wechselstrom kommt heute ein großes Anwendungsgebiet zu, da er für den Betrieb von Vollbahnen besonders geeignet ist.

I. Schalter und Schutzeinrichtungen.

4. Die Schaltanlage.

Der Schaltanlage eines Elektrizitätswerkes fällt die Aufgabe zu, die von den Maschinen gelieferte elektrische Energie zu sammeln und sie über die zum Schalten, Sichern, Messen und Regeln dienenden Einrichtungen dem Verteilungsnetz zuzuführen. Sie wird häufig in Form einer Schalttafel ausgeführt. Die auf ihr angebrachten Sammelschienen nehmen alle ankommenden Leitungen auf, und von ihnen werden auch alle abgehenden Leitungen abgenommen. Sie haben also gleichzeitig die Bedeutung von Verteilungsschienen, und um sie gruppieren sich alle in die Leitungen eingebauten Schalter, Schutzvorrichtungen und Apparate. An Stelle der Schalttafel können auch Schalttische zur Aufstellung kommen.

Die Schaltanlage soll sich durch größtmögliche Einfachheit auszeichnen, damit sie leicht und gefahrlos bedient werden kann. Um sie übersichtlich zu gestalten, wird sie zweckmäßigerweise nach den vorhandenen Maschinensätzen und den verschiedenen Versorgungsgebieten in einzelne Felder unterteilt, wobei auch der etwa vorhandenen Akkumulatorenbatterie ein besonderes Schaltfeld einzuräumen ist.

Eine große Ausdehnung nimmt die Schaltanlage in Hochspannungswerken an. Hier werden die Sammelschienen und alle Hochspannung führenden Apparate in besonderen Räumen untergebracht, die in ihrer Gesamtheit das Schalthaus bilden. Die für die Bedienung und Steuerung der Anlage notwendigen Einrichtungen werden in einem Kommandoraum, der Warte, vereinigt. Um von den Meßgeräten Hochspannung fernzuhalten, werden sie über kleine Transformatoren, Strom- und Spannungswandler, angeschlossen. In Industrie- und Hüttenanlagen, in denen die Apparate häufig der Einwirkung von Staub und Feuchtigkeit ausgesetzt sind, geht man vielfach zu „gekapselten Schaltanlagen“ über, indem die einzelnen Geräte in Eisen- oder Isoliergehäuse eingeschlossen werden.

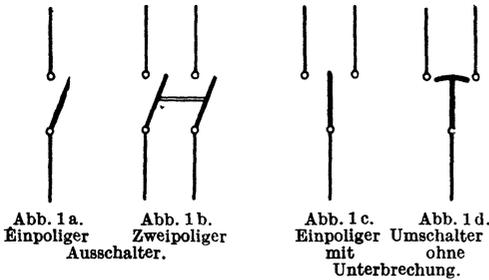
Die Übersichtlichkeit der Schaltanlage wird dadurch erhöht, daß bei Gleichstrom die Sammelschienen und Leitungen nach ihrer Polarität, bei Wechselstrom nach ihrer Phase durch verschiedenfarbigen Anstrich gekennzeichnet werden. In Gleichstromanlagen wird der positive Pol rot, der negative Pol blau bezeichnet. Für Einphasenwechselstrom sind die Farben gelb und violett, für Drehstrom gelb, grün und violett zu wählen. Es empfiehlt sich, die gleichen Farben auch für die im Betriebe auszuhängenden Schaltpläne anzuwenden.

Die für die Schaltanlage von Elektrizitätswerken vorstehend erörterten Gesichtspunkte gelten sinngemäß auch für die Schalteinrichtung von Transformatorenstationen und Umformeranlagen sowie von ausgedehnten Licht- und Kraftanschlüssen.

Im vorliegenden Kapitel soll zunächst ein kurzer Überblick über die verschiedenen Schalterarten und die wichtigsten Schutzeinrichtungen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Darstellung im Schaltplan gegeben werden.

5. Die Schalter.

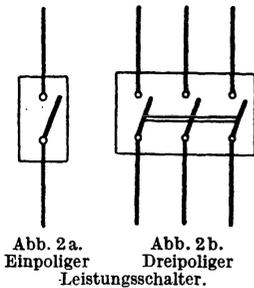
Das grundlegende Bauelement jeder Schaltanlage sind die Schalter. Mit ihnen wird die Verbindung zwischen den einzelnen Stromkreisen hergestellt. Man unterscheidet Ausschalter, die lediglich zum Schließen



und Unterbrechen eines Stromkreises dienen, und Umschalter, welche die Verbindung einer Leitung mit einer von mehreren anderen Leitungen ermöglichen. Es gibt Umschalter mit und ohne Unterbrechung. Bei letzteren wird der neue Stromkreis bereits geschlossen, ehe der erste

unterbrochen ist. Schalter können ein- und mehrpolig ausgeführt sein. Die für die Darstellung von Schaltern gebräuchlichen Zeichen sind in Abb. I zusammengestellt.

Für kleinere Ströme, z. B. in Lichtnetzen, werden vorwiegend Dreh-, Kipp- und Druckknopfschalter verwendet. Für den Einsatz in



Geräten, für Verteilungstafeln usw. können auch sog. Paketschalter zur Anwendung kommen, bei denen die Schaltelemente in besonderen Kammern aus Isolierstoff gedrängt untergebracht sind. Für größere Ströme, z. B. zum Schalten von Maschinen, werden entweder Hebelschalter mit gewöhnlichen Schaltmessern oder Leistungsschalter benutzt, die meist besonders entwickelte Schaltorgane haben und dadurch imstande sind, auch Kurzschlüsse abzuschalten. Leistungsschalter werden

für Nieder- und Hochspannung gebaut und im Schaltbild durch eine Umrahmung kenntlich gemacht, Abb. 2.

6. Überstromschutz durch Schmelzsicherungen.

Das verbreitetste Mittel, um Leitungen gegen Stromüberlastung, besonders gegen Kurzschluß, zu schützen, ist die Schmelzsicherung. Die von der Stromquelle ausgehenden Leitungen sind grundsätzlich zu sichern, und es sind ferner Sicherungen an allen Stellen anzubringen, wo sich der Querschnitt der Leitungen nach der Verbrauchsstelle hin vermindert. Doch dürfen betriebsmäßig geerdete Leitungen, z. B. der Mittelleiter eines Gleichstromdreileiter- oder der Nulleiter eines Drehstromsystems, nicht gesichert werden. Isolierte Leitungen,

die vom Mittel- oder Nulleiter abzweigen und als Teile eines Zweileiter-systems aufzufassen sind, dürfen dagegen wieder eine Sicherung erhalten. Sicherungen sind auch dort fortzulassen, wo die Unterbrechung einer Leitung eine Gefahr im Betriebe der betreffenden Anlage hervorrufen könnte. Wenn in einer Abzweigleitung Schalter und Sicherungen mit offenen Schmelzeinsätzen unmittelbar hintereinanderliegen, so soll die Stromzuführung an den Schalter angeschlossen werden, die Sicherung also — vom Elektrizitätswerk aus gesehen — hinter dem Schalter liegen. Bei dieser Anordnung kann das Auswechseln einer Sicherung gefahrlos vorgenommen werden, indem die betreffende Leitung durch den Schalter zunächst spannungslos gemacht wird.

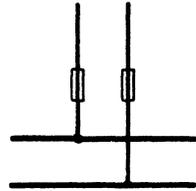


Abb. 3. Durch Schmelzsicherungen geschützte Leitungen.

Schmelzsicherungen werden durch kleine Rechtecke mit angedeutetem Schmelzdraht dargestellt, Abb. 3¹.

7. Die Selbstschalter.

a) Überstromschalter.

Der Überstromschutz kann auch, unter Fortfall der Sicherungen, den Schaltern übertragen werden. Man erhält alsdann Überstromschalter, Schalter, die im Falle eines Überstromes oder Kurzschlusses den Stromkreis durch Einwirkung eines Elektromagneten, der

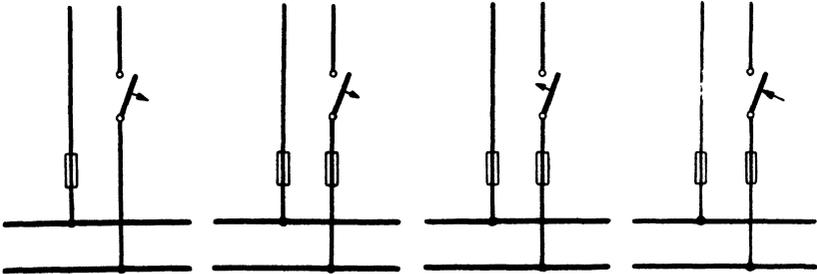


Abb. 4. Schutz durch Schmelzsicherung bzw. Überstromschalter.

Abb. 5. Schutz durch Schmelzsicherungen und Überstromschalter.

Abb. 6. Schutz durch Schmelzsicherungen und Unterstromschalter.

Abb. 7. Schutz durch Schmelzsicherungen und Rückstromschalter.

durch eine in die zu schützende Leitung eingeschaltete Stromspule erregt wird, selbsttätig unterbrechen. Im Falle eines Kurzschlusses spricht das Auslösewerk sofort an. Zur Erfassung kleinerer Überströme werden die Schalter mit einer ebenfalls elektromagnetisch oder auch thermisch beeinflussten Verzögerungseinrichtung versehen, so daß sie bei schnell vorübergehenden Stromstößen nicht zur Auslösung kommen. Überstromschalter werden im Schaltbild durch einen Pfeil in der Ausschalttrichtung gekennzeichnet. In Abb. 4 ist ein Pol durch eine Sicherung, der andere durch einen Überstromschalter geschützt.

¹ Neues Schaltzeichen des VDE. In den nachfolgenden Schaltplänen ist zum Teil noch die bisher übliche Darstellung für die Sicherung beibehalten, das Rechteck ohne den Mittelstrich.

Die Selbstschalter haben vor den Schmelzsicherungen den Vorteil scharfer Einstellbarkeit. Sprechen sie infolge einer Überlastung an, so können sie nach Beseitigung der Störung ohne weiteres wieder eingelegt werden. Unter Umständen kann es von Vorteil sein, in die eine der zu einem Stromkreis gehörigen Leitungen eine Schmelzsicherung und einen Selbstschalter einzubauen und diesen auf eine etwas geringere Auslösestromstärke einzustellen als die, bei welcher die Sicherung anspricht, Abb. 5. Dadurch wird der Verbrauch an Sicherungen eingeschränkt, und die Leitung ist auch für den Fall geschützt, daß der Selbstschalter zufällig versagt.

b) Unterstromschalter.

Schalter können auch mit einer elektromagnetischen Vorrichtung in der Weise versehen werden, daß sie auslösen, wenn in dem betreffenden Stromkreise der Strom auf Null zurückgeht oder doch auf einen verhältnismäßig kleinen Wert sinkt. Solche Schalter werden als Unterstromschalter bezeichnet und, wie Abb. 6 zeigt, durch einen Pfeil in der Einschalttrichtung kenntlich gemacht. Sie finden in Gleichstromanlagen, s. z. B. Abschnitt 36, vielfach Verwendung.

c) Richtungsschalter.

Selbstschalter, welche auslösen, wenn der sie durchfließende Strom aus irgendeinem Grunde die entgegengesetzte Richtung wie im normalen Betriebe annimmt, werden Rückstrom- oder Richtungsschalter genannt. Bei ihnen wird der die Ausschaltung betätigende Elektromagnet von einer Strom- und einer Spannungsspule erregt. Bei normaler

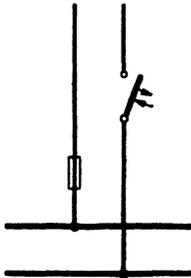


Abb. 8. Schutz durch Schmelzsicherung und Überstrom-Rückstromschalter.

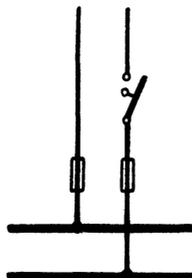


Abb. 9. Schutz durch Schmelzsicherungen und Unterspannungsschalter.

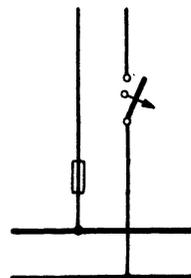


Abb. 10. Schutz durch Schmelzsicherung und Überstrom-Unterspannungsschalter.

Stromrichtung wirken beide Spulen im gleichen Sinne magnetisierend, während bei einem Richtungswechsel des Stromes die Stromspule der Spannungsspule entgegenwirkt und dadurch die Auslösung des Schalters herbeigeführt wird. Die Kennzeichnung der Rückstromauslösung ist aus Abb. 7 zu ersehen. Bei Wechselstrom sollen die Richtungsschalter ansprechen, wenn ein Rückfluten der Leistung eintritt, wenn also z. B. eine Maschine statt elektrische Leistung abzugeben, solche aufnimmt. Sie können daher als Rückleistungsschalter bezeichnet werden.

Überstrom- und Rückstromauslösung werden häufig miteinander vereinigt. In Abb. 8 ist die doppelte Auslösung durch zwei Pfeile entgegengesetzter Richtung angedeutet.

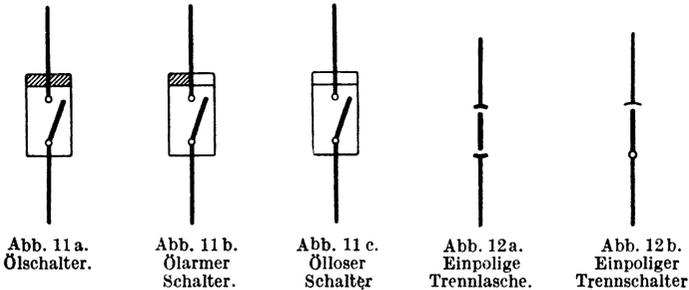
d) Unterspannungsschalter.

Um das Ausschalten eines vom Leitungsnetz abgezweigten Stromkreises herbeizuführen, wenn die Netzspannung ausbleibt oder erheblich zurückgeht, bedient man sich der selbsttätigen Unterspannungsschalter. Der Auslösemagnet wird in diesem Falle lediglich durch eine Spannungsspule erregt. Schalter dieser Art werden gemäß Abb. 9 durch einen kleinen Nullenkreis gekennzeichnet. In Abb. 10 ist ein mit Überstrom- und Unterspannungsauslösung ausgestatteter Schalter dargestellt.

8. Schalter für Hochspannung.

Leistungsschalter für Hochspannung werden meistens zum Schalten und zum Schutz von ganzen Netzen, Netzteilen oder größeren Maschinen verwendet, also an Stellen, an denen etwa abzuschaltende Kurzschlußströme ganz erhebliche Werte annehmen können. Sie müssen so eingerichtet sein, daß der beim Ausschalten an der Unterbrechungsstelle auftretende Lichtbogen schnell zum Erlöschen kommt.

Früher wurden hauptsächlich Ölschalter benutzt, bei dem sich der Schaltvorgang unter Öl abspielt. Heute werden vorwiegend öllöse Schalter verwendet. Bei den Wasserschaltern, in der Regel als



Expansionsschalter bezeichnet, wird der Lichtbogen durch den sich bildenden Wasserdampf gelöscht. Bei den Druckgasschaltern dient verdichtete Luft oder Kohlensäure als Löschmittel. Eine Abart des letzteren ist der Hartgasschalter, bei ihm entwickelt sich das Gas aus den Wandungen des Schalters. Der Ölschalter hat eine Fortentwicklung durch den ölarmeren Schalter, auch Druckausgleichsschalter genannt, erfahren.

Soll die Ausführungsart der Schalter im Schaltbild angedeutet werden, so sind dafür die in Abb. 11 angegebenen Symbole zu benutzen.

In Hochspannungsanlagen müssen ferner alle Maschinen, Apparate, Speiseleitungen usw. durch Trennlaschen oder Trennschalter, Abb. 12, abtrennbar sein, auch dann, wenn in den betreffenden Leitungen Leistungsschalter eingebaut sind. Die Trennschalter sollen es ermöglichen, das Netz oder einzelne Netzteile mit Sicherheit spannungslos

zu machen. Sie dürfen jedoch nur in stromlosem Zustand betätigt werden. An den Trennschaltern kann eine einfache oder eine doppelte Unterbrechung je Pol vorgesehen sein.

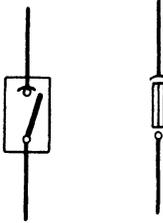


Abb. 13.
Leistungs-
trennschalter.

Abb. 14.
Trenn-
sicherung.

Für bestimmte Zwecke, z. B. zum Abschalten leerlaufender Transformatoren, können auch Leistungstrennschalter benutzt werden, deren Schaltleistung aber nur sehr begrenzt ist, Abb. 13. Auch können die Trennschalter mit den Abschmelzsicherungen zu sog. Trennsicherungen verbunden werden, Abb. 14.

9. Fernsteuerung von Schaltern.

Bei der großen räumlichen Ausdehnung, welche die Schaltanlage von Hochspannungswerken annimmt, ist man häufig gezwungen, zur Fernsteuerung der Leistungsschalter überzugehen. Abb. 15 zeigt schematisch eine derartige Einrichtung. Es sind zwei Schaltmagnete vorhanden, einer für das Einschalten (*E.M.*) und einer für das Ausschalten (*A.M.*). Für die Erregung der Magnete dient Gleichstrom. Wird der Betätigungsschalter

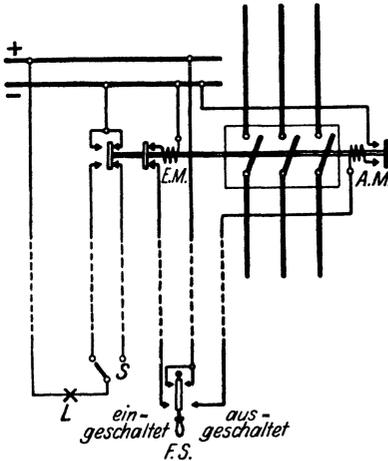


Abb. 15.
Fernsteuerung eines Schalters mit Rückmeldelampe.

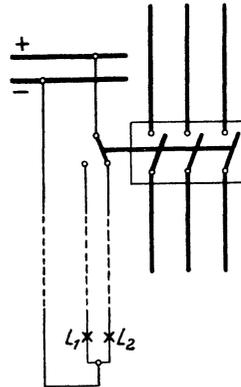


Abb. 16. Ferngesteuerter Schalter mit zwei Rückmeldelampen.

F.S. für die Fernsteuerung nach links gelegt, so wird der Einschaltmagnet erregt, wird er nach rechts gelegt, der Ausschaltmagnet. Mit dem Schalter ist noch eine Rückmeldeeinrichtung verbunden, eine Glühlampe *L*, die im allgemeinen ausgeschaltet ist, aber jedesmal zum Aufleuchten kommt, wenn der Schalter seine jeweilige Schaltstellung ändert. Sobald die vollzogene Schaltung durch die Lampe angezeigt ist, wird diese mittels des einpoligen Handschalters *S* wieder ausgeschaltet, und sie ist alsdann für den nächsten Schaltvorgang erneut in Bereitschaft.

Gebräuchlicher ist es, die Stellung des Schalters durch zwei Glühlampen anzuzeigen, von denen die eine bei geschlossenem, die andere bei geöffnetem Schalter brennt, Abb. 16. In diesem Falle empfiehlt sich die Anwendung von Lampen verschiedener Färbung.

10. Selbstausslösung der Hochspannungsschalter.

Die in Hochspannungsanlagen eingebauten Leistungsschalter werden in der Regel mit einer selbsttätigen Auslösevorrichtung ausgestattet. Die meisten Einrichtungen dieser Art arbeiten mit Elektromagneten. Die Art und Weise, in welcher die Auslösung bewirkt wird, ist von wesentlichem Einfluß auf die Gestaltung des ganzen Schaltplanes der betreffenden Anlage und soll daher etwas ausführlicher besprochen werden.

Werden die die Ausschaltung herbeiführenden Magnete ohne irgendein Zwischenglied vom Hochspannungskreis aus erregt, so spricht man von einer primären unmittelbaren Auslösung. Wird dagegen die Erregerwicklung der Magnete in den Sekundärkreis eines Wandlers gelegt, so erhält man die sekundäre unmittelbare Auslösung. Häufig wird auch der Auslösemagnet in einen besonderen Hilfsstromkreis, der von einer Gleichstrom- oder Wechselstromquelle gespeist

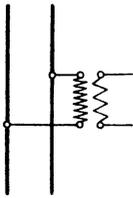


Abb. 17 a.

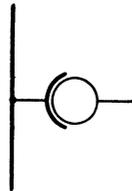
Abb. 17 b.
Spannungswandler.

Abb. 18 a.

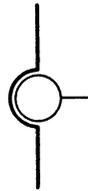
Abb. 18 b.
Stromwandler.

Abb. 18 c.

wird, eingeschaltet, und es erfolgt dann die Betätigung des Schalters durch Vermittlung von Relais. Je nachdem nun diese an den Hochspannungskreis selbst oder an die Sekundärseite eines Wandlers angeschlossen werden, unterscheidet man wieder zwischen primärer und sekundärer Relaisauslösung. Um zu vermeiden, daß die Schalter bei sehr schnell vorübergehenden Störungen auslösen, wendet man vielfach Zeitrelais an, welche die Ausschaltung erst nach einer bestimmten, einstellbaren Zeit bewirken¹.

Für die sekundäre Schalterauslösung kommen je nach den Umständen Spannungs- oder Stromwandler zur Verwendung. Ein Spannungswandler ist in Abb. 17a durch seine Wicklungen angedeutet. Einen Stromwandler zeigt Abb. 18a und in vereinfachter Darstellung Abb. 18b. Für einpolige Schaltpläne sind die vom VDE festgelegten Kurzzeichen, Abb. 17b und 18c, nützlich. Alle in der Anlage vorhandenen Strom- und Spannungswandler sind, den Vorschriften des VDE gemäß, niederspannungsseitig einpolig zu erden. Spannungswandler werden in der Regel auf der Primärseite gesichert, doch empfiehlt es sich, auch sekundär in die nicht geerdeten Pole Sicherungen einzubauen.

¹ Eine ausführliche Darstellung der Schutzeinrichtungen und Relais gibt das von M. Walter bearbeitete Relaisbuch, Franckhsche Verlagshandlung Berlin.

a) Überstromauslösung.

In Abb. 19 bis 21 sind einige typische Fälle von Drehstromschaltern mit Überstromauslösung dargestellt. Die Bilder sollen jedoch keinen Aufschluß über die Konstruktion der Schalter, die sehr verschiedenartig sein kann, geben, sondern lediglich einen Hinweis auf ihre Wirkungsweise. Ein vereinfachtes Bild des Stromlaufs ist in den Abb. 19a bis 21a

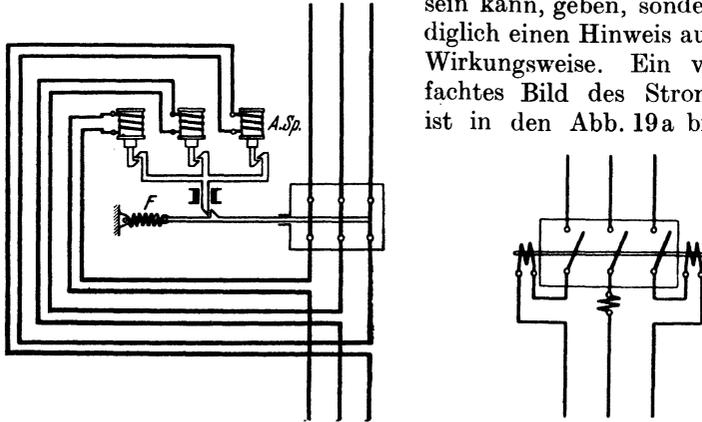


Abb. 19 u. 19a. Schalter mit primärer unmittelbarer Überstromauslösung.

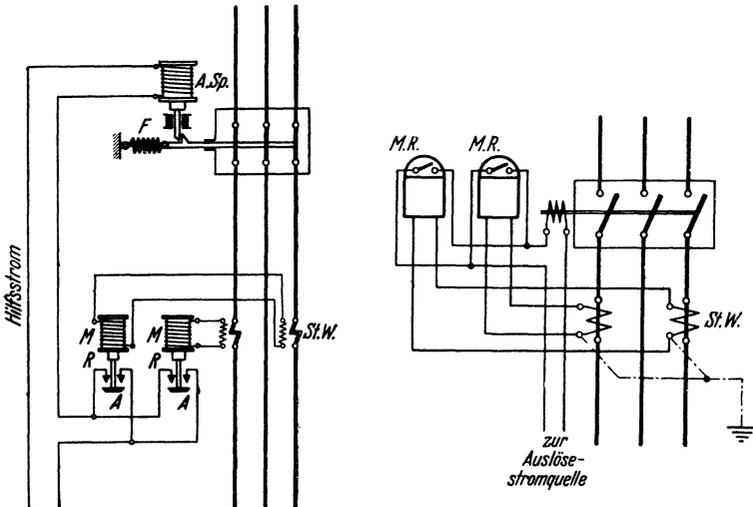


Abb. 20 u. 20a. Schalter mit sekundärer Überstromrelaisauslösung. — Arbeitsschaltung. (Hilfsstrom: Gleichstrom.)

jeder Ausführungsart gegenübergestellt. Auf den Schalter wirkt eine Feder F ein, die bestrebt ist, ihn ständig auszulösen, was jedoch während des normalen Betriebes durch ein Sperrwerk verhindert wird. Bei Überlastung wird nun durch Einwirkung der Auslösespulen $A. Sp.$ auf die beweglich in ihnen angebrachten Eisenkerne das Sperrwerk freigegeben. Soweit Relais vorhanden sind, sind diese mit $M. R.$ (Maximalrelais) bezeichnet. Jedes Relais enthält als wichtigsten Bestandteil einen Magneten M , der durch eine Stromspule erregt wird, und einen Anker A . Je nach der

Stellung des Ankers ist der Hilfsstrom geschlossen oder offen. Bei der sog. Arbeitsschaltung ist der Hilfsstrom im normalen Betriebe unterbrochen, und er wird erst bei Überlastung geschlossen, wodurch dann die Auslösespule den Schalter freigibt. Bei der Ruheschaltung dagegen ist umgekehrt der Hilfsstrom normalerweise geschlossen, und er wird bei Überlastung geöffnet, wobei eine Freigabe des Schalters durch die Auslösespule

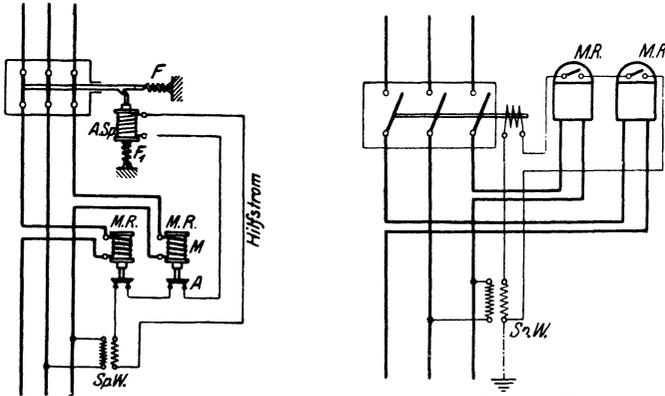


Abb. 21 u. 21a. Schalter mit primärer Überstromrelaisauslösung. — Ruheschaltung. (Hilfsstrom: einem Spannungswandler entnommener Wechselstrom.)

erfolgt. Der Magnetkraft der Auslösespule wirkt entweder das Eigengewicht des Eisenkerns entgegen oder die Kraft einer Feder F_1 . Die Stromwandler sind in den Abbildungen mit *St. W.* benannt. Die Erdung der Wandler ist nur in den schematischen Darstellungen, und zwar durch eine strichpunktete Linie angedeutet.

b) Richtungsauslösung.

Die Schalter können auch mit einer von der Energierichtung abhängigen Auslösung, also einer Rückleistungs- oder Richtungsauslösung

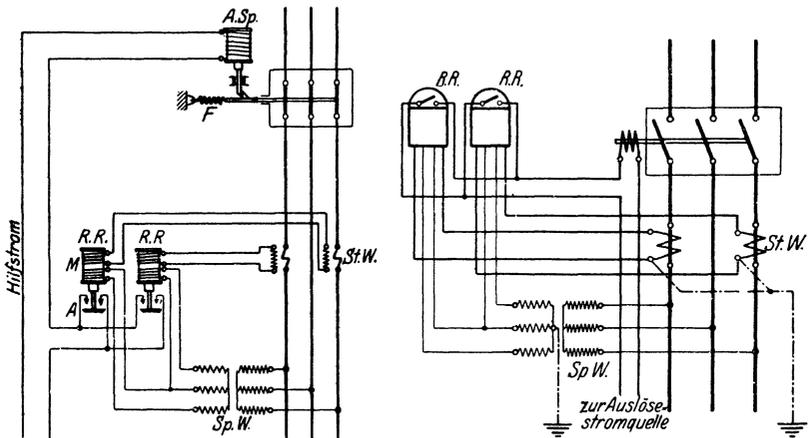


Abb. 22 u. 22a. Schalter mit sekundärer Richtungsrelaisauslösung.

versehen sein. In diesem Falle kommen Relais zur Anwendung, auf die eine Strom- und eine Spannungspule einwirken (vgl. Abschn. 7c).

Abb. 22 und 22a zeigen Wirkungsweise und Schema einer derartigen Anordnung: zwei Phasen eines Drehstromsystems sind durch Richtungsrelais *R. R.* geschützt. Die Spannungswandler sind mit *Sp. W.* bezeichnet.

Unterspannungsauslösung.

In Abb. 23 und 23a ist ein Schalter mit Überstrom- und außerdem Unterspannungsauslösung dargestellt. Der Schalter löst also auch bei

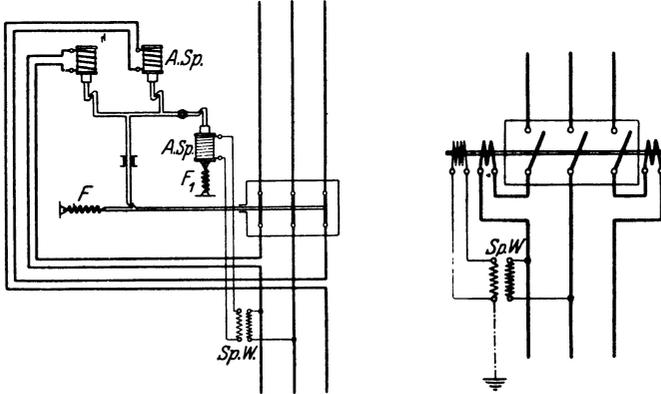


Abb. 23 u. 23a. Schalter mit primärer unmittelbarer Überstrom- und mit Unterspannungsauslösung.

einem Rückgang der Spannung aus. Die für die Spannungsauslösung dienende Spule liegt an einem Spannungswandler, ist also als Spannungsspule gewickelt. Sie ist nur für eine Phase vorgesehen, jedoch kann die Auslösung auch auf mehrere Phasen ausgedehnt werden. Abb. 24 zeigt schematisch eine Relaisauslösung, *N.R.* bedeutet das Unterspannungsrelais (Nullrelais).

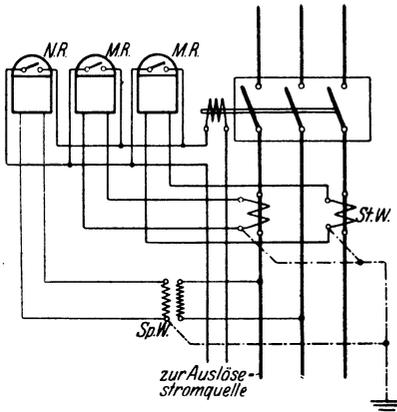


Abb. 24. Schalter mit sekundärer Überstrom- und Unterspannungsrelaisauslösung.

11. Leitungsschutz.

Leitungsnetze können auf verschiedene Art geschützt werden. Während man in einfachen Netzen in der Regel mit gewöhnlichem Überstrom- und Kurzschlußschutz (Abschn. 7a und 10a) auskommt, kann in verzweigten Netzen z. B. ein sog. Distanzschutz eingebaut werden, bei dem die Auslösung durch Relais erfolgt, die so arbeiten,

daß sie den Widerstand der Leitung vom Schalter bis zur Fehlerstelle messen, wobei dann das Relais, das den kleinsten Widerstand mißt, zuerst auslöst. Dadurch wird erreicht, daß stets der Schalter ausschaltet, der der Fehlerstelle am nächsten liegt.

Zum Schutz von Leitungen gegen innere Fehler hat sich besonders der Differentialschutz bewährt. Da er von grundlegender Bedeutung ist, soll er nachfolgend kurz besprochen werden. Er ermöglicht es, in Hochspannungsanlagen fehlerhafte Leitungen oder Kabel selbsttätig abzuschalten, ohne daß andere Netzteile in Mitleidenschaft gezogen werden. Auf die am Anfang und Ende des zu schützenden Leitungsstückes eingebauten Hochspannungsschalter wirken über Stromwandler Differentialrelais ein. Die sekundären Spulen der Wandler

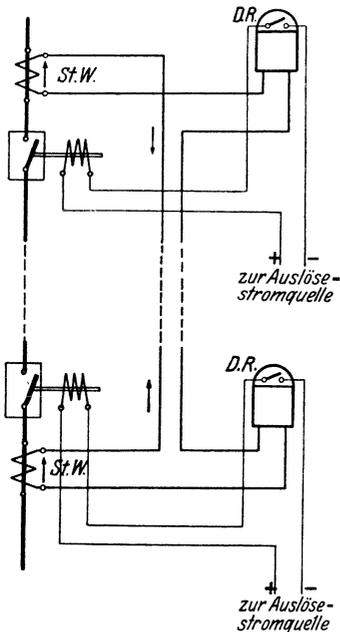


Abb. 25. Schutz einer Leitung durch Differentialrelais.

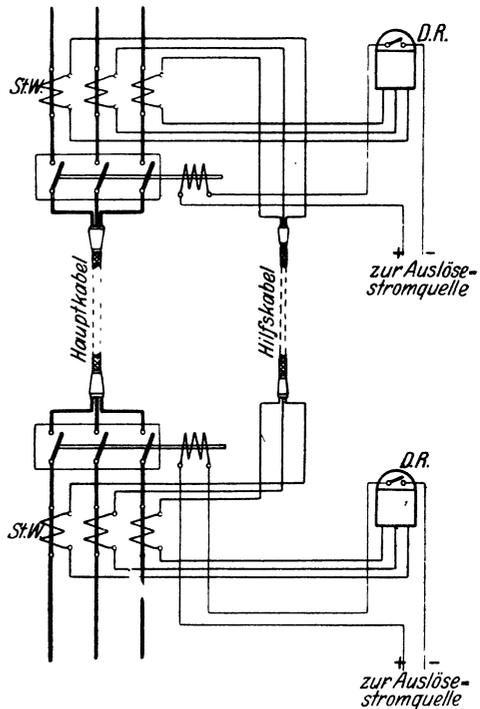


Abb. 26. Schutz eines Drehstromkabels durch Differentialrelais.

werden hierbei gegeneinander geschaltet, wie es Abb. 25 zeigt, die das Wesen des Differentialsschutzes, zunächst der Einfachheit wegen für eine einzelne Leitung, zum Ausdruck bringt. Die Differentialrelais, auch Stromvergleichsrelais genannt, sind mit *D. R.* bezeichnet.

Solange die Leitung gesund ist, ist die Stromstärke in ihr an allen Stellen die gleiche, und es sind also auch die in den sekundären Wicklungen der beiden Wandler induzierten Spannungen gleich groß. Sie heben sich daher auf: der Relaiskreis ist stromlos. Anders, wenn zwischen zwei Leitungen ein Kurzschluß entsteht, oder wenn eine Leitung Erdschluß bekommt. Alsdann ist die Stromstärke am Anfang der betreffenden Leitung nicht mehr die gleiche wie am Ende. In den sekundären Wicklungen der Wandler werden Spannungen verschiedener

Größe induziert, und im Relaiskreis fließt ein Strom, der der Differenz dieser Spannungen entspricht. Die Relais sprechen daher an und bringen mittels des einer Gleichstromquelle entnommenen Hilfsstromes die in die Leitungen eingebauten Schalter beiderseits der Fehlerstelle zur Auslösung.

Abb. 26 zeigt die Anwendung des Differentialschutzes für eine Drehstromleitung, z. B. ein Drehstromkabel. Am Kabelanfang und Kabelende ist je ein dreiphasiger Stromwandler eingefügt. Die sekundären Wicklungen jedes Wandlers sind innerhalb der zugeordneten Differentialrelais in Stern verkettet. Die freien Enden der Sekundärwicklungen des einen Wandlers sind mit den entsprechenden des anderen Wandlers durch Leitungen verbunden, die zu einem Hilfskabel zusammengefaßt werden können. Sobald in einer Leitung ein Fehler auftritt, ergeben sich in den Relais Spannungsverschiedenheiten, durch welche sie zum Ansprechen gebracht werden.

Bemerkt sei noch, daß durch den Einbau des Differentialschutzes eine Überstromauslösung für die Leitungen nicht entbehrlich wird, da die Differentialrelais lediglich auf eintretende Fehler, nicht aber auf Überlastung der Leitung an sich ansprechen.

12. Überspannungsschutz.

In Stromverteilungsnetzen, namentlich solchen für Hochspannung, können aus verschiedenen Ursachen Überspannungen auftreten. Soweit die Anlagen nicht durch genügende Isolierung aller in Betracht kommenden Teile geschützt werden können, müssen besondere Schutzeinrichtungen eingebaut werden, um die Überspannungen abzuleiten und dadurch unschädlich zu machen. Im Laufe der Zeit sind Ableiter der verschiedensten Art angewendet worden, von denen in Abb. 27 bis 29 einige angegeben sind: der einfache Funkenableiter, der Hörnerableiter und der Kondensator-

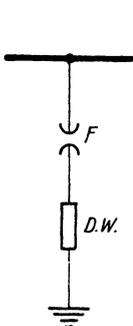


Abb. 27.
Funkenableiter.

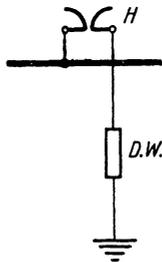


Abb. 28.
Hörnerableiter
mit Dämpfungswiderstand.

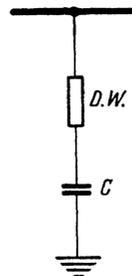


Abb. 29.
Kondensator.

schutz. Die Ableiter werden mit den dazu gehörigen Dämpfungswiderständen — dem Schaltzeichen des VDE entsprechend durch kleine Rechtecke angedeutet — zwischen die zu schützende Leitung und Erde geschaltet, um eine Ableitung der Überspannungen zur Erde zu ermöglichen. Sie finden sich noch vielfach in älteren Anlagen, doch kommen sie für Neuanlagen kaum noch zur Anwendung.

Heute werden als Überspannungsableiter hauptsächlich Ventilableiter in Form spannungsabhängiger Widerstände verwendet, wie der

Kathodenfallableiter der SSW und der SAW-Ableiter der AEG. Die Ableiter bestehen im wesentlichen aus einer Löschfunkenstrecke und einer Anzahl übereinandergeschichteter Scheiben, deren Widerstand um so kleiner wird, je höher die auf dem Ableiter einwirkende Spannung ist, Abb. 30. Bei etwa auftretenden Überspannungen geben sie diesen infolge ihres dabei abnehmenden Widerstandes den Weg in die Erde frei. Das allgemeine Schaltzeichen für einen Überspannungsableiter, unabhängig welcher Art, zeigt Abb. 31.

Zum Schutz der Niederspannungsstromkreise von Transformatoren, deren Nullpunkt nicht geerdet ist, gegen Übertritt von Hochspannung dienen Durchschlagsicherungen, im wesentlichen zwei in geringem Abstand gegenüberstehende Metall-

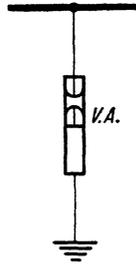


Abb. 30. Ventilableiter.



Abb. 31. Überspannungsableiter, allgem. Zeichen.

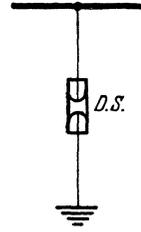


Abb. 32. Durchschlagsicherung.

plättchen, von denen das eine mit der betreffenden Leitung, das andere mit der Erde verbunden ist, Abb. 32.

Die Ableitung statischer Ladungen, also äußerer ruhender Überspannungen, wird Erdungswiderständen, Abb. 33,¹ und Erdungsdrosselspulen, Abb. 34, übertragen. Sie werden meistens an die Sammelschienen angeschlossen. Doch können sie in Drehstromanlagen auch an den Nullpunkt der Maschinen und Transformatoren gelegt werden. Ihre Anwendung setzt voraus, daß eine anderweitige betriebsmäßige Erdung in der Anlage nicht vorgenommen ist.

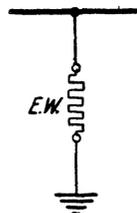


Abb. 33. Erdungswiderstand.

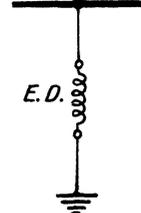


Abb. 34. Erdungsdrosselspule.

Wechselstromgeneratoren werden, um das Eindringen von „Wanderwellen“ — einer gefährlichen Überspannungserscheinung, die sich den Leitungen entlang fortbewegt — in ihre Wicklungen zu verhindern, mitunter auch durch Schutzkapazitäten in Form von Kabeln gesichert, die für eine höhere Spannung isoliert sind und, vor die Maschinen gelegt, die auf sie einstürmenden Wellen abschwächen.

Zur Unterdrückung des „aussetzenden“ Erdschlusses, der von Schwingungserscheinungen begleitet ist und besonders unangenehme Überspannungen hervorrufen kann, hat sich die Erdschlußspule von Petersen bewährt. Es ist dies eine Drosselspule *P.D.*, deren Induktivität dem Leitungsnetz angepaßt ist, und über die der Sternpunkt *O* des Systems geerdet wird, wie Abb. 35 für eine Drehstrom-

anlage zeigt. Dem gleichen Zweck wie die Erdschlußspule dient der Löschtransformator von Bauch, Abb. 36. Ein Dreiphasentrans-

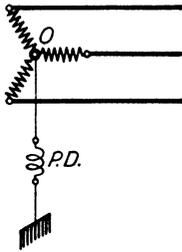


Abb. 35. Erdschlußspule von Petersen in einem Drehstromnetz.

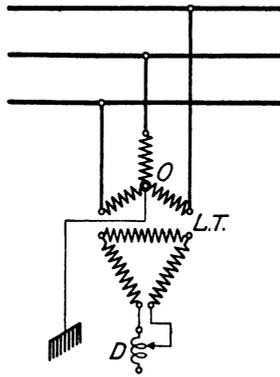


Abb. 36. Löschtransformator von Bauch in einem Drehstromnetz.

formator $L.T.$ bestimmter Ausführung ist an das zu schützende Drehstromnetz angeschlossen. Der Transformator ist primär in Stern geschaltet und über den Sternpunkt O geerdet. Die Sekundärseite des Transformators ist in Dreieck verbunden und enthält überdies eine Drosselspule D , die der Kapazität des Leitungsnetzes entsprechend eingestellt wird.

II. Lampenschaltungen.

13. Ein- und mehrpoliges Schalten.

Zum Schalten von Glühlampen-Stromkreisen werden in der Regel Drehschalter benutzt. Die nachfolgenden Ausführungen gelten sinn-

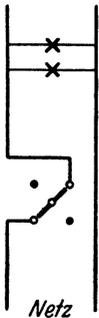


Abb. 37a. Einpoliger Schalter.

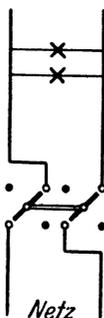


Abb. 37b. Zweipoliger Schalter.

gemäß aber auch für andere Schalterarten. Einzelne Lampen oder kleinere an das Leitungsnetz angeschlossene Lampengruppen werden im allgemeinen einpolig geschaltet, Abb. 37a. Für größere Stromstärken ist doppelpoliges Schalten vorgeschrieben, Abb. 37b. Die Achse der Schalter darf nicht spannungsführend sein. In den Schaltskizzen sind die Glühlampen, wie üblich, durch Kreuze angegeben.

14. Umschalten von Lampengruppen.

Soll von zwei Lampen oder Lampengruppen die eine oder die andere eingeschaltet werden, so kann als Umschalter ein Gruppenschalter nach Abb. 38 verwendet werden. Er kann unter Umständen durch einen sog. Wechselschalter nach Abb. 39 (s. auch Abschn. 16) ersetzt werden. Letzterer besitzt jedoch keine Ausschaltstellung, während bei ersterem auf eine Brennstellung des Schalters jedesmal eine Ausschaltstellung folgt.

15. Die Serienschaltung.

Eine namentlich bei Kronleuchtern vielgebrauchte Schaltung zeigt Abb. 40. Aus den Lampen sind zwei Gruppen gebildet, die mittels eines Serienschalters entweder einzeln oder gleichzeitig eingeschaltet werden können.

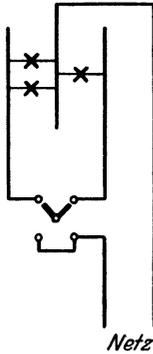


Abb. 38. Gruppenschalter.

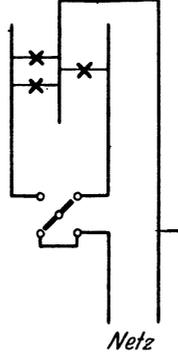


Abb. 39. Umschalter (Wechselschalter).

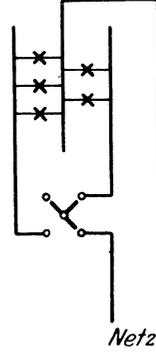


Abb. 40. Serienschalter.

werden können. Es ergeben sich der Reihe nach folgende Schaltstellungen: alle Lampen ausgeschaltet, eine Lampengruppe eingeschaltet (s. Schaltbild), beide Gruppen eingeschaltet, die andere Gruppe eingeschaltet. Wird der Serienschalter als Druckknopfschalter ausgeführt, so können die Lampengruppen in beliebiger Reihenfolge eingeschaltet werden.

16. Die Wechselschaltung.

Um das Ein- und Ausschalten einer Lampe von zwei verschiedenen Stellen aus zu ermöglichen, sind Umschalter nach Abb. 41 erforderlich, sog. Wechselschalter.

In der Regel wird die Wechselschaltung nach Abb. 41a ausgeführt. Unter Umständen bietet jedoch die Schaltung nach Abb. 41b Vorteile hinsichtlich bequemerer Leitungsführung, doch ist mit ihr der Nachteil verbunden, daß in jedem Schalter die volle Netzspannung wirksam ist, was leicht zu Kurzschlüssen im Schalter führen kann.

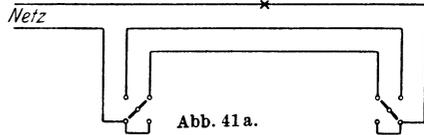


Abb. 41 a.

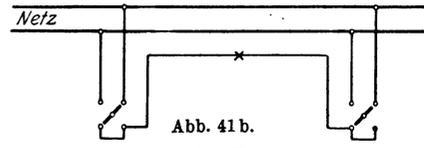


Abb. 41 b.

Abb. 41 a u. 41 b. Wechselschaltung.

17. Die Treppenschaltung.

Der Fall, daß Lampen von mehr als zwei Stellen aus geschaltet werden sollen, kommt namentlich bei der Beleuchtung von Treppenhäusern vor. Die hierfür geeignete Schaltung kann natürlich auch in anderen Fällen verwendet werden. Wie Abb. 42 zeigt, sind an den äußersten Schaltstellen Wechselschalter erforderlich, an den

Zwischenstellen werden sog. Kreuzschalter benötigt. Wird irgendein Schalter bedient, so werden sämtliche Lampen eingeschaltet oder, falls sie eingeschaltet waren, ausgeschaltet. Die Anordnung kann für beliebig viele Schaltstellen angewendet werden.

18. Automatische Treppenbeleuchtung.

Die im vorstehenden Abschnitt angegebene Schaltung ist heute meistens durch eine automatisch wirkende Treppenbeleuchtung ersetzt. Mittels einer Schaltuhr werden die Lampen zu einer festgesetzten Zeit ein- und ebenso zu einer bestimmten Zeit wieder ausgeschaltet.

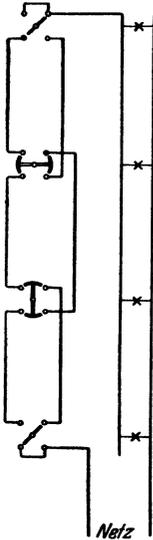


Abb. 42. Treppenschaltung.

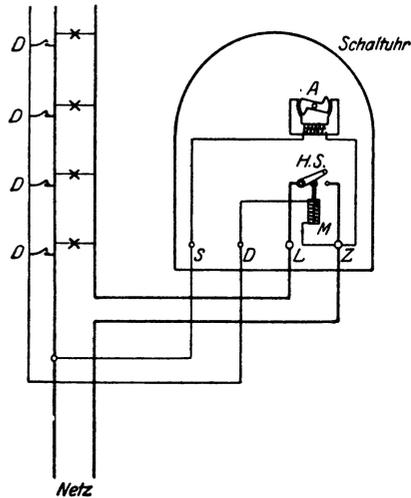


Abb. 43. Treppenbeleuchtung mittels Schaltuhr.

In den Nachtstunden kann die Beleuchtung ferner durch Druckknopfschalter betätigt werden, wobei die Lampen nach einer Brennzeit von wenigen Minuten wieder erlöschen.

Ohne auf die Einrichtung der Schaltuhr im einzelnen einzugehen, ist in Abb. 43 das Prinzip der Schaltung sowie die Art der Leitungsanschlüsse angegeben. Die vier Klemmen der Uhr sind mit *Z* (Zuleitung), *L* (Lampenleitung), *D* (Druckknopfleitung) und *S* (Spannungsleitung) bezeichnet. Wird auf einen der Knöpfe *D* gedrückt, so wird dadurch der Hilfsstromkreis, in dem der Magnet *M* liegt, geschlossen. Der Magnet wird also — durch die Netzspannung — erregt und bewirkt das Einschlagen des Hauptschalters *H.S.*: die Lampen brennen. Das Herausspringen des Schalters nach der gewünschten Zeit und somit das Erlöschen der Lampen wird durch die Uhr selbsttätig veranlaßt. *A* bedeutet die elektrische Aufziehvorrichtung, welche dauernd an der Netzspannung liegt, und mittels der die Feder des Uhrwerks unter dem Einfluß eines kleinen Elektromagneten immer wieder von neuem gespannt wird.

19. Lampen in Reihenschaltung.

Die an ein Verteilungsnetz angeschlossenen Lampen sind in der Regel parallel geschaltet. Steht eine höhere Netzspannung als ungefähr 220 Volt zur Verfügung, so kann jedoch auch eine entsprechende Zahl von Lampen in einen Stromkreis hintereinander geschaltet werden. Abb. 44 zeigt eine derartige Anordnung. Es sind nur zwei Lampen L eingezeichnet, doch kann die Schaltung auf beliebig viel Lampen erweitert werden. Um zu verhindern, daß der ganze Stromkreis unterbrochen ist, wenn eine Lampe ausbrennt, ist für jede Lampe ein Ersatzwiderstand W vorgesehen, welcher mit Hilfe eines kleinen Elektromagneten M , der mit der Glühlampe in Reihe liegt, sich selbsttätig einschaltet, wenn der Strom in der zugehörigen Lampe unterbrochen ist. Damit sich

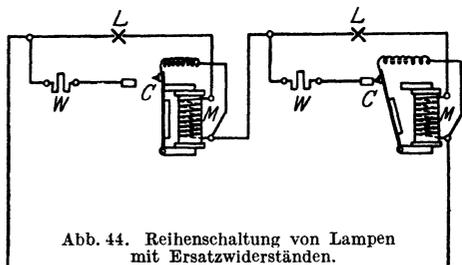


Abb. 44. Reihenschaltung von Lampen mit Ersatzwiderständen.

hierbei die Stromstärke in dem Kreise nicht ändert, muß der Ersatzwiderstand von der gleichen Größe sein wie der Lampenwiderstand. In der Abbildung ist die Lampe links im normalen Betriebe; rechts ist der Ersatzwiderstand eingeschaltet, indem durch den federnden Anker des Magneten der Kontakt C geschlossen ist. Die Reihenschaltung spielte früher namentlich bei Bogenlampen eine Rolle. Doch haben diese seit der Erfindung der hochkerzigen Glühlampe nur noch ein beschränktes Anwendungsgebiet.

Bei einem von der Osram G. m. b. H. ausgebildeten System der Reihenschaltung¹ wird eine Anzahl Niederspannungsglühlampen — etwa Lampen für 24 V — hintereinander geschaltet, aber zu jeder Lampe wird eine gleichartige Ersatzlampe parallel geschaltet, vor welche — zwischen Fassung und Sockel — ein „Kurzschlußwiderstand“ gelegt ist, d. h. ein Widerstand von

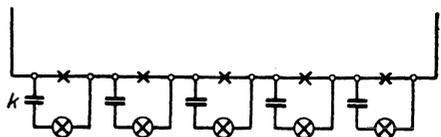


Abb. 45. Reihenschaltung von Lampen mit Ersatzlampen.

hohem Ohmwert, der aber so eingerichtet ist, daß er im Falle des Durchbrennens einer Lampe auf nahezu Null zurückgeht und somit die zugeordnete Ersatzlampe einschaltet. Das Verfahren eignet sich besonders für Straßenbeleuchtung, für die aus Sparsamkeitsrücksichten kleinere Lampen verwendet werden sollen. Es bietet, außer der Ersparnis an Leitungsmaterial, den Vorteil, daß die Lampen bei der zur Anwendung kommenden niedrigen Spannung eine bessere Lichtausbeute haben als solche für höhere Spannungen. In Abb. 45 sind die Ersatzlampen mit kleinen Kreisen versehen, die Kurzschlußkontakte, zwischen denen der Hilfswiderstand liegt, mit k bezeichnet.

¹ Bloch u. Friederich, Straßenbeleuchtung mit Niedervoltlampen in Reihenschaltung. ETZ 1929, 1585.

III. Schaltung der Meßgeräte.

20. Strom- und Spannungsmesser.

Strommesser werden in die Leitung geschaltet, deren Stromstärke bestimmt werden soll, Spannungsmesser zwischen die Leitungen oder die Punkte, deren Spannung festzustellen ist. Daraus ergibt sich die in Abb. 46 dargestellte grundsätzliche Schaltungsweise.

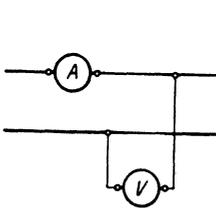


Abb. 46. Strom- und Spannungsmessung.

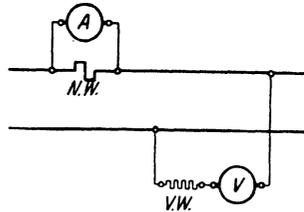


Abb. 47. Strom- und Spannungsmessung unter Anwendung von Meßwiderständen.

A bedeutet den Strommesser oder das Amperemeter, V den Spannungsmesser oder das Voltmeter in dem durch zwei Leitungen angedeuteten Netzteil.

Häufig wird, Abb. 47, der Strommesser zur Erweiterung des Meßbereichs mit einem Nebenwiderstand $N.W.$ versehen, wodurch eine Stromverzweigung erzielt wird, derart, daß dem Instrument nur ein bestimmter Bruchteil des zu messenden Stromes zugeführt wird. Der Spannungsmesser kann aus dem gleichen Grunde mit einem Vorwiderstand $V.W.$ ausgestattet werden, so daß auf ihn nur ein bestimmter Teil der Spannung einwirkt. Bei Schalttafelinstrumenten mit solchen Widerständen wird jedoch, damit die vollen Werte unmittelbar abgelesen werden können, die Skala stets für den Gesamtstrom bzw. die Gesamtspannung eingerichtet. Gegebenenfalls können die Anschlußleitungen der Spannungsmesser abgesichert werden.

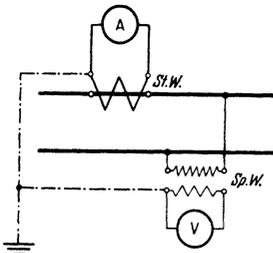


Abb. 48. Strom- und Spannungsmessung in einer Wechselstrom-Hochspannungsanlage.

In Wechselstrom-Hochspannungsanlagen verwendet man vorwiegend Niederspannungsinstrumente unter Zwischenschaltung von Meßwandlern. In Abb. 48 ist dieser Fall schematisch dargestellt. Der Strommesser A ist über den Stromwandler $St.W.$, der Spannungsmesser V über den Spannungswandler $Sp.W.$ an das Leitungsnetz angeschlossen. Die Niederspannungswicklung aller Strom- und Spannungswandler ist zu erden (vgl. Abschn. 10).

21. Umschalter für Spannung- und Strommesser.

Um mit einem Instrument verschiedene Spannungen messen zu können, kann man sich eines Umschalters bedienen. Abb. 49 zeigt die Schaltung. Der Spannungsmesser ist an die Kontaktschienen des Umschalters U gelegt, während die Leitungen, zwischen denen die Spannung

festgestellt werden soll, mit gegenüberliegenden Kontakten verbunden sind. Diese werden durch Schleiffedern mit den Schienen und damit mit dem Voltmeter in Verbindung gebracht. Nach der Abbildung können die Spannungen $P-O$, $O-N$ und $P-N$ gemessen werden, außerdem ist noch ein freies Kontaktpaar vorhanden.

Die vorstehende Anordnung kann in entsprechender Weise auch für Strommessungen gebraucht werden. In jede Leitung, deren Stromstärke ermittelt werden soll, wird alsdann, Abb. 50, ein zum Instrument passender Nebenwiderstand fest eingebaut, und der Strommesser kann mittels

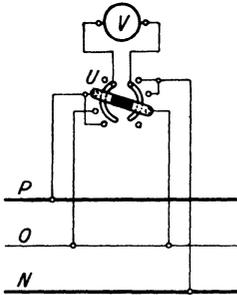


Abb. 49. Spannungsmesser mit Umschalter.

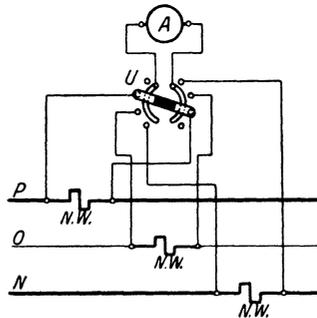


Abb. 50. Strommesser mit Umschalter.

des Umschalters mit jedem der Widerstände verbunden werden. Das Verfahren kommt gelegentlich bei den in Gleichstromanlagen recht beliebten Drehspulinstrumenten zur Anwendung.

In Hochspannungsanlagen kann eine Ersparnis an Meßgeräten in der Weise erfolgen, daß ein Voltmeter auf verschiedene Spannungswandler, ein Amperemeter auf verschiedene Stromwandler umschaltbar gemacht wird. Während die Spannungswandler, wenn das Voltmeter mit ihnen nicht in Verbindung steht, sekundär offen bleiben, ist die Sekundärwicklung der Stromwandler, sobald das Amperemeter nicht an sie angeschlossen ist, kurz zu schließen, was durch geeignete Bauart des Umschalters erreicht wird. Hierdurch wird das Auftreten gefährlicher Spannungen am Wandler vermieden (Beispiel s. Abschn. 99).

22. Leistungsmesser.

a) Für Gleichstrom und Einphasenwechselstrom.

Spannung und Stromstärke bestimmen, bei Gleichstrom wenigstens, die elektrische Leistung: das Produkt von Spannung in Volt und Stromstärke in Ampere gibt die Leistung in Watt. Will man die Leistung unmittelbar messen, so erfordert dies einen Leistungsmesser, ein Wattmeter. Die Wattmeter kommen jedoch namentlich in Wechselstromanlagen zur Anwendung, weil hier aus Spannung und Stromstärke nicht ohne weiteres auf die Leistung geschlossen werden kann, diese vielmehr auch von der zwischen Spannung und Stromstärke bestehenden Phasenverschiebung abhängt.

Die Leistungsmesser können als die Vereinigung von Strom- und Spannungsmesser angesehen werden, und demgemäß sind sie auch zu schalten. Ihre Bauweise ist verschieden, doch enthalten sie stets, Abb. 51, eine Stromspule und eine Spannungsspule. Sie besitzen daher vier

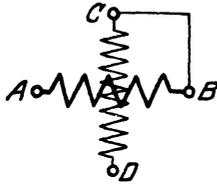


Abb. 51. Spulenordnung des Leistungsmessers.

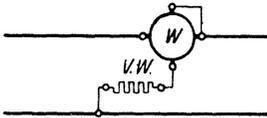


Abb. 52. Leistungsmessung bei Gleichstrom und einphasigem Wechselstrom.

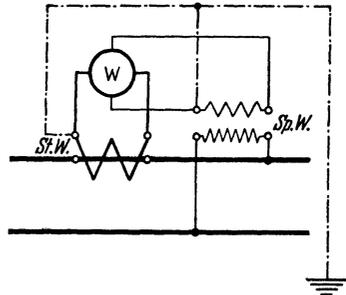


Abb. 53. Leistungsmessung in einer Wechselstrom-Hochspannungsanlage.

Klemmen, zwei Stromklemmen *A*, *B* und zwei Spannungsklemmen *C*, *D*. Eine der beiden Stromklemmen ist unmittelbar mit einer Spannungsklemme zu verbinden, z. B. *B* mit *C*. Wird die entsprechende Verbindung im Innern des Gerätes hergestellt, so bleiben demnach nur drei Anschlußklemmen übrig. Abb. 52 zeigt den Anschluß des Wattmeters *W* an ein Gleichstrom- oder ein einphasiges Wechselstromnetz. Für die Spannungsspule ist in der Regel ein Vorwiderstand *V.W.* erforderlich, der in der Abbildung besonders angegeben ist, obwohl er vielfach im Innern des Instrumentes fest angebracht wird.

Bei Leistungsmessungen in Hochspannungsnetzen ist man auf die Verwendung von Strom- und Spannungswandler angewiesen, wie Abb. 53 zeigt.

b) Für Drehstrom.

Bei Drehstrom kann die Leistung nach der Dreiwattmetermethode, d. h. unter Zuhilfenahme von drei Wattmetern gemessen werden, deren Spannungsspulen mit ihren freien Enden mit dem Stern-

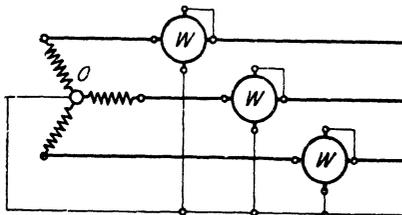


Abb. 54. Leistungsmessung bei Drehstrom, Dreiwattmeterschaltung.

oder Nullpunkt *O* des Systems verbunden sind, Abb. 54. In diesem Falle mißt man die Leistung jeder einzelnen Phase. Kann gleiche Belastung aller Phasen angenommen werden, so kommt man mit einem einzigen Instrument aus, an dessen Skala bei Schalttafelinstrumenten die Gesamtleistung — gleich der dreifachen Phasenleistung — abgelesen werden kann. Ist der Sternpunkt des Systems nicht zugänglich, z. B. bei Dreieckschaltung, so kann ein künstlicher Sternpunkt mit Hilfe von drei nach Abb. 55 geschalteten Widerständen geschaffen werden.

Ein sehr beliebtes Verfahren der Leistungsmessung bedient sich der **Zweiwattmeterschaltung**, Abb. 56. Es bietet die Möglichkeit, mit nur zwei Leistungsmessern auszukommen und führt auch bei ungleicher

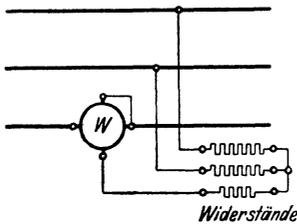


Abb. 55. Leistungsmessung bei Drehstrom mit künstlichem Nullpunkt.

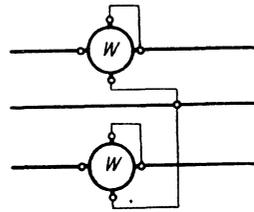


Abb. 56. Leistungsmessung bei Drehstrom, Zweiwattmeterschaltung.

Phasenbelastung zu richtigen Ergebnissen. Die Gesamtdrehstromleistung ist gleich der arithmetischen Summe der von den beiden Leistungsmessern angezeigten Werte, wenn die Instrumente im gleichen Sinn geschaltet sind.

Um ein unmittelbares Ablesen der Gesamtleistung zu ermöglichen, können bei der Dreiwattmethode drei, bei der Zweiwattmetermethode zwei Einphasensysteme zu einem Instrument in der Weise vereinigt werden, daß der Zeigerausschlag der Summe der von den einzelnen Systemen gemessenen Leistungen entspricht. Abb. 57 zeigt für die Zweiwattmetermethode die innere Schaltung eines derartigen Gerätes, wie es auf Schalttafeln häufig zu finden ist. Abb. 58 läßt seine Verbindung mit den Netzleitungen erkennen.

Die vorstehenden Schaltungen zur Leistungsmessung in Drehstromanlagen können auch auf Hochspannung übertragen werden. Es müssen alsdann wieder Wandler zu Hilfe genommen werden. Beispiele solcher Anordnungen sind in

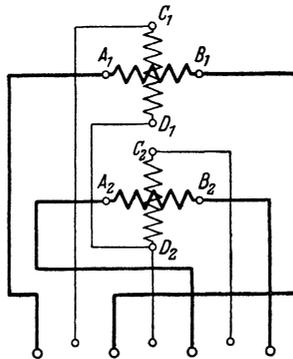


Abb. 57. Spulenanordnung eines Gerätes in Zweiwattmeterschaltung.

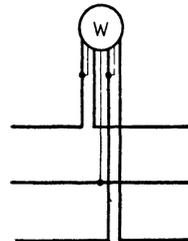


Abb. 58. Leistungsmessung bei Drehstrom mit einem Gerät in Zweiwattmeterschaltung.

den nachfolgenden Abbildungen gegeben. So zeigt Abb. 59, der Dreiwattmetermethode entsprechend, den Anschluß eines Wattmeters an ein Hochspannungsnetz, dessen Sternpunkt zugänglich ist, während in Abb. 60 ein künstlicher Sternpunkt mittels eines dreiphasigen Spannungswandlers geschaffen ist. Beide Anordnungen sind nur bei gleicher Phasenbelastung zulässig. Die in Abb. 61 dargestellte Zweiwattmeterschaltung ist dagegen auch bei verschiedener Belastung der Phasen anwendbar.

Die Wicklungen der Spannungswandler sind in den vorstehenden Schaltungen auf der primären und sekundären Seite in „Stern“ verkettet. Doch kann statt dessen auch die sog. *V*-Schaltung benutzt werden,

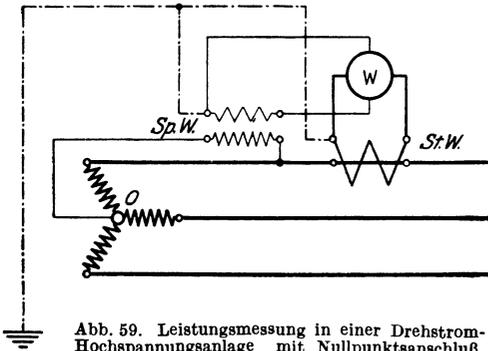


Abb. 59. Leistungsmessung in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit Nullpunktanschluß.

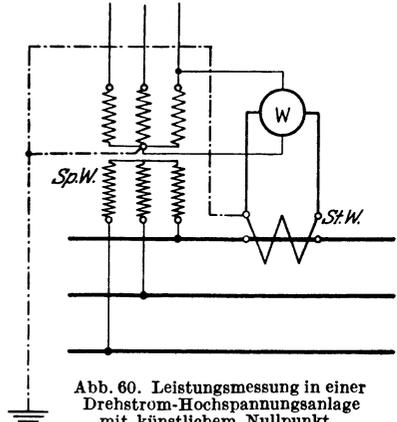


Abb. 60. Leistungsmessung in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit künstlichem Nullpunkt.

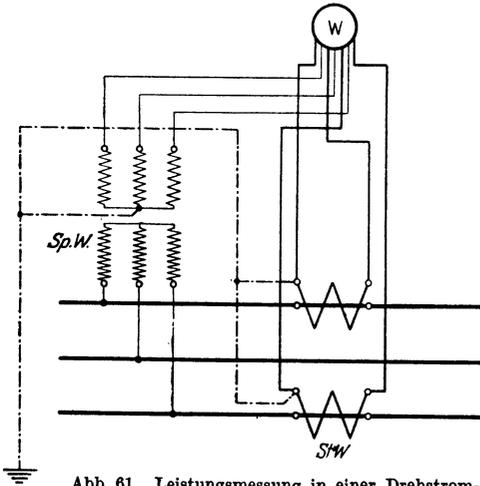


Abb. 61. Leistungsmessung in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit einem Gerät in Zwei-wattmeterschaltung.

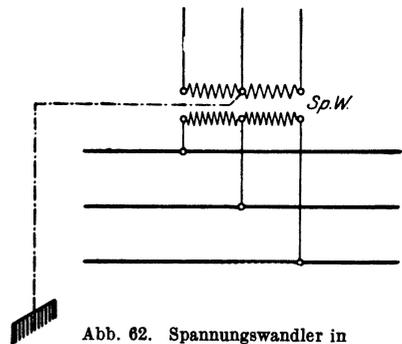


Abb. 62. Spannungswandler in *V*-Schaltung für Leistungsmessung in Zwei-wattmeterschaltung.

bei der zwei Einphasen-Spannungswandler verwendet werden, die nach Art der Abb. 62 „in offener Dreieckschaltung“ verbunden sind.

23. Arbeitsmesser.

Um die von den Stromerzeugern verrichtete oder die den Verbrauchsstellen zugeführte Arbeit zu messen, bedient man sich der Wattstundenzähler. Sie sind ähnlich eingerichtet wie die Leistungsmesser, besitzen also auch eine Strom- und eine Spannungsspule. Während jedoch bei den Wattmetern die Leistung durch Zeigerausschlag angegeben wird, wird bei den Zählern die Arbeit fortlaufend registriert. Zu diesem

Zwecke werden sie meistens mit einem drehbaren System ausgestattet, dessen Umdrehungszahl ein Maß für die Arbeit ist. Diese kann an einem Zifferwerk abgelesen werden.

Wie in ihrem grundsätzlichen Aufbau, so entsprechen die Elektrizitätszähler den Leistungsmessern auch nach der Art ihres Anschlusses. Es kann daher im allgemeinen auf die im vorigen Abschnitt gegebenen Schaltskizzen der Wattmeter verwiesen werden, die auch für den Anschluß der Zähler maßgebend sind.

Um ein bequemes Anschließen des Zählers zu ermöglichen, kann die Verbindung der Spannungsspule von vornherein in seinem Innern in der Weise bewirkt werden, daß lediglich die Netzleitungen einzuführen

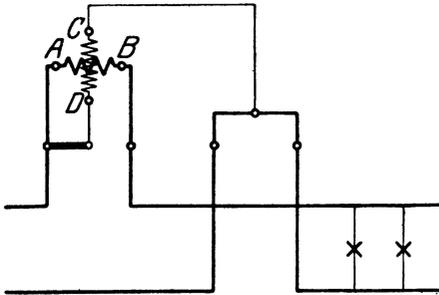


Abb. 63. Zweileiterzähler.

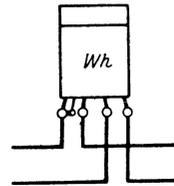


Abb. 63a. Zweileiterzähler: Schaltzeichen.

sind. Als Beispiel hierfür ist in Abb. 63 das Schema eines Zweileiterzählers — für Gleich- oder Wechselstrom — gegeben. Die Schaltung entspricht völlig der in Abb. 52 dargestellten Wattmeterschaltung. Den Anschluß des Zählers, vereinfacht dargestellt, zeigt Abb. 63a.

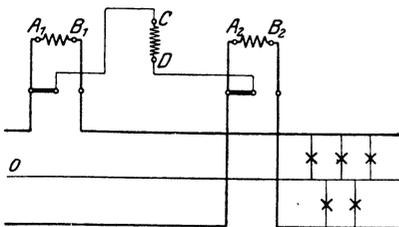


Abb. 64. Dreileiterzähler mit Außenleiteranschluß.

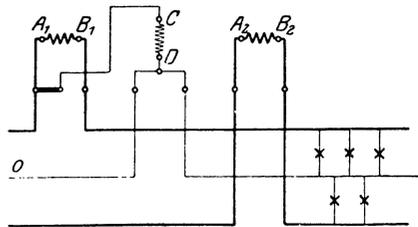


Abb. 65. Dreileiterzähler mit Mittelleiteranschluß.

Abb. 64 läßt die Schaltung eines Gleichstrom-Dreileiterzählers erkennen. Ein solcher benötigt zwei Stromspulen und eine gemeinsame Spannungsspule. Letztere ist an die beiden Außenleiter gelegt, kann aber auch, wie in Abb. 65, an einen Außenleiter und den Mittelleiter O angeschlossen werden.

Für Drehstromzähler kommt namentlich die Zweiwattmeterschaltung zur Anwendung, Abb. 66 und 66a. Doch ist in Anlagen mit Nulleiter auch die Dreiwattmeterschaltung der Zähler, Abb. 67, gebräuchlich.

In Gleichstromanlagen mit konstanter Netzspannung begnügt man sich bisweilen mit der Verwendung von Amperestundenzählern. Sie sind billiger als Wattstundenzähler, da sie lediglich eine Stromspule besitzen, während die Spannungsspule fortfällt. Sie werden genau wie die

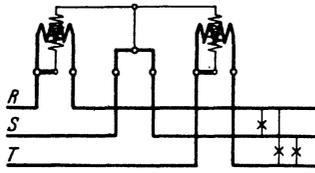


Abb. 66. Drehstromzähler, Zweiwattmeterschaltung.

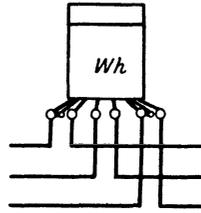


Abb. 66 a. Drehstromzähler: Schaltzeichen.

Amperemeter angeschlossen. Für eine bestimmte Netzspannung läßt sich auch an solchen Zählern bei entsprechender Eichung die Arbeit unmittelbar in Wattstunden ablesen, wobei die durch Spannungsschwankungen hervorgerufenen Abweichungen jedoch unberücksichtigt bleiben.

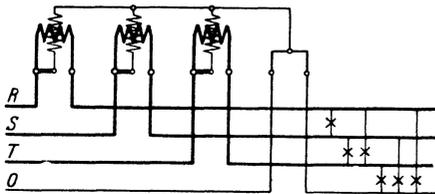


Abb. 67. Drehstromzähler, Dreiwattmeterschaltung.

Zum Anzeigen des Leistungsfaktors $[\cos \varphi]$ eines Wechselstromnetzes dienen die Phasenmesser. Ihre Bauweise ist der der Leistungsmesser ähnlich, und sie werden auch in der gleichen Weise wie diese an das Netz angeschlossen.

24. Phasenmesser.

Zum Anzeigen des Leistungsfaktors $[\cos \varphi]$ eines Wechselstromnetzes dienen die Phasenmesser. Ihre Bauweise ist der der Leistungsmesser ähnlich, und sie werden auch in der gleichen Weise wie diese an das Netz angeschlossen.

Zum Anzeigen des Leistungsfaktors $[\cos \varphi]$ eines Wechselstromnetzes dienen die Phasenmesser. Ihre Bauweise ist der der Leistungsmesser ähnlich, und sie werden auch in der gleichen Weise wie diese an das Netz angeschlossen.

25. Frequenzmesser.

Zur Bestimmung der sekundl. Periodenzahl eines Wechselstroms in Hertz benutzt man Frequenzmesser. Es sind hauptsächlich auf dem Resonanzprinzip beruhende Geräte im Gebrauch, bei denen die Frequenz durch schwingende Stahlfungen angezeigt wird. Der Anschluß der Frequenzmesser erfolgt nach Art der Spannungsmesser.

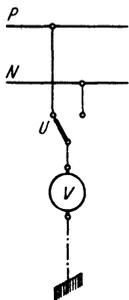


Abb. 68. Spannungsmesser als Erdschlußanzeiger.

26. Erdschlußanzeige.

a) Für Gleichstrom.

Um den Isolationszustand einer Anlage jederzeit feststellen zu können, kann ein Erdschlußanzeiger eingebaut werden: ein Voltmeter für die Betriebsspannung wird mit der einen Klemme an die zu untersuchende Leitung, mit der anderen Klemme an Erde gelegt. Besitzt in Abb. 68 die Leitung P eines Gleichstromnetzes einen Erdschluß, während die Leitung N sich in gutem Isolationszustand befindet, so zeigt das Voltmeter, wenn es mittels des Umschalters U an P gelegt wird, keine Spannung an, wohl aber, wenn

es mit N verbunden wird. Aus der Größe des Ausschlages kann auf den Isolationswiderstand der Leitung geschlossen werden: bei einem vollkommenen Erdschluß zeigt das Voltmeter die volle Betriebsspannung. Statt eines Spannungsmessers kann auch eine Glühlampe verwendet werden. Aus der Helligkeit ihres Aufleuchtens läßt sich ein ungefährer Schluß auf den Isolationszustand der Leitungen ziehen.

b) Für Einphasenstrom.

Bei einphasigem Wechselstrom ist für die Isolationsprüfung die gleiche Schaltung anzuwenden wie für Gleichstrom. Bei Hochspannung können, soweit die Spannung nicht mehr als ungefähr 15000 Volt beträgt, elektrostatische Spannungsmesser benutzt werden. Bei Verwendung anderer Instrumente ist eine Spannungsgrenze nicht gegeben, wenn man zum Anschluß der Erdschlußvoltmeter Spannungswandler verwendet. Diese sind mit dem einen Ende ihrer Primärwicklung an die betreffende Leitung, mit dem anderen Ende an Erde zu legen, während der Spannungsmesser auf die Sekundärwicklung geschaltet wird.

c) Für Drehstrom.

Für ein Drehstromnetz kann man zur Erdschlußüberwachung drei Spannungsmesser verwenden, die nach Abb. 69 geschaltet sind. Solange

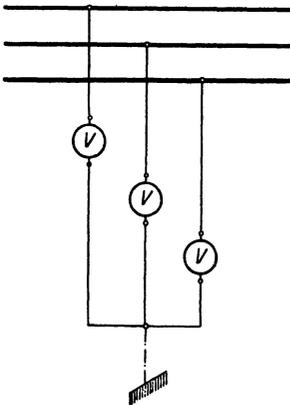


Abb. 69. Erdschlußanzeiger in einer Drehstromanlage.

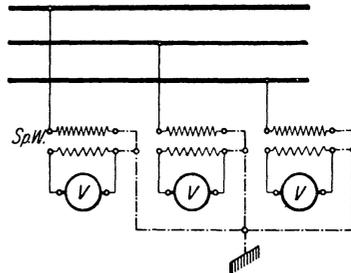


Abb. 70. Erdschlußanzeiger in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit drei einphasigen Spannungswandlern.

das Netz gesund ist, zeigen alle Geräte die gleiche Spannung an: die Phasenspannung der Anlage, d. h. den $\cdot 1,73$ Teil der Netzspannung.

Tritt in einer Leitung ein Erdschluß auf, so geht der Zeiger des an diese Leitung angeschlossenen Spannungsmessers auf Null zurück, während die beiden anderen Messer nunmehr die volle Netzspannung angeben. Kleinere Isolationsfehler machen sich durch verschieden große Ausschläge an den Geräten bemerkbar.

In Drehstrom-Hochspannungsanlagen muß wiederum, soweit nicht elektrostatische Instrumente zur Anwendung kommen, der Anschluß der Voltmeter über Spannungswandler erfolgen. Der Abb. 70 sind drei einphasige Wandler zugrunde gelegt. Je ein Ende ihrer Primärwicklung ist geerdet. Die Erde bildet also den gemeinsamen

Verkettungspunkt der Wandler. Die sekundäre Wicklung jedes Wandlers arbeitet auf einen Spannungsmesser, je ein Wicklungsende ist mit an Erde gelegt (s. Abschn. 10). Eine andere gebräuchliche Schaltung zeigt

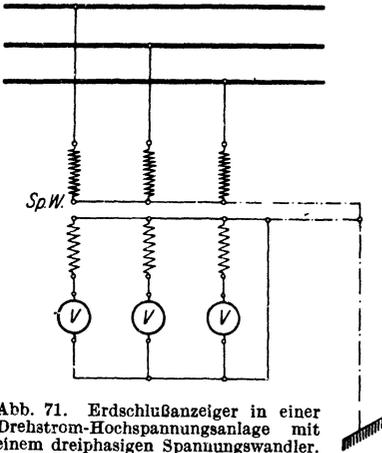


Abb. 71. Erdschlußanzeiger in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit einem dreiphasigen Spannungswandler.

so, daß nicht durch das Absinken der Spannung in der kranken Phase diese kenntlich gemacht wird, sondern daß dies durch das Anwachsen der Spannung in den beiden gesunden Phasen geschieht, was für ein

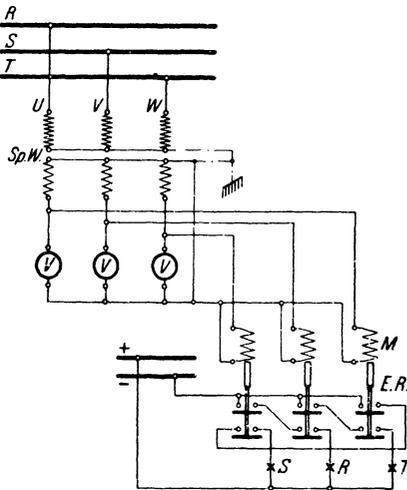


Abb. 72. Erdschluß-Anzeigerrelais der AEG.

zuverlässig arbeitendes Relais erwünscht ist. Die Erregung der drei Magnete M des Relais $E.R.$ erfolgt von dem Spannungswandler der Erdschluß-Anzeigervorrichtung aus. Für die Meldeleuchten ist eine Gleichstromhilfsquelle angenommen. Tritt nun beispielsweise in der Leitung S ein Erdschluß ein, so werden die an die Phasen U und W des Spannungswändlers angeschlossenen Magnetspulen des Relais, die den Leitungen R und T entsprechen, so stark erregt, daß ihre Anker gehoben werden. Dadurch wird, wie sich im Schaltbild leicht verfolgen läßt, die mit S bezeichnete Lampe in den Hilfsstromkreis eingeschaltet. Entsprechend werden die Lampen R und T zum Leuchten kommen, wenn in den betreffenden Leitungen ein Erdschluß auftritt. Mit der beschriebenen Einrichtung können auch Signalrelais bestätigt werden, durch welche eine Hupe oder eine andere Alarmeinrichtung im Falle des Erdschlusses ausgelöst wird.

¹ Piloty, Ein neues Erdschluß-Anzeigerrelais. AEG-Mitteilungen 1927, 443.

Abb. 71 unter Berücksichtigung eines dreiphasigen Spannungswändlers. In diesem Falle ist der Sternpunkt der primären Wicklungen des Wandlers zu erden. Die drei Phasen der Sekundärwicklung haben noch einen gemeinsamen Leitungsschluß erhalten und sind ebenfalls mit an die Erdleitung angeschlossen.

Der Eintritt eines Erdschlusses und die davon betroffene Leitung können auch durch eine Meldelampe erkennbar gemacht werden. In Abb. 72 ist das Erdschluß-Anzeigerrelais der AEG¹ angegeben. Es ist mit der in Abb. 71 dargestellten

Einrichtung verknüpft und wirkt

Vielfach verbindet man die Erdschluß-Anzeigevorrichtung mit den zur Ableitung statischer Ladungen dienenden Erdungsdrosselspulen (s. Abschn. 12). Diese haben dann die Bedeutung der Primärwicklung von Spannungswandlern, denen Sekundärwicklungen zum Anschluß der Erdschlußvoltmeter zugeordnet sind (vgl. z. B. Abb. 192).

IV. Elektrizitätswerke mit Gleichstrombetrieb.

A. Gleichstrommaschinen und Akkumulatoren.

27. Die fremderregte Maschine.

Die Gleichstrommaschinen werden nach der Art ihrer Felderregung eingeteilt in fremd- und selbsterregte. Bei den Maschinen mit Fremderregung wird der Erregerstrom von einer besonderen Stromquelle geliefert. Ihre Schaltung zeigt Abb. 73. Es bedeutet AB den Anker, JK die Magnetwicklung. Von den Ankerklemmen werden die Außenleitungen abgenommen. Die Belastung ist durch einige Glühlampen angedeutet. Die Magnetwicklung ist an eine Akkumulatorenbatterie angeschlossen. Mit Hilfe eines in den Magnetkreis eingeschalteten Kurbelwiderstandes, des Magnet- oder Feldreglers, kann die Erregerstromstärke und damit die Spannung der Maschine auf den gewünschten Wert einreguliert und letztere bei schwankender Belastung konstant gehalten werden. Der Drehpunkt der Reglerkurbel ist mit s , der Kurzschlußkontakt mit t bezeichnet.

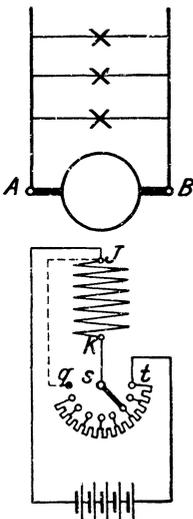


Abb. 73. Fremd-erregte Maschine.

Um den beim Ausschalten des Erregerstromes auftretenden Selbstinduktionsstoß unschädlich zu machen, kann der Ausschaltkontakt q des Reglers mit dem mit dem Regler nicht in Verbindung stehenden Ende der Magnetwicklung verbunden werden, wodurch dem Selbst-

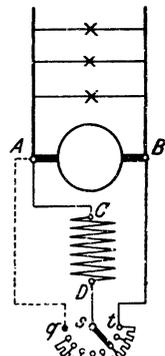


Abb. 74. Nebenschlußmaschine.

induktionsstrom ein geschlossener Weg geboten und die Neigung zur Funkenbildung am Ausschaltkontakt abgeschwächt wird. Die Ausschaltleitung ist im Schaltbild durch eine gestrichelte Linie angegeben.

