

Schaltungsbuch für Gleich- und Wechselstromanlagen

Von

E.Kosack



Dritte Auflage

Schaltungsbuch für Gleich- und Wechselstromanlagen

Dynamomaschinen, Motoren und Transformatoren
Lichtanlagen, Kraftwerke und Umformerstationen

Ein Lehr- und Hilfsbuch

von

Dipl.-Ing. Emil Kosack

Oberstudienrat an den Staatl. Vereinigten Maschinenbauschulen
zu Magdeburg

Dritte, erweiterte Auflage

Mit 292 Abbildungen im Text
und auf 2 Tafeln



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1931

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

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>

ISBN 978-3-662-40581-9 ISBN 978-3-662-41059-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-41059-2

Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1931

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 grundlegenden Schaltungen 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 Verbandes Deutscher Elektrotechniker, namentlich dessen Klemmenbezeichnungen, ist überall Rechnung getragen worden.

Aus dem Vorwort zur zweiten Auflage.

Die zweite Auflage des „Schaltungsbuches“ hat mannigfache Erweiterungen erfahren. So sind, um nur einiges zu nennen, der kompensierte Drehstrommotor, die Drehstromregelsätze und die Gleichrichter wesentlich eingehender behandelt als in der ersten Auflage. Ganz besondere Sorgfalt ist wieder den Abbildungen zugewendet worden. Während der Drucklegung des Buches sind die vom Verband Deutscher Elektrotechniker festgesetzten Schaltzeichen, an deren Aufstellung ich mitgearbeitet habe, herausgekommen. Sie sind voll berücksichtigt worden, soweit ihre Anwendung mit dem Zweck des Buches und mit den im Vorwort zur ersten Auflage angegebenen Gesichtspunkten vereinbar schien. Die Erdung der Meßwandler ist, im Gegensatz zur ersten Auflage, jetzt in den Schaltbildern angedeutet.

Vorwort zur dritten Auflage.

Ohne an dem allgemeinen Aufbau des Buches etwas zu ändern und unter Beibehaltung der Gesichtspunkte, die mich bei der Abfassung der früheren Auflagen geleitet haben, habe ich die vorliegende 3. Auflage des Schaltungsbuches einer eingehenden Durchsicht unterzogen. Einige Erweiterungen waren, so sehr ich mich bemüht habe, den Umfang des Buches nicht zu vermehren, unvermeidlich; ich erwähne in dieser Beziehung nur den Drehtransformator als Spannungsregler, den Buchholzschutz, Kondensatoren zur Phasenkompensierung, einige Druckknopfsteuerungen von Drehstrommotoren usw. Auf übersichtliche und durchsichtige Darstellung der Schaltungen habe ich nach wie vor größten Wert gelegt. Sie sind unter Berücksichtigung der Vorschriften des VDE ausgeführt. Doch wurden auch die im Vorwort zur ersten Auflage angegebenen Richtlinien nicht außer acht gelassen. So hoffe ich, daß die günstige Beurteilung, welche dem Buche in seiner bisherigen Gestalt in reichem Maße zuteil wurde, ihm auch bei der neuen Auflage erhalten bleibt.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, den Firmen, welche mich durch Überlassung von Material, und den Fachgenossen, die mich durch ihren Rat unterstützt haben, meinen Dank zu sagen. Herrn Ingenieur Klippel danke ich auch an dieser Stelle für die Sorgfalt, die er wiederum auf die Umänderung bzw. Neuanfertigung einer Anzahl Abbildungen verwandt hat.

Magdeburg, im Februar 1931.

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. Schalter für Niederspannung	4
6. Überstromschutz durch Schmelzsicherungen	4
7. Die Selbstschalter	5
a) Überstromschalter	5
b) Unterstromschalter	5
c) Richtungsschalter	6
d) Spannungsrückgangsschalter	6
8. Schalter für Hochspannung	6
9. Fernsteuerung von Ölschaltern	7
10. Selbstausslösung von Ölschaltern	8
a) Überstromauslösung	9
b) Richtungsauflösung	10
c) Spannungsrückgangsauslösung	11
11. Differentialschutz von Leitungsnetzen	11
12. Das Kabelschutzsystem Pfannkuch	13
13. Überspannungsschutz	14

II. Lampenschaltungen.

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

III. Schaltung der Meßinstrumente.

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

IV. Elektrizitätswerke mit Gleichstrombetrieb.**A. Gleichstrommaschinen und Akkumulatoren.**

	Seite
28. Die fremderregte Maschine	29
29. Die Nebenschlußmaschine	29
30. Die Hauptschlußmaschine	30
31. Die Doppelschlußmaschine	30
32. Maschinen mit Wendepolen und kompensierte Maschinen	31
33. Die Akkumulatorenbatterie	32
a) Der Einfachzellenschalter	32
b) Der Doppelzellenschalter	32
c) Der leitungsparende Zellenschalter	33

B. Zweileiterzentralen.

34. Betrieb mit einer Nebenschluß- oder Doppelschlußmaschine	34
35. Allgemeines über den Parallelbetrieb von Gleichstrommaschinen	35
36. Nebenschlußmaschinen im Parallelbetrieb	35
37. Doppelschlußmaschinen im Parallelbetrieb	37
38. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Einfachzellenschalter	37
39. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter	39
40. Mehrere Nebenschlußmaschinen und Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter	41
41. Nebenschlußmaschine, Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter und Zusatzmaschine	42
42. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie in Mickaschaltung	43
43. Wind-Elektrizitätswerk	45
44. Anlage mit Pufferbatterie und Piranimaschine	47
45. Piranimaschine mit besonderer Erregermaschine	50
46. Die Meyersbergschaltung	51

C. Dreileiterzentralen.

47. Dreileiteranlage mit Hintereinanderschaltung der Betriebsmaschinen	52
48. Dreileiteranlage mit Hintereinanderschaltung der Betriebsmaschinen und einer Akkumulatorenbatterie	54
49. Dreileiteranlage mit Akkumulatorenbatterie zur Spannungsteilung	55
50. Dreileiteranlage mit Ausgleichsmaschinen, Akkumulatorenbatterie und Zusatzmaschine	57
51. Dreileitermaschine mit einer Akkumulatorenbatterie	59

V. Gleichstrommotoren.

52. Der Nebenschlußmotor	60
53. Der Hauptschlußmotor	62
54. Der Doppelschlußmotor	62
55. Anlasser mit selbsttätiger Auslösung	63
56. Regulierung der Drehzahl	64
57. Anlasser in Kahlenbergschaltung	65
58. Änderung der Drehrichtung	66
59. Wendeanlasser	67
60. Schaltwalzenanlasser	68
61. Steuerwalzen für Motoren doppelter Drehrichtung	70
62. Steuerwalze mit Nachlaufbremsung für beide Drehrichtungen	71
63. Steuerwalze für Hubmotoren in Senkbremsschaltung	72
64. Schützensteuerungen	74
65. Schützen selbstanlasser	75
66. Wendepolmotoren	76
67. Motorenanschlußanlage	76

VI. Elektrizitätswerke mit Wechselstrombetrieb.

A. Wechselstrommaschinen.		Seite
68. Der Einphasengenerator		77
69. Der Drehstromgenerator		77
70. Selbsttätige Spannungsregelung		78
71. Differentialschutz von Wechselstrommaschinen		81
72. Selbsttätige Feldschwächung		82
73. Erdschlußschutz		83
B. Wechselstromzentralen.		
74. Zentrale mit einer Einphasenmaschine für Niederspannung		83
75. Zentrale mit einer Drehstrommaschine für Niederspannung		84
76. Zentrale mit einer Drehstrommaschine für Hochspannung		85
77. Allgemeines über den Parallelbetrieb von Wechselstrommaschinen		86
a) Einphasenanlagen		86
b) Drehstromanlagen		88
78. Grundlegende Schaltungen von Wechselstromzentralen		91
79. Schaltungen für die Erregung		93
80. Allgemeine Anordnung des Überspannungsschutzes		94
81. Eigenbedarfsanlagen in Wechselstromzentralen		94
82. Niederspannungs-Drehstromzentrale		95
83. Hochspannungs-Drehstromzentrale für 6000 Volt mit unmittelbarer Auslösung der Ölschalter		96
84. Hochspannungs-Drehstromzentrale für 15 000 Volt mit Relaisauslösung der Ölschalter		98
85. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren für 35 000 Volt		99
86. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren für 30 000 Volt und Transformatoren-Umschaltchiene		101
87. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und mit Sammelschienen für 6000 und 60 000 Volt		103
88. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und mit Sammelschienen für 6000 und 100 000 Volt		104

VII. Transformatoren- und Schaltstationen.

A. Transformatoren.		
89. Der Einphasentransformator		106
90. Der Drehstromtransformator		107
91. Transformatoren in Sparschaltung		108
92. Reguliertransformatoren		108
93. Transformatoren in Skottscher Schaltung		108
94. Differentialschutz für Transformatoren		109
95. Transformator mit Buchholzschutz		109
B. Transformatorenstationen.		
96. Grundlegende Schaltungen von Transformatorenanlagen		110
97. Transformatorenanlage für 6000/220 Volt		112
98. Transformatorensäule für 3000/125 Volt		113
99. Station mit parallel geschalteten Transformatoren für 15 000/380/220 Volt		114
100. Fahrbare Netztransformatorenstation		115
101. Umspannwerk für 25 000/6000 Volt		117
102. Umspannwerk für 15 000/3000 Volt mit Reservegenerator und Umformer		119
103. Transformatoren-Kupplungsstation für 50 000/10 000 Volt		119
C. Schaltstationen.		
104. Schaltstation eines Drehstrom-Überlandwerkes für 15 000 Volt		122
105. Kabelschaltstation für 10 000 Volt		124

D. Drehtransformatoren.		Seite
106. Der Drehtransformator als Spannungsregler		125
107. Spannungsregelung einer Drehstrom-Hochspannungsleitung		126

VIII. Wechselstrommotoren.

A. Synchrone Wechselstrommotoren.

108. Schaltung und Eigenschaften der Motoren	127
109. Anlassen mittels Anwurfmotors	128
110. Drehstromseitiges Anlassen des Synchronmotors	129
111. Drehstrom-Synchronmotoren mit Anlaufwicklung	130

B. Induktionsmotoren für Drehstrom (Asynchronmotoren).

112. Allgemeines	131
113. Der Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer	132
114. Der Kurzschlußläufermotor mit umschaltbaren Sicherungen	132
115. Der Kurzschlußläufermotor mit Steuerschalter	133
116. Der Kurzschlußläufermotor mit Anlasser	133
117. Der Kurzschlußläufermotor mit Anlaßtransformator	134
118. Der Kurzschlußläufermotor mit Stern-Dreieckschaltung	134
119. Der Motor mit selbsttätiger Gegenschaltung	136
120. Der Drehstrommotor mit Schleifringläufer	136
121. Der Drehstrommotor mit Anlasser in Kahlenbergsschaltung	137
122. Der Drehstrommotor mit zweiphasigem Läufer	138
123. Regulierung der Drehzahl	138
124. Wendeanlasser	138
125. Schaltwalzenanlasser	139
126. Steuerwalzen	141
127. Druckknopfsteuerung für einen Drehstrommotor	142
128. Schützenselbstanlasser	143
129. Drehstrommotoren im Anschluß an ein Niederspannungsnetz	144
130. Drehstrommotoren im Anschluß an ein Hochspannungsnetz	145

C. Drehstrom-Induktionsmotoren mit Phasenkompensierung.

131. Allgemeines	145
132. Der Vibrator von Kapp	146
133. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Eigenerregung	147
134. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Selbsterregung	148
135. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Netzerregung	149
a) Frequenzwandler	149
b) Erregermaschine mit Ständerwicklung	150
136. Der kompensierte Induktionsmotor	151
a) Motor mit Ständerspeisung	151
b) Motor mit Läuferpeisung	152
137. Der Induktionsmotor mit Gleichstromerregung	153
a) Motor mit Ständerspeisung	153
b) Motor mit Läuferpeisung	153
138. Phasenkompensierung durch Kondensatoren	154

D. Induktionsmotoren für Einphasenstrom (Asynchronmotoren).

139. Schaltung und Eigenschaften der Motoren	154
--	-----

E. Kollektormotoren für Drehstrom.

140. Allgemeines	155
141. Der Hauptschlußkollektormotor	155
a) Motor mit einfachem Bürstensatz	155
b) Motor mit doppeltem Bürstensatz	156

	Seite
142. Der Nebenschlußkollektormotor	157
a) Motor mit Ständer- und Läuferspeisung	157
b) Motor mit Läuferspeisung	158
c) Motor mit Ständerspeisung und Drehtransformator	159
143. Drehstrom-Kollektormotor im Anschluß an ein Hochspannungsnetz.	160

F. Kollektormotoren für Einphasenstrom.

144. Allgemeines	160
145. Der Hauptschlußkollektormotor	160
146. Der Kurzschlußkollektormotor	161
147. Der Hauptschluß-Kurzschlußkollektormotor	162

IX. Umformeranlagen.

148. Allgemeines	162
----------------------------	-----

A. Synchrone Motorgeneratoren.

149. Gleichstromseitiges Anlassen des Motorgenerators	162
150. Motorgenerator mit Anwurfmotor	164
151. Drehstromseitiges Anlassen des Motorgenerators	165

B. Asynchrone Motorgeneratoren.

152. Motorgenerator für Niederspannung	166
153. Motorgenerator für Hochspannung	166
154. Umformeranlage zum Betrieb einer Grubenbahn	168
155. Umformeranlage zum Betrieb einer Straßenbahn	169

C. Einankerumformer.

156. Bauart und Schaltung des Umformers.	171
157. Gleichstromseitiges Anlassen des Umformers	172
158. Umformer mit Anwurfmotor	173
159. Drehstromseitiges Anlassen des Umformers	173
160. Spannungsregelung des Einankerumformers	174
a) Regelung durch Drosselspulen	174
b) Regelung mittels Drehtransformators	175
161. Umformeranlage mit umschaltbarem Lichtnetz	176
162. Umformeranlage mit Dreileiter-Gleichstrombetrieb	178
163. Umformeranlage mit Drehtransformator	179
164. Einankerumformer in Verbindung mit einer Puffermaschine	181

D. Kaskadenumformer.

165. Bauart und Schaltung der Umformer	183
--	-----

E. Gleichrichter.

166. Quecksilberdampfgleichrichter für Einphasenstrom	184
167. Gleichrichter für Drehstrom	185
168. Gleichrichter für Drehstrom in Parallelschaltung und mit selbsttätiger Zündung	187
169. Gleichrichter in Verbindung mit der Eigenbedarfsanlage eines Drehstromwerkes	189
170. Großgleichrichter für Drehstrom	191
171. Gleichrichteranlage zum Betrieb einer Straßenbahn	191
172. Trockengleichrichter für Einphasenstrom	194

X. Anlaß- und Regelsätze.

A. Maschinensätze mit Gleichstrom-Regelmotor.

173. Die Leonardschaltung für Gleichstrom.	195
174. Die Leonardschaltung für Drehstrom	196
175. Die Ignerschaltung	196
176. Die Zu- und Gegenschaltung für Gleichstrom	198
177. Die Zu- und Gegenschaltung für Drehstrom	199

B. Regelsätze für Drehstrom.		Seite
178.	Die Kaskadenschaltung im allgemeinen	200
179.	Kaskade zweier Drehstrom-Induktionsmotoren	200
180.	Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Kollektorhintermotor	202
	a) Mechanisch gekuppelter Regelsatz	202
	b) Elektrisch gekuppelter Regelsatz	203
181.	Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Gleichstromhintermotor	204
	a) Mechanisch gekuppelter Regelsatz	204
	b) Elektrisch gekuppelter Regelsatz	205
182.	Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Frequenzwandler	206
183.	Regelung eines Drehstrom-Induktionsmotors auf unter- und über- synchronen Lauf	208
	a) Regelsatz mit Drehstrom-Erregermaschine, mechanisch und elektrisch gekuppelt	208
	b) Regelsatz mit Drehstrom-Kollektormotor, elektrisch gekuppelt	209
184.	Der Doppelkurzschlußkollektormotor	211

Anhang.

A.	Die wichtigsten Klemmenbezeichnungen	212
	I. Gleichstrom	212
	II. Wechselstrom	212
B.	Die in den Schaltplänen hauptsächlich verwendeten Abkürzungen	212
	I. Maschinen	212
	II. Meß- und Prüfinstrumente	212
	III. Apparate	213
C.	Abkürzungen im Text	213
D.	Literaturangaben	213

Normblätter des VDE.

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

Schaltzeichen und Schaltbilder für Starkstromanlagen
herausgegeben, auf die an dieser Stelle hingewiesen sei:

<i>DIN VDE</i>	709: Allgemeine Vorbemerkungen.
„ „	710: Stromsysteme und Schaltarten.
„ „	711: Verteilungs- und Leitungspläne.
„ „	712: Apparate, Maschinen und Meßgeräte. Allgemeines.
„ „	713: Verbindungs-, Unterbrechungs- und Sicherheitsapparate.
„ „	714: Transformatoren.
„ „	715: Maschinen und Umformer.
„ „	716: Blatt 1: Meßgeräte.
	„ 2: Relais.
	„ 3: Meßwandler.
	„ 4: Systemzeichen für Meßgeräte und Relais.
„ „	717: Innen-Installationen.
„ „	719: Beispiel der Anwendung in einem Schaltplan.

Ferner sei aufmerksam gemacht auf das Normblatt

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

Die angeführten Normblätter sind auch in einer kleinen Schrift

„Schaltzeichen und Schaltbilder“

zusammengestellt, die als DIN-Taschenbuch 2 im Beuth-Verlag, Berlin, erschienen ist.

Einleitung.

1. Der Schaltplan.

Um den Zusammenhang der verschiedenen Teile einer elektrischen Maschine oder eines Apparates anzugeben und den Stromlauf klarzulegen, bedient man sich des Schaltungsschemas. Auch die Verbindung der in einer elektrischen Anlage aufgestellten Maschinen und Apparate untereinander sowie mit dem Leitungsnetz kann in schematischer Weise durch einen Schaltplan übersichtlich dargestellt werden. Alle Teile der Anlage werden hierbei symbolisch durch zeichnerische Abkürzungen 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 das Zusammenarbeiten aller ihrer Teile. 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 Transformatorstationen, 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 die 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 Schutzrichtungen.

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, welche auf ihrer Rückseite die Sammelschienen trägt. Diese 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 Meßinstrumenten Hochspannung fernzuhalten, werden sie über kleine Transformatoren, Strom- und Spannungswandler, angeschlossen.

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.

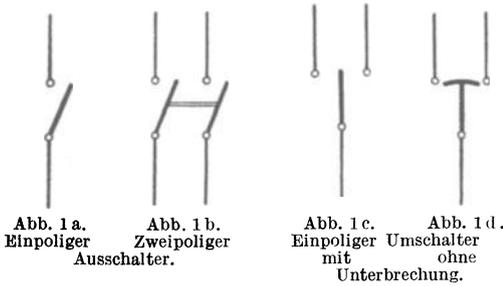
Die für die Schaltanlage von Elektrizitätswerken vorstehend erörterten Gesichtspunkte gelten sinngemäß auch für die Schalteinrichtung von Transformatorenstationen und Umformeranlagen sowie von ausgedehnten Licht- und Kraftanschlüssen.

Im vorliegenden Abschnitt soll zunächst ein kurzer Überblick über die verschiedenen Schalterarten und die wichtigsten Schutzrichtungen

tungen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Darstellung im Schaltplan gegeben werden.

5. Schalter für Niederspannung.

Zu den grundlegenden Bestandteilen jeder Schaltanlage gehören die Schalter. Man unterscheidet Ausschalter, die lediglich zum Schließen oder Unterbrechen eines Stromkreises dienen, und Umschalter, welche die Verbindung einer Leitung mit einer von mehreren anderen Leitungen ermöglichen.



Bei den Umschaltern mit Unterbrechung befindet sich zwischen je zwei Schaltstellungen eine Ausschaltstellung, während bei den Umschaltern ohne Unterbrechung aus einer

Schaltstellung unmittelbar in die andere übergegangen werden kann. Es gibt ein- und mehrpolige Schalter. Der Ausführung nach sind hauptsächlich Hebelschalter sowie, für kleinere Stromstärken, Dreh-, Kipp- und Druckschalter in Anwendung.

Die für die Darstellung von Schaltern gebräuchlichen Zeichen sind in Abb. 1 zusammengestellt.

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

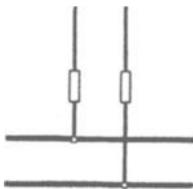


Abb. 2. Durch Schmelzsicherungen geschützte Leitungen.

eines Drehstromsystems, nicht gesichert werden. Isolierte Leitungen, die vom Mittel- oder Nulleiter abzweigen und als Teile eines Zweileitersystems 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.

Schmelzsicherungen werden durch kleine Rechtecke dargestellt, Abb. 2. Wo es notwendig ist, kann auch die Ausführungsart der Sicherung gekennzeichnet werden. So sind z. B. in Abb. 3 die Schaltzeichen für die Streifensicherung, Rohrsicherung und Schraub-sicherung angegeben.

7. Die Selbstschalter.

a) Überstromschalter.

An Stelle von Sicherungen können auch selbsttätig wirkende Überstromschalter, Maximalschalter, angewendet werden. Diese sind mit einem Elektromagneten ausgestattet, dessen Erregerspule in die zu schützende Leitung eingeschaltet, also als Stromspule ausgebildet ist. Sie ist so abgeglichen, daß der Schalter bei einer bestimmten Stromstärke auslöst. Derartige Schalter werden im Schema durch einen Pfeil in

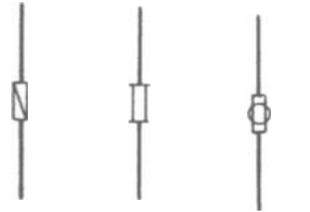


Abb. 3 a.
Streifen-
sicherung.

Abb. 3 b.
Rohr-
sicherung.

Abb. 3 c.
Schraub-
sicherung.

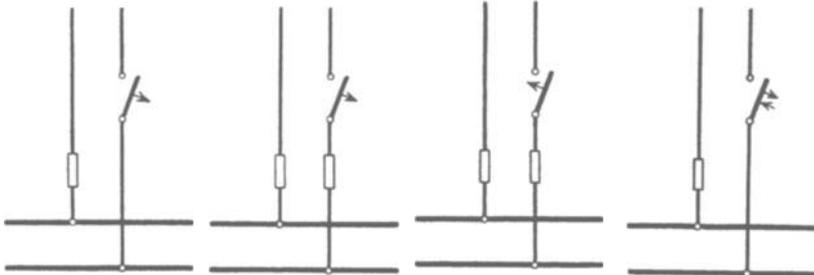


Abb. 4. Schutz durch Schmelzsicherung bzw. Überstromschalter.

Abb. 5. Schmelzsicherungen und Überstromschalter.

Abb. 6. Schutz durch Schmelzsicherungen und Unterstromschalter.

Abb. 7. Schmelzsicherung und Überstrom-Rückstromschalter.

der Ausschalt-richtung gekennzeichnet. In Abb. 4 ist ein Pol durch eine Sicherung, der andere durch einen Überstromschalter geschützt.

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. Häufig werden die Schalter mit einer thermischen Verzögerungsvorrichtung versehen, die so wirkt, daß sie bei schnell vorübergehenden Stromstößen nicht zur Auslösung kommen. 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 be-

treffenden Stromkreise der Strom auf Null zurückgeht oder doch auf einen verhältnismäßig kleinen Wert sinkt. Solche Schalter werden als **Unterstromschalter**, **Minimalschalter**, bezeichnet und im Schema, Abb. 6, durch einen Pfeil in der Einschalttrichtung kenntlich gemacht. Sie finden in Gleichstromanlagen 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 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. 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. Im Schema, Abb. 7, ist die doppelte Auslösung durch zwei Pfeile entgegengesetzter Richtung angedeutet.

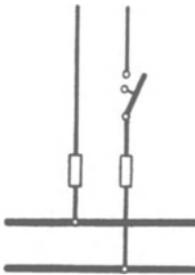


Abb. 8. Schutz durch Schmelzsicherungen und Spannungsrückgangsschalter.

d) Spannungsrückgangsschalter.

Um das Ausschalten eines vom Leitungsnetz abgezweigten Stromkreises herbeizuführen, wenn die Netzspannung ausbleibt oder erheblich zurückgeht, bedient man sich der selbsttätigen **Spannungsrückgangsschalter**. Der Auslösemagnet wird in diesem Falle lediglich durch eine Spannungsspule erregt. Schalter dieser Art werden gemäß Abb. 8 durch einen kleinen Nullenkreis gekennzeichnet.

8. Schalter für Hochspannung.

Für Wechselstrom-Hochspannungsanlagen werden vorwiegend **Ölschalter** benutzt, Schalter also, bei denen sich der Schaltvorgang unter Öl abspielt. Dadurch wird der beim Ausschalten auftretende Öffnungsfunken unterdrückt. Im Schema werden Ölschalter durch eine Umrahmung kenntlich gemacht, Abb. 9.

Abb. 9. Einpoliger Ölschalter.

Vielfach werden die Ölschalter als **Schutzschalter** ausgebildet, Abb. 10. Diese besitzen außer den Hauptkontakten noch **Vorkontakte**.

Beim Einschalten des Stromes werden die Leitungen zunächst über Widerstände angeschlossen, die zwischen den Haupt- und Vorkontakten

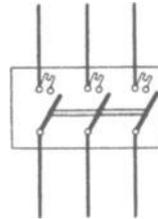


Abb. 10. Dreipoliger Schutzschalter.

liegen, ebenso erfolgt das Ausschalten über diese Schutzwiderstände. Dadurch sollen die Stromstöße beim Ein- und Abschalten abgeschwächt und somit Überspannungen im Keime erstickt werden.

In Hochspannungsanlagen müssen ferner alle Maschinen, Apparate, Speiseleitungen usw. durch Trennschalter, Abb. 11, abschaltbar sein, auch dann, wenn in den betreffenden Leitungen Ölschalter 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.

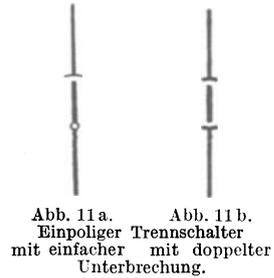


Abb. 11 a. Einpoliger Trennschalter mit einfacher Unterbrechung.
Abb. 11 b. Einpoliger Trennschalter mit doppelter Unterbrechung.

9. Fernsteuerung von Ölschaltern.

Bei der großen räumlichen Ausdehnung, welche die Schaltanlage von Hochspannungswerken annimmt, ist man häufig gezwungen, zur Fernsteuerung der Ölschalter überzugehen. Abb. 12 zeigt schematisch eine derartige Einrichtung. Es sind zwei Schalt-

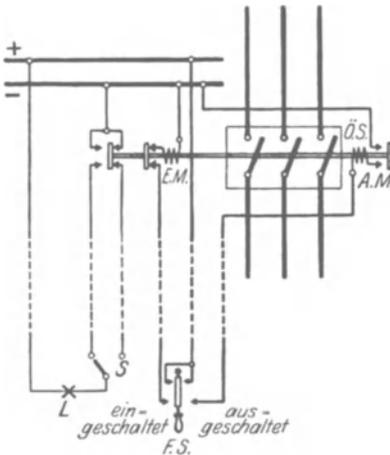


Abb. 12. Fernsteuerung eines Ölschalters mit Rückmeldelampe.

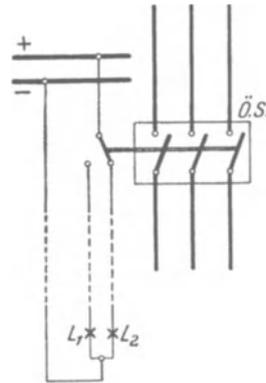


Abb. 13. Ferngesteuerter Ölschalter mit zwei Rückmeldelampen.

magnete vorhanden, einer für das Einschalten (*E. M.*) und einer für das Ausschalten (*A. M.*). Für die Erregung der Magnete dient Gleichstrom. Wird der Betätigungsschalter *F. S.* für die Fernsteuerung nach links gelegt, so wird der Einschaltmagnet erregt, wird er nach rechts gelegt, der Ausschaltmagnet. Mit dem Ölschalter ist noch eine Rückmeldungeinrichtung verbunden, eine Glühlampe *L*, die im allgemeinen ausgeschaltet ist, aber jedesmal zum Aufleuchten kommt, wenn der Ölschalter seine jeweilige Schaltstellung ändert. Sobald die vollzogene Schaltung durch die Lampe angezeigt ist, wird diese mittels des einpoligen Hand-

schalters S wieder ausgeschaltet, und sie ist alsdann für den nächsten Schaltvorgang des Ölschalters erneut in Bereitschaft.

Die Schaltstellung des Ölschalters kann auch durch zwei Glühlampen angezeigt werden, von denen die eine bei geschlossenem, die andere bei geöffnetem Schalter brennt, Abb. 13. In diesem Falle empfiehlt sich die Anwendung von Lampen verschiedener Färbung.

10. Selbstausslösung von Ölschaltern.

Die in Hochspannungsanlagen eingebauten Ölschalter 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 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 an-

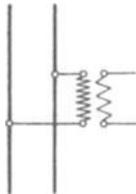


Abb. 14.
Spannungswandler.

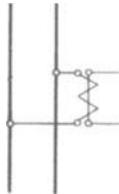


Abb. 14 a



Abb. 15.

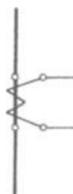


Abb. 15 a.
Stromwandler.

geschlossen werden, unterscheidet man wieder zwischen primärer und sekundärer Relaisauslösung. Um zu vermeiden, daß die Ölschalter bei sehr schnell vorübergehenden Störungen auslösen, wendet man vielfach Zeitrelais an, welche die Ausschaltung erst nach einer bestimmten, einstellbaren Zeit bewirken.

Für die sekundäre Schalterauslösung können je nach den Umständen Spannungswandler oder Stromwandler zur Verwendung kommen. Ein Spannungswandler ist in Abb. 14 durch seine Wicklungen angedeutet und in Abb. 14a — Schaltbild des VDE — vereinfacht dargestellt. Einen Stromwandler zeigen die Abb. 15 und 15a. 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.

a) Überstromauslösung.

In Abb. 16 bis 18 sind einige typische Fälle von Drehstrom-Ölschaltern mit Überstromauslösung dargestellt. Die Bilder sollen jedoch keinen Aufschluß über die Konstruktion der Schalter, die sehr verschiedenartig

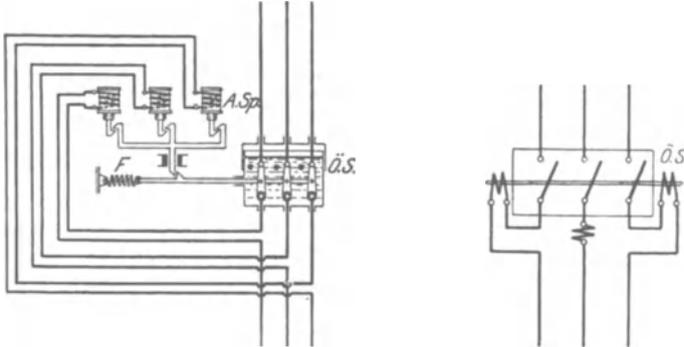


Abb. 16 u. 16a. Ölschalter mit primärer unmittelbarer Überstromauslösung.

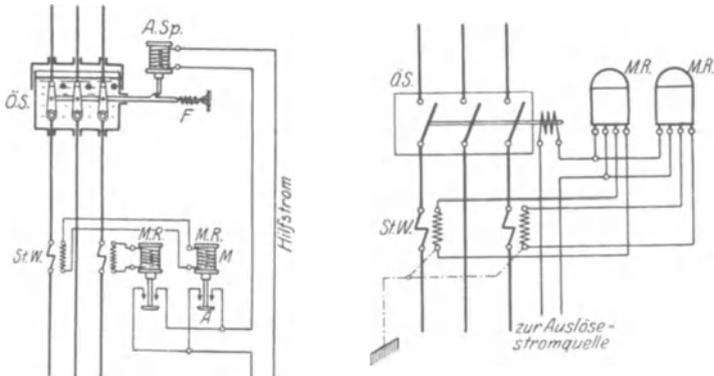


Abb. 17 u. 17a. Ölschalter mit sekundärer Überstromrelaisauslösung. — Arbeitsschaltung. (Hilfstrom: Gleichstrom.)

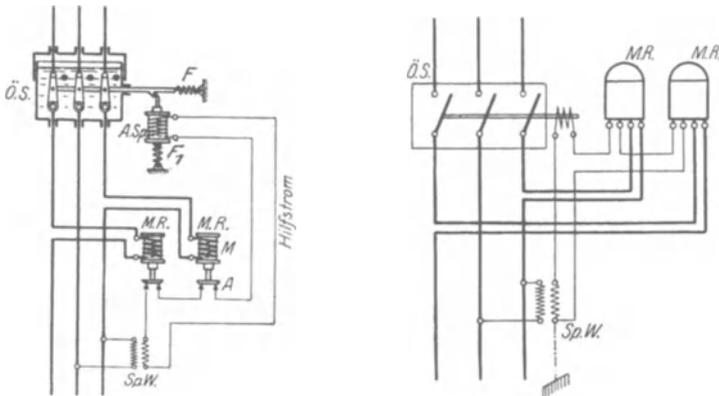


Abb. 18 u. 18a. Ölschalter mit primärer Überstromrelaisauslösung. — Ruheschaltung. (Hilfstrom: einem Spannungswandler entnommener Wechselstrom.)

sein kann, geben, sondern lediglich einen Hinweis auf ihre Wirkungsweise. Ein vereinfachtes Schema des Stromlaufs ist in den Abb. 16a bis 18a jeder Ausführungsart gegenübergestellt. $\ddot{O}.S.$ bedeutet den Schalter. F ist eine Feder, die bestrebt ist, den Schalter stets 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 erfolgt. Der Magnetkraft der Auslösespule wirkt entweder das Eigengewicht des Eisenkerns entgegen oder die Kraft einer Feder F_1 . Strom- und Spannungswandler sind in den Abbildungen mit $St.W.$ bzw. $Sp.W.$ benannt. Die Erdung der Wandler ist nur in den schematischen Darstellungen, und zwar durch eine strichpunktierte Linie angedeutet.

b) Richtungsauflösung.

Die Ölschalter können auch mit einer von der Energierichtung abhängigen Auslösung, also einer Rückleistungs- oder Richtungs-

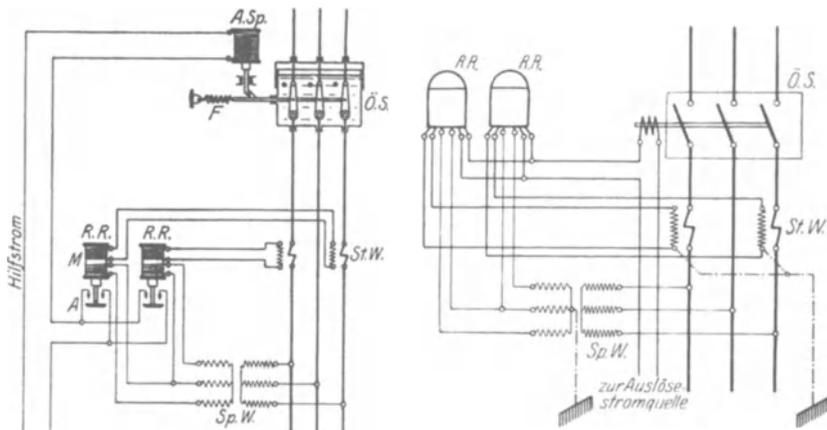


Abb. 19 u. 19a. Ölschalter mit sekundärer Richtungsrelaisauslösung.

auslösung versehen sein. In diesem Falle kommen Relais zur Anwendung, auf die eine Strom- und eine Spannungsspule einwirken (vgl. Abschn. 7c). Abb. 19 und 19a zeigen Wirkungsweise und Schema einer derartigen Anordnung: zwei Phasen eines Drehstromsystems sind durch Richtungsrelais $R.R.$ geschützt.

c) Spannungsrückgangsauslösung.

Auch eine Spannungsrückgangsauslösung kann an den Ölschaltern eingerichtet werden. In Abb. 20 und 20a ist ein Schalter mit Über-

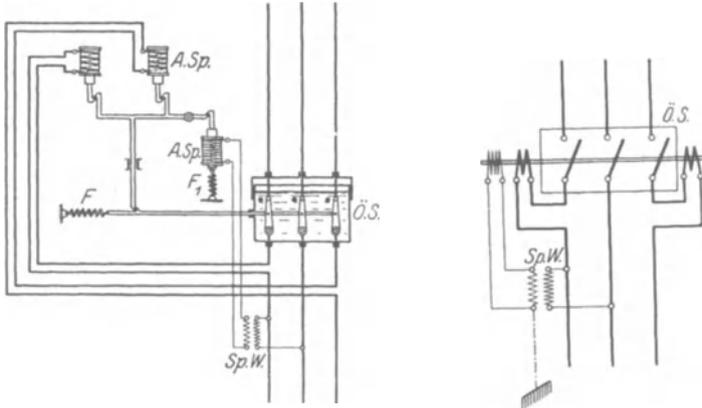


Abb. 20 u. 20a. Ölschalter mit primärer unmittelbarer Überstrom- und Spannungsrückgangsauslösung.

strom- und außerdem Spannungsrückgangsauslösung dargestellt. 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

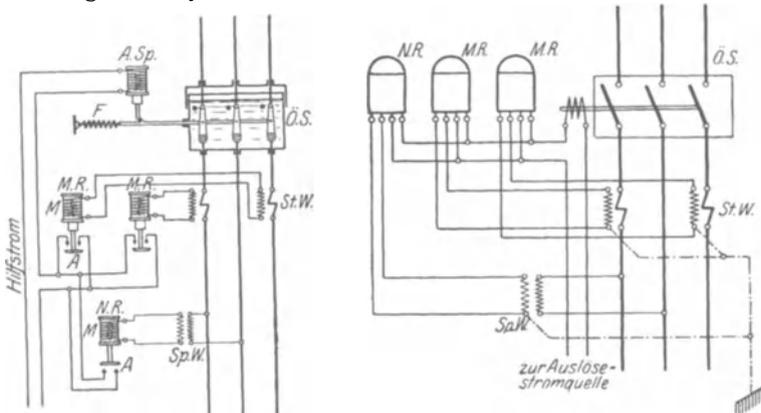


Abb. 21 u. 21a. Ölschalter mit sekundärer Überstrom- und Spannungsrückgangsrelaisauslösung.

ausgedehnt werden. Abb. 21 und 21a zeigen eine Relaisauslösung, N. R. bedeutet das Spannungsrückgangs- (Nullspannungs-) Relais.

11. Differentialschutz von Leitungsnetzen.

In größeren Hochspannungsanlagen können nach einem von Merce und Price angegebenen Verfahren, das in zahlreichen Fällen erfolgreich angewendet ist, die Ölschalter mit Differentialrelais

versehen werden, um fehlerhafte Leitungen oder Kabel abzuschalten, ohne daß andere Netzteile in Mitleidenschaft gezogen werden. Am Anfang und Ende der zu schützenden Leitung wird je ein Stromwandler eingebaut. Die sekundären Spulen der Wandler werden gegeneinander geschaltet und unter Einfügung je eines Relais zu einem Stromkreise vervollständigt. In Abb. 22 ist das Wesen des Differentialschutzes, der Einfachheit wegen zunächst für eine einzelne Lei-

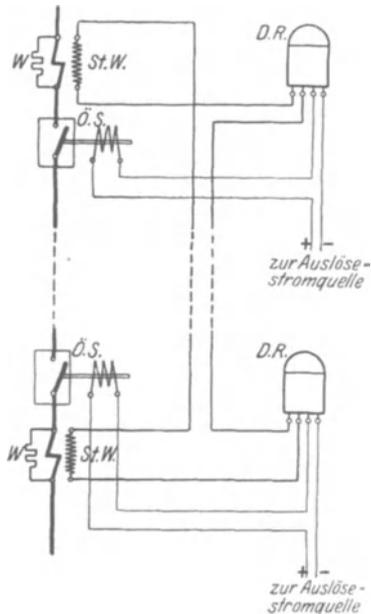


Abb. 22. Schutz einer Leitung durch Differentialrelais.

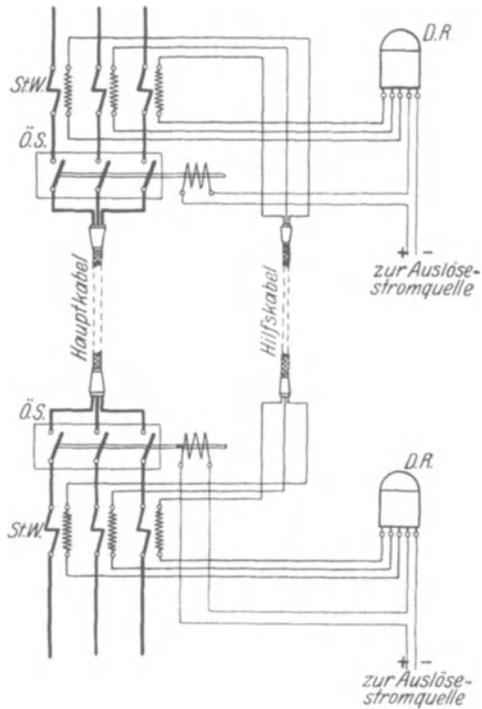


Abb. 23. Schutz eines Drehstromkabels durch Differentialrelais.

tung, zum Ausdruck gebracht. Die Differentialrelais 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 Hilfstromes die in die Leitungen eingebauten Schalter beiderseits der Fehlerstelle zur Auslösung. Aus praktischen Gründen werden den Primärspulen der Wandler

induktionsfreie Widerstände W parallel geschaltet, durch die sich etwa vorhandene Oberschwingungen der Stromstärke, d. h. Schwingungen, deren Frequenz ein Mehrfaches der Grundfrequenz beträgt, ausgleichen können.

Abb. 23 zeigt die Anwendung des Differentialsschutzes 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. Die den Primärspulen der Wandler parallel zu legenden Widerstände sind in der Abbildung nicht angegeben.

Bemerkt sei noch, daß durch den Einbau des Differentialsschutzes 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. Das Kabelschutzsystem Pfannkuch.

Ein anderes, von der AEG ausgebildetes Verfahren, um das Vorhandensein schadhafter Stellen in einem Hochspannungskabelnetz anzuzeigen und erforderlichenfalls die fehlerhaften Teile abzuschalten, wurde von Pfannkuch entwickelt. Es setzt allerdings ein Kabel besonderer Bauart voraus, insofern als alle in der äußeren Lage untergebrachten Einzeldrähte jeder Ader des Kabels — sie sollen als Decklagendrähte bezeichnet werden — mit einer Papierumspinnung zu versehen sind, durch welche sie gegeneinander sowie gegen die innenliegenden Drähte, die Kerndrähte, schwach isoliert sind. Zwischen je zwei nebeneinanderliegenden Drähten wird künstlich eine Spannung hervorgerufen. Zu diesem Zwecke werden die Decklagendrähte am Anfang und Ende des Kabels zu zwei Gruppen D_1 und D_2 zusammengefaßt derart, daß abwechselnd ein Draht zur Gruppe D_1 , der benachbarte Draht zur Gruppe D_2 gehört. Voraussetzung ist demnach, daß eine gerade Anzahl von Außendrähten angewendet wird. Neuere Kabel zeigen eine Abweichung von Vorstehendem insofern, als in der Decklage zwischen zwei isolierten Drähten immer noch ein blanker, zum Kern gehörender Draht untergebracht ist¹. Kern- und Decklagendrähte werden, wie Abb. 24 für eine Einzelader des Kabels zeigt, durch je drei einfache Trennschalter $T. S.$ eingeschaltet.

Die Spannung der einen Gruppe Decklagendrähte wird nun gegenüber der normalen Betriebsspannung um einen gewissen Betrag, etwa 20 bis 50 Volt, erhöht. Die Spannung der anderen Gruppe wird um den gleichen Betrag erniedrigt. Die zusätzliche bzw. abzügliche Spannung

¹ Rottsieper, Neuerungen am AEG-Kabelschutzsystem Pfannkuch. AEG-Mitt. 1927, 136.

wird durch kleine Transformatoren besonderer Ausführung erzeugt, von denen je einer am Anfang und Ende des Kabels aufgestellt ist. Sie werden als Schutzwandler bezeichnet, und ihre grundsätzliche Schaltung geht aus der Abbildung hervor. P bedeutet die Primärwicklung der Wandler, mit S sind die beiden Sekundärwicklungen bezeichnet. Jede derselben ist mit der zugehörigen Primärwicklung in Reihe geschaltet, jedoch so, daß sich die in der einen Sekundärwicklung erzeugte Spannung zur Betriebsspannung hinzufügt, während die in der anderen Wicklung auftretende in Abzug kommt. Dies verschiedene

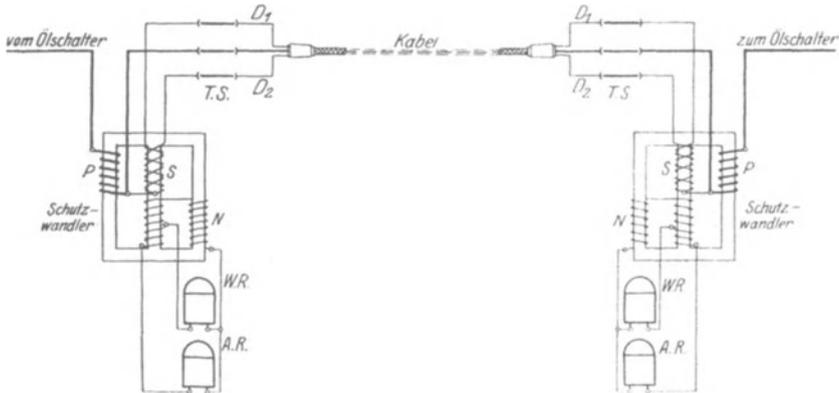


Abb. 24. Kabelschutzsystem Pfannkuch.

Verhalten wird durch entgegengesetzten Wicklungssinn der beiden Sekundärwicklungen erreicht.

Außer den bisher erwähnten Wicklungen, die sämtlich Hochspannung führen, ist auf zwei der Kerne des Schutzwandlers noch eine Niederspannungswicklung N gelegt, die mit den Relais $W.R.$ und $A.R.$ in Verbindung steht. Bei normalen Stromverhältnissen bleiben die Relais unbeeinflusst. Treten jedoch Mängel in der Isolation des Kabels auf, so kommt zwischen den Decklagedrähten infolge der zwischen ihnen bestehenden Spannung ein Ausgleichstrom zustande. Dadurch werden in den magnetischen Verhältnissen der Wandler Änderungen hervorgerufen, durch welche — auf Einzelheiten der Schaltung und Wirkungsweise kann hier nicht eingegangen werden — das Warnungsrelais $W.R.$ zum Ansprechen gebracht und dadurch eine Signalvorrichtung, etwa eine Glühlampe oder Hupe, eingeschaltet wird. Der Fehler im Kabel wird auf diese Weise bereits im Entstehen angezeigt. Eine Betriebsstörung ist mit der Betätigung des Warnungsrelais nicht verbunden. Erst wenn der Kabelschaden größeren Umfang angenommen hat, kommt auch das Auslöserelais $A.R.$ zur Wirkung, das den Öl-schalter auslöst und damit das fehlerhafte Kabel außer Betrieb setzt.

13. Überspannungsschutz.

Als Schutz gegen Überspannungen kommen namentlich in Frage: Funkenableiter, Hörnerableiter, Rollenableiter (Vielfach-

funkenstrecken) und Kondensatoren. Die Überspannungssicherungen werden mit den dazugehörigen Dämpfungswiderständen zwischen die zu schützende Leitung und Erde, wie in Abb. 25 bis 28 angegeben, oder auch zwischen je zwei Leitungen geschaltet. Im ersteren Falle

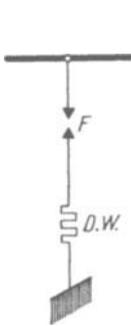


Abb. 25.
Funkenableiter

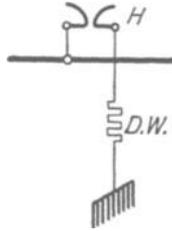


Abb. 26.
Hörnerableiter
mit Dämpfungswiderstand.

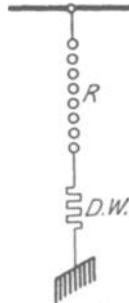


Abb. 27.
Rollenableiter

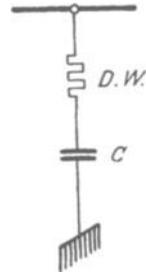


Abb. 28.
Kondensator

werden die Überspannungen zur Erde abeleitet, im zweiten wird ein Ausgleich innerhalb des Netzes herbeigeführt. Für eine Drehstromleitung erhält man einen „Sternschutz“, wenn alle Phasen eine Überspannungssicherung gegen Erde besitzen, einen „Dreieckschutz“, wenn sämtliche Phasen gegeneinander gesichert sind.

Zur Ableitung statischer Ladungen dienen Erdungswiderstände, Abb. 29, und Erdungsdrosselspulen, Abb. 30. Erstere können in der Form der „Wasserstrahler“ ausgeführt werden. Die Erdungswiderstände und -drosselspulen werden meistens an die Sammelschienen angeschlossen. Doch können sie in Drehstromanlagen

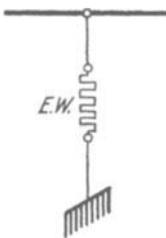


Abb. 29.
Erdungswiderstand.