28. Die Nebenschlußmaschine.

Die meisten Maschinen arbeiten mit Selbsterregung der Magnete. Wird ein Teil des im Anker der Maschine erzeugten Stromes für die Erregung abgezweigt, so erhält man die Nebenschlußmaschine, die hauptsächlich verwendete Gleichstrommaschine. Bei ihr liegt also die Magnetwicklung CD parallel zum äußeren Stromkreis, wie es das Schaltbild Abb. 74 zeigt, in dem auch der Magnetregler, hier Nebenschluß-

regler genannt, eingezeichnet ist. Die gestrichelt angedeutete Leitung dient, wie im vorigen Abschnitt angegeben, zum selbstinduktionsfreien Ausschalten. Abb. 75 zeigt das vom VDE festgesetzte „Schaltkurzzeichen“ der Nebenschlußmaschine. In ihm ist die Schaltung der Maschine sehr vereinfacht zum Ausdruck gebracht.

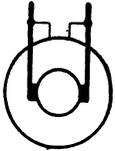


Abb. 75. Schaltkurzzeichen der Nebenschlußmaschine.

Um eine feinstufige Regelung der Maschinenspannung zu ermöglichen, ohne die Zahl der Kontakte wesentlich zu vermehren, kann der in Abb. 76 angegebene Regler verwendet werden. Er ist mit zwei Kurbeln versehen. Die Kurbel g bestreicht die Kontaktbahn des Hauptwiderstandes und ermöglicht lediglich eine Grobregulierung. Die Kurbel f dient zum Feinregulieren. Die ihm zugehörige Widerstandsabteilung besteht aus nur wenigen Stufen, deren Gesamtwiderstandswert ungefähr dem einer Stufe des Hauptwiderstandes entspricht.

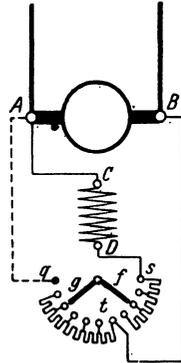


Abb. 76. Nebenschlußregler mit Feineinstellung.

29. Die Hauptschlußmaschine.

Bei der Hauptschlußmaschine sind der Anker AB und die Magnetwicklung EF hintereinander geschaltet, Abb. 77 und 78. Die Spannung der Maschine richtet sich ganz und gar nach der Belastung.

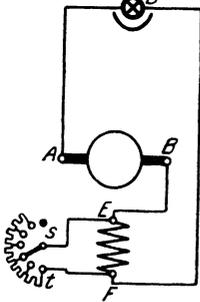


Abb. 77. Hauptschlußmaschine.

Solange der Maschine kein Strom entnommen wird, liefert sie auch keine Spannung. Da die an ein Stromverteilungsnetz angeschlossenen Stromverbraucher in der Regel mit einer gleichbleibenden Spannung betrieben werden sollen, so wird die Hauptschlußmaschine nur selten zur Stromerzeugung verwendet. Eine Spannungsregelung kann mit Hilfe eines zur Magnetwicklung parallel liegenden Regulierwiderstandes, in der Abbildung mit s, t bezeichnet, vorgenommen werden.



Abb. 78. Schaltkurzzeichen der Hauptschlußmaschine.

Im Schaltbild Abb. 77 ist angenommen, daß die Maschine auf einen Scheinwerfer S arbeitet, wodurch gleichzeitig ein Anwendungsgebiet der Hauptschlußmaschine gekennzeichnet ist.

30. Die Doppelschlußmaschine.

In manchen Fällen bietet die Anwendung einer Doppelschlußmaschine Vorteile: die Magnete erhalten sowohl eine Nebenschluß- als auch eine Hauptschlußwicklung. Die Maschine, häufig auch Compoundmaschine genannt, zeichnet sich durch eine bei allen Belastungen gleichbleibende Spannung aus. Oder sie ist „überkompoundiert“, und ihre Spannung steigt alsdann mit zunehmender Belastung

ein wenig an. Die Nebenschlußwicklung CD kann entweder an die Bürstenspannung AB , wie im Schaltbild Abb. 79 a, oder, wie in Abb. 79 b, an die Klemmenspannung AF angeschlossen werden. Mit Hilfe des Nebenschlußreglers wird die Spannung auf den gewünschten Wert eingestellt. Die mit q verbundene Ausschaltleitung ist wie in den vorhergehenden Schaltbildern angedeutet. Das Schaltkurzzeichen des VDE zeigt Abb. 80.

31. Maschinen mit Wendepolen und kompensierte Maschinen.

Die Gleichstrommaschinen werden vielfach mit Wendepolen versehen, Hilfspolen, welche zwischen den Hauptpolen angeordnet und vom Ankerstrom in der Weise erregt werden, daß bei der Drehung des Ankers die auf ihm untergebrachten, der Induktion unterworfenen Drähte vor ihrem Vorbeigang an einem Hauptpol zunächst immer erst an einem Wendepol der gleichen Polarität vorüber

müssen. Durch die Wendepole wird das magnetische Querfeld des Ankers aufgehoben und die Neigung zur Funkenbildung an den auf dem Kollektor schleifenden Bürsten vermindert. Wendepole werden daher namentlich an Maschinen angebracht, welche besonders schweren Betriebsbedingungen genügen müssen.

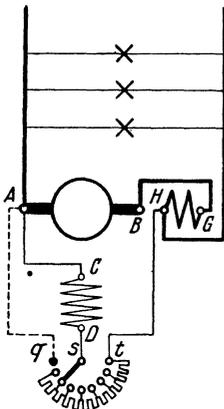


Abb. 81. Maschine mit Wendepolen oder kompensierte Maschine.

Das Schaltbild einer Nebenschlußmaschine mit Wendepolen ist in Abb. 81 wiedergegeben. Die Wendepolwicklung hat die Bezeichnung GH . Daß das Ankerfeld und das Feld der Wendepole entgegengesetzte Richtung haben, ist in der Abbildung zum Ausdruck gebracht, wie überhaupt in den Schaltbildern der Maschinen die Wicklungen in einer solchen gegenseitigen Lage gezeichnet sind, daß die Richtung ihrer Achse gleichzeitig die Richtung der von ihnen erzeugten magnetischen Felder angibt. So deutet z. B. AB stets die Richtung des Ankerstromes und gleichzeitig des von der Ankerwicklung hervorgerufenen Feldes, GH die Stromrichtung in der Wendepolwicklung und gleichzeitig die Richtung des Wendefeldes an. Das Schaltkurzzeichen einer Nebenschlußmaschine mit Wendepolen zeigt Abb. 82.

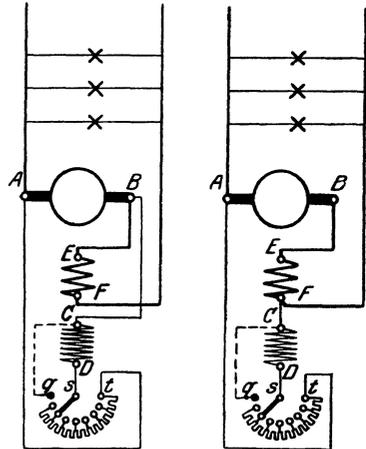


Abb. 79 a. Abb. 79 b. Doppelschlußmaschine.

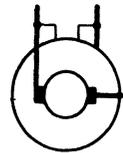


Abb. 80. Schaltkurzzeichen der Doppelschlußmaschine.



Abb. 82. Schaltkurzzeichen einer Maschine mit Wendepolen.

Das Schaltbild der Wendepolmaschine gilt auch für die kompensierte Gleichstrommaschine. Ihr Magnetgestell besitzt keine ausgeprägten Pole, sondern umschließt den Anker als Hohlzylinder. In Nuten des Hohlzylinders wird die Kompensationswicklung GH untergebracht, die, wie die Wendepolwicklung, vom Ankerstrom durchflossen und durch welche das magnetische Feld des Ankers in besonders vollkommener Weise aufgehoben wird. Um das zur Erzielung funkenfreien Laufes erforderliche Wendefeld zu schaffen, sind auch bei der kompensierten Maschine Wendepole erforderlich, deren Wicklung ebenfalls in Nuten des Magnetgestells untergebracht wird.

In den nachfolgenden Plänen sind Wendepol- und Kompensationswicklungen an den Maschinen, da ihr Vorhandensein lediglich deren inneren Aufbau betrifft, im allgemeinen nicht angegeben.

32. Schaltung und Drehsinn der Gleichstrommaschinen.

Gleichstrommaschinen werden im allgemeinen von der Fabrik, je nach Bestellung, für eine bestimmte Drehrichtung geliefert, wobei diese von der Antriebsseite, in der Regel also der dem Kollektor entgegengesetzten Seite angegeben wird. Soll die Maschine für eine andere Umlaufrichtung verwendet werden, so ist bei der erforderlichen Umschaltung zu berücksichtigen, daß die Richtung des Stromes in der Magnetwicklung ungeändert bleibt, damit die Pole stets den gleichen Restmagnetismus beibehalten. Hierbei ändert sich die Richtung des im Anker erzeugten und damit auch des von ihr in das Netz

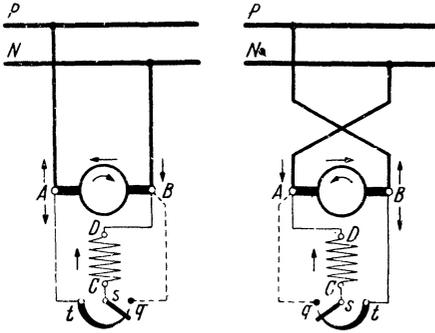


Abb. 83. Nebenschlußmaschine für Rechtslauf.

Abb. 84. Nebenschlußmaschine für Linkslauf.

gelieferten Stromes. Die Verbindung einer etwa vorhandenen Wendepolwicklung zum Anker darf bei der erforderlichen Umschaltung der Maschine nicht geändert werden.

In den „Regeln für Klemmenbezeichnungen“ des VDE¹ sind Schaltungsbeispiele angegeben. Ihnen entsprechen die Abb. 83 und 84 einer Nebenschlußmaschine für Rechtslauf — Drehung im Uhrzeigersinn — und Linkslauf — entgegen dem Uhrzeigersinn. Der Nebenschlußregler ist in beiden Fällen an die Magnetklemme C angeschlossen, während die Klemme D mit der Maschine verbunden ist (vgl. Abschn. 56). Der Regler ist in den Abbildungen unter Fortlassung der Kontaktbahn durch eine gebogene, nach dem Kurzschlußkontakt, also der Gegend größerer Stromstücke stärker werdenden Linie angegeben. Diese Darstellung wird auch nachfolgend vielfach für die verschiedenen Arten von Regelwiderständen angewendet werden.

¹ ETZ 1938, 1215.

33. Die Akkumulatorenatterie.

Große Vorteile bietet in einer Stromerzeugungsanlage die Anwendung einer Akkumulatorenatterie. Ihr wird während der Ladung elektrische Energie zugeführt, und diese kann ihr nach Bedarf wieder entnommen werden. Es läßt sich daher durch Aufstellung einer Batterie eine wesentliche Vereinfachung in der Betriebsführung des Werkes erzielen. Lade- und Entladestrom sind entgegengesetzt gerichtet. Die Batterie setzt sich je nach der Betriebsspannung aus einer mehr oder weniger großen Zahl von Zellen zusammen. Sie wird zu den Betriebsmaschinen parallel geschaltet und greift daher beim Versagen der Maschinen selbsttätig ein, wodurch die Betriebssicherheit der Anlage erheblich erhöht wird.

Während der Ladung steigt die Spannung der Batterie allmählich an, bis auf ungefähr das $1\frac{1}{2}$ fache der Netzspannung. Diese höhere Spannung kann durch entsprechend stärkere Erregung der Betriebsmaschine erzielt werden, oder es ist eine besondere Zusatzmaschine aufzustellen, die mit der Betriebsmaschine in Reihe geschaltet wird.

a) Der Einfachzellenschalter.

Da die Spannung der Akkumulatorenatterie zu Beginn der Entladung größer ist als die Netzspannung, so müssen zunächst einige Zellen abgeschaltet werden, die in dem Maße, wie die Entladung der Batterie fortschreitet, allmählich wieder hinzuzufügen sind. Hierzu gebraucht man einen Zellen-schalter. Derselbe wird auch für das Aufladen der Batterie benötigt, um nacheinander die Zellen abzuschalten, deren Ladung beendet ist. Das ist bei den Schaltzellen früher der Fall als bei den Stammzellen, da sie bei der Entladung nur nach und nach in Benutzung genommen werden. In Abb. 85 ist das Schaltzeichen des VDE dargestellt, das Schaltbild einer Batterie mit Zellen-schalter zeigt Abb. 86.

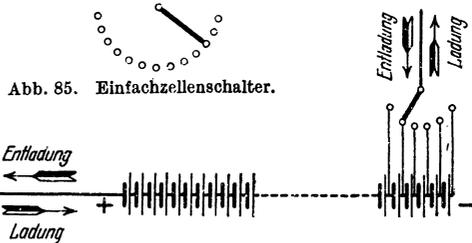


Abb. 85. Einfachzellenschalter.

Abb. 86. Akkumulatorenatterie mit Einfachzellenschalter.

Auf die Ausführung des Zellen-schalters soll nicht näher eingegangen werden; es ist bei der Konstruktion darauf Rücksicht zu nehmen, daß beim Übergang aus einer Kurbelstellung in die nächste weder eine Stromunterbrechung eintritt, noch einzelne Zellen durch Kurzschluß gefährdet werden.

b) Der Doppelzellenschalter.

Soll die Batterie auch während der Ladung mit dem Netz in Verbindung bleiben, so sind, um die Entladespannung unabhängig von der Ladespannung einstellen zu können, zwei Zellen-schalter erforderlich. In der Regel werden beide Schalter zu einem Doppelzellenschalter in der Weise vereinigt, daß über einer gemeinsamen Kontaktplatte

zwei Kontaktfedern verschiebbar angebracht werden, eine für die Ladung und eine für die Entladung. Das genormte Schaltzeichen für den Doppelzellenschalter zeigt Abb. 87. Eine Batterie mit Doppelzellenschalter ist schematisch in Abb. 88 dargestellt, jedoch ist der Deutlichkeit wegen die Kontaktbahn für die Lade- und Entladeseite getrennt gezeichnet. Die Bedienung des Zellschalters erfolgt durch zwei Kurbeln, welche die Kontaktfedern tragen.

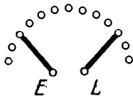


Abb. 87. Doppelzellenschalter.

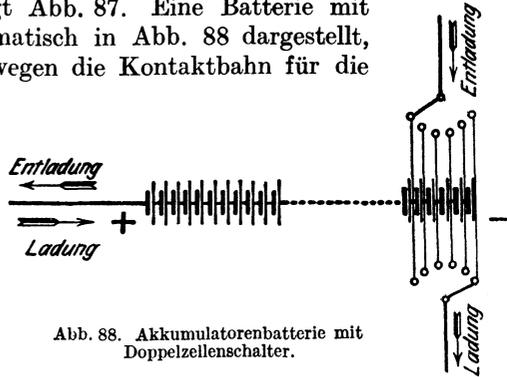


Abb. 88. Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter.

c) Der leitungsparende Zellschalter.

Um die Zahl der zwischen Batterie und Zellschalter erforderlichen Verbindungsleitungen zu vermindern, können jedesmal zwei Zellen zwischen benachbarte Kontakte des Zellschalters angeschlossen werden. Um trotzdem die gleiche Feinheit in der Regelung zu erreichen wie beim Anschluß von Zelle zu Zelle, läßt sich unter Anwendung einer

Hilfszelle noch eine Zwischenstufe zwischen je zwei Hauptstellungen des Zellschalters einführen. Abb. 89 zeigt das Prinzip der Einrichtung für einen Einfachzellenschalter. Die beiden mechanisch miteinander verbundenen, aber elektrisch voneinander isolierten Hauptbürsten B_1 und B_2 sowie die Hilfsbürste B_3 sind zwangsläufig in der Weise miteinander gekuppelt, daß jedesmal, wenn die Hauptbürsten um eine halbe Stufe verschoben werden, die Hilfsbürste ebenfalls verschoben wird, und zwar abwechselnd zwischen den Stellungen *a* und *b*. In Stellung *a* ist nun die Hilfszelle *H* ausgeschaltet, in

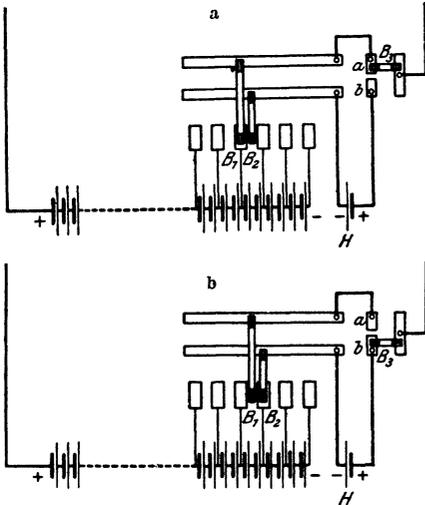


Abb. 89a u. 89b. Leitungsparender Zellschalter.

Stellung *b* wirkt ihre Spannung dagegen der Batteriespannung entgegen, was in der Wirkung dasselbe ist, als ob eine Zelle weniger eingeschaltet wäre. Das Weiterücken der Hauptbürsten von halber zu halber Stufe läuft also, wie ein Vergleich der Abb. 89a und b verdeutlicht, auf das gleiche hinaus, als ob jedesmal nur eine Zelle zu- oder abgeschaltet würde.

Die konstruktive Ausbildung des leitungsparenden Zellschalters, der von den SSW hergestellt wird, kann hier nicht erörtert werden.

B. Zweileiterzentralen.

34. Betrieb mit einer Nebenschluß- oder Doppelschlußmaschine.

In Abb. 90 ist der Schaltplan für eine Stromerzeugungsstation mit nur einer Betriebsmaschine wiedergegeben. Eine derartige Anlage kommt, da jegliche Reserve fehlt, nur für kleinste Verhältnisse in Betracht. Der Abbildung ist eine Nebenschlußmaschine *N.D.* zugrunde gelegt (s. Abschn. 28). Zum Anschluß der Maschine an die Sammelschienen — mit *P* ist die positive, mit *N* die negative Schiene bezeichnet — ist ein zweipoliger Schalter erforderlich. Beide Verbindungsleitungen erhalten zum Schutz der Maschine Schmelzsicherungen. An Meßgeräten sind vorgesehen der Strommesser *A* und der Spannungsmesser *V*. Mittels der von den Sammelschienen ausgehenden Verteilungsleitungen, ebenfalls doppelpolig gesichert, wird der Strom den verschiedenen Teilen des Netzes zugeführt.

Soll das Netz unter Spannung gesetzt werden, so wird mit Hilfe des Nebenschlußreglers zunächst die Maschinenspannung auf den normalen Wert eingestellt und sodann der zweipolige Hauptschalter geschlossen. Um die Netzspannung konstant zu halten, muß die Maschinenspannung bei größerer Belastung ein wenig höher einreguliert werden als bei geringer Last.

Statt der Nebenschlußmaschine kann als Betriebsmaschine auch eine Doppelschlußmaschine (s. Abschn. 30) in Anwendung kommen. Der Schaltplan der Abb. 90 läßt sich ohne weiteres auf diesen Fall übertragen. Eine Doppelschlußmaschine ist namentlich dann vorteilhaft, wenn in der Anlage größere Belastungsschwankungen zu erwarten sind, da ein Nachregulieren der Maschinenspannung bei verschiedener Stromentnahme nicht erforderlich ist.

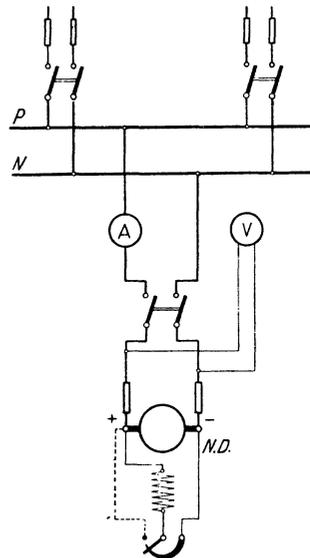


Abb. 90. Gleichstromanlage mit einer Nebenschlußmaschine.

35. Allgemeines über den Parallelbetrieb von Gleichstrommaschinen.

In größeren Zentralstationen wird man stets mehrere Betriebsmaschinen aufstellen, die nach Bedarf parallel geschaltet werden, Hierdurch wird eine größere Betriebssicherheit gewährleistet. Außerdem ist es möglich, bei jeder Netzbelastung mit einem guten Wirkungsgrad zu arbeiten, indem immer nur so viel Maschinen in Betrieb genommen werden, als der jeweiligen Belastung entspricht. Es ist anzustreben, daß die eingeschalteten Maschinen stets ungefähr voll belastet sind.

Bei parallel arbeitenden Maschinen müssen gleiche Pole miteinander verbunden sein; alle positiven Pole sind also an die eine Sammelschiene, die negativen Pole an die andere Sammelschiene anzuschließen. Ferner ist zu beachten, daß eine Maschine, ehe man sie zu anderen, bereits im Betriebe befindlichen Maschinen parallel schaltet, auf die gleiche Spannung wie diese gebracht wird.

Sinkt während des Betriebes, etwa infolge Nachlassens der Drehzahl der Antriebsmaschine, die Spannung einer Maschine, so liegt die Gefahr vor, daß sie Strom von den anderen Maschinen empfängt, daß sie also, anstatt Strom in das Netz zu liefern, als Motor angetrieben wird. Um dem vorzubeugen, wird in je eine der von den Maschinen zu den Sammelschienen führenden Verbindungsleitungen ein selbsttätiger Rückstrom- oder statt dessen ein Unterstromschalter eingebaut (s. Abschn. 7). Der Rückstrom- oder Richtungsschalter läßt sich einlegen, sobald die betreffende Maschine auf Spannung gebracht ist, unabhängig davon, ob sie belastet ist oder nicht. Der Unterstromschalter bleibt dagegen nur eingeschaltet, wenn eine gewisse Mindeststromstärke vorliegt. Er wird wegen seiner größeren Einfachheit in Gleichstromanlagen meistens dem Rückstromschalter vorgezogen.

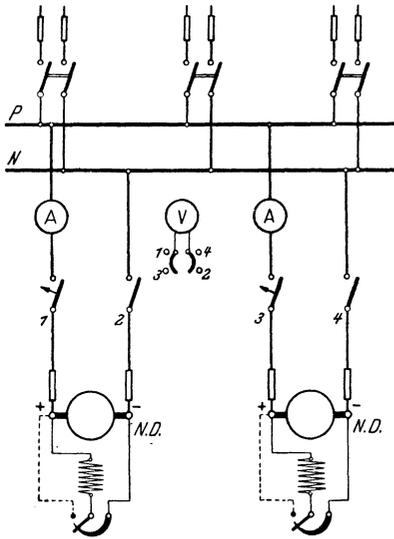


Abb. 91. Gleichstromanlage mit parallel geschalteten Nebenschlußmaschinen.

entgegengesetztem Sinne Strom, so daß ein Umpolarisieren der Maschine eintritt. Dieser Umstand muß beim Parallelbetrieb von Doppelschlußmaschinen beachtet werden.

36. Nebenschlußmaschinen im Parallelbetrieb.

Abb. 91 stellt den Schaltplan zweier Nebenschlußmaschinen dar, die auf gemeinsame Sammelschienen arbeiten. Ein Pol jeder Maschine ist mit den Sammelschienen über einen Handschalter, der andere Pol über einen Unterstromschalter (oder einen Rückstromschalter) verbunden. Für jede Maschine ist ein Strommesser vorgesehen. Es ist dagegen nur ein Spannungsmesser vorhanden, der in Verbindung mit einem Voltmeterumschalter zum Messen der Spannungen beider Maschinen dient. Die dafür nötigen Verbindungsleitungen sind der Deutlichkeit wegen in der Abbildung fortgelassen und lediglich durch Zahlen angedeutet in der Weise, daß eine Leitung 1—1, eine solche

2—2 usw. zu denken ist. In der Stellung 1—2 des Umschalters zeigt das Voltmeter die Spannung der einen, in der Stellung 3—4 die Spannung der anderen Maschine an.

Soll eine der Maschinen auf das Netz geschaltet werden, so wird zunächst ihre Spannung mit Hilfe des Nebenschlußreglers auf den normalen Wert gebracht. Sodann ist der Handschalter zu schließen. Darauf wird auch der Unterstromschalter eingelegt und von Hand festgehalten, bis so viel Belastung eingeschaltet ist, daß er von selber in der Einschaltstellung verbleibt. Um die andere Maschine mit der bereits im Betriebe befindlichen parallel zu schalten, muß sie zunächst auf die Betriebsspannung erregt werden. Die Belastung kann auf die beiden Maschinen beliebig verteilt werden, indem die Maschine, deren Belastung erhöht werden soll, mit Hilfe des Nebenschlußreglers etwas stärker erregt wird. Um eine Maschine abzuschalten, ist sie durch Schwächen des Erregerstromes so weit zu entlasten, daß der Unterstromschalter von selber auslöst.

Vor der Inbetriebsetzung der Anlage hat man sich davon zu überzeugen, daß die Maschinen in der richtigen Weise mit den Sammelschienen verbunden sind, d. h. daß die positiven Pole beider Maschinen an der einen, die negativen Pole an der anderen Sammelschiene liegen. Um auf alle Fälle richtige Pole zu erhalten, empfiehlt es sich, beim ersten Parallelschalten die hinzuzuschaltende Maschine kurze Zeit an die von der anderen Maschine gespeisten Sammelschienen anzuschließen, jedoch so, daß der Anker keinen Strom erhält, was z. B. dadurch erreicht werden kann, daß die Bürsten vom Kollektor abgehoben werden. Der Hebel des Nebenschlußreglers wird sodann allmählich in die Kurzschlußstellung gebracht, so daß die Magnetwicklung vollen Strom erhält. Unter dem Einflusse des nach dem Ausschalten zurückbleibenden remanenten Magnetismus wird die Maschine nunmehr die für das Parallelarbeiten notwendige Polarität annehmen, vorausgesetzt, daß sie sich überhaupt erregt. Sollte bei der vorliegenden Drehrichtung eine Selbsterregung der Maschine nicht erfolgen, so sind die Enden der Magnetwicklung hinsichtlich ihrer Verbindung mit dem Anker zu wechseln, und es ist alsdann das vorstehend beschriebene Verfahren zu wiederholen, d. h. der Magnetwicklung nochmals einen Augenblick lang von den Sammelschienen aus Strom zuzuführen. Die Maschine wird sich dann sicher erregen und dabei die richtigen Pole aufweisen.

Die Schaltung Abb. 91 läßt sich ohne Schwierigkeit für den Fall erweitern, daß in der Anlage mehr als zwei Maschinen vorhanden sind.

37. Doppelschlußmaschinen im Parallelbetrieb.

Die Schaltung für parallel betriebene Doppelschlußmaschinen entspricht der für parallel arbeitende Nebenschlußmaschinen. Doch wendet man in der Regel noch eine Ausgleichsleitung an, die im Schaltplan Abb. 92 durch eine gestrichelte Linie angegeben ist. An die Ausgleichsschiene werden diejenigen Ankerpole aller Doppelschlußmaschinen *D.D.* angeschlossen, welche mit der Hauptschlußmagnet-

wicklung in unmittelbarer Verbindung stehen. Durch die Ausgleichsleitung werden die Anker aller Maschinen unter sich parallel geschaltet, so daß Spannungsverschiedenheiten sich ausgleichen können. Ebenso werden auch alle Hauptschlußwicklungen parallel geschaltet, so daß in ihnen eine verschiedene Stromrichtung nicht möglich ist. Die Gefahr des Umpolarisierens der Maschinen (vgl. Abschn. 35) wird also beseitigt. Durch Anwendung eines zweipoligen Handschalters für jede Maschine wird erreicht, daß ihr Anschluß an die Ausgleichsschiene gleichzeitig mit dem Anschluß an die Sammelschiene des in Betracht kommenden Poles bewirkt wird.

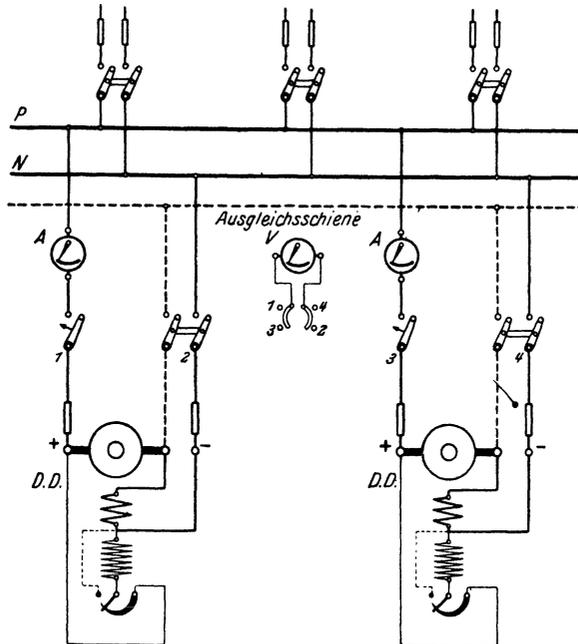


Abb. 92. Gleichstromanlage mit parallel geschalteten Doppelschlußmaschinen.

38. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Einfachzellenschalter.

Der Schaltplan Abb. 93 zeigt den einfachsten Fall einer mit einer Akkumulatorenbatterie ausgerüsteten Zentrale. Für die Batterie ist ein Einfachzellenschalter vorgesehen. Die Verbindung der Betriebsmaschine, einer Nebenschlußmaschine, mit den Sammelschienen wird durch Schließen des einpoligen Handschalters und des Unterstromschalters bewirkt. Die über den Nebenschlußregler zur Magnetwicklung führende Leitung ist, abweichend von den vorhergehenden Abbildungen, zwischen Unterstromschalter und Sammelschiene angeschlossen. Dadurch wird erreicht, daß die Maschine von den Sammelschienen (also von der Batterie) aus erregt werden kann, ehe noch der Selbstschalter eingelegt ist. Die Maschine erhält dann mit Sicherheit die für den

Parallelbetrieb mit der Batterie erforderliche Polarität (vgl. Abschn. 36, vorletzter Absatz). Die Verbindung der Batterie mit den Sammelschienen geschieht durch zwei einpolige Schalter. Für die Maschine und die Batterie ist je ein Strommesser vorgesehen. Wird für die Batterie ein Drehspulgerät verwendet, das seinen Nullpunkt in der Mitte der Skala hat, so kann man aus der Richtung des Ausschlages sofort erkennen, ob sich die Batterie im Zustande der Ladung (L) oder der Entladung (E) befindet, andernfalls ist noch ein besonderer Stromrichtungszeiger erforderlich. Bei Verwendung eines Voltmeterumschalters genügt ein Spannungsmesser sowohl zur Messung der Maschinenspannung 1—2

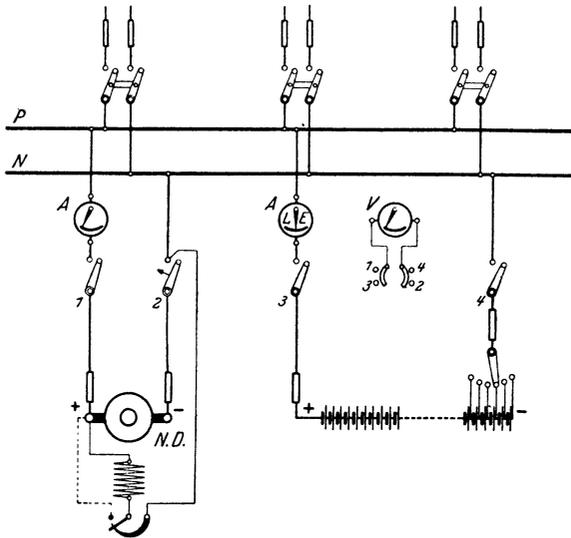


Abb. 93. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Einfachzellenschalter.

als auch der Batteriespannung 3—4. Um die Batterie mittels der Nebenschlußmaschine laden zu können, muß deren Spannung durch den Nebenschlußregler auf den hierfür erforderlichen Betrag gesteigert werden können.

Es sind nachstehende Betriebsweisen möglich.

a) Die Maschine arbeitet allein auf das Netz.

Um die Maschine in Betrieb zu nehmen, wird ihr Unterstromschalter eingelegt und zunächst festgehalten. Sodann wird sie auf die normale Spannung erregt. Darauf wird der einpolige Handschalter geschlossen. Ist die Belastung genügend groß, so bleibt der Selbstschalter von selber haften.

b) Die Batterie arbeitet allein auf das Netz.

Es sind lediglich die beiden einpoligen Batterieschalter geschlossen. Die Spannung wird mittels des Zellenschalters auf den richtigen Wert reguliert und konstant gehalten.

c) Maschine und Batterie arbeiten parallel.

Um die Maschine zur Batterie parallel zu schalten, muß sie zunächst auf deren Entladespannung erregt werden. Zu diesem Zwecke wird der einpolige Handschalter der Maschine geschlossen, worauf beim Einschalten des Nebenschlußreglers die Magnetwicklung von den Sammelschienen aus Strom empfängt. Ist die Maschine auf die richtige Spannung gebracht, so wird der Selbstschalter eingelegt. Nunmehr wird durch weiteres Erregen möglichst die volle Belastung auf die Maschine geworfen, so daß die Batterie nur die Belastungsschwankungen auszugleichen hat, der Zeiger des Batteriestrommessers also um den Nullpunkt herum pendelt.

d) Die Batterie wird geladen.

Die Schaltung ist die gleiche wie beim Parallelbetrieb. Doch muß die Kurbel des Zellschalters, damit alle Zellen geladen werden, zunächst auf den äußersten Kontakt gebracht werden. Die Spannung der Maschine ist, ehe diese auf die Batterie geschaltet wird, um einige Volt höher einzustellen als die Batteriespannung und in dem Maße, wie diese während der Ladung ansteigt, zu erhöhen, derart, daß die Stromstärke stets den für die Ladung gewünschten Wert hat. Die bereits voll aufgeladenen Zellen werden nacheinander mit Hilfe des Zellschalters abgeschaltet.

Da die Ladespannung die Betriebsspannung wesentlich übersteigt, so können während der Ladung keinesfalls Lampen und andere mit der Netzspannung zu betreibende Stromverbraucher von den Sammelschienen aus gespeist werden. Die zum Netz führenden Leitungen müssen daher vor Beginn der Ladung abgeschaltet werden. Es ist dies ein erheblicher Mangel der Anordnung, und es werden daher auch nur ausnahmsweise Anlagen nach diesem System ausgeführt, z. B. kleine Beleuchtungsanlagen, bei denen tagsüber kein Strom gebraucht wird, so daß die Batterie in dieser Zeit geladen werden kann.

Wird eine Zusatzmaschine angewendet, so kann zwar durch die Hauptmaschine, da diese dann stets mit der normalen Spannung betrieben wird, das Netz auch während der Ladung mit Strom versorgt werden, doch muß die Batterie während dieser Zeit von den Sammelschienen getrennt werden. Man verliert auf diese Weise einen der Hauptvorteile der Batterie: selbsttätig in die Strombelieferung des Netzes einzugreifen, wenn an der Maschine eine Störung eintritt.

39. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter.

Soll die Möglichkeit gegeben sein, daß die Batterie auch während der Ladung mit dem Netz verbunden bleibt, so muß ein Doppelzellenschalter angewendet werden. Abb. 94 gibt für diesen Fall die Schaltung an, und zwar wieder unter der Annahme, daß die für die Ladung notwendige Spannungserhöhung durch Nebenschlußregelung der Betriebsmaschine erzielt werden kann. In einer der beiden von der Nebenschlußmaschine zu den Sammelschienen führenden Leitungen befindet sich, wie im vorigen Schaltplan, ein einpoliger Handschalter. Die andere

Leitung enthält jedoch außer dem Unterstromschalter noch einen Umschalter. Dieser ist, wenn die Maschine auf das Netz arbeiten soll, in die Stellung *N* zu bringen, dagegen ist er für die Ladung auf *L* einzustellen. Es empfiehlt sich, einen Umschalter zu wählen, der den Übergang aus der einen in die andere Stellung ohne Stromunterbrechung zu bewerkstelligen erlaubt. Die Batterie steht mit den Sammelschienen wieder durch zwei einpolige Schalter in Verbindung. Ihre Entladespannung kann am Doppelzellenschalter unabhängig von der Ladespannung geregelt werden. Der Kontakt *L* des Umschalters und die Ladekurbel sind durch die Ladeleitung miteinander verbunden. Bezüglich der Strommesser gilt das im vorigen Abschnitt Angegebene. Für den Spannungsmesser ist ein Umschalter mit folgenden Stellungen vorgesehen: 1—2 Maschinenspannung, 3—4 Batterieentladespannung, 5—6 Batterieladespannung.

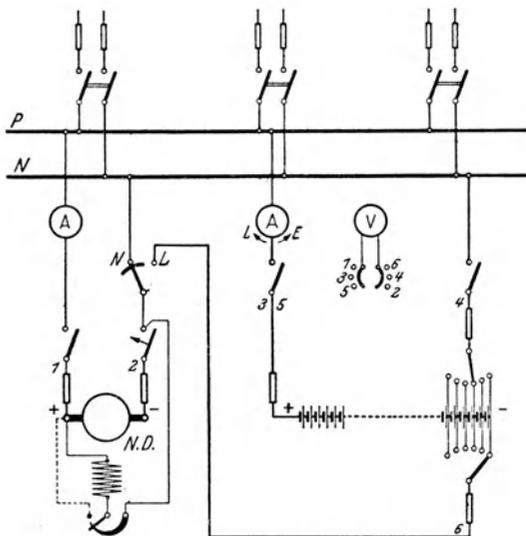


Abb. 94. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter.

Auf die verschiedenen Betriebsweisen soll nur insoweit eingegangen werden, als sich gegenüber der Anordnung mit einem Einfachzellenschalter Unterschiede ergeben.

a) Die Maschine arbeitet allein auf das Netz.

Ist die Batterie aus irgendeinem Grunde ausgeschaltet, so hat die Maschine allein den Betrieb zu übernehmen. Der Umschalter steht hierbei auf *N*.

b) Die Batterie arbeitet allein auf das Netz.

Zu Zeiten geringen Strombedarfs, z. B. des Nachts, wird der Maschinenbetrieb stillgelegt und die Stromlieferung lediglich der Batterie übertragen. Zur Konstanthaltung der Spannung dient die Entladekurbel des Zellenschalters.

c) Maschine und Batterie arbeiten parallel.

In den Stunden des Hauptbetriebes läßt man Maschine und Batterie gleichzeitig auf das Netz arbeiten, damit letztere die Belastungsschwankungen aufnehmen kann und im Falle eines Versagens der Maschine

die Stromlieferung aufrechterhält. Um die Maschine zur Batterie parallel zu schalten, ist bei der Umschalterstellung N zunächst der einpolige Handschalter zu schließen und erst, nachdem die Maschine auf die Entladespannung der Batterie erregt ist, der Unterstromschalter einzulegen.

d) Die Batterie wird geladen.

Um vom Parallelbetrieb zur Ladung überzugehen, ist der Umschalterhebel von N auf L zu bringen. Vorher ist aber die Ladekurbel des Doppelzellenschalters auf den gleichen Kontakt zu stellen, auf dem sich die Entladekurbel befindet, da andernfalls in dem Augenblicke, in dem während des Umschaltens N und L gleichzeitig von der Kontaktfeder des Schalters berührt werden, die zwischen beiden Kurbeln befindlichen Zellen kurzgeschlossen werden. Ist die Umschaltung bewirkt, so ist die Ladekurbel auf den äußersten Kontakt zu drehen, so daß alle Zellen an der Ladung teilnehmen. Die Maschine ist auf die der Ladung entsprechende Spannung zu erregen. Die voll aufgeladenen Zellen werden mittels der Ladekurbel nach und nach abgeschaltet. Da die Batterie auch während der Ladung den Strombedarf im Netz zu decken hat, müssen durch die Entladekurbel stets so viel Zellen abgeschaltet werden, daß trotz der höheren Ladespannung die Netzspannung den normalen Wert beibehält.

Um nach der Ladung die Maschine wieder zur Batterie parallel zu schalten, ist das soeben für den umgekehrten Fall Angegebene sinngemäß zu beachten.

Sind, wie das wohl die Regel ist, mehrere Maschinen vorhanden, so läßt sich die Zahl der in Betrieb zu nehmenden Maschinen immer der jeweiligen Belastung des Netzes anpassen. Auch kann alsdann irgendeine der Maschinen zur Batterieladung herangezogen werden, während gleichzeitig die anderen Maschinen auf das Netz arbeiten. Das Schaltbild einer solchen Anlage ergibt sich sinngemäß. Zu den beiden Sammelschienen P und N tritt alsdann eine dritte Schiene, die Ladeschiene, mit der die Kontakte L der Maschinenumschalter sowie die Ladekurbel des Zellenschalters der Batterie verbunden werden.

40. Nebenschlußmaschine, Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter und Zusatzmaschine.

Ist die zur Stromerzeugung dienende Nebenschlußmaschine nicht für Spannungserhöhung eingerichtet, so muß zur Erzielung der für die Ladung der Batterie notwendigen Spannung eine Zusatzmaschine vorgesehen werden. Die erforderliche Schaltung zeigt der Schaltplan Abb. 95. Ein Umschalter für die Hauptmaschine erübrigt sich, da die Maschine stets, auch bei der Batterieladung, auf die Sammelschienen arbeitet. Beim Laden wird der positive Pol der Zusatzmaschine mittels eines gewöhnlichen Schalters an die negative Sammelschiene gelegt, während ihr negativer Pol durch einen Unterstromschalter mit der Ladekurbel des Doppelzellenschalters in Verbindung gebracht wird.

Haupt- und Zusatzmaschine sind dann hintereinander geschaltet. Die Erregung der Zusatzmaschine geschieht am zweckmäßigsten durch die Ladespannung der Batterie, wie es auch im Schaltplan angenommen ist. In diesem Falle wird die Spannung der Zusatzmaschine im Laufe der Ladung selbsttätig zunehmen, so daß weniger von Hand nachreguliert zu werden braucht. Der Antrieb der Zusatzmaschine erfolgt durch einen mit ihr unmittelbar gekoppelten Nebenschlußmotor, der von den Sammelschienen gespeist wird, und dessen Belastung durch einen Strommesser festgestellt werden kann; *A. W.* bedeutet den Anlaßwiderstand.

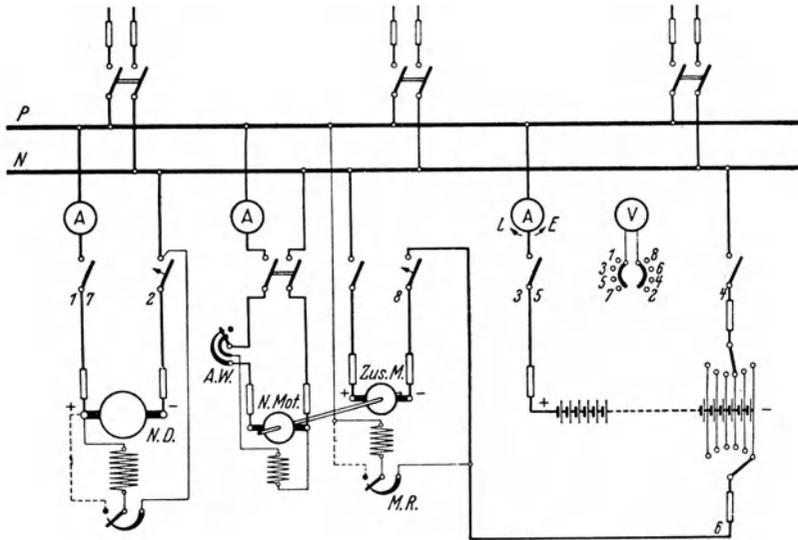


Abb. 95. Nebenschlußmaschine, Akkumulatorenbatterie und Zusatzmaschine.

Der Spannungsmesser erlaubt unter Anwendung des Umschalters zu messen: 1—2 Spannung der Hauptmaschine, 3—4 Entladespannung der Batterie, 5—6 Ladespannung der Batterie, 7—8 Gesamtspannung von Haupt- und Zusatzmaschine.

Es sind wieder folgende Betriebsfälle möglich:

- a) die Hauptmaschine arbeitet allein auf das Netz,
- b) die Batterie arbeitet allein auf das Netz,
- c) Maschine und Batterie arbeiten parallel,
- d) die Batterie wird geladen.

Es soll hier nur auf das Laden der Batterie eingegangen werden; wegen der anderen Fälle sei auf die Ausführungen der vorhergehenden Abschnitte verwiesen. Beim Laden arbeitet die Hauptmaschine wie immer mit normaler Spannung auf die Sammelschienen. Die Ladekurbel des Doppelzellenschalters wird zunächst auf den äußersten Kontakt gestellt. Darauf wird die Zusatzmaschine durch den Elektromotor angetrieben und, nachdem ihr Handschalter geschlossen ist, so weit erregt, daß die Gesamtspannung von Haupt- und Zusatzmaschine

etwas höher ist als die Ladespannung der Batterie. Nunmehr wird der Unterstromschalter der Zusatzmaschine eingelegt und die Batterie mit der vorschriftsmäßigen Stromstärke in üblicher Weise geladen.

41. Wind-Elektrizitätswerk.

Sehr verlockend erscheint es, besonders in einer Zeit, die die Heranziehung aller verfügbaren Energiequellen zu einer unabweißen Pflicht macht, die Windkraft zur Erzeugung elektrischen Stromes auszunutzen. Die hierbei auftretenden Schwierigkeiten sind namentlich in der Unregelmäßigkeit begründet, mit der diese Naturkraft zur Verfügung steht, und in ihrer häufig wechselnden Stärke. Durch Anwendung einer Akkumulatorenbatterie von entsprechender Größe kann die für ein Wind-Elektrizitätswerk unerläßliche Reserve für windflaue Zeiten geschaffen werden.

Bei den Ausführungen der Vereinigten Windturbinenwerke in Dresden wird die Stromlieferung in das Netz ausschließlich der Akkumulatorenbatterie zugewiesen, während die von der Windturbine angetriebene Dynamomaschine lediglich zum Laden der Batterie dient. Durch einen von Liebe entworfenen selbsttätigen Schaltapparat ist aber Sorge getragen, daß nur bei ausreichendem Winde die Maschine mit der Batterie in Verbindung steht. Sinkt infolge Abnahme der Windstärke die Drehzahl der Turbine und damit die Spannung der Dynamomaschine unter die zulässige Grenze, so wird die Verbindung aufgehoben, während sie bei zunehmender Windstärke von selbst wieder hergestellt wird.

Abb. 96 gibt den Schaltplan eines nach vorstehenden Gesichtspunkten eingerichteten Elektrizitätswerkes wieder. Zur Stromerzeugung dient eine Art Doppelschlußdynamo *D.D.*, deren Hauptschlußwicklung jedoch nicht, wie das bei dieser Maschinenart sonst die Regel ist, im gleichen Sinne wie die Nebenschlußwicklung magnetisierend wirkt, sondern ihr entgegenarbeitet. Hierdurch wird bei großer Windstärke und damit verbundener hoher Drehzahl der Maschine einer Überlastung vorgebeugt, da in dem Maße, wie die Stromstärke anwächst, die Spannung der Maschine durch die gegenmagnetisierende Wirkung der Hauptschlußwicklung heruntergedrückt wird. Der Strom kann daher nicht über eine bestimmte Höhe ansteigen. Die Maschinenspannung läßt sich durch den Nebenschlußregler den Betriebsverhältnissen entsprechend einstellen.

Für die Akkumulatorenbatterie ist ein Doppelzellenschalter vorhanden. Sie ist über die beiden einpoligen Schalter, die während des Betriebes geschlossen sind, mit den Sammelschienen dauernd verbunden.

Für die Verbindung der Dynamomaschine mit der Batterie ist einerseits ein einpoliger Handschalter vorgesehen, andererseits der oben erwähnte selbsttätige Schalter *S.S.* Dieser enthält als wesentlichsten Teil einen Eisenkern, welcher an seinem unteren Ende ein Kontaktstück trägt. Wird der Kern in die Höhe gehoben, so werden durch dasselbe zwei Kontakte überbrückt, und der Stromkreis wird geschlossen. Über dem Eisenkern befinden sich zwei Wicklungen, eine aus wenigen

Windungen dicken Drahtes bestehende, welche in den Hauptkreis eingeschaltet ist, und eine aus vielen Windungen dünnen Drahtes gebildete, welche mit der Polarisationszelle *P.Z.* in Reihe liegt und mit einem vom Hauptkreis abgezweigten Strome versorgt wird. Die Polarisationszelle enthält in einer Flüssigkeit eine Aluminiumelektrode und eine Elektrode aus einem anderen Metall und besitzt die Eigenschaft, den Strom nur in einer Richtung — zum Aluminium — hindurchzulassen. Die Zelle ist nun so geschaltet, daß ein Stromdurchgang lediglich von der Maschine zur Batterie möglich ist.

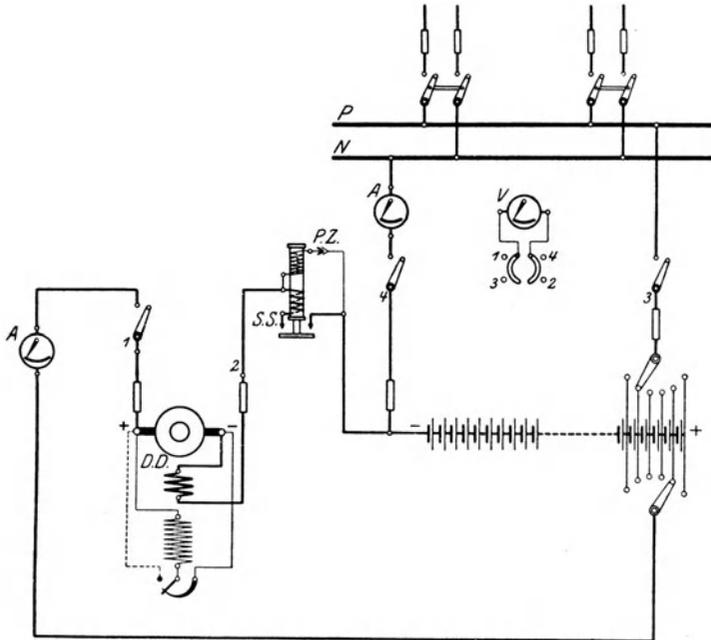


Abb. 96. Wind-Elektrizitätswerk.

Der Betrieb gestaltet sich derartig, daß der selbsttätige Schalter erst dann den Hauptstrom schließt, wenn die Maschinenspannung die Batteriespannung um ein wenig überschreitet. In diesem Falle fließt zunächst, da die Polarisationszelle den Stromdurchgang in der betreffenden Richtung freigibt, ein Strom durch die dünnadrätige Wicklung, der Eisenkern wird gehoben und der Hauptstrom dadurch geschlossen. Die Batterie wird also nunmehr geladen, wobei die dünnadrätige Spule mit der Zelle kurzgeschlossen ist. Läßt während des Betriebes die Spannung der Maschine nach, so löst in dem Augenblicke, in dem Maschinen- und Batteriespannung gleich groß werden, der Strom also durch Null hindurchgeht, der Schalter infolge seines Eigengewichtes aus, und der Stromkreis wird unterbrochen, um erst dann selbsttätig von neuem geschlossen zu werden, wenn die Maschinenspannung

wiederum die Batteriespannung übertrifft. Der Betrieb der Anlage wickelt sich also, abgesehen von der Bedienung des Zellschalters, im wesentlichen selbsttätig ab.

42. Anlage mit Pufferbatterie und Piranimaschine.

In Anlagen, deren Netzbelastung häufigen und stoßartig auftretenden Schwankungen unterworfen ist — Betrieb von Straßenbahnen, Förderanlagen, Aufzügen usw. —, kann mit Vorteil eine Pufferbatterie zur Verwendung kommen. Dieser fällt die Aufgabe zu, den Belastungsausgleich zu übernehmen, die Belastungsschöße also von den Betriebsmaschinen fernzuhalten. Die Batterie, welche wie gewöhnlich zu den Betriebsmaschinen parallel geschaltet wird, muß, ihrer Aufgabe entsprechend, für eine hohe Lade- bzw. Entladestromstärke eingerichtet

sein (Batterie für kurzzeitige Entladung!). Ihre Größe richtet sich nach den vorkommenden Belastungsschwankungen.

Eine gute Pufferwirkung tritt ein, wenn bei geringer Belastung die Spannung des Batteriezweiges die Maschinenspannung stark unterschreitet — die Batterie nimmt alsdann einen großen Teil des von der Maschine gelieferten Stromes auf,

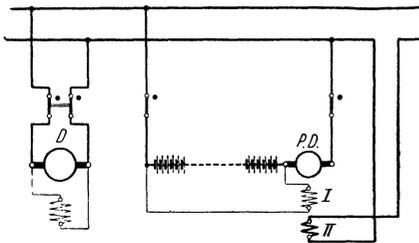


Abb. 97. Pufferbatterie mit Piranimaschine.

sie wird kräftig geladen —, und wenn umgekehrt bei hoher Belastung die Spannung des Batteriezweiges die Maschinenspannung erheblich überschreitet — die Batterie beteiligt sich dann lebhaft an der Stromlieferung, sie wird mit hoher Stromstärke entladen.

Die gewünschte große Spannungsänderung des Batteriezweiges kann durch Anwendung einer Piranimaschine erzielt werden, einer Art von einem Elektromotor angetriebenen Zusatzmaschine, deren Anker mit der Akkumulatorenbatterie in Reihe geschaltet ist, und deren Magnete von zwei Wicklungen erregt werden. In Abb. 97, welche die grundsätzliche Schaltung einer derartigen Anlage wiedergibt, ist die Piranimaschine mit *P.D.* bezeichnet. Ihre Magnetwicklung *I* ist an die Batteriespannung angeschlossen, während die Wicklung *II* vom gesamten in das Netz gelieferten Strom durchflossen wird. Beide Wicklungen sind gegeneinander geschaltet und so bemessen, daß sich ihre Einflüsse bei einer mittleren Belastung aufheben. Die Maschine gibt dann keine Spannung, sie ist wirkungslos, und die Batterie gibt bei geeigneter Erregung der Betriebsdynamo *D* weder Strom ab, noch nimmt sie solchen auf.

Bei höherer Netzbelastung überwiegt der Einfluß der Wicklung *II*, und die Maschine liefert eine Spannung im gleichen Sinne wie die Batterie. Die Spannung des Batteriezweiges wird demnach erhöht, so daß eine Entladung der Batterie herbeigeführt wird. Bei geringerer Belastung überwiegt der Einfluß der Wicklung *I*, und die von der Maschine gelieferte Spannung ist der Batteriespannung

also, in denen der Batterie die gesamte Stromlieferung übertragen wird. Dabei muß der zweipolige Umschalter U_2 in die Stellung S (Sammelschiene) gebracht werden.

Arbeiten dagegen Maschine und Batterie parallel, so befindet sich der Umschalter U_1 in Stellung P . Dadurch wird die Piranimaschine in den Batteriezweig gelegt. Die beiden einpoligen Schalter beiderseits der Piranimaschine, von denen der eine $S.S_1$ als selbsttätiger Schalter ausgebildet ist, sind zu schließen. Die dünndrähtige Wicklung der Piranimaschine (Wicklung I in Abb. 97) ist an die Batteriepole angeschlossen. Die dickdrähtige Wicklung (II) wird über einen zweipoligen Handschalter in eine der Sammelschienen eingeschaltet, indem der Umschalter U_2 in Stellung P gebracht wird. Durch den zur dickdrähtigen Wicklung parallel geschalteten Regulierwiderstand $R.W.$ kann die Einstellung der Piranimaschine für eine mittlere Belastung vorgenommen werden. Je nach der Stellung der Regulierkurbel wird ein mehr oder weniger großer Erregerstrom durch die Wicklung fließen, immer aber ein Strom, der dem Netzstrom proportional ist. Auch der Erregerstrom in der dünndrähtigen Wicklung läßt sich durch einen Magnetregler $M.R.$ auf den für den Betrieb zweckmäßigsten Wert einstellen.

Der Anschluß des zum Antrieb der Piranimaschine dienenden Nebenschlußmotors an das Netz erfolgt mittels eines zweipoligen Schalters und über den Anlaßwiderstand $A.W.$ Außerdem liegt in einem der Pole des Motors noch der selbsttätige Schalter $S.S_2$. Auch ist ein Nebenschlußregler $N.R.$ zur Drehzahlregelung des Motors (s. Abschn. 54) vorgesehen. Piranimaschine und Antriebsmotor sind unmittelbar miteinander gekuppelt: Piraniumformer.

Die vorstehend erwähnten Selbstschalter $S.S_1$ und $S.S_2$ stehen mit dem Zentrifugalschalter $Z.S.$ in Verbindung, der auf die Welle des Piraniumformers gesetzt ist. Er soll verhindern, daß die Piranimaschine durchgeht, ein Fall, der erfahrungsgemäß eintreten kann, wenn sie bei einem Kurzschluß in der Anlage Rückstrom empfängt. Bei Überschreitung der zulässigen Drehzahl schließt sich der Zentrifugalschalter. Hierdurch werden die Schalter $S.S.$, indem ihre Magnetwicklungen an die Sammelschienen gelegt werden, ausgelöst, so daß gleichzeitig der Stromkreis der Piranimaschine und der ihres Antriebsmotors unterbrochen werden.

Die für die Anlage erforderlichen Meßgeräte ergeben sich sinngemäß aus den vorhergehenden Schaltplänen. Erwähnt sei der über einen Nebenwiderstand in die Sammelschiene gelegte Strommesser, durch den die volle Netzbelastung angezeigt wird. Außer dem Spannungsmesser mit Umschalter für die Maschinenspannung 1—2, Batteriespannung 3—4 und Batterie-+Piranimaschinenspannung 5—6 ist noch ein zweiter mit doppelseitigem Ausschlage für die Piranimaschinenspannung vorhanden.

Auf die verschiedenen Betriebsmöglichkeiten:

- a) die Maschine arbeitet allein auf das Netz,
- b) die Batterie arbeitet allein auf das Netz,

c) Maschine und Batterie arbeiten — in Pufferschaltung — parallel,
braucht hier im einzelnen nicht eingegangen zu werden. Die vorzunehmenden Schaltgriffe ergeben sich aus den obigen Darlegungen.

43. Die Meyersberg-Schaltung.

Die Aufgabe, die in Netzen mit häufig wechselnder Beanspruchung der Pufferbatterie zufällt, kann auch einem Schwungrad übertragen werden. Dieses ist, ebenso wie die Leistung der Pufferbatterie, nach den in Betracht kommenden Belastungsschwankungen zu bemessen.

Die grundlegende Schaltung des von der AEG ausgebildeten Verfahrens von Meyersberg¹ zeigt Abb. 99. An die zur Verbrauchsstelle

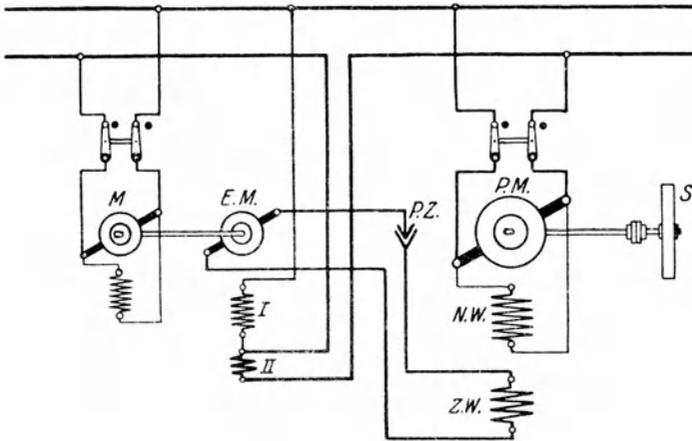


Abb. 99. Meyersberg-Schaltung.

führenden Leitungen ist die Puffermaschine *P.M.* angeschlossen, mit der das Schwungrad *S* gekuppelt ist. Damit dieses nicht zu groß ausfällt, wird für die Puffermaschine eine hohe Umlaufzahl gewählt. Für die Erregung der Maschine sind zwei Wicklungen vorgesehen, eine Nebenschlußwicklung *N.W.* und eine Zusatzwicklung *Z.W.* Letztere empfängt Strom von einer besonderen Erregermaschine *E.M.* Diese wird zweckmäßigerweise durch einen Gleichstrommotor *M* in unmittelbarer Kupplung angetrieben, und sie wird ebenfalls durch zwei Wicklungen erregt: Wicklung *I* liegt an der Netzspannung, Wicklung *II* wird vom gesamten, dem Netz zugeführten Strom durchflossen. Zwischen der Erregermaschine und der von ihr gespeisten Wicklung der Puffermaschine liegt eine Polarisationszelle *P.Z.* (vgl. Abschn. 41), welche Strom nur in bestimmter Richtung hindurchläßt. Die beiden Wicklungen der Erregermaschine sind nun gegeneinander geschaltet. Bei einer bestimmten, der mittleren Belastung des Netzes entsprechenden Stromstärke heben sich ihre Wirkungen auf. Die Maschine gibt also

¹ Vgl. Meyersberg, Über Ausgleich von Belastungsschwankungen in Kraftübertragungsanlagen. *ETZ* 1903, 261.

keine Spannung, die Puffermaschine ist demnach lediglich durch ihre Nebenschlußwicklung erregt und treibt, als Motor wirkend, das Schwungrad mit der ihr eigenen Drehzahl an.

Bei höherer Belastung überwiegt der Einfluß der vom Netzstrom durchflossenen Wicklung *II* der Erregermaschine, ihre Spannung steigt in dem Maße, wie die Belastung zunimmt, an, und sie liefert Strom in die Zusatzwicklung der Puffermaschine. Infolge der stärkeren Erregung sinkt deren Drehzahl, so daß das Schwungrad veranlaßt wird, die in ihm aufgespeicherte Energie herauszugeben; die Puffermaschine wird also durch das Schwungrad angetrieben, sie wirkt als Dynamomaschine und liefert Strom in das Netz. Bei geringerer Belastung überwiegt umgekehrt der Einfluß der an die Netzspannung angeschlossenen Wicklung *I* der Erregermaschine, deren Spannung sich infolgedessen umkehrt. Doch wird der Strom zu der Zusatzwicklung der Puffermaschine jetzt durch die Polarisationszelle gesperrt. Die Puffermaschine wirkt nunmehr wieder als Motor, wobei sich ihre Drehzahl mehr und mehr bis zu einem bestimmten Höchstwert steigert, dem Schwungrad also von neuem Energie zugeführt wird. Die Puffermaschine arbeitet also, wie vorstehend ausgeführt wurde, der jeweiligen Netzbelastung entsprechend abwechselnd als Dynamomaschine — dabei wird das Schwungrad „entladen“, oder als Motor — dabei wird das Schwungrad „aufgeladen“. Der mittleren Belastung entspricht der Leerlauf der Puffermaschine, das Schwungrad wird weder geladen noch entladen.

Bemerkt sei noch, daß, wie bei der Piranischialtung, nicht der volle Netzstrom in die Wicklung der Erregermaschine geleitet zu werden braucht; es kann vielmehr ein ihm verhältnismäßiger Teilstrom von einem in die Netzleitung eingeschalteten Widerstande geeigneter Größe abzweigt werden.

C. Dreileiterzentralen.

44. Dreileiteranlage mit Hintereinanderschaltung der Betriebsmaschinen.

Ist von einer Gleichstromzentrale ein größerer Umkreis mit elektrischem Strom zu versorgen, so empfiehlt es sich, zum Dreileitersystem überzugehen, da es die Anwendung einer doppelt so hohen Betriebsspannung wie das Zweileitersystem ermöglicht, ohne daß die Spannung der angeschlossenen Stromverbraucher erhöht werden muß.

Die einfachste Möglichkeit, ein Dreileitersystem herzustellen, ergibt sich, indem in der Zentrale zwei Dynamomaschinen *G.D.I* und *G.D.II* hintereinander geschaltet werden (Abb. 100), so daß man zwischen den von den freien Maschinenpolen abgenommenen Außenleitern *P* und *N* die doppelte Maschinenspannung erhält. Zwischen den beiden Maschinen wird jedoch noch eine dritte Leitung, der Mittelleiter *O*, abgenommen. Lampen und andere Verbrauchsapparate geringer Strom-

stärke werden nun für die halbe Außenspannung bemessen und an einen Außenleiter und den Mittelleiter angeschlossen, wobei sie auf die beiden Netzhälften möglichst gleichmäßig verteilt werden. Dagegen schaltet man, um erhebliche Belastungsverschiedenheiten zu vermeiden, größere Motoren, die dann für die volle Spannung gebaut sein müssen, in der Regel zwischen die Außenleiter.

Sind beide Netzhälften gleich stark belastet, so ist der Mittelleiter stromlos. Er wird daher meistens Nulleiter genannt. Bei ungleicher Belastung führt der Mittelleiter einen Strom, dessen Stärke dem Unterschied der beiden Außenstromstärken entspricht.

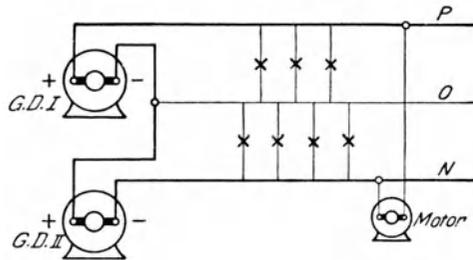


Abb. 100. Dreileiteranlage, Spannungsteilung durch Hintereinanderschaltung zweier Betriebsmaschinen.

Den Schaltplan einer Dreileiteranlage der vorstehend besprochenen Art zeigt Abb. 101. Die beiden Nebenschlußmaschinen sind durch

die Nullsammelschiene hintereinander geschaltet. Die Spannung jeder Netzhälfte wird durch den Nebenschlußregler ihrer Maschine konstant gehalten. Für jede Netzhälfte ist ein Spannungsmesser vorgesehen. Außerdem ist zur Beobachtung der Spannung zwischen den beiden Außenleitern ein besonderes Voltmeter (für die doppelte Spannung) vorhanden. Für jede Maschine ist ferner, um ihre Belastung kontrollieren zu können, ein Strommesser eingebaut. Wünschenswert ist es, eine Reservemaschine aufzustellen, die nach Bedarf auf eine der beiden Netzhälften geschaltet werden kann.

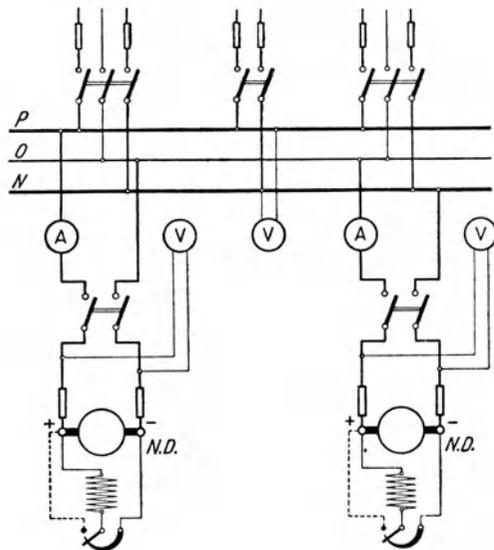


Abb. 101. Dreileiteranlage mit hintereinandergeschalteten Betriebsmaschinen.

Die von den Sammelschienen abgehenden Verteilungsleitungen bestehen im allgemeinen aus je zwei Außenleitungen und der Nulleitung, die in der Regel geerdet wird und daher nicht gesichert werden darf (vgl. Abschn. 6). Abzweigungen, die lediglich zum Anschluß von Motoren dienen, werden nur von den Außenschienen abgenommen (im Schaltplan die mittlere Verteilungsleitung).

45. Dreileiteranlage mit Hintereinanderschaltung der Betriebsmaschinen und einer Akkumulatorenbatterie.

Im Schaltplan Abb. 102 ist zu jeder der beiden hintereinander geschalteten Nebenschlußmaschinen eine Hälfte der vorhandenen Akkumulatorenbatterie parallel geschaltet. Die Spannung der Maschinen kann zum Zwecke der Batterieladung gesteigert werden. Es sind zwei Doppelschalter erforderlich. Hinsichtlich der übrigen Schaltapparate, Meßgeräte usw. gilt sinngemäß das für Zweileiteranlagen Angegebene. Der besseren Übersichtlichkeit wegen ist, wie im vorigen Schaltbild, für jede Netzhälfte ein Spannungsmesser vorgesehen, mit dem die Maschinenspannung sowie die Entlade- und Ladespannung der Batterie festgestellt werden können. Auch dient zur Kontrolle der Außenleiterspannung wieder ein besonderes Voltmeter.

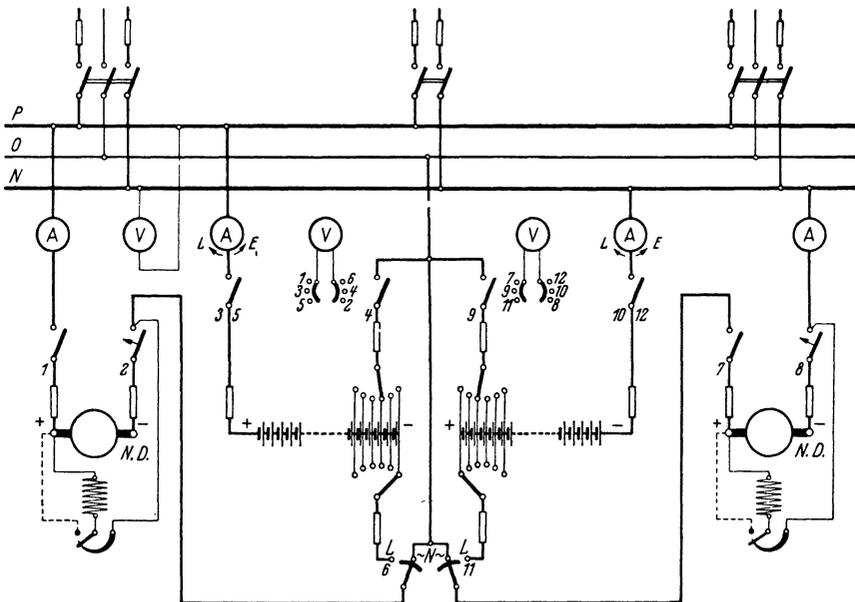


Abb. 102. Dreileiteranlage mit hintereinander geschalteten Betriebsmaschinen und Akkumulatorenbatterie.

a) Die Maschinen arbeiten allein auf das Netz.

Jeder der beiden einpoligen Umschalter — im Schaltplan in der Mitte unten — befindet sich, um die Verbindung der Maschinen mit der mittleren Sammelschiene, d. h. mit dem Netz herzustellen, auf *N*. Die für jede Maschine vorhandenen einpoligen Ausschalter wie auch die Unterstromschalter sind geschlossen.

b) Die Batterie arbeitet allein auf das Netz.

Es sind die beiden einpoligen Schalter, die die Pole der Batterie mit den Außensammelschienen verbinden, geschlossen, ebenso die Schalter in den von den Entladekurbeln der Zellschalter zum Mittelleiter führenden Leitungen.

c) Die Maschinen und die Batterie arbeiten parallel.

Das Parallelschalten jeder Maschine zu ihrer Batterie­hälfte erfolgt in derselben Weise, wie in einer Zweileiteranlage Maschine und Batterie parallel geschaltet werden.

d) Die Batterie wird geladen.

Jede Maschine ladet die zu ihr gehörige Batterie­hälfte. Die Umschalter sind beim Laden auf L zu stellen. Der Vorgang beim Laden ist der gleiche wie bei einer Zweileiteranlage. Durch entsprechende Bedienung der Zellschalterentladekurbeln wird die Stromlieferung in das Netz auch während des Ladens aufrechterhalten.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Zellschalter, die sich in Abb. 102 in der Batterie­mitte befinden, auch an die äußeren Pole der Batterie gelegt werden können.

In größeren Anlagen wird man für die Ladung der Batterie meistens Zusatzmaschinen verwenden.

46. Dreileiteranlage mit Akkumulatoren­batterie zur Spannungsteilung.

In vielen Fällen verwendet man in Dreileiteranlagen statt zwei hintereinander geschalteter Nebenschlußmaschinen, wie bisher angenommen wurde, eine Maschine, die für die Außenleiterspannung eingerichtet ist und demnach auch an die Außenleiter angeschlossen wird. Die Vorteile einer derartigen Anordnung sind darin zu erblicken, daß eine Maschine für die Gesamtleistung billiger ist als zwei Maschinen halber Leistung. Außerdem besitzt die größere Maschine einen besseren Wirkungsgrad. Andererseits muß für eine Teilung der Spannung Sorge getragen werden. Diese Aufgabe kann, wenn eine Akkumulatoren­batterie vorhanden ist, dieser übertragen werden (Abb. 103). Das bedingt allerdings, daß sie stets eingeschaltet ist, da sonst der Mittelleiter nicht angeschlossen wäre.

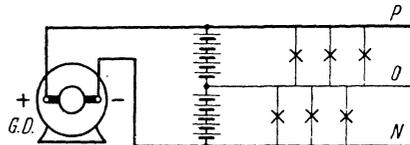


Abb. 103. Dreileiteranlage, Spannungsteilung durch eine Akkumulatoren­batterie.

Im Schaltplan Abb. 104 ist wieder angenommen, daß die Maschine die für die Ladung der Batterie notwendige Spannung unmittelbar, also ohne Anwendung einer Zusatzmaschine, liefern kann. Die Doppelpol­schalter sind im vorliegenden Falle an die Batterie­enden zu legen. Die Maschine ist mit einem doppel­poligen Umschalter (ohne Unterbrechung) versehen, so daß sie entweder auf das Netz, Schalterstellung NV , arbeiten oder die Batterie­ladung, Stellung LL , bewirken kann. Außerdem ist noch ein zweipoliger Umschalter (mit Unterbrechung) für die Batterie erforderlich — im Schaltbild unten —, um entweder die ganze Batterie oder bei Bedarf auch jede Batterie­hälfte aufladen zu können. Es sind im ganzen drei Spannungsmesser vorhanden: einer für die Maschine und die ganze Batterie und je einer für die Batterie­hälften.

a) Die Batterie arbeitet allein auf das Netz.

Es sind die Schalter, die sich in den von den Entladekurbeln der Zellschalter zu den Außensammelschienen führenden Leitungen befinden, geschlossen, ebenfalls die Schalter, welche die Verbindung der beiden Batteriehälften mit dem Mittelleiter herstellen.

b) Maschine und Batterie arbeiten parallel.

Das Parallelschalten der Maschine zur Batterie geschieht in bekannter Weise. Der Maschinenumschalter befindet sich in Stellung *NV*.

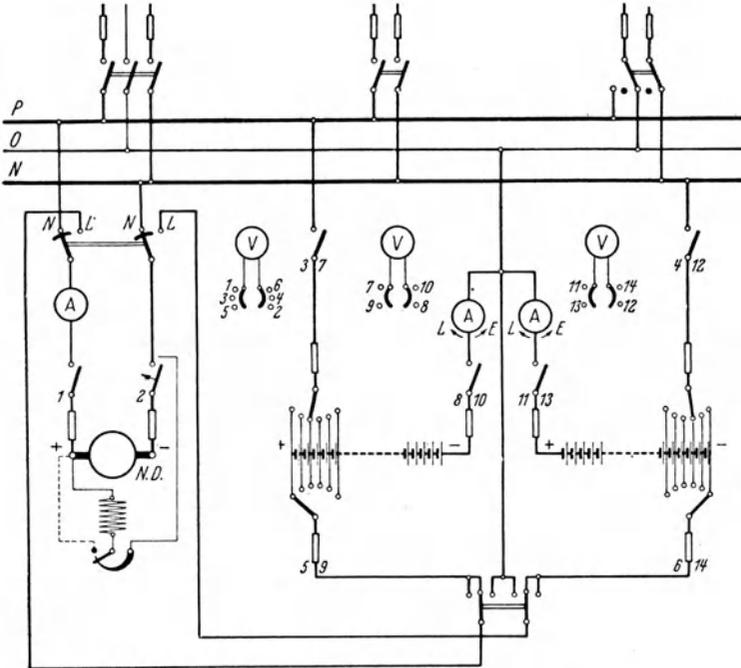


Abb. 104. Dreileiteranlage mit Akkumulatorenbatterie zur Spannungsteilung.

c) Die Batterie wird geladen.

Um die ganze Batterie zu laden, wird der Batterieumschalter in die mittlere Stellung gebracht. Die Einzelheiten der Ladung, während welcher sich der Maschinenumschalter in der Stellung *LL* befinden muß, sind bekannt.

Sollten die beiden Batteriehälften bei der Entladung in verschiedenem Maße beansprucht sein, so muß die stärker entladene Hälfte durch die Betriebsmaschine noch besonders nachgeladen werden. Dies wird in der Regel möglich sein, da die Spannung einer Batteriehälfte gegen Schluß der Ladung ungefähr $\frac{3}{4}$ der normalen Außenleiterspannung beträgt und die Spannung der Maschine durch den Nebenschlußregler auf diesen Betrag erniedrigt werden kann. Ist die linke Batteriehälfte nachzuladen, so ist der Batterieumschalter nach links zu stellen,

bei der Nachladung der rechten Batteriehälfte dagegen nach rechts. Um übrigens die beiden Batteriehälften möglichst gleichmäßig entladen zu können, richtet man einige Anschlüsse, z. B. die Beleuchtung des Maschinenhauses, so ein, daß man sie nach Bedarf auf die eine oder andere Netzhälfte umschalten kann, wie dies in der Abbildung auch für eine Netzleitung zum Ausdruck gebracht ist.

47. Dreileiteranlage mit Ausgleichsmaschinen.

Eine sehr zweckmäßige Methode der Spannungsteilung ist die Anwendung von Ausgleichsmaschinen. Es sind dies zwei kleine miteinander gekuppelte Maschinen, jede für die halbe Außenspannung. Beide werden, hintereinander geschaltet, an die von der Gleichstrommaschine *G.D.* abgenommenen Außenleiter *P* und *N* gelegt, und zwischen ihnen wird der Mittelleiter *O* abgenommen, Abb. 105. Die Ausgleichsmaschinen sind mit *A.M.* bezeichnet. Sind beide Netzhälften gleich belastet, so laufen die Maschinen leer als Motor. Ist eine Netzhälfte stärker belastet als die andere, so erhält die Maschine, die sich in der schwächer beanspruchten Hälfte befindet, da in dieser der Spannungsabfall kleiner als in der anderen ist, eine höhere Spannung. Sie läuft also schneller, wirkt als Motor und treibt die in der stärker belasteten Netzhälfte befindliche Maschine an. Diese wirkt daher als Dynamomaschine und liefert Strom in ihre Netzhälfte, während die als Motor arbeitende Maschine ihrer Netzhälfte den für den Antrieb der Dynamomaschine erforderlichen Strom entzieht. Es tritt also ein Ausgleich der Belastungen beider Netzseiten ein.

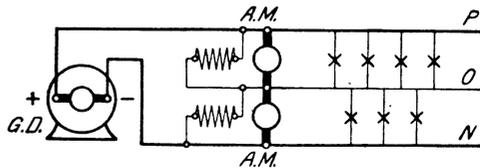


Abb. 105. Dreileiteranlage, Spannungsteilung durch Ausgleichsmaschinen.

Empfehlenswert ist es, die Ausgleichsmaschinen über Kreuz zu erregen, d. h. die in der oberen Netzhälfte liegende Maschine von der unteren Netzhälfte aus und umgekehrt. In diesem Falle empfängt jeweils die als Motor arbeitende Maschine ihren Erregerstrom von der stärker belasteten Seite. Sie wird also, da deren Spannung die geringere ist, schwächer erregt und läuft daher schneller als bei eigener Erregung, wodurch die Ausgleichswirkung begünstigt wird.

Das Schaltbild einer Anlage mit Ausgleichsmaschinen ergibt sich sinngemäß nach den Angaben der vorhergehenden Abschnitte. Für jede der beiden Ausgleichsmaschinen ist ein Strommesser mit zweiseitigem Ausschlag vorzusehen, um sofort übersehen zu können, ob die Maschine stromerzeugend (als Dynamomaschine) oder stromverbrauchend (als Motor) arbeitet.

Falls für die Ladung der Batterie eine Zusatzmaschine in Anwendung kommen soll, so kann diese, um einen besonderen Antriebsmotor für sie zu ersparen, mit dem Ausgleichsmaschinensatz gekuppelt werden.

Falls für die Ladung der Batterie eine Zusatzmaschine in Anwendung kommen soll, so kann diese, um einen besonderen Antriebsmotor für sie zu ersparen, mit dem Ausgleichsmaschinensatz gekuppelt werden.

48. Dreileitermaschine mit einer Akkumulatorenatterie.

Eine Spannungsteilung kann auch innerhalb der Betriebsmaschine selber vorgenommen werden. Man erhält alsdann eine sog. Dreileitermaschine. An der von Dohrowolsky erfundenen Maschine der AEG, Abb. 106, sind außer dem Kollektor zwei Schleifringe angebracht, mit denen durch Vermittlung von Hilfsbürsten die Enden einer Drosselspule D verbunden sind. An den Mittelpunkt der Drosselspulenwicklung ist der Mittelleiter des Dreileiternetzes angeschlossen, während den Außenleitern der Betriebsstrom in normaler Weise vom Kollektor zugeführt wird.

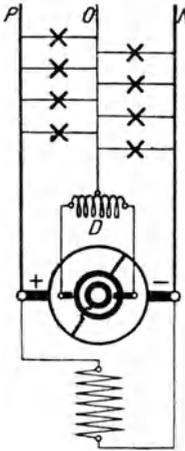


Abb. 106. Dreileitermaschine.

Abb. 107 zeigt die Schaltung einer Anlage mit einer Dreileitermaschine und einer parallel geschalteten Akkumulatorenatterie. Der Batteriemittelpunkt ist wieder an den Mittelleiter angeschlossen. Der Schaltplan gilt für den Fall, daß die Ladung der Batterie durch Nebenschlußregelung der Dreileitermaschine erfolgt. Bei Verwendung von Zusatzmaschinen erhält zweckmäßigerweise jede Netzhälfte eine solche.

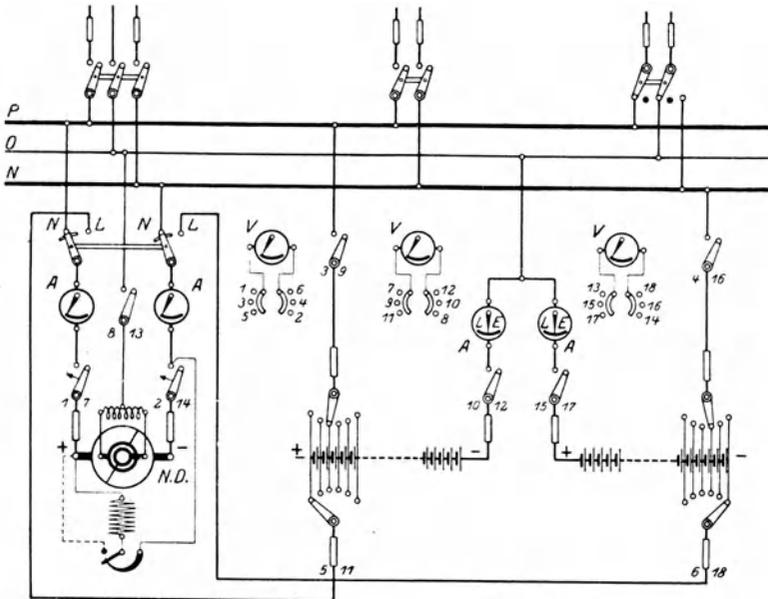


Abb. 107. Dreileitermaschine mit Akkumulatorenatterie.

V. Gleichstrommotoren.

49. Der Nebenschlußmotor.

Die große Verbreitung, welche die Nebenschlußmaschine als Motor gefunden hat, verdankt sie hauptsächlich dem Umstand, daß ihre

Drehzahl bei allen vorkommenden Belastungen nahezu gleichbleibt, wenn die Netzspannung konstant gehalten wird.

Das Schaltbild des Nebenschlußmotors in Verbindung mit dem Anlasser zeigt Abb. 108. Der Anlasser besitzt drei Anschlußklemmen: L dient zum Anschluß einer der beiden Netzleitungen, mit R wird der eine Ankerpol verbunden und mit M das freie Ende der Magnetwicklung. M steht mit einer Schleifschiene in Verbindung, durch welche die Magnetwicklung beim Anlassen stets die volle Spannung erhält. Durch den Anlaßwiderstand wird also lediglich der Ankerstrom, nicht aber auch der Magnetstrom geschwächt, was zur Erzielung einer hohen Anzugskraft erforderlich ist. Die in dem Schaltbild angegebene Verbindung zwischen Anlaßschiene und erstem Arbeitskontakt ist empfehlenswert mit Rücksicht auf selbstinduktionsfreies Ausschalten

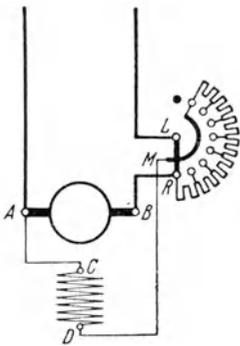


Abb. 108. Nebenschlußmotor, Anlasser mit Erregerschiene.

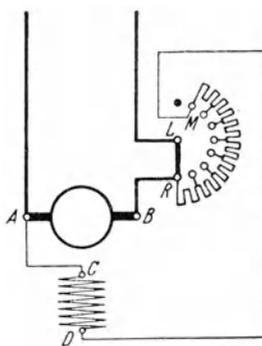


Abb. 109a. Nebenschlußmotor, Anlasser ohne Schiene.

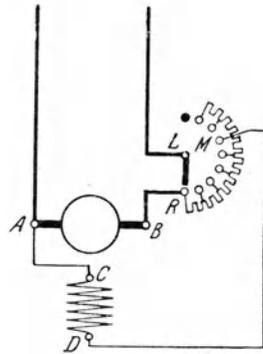


Abb. 109b.

ten: der beim Abschalten auftretende Stromstoß kann in dem aus Magnetwicklung, Anker und Anlaßwiderstand gebildeten Stromkreis verlaufen (vgl. Abschn. 27).

Will man die Schiene am Anlasser vermeiden, so kann die Schaltung nach Abb. 109a vorgenommen werden. In diesem Falle wird, über die Klemme M , das freie Ende der Magnetwicklung an den ersten Arbeitskontakt des Anlassers angeschlossen. Der Magnet wird also beim Anlassen sofort auf volle Stärke erregt, und die Anzugskraft ist dementsprechend hoch. Im weiteren Verlauf des Anlassens wird allerdings der Anlaßwiderstand vor die Magnetwicklung gelegt, der Magnetstrom also etwas herabgesetzt, was jedoch unbedenklich ist und sich lediglich durch eine etwas erhöhte Drehzahl bemerkbar macht. Zuweilen wird, um den Magnetstrom weniger zu schwächen, die zum Anschluß der Magnetwicklung dienende Klemme M nicht mit dem ersten, sondern einem der folgenden Arbeitskontakte verbunden, wie es Abb. 109b zeigt.

Sind im vorstehenden die grundsätzlichen Schaltungsweisen von Motor und Anlasser erörtert worden, so gibt Abb. 110 noch ein Beispiel für die praktische Ausführung des Anlassers (nach Voigt und Häffner, Frankfurt a. M.). Die Schaltung läßt sich auf Abb. 109a zurückführen, doch ist die Anlasserkurbel selbst, einer allgemeinen Vorschrift

entsprechend, stromlos gemacht worden, wodurch sich am Anlasser die Notwendigkeit einer Schleifschiene für den zugeführten Strom ergibt. Die erforderlichen Verbindungen werden ausschließlich mittels der am Kurbelende befindlichen Schleiffedern hergestellt. In der Kurzschlußstellung des Anlassers werden die Magnete über einen besonderen Hilfskontakt voll erregt, der Magnetstrom wird dann also, im Gegensatz zu Abb. 109, nicht mehr durch den Anlaßwiderstand geschwächt.

50. Der Hauptschlußmotor.

Die Hauptschlußmaschine besitzt als Motor eine besonders hohe Anzugskraft und wird daher mit Vorliebe für den Betrieb von Fahrzeugen, Kranen u. dgl. verwendet. Ihre Umlaufzahl ist jedoch in hohem Maße von der Belastung abhängig. Sie steigt, wenn der Motor entlastet wird, stark an, und bei Leerlauf geht der Motor durch. Er ist daher für Riemenantriebe, wie überhaupt in allen Fällen, in denen eine unvorhergesehene Entlastung eintreten kann, nicht verwendbar, wenn nicht, etwa durch einen Zentrifugalapparat, das Auftreten einer zu hohen Geschwindigkeit verhindert wird.

Das Schaltbild des Hauptschlußmotors mit dem zugehörigen Anlaßwiderstand ist durch Abb. 111 gegeben. Am Anlasser sind nur zwei Klemmen erforderlich: *L* für den Anschluß einer der beiden Netzleitungen, *R* für die Verbindung mit dem Motor.

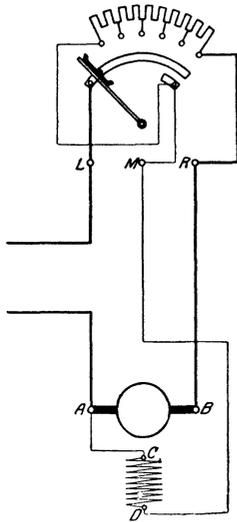


Abb. 110. Nebenschlußmotor mit Anlasser. (Kurbel nicht stromführend.)

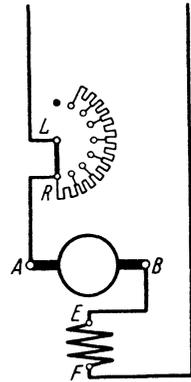


Abb. 111. Hauptschlußmotor mit Anlasser.

51. Der Doppelschlußmotor.

Wirkt bei einem Doppelschlußmotor die Hauptschlußwicklung der Nebenschlußwicklung entgegen, so kann eine von der Belastung unabhängige Drehzahl erzielt werden. Eine völlig konstante Geschwindigkeit läßt sich jedoch, schon infolge der im Betrieb eintretenden Erwärmung, nicht erreichen. Daher findet diese Art Doppelschlußmotoren nur selten Anwendung.

Ist die Hauptschlußwicklung im gleichen Sinne wie die Nebenschlußwicklung geschaltet, so wird die Anzugskraft des Motors im Vergleich zu der des Nebenschlußmotors erhöht. Da aber bei einer derartigen Schaltung mit zunehmender Belastung ein stärkerer Abfall der Drehzahl eintritt, so begnügt man sich meistens mit verhältnismäßig wenigen Windungen für die Hauptschlußwicklung.

Das Schaltbild eines Doppelschlußmotors mit seinem Anlasser zeigt Abb. 112.

52. Wendepolmotoren.

In den vorstehenden Schaltskizzen sind die Motoren ohne Wendepole gezeichnet, und auch in den nachfolgenden Schaltbildern sollen sie der Einfachheit wegen im allgemeinen nicht angegeben werden. Doch werden namentlich umsteuerbare Motoren und solche, bei denen durch Feldschwächung eine weitgehende Geschwindigkeitsregelung vorgenommen werden soll (s. Abschn. 54), meistens mit Wendepolen ausgeführt. Die Wendepole werden, wie schon für die Stromerzeuger angegeben wurde, vom Ankerstrom erregt (vgl. Abschn. 31), und zwar bei den Motoren — umgekehrt wie bei den Dynamomaschinen — so, daß die Ankerdrähte immer erst nach dem Vorbeigang an einem Hauptpol an einem Wendepol der gleichen Polarität vorbeigleiten. Zu

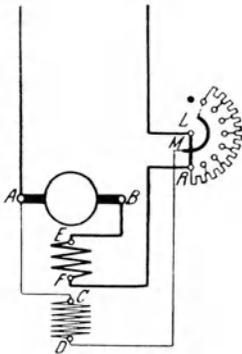


Abb. 112. Doppelschlußmotor mit Anlasser.

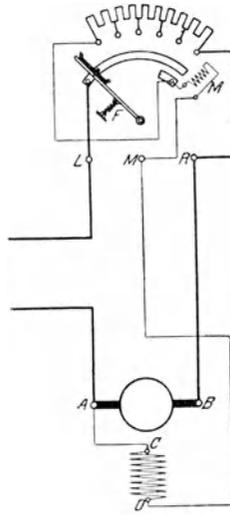


Abb. 113. Anlasser mit selbsttätiger Unterspannungsauslösung.

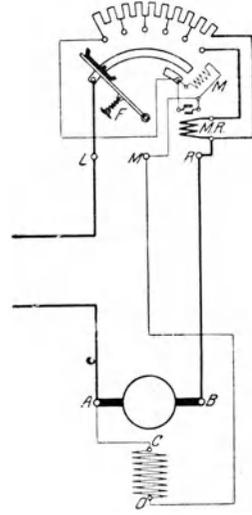


Abb. 114. Anlasser mit selbsttätiger Unterspannungs- und Überstromauslösung.

beachten ist, daß bei etwaigen Schaltungsänderungen des Motors, z. B. zwecks Umkehr der Drehrichtung, die Verbindung der Wendepolwicklung mit dem Anker unverändert beizubehalten ist.

53. Anlasser mit selbsttätiger Auslösung.

Kommt ein Motor zum Stillstand, weil aus irgendeinem Grunde die Spannung des Netzes, an das er angeschlossen ist, ausbleibt, so muß der Anlaßwiderstand sofort ausgeschaltet werden. Andernfalls würde der Motor bei plötzlicher Wiederkehr der Spannung, wenn die Sicherungen nicht rechtzeitig ansprechen, verbrennen. Hiergegen kann man sich durch Einbau eines Unterspannungsschalters in eine der Zuführungsleitungen schützen (s. Abschn. 7d).

Bei Nebenschlußmotoren kann eine selbsttätige Auslösung unmittelbar am Anlasser vorgesehen werden, Abb. 113 (vgl. auch Abb. 110). Auf der Kontaktplatte des Anlassers befindet sich ein kleiner Elektromagnet M , dessen Wicklung in den Erregerkreis des Motors eingeschaltet

ist. Auf die Kurbel des Anlassers wirkt nun die Kraft einer Feder F ein, welche beim Drehen der Kurbel während des Anlassens gespannt wird und daher bestrebt ist, sie immer wieder in die Ausschaltstellung zurückzuziehen. In der Endstellung wird sie jedoch mittels eines kleinen eisernen Ankers vom Magneten festgehalten. Bleibt aber die Netzspannung aus, so wird der Anlasser unter der Einwirkung der Feder sofort ausgeschaltet. Da die Spule M mit der Magnetwicklung des Motors hintereinander geschaltet ist, so löst der Schalter auch aus, wenn der Erregerstrom eine Unterbrechung erleidet. Dies ist insofern von Belang, als beim unerregten Motor die Gefahr des „Durchgehens“ vorliegt (vgl. Abschn. 54, 2. Absatz).

In Abb. 114 hat der Anlasser außer der Unterspannungs- auch eine Überstromauslösung erhalten. Beim Überschreiten der zulässigen Stromstärke wird die Magnetspule M durch ein kleines Maximalrelais $M. R.$ kurzgeschlossen und somit der Motor ausgeschaltet.

54. Regelung der Drehzahl.

Die Drehzahl eines Motors läßt sich vermindern, indem dem Anker eine geringere Spannung zugeführt, vor den Anker also ein Widerstand gelegt wird. Ist der Anlaßwiderstand für Dauerbelastung eingerichtet — aber auch nur dann —, so kann er selber zur Geschwindig-

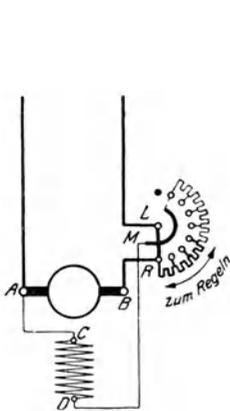


Abb. 115. Nebenschlußmotor mit Regelanlasser zur Erniedrigung der Drehzahl.

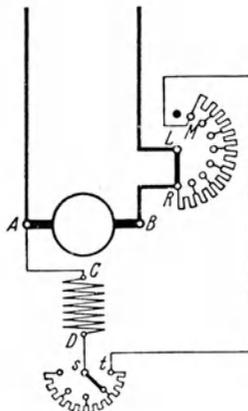


Abb. 116. Nebenschlußmotor mit Anlasser und Nebenschlußregler.

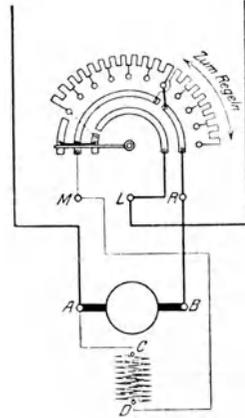


Abb. 117. Nebenschlußmotor mit Regelanlasser zur Erhöhung der Drehzahl.

keitsregelung verwendet werden. Gegebenenfalls werden hierfür nur einige Stufen des Anlaßwiderstandes eingerichtet, wie Abb. 115 für einen Nebenschlußmotor zeigt. Das Verfahren ist für alle Arten von Gleichstrommotoren verwendbar. Es ist jedoch unwirtschaftlich, da es mit einem Energieverlust verbunden ist, der um so erheblicher ausfällt, je weiter die Drehzahlregelung getrieben wird. Es wird daher nur in Ausnahmefällen angewendet.

Eine Erhöhung der Drehzahl eines Motors läßt sich durch Schwächen des Magnetfeldes, also durch Vermindern des Erreger-

stromes erreichen. Beim Nebenschlußmotor wird — nach Art des Nebenschlußreglers einer Dynamomaschine — in den Magnetkreis ein Regulierwiderstand eingeschaltet, s, t in Abb. 116. Der Widerstand ist ohne Ausschaltkontakt auszuführen, da bei unterbrochenem Magnetstrom der Motor, der dann nur dem Einfluß des Restmagnetismus unterliegt, durchgehen kann. In Abb. 117 ist das Schaltbild eines Nebenschlußmotors dargestellt, mit dessen Anlasser ein Nebenschlußregler vereinigt ist. Es sind vier Regulierstufen vorgesehen. Die gestrichelt gezeichnete Verbindungsleitung dient zum selbstinduktionsfreien Ausschalten.

Beim Hauptschlußmotor kann eine Erhöhung der Drehzahl dadurch herbeigeführt werden, daß zur Magnetwicklung ein Regulierwiderstand s, t parallel geschaltet wird, Abb. 118. Ist dieser Widerstand ausgeschaltet, so läuft der Motor mit der normalen Drehzahl. Diese steigt jedoch an, wenn die Regulierkurbel des Widerstandes in Richtung t gedreht wird. Ein gewisser Widerstand W muß jedoch auch bei kurzgeschlossenem Regelwiderstand eingeschaltet bleiben, damit die Magnetwicklung nicht stromlos wird; der Motor würde sonst durchgehen.

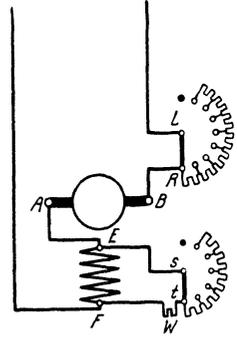


Abb. 118. Hauptschlußmotor mit Regulierwiderstand zur Erhöhung der Drehzahl.

55. Anlasser in Kahlenberg-Schaltung.

Bei Anlassern für sehr große Maschinen hat sich eine Einrichtung bewährt, deren Schaltung in Abb. 119 für einen Nebenschlußmotor wiedergegeben ist. Der Anlaßwiderstand ist hier in zwei Teile zerlegt, die durch die Anlasserkurbel, deren Kontaktfeder so breit gemacht wird, daß sie stets zwei Kontakte des Anlassers gleichzeitig deckt, parallel geschaltet werden. Es führt also jeder Teil des Widerstandes nur die halbe Stromstärke, und auch die Kontakte, deren Zahl sich allerdings einem normalen Anlasser gegenüber aufs Doppelte erhöht, können entsprechend kleiner bemessen werden. Der Nutzen der Anordnung ist vor allem darin zu sehen, daß eine Schonung der Kontakte eintritt, da beim Übergang der Schleifeder von einem Kontakt zum nächsten immer nur eine Widerstandsstufe ab- oder zugeschaltet wird, welche die halbe Stromstärke führt. Dagegen werden bei

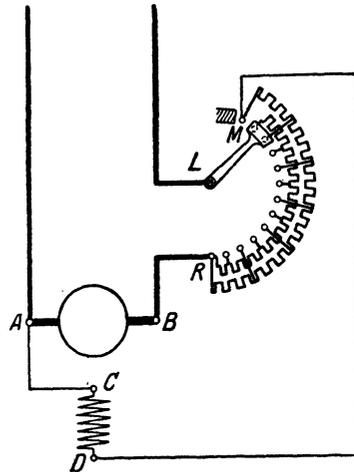


Abb. 119. Nebenschlußmotor mit Kahlenberg-Anlasser.

Anlassern gewöhnlicher Bauart, bei denen unter voller Stromstärke geschaltet werden muß, der Reihe nach die Kontakte auf die beim

Anlassen des Motors die Feder noch nicht voll zur Auflage gekommen ist, bzw. auf welche beim Ausschalten die Feder nicht mehr voll aufliegt, besonders stark beansprucht. Die Folge hiervon ist, daß an den Kontakten im Laufe der Zeit Brandstellen auftreten. Auch daß die Verbindungsdrähte zwischen den einzelnen Widerstandsspiralen und den zugehörigen Kontakten nur für die halbe Stromstärke einzurichten sind, ist als Vorteil des beschriebenen Anlassers zu buchen. Ein Ausschaltkontakt ist bei dem in der Abbildung dargestellten Anlasser nicht vorgesehen. Er muß durch einen besonderen Schalter ersetzt werden.

Die Anlasser mit geteiltem Widerstand, die von den SSW ausgeführt werden, sind aus den von Kahlenberg angegebenen, in Abschn. 116 beschriebenen Anlassern für Drehstrommotoren entwickelt worden. Statt der Unterteilung des Anlaßwiderstandes in zwei parallele Teile kann naturgemäß auch ein drei- oder mehrteiliger Widerstand angewendet werden. Die Zahl der Kontakte erhöht sich demgemäß, ebenso wird die Kontaktfeder entsprechend breiter.

56. Änderung der Drehrichtung.

Eine Umkehr der Drehrichtung eines Motors wird erzielt, indem entweder dem Ankerstrom oder dem Strom in der Magnetwicklung eine andere Richtung erteilt wird. Bei betriebsmäßig wechselndem Drehsinn umsteuerbarer Motoren wird in der Regel — durch Vertauschen der Ankeranschlüsse — die Stromrichtung im Anker geändert. Dagegen wird eine bleibende Änderung des Drehsinnes häufig durch Umpolen der Maschine, also durch Vertauschen der Anschlußleitungen an den Klemmen der Feldwicklungen, vorgenommen. Der Anschluß einer etwa vorhandenen Wendepolwicklung zum Anker bleibt in jedem Falle ungeändert.

In den Abb. 120 bis 125 sind, den in den „Regeln für Klemmenbezeichnungen“ des VDE¹ gegebenen Beispielen entsprechend, die Schaltungen für Rechts- und Linkslauf des Nebenschluß- und des Hauptschlußmotors gegeben, wobei davon ausgegangen ist, daß beim Rechtslauf der Stromlauf in allen Teilen der Maschine im Sinne der alphabetischen Reihenfolge der Klemmen, also von *A* nach *B*, von *C* nach *D*, von *E* nach *F*, von *G* nach *H* erfolgt. Für den Doppelschlußmotor ergibt sich die Schaltung für Rechts- und Linkslauf sinngemäß. Beim Nebenschlußmotor ist die Magnetklemme *C* im Rechtslauf des Motors und, sofern der Wechsel der Drehrichtung durch Umkehr der Stromrichtung im Anker bewirkt wird, auch im Linkslauf mit der Anlasserklemme *M*, die Klemme *D* mit der Maschine verbunden. Beim Hauptschlußmotor ist im Rechtslauf und beim Wechsel der Drehrichtung durch Stromumkehr im Anker auch im Linkslauf die Magnetklemme *E* mit der Maschine verbunden (vgl. auch Abschn. 32 über den Drehsinn der Gleichstromerzeuger).

¹ ETZ 1938, 1215.

Bemerkte sei noch, daß der Drehsinn eines Motors, wie bereits für die Gleichstromerzeuger angegeben wurde, stets von der Antriebsseite, die meistens auf der dem Kollektor entgegengesetzten Seite liegt, angegeben wird.

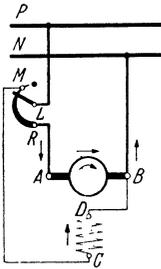


Abb. 120 a.

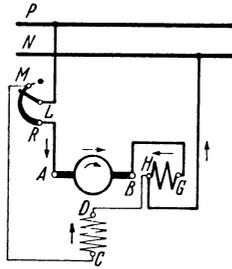


Abb. 120 b.

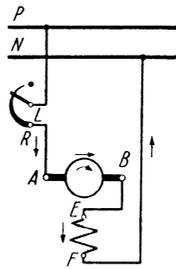


Abb. 121 a

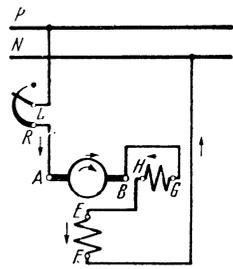


Abb. 121 b.

Nebenschlußmotor ohne und mit Wendepolen für Rechtslauf.

Hauptschlußmotor

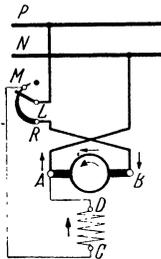


Abb. 122 a.

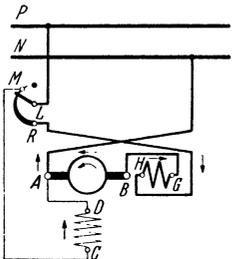


Abb. 122 b.

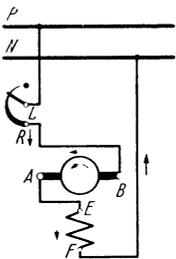


Abb. 123 a.

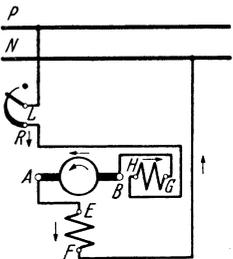


Abb. 123 b.

Nebenschlußmotor ohne und mit Wendepolen für Linkslauf durch Richtungsänderung des Ankerstromes.

Hauptschlußmotor

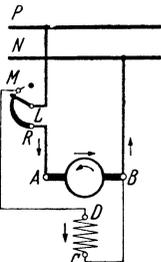


Abb. 124 a.

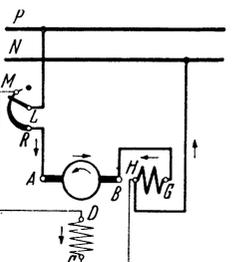


Abb. 124 b.

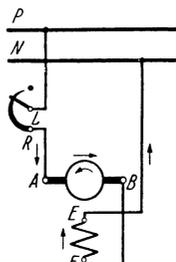


Abb. 125 a.

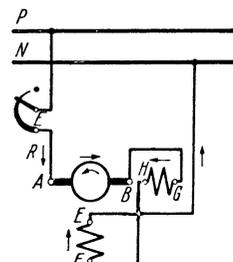


Abb. 125 b.

Nebenschlußmotor ohne und mit Wendepolen für Linkslauf durch Richtungsänderung des Magnetstromes.

Hauptschlußmotor

57. Wendeanlasser.

Ist der Drehsinn eines Motors während des Betriebes regelmäßig umzukehren, so geschieht dies, wie bereits im vorigen Abschnitt angeführt wurde, meistens durch Beeinflussung des Ankerstromes. Die Maschine behält dann immer den gleichen Restmagnetismus bei. Es können Wendeanlasser verwendet werden, mit denen die gewünschte Drehrichtung eingestellt wird.

Abb. 126 zeigt das Schaltbild eines Wendeanlassers für einen Nebenschlußmotor. Es ist ein gemeinsamer Anlaßwiderstand für beide Drehrichtungen vorhanden, die Kontaktbahn ist dagegen doppelseitig ausgebildet mit den Kurzschlußkontakten k_1 und k_2 , die unter sich verbunden sind. Die Kurbel des Anlassers ist dreiarmig ausgeführt: die Arme 1 und 2 stehen miteinander in leitender Verbindung, 3 ist von ihnen isoliert. Die Schleiffeder des Armes 1 bestreicht die Kontaktbahn; durch die an den Armen 2 und 3 befindlichen Federn können einerseits

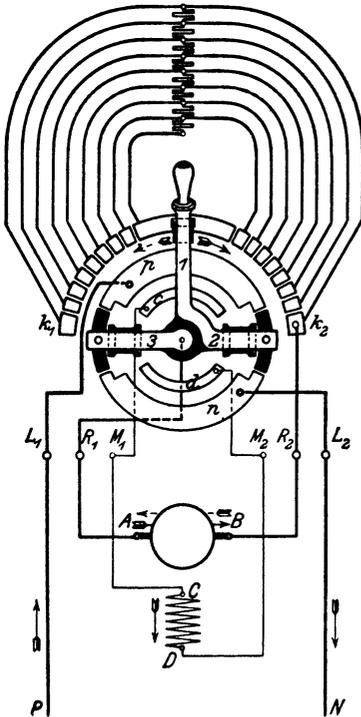


Abb. 126. Wendeanlasser für einen Nebenschlußmotor.

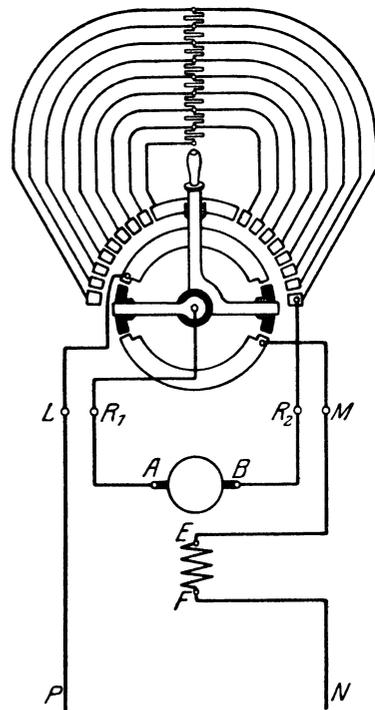


Abb. 127. Wendeanlasser für einen Hauptschlußmotor.

die Schienen p und c , andererseits n und d miteinander in Verbindung gebracht werden. Wie in der Abbildung durch Pfeile kenntlich gemacht ist, wird der Anker, wenn die Anlasserkurbel von der Nullstellung aus nach rechts bewegt wird, in der Richtung von A nach B vom Strom durchflossen:

$$P-L_1-p-3-R_1-\overline{AB}-R_2-\text{Anlaßwiderstand}-1-2-n-L_2-N;$$

wenn die Kurbel nach links bewegt wird, dagegen in der Richtung von B nach A :

$$P-L_1-p-2-1-\text{Anlaßwiderstand}-R_2-\overline{BA}-R_1-3-n-L_2-N.$$

Die Magnetwicklung empfängt stets Strom derselben Richtung:

$$p-3-c-M_1-\overline{CD}-M_2-d-2-n \text{ bzw. } p-2-c-M_1-\overline{CD}-M_2-d-3-n.$$

Es ergeben sich je nach der Kurbelstellung also verschiedene Drehrichtungen für den Motor.

An Abb. 127 ist die Schaltung für den Wendeanlasser eines Haupt-schlußmotors gegeben. Sie unterscheidet sich von dem des Nebenschlußmotors besonders durch den Fortfall der inneren Schleifschienen.

58. Schaltwalzenanlasser.

In den vorstehenden Schaltskizzen wurden zum Anlassen der Motoren stets sog. Flachbahn-anlasser vorausgesetzt, bei denen die einzelnen Widerstandsstufen an Kontakten liegen, die auf einer ebenen Platte angeordnet sind. Wo das Anlassen und Abstellen des Motors häufig zu erfolgen hat, zieht man jedoch, namentlich in staubigen und feuchten Betrieben oder bei Aufstellung im Freien, Schaltwalzenanlasser vor. Auf der Mantelfläche einer durch eine Kurbel drehbaren Schaltwalze ist eine Anzahl Kontaktstücke angebracht. In einer Mantellinie der Walze liegt eine Reihe Kontaktfinger federnd auf, welche in bestimmter

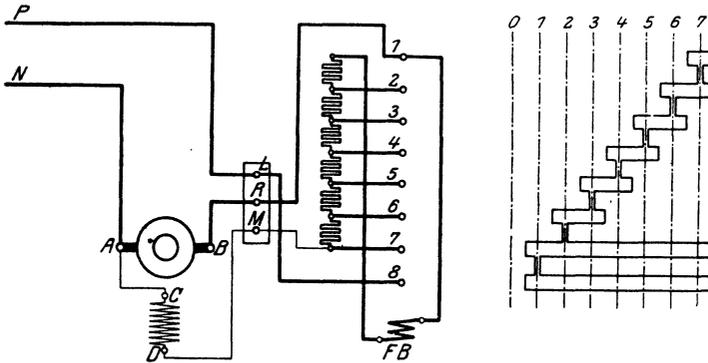


Abb. 128. Schaltwalzenanlasser für einen Nebenschlußmotor.

Weise mit den Zuführungsleitungen, dem Motor selbst oder den Anlaßwiderständen verbunden sind. Die Kontaktstücke sind nun so ausgestaltet und stehen untereinander derartig in Verbindung, daß durch Vermittlung der Kontaktfinger die für das Anlassen erforderlichen Verbindungen beim Drehen der Kurbel in der richtigen Reihenfolge hergestellt werden.

Das Schaltbild eines Walzenanlassers für einen Nebenschlußmotor zeigt Abb. 128. Ihm ist, wie auch den nachstehend wiedergegebenen Bildern von Walzenschaltern, eine Ausführung der Firma F. Klöckner, Köln, zugrunde gelegt. Es sind 8 Kontaktfinger vorhanden. Der rechte Teil der Abbildung stellt die Abwicklung der Walze dar. Dieselbe läßt 7 Anlaßstellungen erkennen, außerdem die Ausschaltstellung 0. In Stellung 1 der Walze, d. h. wenn die Kontaktfinger sämtlich in der Mantellinie 1 auf der Walze liegen, nimmt der Strom seinen Weg von der Netzleitung P über die Klemme L des Walzenanlassers zum Kontaktfinger 8, sodann wird er durch die beiden unteren

Kontaktstücke der Walze über Finger 7 zu dem Anlaßwiderstand geleitet, dessen Stufen, 6 an der Zahl, er sämtlich durchfließen muß, um sodann über die Funkenblaspule *F. B.* und die Klemme *R* zum Anker in Richtung \overline{BA} und weiter zum anderen Netzpol *N* zu gelangen. In Stellung 2 wird durch die zu den Fingern 6 und 7 gehörigen Kontaktstücke eine Widerstandsstufe kurzgeschlossen, so daß nur noch 5 Stufen

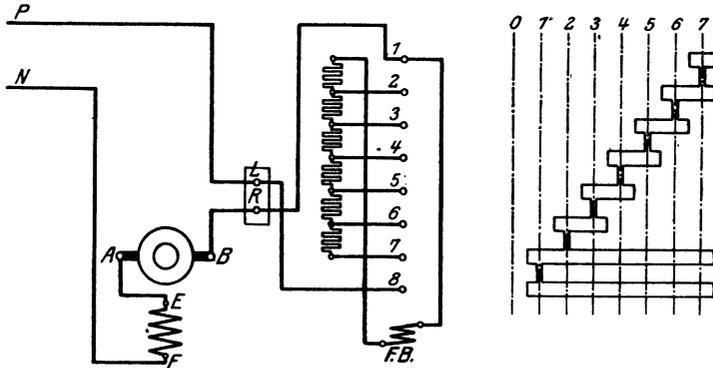


Abb. 129. Schaltwalzenanlasser für einen Hauptschlußmotor.

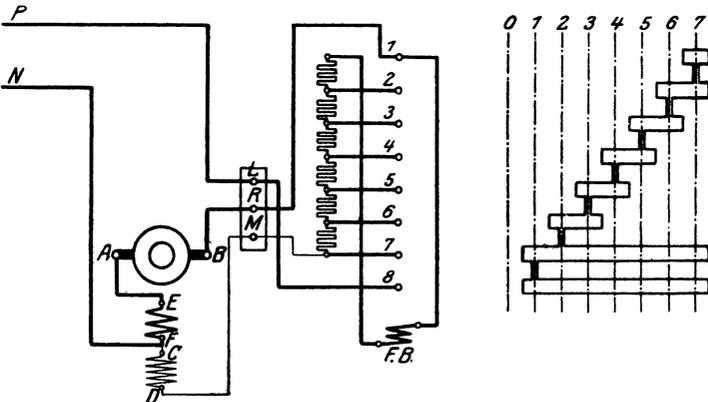


Abb. 130. Schaltwalzenanlasser für einen Doppelschlußmotor.

dem Anker vorgeschaltet bleiben. In Stellung 3 sind noch 4 Widerstandsstufen eingeschaltet usw. In Stellung 7 schließlich ist der ganze Anlaßwiderstand aus dem Stromkreise herausgenommen: der Motor ist im normalen Betriebe. Die Magnetwicklung ist von der ersten Anlaßstellung an stets voll erregt.

In Abb. 129 ist der vorstehend behandelte Walzenanlasser in Verbindung mit einem Hauptschlußmotor gezeichnet. Die Klemme *M* fehlt in diesem Falle.

Schaltbild Abb. 130 zeigt schließlich den gleichen Walzenanlasser für einen Doppelschlußmotor.

Motoren erfolgt durch Richtungsänderung des Ankerstromes, während der Magnetstrom stets im gleichen Sinne fließt. Das Schaltbild für den Nebenschlußmotor läßt erkennen, daß dieser während des ganzen Einschaltvorganges voll erregt ist. Der Magnetwicklung des Nebenschlußmotors ist noch ein Schutzwiderstand parallel geschaltet. Dieser soll den beim Abschalten infolge der hohen Selbstinduktionsspannung auftretenden Stromstoß aufnehmen, der namentlich bei höheren Spannungen — 220 Volt und mehr — und großer Schalthäufigkeit für die Wicklung verhängnisvoll werden könnte. Der Schutzwiderstand muß im Vergleich zu dem der Magnetwicklung einen hohen Ohmwert besitzen.

Gegebenenfalls kann mit der Anordnung ein Bremsluftmagnet verbunden sein, der eine für gewöhnlich angezogene Bremse freigibt, sobald er erregt wird. In den Schaltplänen ist ein Hauptschlußmagnet *H. B. M.* angedeutet, dessen Erregung durch den vollen Motorstrom erfolgt, doch wird in vielen Fällen ein Nebenschlußmagnet, der durch einen vom Netz abgezweigten Strom geringer Stärke erregt wird, vorgezogen.

60. Steuerwalze mit Nachlaufbremsung für beide Drehrichtungen.

Damit die Motoren, sobald die Stromzufuhr unterbrochen ist, rasch zum Stillstand kommen, können an den Steuerwalzen einige Nachlaufbremsstellungen eingerichtet werden. In diesen werden die

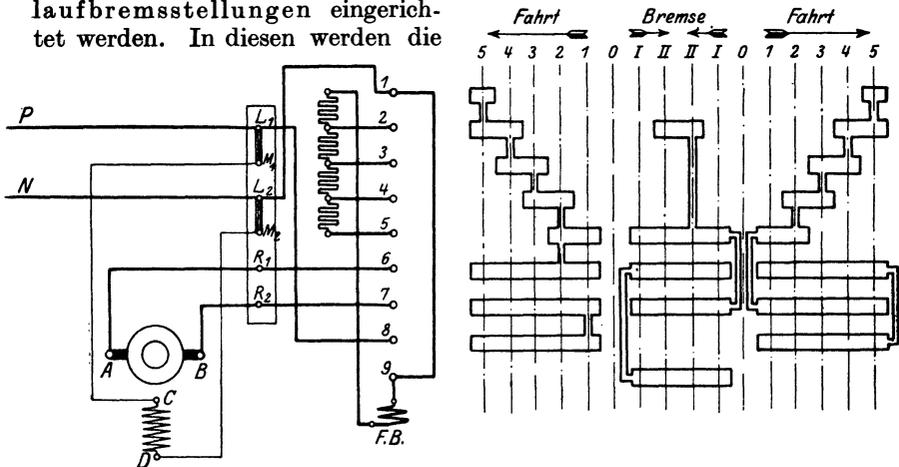


Abb. 133. Steuerwalze mit Nachlaufbremsung für einen Nebenschlußmotor.

Motoren, als Dynamo arbeitend, auf einen kleinen Widerstand, z. B. den Anlaßwiderstand, geschaltet, in dem sich ihre lebendige Kraft schnell verzehrt. In Abb. 133 ist die Schaltung eines Nebenschlußmotors und der zugehörigen Wendewalze mit Nachlaufbremsung für beide Drehrichtungen gegeben. Hinsichtlich des Anlassens nach der einen oder anderen Drehrichtung kann im allgemeinen auf die vorhergehenden Schaltbilder verwiesen werden. Die Umsteuerung des Motors geschieht, wie üblich, durch Richtungsänderung des Ankerstromes.

Da die Erregung unmittelbar vom Netz aus erfolgt, so behält der Magnetstrom stets die gleiche Richtung, auch beim Bremsen. Es wird also der Motor in den Bremsstellungen der Walze im gleichen Sinne erregt wie in den Fahrtstellungen. Es sind zwei Bremsstellungen für jede Drehrichtung vorhanden. In den Stellungen *I* der Walze arbeitet die Maschine auf den gesamten Anlaßwiderstand, der nunmehr die Rolle eines Belastungswiderstandes übernommen hat. Beim Weiterdrehen der Walze in die Stellung *II* wird, da dann nur noch eine Widerstandsstufe eingeschaltet ist, ein größerer Strom entwickelt, die Bremswirkung also entsprechend verstärkt. Da nach dem Schaltbild die Magnetwicklung des Motors unmittelbar am Netz liegt, so ist, um auch die Erregung abschalten zu können, vor dem Motor noch ein Hauptschalter anzubringen.

Bei einem Hauptschlußmotor müßte, damit er bei gleichbleibender Drehrichtung Strom erzeugt, also bremsend wirkt, eine Schaltungsänderung vorgenommen werden: die beiden Enden der Magnetwicklung sind in bezug auf ihre Verbindung mit Anker und äußerem Stromkreis zu vertauschen.

Zur Unterstützung der Bremswirkung kann noch ein Bremsmagnet angeordnet werden. In Abb. 133 wurde der einfacheren Darstellung wegen auf die Einzeichnung eines solchen verzichtet.

61. Steuerwalze für Hubmotoren in Senkbremsschaltung.

Einer besonderen Ausbildung bedarf die Steuerwalze zur Bedienung des Hubmotors eines Krans. Es kommt für diesen Zweck im allgemeinen

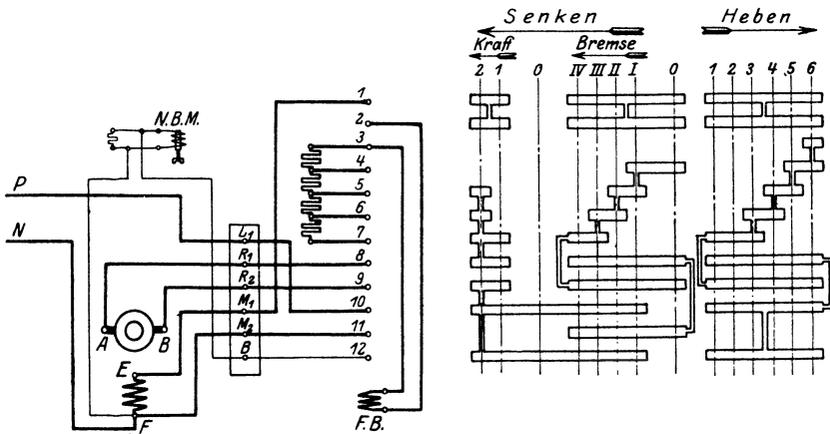


Abb. 134. Steuerwalze für einen Hauptschluß-Hubmotor.

nur der Hauptschlußmotor in Betracht. Ein Beispiel für die Schaltung eines solchen ist in Abb. 134 gegeben. Für die dem Heben der Last entsprechende Drehrichtung sind 6 Schaltstellungen vorhanden. Besonderheiten sind hier nicht zu erwähnen. Nur ist im Gegensatz zu dem vorhergehenden Schaltbild durch Einführung der beiden oberen Reihen Kontaktschienen an der Walze die Zahl der Unterbrechungsstellen vermehrt, wodurch sie für eine größere Leistung brauchbar wird.

Ferner ist die erste Anlaßstufe, damit das Einschalten nicht zu schnell vorgenommen werden kann und kein zu großer Stromstoß auftritt, doppelt vorhanden. Der Nebenschlußbremsmagnet *N. B. M.*, dem ein Schutzwiderstand parallel geschaltet ist, um der Selbstinduktionsspannung einen Weg zu bieten, ist in allen Anlaßstufen erregt, die Bremse ist also gelüftet.

Um ein Senken der Last herbeizuführen, wird in Stellung *O* zunächst die Verbindung des Ankers mit dem positiven Netzpol aufgehoben, mithin die Stromzufuhr zum Motor unterbrochen. Anker und Magnetwicklung sind mit einer Stufe des Anlaßwiderstandes hintereinandergeschaltet. Ein Sinken der Last tritt jedoch vorerst noch nicht ein, da der Bremsmagnet nicht erregt, die von ihm beeinflusste Bremse also angezogen ist. Erst in Stellung *I* wird bei sonst unveränderter Schaltung die Magnetbremse gelüftet, indem ihr Erregerstrom geschlossen wird. Infolgedessen wird der Motor unter dem Einfluß der sinkenden Last in Drehung gelangen, wobei er als Dynamomaschine arbeitet, also eine Bremswirkung ausübt. Da der Widerstand, auf den er geschaltet ist — eine Stufe des Anlaßwiderstandes, wie schon bemerkt wurde —, vorerst noch klein ist, entwickelt er einen starken Bremsstrom, und die Bremswirkung ist daher genügend groß, um auch große Lasten nur langsam ablaufen zu lassen. In den Stellungen *II* bis *IV* wird die Senkgeschwindigkeit durch Einschalten weiterer Widerstandsstufen größer. Ist die angehängte Last so klein, daß sie nur gerade die ihr entgegenstehenden Reibungswiderstände überwindet, eine nennenswerte Beschleunigung aber nicht hervorruft, so kann weiter auf Stellung *O*, die Freifallstellung, geschaltet werden, in welcher die Verbindung zwischen Anker und Magnetwicklung aufgehoben, die Last sich also selber überlassen ist. Bei noch kleinerer Last ist der Motor wieder ans Netz zu legen, damit nunmehr unter dem Einfluß des vom Motor aufgenommenen Stromes ein Senken mit Kraft eintritt. Hierfür sind 2 Stellungen, *1* und *2*, der Steuerwalze als ausreichend erachtet, wobei ein völliges Kurzschließen des Anlaßwiderstandes nicht vorgesehen ist.

Bei der in der Abbildung gegebenen Anordnung erhält die Magnetwicklung bei allen Schaltstellungen im gleichen Sinne Strom. Doch wird, damit eine andere Drehrichtung des Motors zustande kommt, beim Senken mit Kraft dem Ankerstrom eine andere Richtung wie beim Heben erteilt. Zur Erzielung der Bemswirkung muß beim Senken durch Last die Verbindung der Magnetwicklung mit dem Anker die gleiche bleiben wie beim Heben, da ein Hauptschlußmotor, ohne daß eine Schaltungsänderung vorgenommen wird, stromerzeugend wirkt, wenn er in entgegengesetzter Richtung angetrieben wird (vgl. auch Abschn. 60, vorletzter Absatz).

Die Bedienung der Steuerwalze erfordert eine gewisse Vorsicht. Der Kranführer muß die Last abschätzen und danach die geeignete Schaltstufe auswählen, damit die Last nicht zu schnell sinkt. Es sind jedoch auch Sicherheitssenschaltungen ausgebildet worden, bei denen ein „Durchgehen“ der Last ausgeschlossen ist. Auf diese Schaltungen kann hier nicht näher eingegangen werden.

62. Schützensteuerungen.

Schützensteuerungen kommen namentlich bei großen Motoren zur Verwendung, besonders wenn ein häufiges Ein- und Ausschalten erforderlich ist. Das Schütz, ein elektromagnetisch betätigter Apparat, zieht, sobald es erregt ist, einen Anker an und schließt dadurch einen Kontakt. Um einen Motor anzulassen, ist ein Satz von Schützen notwendig, die in der richtigen Reihenfolge erregt werden müssen. Zu diesem Zwecke ist eine kleine Steuerwalze zu bedienen, die sog. Meisterwalze. Je nach der Stellung der Walze werden einzelne Schütze in einen vom Hauptstrom abgezweigten Stromkreis eingeschaltet. Der

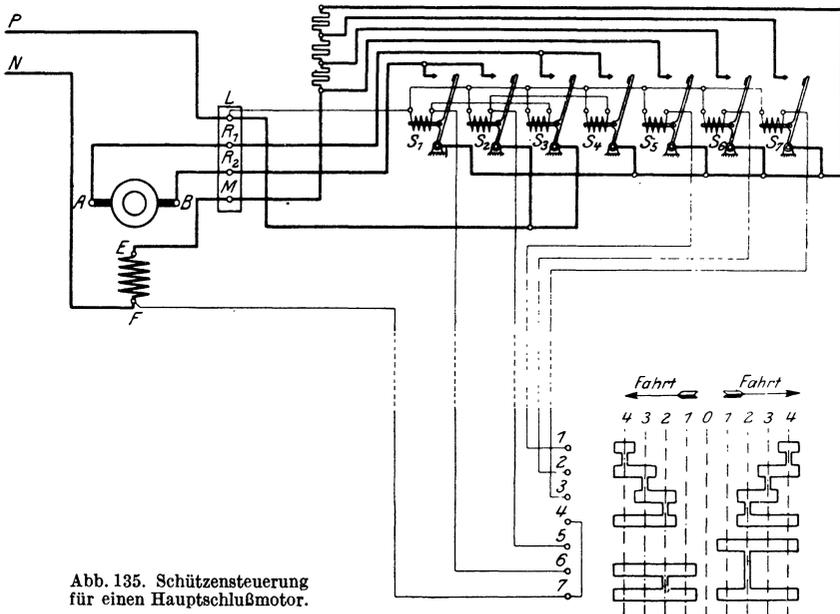


Abb. 135. Schützensteuerung für einen Hauptschlußmotor.

Vorteil der Schützensteuerung besteht darin, daß die Steuerwalze nur kleine Abmessungen annimmt, da mit ihr nicht der gesamte Arbeitsstrom des Motors, sondern nur ein schwacher Hilfsstrom geschaltet wird. Die Steuerwalze ist daher leicht zu bedienen, und sie kann sich auch, da zwischen Walze und dem in der Nähe des Motors aufzustellenden Schützenapparat nur dünne Leitungen notwendig sind, in größerer Entfernung vom Motor befinden. Es ist aber darauf Rücksicht zu nehmen, daß der Spannungsabfall in den Zuleitungen zu den Schützen nicht zu groß ausfällt, da sonst das zuverlässige Ansprechen der letzteren in Frage gestellt wird.

Den Schaltplan einer Schützensteuerung für einen Hauptschlußmotor mit zwei Drehrichtungen zeigt Abb. 135 (nach einer Ausführung von F. Klöckner, Köln). Die Schütze S₁ bis S₇ sind nur schematisch angedeutet. Ihre Konstruktion kann sehr verschieden sein.

In der Nullstellung der Steuerwalze ist der Motor ausgeschaltet. In Stellung 1 links sind die Schütze S_1 und S_3 erregt, die zugehörigen Kontakte also geschlossen, und der Motor empfängt Strom, wobei ihm sämtliche drei Stufen des Anlaßwiderstandes vorgeschaltet sind. In Stellung 2 wird außerdem das Schütz S_7 erregt und dadurch eine Widerstandsstufe abgeschaltet, in Stellung 3 wird durch Erregen des Schützes S_6 eine weitere Stufe abgeschaltet, und in Stellung 4 schließlich ist der gesamte Anlaßwiderstand kurzgeschlossen. Wird die Walze nach der anderen Seite gedreht, so treten die entsprechenden Anlaßstellungen auf, doch bei geänderter Drehrichtung des Motors, da jetzt an Stelle von S_1 und S_3 die Schütze S_2 und S_4 erregt werden, wobei der Anker Strom in entgegengesetzter Richtung erhält, ohne daß die Richtung des Magnetstroms geändert wird.

63. Schützenselbstanlasser.

In manchen Fällen ist es erforderlich, den Motor mit einem Selbstanlasser auszustatten. Es wird dann der Anlaßvorgang durch einen äußeren Eingriff, z. B. durch Einschalten des Stromes mittels eines Hebelschalters oder eines durch Druckknopf gesteuerten Relais, eingeleitet, das allmähliche Kurzschließen der Anlaßwiderstände spielt sich aber selbsttätig ab. Es gibt eine große Zahl verschiedener Verfahren des Selbstanlassens.

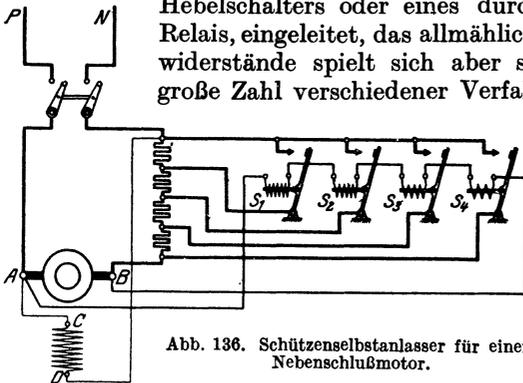


Abb. 136. Schützenselbstanlasser für einen Nebenschlußmotor.

In Abb. 136 ist die grundlegende Anordnung eines Schützenselbstanlassers für einen Nebenschlußmotor wiedergegeben. Es sind 4 Widerstandsstufen und demgemäß 4 Schütze vorgesehen. Die Schütze sind sämtlich hintereinandergeschaltet und an die Ankerspannung gelegt. Sie sind so eingestellt, daß sie der Reihe nach bei verschiedenen Spannungen ansprechen, S_1 bei der kleinsten, S_4 bei der größten Spannung. Wird der zweipolige Hauptschalter des Motors geschlossen, so liegen zunächst sämtliche Stufen des Anlaßwiderstandes vor dem Anker. In dem Maße, wie der Motor in Drehung kommt, die Ankerspannung also zunimmt, schließen die Schütze der Reihe nach die Widerstandsstufen kurz.

In dem soeben erörterten Falle wird die Betätigung der Schütze durch die zunehmende Ankerspannung erreicht; es ist aber auch möglich, den Anlaßstrom für die Steuerung nutzbar zu machen. Ein Beispiel hierfür ist in Abb. 229 für einen Drehstrommotor gegeben.

In dem soeben erörterten Falle wird die Betätigung der Schütze durch die zunehmende Ankerspannung erreicht; es ist aber auch möglich, den Anlaßstrom für die Steuerung nutzbar zu machen. Ein Beispiel hierfür ist in Abb. 229 für einen Drehstrommotor gegeben.

64. Motorenanschlußanlage.

Der in Abb. 137 dargestellte Schaltplan bezieht sich auf eine kleine Gleichstrommotorenanlage, etwa zum Betrieb einer Werkstatt.

Er umfaßt zwei Nebenschlußmotoren *N.M.*, kann jedoch auf beliebig viel Motoren ausgedehnt werden. Die Anschlußleitung führt über einen zweipoligen Hauptschalter und einen Wattstundenzähler *Z* zu den Verteilungsschienen *P* und *N*. Zur Kontrolle der Netzspannung ist ein Spannungsmesser vorgesehen. An den Verteilungsschienen werden über zweipolige Schalter und vorschriftsmäßig gesichert die Abzweigungen für die Motoren vorgenommen. Die Belastung der einzelnen Motoren kann jederzeit durch Strommesser festgestellt werden. Einer der Motoren ist mit einem Nebenschlußregler *N.R.* zur Veränderung der Drehzahl versehen.

Verteilungsschienen, Schalter, Sicherungen und Meßgeräte können auf einer gemeinsamen Motorenschalttafel übersichtlich vereinigt werden. Anlasser und Regler sind möglichst in der Nähe der Motoren aufzustellen.

Statt durch Schmelzsicherungen können die Motoren auch durch Überstromschalter — um kurze Stromstöße unwirksam zu machen, besitzen die Schalter eine Verzögerungseinrichtung (s. Abschn. 7) — geschützt werden, sofern nicht überhaupt Anlasser mit selbsttätiger Auslösevorrichtung (vgl. Abschn. 53) zur Anwendung kommen.

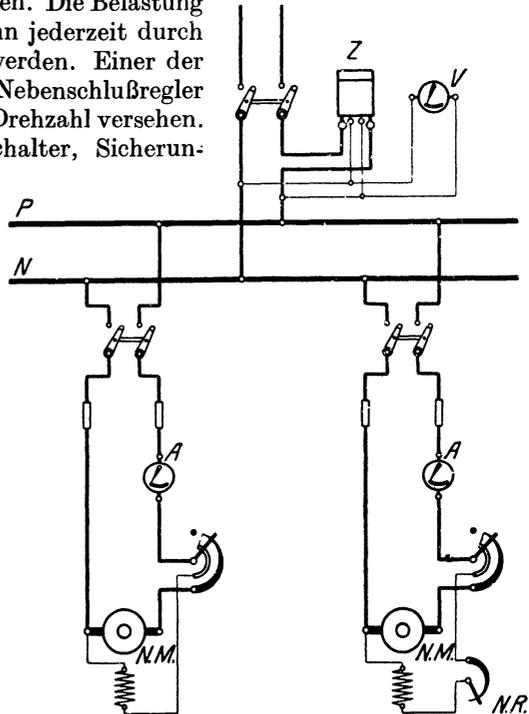


Abb. 137. Anschluß von Gleichstrommotoren.

VI. Elektrizitätswerke mit Wechselstrombetrieb.

A. Wechselstrommaschinen.

65. Der Einphasengenerator.

Das Schaltbild einer einphasigen Wechselstrommaschine ist in Abb. 138 gezeichnet. Im Gegensatz zu den Gleichstrommaschinen normaler Bauweise der Anker feststehend angeordnet — er wird Ständer genannt —, dagegen das Magnetgestell — der Läufer — im Innern des Ankers drehbar angebracht. Die Maschine speist über die Ständerklemmen *U* und *V* das Netz. Die Magnetwicklung *JK* wird durch Gleichstrom erregt, der ihr über zwei Schleifringe mittels Bürsten zugeführt wird. Schleifringe und Bürsten sind der einfacheren Darstellung wegen in das Schaltbild nicht

eingetragen. Der Erregerstrom und somit die von der Maschine in das Netz gelieferte Spannung wird am Magnetregler q, s, t eingestellt. Das Schaltkurzzeichen für den Einphasengenerator zeigt Abb. 139.

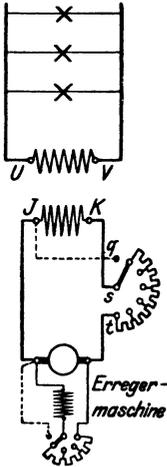


Abb. 138. Einphasengenerator.

In der Regel erhält jede Wechselstrommaschine eine eigene Erregermaschine, im Schaltbild ist hierfür eine Nebenschlußmaschine vorgesehen. Der Magnetregler kann in diesem Fall fortfallen, sofern nicht eine besonders weitgehende Regelbarkeit der Generatorspannung erforderlich ist. Die Regelung der Wechselspannung wird alsdann ausschließlich mit dem Nebenschlußregler der Erregermaschine vorgenommen. Statt der Nebenschlußmaschine kann auch eine Doppelschlußmaschine verwendet werden. Meistens wird die Erregermaschine mit der Betriebsmaschine unmittelbar gekuppelt, doch ist das der einfacheren Darstellung wegen, auch in der Mehrzahl der folgenden Schaltpläne, nicht zum Ausdruck gebracht. Ist in der Zentrale eine andere

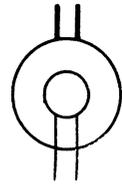


Abb. 139. Schaltkurzzeichen des Einphasengenerators.

Gleichstromquelle, z. B. eine Akkumulatorenbatterie, vorhanden, so kann der Erregerstrom auch dieser entnommen werden.

66. Der Drehstromgenerator.

Die mehrphasige Wechselstrommaschine unterscheidet sich in ihrer Bauart in keiner Weise von der Einphasenmaschine, nur erhält der Ständer mehrere Wicklungen. Die Drehstrommaschine, Abb. 140, besitzt drei Wicklungen, die gegeneinander um je den dritten Teil des doppelten Polabstandes versetzt sind. Diese Wicklungen können in Dreieck verkettet sein, wie Abb. 141 zeigt. Die Stromverbraucher werden an die von den Klemmen U, V und W der Maschine ausgehenden Netzleitungen angeschlossen, wobei nach Möglichkeit auf gleiche Belastung der drei Phasen Rücksicht zu nehmen ist. In Abb. 142 sind die Ständerwicklungen in Stern verkettet. In diesem Falle kann, Abb. 143, an den gemeinsamen Verkettungspunkt O der drei Phasen, dem Sternpunkt, noch eine vierte, schwächere Leitung angeschlossen werden, die Sternpunktleitung. Sie wird meistens geerdet und auch Nulleitung genannt, weil sie bei gleicher Belastung der Phasen stromlos ist. In diesem Sinne wird O auch als Nullpunkt der Maschine bezeichnet.

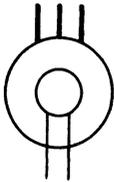


Abb. 140. Schaltkurzzeichen des Drehstromgenerators.

Während bei Dreieckschaltung und Sternschaltung ohne Nulleiter nur eine Gebrauchsspannung zur Verfügung steht, können bei Sternschaltung mit Nulleiter der Maschine und somit auch dem von ihr gespeisten Netz zwei verschiedene Spannungen entnommen werden, da die Spannung zwischen je zwei Hauptleitungen, die verkettete

Spannung, 1,73mal so groß ist wie die zwischen je einer Haupt- und der Sternpunktleitung herrschende Phasenspannung. Man legt, wie es auch in Abb 143 angegeben ist, die Lampen in der Regel an die Phasenspannung. Drehstrommotoren werden dagegen an die verkettete Spannung angeschlossen

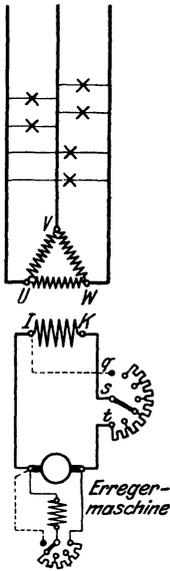


Abb. 141. Drehstromgenerator in Dreieckschaltung.

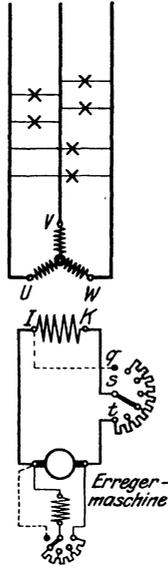


Abb. 142. Drehstromgenerator in Sternschaltung.

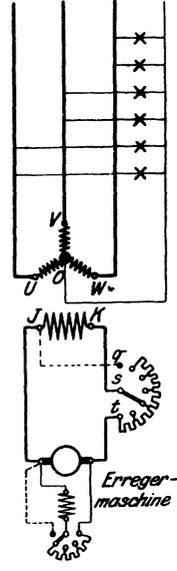


Abb. 143. Drehstromgenerator in Sternschaltung mit Nulleiter.

Der in den Schaltbildern für die Drehstromgeneratoren angegebene Magnetregler kann in Fortfall kommen, sofern die Regelung der Wechselspannung allein dem Nebenschlußregler der Erregermaschine übertragen wird (s. vorigen Abschnitt).

67. Selbsttätige Spannungsregelung.

In großen Kraftwerken bedient man sich häufig automatischer Spannungsregler, die in der Regel als Schnellregler gebaut werden. Eine große Verbreitung hat z. B. der Tirrillregler gefunden, der von der AEG hergestellt wird. Durch die in Abb. 144 gegebene schematische Skizze soll das Prinzip seiner Wirkungsweise sowie besonders die Art seines Anschlusses angegeben werden.

Es ist die Spannung des Drehstromgenerators *D.G.* konstant zu halten, der eine eigene Erregermaschine *E.M.* besitzt. Als wesentlichsten Teil enthält nun der Tirrillregler eine Kontaktvorrichtung. Die Kontaktstücke *C* und *D*, die die Enden je eines um einen Drehpunkt schwingenden Hebels bilden, stehen, wie es aus der Abbildung ersichtlich ist, mit dem von Hand zu bedienenden Nebenschlußregler der Erregermaschine in Verbindung, der Kontakt *C* mit dem Kurzschlußkontakt

des Handreglers, der Kontakt D mit dessen Regulierkurbel. Der am Handregler eingestellte Widerstand ist kurz geschlossen, die Erregermaschine gibt also die höchstmögliche Spannung, wenn die Kontaktstücke sich berühren. Der Widerstand ist dagegen eingeschaltet, und die Erregermaschine gibt eine entsprechend geringere Spannung, wenn die Kontaktstücke auseinander sind. Auf den das Kontaktstück C tragenden Hebel wirkt nun auf der einen Seite des Drehpunktes eine Feder F ein, auf der anderen Seite über einen beweglichen Eisenkern die magnetische Kraft einer an die Erregermaschine angeschlossenen Magnet-

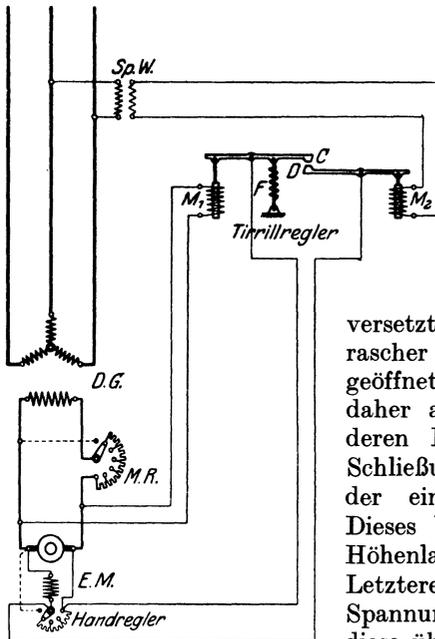


Abb. 144.
Drehstromgenerator mit Tirrillregler.

spule M_1 . Bei einer bestimmten Spannung der Erregermaschine überwiegt die Kraft der Spule, der Kontakt CD wird also geöffnet. Damit geht aber die Erregerspannung zurück, und es überwiegt nunmehr die Kraft der Feder. Unter dem Einfluß der beiden auf ihn einwirkenden Kräfte wird der Hebel in schnell-schwingende Bewegung versetzt und dadurch der Kontakt in rascher Aufeinanderfolge geschlossen und geöffnet. Die Erregermaschine stellt sich daher auf eine mittlere Spannung ein, deren Höhe von dem Verhältnis der Schließungszeit zur Öffnungszeit während der einzelnen Schwingungen abhängt. Dieses Verhältnis ist nun je nach der Höhenlage des Kontaktes verschieden. Letztere aber wird beeinflußt durch die Spannung der Betriebsmaschine, indem diese, über einen Spannungswandler $Sp. W.$, einen in seiner Spule M_2 beweglichen Magnetkern erregt, der mit dem das Kontaktstück D tragenden Hebel in Verbindung steht. Sinkt die Betriebsspannung unter den normalen Wert, so sinkt der Magnetkern von M_2 infolge seines Eigengewichtes, und es wird das Kontaktstück D gehoben, so daß die Zeitdauer des Kurzschlusses des Reglerwiderstandes im Vergleich zur Einschalt-dauer größer wird. Es ergibt sich also eine erhöhte mittlere Erregerspannung, und die Spannung der Betriebsmaschine steigt an. Der umgekehrte Vorgang spielt sich ab, wenn die Betriebsspannung über den normalen Betrag anwächst.

Bei der praktischen Ausführung des Tirrillreglers kommt zur Schonung des Kontaktes CD noch ein Zwischenrelais mit einer besonders kräftig ausgebildeten Kontakteinrichtung zur Verwendung. Wenn auch an der Wirkungsweise dadurch nichts Grundsätzliches geändert wird, so soll sie doch an Hand der Schaltungsskizze Abb. 145 nachfolgend kurz erläutert werden.

Die von dem Kurzschlußkontakt und dem Kurbeldrehpunkt des Handreglers ausgehenden Leitungen sind, statt wie in der vorigen Abbildung zu dem Kontakt CD , zum Kontakt AB geführt, der durch den Anker einer Art von Differentialrelais in schnellem Wechsel geschlossen und geöffnet wird. Zur Erregung des Relaismagneten dienen die beiden Spulen m_1 und m_2 , die so gewickelt sind, daß sie

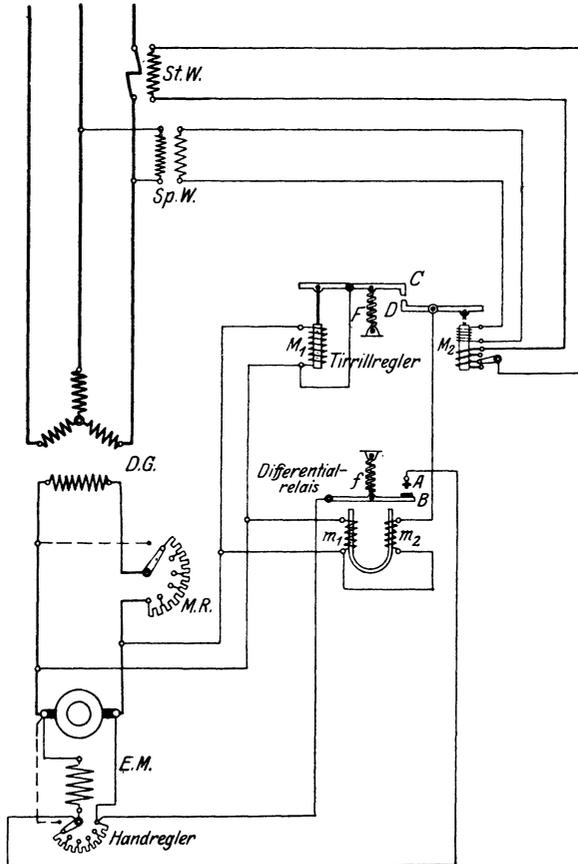


Abb. 145. Tirrillregler mit Relais.

einander entgegenwirken. Die Spule m_1 (parallel zu M_1) liegt dauernd an der Spannung der Erregermaschine. Unter ihrer Wirkung wird, der Kraft der Feder f entgegen, der Anker des Relais angezogen und damit der Kontakt AB geöffnet. Die Folge ist, daß der Magnetstrom der Erregermaschine durch den Widerstand des Handreglers geschwächt wird, die Klemmenspannung der Maschine also sinkt und mithin auch der Magnet M_1 nur schwach erregt ist. Durch die Kraft der Feder F wird daher der Kontakt CD geschlossen. Dadurch erhält nun aber auch die Spule m_2 des Differentialrelais Strom, die magnetische Wirkung von m_1 wird aufgehoben, und der Anker des Relais schließt unter dem

Einfluß der Feder f den Kontakt AB . Hierdurch erhält die Erregermaschine eine stärkere Erregung, und ihre Spannung steigt an. Die Folge ist, daß der Magnet M_1 wieder stärker erregt und der Kontakt CD geöffnet wird, so daß der der Relaispule m_2 zufließende Strom wieder eine Unterbrechung erfährt. Die Spule m_1 kommt also wieder zur Wirkung, sie öffnet den Kontakt AB , und das Spiel wiederholt sich in schneller Aufeinanderfolge. Der Einfluß des Magneten M_2 in bezug auf die Kontaktdauer während eines Spieles bleibt der gleiche, wie oben geschildert wurde. In der Abbildung ist jedoch angenommen, daß auf den Magneten noch eine zweite Wicklung einwirkt, die an die Sekundärwicklung eines Stromwandlers angeschlossen ist, der in eine der von der Betriebsmaschine ausgehenden Drehstromleitungen eingefügt ist. Dadurch kann bei richtiger Einstellung der Windungszahl der Wicklung durch eine kleine Regulierkurbel auch der von der Stromstärke abhängige Spannungsabfall im Leitungsnetz ausgeglichen werden.

Es sei noch bemerkt, daß die Schnellregelung auch für Gleichstrommaschinen benutzt werden kann, die eine besondere Erregermaschine besitzen. Doch findet sie ihre Hauptverwendung in Wechselstromanlagen¹.

Neben dem Tirrillregler gibt es noch andere von den verschiedenen elektrotechnischen Firmen hergestellte Schnellregler, auf die hier jedoch nicht eingegangen werden kann.

68. Differentialschutz von Wechselstrommaschinen.

Um die Generatoren gegen Überlastung zu schützen, werden bekanntlich die ihnen zugehörigen Leistungsschalter mit Überstromauslösung ausgestattet. Hierdurch ist ein völliger Schutz der Generatoren jedoch nicht gegeben. Es kann z. B. ein Kurzschluß in den zwischen Maschine und Schalter liegenden Teilen der Anlage auftreten. Auch sind Störungen in der Wicklung der Maschine selbst nicht ausgeschlossen. In beiden Fällen spricht die Überstromauslösung nicht an. Dieser Übelstand kann durch die Anwendung des Differentialschutzes beseitigt werden, der bereits in Abschn. 11 als Mittel zum Abschalten fehlerhafter Leitungen beschrieben wurde. Wegen seiner sicheren Wirkung wird dieser Schutz, namentlich bei Hochspannungsgeneratoren großer Leistung, vielfach verwendet. Für einen solchen ist die in Betracht kommende Schaltung in Abb. 146 angegeben.

Wie die Abbildung zeigt, ist außer der in der Nähe des Maschinenschalters angeordneten Stromwandlergruppe eine weitere Gruppe erforderlich, welche in der Nähe des Generators untergebracht wird. Die Primärwicklungen der dieser Gruppe zugehörigen Wandler werden einerseits an die Phasenenden der Ankerwicklung angeschlossen und andererseits untereinander verkettet. Um die Wandler einbauen zu können, müssen daher am Generator sämtliche Wicklungsenden zugänglich sein. Der Verkettungspunkt der Wandler am Generator bildet gleichzeitig dessen Sternpunkt. Die sekundären Wicklungen jeder der beiden

¹ Näheres s. Herklotz und Pelz, Über die Anwendung des Schnellreglers, System Tirrill, AEG-Mitt. 1937. 416.

Wandlergruppen sind in Stern verkettet. Die freien Enden der Wicklungen der einen Gruppe sind mit den entsprechenden der anderen Gruppe durch Hilfsleitungen verbunden, ebenso stehen die Sternpunkte der Wandler miteinander in Verbindung. Im normalen Betriebszustand ist das an die Leitungen angeschlossene Differentialrelais *D.R.* wirkungslos. Der Gleichgewichtszustand wird aber gestört, sobald eine Unregelmäßigkeit in den Wicklungen der Maschine oder in den zum

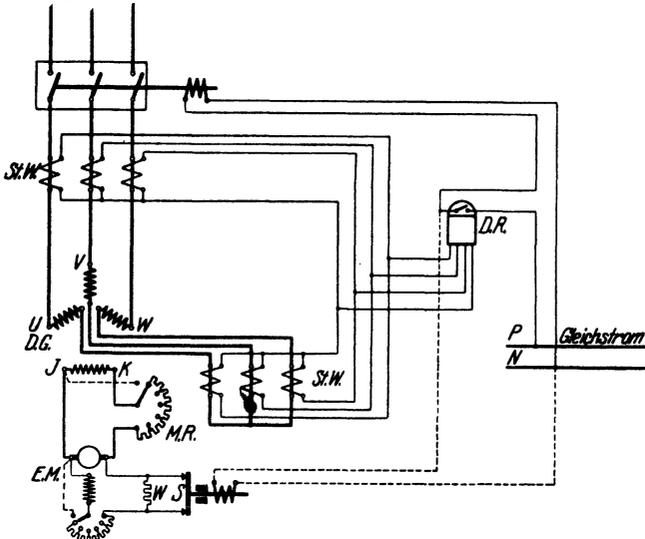


Abb. 146. Drehstromgenerator mit Differentialrelais und Feldschwächungseinrichtung.

Schalter führenden Leitungen auftritt; das Relais kommt alsdann zur Wirkung, indem es einen Hilfsstromkreis — im vorliegenden Falle Gleichstrom — schließt und damit den Schalter auslöst.

69. Selbsttätige Feldschwächung.

Die plötzliche Abschaltung eines vollbelasteten Generators infolge Ansprechens des Überstrom- oder des Differentialschutzes kann eine Spannungssteigerung der Maschine zur Folge haben, die zu Zerstörungen führen kann. Um diese Gefahr abzuwenden, empfiehlt es sich, eine Einrichtung zu treffen, durch welche die Spannung des Generators beim Abschalten selbsttätig herabgesetzt wird. Dies kann durch Schwächen des magnetischen Feldes der Maschine geschehen und wird bewirkt durch Einschalten eines Widerstandes in den Erregerkreis des Generators oder, falls dieser eine eigene Erregermaschine besitzt, in den Magnetkreis der letzteren. In Abb. 146 ist die Feldschwächungseinrichtung¹ mit dem Differentialrelais in Verbindung gebracht. Die für sie in Betracht kommenden Leitungen sind gestrichelt gezeichnet. Normalerweise ist der Feldschwächungswiderstand *W* durch den zwei-

¹ Vgl. Jackwirth, Feldschwächungs-Einrichtungen für elektrische Maschinen. AEG-Mitt. 1929, 701.

poligen Schalter S überbrückt. Sobald das Relais in Wirksamkeit tritt, wird jedoch der Stromkreis einer Auslösespule geschlossen, die den Sperrmechanismus des Schalters freigibt, so daß dieser auslöst, der Widerstand W im Erregerkreis also zur Wirkung kommt und damit die Spannung des Generators heruntergeht.

70. Erdschlußschutz.

Besondere Aufmerksamkeit ist auf die Unschädlichmachung eines etwa am Generator auftretenden Erdschlusses zu richten, da durch einen solchen andere unangenehme Störungen (Windungsschluß, Kurzschluß) eingeleitet werden können¹. Zur Erdschlußanzeige dienen die in Abschn. 26 angegebenen Einrichtungen. Die Anwendung eines Erdschlußrelais bietet die Möglichkeit, die mit Erdschluß behaftete Maschine selbsttätig abzuschalten. Der Konstruktionen von Erdschlußrelais gibt es zahlreiche.

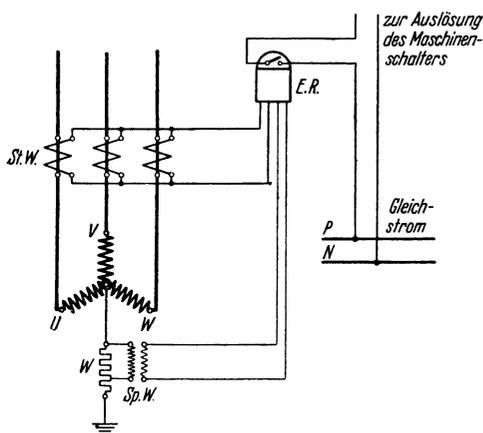


Abb. 147. Drehstromgenerator mit Erdschlußrelais.

In Abb. 147 ist lediglich das Grundsätzliche seiner Wirkung zur Darstellung gebracht². Es handelt sich um ein sog. wattmetrisches Relais, d. h. ein Relais, dessen Aufbau dem eines Wattmeters nicht unähnlich ist. Es besitzt wie dieses eine Stromspule und eine Spannungsspule. Auf die Stromspule wirken die parallel geschalteten Sekundärwicklungen von drei in die Maschinenleitungen eingefügten Stromwandlern ein. Auf die Spannungsspule ist die Sekundärwicklung eines Spannungswandlers geschaltet, dessen Primärwicklung an einen zwischen Maschinensternpunkt und Erde gelegten Widerstand W oder einen Teil desselben angeschlossen ist. Tritt in der Maschine ein Erdschluß auf, so kommt unter dem gleichzeitigen Einfluß des von den Stromwandlern auf die Stromspule übertragenen Stromes und der von dem Spannungswandler erregten Spannungsspule das Relais in Tätigkeit. Durch Schließen des Hilfsstromkreises wird der Maschinenschalter ausgelöst, gegebenenfalls auch ein Signal betätigt. Ist eine Erdschlußspule oder ein Löschttransformator vorhanden, so kann das Erdschlußrelais auch damit in Verbindung gebracht werden, um auf eintretende Erdschlüsse durch ein Signal aufmerksam zu machen.

¹ Vgl. Pohl, Neuzeitliche Turbogeneratoren. ETZ 1927, 202.

² Ausführliches s. Schleicher u. Gaarz, Die betriebsmäßige Erdschlußüberwachung und ihre Einrichtungen. SZ 1923, 469. — Bütow, Die Entwicklung des Erdschlußschutzes für Stromerzeuger, AEG-Mitt. 1937, 233. — Titze, Übersicht über den heutigen Stand des Erdschlußschutzes, ETZ 1937, 101.

B. Wechselstromzentralen.

71. Zentrale mit einer Einphasenmaschine für Niederspannung.

Der praktisch zwar nur selten vorkommende Fall, daß in einer Wechselstromzentrale nur eine einzige Betriebsmaschine vorhanden ist, ist dem Schaltbild Abb. 148 zugrunde gelegt. Die Maschine dient zur Erzeugung von Einphasenstrom. Die Erregung wird von einer Nebenschlußmaschine besorgt. Die Spannung der Erregermaschine *E. M.* kann unter Beobachtung des Spannungsmessers eingestellt und die Stärke des Erregerstromes an einem Strommesser abgelesen werden.

Die Verbindung des Einphasengenerators *E. G.* mit den Sammelschienen *R* und *S* erfolgt über Sicherungen und einen zweipoligen Hauptschalter. Während man sich bei Gleichstrommaschinen zur Kontrolle der Betriebsverhältnisse meistens mit dem Einbau eines Spannungs- und Strommessers begnügt, wird in Wechselstromanlagen in der Regel noch ein Leistungsmesser hinzugenommen. Aus den Angaben der Meßgeräte läßt sich ein Schluß auf den Leistungsfaktor ziehen. Die Schaltung des Leistungsmessers *W* entspricht der Abb. 52.

Der zur Einregelung der Spannung der Wechselstrommaschine im Erregerkreis derselben vorgesehene Magnetregler kann gegebenenfalls in Fortfall kommen (vgl. Abschnitt 65).

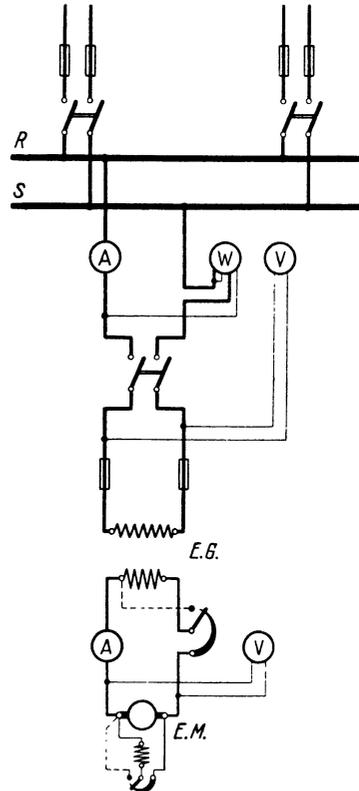


Abb. 148.
Einphasenzentrale für Niederspannung.

72. Zentrale mit einer Drehstrommaschine für Niederspannung.

Aus dem Schaltplan der Einphasenanlage läßt sich der einer Drehstromanlage entwickeln, Abb. 149. Für die Erregung ist wiederum eine Nebenschlußmaschine vorgesehen.

Die Schaltungsart des Drehstromgenerators *D. G.* ist für Aufstellung des Schaltplans gleichgültig, in der Abbildung ist Sternschaltung angenommen. Die Verbindung der Maschine mit den Sammelschienen *R*, *S* und *T* wird mittels des dreipoligen Schalters bewirkt. Im Schaltbild sind zur Bestimmung der Maschinenstromstärke drei Strommesser angegeben. Es kann also die Stromstärke in jeder Leitung festgestellt werden. Unter Umständen kann man sich — in der Voraussetzung, daß alle Leitungen annähernd die gleiche Stromstärke führen — darauf

beschränken, nur in eine Leitung einen Strommesser einzubauen. Ebenso genügt es mitunter, nur eine Leiterspannung (Spannung zwischen 2 Hauptleitern!) zu messen, während es nach der Abbildung durch Verwendung des Umschalters möglich ist, alle drei Leiterspannungen am Spannungsmesser abzulesen. Hinsichtlich der Leistungsmessung sind verschiedene Schaltmöglichkeiten vorhanden, die in

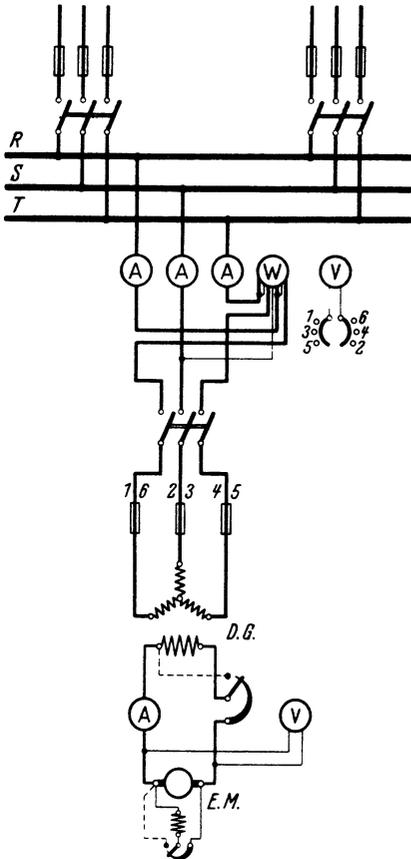


Abb. 149.
Drehstromzentrale für Niederspannung.

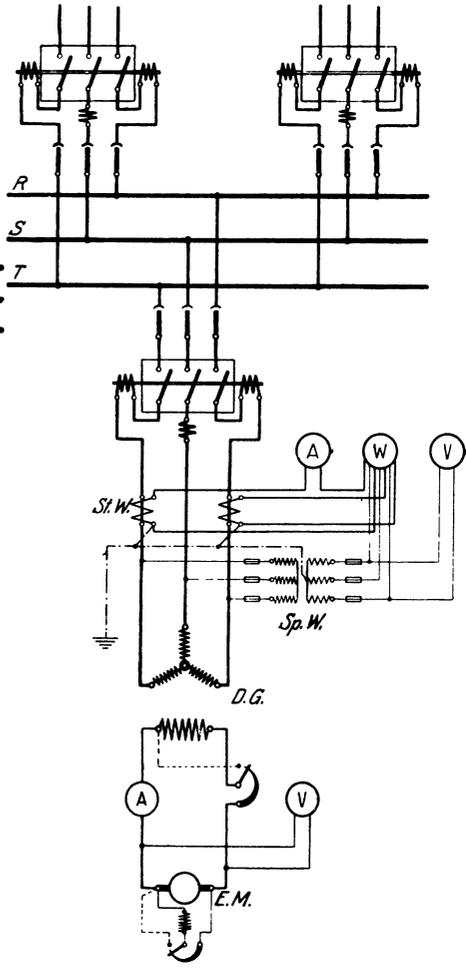


Abb. 150.
Drehstromzentrale für Hochspannung.

Abschn. 22b ausführlich erörtert wurden. Der im Schaltbild angegebene Leistungsmesser ist nach der Zweiwattmetermethode (vgl. Abb. 58) geschaltet, gibt also auch bei ungleicher Belastung der Phasen die Leistung zuverlässig an.

73. Zentrale mit einer Drehstrommaschine für Hochspannung.

Der Schaltplan eines Hochspannungswerkes zeigt eine Reihe einschneidender Abweichungen vom Plan einer Niederspannungsanlage,

worauf bereits in Kapitel I und III hingewiesen wurde: zum Ein- und Ausschalten der Maschinen und aller wichtigen Stromkreise dienen Leistungsschalter, die eine selbsttätige Überstromauslösung erhalten; durch den Einbau von Trennschaltern können alle Teile des Netzes spannungslos gemacht werden; schließlich werden, um von der Bedienungsschalttafel Hochspannung fernzuhalten, die Meßgeräte über Strom- und Spannungswandler angeschlossen.

In Abb. 150 ist nun der allgemeine Plan einer Hochspannungs-Drehstromzentrale dargestellt, bei dem die vorstehend angeführten Gesichtspunkte berücksichtigt sind. Es sind einfachste Verhältnisse angenommen. Für die Stromlieferung ist wieder nur ein einziger Generator *D.G.* vorgesehen, eine Reserve ist also nicht vorhanden. Zur Erregung dient eine Nebenschlußmaschine.

Der Anschluß der Hochspannungsmaschine an die Sammelschienen geschieht über den dreipoligen Leistungsschalter — als Expansionschalter, Druckgas- oder Ölschalter ausgeführt — und drei einpolige Trennschalter. Die Überstromauslösung des Schalters ist eine primäre unmittlere (nach Abb. 19), sie ist allpolig vorgesehen. Es sind zwei Stromwandler *St.W.* und ein dreiphasiger Spannungswandler *Sp.W.* vorhanden, die zum Anschluß der Meßgeräte dienen. Es ist nur ein Strom- und ein Spannungsmesser vorgesehen, und es kann daher auch nur die Stromstärke in einer der Außenleitungen und nur eine der Leiterspannungen gemessen werden. Der Leistungsmesser — nach der Zweiwattmeterschaltung (s. Abb. 61) — gibt die Gesamtleistung der Maschine an. Strom- und Spannungswandler sind auf der Niederspannungsseite vorschriftsmäßig geerdet. Der Spannungswandler ist auf der primären und der sekundären Seite gesichert (vgl. Abschn. 10).

Die von den Sammelschienen abgehenden Verteilungsleitungen erhalten Trenn- und Leistungsschalter, diese wiederum mit Überstromauslösung. Je nach den besonderen Verhältnissen können in die Speiseleitungen Strommesser, Leistungsmesser, gegebenenfalls auch Zähler eingebaut werden, stets unter Zwischenschaltung von Wandlern.

Ein Überspannungsschutz ist im Schema nicht angegeben.

74. Allgemeines über den Parallelbetrieb von Wechselstrommaschinen.

Aus den gleichen Gründen, die bereits im Abschn. 35 für Gleichstromanlagen angeführt wurden, werden auch in Wechselstromzentralen in der Regel mehrere Maschinen aufgestellt, die auf gemeinsame Sammelschienen arbeiten.

a) Einphasenanlagen.