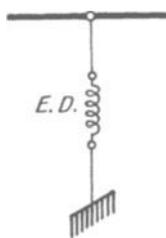


Abb. 30.
Erdungsdrosselspule.

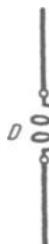


Abb. 31.
Schutzdrosselspule.



Abb. 32.
Campospule.

auch an den Nullpunkt der Maschinen oder Transformatoren gelegt werden. Ihre Anwendung setzt voraus, daß eine anderweitige betriebsmäßige Erdung in der Anlage sonst nicht vorgenommen ist.

Um das Eindringen von „Wanderwellen“ — einer gefährlichen Überspannungserscheinung, die sich den Leitungen entlang fortbewegt — in die Wicklung der Maschinen und Transformatoren zu verhindern, können diesen Schutzdrosselspulen vorgeschaltet werden, Abb. 31.

Bei einer besonderen Ausführungsform, den Campospulen, werden den Drosselspulen induktionsfreie Widerstände parallel geschaltet, Abb. 32.

Generatoren werden gegen Wanderwellen vielfach auch durch Schutzkapazitäten in Form von Kabeln gesichert, die für eine höhere Spannung isoliert sind und, vor die Maschinen gelegt, die auf diese eindringenden Wellen abschwächen.

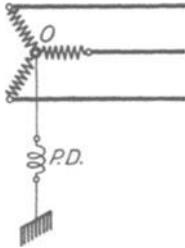


Abb. 33. Erdschlußspule von Petersen in einem Drehstromnetz.

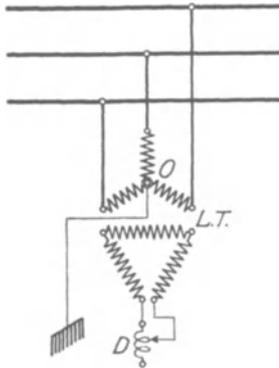


Abb. 34. Löschtransformator von Bauch

Auf die Bedeutung des Schutzschalters als Mittel zur Vermeidung von Überspannungen ist bereits in Abschn. 8 hingewiesen worden.

Zur Unterdrückung des „aussetzenden“ Erdschlusses, der von Schwingungsercheinungen 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 neutrale Punkt *O* des Systems geerdet wird, wie Abb. 33 für eine Drehstromanlage zeigt. Dem gleichen Zweck wie die Erdschlußspule dient der Löschtransformator von Bauch, Abb. 34. Ein Dreiphasentransformator *L. T.* bestimmter Ausführung ist an das zu schützende Drehstromnetz angeschlossen. Der Transformator ist primär in Stern geschaltet und über den Nullpunkt *O* geerdet. Die Sekundärseite des Transformators ist in Dreieck

verbunden und enthält überdies eine Drosselspule *D*, die der Kapazität des Leitungsnetzes entsprechend eingestellt wird.



Abb. 35. Einpoliger Schalter.

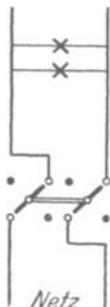


Abb. 36. Zweipoliger Schalter.

II. Lampenschaltungen.

14. Ein- und mehrpoliges Schalten.

Zum Schalten von Glühlampenstromkreisen werden in der Regel Drehschalter benutzt. Einzelne Lampen oder kleinere an das Leitungsnetz angeschlossene Lampengruppen werden im allgemeinen einpolig geschaltet, Abb. 35. Für größere Stromstärken ist

doppelpoliges Schalten vorgeschrieben, Abb. 36. Die Achse der Schalter darf nicht spannungsführend sein. In den Schaltskizzen sind die Glühlampen, wie üblich, durch Kreuze angegeben.

15. Umschalten von Lampengruppen.

Soll von zwei Lampen oder Lampengruppen die eine oder die andere eingeschaltet werden, so kann als Umschalter ein Gruppenschalter nach Abb. 37 verwendet werden. Er kann unter Umständen durch einen sog. Wechselschalter nach Abb. 38 (s. auch Abschn. 17) er-

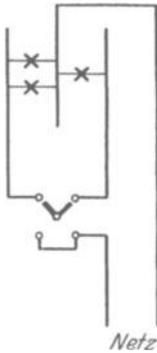


Abb. 37. Gruppenschalter.

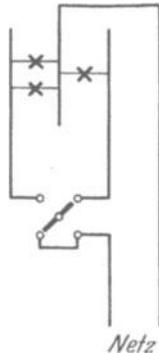


Abb. 38. Umschalter (Wechselschalter).

setzt werden. Letzterer besitzt jedoch keine Ausschaltstellung, während bei ersterem auf eine Brennstellung des Schalters jedesmal eine Ausschaltstellung folgt.

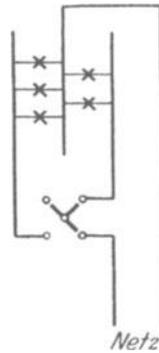


Abb. 39. Serienschalter.

16. Die Serienschaltung.

Eine namentlich bei Kronleuchtern vielgebrauchte Schal-

tung zeigt Abb. 39. Aus den Lampen sind zwei Gruppen gebildet, die mittels eines Serienschalters entweder einzeln oder gleichzeitig eingeschaltet werden können. Es ergeben sich der Reihe nach folgende Schaltstellungen: alle Lampen ausgeschaltet, eine Lampengruppe eingeschaltet, beide Gruppen eingeschaltet, die andere Gruppe eingeschaltet. Wird der Serienschalter als Druckschalter ausgeführt, so können die Lampengruppen in beliebiger Reihenfolge eingeschaltet werden.

17. Die Wechselschaltung.

Sehr beliebt in Hausinstallationen ist die Wechselschaltung. Sie ermöglicht das Ein- und Ausschalten einer Lampe von zwei verschiedenen Stellen aus. Es sind dazu Umschalter nach Abb. 38, Wechselschalter genannt, erforderlich.

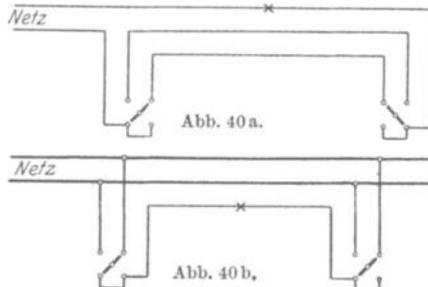


Abb. 40a u. 40b. Wechselschaltung.

In der Regel wird die Schaltung nach Abb. 40a ausgeführt. Unter Umständen bietet jedoch die Schaltung nach Abb. 40b 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.

18. Die Treppenschaltung.

Der Fall, daß Lampen von mehr als zwei Stellen aus geschaltet werden sollen, kommt namentlich bei der Beleuchtung von Treppen-

häusern vor. Die hierfür geeignete Schaltung kann natürlich auch in anderen Fällen verwendet werden. Wie Abb. 41 zeigt, sind an den äußersten Schaltstellen Wechselschalter erforderlich, an den Zwischenstellen werden sog. Kreuzschalter benötigt. Wird irgend ein Schalter bedient, so werden sämtliche Lampen eingeschaltet oder, falls sie eingeschaltet waren, ausgeschaltet. Die Anordnung kann auf beliebig viele Schaltstellen ausgedehnt werden.

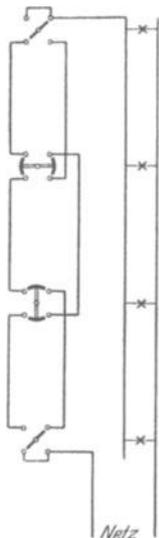


Abb. 41. Treppenschaltung.

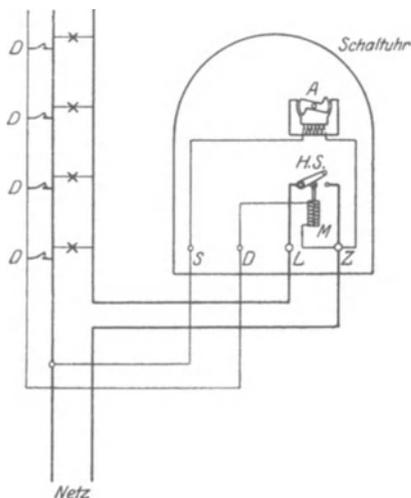


Abb. 42. Treppenbeleuchtung mittels Schaltuhr.

19. 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. 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. 42 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 Einschnappen 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.

20. 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. 43 zeigt eine derartige Anordnung. Es sind nur zwei Lampen L eingezeichnet, doch kann das Schema 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 hierbei die Stromstärke in dem Kreise nicht ändert, muß der Ersatzwiderstand von der gleichen Größe sein wie der Lampenwiderstand. Im Schema 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 sind diese seit der Erfindung der hochkerzigen Glühlampe mehr und mehr in den Hintergrund getreten.

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 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.

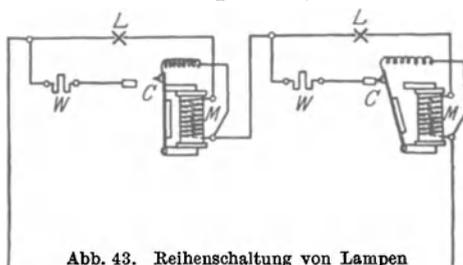


Abb. 43. Reihenschaltung von Lampen mit Ersatzwiderständen.

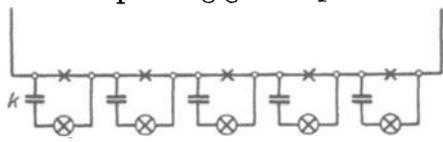


Abb. 44. Reihenschaltung von Lampen mit Ersatzlampen.

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

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. 44 sind die Ersatzlampen mit kleinen Kreisen versehen, die Kurzschlußkontakte, zwischen denen der Hilfswiderstand liegt, mit K bezeichnet.

III. Schaltung der Meßinstrumente.

21. 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. 45 dargestellte grundsätzliche Schaltungs-

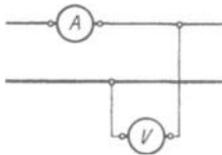


Abb. 45. Strom- und Spannungsmessung.

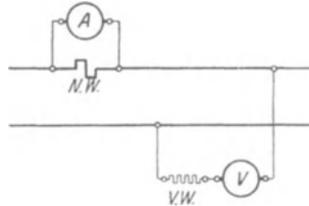


Abb. 46. Strom- und Spannungsmessung unter Anwendung von Meßwiderständen.

weise. A bedeutet den Strommesser oder das Ampere-meter, V den Spannungsmesser oder das Voltmeter in dem durch zwei Leitungen angeordneten Netzteil. Häufig wird, Abb. 46, 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.

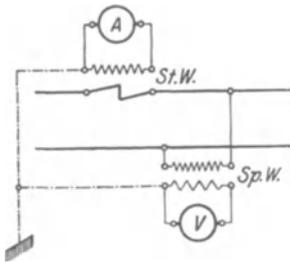


Abb. 47. Strom- und Spannungsmessung in einer Wechselstrom-Hochspannungsanlage.

In Wechselstrom-Hochspannungsanlagen verwendet man vorwiegend Niederspannungsinstrumente unter Zwischenschaltung von Wandlern, die daher auch Meßtransformatoren genannt werden. In Abb. 47 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).

22. Umschalter für Spannung- und Strommesser.

Um mit einem Instrument verschiedene Spannungen messen zu können, kann man sich eines Umschalters bedienen. Abb. 48 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 Kontakt-paar vorhanden.

Die vorstehende Anordnung kann in entsprechender Weise auch für Strommessungen gebraucht werden. In jede Leitung, deren Stromstärke ermittelt werden soll, wird alsdann,

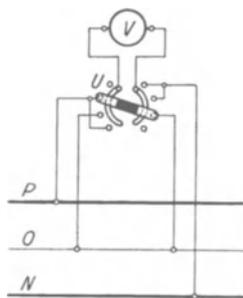


Abb. 48. Spannungsmesser
mit Umschalter.

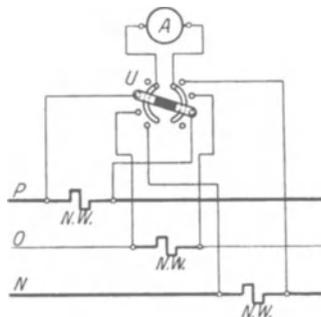


Abb. 49. Strommesser

Abb. 49, ein zum Instrument passender Nebenwiderstand fest eingebaut, und der Strommesser kann mittels des Umschalters mit jedem der Widerstände verbunden werden. Die Methode kommt gelegentlich bei den in Gleichstromanlagen recht beliebten Drehspulinstrumenten zur Anwendung.

In Hochspannungsanlagen kann eine Ersparnis an Meßinstrumenten 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. 102).

23. 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. 50,

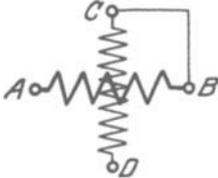


Abb. 50. Spulenordnung des Leistungsmessers.

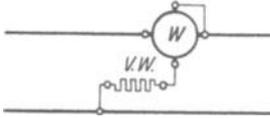


Abb. 51. Leistungsmessung bei Gleichstrom und einphasigem Wechselstrom.

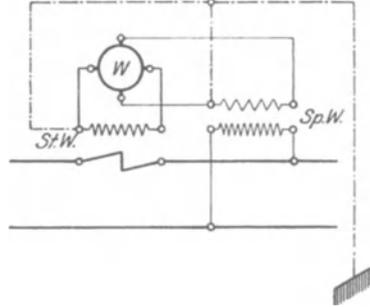


Abb. 52. Leistungsmessung in einer Wechselstrom-Hochspannungsanlage.

eine Stromspule und eine Spannungsspule. Sie besitzen daher vier 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 Instrumentes hergestellt, so bleiben demnach nur drei Anschlußklemmen übrig. Abb. 51 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. 52 zeigt.

b) Für Drehstrom.

Bei Drehstrom kann die Leistung nach der Dreiwattmetermethode, d. h. unter Zuhilfenahme von drei Wattmetern gemessen

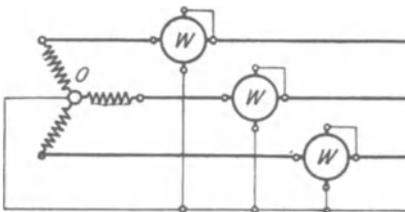


Abb. 53. Leistungsmessung bei Drehstrom, Dreiwattmeterschaltung.

werden, deren Spannungsspulen mit ihren freien Enden mit dem Nullpunkt O des Systems oder dem Nulleiter des Netzes verbunden sind, Abb. 53. 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 Null-

punkt des Systems nicht zugänglich, z. B. bei Dreieckschaltung, so kann ein künstlicher Nullpunkt mit Hilfe von drei nach Abb. 54 geschalteten Widerständen geschaffen werden.

Eine andere Möglichkeit, die Drehstromleistung mit einem einzigen Instrument festzustellen, ist in Abb. 55 angegeben und kann als Einwattmeterschaltung bezeichnet werden. Sie wurde früher viel benutzt, ist aber heute mehr und mehr abgekommen. Das Wattmeter muß für diese Schaltung besonders abgeglichen sein. Es wird auf die Gesamtleistung geeicht und an nur zwei der Drehstromleitungen angeschlossen. Auch dieses Verfahren ist nur bei gleicher Belastung aller Phasen anwendbar.

Dagegen führt die sehr beliebte Zweiwattmeterschaltung, Abb. 56, auch bei ungleicher 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 zwei nach der Zweiwattmetermethode geschaltete 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 die

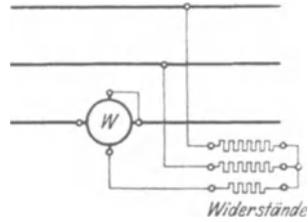


Abb. 54. Leistungsmessung bei Drehstrom mit künstlichem Nullpunkt.

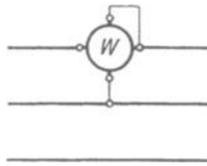


Abb. 55. Leistungsmessung bei Drehstrom, Einwattmeterschaltung.

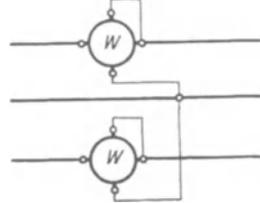


Abb. 56. Leistungsmessung bei Drehstrom, Zweiwattmeterschaltung.

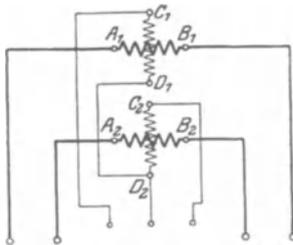


Abb. 57. Spulenordnung eines Instrumentes in Zweiwattmeterschaltung.

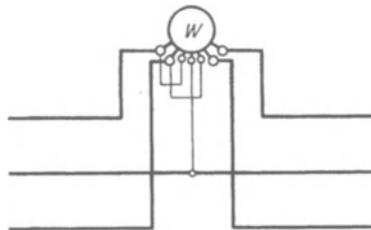


Abb. 58. Leistungsmessung bei Drehstrom mit einem Instrument in Zweiwattmeterschaltung.

innere Schaltung eines derartigen Instrumentes, 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 den Abb. 59 bis 62 zur Darstellung gebracht. In Abb. 60 ist ein künstlicher Nullpunkt mittels eines dreiphasigen Span-

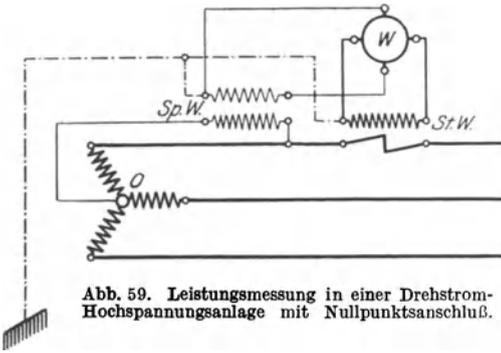


Abb. 59. Leistungsmessung in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit Nullpunktanschluß.

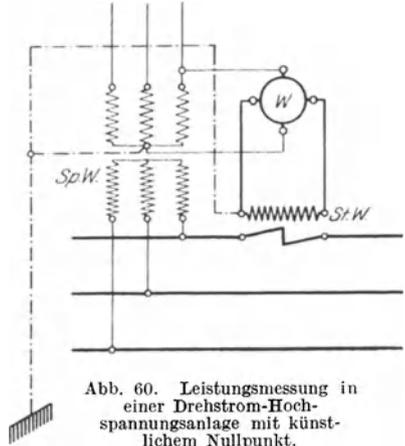


Abb. 60. Leistungsmessung in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit künstlichem Nullpunkt.

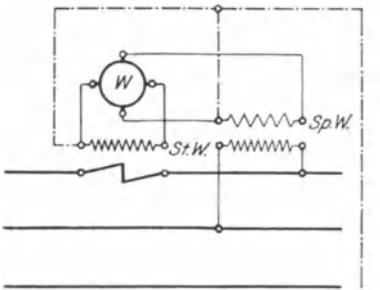


Abb. 61. Leistungsmessung in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage, Einwattmeter-schaltung.

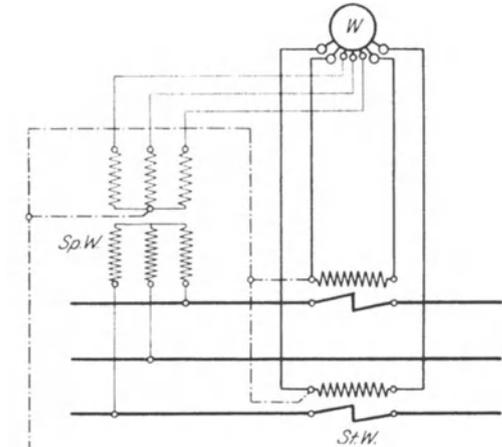


Abb. 62. Leistungsmessung in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit einem Instrument in Zwei-watt-meterschaltung.

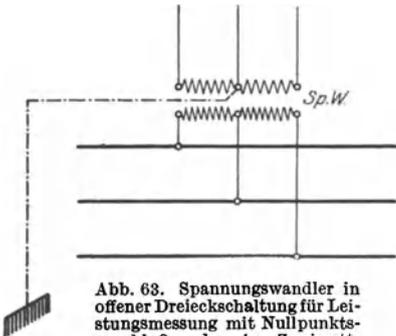


Abb. 63. Spannungswandler in offener Dreieckschaltung für Leistungsmessung mit Nullpunktanschluß oder in Zwei-watt-meterschaltung.

nungswandlers hergestellt. Die Wicklungen desselben sind auf der primären und sekundären Seite in „Stern“ verkettet. Doch kann statt dessen auch ein Wandler mit nur je zwei Phasen verwendet werden, die nach Art der Abb. 63 in „offener Dreieckschaltung“ verbunden sind. Auch für die in Abb. 62 dargestellte Zweiwattmeterschaltung kann ein derartiger Wandler benutzt werden.

solcher Anordnungen sind in den Abb. 59 bis 62 zur Darstellung gebracht. In Abb. 60 ist ein künstlicher Nullpunkt mittels eines dreiphasigen Span-

24. 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

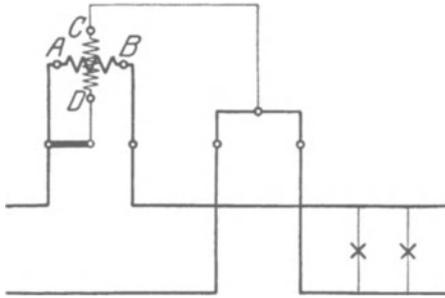


Abb. 64. Zweileiterzähler.

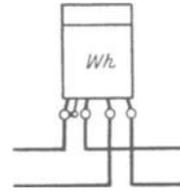


Abb. 64 a. Zweileiterzähler: Schaltzeichen.

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 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 sind. Als Beispiel hierfür ist in Abb. 64 das Schema eines Zweileiter-

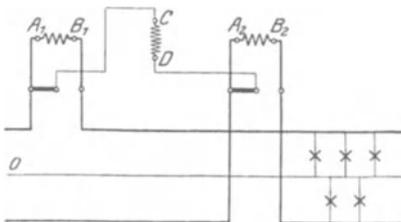


Abb. 65. Dreileiterzähler mit Außenleiteranschluß.

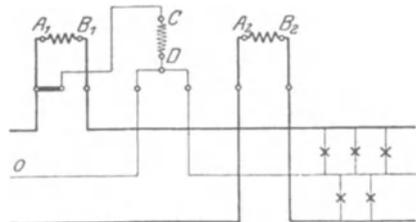


Abb. 66. Dreileiterzähler mit Nulleiteranschluß.

zählers — für Gleich- oder Wechselstrom — gegeben. Die Schaltung entspricht völlig der in Abb. 51 dargestellten Wattmeterschaltung. Den Anschluß des Zählers, vereinfacht dargestellt, zeigt Abb. 64 a.

Abb. 65 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. 66, an einen Außenleiter und den Nulleiter O angeschlossen werden.

Für Drehstromzähler kommt namentlich die Zweiwattmeter-schaltung zur Anwendung, Abb. 67 und 67a. Doch ist in Anlagen mit Nulleiter auch die Dreiwattmeterschaltung der Zähler, Abb. 68, gebräuchlich.

In Gleichstromanlagen mit konstanter Netzspannung begnügt man sich bisweilen mit der Verwendung von Amperestundenzählern. Sie

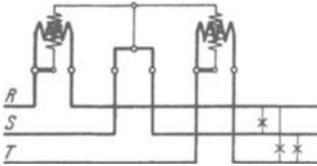


Abb. 67. Drehstromzähler, Zweiwattmeterschaltung.

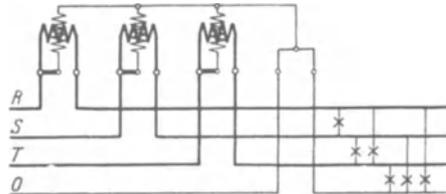


Abb. 68. Drehstromzähler, Dreiwattmeterschaltung.

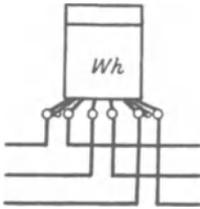


Abb. 67 a. Drehstromzähler in Zweiwattmeterschaltung: Schaltzeichen.

sind billiger als Wattstundenzähler, da sie lediglich eine Stromspule besitzen, während die Spannungsspule fortfällt. Sie werden genau wie die 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.

25. Phasemesser.

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

26. Frequenzmesser.

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

27. Erdschlußanzeiger.

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. 69 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 Ausschlagess 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.

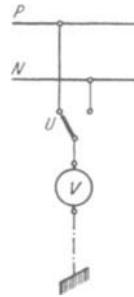


Abb. 69.
Spannungsmesser
als Erdschluß-
anzeiger.

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 das Voltmeter auf die Sekundärwicklung geschaltet wird.

c) Für Drehstrom.

Für ein Drehstromnetz kann man zur Erdschlußüberwachung drei Spannungsmesser verwenden, die nach Abb. 70 geschaltet sind. Solange das Netz gesund ist, zeigen alle Instrumente die gleiche Spannung an: die Phasenspannung der Anlage, d. h. den 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 Instrumenten bemerkbar.

In Drehstrom-Hochspannungsanlagen muß wiederum, soweit nicht elektrostatische Instrumente zur Anwendung kommen, der Anschluß der Voltmeter über Spannungswandler erfolgen. Der Abb. 71 sind drei einphasige Wandler zugrunde gelegt. Je ein Ende ihrer Primärwicklung ist zu erden. Die Erde bildet also den gemeinsamen Verkettungspunkt der Wandler. Die sekundäre Wicklung jedes Wandlers arbeitet auf einen Spannungsmesser, je ein

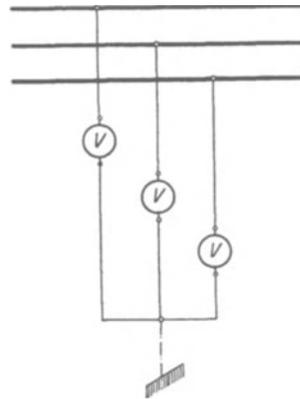


Abb. 70. Erdschlußanzeiger in einer Drehstromanlage.

Wicklungsende ist mit an Erde gelegt (s. Abschn. 10). Abb. 72 zeigt die Schaltung für den Fall, daß ein dreiphasiger Spannungswandler

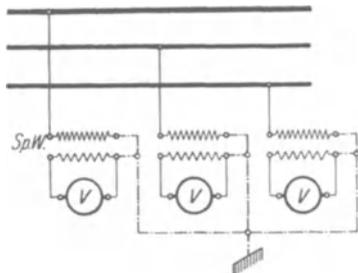


Abb. 71. Erdschlußanzeiger in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit drei einphasigen Spannungswandlern.

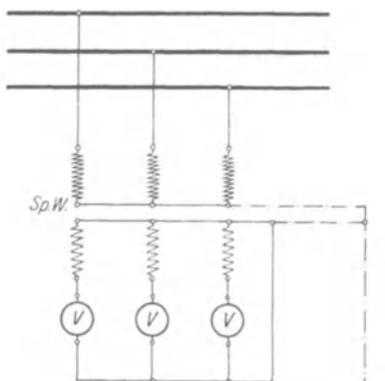


Abb. 72. Erdschlußanzeiger in einer Drehstrom-Hochspannungsanlage mit einem dreiphasigen Spannungswandler.

zur Verfügung steht. In diesem Falle ist der Sternpunkt der primären Wicklungen des Wandlers zu erden. Die drei Phasen der Sekundärwicklungen haben noch einen gemeinsamen Leitungsschluß erhalten und sind ebenfalls mit an die Erdleitung angeschlossen.

Der Eintritt eines Erdschlusses und die davon betroffene Phase können auch durch eine Meldelampe erkennbar gemacht werden. In

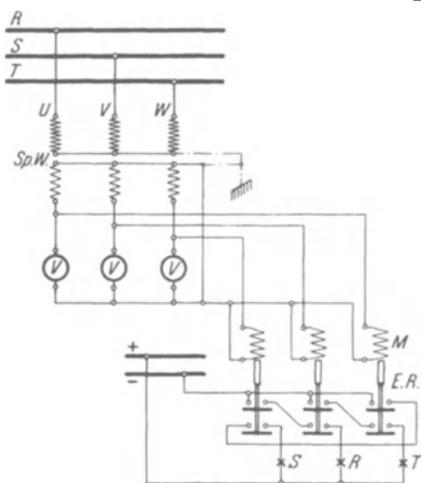


Abb. 73. Erdschluß-Anzeigerrelais der AEG.

Abb. 73 ist das Erdschluß-Anzeigerrelais der AEG¹ angegeben. Es ist mit der in Abb. 72 dargestellten Einrichtung verknüpft und wirkt 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 zuverlässig arbeitendes Relais erwünscht ist. Die Erregung der drei Magnete *M* des Relais *E.R.* erfolgt von dem Spannungswandler der Erdschluß-Anzeigevorrichtung aus. Für die Meldelampen ist eine Gleichstromhilfsquelle angenommen. Tritt nun beispiels-

weise in der Leitung *S* ein Erdschluß ein, so werden die an die Phasen *U* und *W* des Spannungswandlers angeschlossenen Magnetspulen des Relais, die den Leitungen *R* und *T* entsprechen, so stark erregt, daß ihre Anker gehoben werden. Dadurch wird, wie sich im Schema leicht verfolgen

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

läßt, die mit S bezeichnete Lampe in den Hilfsstromkreis eingeschaltet. Entsprechend werden die Lampen R und T zum Leuchten kommen, wenn in den betreffenden Phasen 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.

Vielfach verbindet man die Erdschluß-Anzeigevorrichtung mit den zur Ableitung statischer Ladungen dienenden Erdungsdrosselspulen (s. Abschn. 13). Diese haben dann die Bedeutung der Primärwicklung von Spannungswandlern, denen Sekundärwicklungen zum Anschluß der Erdschlußvoltmeter zugeordnet sind (vgl. z. B. Abb. 186).

IV. Elektrizitätswerke mit Gleichstrombetrieb.

A. Gleichstrommaschinen und Akkumulatoren.

28. 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. Das Schema ihrer Schaltung zeigt Abb. 74. 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 Magnetreglers, 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 Regulierkurbel ist mit s , der Kurzschlußkontakt mit t bezeichnet.

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 Selbstinduktionsstrom ein geschlossener Weg geboten und die Neigung zur Funkenbildung am Ausschaltkontakt abgeschwächt wird. Die Ausschaltleitung ist im Schema durch eine gestrichelte Linie angedeutet.

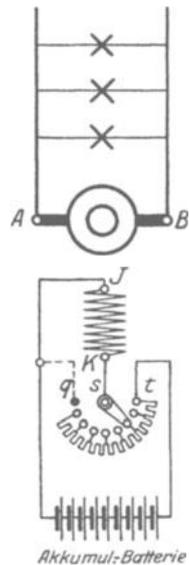


Abb. 74. Fremderregte Maschine.

29. 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 Schema Abb. 75 zeigt, in dem auch der Magnetregler, hier Nebenschlußregler genannt, eingezeichnet ist. Die gestrichelt angedeutete Leitung dient, wie im vorigen Abschnitt angegeben, zum selbstinduktionsfreien Ausschalten.

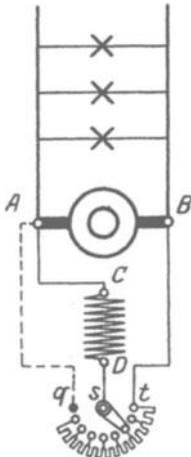


Abb. 75. Nebenschlußmaschine.

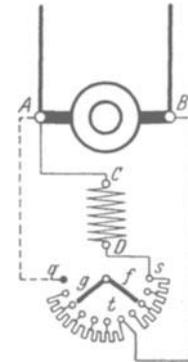


Abb. 76. Nebenschlußregler mit Feineinstellung.

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.

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.

steht aus nur wenigen Stufen, deren Gesamtwiderstandswert ungefähr dem einer Stufe des Hauptwiderstandes entspricht.

30. Die Hauptschlußmaschine.

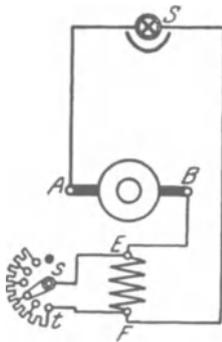


Abb. 77. Hauptschlußmaschine.

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

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

31. 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 Kom-

poundmaschine 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 Schema Abb. 78 a, oder, wie in Abb. 78 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 an C anzuschließen.

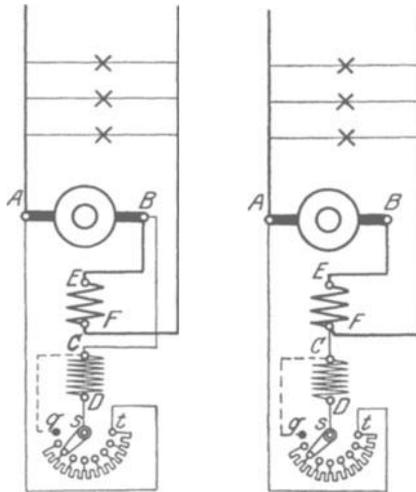


Abb. 78 a.

Abb. 78 b.

Doppelschlußmaschine.

32. 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.

Das Schema einer Nebenschlußmaschine mit Wendepolen ist in Abb. 79 wiedergegeben. Die Wendepolwicklung hat die Bezeichnung GH .

Das Schema 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 wird, 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.

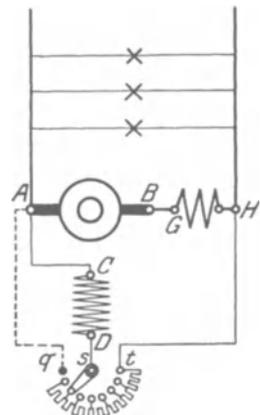


Abb. 79. Maschine mit Wendepolen oder kompensierte Maschine.

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

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



Abb. 80. Akkumulatorenatterie mit Einfachzellenschalter.

Zellen abgeschaltet werden, die in dem Maße, wie die Entladung der Batterie fortschreitet, allmählich wieder hinzuzufügen sind. Hierzu gebraucht man einen Zellschalter. 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. Das Schema einer Batterie mit Zellschalter zeigt Abb. 80.

Auf die Ausführung des Zellschalters 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 Zellschalter erforderlich. In der Regel werden beide Schalter zu einem Doppelzellschalter in der Weise vereinigt, daß über einer gemeinsamen Kontaktplatte zwei Kontaktfedern verschiebbar angebracht werden, eine für die Ladung und eine für die Entladung. Eine Batterie mit Doppelzellschalter ist schematisch in Abb. 81 dargestellt, jedoch ist der Deutlichkeit wegen die Kontaktbahn für die Lade- und Entladeseite getrennt gezeichnet. Der Zellschalter wird durch zwei die Kontaktfedern tragende Kurbeln bedient.

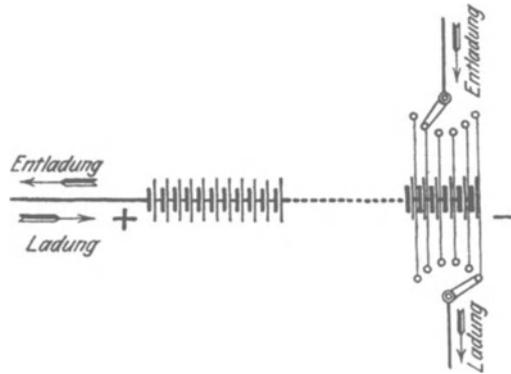


Abb. 81. Akkumulatorenatterie mit Doppelzellschalter.

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. 82 zeigt das Prinzip der Einrichtung für einen Einfachzellschalter. 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 Stellung b wirkt ihre Spannung dagegen der Batteriespannung entgegen, was in der Wirkung dasselbe ist, als ob eine Zelle weniger eingeschaltet wäre. Das Weiterrücken der Hauptbürsten von halber zu halber Stufe läuft also, wie ein Vergleich der Abb. 82 a und b verdeutlicht, auf das

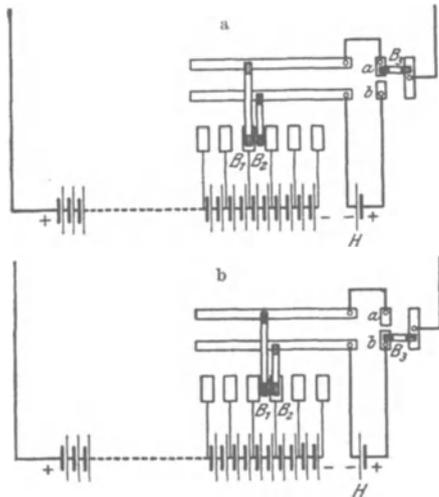


Abb. 82 a u. 82 b. Leitungsparender Zellschalter.

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. 83 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. 29). Zum Anschluß der Maschine an die Sammelschienen — mit *P* ist die positive, mit *N* die negative Schiene bezeichnet — ist ein zweipoliger

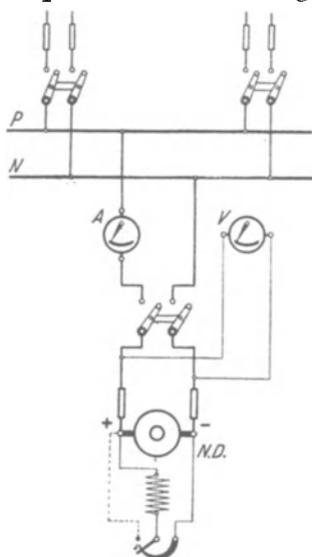


Abb. 83. Gleichstromanlage mit einer Nebenschlußmaschine.

Schalter erforderlich. Beide Verbindungsleitungen erhalten zum Schutz der Maschine Schmelzsicherungen. An Meßinstrumenten 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.

Der Nebenschlußregler ist unter Fortlassung der Kontaktbahn durch eine gebogene, nach dem Kurzschlußkontakt, also der Gegend größerer Stromstärke zu stärker werdende Linie angegeben. Diese Darstellung wird in den nachfolgenden Schaltbildern vielfach für die verschiedenen Arten von Regulierwiderständen angewendet werden.

Statt der Nebenschlußmaschine kann auch eine Doppelschlußmaschine (s. Abschn. 31) in Anwendung kommen. Das vorstehende Schema 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.

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 Richtungsschalter vorgezogen.

Während im Falle eines Rückstromes die Magnetwicklung einer Nebenschlußmaschine in der gleichen Richtung wie im normalen Betriebe vom Strom durchflossen wird, erhält eine Hauptschlußmagnetwicklung in entgegengesetztem Sinne Strom, so daß ein Umpolarisieren der Maschine eintritt. Dieser Umstand muß beim Parallelbetrieb von Doppelschlußmaschinen beachtet werden.

36. Nebenschlußmaschinen im Parallelbetrieb.

Abb. 84 stellt das Schaltungs-schemata zweier Nebenschlußmaschinen dar, die auf gemeinsame Sammelschienen arbeiten. Ein Pol

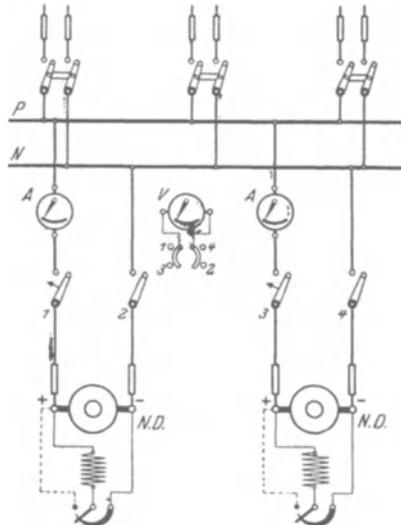


Abb. 84. Gleichstromanlage mit parallel geschalteten Nebenschlußmaschinen.

jeder Maschine ist mit den Sammelschienen über einen Handschalter, der andere Pol über einen Unterstromschalter (oder einen Richtungs-schalter) 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.

Das Schema Abb. 84 läßt sich ohne Schwierigkeit für den Fall erweitern, daß in der Anlage mehr als zwei Maschinen vorhanden sind.

37. Doppelschlußmaschinen im Parallelbetrieb.

Der Schaltplan für parallel betriebene Doppelschlußmaschinen entspricht dem für parallel arbeitende Nebenschlußmaschinen. Doch wendet man in der Regel noch eine Ausgleichsleitung an, die im Schema Abb. 85 durch eine gestrichelte Linie angegeben ist. An die Ausgleichsschiene werden diejenigen Ankerpole aller Doppelschlußmaschinen *D.D.* angeschlossen, welche mit der Hauptschlußmagnetwicklung 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

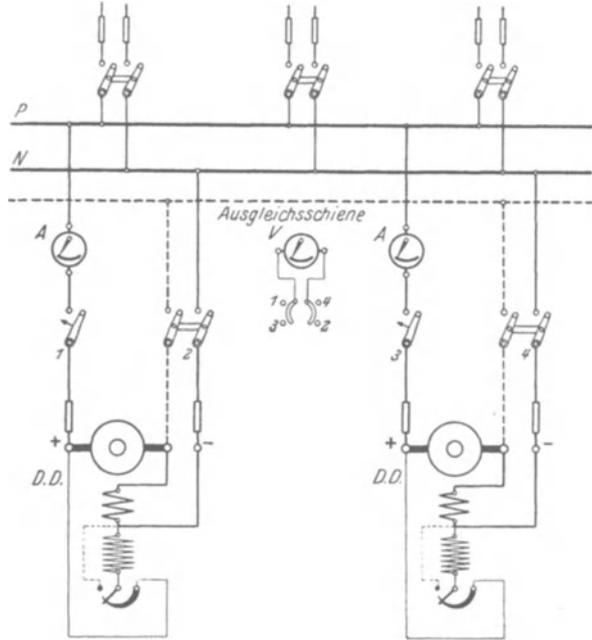


Abb. 85. Gleichstromanlage mit parallel geschalteten Doppelschlußmaschinen.

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.

38. Nebenschlußmaschine und Akkumulatoren­batterie mit Einfachzellenschalter.

Das Schema Abb. 86 zeigt den einfachsten Fall einer mit einer Akkumulatoren­batterie ausgerüsteten Zentrale. Für letztere 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 Drehspulinstrument verwendet, das seinen Null-

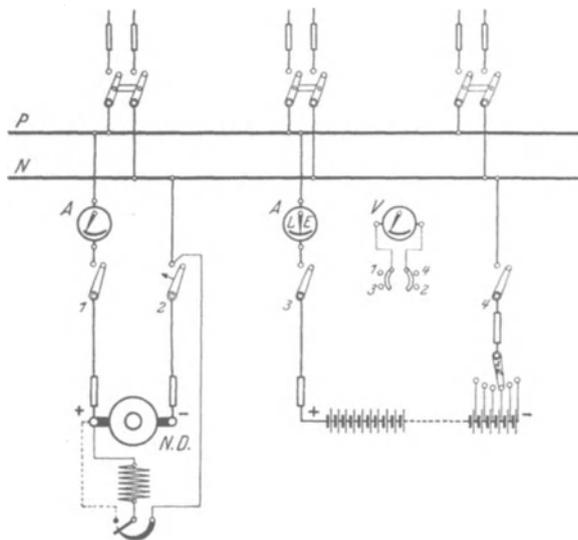


Abb. 86. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Einfachzellenschalter.

punkt 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 als auch der Batteriespan-

nung 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 Ein-

schalten 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 Zellenschalters, 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 Zellenschalters 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. 87 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 Schema, 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 Stromunter-

brechung zu bewerkstelligen erlaubt. Die Batterie steht mit den Sammelschienen wieder durch zwei einpolige Schalter in Verbindung.

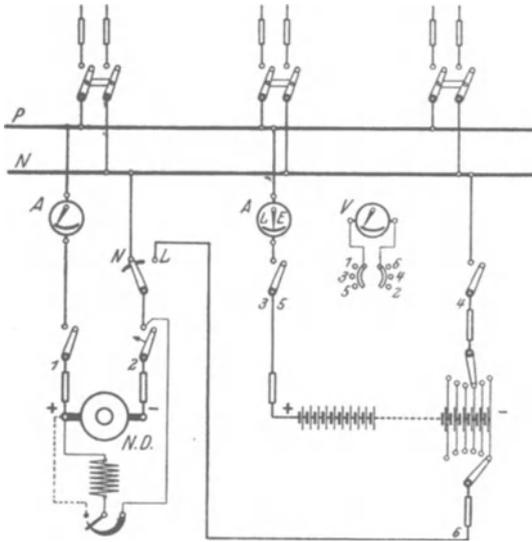


Abb. 87. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie mit Doppelzellenschalter.

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.

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 Zellschalters.

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 aufrecht erhält. 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 Lade-

kurbel 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.

40. Mehrere Nebenschlußmaschinen und Akkumulatorenatterie mit Doppelzellenschalter.

In größeren Anlagen sind stets mehrere Betriebsmaschinen vorhanden, und es wird die Zahl der in Betrieb zu nehmenden Maschinen

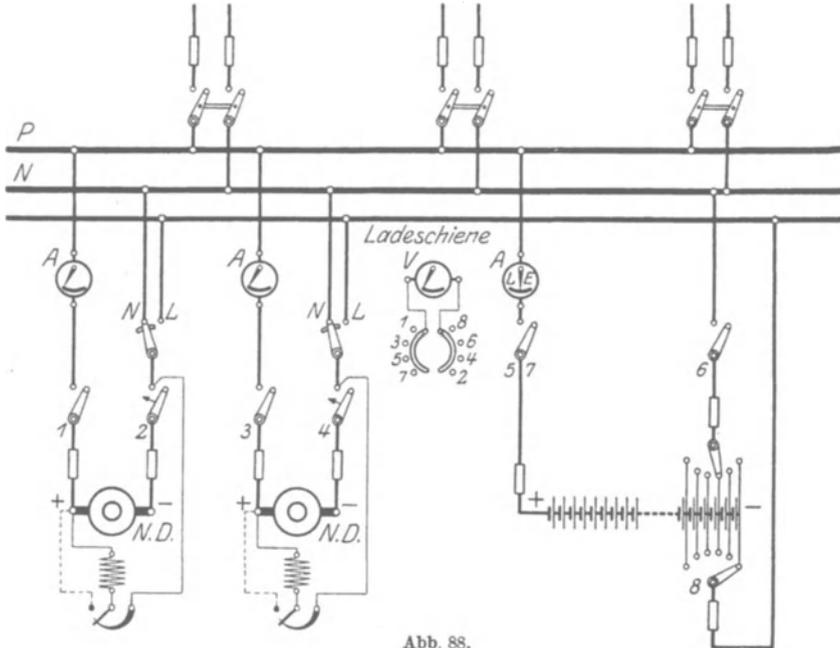


Abb. 88.

Zwei parallel geschaltete Nebenschlußmaschinen u. Akkumulatorenatterie mit Doppelzellenschalter.

immer der jeweiligen Belastung des Netzes angepaßt. Das Schema Abb. 88, in welchem zwei Nebenschlußmaschinen angenommen sind,

läßt erkennen, daß sich wesentliche Änderungen gegenüber dem Falle einer Betriebsmaschine nicht ergeben, es wiederholen sich vielmehr für alle Maschinen die im vorigen Abschnitt angegebenen Einrichtungen. Für das Laden der Batterie ist eine besondere Ladeschiene anzuordnen, mit der die Kontakte *L* der Maschinenumschalter sowie die Ladekurbel der Batterie verbunden werden. Man kann alsdann irgendeine der Betriebsmaschinen zum Laden heranziehen, die anderen Maschinen dagegen aufs Netz arbeiten lassen.

41. 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 das Schema Abb. 89. Ein Umschalter für die Hauptmaschine erübrigt sich, da die Maschine stets, auch bei der Batterieladung, auf die Sammelschienen

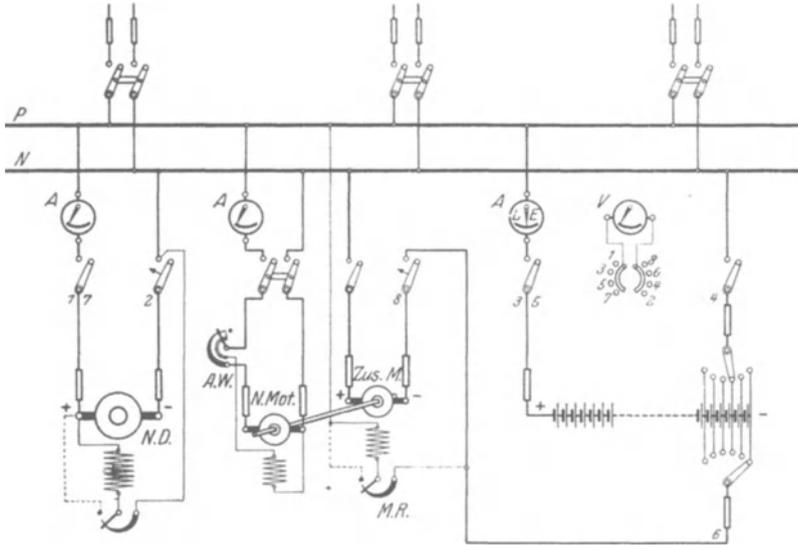


Abb. 89. Nebenschlußmaschine, Akkumulatorenbatterie und Zusatzmaschine.

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 Schema 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 gekuppelten Nebenschlußmotor, der von den Sammelschienen gespeist wird, und dessen Belastung durch einen Strommesser festgestellt werden kann; *A.W.* bedeutet den Anlaßwiderstand. 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 Betriebszustände 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 vorschriftmäßigen Stromstärke in üblicher Weise geladen.

42. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenatterie in Mickaschaltung.

Um eine Akkumulatorenatterie aufzuladen, ohne die Spannung der Betriebsmaschine zu erhöhen oder eine Zusatzmaschine anzuwenden, kann man sie in Gruppen zerlegen und diese nacheinander laden. Sie kann in zwei oder, was meistens vorgezogen wird, in drei Gruppen unterteilt

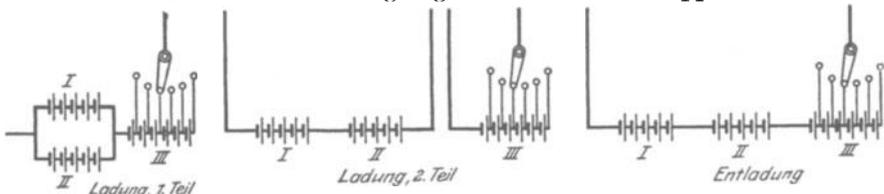


Abb. 90 a.

Abb. 90 b.

Abb. 90 c.

Abb. 90 a bis 90 c. Akkumulatorenatterie in Mickaschaltung.

werden. Eine Dreiteilung der Batterie liegt dem Verfahren von Micka zugrunde. Die Gruppen mögen mit *I*, *II* und *III* bezeichnet werden. Die Ladung wird nun in der Weise vorgenommen, daß zunächst die Gruppen *I* und *II* parallel geschaltet werden und Gruppe *III* dahintergelegt wird (Abb. 90a). Dabei empfangen *I* und *II* nur einen halb so großen Ladestrom wie *III*. Ist Gruppe *III* vollgeladen, so wird sie abgetrennt, und es werden nunmehr die Gruppen *I* und *II* hintereinander geschaltet

und fertig geladen (Abb. 90b). Bei der Entladung werden alle drei Gruppen hintereinander geschaltet (Abb. 90c).

Das Schema einer Anlage mit einer Akkumulatorenbatterie in Mickaschaltung zeigt Abb. 91. Als Betriebsmaschine ist, wie üblich, eine Nebenschlußmaschine angenommen. Für die Batterie wird ein Einfachzellenschalter benötigt. Das Schema entspricht, abgesehen von der Schaltung der Batterie, im wesentlichen dem in Abb. 86 gegebenen. Zur Herstellung der erforderlichen Batterieschaltungen dienen zwei dreipolige Umschalter U_1 und U_2 . Zunächst werden beim Laden beide Schalter nach links gelegt, dann entspricht die Schaltung der

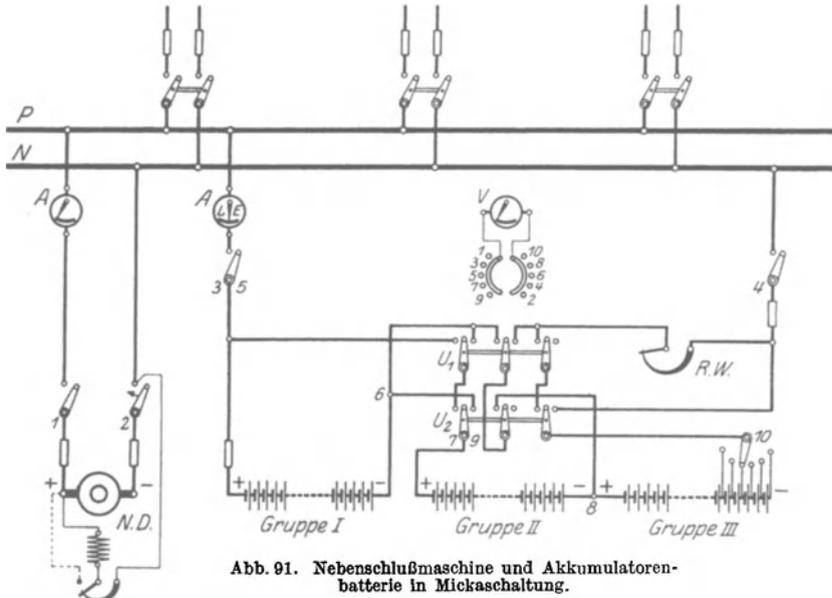


Abb. 91. Nebenschlußmaschine und Akkumulatorenbatterie in Mickaschaltung.

Batterie der Abb. 90a. Die aufgeladenen Schaltzellen können mit dem Zellenwechsler abgeschaltet werden. Ist nach einiger Zeit die Gruppe *III* fertig geladen, so muß die Schaltung nach Abb. 90b abgeändert werden, indem U_1 nach rechts gelegt wird, während U_2 in der bisherigen Stellung zu belassen ist. Ist schließlich die Ladung der ganzen Batterie beendet, so wird U_1 ausgeschaltet, U_2 dagegen nach rechts umgelegt, wodurch die Batterie nach Abb. 90c geschaltet, also für die Entladung bzw. den Parallelbetrieb mit der Maschine hergerichtet ist.

Da die Betriebsspannung, d. h. die Spannung der Maschine, für die Ladung der in Betracht kommenden Batteriegruppen zu groß ist, so muß die überschüssige Spannung vernichtet werden, wozu noch ein Regulierwiderstand $R.W.$ erforderlich ist. Durch diesen wird die Ladestromstärke auf den gewünschten Wert eingestellt. Der damit verbundene Energieverlust muß in Kauf genommen werden. Mittels des Spannungsmessers können unter Zuhilfenahme des Umschalters gemessen werden: die Maschinenspannung 1—2, die Batteriegesamtspannung, also

die Entladespannung 3—4, die Spannung 5—6 der Batteriegruppe I, 7—8 der Gruppe II und 9—10 der Gruppen II + III.

In der Regel werden die beiden dreipoligen Batterieumschalter zu einem besonders ausgebildeten Schalter vereinigt, durch dessen Anwendung Mißgriffe, wie sie bei Anwendung von zwei getrennten Schaltern vorkommen können, ausgeschlossen werden.

Die Mickaschaltung wird namentlich bei kleinen Anlagen vielfach verwendet, besonders dann, wenn eine Batterie erst nachträglich eingebaut wird, die Spannung der Betriebsmaschine aber nicht erhöht und auch eine Zusatzmaschine nicht aufgestellt werden kann.

43. Wind-Elektrizitätswerk.

Sehr verlockend erscheint es, besonders in einer Zeit, die die Heranziehung aller verfügbaren Energiequellen zu einer unabweisbaren 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. 92 gibt das Schaltbild 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 einen 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 ein-

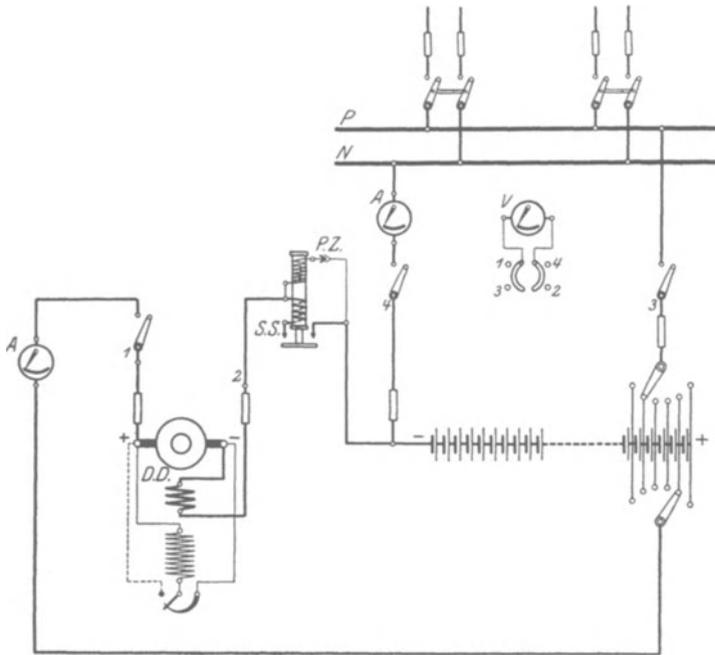


Abb. 92. Wind-Elektrizitätswerk.

geschaltet ist, und eine aus vielen Windungen dünnen Drahtes gebildete, welche mit der Polarisationszelle *P.Z.* in Reihe liegt und mit einem vom Hauptkreis abgezweigten Strom 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.

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 dünndrähtige Wicklung, der Eisenkern wird gehoben und der Hauptstrom dadurch geschlossen. Die Batterie wird also nunmehr geladen, wobei die dünndrähtige 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 automatisch ab.

44. 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 Belastungsstöße 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, 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. 93, 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 gegenein-

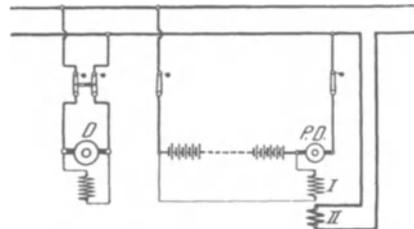


Abb. 93. Pufferbatterie mit Piranimaschine.

ander 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 Wick-

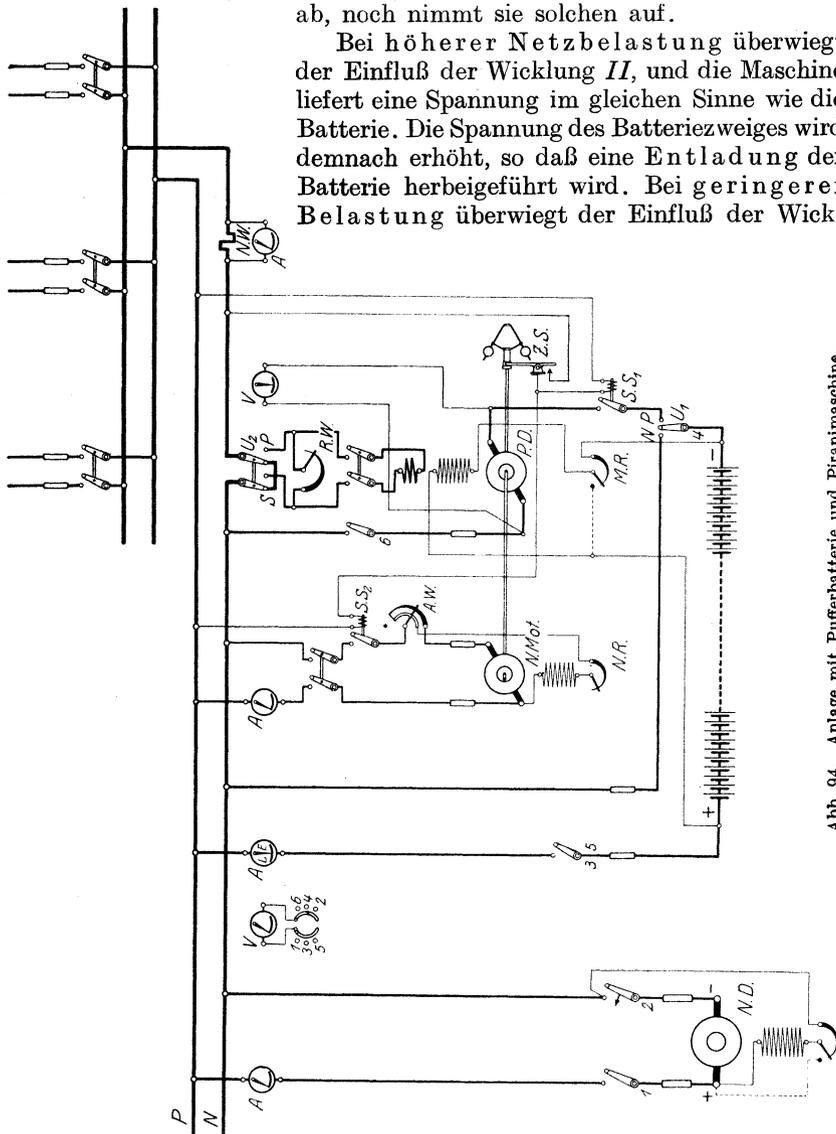


Abb. 94. Anlage mit Pufferbatterie und Piranmaschine.

lung *I*, und die von der Maschine gelieferte Spannung ist der Batteriespannung entgegengerichtet. Die Spannung des Batteriezweiges wird also verringert, und es tritt ein Aufladen der Batterie ein.

In Abb. 94 ist das Schaltungsschema einer den vorstehenden Darlegungen entsprechenden Anlage wiedergegeben. Als Betriebsmaschine ist eine Nebenschlußdynamo vorgesehen, welche in bekannter Weise auf die Sammelschienen arbeitet und auf die normale Betriebsspannung einreguliert wird. Ein Zellschalter für die Akkumulatorenbatterie ist nicht vorhanden. Über die jeweilige Lade- bzw. Entladestromstärke der Batterie gibt ein doppelseitig ausschlagender Strommesser Auskunft.

Die Batterie liegt unmittelbar an den Sammelschienen, wenn der in ihrem Pluspol befindliche Schalter eingelegt ist und der Umschalter U_1 auf der negativen Seite der Batterie sich in Stellung N befindet. Dieser Betrieb kommt jedoch nur bei ausgeschalteter Maschine in Betracht, zu Zeiten 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. 93) 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 Drehzahlregulierung des Motors (s. Abschn. 56) 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 Meßinstrumente ergeben sich sinngemäß aus den vorhergehenden Schaltplänen. Erwähnt sei der über einen Nebenwiderstand in die eine 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.

45. Piranimaschine mit besonderer Erregermaschine.

Häufig, namentlich in größeren Anlagen, zieht man es vor, der Piranimaschine eine besondere Erregermaschine zu geben. Das allgemeine Schaltbild hierfür ist in Abb. 95 gegeben, in der *E.M.* die Erregermaschine bedeutet. Die Wicklungen *I* und *II*, die genau wie in Abb. 93

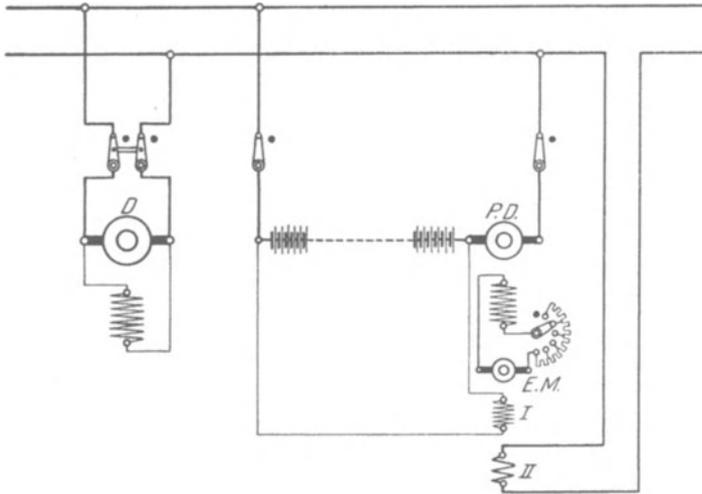


Abb. 95. Piranimaschine mit besonderer Erregermaschine.

geschaltet sind, befinden sich nunmehr auf den Magneten der Erregermaschine, während die Piranimaschine nur eine einzige Wicklung erhält, welcher der von der Erregermaschine erzeugte Strom zugeführt wird. Die Wirkung ist die gleiche, als wenn die beiden Wicklungen unmittelbar auf der Piranimaschine angebracht wären; doch fallen sie erheblich kleiner aus. Piranimaschine und Erregermaschine (wie auch der Antriebsmotor) werden in der Regel unmittelbar miteinander gekuppelt.

Um nicht den ganzen Netzstrom in die Erregermaschine einzuführen, empfiehlt es sich — ähnlich wie in Abb. 94 —, in die Netzleitung einen Widerstand zu legen, an dessen Enden die betreffende Erregerwicklung angeschlossen wird. Letztere wird alsdann von einem Strom durchflossen, der sich im gleichen Verhältnis ändert wie der Netzstrom.

46. 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. 96. An die zur Verbrauchsstelle

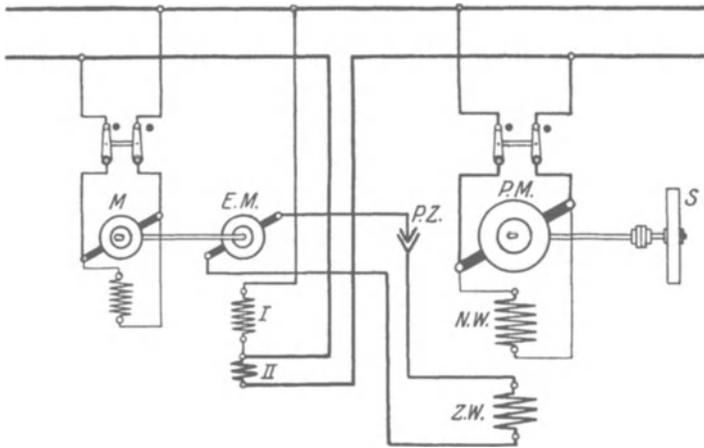


Abb. 96. Meyersberg-Schaltung.

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. 43), 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

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

heben sich ihre Wirkungen auf. Die Maschine gibt also 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, wie vorstehend ausgeführt wurde, also 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 Piranischtung, 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 abgezweigt werden.

C. Dreileiterzentralen.

47. 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

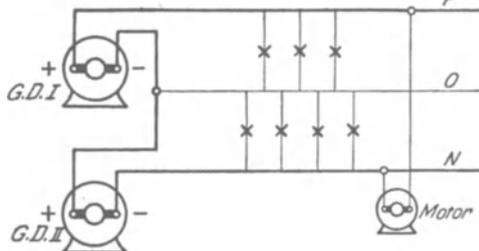


Abb. 97. Dreileiteranlage, Spannungsteilung durch Hintereinanderschaltung zweier Betriebsmaschinen.

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. 97),

48. Dreileiteranlage mit Hintereinanderschaltung der Betriebsmaschinen und einer Akkumulatorenbatterie.

Im Schema Abb. 99 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 Doppel-

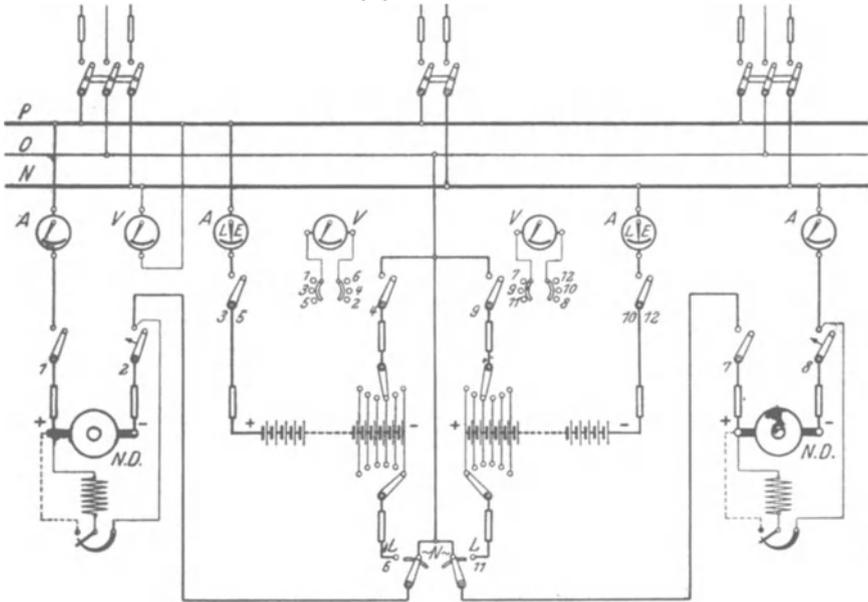


Abb. 99. Dreileiteranlage mit hintereinander geschalteten Betriebsmaschinen und Akkumulatorenbatterie.

zellenschalter erforderlich. Hinsichtlich der übrigen Schaltapparate, Meßinstrumente usw. gilt sinngemäß das für Zweileiteranlagen Angegebene. Der besseren Übersichtlichkeit wegen ist für jede Netzhälfte ein Spannungsmesser vorgesehen, mit dem die Maschinenspannung sowie die Entlade- und Ladespannung der Batterie festgestellt werden können. Zur Kontrolle der Außenleiterspannung dient wieder ein besonderes Voltmeter.

a) Die Maschinen arbeiten allein auf das Netz.

Jeder der beiden einpoligen Umschalter — im Schema 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 Entladekurkeln der Zellenschalter 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 im Schema 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.

49. Dreileiteranlage mit Akkumulatorenbatterie zur Spannungsteilung.

In vielen Fällen verwendet man in Dreileiteranlagen statt zwei hintereinander geschalteter Nebenschlußmaschinen, wie bisher angenom-

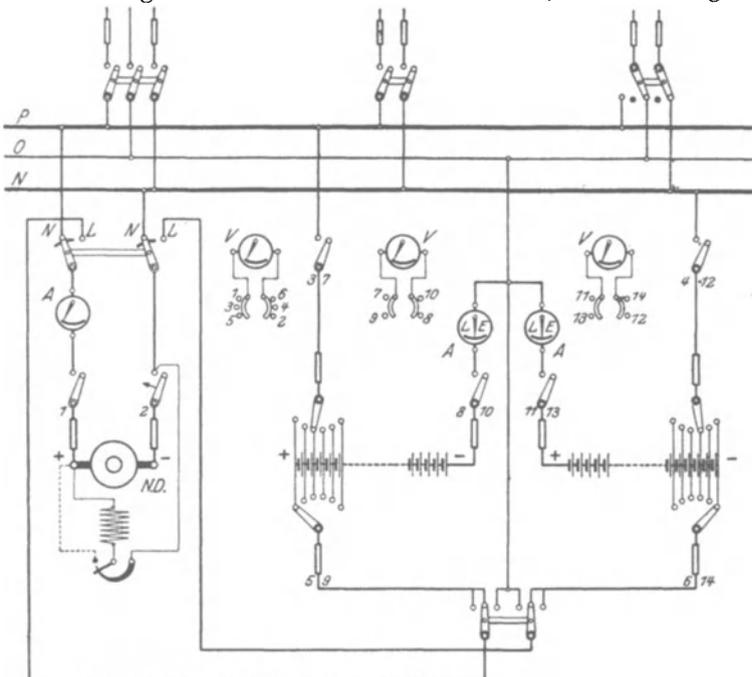


Abb. 100. Dreileiteranlage mit Akkumulatorenbatterie zur Spannungsteilung.

men wurde, eine Maschine, die für die Außenleiterspannung eingerichtet ist und demnach auch an die Außenleiter angeschlossen wird. Die Vor-

teile 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 ist im Schema Abb. 100 der Akkumulatorenbatterie übertragen worden. Das bedingt, daß diese stets eingeschaltet ist, da sonst der Mittelleiter nicht angeschlossen wäre. Es ist wieder angenommen, daß die Maschine die für die Ladung der Batterie notwendige Spannung unmittelbar, also ohne Anwendung einer Zusatzmaschine, liefern kann. Die Doppelzellenschalter 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 *NN*, arbeiten oder die Batterieladung, Stellung *LL*, bewirken kann. Außerdem ist noch ein zweipoliger Umschalter (mit Unterbrechung) für die Batterie erforderlich — im Schema 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 Entladekurkeln der Zellenschalter 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 *NN*.

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 $\frac{2}{3}$ 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 im Schema auch für eine Netzleitung zum Ausdruck gebracht ist.

50. Dreileiteranlage mit Ausgleichsmaschinen, Akkumulatorenbatterie und Zusatzmaschine.

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. 101. 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.

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 noch schneller als bei eigener Erregung, wodurch die Ausgleichswirkung begünstigt wird.

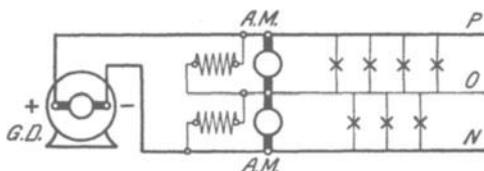


Abb. 101. Dreileiteranlage, Spannungsteilung durch Ausgleichsmaschinen.

Im Schema Abb. 102 ist als Betriebsmaschine wiederum eine Nebenschlußmaschine angenommen. Parallel dazu befindet sich eine Akkumulatorenbatterie mit zwei innen liegenden Doppelzellenschaltern. Die Batterie wirkt, wie im Schema Abb. 100, als Spannungsteiler. Doch ist für diesen Zweck außerdem ein Ausgleichsmaschinensatz vorgesehen. Die beiden Maschinen des Satzes besitzen einen gemeinsamen Anlaßwiderstand *A.W.* Beim Drehen der Anlasserkurbel in die Kurzschlußstellung wird die Verbindung der Maschinen mit dem Mittelleiter selbsttätig hergestellt. Die Ausgleichsmaschinen erhalten ihre Erregung kreuzweise von den Sammelschienen. Für jede Ausgleichsmaschine ist ein Magnetregler *M.R.* vorgesehen.

Für die Ladung der Batterie ist eine Zusatzmaschine vorhanden. Die Betriebsmaschine ist daher lediglich für die normale Spannung ein-

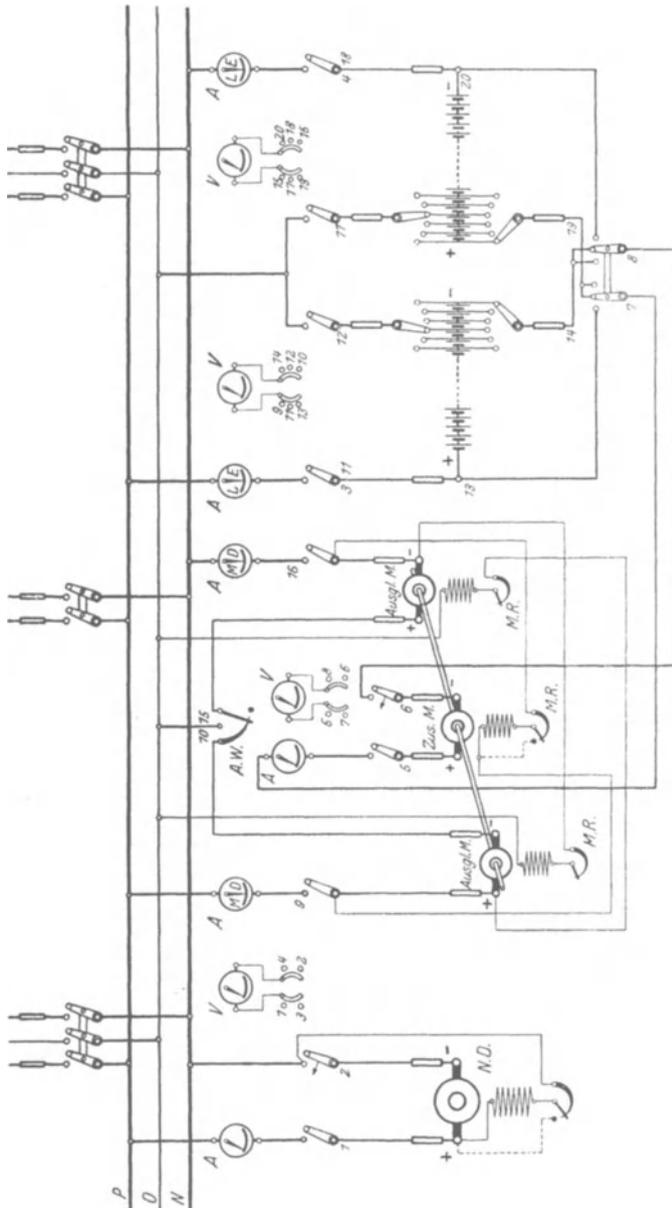


Abb. 102. Dreileiteranlage mit Akkumulatorenbatterie und Ausgleichsmaschinen.

gerichtet. Um einen besonderen Antriebsmotor zu ersparen, ist die Zusatzmaschine mit den Ausgleichsmaschinen gekuppelt. Ihre Erregung erfolgt mit der vollen Netzspannung. Der zweipolige Batterieschalter —

rechts unten im Schema — ist notwendig, um entweder die ganze Batterie oder auch bei Bedarf jede einzelne Batteriehälfte aufladen zu können.

An Meßinstrumenten sind u. a. ein Spannungsmesser für die Außenspannungen und je einer für die beiden Netzhälften vorhanden. Für die Zusatzmaschine ist ein besonderer Spannungsmesser und auch ein Strommesser eingebaut. Durch Anwendung zweiseitig ausschlagender Strommesser für die Ausgleichsmaschinen läßt sich jederzeit feststellen, ob sie als Motor (*M*) oder als Dynamomaschine (*D*) wirken.

Nur die beiden wichtigsten Betriebsweisen sollen nachfolgend besprochen werden.

a) Maschine, Batterie und Ausgleichsmaschinensatz arbeiten parallel.

Es werde angenommen, daß die Betriebsmaschine und die Batterie bereits auf die Sammelschienen arbeiten, und es sollen nunmehr auch die Ausgleichsmaschinen eingeschaltet werden. Zu diesem Zwecke werden zunächst die beiden die Verbindung mit den Außenleitern bewirkenden Schalter des Maschinensatzes geschlossen. Die beiden Ausgleichsmaschinen sind alsdann erregt und können nunmehr mit Hilfe des Anlassers in Betrieb gesetzt und unter Benutzung der Magnetregler auf die richtige Umdrehungszahl bzw. Spannung eingestellt werden.

b) Die Batterie wird geladen.

Die Betriebsmaschine arbeitet wie immer auf die Sammelschienen. Die zum Antrieb der Zusatzmaschine dienenden Ausgleichsmaschinen befinden sich im Betriebe. Der zweipolige Batterieumschalter wird in die mittlere Stellung gebracht, was einer Aufladung der ganzen Batterie entspricht. Sodann wird die Zusatzmaschine auf die für die Ladung erforderliche Spannung erregt, ihr Handschalter eingelegt und schließlich ihr Unterstromschalter geschlossen.

Das Nachladen einer einzelnen Batteriehälfte erfolgt unmittelbar durch die Zusatzmaschine. Diese muß daher auf eine entsprechend hohe Spannung gebracht werden können. Zur Aufladung der linken Batteriehälfte wird der Batterieschalter nach links, zur Aufladung der rechten Hälfte nach rechts gestellt.

51. Dreileitermaschine mit einer Akkumulatorenbatterie.

Eine Spannungsteilung kann auch innerhalb der Betriebsmaschine selber vorgenommen werden. Man erhält alsdann eine sog. Dreileitermaschine. An der von Dobrowolsky erfundenen Maschine der AEG, Abb. 103, 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

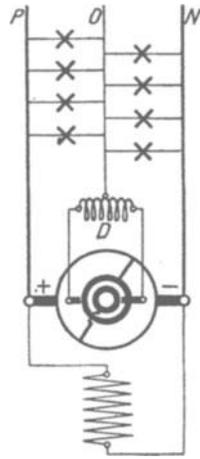


Abb. 103. Dreileitermaschine.

Außenleitern der Betriebsstrom in normaler Weise vom Kollektor zugeführt wird.

Abb. 104 zeigt die Schaltung einer Anlage mit einer Dreileitermaschine und einer parallel geschalteten Akkumulatorenbatterie. Der Batterie-

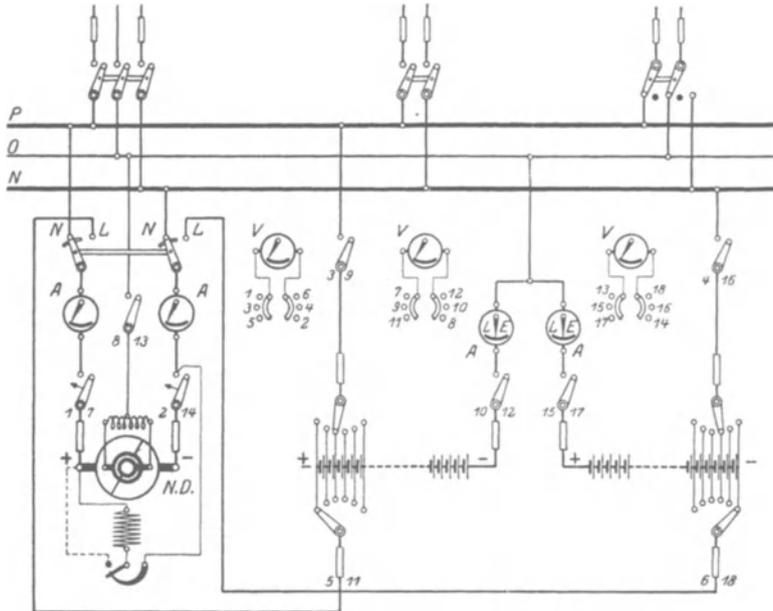


Abb. 104. Dreileitermaschine mit Akkumulatorenbatterie.

mittelpunkt ist wieder an den Mittelleiter angeschlossen. Das Schema gilt für den Fall, daß die Ladung der Batterie durch Nebenschlußregulierung der Dreileitermaschine erfolgt. Bei Verwendung von Zusatzmaschinen erhält zweckmäßigerweise jede Netzhälfte eine solche.

V. Gleichstrommotoren.

52. 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 Schaltschema des Nebenschlußmotors in Verbindung mit dem Anlasser zeigt Abb. 105. 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 Schema angegebene Verbindung zwischen Anlaßschiene und erstem Arbeitskontakt

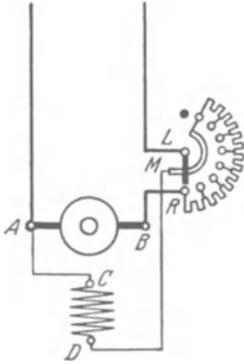


Abb. 105. Nebenschlußmotor, Anlasser mit Erregerschiene.

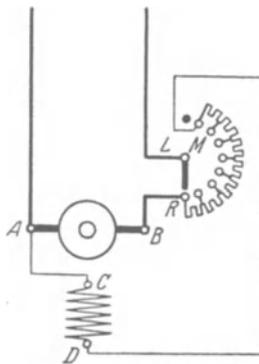


Abb. 106 a. Nebenschlußmotor, Anlasser ohne Schiene.

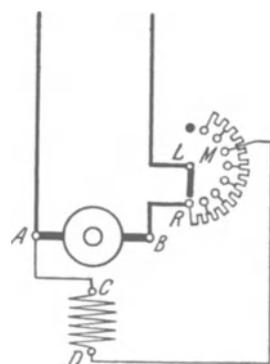


Abb. 106 b.

ist empfehlenswert mit Rücksicht auf selbstinduktionsfreies Ausschalten: der beim Abschalten auftretende Stromstoß kann in dem aus Magnetwicklung, Anker und Anlaßwiderstand gebildeten Stromkreis verlaufen (vgl. Abschn. 28).

Will man die Schiene am Anlasser vermeiden, so kann die Schaltung nach Abb. 106 a 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. 106 b zeigt.

Sind im vorstehenden die grundsätzlichen Schaltungsweisen von Motor und Anlasser erörtert worden, so gibt Abb. 107 noch ein Beispiel für die praktische Ausführung des Anlassers (nach Voigt und Häffner, Frankfurt a. M.). Die Schaltung läßt sich auf Abb. 106 a 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

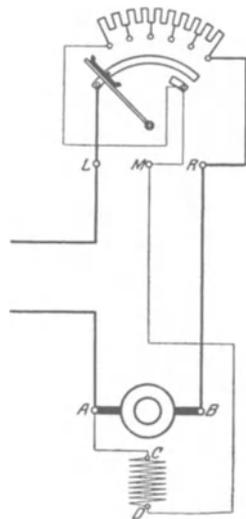


Abb. 107. Nebenschlußmotor mit Anlasser. (Kurbel nicht stromführend.)

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. 106, nicht mehr durch den Anlaßwiderstand geschwächt.

53. Der Hauptschlußmotor.

Die Hauptschlußmaschine besitzt als Motor eine besonders hohe Anzugskraft und wird daher mit Vorliebe für den Betrieb von Fahrzeugen, Kranen u. dgl.

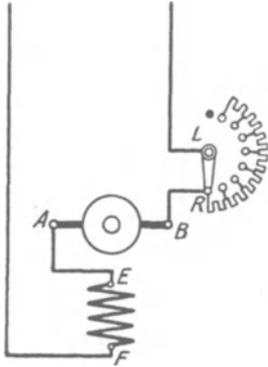


Abb. 108. Hauptschlußmotor mit Anlasser.

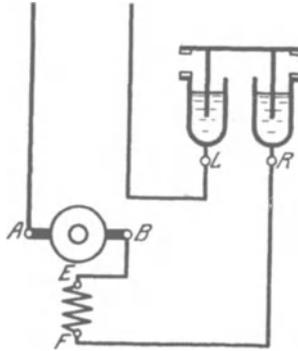


Abb. 109. Hauptschlußmotor mit Flüssigkeitsanlasser.

verwendet. Ihre Umlaufzahl ist jedoch in hohem Maße von der Belastung abhängig. Sie steigt, wenn der Motorentlastet wird, stark an, und bei Leerlauf geht der Motor durch. Er ist daher für Riemenantriebe, wie überhaupt in allen Fällen, in denen eine unvor-

gesehenere Entlastung eintreten kann, nicht verwendbar, wenn nicht, etwa durch einen Zentrifugalapparat, das Auftreten einer zu hohen Geschwindigkeit verhindert wird.

Das Schema des Hauptschlußmotors mit dem zugehörigen Anlaßwiderstand ist durch Abb. 108 gegeben. Am Anlasser sind nur zwei Klemmen erforderlich: *L* für den Anschluß einer der beiden Netzleitungen, *R* für die Verbindung mit dem Motor.

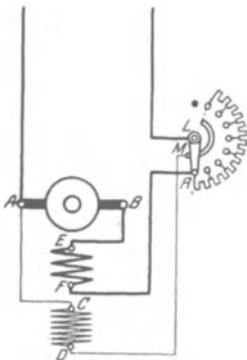


Abb. 110. Doppelschlußmotor mit Anlasser.

In Abb. 109 ist noch ein Schema des Motors in Verbindung mit einem Flüssigkeitsanlasser dargestellt. Dieser besteht aus zwei voneinander isolierten eisernen Gefäßen, die mit einer schwachen Soda- oder Pottaschelösung als Widerstand gefüllt sind. Beim Anlassen werden zwei unter sich verbundene Eisenbleche, eins für jedes Gefäß, mit Hilfe einer Schraubspindel langsam in die Flüssigkeit eingetaucht, bis schließlich der Anlasser durch Messerkontakte kurzgeschlossen wird.

54. 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 Er-

wärmung, 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 Schema eines Doppelschlußmotors mit seinem Anlasser zeigt Abb. 110.

55. 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 Spannungsrückgangsschalters in eine der Zuführungsleitungen schützen (s. Abschn. 7d).

Bei Nebenschlußmotoren kann eine selbsttätige Auslösung unmittelbar am Anlasser vorgesehen werden, Abb. 111 (vgl. auch Abb. 107). 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

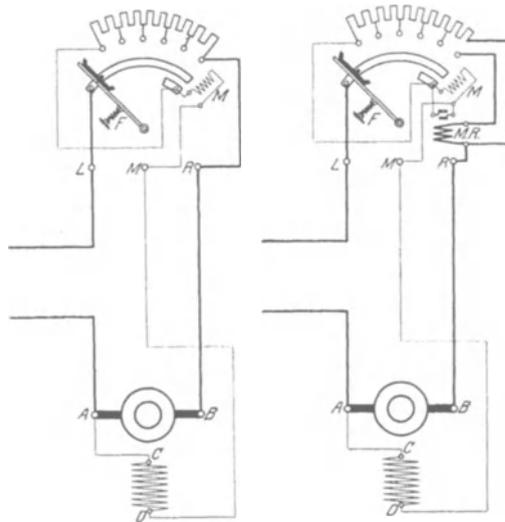


Abb. 111. Anlasser mit selbsttätiger Spannungsrückgangsauslösung.

Abb. 112. Anlasser mit selbsttätiger Spannungsrückgangs- und Überstromauslösung.

des Anlassers 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. 56, 2. Absatz).

In Abb. 112 hat der Anlasser außer der Spannungsrückgangs- auch eine Überstromauslösung erhalten. Beim Überschreiten der zulässigen

Stromstärke wird durch ein kleines Maximalrelais *M.R.* die Magnet-
spule *M* kurzgeschlossen und somit der Motor ausgeschaltet.

56. Regulierung der Drehzahl.

Die Drehzahl eines Motors läßt sich vermindern, indem dem Anker
eine geringere Spannung zugeführt, vor den Anker also ein Wider-
stand gelegt wird. Ist der Anlaßwider-
stand für Dauerbelastung eingerichtet — aber

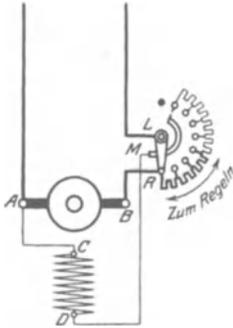


Abb. 113. Nebenschlußmotor
mit Regulieranlasser zur Er-
niedrigung der Drehzahl.

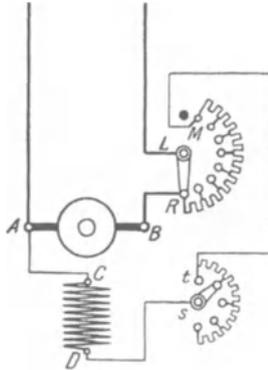


Abb. 114. Nebenschlußmotor
mit Anlasser und Neben-
schlußregler.

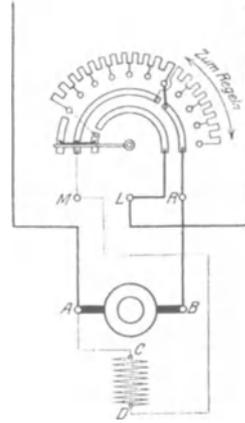


Abb. 115. Nebenschlußmotor
mit Regulieranlasser zur Er-
höhung der Drehzahl.

auch nur dann —, so kann er selber zur Geschwindigkeitsregelung ver-
wendet werden. Gegebenenfalls werden hierfür nur einige Stufen des
Anlaßwiderstandes eingerichtet, wie Abb. 113 für einen Nebenschluß-
motor 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 Drehzahl-
regelung getrieben wird. Es wird daher nur in
Ausnahmefällen angewendet.

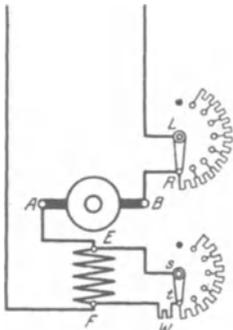


Abb. 116. Hauptschluß-
motor mit Regulierwider-
stand zur Erhöhung der
Drehzahl.

Eine Erhöhung der Umdrehungszahl eines
Motors läßt sich durch Schwächen des Magnet-
feldes, also durch Vermindern des Erreger-
stromes erreichen. Beim Nebenschluß motor
wird — nach Art des Nebenschlußreglers einer
Dynamomaschine — in den Magnetkreis ein Re-
gulierwiderstand eingeschaltet, *s, t* in Abb. 114.
Der Widerstand ist ohne Ausschaltkontakt auszu-
führen, da bei unterbrochenem Magnetstrom der
Motor, der dann nur dem Einfluß des Restmagne-
tismus unterliegt, durchgehen kann. In Abb. 115
ist das Schema eines Nebenschlußmotors dargestellt, mit dessen Anlasser
ein Nebenschlußregler vereinigt ist. Es sind vier Regulierstufen vor-
gesehen. 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. 116. 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 Regulierwiderstand eingeschaltet bleiben, damit die Magnetwicklung nicht stromlos wird; der Motor würde sonst durchgehen.

57. Anlasser in Kahlenberg-Schaltung.

Bei Anlassern für sehr große Maschinen hat sich eine Einrichtung bewährt, deren Schaltung in Abb. 117 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 Schleiffeder von einem Kontakt zum nächsten immer nur eine Widerstandsstufe ab- oder zugeschaltet wird, welche die halbe Stromstärke führt. Dagegen werden bei 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

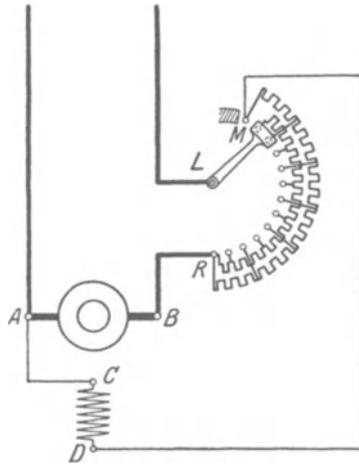


Abb. 117. Nebenschlußmotor mit Kahlenberg-Anlasser.

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. 121 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.

58. Änderung der Drehrichtung.

Eine Umkehr der Drehrichtung eines Motors wird erzielt, indem entweder dem Strom in der Magnetwicklung oder dem Ankerstrom eine

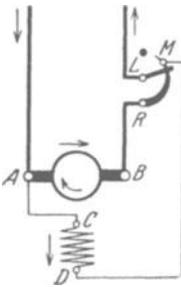


Abb. 118 a. Nebenschlußmotor

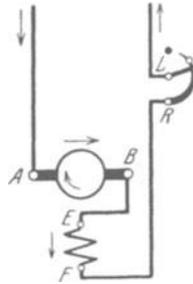


Abb. 118 b. Hauptschlußmotor für Rechtslauf.

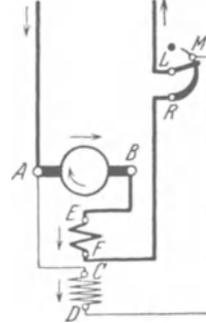


Abb. 118 c. Doppelschlußmotor für Rechtslauf.

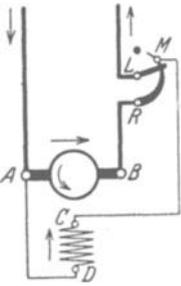


Abb. 119 a. Nebenschlußmotor

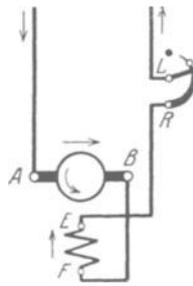


Abb. 119 b. Hauptschlußmotor

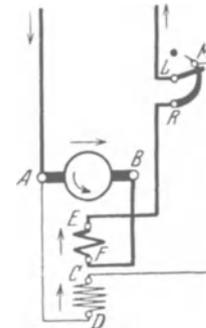


Abb. 119 c. Doppelschlußmotor für Linkslauf durch Richtungsänderung des Magnetstromes.

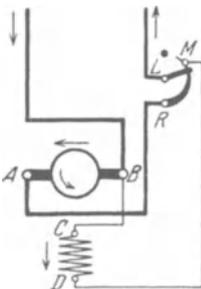


Abb. 120 a. Nebenschlußmotor

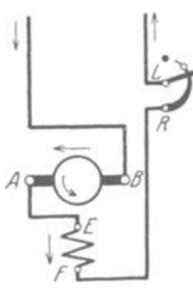


Abb. 120 b. Hauptschlußmotor

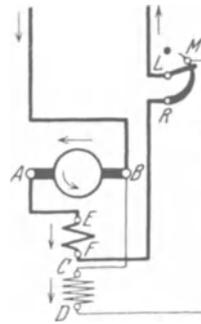


Abb. 120 c. Doppelschlußmotor für Linkslauf durch Richtungsänderung des Ankerstromes.

andere Richtung erteilt wird. In den Abb. 118 bis 120 sind die Schaltungen für Rechts- und Linkslauf der verschiedenen Motorarten angegeben. Es sei hier bemerkt, daß der Drehsinn eines Motors stets

von der Antriebsseite (d. i. meistens die dem Kollektor entgegengesetzte Seite) angegeben wird. Beim Rechtslauf ist davon ausgegangen, daß der Stromlauf in allen Teilen der Maschine im Sinne der alphabetischen Reihenfolge der Klemmen erfolgt.

59. Wendeanlasser.

Ist der Drehsinn eines Motors während des Betriebes regelmäßig umzukehren, so geschieht dies meistens durch Beeinflussung des Ankerstromes, damit die Maschine immer den gleichen Restmagnetismus bei-

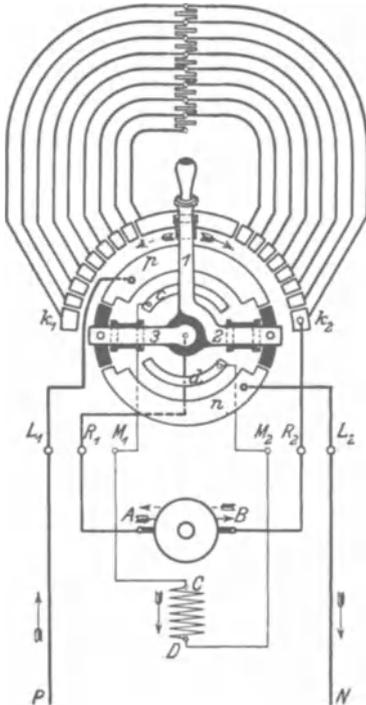


Abb. 121. Wendeanlasser für einen Nebenschlußmotor.

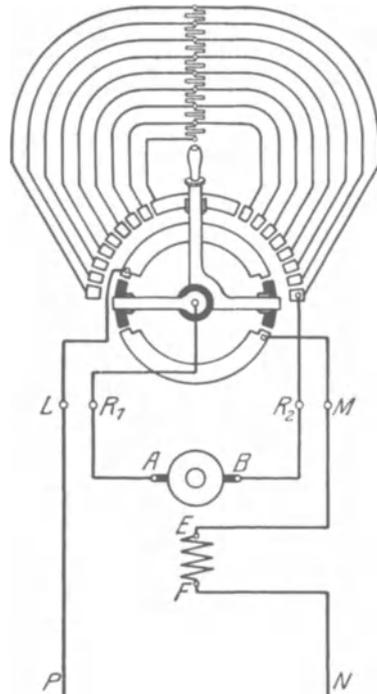


Abb. 122. Wendeanlasser für einen Hauptschlußmotor.

behält. Es können Wendeanlasser verwendet werden, mit denen die gewünschte Drehrichtung eingestellt wird.

Abb. 121 zeigt das Schema 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 dreiarmlig 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 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.

In Abb. 122 ist das Schema für den Wendeanlasser eines Hauptschlußmotors gegeben. Er unterscheidet sich von dem des Nebenschlußmotors besonders durch den Fortfall der inneren Schleifschienen.

60. Schaltwalzenanlasser.

In den vorstehenden Schaltskizzen wurden zum Anlassen der Motoren stets sog. Flachbahnanlasser 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 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. 123. 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 Funkenblasspule $F. B.$ 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

dem Anker vorgeschaltet bleiben. In Stellung 3 sind noch 4 Widerstandsstufen eingeschaltet usw. In Stellung 7 schließlich ist der ganze

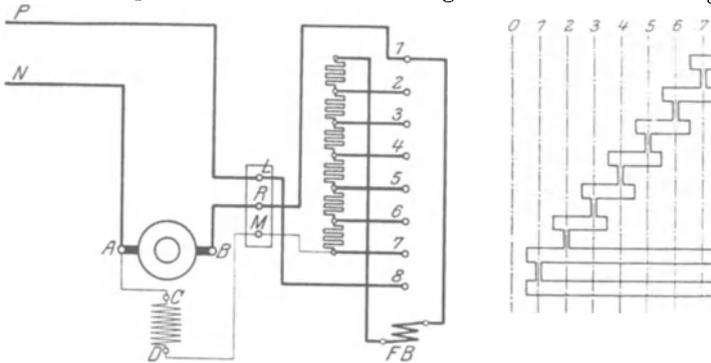


Abb. 123. Schaltwalzenanlasser für einen Nebenschlußmotor.

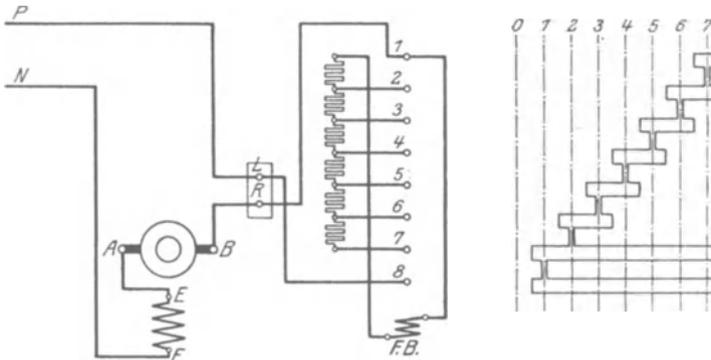


Abb. 124. Schaltwalzenanlasser für einen Hauptschlußmotor.

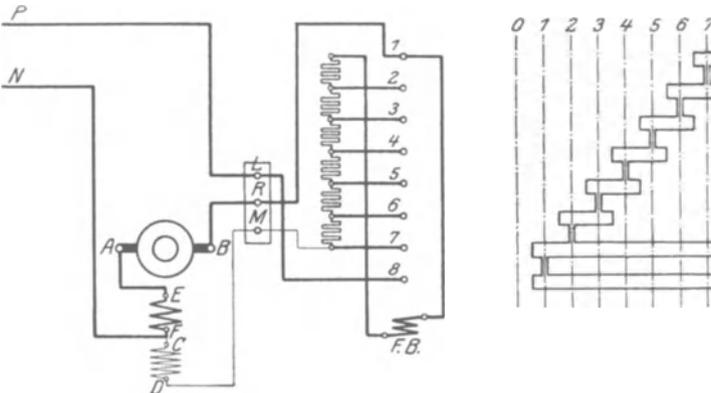


Abb. 125. Schaltwalzenanlasser für einen Doppelschlußmotor.

Anlaßwiderstand aus dem Stromkreise herausgenommen: der Motor ist im normalen Betriebe. Die Magnetwicklung ist von der ersten Anlaßstellung an stets voll erregt.

Im Schema Abb. 124 ist der vorstehend behandelte Walzenanlasser in Verbindung mit einem Hauptschlußmotor gezeichnet. Die Klemme *M* fehlt in diesem Falle.

Schema Abb. 125 zeigt schließlich den gleichen Walzenanlasser für einen Doppelschlußmotor.

61. Steuerwalzen für Motoren doppelter Drehrichtung.

In Abb. 126 ist das Schaltungsschema einer Steuerwalze für einen Nebenschlußmotor und in Abb. 127 das entsprechende Schema für

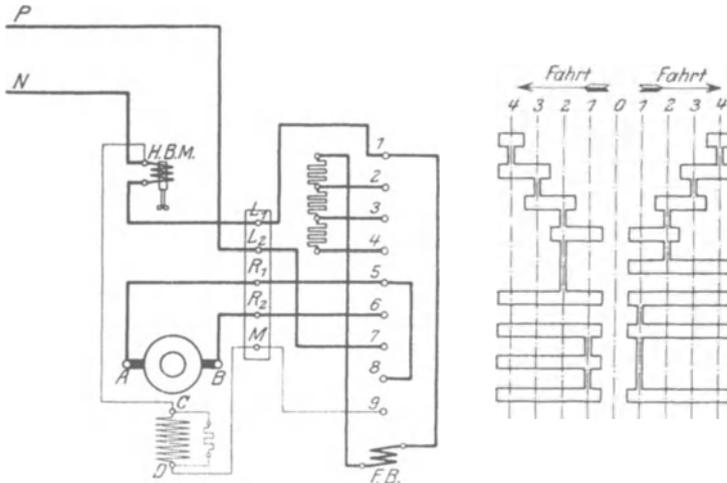


Abb. 126. Steuerwalze für einen Nebenschlußmotor.

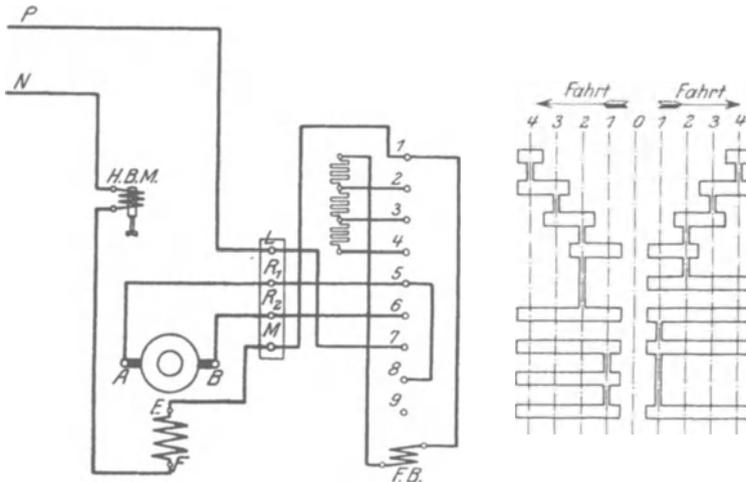


Abb. 127. Steuerwalze für einen Hauptschlußmotor.

einen Hauptschlußmotor dargestellt. Mit Hilfe der Walze kann die Drehrichtung des Motors beliebig eingestellt werden. Für jede

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.

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. 128 wurde der einfacheren Darstellung wegen auf die Einzeichnung eines solchen verzichtet.

63. Steuerwalze für Hubmotoren in Senkbrems-schaltung.

Einer besonderen Ausbildung bedarf die Steuerwalze zur Bedienung des Hubmotors eines Krans. Es kommt für diesen Zweck im allgemeinen nur der Hauptschlußmotor in Betracht. Ein Beispiel für die Schal-

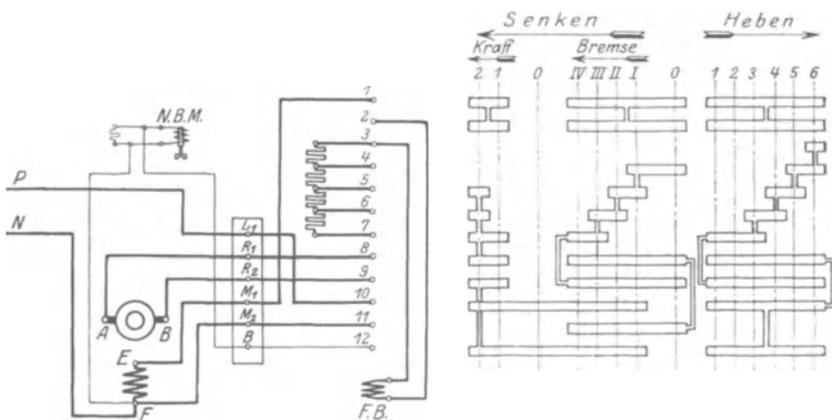


Abb. 129. Steuerwalze für einen Hauptschluß-Hubmotor.

tung eines solchen ist in Abb. 129 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 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 Bremswirkung 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. 62, 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 Sicherheitssensschaltungen ausgebildet worden, bei denen ein „Durchgehen“ der Last ausgeschlossen ist. Auf diese Schaltungen kann hier nicht näher eingegangen werden.

64. 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. Mei-

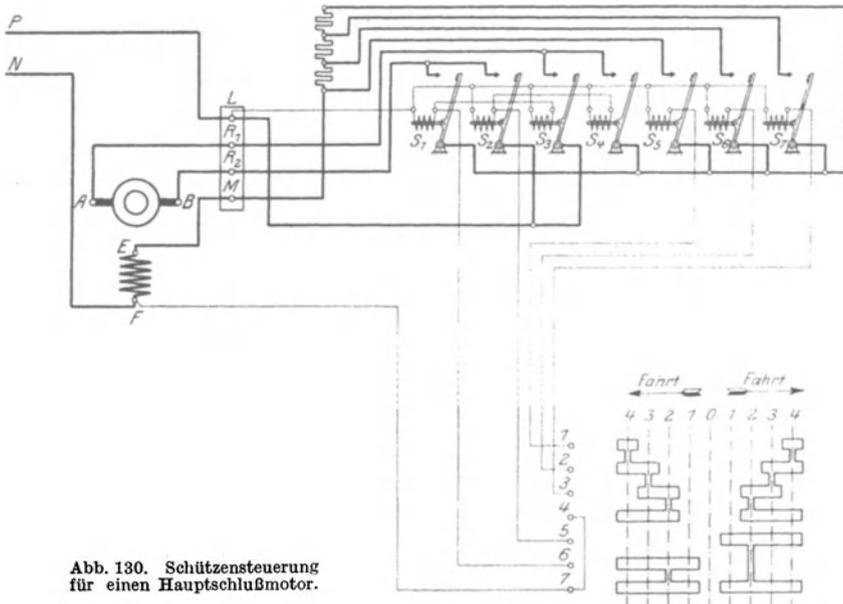


Abb. 130. Schützensteuerung für einen Hauptschlußmotor.

sterwalze. Je nach der Stellung der Walze werden einzelne Schütze in einen vom Hauptstrom abgezweigten Stromkreis eingeschaltet. Der 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. 130 (nach einer

Ausführung von F. Klöckner, Köln). Die Schütze S_1 bis S_7 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.

65. 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.

In Abb. 131 ist das grundlegende Schema 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. 219 für einen Drehstrommotor gegeben.

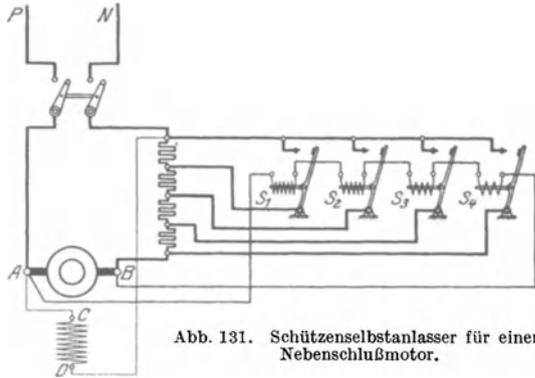


Abb. 131. Schützenselbstanlasser für einen Nebenschlußmotor.

66. Wendepolmotoren.

In den vorstehenden Schaltskizzen sind die Motoren durchweg ohne Wendepole gezeichnet. Doch werden namentlich umsteuerbare Motoren

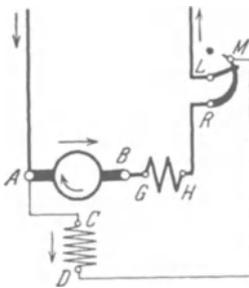


Abb. 132. Nebenschlußmotor mit Wendepolen für Rechtslauf.

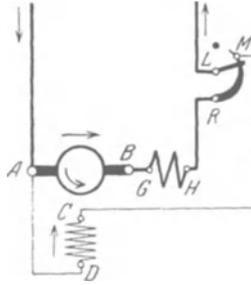


Abb. 133. Nebenschlußmotor mit Wendepolen für Linkslauf (geänderter Magnetstrom).

und solche, bei denen durch Feldschwächung eine weitgehende Geschwindigkeitsregelung vorgenommen werden soll (s. Abschn. 56), meistens mit Wendepolen ausgeführt. Die Wendepole werden, wie schon für die Stromerzeuger angegeben wurde, vom Ankerstrom erregt (vgl. Abschn. 32), 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

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

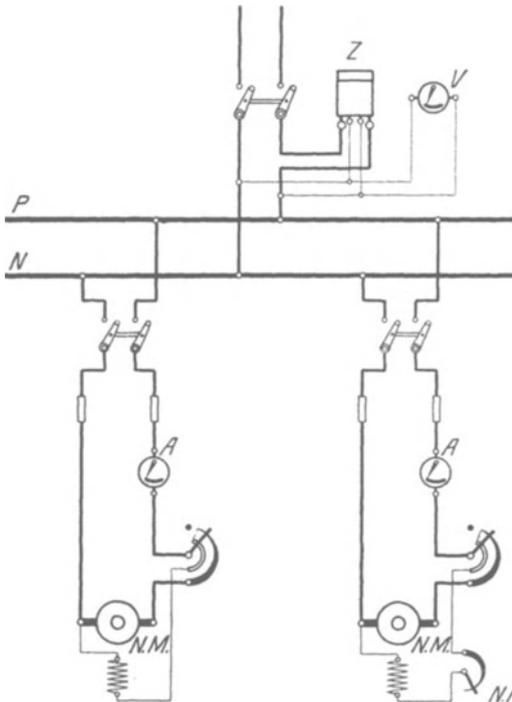


Abb. 134. Anschluß von Gleichstrommotoren.

Die Abb. 132 und 133 zeigen das Schema eines Nebenschluß-Wendepolmotors mit Anlasser für Rechts- und Linkslauf (vgl. auch Abschn. 58).

67. Motorenanschlußanlage.

Der in Abb. 134 dargestellte Schaltplan bezieht sich auf eine kleine Gleichstrommotorenanlage, etwa zum Betrieb einer Werkstatt.

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 Ver-

teilungsschienen P und N . Zur Kontrolle der Netzspannung ist ein Spannungsmesser vorgesehen. An den Verteilungsschienen werden über zwei-polige 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 Meßinstrumente 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, sind Schalter mit thermischer Verzögerung (s. Abschn. 7a) zu empfehlen — geschützt werden, sofern nicht überhaupt Anlasser mit selbst-tätiger Auslösevorrichtung (vgl. Abschn. 55) zur Anwendung kommen.

VI. Elektrizitätswerke mit Wechselstrombetrieb.

A. Wechselstrommaschinen.

68. Der Einphasengenerator.

Das Schema einer einphasigen Wechselstrommaschine ist in Abb. 135 gezeichnet. Im Gegensatz zu den Gleichstrommaschinen wird bei den Wechselstrommaschinen 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 Schema nicht eingetragen. Der Erregerstrom und somit die von der Maschine in das Netz gelieferte Spannung wird am Magnetregler q, s, t eingestellt.

Jede Wechselstrommaschine kann eine eigene Erregermaschine erhalten. Im Schema ist eine solche mit Nebenschlußwicklung angenommen; vielfach wird jedoch eine Doppelschlußmaschine vorgezogen. Meistens wird die Erregermaschine mit der Betriebsmaschine unmittelbar gekuppelt. Ist in der Zentrale eine andere Gleichstromquelle, z. B. eine Akkumulatorenbatterie, vorhanden, so kann der Erregerstrom dieser entnommen werden.

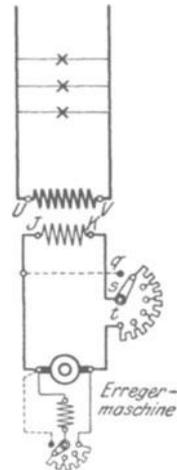


Abb. 135. Einphasengenerator.

69. Der Drehstromgenerator.

Die mehrphasige Wechselstrommaschine unterscheidet sich in ihrer Bauart in keiner Weise von der Einphasenmaschine, nur erhält der Ständer mehrere Wicklungen. Die Drehstrommaschine besitzt drei Wicklungen, die gegeneinander um je den dritten Teil

des doppelten Polabstandes versetzt sind. Diese Wicklungen können in Dreieck verkettet sein, wie es das Schema Abb. 136 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. 137 sind die Ständerwicklungen in Stern verkettet. In diesem Falle kann, Abb. 138, an den gemeinsamen Verkettungspunkt O der drei Phasen noch eine vierte, schwächere Leitung angeschlossen werden, die Nulleitung genannt wird, weil sie bei gleicher Belastung der Phasen stromlos ist. In diesem Sinne wird O als Nullpunkt der Maschine bezeichnet.

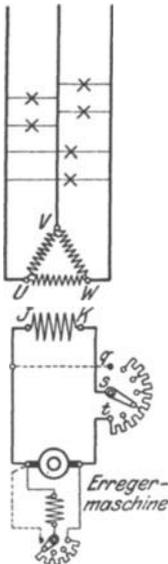


Abb. 136. Drehstromgenerator in Dreieckschaltung.

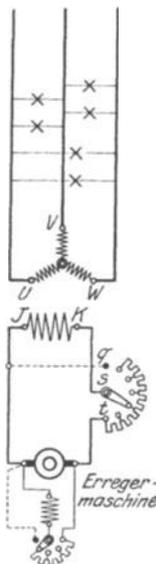


Abb. 137. Drehstromgenerator in Sternschaltung.

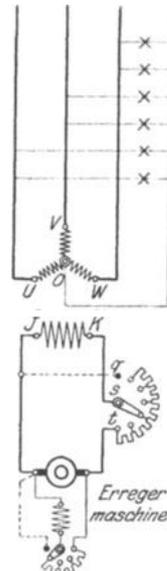


Abb. 138. Drehstromgenerator in Sternschaltung mit Nulleiter.

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, 1,73 mal so groß ist wie die zwischen je einer Haupt- und der Nulleitung herrschende Phasenspannung. Man legt, wie es auch in Abb. 138 angegeben ist, die Lampen in der Regel an die Phasenspannung. Drehstrommotoren werden dagegen an die verkettete Spannung angeschlossen.

70. 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. 139 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 dem Schema 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 Magnetspule *M₁*. 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.*,

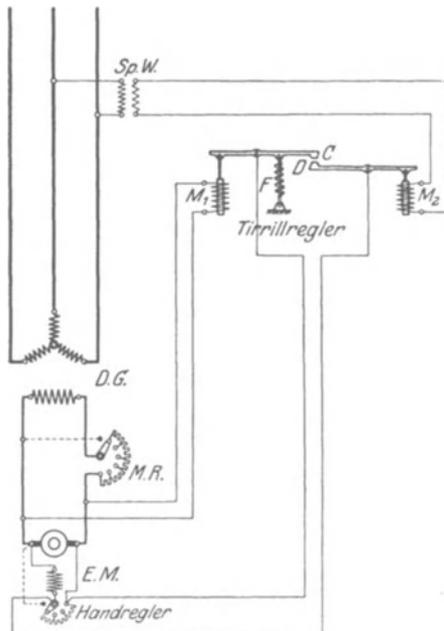


Abb. 139. Drehstromgenerator mit Tirrillregler.

einen in seiner Spule *M₂* 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 *M₂*

infolge seines Eigengewichtes, und es wird das Kontaktstück D gehoben, so daß die Zeitdauer des Kurzschlusses des Reglerwiderstandes im Vergleich zur Einschaltdauer 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.

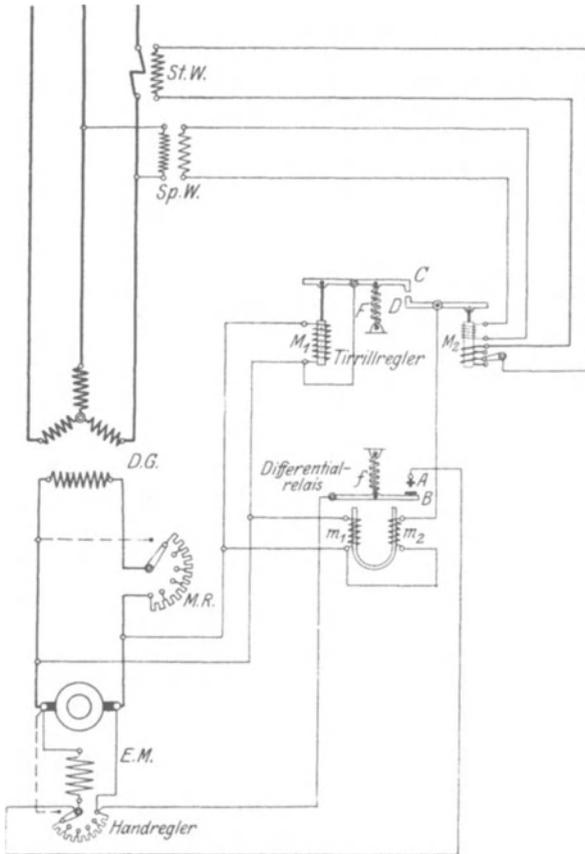


Abb. 140. Tirrillregler mit Relais.

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. 140 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 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 Wechselstromanlagen.

71. Differentialschutz von Wechselstrommaschinen.

Um die Generatoren gegen Überlastung zu schützen, werden bekanntlich in die von ihnen abgenommenen Leitungen Ölschalter mit Überstromauslösung eingebaut. Hierdurch ist ein völliger Schutz der Generatoren jedoch nicht gegeben. Es kann z. B. ein Kurzschluß in den zwischen Maschine und Ölschalter 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. 141 angegeben.

Wie die Abbildung zeigt, ist außer der in der Nähe des Ölschalters 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. Der so erhaltene Verkettungspunkt bildet gleichzeitig den Nullpunkt des Generators. Um die Wandler einbauen zu können, müssen am Generator sämtliche Wicklungsenden zugänglich sein. Die sekundären Wicklungen jeder der beiden Wandlergruppen sind in Stern verkettet und die freien Enden der Wicklungen der einen Wandlergruppe mit den

entsprechenden der anderen Gruppe durch Hilfsleitungen verbunden, ebenso stehen die Wandlernullpunkte miteinander in Verbindung. Im normalen Betriebszustand ist das an die Leitungen angeschlossene Differentialrelais *D.R.* wirkungslos. Der Gleichgewichtszustand wird

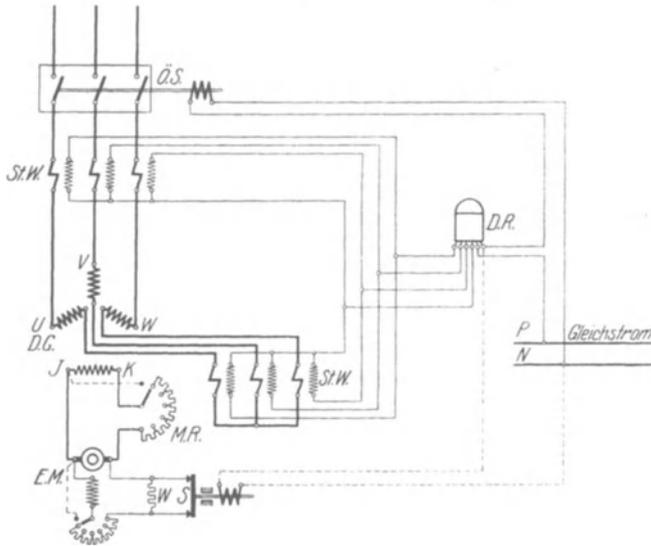


Abb. 141. Drehstromgenerator mit Differentialrelais und Feldschwächungseinrichtung.

aber gestört, sobald eine Unregelmäßigkeit in den Wicklungen der Maschine oder in den zu den Ölschaltern führenden Leitungen auftritt; das Relais kommt alsdann zur Wirkung, indem es einen Hilfsstromkreis — im vorliegenden Falle Gleichstrom — schließt und damit den Ölschalter auslöst.

72. 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. 141 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 zweipoligen Schalter *S* überbrückt. Sobald das Relais in Wirksamkeit

¹ Vgl. Jackwirth, Feldschwächungs-Einrichtungen für elektrische Maschinen. AEG-Mitt. 29, 701.

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.

73. 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. 27 angegebenen Einrichtungen. Die Anwendung eines Erdschlußrelais bietet die Möglichkeit, die mit Erdschluß behaftete Maschine selbsttätig abzuschalten.

Der Konstruktionen von Erdschlußrelais gibt es zahlreiche. In Abb. 142 ist lediglich das grundsätzliche seiner Wirkung zur Darstellung gebracht. Es handelt sich um ein sog. wattmetrisches Relais, d. h. ein Relais, dessen Aufbau dem eines Wattmeters nicht unähnlich ist². 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

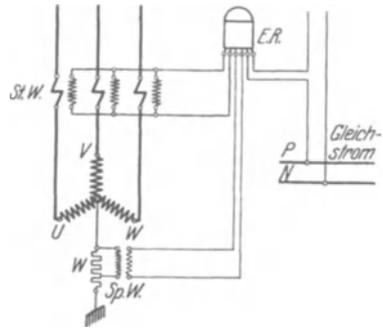


Abb. 142. Drehstromgenerator mit Erdschlußrelais.

Sekundärwicklung eines Spannungswandlers geschaltet, dessen Primärwicklung an einen zwischen Maschinennullpunkt 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 des Relais übertragenen Stromes und der von dem Spannungswandler erregten Spannungsspule das Relais in Tätigkeit. Durch Schließen des Hilfsstromkreises wird der Ölschalter ausgelöst, gegebenenfalls auch ein Signal betätigt. Ist eine Erdschlußspule oder ein Löschtransformator vorhanden, so kann das Erdschlußrelais auch damit in Verbindung gebracht werden, um auf eintretende Erdschlüsse durch ein Signal aufmerksam zu machen.

B. Wechselstromzentralen.

74. Zentrale mit einer Einphasenmaschine für Niederspannung.

Der praktisch zwar nur selten vorkommende Fall, daß in einer Wechselstromzentrale nur eine einzige Betriebsmaschine vorhanden

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

² Vgl. Schleicher u. Gaarz, Die betriebsmäßige Erdschlußüberwachung und ihre Einrichtungen SZ 23, 469.

ist, ist dem Schema Abb. 143 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 *T* 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. 51.

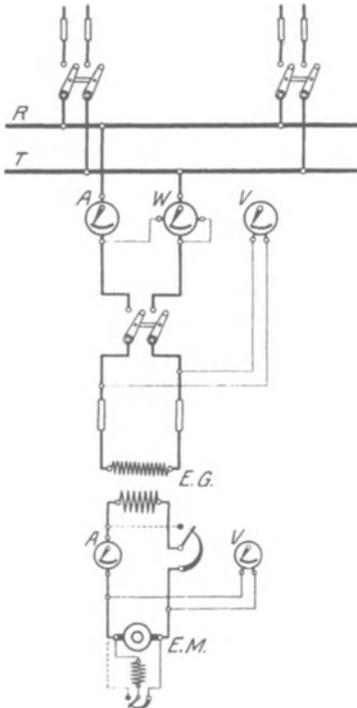


Abb. 143. Einphasenzentrale für Niederspannung.

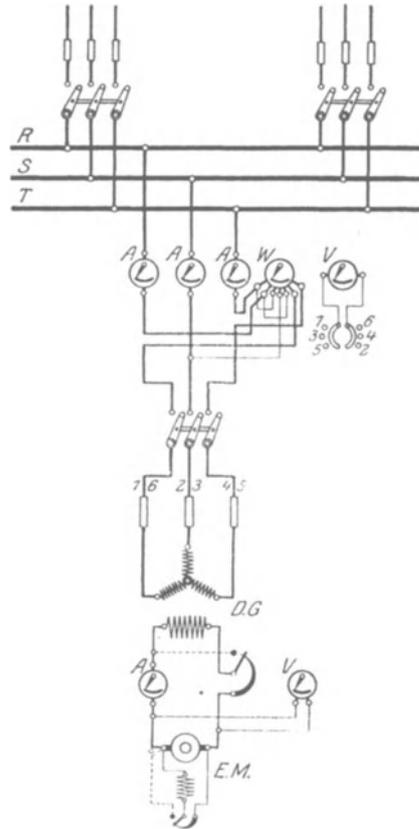


Abb. 144. Drehstromzentrale für Niederspannung.

75. Zentrale mit einer Drehstrommaschine für Niederspannung.

Aus dem Schaltplan der Einphasenanlage läßt sich der einer Drehstromanlage entwickeln, Abb. 144. Für die Erregung ist wiederum eine Nebenschlußmaschine vorgesehen.

Die Schaltungsart des Drehstromgenerators *D.G.* ist für die 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 Schema 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, die Spannung nur einer Phase zu messen, während es nach dem Schema durch Verwendung des Umschalters möglich ist, die Spannung jeder Phase am Spannungsmesser abzulesen. Hinsichtlich der Leistungsmessung sind verschiedene Schalmöglichkeiten vorhanden, die in Abschn. 23 b ausführlich erörtert wurden. Der im Schema angegebene Leistungsmesser ist nach der Zweiwattmetermethode (vgl. Abb. 58) geschaltet, gibt also auch bei ungleicher Belastung der Phasen die Leistung zuverlässig an.

76. 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 Ölschalter, 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 Meßinstrumente über Strom- und Spannungswandler angeschlossen.

In Abb. 145 ist nun der allgemeine Plan einer Hochspannungsdrehstromzentrale dargestellt, bei dem die vorstehend angeführten Gesichtspunkte berücksichtigt sind. Es sind einfachste Verhältnisse angenommen. Für die Stromlieferung ist wieder nur ein

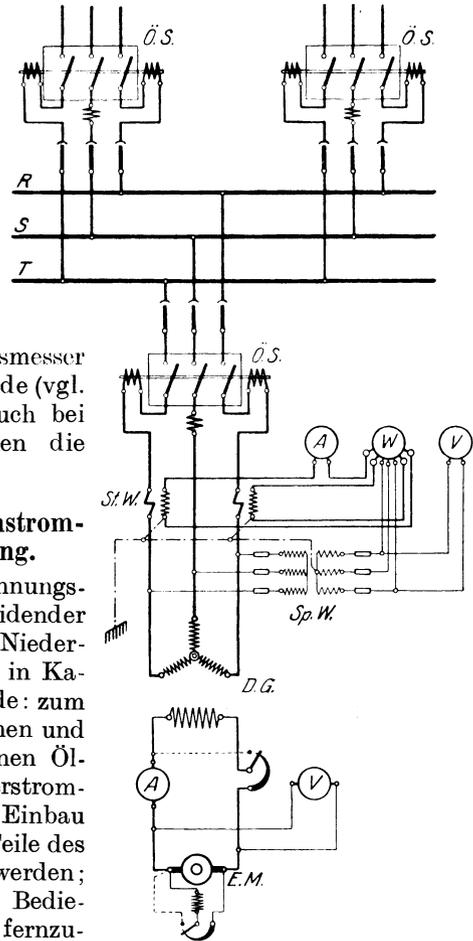


Abb. 145. Drehstromzentrale für Hochspannung.

einzigster 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 Ölschalter *Ö.S.* und drei einpolige Trennschalter. Die Überstromauslösung des Ölschalters ist eine primäre unmittelbare (nach Abb. 16), sie ist allpolig vorgesehen. Es sind zwei Stromwandler *St.W.* und ein dreiphasiger Spannungswandler *Sp.W.* vorhanden, die zum Anschluß der Meßinstrumente dienen. Strom- und Spannungsmesser sind nur für je eine Phase vorgesehen, der Leistungsmesser — nach der Zweiwattmetermethode (s. Abb. 62) — 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 Trennschalter und Ölschalter, 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.

77. 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 Betriebe 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 Sammelschienen-Spannung einwirken läßt. Die Lampe kann so geschaltet werden, daß sich an ihr, wenn Phasengleichheit besteht, die beiden Spannungen in jedem Augenblicke aufheben. Das Lampendunkel ist dann das Merkmal für den Synchronismus: Dunkelschaltung. 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 Instrumentes.

Abb. 146 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 T angeschlossen, und es kann daher unter Anwendung eines Umschalters jede der beiden Maschinen mit den Schienen synchronisiert werden.

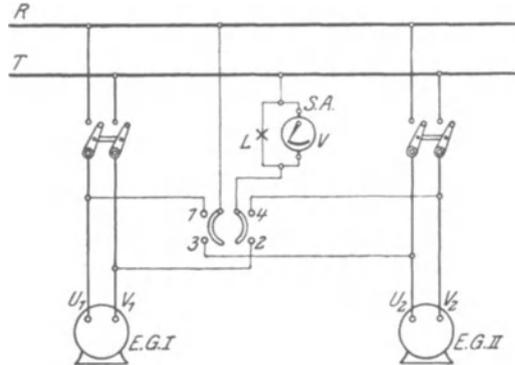


Abb. 146. Synchronismusanzeiger für eine Niederspannungs-Einphasenanlage. (Phasenvergleich mit Sammelschienen.)

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 ; T 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

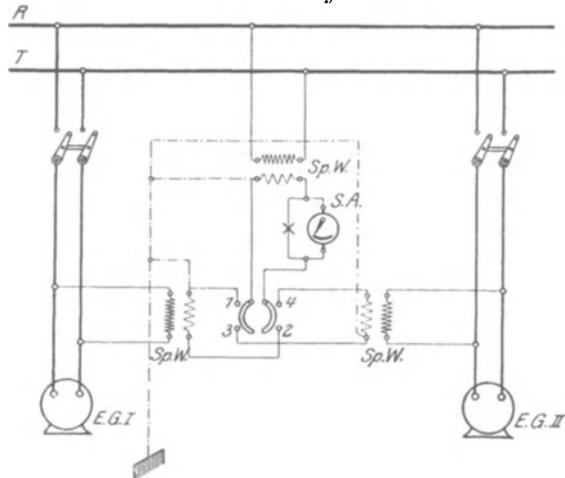


Abb. 147. Synchronismusanzeiger für eine Hochspannungs-Einphasenanlage. (Phasenvergleich mit Sammelschienen.)

Generator II (dessen Hauptschalter also eingelegt ist) geschlossen: $V_1 U_1 - I - R - U_2 V_2 - T - S.A. - 2$. 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 Parallelschalteneinrichtung 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 ; T und U_1, U_2 .)

In Hochspannungsanlagen ist der Synchronismusanzeiger über Spannungswandler anzuschließen. Abb. 147 zeigt die aus der vorigen Abbildung abgeleitete Schaltung. Ein Spannungswandler ist für den Anschluß an die Sammelschienen erforderlich, ein weiterer für jede Maschine. Die Sekundärwicklung der Spannungswandler ist der Vorschrift gemäß geerdet.

b) Drehstromanlagen.

Bei Drehstromanlagen ist vor ihrer Inbetriebnahme dafür Sorge zu tragen, daß die Phasen aller Maschinen in der gleichen Reihenfolge

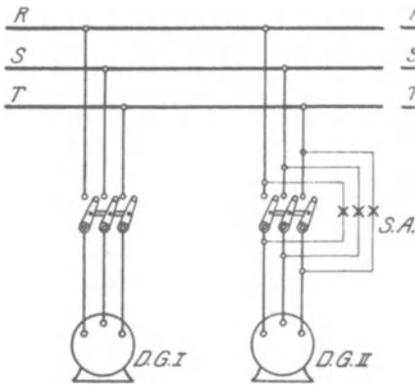


Abb. 148. Synchronismusanzeiger mit Kennzeichnung der Phasenfolge für eine Niederspannungs-Drehstrommaschine.

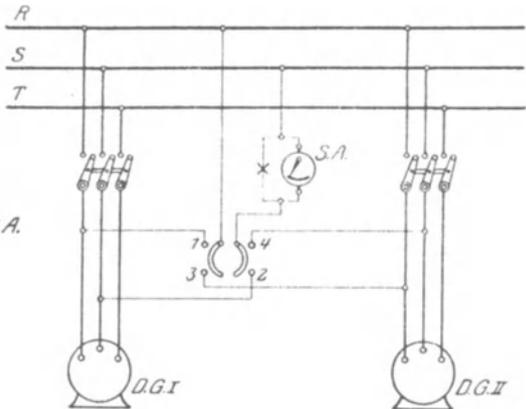


Abb. 149. Synchronismusanzeiger für eine Niederspannungs-Drehstromanlage. (Phasenvergleich mit Sammelschienen.)

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. 148 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. 149 zeigt, welche völlig der Abb. 146 für eine Einphasenanlage entspricht.

In Abb. 150 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

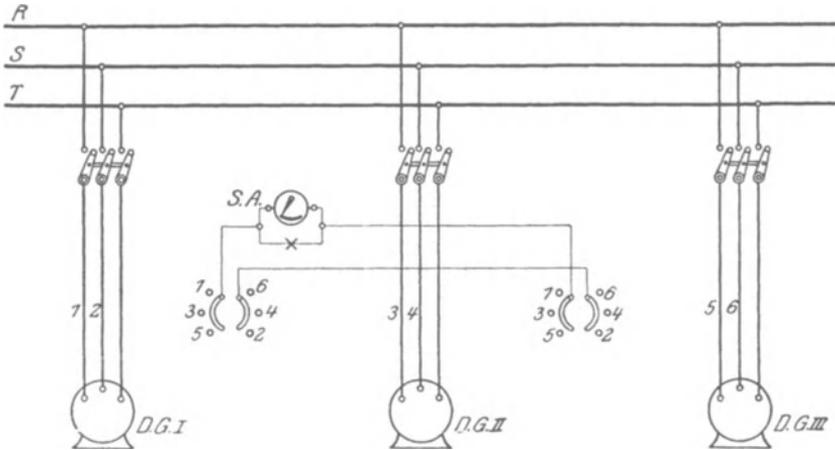


Abb. 150. Synchronismusanzeiger für eine Niederspannungs-Drehstromanlage. (Phasenvergleich zwischen den Maschinen.)

Fälle zwei Umschalter nötig, jeder mit so viel Schaltstellungen, als Maschinen vorhanden sind. Die Verbindungsleitungen zwischen Maschinen und Umschalter sind durch Zahlen angedeutet. Einer der Um-

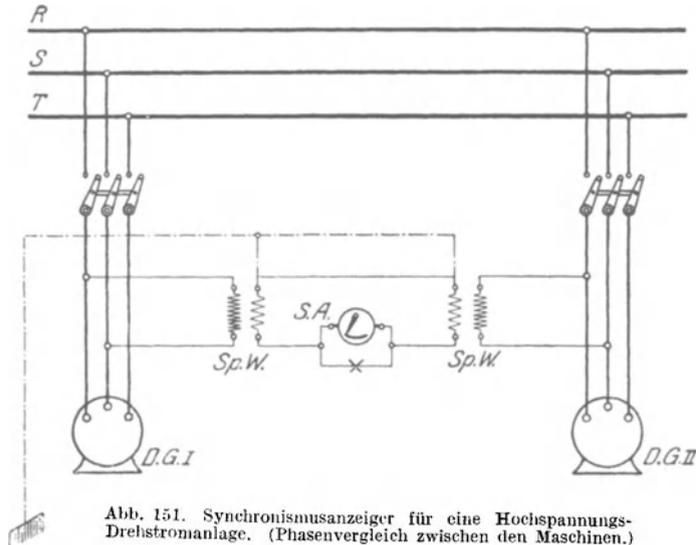


Abb. 151. Synchronismusanzeiger für eine Hochspannungs-Drehstromanlage. (Phasenvergleich zwischen den Maschinen.)

schalter wird auf die parallel zu schaltende, der andere auf die in Betrieb befindliche Maschine geschaltet, mit der synchronisiert werden soll.

Bei Hochspannungs-Drehstrommaschinen kann die Parallelschalteneinrichtung entweder entsprechend Abb. 147, die für Einphasen-

maschinen 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. 151 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. 152 wiedergegeben ist. Das Schema läßt sich leicht auf beliebig

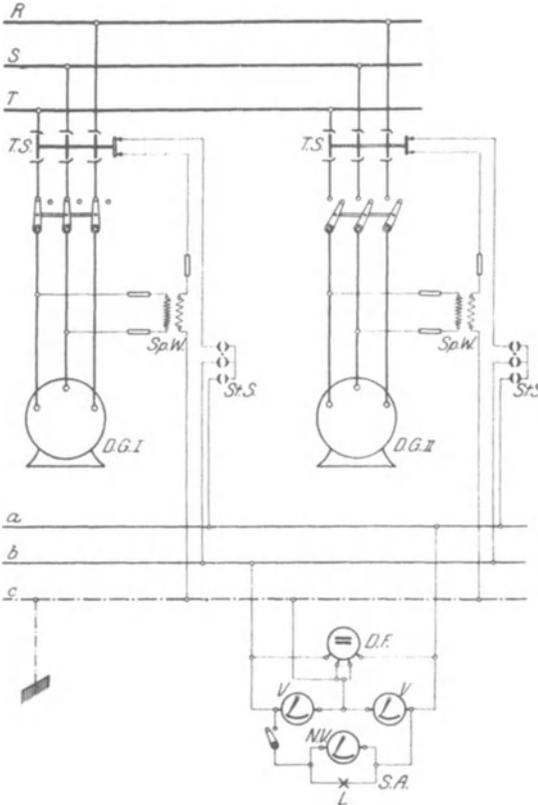


Abb. 152. Synchronisusanzeiger für eine Hochspannungs-Drehstromanlage mit Synchronisierschienen.

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 erforderlichen Meßinstrumente 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 Schema 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 eingelegetem Trennschalter geschlossen werden, der zu dem Zwecke

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 erforderlichen Meßinstrumente 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

mit Hilfskontakten versehen ist. Auf diese Weise wird verhindert, daß abgeschaltete Teile der Anlage versehentlich durch den Meßtransformator unter Spannung gesetzt werden können.

78. 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.

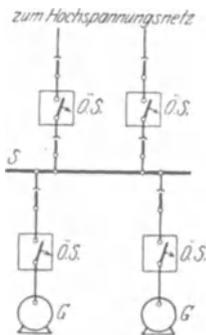


Abb. 153. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale ohne Transformatoren.

In Abb. 153 arbeiten die Wechselstromgeneratoren G über Ölschalter Ö.S. mit Überstromauslösung und Trennschalter unmittelbar auf die Sammelschienen S , von denen die Verteilungsleitungen beliebig abgezweigt werden können. Eine derartige Anordnung kommt nur dann zur Anwendung, wenn die Verteilungsspannung sich in den Generatoren selbst erreichen läßt. Die Grenze dürfte zur Zeit bei ungefähr 25000 Volt liegen.

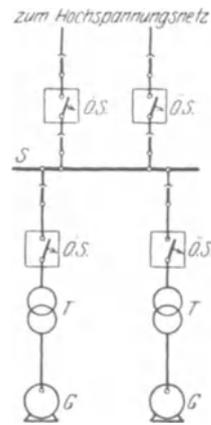


Abb. 154. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren.

Bei höherer Spannung ist eine Transformierung erforderlich, wie in Abb. 154 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.

Diese entfällt bei der in Abb. 155 angegebenen Anordnung. Hier sind Sammelschienen für zwei verschiedene Spannungen vorhanden: die Sammelschienen SI für die Generator- oder Unterspannung und die Sammelschienen SII für die Transformator- oder Oberspannung. Es können beliebige Generatoren in Betrieb genommen werden und unabhängig davon beliebige Transformatoren. Für die Transformatoren werden meistens Schutzschalter $S.S.$ (vgl. Abschn. 8) angewendet.

Größere Kraftwerke werden aus Gründen der Betriebssicherheit gewöhnlich nach dem 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.

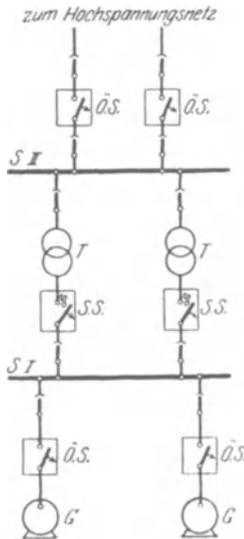


Abb. 155. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und Zwischensammelschienen.

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 Doppelschienenensystem, für dessen Aufbau Abb. 156 ein Beispiel gibt, wird also auch für die Schaltanlage, von deren Betriebsfähigkeit die Versorgung

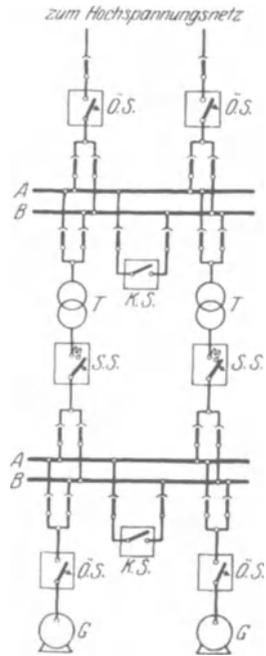


Abb. 156. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren nach dem Doppelsammelschienenensystem.

des ganzen Netzes abhängt, die wünschenswerte Reserve geschaffen. In dem gewählten Beispiel wird die Maschinenspannung durch Transformatoren heraufgesetzt, doch sind, entsprechend Abb. 155 Zwischensammelschienen angenommen. Die beiden Sammelschienenätze jeder Spannung sind in der Abbildung mit *A* und *B* bezeichnet. Durch je einen Kupplungsschalter *K. S.* können die beiden zusammengehörigen Schienenätze parallel geschaltet werden, wodurch auch die Möglichkeit gegeben ist, daß ohne Unterbrechung des Betriebes von einem System auf das andere umgeschaltet werden kann.

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. Im Schema Abb. 157, in welchem angenommen ist, daß gemäß Abb. 154 jedem Generator ein bestimmter Transformator zugeordnet ist, ist der Schienensatz *A* des Doppelsammelschienenensystems 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

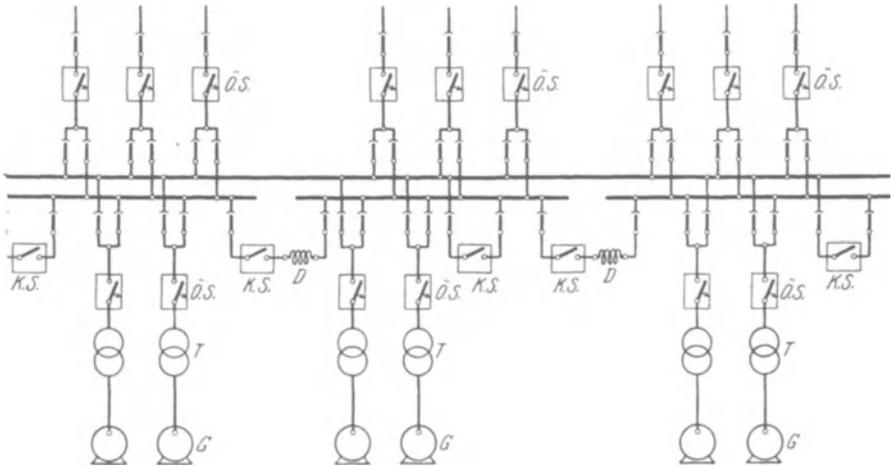


Abb. 157. Kraftlauf einer Hochspannungs-Drehstromzentrale bei Gruppenschaltung der Generatoren.

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

79. Schaltungen für die Erregung.

Meistens gibt man jedem der in der Zentrale aufgestellten Generatoren eine eigene Erregermaschine. Diese Anordnung hat sich namentlich bei Dampfturbinenantrieb fast 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. 158 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.

Zieht man eine gemeinsame Erregeranlage für die Zentrale vor, so werden besondere Erregerschienen 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

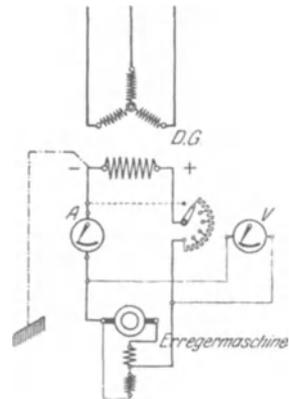


Abb. 158. Drehstromgenerator mit geerdeter Magnetwicklung.

verschiedenen Schaltmöglichkeiten der Gleichstromanlage geben die Pläne in Kapitel IV Aufschluß. Hier soll nur eine von den SSW verwendete Schaltung für die Erregung kurz besprochen werden, die in Abb. 159 angegeben ist. Es sind zwei Gleichstromdynamos *G.D.* aufgestellt. Die negative Erregerschiene *N* ist geerdet, wodurch, wie bereits oben dargelegt wurde, eine Sicherheit gegen das Auftreten hoher Spannung in den Magnetwicklungen der Maschinen erzielt wird. Außerdem werden aber auch

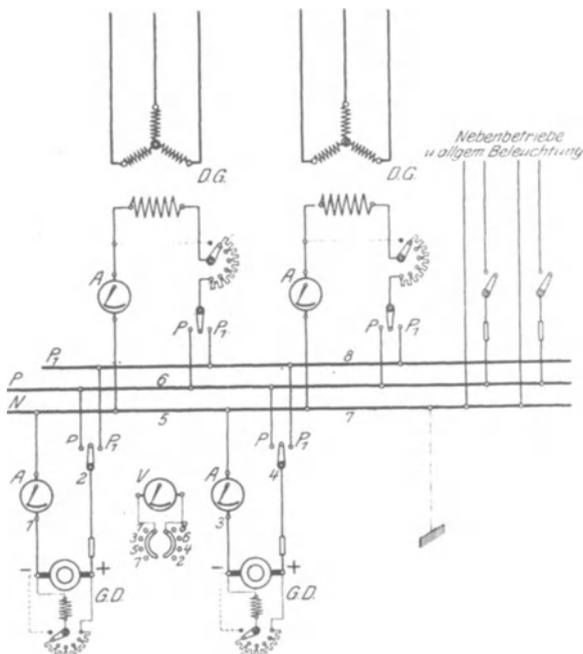


Abb. 159. Erregeranlage für eine Drehstromzentrale.