Um eine Wechselstrommaschine mit einer anderen parallel schalten zu können, muß sie zunächst auf die gleiche Spannung wie die bereits im Betrieb befindliche und außerdem mit ihr in Phasengleichheit oder Synchronismus gebracht werden. Der synchrone Zustand

ist vorhanden, wenn die periodischen Schwankungen der Spannung bei beiden Maschinen genau gleichzeitig erfolgen, er setzt also die gleiche Frequenz der Maschinen voraus. Sind die Maschinen einmal parallel geschaltet, so bleibt im allgemeinen der Synchronismus während des Betriebes infolge einer zwischen den beiden Maschinen auftretenden „synchronisierenden Kraft“ erhalten.

Um die Frequenz beider Maschinen vergleichen zu können, werden häufig Frequenzmesser eingebaut. Als einfachsten Synchronismusanzeiger kann eine Phasenlampe, d. h. eine Glühlampe für die doppelte Betriebsspannung verwendet werden, auf die man sowohl die Spannung der parallel zu schaltenden Maschine als auch einer der bereits im Betriebe befindlichen Maschinen oder die Sammelschienenspannung einwirken läßt. Die Lampe kann so geschaltet werden, daß sich an ihr, wenn Phasengleichheit besteht, die beiden Spannungen in jedem Augen-

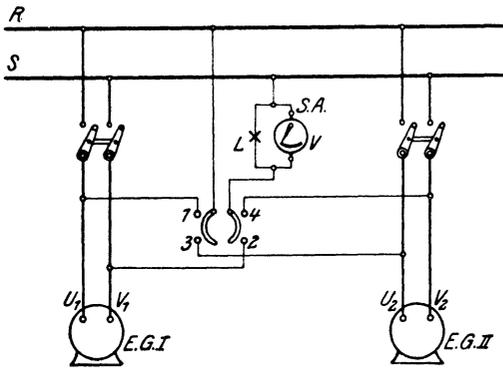


Abb. 151. Synchronismusanzeiger für eine Niederspannungs-Einphasenanlage. (Phasenvergleich mit Sammelschienen.)

blicke aufheben. Das Lampendunkel ist dann das Merkmal für den Synchronismus: Dunkelumschaltung. Solange der synchrone Zustand noch nicht vorhanden ist, tritt ein abwechselndes Aufflackern und Wiedererlöschen der Lampe ein. An die Stelle der Lampe kann auch ein Spannungsmesser für die doppelte Betriebsspannung treten. Maßgebend für das Parallelschalten ist dann der Ausschlag „Null“ des Instrumentes, da dieser dem Lampendunkel entspricht. Es empfiehlt sich daher die Verwendung eines Nullvoltmeters, eines für kleine Spannungen besonders empfindlichen Gerätes.

Abb. 151 zeigt die Schaltung eines aus Phasenlampe L und Phasenvoltmeter V bestehenden Synchronismusanzeigers $S.A.$ für die beiden Einphasengeneratoren $E.G. I$ und $E.G. II$. Der Anzeiger ist an die Sammelschienen R und S angeschlossen, und es kann daher unter Anwendung eines Umschalters jede der beiden Maschinen mit den Schienen synchronisiert werden. Der Anschluß des Synchronismusanzeigers ist so vorzunehmen, daß durch ihn zusammengehörige Sammelschienen und Maschinenpole in Verbindung gebracht werden. (Es gehören zusammen R und U_1, U_2 ; S und V_1, V_2 .) Beim Parallelschalten des Generators I ist der Umschalter auf $1-2$ zu stellen. Der Stromkreis des Synchronismusanzeigers ist dann über den im Betrieb befindlichen Generator II (dessen Hauptschalter also eingelegt ist) geschlossen: $V_1 U_1 - 1 - R - U_2 V_2 - S - S.A. - 2 - V_1$. In diesem Kreise sind die beiden Maschinenspannungen bei Phasengleichheit in jedem Augenblicke

entgegengerichtet. Beim Parallelschalten des Generators *II* ist der Umschalter in die Stellung 3—4 zu bringen. Durch Erweiterung des Umschalters läßt sich die Parallelschalteinrichtung auf beliebig viel Maschinen ausdehnen.

Bei einer etwas abgeänderten Schaltung kann die Phasengleichheit auch durch das hellste Aufleuchten der Lampe oder den größten Ausschlag des Spannungsmessers erkennbar gemacht werden: Hellschaltung. Es sind dann durch den Synchronismusanzeiger die Sammelschienen und die Maschinenpole kreuzweise zusammenzubringen. In diesem Falle ändert sich die vorhergehende Abbildung in der Weise, daß die nach 1 und 2 führenden und ebenso die nach 3 und 4 führenden Verbindungsleitungen gegeneinander vertauscht werden. (Es können alsdann aufeinandergeschaltet werden *R* und *V*₁, *V*₂; *S* und *U*₁, *U*₂.)

In Hochspannungsanlagen ist der Synchronismusanzeiger über Spannungswandler anzuschließen. Abb. 152 zeigt die aus der vorigen Abbildung abgeleitete Schaltung. Ein Spannungswandler ist für den Anschluß an die Sammelschienen erforderlich, ein weiterer für jede Maschine, ein weiterer für jede Maschine. Die Sekundärwicklung der Spannungswandler ist der Vorschrift gemäß geerdet.

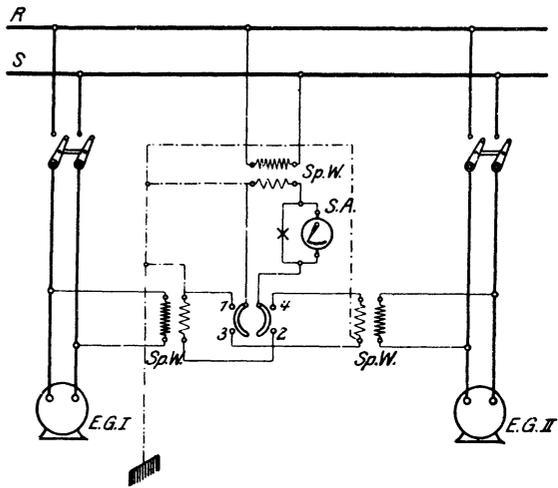


Abb. 152. Synchronismusanzeiger für eine Hochspannungs-Einphasenanlage. (Phasenvergleich mit Sammelschienen.)

b) Drehstromanlagen.

Bei Drehstromanlagen ist vor ihrer Inbetriebnahme dafür Sorge zu tragen, daß die Phasen aller Maschinen in der gleichen Reihenfolge mit den Sammelschienen verbunden werden. Um sich vom richtigen Anschluß der Leitungen zu überzeugen, können an den parallel zu schaltenden Drehstromgenerator drei Lampen nach Art der Abb. 153 gelegt werden. Der Anschluß ist richtig, wenn beim Phasenvergleich alle Lampen gleichzeitig aufleuchten und gleichzeitig dunkel werden. Andernfalls sind die Anschlüsse von irgend zwei der von den Maschinenklemmen ausgehenden drei Leitungen untereinander zu vertauschen.

Ist der richtige Anschluß der Leitungen sichergestellt, so genügt es auch bei Drehstrommaschinen, nur eine Phase auf Synchronismus zu prüfen, wie die Schaltung Abb. 154 zeigt, welche völlig der Abb. 151 für eine Einphasenanlage entspricht. Es handelt sich also um eine Dunkelschaltung.

In Abb. 153 ist die Schaltung abgeändert für den Fall, daß der Phasenvergleich zwischen den einzelnen Maschinen unmittelbar, statt über die Sammelschienen, vorgenommen werden soll. Es sind in diesem Falle zwei Umschalter nötig, jeder mit so viel Schaltstellungen, als Ma-

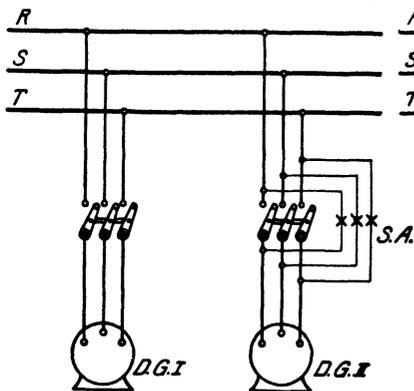


Abb. 153. Synchronismusanzeiger mit Kennzeichnung der Phasenfolge für eine Niederspannungs-Drehstrommaschine.

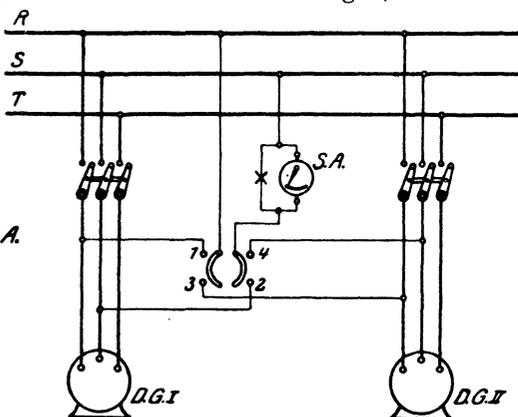


Abb. 154. Synchronismusanzeiger für eine Niederspannungs-Drehstromanlage. (Phasenvergleich mit Sammelschienen.)

schinen vorhanden sind. Die Verbindungsleitungen zwischen Maschinen und Umschalter sind durch Zahlen angedeutet. Einer der Umschalter wird auf die parallel zu schaltende, der andere auf die in Betrieb befindliche Maschine geschaltet, mit der synchronisiert werden soll.

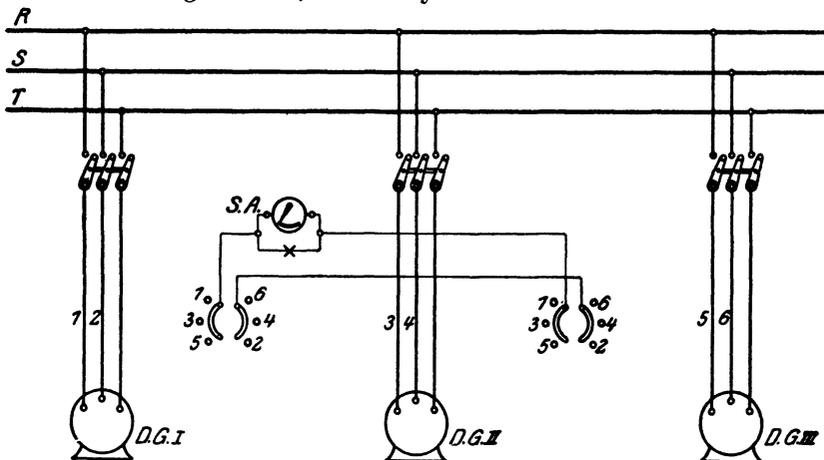


Abb. 155. Synchronismusanzeiger für eine Niederspannungs-Drehstromanlage. (Phasenvergleich zwischen den Maschinen.)

Bei Hochspannungs-Drehstrommaschinen kann die Parallelschalteneinrichtung entweder entsprechend Abb. 152, die für Einphasenmaschinen gilt, hergestellt werden, wobei über die Sammelschienen synchronisiert wird, oder es können auch die Phasen der Maschinen

unmittelbar miteinander verglichen werden, wie es in Abb. 156 für zwei Maschinen zur Darstellung gebracht ist.

Auf einen Phasenvergleich zwischen Maschine und Maschine gründet sich auch eine Parallelschalteneinrichtung der SSW, die mit allem Zubehör in Abb. 157 wiedergegeben ist. Das Schaltbild läßt sich leicht auf beliebig viele Maschinen ausdehnen. Die Synchronisiervorrichtung besteht aus Phasenlampe L und Nullvoltmeter $N.V.$. Außerdem ist mit ihr noch ein Doppelfrequenzmesser $D.F.$ verbunden, so daß sich durch Vergleich der Frequenzen beider Maschinen feststellen läßt, ob die zu synchronisierende Maschine zu langsam oder zu schnell läuft. Schließlich sind noch zwei Spannungsmesser V für die Spannung der Generatoren vorhanden. Es sind also alle für das Parallelschalten erforder-

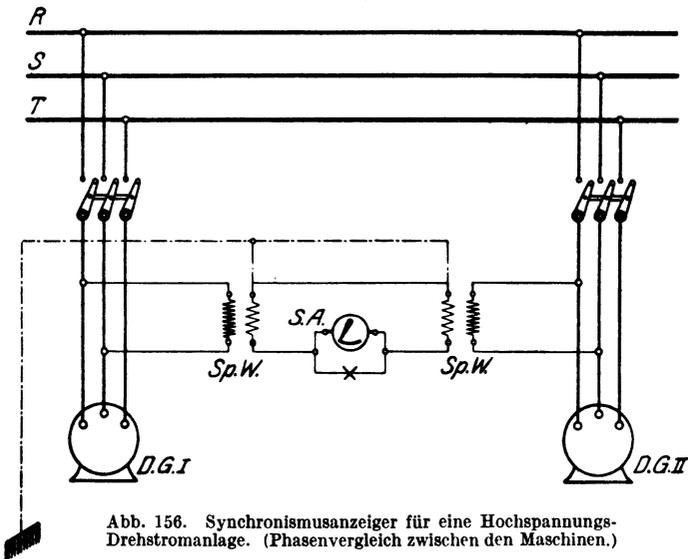


Abb. 156. Synchronismusanzeiger für eine Hochspannungs-Drehstromanlage. (Phasenvergleich zwischen den Maschinen.)

lichen Meßgeräte vereinigt. Der Anschluß der Vorrichtung an die einzelnen Maschinen geschieht über die Synchronisierschienen a , b und c , von denen letztere geerdet ist, und wird mittels Stöpselschalter $St.S.$ vorgenommen. Für die ganze Anlage sind, unabhängig von der Zahl der Maschinen, nur zwei doppelpolige Stöpsel vorhanden, ein kurzer, mit dem zwei benachbarte Kontakte der Schalter überbrückt werden können — die zusammengehörigen Kontakte sind im Schaltbild durch einen Punkt kenntlich gemacht —, und ein langer, mit dem sich die beiden äußersten Kontakte überbrücken lassen. Wenn für die zu synchronisierende Maschine z. B. der kurze Stöpsel benutzt wird, so bleibt für die im Betriebe befindliche Maschine nur der lange Stöpsel übrig. Dadurch ist der richtige Anschluß der Parallelschalteneinrichtung gewährleistet. Der Stromkreis derselben kann jedoch nur für Maschinen mit eingelegtem Trennschalter geschlossen werden, der zu dem Zwecke mit Hilfskontakten versehen ist. Auf diese Weise wird verhindert, daß abgeschaltete Teile der Anlage versehentlich durch den Meßwandler unter Spannung gesetzt werden können.

75. Grundlegende Schaltungen von Wechselstromzentralen.

Soweit Hochspannungsmaschinen in Betracht kommen, lassen sich in bezug auf die allgemeine Anordnung namentlich die in nachfolgenden Schaltskizzen schematisch dargestellten Fälle unterscheiden. Die Skizzen beziehen sich sowohl auf Einphasenstrom als auch auf Drehstrom. Sie sind, da sie lediglich den Kraftlauf angeben sollen, einpolig gezeichnet. Alle für diesen unwesentlichen Teile sind fortgelassen.

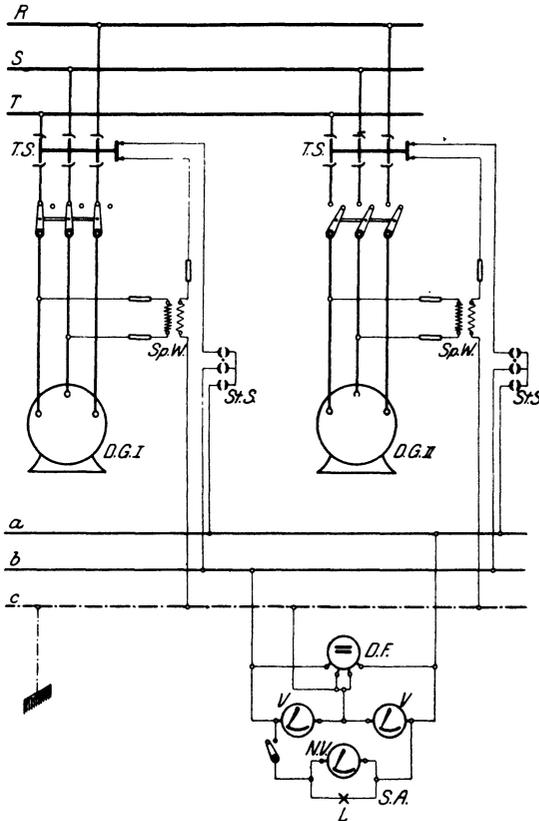


Abb. 157. Synchronismusanzeiger für eine Hochspannungs-Drehstromanlage mit Synchronisierschienen.

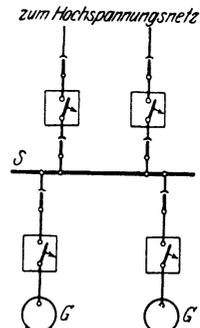


Abb. 158. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale ohne Transformatoren.

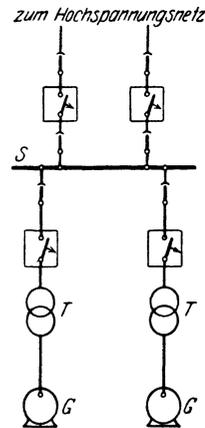


Abb. 159. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren.

In Abb. 158 arbeiten die Wechselstromgeneratoren G über Leistungsschalter mit Überstromauslösung und Trennschalter unmittelbar auf die Sammelschienen S , von denen die Verteilungsleitungen beliebig abzweigt werden können. Eine derartige Anordnung kommt nur dann zur Anwendung, wenn die Verteilungsspannung sich in den Generatoren selbst erreichen läßt. Die Grenze liegt zur Zeit bei ungefähr 25000 Volt.

Bei höherer Spannung ist eine Transformierung erforderlich, wie in Abb. 159 angenommen ist. Jeder Generator arbeitet auf einen Transformator T , und die Transformatoren speisen gemeinsam die

Sammelschienen. So bildet jeder Generator mit dem zugehörigen Transformator gewissermaßen eine geschlossene Einheit. Das System zeichnet sich durch große Übersichtlichkeit aus. Aber auch elektrische Gründe sprechen für seine Anwendung. Durch die hohe Induktivität des der Maschine vorgeschalteten Transformators wird der Kurzschlußstrom herabgesetzt. Außerdem werden durch ihn Überspannungen und andere Netzstörungen von der Maschine ferngehalten. Dem steht als Nachteil gegenüber, daß, wenn ein Transformator infolge einer Beschädigung betriebsunfähig wird, auch der zugehörige Generator ausfällt, und umgekehrt. Hierin liegt eine gewisse Beschränkung.

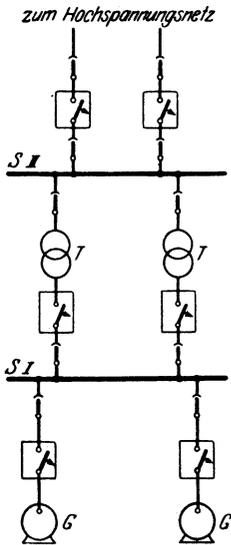


Abb. 160. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und Zwischensammelschienen.

Diese entfällt bei der in Abb. 160 angegebenen Anordnung. Hier sind Sammelschienen für zwei verschiedene Spannungen vorhanden: die Sammelschienen *S I* für die Generator- oder Unterspannung und die Sammelschienen *S II* für die Transformator- oder Oberspannung. Demnach können auch zwei verschiedene Gebrauchsspannungen entnommen werden. Es können beliebige Generatoren in Betrieb genommen werden und unabhängig davon beliebige Transformatoren.

Größere Kraftwerke werden aus Gründen der Betriebssicherheit gewöhnlich nach dem

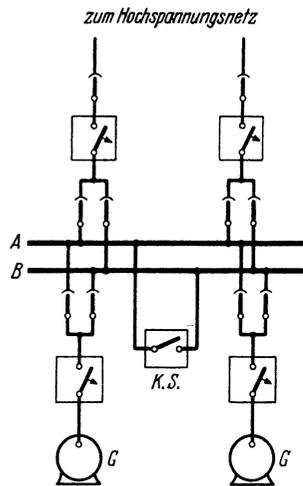


Abb. 161. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale ohne Transformatoren nach dem Doppelsammelschienensystem.

Doppelsammelschienensystem eingerichtet, bei dem für die Hochspannung, und zwar gegebenenfalls sowohl für die Unter- als auch für die Oberspannung, zwei Sätze von Sammelschienen angewendet werden. Durch entsprechende Einstellung der Trennschalter lassen sich nun alle Maschinen, Transformatoren, Verteilungsleitungen usw. entweder auf das eine oder das andere System schalten. Es können daher, wenn erforderlich, an einem der Systeme, nachdem es vorher spannungslos gemacht ist, Arbeiten ausgeführt oder Erweiterungen vorgenommen werden, ohne daß der Betrieb gestört wird. Durch das Doppelschienensystem, für dessen Aufbau Abb. 161, entsprechend Abb. 158, ein Beispiel gibt, wird also auch für die Schaltanlage, von deren Betriebsfähigkeit die Versorgung des ganzen Netzes abhängt, die wünschenswerte Reserve geschaffen. Die beiden Sammelschienensätze sind in der Abbildung mit *A* und *B* bezeichnet. Durch einen Kuppelschalter *K.S.* können sie parallel geschaltet werden, wodurch auch die

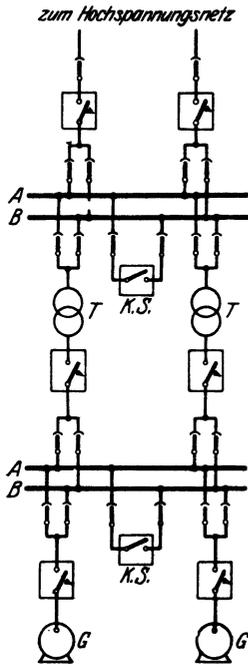


Abb. 162. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformator nach dem Doppelsammelschienensystem.

Möglichkeit gegeben ist, daß ohne Unterbrechung des Betriebes von einem System auf das andere umgeschaltet werden kann. Ein weiteres Beispiel für die Anordnung einer Anlage mit Doppelsammelschienen zeigt Abb. 162. Die Maschinenspannung wird hier, entsprechend Abb. 160, durch Transformatoren unter Anwendung von Zwischensammelschienen heraufgesetzt.

Will man der Zentrale eine besonders große Anpassungsfähigkeit an die jeweiligen Betriebsverhältnisse geben, so kann eine Gruppenschaltung der Generatoren vorgenommen werden. Es kann dann die eine oder die andere Maschinengruppe bequem aus dem Betrieb herausgenommen und für Instandsetzungs- und Erweiterungsarbeiten oder auch für Versuche frei gemacht werden. In Abb. 163, in welcher angenommen ist, daß gemäß Abb. 159 jedem Generator ein bestimmter Transformator zugeordnet ist, ist der Schienensatz A des Doppelsammelschienensystems für alle Gruppen gemeinsam durchgeführt, der Schienensatz B dagegen, der Zahl der Maschinengruppen entsprechend, dreifach unterteilt. Die einzelnen Teilschienen können jedoch durch Kupplungsschalter miteinander verbunden werden. Um

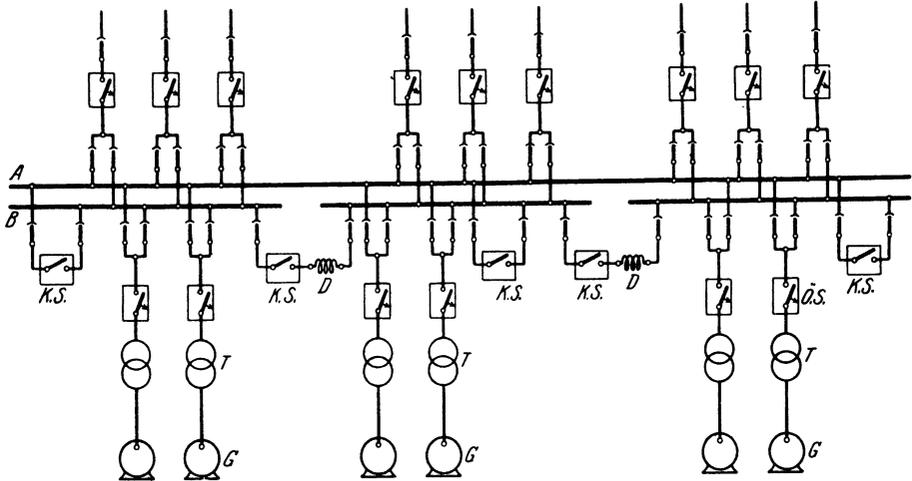


Abb. 163. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale bei Gruppenschaltung der Generatoren.

Stromstöße beim Zuschalten einer Gruppe an die im Betrieb befindliche Anlage abzuschwächen, ist jedem der zur Verbindung dienenden Schalter eine strombegrenzende Überstromdrosselspule D zugeordnet.

In neuerer Zeit ist bei großen Anlagen auch ein Dreifachsammlerschienensystem wiederholt zur Anwendung gekommen.

76. Schaltungen für die Erregung.

Meistens gibt man, worauf bereits in Abschn. 65 hingewiesen wurde, jedem der in der Zentrale aufgestellten Generatoren eine eigene Erregermaschine. Diese Anordnung hat sich namentlich bei Dampfturbinenantrieb allgemein durchgesetzt. Mit den einzelnen Turbogeneratoren werden die zugehörigen Erregermaschinen unmittelbar gekuppelt. Vorteilhaft ist es, eine Erdung der negativen Pole der Magnetwicklungen der Generatoren vorzunehmen, wie es in Abb. 164 für eine Drehstrommaschine zum Ausdruck gebracht ist. Die durch die Ausschaltleitung (gestrichelt gezeichnet) kurzgeschlossenen Magnetwicklungen der nicht erregten Generatoren können dann, wenn letztere versehentlich auf das Netz geschaltet werden, keine gefährliche Spannung annehmen.

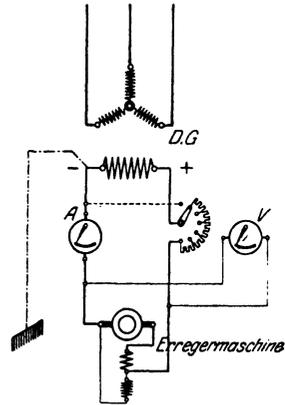


Abb. 164. Drehstromgenerator mit geerdeter Magnetwicklung.

Zieht man eine gemeinsame Erregeranlage für die Zentrale vor,

so werden besondere Erregerschien verlegt, auf die Gleichstrommaschinen entsprechender Leistung, meistens Nebenschlußmaschinen in Verbindung mit einer Akkumulatorenbatterie, arbeiten, und von denen der Magnetstrom für die verschiedenen Wechselstrommaschinen abgenommen wird. Über die verschiedenen Schaltungsmöglichkeiten der

Gleichstromanlage geben die Pläne in Kapitel IV Aufschluß. Hier soll nur eine von den SSW angegebene Schaltung für die Erregung kurz besprochen werden, die in Abb. 165 angegeben ist. Es sind zwei Gleichstromdynamos *G.D.* aufgestellt. Die

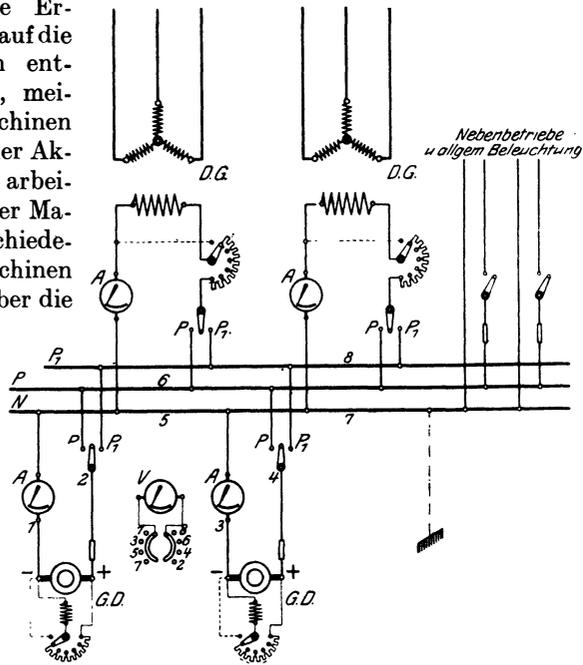


Abb. 165. Erregeranlage für eine Drehstromzentrale.

negative Erregerschiene *N* ist geerdet, wodurch, wie bereits oben dargestellt wurde, eine Sicherheit gegen das Auftreten hoher Spannung in

den Magnetwicklungen der Maschinen erzielt wird. Außerdem werden aber auch für die von dieser Sammelschiene abgehenden Leitungen Schalter und Sicherungen überflüssig. Die positive Sammelschiene ist doppelt ausgeführt, und es können Maschinen und Abzweigungen durch Umschalter beliebig auf die eine oder andere der beiden Schienen, auf P oder P_1 , gelegt werden. Das ist nützlich, um einen Drehstromgenerator für Versuchszwecke unabhängig von den übrigen betreiben zu können, etwa um ihn selbst oder einen anderen Teil der Anlage zu prüfen.

77. Allgemeine Anordnung des Überspannungsschutzes.

Überspannungsableiter werden in Hochspannungsanlagen in der Regel für jede abgehende Leitung gesondert eingebaut, während für die Maschinen und Transformatoren ein gemeinsamer Schutz an die Sammelschienen gelegt werden kann. Zur Ableitung der Überspannungen in die Erde können die Schutzvorrichtungen an eine gemeinsame Erdleitung angeschlossen werden. Diese soll jedoch getrennt von der Erdleitung hergestellt werden, an welche gemäß Abschn. 10 die Sekundärwicklungen der in der Anlage vorhandenen Wandler angeschlossen werden.

78. Eigenbedarfsanlagen in Wechselstromzentralen.

In größeren Zentralen ist der Frage des Eigenbedarfs an elektrischer Energie für den Betrieb von Motoren und für die Beleuchtung besondere Beachtung zu schenken. Ein an die Hochspannung angeschlossener Haustransformator stellt die gewünschte Gebrauchsspannung, z. B. 220 Volt, her. Für Signalzwecke und für Relaisbetätigung wird häufig Gleichstrom benötigt. Auch empfiehlt es sich, um bei Betriebsstörungen eine denkbar große Sicherheit zu haben, einen Teil der Maschinenhausbeleuchtung als Notbeleuchtung an eine Akkumulatorenbatterie anzuschließen, für deren Aufladung dann ebenfalls Gleichstrom verfügbar sein muß. Ist eine zentrale Erregeranlage vorgesehen (vgl. Abschn. 76), so kann dieser der erforderliche Gleichstrom entnommen werden, wie es z. B. in Abb. 165 zum Ausdruck gebracht ist. Andernfalls empfiehlt es sich, für den Eigenbedarf des Werkes einen Umformer oder Gleichrichter entsprechender Leistung aufzustellen. Beispiele für Eigenbedarfsanlagen, bei denen ein Umformer zur Anwendung gebracht ist, zeigen die Abschn. 83 und 85. Ein ausführliches Beispiel einer Eigenbedarfsanlage mit einem Gleichrichter ist in Abschn. 165 gegeben.

79. Niederspannungs-Drehstromzentrale.

In dem in Abb. 166 wiedergegebenen Schaltbild einer Drehstromzentrale arbeiten die beiden Niederspannungsgeneratoren auf die Sammelschienen R , S , T . Es ist eine gemeinsame Erregeranlage vorgesehen. Der Magnetstrom für die Drehstromgeneratoren wird den Gleichstromsammelschienen P und N entnommen, doch wird, wie bereits mehrfach betont wurde, namentlich bei größeren Maschinen die Zuordnung einer besonderen Erregermaschine zu jedem Generator vorgezogen.

Bezüglich der erforderlichen Schalter, Meßinstrumente usw. kann auf das Schaltbild 149 hingewiesen werden. Hinzu kommt der Syn-

chronismusanzeiger *S.A.* Die dafür angewendete Schaltung entspricht der Abb. 154. Durch den Umschalter, der soviel Kontaktpaare enthält als Maschinen vorhanden sind, kann der mit den Sammelschienen in Verbindung stehende Anzeiger auf jede Maschine geschaltet werden: es erfolgt also der Phasenvergleich zwischen Maschine und Sammelschienen. Der Synchronismus wird durch das Lampendunkel angezeigt.

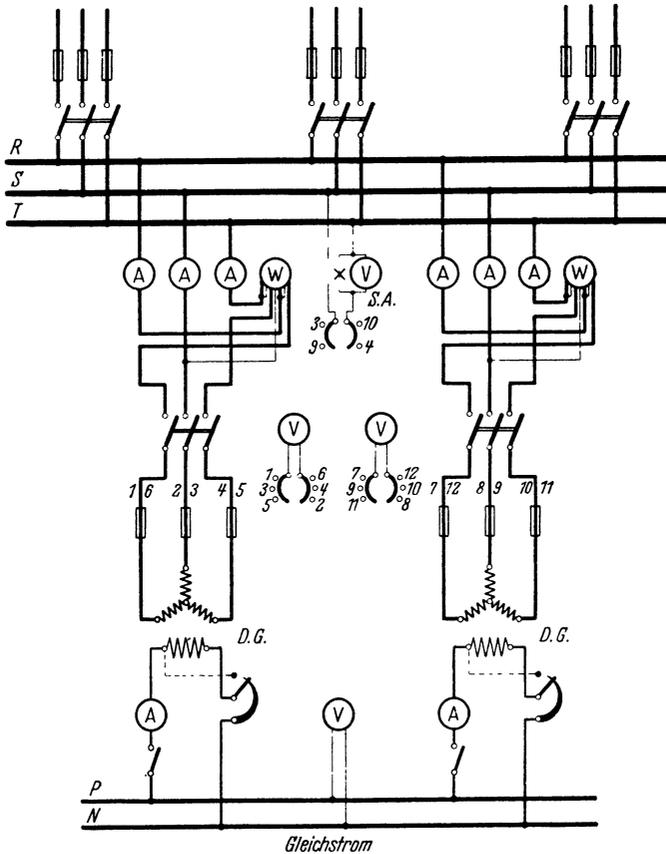


Abb. 166. Drehstromzentrale für Niederspannung.

80. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit unmittelbarer Auslösung der Leistungsschalter.

Abb. 167 zeigt den Schaltplan einer Hochspannungs-Wechselstromzentrale. Er ist, wie auch die nachfolgenden Pläne von Hochspannungsanlagen, auf Drehstrom bezogen, da Einphasenanlagen seltener (im allgemeinen nur für Bahnbetriebe) vorkommen und sich die Schaltung einer Einphasenanlage aus der entsprechenden Drehstromanlage leicht entwickeln läßt. Dem Plane ist das Kraftlaufschema Abb. 158 zugrunde gelegt. Die Zentralenspannung betrage 6000 Volt. Jeder Generator besitzt eine eigene mit ihm gekuppelte Nebenschluß-Erregermaschine.

Die Verbindung der Generatoren mit den Sammelschienen wird durch dreipolige Hochspannungs-Leistungsschalter vermittelt. Sie besitzen eine primäre unmittelbare Überstromauslösung (gemäß

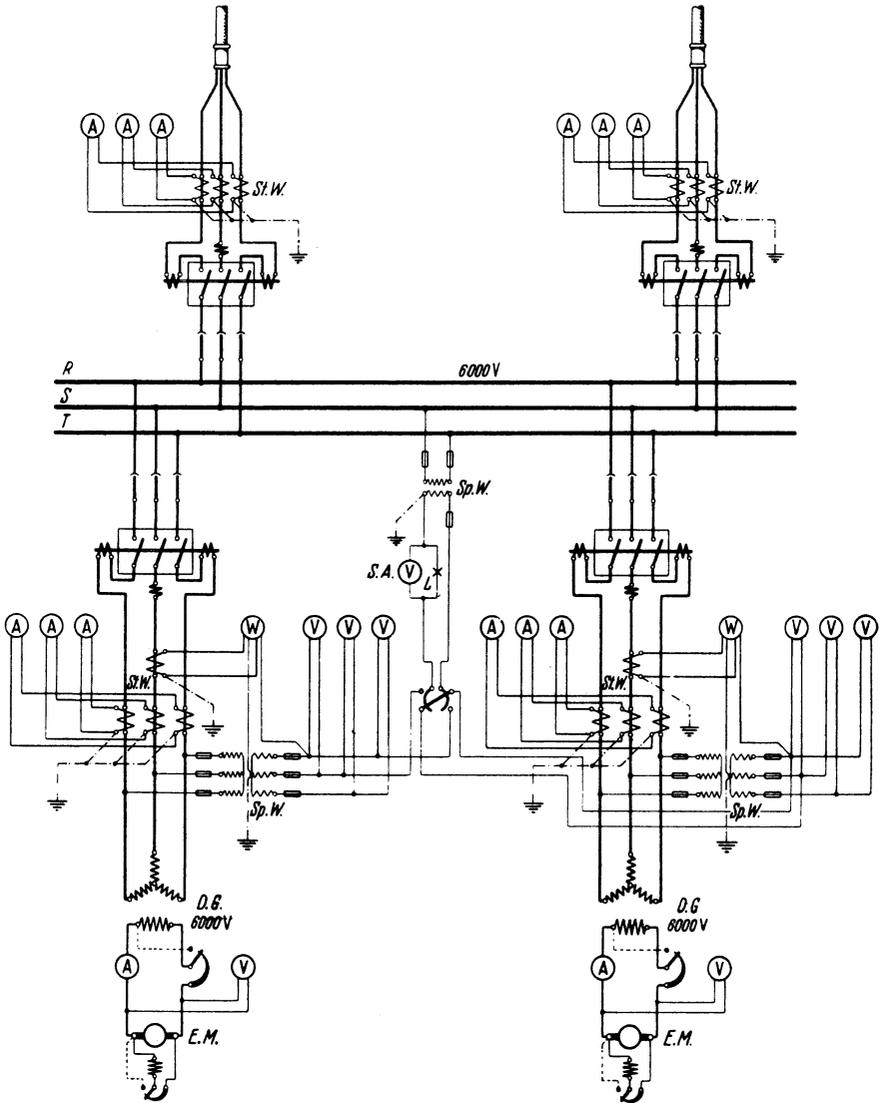


Abb. 167. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit unmittelbarer Auslösung der Schalter.

Abb. 19), und zwar ist die Auslösung für jeden Pol vorgesehen. Jedem Leistungsschalter sind drei einpolige Trennschalter zugeordnet (vgl. auch Abschn. 73).

In allen zu den Sammelschienen führenden Maschinenleitungen befinden sich Stromwandler in Verbindung mit je einem Strommesser.

Durch Vermittlung dreiphasiger Spannungswandler können ferner an den Voltmetern sämtliche Leiterspannungen (Spannung zwischen je zwei Leitungen, s. Abschn. 72) abgelesen werden. Die Leistungsmessung erfolgt nach der Dreiwattmeterschaltung, doch mit der Maßgabe, daß für jede Maschine nur ein Wattmeter vorhanden ist (vgl. Abb. 60). Den Wattmetern ist je ein besonderer Stromwandler zugewiesen, während die Spannungszuführung über die schon erwähnten Spannungswandler unter Benutzung ihrer Sternpunkte erfolgt. Gleiche Belastung der Phasen ist bei der angewandten Schaltung Voraussetzung für richtige Leistungsmessung. Der Einbau der Wandler ermöglicht es, durchweg Niederspannungs-Meßgeräte anzuwenden.

An den Spannungswandler jeder Maschine kann auch mit Hilfe des dafür vorgesehenen Umschalters der Synchronismusanzeiger angeschlossen werden, der durch einen weiteren Spannungswandler ständig mit dem Netz in Verbindung steht. Das Synchronisierverfahren ist also das gleiche wie im vorigen Schaltbild, auch ist wieder der Dunkelzustand der Lampe das Merkmal für die Phasenübereinstimmung.

Die abgehenden Leitungen sind als Kabel verlegt. Jedes Kabel steht über Trenn- und Leistungsschalter mit den Sammelschienen in Verbindung. Die Stromstärke in den einzelnen Kabeln kann wieder allpolig abgelesen werden. Auch besitzt der Leistungsschalter wiederum in jedem Pol einen Primärauslöser, der ihn bei Überlastung freigibt. Überspannungsableiter sind für die Kabel nicht erforderlich.

Um die für die Niederspannungsseite der Strom- und Spannungswandler vorgeschriebene Erdung vorzunehmen, ist eine gemeinsame Erdleitung zu verlegen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist diese im Schaltplan nicht eingezeichnet, vielmehr sind die zu erdenden Punkte einzeln kenntlich gemacht. Auch in den nachfolgenden Plänen größerer Anlagen ist die Erdung in der gleichen Weise angegeben.

81. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Relaisauslösung der Leistungsschalter.

Der in Abb. 168 dargestellte Schaltplan einer Drehstromzentrale — ihre Betriebsspannung soll zu 15000 Volt angenommen werden — kann ebenfalls auf das allgemeine Schaltbild Abb. 158 zurückgeführt werden, weist aber gegenüber dem vorigen Plan verschiedene Abweichungen auf. So sind die Hochspannungsschalter mit Relaisauslösung ausgestattet. Die Zahl der Überstromrelais ist für jede Maschine auf zwei beschränkt, die sekundär, d. h. über Stromwandler betätigt werden (entsprechend Abb. 20). Der als Hilfsstrom dienende Gleichstrom kann z. B. von einer kleinen Akkumulatorenbatterie geliefert werden. Die Schalterstellung wird durch Merklampen L_1 und L_2 angezeigt (vgl. Abb. 16). In der Regel wird, wie auch im Schaltplan angenommen ist, für die Relais die Arbeitsschaltung angewendet, doch kann sie gegebenenfalls durch die Ruheschaltung ersetzt werden, damit die Relais auch dann ansprechen, wenn der Hilfsstrom aus irgendeinem Grunde unterbrochen ist. Zu den beiden Überstromrelais kommt noch ein Richtungsrelais, welches bei einem Wechsel der Energierichtung zur Wirkung kommt (vgl. Abb. 22)

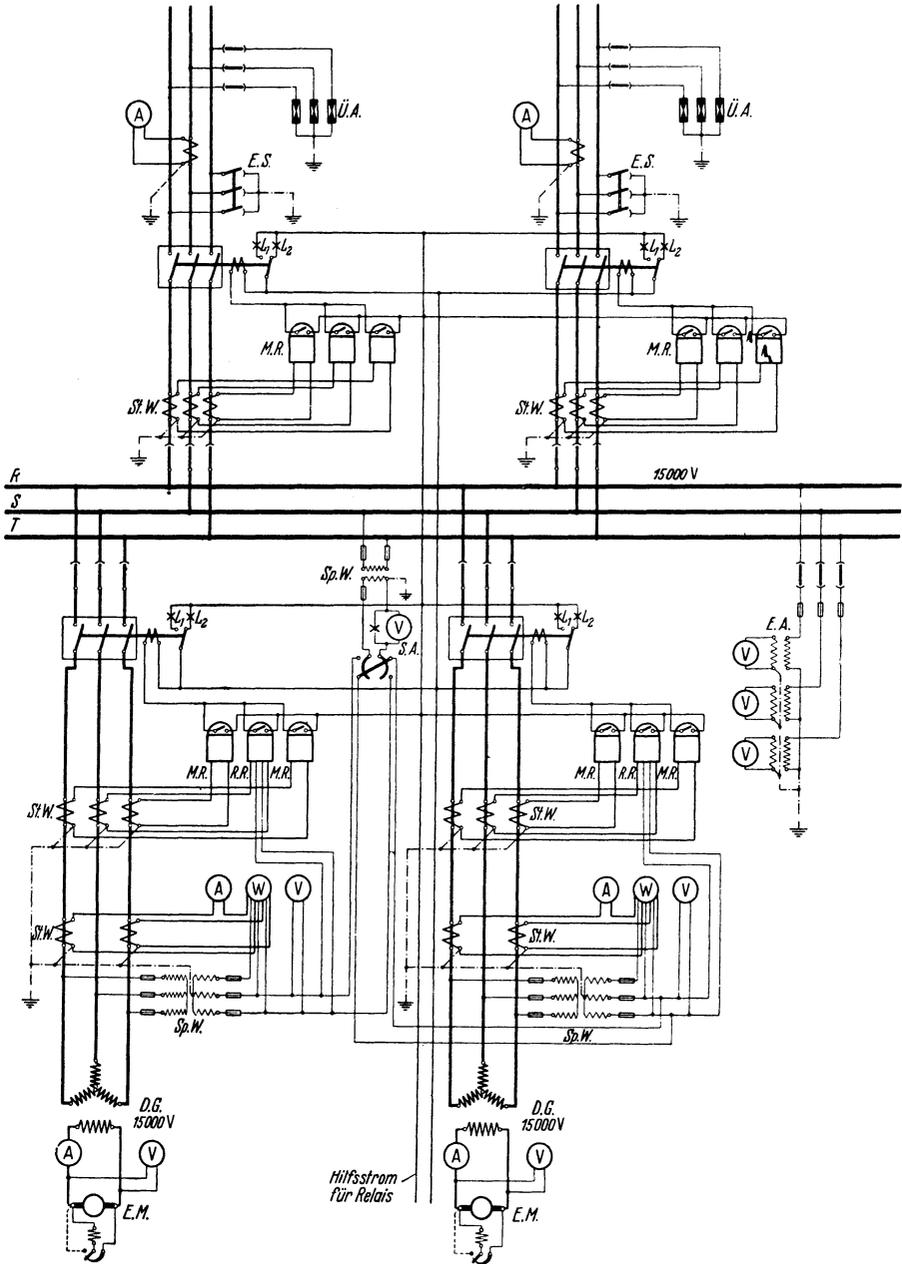


Abb. 168. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Relaisauslösung der Schalter.

und dadurch verhindert, daß der betreffende Generator, vorübergehend als Motor arbeitend, von den Sammelschienen Strom aufnimmt. Die Zahl der Meßgeräte ist möglichst beschränkt. Es ist für jede

Maschine ein Strom-, ein Spannungs- und ein Leistungsmesser vorgesehen, letzterer in der Zweiwattmeterschaltung. Für die Meßgeräte sind eigene Wandler vorhanden, zwei Strom- und ein dreiphasiger Spannungswandler. An den letzteren ist auch der Synchronismusanzeiger angeschlossen.

Die Fernleitungen sind als Freileitungen angenommen. Die Schalter hierfür sind, um eine sichere Wirkung auch dann zu gewährleisten, wenn eine Leitung Erdschluß besitzt, allpolig mit Überstromauslösung ausgestattet. Dagegen ist die Strommessung wiederum auf je einen Pol der Netzleitungen beschränkt. Um etwa notwendig werdende Arbeiten an den Leitungen gefahrlos vornehmen zu können, müssen sie, nachdem sie von den Sammelschienen abgetrennt sind, geerdet werden. Dies kann durch Einlegen der an die Leitungen angeschlossenen Erdungsschalter *E.S.* unmittelbar im Werk geschehen.

Zur ständigen Prüfung des Isolationszustandes der Anlage steht ein Erdschlußanzeiger *E.A.* mit den Sammelschienen in Verbindung. Seine Voltmeter sind an Spannungswandler angeschlossen, deren primäre Wicklung über einen Pol geerdet ist (vgl. Abb. 70).

Als Überspannungsschutz sind mit den Freileitungen Ventilableiter (s. Abschn. 12) verbunden. Zu beachten ist, daß die Erdungsleitung für den Überspannungsschutz den Vorschriften gemäß getrennt von der Erdungsleitung für die Wandler ausgeführt werden muß. Die Primärwicklungen der Wandler für die Erdschlußanzeige dienen auch, als Erdungsdrosselspulen wirkend, zur Ableitung statischer Überspannungen.

82. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren.

Abb. 169 zeigt den Schaltplan einer Drehstromzentrale nach Art des Kraftlaufschemas Abb. 159. Es handelt sich also um ein Werk, bei dem jedem Generator ein Transformator zugeordnet ist, um seine Spannung heraufzusetzen. Die Generatorspannung mag, um eine Zahl zu nennen, 6000 Volt betragen, während die Sammelschienenspannung, d. h. die Transformatoroberspannung, zu 30 000 Volt angenommen werden kann. Der Plan lehnt sich an Ausführungen der SSW an. Die Drehstromgeneratoren stehen mit den zugehörigen Transformatoren in fester Verbindung. Die Maschinenhauptschalter, Expansionsschalter, befinden sich zwischen Transformatoren und Sammelschienen. Die Schalter sind, um einer Überlastung der Maschinen vorzubeugen, allpolig mit sekundär betätigter Relaisauslösung versehen. Der Auslösestrom für die Relais kann von besonderen Hilfsschienen, die von einer Gleichstromquelle gespeist werden, abgenommen werden. Die für die Maschinen erforderlichen Meßgeräte sind vor den Transformatoren, also auf der 6000 Volt-Seite, über Wandler eingebaut. Die Leistungsmesser sind nach der Zweiwattmetermethode geschaltet, unter Anwendung eines mit zwei Wicklungen versehenen und in V-Schaltung verbundenen Spannungswandlers (vgl. Abb. 61 und 62). An eine Phase des letzteren ist auch die Parallelschalteinrichtung angeschlossen. Sie entspricht der Abb. 157, und es sind demgemäß die Maschinentrennschalter mit Hilfskontakten versehen.

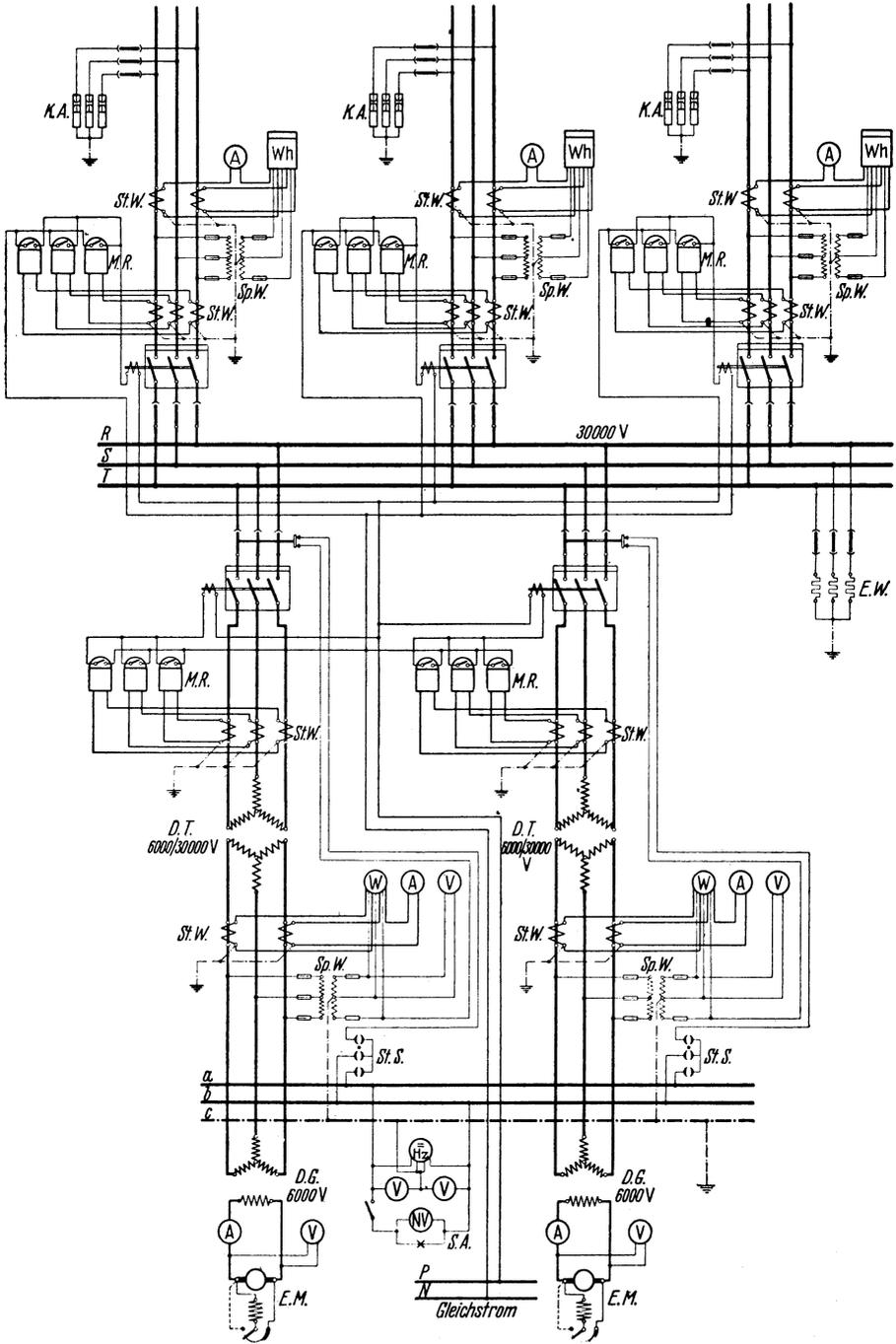


Abb. 169. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren.

Die Schalter in den von den Sammelschienen abgehenden Freileitungen sind ebenso wie die Maschinenschalter eingerichtet. Jede Leitung enthält einen Zähler in Zweiwattmeterschaltung.

Alle abgehenden Leitungen enthalten, um Überspannungen un-
schädlich zu machen, Ventilableiter
in Gestalt von Kathodenfallableiter
K.A. Elektrostatische Überspan-
nungen werden durch die Erdungs-
widerstände *E. W.* abgeleitet.

83. Hochspannungs-Drehstrom- zentrale mit Transformatoren und Transformatoren-Umschaltchiene.

Der in Abb. 170 angegebene Schalt-
plan eines größeren Kraftwerkes

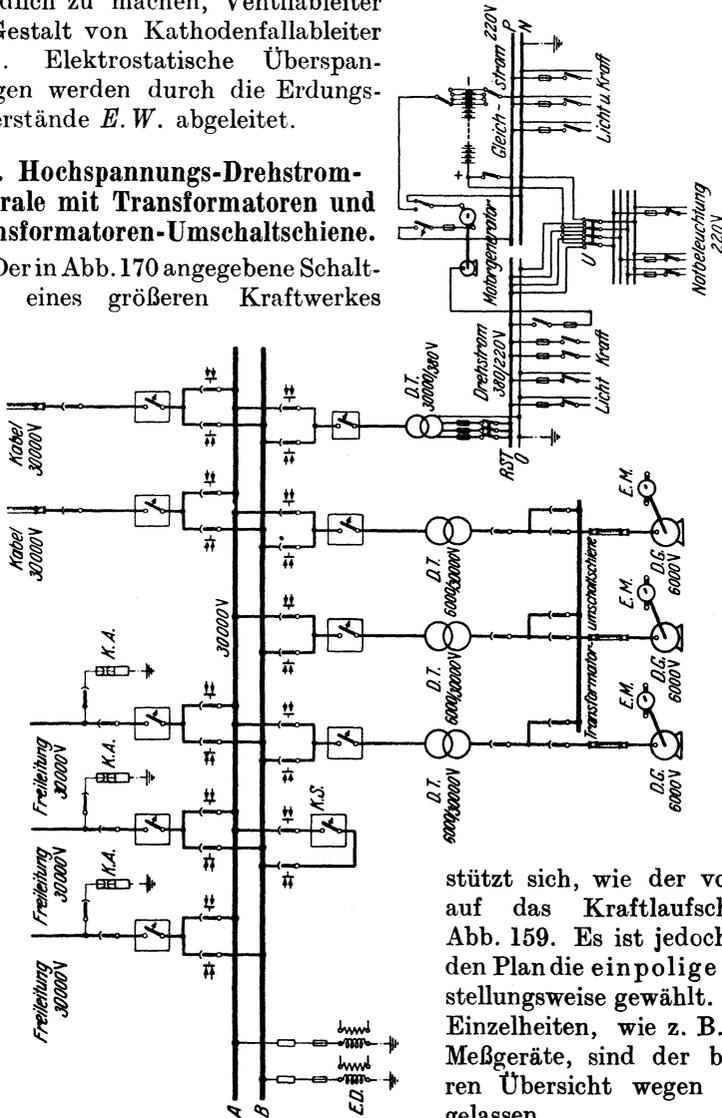


Abb. 170. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und Transformatoren-Umschaltchiene.

stützt sich, wie der vorige, auf das Kraftlaufschema Abb. 159. Es ist jedoch für den Plan die einpolige Darstellungsweise gewählt. Alle Einzelheiten, wie z. B. die Meßgeräte, sind der besseren Übersicht wegen fortgelassen.

Es sind im Werk drei Drehstromgeneratoren aufgestellt. Mit jedem derselben ist eine Erregermaschine gekuppelt. Die Generatorspannung betrage 6000 Volt. Jeder Generator arbeitet wieder auf einen ihm zugehörigen Transformator gleicher Leistung. Doch ist durch eine besondere Umschaltchiene die Möglichkeit gegeben, daß ein Generator

auch mit einem beliebigen anderen Transformator in Verbindung gesetzt werden kann. Das Umschalten wird durch entsprechende Bedienung der Trennschalter bewirkt. Die Transformatoren, in denen die Spannung auf 30000 Volt heraufgesetzt wird, stehen mit Doppelsammelschienen — die beiden Schienensätze sind mit *A* und *B* bezeichnet — in Verbindung. Die Vorzüge dieses Systems sind in Abschn. 75 ausführlich erörtert worden.

Die zur Verbindung der Transformatoren mit den Sammelschienen dienenden Leistungsschalter sind mit Überstrom-Zeitrelais versehen. Das gleiche gilt für den Kupplungsschalter *K.S.* der beiden Schienensysteme. Die Schalter sind sämtlich für Fernsteuerung eingerichtet, was allerdings im Schaltplan nicht zum Ausdruck gebracht ist. Um an einem Schalter gefahrlos arbeiten zu können, müssen die ihm vorgeschalteten Trennschalter unbedingt zuverlässig ausgeschaltet sein. Ist von den Schalterzellen aus die Schaltstellung der zugehörigen Trennschalter nicht sichtbar, so werden in Anlagen größeren Umfanges Merklampen angewendet, die die Stellung der Trennschalter erkennen lassen. So wird ein versehentliches Arbeiten in einer noch spannungsführenden Zelle verhindert, wobei jedoch, um Irrtümer infolge durchgebrannter Lampen oder beschädigter Leitungen auszuschließen, die Einrichtung so getroffen sein muß, daß die Lampen bei ausgeschalteten Trennschaltern aufleuchten. Die Kontaktvorrichtung zur Betätigung der Merklampen ist an allen in Betracht kommenden Trennschaltern im Schaltplan angedeutet. In der Nähe der Trennschalter können umgekehrt auch Merklampen zum Anzeigen der Schaltstellung der zugehörigen Leistungsschalter angebracht werden, um ein versehentliches Ziehen eines Trennschalters unter Strom zu verhindern.

Von den abgehenden Leitungen sind drei als Freileitungen, zwei als Kabel ausgeführt. Die Freileitungen erhalten als Sicherung gegen Überspannungen je einen Kathodenfallableiter. Außerdem sind an beide Sammelschienen Erdungsdrosselspulen gelegt. Letztere, über Vorschaltwiderstand und Hochspannungssicherung angeschlossen, dienen gleichzeitig zur Betätigung der Isolationsmeßgeräte (vgl. Abschnitt 26, letzter Absatz).

Ein weiterer Überspannungsschutz ist den Generatoren noch dadurch gegeben, daß ihre Verbindung mit den Transformatoren durch Kabel hergestellt ist. Diese sind für die doppelte Betriebsspannung isoliert (vgl. Abschn. 12).

Für den Eigenbedarf des Werkes (vgl. Abschn. 78) ist ein besonderer Drehstromtransformator aufgestellt, der an die 30000 Volt-Schienen angeschlossen ist und die Spannung auf 380/220 Volt herabsetzt (vgl. Abb. 190). Mittels eines Umformers, der als asynchroner Motorgenerator (s. Abschn. 146) ausgebildet ist, wird ferner Gleichstrom von 220 Volt erzeugt, für den auch eine kleine Akkumulatoren-batterie vorgesehen ist. Ein Teil der Lichtanschlüsse kann nach Belieben auf das Drehstrom- oder das Gleichstromnetz geschaltet werden, wie es im Abschn. 157 für eine Anlage näher ausgeführt ist. Von einer derartigen Umschaltmöglichkeit wird häufig für die Notbeleuchtung

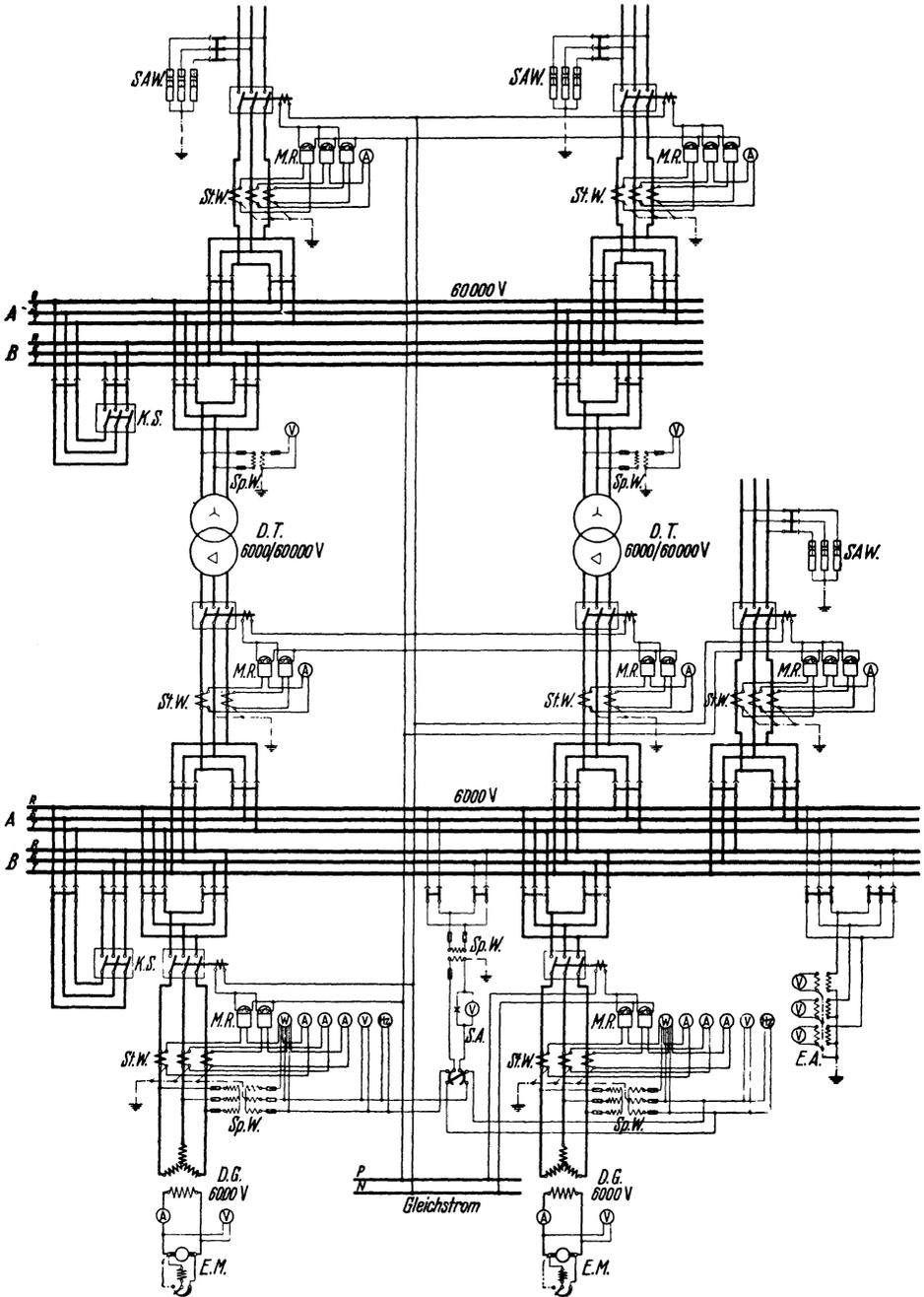


Abb. 171. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und Zwischensammelschienen.

Gebrauch gemacht, die dann im allgemeinen mit Drehstrom betrieben, bei sinkender oder ausbleibender Drehstromspannung aber durch einen Selbstumschalter auf die Stationsbatterie umgeschaltet wird.

84. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und Sammelschienen für die Unter- und Oberspannung.

Im Schaltplan Abb. 171 sind Sammelschienen sowohl für die Maschinenspannung, zu 6000 Volt angenommen, als auch für die Transformatoroberspannung, sie betrage 60000 Volt, vorhanden. Für beide Spannungen ist das Doppelsammelschienensystem zur Anwendung gebracht. Der Plan entspricht also dem allgemeinen Kraftlauf Abb. 162.

Der mit den Leistungsschaltern, ausgenommen dem Kupplungsschalter, verbundene Überstromschutz arbeitet mit Sekundärrelais. Als Hilfsstrom für die Relais dient Gleichstrom, der besonderen Hilfsschienen entnommen wird. Bei den Transformatoren, die primär in Dreieck, sekundär in Stern geschaltet sind, ist die Anbringung der Schalter auf die Primärseite beschränkt worden. Die Trennschalter sind mit Rücksicht auf leichte Umschaltbarkeit von einem Sammelschienensystem auf das andere dreipolig ausgeführt.

Die Anordnung der Meßgeräte und der Synchronisiereneinrichtung bietet gegenüber den vorhergehenden Schaltplänen nichts Neues. Es sind hierfür die gleichen Wandler benutzt, die zur Betätigung der Relais dienen. Für jede Maschine ist auch ein Frequenzmesser vorhanden. Zur ständigen Überwachung des Isolationszustandes der Anlage steht mit den Maschinensammelschienen ein Erdschlußanzeiger in Verbindung.

Von den 60000 Volt-Sammelschienen führt eine Anzahl Freileitungen ins Netz. Für die Versorgung des näheren Umkreises der Zentrale ist auch eine Freileitung von den 6000 Volt-Sammelschienen abgenommen. Als Überspannungsschutz ist für jede abgehende Freileitung ein Satz Ventilableiter in der Ausführung als SAW-Ableiter eingebaut.

85. Drehstromzentrale für Höchstspannung.

Den Schaltplan für ein Drehstromwerk sehr hoher Spannung, dem ein Entwurf der AEG zugrunde gelegt ist, zeigt Abb. 172. Er entspricht, wie der vorige, dem Kraftlaufschema Abb. 162, ist jedoch einpolig durchgeführt; alles für das Verständnis des Planes unwesentliche ist nicht eingezeichnet. Zwei große Drehstromgeneratoren mit angebauten Erregermaschinen arbeiten bei einer Spannung von 6000 Volt auf ein Doppelsammelschienensystem. Die Maschinenschalter besitzen selbsttätige Überstrom- und Richtungsrelaisauslösung.

Durch zwei Transformatoren von gleicher Leistung wie die Generatoren wird eine Erhöhung der Spannung auf 100000 Volt vorgenommen. Auch für diese Spannung sind die Sammelschienen doppelt vorhanden. Die Transformatoren sind primär in Dreieck, sekundär in Stern geschaltet. Die Leistungsschalter, Druckgasschalter, sind für Fernsteuerung eingerichtet und mit Überstromrelais ausgestattet.

Die beiderseits der Transformatoren befindlichen Schalter sind elektrisch miteinander gekuppelt, so daß beim Auslösen des Schalters auf der einen

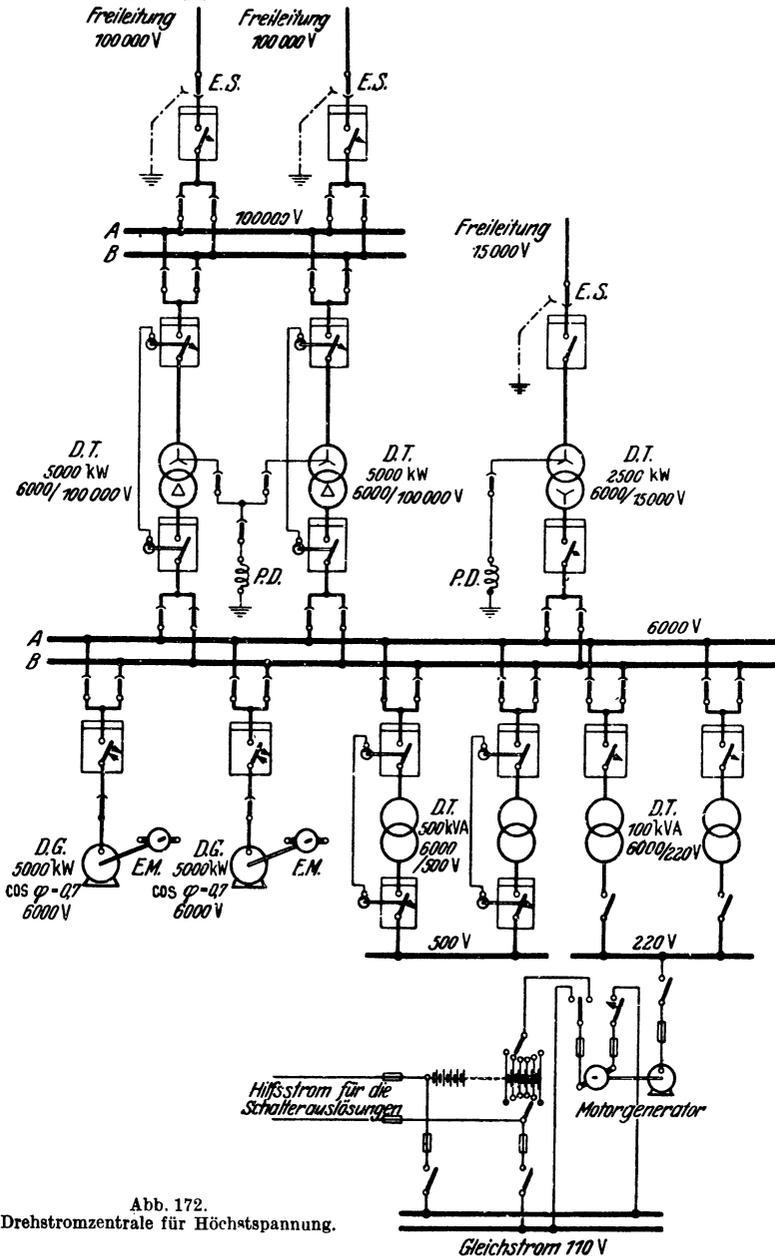


Abb. 172.
Drehstromzentrale für Höchstspannung.

Seite auch der Schalter auf der anderen Seite auslöst; auf diese Schalter wirken auch, zum Schutz der Transformatoren, Differentialrelais (s. Abschn. 91) ein.

An den 6000 Volt-Sammelschienen ist der Anschluß eines weiteren Transformators bemerkenswert, welcher auf 15000 Volt transformiert und unmittelbar in eine Freileitung übergeht. Alle Freileitungen sind mit Erdungsschaltern versehen.

An die sekundären Sternpunkte der Transformatoren sind Erd-schlußspulen nach Petersen (*P.D.*) angeschlossen (s. Abschn. 12). Ein weiterer Überspannungsschutz ist nicht vorhanden, vielmehr ist die Isolation der ganzen Anlage mit einem entsprechend hohen Sicherheitsgrad ausgeführt.

Für den örtlichen Bedarf ist eine Transformierung herunter auf 500 Volt vorgenommen. Hierfür dienen zwei an die 6000 Volt-Sammelschienen angeschlossene Transformatoren. Außerdem steht für den Eigenbedarf eine Spannung von 220 Volt zur Verfügung, die durch zwei weitere Transformatoren erzielt wird und u. a. zum Betrieb eines als Umformer dienenden Motorgenerators nutzbar gemacht wird. Mit dem von dem Umformer gelieferten Gleichstrom wird die Beleuchtung des Werkes besorgt, wie er auch den Hilfsstrom für die vielen zur Betätigung der Schalter erforderlichen Relais liefert. Durch Aufstellung einer kleinen Akkumulatorenbatterie wird eine große Betriebssicherheit gewährleistet indem sie als unabhängige Stromquelle für die Schalterauslösung auch dann wirksam ist, wenn die Drehstromspannung in der Zentrale durch starke Kurzschlüsse derartig beeinflußt wird, daß auch der kleine Umformer unregelmäßig arbeitet. Aus diesem Grunde sind die Auslösestromkreise auch unmittelbar von der Batterie abgenommen.

VII. Umspannanlagen.

A. Transformatoren.

86. Der Einphasentransformator.

Die Transformatoren oder Umspanner dienen dazu, die Spannung eines Wechselstromes zu verändern, sie herauf- oder herunterzusetzen.

Sie besitzen demgemäß zwei Wicklungen, eine primäre und eine sekundäre. Das Übersetzungsverhältnis eines Transformators hängt von dem Verhältnis der Windungszahlen beider Wicklungen ab. Meistens werden die Transformatoren als Öltransformatoren hergestellt.

Das Wicklungsschema des Einphasentransformators zeigt Abb. 173. Der hochgespannte Wechselstrom wird der Wicklung *UV* zugeführt, während der auf die Gebrauchsspannung heruntertransformierte Strom der Wicklung *uv* entnommen wird. Die Stromverbraucher sind durch einige Glühlampen angedeutet. Im vorliegenden Falle ist also *UV* die primäre, *uv* die se-

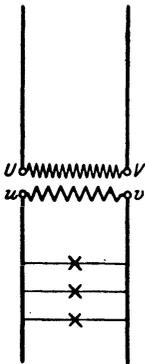


Abb. 173.
Einphasen-
transformator.



Abb. 174. Schalt-
kurzzeichen des
Einphasentrans-
formators.

kundäre Wicklung, doch kann auch umgekehrt — zur Herauftransformierung der Spannung — *uv* als primäre, *UV* als sekundäre Wicklung

dienen. In jedem Falle werden durch die großen Buchstaben die Klemmen der Hochspannungsseite, durch die kleinen Buchstaben die der Niederspannungsseite gekennzeichnet.

Abb. 174 gibt das Schaltkurzzeichen des VDE für den Einphasentransformator wieder, welches die magnetische Verkettung des primären und sekundären Kreises andeuten soll.

87. Der Drehstromtransformator.

In Drehstromanlagen können zur Umspannung drei Einphasentransformatoren zusammengeschaltet werden. Doch zieht man in der Regel einen entsprechend ausgebildeten Drehstromtransformator vor. Dieser besitzt für jede Phase eine primäre und eine sekundäre Wicklung. Die Wicklungen der verschiedenen Phasen können in Dreieck oder in Stern verkettet sein. Auch die sog. Zickzackschaltung wird häufig angewendet. Die Verkettungsart kann auf der primären und

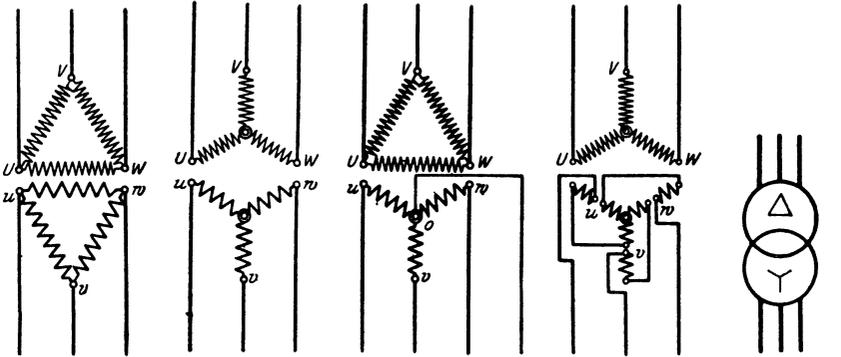


Abb. 175. Drehstromtransformator in Dreieckschaltung.

Abb. 176. Drehstromtransformator in Sternschaltung.

Abb. 177. Drehstromtransformator in Dreieck-Sternschaltung mit sekundärem Nulleiter.

Abb. 178. Drehstromtransformator in Stern-Zickzagschaltung.

Abb. 179. Drehstromtransformator: Schaltzeichen.

sekundären Seite verschieden gewählt werden. Als Klemmenbezeichnung ist U, V, W für die Hochspannungsseite und u, v, w für die Niederspannungsseite festgelegt. Ist der Sternpunkt einer Wicklungsseite aus dem Transformator herausgeführt, so wird die betreffende Klemme mit O bzw. o bezeichnet. In Abb. 175 bis 178 sind einige Schaltungsbeispiele von Transformatoren schematisch dargestellt. Nähere Angaben über die verschiedenen „Schaltgruppen“ und ihre Bedeutung enthalten die „Regeln für die Bewertung und Prüfung von Transformatoren“ (RET) des VDE¹.

Das Schaltkurzzeichen des VDE für einen Drehstromtransformator (unter Angabe der Schaltung) zeigt Abb. 179.

¹ S. auch Mangold, Transformatorenschaltungen und ihre Eigenschaften. AEG-Mitt. 1941, 1.

88. Transformatoren in Sparschaltung.

Transformatoren in Sparschaltung besitzen nur eine Wicklung. Wird diese an die primäre Spannung angeschlossen, so kann ihr eine beliebig kleinere als sekundäre Spannung entnommen werden. Abb. 180 zeigt das Schaltbild eines Spartransformators für Einphasenstrom, bei dem die sekundäre Spannung die Hälfte der primären beträgt. Transformatoren der gleichen Art können aber auch zur Spannungserhöhung benutzt werden. Auch Drehstromtransformatoren lassen sich in Sparschaltung herstellen.

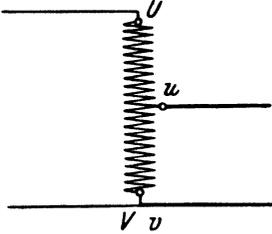


Abb. 180. Einphasen-transformator in Sparschaltung.

Allgemeine Verwendung finden Transformatoren in Sparschaltung nicht, da Niederspannungs- und Hochspannungswicklung nicht voneinander isoliert sind. Sie bieten jedoch dort Vorteile, wo die Spannung nur um einen verhältnismäßig kleinen Betrag zu ändern ist.

89. Regeltransformatoren.

Transformatoren können auch zur Spannungsregelung verwendet werden. Von den verschiedenen Regelverfahren sei hier nur die Stufenregelung berücksichtigt. Beim Einphasen-Regeltransformator wird die eine Sekundärleitung fest angeschlossen, dagegen kann der Anschluß der anderen Leitung geändert und dadurch ein mehr oder weniger großer Teil der Sekundärwicklung für die Abnahme der Spannung herangezogen werden. Beim Drehstrom-Regeltransformator wird an jede Phase eine Leitung beweglich angeschlossen. Wo es zugänglich ist, wird für Regeltransformatoren die Sparschaltung benutzt.

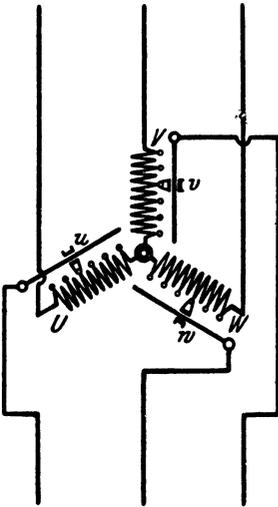


Abb. 181. Drehstrom-Regeltransformator.

Abb. 181 zeigt das Schaltbild eines regelbaren Spartransformators für Drehstrom. Die Anschlüsse u , v , w sind veränderlich. Praktisch werden die für die Spannungsregelung in Betracht kommenden Punkte der Wicklung zu Kontakten geführt, derart, daß die Spannung aller Phasen mittels einer Kurbel oder eines Regulierschalters gleichmäßig verändert werden kann.

Transformatoren mit nur einer Regulierstufe oder einigen wenigen Stufen finden als Anlaßtransformatoren vielfach bei Drehstrom-Synchronmotoren und Einankerumformern Verwendung.

90. Transformatoren in Skottscher Schaltung.

Ältere Wechselstromanlagen sind noch vereinzelt nach dem Zweiphasensystem ausgeführt. Der Zweiphasenstrom setzt sich aus zwei Wechselströmen zusammen, die um eine Viertelperiode gegeneinander verschoben sind. Um aus einem Zweiphasennetz Drehstrom entnehmen zu können, z. B. zum Anschluß von Drehstrommotoren, kann man sich zweier Einphasentransformatoren in der Skottschen Schaltung bedienen, die in Abb. 182 schematisch dargestellt ist. Es ist unverketteter Zweiphasenstrom angenommen, mit den Leitungen $Q-S'$ und $R'-T'$. Je eine Phase des Zweiphasensystems arbeitet auf die Primärwicklung eines der beiden Transformatoren, die Sekundärwicklung des Transformators $T II$ ist mit dem

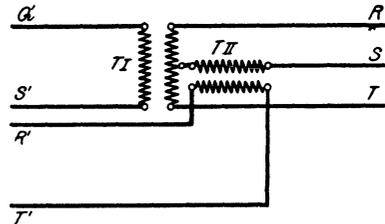


Abb. 182. Transformatoren in Skottscher Schaltung.

Mittelpunkt der Sekundärwicklung des Transformators $T I$ verbunden. Die Drehstromleitungen R, S, T werden auf die in der Abbildung angegebene Weise angeschlossen. Damit sich eine gleichmäßige Belastung aller Phasen ergibt, müssen bezüglich der Übersetzung beider Transformatoren bestimmte Verhältnisse eingehalten werden.

Die Skottsche Schaltung kann auch umgekehrt angewendet, d. h. zur Umwandlung von Drehstrom in Zweiphasenstrom benutzt werden.

91. Differentialschutz für Transformatoren.

Das zum Abschalten fehlerhafter Leitungen oder schadhafter Hochspannungsgeneratoren dienende Differentialschutzsystem kann auch zum Schutz größerer Hochspannungstransformatoren angewendet werden. Die Schaltung entspricht der in Abschn. 11 erörterten. Die auf der Primär- und Sekundärseite des Transformators befindlichen Leistungsschalter erhalten Differentialrelais, die über beiderseits des Transformators eingebaute Stromwandler angeschlossen sind. Die Wicklungen der letzteren werden, dem Übersetzungsverhältnis des Transformators entsprechend, so bemessen, daß, solange der Transformator in Ordnung ist, die sekundären Spannungen beider Wandler gleich groß sind und sich gegenseitig aufheben. Tritt dagegen ein Fehler im Transformator auf, z. B. Kurzschluß einer Spule oder auch nur weniger Windungen, so erhalten die Relais, da nunmehr die beiden Spannungen verschieden sind, Strom, und es werden daher die Schalter ausgelöst¹.

92. Transformator mit Buchholzschutz.

Transformatoren werden, wie bekannt, in der Regel als Öltransformatoren ausgeführt. Um Störungen an derartigen Transformatoren unschädlich zu machen, hat sich der Buchholzschutz bewährt, ein

¹ Geise, Der stabilisierte Differentialschutz. SZ 1932, 413.

Schutzrelais, das zwischen den Transformator und das mit ihm verbundene Ölausgleichsgefäß eingebaut wird. Bei Windungs- oder Gestellschluß, aber auch bei größeren Überlastungen oder Kurzschlüssen entwickeln sich aus den Isoliermitteln gasförmige Zersetzungsprodukte, welche beim Übertritt in das Ausgleichsgefäß die Betätigung des Buchholzrelais herbeiführen.

In Abb. 183 ist eine Buchholz-Schutzschaltung nach einer Ausführung der SSW dargestellt. L sei die Ölleitung zwischen Transformator und Ausgleichsgefäß A , das Buchholzrelais sei durch B angedeutet. Beiderseits des Transformators befinden sich Schalter. Auf

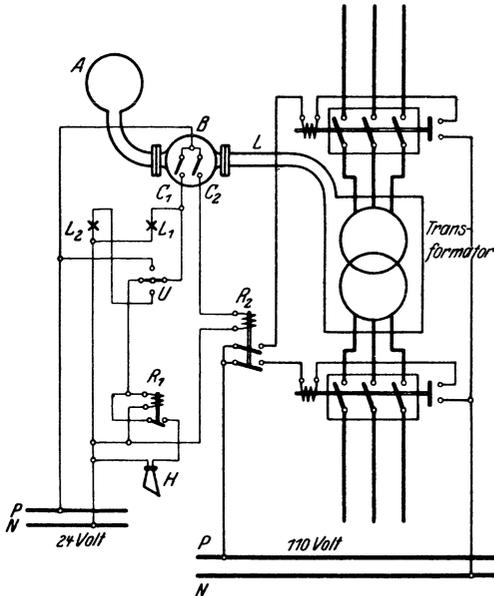


Abb. 183. Buchholz-Schutzschaltung für einen Transformator.

sie wirkt je eine Spannungsspule ein, für deren Erregung Gleichstrom von z. B. 110 Volt Spannung zur Verfügung steht. Für das Buchholzrelais selbst ist eine Gleichstromhilfsquelle von 24 Volt vorgesehen. Tritt nun eine kleine, mit einer nur geringen Gasentwicklung verbundene Störung im Transformator auf, so schließt sich im Buchholzrelais lediglich der Alarmkontakt C_1 . Damit wird die Glühlampe L_1 zum Aufleuchten gebracht. Gleichzeitig wird über den Umschalter U das Hilfsrelais R_1 geschlossen und somit die Hupe H eingeschaltet. Durch den Umschalter kann diese, nachdem man auf den Fehler aufmerksam geworden ist, abge-

schaltet werden, doch leuchtet alsdann die Lampe L_2 auf. Sie dient als Warnlampe und brennt so lange, bis der Fehler beseitigt ist.

Tritt infolge eines größeren Transformatorfehlers eine stärkere Gasentwicklung ein, so wird der Abschaltkontakt C_2 des Buchholzrelais geschlossen. Das Hilfsrelais R_2 kommt zur Wirkung, und es werden die Spannungsspulen der Schalter erregt, so daß ein sofortiges beiderseitiges Abschalten des Transformators die Folge ist¹.

B. Transformatoren- und Schaltstationen.

93. Grundlegende Schaltungen von Transformatorenanlagen.

Transformatoren zum Heraufsetzen der Spannung werden, wo es erforderlich ist, im allgemeinen unmittelbar in den Elektrizitäts-

¹ Vgl. Weißmann, Wie wird ein Transformator am zweckmäßigsten geschützt? SZ 1935, 67.

werken aufgestellt und bilden dann einen organischen Bestandteil der Stromerzeugungsanlage. Beispiele für Zentralenschaltungen mit Transformatoren finden sich im vorigen Kapitel.

Transformatoren, welche die Übertragungsspannung auf die Gebrauchsspannung herabsetzen, sind in jeder Hochspannungsanlage in mehr oder weniger großer Zahl vorhanden und nach Bedarf auf die verschiedenen mit elektrischer Energie zu versorgenden Stadtteile oder, bei Überlandzentralen, auf die einzelnen Ortschaften verteilt. Für Fabriken oder andere Großabnehmer elektrischer Energie wird in der Regel je ein eigener Transformator aufgestellt.

Das Kraftlaufschema einer Transformatorenanlage für Einphasen- oder Drehstrom zeigt die Schaltskizze Abb. 184. Durch ein Kabel oder eine Freileitung wird dem Transformator T über Trenn- und Leistungsschalter

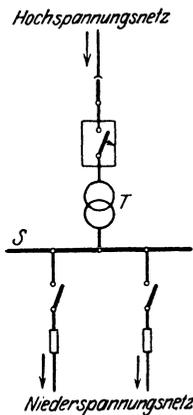


Abb. 184. Kraftlauf einer einfachen Transformatorenanlage.

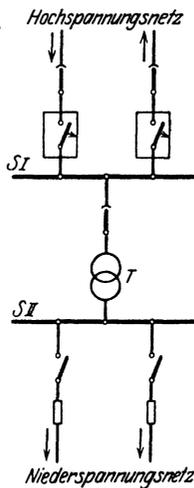


Abb. 185. Kraftlauf einer Transformatorenanlage mit durchgehender Leitung.

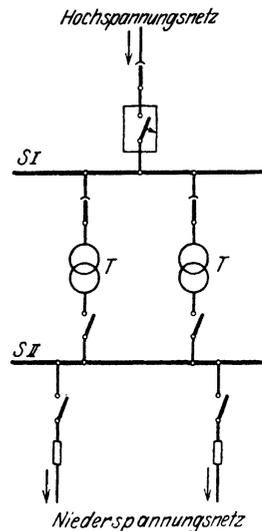


Abb. 186. Kraftlauf einer Transformatorenanlage mit parallel geschalteten Transformatoren.

mit Überstromauslösung die Hochspannung zugeführt. Der dem Transformator entnommene Niederspannungsstrom gelangt über die Verteilungsschienen S mittels der Verteilungsleitungen an die Verbrauchsstellen.

Häufig ist die Transformatorenanlage gleichzeitig als Schaltstation für das Hochspannungsnetz ausgebildet, indem ein Teil der zugeführten Energie durch Freileitungen weitergegeben wird und nur der übrigbleibende Teil zum Transformator gelangt. Dieser Fall ist in dem Kraftlaufschema Abb. 185, in dem SI die Hochspannungs-, SII die Niederspannungsschienen bedeuten, zur Darstellung gebracht.

Ein Parallelbetrieb mehrerer Transformatoren auf das Niederspannungsnetz ist in Abb. 186 angenommen. Bei der Herstellung der Transformatorenanlüsse ist darauf zu achten, daß hinsichtlich der sekundären Spannung aller Transformatoren Phasengleichheit besteht (Anwendung einer Phasenlampe!). Beim Anschluß von Drehstromtransformatoren ist ferner gleiche Reihenfolge der

Phasen zu berücksichtigen. Phasengleichheit kann im allgemeinen nur erzielt werden, wenn die parallel zu schaltenden Transformatoren der gleichen Schaltgruppe angehören (s. Abschn. 87).

Im vorstehenden wurde angenommen, daß der dem Transformator zugeführte Hochspannungsstrom unmittelbar auf die Gebrauchsspannung gebracht wird. Bei großen Versorgungsgebieten wird aber der von dem Kraftwerk mit hoher Spannung, z. B. 100000 Volt, gelieferte Strom häufig noch einer Zwischentransformation unterworfen. Zu diesem

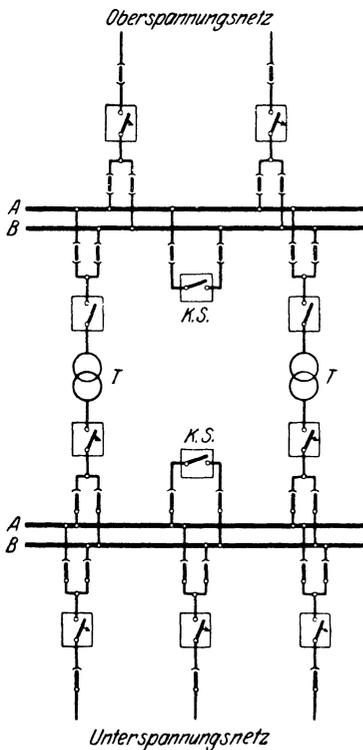


Abb. 187. Kraftlauf eines Umspannwerkes mit Doppelsammelschienen.

Zwecke werden an wichtigen Punkten des Versorgungsgebietes Umspannwerke errichtet, in denen der Strom auf eine weniger hohe Spannung, z. B. 30000 Volt, herabgesetzt wird, und die ihrerseits die Transformatorstationen in den Ortschaften speisen, in welchen die Gebrauchsspannung hergestellt wird. Als Beispiel ist in Abb. 187 der Kraftlauf eines Umspannwerkes mit zwei Speiseleitungen und drei abgehenden Leitungen dargestellt, und zwar ist sowohl für die Ober- als auch für die Unterspannung das Doppelsammelschienensystem angenommen (vgl. Abschn. 75).

Sollen mehrere Kraftwerke, deren Spannungen verschieden sind, miteinander gekuppelt werden, d. h. auf dasselbe Hochspannungsnetz arbeiten, so müssen die Spannungen in den für das Zusammenarbeiten in Betracht kommenden Netzteilen auf den gleichen Wert gebracht werden. Die diesem Zwecke dienenden Transformatoren können in besonderen Unterstationen aufgestellt werden.

Im folgenden sollen Schaltpläne für eine Anzahl typischer Fälle von Drehstrom-Transformatorstationen wiedergegeben werden. Die Schaltung von Einphasenanlagen ergibt sich daraus in sinngemäßer Vereinfachung.

94. Transformatorstation einfachster Art.

Die an das Kabelnetz eines Großstadtgebietes angeschlossenen Transformatoren gelangen häufig in eisernen Säulen zur Aufstellung, die an zahlreichen Punkten der Stadt errichtet werden. Derartige Stationen sind, abgesehen von gelegentlichen Revisionen, völlig ohne Aufsicht und müssen daher bei hoher Betriebssicherheit größtmögliche Einfachheit aufweisen.

Das Schaltbild solcher Transformatorstellen, wie sie im Bereich eines Elektrizitätswerkes für Leistungen bis etwa 70 kVA zu finden sind, ist in Abb. 188 wiedergegeben. Die Hochspannung beträgt 3000 Volt, die Niederspannung 125 Volt. An den Hochspannungsschienen sind außer dem vom Kraftwerk kommenden Speisekabel noch

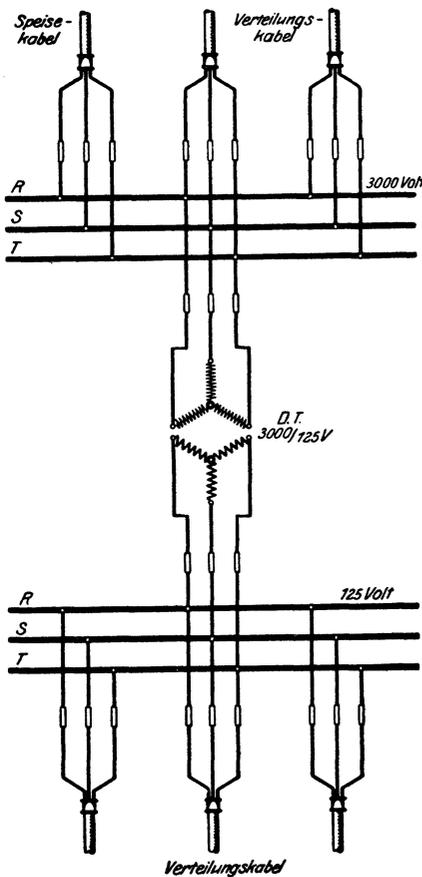


Abb. 188. Transformatorstation einfachster Art.

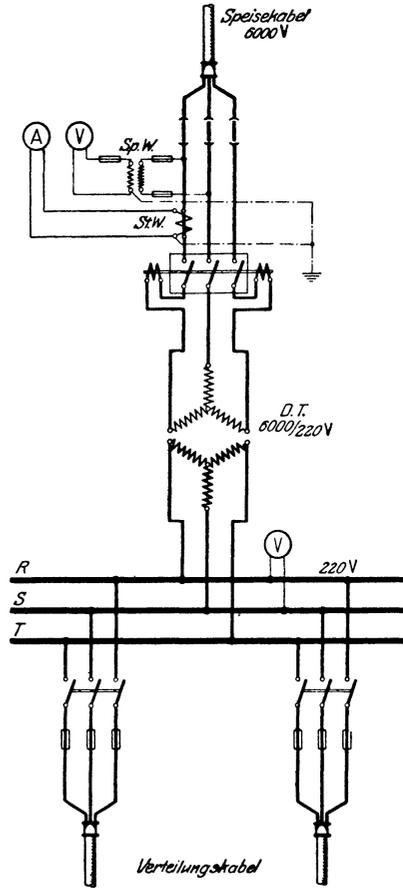


Abb. 189. Station mit Einzeltransformator.

zwei Verteilungskabel angeschlossen, die nach anderen Transformatorstationen führen. Der Kraftlauf entspricht also der Abb. 185. Der Forderung nach Einfachheit wird namentlich dadurch Rechnung getragen, daß Schalter gänzlich vermieden sind. Der Überstromschutz, auch auf der Hochspannungsseite, wird durch Schmelzsicherungen erzielt, was bei der verhältnismäßig geringen Leistung und Spannung ohne Bedenken ist.

95. Station mit Einzeltransformator.

Den Schaltplan einer an ein Kabelnetz angeschlossenen Transformatorstation, etwa für eine Fabrik oder ein größeres Geschäftshaus,

zeigt Abb. 189. Die allgemeine Anordnung entspricht dem Kraftlauf Abb. 184. Die Hochspannung von 6000 Volt wird mittels des Speisekabels zugeführt und gelangt über Trennschalter und den dreipoligen Leistungsschalter an die Primärklemmen des Drehstromtransformators *D.T.* Der Schalter ist mit primärer unmittelbar wirkender Überstromauslösung ausgestattet, die jedoch nur für zwei Pole vorgesehen ist. Zur Feststellung der elektrischen Verhältnisse dient der über einen Spannungswandler angeschlossene Spannungsmesser für die Primärspannung und der über einen Stromwandler in einen Pol des Zuführungskabels gelegte Strommesser.

Die Wicklungen des Transformators sind primär und sekundär in Stern geschaltet. Die Sekundärspannung beträgt 220 Volt. Sie kann an einem an zwei der Verteilungsschienen *R, S, T* angeschlossenen Spannungsmesser nachgeprüft werden. Der zur Feststellung der Belastung des Transformators hochspannungsseitig angeschlossene Strommesser kann je nach den Umständen auch durch einen solchen auf der Niederspannungsseite ersetzt werden, wodurch der Stromwandler erspart wird.

Durch eine Anzahl Verteilungskabel wird die elektrische Energie dem Niederspannungsnetz zugeführt.

96. Station mit parallel geschalteten Transformatoren.

In Abb. 190 ist der Plan einer Transformatorenstation mit zwei parallel geschalteten Drehstromtransformatoren zur Darstellung gebracht, dem der Kraftlauf Abb. 186 zugrunde liegt. Es ist angenommen, daß die Station an das Netz einer Überlandzentrale angeschlossen ist. Die Speiseleitung ist demgemäß als Freileitung ausgeführt. Die Primärspannung betrage 15 000 Volt.

Die Speiseleitung führt über Trenn- und Leistungsschalter zu den Hochspannungsschienen und enthält an Meßgeräten lediglich einen Zähler. Derselbe ist nach der Zweiwattmetermethode angeschlossen, zeigt also auch bei ungleicher Belastung der Phasen die an die Transformatorenstation gelieferte Arbeit richtig an. Zum Schutz gegen Überspannungen sind mit der Freileitung unmittelbar nach ihrem Eintritt in die Transformatorenstation drei gegen Erde geschaltete Überspannungsableiter (z. B. SAW-Ableiter) verbunden.

Die Transformatoren sind an die Hochspannungsschienen, wiederum über Trenn- und Leistungsschalter, angeschlossen. Letztere besitzen, wie auch der Schalter in der Speiseleitung, eine primäre unmittelbar wirkende Überstromauslösung. Die Verbindung der Transformatoren mit den Verteilungsschienen für die Niederspannung erfolgt über dreipolige Handschalter und Schmelzsicherungen. Die Verteilung der Belastung auf die beiden Transformatoren kann an den Strommessern niederspannungsseitig geprüft werden.

Das Niederspannungsnetz ist mit (geerdetem) Nulleiter durchgeführt. Die verkettete Spannung — für den Anschluß von Motoren —

beträgt 380 Volt, die Spannung zwischen Haupt- und Nulleiter — für den Anschluß der Beleuchtung — 220 Volt. Einige Anschlußleitungen für Kraft und Licht sind im Schaltbild angegeben.

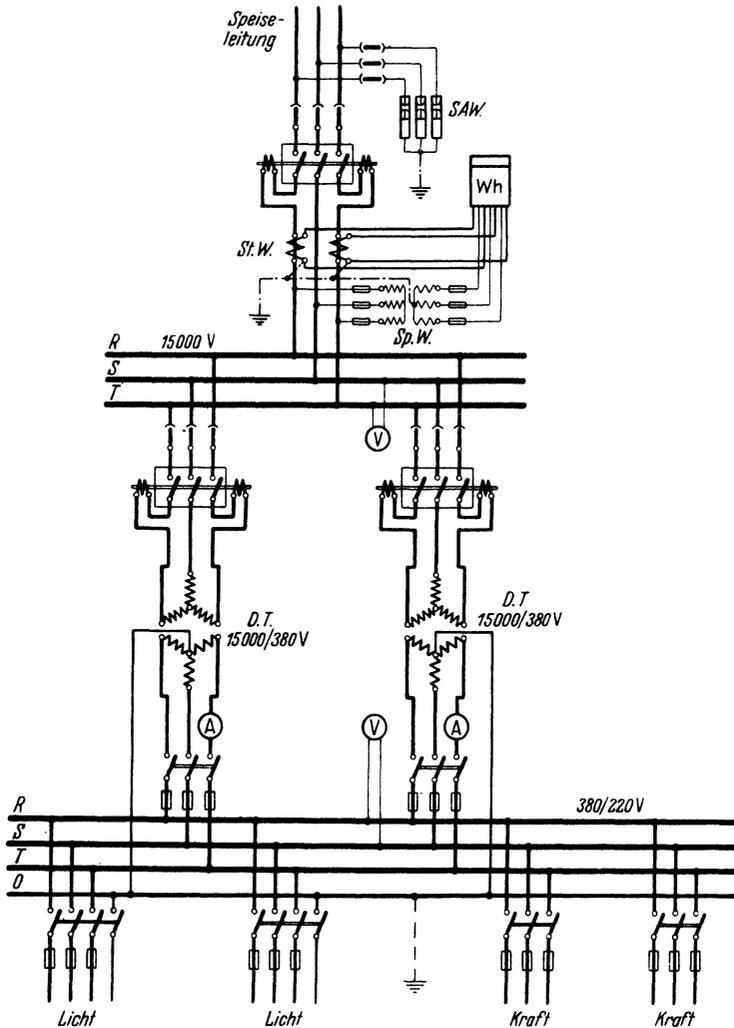


Abb. 190. Station mit parallelgeschalteten Transformatoren.

97. Fahrbare Netztransformatorenstation.

Für vorübergehende Anschlüsse oder für Aushilfszwecke können sich transportable Netztransformatoren als recht nützlich erweisen. In Abb. 191 ist das Schaltbild einer fahrbaren Transformatorenstation dargestellt, wie sie in einem Elektrizitätswerk ausgebildet ist¹. Die Zahl der eingebauten Apparate ist möglichst beschränkt, ohne jedoch die

¹ Lütze, Eine fahrbare Netztransformatorenstation. ETZ 1930, 1104.

wirkt auf den Schalter noch eine Spannungsspule ein, die ihn auslöst, wenn der für die Transformatoren vorgesehene Buchholzschutz in Wirksamkeit tritt. Der für die Buchholzrelais *B. R.* erforderliche Hilfsstrom wird unmittelbar dem Niederspannungsnetz entnommen.

Jeder der beiden Transformatoren, die einzeln oder parallel arbeiten können, steht lediglich über Trennschalter mit den Hochspannungsschienen in Verbindung. An die Niederspannungsschienen ist er über einen Handschalter und Schmelzsicherungen (Griffsicherungen) angeschlossen. Eine Nullschiene ist vorgesehen. Die Spannung auf der Sekundärseite kann, ohne den Transformator zu öffnen, auf 400/231 bzw. 231/133 Volt, entsprechend den Gebrauchsspannungen von 380/220 bzw. 220/125 Volt eingestellt werden, um den verschiedensten Netzverhältnissen Rechnung zu tragen. Sie kann an dem Netztvoltmeter gemessen werden. Die Belastung der Transformatoren läßt sich durch je einen auf der Niederspannungsseite eingebauten Strommesser feststellen. Die Hilfsspannung für die Buchholzrelais, ebenso die für die Beleuchtung und für die Belüftung des Wagens notwendige Spannung kann mittels eines einpoligen Umschalters *U* bei jeder gewählten Netzspannung auf 220 Volt eingestellt werden.

98. Umspannwerk.

Als Beispiel einer größeren Transformatorenanlage ist, in Anlehnung an eine Ausführung der AEG, in Abb. 192 die Schaltung eines Umspannwerkes wiedergegeben, in dem Drehstrom von 25000 Volt Spannung auf 6000 Volt herabgesetzt wird.

Den 25000 Volt-Schienen wird die elektrische Energie vom entfernten Kraftwerk durch eine Freileitung über einen Hochspannungsschalter zugeführt. Der mit dem Schalter verbundene Überstromschutz wird, wie auch bei den übrigen Schaltern der Station — im vorliegenden Falle sind durchweg Druckgasschalter zur Anwendung gekommen —, durch sekundär angeschlossene Relais (Überstromzeitrelais) bewirkt. Der Hilfsstrom für dieselben wird einer kleinen, aus Primärelementen gebildeten Batterie von ungefähr 20 Volt Spannung entnommen, wie sie z. B. unter dem Namen Mammutelemente von der Firma Mix & Genest, Berlin, hergestellt werden. Zur Feststellung der Strombelastung ist in die Speiseleitung ein Strommesser eingebaut. Ein Teil der zugeführten Energie wird durch eine weitere Fernleitung, die in gleicher Weise wie die Speiseleitung mit Apparaten ausgestattet ist, nach einem anderen Versorgungsgebiet weitergeleitet.

Die Herabsetzung der Spannung auf den Betrag von 6000 Volt geschieht durch zwei parallel geschaltete Transformatoren. Die auf ihrer Primärseite liegenden Schalter sind mit denen auf der Sekundärseite elektrisch gekuppelt, indem durch eine Kontaktvorrichtung bei einer Auslösung des primären auch eine Auslösung des zum gleichen Transformator gehörenden sekundären Schalters bewirkt wird (s. auch Abschn. 85).

Von den 6000 Volt-Sammelschienen gehen zwei Freileitungen ab. Die in sie ausgebauten Apparate entsprechen völlig denen in den 25000 Volt-Leitungen.

An den Sammelschienen beider Spannungen liegen, um elektro-
statische Überspannungen zu beseitigen, Erdungsdrosselspulen *E.D.*
Sie bilden gleichzeitig die primäre Wicklung von Wandlern, an die

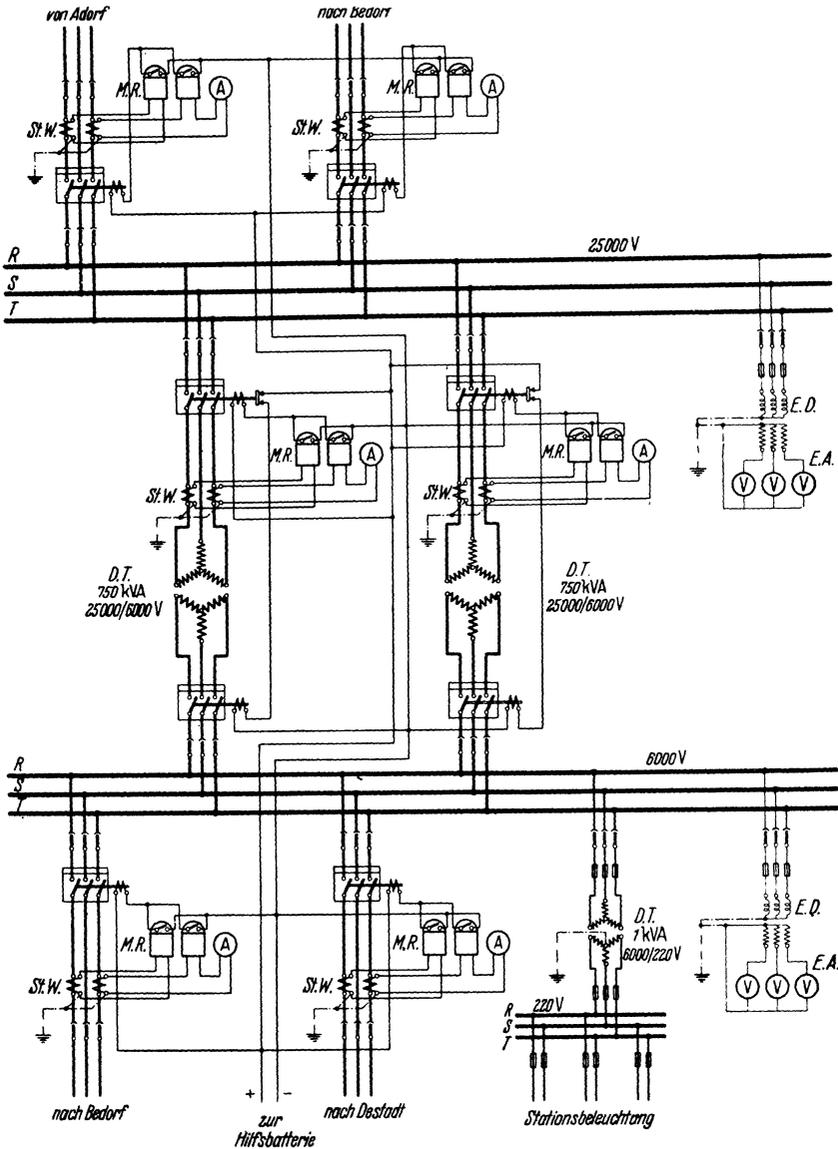


Abb. 192. Umspannwerk.

sekundär die als Erdschlußanzeiger *E. A.* dienenden Spannungsmesser angeschlossen sind. Wenn die Umstände es erfordern, können als weiterer Überspannungsschutz mit den Freileitungen noch Ventilableiter, z. B. SAW-Ableiter, verbunden werden.

Ein an die 6000 Volt-Sammelschienen angeschlossener kleiner Stationstransformator, der auf 220 Volt transformiert, deckt den Eigenverbrauch der Station an elektrischem Strom für Beleuchtung usw.

99. Umspannwerk mit Reservegenerator und Umformer.

Der Schaltplan, Abb. 193, bezieht sich auf eine Umspannstation, in der jedoch auch für eine Eigenerzeugung des Stromes Vorsorge getroffen

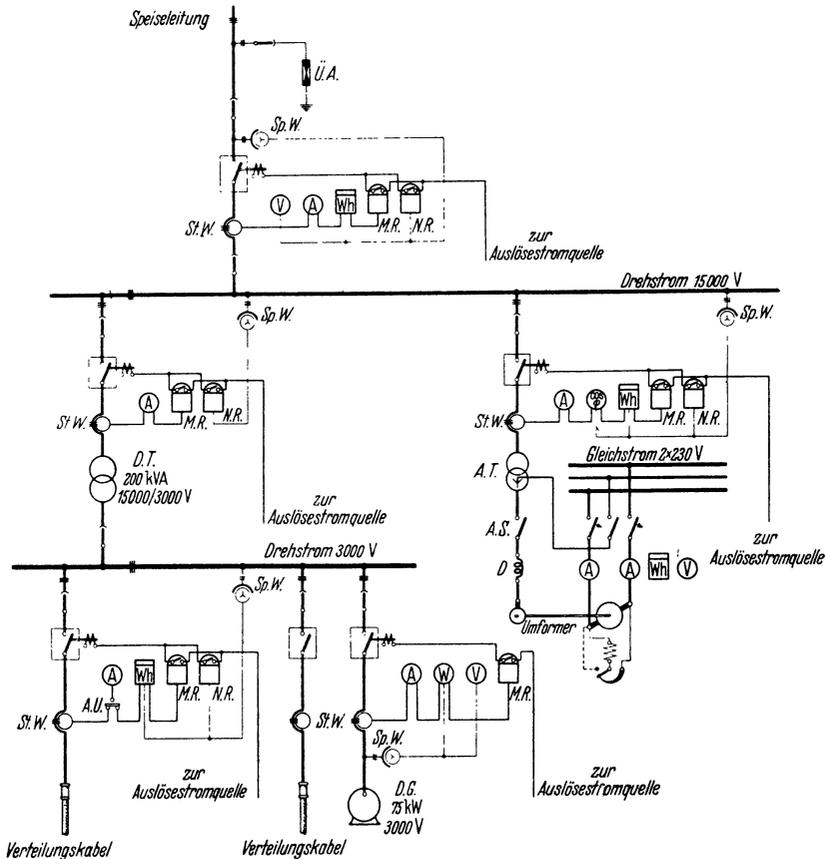


Abb. 193. Umspannwerk mit Generator und Umformer.

ist. Er ist einpolig gezeichnet, die Anzahl der Leitungen bzw. Apparate ist durch eine entsprechende Zahl kleiner Querstriche angedeutet. Der durch eine Freileitung zugeführte Drehstrom besitzt eine Spannung von 15000 Volt, die in einem Transformator auf 3000 Volt herabgesetzt wird. Für jede der beiden Spannungen ist ein Schienensystem vorhanden. Von den Unterspannungsschienen führt eine Anzahl Verteilungskabel in das Kraftnetz. Zur Reserve ist ein Drehstromgenerator für 3000 Volt Spannung aufgestellt, der aber nur dann auf die Schienen geschaltet

werden darf, wenn die Stromlieferung über den Transformator eingestellt ist. Falls auch ein Parallelbetrieb des Generators mit dem Transformator beabsichtigt wäre, müßte noch ein Synchronismusanzeiger eingebaut sein. An die Oberspannungsschienen ist ferner ein Einankerumformer angeschlossen, der Gleichstrom zum Betriebe eines Dreileiter-Lichtnetzes mit einer Spannung von 2×230 Volt liefert. Die Schaltung des Umformers ist in Abschn. 158 ausführlich erörtert.

Alle in der Anlage vorhandenen Leistungsschalter sind allpolig mit Überstrom- und, abgesehen vom Generatorschalter, außerdem mit Unterspannungsauslösung versehen, die durch sekundär angeschlossene und durch Gleichstrom betätigte Relais bewirkt wird. Die für die Relais notwendigen Strom- und Spannungswandler sind für den gleichzeitigen Anschluß der Meßgeräte ausgenutzt. In der Anlage, die dem vorliegenden Schaltplan zugrunde gelegt wurde, ist für jedes Verteilungskabel ein Amperemeterumschalter vorgesehen. Dadurch wird eine Ersparnis an Strommessern herbeigeführt, indem für jedes Kabel zur Feststellung der Stromstärke in den drei Leitungen nur ein Gerät erforderlich ist (vgl. Abschn. 21, letzter Absatz). In die zur Stromzuführung dienende Freileitung ist zum Schutz gegen Überspannungen ein Ventilableiter eingebaut. Die Verteilungskabel bedürfen keines derartigen Schutzes.

100. Schaltstation eines Drehstrom-Überlandwerkes.

Transformatorstationen sind im allgemeinen gleichzeitig Schaltstellen für die in Betracht kommenden Teile des Leitungsnetzes. Der Vollständigkeit wegen soll nachfolgend noch ein Beispiel für Schaltstationen gegeben werden, in denen Transformatoren nicht aufgestellt sind.

Abb. 194 stellt den Schaltplan eines im Bereich eines Überlandwerkes errichteten Hauptspeisepunktes dar. Die Station hat die Aufgabe, die dem betreffenden Versorgungsgebiet vom entfernten Kraftwerk zugeführte Hochspannungsenergie zu messen und nach den verschiedenen Ortschaften weiterzuleiten. Zuführungsleitung und Verteilungsleitungen sind als Freileitungen verlegt.

Die Zuleitung liefert den Drehstrom über einen Ölschalter an die Verteilungsschienen mit einer Spannung von 15000 Volt. Die Meßgeräte sind in bekannter Weise über Wandler angeschlossen. Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser sind registrierende Geräte (durch eckige Umrahmung gekennzeichnet!). Leistungsmesser und Zähler sind in Zweiwattmeterschaltung angeschlossen.

Die Ölschalter der Verteilungsleitungen sind, im Gegensatz zu dem Schalter in der Zuleitung, mit Überstromschutz — primäre unmittelbare Anlösung für alle Pole — versehen. An Meßgeräten besitzen die Verteilungsleitungen lediglich einen Strommesser in jedem Pol. Eine ohne Schalter und Meßgeräte ausgestattete Verteilungsleitung dient zum Anschluß einer Transformatorstation für das Ortsnetz.

Als Überspannungsschutz sind an die Zuleitung gegen Erde geschaltete Hörnerableiter mit vorgeschalteten Ölwidernständen *Ö.W.* gelegt. Außerdem sind zur Ableitung statischer Ladungen an die Sammelschienen Erdungsdrösselspulen angeschlossen, die gleichzeitig für die Erdschlußprüfung nutzbar gemacht sind.

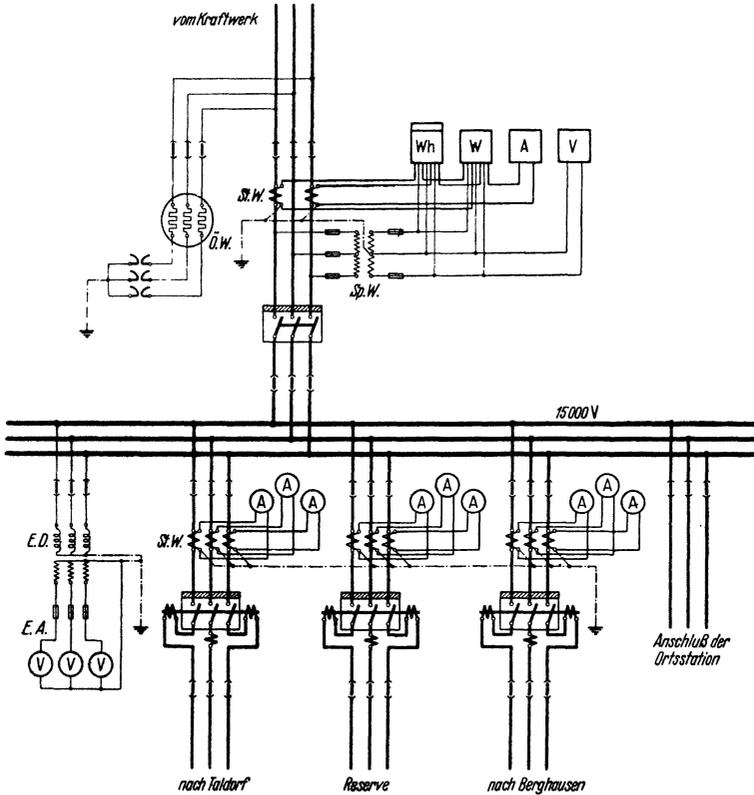


Abb. 194. Schaltstation eines Überlandwerkes.

C. Drehtransformatoren.

101. Der Drehtransformator als Spannungsregler.

Der Drehtransformator ist nach Art des Drehstrom-Induktionsmotors gebaut, vgl. Abschn. 107. Er besitzt wie dieser einen dreiphasig gewickelten Ständer, der einen Läufer umschließt; er unterscheidet sich von ihm aber dadurch, daß der Läufer nicht in Drehung kommt, sondern in beliebiger Lage festgestellt werden kann. Ständer- und Läuferwicklung entsprechen nun den beiden Wicklungen eines Transformators. In der Regel wird die Läuferwicklung als die primäre, die Ständerwicklung als die sekundäre Wicklung aufgefaßt, doch können die Rollen der beiden Wicklungen auch vertauscht sein. Wird die primäre Wicklung, auch Erregerwicklung genannt, an das Netz angeschlossen, so

wird in der sekundären Wicklung, die in der Folge als Zusatzwicklung bezeichnet werden soll, eine Spannung erzeugt, die dem Verhältnis der Windungszahlen beider Wicklungen entspricht, aber je nach der Einstellung des Läufers eine verschiedene Phasenabweichung zur primären Spannung zeigt. Dieser Umstand kann zur Spannungsregelung benutzt werden. In diesem Sinne wird der Transformator auch als Drehregler bezeichnet.

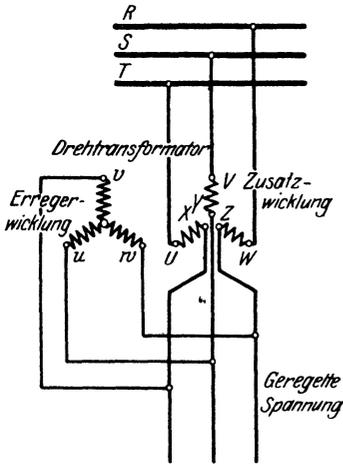


Abb. 195. Spannungsregelung durch Drehtransformator.

Abb. 195 zeigt die grundlegende Schaltung für das Verfahren. Es soll die Spannung der von R, S, T ausgehenden Netzleitung geregelt werden. Die Erregerwicklung $u v w$ des Drehtransformators ist an die Leitung angeschlossen. Die Zusatzwicklung besteht aus den Phasen $U X, V Y, W Z$. In jede der drei Drehstromleitungen ist eine Phase eingeschaltet. Es setzt sich daher die zu regelnde Netzspannung mit der Zusatzspannung des Drehtransformators zu einer resultierenden Spannung zusammen, die je nach der Einstellung des Läufers verschieden groß ist. Der höchste Wert ergibt sich als Summe von Netzspannung und Zusatzspannung, der kleinste Wert als deren Differenz. Innerhalb dieser

Grenzen kann demnach die Spannungsregelung vorgenommen werden.

In Abb. 196 ist die vorstehend erläuterte Schaltung einpolig durch das Schaltzeichen des VDE vereinfacht dargestellt. Der Pfeil durch die den Drehtransformator darstellenden Kreise deutet die Regelbarkeit an.

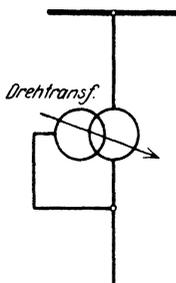


Abb. 196. Drehtransformator: Schaltzeichen.

Drehtransformatoren werden besonders häufig zur Spannungsregelung von Einankerumformern (s. Abschnitt 156b) benutzt.

102. Spannungsregelung einer Drehstrom-Hochspannungsleitung.

In Abb. 197 ist eine Hochspannungsleitung R, S, T dargestellt, deren Spannung ebenfalls durch einen Drehtransformator beeinflusst werden kann. Die Schaltung entspricht grundsätzlich derjenigen von Abb. 195, doch sind außer den üblichen für Hochspannung in Betracht kommenden Apparaten — Schalter mit Überstromauslösung und Trennschalter — noch einige Schutzeinrichtungen nach Patenten der SSW vorgesehen, die einen störungsfreien Betrieb gewährleisten sollen. So sind jeder Phase der in die Hochspannungsleitung eingefügten Zusatzwicklung des Drehtransformators Kondensatoren C parallel geschaltet, die die Wicklungen gegen in der Leitung etwa auftretende Überspannungen schützen sollen. Durch einen vor die Erreger-

wicklung des Drehtransformators gelegten Anlaßschalters *A.S.* und eine die Zusatzwicklung überbrückende Umgehungsleitung mit Trennschaltern ist dafür gesorgt, daß der Drehtransformator jederzeit ohne Betriebsunterbrechung zu- und abgeschaltet werden kann. Um die Erregerwicklung vor Überspannungen zu bewahren, die beim Öffnen des Schalters an ihr auftreten können, ist dieser mit Schutzwiderständen und Kurzschlußkontakten versehen.

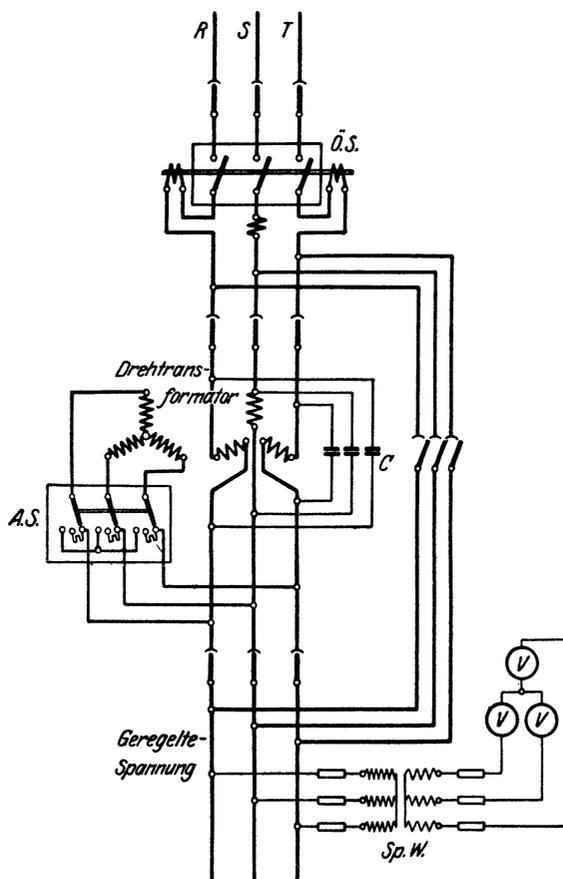


Abb. 197. Spannungsregelung einer Hochspannungsleitung durch Drehtransformator.

Die durch einen Drehtransformator geregelte Spannung unterscheidet sich von der unregulierten Spannung übrigens nicht nur ihrer Größe nach, sondern es tritt auch eine geringe Phasenabweichung ein, die sich aber durch Anwendung eines „Doppeldrehtransformators“ vermeiden läßt¹. Überhaupt sind noch mancherlei Sonderschaltungen für Drehtransformatoren möglich, auf die jedoch hier nicht näher eingegangen werden kann.

¹ Liwshitz und Zehring, Größere Drehtransformatoren, SZ 1929, 521.

VIII. Wechselstrommotoren.

A. Synchronmotoren.

103. Schaltung und Eigenschaften der Motoren.

Jeder Wechselstromgenerator läßt sich im allgemeinen auch als Motor betreiben. Die Wicklung des Ständers wird vom Wechselstromnetz gespeist, die drehbar angeordneten Magnete, die den Läufer bilden, werden jedoch mit Gleichstrom erregt. Abb. 198 zeigt das Schaltbild eines synchronen Drehstrommotors (vgl. Abb. 141 und 142). Für die Erregung stehe eine Akkumulatorenbatterie zur Verfügung. Doch kann auch eine eigene Erregermaschine vorhanden sein.

Während des Betriebes läuft der Motor synchron, d. h. seine Drehzahl ist die gleiche wie die, mit welcher die Maschine als Generator bei derselben Frequenz betrieben werden müßte, und sie ist völlig unabhängig von der Belastung. Bei richtiger Erregung stellt der Synchronmotor eine induktionsfreie Belastung des Netzes dar, es tritt also keine Phasenverschiebung zwischen der Spannung und dem vom Motor aufgenommenen Strom ein. Bei Untererregung bleibt dagegen der Strom gegen die Spannung zurück, bei Übererregung eilt er der Spannung voraus. Durch Übererregen angeschlossener Synchronmotoren kann daher die im Netz meist vorhandene Phasenverzögerung des Stromes mehr oder weniger aufgehoben, der Leistungsfaktor also verbessert werden.

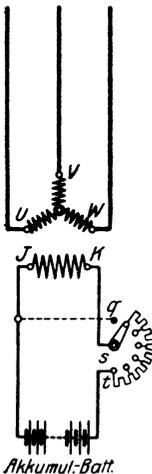


Abb. 198.
Synchroner Dreh-
strommotor.

Häufig werden Synchronmotoren aufgestellt, lediglich um eine Phasenverbesserung des Netzes oder eines Netztes zu erzielen. Leerlaufende Motoren werden so weit übererregt, daß sie den im Netz benötigten Blindstrom oder wenigstens einen Teil desselben decken: synchrone Blindleistungsmaschinen.

Gewisse Schwierigkeiten bietet das Anlassen der Synchronmotoren. Die verschiedenen Anlaßverfahren werden nachstehend kurz erörtert.

104. Anlassen mittels Anwurfmotors.

Synchronmotoren, einerlei ob sie mit Einphasen- oder Mehrphasenstrom betrieben werden, laufen im allgemeinen nicht von selbst an, sie müssen vielmehr, ehe sie an das Netz gelegt werden, erst auf die synchrone Drehzahl gebracht werden. Das Anlassen von Synchronmotoren kann daher in der gleichen Weise erfolgen, wie Wechselstromgeneratoren zu bereits im Betriebe befindlichen Maschinen parallel geschaltet werden. Als Anwurfmotor kann entweder ein mit dem Synchronmotor gekuppelter Gleichstrom-Nebenschlußmotor oder ein Drehstrom-Induktionsmotor benutzt werden. Durch Anwendung eines Drehzahlreglers

muß die Möglichkeit gegeben sein, die synchrone Drehzahl einzuregulieren. Um den Augenblick für das Einschalten des Motors herauszufinden, ist ein Synchronismusanzeiger einzubauen.

Das allgemeine Schaltbild eines Drehstrom-Synchronmotors, der durch einen Gleichstrommotor angeworfen wird, zeigt Abb. 199. Alles Unwesentliche ist in der Abbildung fortgelassen. Der Anwurfmotor wird mit dem Anlasser in Gang

gesetzt, der Drehstrommotor *D.M.* mit dem Magnetregler *M.R.* auf die Netzspannung erregt und die Drehzahl mittels des Nebenschlußreglers *N.R.* so lange verändert, bis die Phasenlampen *P.L.* den Synchronismus anzeigen. Phasenlampen sind für alle drei Motorleitungen vorgesehen, um an dem gleichzeitigen Aufleuchten der Lampen erkennen zu können, daß die Reihenfolge der Phasen des Motors mit der Phasenfolge des Netzes übereinstimmt (vgl. Abschn. 74b). Sobald Synchronismus eingetreten ist, wird der Synchronmotor an das Drehstromnetz angeschlossen, während der Gleichstrommotor von seinem Netz abgetrennt wird. Der Drehstrommotor kann nunmehr belastet werden.

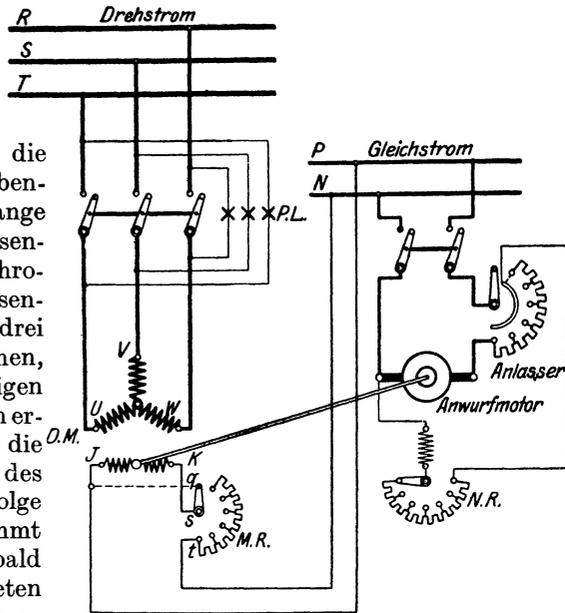


Abb. 199. Drehstrom-Synchronmotor mit Gleichstrom-Anwurfmotor.

105. Drehstromseitiges Anlassen des Synchronmotors.

Häufig wird bei Drehstrom-Synchronmotoren ein vereinfachtes Anlaßverfahren angewendet, indem sie unmittelbar vom Drehstromnetz aus in Gang gesetzt werden. Um den Anlauf zu ermöglichen, wird in die Polschuhe der Maschine eine in sich kurzgeschlossene Hilfswicklung gelegt, die als „Dämpferwicklung“ bezeichnet wird, da sie gleichzeitig die Aufgabe hat, zur Beruhigung des Ganges der Maschine, z. B. bei Belastungsschwankungen, beizutragen. Das Anlassen des Motors ist auf diese Weise jedoch nur bei Leerlauf oder geringer Belastung möglich. Auch ist, um einen größeren Stromstoß zu vermeiden, ein Anlaßtransformator erforderlich, der gegebenenfalls in Sparschaltung ausgeführt sein kann. Bei dem geschilderten Anlaßverfahren werden, solange der Synchronismus noch nicht erreicht ist, in der Magnetwicklung hohe Spannungen induziert. Um die damit

verbundene Gefahr abzuwenden, ist sie während des Anlassens zu unterteilen oder kurzzuschließen.

Die grundlegende Schaltung für einen von der Wechselstromseite aus anzulassenden Synchronmotor ist in Abb. 200 angegeben. Die Dämpferwicklung ist, da sie auf die Schaltung ohne Einfluß ist, fortgelassen. Ein Synchronismusanzeiger ist nicht erforderlich. Beim Anlassen wird dem Motor zunächst nur ein Teil der Netzspannung zugeführt, indem der Anlaßschalter *A.S.* in die Mittelstellung gebracht

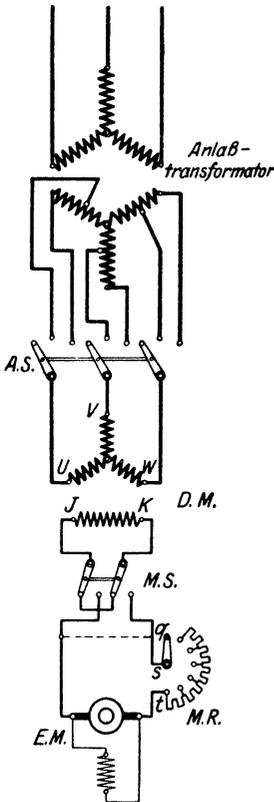


Abb. 200. Drehstrom-Synchronmotor mit Anlaßtransformator.

wird. Hierbei ist die Magnetwicklung über den Magnetschalter *M.S.* zunächst noch kurz geschlossen. Der Motor läuft alsdann wie ein asynchroner Induktionsmotor an, da die Dämpferwicklung wie die Wicklung eines Kurzschlußläufers (vgl. Abschn. 108) wirkt. Ist die synchrone Drehzahl nahezu erreicht, so schnappt der Motor infolge der in ihm wirksamen synchronisierenden Kraft (vgl. Abschnitt 74a, erster Absatz), spätestens nachdem er durch Anschließen der Magnetwicklung an die Erregermaschine erregt wird (*M.S.* nach rechts), in den Synchronismus hinein. Nunmehr wird der Motor sofort auf die volle Betriebsspannung geschaltet (*A.S.* nach rechts), und er kann jetzt beliebig belastet werden.

106. Drehstrom-Synchronmotoren mit Anlaufwicklung.

Namentlich die angenehme Eigenschaft der Synchronmotoren, daß sie ohne Phasenverschiebung, also mit dem Leistungsfaktor 1 betrieben werden können, läßt ihre Verwendung vorteilhaft erscheinen. Es hat daher nicht an Bestrebungen gefehlt, Synchronmotoren zu bauen, die auch mit voller Last anlaufen können. Zur Erreichung dieses Zweckes haben z. B. die SSW bei ihren selbstanlaufenden Drehstrom-Synchronmotoren die in den Polschuhen untergebrachte Dämpferwicklung zu einer regelrechten Anlaufwicklung ausgebildet, die wie die

¹ Bichteler, Ein neuer Synchronmotor für Anlauf mit großem Moment. SZ 1922, 133.

Motor die synchrone Drehzahl annimmt und mit dieser bei allen Belastungen weiterläuft. Im Betriebe wirkt die kurzgeschlossene Anlaufwicklung als Dämpferwicklung. Wie das Schaltbild, das für die Kurzschlußstellung des Anlaßwiderstandes gezeichnet ist, erkennen läßt, ist parallel zur Gleichstrom-Erregerwicklung noch ein Widerstand W gelegt. Er soll ein Durchschlagen der Wicklung infolge der beim Anlassen in ihr auftretenden hohen Spannung verhüten. Der weiter angegebene Justierwiderstand $J.W.$ dient zur richtigen Einstellung des Erregerstromes, die bei der erstmaligen Inbetriebsetzung des Motors vorzunehmen ist. Ein Magnetregler ist nicht erforderlich.

Im Schaltbild ist als Gleichstromquelle für die Erregung eine kleine Nebenschlußmaschine, die Erregermaschine $E.M.$, angenommen. Für die Zuführung des Erregerstromes sind selbstverständlich zwei Schleifringe erforderlich, so daß der Motor im ganzen fünf Schleifringe besitzt. Zweckmäßigerweise wird die Erregermaschine mit dem Motor unmittelbar gekuppelt.

Die Bedienung des Motors beim Ingangsetzen besteht, wie zum Schluß noch festgestellt werden mag, lediglich darin, daß, nachdem durch den Hauptschalter die Verbindung mit dem Netz hergestellt ist, der Anlasser in die Kurzschlußstellung geführt wird.

In ähnlicher Weise, wie vorstehend erörtert, geht die AEG bei ihrem selbstanlaufenden Synchronmotor vor. Sie legt, von einigen konstruktiven Änderungen im Aufbau der Maschine abgesehen, in die Polschuhe eine zweiphasige Wicklung. Während die eine Phase dauernd kurzgeschlossen ist, wird die andere über zwei Schleifringe zu einem Anlaßwiderstand geführt. Erst nachdem dieser kurzgeschlossen ist, wird die Gleichstromerregung eingeschaltet.

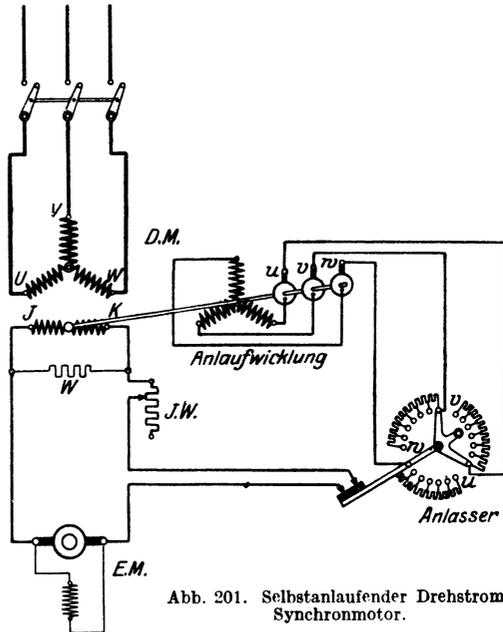


Abb. 201. Selbstanlaufender Drehstrom-Synchronmotor.

B. Induktionsmotoren. (Asynchronmotoren.)

107. Allgemeines.

Auch beim Induktionsmotor wird der Netzstrom lediglich der Wicklung des Ständers zugeführt. In der Wicklung des Läufers

wird der zur Erzeugung des Drehmomentes erforderliche Strom dagegen durch Induktion hervorgerufen. Der Motor kann in mancher Hinsicht mit einem Transformator verglichen werden, dessen primäre Wicklung auf dem Ständer, dessen sekundäre Wicklung auf dem Läufer untergebracht ist.

Die Drehzahl der Induktionsmotoren nimmt mit zunehmender Belastung ein wenig ab, sie laufen also nicht synchron und werden daher auch Asynchronmotoren genannt. Sie finden namentlich für den Betrieb mit Drehstrom ausgedehnteste Verwendung.

108. Der Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer.

Der nach Schaltung und Aufbau einfachste Induktionsmotor besitzt einen Kurzschlußläufer, d. h. einen Läufer, dessen Wicklung

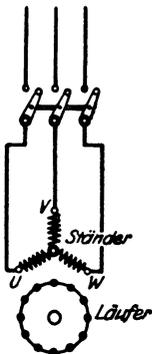


Abb. 202. Drehstrommotor mit Käfigläufer.

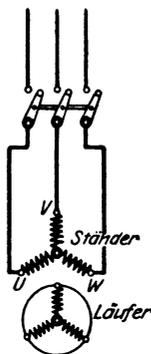


Abb. 203. Drehstrommotor mit Phasenläufer.

in sich kurzgeschlossen ist. Die dreiphasige, in Stern oder Dreieck verkettete Wicklung des Ständers mit den Klemmen U , V , W wird über einen dreipoligen Schalter unmittelbar an das Netz angeschlossen. Die Wicklung des Läufers kann als Käfigwicklung ausgeführt sein: eine Anzahl am Umfange des Läufers untergebrachte Drähte ist auf beiden Stirnseiten durch Kupfer- oder Aluminiumringe miteinander verbunden, Abb. 202. Oder der

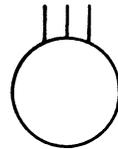


Abb. 204. Schaltkurzzeichen des Drehstrommotors mit Kurzschlußläufer.

Läufer erhält eine Phasenwicklung, Abb. 203. Das Schaltkurzzeichen für den Kurzschlußläufermotor zeigt Abb. 204.

Im Augenblicke des Anlassens entnehmen die Motoren mit Kurzschlußläufer dem Netz einen großen Strom; seine Stärke beträgt das etwa Fünf- bis Achtfache der normalen Betriebsstromstärke. Sie wurden daher früher namentlich für kleinere Leistungen angewendet, werden jedoch heute vielfach auch für größere Leistungen gebraucht, da man durch neuere Bauweisen des Motors (Motor mit Wirbelstromläufer, Doppelnutmotor usw.) eine erhebliche Herabsetzung des Anlaufstroms erreicht hat, doch beträgt er immerhin noch ein mehrfaches des normalen Stromes.

109. Der Kurzschlußläufermotor mit umschaltbaren Sicherungen.

Damit beim Anlassen eines Drehstrommotors mit Kurzschlußläufer die ihm vorgeschalteten Schmelzsicherungen infolge des großen Stromstoßes nicht ansprechen, muß er im allgemeinen stärker gesichert werden, als dem Betriebsstrom entspricht. Das bedeutet aber, daß die Sicherungen für den normalen Betrieb des Motors nicht richtig bemessen sind. Um diesen Übelstand zu beheben, werden zuweilen zwei Sätze von

Sicherungen angewendet, von denen einer für den Anlaufstrom, der andere für den Betriebsstrom ausgewählt ist. Das Anlassen des Motors wird nun, gemäß Abb. 205, mit einem dreipoligen Umschalter U vorgenommen derart, daß zunächst die Sicherungen für die größere Stromstärke dem Motor vorgeschaltet werden, dann aber, nachdem der Anlaufstromstoß abgeklungen ist, für die normale Betriebsstromstärke gesichert wird. Als Umschalter ist möglichst ein solcher ohne Stromunterbrechung zu verwenden.

Die seit einiger Zeit aufgekommenen verzögert wirkenden Sicherungen verschiedener Firmen sprechen auf den kurzzeitigen Anlaufstrom des Motors nicht an. Bei ihrer Anwendung ist also eine doppelte Absicherung nicht erforderlich.

110. Der Kurzschlußläufermotor mit Steuerschalter.

Um die Drehrichtung eines Induktionsmotors umzukehren, sind lediglich zwei der drei Zuführungsleitungen hinsichtlich ihres Anschlusses an die Klemmen des Motors zu vertauschen. Abb. 206 zeigt einen Kurzschlußläufermotor in Verbindung mit einem dreipoligen Umschalter U , durch welchen die Umsteuerung vorgenommen werden kann. Je nach der Stellung des Schalters werden die Klemmen V und W mit verschiedenen Netzleitungen in Verbindung gebracht, während die Klemme

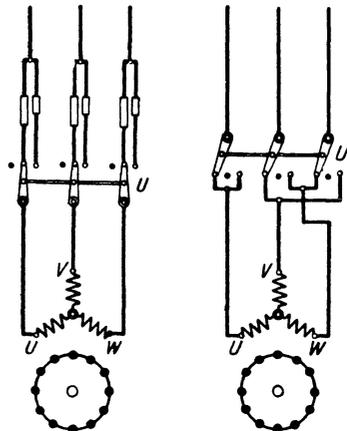


Abb. 205. Drehstrommotor mit umschaltbaren Sicherungen.

Abb. 206. Drehstrommotor mit Steuerschalter.

U stets an der gleichen Netzleitung angeschlossen bleibt. Eine Änderung der Drehrichtung darf nur bei stillstehendem Motor vorgenommen werden, da andernfalls ein unzulässig hoher Stromstoß auftritt.

111. Der Kurzschlußläufermotor mit Anlasser.

Um den Stromstoß beim Anlauf des Motors herabzusetzen, können vor die einzelnen Phasen des Ständers Anlaufwiderstände gelegt werden. Die Anzugskraft des Motors geht bei diesem Verfahren allerdings erheblich herunter, daher wird es nur für solche Maschinen benutzt, bei denen eine hohe Anzugskraft nicht erforderlich ist, z. B. für Motoren zum Antrieb von Ventilatoren und Zentrifugalpumpen.

Das Schaltbild eines Drehstrommotors mit Ständeranlasser zeigt Abb. 207. Der dreiteilig ausgeführte Anlasser ist vor den Ständer gelegt. Die Zuführungsleitungen werden an die Klemmen R, S, T des Anlassers angeschlossen, die Verbindung des letzteren mit dem Motor wird über die Klemmen U, V, W hergestellt.

Abb. 208 zeigt eine andere Schaltung des Anlassers. Hier ist er hinter den Ständer gelegt. Die Enden X, Y, Z der in offenen Stern

geschalteten Ständerwicklungen werden mit den gleichlautenden Klemmen des Anlassers verbunden, dessen drei Kontaktfedern miteinander in leitender Verbindung stehen und somit den Sternpunkt der Wicklung herstellen.

Die Verbindung des Motors mit dem Netz wird in jedem Falle durch einen dreipoligen Schalter bewirkt.

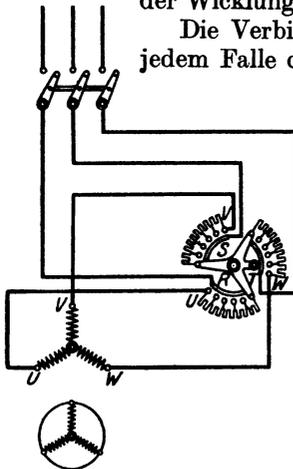


Abb. 207. Drehstrommotor mit Anlasser vor dem Ständer.

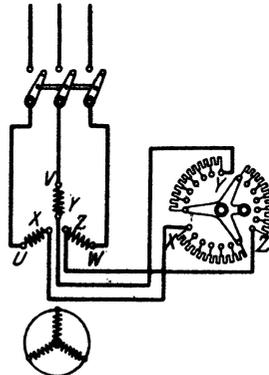


Abb. 208. Drehstrommotor mit Anlasser hinter dem Ständer.

112. Der Kurzschlußläufermotor mit Anlaßtransformator.

Anstatt die dem Motor zugeführte Spannung durch Anlaßwiderstände herabzusetzen, kann man zur Erzielung eines kleinen Anlaßstromes auch einen Anlaßtransformator anwenden, mit dessen Hilfe dem Motor zunächst nur eine Teilspannung zugeführt wird, während er auf die volle Netzspannung erst geschaltet wird, nachdem er in Gang gekommen ist.

In Abb. 209 ist der Anlaßtransformator in Sparschaltung ausgeführt. Am sechspoligen Umschalter *U* sind folgende Schaltstellungen vorhanden: Ausschaltstellung (links), Anlaßstellung (Mitte), Betriebsstellung (rechts). Das Anlassen des Motors erfolgt einfach dadurch, daß der Schalter von links nach rechts herübergeführt wird.

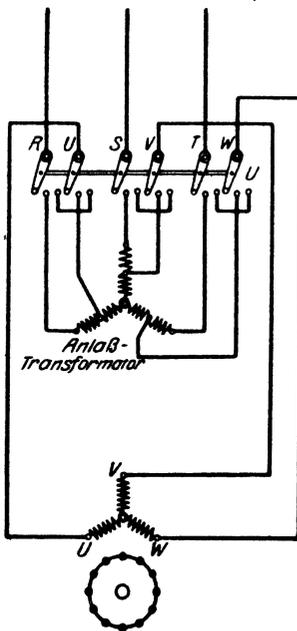


Abb. 209. Drehstrommotor mit Anlaßtransformator.

113. Der Kurzschlußläufermotor mit Stern-Dreieckschaltung.

Der beim Anlassen eines Drehstrommotors mit Kurzschlußläufer auftretende Stromstoß kann bei betriebsmäßig in Dreieck geschalteten Motoren auch dadurch herabgesetzt werden, daß die Wicklungen

des Ständers zunächst in Stern verbunden, dann aber, sobald der Motor angelaufen ist, auf Dreieck umgeschaltet werden.

Das Schaltbild eines Motors in Verbindung mit einem Stern-Dreieckschalter zeigt Abb. 210. Der Umschalter U ist beim Anlassen aus Stellung links (Sternschaltung) in Stellung rechts (Dreieckschaltung) zu bringen. Der dreipolige Netzschalter wird bei dieser Anordnung nicht entbehrlich.

Bei dem in Abb. 211 dargestellten Stern-Dreieck-Walzenschalter ist ein besonderer Netzschalter nicht erforderlich. Wie das Schaltbild zeigt, sind mit dem Schalter zwei Sätze von Kontaktfingern verbunden. Die Walze kann nun drei verschiedene Stellungen einnehmen: in Stellung 0 ist der Motor ausgeschaltet, in Stellung 1 wird die Verbindung des Ständers mit dem Netz hergestellt, wobei die Wicklungen in Stern verkettet sind, in Stellung 2 , der Betriebsstellung, wird die Umschaltung zum Dreieck vorgenommen.

Bei der Stern-Dreieckschaltung treten statt des einen großen Stromstoßes beim Anlauf des Motors zwei kleinere Stromstöße auf, der eine beim Anschließen des zunächst in Stern geschalteten Motors an das Netz, der andere beim Umschalten auf Dreieck. Der letztere Stromstoß ist erfahrungsgemäß der größere. Um ihn zu beschränken, hat Natalis eine Schutzschaltung angegeben, die von den SSW ausgeführt wird. Bei Anwendung des Stern-Dreieck-Schutzschalters wird, wie Abb. 212 erkennen läßt, jeder Phase des Motors, nachdem dieser, Stellung 1 der Schaltwalze, in Sternschaltung angelassen ist, zunächst ein Widerstand W parallel gelegt, Stellung 2 . Sodann wird in Stellung 3 der Sternpunkt aufgelöst, und es entsteht Dreiecksverkettung, jedoch so, daß in jeder Phase noch einer der Schutzwiderstände enthalten ist, der Stromstoß also entsprechend abgeschwächt wird. Schließlich werden, Stellung 4 , auch diese Widerstände kurzgeschlossen, womit die normale Betriebschaltung des Motors erreicht ist.

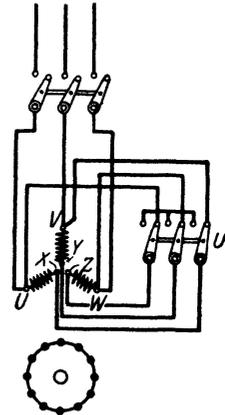


Abb. 210. Drehstrommotor mit Stern-Dreieckschalter.

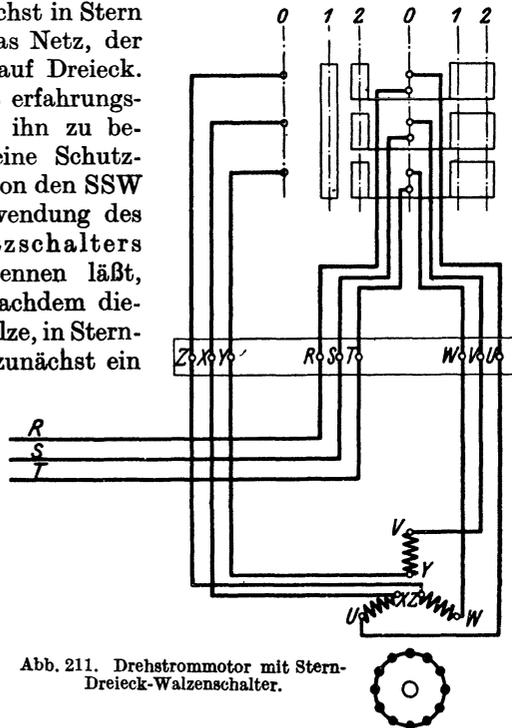


Abb. 211. Drehstrommotor mit Stern-Dreieck-Walzenschalter.

114. Der polumschaltbare Motor.

Die Drehzahl eines Induktionsmotors hängt bei gegebener Frequenz von der Zahl seiner Pole ab. Die Ständerwicklung läßt sich nun durch

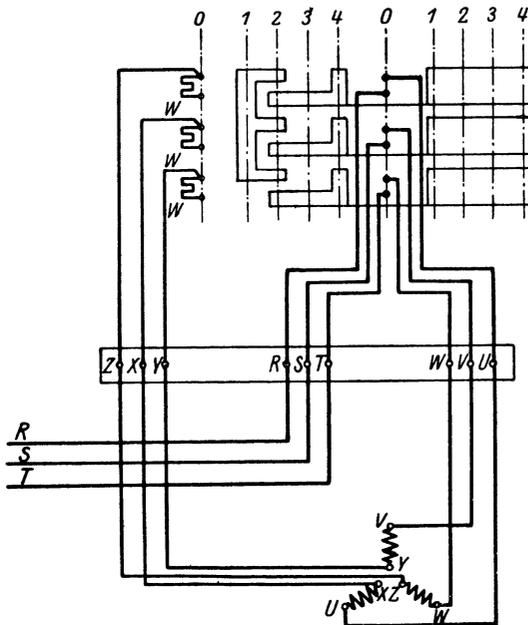


Abb. 212. Drehstrommotor mit Stern-Dreieck-Schutzschalter.

entsprechende Anordnung so einrichten, daß sie für zwei verschiedene Polzahlen umgeschaltet werden kann, so daß auch zwei verschiedene Geschwindigkeiten eingestellt werden können. Um weitere Geschwindigkeitsstufen zu erhalten, werden zwei (gegebenenfalls auch drei) getrennte Wicklungen angewandt, die auch ihrerseits wieder polumschaltbar eingerichtet werden können.

In Abb. 213 ist als Beispiel die Schaltung eines polumschaltbaren Motors für zwei Drehzahlen angegeben. Jede Phase der Ständerwicklung ist in zwei Hälften unterteilt. In Stellung 1 des zugehörigen Walzenschalters sind die Wicklungshälften jeder Phase hintereinander geschaltet, und die drei Phasen sind in Dreieck verkettet. Unter Berücksichtigung der räumlichen Anordnung

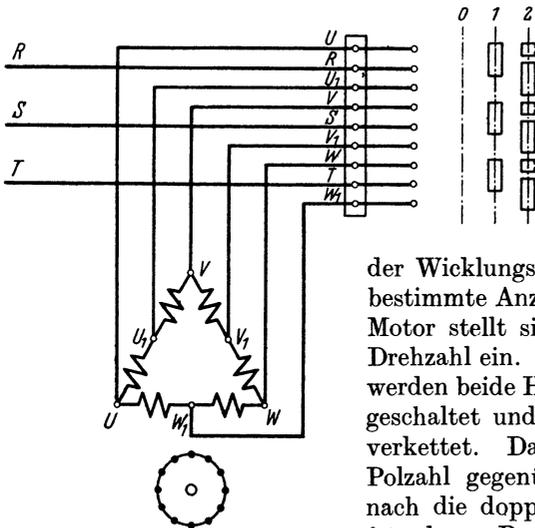


Abb. 213. Polumschaltbarer Drehstrommotor.

der Wicklungsteile bildet sich dabei eine bestimmte Anzahl von Polen aus, und der Motor stellt sich auf eine entsprechende Drehzahl ein. In Stellung 2 des Schalters werden beide Hälften jeder Phase parallel geschaltet und die drei Phasen in Stern verkettet. Dabei ergibt sich die halbe Polzahl gegenüber Stellung 1 und demnach die doppelte Drehzahl. Der Motor ist also z. B. umschaltbar für 1500/3000 Umdrehungen je Minute.

Anlaßstufen bei einer verhältnismäßig geringen Zahl von Kontakten am Anlasser zu erhalten. Die Schaltung geht aus Abb. 217 hervor, sie hat der in Abschn. 55 besprochenen Schaltung für Anlasser von Gleichstrommotoren als Vorbild gedient. Die Widerstände der drei Phasen sind gewissermaßen ineinandergeschachtelt. Die Schleiffeder der Anlaskerkurbel ist so breit, daß sie gleichzeitig drei Kontakte bedecken kann. In der gezeichneten Stellung liegt vor jeder Phase des Läufers der volle Anlaßwiderstand. Beim Drehen der Kurbel nach rechts wird nacheinander, und zwar abwechselnd aus den Läuferphasen u , v , w

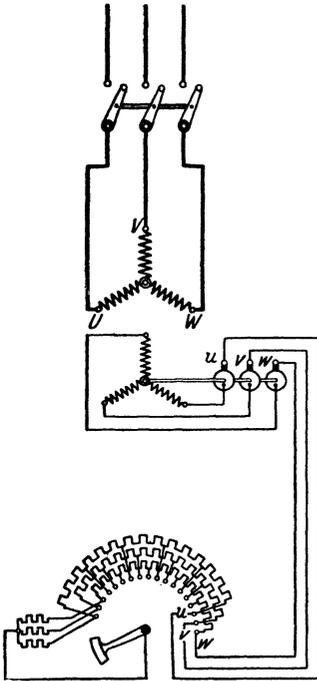


Abb. 217. Drehstrommotor mit Schleifringläufer und Kahlenberg-Anlasser.

eine Widerstandsstufe abgeschaltet, bis der Anlasser kurzgeschlossen ist. Gegenüber der normalen Ausführung hat die Kahlenbergschaltung, auch u - v - w -Schaltung genannt, den Nachteil, daß in den Widerstandsgrößen der drei Läuferphasen beim Anlassen vorübergehend geringe Verschiedenheiten auftreten

und daher auch die Stromstärke in den Phasen ungleich ist. Diese Unsymmetrie drückt sich durch eine etwas geringere Anzugskraft des Motors aus.

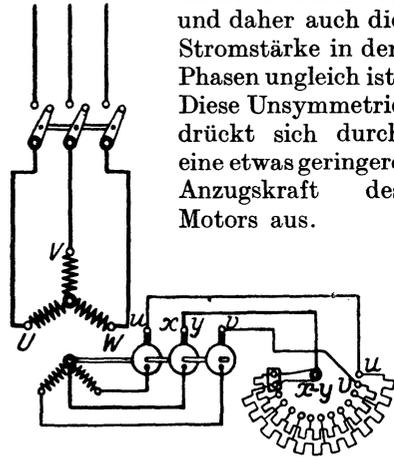


Abb. 218. Drehstrommotor mit zweiphasigem Läufer.

117. Der Drehstrommotor mit zweiphasigem Läufer.

Bei einem anderen Verfahren wird die Zahl der Kontakte am Anlaßwiderstand eines Drehstrommotors dadurch eingeschränkt, daß der Läufer zweiphasig gewickelt wird, eine Ausführungsart, die besonders bei Aufzugsmotoren zur Anwendung kommt. Außerdem kann der Anlasser in Kahlenbergschaltung ausgeführt werden, wofür Abb. 218 die Schaltung zeigt. Die mit den beiden freien Enden der Läuferwicklung in Verbindung stehenden Bürsten u und v führen zu gleicherart bezeichneten Klemmen des Anlassers, die an dem Verkettungspunkt der Läuferphasen angeschlossene Bürste x - y ist mit dem Kurbeldrehpunkt verbunden.

118. Der Einphasenmotor.

Der Ständer des einphasigen Induktionsmotors ist von der gleichen Bauart wie der des Drehstrommotors, doch besitzt er nach Abb. 219 nur eine einphasige Arbeitswicklung UV , außerdem aber eine gegen diese um den Polabstand versetzte Hilfswicklung WZ . Letztere ist nur für den Anlauf erforderlich, und sie wird daher nach dem Anlassen ausgeschaltet. Mittels der Drosselspule D (oder eines Kondensators) wird dem Strome der Hilfswicklung eine Phasenverschiebung gegenüber dem Hauptstrom, von dem er abzweigt, erteilt. Durch

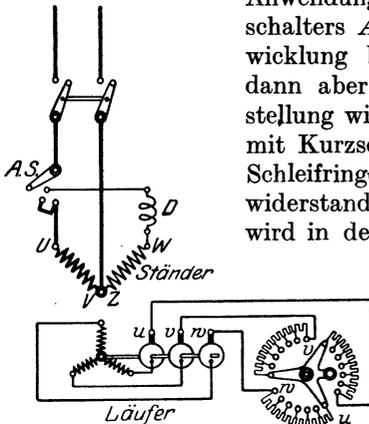


Abb. 219. Einphasenmotor mit Hilfswicklung.

Anwendung eines zweckmäßig ausgebildeten Anlaßschalters $A.S.$ läßt sich erreichen, daß die Hilfswicklung beim Anlassen zunächst eingeschaltet, dann aber beim Weiterschalten in die Betriebsstellung wieder abgetrennt wird. Der Läufer kann mit Kurzschlußwicklung versehen sein oder über Schleifringe in bekannter Weise mit einem Anlaßwiderstand in Verbindung stehen. Er wird in der Regel, wie in der Abbildung angenommen, dreiphasig ausgeführt. Um den Motor umzusteuern, sind die Enden der Hilfswicklung hinsichtlich ihrer Verbindung mit dem Netze zu vertauschen.

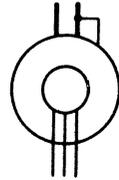


Abb. 220. Schaltkurzeichen des Einphasenmotors mit Hilfswicklung.

Die Anzugskraft des Einphasen-Induktionsmotors — das Schaltkurzeichen zeigt Abb. 220 — ist gering, und er findet daher nur eine recht beschränkte Verwendung.

119. Regelung der Drehzahl.

Eine gleichmäßige Geschwindigkeitsregelung läßt sich bei den Drehstrommotoren mit Schleifringläufer durch Einschalten von Widerständen vor den Läufer erreichen. Der Anlasser selbst kann zum Regulieren benutzt werden, wenn er ganz oder teilweise für Dauerbelastung eingerichtet ist. Andernfalls müssen ihm noch besondere Regelwiderstände vorgeschaltet werden. In den Widerständen wird ein Teil der Läuferleistung vernichtet bzw. in Wärme umgesetzt, was durch eine entsprechend größere Stromentnahme des Ständers aus dem Netz ausgeglichen wird. Es tritt also ein Energieverlust auf, der um so größer ausfällt, je weiter die Drehzahl herabgesetzt wird. Das Verfahren ist daher im allgemeinen nicht zu empfehlen.

120. Wendeanlasser.

Die Umlaufrichtung eines Drehstrommotors kann, wie bereits in Abschn. 110 erörtert wurde, durch Auswechseln des Anschlusses von irgend zwei der drei Zuführungsleitungen geändert werden.

Die Schaltung eines Wendeanlassers für einen Drehstrommotor mit Schleifringläufer ist in Abb. 221 dargestellt. Die mit S bezeichnete Netzleitung ist unmittelbar an die Klemme V des Motors gelegt, während die Leitungen R und T zum Anlasser geführt sind. Die Kurbel desselben ist ähnlich wie die eines normalen Anlassers ausgebildet, besitzt aber, von ihr isoliert, noch einen vierten Arm, der zwei ebenfalls voneinander isolierte Schleiffedern trägt. Durch diese wird der Anschluß der Netzleitungen R und T mit den Motorklemmen U und W bewirkt,

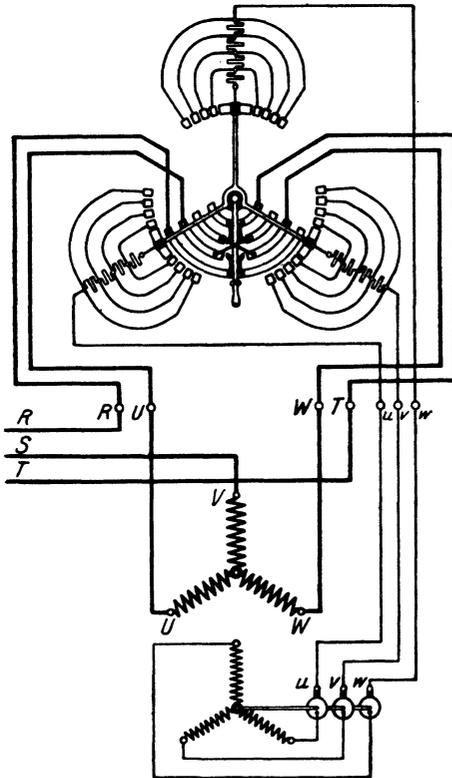


Abb. 221. Drehstrommotor mit Wendeanlasser.

und zwar ist die Verbindung und damit die Drehrichtung des Motors eine andere, je nachdem die Anlasserkurbel nach rechts oder links gedreht wird. Die drei Widerstandsabteilungen des Anlassers werden dabei in jedem Falle vor die betreffenden Phasen des Läufers gelegt und beim Drehen der Kurbel allmählich kurzgeschlossen.

121. Schaltwalzenanlasser.

Wie für Gleichstrommotoren (vgl. Abschn. 58), so werden auch für Drehstrommotoren vielfach Walzenanlasser den Flachbahnanlassern vorgezogen. Einen Schaltwalzenanlasser einfacher Art für einen Drehstrommotor mit Schleifringläufer (nach F. Klöckner, Köln) zeigt Abb. 222. Das Ein- und Ausschalten des Motors wird durch den dreipoligen Netzschalter vorgenommen, die Schaltwalze vertritt lediglich die Stelle des

Läuferanlassers. In Stellung O der Anlaßwalze sind zunächst sämtliche Stufen des dreiteiligen Anlaßwiderstandes in den Läuferkreis eingeschaltet, und zwar liegen zwischen je zwei Läuferbürsten zwei volle Widerstandsteile (wie bei Abb. 218). In Stellung 1 der Walze wird aus jedem Widerstandsteil eine Stufe herausgenommen. In Stellung 2 tritt keine Änderung in den Widerstandsverhältnissen ein; sie soll nur dazu dienen, zur Vermeidung von Stromstößen das Anlassen etwas zu verzögern. In Stellung 3 wird wieder je eine Stufe abgeschaltet, in Stellung 4 eine weitere Stufe, in Stellung 5 , der Betriebsstellung, ist schließlich der Läufer kurzgeschlossen.

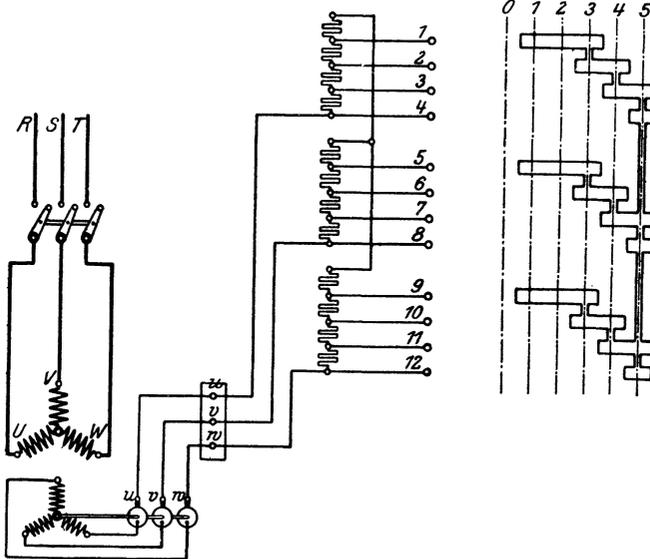


Abb. 222. Schaltwalzenanlasser für einen Drehstrommotor ohne Netzabschaltung.

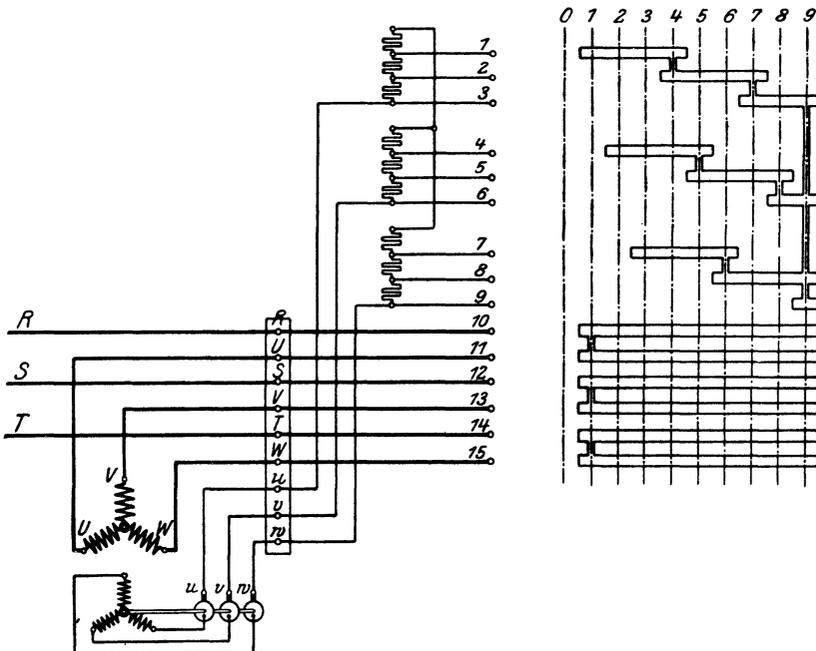


Abb. 223. Schaltwalzenanlasser für einen Drehstrommotor mit Netzabschaltung.

In Abb. 223 ist die Schaltung für eine Anlaßwalze zur Darstellung gebracht, mit der auch der Anschluß des Motors an das Leitungsnetz bewirkt wird, so daß ein besonderer Schalter in den Zuführungsleitungen

nicht erforderlich ist. Um die Verbindung der Ständerwicklung mit dem Netz herzustellen, sind an der Walze die unteren sechs Kontaktschienen vorgesehen, durch welche die Klemme U des Motors an die Leitung R , V an S und W an T gelegt wird. O ist die Ausschaltstellung. In dieser, wie auch in der ersten Anlaßstellung, sind sämtliche Stufen des Anlaßwiderstandes im Läufer wirksam. Beim Weiterdrehen der Walze wird die Abschaltung der Widerstandsstufen vorgenommen, jedoch, im Gegensatz zum vorigen Schaltbild, nicht gleichzeitig in allen drei Phasen, sondern, der Kahlenbergsschaltung entsprechend, nacheinander. In Stellung 2 wird vom oberen und mittleren Widerstandsteil je eine Stufe ab-

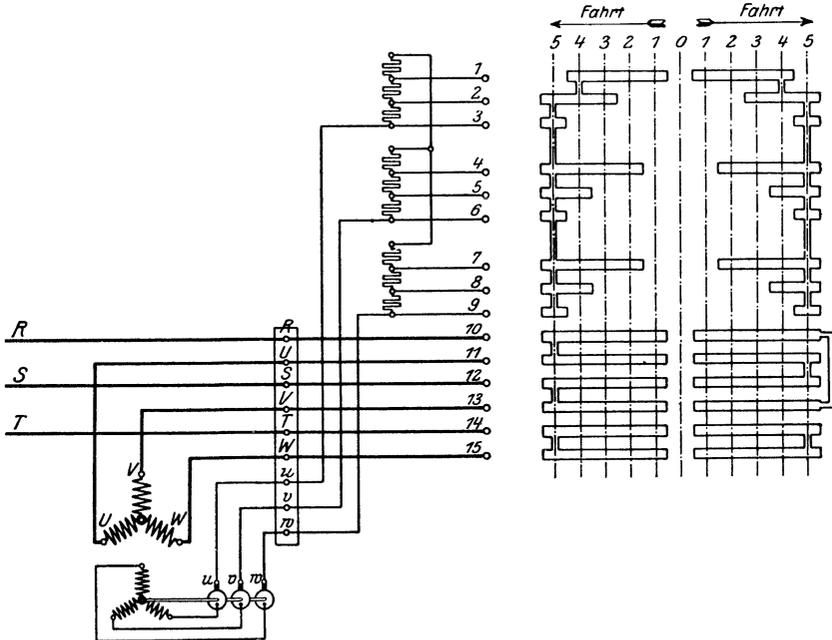


Abb. 224. Steuerwalze für einen Drehstrommotor.

getrennt, in Stellung 3 eine Stufe vom unteren Widerstandsteil, in 4 eine weitere Stufe von oben, in 5 eine weitere Stufe aus der Mitte, in 6 eine Stufe von unten usw. In Stellung 9 schließlich ist der Läufer kurzgeschlossen.

122. Steuerwalzen.

Das Schaltbild für eine Drehstromsteuerwalze zeigt Abb. 224. Die Walze ist für jede Drehrichtung ähnlich durchgebildet wie bei dem in der vorigen Abbildung dargestellten Walzenanlasser, nur ist die Zahl der Anlaßstufen eingeschränkt. Die Umsteuerung des Motors wird durch Austausch der Leitungsanschlüsse R und S bewirkt.