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.

80. Allgemeine Anordnung des Überspannungsschutzes.

Überspannungssicherungen 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. Die Einfügung von Schutzdrosselspulen oder Schutzkapazitäten vor die einzelnen Maschinen wird hierdurch nicht berührt. Soweit durch die Schutzvorrichtungen eine Ableitung der Überspannungen in die Erde zu erfolgen hat, können sie 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.

81. 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 Haus-transformator 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. 79), so kann dieser der erforderliche Gleichstrom entnommen werden, wie es z. B. in Abb. 159 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. 86 und 88. Ein ausführliches Beispiel einer Eigenbedarfsanlage mit einem Gleichrichter ist in Abschn. 169 gegeben.

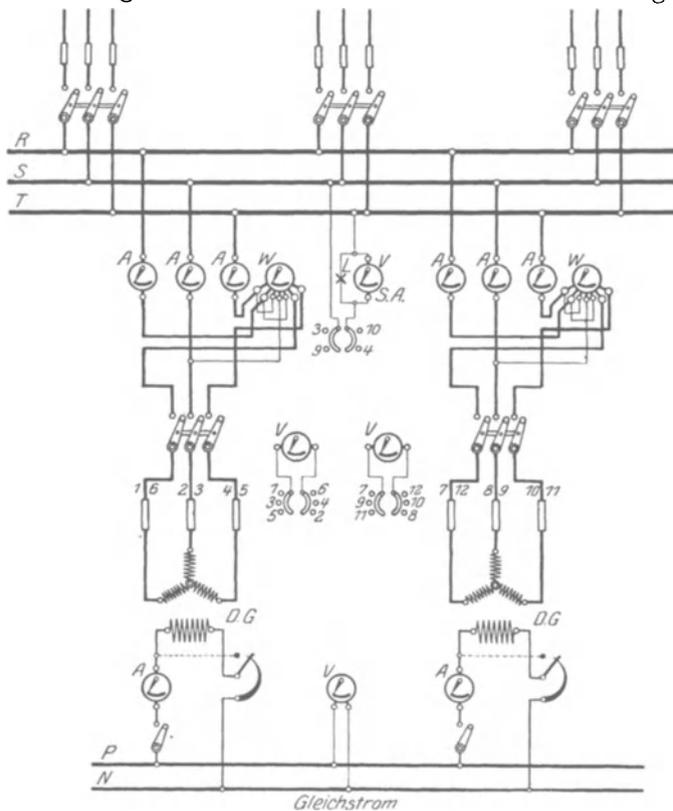


Abb. 160. Drehstromzentrale für Niederspannung.

82. Niederspannungs-Drehstromzentrale.

In dem in Abb. 160 wiedergegebenen Schema einer Drehstromzentrale arbeiten die beiden Niederspannungsgeneratoren auf die Sam-

melschienen R, S, T . Es ist eine gemeinsame Erregeranlage vorgesehen. Der Magnetstrom für die Drehstromgeneratoren wird den Gleichstromsammelschienen P und N entnommen.

Bezüglich der erforderlichen Schalter, Meßinstrumente usw. kann auf das Schema Abb. 144 hingewiesen werden. Die Schaltung des Synchronismusanzeigers entspricht der Abb. 149. Sein Umschalter erhält so viel Kontaktpaare, als Maschinen vorhanden sind.

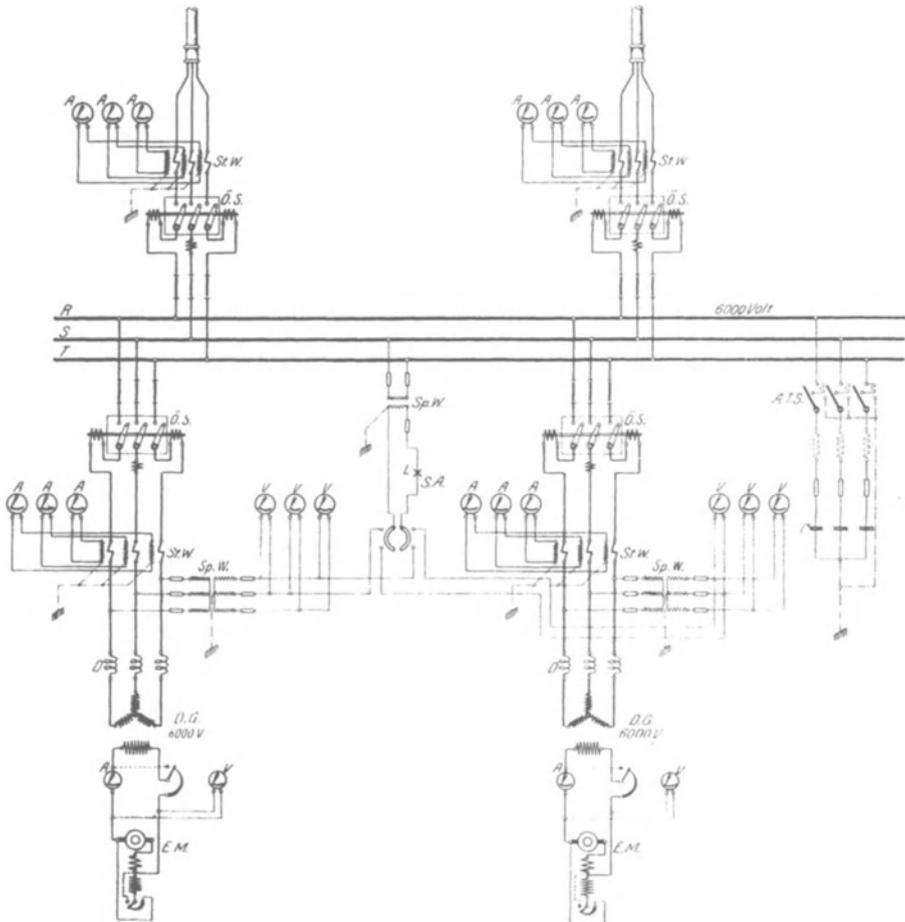


Abb. 161. Hochspannungs-Drehstromzentrale für 6000 Volt.

83. Hochspannungs-Drehstromzentrale für 6000 Volt mit unmittelbarer Auslösung der Ölschalter.

Abb. 161 zeigt den Schaltplan einer Hochspannungs-Wechselstromzentrale. Er ist, wie auch die nachfolgenden Pläne von Hochspannungsanlagen, auf Drehstrom bezogen, da Einphasenanlagen seltener vor-

kommen (im allgemeinen nur für Bahnbetriebe) und sich die Schaltung einer Einphasenanlage aus der entsprechenden Drehstromanlage leicht entwickeln läßt. Dem Plane ist das Kraftlaufschema Abb. 153 zugrunde gelegt. Die Zentralenspannung betrage 6000 Volt. Jeder Generator besitzt eine eigene Erregermaschine mit Doppelschlußwicklung.

Die dreipoligen Ölschalter $\ddot{O}.S.$, durch welche die Verbindung der Generatoren mit den Sammelschienen hergestellt wird, besitzen eine primäre unmittelbar wirkende Überstromauslösung (gemäß Abb. 16), und zwar ist die Auslösung für jede Phase vorgesehen. Um die Stärke des von den Maschinen gelieferten Stromes mit Niederspannungsinstrumenten feststellen zu können, ist in jede Maschinenleitung ein Stromwandler $St. W.$ eingebaut. Auch die Spannung der Maschinen kann durch Vermittlung dreiphasiger Spannungswandler $Sp. W.$ allphasig gemessen werden. An je eine Phase der Spannungswandler ist auch die als Synchronismusanzeiger dienende Phasenlampe L angeschlossen, die über einen weiteren Wandler mit den Sammelschienen in Verbindung steht (vgl. Abb. 149).

Von den Sammelschienen führen über dreipolige Ölschalter Kabel zum Verteilungsnetz. Die selbsttätige Überstromauslösung ist die gleiche wie bei den Maschinenschaltern. Die Stromstärke in den einzelnen Kabeln kann wieder allphasig abgelesen werden.

Alle zu den Sammelschienen führenden und von ihnen abgehenden Leitungen sind durch Trennschalter abtrennbar.

Der Überspannungsschutz wird durch Kondensatoren C in Verbindung mit Dämpfungswiderständen besorgt, sie sind über den Anlaßtrennschalter $A.T.S.$ an die Sammelschienen gelegt. Beim Einschalten des Trennschalters werden zunächst Schutzwiderstände vor die Kondensatoren geschaltet, um Schwingungen zu unterdrücken, welche durch das Zusammenwirken derselben mit den Drosselspulen D entstehen könnten, die zum Schutz gegen Wanderwellen vor die Maschinen gelegt sind. Beim vollständigen Umlegen des Trennschalters wird die Kondensatorenbatterie geerdet, wodurch vermieden wird, daß das Bedienungspersonal bei der Berührung der abgeschalteten Batterie infolge vorhandener Restladungen Schaden erleidet. Um beim Durchschlagen eines Kondensatorelementes die betreffende Kondensatorengruppe selbsttätig vom Netz abzuschalten, sind Sicherungen vorgesehen.

Die zu erdenden Pole der Sekundärwicklungen der Strom- und Spannungswandler werden durch eine gemeinsame Erdleitung verbunden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist diese in das Schema nicht eingezeichnet, vielmehr sind die zu erdenden Punkte einzeln kenntlich gemacht. Auch in den nachfolgenden Schaltplänen größerer Anlagen ist die Erdung meistens in der gleichen Weise angegeben, es ist also die Erdleitung für die Wandler, wie auch die für die Überspannungssicherungen (vgl. Abschn. 80) nicht in ihrer Geschlossenheit in das Schema eingetragen.

84. Hochspannungs-Drehstromzentrale für 15 000 Volt mit Relaisauslösung der Ölschalter.

Der in Abb. 162 dargestellte Schaltplan einer Drehstromzentrale — ihre Betriebsspannung soll zu 15 000 Volt angenommen werden — kann ebenfalls auf das allgemeine Schema Abb. 153 zurückgeführt werden, weist

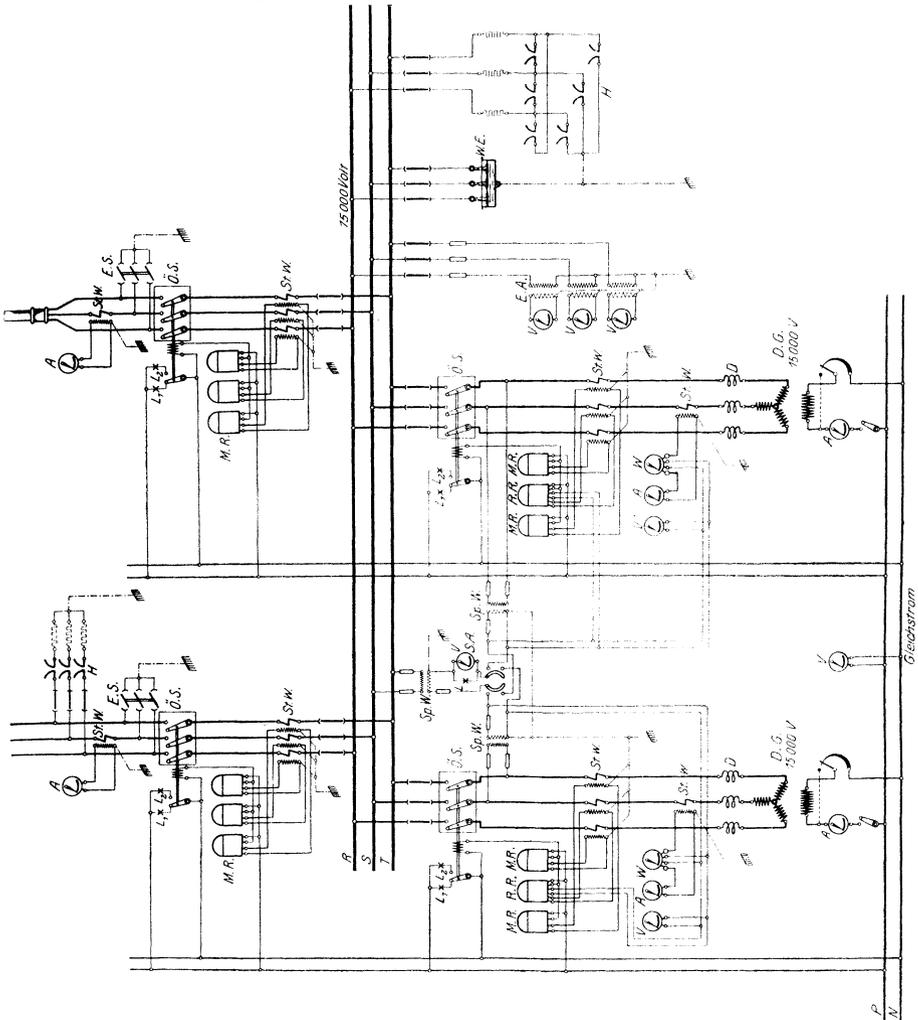


Abb. 162. Hochspannungs-Drehstromzentrale für 15 000 Volt.

aber gegenüber dem vorigen Plane verschiedene Abweichungen auf. So wird hier der Erregerstrom für die Drehstromgeneratoren von besonderen Erregerschienen *P* und *N* entnommen. Ferner sind die Hochspannungsölschalter mit Relaisauslösung ausgestattet. Die Zahl der Überstromrelais ist für jede Maschine auf zwei beschränkt, die sekundär betätigt werden (entsprechend Abb. 17). Der als Hilfsstrom dienende Gleichstrom wird den Erregerschienen entnommen.

Die Schalterstellung wird durch Signallampen L_1 und L_2 angezeigt (vgl. Abb. 13). In der Regel wird, wie auch im Schema 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 wird. Zu den beiden Überstromrelais kommt noch ein Richtungsrelais, welches bei einem Wechsel der Energierichtung anspricht (Abb. 19) und dadurch verhindert, daß der betreffende Generator, vorübergehend als Motor arbeitend, von den Sammelschienen Strom aufnimmt. An Meßinstrumenten ist für jede Maschine ein Strom-, ein Spannungs- und ein Leistungsmesser vorgesehen. Da sämtliche Messungen auf eine Phase beschränkt sind, so ist nur ein Strom- und ein einphasiger Spannungswandler erforderlich. Der gleiche Spannungswandler dient auch zur Betätigung des aus Phasenlampe und Phasenvoltmeter bestehenden Synchronismusanzeigers.

Eine der Fernleitungen ist im Schema als Freileitung, die andere als Kabel angenommen. Die Ölschalter für diese Leitungen sind allpolig mit Überstromauslösung versehen. Dagegen ist die Strommessung auf je einen Pol der Netzleitungen beschränkt. Damit etwa notwendig werdende Arbeiten an den Leitungen gefahrlos vorgenommen werden 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 Kontrolle 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. 71).

Zum Schutze gegen Überspannungen sind für die Sammelschienen Hörnerableiter H vorgesehen, und zwar sind diese in Stern-Dreieck geschaltet, es sind also sowohl die Leitungen gegeneinander als auch gegen Erde gesichert. Zur Ableitung statischer Ladungen dienen die Wasserstrahler der $W.E.$ Wanderwellen werden durch Drosselspulen von den Maschinen abgewehrt. Die Freileitung schließlich besitzt noch einen sog. „Grobenschutz“ in Gestalt von gegen Erde geschalteten Hörnerableitern.

85. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren für 35 000 Volt.

Abb. 163 zeigt den Schaltplan einer Drehstromzentrale nach Art des Kraftlaufschemas Abb. 154. 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 Sammelschienen-spannung, d. h. die Transformatorenüberspannung, zu 35 000 Volt angenommen werden kann. Dem Plane sind Ausführungen der SSW zugrunde gelegt.

Wie im vorigen Schaltplan ist eine gemeinsame Erregung vorgesehen. Die Generatoren stehen mit den zugehörigen Transformatoren in fester Verbindung, die Maschinenhauptschalter befinden sich zwi-

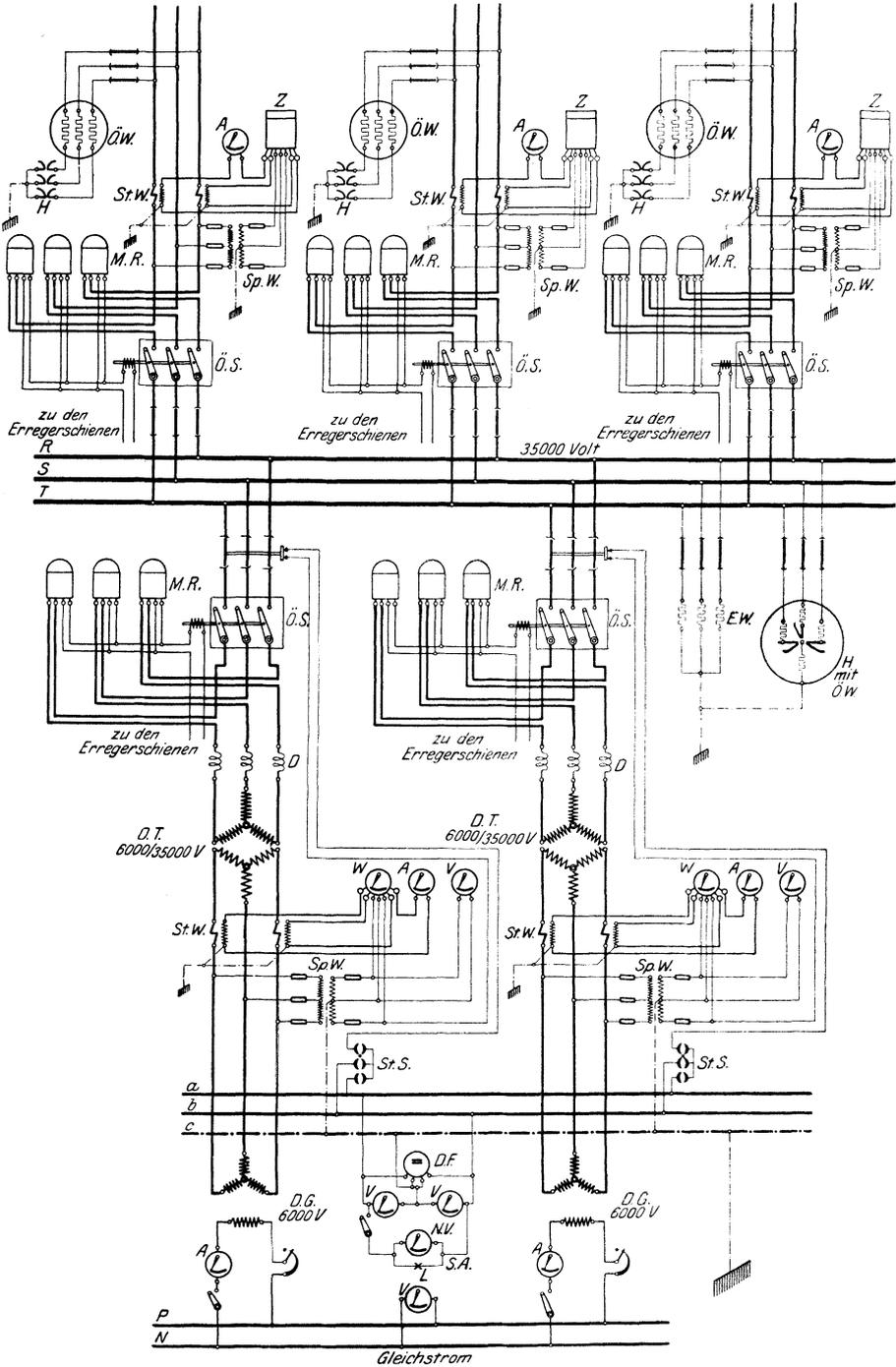


Abb. 163. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren für 35 000 Volt.

schen Transformator und Sammelschienen. Die Schalter sind, um einer Überlastung der Maschinen vorzubeugen, allpolig mit primärer Relaisauslösung versehen. Der Hilfsstrom für die Relais kann von den Erregerschienen abgenommen werden. Die für die Maschinen erforderlichen Meßinstrumente sind vor den Transformatoren, also auf der 6000 Volt-Seite, über Wandler eingebaut. Die Leistungsmesser W sind nach der Zweiwattmetermethode geschaltet, unter Anwendung eines mit zwei Wicklungen versehenen und in offenem Dreieck verketteten Spannungswandlers (vgl. Abb. 62 und 63). An eine Phase des letzteren ist auch die Parallelschaltelinrichtung angeschlossen. Sie entspricht der Abb. 152, und es sind demgemäß die Maschinentrennschalter mit Hilfskontakten versehen.

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

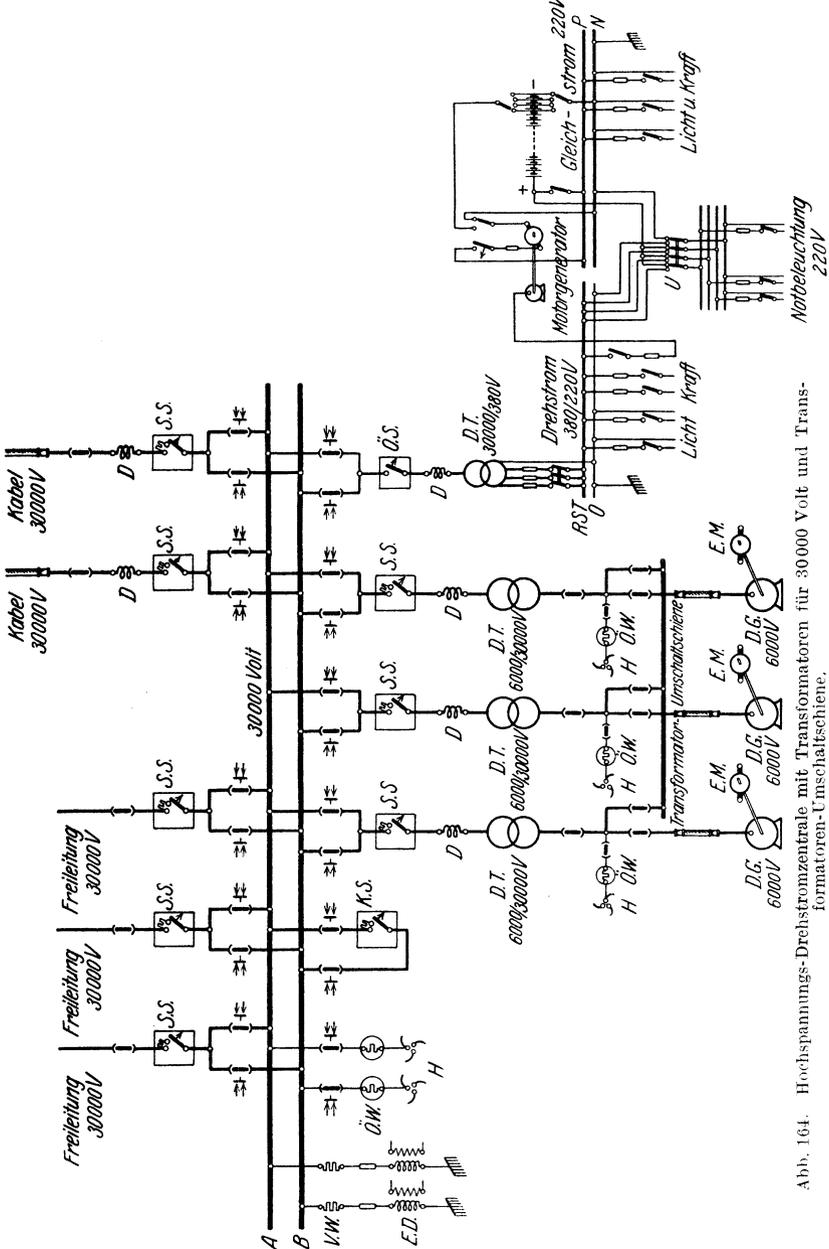
Um Überspannungen unschädlich zu machen, ist an die Sammelschienen ein zusammengebauter Stern-Dreieck-Schutzapparat H mit Ölwiderrständen $\ddot{O}.W.$ nach einer Sonderausführung der SSW gelegt. Die Hörnerableiter sind auf den Deckel eines zylindrischen Eisengefäßes gesetzt. Von den vier Hörnern sind die drei äußeren mit je einer Sammelschiene verbunden, das mittlere Horn ist dagegen geerdet. Das Gefäß ist mit Öl gefüllt und dient zur Aufnahme der Dämpfungswiderrstände. Einer zu hohen Temperatur des Öls wird durch Anwendung von Wärmesicherungen — im Schaltplan nicht angegeben — vorgebeugt. Elektrostatische Überspannungen werden durch die Erdungswiderrstände $E.W.$ abgeleitet. Den Transformatoren sind Drosselspulen D vorgeschaltet. Die Freileitungen erhalten einen Hörnergrobschutz mit Ölwiderrständen.

86. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren für 30 000 Volt und Transformatoren-Umschaltchiene.

Der in Abb. 164 angegebene Schaltplan eines größeren Kraftwerkes stützt sich, wie der vorige, auf das Kraftlaufschema Abb. 154. Er entspricht ebenfalls einer Ausführung der SSW. Es ist jedoch für den Plan die einpolige Darstellungsweise gewählt. Alle Einzelheiten, wie z. B. die Meßinstrumente, sind der besseren Übersicht wegen fortgelassen.

Es sind im Werk drei Drehstromgeneratoren aufgestellt. Mit jedem derselben ist eine Erregermaschine gekuppelt. Die Generatorspannung beträgt 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 30 000 Volt heraufgesetzt wird, stehen mit Doppelsammelschienen — die beiden Schienensätze sind mit A und B bezeichnet — in Verbindung. Die Vorzüge dieses Systems sind in Abschn. 78 ausführlich erörtert worden.

Zur Verbindung der Transformatoren mit den Sammelschienen dienen Ölschalter. Sie sind als Schutzschalter S. S. ausgebildet und mit



Überstrom-Zeitrelais versehen. Das gleiche gilt für den Kupplungs-schalter K. S. der beiden Schienensysteme. Die Schalter sind sämtlich für

Abb. 164. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren für 30000 Volt und Transformator-Umschalttschiene.

Fernsteuerung eingerichtet, was allerdings im Schema nicht zum Ausdruck gebracht ist. Um an einem Ölschalter gefahrlos arbeiten zu können, müssen die ihm vorgeschalteten Trennschalter unbedingt zuverlässig ausgeschaltet sein. Ist von den Ölschalterzellen aus die Schaltstellung der zugehörigen Trennschalter nicht sichtbar, so werden in Anlagen größeren Umfangs Merkklampen angewendet, die die Stellung der Trennschalter erkennen lassen. So wird ein versehentliches Arbeiten in einer noch spannungführenden 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 Merkklampen ist an allen in Betracht kommenden Trennschaltern im Schema angedeutet. In der Nähe der Trennschalter können umgekehrt auch Merkklampen zum Anzeigen der Schaltstellung der zugehörigen Ölschalter angebracht werden, um ein versehentliches Ziehen eines Trennschalters unter Strom zu verhindern.

Von den abgehenden Leitungen sind drei als Freileitungen, zwei als Kabel ausgeführt. Sie sind sämtlich mit Schutzschaltern ausgerüstet.

Die beiden Sammelschienensysteme erhalten als Sicherung gegen Überspannungen je einen Stern-Dreieck-Hörnerschutz mit Ölwidstand und eine Erdungsdrosselspule. Letztere, über Vorschaltwiderstand und Hochspannungssicherung angeschlossen, dient gleichzeitig zur Betätigung der Isolationsmeßinstrumente (vgl. Abschn. 27, letzter Absatz). Auch zwischen Maschinen und Transformatoren ist je ein Hörnerschutz eingebaut. Vor die Transformatoren auf der 30 000 Volt-Seite und in die Hochspannungskabel sind ferner Schutzdrosselspulen gelegt. 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. 13).

Für den Eigenbedarf des Werkes (vgl. Abschn. 81) ist ein besonderer Drehstromtransformator aufgestellt, der an die 30 000 Volt-Schienen angeschlossen ist und Strom von 380/220 Volt Spannung herstellt (vgl. Abb. 184). Mittels eines Umformers, der als asynchroner Motor-generator (s. Abschn. 152) 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. 161 für eine Anlage näher ausgeführt ist. Von einer derartigen Umschaltmöglichkeit wird häufig für die Notbeleuchtung Gebrauch gemacht, die dann im allgemeinen mit Drehstrom betrieben, bei sinkender oder ausbleibender Drehstromspannung aber durch einen Selbstumschalter auf die Stationsbatterie umgeschaltet wird.

87. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und mit Sammelschienen für 6000 und 60 000 Volt.

Im Schaltplan Abb. 165 sind Sammelschienen sowohl für die Maschinen-spannung von 6000 Volt als auch für die Transformatorenober-

spannung von 60 000 Volt vorhanden. Für beide Spannungen ist das Doppelschienensystem zur Anwendung gebracht. Der Plan entspricht also dem allgemeinen Kraftlaufschema Abb. 155 bzw. 156.

Der mit allen Ölschaltern, ausgenommen den Kupplungsschaltern *K.S.*, verbundene Überstromschutz ist in Form einer primären Relaisauslösung zur Anwendung gebracht. Die Relais arbeiten mit Ruhestrom. Als Hilfsstrom dient den Spannungswandlern entnommener Wechselstrom (vgl. Abb. 18). Die Ölschalter für die Transformatoren sind als Schutzschalter ausgebildet. Die Trennschalter sind mit Rücksicht auf leichte Umschaltbarkeit von einem Sammelschienensystem auf das andere dreipolig ausgeführt. Die Anordnung der Meßinstrumente und der Synchronisiervorrichtung bietet gegenüber den vorhergehenden Schaltplänen nichts Neues. Mit jeder Maschine ist ein Frequenzmesser *F* verbunden.

Von den 60 000 Volt-Sammelschienen führt eine Anzahl Freileitungen ins Netz. Auch ist für die Versorgung des näheren Umkreises der Zentrale eine Freileitung von den 6000 Volt-Schienen abgenommen.

Der aus Hörnerableitern *H* in Stern-Dreieckschaltung und Erdungsdrosselspulen *E.D.* bestehende, an die Sammelschienen angeschlossene Überspannungsschutz ist für jede Spannung, also für die 6000 Volt- und die 60 000 Volt-Seite, doppelt vorhanden und braucht daher beim Übergang auf ein anderes Sammelschienensystem nicht umgeschaltet zu werden. Drosselspulen vor den Transformatoren und Hörnergrobschutz für die Freileitungen vervollständigen die Überspannungsschutzeinrichtungen.

88. Hochspannungs-Drehstromzentrale mit Transformatoren und mit Sammelschienen für 6000 und 100 000 Volt.

Den Schaltplan für ein Drehstromwerk sehr hoher Spannung nach einem Entwurf der AEG zeigt Abb. 166. Er entspricht, wie der vorige, dem Kraftlaufschema Abb. 156, 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 100 000 Volt vorgenommen. Auch für diese Spannung sind die Sammelschienen doppelt vorhanden. Die Transformatoren sind primär in Dreieck, sekundär in Stern geschaltet. Die Ölschalter sind mit Fernsteuerung eingerichtet und mit Überstrom- sowie, zum Schutz der Transformatoren, Differentialrelais (s. Abschn. 94) ausgestattet. Die Schalter auf der 6000 Volt-Seite des Transformators sind mit Schutzwiderständen versehen. Die beiderseits der Transformatoren befindlichen Schalter sind elektrisch miteinander gekuppelt, in der Weise, daß sowohl beim Ansprechen der Relais als auch beim Fernausschalten von Hand zuerst der Schalter ohne Schutzwiderstände ausschaltet und erst, wenn dieser Schalter

Additional material from *Schaltungsbuch für Gleich-und Wechselstromanlagen*, ISBN 978-3-662-40581-9 (978-3-662-40581-9_OSFO1), is available at <http://extras.springer.com>



Transformatoren geschieht also stets durch die Schalter mit Schutzwiderständen, wodurch Überspannungen unterdrückt werden.

Auch jede der von den 100 000 Volt-Sammelschienen ausgehenden Freileitungen enthält einen Ölschutzschalter. Ferner sind in die Leitungen Erdungsschalter eingebaut.

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

Zum Schutz gegen das Eindringen von Wanderwellen sind den Transformatoren Campos-Drosselspulen vorgeschaltet. An die sekundären Nullpunkte der Transformatoren sind ferner Erdschlußspulen nach Petersen (*P.D.*) angeschlossen (s. Abschn. 13). Ein weiterer Überspannungsschutz ist nicht vorhanden, vielmehr ist die Isolation der ganzen Anlage mit einem 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 Ölschalter erforderlichen Relais liefert. Durch Aufstellung einer kleinen Akkumulatorenatterie wird eine große Betriebssicherheit gewährleistet, indem sie als unabhängige Stromquelle für die Ölschalterauslösung 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. Transformatoren- und Schaltstationen.

A. Transformatoren.

89. Der Einphasentransformator.



Abb. 167.
Einphasen-
transformator.

Die Transformatoren 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, d. h. in mit Öl gefüllte Kästen eingebaut.

Das Wicklungsschema des Einphasentransformators zeigt Abb. 167. Der hochgespannte Wechselstrom wird der Wicklung *UV* zugeführt, während der auf die Gebrauchsspannung heruntertransformierte Strom der Wicklung *uv* ent-

nommen wird. Die Stromverbraucher sind durch einige Glühlampen angedeutet. Im vorliegenden Falle ist also UV die primäre, uv die sekundäre 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. 168 gibt das vereinfachte Schaltzeichen des VDE für den Einphasentransformator wieder, welches die magnetische Verketzung des primären und sekundären Kreises andeuten soll.



Abb. 168. Einphasentransformator: Schaltzeichen.

90. Der Drehstromtransformator.

In Drehstromanlagen können zur Transformierung der Spannung 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 verketzt sein. Auch die sog. Zickzackschaltung wird häufig angewendet. Die Verketzungsart

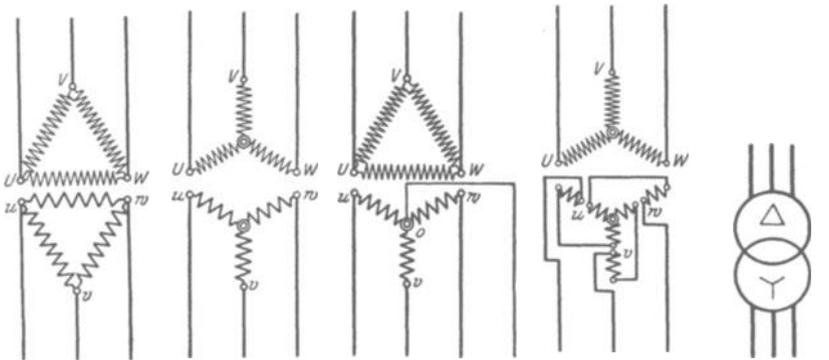


Abb. 169. Drehstromtransformator in Dreieckschaltung.

Abb. 170. Drehstromtransformator in Sternschaltung.

Abb. 171. Drehstromtransformator in Dreieck-Sternschaltung mit sekundärem Nulleiter.

Abb. 172. Drehstromtransformator in Stern-Zickzackschaltung.

Abb. 173. Drehstromtransformator: Schaltzeichen.

kann auf der primären und sekundären Seite verschieden gewählt werden. Als Klemmenbezeichnung ist U, V, W für die Hochspannungsseite und u, v, w für die Niederspannungsseite festgelegt. Ist der Nullpunkt einer Wicklungsseite aus dem Transformator herausgeführt, so wird die betreffende Klemme mit O bzw. o bezeichnet. In Abb. 169 bis 172 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“ (R. E. T.) des VDE.

Das Schaltzeichen des VDE für einen Drehstromtransformator (unter Angabe der Schaltung) zeigt Abb. 173.

91. 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. 174 zeigt das Schema 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.

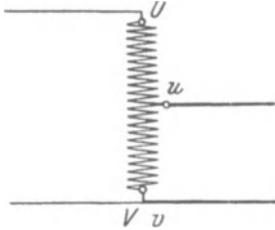


Abb. 174. Einphasen-
transformator in Sparschaltung

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.

92. Reguliertransformatoren.

Transformatoren können auch zur Spannungsregelung verwendet werden. Bei den Reguliertransformatoren für Einphasenstrom 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-Reguliertransformator wird an jede Phase eine Leitung beweglich angeschlossen. Wo es zugänglich ist, wird für Reguliertransformatoren die Sparschaltung benutzt.

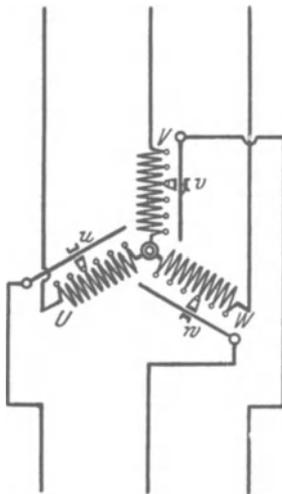


Abb. 175. Drehstrom-Regulier-
transformator.

Abb. 175 zeigt das Schema eines Regulier-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 (vgl. z. B. Abb. 188).

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

93. 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. 176 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

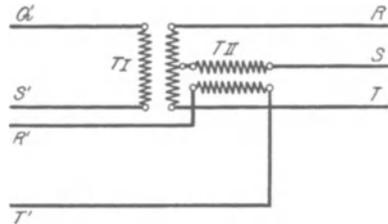


Abb. 176. Transformatoren in Skottscher Schaltung.

Transformatoren, die Sekundärwicklung des Transformators $T II$ ist mit dem 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.

94. 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 Ölschalter 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. ein 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 ausgelöst.

95. Transformator mit Buchholzschutz.

Transformatoren werden heute in der Regel als Öltransformatoren ausgeführt. Um Störungen an derartigen Transformatoren unschädlich zu machen, hat sich der Buchholzschutz bewährt, ein 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. 177 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 Ölschalter. Auf 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.

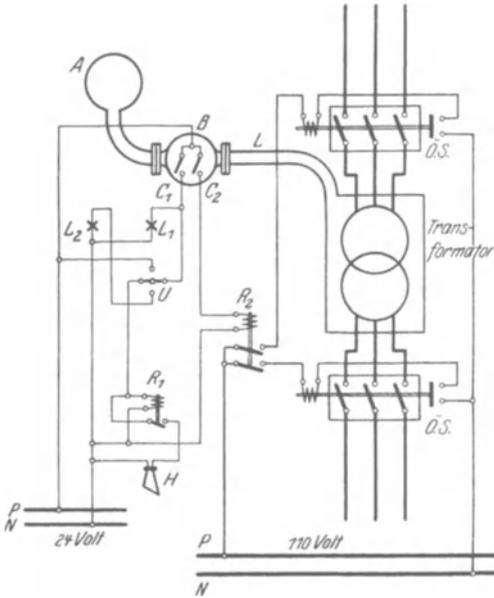


Abb. 177. Buchholz-Schutzschaltung für einen Öltransformator.

Das Hilfsrelais R_2 kommt zur Wirkung, und es werden die Spannungsspulen der Ölschalter erregt, so daß ein sofortiges beiderseitiges Abschalten des Transformators die Folge ist.

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, abgeschaltet 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.

B. Transformatorstationen.

96. Grundlegende Schaltungen von Transformatoranlagen.

Transformatoren zum Heraufsetzen der Spannung werden, wo es erforderlich ist, im allgemeinen unmittelbar in den Elektrizitätswerken aufgestellt und bilden dann einen organischen Bestandteil der Stromerzeugungsanlage. Beispiele für Zentralschaltungen 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 Fa-

briken oder andere Großabnehmer elektrischer Energie wird in der Regel ein eigener Transformator aufgestellt.

Das Kraftlaufschema einer Transformatorenanlage für Einphasen- oder Drehstrom zeigt die Schaltskizze Abb. 178. Durch ein Kabel oder eine Freileitung wird dem Transformator T über Trennschalter und Ölschalter mit Überstromauslösung die Hochspannung zugeführt. Der dem Transformator entnommene Niederspannungsstrom gelangt über die Verteilungsschienen S mittels der Verteilungsleitungen an die Verbrauchsstellen.

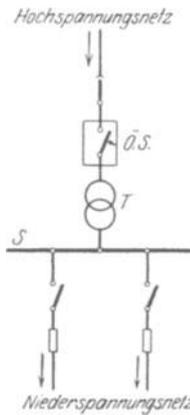


Abb. 178. Kraftlauf einer einfachen Transformatorenanlage.

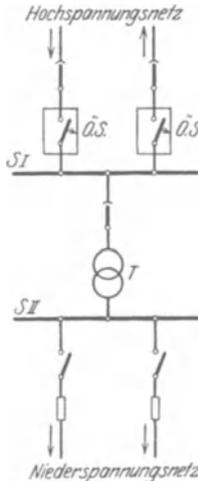


Abb. 179. Kraftlauf einer Transformatorenanlage mit durchgehender Leitung.

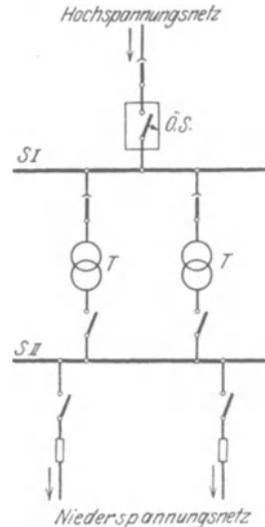


Abb. 180. Kraftlauf einer Transformatorenanlage mit parallel geschalteten Transformatoren.

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 Schema Abb. 179, in dem SI die Hochspannungs-, SII die Niederspannungsschienen bedeuten, zur Darstellung gebracht.

Ein Parallelbetrieb mehrerer Transformatoren auf das Niederspannungsnetz ist in Abb. 180 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. 90).

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 Zwischentransformierung unterworfen. Zu diesem 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 Transformatorenstationen in den Ortschaften speisen, in welchen die Gebrauchsspannung hergestellt wird. Als Beispiel ist in Abb. 181 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. 78).

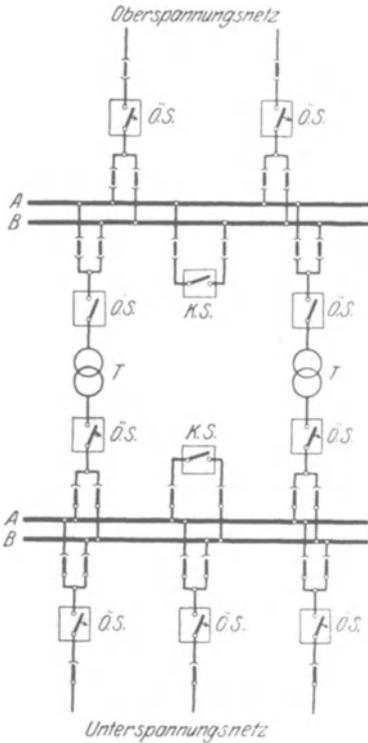


Abb. 181. Kraftlauf eines Umspannwerkes mit Doppelsammelschienen.

6000 Volt wird mittels des Speisekabels zugeführt und gelangt über Trennschalter und einen dreipoligen Ölschalter an die Primärklemmen des Drehstromtransformators *D. T.* Der Ölschalter ist mit selbsttätiger, und zwar primärer unmittelbar wirkender Überstromauslösung ausgestattet. Dieselbe ist jedoch nur für zwei Pole vorgesehen. Bei größerer Transformatorenleistung werden häufig Ölschalter mit Schutzwiderständen vorgezogen. Zur Feststellung der elektrischen Verhältnisse dient der über einen Spannungswandler an eine Phase angeschlossene Spannungsmesser für die Primärspannung und der über einen Stromwandler in einen Pol des Zuführungskabels gelegte Strommesser.

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-Transformatorenstationen wiedergegeben werden. Die Schaltung von Einphasenanlagen ergibt sich daraus in sinnvoller Vereinfachung.

97. Transformatorenanlage für 6000/220 Volt.

Den Schaltplan einer an ein Kabelnetz angeschlossenen Transformatorenstation, etwa für eine Fabrik oder ein größeres Geschäftshaus, zeigt Abb. 182. Die allgemeine Anordnung entspricht dem Kraftlaufschema Abb. 178. Die Hochspannung von

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 vorgesehene 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.

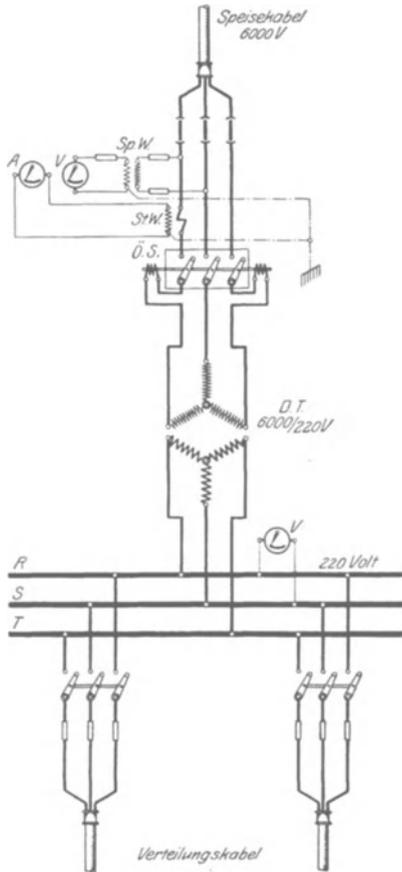


Abb. 182. Transformatorstation für 6000/220 Volt.

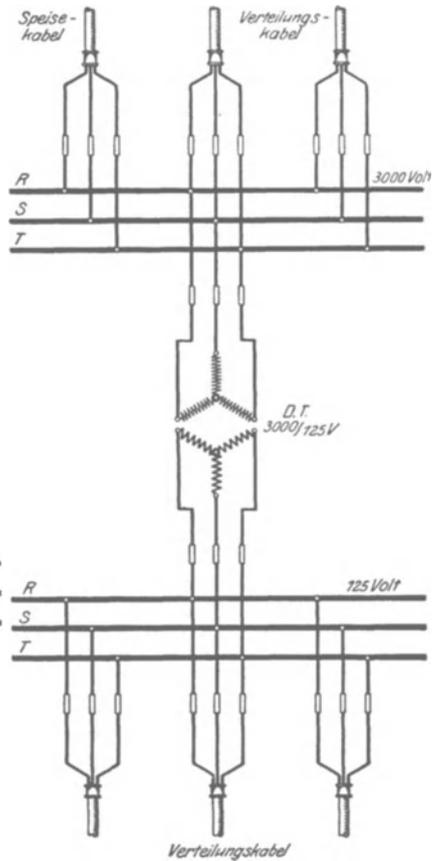


Abb. 183. Transformatorstation für 3000/125 Volt.

98. Transformatorensäule für 3000/125 Volt.

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 Schema einer solchen Transformatorenstelle, wie sie z. B. im Bereich des Elektrizitätswerks Magdeburg für Leistungen bis 70 kVA zu finden ist, ist in Abb. 183 wiedergegeben. Die Hochspannung beträgt 3000 Volt, die Niederspannung 125 Volt. An den Hochspannungsschienen sind außer dem vom Kraftwerk kommenden Speisekabel noch zwei Verteilungskabel angeschlossen, die nach anderen Transformatorenstationen führen. Der Kraftlauf entspricht also dem Schema Abb. 179. Der Förderung 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.

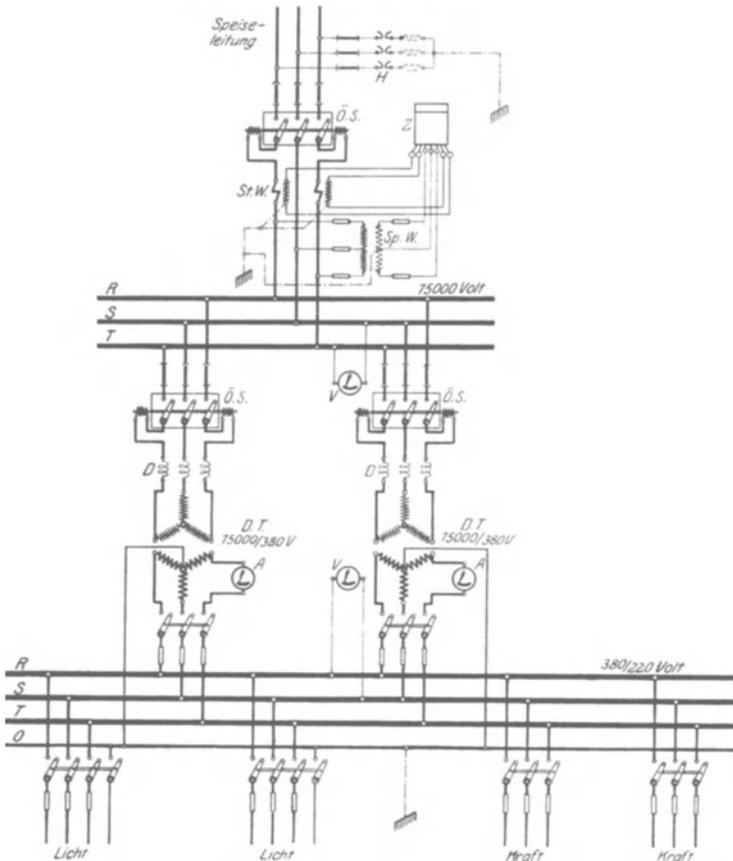


Abb. 184. Transformatorenstation für 15 000/380/220 Volt.

99. Station mit parallel geschalteten Transformatoren für 15 000/380/220 Volt.

In Abb. 184 ist der Plan einer Transformatorenstation mit zwei parallel geschalteten Drehstromtransformatoren zur Darstellung ge-

bracht, dem das Kraftlaufschema Abb. 180 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 Ölschalter zu den Hochspannungsschienen und enthält an Meßinstrumenten lediglich einen Zähler. Derselbe ist nach der Zweiwattmetermethode angeschlossen, zeigt also auch bei ungleicher Belastung der Phasen die an die Transformatorstation gelieferte Arbeit richtig an. Zum Schutz gegen Überspannungen sind mit der Freileitung unmittelbar nach ihrem Eintritt in die Transformatorstation drei gegen Erde geschaltete Hörnerableiter verbunden.

Die Transformatoren sind an die Hochspannungsschienen, wiederum über Trenn- und Ölschalter, angeschlossen. Letztere besitzen, wie auch der Ölschalter in der Speiseleitung, eine primäre unmittelbar wirkende Überstromauslösung. Vor jeden Transformator sind, um das Eindringen von Überspannungswanderwellen zu verhindern, Schutzdrosselspulen gelegt. 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 Schema angegeben.

100. Fahrbare Netztransformatorenstation.

Für vorübergehende Anschlüsse oder für Aushilfzwecke können sich transportable Netztransformatoren als recht nützlich erweisen. In Abb. 185 ist das Schaltbild einer fahrbaren Transformatorstation dargestellt, wie sie vom Elektrizitätswerk Stuttgart ausgebildet ist¹. Die Zahl der eingebauten Apparate ist möglichst beschränkt, ohne jedoch die Betriebssicherheit und vielseitige Verwendbarkeit der Einrichtung zu beeinträchtigen. Die Hochspannung von 10000 Volt wird über Trenn- und Ölschalter den Sammelschienen zugeführt. Der Ölschalter ist mit sekundärer unmittelbarer Zeitauslösung bei Überstrom ausgestattet. Die Auslösezeit ist dadurch von der Belastung abhängig gemacht, daß zur Auslösespule eine Schmelzsicherung parallel gelegt ist. Durch die Sicherung ist die Spule also für gewöhnlich kurzgeschlossen. Erst nachdem die Sicherung geschmolzen ist — und das tritt um so schneller ein, je größer die Überlastung ist —, kann der Strom seinen Weg durch die Spule nehmen und die Auslösung herbeiführen. Außerdem wirkt auf den Ölschalter noch eine Spannungsspule ein, die den Schalter auslöst, wenn der für die Transformatoren vorgesehene Buchholz-

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

schutz 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 Hochspannungs-

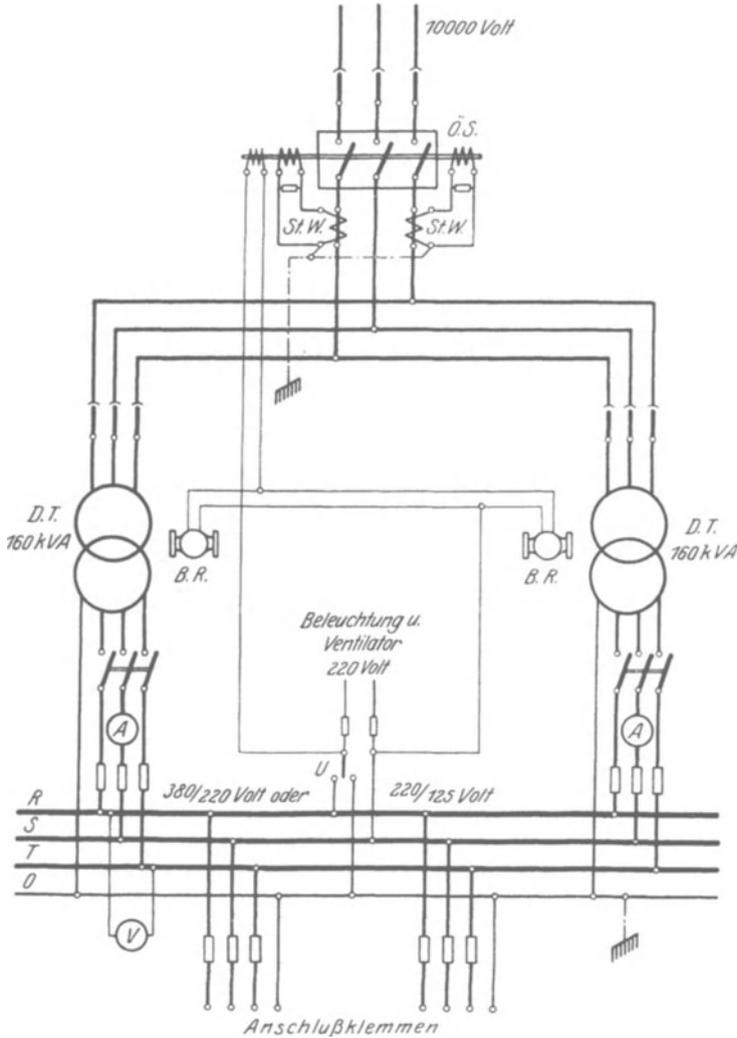


Abb. 185. Fahrbare Transformatorenstation.

schienen 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 Netzvoltmeter 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.

101. Umspannwerk für 25 000/6000 Volt.

Als Beispiel einer größeren Transformatorenstation ist in Abb. 186 die Schaltung eines von der AEG eingerichteten Umspannwerkes in Detmold wiedergegeben. In ihr wird Drehstrom von 25000 Volt Spannung auf 6000 Volt herabgesetzt.

Den 25000 Volt-Schienen wird die elektrische Energie vom Kraftwerk, dem Elektrizitätswerk Wesertal, durch eine Freileitung über einen Ölschalter zugeführt. Der mit dem Schalter verbundene Überstromschutz wird, wie auch bei den übrigen Ölschaltern der Station, durch sekundär angeschlossene Relais (Maximalzeitrelais) bewirkt. Der Hilfsstrom für dieselben wird einer kleinen aus Primärelementen gebildeten Batterie von ungefähr 20 Volt Spannung entnommen, und zwar sind die sog. Mammutelemente der Firma Mix & Genest, Berlin, verwendet. 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 Ölschalter sind über Vorkontakte mit Schutzwiderständen versehen. Bei den Ölschaltern auf der Sekundärseite der Transformatoren entfallen die Schutzwiderstände. Sie sind mit denen auf der Primärseite elektrisch gekuppelt, indem durch eine Kontaktvorrichtung $K. V.$ bei einer Auslösung des primären auch eine Auslösung des zum gleichen Transformator gehörenden sekundären Schalters bewirkt wird (vgl. Abschn. 88).

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

An die Sammelschienen beider Spannungen sind als Überspannungsschutz gegen Erde geschaltete Hörnerableiter H mit Dämpfungswiderständen in Form von Tonrohr-Trockenwiderständen angeschlossen. Bei der höheren Spannung ist, um eine zu weite Einstellung der Hörner zu vermeiden, zu den drei sterngeschalteten Ableitern ein vierter in Reihe geschaltet. Ferner liegen, um elektrostatische Überspannungen zu beseitigen, an den Sammelschienen Erdungsdrosselspulen $E. D.$ Diese bilden gleichzeitig die primäre Wicklung von Wandlern, an die sekundär die als Erdschlußanzeiger $E. A.$ dienenden

Spannungsmesser angeschlossen sind. Das Eindringen von Wanderwellen in die Transformatoren wird von beiden Seiten durch Camposdrosselspulen *C. D.* verhindert.

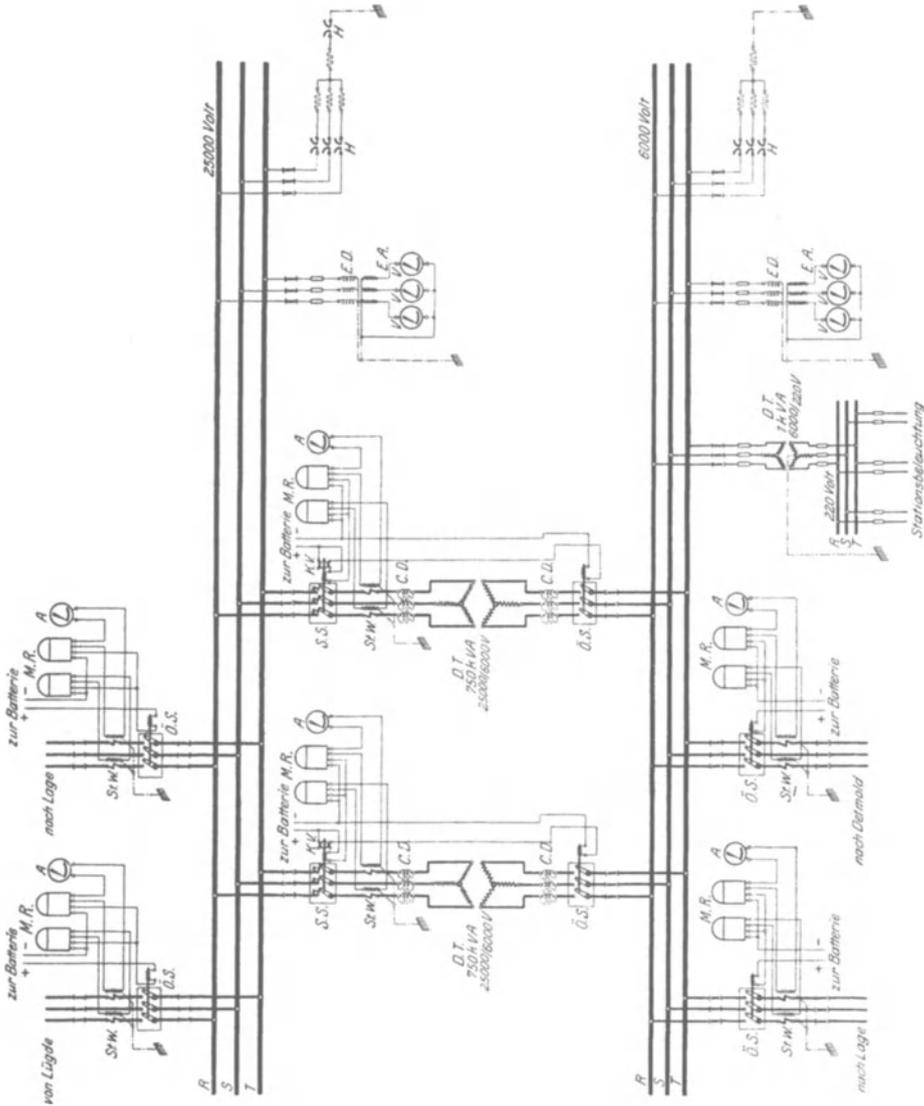


Abb. 186. Umspannwerk Detmold für 25 000/6000 Volt.

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

Additional material from *Schaltungsbuch für Gleich-und Wechselstromanlagen*,
ISBN 978-3-662-40581-9 (978-3-662-40581-9_OSFO2),
is available at <http://extras.springer.com>



102. Umspannwerk für 15 000/3000 Volt mit Reservegenerator und Umformer.

Das Elektrizitätswerk Hartha, dessen Schaltplan in Abb. 187 zur Darstellung gebracht ist, stellt in der Hauptsache eine Umspannstation dar. Es ist von der AEG erbaut. Der durch eine Freileitung zugeführte Drehstrom besitzt eine Spannung von 15 000 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 2×240 Volt liefert.

Die in der Anlage vorhandenen Ölschalter — für den Transformator ist ein Schalter mit Schutzwiderständen gewählt — sind sämtlich allphasig mit Überstrom- und, abgesehen vom Generatorschalter, außerdem mit Spannungsrückgangsauslösung 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 Meßinstrumente ausgenutzt. Von Einzelheiten seien nur die Amperemeterumschalter *A. U.* für die Verteilungskabel angeführt, durch die eine Ersparnis an Strommessern herbeigeführt wird, indem für jedes Kabel zur Feststellung der Stromstärke in allen Phasen nur ein Instrument erforderlich ist (vgl. Abschn. 22, letzter Absatz). Zum Schutz gegen Überspannungen ist die Hauptzuführungsleitung mit Hörnerableitern und Drosselspulen ausgerüstet.

Die Schaltung des Umformers ist in Abschn. 162 ausführlich erörtert.

103. Transformatoren-Kupplungsstation für 50 000/10 000 Volt.

Reicht die Betriebskraft eines Elektrizitätswerkes infolge zunehmenden Strombedarfs nicht mehr aus, so empfiehlt sich häufig, anstatt weitere Maschinen aufzustellen, der Anschluß an ein anderes leistungsfähiges Werk. Man erhält auf diese Weise eine größere Betriebssicherheit, indem die Versorgung des betreffenden Gebietes nunmehr nicht auf ein einziges Werk gestellt ist, vielmehr die Möglichkeit besteht, die Stromversorgung im Notfalle durch das andere Werk, wenn auch in beschränktem Umfange, aufrechtzuerhalten.

Das Elektrizitätswerk Magdeburg, ein Drehstromwerk, arbeitet, soweit die ferner gelegenen Stadtteile in Betracht kommen, mit einer Betriebsspannung von 10 000 Volt. Außerdem ist ein Anschluß an das 44 km entfernte, an einem Braunkohlenbergwerk gelegene Kraftwerk Harbke hergestellt, welches über eine Freileitung Strom von 50 000 Volt Span-

nung liefert. Der in Abb. 188 dargestellte Schaltplan bezieht sich auf die in einem Vorort Magdeburgs, in Diesdorf, errichtete Transformatorstation, in welcher der von Harbke gelieferte Strom auf 10000 Volt transformiert wird, und welche die für das Parallelschalten der Transformatoren mit dem E.W.-Magdeburg notwendigen Einrichtungen besitzt.

Im einzelnen ist folgendes zu bemerken. Die Freileitung führt über einen Ölschalter mit Schutzwiderständen zu den in der Station aufgestellten beiden Transformatoren. Der Schalter besitzt sekundäre Überstromrelaisauslösung. Als Hilfsstrom für die Relais dient Gleichstrom von 20 Volt Spannung, der einer Mammutbatterie *B* (s. Abschn. 101) entnommen wird. Diese kann mittels eines über einen kleinen Drehschalter *D. S.* angeschlossenen Spannungsmessers kontrolliert werden. Die Sekundärseite jedes Transformators arbeitet wieder über einen gemeinsamen Ölschalter, jedoch ohne selbsttätige Auslösung, auf die 10000 Volt-Sammelschienen. Zweckmäßig wäre es gewesen, jedem der beiden Transformatoren Ölschalter zuzuweisen, um einen Transformator unabhängig vom andern ein- und ausschalten zu können. Mit Rücksicht darauf, daß die Anlage während der Kriegszeit hergestellt ist und nach Möglichkeit Ersparnisse an Material eintreten mußten, wurde jedoch die Zahl der Schalter beschränkt. Das Zu- oder Abschalten eines Transformators ist daher nur — nach Öffnung der Ölschalter und der Trennschalter in der Hauptleitung — mittels der zu beiden Seiten der Transformatoren befindlichen Trennschalter möglich. An Meßinstrumenten enthält die Zuführungsleitung Strom- und Spannungsmesser sowie zur Bestimmung des Leistungsfaktors ($\cos \varphi$) einen Phasemesser *P*. Ferner sind ein registrierender Leistungsmesser *R. W.* sowie zwei Zähler vorhanden. Durch die Anwendung zweier Zähler wird eine gegenseitige Kontrolle derselben ermöglicht. Leistungsmesser und Zähler sind nach der Zweiwattmetermethode geschaltet. Der zum Anschluß der Meßinstrumente dienende Spannungswandler, ein Ölwannder, ist nicht gesichert, jedoch mit einem Kontaktthermometer *K. T.* ausgestattet, durch welches eine Signalarvorrichtung betätigt wird, wenn die Öltemperatur, etwa infolge längerer Überlastung, das zulässige Maß überschreitet.

Gegen Erde geschaltete Hörnerableiter dienen zur Beseitigung von Überspannungen aus der 50 000 Volt-Leitung. Außerdem sind die Transformatoren durch Campossulen geschützt, die ihnen primär vorgeschaltet sind.

Um die für den Parallelbetrieb erforderliche Gleichheit der Spannungen zu erzielen, kann die durch die Transformatoren hergestellte Spannung der vom E.W.-Magdeburg gelieferten angepaßt werden. Die Transformatoren besitzen zu diesem Zwecke einige Regulierstufen, d. h. die Niederspannungswicklungen sind mit Anzapfungen versehen, und es können mittels dreipoliger Regulierschalter *R. S.* die Spannungen der drei Phasen jedes Transformators gleichmäßig geändert werden.

Die Verbindung der 10 000 Volt-Schienen mit dem E.W.-Magdeburg wird durch zwei Kabel vermittelt. Jedes derselben enthält einen Öl-

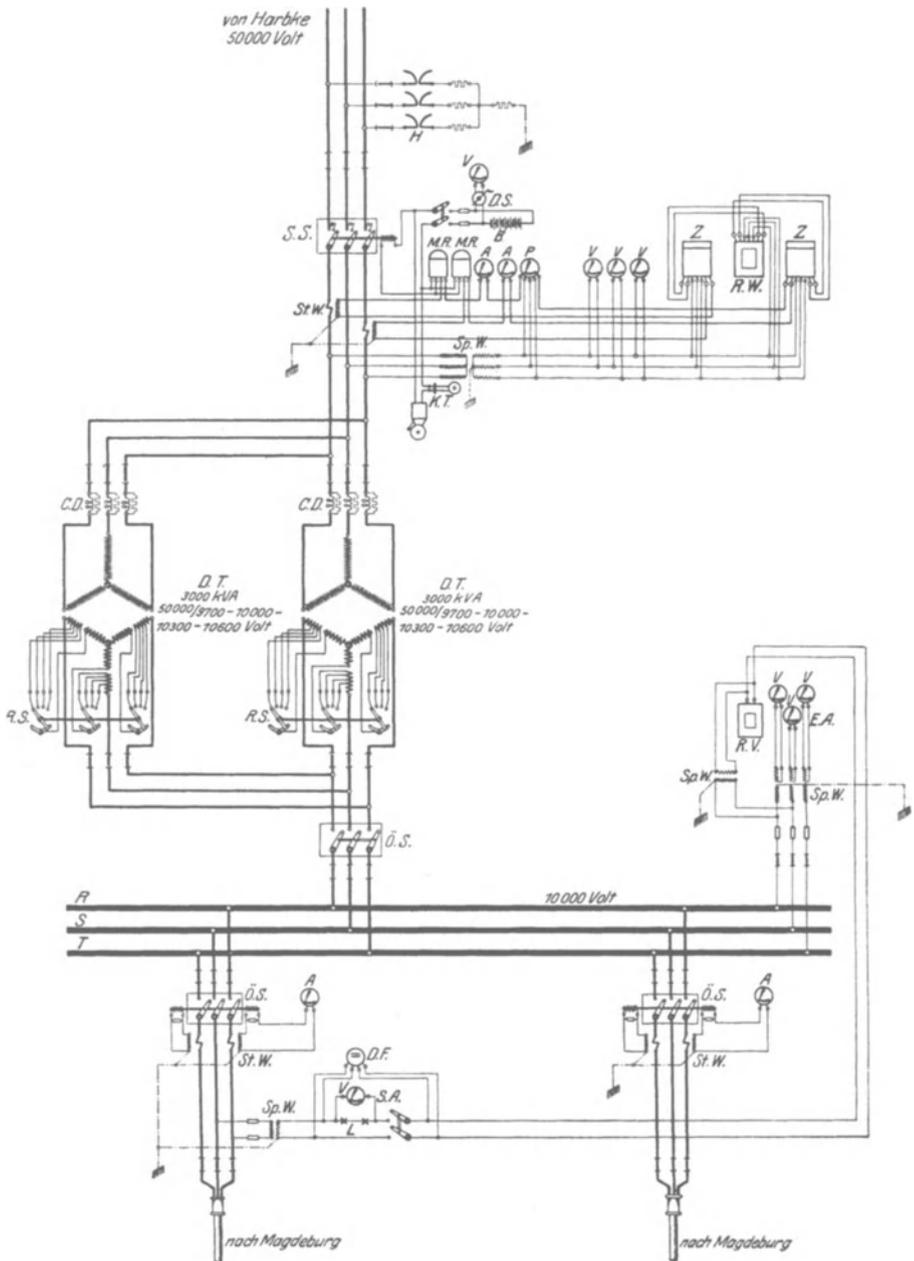


Abb. 188. Transformatoren-Kupplungsstation Diesdorf bei Magdeburg für 50 000/10 000 Volt.

schalter mit sekundärer unmittelbarer Zeitauslösung. Zur Auslösespule ist eine Schmelzsicherung parallel geschaltet, um eine von der Belastung abhängige Auslösezeit zu erreichen (vgl. Abschn. 100). Zur Feststellung der Belastung der Kabel dient je ein Strommesser. Um die Kabel mit den Sammelschienen der Station oder, was auf dasselbe hinausläuft, das Werk Magdeburg mit dem Werk Harbke parallel schalten zu können, ist ein Synchronismusanzeiger *S. A.* in Gestalt von Phasenlampen *L* und Phasenvoltmeter *V* vorhanden, der über einen Spannungswandler einerseits mit einem der Kabel verbunden ist und andererseits, ebenfalls über einen Wandler, durch einen kleinen zweipoligen Schalter an die Sammelschienen gelegt werden kann. Die Synchronisiervorrichtung wird durch einen Doppelfrequenzmesser *D. F.* vervollständigt. Erst nachdem Phasengleichheit festgestellt ist, dürfen die Ölschalter der Kabel geschlossen werden. Der zum Anschluß des Synchronismusanzeigers an die Sammelschienen dienende Spannungswandler speist gleichzeitig den registrierenden Spannungsmesser *R. V.*, welcher die Sammelschienenspannung fortlaufend aufzeichnet.

Zu erwähnen ist schließlich noch der über drei Einphasenwandler an die Sammelschienen gelegte Erdschlußanzeiger *E. A.* Seine Schaltung entspricht der Abb. 71, doch ist auf eine Erdung der Sekundärwicklungen der Wandler verzichtet, was insofern zulässig erscheint, als bei einem etwaigen Schluß zwischen primärer und sekundärer Wicklung die letztere von der Hochspannungsseite aus geerdet ist.

C. Schaltstationen.

104. Schaltstation eines Drehstrom-Überlandwerkes für 15 000 Volt.

Die Transformatorenstationen sind im allgemeinen gleichzeitig Schaltstellen für die in Betracht kommenden Teile des Leitungsnetzes. Der Vollständigkeit wegen sollen nachfolgend noch einige Beispiele für Schaltstationen gegeben werden, in denen Transformatoren nicht aufgestellt sind.

Abb. 189 stellt den Schaltplan eines von den SSW im Bereich des Überlandwerkes Börde errichteten Hauptspeisepunktes dar. Die im Dorfe Wellen errichtete Station hat die Aufgabe, die dem betreffenden Versorgungsgebiet vom Kraftwerk Harbke 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 15 000 Volt. Die Meßinstrumente sind in bekannter Weise über Wandler angeschlossen. Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser sind registrierende Instrumente. Leistungsmesser und Zähler sind in Zweiwattmeterschaltung angeschlossen.

Die Ölschalter der Verteilungsleitungen sind, im Gegensatz zu dem Schalter in der Zuleitung, mit selbsttätig wirkendem Überstromschutz — primäre unmittelbare Auslösung für alle Pole — versehen. An Meßinstrumenten besitzen die Verteilungsleitungen lediglich einen Strom-

messer in jedem Pol. Eine ohne Ölschalter und Meßinstrumente ausgestattete Verteilungsleitung dient zum Anschluß einer Transformatorstation für das Ortsnetz.

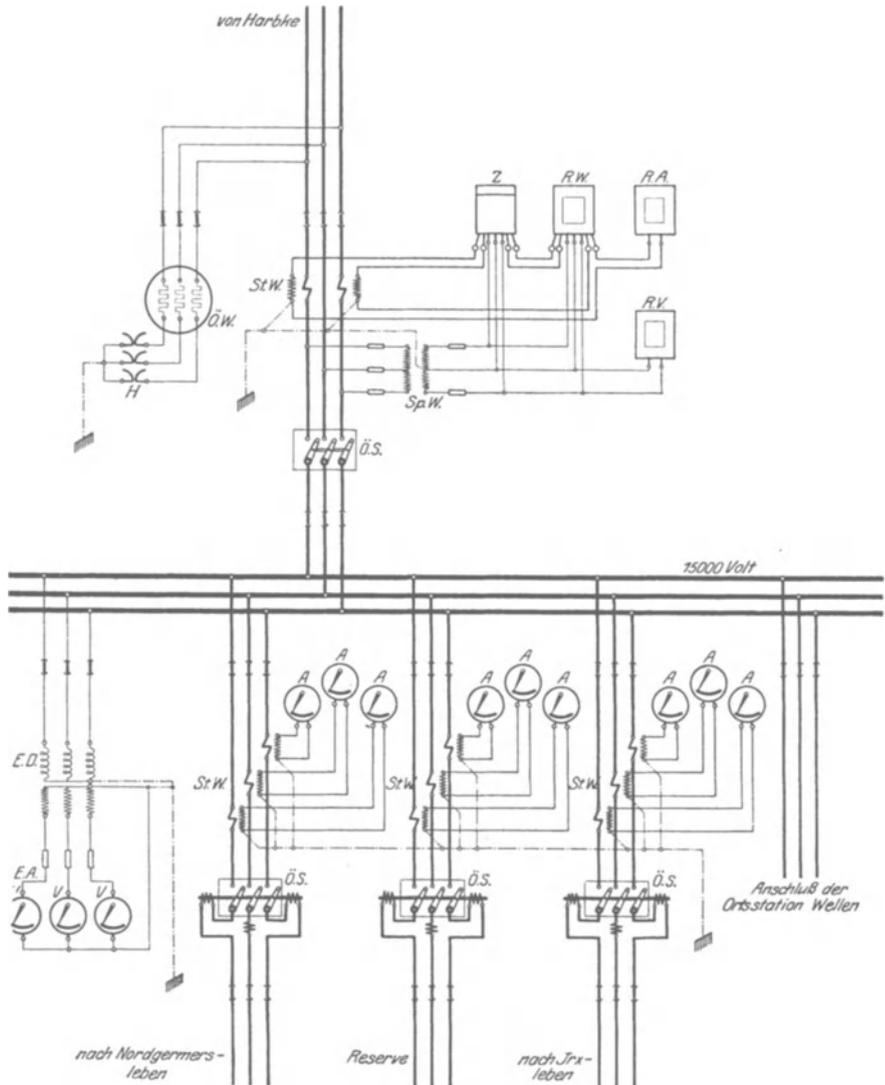


Abb. 189. Schaltstation Wellen (Überlandwerk Börde) für 15000 Volt.

Als Überspannungsschutz sind an die Zuleitung gegen Erde geschaltete Hörnerableiter mit vorgeschalteten Ölwidernständen gelegt. Außerdem sind zur Ableitung statischer Ladungen an die Sammelschienen Erdungsdrosselspulen angeschlossen, die gleichzeitig als Primärwicklung für den Spannungswandler zur Erdschlußprüfung nutzbar gemacht sind.

105. Kabelschaltstation für 10000 Volt.

Als weiteres Beispiel einer größeren Schaltanlage für Drehstrom ist in Abb. 190 der Plan einer Kabelschaltstation des Elektrizitätswer-

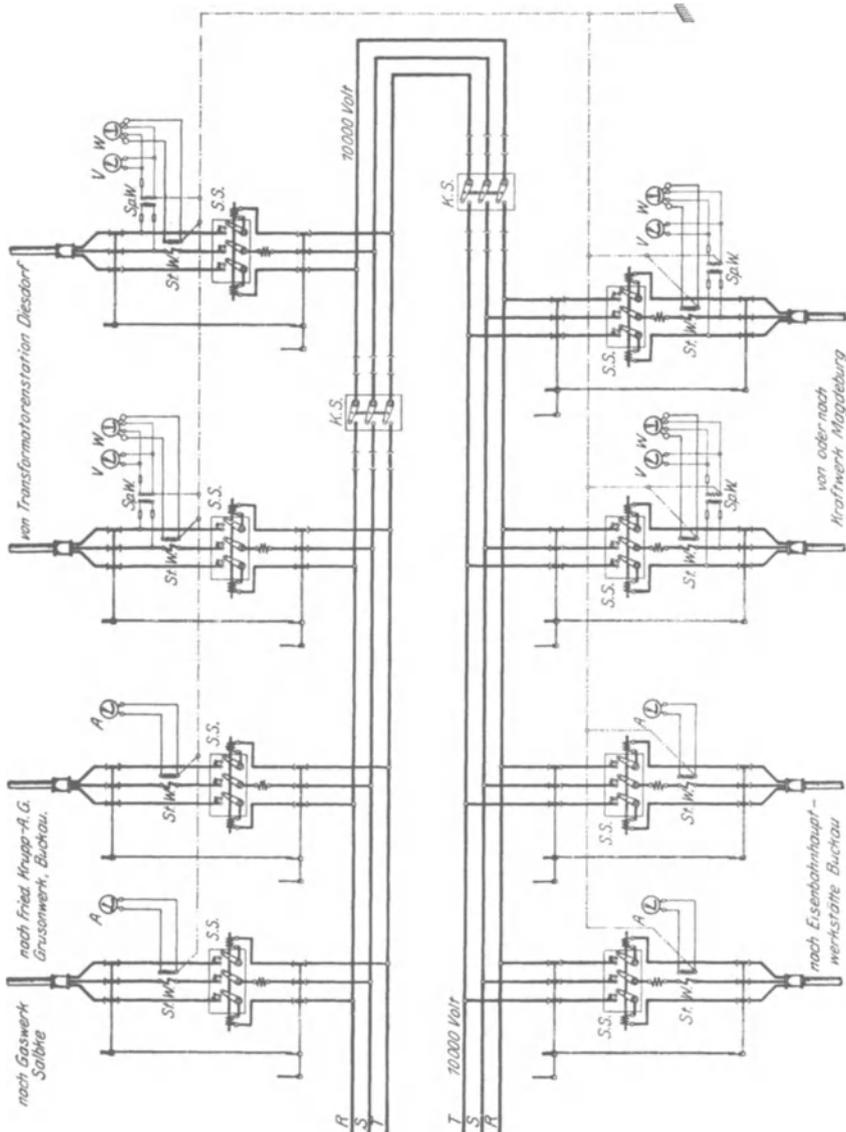


Abb. 190. Kabelschaltstation in Magdeburg für 10000 Volt.

kes Magdeburg für 10000 Volt Spannung gegeben. Die Station liegt an der Peripherie der Stadt und hat die Aufgabe, die Stromversorgung für eine Reihe industrieller Anlagen in einem entfernten Stadtteil zu regeln. Die Stromzuführung zur Schaltstation kann von zwei Seiten

erfolgen, einmal vom eigenen Kraftwerk der Stadt aus und sodann aus der an das Kraftwerk Harbke angeschlossenen Transformatorstation Diesdorf (vgl. Schaltungsschema Abb. 188). Es sind je zwei Speisekabel vorhanden und im ganzen vier Verteilungskabel. Durch die beiden die Verbindung mit dem Kraftwerk Magdeburg herstellenden Kabel kann diesem auch die von der Station Diesdorf gelieferte Energie zugeführt werden. Sie wirken dann eben als Speisekabel für das Kraftwerk, und es kann in diesem über die Energie verfügt werden. Die Sammelschienen sind in drei Abteilungen eingeteilt, die miteinander gekuppelt werden können. Zwischen den einzelnen Kuppungsfeldern liegt je ein zwischen zwei Trennschaltern angeordneter Ölschalter, ein Kupplungsschalter *K. S.*

Speise- und Verteilungskabel sind in fast gleicher Weise ausgestattet. Jedes Kabel enthält einen dreipoligen Ölschalter mit Schutzwiderständen. Die Schalter sind mit primärer unmittelbarer Überstromauslösung in allen Phasen versehen. Die zu beiden Seiten eines jeden Ölschalters eingebauten dreipoligen Trennschalter sind durch Stangenantrieb zwangsläufig miteinander verbunden, können also nur gemeinschaftlich ein- und ausgeschaltet werden. Dadurch wird der spannungslose Zustand eines Ölschalters bei ausgeschalteten Trennschaltern mit Sicherheit gewährleistet. An Meßinstrumenten enthält jedes Speisekabel einen Spannungs- und einen Leistungsmesser, jedes Verteilungskabel einen Strommesser. Die Leistungsmesser sind für zweiseitigen Ausschlag eingerichtet, um jederzeit feststellen zu können, ob durch das betreffende Kabel den Sammelschienen Energie zugeführt oder ob ihnen Energie entnommen wird. Durch geeignete Einstellung der Kupplungsschalter in den Sammelschienen sowie der Schalter in den Speise- und Verteilungskabeln läßt sich erreichen, daß sämtliche Speisekabel gemeinschaftlich auf alle Verteilungskabel arbeiten, oder daß einzelne Verteilungskabel nach Bedarf von dem einen oder anderen Werk versorgt werden.

D. Drehtransformatoren.

106. Der Drehtransformator als Spannungsregler.

Der Drehtransformator ist nach Art des Drehstrom-Induktionsmotors gebaut, vgl. Abschn. 112. 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.

Abb. 191 zeigt die grundlegende Schaltung für das Verfahren. Es soll die Spannung der von R, S, T ausgehenden Netzleitung geregelt werden.

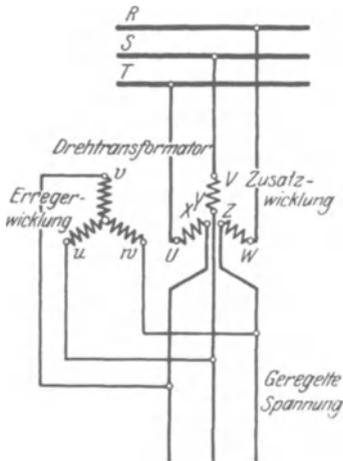


Abb. 191. Spannungsregelung durch Drehtransformator.

Die Erregerwicklung uvw des Drehtransformators ist an die Leitung angeschlossen. Die Zusatzwicklung besteht aus den Phasen UX, VY, WZ . 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. 192 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.

Drehtransformatoren werden besonders häufig zur Spannungsregelung von Einankerumformern (s. Abschn. 160 b) und Gleichrichtern benutzt.

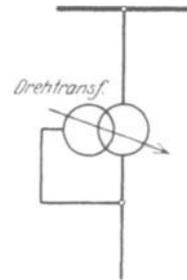


Abb. 192. Drehtransformator: Schaltzeichen.

107. Spannungsregelung einer Drehstrom-Hochspannungsleitung.

In Abb. 193 ist eine Hochspannungsleitung R, S, T dargestellt, deren Spannung ebenfalls durch einen Drehtransformator beeinflusst werden kann. Die Schaltung entspricht grundsätzlich derjenigen von Abb. 191, doch sind außer den üblichen für Hochspannung in Betracht kommenden Apparaten — Ölschalter 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 Erregerwicklung des Drehtransformators gelegten Anlaßschalter $A. S.$ 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.

Die durch einen Drehtransformator geregelte Spannung unterscheidet sich von der unregulierten Spannung übrigens nicht nur ihrer

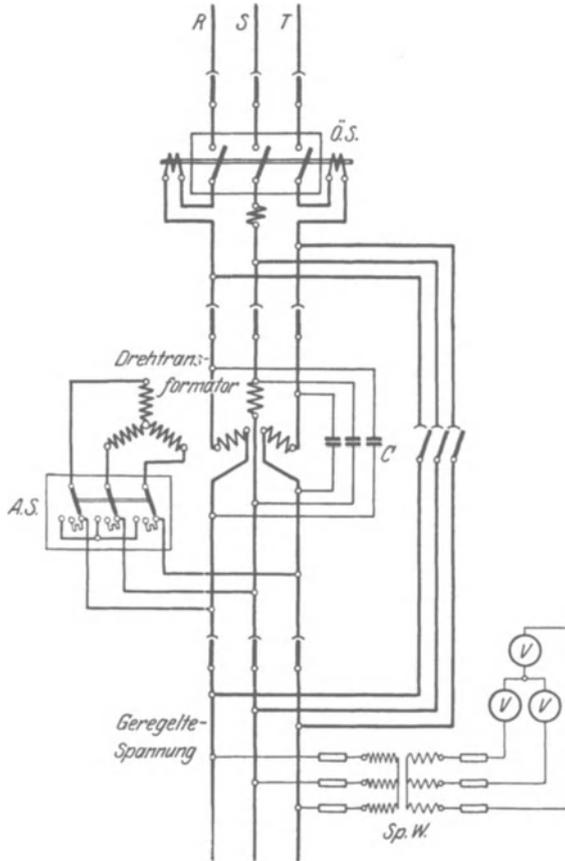


Abb. 193. Spannungsregelung einer Hochspannungsleitung durch Drehtransformator.

Größe nach, sondern es tritt auch eine geringe Phasenabweichung ein, die sich aber durch Anwendung eines „Doppeldrehtransformators“ vermeiden läßt. Überhaupt sind noch mancherlei Sonderschaltungen für Drehtransformatoren möglich, auf die jedoch hier nicht näher eingegangen werden kann.

VIII. Wechselstrommotoren.

A. Synchroner Wechselstrommotoren.

108. Schaltung und Eigenschaften der Motoren.

Jeder Wechselstromgenerator läßt sich im allgemeinen auch als Motor betreiben. Die Wicklung des Ständers wird vom Wechselstrom-

netz gespeist, die drehbar angeordneten Magnete, die den Läufer bilden, werden jedoch mit Gleichstrom erregt. Abb. 194 zeigt das Schaltungs-schemata eines synchronen Drehstrommotors (vgl. Abb. 136 bis 138). Für die Erregung stehe eine Akkumulatorenbatterie zur Verfügung. Doch kann auch eine eigene Erregermaschine vorhanden sein.

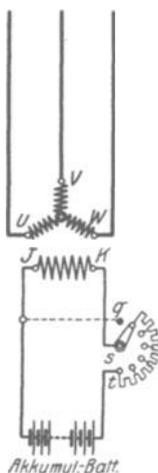


Abb. 194.
Synchroner Dreh-
strommotor.

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 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.

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.

109. 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. 195. Alles Unwesentliche ist im Schema 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 Phasen 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. 77 b). 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.

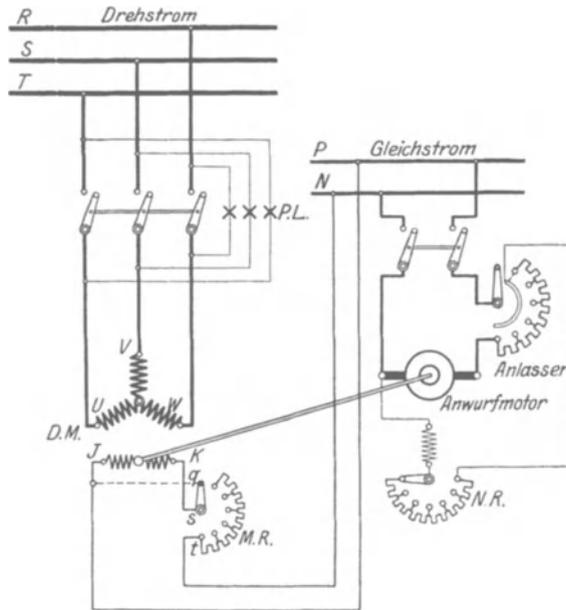


Abb. 195. Drehstrom-Synchronmotor mit Gleichstrom-Anwurfmotor.

110. Drehstromseitiges Anlassen des Synchronmotors.

In neuerer Zeit wird bei Drehstrom-Synchronmotoren mehr und mehr 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 kurz zu schließen.

Das grundlegende Schaltungsschema für einen von der Wechselstromseite aus anzulassenden Synchronmotor ist in Abb. 196 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 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

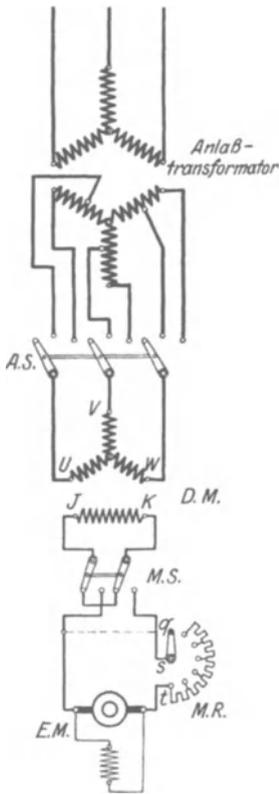


Abb. 196. Drehstrom-Synchronmotor mit Anlaßtransformator.

die Wicklung eines Kurzschlußläufers (vgl. Abschn. 113) wirkt. Ist die synchrone Drehzahl nahezu erreicht, so schnappt der Motor, infolge der in ihm wirksamen synchronisierenden Kraft (vgl. Abschn. 77a, 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.

111. 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 Läuferwicklung eines asynchronen Drehstrommotors wirkt und wie beim Schleifringläufer (s. Abschn. 120) über drei Schleifringe

¹ Bichteler, Ein neuer Synchronmotor für Anlauf mit großem Moment. SZ 1923, 133.

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 Schema 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.

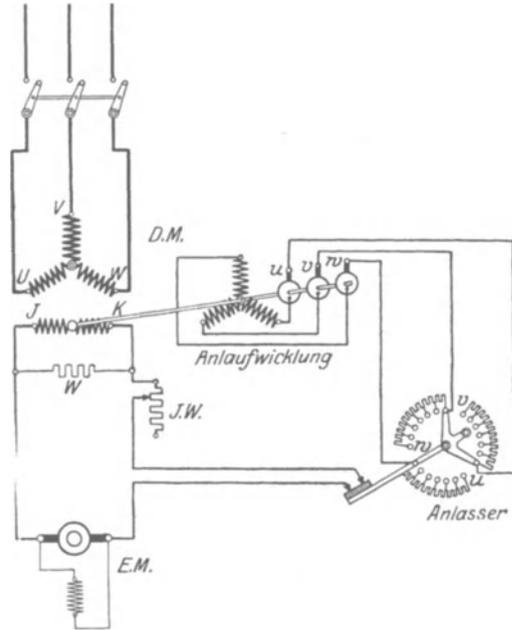


Abb. 197. Selbstanlaufender Drehstrom-Synchronmotor.

B. Induktionsmotoren für Drehstrom.

(Asynchronmotoren.)

112. 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.

113. Der Drehstrommotor mit Kurzschlußläufer.

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

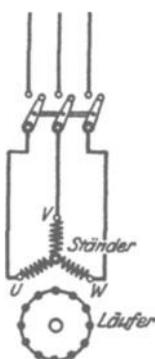


Abb. 198. Drehstrommotor mit Käfigläufer.

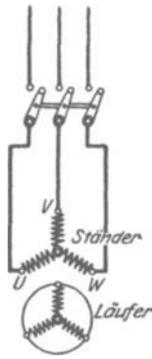


Abb. 199. Drehstrommotor mit Phasenläufer.

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 Kupferringe miteinander verbunden, Abb. 198. Oder der Läufer erhält eine Phasenwicklung, Abb. 199.

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 werden daher namentlich für kleinere Leistungen angewendet, für größere Leistungen nur dann, wenn der hohe Anlaufstromstoß in Kauf genommen werden kann.

Durch neuere Bauweisen des Motors (Motor mit Wirbelstromläufer, Doppelnutmotor usw.) hat man zwar eine erhebliche Herabsetzung des Anlaufstroms erreicht, doch ist er immer noch zwei- bis dreimal so groß wie der normale Strom.

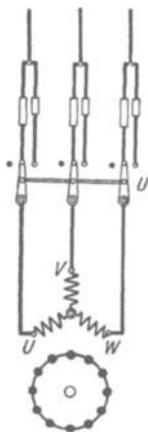


Abb. 200. Drehstrommotor mit umschaltbaren Sicherungen.

114. 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, ge-

mäß Abb. 200, mit einem dreipoligen Umschalter U vorgenommen derart, daß zunächst die Sicherungen für die größere Stromstärke dem Motor vorgeschaltet werden, dann aber, nachdem der Anlaßstromstoß abgeklungen ist, für die normale Betriebsstromstärke gesichert wird. Als Umschalter ist möglichst ein solcher ohne Stromunterbrechung zu verwenden.

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

115. 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. 201 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 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.

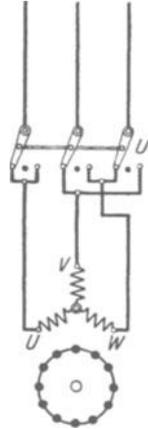


Abb. 201. Drehstrommotor mit Steuerschalter.

116. Der Kurzschlußläufermotor mit Anlasser.

Um den Stromstoß beim Anlauf des Motors herabzusetzen, können vor die einzelnen Phasen des Ständers

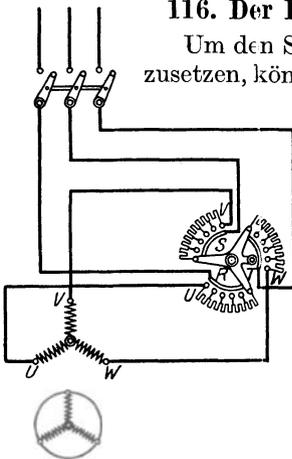


Abb. 202. Drehstrommotor mit Anlasser vor dem Ständer.

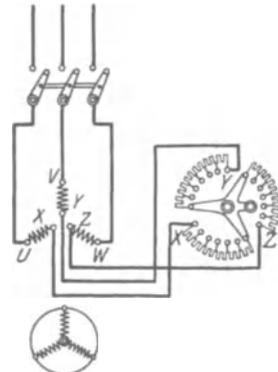


Abb. 203. Drehstrommotor mit Anlasser hinter dem Ständer.

Anlaßwiderstände 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 Schema eines Drehstrommotors mit Ständeranlasser zeigt Abb. 202. 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. 203 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 Nullpunkt der Wicklung herstellen.

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

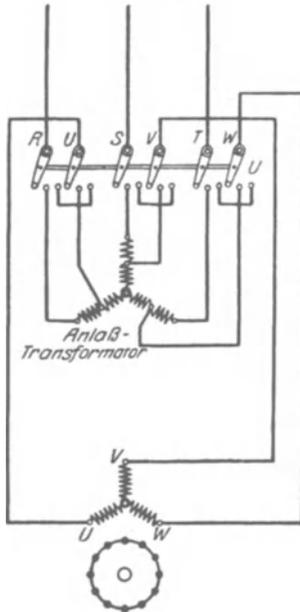


Abb. 204. Drehstrommotor mit Anlaßtransformator.

117. Der Kurzschlußläufermotor mit Anlaßtransformator.

Anstatt die dem Motor zugeführte Spannung durch Anlaßwiderstände herabzusetzen, kann man zur Erzielung eines kleinen Anlaufstromes 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. 204 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.

118. 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. 205. 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. 206 dargestellten Stern-Dreieck-Walzenschalter ist ein besonderer Netzschalter nicht erforderlich. Wie das Schema 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 Strom-

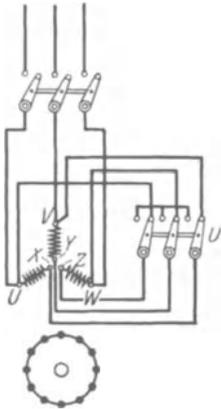


Abb. 205. Drehstrommotor mit Stern-Dreieckschalter.

stoßes 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. 207 erkennen läßt, jeder Phase des Motors, nachdem dieser, Stel-

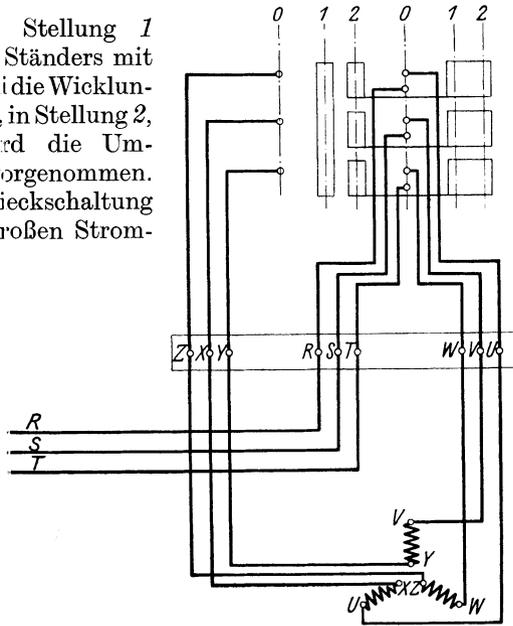


Abb. 206. Drehstrommotor mit Stern-Dreieck-Walzenschalter.