Die erörterte Schaltung kann bei Kranen sowohl für die Fahrmotoren als auch für den Hubmotor benutzt werden. Mit letzterem ist eine mechanische Bremse zu verbinden, auf die ein Drehstrom-Bremsmagnet

einwirkt. Das Senken erfolgt, nachdem durch letzteren die Bremse gelüftet ist, in der Weise, daß der Motor in der entsprechenden Drehrichtung angelassen wird, worauf, sobald die Last in Bewegung gekommen ist, zwecks Erzielung einer Bremswirkung auf die andere, dem Heben entsprechende Richtung umgeschaltet werden kann. Die Anwendung einer derartigen Gegenstromschaltung erfordert eine sehr zuverlässige Bedienung seitens des Kranführers, damit einerseits beim Senken die Last nicht „durchgeht“ und andererseits nicht statt eines Senkens ein Heben eintritt.

Auf die von verschiedenen Firmen entwickelten Sicherheits-senkenschaltungen, bei denen der vorgenannte Übelstand vermieden ist, kann hier nicht eingegangen werden. Wo es möglich ist, wird man häufig für den Betrieb von Kranen auf den Drehstrom verzichten und Gleichstrom verwenden.

123. Druckknopfsteuerung für einen Drehstrommotor.

Oft ist es erwünscht, ein Fall, der namentlich bei Werkzeugmaschinen vorkommt, den Antriebsmotor durch Druckknöpfe zu bedienen¹. Mit diesem Verfahren ist nicht nur eine Zeitersparnis verbunden, sondern es ermöglicht auch im Falle einer Gefahr ein sofortiges Stillsetzen der Maschinen.

In Abb. 225 ist eine Schaltung dargestellt, die es ermöglicht, einen Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer durch Druckknöpfe anzulassen und abzustellen. Eine der Stromzuführungsleitungen R, S, T ist unmittelbar an den Motor U, V, W gelegt, während die beiden anderen Leitungen je über ein zu einem Schütz S gehörendes Kontaktpaar a bzw. b geführt sind. Die Spule des Schützes kann durch Hilfsleitungen über die Druckknöpfe „halt“ und „ein“ vom Netz erregt werden. Wird der Druckknopf „ein“ betätigt, so wird, wie sich leicht im Schaltbild verfolgen läßt, der Hilfsstromkreis geschlossen, die Spule zieht ihren Magnetkern ein, und das Schütz schließt über a und b die Zuführungsleitungen: der Motor läuft. Hieran ändert sich auch nichts, wenn nunmehr der Druckknopf losgelassen wird, da dann das Schütz über die „Haltekontakte“ h erregt bleibt. Erst durch Bedienen des Druckknopfes „halt“ wird der Erregerstrom unterbrochen und dadurch der Motor zum Stillstand gebracht.

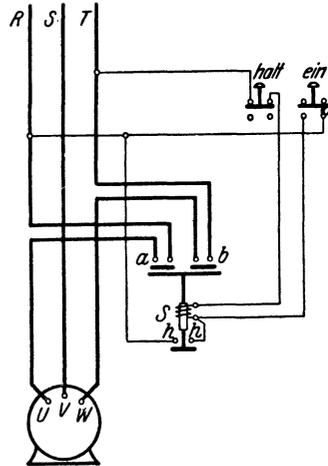


Abb. 225. Drehstrommotor mit Druckknopfsteuerung.

¹ Vgl. Bleck, Druckknopfsteuerungen an Werkzeugmaschinen. SZ 1929, 710, s. auch Meller, Bremsschaltung bei Drehstrom-Einzelantrieb von Werkzeugmaschinen. SZ 1933, 51.

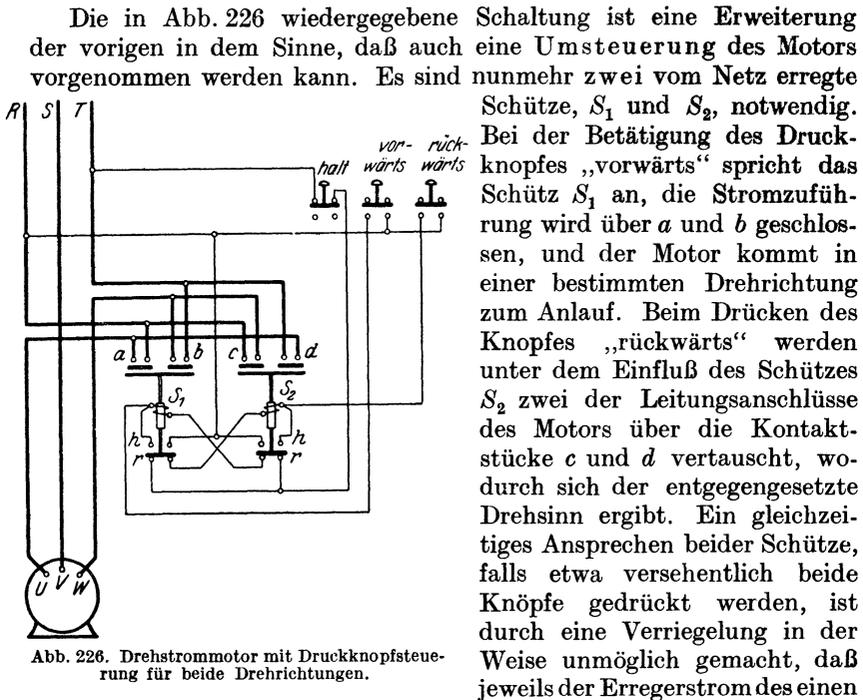


Abb. 226. Drehstrommotor mit Druckknopfsteuerung für beide Drehrichtungen.

Die in Abb. 226 wiedergegebene Schaltung ist eine Erweiterung der vorigen in dem Sinne, daß auch eine Umsteuerung des Motors vorgenommen werden kann. Es sind nunmehr zwei vom Netz erregte Schütze, S_1 und S_2 , notwendig. Bei der Betätigung des Druckknopfes „vorwärts“ spricht das Schütz S_1 an, die Stromzuführung wird über a und b geschlossen, und der Motor kommt in einer bestimmten Drehrichtung zum Anlauf. Beim Drücken des Knopfes „rückwärts“ werden unter dem Einfluß des Schützes S_2 zwei der Leitungsanschlüsse des Motors über die Kontaktstücke c und d vertauscht, wodurch sich der entgegengesetzte Drehsinn ergibt. Ein gleichzeitiges Ansprechen beider Schütze, falls etwa versehentlich beide Knöpfe gedrückt werden, ist durch eine Verriegelung in der Weise unmöglich gemacht, daß jeweils der Erregerstrom des einen

Relais über Ruhekontakte r des anderen Relais geschlossen ist. Durch den Druckknopf „halt“ wird die Erregung der Schütze unterbrochen und der Motor ausgeschaltet.

124. Lastenaufzug mit Antrieb durch Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer.

Aufzüge werden heute allgemein elektrisch betrieben. Die Anforderungen, die an die Schaltung von Aufzügen gestellt werden, sind sehr verschiedenartig. An einen Lastenaufzug werden andere Bedingungen geknüpft als an einen Personenaufzug. Vor allem muß die denkbar größte Sicherheit für den Betrieb des Aufzuges gewährleistet sein, und die Elektrizität ist hier demnach nicht nur Kraftquelle, sondern sie dient auch zur Betätigung einer Anzahl Sicherheitsorgane. So muß z. B. durch entsprechende Verriegelung erreicht werden, daß der Fahrkorb sich nur bei geschlossenen und gesperrten Fahrschachttüren in Bewegung setzen kann. Ferner muß, wenn die für Aufzüge vorgeschriebene Fangvorrichtung in Wirksamkeit tritt, die Antriebsmaschine selbsttätig stillgesetzt werden. Das letztere muß bei Personenaufzügen auch eintreten, wenn bei der Aufwärtsbewegung der Fahrkorb aus irgendeinem Grunde eine zu große Beschleunigung annimmt. Es gibt eine große Zahl von Lösungen, durch welche die genannten Forderungen erfüllt werden können. In nachfolgendem soll, lediglich als Beispiel einer Aufzugsanlage, das Schaltbild eines Lastenaufzuges gegeben werden, wobei

jedoch nur das Grundsätzliche berücksichtigt ist, alle Einzelheiten dagegen unterdrückt werden sollen, Abb. 227.

Für das Schaltbild sind drei Stockwerke angenommen, doch kann es leicht auf beliebig viel Geschosse übertragen werden. Der Antrieb erfolgt durch einen Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer, der über einen dreipoligen Hauptschalter mit Überstromauslösung vom vorhandenen Drehstromnetz mit Nulleiter gespeist wird. Ein zweiter Schalter, der Notenschalter *E.S.*, wird mechanisch ausgeschaltet, falls der Fahrkorb durch eingetretene Störungen seine Betriebsendstellungen überschreitet. Die Steuerung des Motors für Auf- und Abbewegung erfolgt mittels des

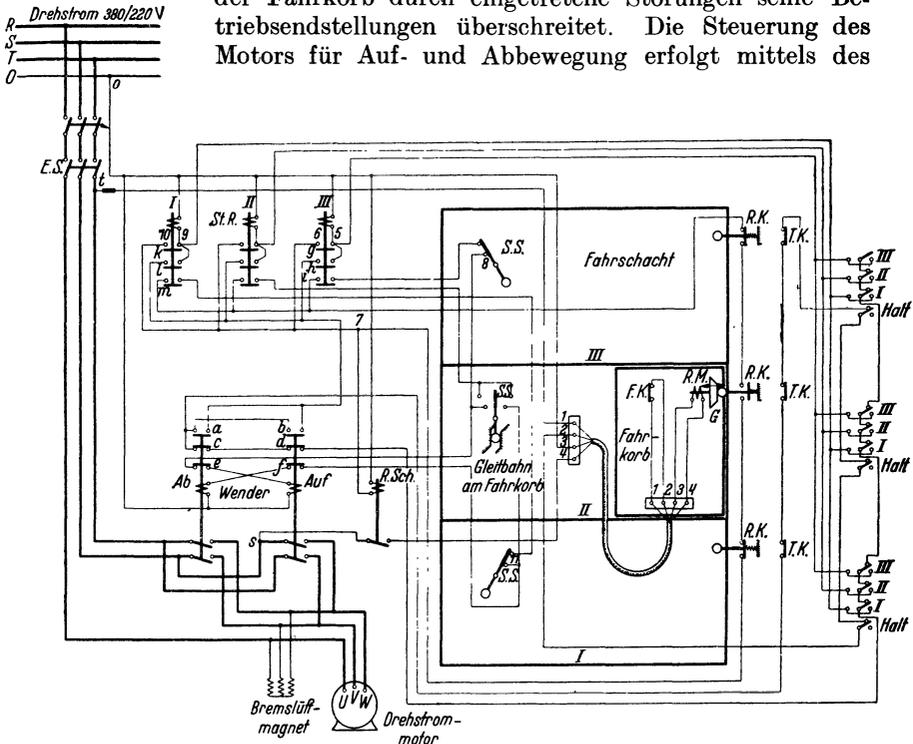


Abb. 227. Drehstrommotor zum Betrieb eines Lastenaufzuges.

„Wenders“ durch Schütze, wobei die Umkehrung der Drehrichtung des Motors in bekannter Weise durch Vertauschen von zwei der drei Zuführungsleitungen geschieht. Für jedes Stockwerk ist ein Steuerrelais *St.R.* vorhanden, welches auf die Schütze einwirkt. *S.S.* sind Stockwerk-Schachtschalter, in den Endgeschossen einfache, in den Zwischengeschossen zweiseitig wirkende Schalter. Sie werden betätigt durch eine am Fahrkorb angebrachte Doppelgleitbahn. *T.K.* sind Türkontakte, welche im Steuerstromkreis liegen und erst in der Schließstellung des Türschlosses geschlossen sind. Die Sperrung der Türschlösser erfolgt mechanisch über ein Riegelgestänge, das beim Einfahren des Fahrkorbes in die gewählte Haltestelle durch eine ausschwenkende Gleitbahn *G* ausgelöst wird. Diese bleibt während der Fahrt bis

zum Erreichen der gewählten Haltestelle durch den Riegelmagnet *R.M.* zurückgezogen. Die mit dem Riegelgestänge verbundenen Riegelkontakte *R.K.* geben den Steuerstromkreis erst frei, wenn die Gleitbahn zurückgezogen und damit die Tür, an der der Fahrkorb steht und von der er wegfahren soll, verriegelt ist. *R.Sch.* ist das Riegelschütz. Der am Fahrkorb angebrachte Fangkontakt ist mit *F.K.* bezeichnet, er wird durch das Gestänge der Fangvorrichtung zwangläufig in die Ausschaltstellung gedrückt, wenn die Fangvorrichtung aus irgendeinem Grunde wirksam wird. Eine Klemmleiste im Fahrkorb trägt die Klemmen 1 bis 4, gleichlautend mit einer gleichartigen Leiste im Fahrtschacht. Die Verbindung beider Klemmleisten wird durch eine biegsame Leitung, das Hängkabel, hergestellt. Der Strom für die Steuerung des Motors und für die Sicherheits- und Hilfseinrichtungen wird von einer Phase des Drehstromnetzes abgenommen, und zwar zwischen den Punkten *t* und *o*, die Außenleitung *t* ist gesichert.

Die Bedienung des Aufzuges erfolgt durch Druckknöpfe, die außerhalb des Fahrkorbes am Aufzugsschacht angebracht sind. Die Zahl der Druckknöpfe in jedem Stockwerk entspricht der Zahl der Stockwerke, außerdem ist noch je ein Halteknopf vorgesehen. Soll nun z. B. der Fahrkorb aus Stockwerk II nach Stockwerk III gefahren werden, so geschieht dies durch Betätigung des Druckknopfes III, und zwar einerlei, in welchem Stockwerk das erfolgt. Dadurch wird folgender Stromkreis geschlossen: *t* — 1 — *F.K.* — 2 — Halteknöpfe — *T.K.* — Kontakte *c* und *d* am Wender — Druckknöpfe (III gedrückt) — 5 — Spule des *St.R.* III — *o*. Die Folge ist, daß die Hilfskontakte des Steuerrelais geschlossen werden und am Kontakt *g* eine Stromverzweigung eintritt: 5 — 6 — 7 — *R.Sch.* — *o*. Indem das Riegelschütz seinen Schalter schließt, wird auch der Stromkreis des Riegelmagneten geschlossen: *s* — 4 — *R.M.* — 3 — *o*. Das hat zur Folge, daß der Riegelmagnet die bewegliche Gleitbahn *G* zurückzieht, das Riegelgestänge zur Verriegelung freigegeben und der Riegelkontakt im Stockwerk II geschlossen wird. Dadurch wird folgender Stromkreis über den Abzweig von 7 geschlossen: 7 — *R.K.* — Kontakt *i* am *St.R.* III — *S.S.* — 8 — Kontakt *e* am Wender — „Auf“-Spule — *o*. Damit bekommt der Motor Strom. Während der nun eingeleiteten Fahrt erhält, sobald der Druckknopf III losgelassen wird, die Spule des Steuerrelais III weiter Strom über den Selbsthaltestromkreis: *t* — 1 — *F.K.* — 2 — Halteknöpfe — *T.K.* — Kontakt *b* am Wender — Kontakt *h* am *St.R.* III — 5 — Spule des *St.R.* III — *o*. Beim Einfahren des Fahrkorbes in die gewählte Haltestelle wird der Stockwerkschalter *S.S.* durch die Doppelgleitbahn am Fahrkorb in die Ausschaltstellung gedrückt, wodurch der Stromkreis für die „Auf“-Spule am Wender unterbrochen wird. Die Folge davon ist, daß der Selbsthaltestromkreis am Kontakt *b* des Wenders ebenfalls unterbrochen wird und auch die Stromkreise für das Riegelschütz und den Riegelmagnet stromlos werden.

Soll umgekehrt der Fahrkorb von Stockwerk III nach Stockwerk I fahren, so kann dies erreicht werden, indem in irgendeinem der Geschosse auf den Druckknopf I gedrückt wird. Dadurch wird nachstehender

stände durch Anlegen einer Brücke an die Kontakte, deren Hub durch eine Öl- oder Luftdämpfung verlangsamt wird. Es können jedoch auch Schützenselbstanlasser verwendet werden, wofür in Abb. 229 ein Beispiel gegeben ist. Die Umkehrung der Drehrichtung des Motors erfolgt in der gleichen Weise wie im vorigen Abschnitt angegeben ist. *B.K.* ist ein Reglerkontakt, der den Steuerstromkreis unterbricht und damit das Triebwerk stillsetzt, wenn der Fahrkorb bei der Aufwärtsfahrt eine zu große Beschleunigung annimmt.

Der Aufzug wird durch eine Hebelsteuerung vom Fahrkorb aus bedient. Die Verriegelung der Türen erfolgt von innen durch einen Handhebel, dem hier also die Aufgabe der Türsperrung zugewiesen ist. An der obersten und untersten Haltestelle sind Betriebsendschalter *B.S.* vorhanden, die den Steuerstrom für die Auf- bzw. Abfahrt beim Einfahren in die Haltestelle unterbrechen. Beim Einfahren in die Zwischengeschosse muß der Fahrkorb durch Loslassen des Steuerhebels zur Ruhe gebracht werden.

Soll der Fahrkorb aus der gezeichneten Stellung heraus von Stockwerk III nach Stockwerk II gefahren werden, so wird nach Umlegen des Steuerhebels auf „Ab“ folgender Stromkreis geschlossen: *t* — *B.K.* — 1 — *F.K.* — 2 — *T.K.* — 3 — Steuerhebel „Ab“ — 5 — *B.S.* — Kontakt *d* am Wender — „Ab“-Spule — *s*. Hierbei tritt eine Stromverzweigung ein, durch die das Anlasserschütz Strom bekommt: Abzweigung 6 — Kontakt *a* am Wender — *A.S.* — *s*.

Auf Einzelheiten der Schaltung kann hier nicht näher eingegangen werden.

126. Schützenselbstanlasser.

Ein Beispiel für die Selbstanlaßschaltung eines Drehstrommotors mit Schleifringläufer ist in Abb. 229 gegeben¹. Die Einrichtung tritt in Wirksamkeit, sobald der Hauptschalter des Motors von Hand oder selbsttätig (z. B. durch einen Schwimmer) geschlossen wird. In eine der drei Zuführungsleitungen zum Ständer des Motors ist ein „Stromwächter“ *W* eingeschaltet, ein Relais, dem die Aufgabe zufällt, die Anlaßschützen — es sind entsprechend den für jede Phase vorgesehenen drei Widerstandsstufen auch drei Schütze vorhanden — nacheinander zu betätigen. Infolge des beim Einschalten des Motors auftretenden Stromstoßes wird der Anker des Stromwächters, ehe noch die Anlaßschützen zur Wirkung kommen können, gehoben, aber unmittelbar darauf, nachdem der Stromstoß abgeklungen ist, wieder losgelassen. Das Schütz *S*₁ wird nunmehr über die vom Netz abgezweigten Hilfsleitungen erregt, und eine Stufe des Anlaßwiderstandes wird abgeschaltet. Infolge des hierbei von neuem auftretenden Stromstoßes wiederholt sich das Spiel, und es sprechen nacheinander die Schütze *S*₂ und *S*₃ an, wodurch der Anlaßwiderstand allmählich kurzgeschlossen wird und der Motor die Betriebsstellung erreicht. Die an den Schützen vorgesehenen Haltekontakte *h* sorgen dafür, daß die bereits zur Wirkung gekommenen

¹ Vgl. Bleck, Druckknopfsteuerungen an Werkzeugmaschinen. SZ 1929, 710.

Schütze auch dann erregt bleiben, wenn der Stromwächter gehoben hat. Die „Weiterschaltkontakte“ w vermitteln die Zuführung des Erregerstromes von einem Anlaßschütz zum nächsten.

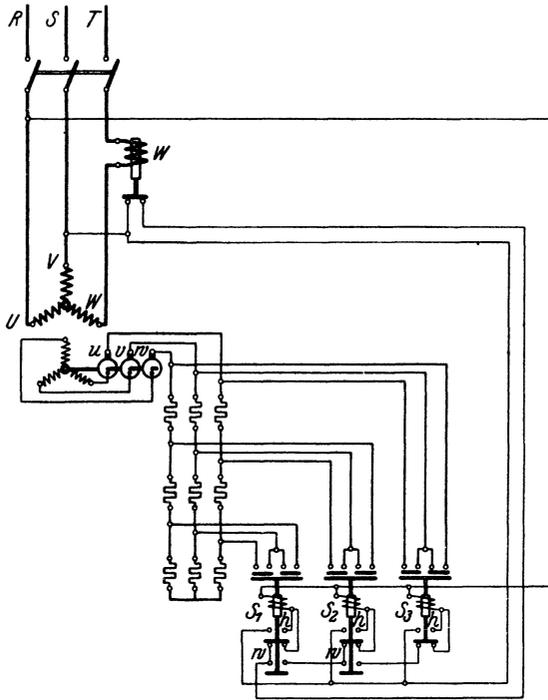


Abb. 229. Drehstrommotor mit Schleifringläufer und Schützenselbstanlasser.

127. Drehstrommotoren im Anschluß an ein Niederspannungsnetz.

In Abb. 230 ist der Schaltplan für eine Motorenanschlußanlage einfachster Art, etwa für einen Fabrikbetrieb gegeben. Die beiden Drehstrommotoren $D.M.$ sind an die Verteilungsschienen R, S, T angeschlossen. Die Zuführungsleitung enthält einen dreipoligen Hauptschalter. Zur Spannungskontrolle dient der Spannungsmesser. Der in die Leitung eingebaute Wattstundenzähler entspricht der Zweiwattmeterschaltung. Jeder Motor ist über Schalter und Sicherungen angeschlossen. Einen ungefähren Anhalt für die jeweilige Belastung der einzelnen Motoren erhält man durch Beobachtung der in je einem Pole vorgesehenen Strommesser. Selbstverständlich kann der Schaltplan auf beliebige viele Motoren ausgedehnt werden.

Es empfiehlt sich, Schalter, Sicherungen und Meßgeräte mit den Verteilungsschienen auf einer gemeinsamen Motorenschalttafel zu vereinigen. Die Anlasser sind in möglichster Nähe der Motoren aufzustellen.

Statt durch Schmelzsicherungen kann der Schutz gegen Überlastung auch durch Überstromschalter vorgenommen werden. Sehr beliebt sind auch Motorschutzschalteinrichtungen, die mit verzögerter Überstrom- sowie mit einer Unterspannungsauslösung ausgestattet sind, welche letztere auch dann wirkt, wenn der Strom nur in einer Leitung ausbleibt.

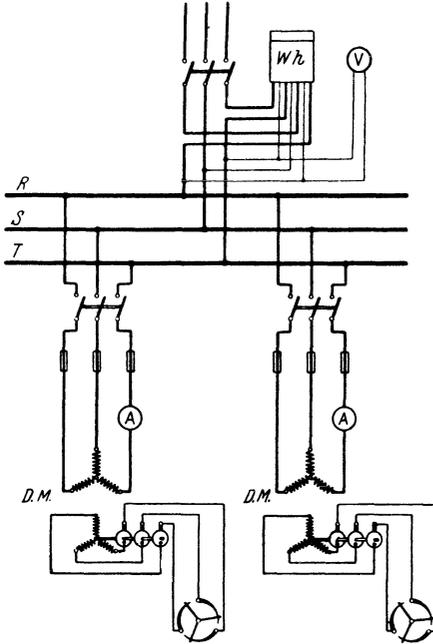


Abb. 230. Anschluß von Drehstrommotoren an ein Niederspannungsnetz.

128. Drehstrommotoren im Anschluß an ein Hochspannungsnetz.

Große Motoren können, um die Zwischenschaltung von Transformatoren zu vermeiden, für Hochspannung gewickelt und unmittelbar an das Hochspannungsnetz angeschlossen werden. Das im vorigen Abschnitt gegebene Schaltbild ändert sich dann entsprechend: die Meßgeräte werden über Strom- und Spannungswandler angeschlossen; Trennschalter sind anzuordnen, um die einzelnen Teile spannungslos machen zu können; zum Ein- und Ausschalten der Motoren werden Hochspannungsschalter verwendet. Bei der in Schaltbild Abb. 231 wiedergegebenen Anlage besitzen die Schalter eine selbsttätige Überstromauslösung und außerdem,

um die Motoren beim Ausbleiben der Spannung vom Netz zu trennen, eine Unterspannungsauslösung (vgl. Abb. 23).

Bei höheren Spannungen als ungefähr 6000 bis höchstens 15000 Volt, je nach der Größe des Motors, zieht man den Anschluß der Motoren über Transformatoren vor.

C. Kollektormotoren.

129. Allgemeines.

Daß sich die Umlaufzahl der Induktionsmotoren nicht in einfacher und wirtschaftlicher Weise regeln läßt, wie z. B. beim Gleichstrom-Nebenschlußmotor, ist seiner Verwendung häufig hinderlich. Für Antriebe, bei denen eine Geschwindigkeitsregelung erforderlich ist, können mit Vorteil Kollektormotoren angewendet werden. Diese haben einen Ständer nach Art desjenigen eines Induktionsmotors und einen Läufer nach Art eines Gleichstromankers. Bei den Einphasen-Kollektormotoren besitzt der Läufer je Polpaar zwei Reihen

Bürsten, wie die Gleichstrommaschine. Bei den Drehstrom-Kollektormotoren sind auf dem Kollektor des Läufers drei Reihen Bürsten je Polpaar angeordnet, die gegeneinander um 120° versetzt sind. Die Kollektormotoren arbeiten im allgemeinen mit einem Leistungsfaktor, der nicht nennenswert vom Wert 1 abweicht.

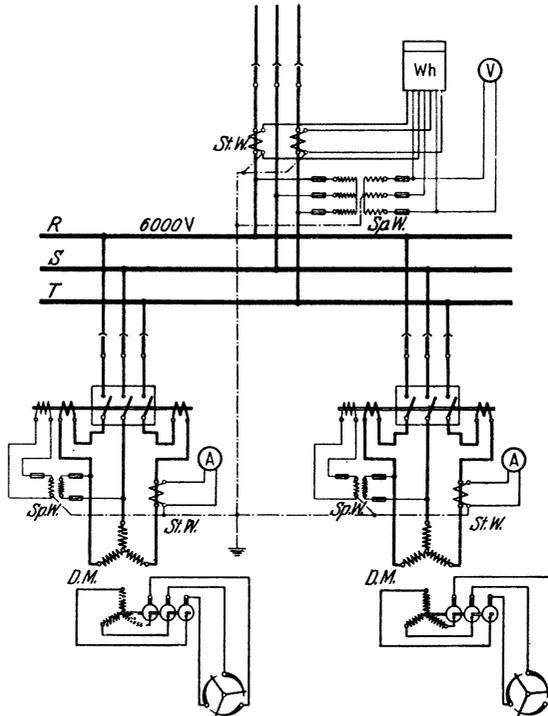


Abb. 231. Anschluß von Drehstrommotoren an ein Hochspannungsnetz.

130. Der Einphasen-Hauptschlußkollektormotor.

Die Schaltung des Hauptschlußkollektormotors für Einphasenstrom, Abb. 232, entspricht der des Hauptschlußmotors für Gleichstrom. Doch wird der Ständer wie beim Induktionsmotor ohne ausgeprägte Polansätze ausgeführt, die Magnetwicklung EF vielmehr in Nuten des hohlzylindrisch ausgeführten Ständers eingelegt. Ferner gibt man dem Motor eine Kompensationswicklung GH , welche ebenfalls in Nuten des Ständers untergebracht wird und den Zweck hat, das Magnetfeld des Ankers AB aufzuheben, in ähnlicher Weise wie bei den kompensierten Gleichstrommaschinen (vgl. Abschn. 31). Das Anlassen des Motors und die Regelung seiner Drehzahl geschieht mit Hilfe eines vor den Motor gelegten Regeltransformators, Abb. 233. Über

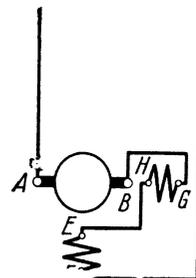


Abb. 232. Einphasen-Hauptschlußkollektormotor.

die Abhängigkeit der Drehzahl von der Belastung gilt dasselbe wie für den Gleichstrom-Hauptschlußmotor: sie nimmt bei zunehmender Belastung stark ab, bei Leerlauf geht der Motor durch. Der Motor hat ein weites Anwendungsgebiet im elektrischen Vollbahnbetrieb gefunden.

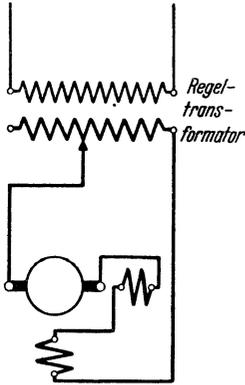


Abb. 233.
Hauptschlußkollektormotor
mit Regeltransformator.

131. Der Einphasen-Kurzschlußkollektormotor.

Bei einem anderen Kollektormotor für Einphasenstrom, dem Kurzschlußkollektormotor, wird der Wechselstrom lediglich der Ständerwicklung EF , Abb. 234, zugeführt. In der Läuferwicklung wird dagegen durch Induktionswirkung ein Strom hervorgerufen. Die Bürsten A und B des Läufers sind kurzgeschlossen. Sie befinden sich beim Einschalten des Stromes zunächst in einer bestimmten Lage, der Nullstellung. Erst wenn sie aus dieser herausgeschoben werden, läuft der Motor, je nach der Verschiebungsrichtung im einen oder anderen Sinne, an. Das Anlassen geschieht daher, wie auch das Umsteuern und das Regeln der Geschwindigkeit, lediglich durch Verschieben der Bürsten¹. Der Kurzschlußkollektormotor besitzt ebenfalls Hauptschlußcharakter: seine Drehzahl geht bei abnehmender Belastung stark in die Höhe.



Abb. 234.
Einphasen-Kurzschlußkollektormotor.

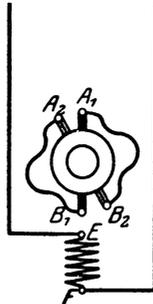


Abb. 235. Kurzschlußkollektormotor mit festen und beweglichen Bürsten.

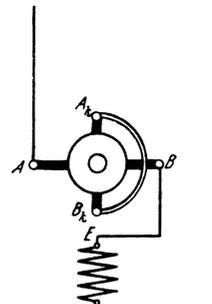


Abb. 236. Einphasen-Hauptschluß-Kurzschlußkollektormotor.

Die Firma BBC verwendet für ihren Kurzschlußmotor einen festen Bürstensatz A_1B_1 und einen beweglichen Bürstensatz A_2B_2 Abb. 235, eine Anordnung, die zuerst von Déri angegeben wurde und eine sehr feinstufige Regelung der Drehzahl ermöglicht.

132. Der Hauptschluß-Kurzschlußkollektormotor.

In einem von Winter und Eichberg erfundenen Motor finden sich gewissermaßen der Hauptschluß- und der Kurzschlußkollektormotor

¹ In den Schaltbildern der Kollektormotoren sind betriebsmäßig verstellbare Bürsten schraffiert, feste Bürsten voll angegeben.

vereinigt, Abb. 236. Der Läufer erhält, wieder einen zweipoligen Motor vorausgesetzt, zwei feststehende Bürstensäetze, die Bürsten des einen Satzes, A_k und B_k , sind kurzgeschlossen. Das Anlassen und Regeln des Motors erfolgt durch einen Regeltransformator, an dem die dem Läufer über die Bürsten A und B zugeführte Spannung eingestellt werden kann.

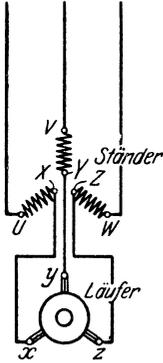


Abb. 237. Drehstrom-Hauptschlußkollektormotor.

133. Der Drehstrom-Hauptschlußkollektormotor.

a) Motor mit einfachem Bürstensatz.

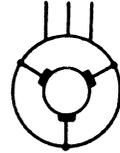


Abb. 238. Schaltkurzzeichen des Hauptschlußkollektormotors für Drehstrom.

Beim Hauptschlußkollektormotor für Drehstrom sind Ständerwicklung und Läufer hintereinander geschaltet. Abb. 237 zeigt das Schaltbild eines derartigen Motors, Abb. 238 das vereinfachte Zeichen des VDE. Die Ständerwicklung ist in der gleichen Weise wie beim Induktionsmotor bezeichnet. Die

Läuferbürsten heißen x, y, z . Das Anlassen des Motors sowie die Regelung seiner Geschwindigkeit wird durch Verschieben der Bürsten bewirkt. Die Drehzahl steigt in dem Maße an, wie die Bürsten aus der Nullstellung herausgeschoben werden. Um eine andere Drehrichtung des Motors zu erzielen, sind die Bürsten in entgegengesetzter Richtung zu verschieben und außerdem zwei der drei Zuleitungen zu vertauschen.

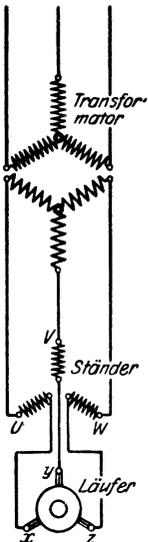


Abb. 239. Hauptschlußkollektormotor mit Vordertransformator.

Der Hauptschlußkollektormotor für Drehstrom zeigt das charakteristische Verhalten des Gleichstrom-Hauptschlußmotors. Er muß daher gegebenenfalls durch einen Zentrifugalapparat geschützt werden, durch den er bei unzulässig hoher Drehzahl abgeschaltet wird.

Da der Kollektor nur verhältnismäßig niedrige Spannungen verträgt, so ist bei höheren Betriebsspannungen ein Transformator erforderlich. In Abb. 239 ist das Schaltbild des Motors mit einem ihm vorgeschalteten Transformator: Vorder-

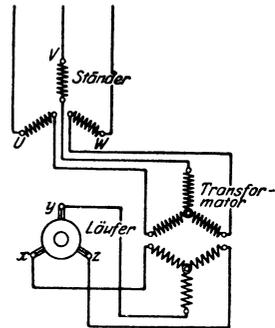


Abb. 240. Hauptschlußkollektormotor mit Zwischentransformator.

transformator, in Abb. 240 das Bild des Motors mit einem zwischen Ständer und Läufer angeordneten Transformator: Zwischentransformator, wiedergegeben.

transformator, in Abb. 240 das Bild des Motors mit einem zwischen Ständer und Läufer angeordneten Transformator: Zwischentransformator, wiedergegeben.

b) Motor mit doppeltem Bürstensatz.

Bei einer Ausführungsform der SSW wird jede Bürstenreihe des Drehstrom-Kollektormotors in zwei Hälften geteilt, von denen nur die eine auf dem Bürstenumfang verstellbar ist, während die andere feststeht. Bei dieser Anordnung kann durch Verschieben der beweglichen Bürsten eine besonders weitgehende Regelung der Drehzahl erzielt werden. Die Schaltung eines solchen Motors mit Vorderttransformator zeigt Abb. 241, die eines Motors mit Zwischentransformator Abb. 242. x, y, z sind die festen, x_1, y_1, z_1 die beweglichen Bürsten.

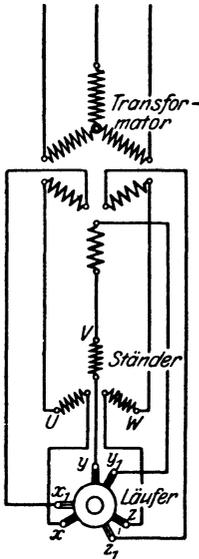


Abb. 241. Hauptschlußkollektormotor mit doppeltem Bürstensatz und Vorderttransformator.

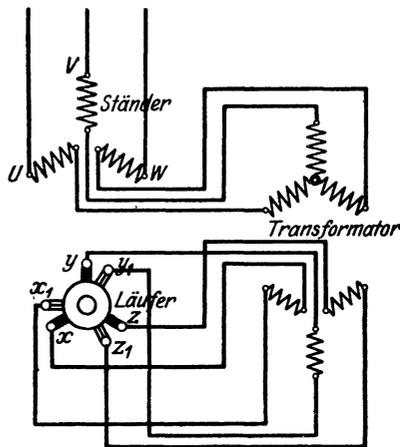


Abb. 242. Hauptschlußkollektormotor mit doppeltem Bürstensatz und Zwischentransformator.

134. Der Drehstrom-Nebenschlußkollektormotor.

a) Motor mit Läuferpeisung.

Einen Motor mit Nebenschlußcharakter, d. h. mit einer bei wechselnder Belastung annähernd gleichbleibenden Geschwindigkeit, zeigt Abb. 243. Abb. 244 gibt das Schaltkurzzeichen wieder. Der Netzstrom wird über die Schleifringe U_1, V_1, W_1 dem Läufer zugeführt, der noch eine zweite Wicklung, die Regelwicklung, trägt, die mit einem Kollektor in Verbindung steht. Der Kollektor ist mit zwei Bürstensätsen u, v, w und x, y, z ausgestattet. Die Bürsten des einen Satzes sind zu den Anfängen der drei Phasen UX, VY, WZ der Ständerwicklung, die des anderen zu den Enden der Phasen geführt, wie es im Schaltbild angegeben ist. Die beiden Bürstensätsen lassen sich gegeneinander mittels eines Zahnradantriebes verschieben.

Befinden sich die zu jeder Phase gehörigen Bürsten auf den gleichen Kollektorlamellen, so sind die Ständerphasen kurzgeschlossen, und der Motor verhält sich wie ein gewöhnlicher Induktionsmotor, nur daß im

Gegensatz zu diesem der Läufer der primäre, der Ständer der sekundäre Teil ist. Der Läufer dreht sich also mit annähernd synchroner Geschwindigkeit. Werden die Bürsten gegeneinander verstellt, so wird am Kollektor eine mehr oder weniger große Spannung abgegriffen und dem Ständer zugeführt, wodurch sich die Drehzahl ändert. Ist der eine Bürstensatz im Sinne der Drehrichtung voraus, so läuft der Motor übersynchron, ist der andere Bürstensatz voraus, so läuft er untersynchron. Bei

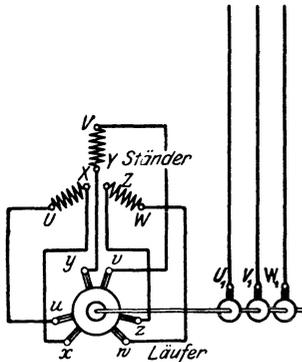


Abb. 243. Nebenschlußkollektormotor mit Läufer-
speisung.

jeder Bürstenstellung erhält man eine bestimmte, mit der Belastung nur wenig abnehmende Drehzahl, die auch von Spannungsschwankungen des speisenden Netzes weitgehend unabhängig ist.

Auch das Anlassen des Motors geschieht durch Verändern der Bürstenstellung. Dabei ist, ehe der Hauptschalter eingelegt wird, auf die niedrigste Geschwindigkeit einzustellen. Bei größeren Motoren wird zur Verminderung des Anlaufstromes zwischen Ständer und Läufer ein



Abb. 244. Schalt-
kurzzeichen des
Drehstrom-Nebenschlußkollektor-
motors mit Läu-
ferspeisung.

Anlaufwiderstand gelegt. Das Umsteuern des Motors wird durch Vertauschen zweier Zuleitungen bewirkt.

Mit dem Motor¹ läßt sich ein Regelbereich von 1:5 erreichen, das gegebenenfalls auch bis auf 1:10 ausgedehnt werden kann.

b) Motor mit Ständerspeisung.

Ein von der AEG entwickelter Drehstrom-Kollektormotor mit Nebenschlußcharakter², Abb. 245, besitzt Ständerspeisung. Doch ist auf dem Ständer außer der Hauptwicklung *UVW* noch eine Hilfwicklung *uvw* untergebracht, die in den gleichen Nuten wie die Hauptwicklung liegt. Die Hilfwicklung steht über der Ständerwicklung (Sekundärwicklung) eines Drehtransformators, der Regelwicklung, mit dem Läufer des Motors in Verbindung. Die Läuferwicklung (Primärwicklung) des Dreh-

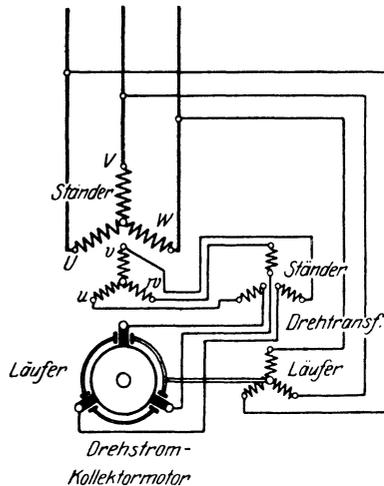


Abb. 245. Nebenschlußkollektormotor mit
Ständerspeisung und Drehtransformator.

¹ Siehe auch Baltz, Drehstrom-Nebenschlußmotor und Arbeitsmaschine. ETZ 1936, 233.

² Rosenthal, Stufenlos regelbare Drehstrom-Nebenschlußmotoren mit Ständerspeisung. AEG-Mitt. 1929, 327. — Rupprecht, Vordringen des ständer-
gespeisten Drehstrom-Nebenschluß-Kommutatormotors. AEG-Mitt. 1940, 139.

transformators liegt am Netz. Die dem Läufer des Motors über seine Bürsten aufgedrückte Spannung setzt sich nach vorstehendem aus zwei Teilen zusammen: einmal aus der Spannung der Hilfswicklung des Motorständers und sodann aus der Ständerspannung des Drehtransformators. Letztere kann bekanntlich in ihrer Phasenlage, je nach der Einstellung des Läufers, verändert werden, und zwar so, daß sich eine resultierende Spannung ergibt, die, falls die Teilspannungen gleich groß gemacht werden, zwischen einem größten Wert und dem Werte Null beliebig einstellbar ist.

Ist nun die dem Läufer des Motors aufgedrückte Spannung Null, also nur die in ihm vom Ständerfeld induzierte Spannung wirksam, so läuft der Motor mit nahezu synchroner Drehzahl. Von dieser entfernt er sich dagegen, wenn die aufgedrückte Spannung größer wird.

Mit der Verstellung des Läufers des Drehtransformators geht nun eine Verstellung der Bürstenbrücke des Motors Hand in Hand. Damit wird erreicht, daß die dem Motorläufer aufgedrückte Spannung zu der in ihm induzierten Spannung parallel liegt, d. h. daß sie ihr entweder gleich- oder entgegengerichtet ist. Die Gesamtspannung im Läufer ist also gleich der Summe von induzierter und aufgedrückter Spannung oder gleich der Differenz beider Spannungen. Hat die aufgedrückte Spannung die gleiche Richtung wie die induzierte Spannung, so nimmt der Motor eine übersynchrone Drehzahl an, die um so höher liegt, je größer die Gesamtspannung ist. Ist die aufgedrückte Spannung der induzierten Spannung entgegengerichtet, wird die Gesamtspannung also kleiner, so ergibt sich eine untersynchrone Drehzahl.

In der praktischen Ausführung sind der Läufer des Drehtransformators und die Bürstenbrücke des Motors in bestimmter Weise durch Zahnräder miteinander verbunden, und sie können durch ein gemeinsames Handrad verstellt werden. Die mechanische Verbindung beider Teile ist in der Abbildung durch Doppellinien angedeutet. Mit dem Motor läßt sich innerhalb eines weiten Regelbereiches (1:3 und höher) eine stufenlose Änderung der Drehzahl erzielen.

135. Drehstrom-Kollektormotor im Anschluß an ein Hochspannungsnetz.

Die Verbindung eines Hauptschlußkollektormotors mit einem Drehstrom-Hochspannungsnetz zeigt das Schaltbild Abb. 246. Durch einen (Vorder-)Transformator *D. T.* wird eine für den Kollektor zulässige Niederspannung hergestellt, die über Sicherungen und einen dreipoligen Schalter mit selbsttätiger Unterspannungsauslösung dem Drehstrommotor *D. M.* zugeführt wird. Spannungsmesser, Leistungsmesser und Zähler geben über die elektrischen Verhältnisse Aufschluß. Um ein Durchgehen des Motors bei zu geringer Belastung auszuschließen, ist mit ihm ein Zentrifugalschalter *Z. S.* verbunden, der mit der Spannungsauslösung des Hauptschalters hintereinander geschaltet ist, so daß beim Überschreiten einer bestimmten Geschwindigkeit der Strom des Auslösemagneten unterbrochen und somit der Motor vom Netz getrennt wird.

D. Induktionsmotoren mit Phasenausgleich.

136. Allgemeines.

Nicht der ganze von einem Induktionsmotor aufgenommene Strom verrichtet nutzbare Arbeit. Ein Teil dient als Erregerstrom lediglich zur Aufrechterhaltung des magnetischen Feldes; er bleibt hinter der Spannung um eine Viertelperiode zurück, ist also ein Blindstrom. Diese Erscheinung äußert sich in der Weise, daß zwischen dem dem Netz entzogenen Strom und der Netzspannung eine Phasenverschiebung eintritt, wobei der Strom verzögert ist. Durch den Anschluß asynchroner Motoren wird daher, besonders wenn sie nicht mit voller Belastung laufen, der Leistungsfaktor der Anlage herabgesetzt. Um die Phasenverschiebung aufzuheben, können Drehstrommotoren größerer Leistung mit einem besonderen Phasenkompensator ausgestattet werden, welcher — unter Zuhilfenahme eines Kollektors — den für die Magnetisierung erforderlichen Erregerstrom liefert, so daß er nicht dem Netz entnommen zu werden braucht.

Da der Phasenausgleich stets am sekundären Teil des Motors vorgenommen wird, im allgemeinen also vom Läufer aus geschieht, so setzt die Anwendung eines Kompensators einen Schleifringläufer voraus.

Bei kleineren und mittleren Leistungen kann die für die Kompensierung erforderliche Einrichtung auch organisch mit dem Motor, der alsdann auch einen Kurzschlußläufer besitzen kann, verbunden werden.

Phasenkompensierte Motoren stellen gewissermaßen die Vereinigung eines Induktionsmotors mit einem Kollektormotor dar.

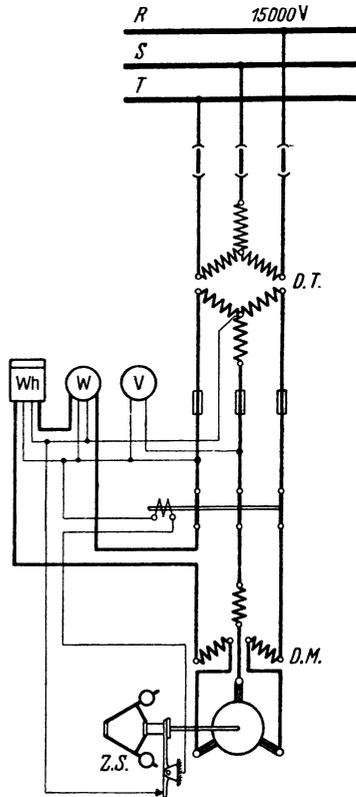


Abb. 246. Drehstrom-Kollektormotor im Anschluß an ein Hochspannungsnetz.

137. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Eigenerrregung.

Bei der von Scherbius angegebenen Anordnung wird die Phasenverschiebung eines Induktionsmotors durch eine kleine Drehstrom-Kollektormaschine aufgehoben. Der Ständer dieser Maschine, die gewöhnlich als Drehstrom-Erregermaschine¹ bezeichnet wird,

¹ Vgl. z. B., auch für die folgenden Abschnitte: Beckmann, Verbesserung des Leistungsfaktors. AEG-Mitt. 1923, 154.

erhält jedoch eine besonders einfache Form. Häufig wird er lediglich durch ein einfaches Schutzblech ersetzt, also ganz ohne Wicklungen ausgeführt, da ihm nur die Aufgabe zufällt, den magnetischen Schluß der Maschine zu bilden. Der Läufer der Maschine, der durch einen kleinen Motor angetrieben wird, ist in der für Drehstrom-Kollektormotoren

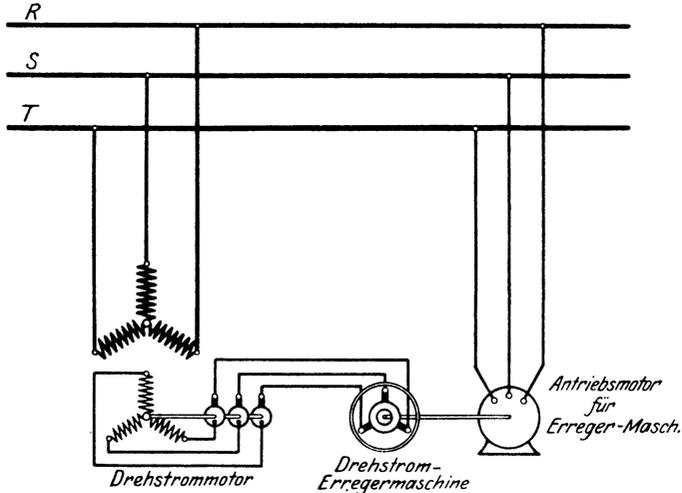


Abb. 247. Drehstrommotor mit eigenerregter Erregermaschine.

üblichen Weise (vgl. z. B. Abb. 237) mit einem dreiteiligen Bürstensatz versehen. Um auch bei den größten Stromstärken einen funkenfreien Lauf der Erregermaschine zu erzielen, kann ihr Ständer mit Wendespulen ausgestattet werden.

In Abb. 247 ist die grundlegende Schaltung unter Fortlassung des Anlaßwiderstandes angegeben. Der Drehstrom-Induktionsmotor, dessen

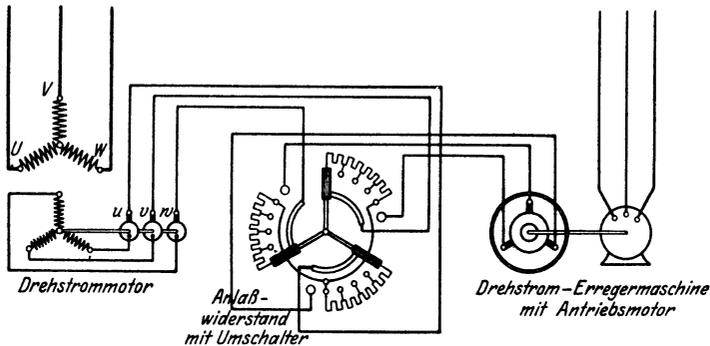


Abb. 248. Drehstrommotor mit Erregermaschine und Anlasser.

Leistungsfaktor verbessert werden soll, wird — nachdem er in üblicher Weise angelassen ist — mit der Erregermaschine verbunden, mit welcher der zum Antrieb dienende Drehstrommotor (z. B. mit Kurzschlußläufer) unmittelbar gekuppelt ist. Erfolgt der Antrieb übersynchron

im Sinne des von ihr erzeugten Drehfeldes, so wird dem Läufer des Induktionsmotors eine Spannung aufgedrückt, durch welche die Phasenverschiebung des Motors aufgehoben wird.

Abb. 248 zeigt die gleiche Schaltung, nur ist auch der Anlaßwiderstand des zu kompensierenden Motors aufgenommen, der, nach einer Ausführung von BBC, so eingerichtet ist, daß, nachdem der Motor angelassen, der Anlasser also kurzgeschlossen ist, durch Weiterdrehen der Anlaskerkurbel in die Endstellung sein Läufer von selbst auf die Erregermaschine geschaltet wird.

Mit der vorstehend behandelten eigenerregten Erregermaschine kann bei Vollast eine vollkommene Kompensierung erzielt werden, doch ist sie bei geringer Last weniger wirksam.

138. Die Drehstrom-Errégermaschine mit Selbsterregung.

Eine Erregermaschine, mit der sich auch bei verhältnismäßig kleinen Belastungen des Induktionsmotors der Leistungsfaktor 1 oder auch eine

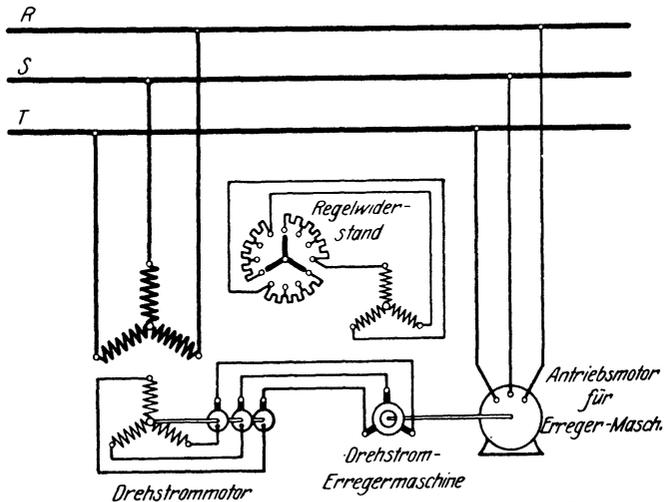


Abb. 249. Drehstrommotor mit selbsterregter Erregermaschine.

Phasenvoreilung des Stromes erzielen läßt, ist von Kozisek angegeben und wird von den SSW gebaut. Sie wird als selbsterregte Erregermaschine¹ geführt und unterscheidet sich von der eigenerregten Maschine wesentlich dadurch, daß sie einen gewickelten Ständer besitzt. In der Ständerwicklung wird, vom Läufer ausgehend, eine Spannung induziert, die bei einem geeigneten Verhältnis ihres Ohmschen und induktiven Widerstandes eine Selbsterregung der Maschine zur Folge hat, so daß diese Strom von der Schlupffrequenz an den Läufer des Induktionsmotors abgeben kann. Die Ständerwicklung der Erregermaschine kann als Kurzschlußwicklung oder auch als Phasenwicklung, Abb. 249, ausgeführt werden. In letzterem Falle kann sie, wie es auch in der Abbildung angegeben ist, mit regelbaren Widerständen in

¹ DRP. 471182.

Verbindung gebracht werden, durch welche sich der Leistungsfaktor des Induktionsmotors während des Betriebes auf einen gewünschten Wert einstellen läßt, ein Erfolg, der gegebenenfalls aber auch durch Änderung der Drehzahl des Antriebsmotors erzielt werden kann.

139. Der Frequenzwandler.

Zur Aufhebung der Phasenverschiebung eines Drehstrommotors dient auch der Frequenzwandler, wie er von Heyland, und zwar ursprünglich für die Drehzahlregelung eines Induktionsmotors (vgl. Abschn. 180) angegeben und von den SSW ausgebildet wurde. Der Frequenzwandler ähnelt der eigenerregten Drehstrom-Erregermaschine, unterscheidet sich aber von ihr dadurch, daß sein Läufer außer dem Kollektor noch drei Schleifringe besitzt, die in bestimmter Weise an

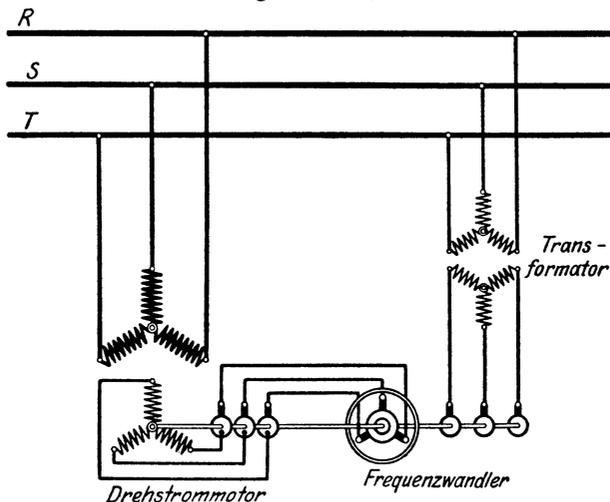


Abb. 250. Drehstrommotor mit Frequenzwandler.

die Wicklung angeschlossen sind, und durch welche ihm vom Drehstromnetz aus über einen Transformator ein magnetisches Feld aufgedrückt wird. Dadurch wird seine Wirkung von der Belastung des zu kompensierenden Induktionsmotors unabhängig; er ist also auch bei kleiner Belastung wirksam.

Abb. 250 zeigt die Schaltung. Der Läufer des Induktionsmotors wird, nachdem dieser angelassen ist, in bekannter Weise auf die Kollektorbürsten des Frequenzwandlers geschaltet. Der Wandler muß synchron mit dem Induktionsmotor angetrieben werden; er wird daher mit diesem, wenn er die gleiche Polzahl hat, unmittelbar gekuppelt. Doch kann er, um kleine Abmessungen zu erhalten, auch für eine geringere Polzahl wie der Induktionsmotor und daher erhöhte Drehzahl eingerichtet werden; in diesem Falle ist ein Zahnradvorgelege einzuschalten (vgl. Abb. 303). Der Ständer des Frequenzwandlers kann zwar grundsätzlich ohne Wicklung ausgeführt werden, doch versieht man ihn zur Erzielung funkenfreien Laufs in der Regel mit einer Wendewicklung.

Der Leistungsfaktor des Drehstrommotors kann durch geeignete Phasenlage der Sekundärspannung des Erregertransformators — z. B. unter Anwendung eines Drehtransformators — auf einen bestimmten Wert eingestellt oder es kann auch die Verbindung des Frequenzwandlers mit dem Motor durch eine Kupplung hergestellt werden, welche die magnetischen Achsen beider Maschinen gegeneinander zu verdrehen erlaubt.

140. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Netzerregung.

Die Drehstrom-Erregermaschine mit Netzerregung der SSW¹, die wie die Maschine mit Selbsterregung von Kozisek entwickelt wurde, kann man sich aus dem Frequenzwandler hervorgegangen denken. Ihr Ständer besitzt jedoch wie derjenige eines normalen Drehstrom-Induktionsmotors eine dreiphasige Wicklung. Wie das

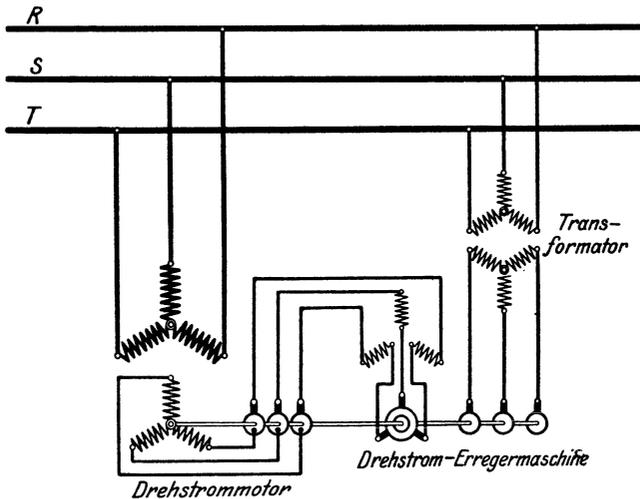


Abb. 251. Drehstrommotor mit vom Netz erregter Erregermaschine.

Schaltbild Abb. 251 zeigt, sind die Phasen nicht miteinander verkettet, sondern einerseits mit den auf dem Kollektor der Erregermaschine schleifenden Bürsten, andererseits mit den Schleifringen des zu kompensierenden Hauptmotors verbunden. Die Schleifringe der Erregermaschine stehen, wie beim Frequenzwandler, über einen Transformator mit dem Drehstromnetz in Verbindung. Auch wird die Erregermaschine wie beim Wandler mit der Hauptmaschine unmittelbar gekuppelt oder, bei abweichender Polzahl, durch ein Rädergetriebe verbunden.

Die Erregermaschine mit Netzerregung zeichnet sich durch besonders günstige Stromwendebeziehungen am Kollektor aus, und sie zeigt demgemäß nur geringe Neigung zur Funkenbildung. Es ist dies darauf zurückzuführen, daß durch die Ständerwicklung, die wie die Kompensationswicklung einer Gleichstrommaschine wirkt, das Ankerfeld aufgehoben wird (s. Abschn. 31).

¹ Kozisek, Drehstrom-Erregermaschine mit Fremderregung. ETZ 1925, 142.

Die Einstellung auf den gewünschten Leistungsfaktor kann z. B. mittels einer regelbaren Kupplung (s. Abschn. 139) geschehen und wird meist so vorgenommen, daß der Induktionsmotor bei normaler Belastung mit dem Leistungsfaktor 1 arbeitet. Bei geringerer Belastung, insbesondere bei Leerlauf, tritt dann ein Überschuß an Blindstrom auf, so daß der Motor mit phasenvoreilendem Strom arbeitet, mit anderen Worten Blindleistung an das Netz abgibt.

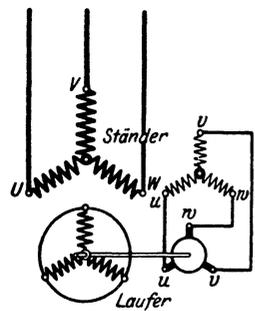
Von der Möglichkeit, daß ein mit einer vom Netz erregten Erregermaschine ausgerüsteter Induktionsmotor Blindleistung erzeugen kann, wird vielfach auch dann Gebrauch gemacht, wenn eine motorische Leistung nicht benötigt wird, es sich vielmehr lediglich darum handelt, den Leistungsfaktor des Netzes zu verbessern. In diesem Falle wird der Erregertransformator mit Regulierstufen versehen, um sich dem jeweiligen Blindleistungsbedarf bequem anpassen zu können. Die asynchrone Blindleistungsmaschine — sie wurde von Schenkel entwickelt — bildet ein Gegenstück zum übererregten Synchronmotor (vgl. Abschn. 103).

141. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Eigenkompensierung.

a) Motor mit Ständerspeisung.

Bei einem von Heyland angegebenen Induktionsmotor wird die Phasenkompensierung am Motor selbst vorgenommen, ein besonderer Kompensator erübrigt sich also. Der Netzstrom wird, wie bei einem normalen Drehstrom-Induktionsmotor, vom Ständer aufgenommen. Dieser besitzt jedoch noch eine Hilfswicklung. Ebenso trägt der sonst in gewöhnlicher Weise mit Kurzschlußwicklung versehene oder mit Schleifringen und Anlaßwiderstand ausgestattete Läufer eine Hilfswicklung. An diese ist ein kleiner Kollektor angeschlossen, der einen dreiteiligen Bürstensatz trägt. Die Bürsten sind mit der Ständerhilfswicklung verbunden, die den für die Erregung des Motors erforderlichen Blindstrom liefert.

Abb. 252. Kompensierter Motor mit Ständerspeisung.



Dieser braucht also nicht mehr dem Netz entnommen zu werden, und es wird daher bei geeigneter Bürstenstellung die Phasenverschiebung des vom Motor aufgenommenen Stromes aufgehoben; bei Leerlauf und geringer Belastung tritt Phasenvoreilung des Stromes ein.

Abb. 252 zeigt das Schaltbild des vorstehend gekennzeichneten Motors unter der Annahme eines Kurzschlußläufers. Er eignet sich namentlich für kleinere Leistungen.

b) Motor mit Läuferpeisung.

Einem von Osnos erfundenen kompensierten Motor wird der Netzstrom über den Läufer mittels Schleifringe zugeführt. Der Läufer bildet also den primären Teil des Motors. In den Nuten des Läufers ist

außer der eigentlichen Arbeitswicklung auch die nur wenig Platz einnehmende Kompensationswicklung untergebracht. Mit dieser ist ein Kollektor verbunden, der wiederum mit einem dreiteiligen Bürstensatz ausgestattet ist. Der Ständer des Motors stellt dessen sekundären Teil vor. Er steht mit dem dreiteiligen Anlaßwiderstand in Verbindung. In seiner Wicklung wird bei der Drehung des Läufers eine Spannung induziert, die einen Strom zur Folge hat. Außerdem wird der Wicklung aber auch der dem Kollektor entnommene Erregerstrom aufgedrückt.

Abb. 253 zeigt die allgemeine Schaltung des nach vorstehenden Gesichtspunkten gebauten kompensierten Motors der Sachsenwerke¹.

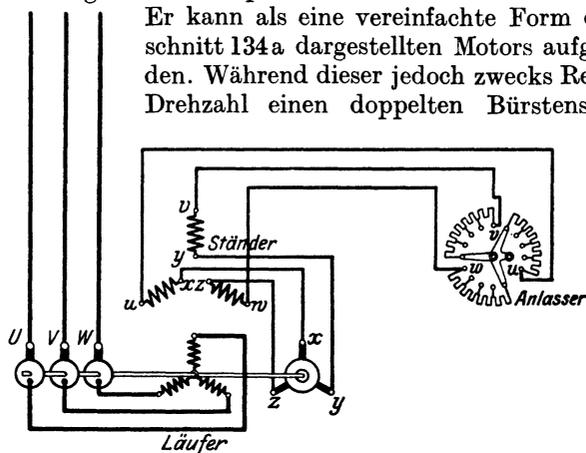


Abb. 253. Kompensierter Motor mit Läuferpeisung.

Er kann als eine vereinfachte Form des in Abschnitt 134a dargestellten Motors aufgefaßt werden. Während dieser jedoch zwecks Regelung der Drehzahl einen doppelten Bürstensatz trägt,

besitzt der kompensierte Motor nur einfache Bürsten auf dem Kollektor. Der Motor arbeitet mit einem günstigen Wirkungsgrad, und sein Leistungsfaktor hat bei den verschiedensten Belastungen den Wert 1. Auch kann — durch entsprechende Einstellung der Bürsten — dem Strom gegenüber der Spannung eine Phasenvoreilung erteilt werden.

142. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Gleichstromerregung.

a) Motor mit Ständerspeisung.

Der Induktionsmotor kann auch zum Zweck der Phasenkompensierung mit einer Gleichstrom-Erregermaschine ausgerüstet werden. Der Motor wird, dem Schaltbild Abb. 254 entsprechend, mit Hilfe eines dreiteiligen Anlaßwiderstandes in bekannter Weise in Gang gesetzt. Der Regler der zur Erregung vorgesehenen, mit dem Motor gekuppelten Nebenschlußmaschine ist hierbei zunächst geöffnet. Ihr Anker wirkt wie ein Teil des Anlaßwiderstandes. Nach erfolgtem Anlauf wird der Regler geschlossen und somit den Läuferphasen der von der Gleichstrommaschine gelieferte Strom aufgedrückt. Der Motor nimmt alsdann die synchrone Drehzahl an und verhält sich überhaupt wie ein

¹ Hartwagner, Fortschritte im Bau kompensierter Motoren. ETZ 1928, 1253.

Synchronmotor, arbeitet also bei richtiger Erregung mit dem Leistungsfaktor 1. Tritt starke Überlastung ein, so fällt die Maschine aus dem Synchronismus und läuft dann asynchron weiter, um bei Entlastung wieder selbsttätig die synchrone Geschwindigkeit zu erreichen. Die beschriebene Bauart setzt einen Motor voraus, dessen Wicklungen der Eigenart des Betriebes angepaßt sind. Die Erregermaschine kann mit dem Motor konstruktiv vereinigt werden. Die Anordnung wird häufig als synchronisierter Asynchronmotor bezeichnet.

b) Motor mit LäuferSpeisung.

Bei einer anderen von Schüler¹ angegebenen Bauart eines synchronisierten Asynchronmotors wird der Netzstrom dem Läufer über Schleifringe zugeführt, der demnach den primären Teil des Motors darstellt. Doch besitzt der Läufer noch eine zweite

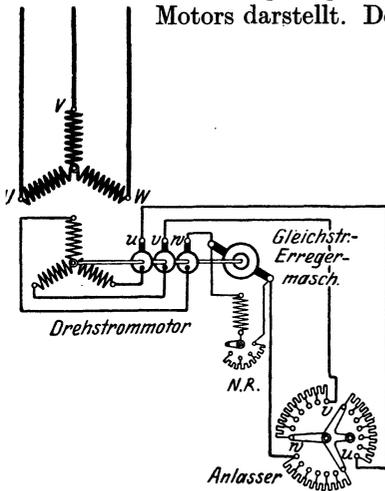


Abb. 254. Drehstrommotor mit Gleichstrom-Erregermaschine.

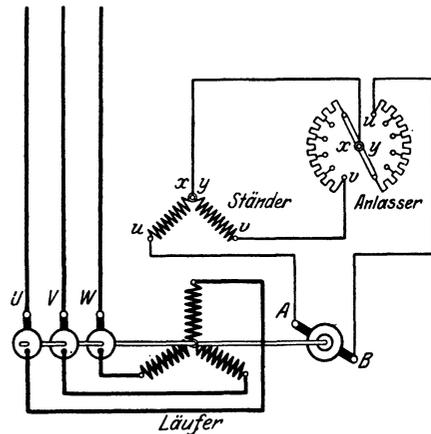


Abb. 255. Gleichstromerregter Drehstrommotor mit LäuferSpeisung.

Wicklung. Diese steht mit einem kleinen Kollektor AB in Verbindung, mit dessen Hilfe — wie bei einem Einankerumformer (s. Abschn. 152) — ein Teil der aufgenommenen Drehstromleistung bei synchronem Lauf in Gleichstrom umgewandelt wird. Der Ständer der Maschine besitzt eine zweiphasige Wicklung, welcher der Erregergleichstrom zugeführt wird, und die in der in Abb. 255 angegebenen Weise mit dem Anlasser in Verbindung steht. Die Eigenschaften des Motors sind ähnliche wie die des ständergespeisten Motors.

143. Phasenkompensierung durch Kondensatoren.

Die einfachste Möglichkeit, um die durch Induktionsmotoren — oder auf andere Weise — in einem Netz hervorgerufene Phasenver-

¹ Schüler; Der Klein-Synchronmotor. ETZ 1923, 4.

zögerung des Stromes aufzuheben, bietet die Anwendung von Kondensatoren. Das Mittel ist längst bekannt, hat sich aber erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit in größerem Umfange eingeführt, nachdem es gelungen ist, brauchbare Kondensatoren preiswert herzustellen; es wird heute in ausgedehntester Weise angewendet. Abb. 256 zeigt einen Drehstrom-Induktionsmotor — mit Kurzschluß oder Schleifringläufer — mit einem ihm parallel geschalteten Satz in Dreieck verbundener Kondensatoren. Bei Hochspannung empfiehlt es sich, den Kondensatoren Dämpfungswiderstände vorzuschalten, um die beim Laden bzw. Entladen auftretenden Stromstöße abzuschwächen.

Aus Ersparnisgründen kann für eine Anzahl Motoren auch eine gemeinsame Kondensatorenbatterie eingebaut werden. Eine solche

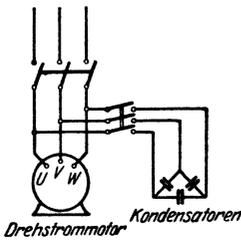
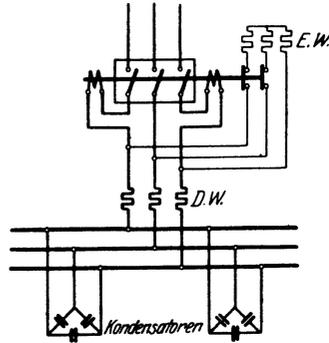


Abb. 256. Drehstrommotor mit Kondensatorenbatterie.



[Abb. 257. Kondensatoren mit Anschlußleitung für ein Hochspannungsnetz.

„Gruppenverbesserung“ des Leistungsfaktors — nach einer Ausführung der SSW — soll durch die Abb. 257 zur Darstellung gebracht werden, die den Anschluß von Kondensatoren an ein Hochspannungsnetz zeigt. Damit Restladungen aus der Batterie entfernt werden, sind Entladungswiderstände *E. W.* vorgesehen, welche beim Abschalten der Kondensatoren vom Netz mit Hilfe des Hochspannungsschalters selbsttätig eingeschaltet werden. *D. W.* sind die Dämpfungswiderstände.

IX. Umformanlagen.

144. Allgemeines.

Um die dem Wechselstrom eigenen Vorteile mit denen des Gleichstromes zu verbinden, wird häufig ein gemischtes System angewendet, indem im Hauptwerk Wechselstrom erzeugt, ein Teil desselben aber — gegebenenfalls in besonderen Unterstationen — in Gleichstrom umgewandelt wird. Für diese Umwandlung stehen Umformer verschiedener Art zur Verfügung. Die Mehrzahl derselben läßt sich auch umgekehrt zur Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom benutzen doch kommt dieser Fall verhältnismäßig selten vor, und er ist daher im nachfolgenden im allgemeinen nicht berücksichtigt.

A. Synchroner Motorgeneratoren.

145. Gleichstromseitiges Anlassen des Motorgenerators.

Die Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom kann in Motorgeneratoren vorgenommen werden, die aus einem Wechselstrommotor und einem mit ihm gekoppelten Gleichstromgenerator zusammengesetzt sind. In vielen Fällen bevorzugt man bei Motorgeneratoren die Anwendung eines synchronen Wechselstrommotors. Er ist für Einphasen- und Drehstrom gleich gut geeignet und hat gegenüber dem asynchronen Motor den Vorteil durchaus gleicher Um-

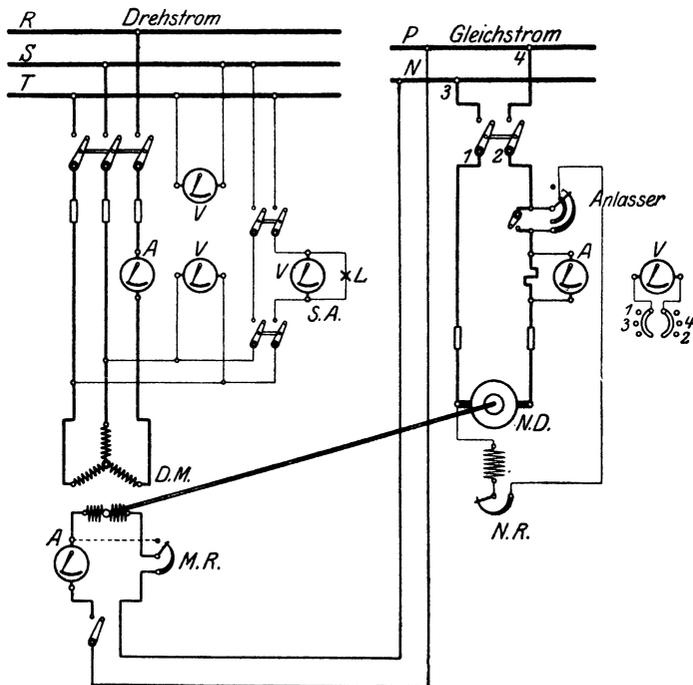


Abb. 258. Synchroner Motorgenerator mit Gleichstromanlasser.

laufzahl bei allen Belastungen. Vor allem aber kommt in Betracht, daß durch ihn der Leistungsfaktor des Netzes nicht verschlechtert wird, sondern sogar, durch Übererregen, verbessert werden kann, ein Umstand, der namentlich bei größeren Umformerleistungen häufig ausschlaggebend ist (vgl. Abschn. 103). Dagegen ist dem Anlassen des Synchronmotors besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

In vielen Fällen ist ein Anlassen des Umformers von der Gleichstromseite aus möglich. Die Gleichstrommaschine wird zunächst als Motor betrieben, und ihre Drehzahl wird so lange verändert, bis der Synchronismus erreicht ist. Hierauf wird der Synchronmotor, nachdem seine Spannung auf die Netzspannung einreguliert ist, eingeschaltet,

worauf schließlich der normale Betrieb hergestellt, d. h. die Gleichstrommaschine durch entsprechende Erregung zur Stromlieferung herangezogen wird.

Die anzuwendende Schaltung ist in Abb. 258 für eine Niederspannungsanlage angegeben. *D.M.* bedeutet den synchronen Drehstrommotor, er ist an die Schienen *R, S, T* gelegt. Zur Feststellung der vom Motor aufgenommenen Stromstärke ist ein Strommesser eingebaut. Spannungsmesser sind sowohl für die Netzspannung als auch für die Motorspannung vorgesehen. Der aus Phasenlampe und Phasenvoltmeter bestehende Synchronismusanzeiger kann mittels kleiner Schalter einerseits an zwei Leitungen des Drehstrommotors und anderer-

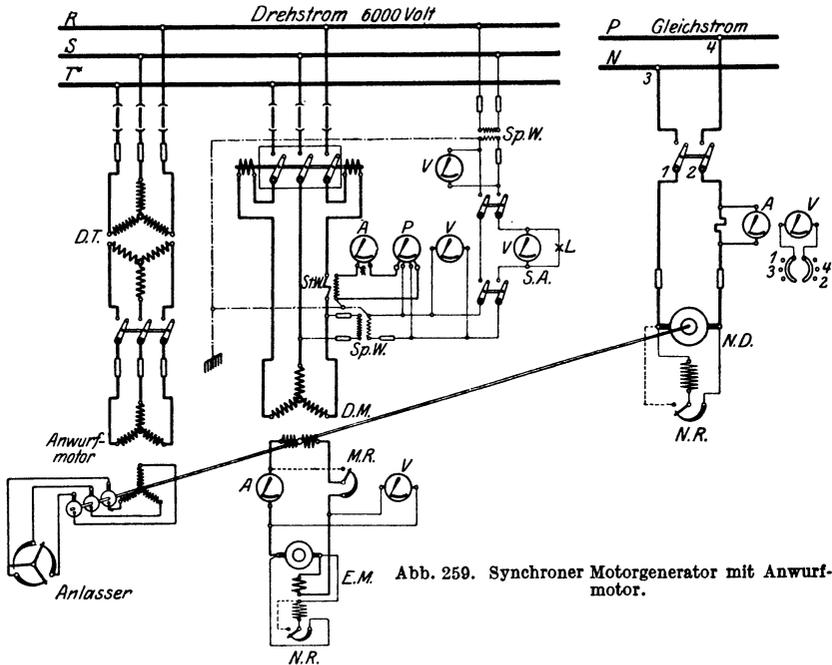


Abb. 259. Synchroner Motorgenerator mit Anwurfmotor.

seits an die entsprechenden Drehstromschienen gelegt werden. Der Erregerstrom des Drehstrommotors, dessen Stärke durch den Magnetregler *M. R.* eingestellt werden kann, wird von den Gleichstromsammelschienen *P* und *N* entnommen, falls nicht eine eigene Erregermaschine vorhanden ist. Der für die Gleichstrom-Nebenschlußmaschine *N. D.* vorgesehene Anlasser wird im normalen Betriebe durch einen Schalter überbrückt. Doch ist die Kurbel des Anlassers während des Betriebes in der Arbeitsstellung zu belassen, damit die Erregung der Maschine nicht verlorengeht. Der Nebenschlußregler *N. R.* dient zum Einstellen der Gleichstromspannung, doch fällt ihm auch während der Anlaßperiode die Aufgabe des Drehzahlreglers zu. Es ist daher (vgl. Abschn. 54) der Ausschaltkontakt fortzulassen. Ein Strom- und ein Spannungsmesser, letzterer mit Umschalter für die Maschinen- und Netzspannung, geben über die elektrischen Verhältnisse auf der Gleichstromseite Aufschluß.

erreicht wird und der Hauptmotor eingeschaltet werden kann. Nachdem dies geschehen ist, wird der Anwurfmotor vom Netz abgeschaltet und, falls er durch eine ausrückbare Kupplung mit dem Maschinensatz verbunden ist, stillgesetzt.

147. Drehstromseitiges Anlassen des Motorgenerators.

Das Schaltbild eines zur Umformung von Drehstrom in Gleichstrom dienenden synchronen Motorgenerators, der von der Drehstromseite aus angelesen wird, ist in Abb. 260 zur Darstellung gebracht. Der Synchronmotor ist, wie in Abschn. 105 dargelegt wurde, mit einer Dämpferwicklung zu versehen. Auch ist ein Anlaßtransformator erforderlich. Die Bedienung gestaltet sich einfacher als bei den vorstehend erörterten Anlaßverfahren, da der Drehstrommotor von selbst in den Synchronismus hineinfließt. Die beim Anlassen, nachdem der Schalter geschlossen ist, vorzunehmende Handgriffe sind an erwähnter Stelle eingehend geschildert worden.

B. Asynchrone Motorgeneratoren.

148. Motorengenerator für Niederspannung.

Den mannigfachen Vorzügen des Synchronmotors steht als Nachteil das etwas umständliche Anlaßverfahren gegenüber. Handelt es sich im besonderen um die Umformung von Drehstrom, so wird man daher häufig zum asynchronen Induktionsmotor greifen,

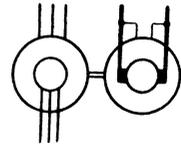


Abb. 261. Schaltkurzzeichen eines asynchronen Motorgenerators: Drehstrommotor mit Gleichstromgenerator.

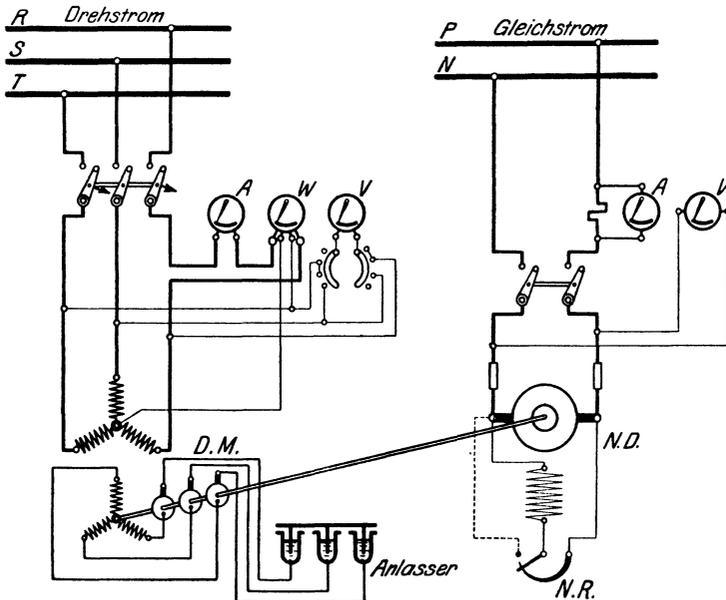


Abb. 262. Asynchroner Motorengenerator für Niederspannung.

bei dem das Anlassen in einfachster Weise vorgenommen werden kann. Das Schaltkurzzeichen eines derartigen Umformers zeigt Abb. 261.

Das Schaltbild einer Anlage mit einem asynchronen Motor-generator gibt Abb. 262 wieder. Der über einen dreipoligen Überstromschalter (Auslösung in zwei Phasen) an das Netz angeschlossene Drehstrommotor besitzt einen Schleifringläufer und wird über Flüssigkeitswiderstände angelassen. Die Gleichstromdynamo ist als Nebenschlußmaschine gewickelt. Zur Feststellung der drehstromseitig aufgenommenen Leistung ist ein Wattmeter eingebaut (Dreiwattmeter-schaltung, Abschn. 22 b, 1. Absatz).

Ampere- und Voltmeter geben Einblick in die Strom- und Spannungsverhältnisse, mit Hilfe des vorgesehenen Umschalters können alle drei Leiterspannungen gemessen werden. Die Gleichstromseite enthält an Meßinstrumenten lediglich einen Strommesser und einen Spannungsmesser.

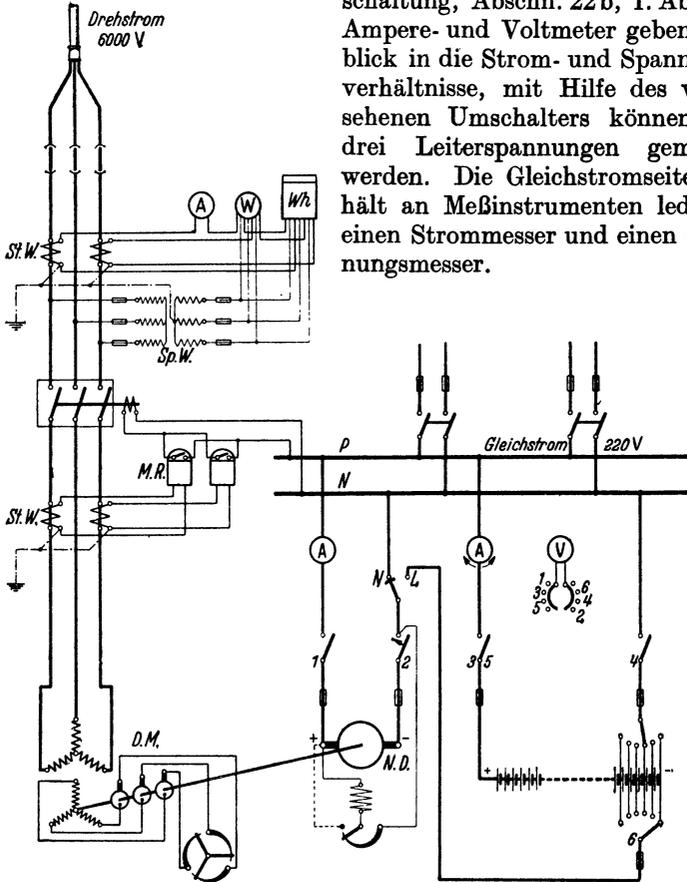


Abb. 263. Asynchroner Motorgenerator für Hochspannung.

149. Motorgenerator für Hochspannung.

Der Induktionsmotor des Umformers kann, wenigstens bei größeren Leistungen, auch unmittelbar für Hochspannung eingerichtet sein (vgl. Abschn. 128). Im Schaltplan Abb. 263 wird der hochgespannte Drehstrom dem Motorgenerator durch ein Kabel, in bekannter Weise über Trenn- und Leistungsschalter, zugeführt. Der für die Relaisauslösung des letzteren benötigte Hilfsstrom wird den Sammelschienen der Gleich-

stromseite entnommen. Die Relais sowohl als auch alle Meßgeräte (Leistungsmesser und Zähler in Zweiwattmeterschaltung) sind über Wandler angeschlossen.

Die mit dem Drehstrommotor gekuppelte Nebenschlußdynamo liefert Niederspannungsgleichstrom, der durch eine Anzahl Verteilungsleitungen dem Gleichstromnetz zugeführt wird. Durch eine Akkumulatoren-batterie findet die Anlage eine wünschenswerte Vervollständigung.