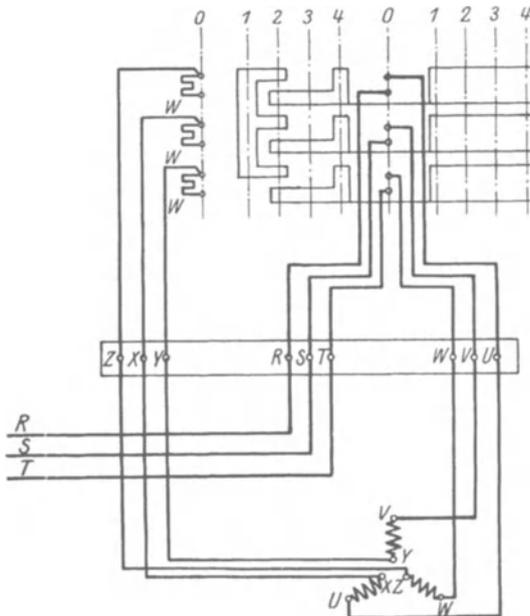


Abb. 207. Drehstrommotor mit Stern-Dreieck-Schutzschalter.

lung I 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 Betriebsschaltung des Motors erreicht ist.

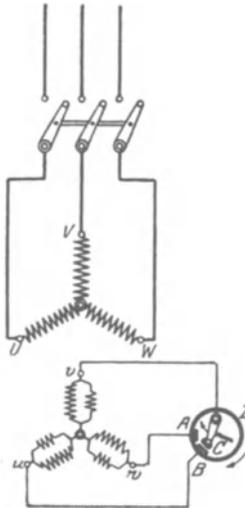


Abb. 208. Drehstrommotor mit selbsttätiger Gegenschaltung.

119. Der Motor mit selbsttätiger Gegenschaltung.

Während bei der Anwendung des Stern-Dreieckschalters die für das Anlassen erforderliche Umschaltung in der Ständerwicklung vorgenommen wird, wird bei dem von Görges angegebenen und von den SSW ausgeführten Motor mit selbsttätiger Gegenschaltung die Verminderung des Stromstoßes beim Anlaufen durch Umschalten der Läuferwicklung bewirkt. Jede Phase der Läuferwicklung besteht aus zwei Teilen, die zunächst gegeneinander geschaltet sind. Sobald jedoch der Läufer eine bestimmte Geschwindigkeit erreicht hat, werden alle Teile seiner Wicklung durch einen auf die Motorachse gesetzten Zentrifugalschalter kurzgeschlossen.

Abb. 208 stellt eine Ausführung des Motors mit Gegenschaltung schematisch dar. Z ist der Zentrifugalapparat. Das Kurzschließen der Läuferwicklung tritt ein, wenn bei zunehmender Geschwindigkeit die Kontakte A und B durch den Zentrifugalschalter C überbrückt werden.

120. Der Drehstrommotor mit Schleifringläufer.

Das gebräuchlichste Anlaßverfahren für Drehstrommotoren besteht in der Einschaltung von Widerständen vor den Läufer.

In Abb. 209 ist, der normalen Ausführung entsprechend, angenommen, daß die Läuferwicklung dreiphasig ausgeführt ist. Die freien Enden der in Stern verketteten Wicklungsteile sind an Schleifringe angeschlossen, die auf die Welle des Läufers gesetzt und über Bürsten u, v, w mit den gleicherweise bezeichneten Klemmen des dreiteiligen Anlaßwiderstandes verbunden sind. Um kurze Verbindungsleitungen zwischen Motor und Anlasser zu erhalten, ist letzterer möglichst nahe am Motor aufzustellen. Wie das Schema erkennen läßt, liegen zwischen je zwei Läuferbürsten zwei Teile des Anlaßwiderstandes. Beim Drehen der Kurbel in Richtung nach den Kurzschlußkontakten werden die einzelnen Stufen nacheinander abgeschaltet, bis der Anlasser und damit auch der Läufer kurzgeschlossen ist. Im normalen Betriebe verhält sich der Motor wie ein solcher mit Kurzschlußläufer.

In Abb. 210 ist das Schaltungsschema für einen Drehstrommotor mit Schleifringläufer und Flüssigkeitsanlasser dargestellt (vgl. Abb. 109).

Häufig wird bei den Motoren eine Vorrichtung angebracht, durch welche die Schleifringe, nachdem der Anlauf bewirkt ist, unter sich

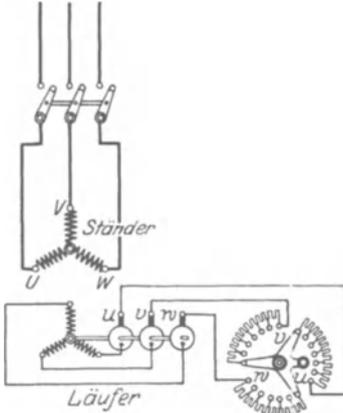


Abb. 209. Drehstrommotor mit Schleifringläufer und Anlasser.

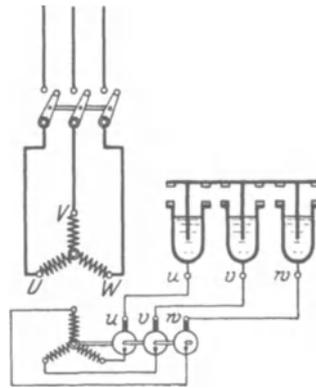


Abb. 210. Drehstrommotor mit Schleifringläufer und Flüssigkeitsanlasser.

kurzgeschlossen werden, so daß alsdann die Bürsten abgehoben werden können: Bürstenabhebevorrichtung.

121. Der Drehstrommotor mit Anlasser in Kahlenbergschaltung.

Die von Kahlenberg angegebene Anordnung gibt die Möglichkeit, bei einem Drehstrommotor mit Schleifringläufer eine große Zahl von Anlaßstufen bei einer verhältnismäßig geringen Zahl von Kontakten am Anlasser zu erhalten. Die Schaltung geht aus Abb. 211 hervor, sie hat der in Abschn. 57 besprochenen Schaltung für Anlasser von Gleichstrommotoren als Vorbild gedient. Die Widerstände der drei Phasen sind gewissermaßen ineinander geschachtelt. 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 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

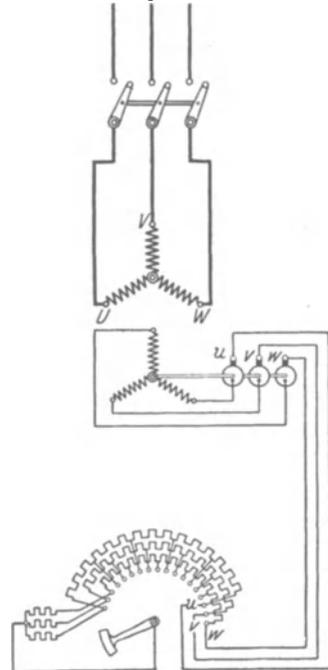


Abb. 211. Drehstrommotor mit Schleifringläufer und Kahlenberg-Anlasser.

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.

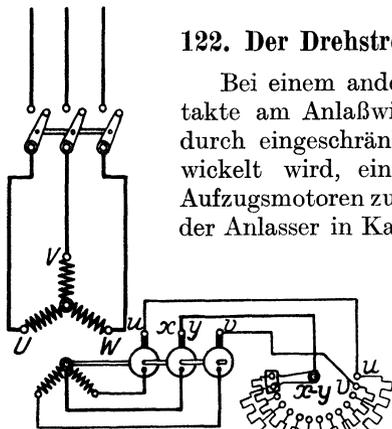


Abb. 212. Drehstrommotor mit zweiphasigem Läufer.

122. 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. 212 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.

123. Regulierung der Drehzahl.

Eine gleichmäßige Geschwindigkeitsregelung läßt sich nur bei den Drehstrommotoren mit Schleifringläufer, und zwar 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 Läuferenergie vernichtet, 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.

124. Wendeanlasser.

Die Umlaufrichtung eines Drehstrommotors kann, wie bereits in Abschn. 115 erörtert wurde, durch Auswechseln des Anschlusses von irgend zwei der drei Zuführungsleitungen geändert werden.

Das Schema eines Wendeanlassers für einen Drehstrommotor mit Schleifringläufer ist in Abb. 213 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 be-

wirkt, 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.

125. Schaltwalzenanlasser.

Wie für Gleichstrommotoren (vgl. Abschn. 60), so werden auch für Drehstrommotoren vielfach Walzenanlasser den Flachbahnanlassern vorgezogen. Einen Schaltwalzenanlasser einfachster Art für einen Drehstrommotor mit Schleifringläufer (nach F. Klöckner, Köln) zeigt Abb. 214. 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 Schema Abb. 209). 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.

In Abb. 215 ist das Schema einer 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

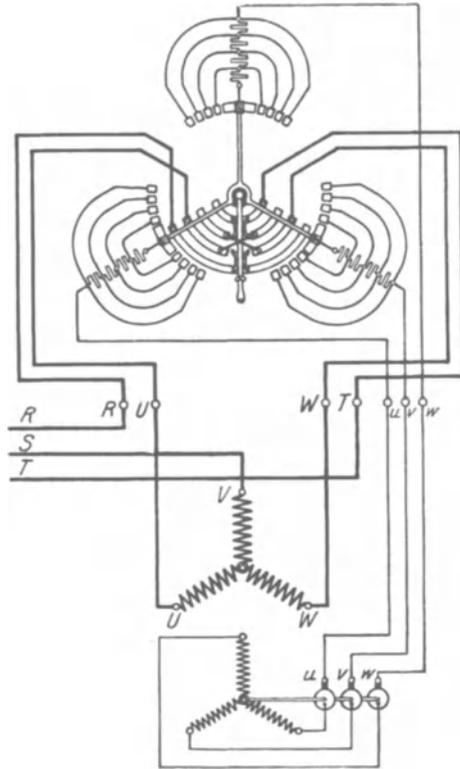


Abb. 213. Drehstrommotor mit Wendeanlasser.

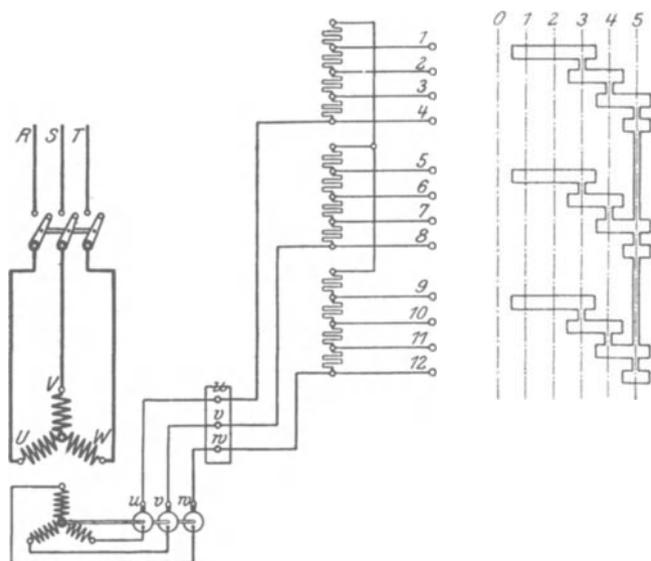


Abb. 214. Schaltwalzenanlasser für einen Drehstrommotor ohne Netzabschaltung.

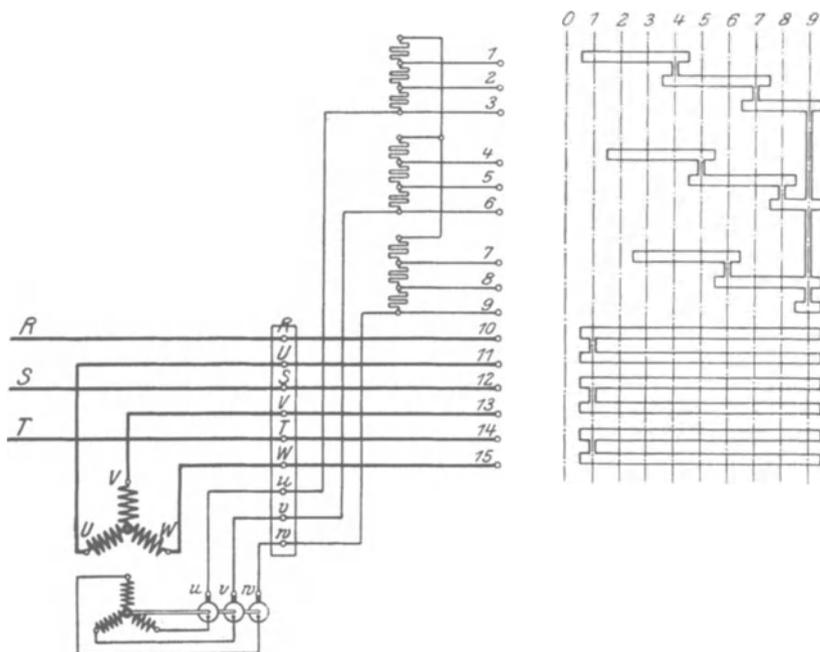


Abb. 215. Schaltwalzenanlasser für einen Drehstrommotor mit Netzabschaltung.

die Abschaltung der Widerstandsstufen vorgenommen, jedoch, im Gegensatz zum vorigen Schema, nicht gleichzeitig in allen drei Phasen, sondern, der Kahlenbergschaltung entsprechend, nacheinander. In

Stellung 2 wird vom oberen und mittleren Widerstandsteil je eine Stufe abgetrennt, 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.

126. Steuerwalzen.

Das Schaltbild für eine Drehstromsteuerwalze zeigt Abb. 216. 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.

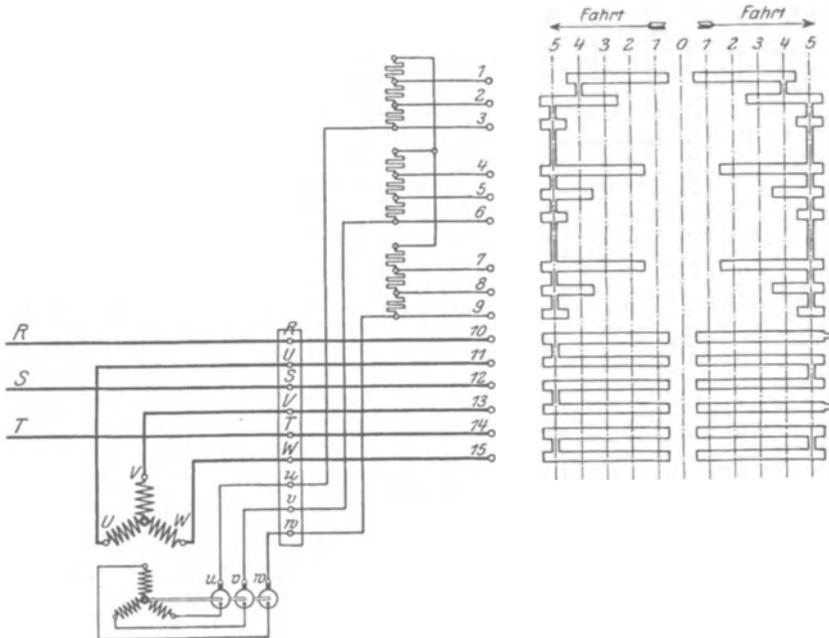


Abb. 216. Steuerwalze für einen Drehstrommotor.

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-schaltungen, 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.

127. 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.

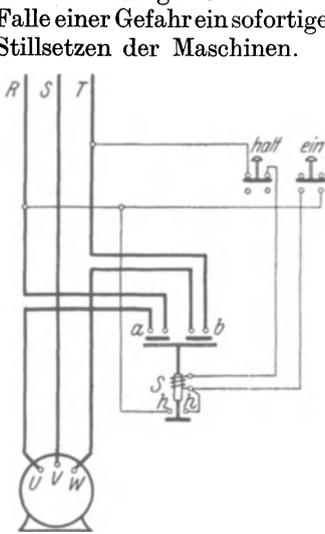


Abb. 217. Drehstrommotor mit Druckknopfsteuerung.

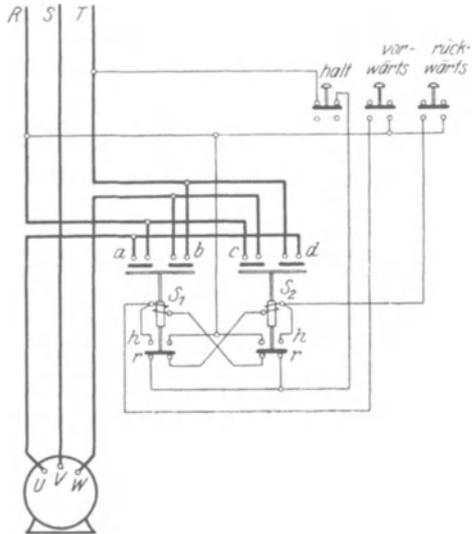


Abb. 218. Drehstrommotor mit Druckknopfsteuerung für beide Drehrichtungen.

In Abb. 217 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.

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

Die in Abb. 218 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.

128. Schützenselbstanlasser.

Ein Beispiel für die Selbstanlaßschaltung eines Drehstrommotors mit Schleifringläufer ist in Abb. 219 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 Anlaßschütze — es sind entsprechend den für jede Phase vorgesehenen drei Widerstandsstufen auch drei Schütze vorhanden — nacheinander zu bestätigen. Infolge des beim Einschalten des Motors auftretenden Stromstoßes wird der Anker des Stromwächters, ehe noch die Anlaßschütze zur Wirkung kommen können, gehoben, aber unmittelbar darauf,

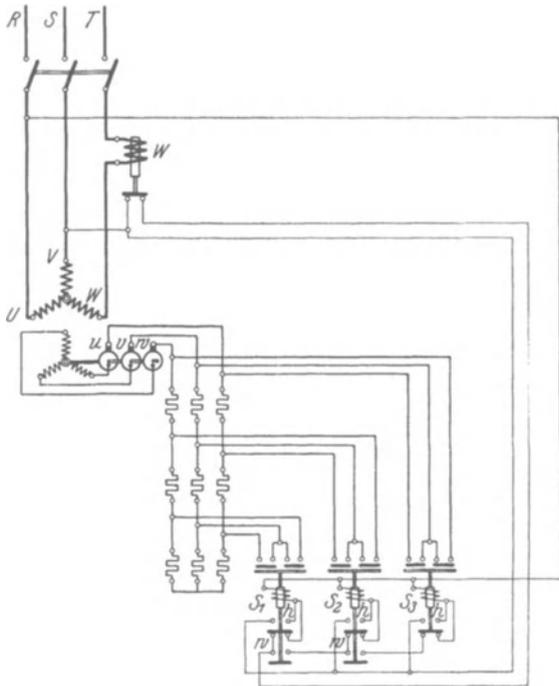


Abb. 219. Drehstrommotor mit Schleifringläufer und Schützenselbstanlasser.

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

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

129. Drehstrommotoren im Anschluß an ein Niederspannungsnetz.

In Abb. 220 ist der Schaltplan für eine Motorenanschlußanlage gegeben. Die beiden Drehstrommotoren $D.M.$ sind an die Verteilungsschienen R, S, T angeschlossen.

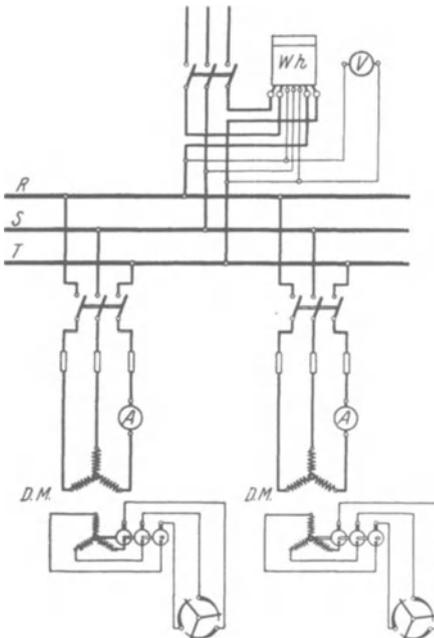


Abb. 220. Anschluß von Drehstrommotoren an ein Niederspannungsnetz.

Die Zuführungsleitung enthält einen dreipoligen Hauptschalter. Zur Spannungskontrolle dient der Spannungsmesser V . Der in die Leitung eingebaute Wattstundenzähler Wh 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 A .

Es empfiehlt sich, Schalter, Sicherungen und Meßinstrumente mit den Verteilungsschienen auf einer gemeinsamen Motorenschalttafel zu vereinigen. Die Anlasser sind in möglicher 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 Spannungsrückgangsauslösung ausgestattet sind, welche letztere auch dann wirkt, wenn der Strom nur einer Phase ausbleibt.

130. 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 Meßinstrumente werden über Strom- und Spannungswandler angeschlossen; Trennschalter sind anzuordnen, um die einzelnen Teile spannungslos machen zu können; zum Ein- und Ausschalten der Motoren werden Ölschalter verwendet. Bei der in Schaltbild Abb. 221 wiedergegebenen Anlage sind Schutzschalter angewendet, welche bei größeren Motoren den einfachen Ölschaltern häufig vorgezogen werden. Sie besitzen eine selbsttätige Überstromauslösung und außerdem, um die Motoren beim Ausbleiben der Spannung vom Netz zu trennen, eine Spannungsrückgangsauslösung (vgl. Abb. 20).

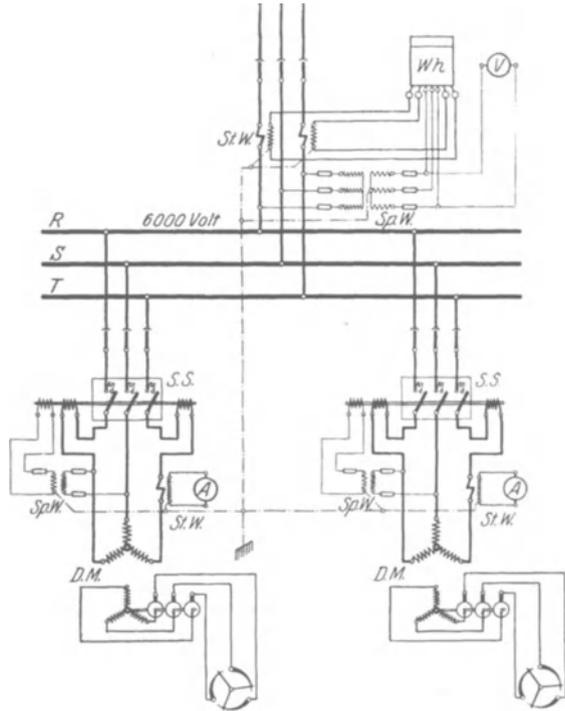


Abb. 221. Anschluß von Drehstrommotoren an ein Hochspannungsnetz.

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

C. Drehstrom-Induktionsmotoren mit Phasenkompensierung.

131. 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 ein-

tritt, 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 den für die Magnetisierung erforderlichen Erregerstrom liefert, so daß er nicht dem Netz entnommen zu werden braucht. Doch kann die für die Kompensierung erforderliche Einrichtung, namentlich bei kleineren und mittleren Leistungen, auch organisch mit dem Motor verbunden werden. Da die Phasenkompensierung stets am sekundären Teil des Motors vorgenommen wird, im allgemeinen also vom Läufer aus geschieht, so setzt die Anwendung eines getrennten Kompensators einen Schleifringläufer voraus.

132. Der Vibrator von Kapp.

Der zur Phasenkompensation dienende Kappsche Vibrator¹ besteht aus einem festen, durch Gleichstrom erregten Magnetgestell,

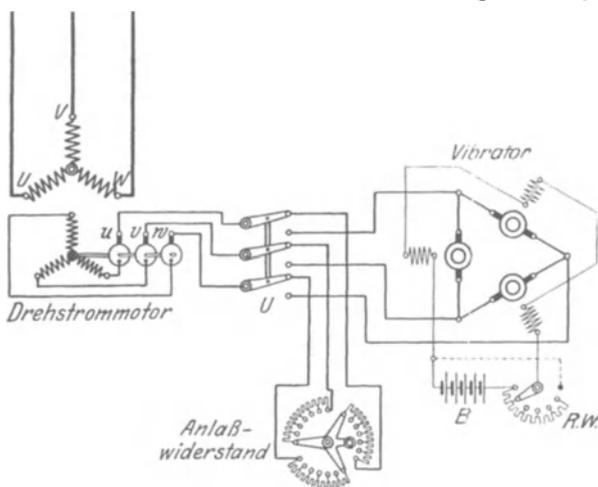


Abb. 222. Drehstrommotor mit Vibrator.

innerhalb dessen drei Gleichstromanker besonderer Bauart angeordnet sind. Während des Betriebes werden die Anker über die auf den Kollektoren befindlichen Bürsten an den Läufer des zu kompensierenden Drehstrommotors angeschlossen.

In Abb. 222 ist die Schaltung schematisch dargestellt. Das Anlassen des Drehstrommotors erfolgt in normaler Weise, indem der Läufer mit dem Anlaßwiderstand verbunden wird. Nachdem die Magnetwicklung des Vibrators über einen Regulierwiderstand *R. W.* an die Erregerbatterie *B* gelegt ist, wird der Läufer durch Umlegen des dreipoligen Umschalters *U* mit dem Vibrator in Verbindung gebracht. Die Anker des

¹ Perlewitz, Der Kappsche Vibrator und seine Anwendungen. ETZ 1919, 405.

letzteren nehmen dabei eine schwingende Bewegung im Takte der Schlüpfung des Motors an, und durch die in ihnen induzierte Spannung, die dem Läufer des Motors aufgedrückt wird, wird die Phasenverschiebung bei entsprechender Erregung des Vibrators aufgehoben.

Ein Antriebsmotor für den Vibrator ist nicht erforderlich, doch muß, falls Gleichstrom sonst nicht vorhanden ist, ein Umformer für die Erregung aufgestellt werden. Die Leistung, für die der Umformer zu bemessen ist, ist im Vergleich zur Motorleistung nur gering.

133. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Eigenregung.

Die Phasenverschiebung eines Induktionsmotors kann auch, einer von Scherbius angegebenen Anordnung zufolge, durch eine kleine Drehstrom-Kollektormaschine aufgehoben werden. Der Ständer dieser Maschine, die gewöhnlich als Drehstrom-Erregermaschine¹ be-

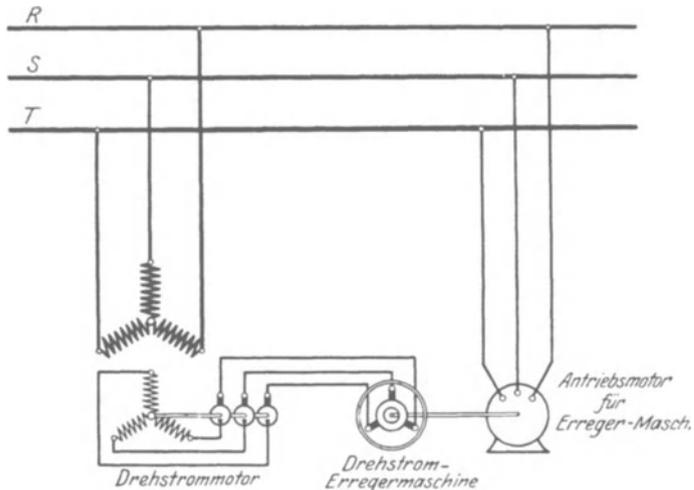


Abb. 223. Drehstrommotor mit eigenregter Erregermaschine.

zeichnet wird, 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 üblichen Weise (vgl. z. B. Abb. 235) 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. 223 ist die grundlegende Schaltung unter Fortlassung des Anlaßwiderstandes angegeben. Der Drehstrom-Induktionsmotor, dessen Leistungsfaktor verbessert werden soll, wird — nachdem er in üb-

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

licher 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.

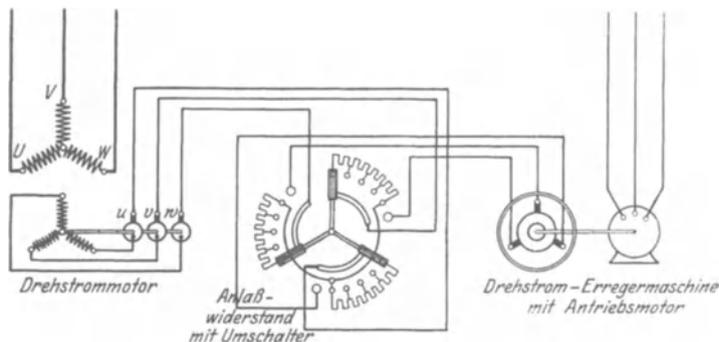


Abb. 224. Drehstrommotor mit Erregermaschine und Anlasser.

Abb. 224 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 eigenerrigten Erregermaschine kann bei Vollast eine vollkommene Kompensierung erzielt werden, doch ist sie bei geringer Last wenig wirksam.

134. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Selbsterregung.

Eine Erregermaschine, mit der sich auch bei verhältnismäßig kleinen Belastungen des Induktionsmotors der Leistungsfaktor 1 oder auch eine Phasen voreilung 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 eigenerrigten Maschine wesentlich dadurch, daß sie einen gewickelten Ständer besitzt. In der Ständerwicklung werden, vom Läufer ausgehend, Ströme induziert, die bei einem geeigneten Verhältnis ihres Ohmschen und induktiven Widerstandes eine Selbsterregung der Maschine zur Folge haben, so daß diese Strom von der Schlüpfungsfrequenz an den Läufer des Induktionsmotors abgeben kann. Die Ständerwicklung der Erregermaschine kann als Kurzschlußwicklung oder auch als Phasenwicklung, Abb. 225, ausgeführt werden. In letzterem Falle kann sie, wie es auch in der Abbildung angegeben ist, mit regelbaren Widerständen in Verbindung gebracht werden, durch welche sich der Leistungsfaktor des Induktions-

¹ DRP. 471 182.

motors während des Betriebes auf einen gewünschten Wert einstellen läßt, ein Erfolg, der gegebenenfalls aber auch durch Änderung der Drehzahl des Antriebsmotors erzielt werden kann.

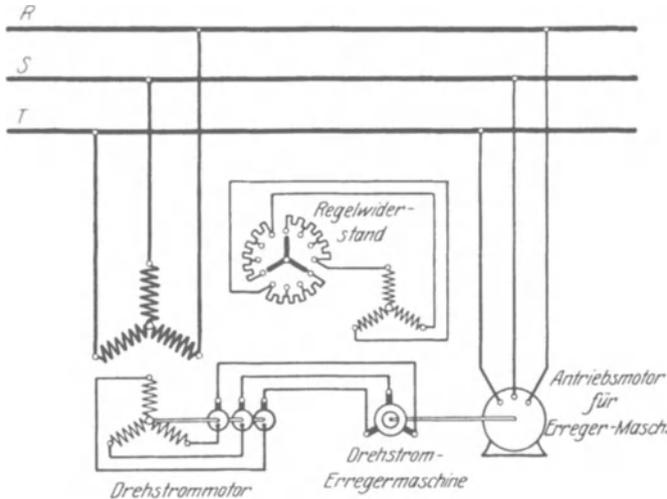


Abb. 225. Drehstrommotor mit selbsterregter Erregermaschine.

135. Die Drehstrom-Erregermaschine mit Netzerregung.

a) Frequenzwandler.

Die Phasenverschiebung eines Drehstrommotors kann auch durch eine vom Netz erregte Erregermaschine aufgehoben werden. Es ist dies in ihrer einfachsten Gestalt ein Frequenzwandler, wie er von Heyland, und zwar ursprünglich für die Drehzahlregelung eines Induktionsmotors (vgl. Abschn. 182) angegeben und von den SSW ausgebildet wurde. Der Frequenzwandler ähnelt der eigenerrigten Drehstrom-Erregermaschine, unterscheidet sich aber von ihr dadurch, daß sein Läufer außer dem Kollektor noch drei Schleifringe besitzt, die in bestimmter Weise an 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. 226 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. 289). Der Ständer des Frequenzwandlers kann zwar grundsätzlich

ohne Wicklung ausgeführt werden, doch versteht man ihn zur Erzielung funkenfreien Laufs in der Regel mit einer Wendewicklung.

Um den Leistungsfaktor des Drehstrommotors auf einen bestimmten Wert einstellen zu können, kann der Erregertransformator mit einigen

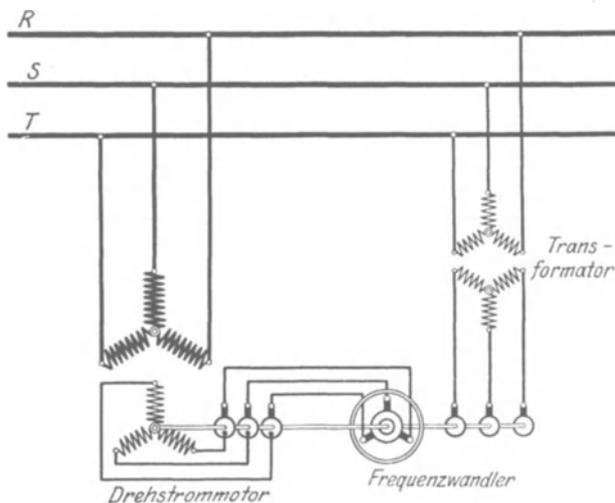


Abb. 226. Drehstrommotor mit Frequenzwandler.

Anzapfungen versehen werden, 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.

b) Erregermaschine mit Ständerwicklung.

Die Drehstrom-Erregermaschine mit Netzerregung der SSW¹ kann man sich aus dem Frequenzwandler hervorgegangen denken. Ihr Ständer besitzt jedoch wie derjenige eines normalen Drehstrom-Induktionsmotors eine dreiphasige Wicklung. Wie das Schaltbild Abb. 227 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

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

Kompensationswicklung einer Gleichstrommaschine wirkt, das Ankerfeld aufgehoben wird (s. Abschn. 32).

Die Einstellung auf den gewünschten Leistungsfaktor kann mittels einer regelbaren Kupplung (s. unter a) geschehen und wird meist so

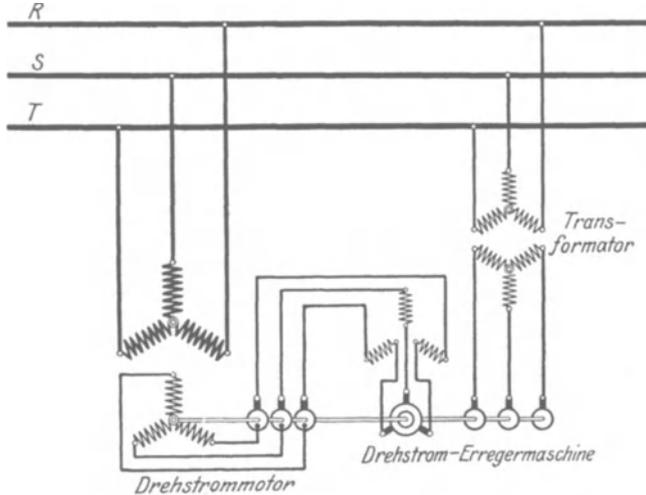


Abb. 227. Drehstrommotor mit vom Netz erregter Erregermaschine.

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 phasenverilendem 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. 108).

136. Der kompensierte Induktionsmotor.

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 verschene 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. 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.

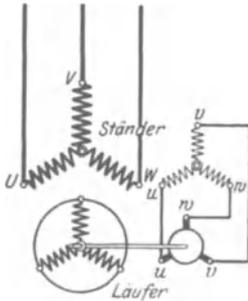


Abb. 228. Kompensierter Motor mit Ständerspeisung.

Abb. 228 zeigt das Schema des vorstehend gekennzeichneten Motors, der besonders für kleine Leistungen ausgeführt wird, unter der Annahme eines Kurzschlußläufers, und zwar nach einer Ausführung der Bergmann-EW.

b) Motor mit Läuferspeisung.

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 ein Strom induziert. Außerdem wird der

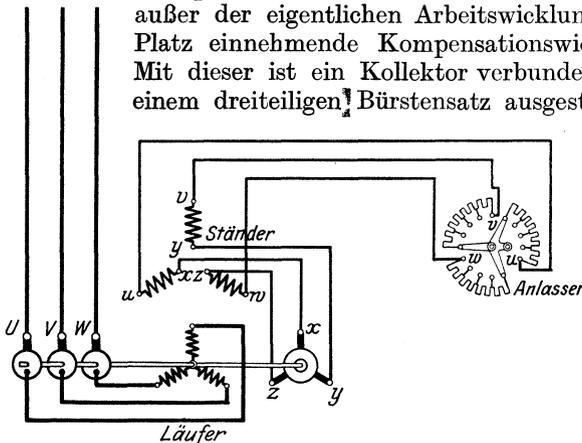


Abb. 229. Kompensierter Motor mit Läuferspeisung.

der dem Kollektor entnommene Erregerstrom aufgedrückt.

Das Schema, Abb. 229, zeigt die allgemeine Schaltung des nach vorstehenden Gesichtspunkten gebauten kompensierten Motors der Sachsenwerke¹. Der Motor arbeitet mit einem Wirkungsgrad, der dem eines normalen Motors nicht nachsteht, sein Leistungsfaktor hat jedoch bei den verschiedensten Belastungen den Wert 1. Auch kann — durch entsprechende Einstellung der Bürsten — dem Strom gegenüber der Spannung eine Phasenvoreilung erteilt werden.

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

137. Der 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. 230 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

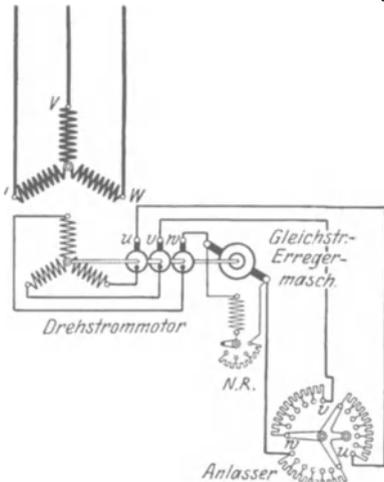


Abb. 230. Drehstrommotor mit Gleichstrom-Erregermaschine.

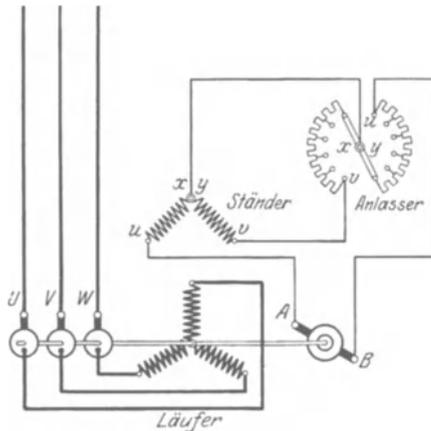


Abb. 231. Gleichstromerregter Drehstrommotor mit Läuferpeisung.

nimmt alsdann die synchrone Drehzahl an und verhält sich überhaupt wie ein 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 Läuferpeisung.

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 Wicklung. Diese steht mit einem kleinen Kollektor *AB* in Verbindung, mit dessen Hilfe — wie

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

bei einem Einankerumformer (s. Abschn. 156) — ein Teil der aufgenommenen Drehstromleistung in Gleichstrom umgewandelt wird. Der Ständer der Maschine besitzt eine zweiphasige Wicklung, welcher der Erregergleichstrom zugeführt wird, und die in der in Abb. 231 angegebenen Weise mit dem Anlasser in Verbindung steht. Die Eigenschaften des Motors sind ähnliche wie die des ständergespeisten Motors.

138. Phasenkompensierung durch Kondensatoren.

Die einfachste Möglichkeit, um die durch Induktionsmotoren — oder auf andere Weise — in einem Netz hervorgerufene Phasenverzögerung des Stromes aufzuheben, bietet die Anwendung von Kondensatoren. Das Mittel ist längst bekannt, hat sich aber erst in den letzten Jahren in größerem Umfange eingeführt, nachdem es

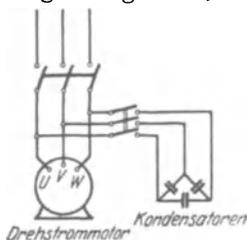


Abb. 232. Drehstrommotor mit Kondensatorenbatterie.

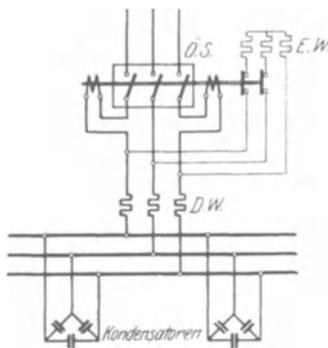


Abb. 233. Kondensatoren mit Anschlußleitung für ein Hochspannungsnetz.

gelungen ist, brauchbare Kondensatoren preiswert herzustellen. Abb. 232 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 „Gruppenverbesserung“ des Leistungsfaktors — nach einer Ausführung der SSW — soll durch die Abb. 233 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 Ölschalters selbsttätig eingeschaltet werden. *D.W.* sind Dämpfungswiderstände.

D. Induktionsmotoren für Einphasenstrom.

(Asynchronmotoren.)

139. Schaltung und Eigenschaften der Motoren.

Der Ständer des einphasigen Induktionsmotors ist von der gleichen Bauart wie der des Drehstrommotors, doch besitzt er nach

Abb. 234 nur eine einphasige Arbeitswicklung UV , außerdem aber eine gegen diese um den Abstand zweier Pole versetzte Hilfswicklung WZ . Letztere ist nur für den Anlauf erforderlich, und sie wird daher nach dem Anlassen ausgeschaltet. Mittels der Drosselspule D wird dem Strom der Hilfswicklung eine Phasenverschiebung gegenüber dem Hauptstrom, von dem er abzweigt, erteilt. Durch 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 im Schema angenommen, dreiphasig ausgeführt. Um den Motor umzusteuern, sind die Enden der Hilfswicklung hinsichtlich ihrer Verbindung mit dem Netze zu vertauschen.

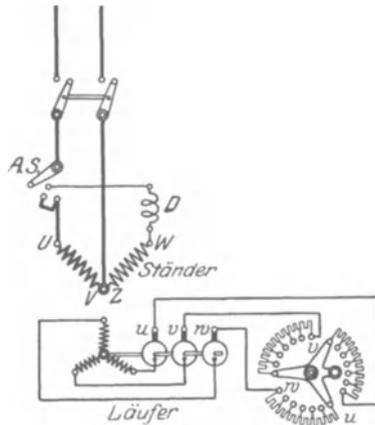


Abb. 234. Einphasenmotor mit Hilfswicklung.

Die Anzugskraft des Einphasen-Induktionsmotors ist gering, und er findet daher nur eine beschränkte Verwendung.

E. Kollektormotoren für Drehstrom.

140. Allgemeines.

Daß sich die Umlaufzahl des Drehstrom-Induktionsmotors nicht in einfacher und wirtschaftlicher Weise regeln läßt, wie es z. B. beim Gleichstrom-Nebenschlußmotor möglich ist, ist seiner Verwendung häufig hinderlich. Für Antriebe, bei denen eine Geschwindigkeitsregelung erforderlich ist, kann nun mit Vorteil der Drehstrom-Kollektormotor angewendet werden. Dieser besteht aus einem Ständer nach Art desjenigen eines Induktionsmotors und einem Läufer nach Art eines Gleichstromankers. Der Ständer besitzt eine normale dreiphasige Wicklung. Auf dem Kollektor des Läufers sind drei Reihen Bürsten, auf das Polpaar bezogen, angeordnet, die gleichmäßig gegeneinander versetzt sind, bei einer zweipoligen Maschine also um 120° . Motoren dieser Art arbeiten im allgemeinen mit dem Leistungsfaktor 1.

141. Der Hauptschlußkollektormotor.

a) Motor mit einfachem Bürstensatz.

Beim Hauptschlußkollektormotor sind Ständerwicklung und Läufer hintereinander geschaltet. Abb. 235 zeigt das Schema eines derartigen Motors. 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 bewirkt¹. 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.

Der Hauptschlußkollektormotor für Drehstrom zeigt das charakteristische Verhalten des Gleichstrom-Hauptschlußmotors: seine Drehzahl nimmt bei zunehmender Belastung stark ab, bei Leerlauf geht der

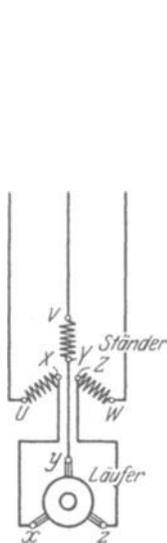


Abb. 235. Drehstrom-Hauptschlußkollektormotor.

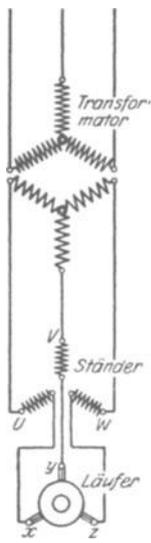


Abb. 236. Hauptschlußkollektormotor mit Vordertransformator.

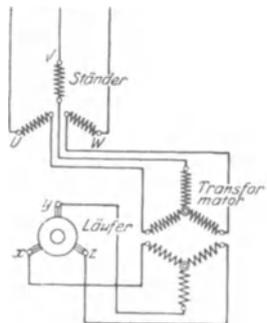


Abb. 237. Hauptschlußkollektormotor mit Zwischentransformator.

Motor durch. 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. 236 ist das Schema des Motors mit einem ihm vorgeschalteten Transformator: Vordertransformator, in Abb. 237 das Schema 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

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

Geschwindigkeiten zu erhalten, sind die Wicklungen des Transformators über den Verkettungspunkt der Phasen hinaus verlängert.

Ein besonderer Transformator ist entbehrlich, wenn der Ständerwicklung selbst die Rolle des Reguliertransformators zugewiesen, sie also mit einer Anzahl Anzapfungen versehen wird, Abb. 241. Zum Anlassen und zum Einstellen der verschiedenen Geschwindigkeiten bedient man sich zweckmäßigerweise einer Schaltwalze.

b) Motor mit Läuferpeisung.

Ein anderer Motor mit Nebenschlußcharakter, d. h. mit einer bei wechselnder Belastung annähernd gleichbleibenden Geschwindigkeit wird von den SSW gebaut, Abb. 242. Der Netzstrom wird über die Schleifringe U_1, V_1, W_1 dem Läufer zugeführt, der noch eine zweite Wicklung trägt, die mit einem Kollektor in Verbindung steht. Der Kollektor ist

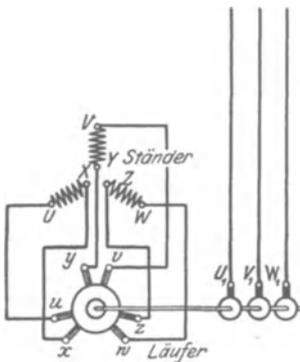


Abb. 242. Nebenschlußkollektormotor mit Läuferpeisung.

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 Schema 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 Bürstensäts im Sinne der Drehrichtung voraus, so läuft der Motor übersynchron, ist der andere Bürstensäts voraus, so läuft er untersynchron. Bei jeder Bürstenstellung erhält man eine bestimmte, mit der Belastung nur wenig abnehmende Drehzahl.

Auch das Anlassen des Motors geschieht durch Verändern der Bürstenstellung. Dabei ist, ehe der Haupthebel eingelegt wird, auf die niedrigste Geschwindigkeit einzustellen. Bei größeren Motoren wird zur Verminderung des Anlaufstromes zwischen Ständer und Läufer ein Anlaufwiderstand gelegt. Das Umsteuern des Motors wird durch Vertauschen zweier Zuleitungen bewirkt.

Mit dem Motor läßt sich ein Regelbereich von 1:5 erreichen, das durch eine den SSW patentierte Umschaltung der Ständerwicklung bis auf 1:10 ausgedehnt werden kann.

c) Motor mit Ständerspeisung und Drehtransformator.

Ein neuerdings von der AEG entwickelter Drehstrom-Kollektormotor mit Nebenschlußcharakter¹, Abb. 243, besitzt Ständerspeisung. Doch ist auf dem Ständer außer der Hauptwicklung UVW noch eine Hilfswicklung uvw untergebracht, die in den gleichen Nuten wie die Hauptwicklung liegt. Die in der Hilfswicklung induzierte Spannung wird über den Ständer eines Drehtransformators (s. Abschn. 106), dem Läufer des Motors zugeführt. Die Läuferwicklung (Erregerwicklung) des Drehtransformators 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

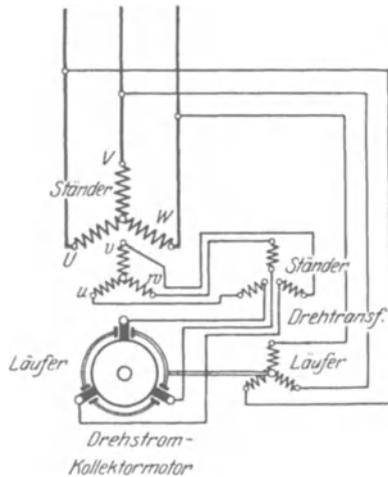


Abb. 243. Nebenschlußkollektormotor mit Drehtransformator.

¹ Rosenthal, Stufenlos regelbare Drehstrom-Nebenschlußmotoren. AEG-Mitt. 1929, 327 — Drehstrom-Kommutatormotoren in der Papierindustrie. AEG-Mitt. 1929, 864.

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) eine stufenlose Änderung der Drehzahl erzielen.