150. Umformeranlage zum Betrieb einer Grubenbahn.

Abb. 264 zeigt den Schaltplan einer kleineren Umformeranlage zum Betrieb einer Grubenbahn nach einer Ausführung der SSW. Derartige Bahnen werden zweckmäßig mit Gleichstrom betrieben. Es

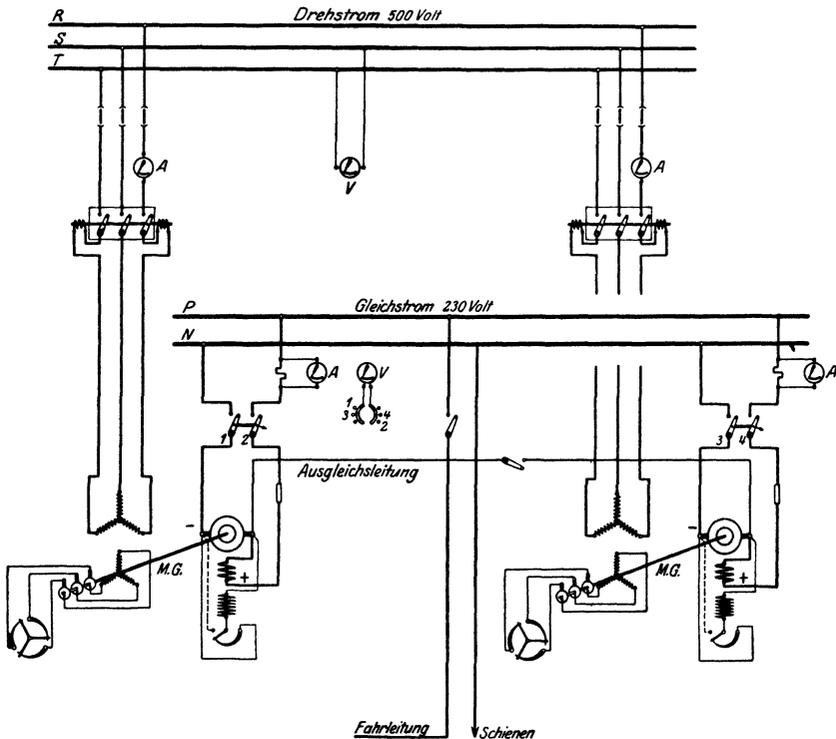


Abb. 264. Umformeranlage zum Betrieb einer Grubenbahn.

muß daher, da in dem betreffenden Werk sonst nur Drehstrom zur Verfügung steht, eine Umformung vorgenommen werden.

Es sind zwei asynchrone Motorgeneratoren *M.G.* aufgestellt. Die Drehstromspannung beträgt 500 Volt. Für die Leistungsschalter ist Überstromauslösung in zwei Leitungen vorgesehen.

Die Gleichstrommaschinen für 230 Volt Spannung besitzen Doppelschlußwicklung, und es ist daher, um einen sicheren Parallelbetrieb zu gewährleisten, eine Ausgleichsleitung (vgl. Abschn. 37) verlegt

worden. Die zweipoligen Hauptschalter sind nur im positiven Pole mit Überstromauslösung versehen. Im gleichen Pole befinden sich überdies Schmelzsicherungen (vgl. Abschn. 7a, letzter Absatz). Der negative Pol ist nicht gesichert, da er mit den Schienen verbunden, also geerdet ist. Der positive Pol ist auf die Fahrleitung geschaltet. Der Einbau von Meßgeräten ist auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt worden.

151. Umformeranlage zum Betrieb einer Straßenbahn.

Als weiteres Beispiel der Anwendung asynchroner Motorgeneratoren ist in Abb. 265 der Schaltplan der Umformeranlage für eine elektrische Straßenbahn gegeben. Es handelt sich darum, den von einem Elektrizitätswerk gelieferten und über eine Freileitung zugeführten Drehstrom von 8000 Volt Spannung in den für den Betrieb der Bahn erforderlichen Gleichstrom überzuführen. Dieser wird, da die zu speisende Strecke eine Länge von mehr als 8 km hat, mit der verhältnismäßig hohen Spannung von 1000 Volt erzeugt.

Der in die Freileitung eingebaute Hochspannungsschalter, ein öl- armer Schalter (s. Abschn. 8), ist, um Überlastungen vorzubeugen, mit Überstromauslösung versehen, und zwar in sekundärer unmittelbarer Anordnung. Durch Schmelzsicherungen, die zu den Auslösespulen parallel geschaltet sind, wird die Auslösezeit von der Größe der Überlastung abhängig gemacht (s. Abschn. 97). Damit bei ausbleibendem Strom die Leitung sofort selbsttätig abgeschaltet wird, wirkt auf den Schalter auch ein an den Spannungswandler angeschlossener Unterspannungsmagnet ein. Die für die Freileitung angewendeten Meßgeräte bieten nichts Bemerkenswertes. Zur Feststellung der zugeführten elektrischen Arbeit ist außer einem Zähler ein registrierender Leistungsmesser vorhanden. Gegebenenfalls ist für die Freileitung ein Überspannungsschutz vorzusehen.

Für die Umformung des Stromes sind zwei Motorgeneratoren aufgestellt, von denen in der Regel nur einer im Betriebe ist. Der den Umformern zugeführte Drehstrom wird durch je einen Transformator zunächst auf eine Spannung von 500 Volt herabgesetzt. Durch die vor den Transformatoren liegenden Schalter (mit Überstromzeitauslösung) kann der gewünschte Umformersatz in Betrieb genommen werden. Die Antriebsseite jedes Umformers bildet ein asynchroner Drehstrommotor mit Flüssigkeitsanlasser. Er treibt die mit ihm gekuppelte Gleichstrom-Doppelschlußdynamo an, welche die für den Bahnbetrieb erforderliche Spannung liefert. Ihr positiver Pol ist mit der zugehörigen Sammelschiene über einen Schalter mit selbsttätiger Überstrom- und Rückstromauslösung, ihr negativer Pol mit der entsprechenden Schiene über einen einfachen Handschalter verbunden. Eine Ausgleichsleitung für die beiden Doppelschlußmaschinen ist nicht vorgesehen, da, wie schon bemerkt wurde, der Betrieb im allgemeinen von einer einzigen Maschine gedeckt wird, ein Parallelbetrieb also nicht in Frage kommt.

Zur Unterstützung der Umformer und als vorübergehende Reserve ist eine Pufferbatterie (485 Elemente) aufgestellt. Sie steht mit der

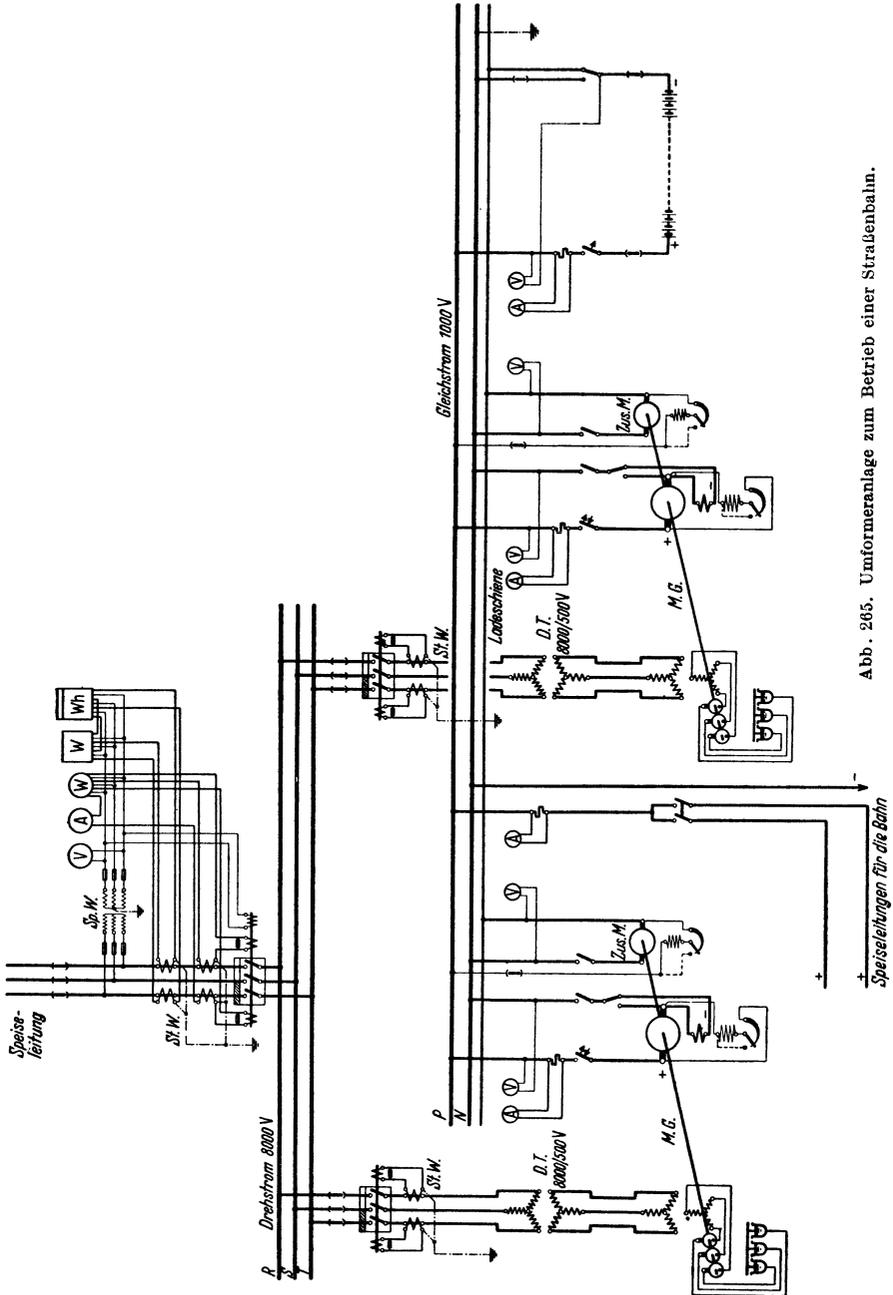


Abb. 265. Umformeranlage zum Betrieb einer Straßenbahn.

positiven Sammelschiene über einen Überstromschalter in Verbindung. Ihr negativer Pol kann über einen Umschalter entweder auf die negative Sammelschiene — Parallelbetrieb — oder für das gelegentliche

Aufladen der Batterie auf eine besondere Ladeschiene geschaltet werden. Die für die Ladung notwendige höhere Spannung wird durch Einschalten einer Zusatzmaschine, deren Spannung zwischen 50 und 300 Volt veränderlich ist, erzielt. Je eine solche ist mit den Motorgeneratoren gekuppelt und läuft für gewöhnlich leer mit. Beim Laden der Batterie ist der für sie vorgesehene einpolige Handschalter zu schließen. Dadurch wird sie mit der Betriebsmaschine in Reihe geschaltet, deren Spannung somit entsprechend erhöht wird. Während der Batterieladung wird die Hauptschlußwicklung der Betriebsmaschine mittels eines Umschalters unwirksam gemacht, so daß diese die Eigenschaften einer Nebenschlußmaschine annimmt.

Von der positiven Gleichstromsammelschiene gehen zwei Speiseleitungen aus, die mit den Fahrleitungen verbunden sind. Die negative Sammelschiene ist geerdet und steht durch eine Leitung mit den Schienen der Bahnstrecke in Verbindung. Auf den Einbau eines Überstromschutzes in die Speiseleitungen konnte verzichtet werden, da der Überstromschalter der gerade im Betriebe befindlichen Maschine auch die Leitungen sichert.

C. Einankerumformer.

152. Bauart und Schaltung des Umformers.

Der Einankerumformer entspricht in seiner Bauweise völlig einer Gleichstrommaschine, nur besitzt der Anker außer dem Kollektor noch Schleifringe — zwei bei Einphasen-, drei oder sechs bei Drehstrom —,

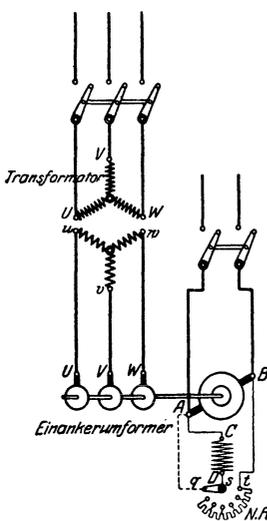


Abb. 266. Dreiphasiger Einankerumformer für Drehstrom.

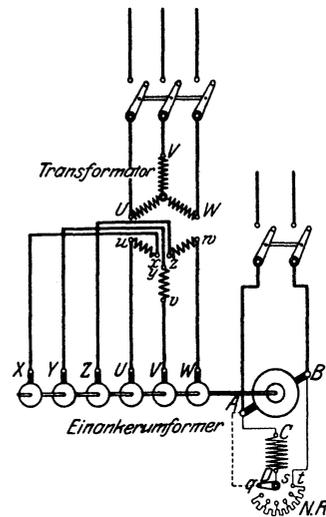


Abb. 267. Sechsheisiger Einankerumformer für Drehstrom.

die mit seiner Wicklung in bestimmter Weise verbunden sind. Kollektor und Schleifringe werden gewöhnlich auf entgegengesetzten Seiten des Ankers angeordnet. Über die Schleifringe wird der umzuformende

Wechselstrom dem Anker zugeführt, am Kollektor wird der Gleichstrom entnommen. Meistens werden die Umformer mit Wendepolen ausgestattet. Da das zwischen Wechselstrom- und Gleichstromspannung bestehende Übersetzungsverhältnis nicht beliebig gewählt werden kann, vielmehr einen bestimmten, hauptsächlich von der Phasenzahl des Wechselstromes abhängigen Wert hat, so muß mit dem Umformer in der Regel noch ein Transformator verbunden werden.

Die Schaltbilder Abb. 266 und 267 beziehen sich auf den Drehstrom-Gleichstrom-Umformer, und zwar ist der dreiphasige Umformer (3 Schleifringe) und der sechsphasige Umformer (6 Schleifringe) mit den üblichen Klemmenbezeichnungen dargestellt. Das Schaltkurzzeichen des Einankerumformers zeigt Abb. 268.

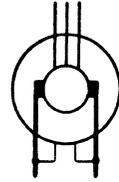


Abb. 268.
Schaltkurzzeichen
des (dreiphasigen)
Einankerumformers.

153. Gleichstromseitiges Anlassen des Umformers.

Ein an ein Wechselstromnetz angeschlossener Einankerumformer verhält sich wie ein Synchronmotor. Die für den synchronen Motorgenerator angegebenen Anlaßverfahren lassen sich daher sinngemäß auch auf den Einankerumformer anwenden.

So zeigt Abb. 269, unter Fortlassung der Meßgeräte, die Schaltung eines Drehstrom-Gleichstrom-Umformers für den Fall, daß er von der Gleichstromseite angelassen werden soll (vgl. Abschnitt 145 und Abb. 258). Der Umformer wird wie ein Gleichstrommotor mit Hilfe des Anlaßwiderstandes in Gang gebracht und, nachdem die Drehzahl mittels des Nebenschlußreglers auf Synchronismus einreguliert ist, an das Drehstromnetz angeschlossen, worauf zum normalen Betrieb übergegangen, der Umformer also gleichstromseitig belastet werden kann.

Die Verbindung des Einankerumformers *E. U.* mit dem Drehstromnetz erfolgt nach dem Schaltbild auf der Niederspannungsseite des Transformators, dessen Sekundärspannung der gewünschten Gleichstromspannung — unter Berücksichtigung der Übersetzung des Umformers — entsprechen muß. Sie ist gleich der vom Umformer bei der normalen Drehzahl gelieferten Wechselstromspannung, ehe er mit dem Transformator verbunden wird. Der Synchronismusanzeiger wird in der Regel niederspannungsseitig angeschlossen. Schmelzsicherungen auf der

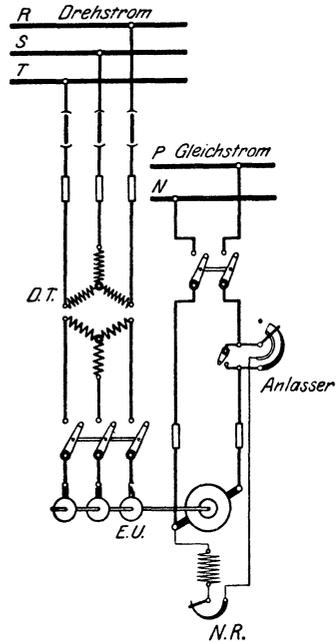


Abb. 269. Einankerumformer mit Gleichstromanlasser.

Drehstromseite als Schutz gegen Überlastung, wie im Schaltbild angenommen, sind nur bei kleinen Leistungen und nicht zu hohen Spannungen zu empfehlen. Bei Hochspannung werden, wie bekannt, Schalter mit Selbstauslösung vorgezogen.

154. Umformer mit Anwurfmotor.

Soll das Anlassen des Umformers durch einen Anwurfmotor erfolgen, so kann nach Abb. 270 geschaltet werden, die sich wieder auf einen Drehstrom-Gleichstrom-Umformer bezieht (vgl. Abschn. 146

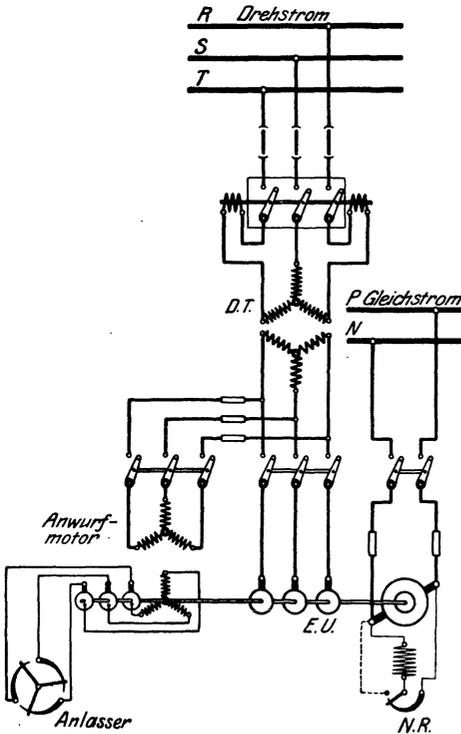


Abb. 270. Einankerumformer mit Anwurfmotor.

und Abb. 259). Bei kleineren Leistungen empfiehlt es sich, den Hilfsmotor, einen asynchronen Induktionsmotor, mit Niederspannung zu betreiben, ihn also an die Sekundärseite des Transformators anzuschließen. Bei größeren Leistungen kann er gegebenenfalls auch unmittelbar an Hochspannung gelegt werden. Im Schaltbild sind sowohl auf der Hochspannungs- als auch auf der Niederspannungsseite des Transformators Schalter vorgesehen. Der hochspannungsseitige Schalter besitzt selbsttätige Überstromauslösung.

155. Drehstromseitiges Anlassen des Umformers.

Einankerumformer, die vom Drehstromnetz aus angelassen werden sollen, erhalten eine Dämpferwicklung (s. Abschn. 105). In

Abb. 271 ist die Schaltung für einen sechsphasigen Drehstrom-Gleichstrom-Umformer, also einen Umformer mit sechs Schleifringen angegeben (vgl. Abschn. 147 und Abb. 260). Beim dreiphasigen Umformer vereinfacht sich das Schaltbild entsprechend. Die Sekundärwicklung des dem Umformer vorzuschaltenden Transformators ist, um die für das Anlassen erforderliche Teilspannung zu erhalten, mit einer Anzapfung versehen. Die Spannung wird dem Umformer über den Anlaßschalter *A S.* zugeführt. Es sei daran erinnert, daß die Magnetwicklung mit Rücksicht auf die in ihr induzierte hohe Spannung während der Anlaßperiode (durch einen besonderen Schalter) in mehrere Teile zu trennen oder in sich kurzzuschließen ist. Ist der Synchronismus

erreicht, so wird der Umformer mit der für den normalen Betrieb in Frage kommenden Stromstärke erregt und an die volle Drehstromspannung gelegt.

Die Polarität des vom Umformer gelieferten Gleichstromes ist, je nach der Polstellung, bei welcher die Maschine in Synchronismus gelangt, verschieden. Sie hängt also vom Zufall ab. Bei kleinen Leistungen empfiehlt es sich daher, die Verbindung des Umformers mit dem Gleichstromnetz über einen Umschalter herzustellen und diesen so einzulegen, wie es den erhaltenen Polen entspricht. Es sind jedoch auch verschiedene Verfahren ausgebildet worden, nach denen sich die gewünschte Polarität unmittelbar am Umformer erzielen läßt. Bei dem Verfahren der SSW z. B. wird falsche Polarität durch kurzes Öffnen des Anlaßschalters richtiggestellt. Dieses Umpolen darf jedoch nur bei stark geschwächtem Magnetstrom und bei der Anlaßspannung erfolgen, muß also vorgenommen werden, bevor die Maschine an die volle Spannung gelegt wird. Sobald nach Feststellung der richtigen Polarität der Umformer voll erregt ist, ist der Anlaßschalter sofort auf die Betriebsspannung umzulegen.

156. Spannungsregelung des Einankerumformers.

Im Gegensatz zum Motorgenerator, bei dem sich die erzeugte Gleichstromspannung durch den Nebenschlußregler beliebig einstellen läßt, wird beim Einankerumformer durch Regulieren des Erregerstroms die Spannung kaum beeinflußt. Die Größe des Erregerstromes bestimmt vielmehr, ebenso wie beim Synchronmotor (vgl. Abschn. 103), lediglich die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung. Es besteht daher auch beim Einankerumformer die Möglichkeit, den Leistungsfaktor des Wechselstromnetzes durch Übererregen der Maschine zu verbessern.

Um eine Spannungsregelung herbeizuführen, müssen besondere Hilfsmittel angewendet werden. Von den in der Praxis eingeführten Regelungsverfahren sollen nachfolgend einige kurz behandelt und es sollen die in Frage kommenden Schaltungen für den Fall der Umformung von Drehstrom in Gleichstrom angegeben werden.

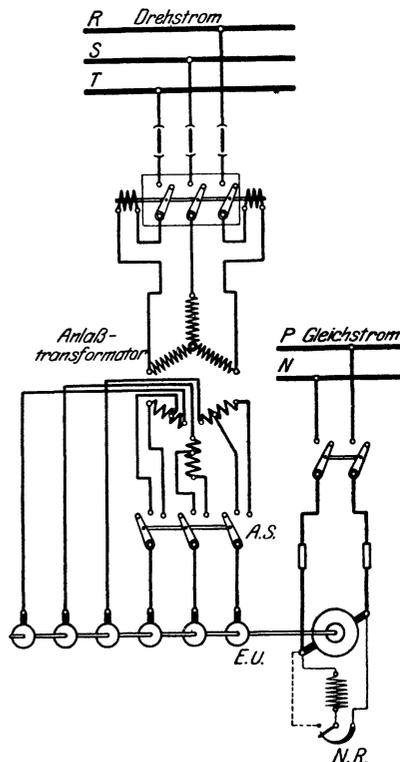


Abb. 271. Einankerumformer für drehstromseitiges Anlassen.

a) Regelung durch Drosselspulen.

Es werden nach Abb. 272 vor den Umformer Drosselspulen gelegt. Die in ihnen auftretende Spannung setzt sich mit der Sekundärspannung des Transformators zusammen, so daß die Gesamtspannung kleiner oder größer ausfällt: kleiner wird sie, wenn der vom Umformer aufgenommene Strom gegen die Spannung verzögert ist, sie wird größer, wenn der Strom vorauseilt. Unter der Wirkung der Drosselspulen kann daher durch Einstellen des Erregerstromes, da von

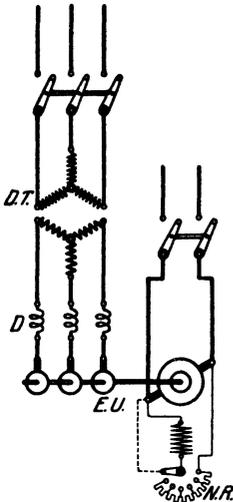


Abb. 272. Spannungsregelung eines Einankerumformers durch Drosselspulen.

ihm die Art und Größe der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung abhängt (Unter- oder Übererregen!), die dem Umformer zugeführte Wechselspannung und mithin auch die von ihm gelieferte Gleichstromspannung beeinflusst werden. Die auf diese Weise erzielbare Spannungsregelung ist zwar nur verhältnismäßig klein, aber ausreichend, um z. B. die Gleichstromspannung bei wechselnder Belastung konstant zu halten.

b) Regelung mittels Drehtransformators.

Ein sehr brauchbares Verfahren der Spannungsregelung von Einankerumformern, auch innerhalb weiterer Grenzen, ergibt sich durch Verwendung eines Drehtransformators (s. Abschn. 101). Die Erregerwicklung desselben (meistens der Läufer) wird an die Sekundärspannung des vor dem Umformer liegenden Transformators — er soll zum Unterschied vom Drehtransformator als Leistungstransformator bezeichnet werden — angeschlossen, während die Zusatzwicklung (der Ständer) dem Umformer vorgeschaltet wird. Die in dieser induzierte Spannung setzt sich daher mit der Sekundärspannung des Leistungstransformators zusammen. Die sich so ergebende Gesamtspannung, also die den Schleifringen des Umformers zugeführte Spannung, ist nun je nach der Einstellung des Läufers des Drehtransformators verschieden groß. Es läßt sich somit die vom Umformer gelieferte Gleichstromspannung, da ihre Höhe von der Schleifringspannung abhängt, auf den gewünschten Wert einregulieren.

In Abb. 273 ist die Schaltung eines dreiphasigen und in Abb. 274 die eines sechsphasigen Umformers in Verbindung mit einem Drehtransformator angegeben. Die drei Phasen der Ständerwicklung (im vorliegenden Falle der Zusatzwicklung) des Drehtransformators sind mit $u_1 u_2$, $v_1 v_2$, $w_1 w_2$, die der Läuferwicklung (Erregerwicklung) mit $x_1 x_2$ usw. bezeichnet.

157. Umformeranlage mit umschaltbarem Lichtnetz.

Der in Abb. 275 wiedergegebene Schaltplan bezieht sich auf eine Fabrik, die eine eigene Gleichstromanlage besitzt, aber nachträglich

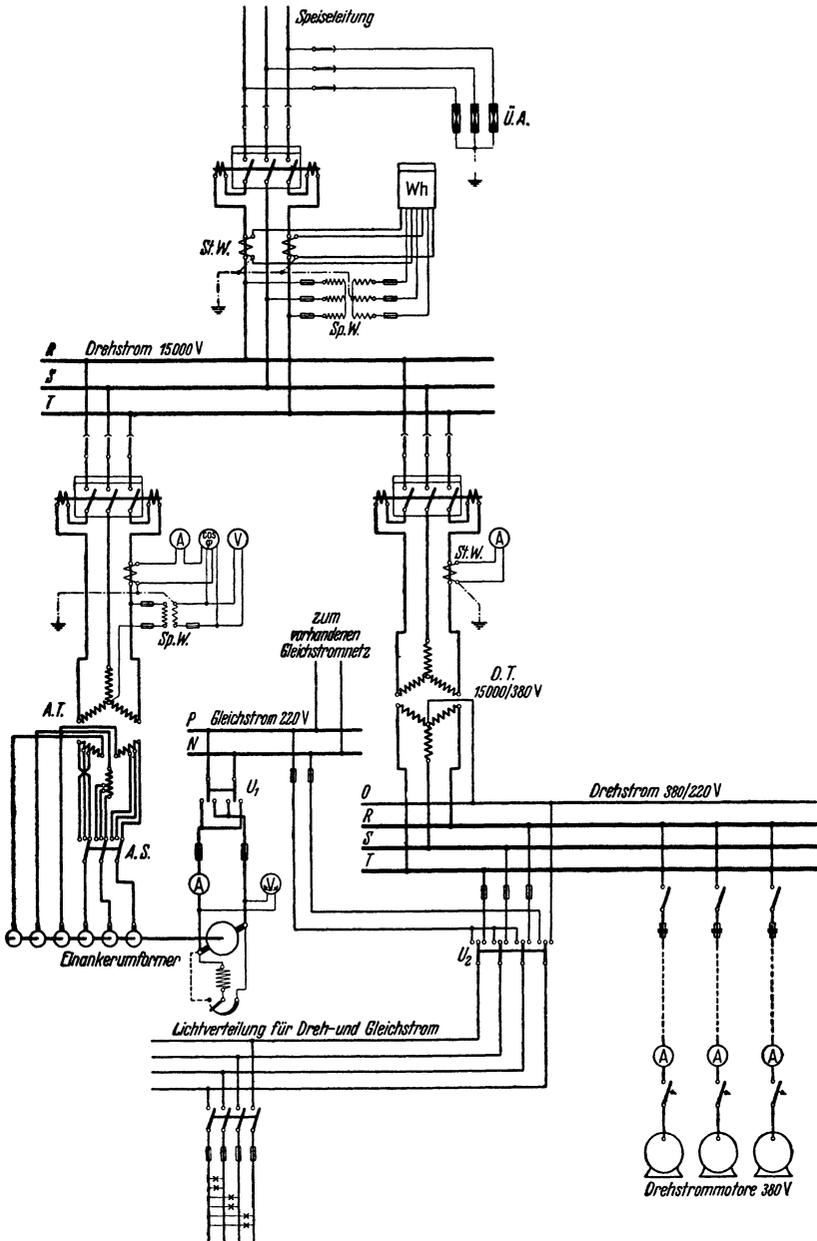


Abb. 275. Umformer- und Transformatoranlage mit umschaltbarem Lichtnetz.

verkettete Sekundärspannung von 380 Volt hat. Doch ist vom Transformator auch der Nulleiter abgenommen, wodurch man eine zweite Drehstromniederspannung erhält, nämlich 220 Volt zwischen den

Hauptleitern und dem Nulleiter. Das ist die gleiche Spannung, welche die Gleichstromanlage hat. Die Lichtanlage kann daher über den Umschalter U_2 nach Belieben mit Gleichstrom oder Wechselstrom gespeist werden. Beim Betrieb mit Gleichstrom bilden die drei Drehstromhauptleitungen, die durch den Umschalter zusammengefaßt werden, den einen Pol, den anderen Pol bildet die Nulleitung.

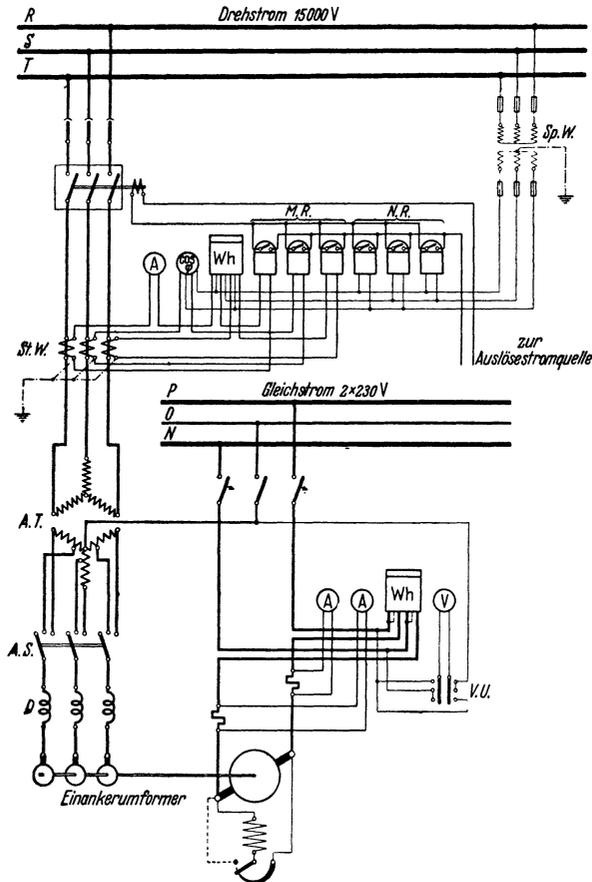


Abb. 276. Umformeranlage mit Dreileiter-Gleichstrombetrieb.

158. Umformeranlage mit Dreileiter-Gleichstrombetrieb.

In der Umformeranlage, deren Schaltplan Abb. 276 zeigt, steht Drehstrom von 15000 Volt zur Verfügung. Mit dem in der Zuführungsleitung zum Einankerumformer eingebauten Leistungsschalter sind Überstrom- und Unterspannungsrelais verbunden, der Hilfsstrom wird einer Gleichstromquelle entnommen. Der Schutz ist allpolig durchgeführt. An Meßgeräten sind je ein Strommesser, Phasenmesser und Zähler vorhanden.

Der Transformator *A. T.*, in dem die zur Erzeugung der gewünschten Gleichstromspannung notwendige Drehstromspannung hergestellt wird, ist wieder als Anlaßtransformator ausgebildet, da der Umformer drehstromseitig angelassen wird und ihm daher zunächst nur eine Teilspannung zugeführt werden darf. Der Umformer ist dreiphasig ausgeführt, besitzt also drei Schleifringe. Die vor die Schleifringe geschalteten Drosselpulen dienen zur Spannungsregelung (s. Abschn. 156 a).

Die Gleichstromspannung des Umformers beträgt 460 Volt. Es ist jedoch eine Teilung der Spannung auf 2×230 Volt vorgenommen, indem vom Nullpunkt des Transformators ein Mittelleiter abgenommen ist. Die Verbindungsleitungen zwischen Umformer und Gleichstromschienen enthalten einpolige Überstromschalter, im Nulleiter liegt ein gewöhnlicher Handschalter. Der Gleichstromzähler mißt die gesamte vom Umformer abgegebene Arbeit (vgl. Abb. 64). Durch weitere Meßgeräte können Stromstärke und Spannung jeder Netzhälfte wie auch die Außenleiterspannung festgestellt werden.

159. Umformeranlage mit Drehtransformator.

Der Schaltplan eines großen Umformers, der im Elektrizitätswerk einer größeren Stadt aufgestellt ist und dazu dient, einen Teil des im Werk erzeugten hochgespannten Drehstromes in Gleichstrom für den Betrieb der elektrischen Straßenbahn umzuwandeln, zeigt Abb. 277.

Der Umformer ist sechsphasig gebaut, trägt also sechs Schleifringe. Der Drehstrom hat eine Spannung von 3000 Volt, wird aber im vorgeschalteten Transformator, dem Leistungstransformator, so weit herabgesetzt (auf 367 Volt), daß der vom Umformer gelieferte Gleichstrom die für den Betrieb der Bahn erforderliche Spannung von 550 Volt hat. Die Regelung der Gleichstromspannung geschieht durch einen Drehtransformator. Zum Anlassen des Umformers dient ein Anwurfmotor. Zuführungsleitung und Hauptverbindungsleitungen sind mit Rücksicht auf die verhältnismäßig großen Entfernungen zwischen Drehstrom- und Umformerwerk als Kabel verlegt, im Schaltplan jedoch, abgesehen von der Verbindung zwischen Transformator und Umformer, als Einzelleitung gezeichnet.

Im einzelnen ist folgendes zu bemerken. Der vom Drehstromwerk gelieferte Strom wird den Schienen *R, S, T* der Umformeranlage zugeführt. An die Sammelschienen ist der Leistungstransformator über den Hochspannungsschalter angeschlossen. Dieser besitzt im vorliegenden Falle keine selbsttätige Ausschaltung, da der Überstromschutz bereits in der vom Drehstromwerk kommenden Hauptzuführungsleitung vorgenommen ist, ist aber für Fernsteuerung eingerichtet (s. Abschn. 9), so daß das Einschalten des Transformators und damit des Umformers von der Hauptschalttafel aus erfolgen kann. Zum Spannungsvergleich kann ein Voltmeter über einen Umschalter einerseits an die durch den Transformator erhöhte Spannung des Umformers, andererseits an die von den Drehstromgeneratoren gelieferte Spannung gelegt werden. Der Phasenvergleich erfolgt durch einen Synchronismus-

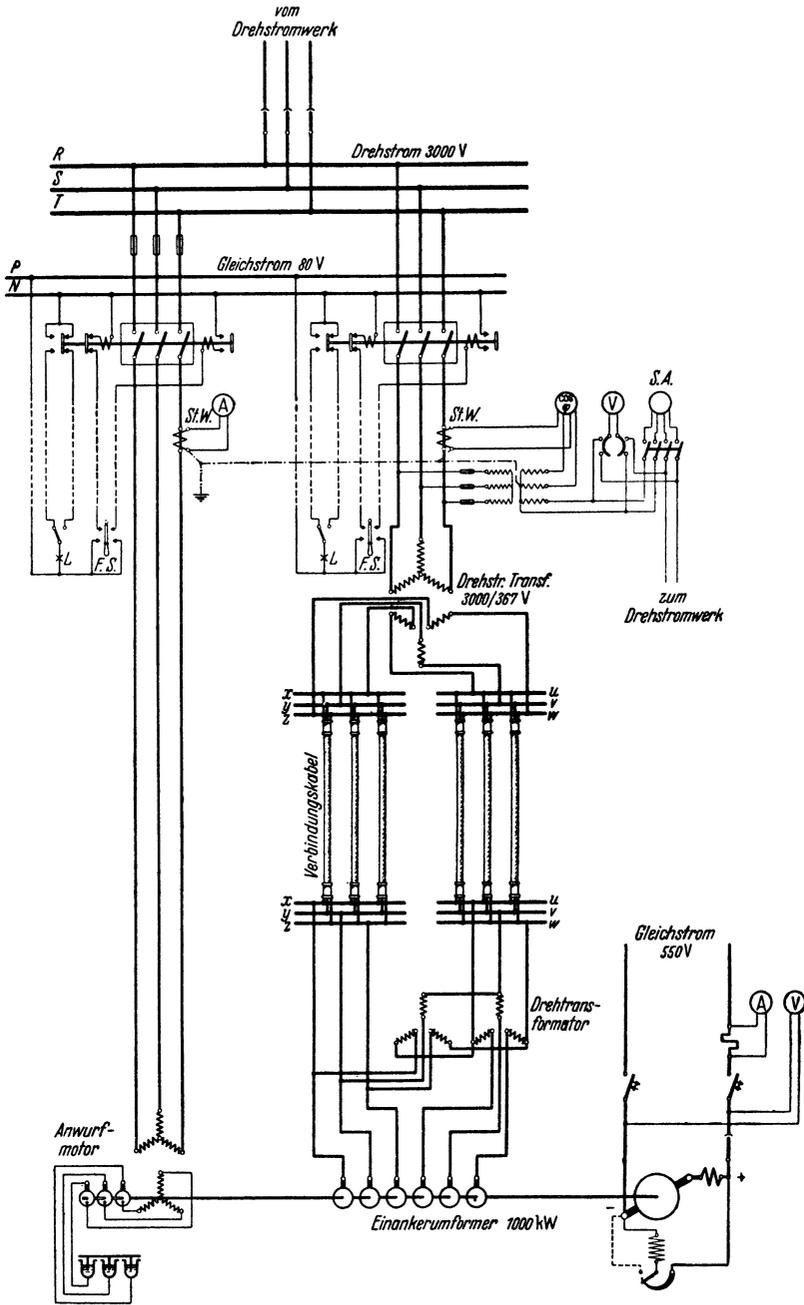


Abb. 277. Drehstrom-Gleichstrom-Umformer in einem Elektrizitätswerk.

anzeiger besonderer Bauart, der an die gleichen Spannungen angeschlossen werden kann. Ein Phasemesser gibt über den Leistungsfaktor Aufschluß, dessen Größe von der Einstellung der Erregung des Umformers am Nebenschlußregler abhängt.

Der Transformator ist primär in Stern geschaltet. Die offene Sekundärwicklung ist mit dem Umformer bzw. dem schon erwähnten Drehtransformator nach Art der Abb. 274 verbunden. Zur Bewältigung der großen Stromstärke, die durch die verhältnismäßig geringe Spannung bedingt ist, sind je drei Kabel parallel geschaltet.

Der zum Anwerfen dienende Drehstrom-Induktionsmotor wird unmittelbar mit Hochspannung betrieben. Er ist über den Hochspannungsschalter an die 3000 Volt-Sammelschienen angeschlossen. Auch dieser Schalter besitzt Fernbetätigung. Ein Strommesser gibt einen Anhaltspunkt für die Belastung des Motors. Gegen Überlastung ist er durch Schmelzsicherungen geschützt. Der Flüssigkeitsanlasser des Motors dient gleichzeitig zum Einregulieren der Drehzahl und wird durch einen kleinen Gleichstrommotor (im Plan nicht eingezeichnet) von der Schalttafel aus gesteuert.

Alle in der Anlage vorhandenen Leistungsschalter sind mit Merklampen ausgestattet (s. Abb. 15), durch welche das ordnungsmäßige Ein- und Ausschalten gemeldet wird. Als Hilfsstrom für die Relais und die Fernschaltung steht Gleichstrom mit einer Spannung von 80 Volt aus einer Akkumulatorenbatterie an den Schienen *P* und *N* zur Verfügung. Auch der Motor zur Bedienung des Flüssigkeitsanlassers sowie ein motorischer Antrieb des Nebenschlußreglers für den Umformer (im Plan ebenfalls nicht angegeben) werden von diesen Schienen gespeist.

Auf der Gleichstromseite des Umformers ist der negative Pol der Anlage geerdet (Schienen der Bahnanlage). Die Hauptschalter beider Pole besitzen Überstrom- und Rückstromauslösung. Auch enthält der positive Pol einen Trennschalter. Spannungs- und Strommesser vervollständigen die Gleichstromausrüstung.

160. Einankerumformer in Verbindung mit einer Puffermaschine.

Um in Drehstromanlagen mit stark schwankendem Stromverbrauch einen Belastungsausgleich herbeizuführen und damit die Stromstöße von der Zentrale fernzuhalten, kann man, wie schon in Abschn. 43 für eine Gleichstromanlage ausgeführt wurde, ein Schwungrad anwenden. In Abb. 278 ist eine Schaltung unter Fortlassung aller Einzelheiten, wie Schalter, Sicherungen usw., angegeben, bei der das Schwungrad *S* mit einer Gleichstrommaschine *P.M.* gekuppelt ist, die als Puffermaschine wirkt¹. Sie muß zu Zeiten geringer Belastung, als Motor arbeitend, dem Netz Energie entnehmen und sie dem Schwungrad zuführen; zu Zeiten starker Belastung dagegen hat sie umgekehrt, als Dynamo arbeitend, die im Schwungrad aufgespeicherte Energie an das Netz zurückzuliefern. Das Schwungrad muß also abwechselnd „geladen“ und

¹ Janzen, Der Ausgleich von Lastschwankungen in Drehstromnetzen. SZ 1923, 421.

wieder „entladen“ werden, wie es der jeweilige Belastungszustand erfordert. Bei einer gewissen mittleren Belastung nimmt das Schwungrad weder Energie auf, noch gibt es solche ab.

Die Verbindung der Gleichstrompuffermaschine mit dem Drehstromnetz geschieht nun über einen Einankerumformer *E. U.*, dem, um den Spannungsverhältnissen Rechnung zu tragen, ein Transformator vorgeschaltet ist. Das Anlassen des Umformers erfolgt am besten von der Drehstromseite aus — der Transformator ist dann mit Anlaßstufen zu versehen. Bei mittlerer Belastung läuft der Umformer, abgesehen von dem für die Puffermaschine erforderlichen Leerlaufstrom, leer. Bei geringerer Belastung formt er den dem Netz entnommenen, zum Betrieb der Puffermaschine dienenden Drehstrom in Gleichstrom um; bei höherer Belastung dagegen verwandelt er den von der Puffermaschine gelieferten Gleichstrom in Drehstrom, der dem Netz zugeführt wird.

Damit die Puffermaschine bei schwacher Belastung das Schwungrad beschleunigt, muß ihre Drehzahl erhöht werden; umgekehrt muß sie bei hoher Last verringert werden, um das Schwungrad zu veranlassen, die in ihm angesammelte Energie herauszugeben. Die Beeinflussung der Drehzahl je nach dem Belastungsgrad der Anlage geschieht nun unter Vermittlung eines Stromtransformators *St. T.*, der nach Art eines Stromwandlers größerer Leistung eingerichtet ist, durch ein sog. Stromrelais. Ein kleiner, vom Strom-

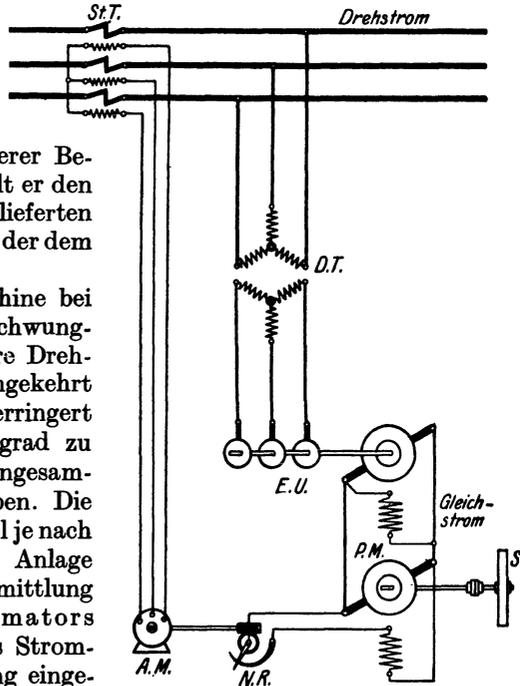


Abb. 278. Einankerumformer mit Puffermaschine.

transformator gespeister Antriebsmotor *A. M.*, in der Ausführung als Drehstrom-Induktionsmotor, treibt die Kurbel eines in den Magnetkreis der Puffermaschine eingefügten Nebenschlußreglers *N. R.* (ohne Ausschaltkontakt!) derart an, daß der Magnetstrom der Maschine bei kleiner Belastung geschwächt, bei hoher Belastung dagegen verstärkt wird.

D. Kaskadenumformer.

161. Bauart und Schaltung der Umformer.

Eine Mittelstellung zwischen dem synchronen Motorgenerator und dem Einankerumformer nimmt der von Bragstad und La Cour angegebene Kaskadenumformer ein. Er besteht aus einem Dreh-

strom-Induktionsmotor und einer Gleichstrom-Nebenschlußmaschine, die mechanisch miteinander gekuppelt und elektrisch in der Weise verbunden sind, daß der im Läufer des Motors induzierte Strom der Ankerwicklung der Gleichstrommaschine zugeführt wird. Die Drehzahl, auf welche sich der Kaskadenumformer im Betriebe einstellt, ist durch die Summe der Polzahlen des Drehstrommotors und der Gleichstrommaschine bestimmt.

Der Läufer des Drehstrommotors ist in der Regel zwölfphasig gewickelt. Im Schaltbild, Abb. 279, sind jedoch der Deutlichkeit wegen nur sechs Phasen gezeichnet.

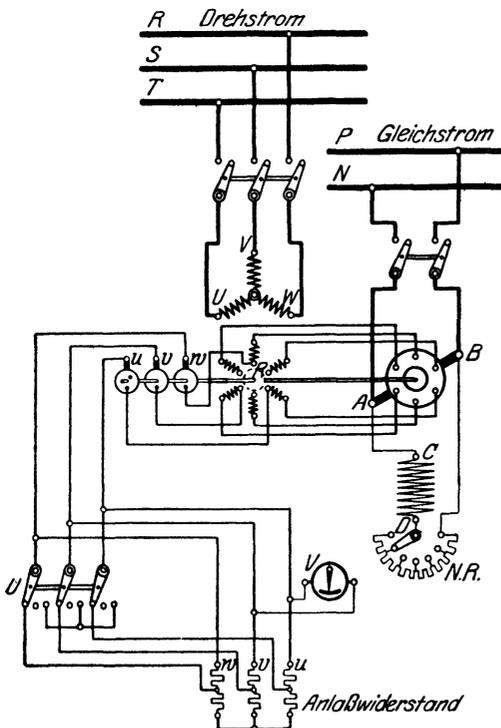


Abb. 279. Kaskadenumformer.

laufen darf. — seine Drehzahl könnte sich sonst in unzulässiger Weise steigern —, so ist der Nebenschlußregler *N. R.* der Gleichstrommaschine ohne Ausschaltkontakt auszuführen.

Das Anlassen des Umformers geschieht von der Drehstromseite aus, und zwar nach einer Anweisung der SSW in folgender Weise. Sobald der dreipolige Hauptschalter geschlossen wird, läuft der Motor asynchron an. Hierbei ist der Umschalter *U* zunächst nach links eingelegt, also nur je eine Stufe des Anlaßwiderstandes dem Läufer des Motors vorgeschaltet. Nunmehr wird der Umschalter in die mittlere Stellung gebracht, d. h. der Anlaßwiderstand voll eingeschaltet. Der Umformer läuft dabei auf eine Drehzahl hinauf, die über der normalen liegt, wobei die Gleichstrommaschine, deren Nebenschlußregler vorher

sechs Phasen gezeichnet. Das eine Ende jeder Phase ist mit der Wicklung des Gleichstromankers fest verbunden, und zwar in Punkten, die um einen der Versetzung der Phasen des Läufers entsprechenden Winkel auseinanderliegen. Die freien Enden der Phasen können sämtlich durch einen Kurzschlußring *R* überbrückt werden und bilden dann den Sternpunkt der Wicklung. Drei um 120° gegeneinander versetzte Phasen stehen aber außerdem über Schleifringe und Bürsten mit dem Anlaßwiderstand *u, v, w* in Verbindung. Der Anlaßwiderstand hat nur zwei Stufen für jede Phase und wird mittels des Umschalters *U* bedient. Da der Umformer auch beim Anlassen nicht ohne Erregung

auf eine an ihm kenntlich gemachte „Synchronisiermarke“ einzustellen ist, sich erregt. Mit Eintritt der Selbsterregung fällt die Drehzahl wieder, und sie nähert sich dem Synchronismus. Der Zeiger des an zwei Läuferleitungen des Drehstrommotors gelegten, zweiseitig ausschlagenden Spannungsmessers V , der zunächst starke Schwingungen ausführte, verlangsamt seine Pendelungen mehr und mehr. Schwingt er nur noch ganz langsam, so wird in dem Augenblicke, in welchem er durch den Nullpunkt der Skala geht, der Anlaßwiderstand kurzgeschlossen, indem der Umschalter nach rechts gelegt wird. Nunmehr läuft der Umformer synchron weiter. Mit Hilfe eines Hebels werden sodann durch den schon erwähnten Kurzschlußring die freien Enden sämtlicher Phasen des Läufers miteinander verbunden und gleichzeitig die Bürsten von den Schleifringen abgehoben. Nachdem noch die Gleichstromspannung am Nebenschlußregler auf den richtigen Wert nachreguliert ist, wird schließlich der Umformer auf das Gleichstromnetz geschaltet und zur Stromlieferung an dieses herangezogen.

Eine Regelung der Gleichstromspannung, allerdings nur in engen Grenzen, ist beim Kaskadenumformer durch Einstellen des Nebenschlußreglers in derselben Weise möglich wie beim Einankerumformer, dem Drosselspulen vorgeschaltet sind (s. Abschn. 156 a). Der Induktionsmotor vertritt gewissermaßen die Stelle der Drosselspulen.

In dem Kaskadenumformer wird nur ein Teil der dem Drehstrommotor zugeführten Leistung zum mechanischen Antrieb der Gleichstrommaschine, nach Art eines Motorgenerators, benutzt, der übrige Teil tritt unmittelbar als Wechselstrom in die Gleichstrommaschine über und wird in dieser, wie in einem Einankerumformer, in Gleichstrom verwandelt. Der Kaskadenumformer zeichnet sich daher dem Motor-generator gegenüber durch geringeren Raumbedarf und höheren Wirkungsgrad aus. Er kann unmittelbar an Hochspannung angeschlossen werden, ein Transformator, wie beim Einankerumformer, ist also im allgemeinen nicht erforderlich. Wegen der in einer Anlage mit Kaskadenumformer notwendigen Apparate und Meßgeräte kann auf Abb. 262 und 263 verwiesen werden.

X. Stromrichteranlagen.

162. Quecksilberdampfgleichrichter für Einphasenstrom.

An die Stelle maschinenmäßiger Umformer treten heute in zunehmendem Maße Quecksilberdampfstromrichter. Sie finden namentlich als Gleichrichter Verwendung zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom. Diese Umsetzung erfolgt beim Gleichrichter, wie beim Einankerumformer, nach einem bestimmten Spannungsverhältnis. Die für die gewünschte Gleichstromspannung erforderliche Wechselspannung wird durch einen Einphasentransformator $E. T.$, Abb. 280, hergestellt, der dem Gleichrichter vorgeschaltet ist und in Sparschaltung ausgeführt sein kann. Der eigentliche Gleichrichter besteht bei kleineren und mittleren Leistungen aus einem luftleer gepumpten Glaskolben G . Der transformierte Wechselstrom wird den aus

Eisen oder Graphit hergestellten und in seitlichen Armen des Kolbens untergebrachten Anoden A_1 und A_2 über Sicherungen zugeführt. Der Gleichstrom wird an der aus Quecksilber bestehenden Kathode K und dem Mittelpunkt O der Transformatorwicklung abgenommen. Erstere bedeutet für den Gleichstrom den positiven, letzterer den negativen Pol. Die Gleichrichterwirkung erfolgt unter Lichtbogenbildung im Glaskolben, indem der Strom nur in bestimmter Richtung — von den Anoden A zur Kathode K — hindurchgelassen wird. H ist eine in einem kurzen Glasarm untergebrachte Hilfselektrode aus Quecksilber, welche über den Widerstand W mit einer der Anoden verbunden ist.

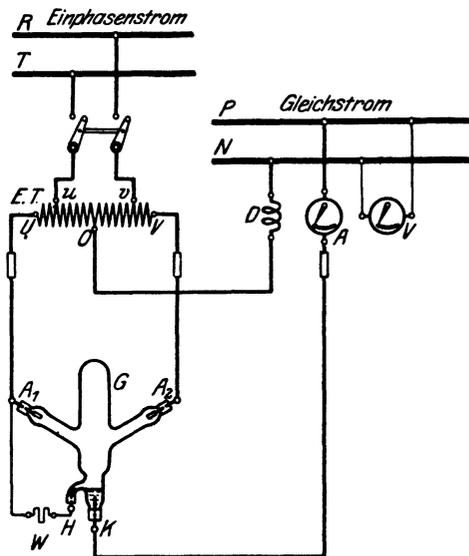


Abb. 280. Einphasengleichrichter.

Sie kann durch Kippen des Kolbens mit dem Quecksilber der Kathode in Verbindung gebracht werden; durch Zurückkippen wird infolge des dabei auftretenden Öffnungsfunkens die Zündung bewirkt, der Gleichrichter angelassen. Die Drosselspule D dient dazu, die Schwankungen in der Stärke des Gleichstroms nach Möglichkeit auszugleichen.

Bei neueren Gleichrichtern wird die Kippzündung vermieden. Es sind Verfahren ausgebildet worden, wie z. B. die Tauchzündung, bei denen eine Lagenänderung des Gleichrichterkolbens nicht erforderlich ist (s. z. B. Abb. 286).

163. Gleichrichter für Drehstrom.

Soll Drehstrom in Gleichstrom übergeführt werden, so ist der Glaskolben des Gleichrichters mit drei Anoden und demgemäß drei Armen auszustatten.

In Abb. 281 ist der Schaltplan einer Drehstrom-Gleichrichteranlage niedergelegt. Der umzuformende Strom wird dem in Stern geschalteten Drehstrom-Spartransformator $D. T.$ zugeführt. Um die Gleichstromspannung regeln zu können, ist die Sekundärspannung des Transformators innerhalb gewisser Grenzen veränderlich; sie kann, gleichzeitig in den drei Phasen, mit Hilfe einer Regulierkurbel eingestellt werden. Der transformierte Strom wird über Drosselspulen D den Anoden A_1, A_2, A_3 des Gleichrichters zugeführt. Das Gleichstromnetz ist an die Kathode K angeschlossen, die den positiven Gleichstrompol bildet, und an den Verkettungspunkt O des Transformators, den negativen Pol. Das Anlassen des Gleichrichters geschieht unter Anwendung

einer Hilfselektrode durch Kippen und Rückkippen des Kolbens, wobei der Druckschalter D niederzudrücken ist.

Ein Nachteil der meisten Gleichrichter älterer Art, der darin besteht, daß bei zu geringer Stromentnahme die Lichtbogenbildung und damit der Betrieb des Apparates nicht mehr aufrechterhalten bleibt, ist bei der vorliegenden Bauweise dadurch vermieden, daß der Gleichrichter mit „Hilfserrregung“ ausgestattet ist. Es sind in dem Glasgefäß noch

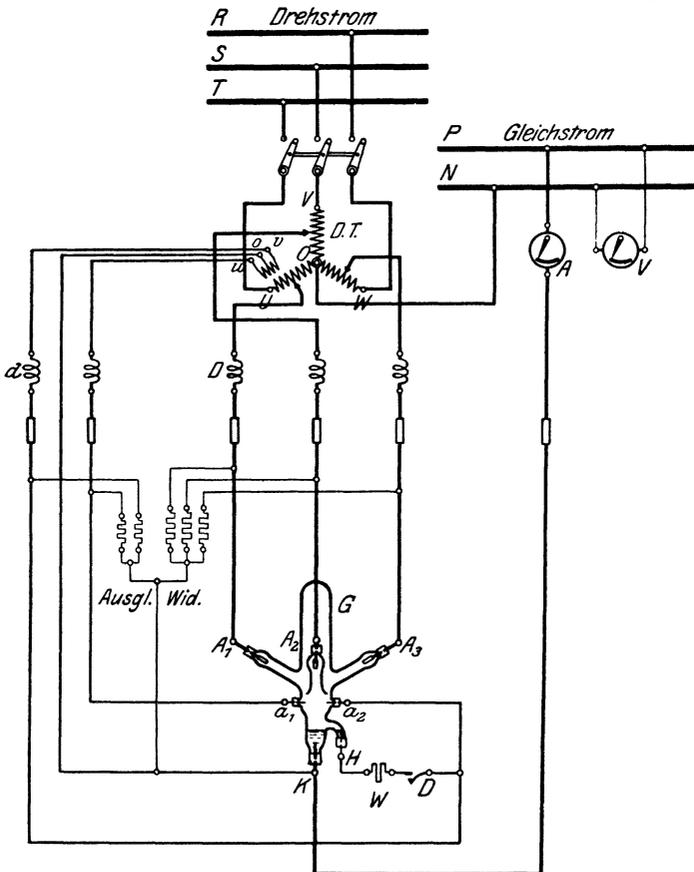


Abb. 281. Drehstromgleichrichter mit Hilfserrregung.

zwei kleine Erregeranoden a_1 und a_2 eingeschmolzen, welche unter Zwischenschaltung der Drosselpuln d von einer Hilfswicklung uv gespeist werden. Diese ist über eine Phase des Transformators gelegt, und ihr Mittelpunkt o ist an die Gleichrichterkathode angeschlossen. So stellt die Hilfswicklung mit den beiden Erregeranoden gewissermaßen einen besonderen kleinen Einphasengleichrichter dar, der in sich kurzgeschlossen ist und somit die ständige Betriebsbereitschaft des Gleichrichters, unabhängig von seiner Belastung, aufrechterhält. Auch die oben erwähnte Kippzündung kommt unter Mitwirkung der Erregeranode a_2 zustande.

Die in der Regel aus Silit bestehenden, zwischen den Anoden und der Kathode befindlichen hochohmigen Ausgleichswiderstände sollen bei etwa auftretenden Überspannungen ein Überschlagen von Anode zu Anode verhindern.

Bei größeren Gleichrichtern wird das Glasgefäß mit sechs oder mehr Anoden ausgerüstet, wobei für die vorgeschalteten Transformatoren besondere Schaltungen angewendet werden.

164. Gleichrichter für Drehstrom in Parallelschaltung und mit selbsttätiger Zündung.

Um in einem Gleichrichterkolben eine größere Stromstärke zu bewältigen, ist eine künstliche Kühlung notwendig. Erforderlichenfalls werden zur Erzielung höherer Leistung mehrere Gleichrichter parallel geschaltet.

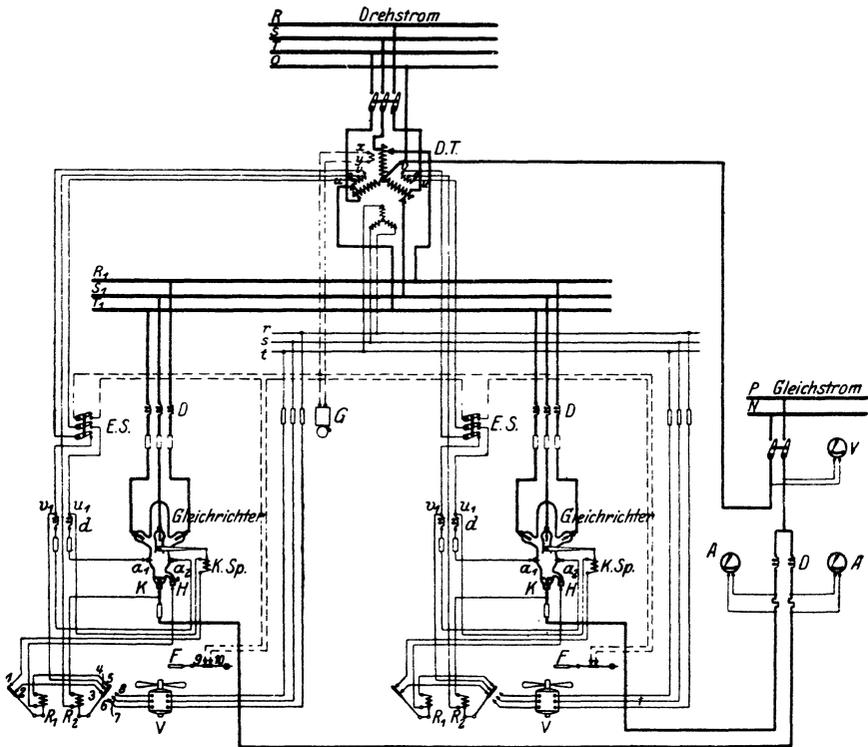


Abb. 282. Drehstromgleichrichter in Parallelschaltung.

In Abb. 282 ist der Schaltplan für zwei parallel arbeitende Gleichrichter dargestellt nach einer Ausführung der Gleichrichter-Gesellschaft m. b. H. Die beiden Apparate werden gewöhnlich in einem gemeinsamen Schrank untergebracht und sind mit einer selbsttätigen Zündung ausgestattet. Der den Gleichrichtern vorgeschaltete Transformator *D.T.*, in Sparschaltung ausgeführt, ist an die Drehstrom-

schienen R, S, T angeschlossen. Er erhält einige Regulierstufen, durch die ein Regelbereich von ungefähr $\pm 10\%$ der verlangten mittleren Gleichstromspannung erzielt wird. Sein Sternpunkt ist mit der Nullschiene O des Drehstromnetzes verbunden. Sekundär arbeitet er auf die Sammelschienen R_1, S_1, T_1 . An diese sind die Gleichrichter über Drosselspulen mit ihren Anoden angeschlossen. Die Gleichstromsammelschienen P und N sind in bekannter Weise an die Gleichrichterkathoden einerseits und den Transformatorsternpunkt andererseits gelegt. In die zur positiven Schiene führenden Verbindungsleitungen sind zum Ausgleich von Schwankungen der Stromstärke weitere Drosselspulen eingefügt.

Auch die bereits im vorigen Abschnitt erörterte Hilfserrregung fehlt den Gleichrichtern nicht. Es sind zu zwei der Phasen des Transformators Hilfswicklungen uv mit dem Mittelpunkt o angeordnet, welche über Drosselspulen d mit den Hilfsanoden a_1 und a_2 der Gleichrichter verbunden sind. Um zu Zeiten geringer Belastung mit nur einem Gleichrichter arbeiten zu können, kann die Hilfserrregung jedes Apparates durch einen Erregerschalter $E.S.$ unterbrochen werden.

Die gemäß Abb. 281 erforderlichen Ausgleichswiderstände sind der besseren Übersicht wegen im Schaltbild fortgelassen. Dagegen kann die selbsttätig wirkende Zündung der Gleichrichter an Hand des Plans verfolgt werden. Soll ein Gleichrichter in Betrieb genommen werden, so muß, nachdem der dreipolige Haupthebel geschlossen ist, der zugehörige Erregerschalter eingelegt werden. Alsdann liegt die Kippspule $K.Sp.$ an der Erregerspannung: Stromweg $u-u_1-K.Sp.$ —Kontakte $1, 2-3, 4-v_1-v$. Die Kippspule zieht ihren Eisenkern in sich hinein und bewirkt dadurch die Schräglage des Gleichrichterkolbens, die Quecksilberspiegel von Hilfsanode H und Kathode K kommen miteinander in Berührung. Es kann daher jetzt ein Strom von dem Ende v der Erregerwicklung über v_1 und die Kontakte $4, 5$ zur Relaispule R_1 , weiter zur Hilfsanode und Kathode und über Relaispule R_2 zur Mitte der Erregerwicklung fließen. Die Relaispulen wirken hierbei gleichzeitig als Drosselspulen, so daß der auf dem angegebenen Wege fließende Strom nur gering ist. Die Relais sind nun so abgestimmt, daß bei diesem Strom, der als Zündstrom bezeichnet werden soll, nur das Relais R_1 anspricht, es zieht seinen Kern ein und unterbricht dadurch am Kontakt $1, 2$ den Stromlauf der Kippspule. Diese gibt ihren Kern frei, der Gleichrichterkolben gelangt also wieder in die normale Lage, die Quecksilberspiegel trennen sich, und durch den sich hierbei bildenden Unterbrechungsfunkens wird die Zündung eingeleitet. Der Erregerstrom nimmt nunmehr, abwechselnd während jeder Halbperiode, den Weg $u-u_1-a_1-K-R_2-o$ bzw. $v-v_1-a_2-K-R_2-o$. Das Relais R_2 spricht auf den es durchfließenden Gleichstrom an und trennt die Kontakte $3, 4, 5$. Bei Fehlzündung wiederholt sich das vorstehend geschilderte Spiel so lange, bis die Zündung vollzogen ist.

Dem Relais R_2 fällt außer seiner Mitwirkung bei der Zündung noch die weitere Aufgabe zu, den zur Kühlung der Gleichrichter vorgesehenen Ventilator V , der von einem kleinen Drehstrom-Induktionsmotor mit

Kurzschlußläufer angetrieben wird, in Gang zu setzen. Wenn nämlich die Kontakte 3, 4, 5 getrennt werden, werden gleichzeitig die Kontakte 6, 7, 8 überbrückt. Dadurch wird der Verkettungspunkt der drei Ständerphasen des Motors hergestellt und dieser zum Anlauf gebracht, jedoch erst nachdem die Zündung einwandfrei erfolgt ist. Der Drehstrommotor des Ventilators ist für eine niedrige Spannung ausgeführt und wird gespeist von einer besonderen, über den Regeltransformator angebrachten dreiphasigen Transformatorwicklung, die auf die Schienen r , s , t arbeitet.

Durch den aufsteigenden Luftstrom des Ventilators wird nun auch der Fächer F gehoben. Dieser Vorgang hat folgende Wirkung. Beim Einlegen des Erregerschalters wurde noch ein besonderer Stromkreis, der als Signalstromkreis bezeichnet werden soll und im Schaltplan durch gestrichelte Linien angegeben ist, geschlossen. Seine Stromquelle wird von der über eine Phase des Regeltransformators gelegten Wicklung xy gebildet, und er enthält eine elektrische Glocke G . Während des Inangensetzens des Gleichrichters läutet diese so lange, bis die vom Fächer beeinflussten Kontakte 9, 10, welche vorher geschlossen waren, geöffnet sind, was erst bei annähernd voller Drehzahl des Drehstrommotors eintritt. Es wird also durch die Glocke der ordnungsmäßige Verlauf des ganzen Zündvorganges überwacht. Durch entsprechende Einstellung eines Gegengewichtes auf den Fächer kann erreicht werden, daß die Glocke bereits anspricht, wenn ein Nachlassen in der Drehzahl des Ventilatormotors eintritt, wenn also z. B. eine Sicherung des Motors durchgebrannt ist. Ein derartiger Fehler wird daher schon während des Betriebes angezeigt.

165. Gleichrichter in Verbindung mit der Eigenbedarfsanlage eines Drehstromwerkes.

Abb. 283 zeigt eine Eigenbedarfsanlage (vgl. Abschn. 78) für eine Drehstrom-Hochspannungszentrale oder ein größeres Umspannwerk nach einem Entwurf der SSW. An die Hochspannungsschienen ist ein Transformator angeschlossen, dessen Leistung dem Eigenbedarf entspricht. Auf den Einbau eines besonderen Schalters vor dem Transformator ist, um die Kosten herabzusetzen, verzichtet, es sind lediglich Trennlaschen vorgesehen. Der Überstromschutz ist Schmelzsicherungen übertragen. Um ein zu gewaltsames Ansprechen der Sicherungen bei einem Kurzschluß zu verhindern, sind ihnen auf der Hochspannungsseite Dämpfungsdrosselspulen D vorgeschaltet. Es ist bei dieser Anordnung vorausgesetzt, daß die Spannung nicht über ungefähr 20000 Volt und die Transformatorleistung nicht über etwa 50 kVA liegt. Die Sekundärspannung des Transformators ist zu 380/220 Volt angenommen.

Über einen Regeltransformator $R.T.$ ist an die 380 Volt-Schienen ein kleiner Quecksilberdampfgleichrichter G gelegt, der eine Gleichspannung von 220 Volt liefert, die für Signalzwecke, Fernbetätigung der Schalter usw. herangezogen werden kann. Auch die Notbeleuchtung, die normalerweise mit Wechselstrom von 220 Volt betrieben wird, kann auf die Gleichspannung umgelegt werden

(vgl. Abschn. 157, letzter Absatz), was im Falle des Ausbleibens der Wechselspannung durch eine auf den Schalter *U* einwirkende Spannungsspule selbsttätig geschieht. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit dient eine kleine Akkumulatorenbatterie. Die für die Ladung derselben erforderliche Spannung kann mit Hilfe des Regeltransformators eingestellt werden (s. auch die Eigenbedarfsanlagen in Abb. 170 u. 172).

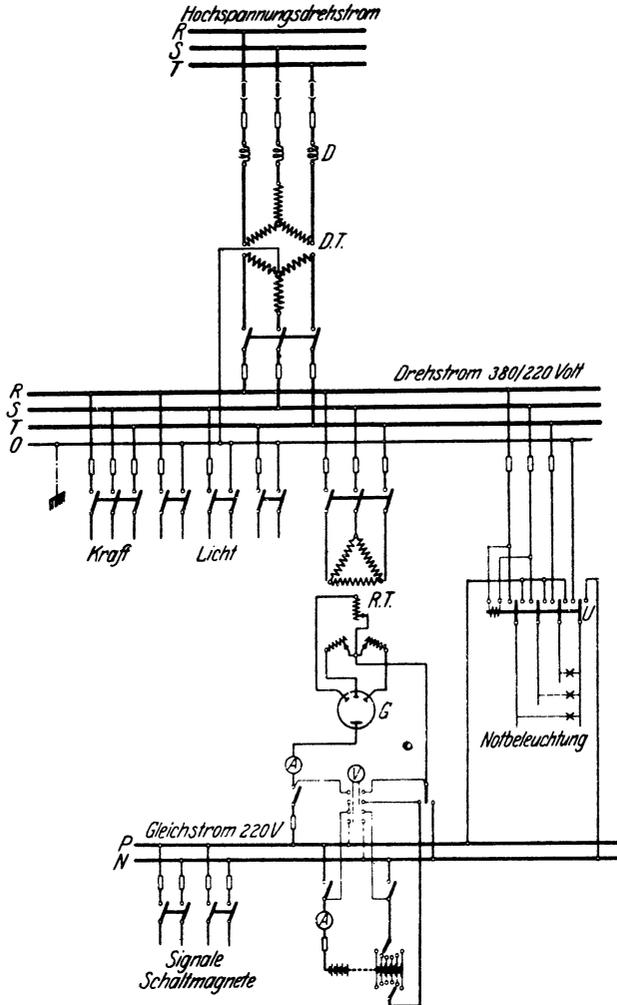


Abb. 283. Gleichrichter in der Eigenbedarfsanlage eines Drehstromwerkes.

166. Großgleichrichter für Drehstrom.

Bei Quecksilberdampfgleichrichtern größerer Leistung wird statt des Glaskolbens ein gut abgedichteter eiserner Zylinder verwendet. Die allgemeine Schaltung eines Drehstrom-Großgleichrichters, die sich nicht wesentlich von der Schaltung größerer Glasgleichrichter unter-

scheidet, zeigt Abb. 284. Die zum Betrieb des Gleichrichters erforderliche Drehstromspannung wird wieder in einem Transformator hergestellt. Nach der Abbildung ist derselbe primär in Dreieck geschaltet, sekundär sind die drei Phasen in ihrem Mittelpunkt verkettet (sog. Sechssphasenschaltung). Die Enden jeder Phase der Sekundärwicklung stehen über Drosselspulen D mit gegenüberliegenden Anoden A des Gleichrichters, deren Zahl demgemäß sechs beträgt, in Verbindung. Der Gleichstrom wird einerseits von der in der Mittelachse des Gleichrichters angeordneten Kathode K

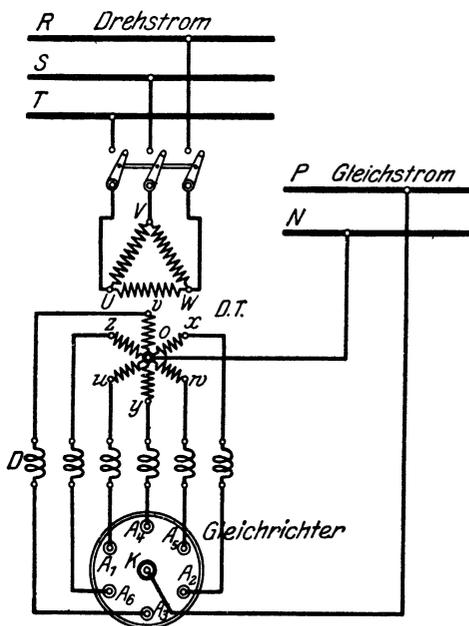


Abb. 284. Drehstrom-Großgleichrichter.

und andererseits von dem Mittelpunkt o der Sekundärwicklung des Transformators entnommen. Bei besonders großen Leistungen kann unter entsprechender Schaltung des Transformators die Zahl der Anoden noch erhöht werden.

Nebeneinrichtungen des Gleichrichters sind im Schaltbild nicht berücksichtigt. So ist z. B. eine zur Herbeiführung der Zündung erforderliche Hilfsanode, die durch eine magnetische Vorrichtung betätigt wird, nicht angegeben. Der Vorgang der Zündung ist im nachfolgenden Abschnitt näher beschrieben.

Es sei hier noch der Hinweis gegeben, daß Gleichrichter mit Eisengehäuse neuerdings auch für verhältnismäßig kleine Leistungen, als sog.

Kleineisengleichrichter hergestellt werden, wie umgekehrt Glasgleichrichter heute auch für größere Leistungen gebaut werden.

167. Gleichrichteranlage zum Betrieb einer Straßenbahn.

Besondere Bedeutung haben Gleichrichteranlagen für den Betrieb elektrischer Bahnen gewonnen, die aus einem Drehstromwerk gespeist werden sollen. Ein Beispiel für eine Anlage mit einem Großgleichrichter, die an ein Drehstromnetz von 6000 Volt Spannung angeschlossen ist und Strom an das Straßennetz einer Großstadt liefert, gibt der Schaltplan Abb. 285. Ausgeführt wurde die Anlage von der AEG.

Der Drehstrom wird über Trenn- und Ölschalter den Primärklemmen des vor den Gleichrichter gelegten Transformators zugeführt. Der Ölschalter ist mit Überstromauslösung versehen, und zwar über Relais, für die der Hilfsstrom einer vorhandenen Wechselstromanlage von

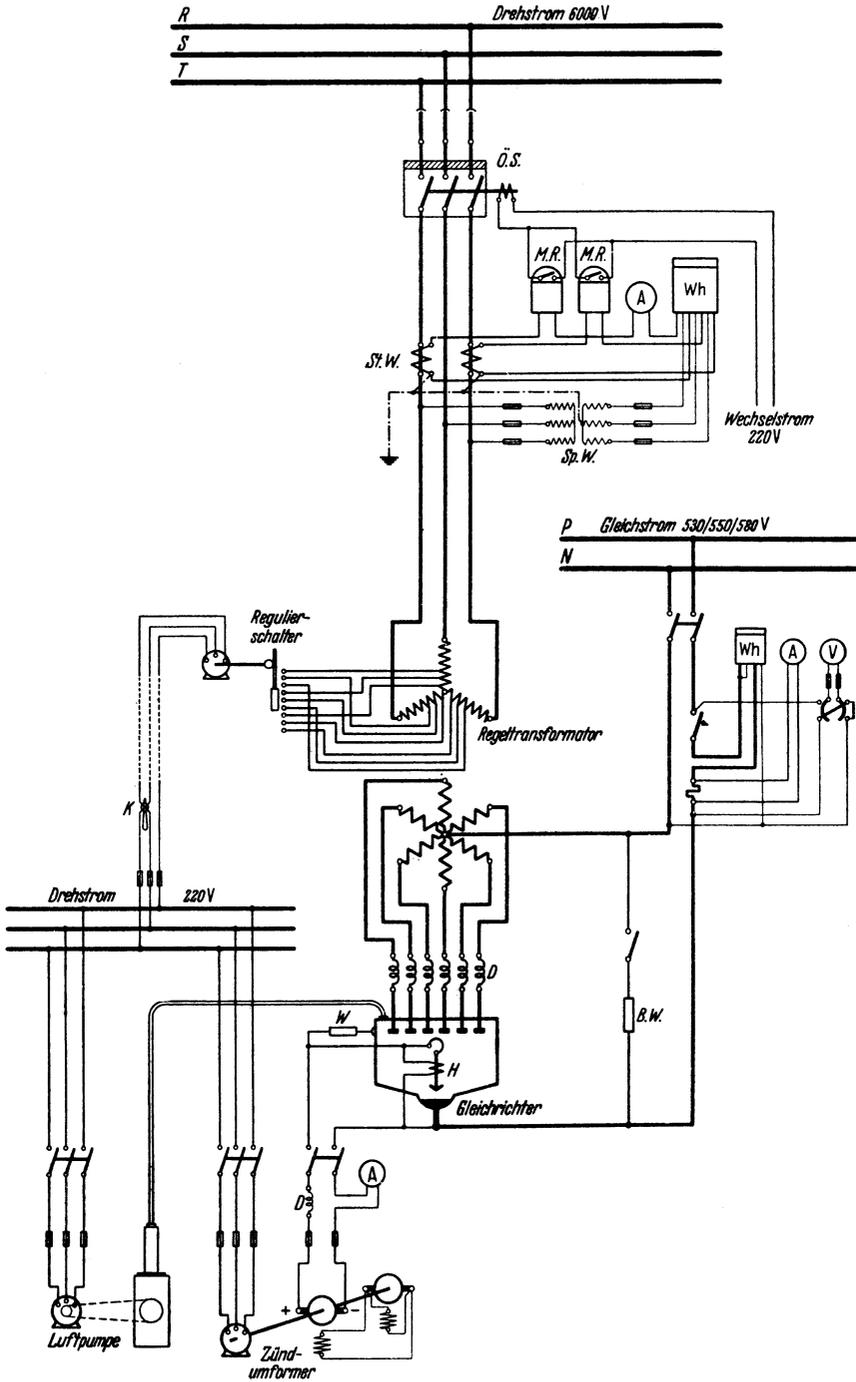


Abb. 285. Gleichrichteranlage zum Betrieb einer Straßenbahn.

220 Volt Spannung entnommen wird. Stromwandler im Verein mit einem dreiphasigen Spannungswandler vermitteln den Anschluß der Auslöserelais, eines Strommessers und eines Zählers.

Der Transformator ist primär in Stern geschaltet. Da die Übersetzung im Gleichrichter nach einem unveränderlichen Spannungsverhältnis erfolgt, so wird die Spannungsregelung auf der Wechselstromseite vorgenommen. Aus diesem Grunde ist die Primärseite des Transformators mit Regulierstufen versehen. Der Regulierschalter ist dem Transformator angebaut und für Fernbetätigung mittels eines Kontaktgebers *K* eingerichtet. Es kann daher die Regelung der Gleichstromspannung, innerhalb der Grenzen von 530 und 580 Volt, von einer gewünschten Stelle aus erfolgen.

Die drei Phasen der Sekundärseite des Transformators sind, wie in Abb. 284, in ihren Mittelpunkten verkettet. Die Enden der Phasen stehen wieder über Drosselspulen mit den sechs Anoden des Gleichrichters in Verbindung. Der Wicklungsmittelpunkt bildet den negativen Gleichstrompol. Der positive Gleichstrompol ist durch die Kathode des Gleichrichters, der in der Abbildung schematisch im Schnitt dargestellt ist, gegeben. Die zu den Gleichstromsammelschienen über einen zweipoligen Schalter führenden Verbindungsleitungen enthalten an Meßgeräten Strom- und Spannungsmesser und Zähler. In die positive Leitung ist noch, um den Gleichrichter vor starken Überlastungen zu bewahren, ein Überstromschalter gelegt. Da der negative Pol des Bahnnetzes geerdet ist, ist für diesen ein Überstromschutz nicht vorgesehen. Der Spannungsmesser ist über einen Umschalter angeschlossen, und es kann, vor dem Anschluß des Gleichrichters an die Gleichstromschiene, einerseits seine Spannung, andererseits die Spannung zwischen den Schienen festgestellt werden. Diese können insofern unter Spannung sein, als die von ihnen abgenommenen Netzleitungen auch mit anderen Teilen des Bahnnetzes der Stadt in Verbindung stehen, auf das noch weitere Gleichrichterstationen arbeiten.

Am Gleichrichter sind noch folgende Hilfseinrichtungen angedeutet. Der Hilfsbelastungswiderstand *B.W.* ermöglicht es, den Gleichrichter zu prüfen und in Betrieb zu nehmen, ohne daß er an die Gleichstromsammelschienen angeschlossen ist. Ist der Gleichrichter nur schwach belastet, so arbeitet er erfahrungsgemäß unsicher, da die Lichtbogenbildung leicht aussetzt. Es empfiehlt sich daher, den Hilfs-widerstand in den Zeiten dauernd einzuschalten, in denen die Belastung besonders gering ist. Er liegt dann zwischen den beiden Sammelschienen.

Zum Inangsetzen des Gleichrichters dient die Hilfsanode *H*, ein Eisenstab, der über eine Drosselspule mit dem positiven Pol der sog. Zünddynamo verbunden ist. Der negative Pol der letzteren ist an die Kathode gelegt. Wird die Zünddynamo eingeschaltet, so wird die Hilfsanode unter der Wirkung einer Magnetspule in die Höhe gehoben, und es bildet sich zwischen ihr und der Kathode ein Funken, durch den der Arbeitsvorgang des Gleichrichters eingeleitet wird. Die in der Abbildung noch angegebene, über einen Widerstand *W* vorgenommene Verbindung des positiven Pols der Dynamo mit dem Gleichrichter-

gehäuse ist eine Sondereinrichtung und hat den Zweck, eine schnellere Zündung des Gleichrichters zu bewirken.

Die Erregung der Zünddynamo geschieht durch eine besondere kleine Erregermaschine, die mit ihr gekuppelt ist. Beide Maschinen werden angetrieben durch einen Drehstrommotor, der an das vorhandene Drehstromnetz von 220 Volt Spannung angeschlossen ist. Bei stark schwankendem Betrieb empfiehlt es sich, sofern mit vorübergehender Entlastung zu rechnen ist, die Hilfszündung dauernd einzuschalten, den Zündumformer also auch während des Betriebes laufen zu lassen.

Der Vollständigkeit wegen ist im Schaltplan schließlich noch die Luftpumpe angegeben, die ebenfalls von einem Drehstrommotor angetrieben wird. Sie dient dazu, den Gleichrichter vor seiner Inbetriebnahme luftleer zu machen und muß nach Bedarf in Benutzung genommen werden, um die Luftleere aufrechtzuerhalten.

168. Stromrichter mit Gittersteuerung, Toulonsteuerung.

Eine erhebliche Erweiterung hat das Anwendungsgebiet der Stromrichter durch Einführung der Gittersteuerung erfahren: gesteuerte Gleichrichter geben die Möglichkeit, in einfachster Weise eine Regelung der Gleichspannung vorzunehmen, Wechselrichter mit Gittersteuerung dienen zur Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom, Umrichter schließlich ermöglichen es, Wechselstrom gegebener Frequenz in solchen anderer Frequenz umzuformen.

Die Steuergitter werden in Form durchlöcherter Bleche oder Graphitplatten zwischen den Anoden und der Kathode angebracht und haben die Aufgabe, den Stromfluß durch das Stromrichtergefäß zu beeinflussen. Die Steuerung kann nach verschiedenen Verfahren erfolgen, und zwar durch Beeinflussung einer an das Gitter gelegten Spannung. Bei negativer Gitterspannung ist der Stromfluß gesperrt. Die Zündung und damit auch der Stromfluß setzt innerhalb jeder Halbperiode des Stromes ein, sobald die Steuerspannung einen gewissen kritischen Wert, die Zündspannung, übersteigt. Das Erlöschen des Lichtbogens tritt jedesmal selbsttätig beim Durchgang der Anodenspannung und damit der Stromstärke durch Null bzw. beim Übergang des Stromes auf die nächste Anode ein¹).

In Abb. 286 ist die Schaltung eines als Gleich- und Wechselrichter verwendbaren Stromrichters angegeben. Es handelt sich um eine kleinere Anlage, wie sie von der AEG als Versuchseinrichtung für Laboratorien geliefert wird. Die Steuerung erfolgt nach dem sog. Toulon-Verfahren, bei dem an das Gitter eine dem Wechselstromnetz entnommene Spannung gelegt wird, die in ihrer Phasenlage gegenüber der Phase der Anodenspannung verschoben werden kann. Je nach der Phasenlage verschiebt sich auch der Zeitpunkt der Zündung innerhalb der Periode, und dementsprechend fällt, Gleichrichterbetrieb vorausgesetzt, die erhaltene Gleichspannung verschieden hoch aus, sie kann also in weitesten Grenzen geregelt werden.

¹ Siehe Kosack, Elektrische Starkstromanlagen, 8. Aufl. S. 203.

Der gleichzurichtende Drehstrom wird den drei Anoden des Glasstromrichters über den Transformator *D. T.* zugeführt. Dieser ist primär in Dreieck, sekundär in Stern verkettet. Die Quecksilberkathode des Stromrichters stellt, wie immer, für die Gleichstromseite den positiven Pol dar, den negativen Pol bildet der Sternpunkt des Transformators. Der Gleichstrom wird den Sammelschienen *P* und *N* über einen zwei-

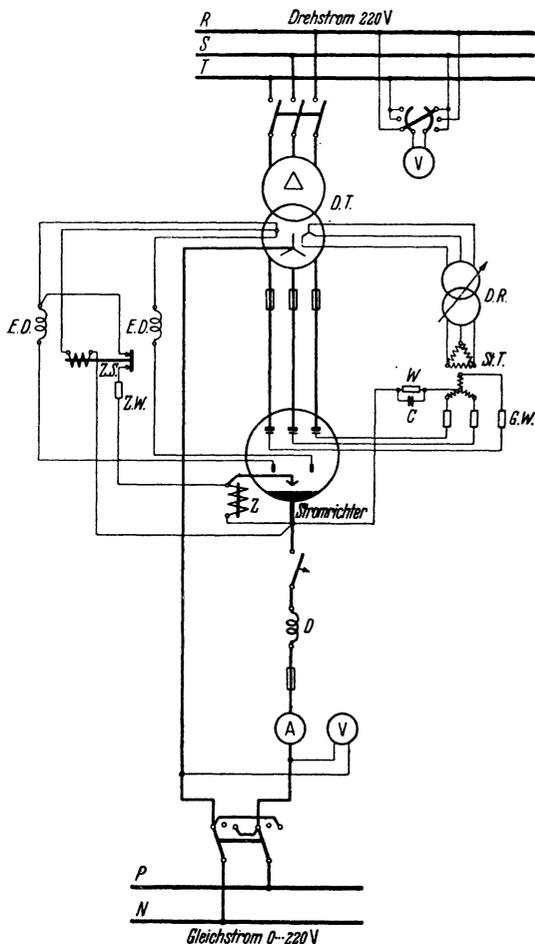


Abb. 286. Stromrichter mit Gittersteuerung.

poligen Umschalter (Stellung links!) zugeführt. An Hilfseinrichtungen sind, abgesehen von den erforderlichen Schmelzsicherungen, ein selbsttätiger Überstromschalter, die Kathodendrossel *D* zur Glättung des abgenommenen Gleichstromes sowie Spannungs- und Strommesser vorgesehen.

Der dem Stromrichter vorgeschaltete Transformator besitzt noch eine dreiphasige Hilfswicklung. Sie steht über einen Drehregler *D. R.* (s. Abschn. 101) mit einem kleinen Hilfsttransformator, den Gitter- oder Steuertransformator *St. T.*, in Verbindung, dessen sekundäre Spannung über die Gitterwiderstände *G. W.* aus Silit den Steuergittern des Stromrichters zugeführt wird. Sein Sternpunkt ist über den Widerstand *W*, dem der Kondensator *C* parallel gelegt ist, mit der Kathode des Stromrichters verbunden. Je nach der Stellung des Drehreglers wird die Steuerspan-

nung gegenüber der Anodenspannung mehr oder weniger verschoben, und somit kann die gewünschte Gleichspannung eingestellt werden.

Eine weitere, einphasige Hilfswicklung des Transformators führt über Drosselspulen *E. D.* zu den Erregeranoden des Stromrichters. Diese halten bekanntlich die Lichtbogenbildung und damit den Betrieb des Gleichrichters auch bei schwacher Belastung aufrecht (vgl. Abschn. 163). Für das Anlassen des Stromrichters ist eine Tauchzündung vorgesehen.

Sie wird durch den Zündmagneten Z betätigt, der unter Vorschaltung des Zündwiderstandes $Z.W.$ an die Erregerwicklung des Transformators angeschlossen ist und nach erfolgter Zündung durch den Zündschalter $Z.S.$ selbsttätig wieder abgeschaltet wird.

Der Stromrichter kann, als Wechselrichter arbeitend, zur Energierückgabe aus dem Gleichstrom- in das Drehstromnetz veranlaßt werden. Voraussetzung hierfür ist, daß das zu versorgende Drehstromnetz bereits von anderen Stromerzeugern gespeist wird, daß also der Wechselrichter „netzgeführt“ arbeitet. Um zum Wechselrichterbetrieb überzugehen, muß zunächst die Spannung des Gleichstromnetzes mittels des zweipoligen Umschalters (Stellung rechts!) umgeschaltet werden, damit die Richtung des Stromes im Stromrichter unverändert bleibt. Sodann ist der Drehregler so weit zu verstellen, daß der Strommesser die gewünschte Belastung anzeigt.

169. Stromrichter zum Betrieb eines regelbaren Gleichstrommotors, magnetische Stoßsteuerung.

Der gittergesteuerte Gleichrichter ermöglicht es, um aus dem vielseitigen Anwendungsgebiet ein Beispiel herauszugreifen, einen an ein Drehstromnetz angeschlossenen Gleichstrommotor in weiten Grenzen stufenlos zu regeln, in ähnlicher Weise wie es auch mit Hilfe der Leonardschaltung (Abschn. 171 bis 173) geschehen kann. Der Schaltplan Abb. 287, einer Ausführung der AEG entsprechend¹, bezieht sich auf einen Eisengleichrichter mit sechs Haupt- und drei Erregeranoden. Er ist über Trenn- und Leistungsschalter, wie immer unter Vorschaltung eines Transformators, an das Drehstromnetz angeschlossen. Meßgeräte sind im Plan nicht eingetragen. Auch ist auf die Art der Zündung nicht eingegangen. Die Anlage arbeitet nach dem Verfahren der magnetischen Stoßsteuerung. Die dafür erforderlichen Einrichtungen stehen über den „Isoliertransformator“ $I.T.$ mit dem Drehstromnetz in Verbindung. Durch kleine Hilfstransformatoren werden Spannungsstöße erzeugt, die den Gittern zugeführt werden und den Stromfluß einleiten. Es sind drei solcher Steuer- oder Stoßtransformatoren $St. T.$ vorhanden, die über den Drehregler $D. R.$ an das Drehstromnetz gelegt sind. Ihre Verbindung mit den Steuergittern des Stromrichters geschieht über die Gitterwiderstände $G. W.$ Durch den Drehregler kann der Zündzeitpunkt des Stromrichters eingestellt und damit die von diesem gelieferte Gleichspannung, die dem Anker des zu regelnden Gleichstrommotors $G. M.$ über die Glättungsdrössel D zugeführt wird, geregelt werden. Der Transformator $V. T.$ liefert über kleine Trockengleichrichter $T. G.$ eine Gleichstromvormagnetisierung für die Stoßtransformatoren. W ist ein Hilfswiderstand, C ein Hilfskondensator.

Die Nebenschlußwicklung des Regelmotors wird durch Gleichstrom erregt, für dessen Erzeugung ein besonderer Hilfsgleichrichter erforderlich ist. Doch kann dieser erspart werden, indem, wie in der Abbildung

¹ Anschütz u. Stöhr, Aufbau und Wirkungsweise von Stromrichtern für Regelantriebe. AEG-Mitt. 1937, 177. S. auch Bayha, Regelantriebe mit Stromrichtern. SZ 1933, 303.

auch angenommen ist, die Erregeranoden des Hauptgleichrichters über den Erregertransformator *E.T.* unmittelbar zur Erzeugung des für die Motorerregung erforderlichen Gleichstromes ausgenutzt werden. Der Motor wird auf diese Weise stets gleichbleibend erregt. Seine Regelung geschieht demnach ausschließlich durch Verändern der Ankerspannung, der die Drehzahl proportional ist.

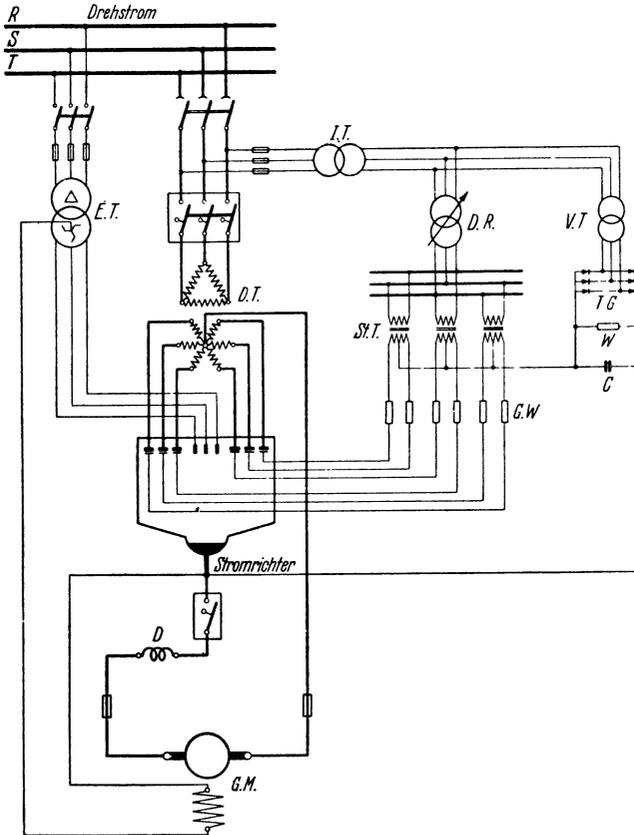


Abb. 287. Drehzahlregelung eines Gleichstrommotors durch Stromrichter.

Um zu verhindern, daß der Motor bei fehlender Erregung in Betrieb gesetzt wird oder bei ausfallender Erregung in Betrieb bleibt, was ein „Durchgehen“ des Motors zur Folge haben könnte, werden sowohl der Gleichstrom- wie auch der Hochspannungsschalter mit einer Unterspannungsauslösung versehen, die an die Erregerspannung des Motors angeschlossen ist. Um zu gewährleisten, daß der Drehregler im Gitterkreis bei der Inbetriebnahme stets in der tiefsten Stellung steht, in der die Gitter völlig gesperrt sind, wird der Gleichstromschalter mit einem Sperrkontakt ausgestattet, derart, daß er sich nicht einlegen läßt, solange der Regler noch nicht die untere Endstellung einnimmt.

Ist für den Motor nicht nur eine Drehzahlregelung erforderlich, sondern wird auch eine Umsteuerbarkeit verlangt (z. B. bei Antrieben von Förderanlagen oder Walzenstraßen), so sind zwei Stromrichter in der sog. Kreuzschaltung und dementsprechend für den Haupttransformator zwei sekundäre Wicklungen erforderlich. Es steht dann jeweils der eine Stromrichter als Gleich-, der andere als Wechselrichter bereit, und die Umsteuerung des Motors erfolgt ohne Stromunterbrechung durch Umkehr des Ankerstromes. In Abb. 288 ist der Grundgedanke der in Betracht kommenden Schaltung angedeutet. Wie die Abbildung zeigt, besitzt auch der Erregertransformator zwei sekundäre Wicklungen, je eine für die Erregeranoden der beiden Gleichrichter. Eine dieser Wicklungen liefert auch den Erregerstrom des Motors. Bei der Umsteuerung wird der Motor elektrisch unter Energierückgewinnung abgebremst, wobei er die ihm von der Gleichstromseite zugeführte Bremsenergie an das Drehstromnetz zurückgibt.

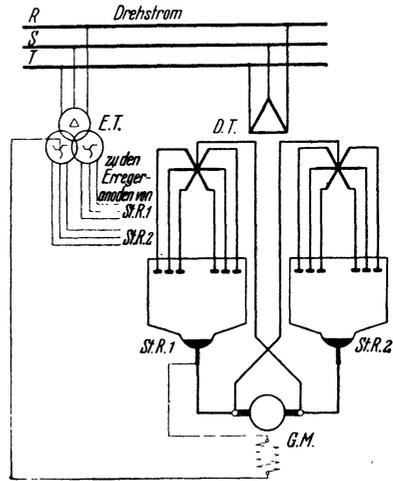


Abb. 288. Umkehrbetrieb eines Gleichstrommotors über Stromrichter.

170. Trockengleichrichter.

In den letzten Jahren sind die Trockengleichrichter, als Kupferoxydul- oder auch Selengleichrichter gebaut, für die praktische Anwendung durchgebildet worden. Sie finden in den Elektrizitätswerken für die verschiedensten Zwecke Anwendung, z. B. zur Betätigung von Signalen, Relais usw. Es wird mit ihrer Hilfe eine Akkumulatorenbatterie aufgeladen, der der gewünschte Gleichstrom jederzeit entnommen werden kann, also auch dann, wenn die Spannung des Werkes infolge einer Betriebsstörung zusammengebrochen ist. Gleichrichter und Batterie werden parallel geschaltet. Die Ladung der letzteren erfolgt dauernd mit kleiner Stromstärke.

Abb. 289 zeigt, um ein Beispiel für die Schaltung von Trockengleichrichtern zu geben, eine kleine Gleichrichteranlage für Einphasenstrom und eine Gleichspannung von beispielsweise 24 Volt. Es sind vier Gleichrichter *T.G.* in der sog. Graetzschaltung verbunden, die über

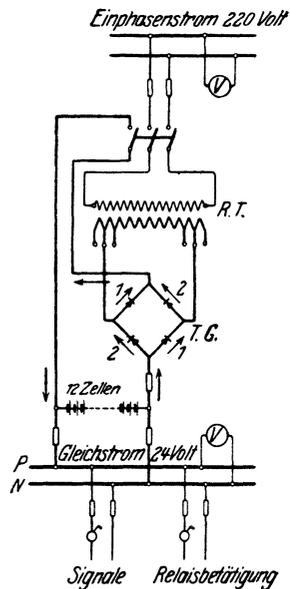


Abb. 289. Trockengleichrichter für Einphasenstrom.

einen kleinen Regeltransformator *R.T.* gespeist werden. Die Akkumulatorenbatterie besteht der angegebenen Gleichspannung entsprechend aus 12 Zellen. Die Gleichrichter lassen den Wechselstrom nur in einer bestimmten Richtung durch. Es werden — bei geschlossenem dreipoligen Schalter — von halber zu halber Periode abwechselnd je zwei Gleichrichter in Richtung der Pfeile 1 bzw. der Pfeile 2 durchflossen. In den zu den Gleichstromschienen führenden Leitungen behält der Strom stets die gleiche Richtung bei.

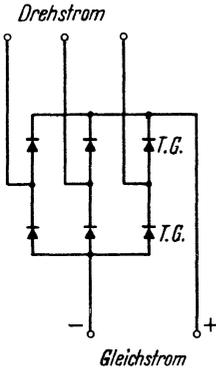


Abb. 290. Trockengleichrichter für Drehstrom.

Die Trockengleichrichter können bei geeigneter Schaltung auch zur unmittelbaren Gleichrichtung von Drehstrom Verwendung finden, wie Abb. 290 erkennen läßt, in welcher die grundsätzliche Schaltung von sechs Gleichrichtern — dreiphasige Graetzschaltung — dargestellt ist.

XI. Anlaß- und Regelsätze.

A. Maschinensätze mit Gleichstrom-Regelmotor.

171. Die Leonardschaltung für Gleichstrom.

Für Antriebe, bei denen ein häufiges An- und Abstellen des Motors, ein oftmaliges Umkehren der Drehrichtung oder eine Geschwindigkeitsregelung in weiten Grenzen vorzunehmen ist, hat sich eine von Leonard angegebene Anordnung sehr bewährt. Ihre Schaltung zeigt Abb. 291 für den Fall, daß ein Gleichstromnetz vorhanden ist. Der über einen Anlasser an das Netz angeschlossene Gleichstrommotor *G.M.*,

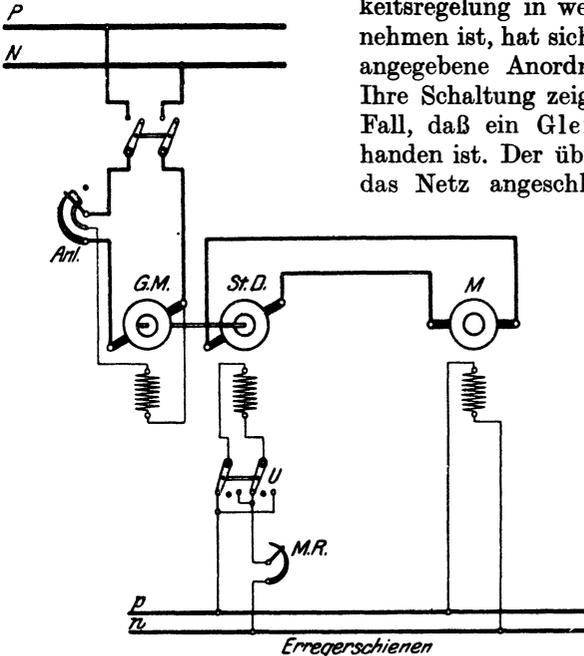


Abb. 291. Die Leonardschaltung in Verbindung mit einem Gleichstromnetz.

Der über einen Anlasser an das Netz angeschlossene Gleichstrommotor *G.M.*, ein Nebenschlußmotor, treibt, in direkter Kupplung, die Steurdynamo *St.D.* an, eine Gleichstromdynamo, die vom Netz erregt wird. (Die Erregerschienen *p* und *n* stehen mit den Hauptschienen *P* und *N* in Verbindung.) Ihre Spannung ist völlig unabhängig von der Netzspannung und

kann mittels des Magnetreglers *M. R.* zwischen Null und dem normalen Wert geregelt werden, ihre Polarität läßt sich durch den Umschalter *U* beliebig ändern. Der von der Steerdynamo gelieferte Strom wird dem Anker des Regelmotors *M* zugeführt, dessen Erregung mit gleichbleibender Stärke wieder vom Netz erfolgt. Der aus dem vom Netz gespeisten Gleichstrommotor und der Steerdynamo bestehende Motor-generator wird als Leonardumformer bezeichnet.

Das Anlassen und Regeln des Motors *M* geschieht nun ausschließlich durch Spannungsregulierung der Steerdynamo. Je nach deren Spannung stellt sich die Umlaufzahl des Motors ein, sie kann von Null

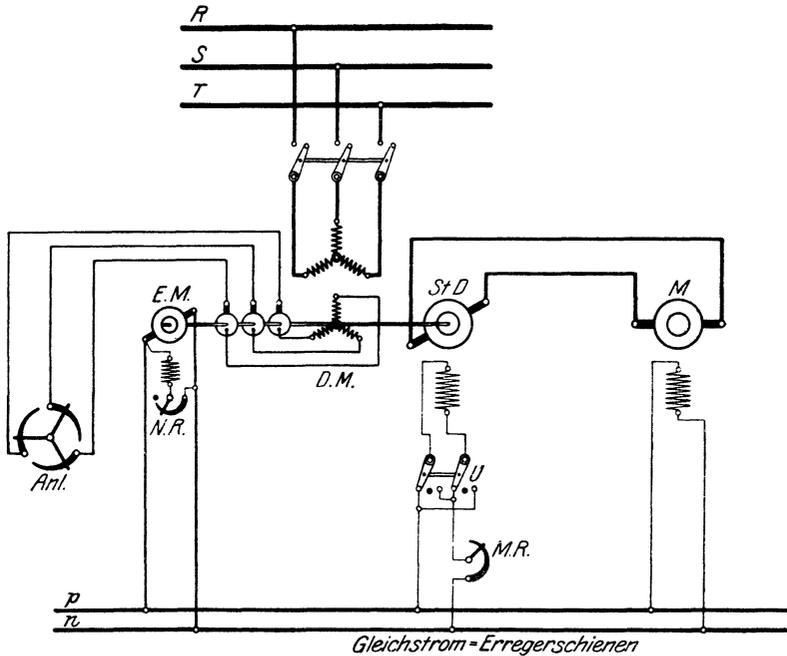


Abb. 292. Die Leonardschaltung in Verbindung mit einem Drehstromnetz.

bis zum Höchstwert gesteigert und wieder auf Null zurückgeführt werden. Die Drehrichtung des Motors hängt von der Polarität der Steerdynamo ab. Um eine plötzliche Umkehr der Drehrichtung zu verhindern, werden Magnetregler und Umschalter der Steerdynamo in der praktischen Ausführung so zu einem Steuerapparat zusammengefaßt, daß das Umschalten nur bei ausgeschaltetem Magnetstrom erfolgen kann (vgl. Abb. 293).

Die wichtigste Anwendung findet die Leonardschaltung für den Betrieb von Förderanlagen, Walzenstraßen und Kranen, ferner wird sie auch beim Antrieb von Papiermaschinen, Hobelmaschinen usw. vielfach angewendet.

172. Die Leonardschaltung für Drehstrom.

Abb. 292 gibt die Schaltung der Leonardschaltung wieder unter der Annahme, daß vom Netz aus nur Drehstrom zur Verfügung steht.

In diesem Falle muß eine Umformung in Gleichstrom vorgenommen werden. Für die Antriebsseite des Leonardumformers wird ein Drehstrom-Induktionsmotor *D.M.* gewählt, mit dem die als Steuerdynamo dienende Gleichstrommaschine gekuppelt ist. Diese arbeitet, wie im vorigen Abschnitt ausgeführt wurde, auf den Anker des Regelmotors. Um den für die Erregung der Gleichstrommaschinen erforderlichen Strom zu beschaffen, ist mit dem Leonardumformer noch eine Erregermaschine *E.M.* verbunden, eine kleine Nebenschlußdynamo, welche die Schienen *p* und *n* speist, und deren Spannung durch den Nebenschlußregler *N.R.* auf den gewünschten Wert einreguliert werden kann.

Durch die Erfindung des gesteuerten Stromrichters ist, wie in Abschnitt 169 ausgeführt wurde, der Leonardschaltung ein anderes Verfahren an die Seite getreten, das sich ebenfalls voll bewährt hat.

173. Die Ilgnerschaltung.

Häufig wird die Leonardschaltung in Verbindung mit einem Schwungrad zum Belastungsausgleich angewendet, um bei großen Motoren mit stark schwankender Belastung Stromstöße im Netz wie auch in der Zentrale zu vermeiden. Das Verfahren ist von Ilgner angegeben und wird namentlich bei Fördermaschinen und Walzenzugmotoren viel benutzt. Das Schwungrad wird mit dem Leonardumformer gekuppelt, wodurch sich der sog. Ilgnerumformer¹ ergibt.

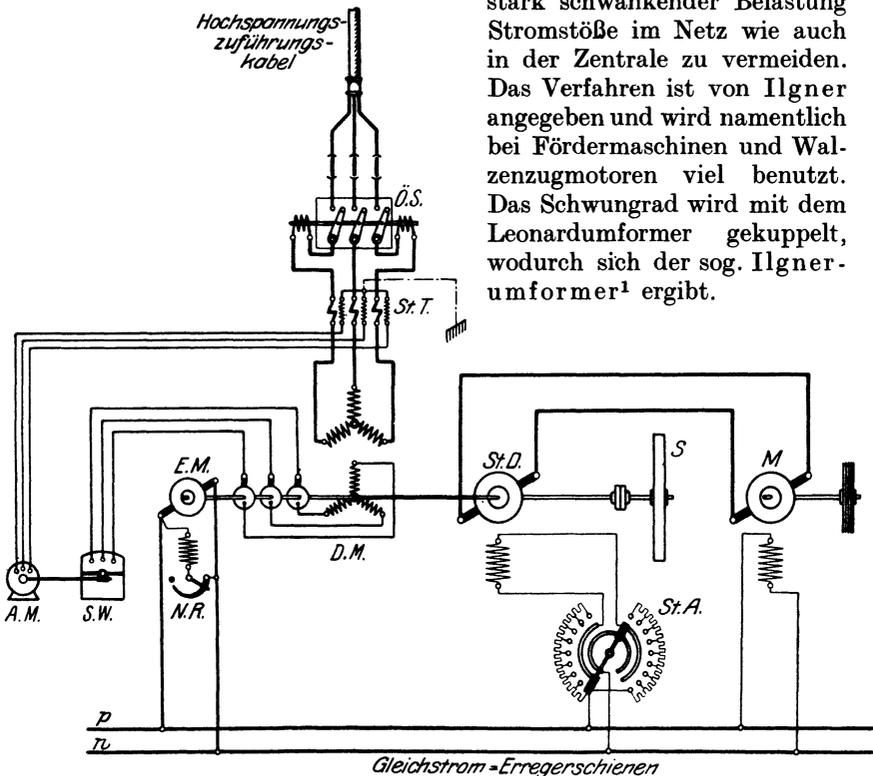


Abb. 293. Ilgnerschaltung.

¹ Vgl. Philippi, Entwicklung des elektrischen Fördermaschinenantriebes. ETZ 1919, 37.

In Abb. 293 ist das allgemeine Schaltbild einer derartigen Anlage in Verbindung mit einem Hochspannungs-Drehstromnetz wiedergegeben. Es entspricht der vorigen Abbildung, nur sind Magnetregler und Umschalter der Steuerdynamo zu einem Steuerapparat *St.A.* vereinigt. Ferner ist mit dem vom Netz gespeisten Drehstrommotor *D.M.* eine selbsttätige Schlüpfungsregelung verbunden. Bei großer Belastung, wenn also die Stromaufnahme des Motors einen mittleren Wert überschreitet, wird seinem Läufer Widerstand vorgeschaltet. Die Drehzahl des Umformers und somit auch des Schwungrades *S* wird mithin herabgesetzt, und letzteres greift in die Energielieferung ein, indem es die in ihm aufgespeicherte Arbeit frei gibt. Umgekehrt tritt bei geringer Belastung, also niedriger Stromaufnahme des Motors eine Steigerung seiner Drehzahl ein, das Schwungrad wird beschleunigt und wieder zur Energieaufnahme befähigt. Während der Zeiträume, in denen der Leistungsbedarf des Regelmotors *M* klein ist, nimmt das Schwungrad also Energie auf, um sie zu Zeiten großen Bedarfs wieder herauszugeben.

Der Schlupfwiderstand *S.W.*, gleichzeitig als Anlaßwiderstand dienend, wird durch ein Stromrelais (s. Abschn. 160) beeinflusst: ein kleiner, als Induktionsmotor gebauter Antriebsmotor *A.M.* ist an einen in den Zuführungsleitungen zum Drehstrommotor des Umformers liegenden Stromtransformator *St.T.* angeschlossen und besorgt selbsttätig die Einschaltung des Schlupfwiderstandes nach Maßgabe der in den Zuführungsleitungen herrschenden Stromstärke.

174. Die Zu- und Gegenschaltung für Gleichstrom.

Der gleiche Erfolg wie mit der Leonardschaltung läßt sich mit dem in Abb. 294 angegebenen Verfahren der Zu- und Gegenschaltung erzielen. Für die Abbildung ist ein Gleichstromnetz vorausgesetzt. Die Steuerdynamo *St.D.* ist für die Spannung des Netzes gewickelt. Sie arbeitet jedoch nicht unmittelbar auf den Regelmotor *M*, sondern über das Netz. Der Regelmotor ist für die doppelte Netzspannung gebaut. Die Steuerdynamo ist, wie beim Leonardumformer, mit dem sie antreibenden, vom Netz gespeisten Gleichstrommotor *G.M.* unmittelbar gekuppelt.

Beim Anlassen des Motors *M* wird die Spannung der Steuerdynamo zunächst gleich der Netzspannung, aber ihr entgegengerichtet eingestellt, so daß der Motor keine Spannung empfängt. Wird jetzt die Spannung der Steuerdynamo allmählich vermindert, so gelangt der Motor *M* in Drehung, und er stellt sich jeweils auf eine Drehzahl ein, die dem Unterschiede zwischen der Spannung des Netzes und derjenigen der Steuerdynamo entspricht. Ist letztere Null geworden, so liegt der Motor an der Netzspannung, seine Drehzahl beträgt die Hälfte der normalen. Wird nunmehr der Erregerstrom der Steuerdynamo gewendet, wodurch ihre Spannung den gleichen Sinn wie die Netzspannung annimmt, so setzen sich Netz- und Steuerdynamospannung zusammen, und es kann dem Motor *M* eine Spannung bis zum doppelten Betrage

der Netzspannung zugeführt werden, die Drehzahl des Motors steigt dementsprechend. Eine Umkehr der Drehrichtung des Regelmotors kann bei dieser Anordnung nur durch einen vor seinen Anker gelegten Umschalter, den Hauptumschalter *H.U.*, vorgenommen werden. Magnetregler *M.R.* und Umschalter *U* der Steerdynamo bilden zusammen mit dem Hauptumschalter den Steuerapparat.

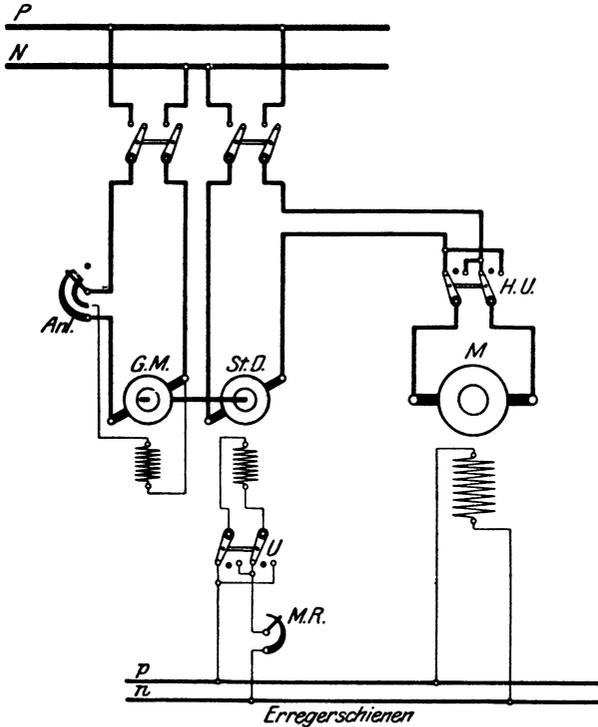


Abb. 294. Verfahren der Zu- und Gegenschaltung in Verbindung mit einem Gleichstromnetz.

Der Umformersatz ist bei dem vorstehend geschilderten Regelverfahren nur für eine Leistung gleich der Hälfte der eines Leonardumformers zu bemessen.

175. Die Zu- und Gegenschaltung für Drehstrom.

In Abb. 295 ist die vorige Schaltung auf die Verhältnisse eines Drehstromnetzes übertragen. Dem Umformersatz, dessen Antriebsseite ein Drehstrom-Induktionsmotor *D.M.* bildet, ist noch eine besondere Gleichstrom-Nebenschlußdynamo *G.D.* hinzugefügt. Ihre Spannung tritt an die Stelle der Spannung des Gleichstromnetzes der vorigen Abbildung, und es sind an sie auch die Erregerschienen *p* und *n* angeschlossen, denen der Magnetstrom für die Steerdynamo und den Regelmotor entnommen wird.

B. Regelsätze für Drehstrom.

176. Die Kaskadenschaltung im allgemeinen.

Die Drehzahl eines Drehstrom-Induktionsmotors mit Schleifringläufer kann nach Abschn. 119 geregelt werden, indem dem Läufer Widerstände vorgeschaltet werden. Das Verfahren ist aber, namentlich bei weiterem Regelbereich, mit einem erheblichen Energieverlust verbunden. Dieser Übelstand wird vermieden bei der Kaskadenschaltung, die besonders bei großen Leistungen viel angewendet wird. Bei

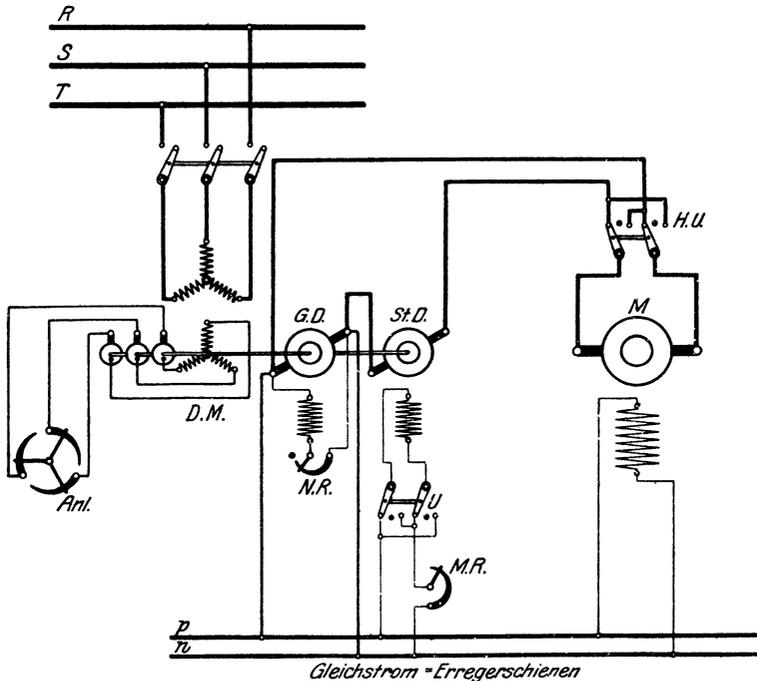


Abb. 295. Verfahren der Zu- und Gegenschaltung in Verbindung mit einem Drehstromnetz.

ihr wird die im Läufer des Motors infolge Herabsetzung der Geschwindigkeit frei werdende Energie nicht vernichtet, sondern wieder nutzbar gemacht. Dies kann in der Weise geschehen, daß die Läuferenergie einem zweiten Motor, der mit dem ersten gekuppelt ist, zugeführt, also in mechanische Arbeit umgewandelt wird. Oder es kann die Läuferenergie in Form von elektrischer Arbeit an das Netz zurückgeliefert werden, so daß eine mechanische Verbindung des zu regelnden Induktionsmotors mit einer anderen Maschine nicht notwendig ist. In ersterem Falle spricht man von einem mechanisch gekuppelten, in letzterem Falle von einem elektrisch gekuppelten oder einem getrennten Regelsatz. Nachstehend ist eine Anzahl verschiedener Kaskadenschaltungen angegeben.

177. Kaskade zweier Drehstrom-Induktionsmotoren.

Bei der ältesten, von Görge und gleichzeitig von Steinmetz angegebenen Kaskadenschaltung wird die vom Läufer des Induktionsmotors gelieferte Energie einem zweiten, mit ihm festgekuppelten Induktionsmotor zugeführt und die in diesem entwickelte mechanische Arbeit für den Antrieb der gemeinsamen Welle verwertet. Die Drehzahl, auf welche sich die aus den beiden Motoren gebildete Kaskade einstellt, entspricht der Summe der Polzahlen beider Maschinen; sie beträgt also z. B. die Hälfte der jeder einzelnen Maschine, wenn die Polzahlen gleich sind.

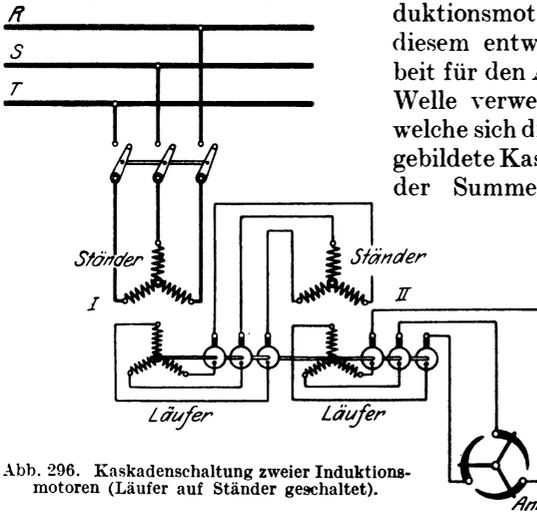


Abb. 296. Kaskadenschaltung zweier Induktionsmotoren (Läufer auf Ständer geschaltet).

Die Einrichtung kann so getroffen werden, daß der Läufer von Motor I *II* arbeitet und der Läufer von *II* mit dem gemeinsamen Anlasser in Verbindung steht, Abb. 296. Oder es können auch, Abb. 297, die Läufer beider Motoren aufeinander geschaltet werden, der Anlasser wird dann

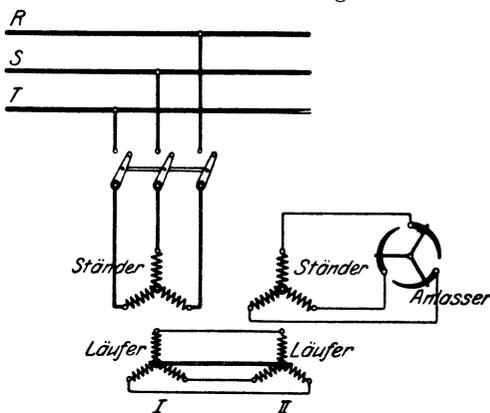


Abb. 297. Kaskadenschaltung zweier Induktionsmotoren (Läufer auf Läufer geschaltet).

hinten die Ständerwicklung des zweiten Motors gelegt. Letztere Anordnung macht die Schleifringe an den Läufern überflüssig, wenn die Läuferwicklungen beider Maschinen unmittelbar miteinander verbunden werden. Durch den Fortfall der Schleifringe begibt man sich aber der Möglichkeit, jede Maschine für sich zu belasten, da die Läufer nicht einzeln kurzgeschlossen werden können. Daher sind Motore mit Schleifringen vorzuziehen.

In Abb. 298 ist eine Kaskadenanordnung schematisch dargestellt, bei welcher sich mit demselben Anlasser zwei Geschwindigkeitsstufen einstellen lassen, indem entweder Motor *I* allein den Betrieb übernimmt (Umschalter *U* nach links) oder beide Motoren zusammen arbeiten (Umschalter nach rechts). Eine weitere Regulierstufe läßt sich, wenn

zwei Maschinen mit verschiedenen Polzahlen verwendet werden, erreichen, indem auch Maschine *II* unmittelbar an das Netz gelegt wird. In jedem Fall ist aber nur ein sprungweises Einstellen auf einige wenige Drehzahlen möglich, nicht jedoch ein allmähliches Einregulieren auf eine beliebige Geschwindigkeit.

178. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Kollektorhintermotor.

a) Mechanisch gekuppelter Regelsatz.

Eine gleichmäßige Regulierung der Geschwindigkeit eines Drehstrom-Induktionsmotors läßt sich nach Krämer erreichen, indem er

mit einem Drehstrom-Kollektormotor in Kaskade geschaltet wird. Der Kollektormotor nimmt dann die Läuferenergie des Induktionsmotors auf und führt sie der gemeinsamen Welle in Form von mechanischer Arbeit wieder zu. Er ist für eine Leistung zu bemessen, die dem Grade der gewünschten Geschwindigkeitsregelung entspricht. Soll z. B. die Drehzahl um 20% der normalen herabgesetzt werden, so braucht die Leistung des Kollektormotors auch nur 20% der des Induktionsmotors zu betragen. Ist der Kollektormotor ein Hauptschlußmotor, so erhält die Kaskade auch dessen charakteristische Eigenschaften: die Drehzahl ist also in hohem Maße von der Belastung abhängig; ihre Regelung erfolgt am einfachsten durch Verstellen der Bürsten des Kollektormotors. Wird dagegen ein Nebenschlußkollektormotor verwendet, so nimmt auch die Kaskade den Charakter eines solchen an: die Drehzahl ist also von der Belastung ziemlich unabhängig; ihre Einstellung erfolgt meistens durch einen Regeltransformator. Die Kaskade arbeitet, wie auch die nachfolgend. erörterten Anordnungen, im allgemeinen ohne Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke, also mit dem Leistungsfaktor 1.

Abb. 299 zeigt das Schaltbild einer Kaskade mit einer Art von Nebenschlußkollektormotor: Ständer und Läufer des letzteren liegen nebeneinander, parallel. Beim Anlauf wird der Läufer des asynchronen

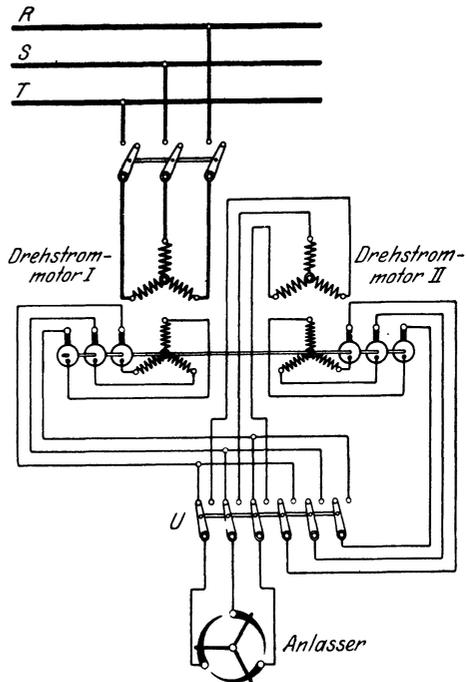


Abb. 298. Kaskadenschaltung zweier Induktionsmotoren für zwei Geschwindigkeitsstufen.

Hauptmotors durch den Umschalter U^1 zunächst in normaler Weise mit dem Anlasser in Verbindung gebracht. Erst nachdem dieser kurzgeschlossen ist, wird der Läufer durch Umlegen des Schalters (von links nach rechts) auf den Kollektormotor geschaltet. Während der Läufer des letzteren unmittelbar Strom empfängt, wird der Ständer über einen Regeltransformator erregt, dessen Sekundärspannung die Drehzahl der Kaskade bestimmt. Es können also so viel Geschwindigkeitsstufen eingestellt werden, als am Transformator Regulierstufen vorgesehen sind.

Infolge Schwierigkeiten hinsichtlich funkenfreien Laufes ist die Leistung des Kollektormotors beschränkt und damit auch das An-

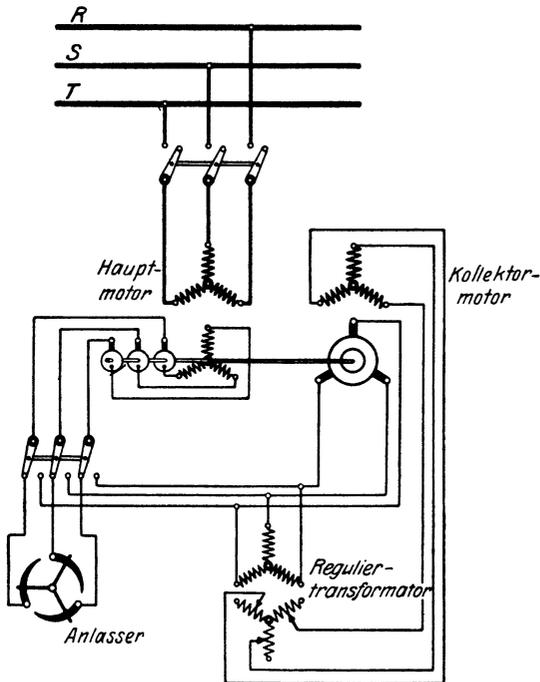


Abb. 299. Drehstrom-Induktionsmotor mit mechanisch gekoppeltem Kollektormotor.

wendungsbereich der vorstehend behandelten Kaskade.

b) Elektrisch gekuppelter Regelsatz.

Die in Abb. 300 schematisch dargestellte Anordnung gibt ein Beispiel für den Fall, daß die bei der Regulierung des Drehstrom-Induktionsmotors verfügbar werdende Läuferenergie in Form von elektrischer Arbeit nutzbringend dem Netz wieder zugeführt wird. Die Anordnung ist von Scherbius angegeben. Sie ist eine Weiterentwicklung der in der vorigen Abbildung angegebenen Kaskadenschaltung. Nur ist der Drehstromkollektormotor, der den Läuferstrom des Induktionsmotors aufnimmt, mit letzterem nicht mechanisch verbunden, sondern er wird zum Antrieb eines Drehstromgenerators benutzt, durch welchen Strom von der Netzfrequenz erzeugt wird. Der Abbildung ist ein asynchroner Generator zugrunde gelegt worden. Ein solcher besitzt die Bauart eines gewöhnlichen Induktionsmotors; er wirkt, wenn er übersynchron angetrieben wird, stromerzeugend, wobei er seine Energie an das Drehstromnetz, an das er angeschlossen ist, abliefern kann. Kollektormotor und Generator sind miteinander starr gekuppelt, stellen also einen als Motor-generator ausgeführten Umformer dar.

¹ Es muß hier, wie in den nachfolgenden Kaskadenschaltungen, Sorge getragen werden, daß die Umschaltung ohne Unterbrechung vor sich geht.

Beim Anlassen wird zunächst der Umformer in Gang gesetzt, und zwar von der Drehstromseite aus, indem der Generator mit Hilfe des Anlassers wie ein asynchroner Induktionsmotor zum Anlauf gebracht wird. Darauf wird der Hauptmotor angelassen und mit dem Umschalter auf den Kollektormotor geschaltet. Die Regelung der Umlaufzahl geschieht mittels des zur Erregung des Kollektormotors dienenden Regeltransformators wie unter a angegeben. Überhaupt lassen sich die dort gemachten Ausführungen sinngemäß auf den zur Erörterung stehenden Regelsatz übertragen, dessen Hauptvorteil gegenüber der Kaskadenschaltung mit mechanischer Kupplung in der

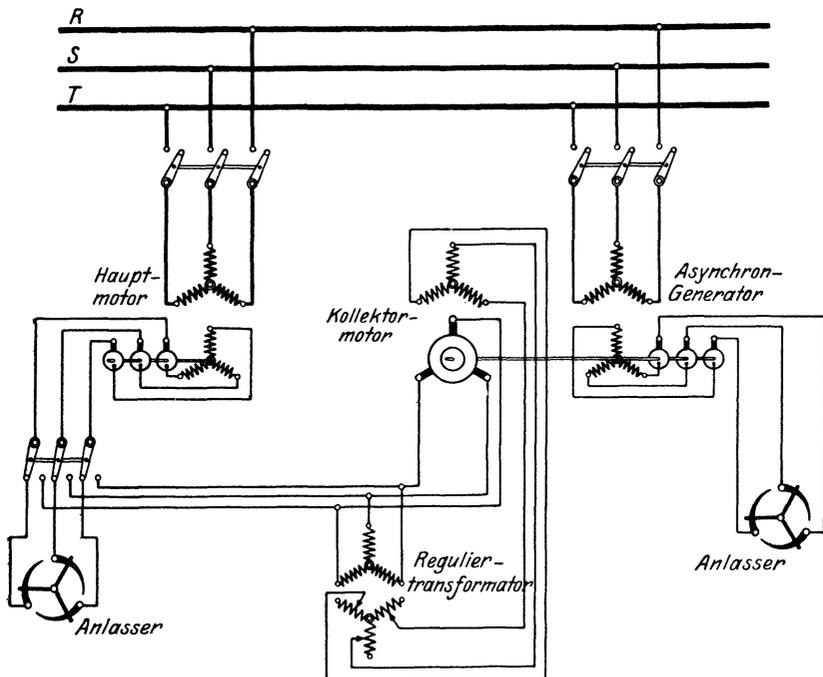


Abb. 300. Drehstrom-Induktionsmotor mit elektrisch gekuppeltem Kollektormotor.

Unabhängigkeit des eigentlichen Regelumformers vom Hauptmotor, namentlich in bezug auf den Aufstellungsort, besteht. Die Firma BBC, die die beschriebene Anordnung ausführt, hat den Kollektormotor so durchgebildet, daß auch bei den größten Leistungen eine Funkenbildung am Kollektor nicht auftritt.

179. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Gleichstromhintermotor.

a) Mechanisch gekuppelter Regelsatz.

Namentlich bei großen Leistungen wird es häufig vorgezogen, zum Zweck der Geschwindigkeitsregelung statt eines Drehstrom-Kollektormotors einen Gleichstrommotor mit dem Induktionsmotor in Kaskade zu schalten. In diesem Falle ist jedoch eine Umformung der dem

Läufer des Induktionsmotors entnommenen Wechselstromenergie in Gleichstrom vorzunehmen. Wie aus dem Schaltbild Abb. 301 hervorgeht, wird daher zwischen beide Motoren ein Einankerumformer geschaltet. Eine besondere Synchronisierereinrichtung für ihn ist nicht erforderlich. Es wird vielmehr, nachdem er zuvor erregt und der Induktionsmotor angelassen ist, der Läufer des letzteren auf den Umformer geschaltet, und dieser läuft alsdann bei Regelung der Drehzahl, der entstehenden Schlüpfungsfrequenz entsprechend, von selbst an.

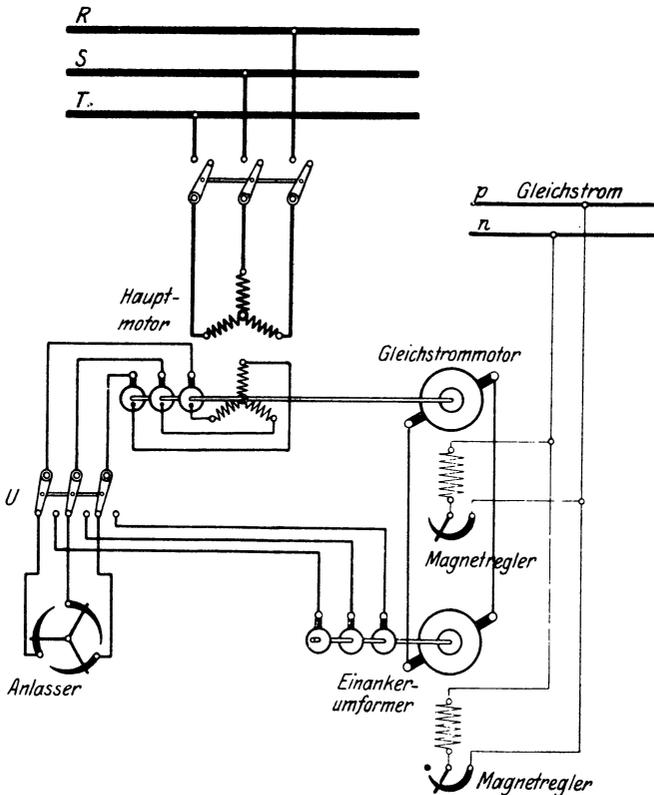


Abb. 301. Drehstrom-Induktionsmotor mit mechanisch gekuppeltem Gleichstrommotor.

Umformer und Gleichstrommotor werden von den Gleichstromschienen p und n aus erregt. Gegebenenfalls ist eine besondere Erregermaschine erforderlich. Die Geschwindigkeitsregelung kann sehr feinstufig vorgenommen werden und wird am Magnetregler des Gleichstrommotors bewirkt. Je stärker dieser erregt wird, desto größer wird die durch den Einankerumformer in den Läufer des Induktionsmotors gelieferte Gegenspannung, und desto mehr sinkt demnach die Drehzahl des ganzen Maschinensatzes. Die Einstellung des Leistungsfaktors erfolgt am Magnetregler des Einankerumformers.

Statt des in der Abbildung angegebenen dreiphasigen Einankerumformers mit drei Schleifringen wird häufig ein sechsphasiger Umformer, also

ein solcher mit sechs Schleifringen vorgezogen. In diesem Falle ist auch der Läufer des asynchronen Hauptmotors statt mit drei mit sechs Schleifringen auszustatten, je einem Schleifring für Anfang und Ende der drei Phasen.

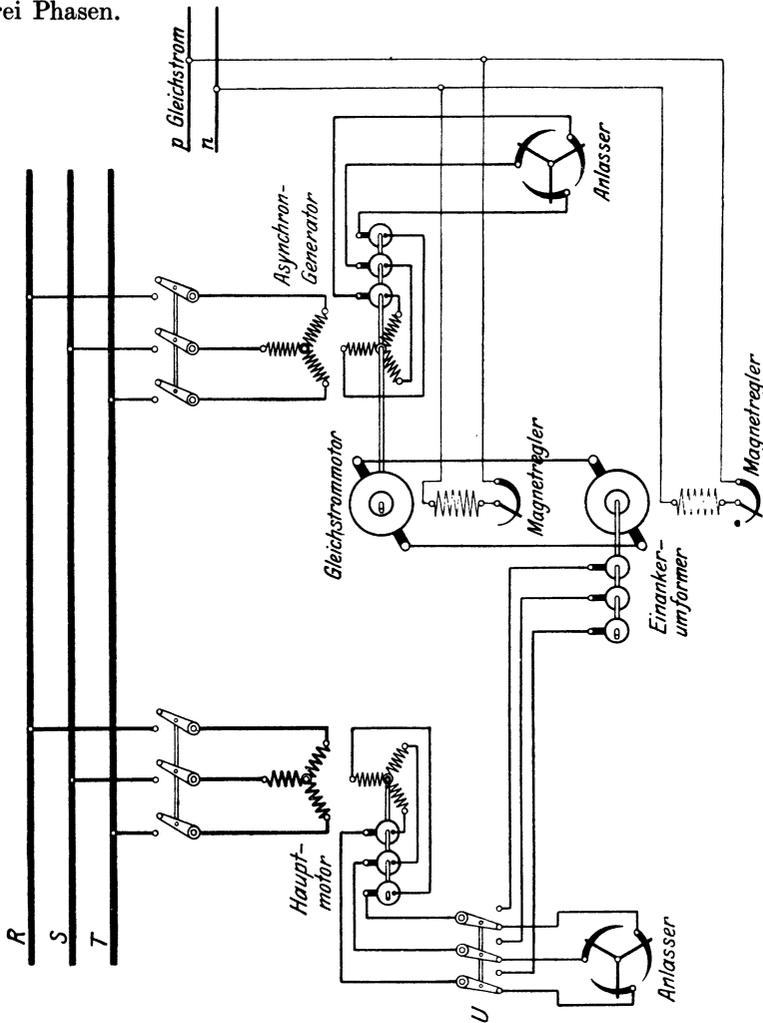


Abb. 302. Dreistrom-Induktionsmotor mit elektrisch gekoppeltem Gleichstrommotor.

Das vorstehend erörterte Regelverfahren, das auch für große Leistungen brauchbar ist, ist unabhängig voneinander von Linsemann, Krämer und Heyland angegeben worden.

b) Elektrisch gekuppelter Regelsatz.

Auch bei dem vorstehend beschriebenen Verfahren kann ein vom Hauptmotor getrennter Regelsatz zur Anwendung kommen. Es ist alsdann der vom Einankerumformer gelieferte Gleichstrom über den Gleichstrommotor mit Hilfe eines asynchronen Drehstrom-

generators (vgl. Abb. 300) in Drehstrom überzuführen und dieser an das Netz zurückzuliefern. Das Schaltbild einer solcherart eingerichteten Anlage zeigt Abb. 302. Der für die Erregung des Einankerumformers und des Gleichstrommotors erforderliche Erregerstrom wird wieder besonderen Gleichstromschienen entnommen. Der Vorgang des Anlassens ergibt sich sinngemäß aus den vorhergehenden Abschnitten: der aus Gleichstrommotor und Drehstromgenerator bestehende Umformer wird von der Drehstromseite aus angetrieben; der Hauptmotor wird angelassen, der Einankerumformer erregt und mit dem Läufer

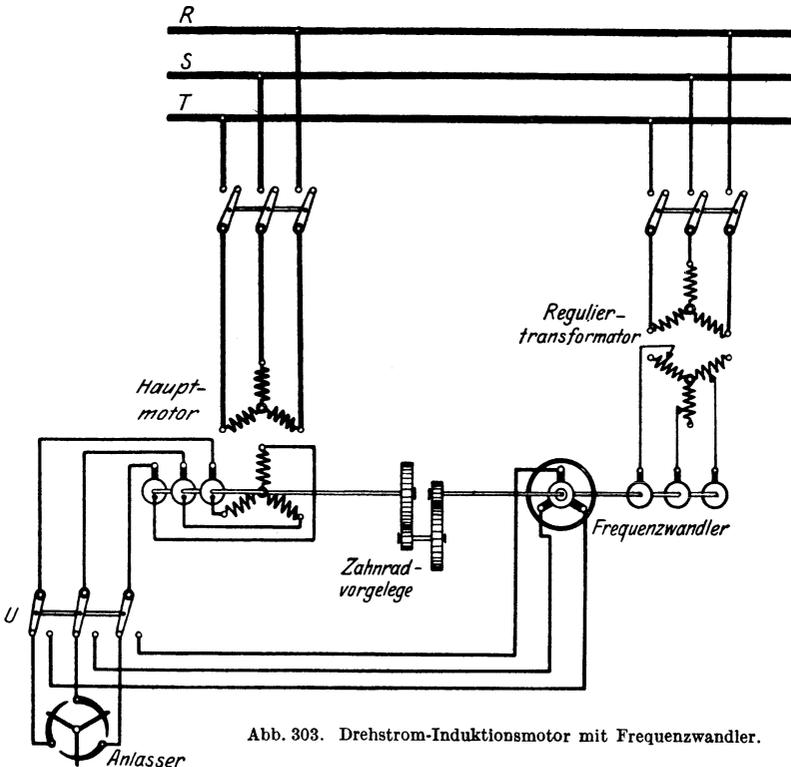


Abb. 303. Drehstrom-Induktionsmotor mit Frequenzwandler.

des Hauptmotors verbunden. Das Einstellen der Umlaufzahl geschieht am Magnetregler des Gleichstrommotors, kann also in beliebig feinen Stufen vorgenommen werden. Die Einrichtung kann, wie die unter a behandelte, für beliebig große Leistungen ausgeführt werden.

180. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Frequenzwandler.

Um die Läuferenergie des zu regelnden Induktionsmotors dem Netz wieder zuzuführen, kann nach einem Vorschlage von Heyland auch ein Frequenzwandler, wie er bereits in Abschn. 139 als Phasenkomparator erörtert wurde, benutzt werden. Ihm fällt die Aufgabe zu, den dem Läufer des Motors entnommenen Wechselstrom geringer Frequenz in solchen von der Netzfrequenz umzuwandeln.

Die Schaltung ist in Abb. 303 wiedergegeben. Der Läufer des Hauptmotors arbeitet auf den Kollektor des Frequenzwandlers. Die Schleifringe des Wandlers stehen über einen Regeltransformator mit dem Netz in Verbindung, der die Läuferenergie auf Netzspannung bringt. Der Antrieb des Frequenzwandlers kann unmittelbar von der Welle des Hauptmotors aus oder, wenn seine Drehzahl höher als die des letzteren ist, über ein Zahnradvorgelege erfolgen. In der Abbildung ist ein Zahnradgetriebe angedeutet. Die Geschwindigkeitsregelung des Hauptmotors geschieht durch Spannungsregelung am Regeltransformator des Frequenzwandlers.

Grundsätzlich kann der Frequenzwandler auch getrennt vom Hauptmotor aufgestellt werden. Er muß alsdann durch einen kleinen Hilfsmotor synchron zum Hauptmotor angetrieben werden. Doch treten in diesem Falle leicht Pendelerscheinungen der Maschine ein, und es wird daher die mechanische Kupplung vorgezogen. Überhaupt wird der Frequenzwandler im allgemeinen nur für verhältnismäßig kleine Leistungen verwendet.

181. Regelung eines Drehstrom-Induktionsmotors auf unter- und übersynchronen Lauf.

Bei den bisher behandelten Kaskadenschaltungen ist eine Regelung der Drehzahl im allgemeinen nur unterhalb des Synchronismus möglich, d. h. die Drehzahl des Hauptmotors kann gegenüber der normalen wohl verringert, nicht aber gesteigert werden. Als einen wesentlichen Fortschritt müssen die neueren Verfahren angesehen werden, durch welche die Drehzahl innerhalb gegebener Grenzen beliebig unterhalb oder oberhalb des Synchronismus eingestellt werden kann. Bei ihnen fallen, da sich die Drehzahl beiderseits des Synchronismus regeln läßt, die zur Regelung dienenden Hilfsmaschinen bei gleichem Regelbereich nur halb so groß aus wie bei nur untersynchroner Regelung, oder man erzielt bei gleich großen Maschinen einen Regelbereich von doppelter Ausdehnung.

a) Regelsatz mit Drehstrom-Erregermaschine, mechanisch und elektrisch gekuppelt.

Bei dem von den SSW nach Angaben von Koz¹sek ausgebildeten Verfahren der unter- und übersynchronen Regelung eines Induktionsmotors wird eine Drehstrom-Erregermaschine mit Netzerregung benutzt nach Art der in Abschn. 140 als Phasenkompensator beschriebenen. Es sind verschiedene Schaltungen möglich, von denen eine in Abb. 304 dargestellt ist. Die Erregermaschine ist mit dem zu regelnden Hauptmotor unmittelbar gekuppelt oder, bei abweichender Drehzahl, über Zahnräder verbunden. Der Läuferstrom des Hauptmotors wird über den Ständer dem Läufer der Erregermaschine zugeführt. Gleichzeitig wird diese unter Zwischenschaltung eines Regeltransformators vom Netz aus erregt. Der Erregerstrom wird vom Mittelpunkt jeder der drei Phasen der Sekundärwicklung des Regeltransformators abgenommen und über die Schleifringe dem Läufer der Erregermaschine

aufgedrückt. Die Phasen des Transformators sind ferner mit einer Anzahl Anzapfungen versehen, die mit Kontakten eines dreiteiligen Regulierschalters in Verbindung stehen, und an denen ihre Verkettung vorgenommen wird. Der Regulierschalter bildet also den Verkettungspunkt der Transformatorphasen. Je nachdem, auf welcher Seite, vom Mittelpunkt der Phasen aus gerechnet, die Verkettung erfolgt, erhält man eine Erregerspannung von verschiedener Richtung, derzufolge die von der Erregermaschine entwickelte Spannung im gleichen oder entgegengesetzten Sinne wie die Läuferspannung des Hauptmotors wirkt. Da sich nun der Motor auf eine solche Drehzahl einstellen muß, daß seine Läuferspannung der ihm aufgedrückten Spannung das Gleichgewicht hält, so wird er je nach der Stellung des Regulierschalters zum über- oder untersynchronen Lauf gezwungen. Nur in der Mittelstellung des Schalters tritt die nahezu synchrone Geschwindigkeit auf.

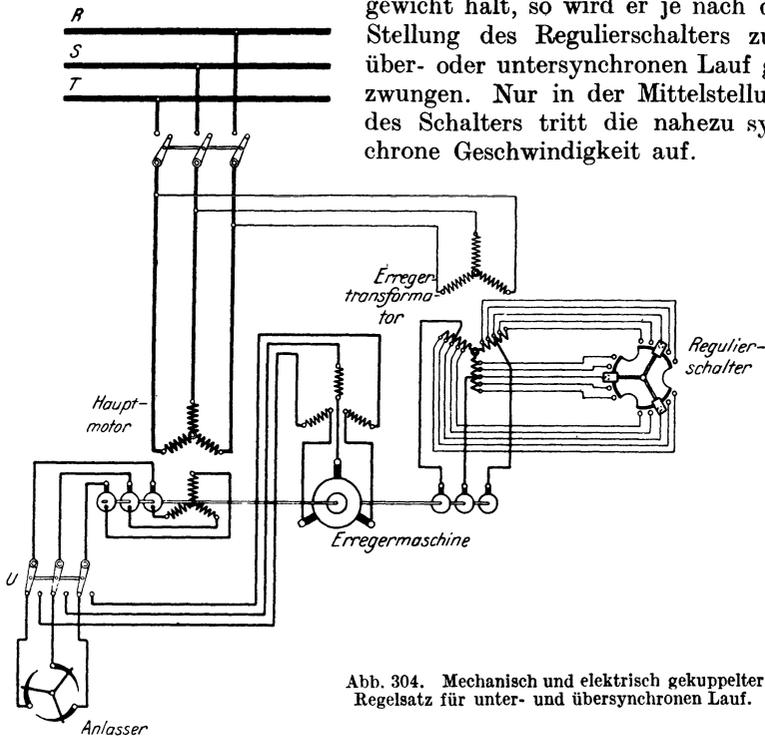


Abb. 304. Mechanisch und elektrisch gekuppelter Regelsatz für unter- und übersynchronen Lauf.

Bei untersynchronem Lauf wird die von den Schleifringen des Hauptmotors abgegebene elektrische Energie in der Erregermaschine, die als Motor arbeitet, in mechanische Arbeit verwandelt und diese an der gemeinsamen Welle nutzbar gemacht. Bei übersynchronem Lauf wirkt die Kollektormaschine dagegen als Generator. Sie erhält die zum Antrieb erforderliche mechanische Energie vom Hauptmotor über die Welle zugeführt und liefert sie als elektrische Arbeit an das Netz zurück. Der Übergang von der unter- zur übersynchronen Geschwindigkeit geschieht stoßfrei.

Der Maschinensatz wird vom Hauptmotor aus mittels seines Anlassers in Betrieb gesetzt, wobei sich der Regulierschalter vorerst noch

in der Nulllage befindet. Der Motor läuft dann zunächst mit seiner normalen Drehzahl, die in der Mitte des Regelbereichs liegt; innerhalb dessen sie nunmehr durch den Regulierschalter nach oben oder unten verändert werden kann.

b) Regelsatz mit Drehstrom-Kollektormotor, elektrisch gekuppelt.

Das Schaltbild eines Verfahrens der unter- und übersynchronen Regelung, welches sich eng an die in Abschn. 178b behandelte Schaltung anschließt, zeigt Abb. 305. Bei dem Verfahren, das von BBC durchgebildet wurde, wird ein vom Hauptmotor getrennter Regelsatz angewendet. Er besteht aus einem Drehstrom-Kollektormotor, der mit dem Läufer des Hauptmotors in elektrische Verbindung gebracht

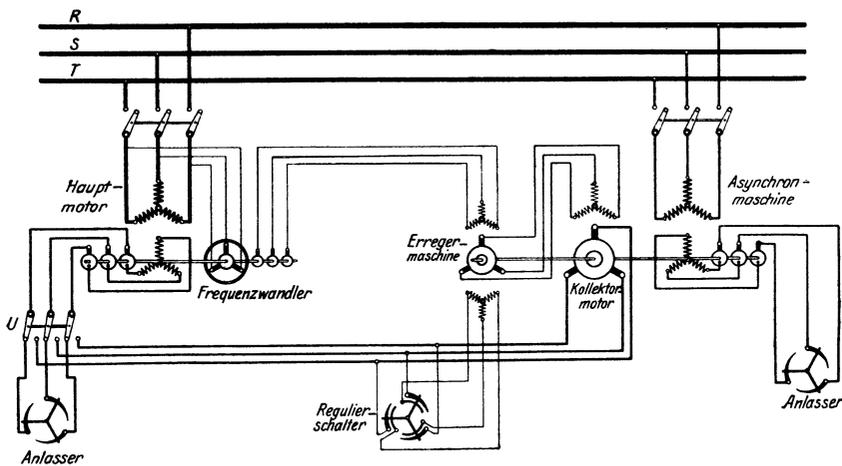


Abb. 305. Elektrisch gekuppelter Regelsatz für unter- und übersynchronen Lauf.

wird, und einer damit gekuppelten asynchronen Induktionsmaschine, die an das Drehstromnetz angeschlossen ist. Insofern gleicht der Regelsatz also dem von Scherbius. Während bei diesem jedoch die Erregung des Kollektormotors mit Hilfe eines Regeltransformators erfolgt, ist für das vorliegende Verfahren eine eigene Erregermaschine vorgesehen, die auch als Kollektormaschine gebaut und mit dem Regelsatz starr gekuppelt ist. Die Erregermaschine ihrerseits wird über einen Regulierschalter von der Läuferspannung des Hauptmotors aus erregt. Da im Synchronismus die Läuferspannung des Hauptmotors Null ist, so versagt jedoch diese Erregung beim Übergang vom unter- zum übersynchronen Lauf, und es ist daher, um den übersynchronen Lauf einzuleiten, noch eine weitere, und zwar eine Fremderregung vorgesehen. Diese vermittelt ein kleiner Frequenzwandler, welcher mit dem Hauptmotor mechanisch gekuppelt ist und somit eine der Läuferspannung stets periodengleiche Zusatzspannung von ungefähr gleichbleibender Größe liefert.

Die Drehzahl des Hauptmotors kann nun am Regulierschalter auf den gewünschten Wert eingestellt werden. Bei untersynchroner Regelung treibt die Kollektormaschine, gespeist von der frei werdenden Läuferenergie des Hauptmotors, die mit ihr gekuppelte Asynchronmaschine an, so daß diese, als Generator wirkend, Strom in das Drehstromnetz liefert. Bei übersynchroner Regelung dagegen empfängt die Asynchronmaschine Strom aus dem Netz, arbeitet sie also als Motor und treibt sie die Kollektormaschine an, so daß diese nunmehr Energie an den Läufer des Hauptmotors abgibt.

Das Anlassen geschieht ähnlich wie bei der Anordnung von Scherbius. Es wird zuerst der Regelsatz angetrieben, indem die Asynchron-

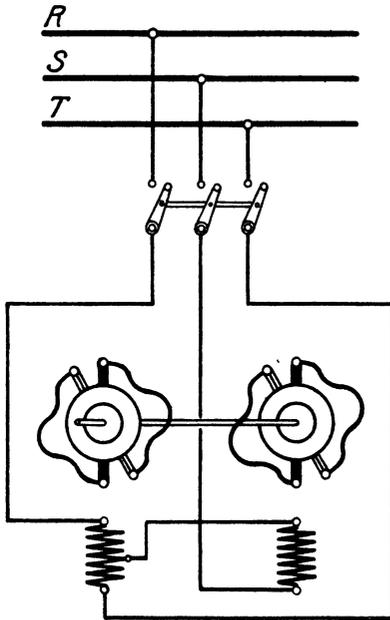


Abb. 306. Doppelkurzschlußkollektormotor.

maschine über ihren Anlasser als Motor in Gang gesetzt wird. Hierbei befindet sich der Regulierschalter in der Nullstellung. Sodann wird der Hauptmotor angelassen und, nachdem dies geschehen, sein Läufer auf den Regelsatz umgeschaltet. Der Hauptmotor stellt sich dabei auf seine normale Drehzahl ein. Nunmehr kann an dem Schalter auf die gewünschte Geschwindigkeit einreguliert werden.

182. Der Doppelkurzschlußkollektormotor.

Regelmaschinen besonderer Art stellt die Firma BBC her, indem sie zwei Einphasen-Kurzschlußkollektormotoren (vgl. Abschnitt 131, Abb. 235) zu einem Motor mit zwei Kollektoren vereinigt. Die Stromzuführung kann über zwei Einphasentransformatoren erfolgen, die nach der Skottschen Schaltung (s. Abschn. 90)

verbunden sind, so daß jeder Einzelmotor an eine Phase eines Zweiphasensystems angeschlossen wird. Die Transformatoren sind jedoch entbehrlich, wenn, wie in Abb. 306, die Ständerwicklungen beider Motoren selbst nach Skott geschaltet sind. Der Doppelkurzschlußkollektormotor hat Hauptschlußcharakter. Die Regelung der Geschwindigkeit erfolgt durch Bürstenverschiebung. Damit diese an beiden Kollektoren gleichmäßig vorgenommen werden kann, sind die Bürstenbrücken für die beweglichen Bürsten beider Motoren mechanisch miteinander verbunden.

Anhang.

A. Die wichtigsten Klemmenbezeichnungen.

(Näheres s. „Regeln für Klemmenbezeichnungen“ des VDE.)

I. Gleichstrom.

$A-B$ = Anker.
 $C-D$ = Nebenschlußwicklung.
 $E-F$ = Hauptschlußwicklung.
 $G-H$ = Wendepol- bzw. Kompensationswicklung.
 $J-K$ = fremderregte Magnetwicklung.
 L = Leitung, unabh. von der Polarität.
 P = Pluspol.
 N = Minuspol.
 O = Nulleiter, Mittelleiter.
 $N-P$ = Zweileiternetz.
 $N-O-P$ = Dreileiternetz.
 L, M, R = Anlasser.
 s, t = Magnetregler, q = Ausschaltkontakt des Reglers.

II. Wechselstrom.

$U-V$ oder $u-v$ = Einphasenwicklung.
 $W-Z$ = Hilfswicklung bei Einphasenmotoren.
 $U-X, V-Y$ oder $u-x, v-y$ = Zweiphasenwicklung.

$U-X, V-Y, W-Z$ oder $u-x, v-y, w-z$ = unverkettete Drehstromwicklung.
 U, V, W oder u, v, w = verkettete Drehstromwicklung.
 O oder o = Stern- oder Nullpunkt der verketteten Drehstromwicklung.
 $J-K$ = gleichstromerregte Magnetwicklung.
 L = Leitung, unabhängig von der Phase.
 $R-S$ bzw. $S-T$ bzw. $T-R$ = Einphasennetz.
 $Q-S, R-T$ = Zweiphasennetz.
 $R-S-T$ = Drehstromnetz.
 $R-S-T-O$ = Drehstromnetz mit Sternpunktleiter (Nulleiter).
 s, t = Magnetregler für Gleichstromerregung, q = Ausschaltkontakt des Reglers.

Die Bezeichnung der Klemmen an Anlassern von Wechselstrommotoren ist i. a. die gleiche wie die der Netzleitungen oder der Maschinenklemmen, mit denen sie zu verbinden sind.

B. Die in den Schaltplänen hauptsächlich verwendeten Abkürzungen.

I. Maschinen.

D = Dynamomaschine.
 G = Generator.
 M = Motor.
 $M.G.$ = Motorgenerator.
 $E.U.$ = Einankerumformer.
 T = Transformator.
 $G.D.$ = Gleichstromdynamo.
 $N.D.$ = Nebenschlußdynamo.
 $D.D.$ = Doppelschlußdynamo.
 $G.M.$ = Gleichstrommotor.
 $N.M.$ = Nebenschlußmotor.
 $H.M.$ = Hauptschlußmotor.

$E.G.$ = Einphasengenerator.
 $D.G.$ = Drehstromgenerator.
 $D.M.$ = Drehstrommotor.

$E.T.$ = Einphasentransformator.
 $D.T.$ = Drehstromtransformator.
 $A.T.$ = Anlaßtransformator.
 $R.T.$ = Regeltransformator.
 $E.M.$ = Erregermaschine.
 $P.D.$ = Piranimaschine.
 $P.M.$ = Puffermaschine.
 $M.R.$ = Magnetregler.
 $N.R.$ = Nebenschlußregler.
 G = Gleichrichter.
 $St.R.$ = Stromrichter.
 $T.G.$ = Trockengleichrichter.

II. Meß- und Prüfgeräte.

A = Strommesser, Amperemeter.
 V = Spannungsmesser, Voltmeter.
 W = Leistungsmesser, Wattmeter.

Z = Zähler (Angabe in Wh).
F = Frequenzmesser (Angabe in Hertz).
P = Phasemesser (cos φ -Anzeiger).

N.W. = Nebenwiderstand.
V.W. = Vorwiderstand.

S.A. = Synchronismusanzeiger
 (*L* = Phasenlampe,
V = Phasenvoltmeter,
N.V. = Nullvoltmeter).
E.A. = Erdschlußanzeiger.

III. Apparate.

B = Batterie.
L = Lampe.

S = Schalter, auch Schütz.
Ö.S. = Ölschalter.
S.S. = Selbstschalter.
K.S. = Kupplungsschalter.
T.S. = Trennschalter.
E.S. = Erdungsschalter.
A.S. = Anlaßschalter.
R.S. = Regulierschalter.
F.S. = Fernschalter.
Z.S. = Zentrifugalschalter.
D = Druckknopfschalter.
U = Umschalter.
M.R. = Überstromrelais, Maximalrelais.
R.R. = Richtungsrelais, Rückleistungsrelais.

N.R. = Unterspannungsrelais, Nullspannungsrelais.

D.R. = Differentialrelais.

E.R. = Erdschlußrelais.

St.W. = Stromwandler.

Sp.W. = Spannungswandler.

M = Magnet.

A = Anker.

A.Sp. = Auslösespule.

F.B. = Funkenblaspule.

W = Widerstand.

R.W. = Regulierwiderstand.

D.W. = Dämpfungswiderstand.

Ö.W. = Öl widerstand.

C = Kondensator.

D = Drosselspule.

P.Z. = Polarisationszelle.

Ü.A. = Überspannungsableiter.

F = Funkenableiter.

H = Hörnerableiter.

V.A. = Ventilableiter.

K.A. = Kathodenfallableiter.

SAW = spannungsabhängiger Widerstand.

D.S. = Durchschlagsicherung.

E.W. = Erdungswiderstand.

E.D. = Erdungsdrosselspule.

P.D. = Erdschlußspule, Petersen-Drosselspule.

L.T. = Löschtransformator.

C. Abkürzungen im Text.

VDE = Verband deutscher Elektrotechniker.
 AEG = Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.
 BBC = Brown, Boveri & Co.
 SSW = Siemens-Schuckertwerke.

D. Schriftumshinweise.

ETZ = Elektrotechnische Zeitschrift.
 AEG-Mitt. = AEG-Mitteilungen.
 SZ = Siemens-Zeitschrift.

Namen- und Sachverzeichnis.

- Akkumulatorenbatterie 33.
Anlasser 57, 127, 131.
Anlaßtransformator 106, 123, 128, 163.
Anwurfmotor 122, 162, 170.
Amperemeter 20.
Amperestundenzähler 26.
Arbeitsmesser 24.
Arbeitsschaltung 11.
Asynchronmotor 125.
—, synchronisierter 158.
Ausgleichsleitung 37.
Ausgleichsmaschine 55.
Auslösung, mittelbare 9.
—, primäre 9.
—, sekundäre 9.
—, unmittelbare 9, 93.
Ausschaltleitung 29, 57, 61.
Außenleiter 50.
- Bauch** 16.
Blindleistungsmaschine 122, 156.
Bragstad 179.
Buchholzschutz 107, 115.
- Dämpferwicklung** 123, 163, 170.
Déri 146.
Differentialrelais 13, 79, 107.
Differentialschutz 13, 78, 107.
Distanzschutz 12.
Dobrowolsky 56.
Doppelkurzschlußkollektormotor 212.
Doppelsammelschienensystem 89, 110.
Doppelschlußmaschine 30.
Doppelschlußmotor 58.
Drehregler 120.
Drehshalter 4.
Drehstrom 2, 22, 27.
Drehstrom-Erregermaschine 151, 209, 211.
Drehstromgenerator 74.
Drehstrom-Hauptschlußkollektormotor 147.
Drehstrom-Nebenschlußkollektormotor 148.
Drehstromtransformator 97, 105.
Drehstromzentrale 81.
Drehtransformator 119, 172.
Drehzahlregelung 60, 133, 144.
Dreieckschaltung 75, 105.
Dreileiteranlage 50, 175.
- Dreileitermaschine 56.
Dreileiterzähler 25.
Dreileiterzentrale 50.
Dreiphasenstrom 2.
Dreiwattmeterschaltung 22.
Drosselspule 15, 172.
Druckausgleichschalter 7.
Druckgasschalter 7.
Druckknopfschalter 4.
Druckknopfsteuerung 137, 140.
Durchschlagsicherung 15.
- Eichberg** 146.
Eigenbedarfsanlage 92, 186.
Einankerumformer 168.
Einphasengenerator 73.
Einphasen-Hauptschlußkollektormotor 145.
Einphasen-Induktionsmotor 133.
Einphasen-Kurzschlußkollektormotor 146.
Einphasentransformator 104.
Elektrizitätszähler 25.
Erdschlußanzeiger 26.
Erdschlußanzeigerrelais 28.
Erdschlußschutz 80.
Erdschlußspule 15, 104.
Erdungsdrosselspule 15.
Erdungswiderstand 15.
Erregermaschine 74, 91, 151.
Expansionsschalter 7.
- Feldregler** 29.
Feldschwächungseinrichtung 79.
Fernsteuerung 8, 176.
Flachbahnanlasser 65.
Flüssigkeitsanlasser 131.
Frequenzmesser 26, 84.
Frequenzwandler 154, 208, 211.
Funkenableiter 14.
- Gittersteuerung** 191.
Gleichrichter 181.
—, gesteuerter 191.
Gleichrichteranlage 184.
Gleichstrom 2.
Gleichstromhintermotor 205
Gleichstrommaschine 29.
—, kompensierte 32.
Gleichstrommotor 56.

Gleichstromzentrale 35.
 Görges 202.
 Graetzschaltung 195.
 Gruppenschalter 16.

Hartgasschalter 7.
 Hauptschlußkollektormotor 145, 147.
 Hauptschlußmaschine 30.
 Hauptschlußmotor 58.
 Hebelschalter 4.
 Heyland 154, 207, 208.
 Hochspannungsschalter 7.
 Hörnerableiter 14.

Hlgnr 198.
 Induktionsmotor 125, 151.

Käfigwicklung 126.
 Kahlenberg 61, 131.
 Kaskadenschaltung 201.
 Kaskadenumformer 179.
 Kathodenfallableiter 15.
 Kippschalter 4.
 Kippzündung 182.
 Kollektorhintermotor 203.
 Kollektormotor 144.
 Kondensator 158.
 Kondensatorschutz 14.
 Kozisek 153, 155, 209.
 Krämer 203, 207.
 Kreuzschalter 18.
 Kurzschlußkollektormotor 146.
 Kurzschlußläufer 126.

La Cour 179.
 Lastenaufzug 138.
 Leistungsfaktoranzeiger 26.
 Leistungsmesser 21.
 Leistungsschalter 4.
 Leistungstrennschalter 8.
 Leiterspannung 82, 95.
 Leitungsschutz 12.
 Leonardschaltung 193, 196.
 Leonardumformer 197.
 Linsemann 207.
 Löschtransformator 16.

Magnetregler 29, 74.
 Maschine, fremderregte 29.
 —, kompensierte 31, 145.
 Meßgerät 20.
 Meyersberg 49.
 Mittelleiter 50.
 Motor, polumschaltbarer 130.
 Motorgenerator 160, 163.

Nachlaufbremsung 68.
 Nebenschlußkollektormotor 148.
 Nebenschlußmaschine 29.

Nebenschlußmotor 56.
 Nebenschlußregler 30, 61.
 Nebenwiderstand 20.
 Notbeleuchtung 92, 100, 186.
 Nulleitung 74.

Ölschalter 7.
 Öltransformator 104, 107.

Paketschalter 4.
 Parallelbetrieb 35, 83, 109.
 Personenaufzug 141.
 Petersen 15, 104.
 Phasenausgleich 151.
 Phasenlampe 84.
 Phasenmesser 26.
 Phasenspannung 75.
 Phasenwicklung 126.
 Pirani 46.
 Polarisationszelle 45, 49.
 Polumschaltung 130.
 Pufferbatterie 46.
 Puffermaschine 49, 178.

Quecksilberdampfgleichrichter 181.

Regelmotor 193, 196.
 Regelsatz 201.
 Regeltransformator 106.
 Relaisauslösung 9, 95.
 Richtungsauslösung 11.
 Richtungsschalter 6.
 Rückleistungsauslösung 11.
 Rückleistungsschalter 6.
 Rückmeldeeinrichtung 8.
 Rückstromschalter 6.
 Ruheschaltung 11.

SAW-Ableiter 15,
 Schaltbild 1.
 Schalter 4.
 —, ölarmer 7.
 Schaltgruppe 105, 110.
 Schalthaus 3.
 Schaltplan 1.
 Schaltstation 108, 118.
 Schalttafel 3.
 Schaltwalzenanlasser 65, 134.
 Schaltzeichen 1.
 Scherbius 151, 204, 211.
 Schleifringläufer 131.
 Schmelzsicherung 4.
 Schüler 158.
 Schützenselbstanlasser 72, 142.
 Schützensteuerung 71.
 Schutzkapazität 15.
 Sechspannenschaltung 188.
 Selbstschalter 5.
 Senkbremsschaltung 69.

Serienschalter 17.
 Skottsche Schaltung 107, 212.
 Spannungsmesser 20.
 Spannungsregelung 120, 171.
 Spannungsteilung 53.
 Spannungswandler 9, 20.
 Sparschaltung 106.
 Ständeranlasser 127.
 Steinmetz 202.
 Stern-Dreieckschaltung 128.
 Sternpunktleitung 74.
 Sternschaltung 74, 105.
 Steuerwalze 67, 136.
 Stoßsteuerung 193.
 Strommesser 20.
 Stromrichter 181.
 Stromwandler 9, 20.
 Synchronismusanzeiger 84.
 Synchronmotor 122.

Tauchzündung 182.
 Tirrillregler 75.
 Toulonverfahren 191.
 Transformator 88, 97, 104.
 Transformatorenstation 108.
 Trennlasche 7.
 Trennschalter 7.
 Trennsicherung 8.
 Treppenbeleuchtung 18.
 Treppenschaltung 17.
 Trockengleichrichter 195.

Überspannungsschutz 14, 92.
 Überstromauslösung 10.
 Überstromschalter 5.
 Umformer 159.
 Umformeranlage 159.
 Umrichter 191.
 Umschalter 4, 21.

Umspannanlage 104.
 Umspanner 104.
 Umspannwerk 115.
 Unterspannungsauslösung 12.
 Unterspannungsschalter 7, 59.
 Unterstromschalter 6.

Ventilableiter 14.
 Voltmeter 20.
 Vorwiderstand 20.
 V-Schaltung 24.

Walzenanlasser 65, 134.
 Warte 3.
 Wasserschalter 7.
 Wattmeter 21.
 Wattstundenzähler 24.
 Wechselrichter 191.
 Wechselschalter 16, 17.
 Wechselstrom 2.
 Wechselstrommaschine 73.
 Wechselstrommotor 122.
 Wechselstromzentrale 81.
 Wendeanlasser 63, 133.
 Wendepole 31, 59.
 Wind-Elektrizitätswerk 44.
 Winter 146.

Zähler 24.
 Zeitrelais 9.
 Zellschalter 33.
 Zickzackschaltung 105.
 Zusatzmaschine 42, 53.
 Zu- und Gegenschaltung 199.
 Zweileiterzähler 25.
 Zweileiterzentrale 35.
 Zweiphasenstrom 107.
 Zweiwattmeterschaltung 23.