143. Drehstrom-Kollektormotor im Anschluß an ein Hochspannungsnetz.

Die Verbindung eines Hauptschlußkollektormotors mit einem Drehstrom-Hochspannungsnetz zeigt das Schema Abb. 244. Durch

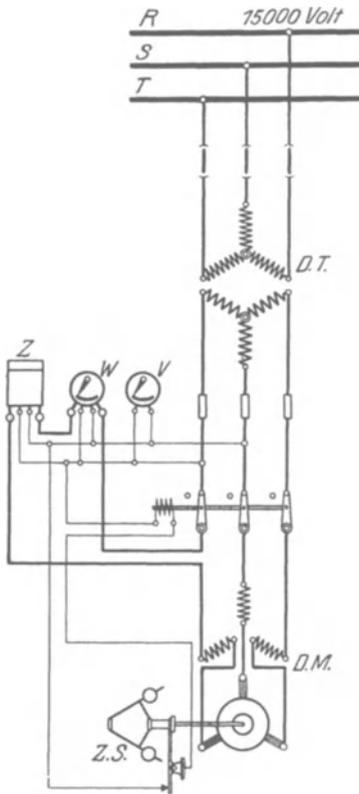


Abb. 244. Drehstrom-Kollektormotor im Anschluß an ein Hochspannungsnetz.

einen (Vorder-)Transformator *D. T.* wird eine für den Kollektor zulässige Niederspannung hergestellt, die über Sicherungen und einen dreipoligen Schalter mit selbsttätiger Spannungsrückgangsauslösung 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.

F. Kollektormotoren für Einphasenstrom.

144. Allgemeines.

Auch bei den Einphasen-Kollektormotoren ist der Läufer wie ein Gleichstromanker ausgeführt. Er besitzt im allgemeinen zwei Reihen Bürsten je Polpaar, wie eine Gleichstrommaschine. Das Hauptanwendungsgebiet der Motoren ist der elektrische Vollbahnbetrieb, doch bieten sie auch in manchen anderen Fällen Nutzen. Für ihre wichtigsten Ausführungsarten ist nachfolgend die Schaltung angegeben.

145. Der Hauptschlußkollektormotor.

Die Schaltung des Hauptschlußkollektormotors für Einphasenstrom, Abb. 245, entspricht der des Hauptschlußmotors für

Gleichstrom. In der Ausführung unterscheidet er sich von diesem in der Regel dadurch, daß er keine ausgeprägten Polansätze besitzt; die Magnetwicklung EF wird 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. 32). Das Anlassen des Motors und die Regelung seiner Drehzahl geschieht mit Hilfe eines vor den Motor gelegten Reguliertransformators, Abb. 246. Über die Abhängigkeit der Drehzahl von der Belastung gilt dasselbe wie für den Gleichstrom-Hauptschlußmotor.

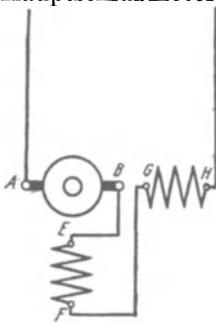


Abb. 245. Einphasen-Hauptschlußkollektormotor.

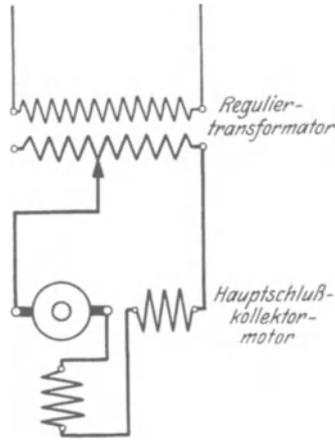


Abb. 246. Hauptschlußkollektormotor mit Reguliertransformator.

146. Der Kurzschlußkollektormotor.

Bei einem anderen Kollektormotor für Einphasenstrom, dem Kurzschlußkollektormotor, wird der Wechselstrom lediglich der Ständerwicklung EF , Abb. 247, zugeführt. In der Läuferwicklung wird dagegen ein Strom induziert. 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 Bürsten. Der Kurzschlußkollektormotor besitzt ebenfalls Hauptschlußcharakter: seine Drehzahl geht bei abnehmender Belastung stark in die Höhe.

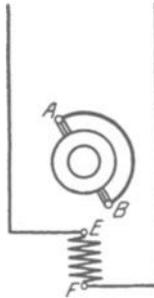


Abb. 247. Einphasen-Kurzschlußkollektormotor.

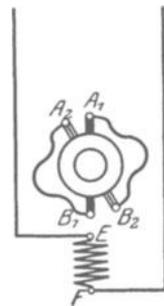


Abb. 248. Kurzschlußkollektormotor mit festen und beweglichen Bürsten.

Die Firma BBC verwendet für ihren Kurzschlußmotor einen festen Bürstensatz A_1B_1 und einen beweglichen Bürstensatz A_2B_2 , Abb. 248,

eine Anordnung, die zuerst von Déri angegeben wurde und eine sehr feine Regelung der Drehzahl ermöglicht.

147. Der Hauptschluß-Kurzschlußkollektormotor.

In einem von Winter und Eichberg erfundenen Motor finden sich gewissermaßen der Hauptschluß- und der Kurzschlußkollektormotor vereinigt, Abb. 249. Der Läufer erhält, wieder einen zweipoligen Motor vorausgesetzt, zwei feststehende Bürstensätze, die Bürsten des einen Satzes, A_k und B_k , sind kurzgeschlossen. Das Anlassen und Regeln des Motors erfolgt durch einen Reguliertransformator, an dem die dem Läufer über die Bürsten A und B zugeführte Spannung eingestellt werden kann.

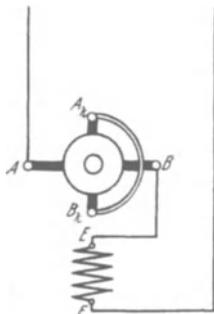


Abb. 249. Einphasen-Hauptschluß-Kurzschlußkollektormotor.

IX. Umformeranlagen.

148. 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 können Umformer verschiedener Art oder auch Gleichrichter verwendet werden.

Die Mehrzahl der Umformer läßt sich auch in der umgekehrten Weise, d. h. zur Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom benutzen, doch kommt dieser Fall verhältnismäßig selten vor, und er ist daher im nachfolgenden nicht berücksichtigt.

A. Synchrone Motorgeneratoren.

149. Gleichstromseitiges Anlassen des Motorgenerators.

Die Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom kann in Motorgeneratoren vorgenommen werden, die aus einem Wechselstrommotor und einem mit ihm gekuppelten 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 Umlaufzahl 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. 108). 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. 250 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

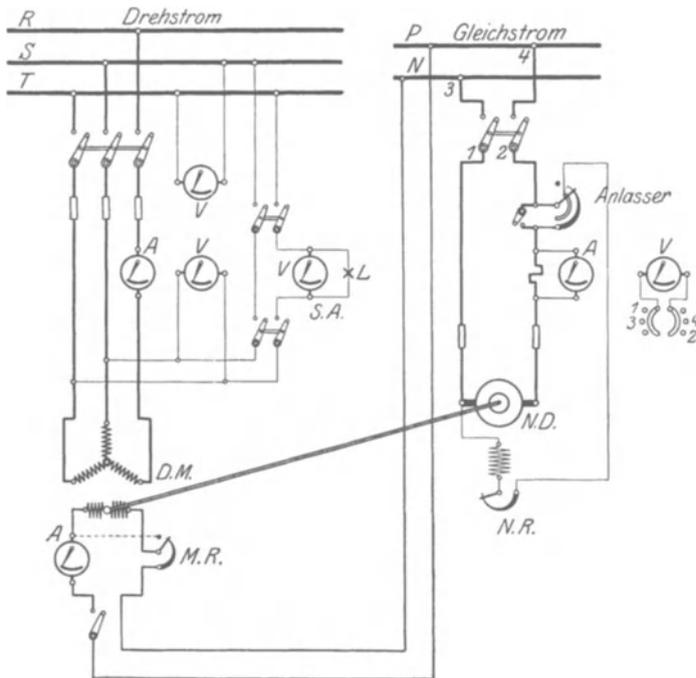


Abb. 250. Synchroner Motorgenerator mit Gleichstromanlasser.

Motorspannung vorgesehen. Der aus Phasenlampe und Phasenvoltmeter bestehende Synchronismusanzeiger kann mittels kleiner Schalter einerseits an eine Phase des Drehstrommotors und andererseits an die entsprechende Phase der Schienen 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,

formator angeschlossen ist, bei größeren Leistungen aber auch hochspannungsseitig betrieben werden kann. Er ist für die im Vergleich zum Synchronmotor nächst niedrige Polzahl zu bauen, damit seine Drehzahl etwas höher ausfällt. Durch den für Dauerbelastung bemessenen Anlaßwiderstand wird sie alsdann so weit herunterreguliert, daß der Synchronismus 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.

151. 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. 252 zur Darstellung gebracht. Der Synchronmotor ist, wie in Abschn. 110 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 Ölschalter geschlossen ist, vorzunehmenden Handgriffe sind an erwähnter Stelle eingehend geschildert worden;

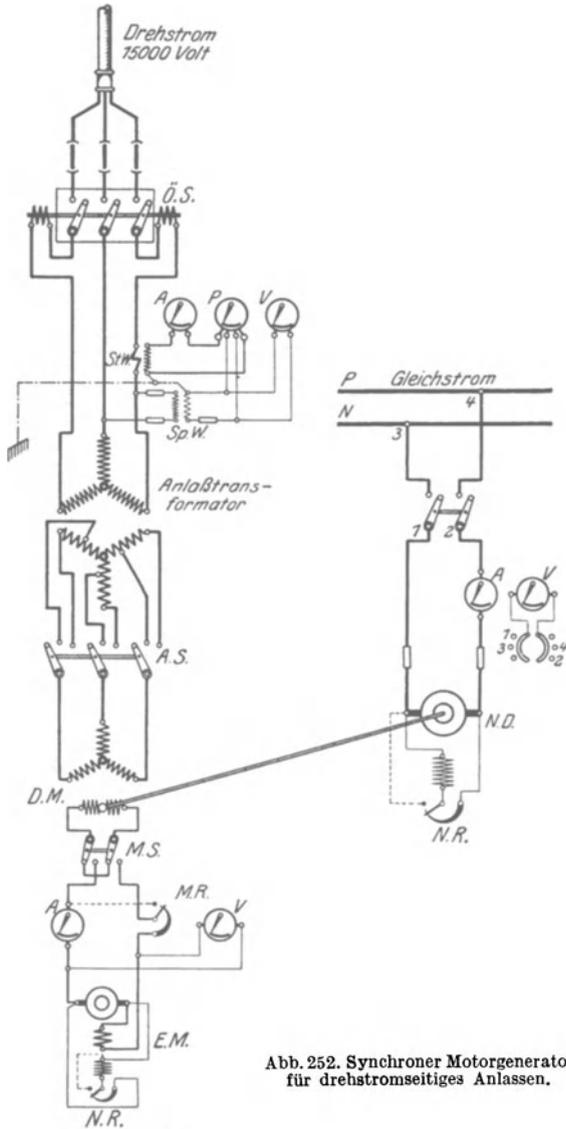


Abb. 252. Synchroner Motorgenerator für drehstromseitiges Anlassen.

B. Asynchrone Motorgeneratoren.

152. Motorgenerator 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, bei dem das Anlassen in einfachster Weise vorgenommen werden kann.

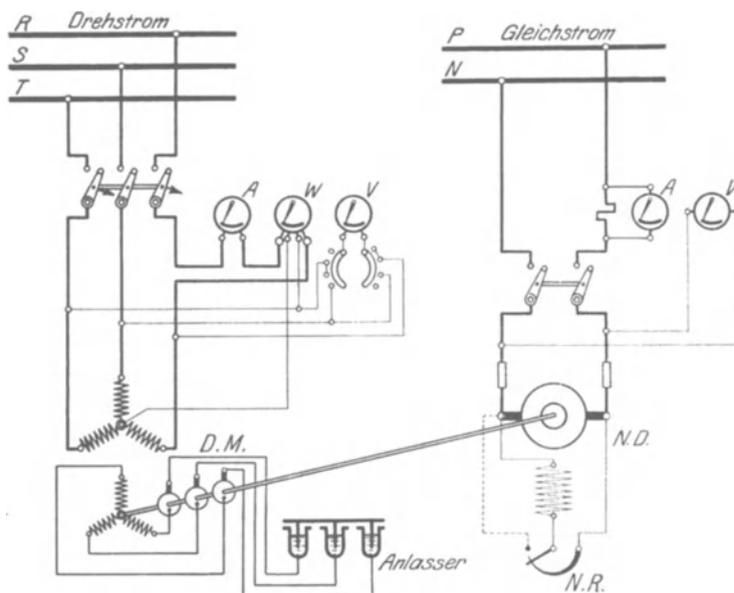


Abb. 253. Asynchroner Motorgenerator für Niederspannung.

Das Schaltbild einer Anlage mit einem asynchronen Motorgenerator gibt Abb. 253 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 gebaut. Zur Feststellung der drehstromseitig aufgenommenen Leistung ist ein Wattmeter eingebaut (Schaltung nach Abschn. 23 b, erster Absatz); Ampere- und Voltmeter geben Einblick in die Strom- und Spannungsverhältnisse, letzteres kann mittels eines Umschalters an die verschiedenen Phasen gelegt werden. Die Gleichstromseite enthält an Meßinstrumenten lediglich einen Strommesser und einen Spannungsmesser.

153. Motorgenerator für Hochspannung.

Der Induktionsmotor des Umformers kann, wenigstens bei größeren Leistungen, auch unmittelbar für Hochspannung eingerichtet sein (vgl. Abschn. 130). Im Schaltschema Abb. 254 wird der hochgespannte Dreh-

strom dem Motorgenerator durch ein Kabel, in bekannter Weise über Trenn- und Ölschalter, zugeführt. Der für die Relaisauslösung des letzteren benötigte Hilfsstrom wird den Sammelschienen der Gleichstromseite entnommen. Die Relais sowohl als auch alle Meßinstru-

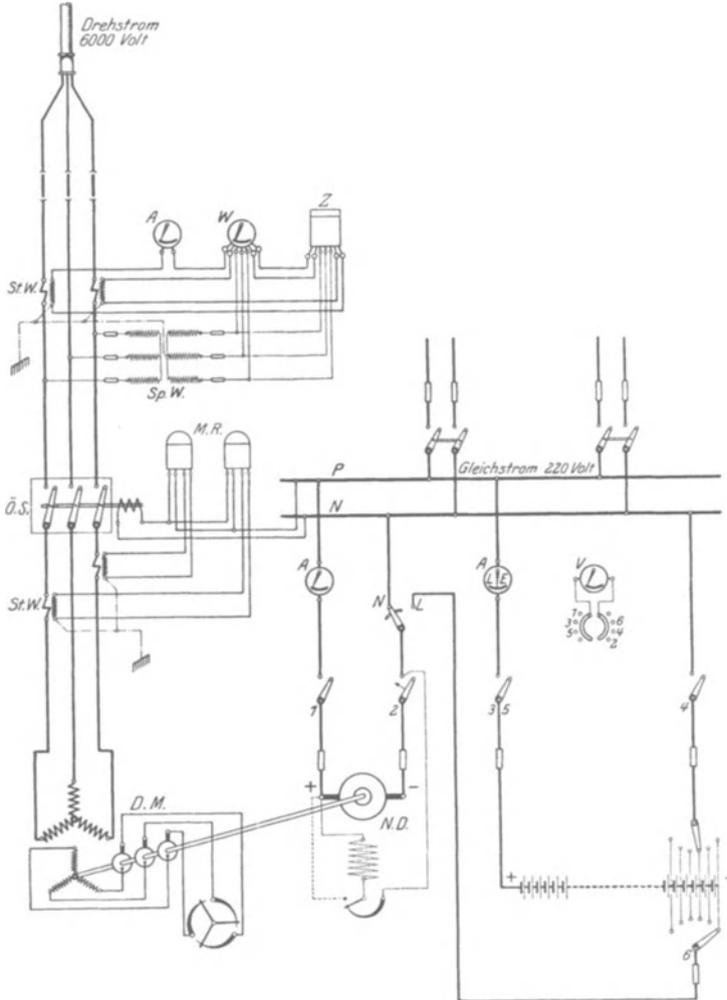


Abb. 254. Asynchroner Motorgenerator für Hochspannung.

mente (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 Akkumulatorenbatterie findet die Anlage eine wünschenswerte Vervollständigung.

154. Umformeranlage zum Betrieb einer Grubenbahn.

Abb. 255 zeigt den Schaltplan einer kleineren Umformeranlage zum Betrieb einer Grubenbahn nach einer Ausführung der SSW. Derartige Bahnen werden zweckmäßig mit Gleichstrom betrieben. Es muß daher, da in dem betreffenden Werk sonst nur Drehstrom zur Verfügung steht, eine Umformung vorgenommen werden.

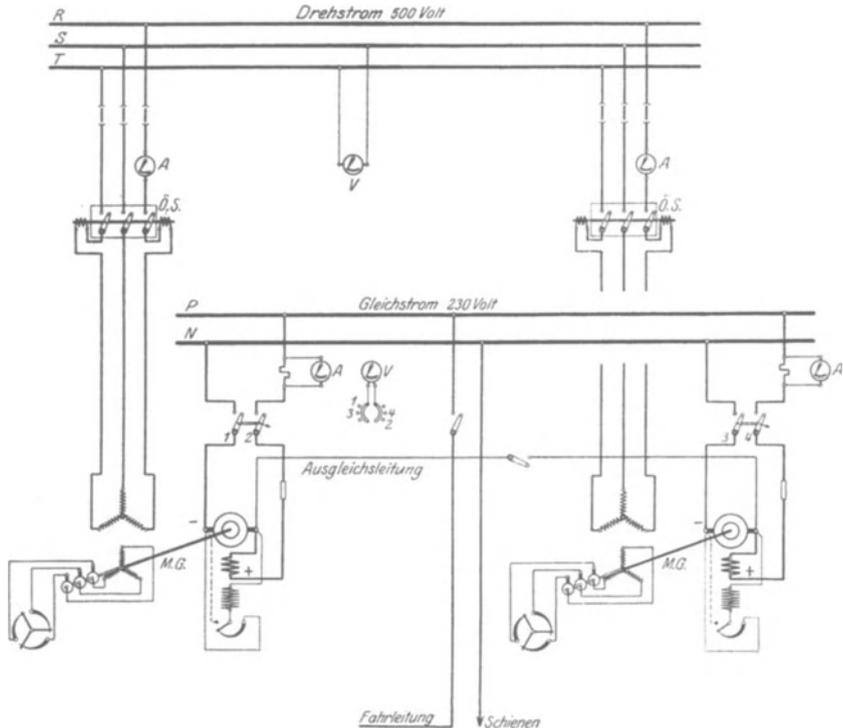


Abb. 255. Umformeranlage zum Betrieb einer Grubenbahn.

Es sind zwei asynchrone Motorgeneratoren *M. G.* aufgestellt. Die Drehstromspannung beträgt 500 Volt. Für die Ölschalter ist eine zweiphasige Überstromauslösung 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. 7 a, 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 Meßinstrumenten ist auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt worden.

155. Umformeranlage zum Betrieb einer Straßenbahn.

Als weiteres Beispiel der Anwendung asynchroner Motorgeneratoren ist in Abb. 256 der Schaltplan der Umformeranlage für die elektrische Bahn Wohlen-Meisterschwanden in der Schweiz gegeben, die von der AEG ausgerüstet wurde. 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 Ölschalter 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. 100). Damit bei ausbleibendem Strom die Leitung sofort selbsttätig abgeschaltet wird, wirkt auf den Schalter auch ein an den Spannungswandler angeschlossener Spannungsrückgangsmagnet ein. Die für die Freileitung angewendeten Meßinstrumente bieten nichts Bemerkenswertes. Zur Feststellung der zugeführten elektrischen Arbeit ist außer einem Zähler ein registrierender Leistungsmesser vorgesehen. Der Überspannungsschutz besteht aus Funkenableitern mit Wasserwiderständen sowie Drosselspulen.

Für die Umformung des Stromes sind zwei Motorgeneratoren vorhanden, 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 Ölschalter (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 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

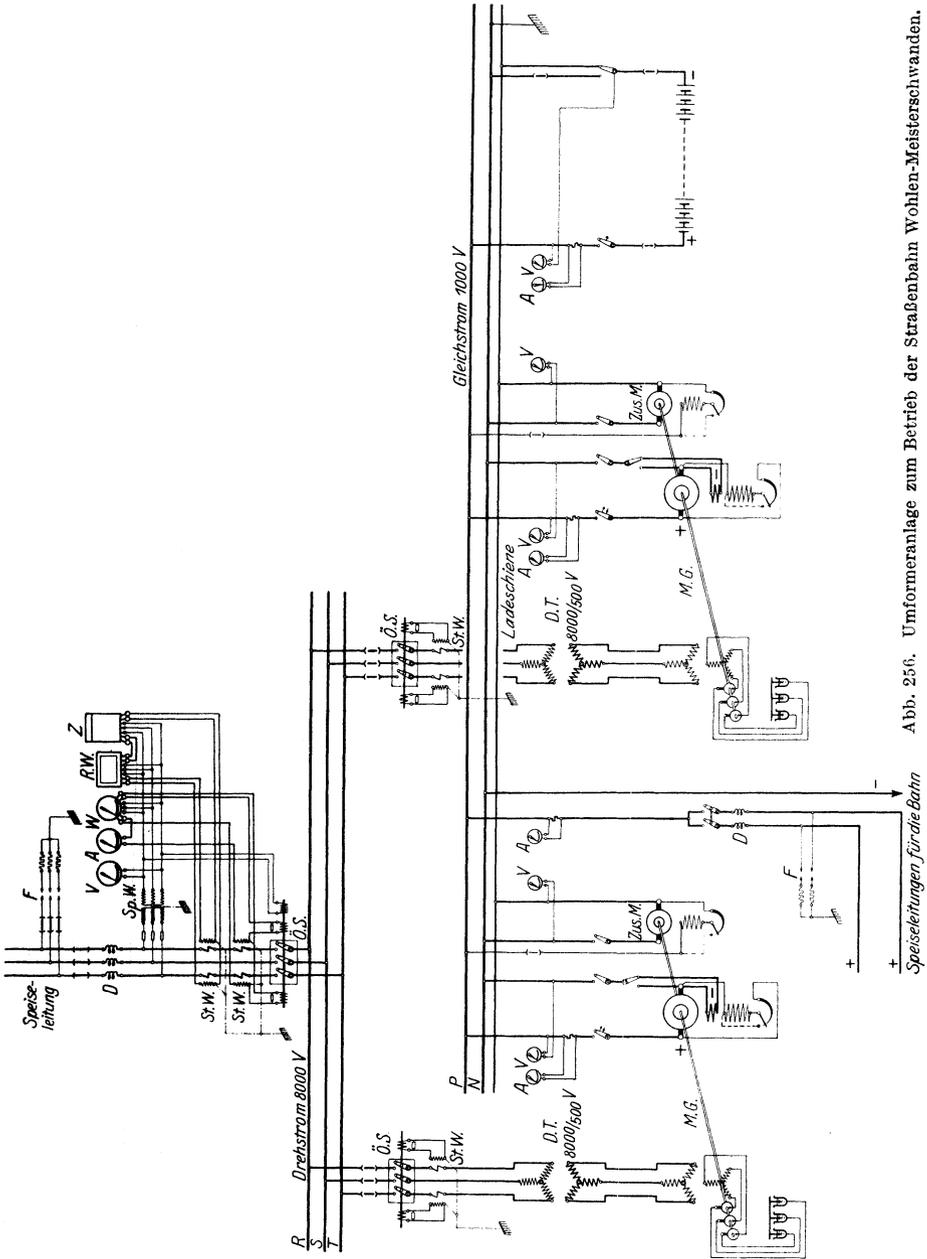


Abb. 256. Umformeranlage zum Betrieb der Straßenbahn Wohlen-Meisterschwanden.

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. Dagegen sind, um etwaige von der Gleichstromseite aus auftretende Überspannungen unschädlich zu machen, für jede Speiseleitung ein Funkenableiter und eine Drosselspule vorgesehen.

C. Einankerumformer.

156. 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 Dreh-

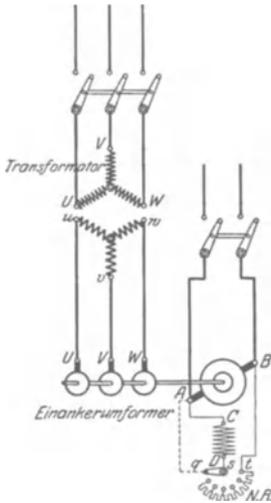


Abb. 257. Einankerumformer mit drei Schleifringen.

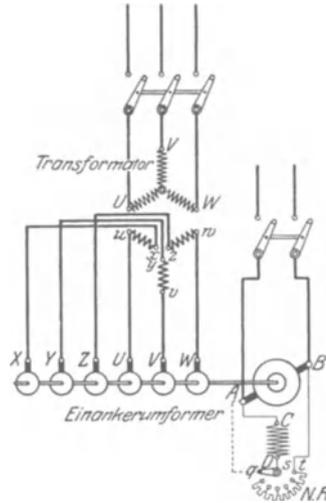


Abb. 258. Einankerumformer mit sechs Schleifringen.

strom —, 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.

Das allgemeine Schaltungsschema mit der üblichen Klemmenbezeichnung ist für einen Drehstrom-Gleichstrom-Umformer mit drei Schleifringen in Abb. 257, für einen ebensolchen Umformer mit sechs Schleifringen in Abb. 258 gegeben.

157. Gleichstromseitiges Anlassen des Umformers.

Ein an ein Wechselstromnetz angeschlossener Einankerumformer verhält sich wie ein Synchronmotor. Die für den synchronen Motor-generator angegebenen Anlaufverfahren lassen sich daher sinngemäß auch auf den Einankerumformer anwenden.

So zeigt Abb. 259, unter Fortlassung der Meßinstrumente, die Schaltung eines Drehstrom-Gleichstrom-Umformers für den Fall, daß er von der Gleichstromseite angelassen werden soll (vgl. Abschn. 149 und Abb. 250). Der Umformer wird wie ein Gleichstrommotor mit Hilfe des Anlaufwiderstandes 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 Schema 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

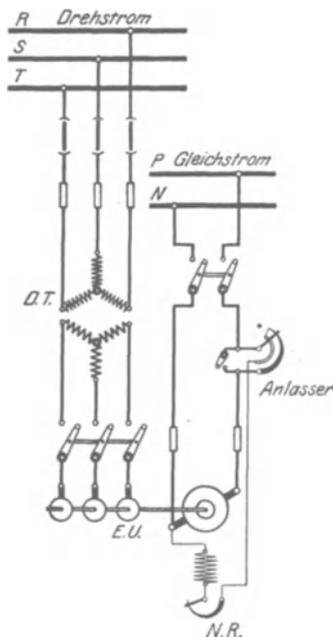


Abb. 259. Einankerumformer mit Gleichstromanlasser.

Drehzahl gelieferten Wechselstromspannung, ehe er mit dem Transformator verbunden wird. Der Synchronismusanzeiger wird in der Regel niederspannungsseitig angeschlossen. Schmelzsicherungen auf der Drehstromseite als Schutz gegen Überlastung, wie im Schema angenommen, sind nur bei kleinen Leistungen und nicht zu hohen Spannungen zu empfehlen. Bei Hochspannung werden, wie bekannt, Ölschalter mit Selbstauslösung vorgezogen.

langt, verschieden. Sie hängt also von der 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.

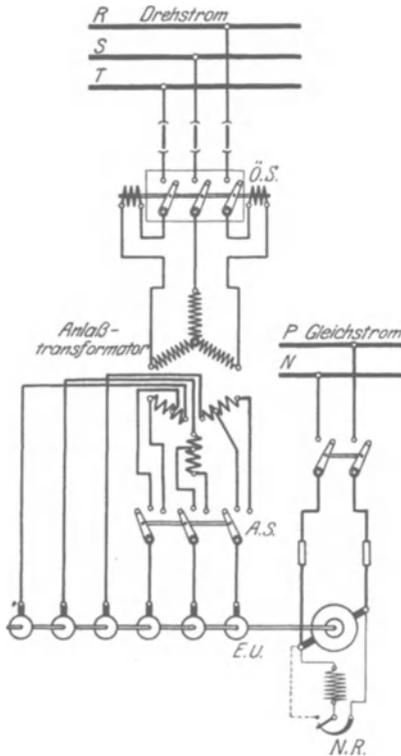


Abb. 261. Einankerumformer für drehstromseitiges Anlassen.

wird beim Einankerumformer durch Regulieren des Erregerstroms die Spannung kaum beeinflusst. Die Größe des Erregerstroms bestimmt vielmehr, ebenso wie beim Synchronmotor (vgl. Abschn. 108), 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 soll die in Frage kommende Schaltung für den Fall der Umformung von Drehstrom in Gleichstrom angegeben werden.

a) Regelung durch Drosselspulen.

Es werden nach Abb. 262 vor den Umformer Drosselspulen gelegt. Die in ihnen auftretende Spannung setzt sich mit der Sekun-

dem 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.

160. Spannungsregelung des Einankerumformers.

Im Gegensatz zum Motorgenerator, bei dem sich die erzeugte Gleich-

därspannung 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 voraussilt. Unter der Wirkung der Drosselspulen kann daher durch Einstellen des Erregerstromes, da von 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.

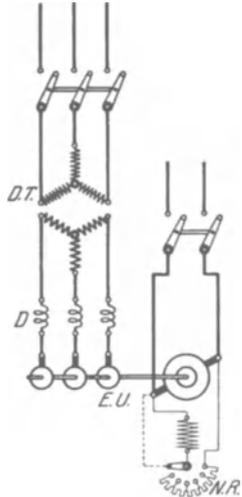


Abb. 262. Spannungsregelung eines Einankerumformers durch Drosselspulen.

b) Regelung mittels Drehtransformators.

Ein sehr brauchbares Verfahren der Spannungsregelung von Einankerumformern, auch innerhalb weiterer Grenzen, ergibt sich durch

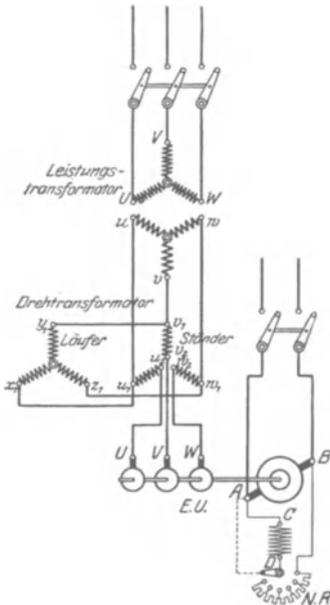


Abb. 263. Spannungsregelung eines Dreischleifringumformers durch einen Drehtransformator.

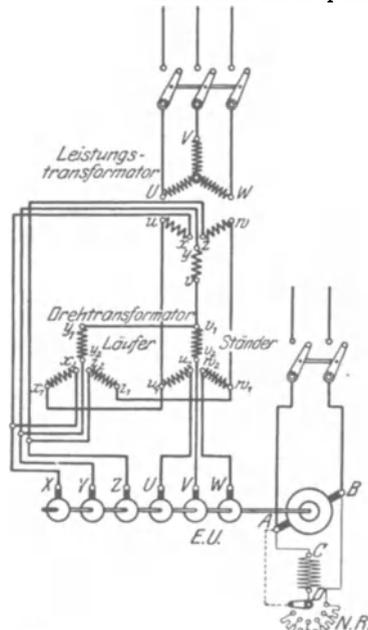


Abb. 264. Spannungsregelung eines Sechschleifringumformers durch einen Drehtransformator.

Verwendung eines Drehtransformators, (s. Abschn. 106.) Die Erregerwicklung desselben (meistens der Läufer) wird an die Sekundär-

spannung 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. 263 ist die Schaltung eines Dreischleifringumformers und in Abb. 264 die eines Sechsschleifringumformers 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.

161. Umformeranlage mit umschaltbarem Lichtnetz.

Der in Abb. 265 wiedergegebene Schaltplan (Entwurf der Firma G. Fleischhauer, Magdeburg) bezieht sich auf eine Fabrik, die eine eigene Gleichstromanlage besitzt, aber nachträglich auch an ein Drehstromnetz angeschlossen werden soll. Um im Falle einer Störung im Drehstromnetz den Lichtbetrieb mit Hilfe der vorhandenen Akkumulatorenbatterie aufrechterhalten zu können, soll die Beleuchtung auf das Gleichstromnetz umschaltbar sein.

Durch eine Speiseleitung wird der Drehstrom von 15000 Volt Spannung über einen Ölwechsler mit selbsttätiger Überstromauslösung den Verteilungsschienen zugeführt. In Stern-Dreieck geschaltete Hörnerableiter und Drosselspulen bilden den Überspannungsschutz. An die Verteilungsschienen ist ein Einankerumformer mit sechs Schleifringen angeschlossen, und zwar, da er drehstromseitig angelassen werden soll, über den Anlaßtransformator *A. T.* Dieser besitzt auf seiner sekundären Seite mehrere Regulierstufen, so daß unter Benutzung des dreipoligen Anlaßschalters *A. S.* ein stoßfreier Anlauf ermöglicht ist. Um im Gleichstromnetz die gewünschten Pole zu erhalten, ist, bevor der Umschalter U_1 eingelegt wird, der zwischen den Gleichstromleitungen befindliche Spannungsmesser mit doppelseitigem Ausschlag zu beobachten und aus der Richtung des Ausschlages die Polarität des Umformers festzustellen (vgl. Abschn. 159). Je nachdem sich die Pole gebildet haben, ist der Umschalter nach rechts oder links einzulegen. Die Gleichstromspannung beträgt 220 Volt.

Ein zweiter Anschluß führt von den Verteilungsschienen zu dem Drehstromtransformator *D. T.*, der in der Hauptsache für den Betrieb der Motore — im Schema einpolig¹⁾ dargestellt — bestimmt ist und eine verkettete Sekundärspannung von 380 Volt hat. Doch ist vom Trans-

¹⁾ Die Phasenzahl ist bei den Sicherungen und Schalterauslösungen durch eine entsprechende Zahl kleiner Querstriche angedeutet.

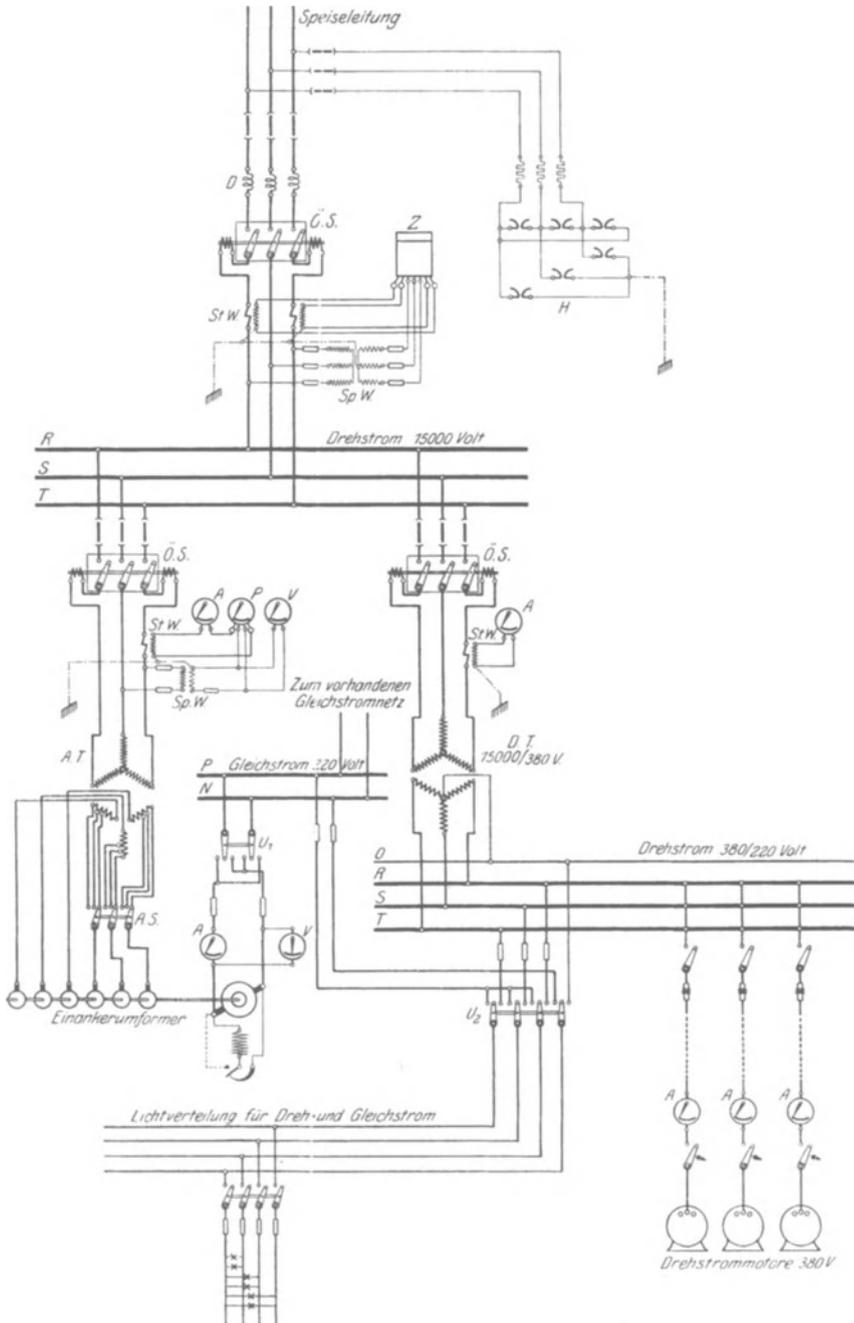


Abb. 265. Umformer- und Transformatorenanlage mit umschaltbarem Lichtnetz.

formator 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.

162. Umformeranlage mit Dreileiter-Gleichstrombetrieb.

In der Umformeranlage, deren Schaltplan Abb. 266 zeigt, steht Drehstrom von 15 000 Volt zur Verfügung, der dem Transformator über

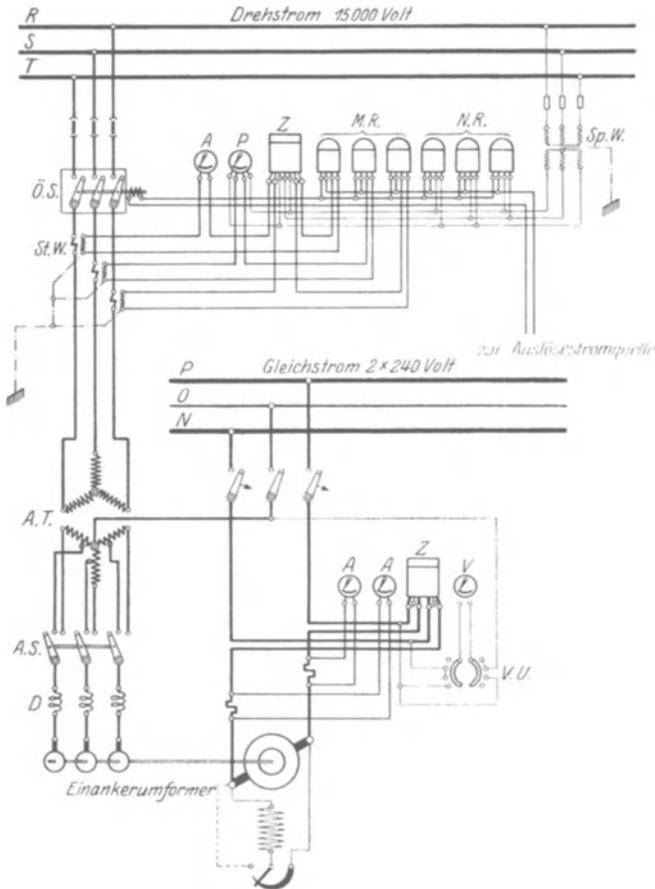


Abb. 266. Umformeranlage mit Dreileiter-Gleichstrombetrieb.

einen Ölschalter zugeführt wird. Mit dem Schalter sind Überstrom- und Spannungsrückgangsrelais verbunden, der Hilfsstrom wird einer

Gleichstromquelle entnommen. Der Schutz ist allphasig durchgeführt. An Meßinstrumenten sind je ein Strommesser, Phasemesser 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 besitzt drei Schleifringe. Die vor die Schleifringe geschalteten Drosselspulen dienen zur Spannungsregelung (s. Abschn. 160a).

Die Gleichstromspannung des Umformers beträgt 480 Volt. Es ist jedoch eine Teilung der Spannung auf 2×240 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. 65). Durch weitere Meßinstrumente können Stromstärke und Spannung jeder Netzhälfte wie auch die Außenleiterspannung festgestellt werden.

163. Umformeranlage mit Drehtransformator.

Das Schaltbild eines großen Umformers, der im Elektrizitätswerk der Stadt Magdeburg aufgestellt ist und dazu dient, einen Teil des im Werk erzeugten Hochspannungsdrehstroms in Gleichstrom für den Betrieb der elektrischen Straßenbahn umzuwandeln, zeigt Abb. 267.

Der Umformer besitzt 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 Schema 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 über den Hauptölschalter zugeführt, mit dem zwei über Stromwandler angeschlossene Überstromrelais in Verbindung stehen. An Meßinstrumenten sind lediglich ein Strommesser und ein Zähler vorhanden.

An die Sammelschienen ist der Leistungstransformator angeschlossen, wiederum über einen Ölschalter. Dieser besitzt jedoch keine selbsttätige Ausschaltung, ist aber für Fernsteuerung eingerichtet (s. Abschn. 9), so daß das Einschalten des Transformators und damit des Umformers von der Hauptschalttafel aus erfolgen kann.

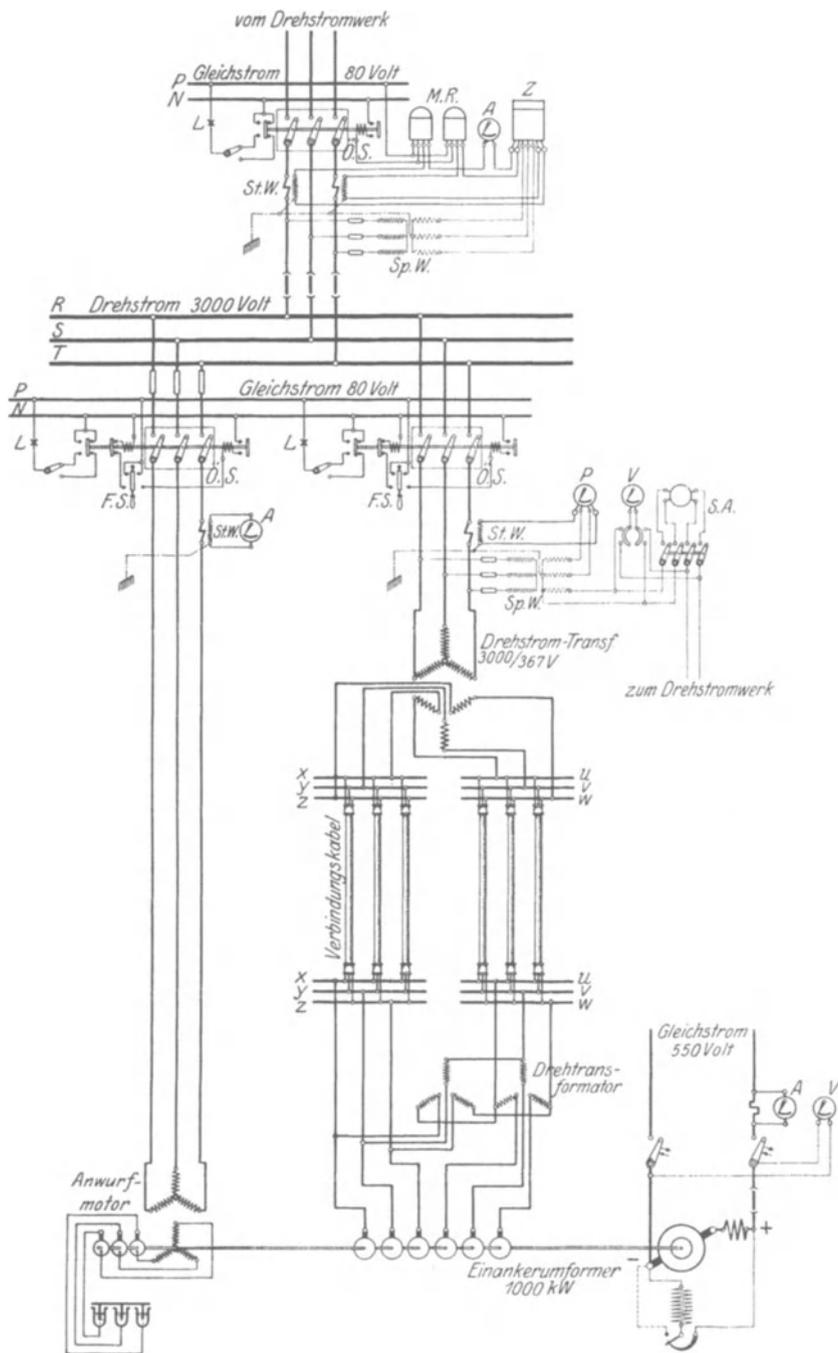


Abb. 267. Drehstrom-Gleichstrom-Umformer im Elektrizitätswerk Magdeburg.

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 Synchronismusanzeiger, der an die gleichen Spannungen angeschlossen ist. Ein Phasenmesser 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. 264 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 und ist daher, ebenfalls über einen Ölschalter, 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 Schema nicht eingezeichnet) von der Schalttafel aus gesteuert.

Alle in der Anlage vorhandenen Ölschalter sind mit Merklampen ausgestattet (s. Abb. 12), 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 Schema 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.

164. 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. 46 für eine Gleichstromanlage ausgeführt wurde, ein Schwungrad anwenden. In Abb. 218 ist eine Schaltung der Britischen Westinghouse-Gesellschaft 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

¹ Janzen, Der Ausgleich von Lastschwankungen in Drehstromnetzen. SZ 23, 421.

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

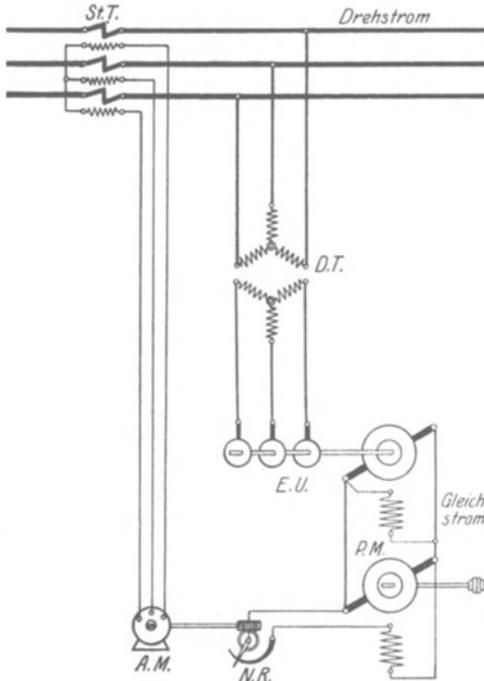


Abb. 268. Einankerumformer mit Puffermaschine.

an das Netz zurückzuliefern. Das Schwungrad muß also abwechselnd „geladen“ und 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 Stromtransformator 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.

165. 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 Drehstrom-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 Schema, Abb. 269, sind jedoch der Deutlichkeit wegen nur 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 laufen darf — seine Umdrehungszahl könnte sich sonst in unzulässiger Weise steigern —, so ist der Nebenschlußregler $N. R.$ der Gleichstrommaschine ohne Ausschaltkontakt auszuführen.

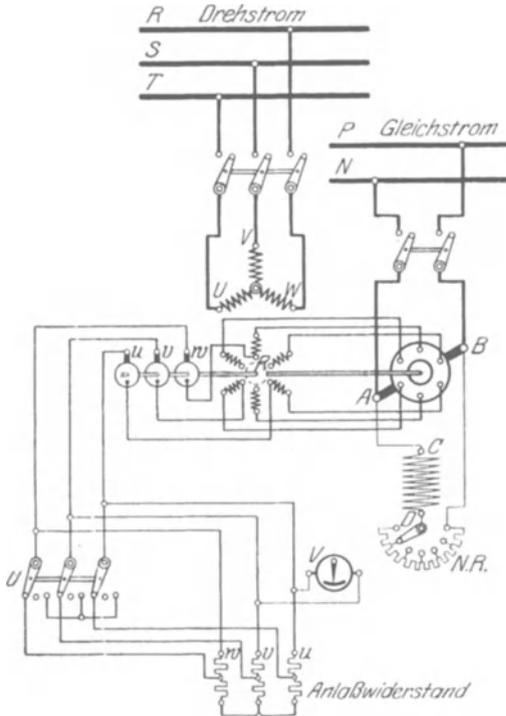


Abb. 269. Kaskadenumformer.

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 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. 160a). 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 Motorgenerator 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 Meßinstrumente kann auf Abb. 253 und 254 verwiesen werden.

E. Gleichrichter.

166. Quecksilberdampfgleichrichter für Einphasenstrom.

An Stelle von Maschinen zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom können auch Gleichrichter verwendet werden. Eine besonders große Verbreitung hat der Quecksilberdampfgleichrichter gefunden. Dieser ist im folgenden stets gemeint, wenn vom Gleichrichter schlechthin die Rede ist.

Die Umsetzung des Wechselstroms in Gleichstrom erfolgt beim Gleichrichter, wie beim Einankerumformer, nach einem bestimmten Spannungsverhältnis. Die für die gewünschte Gleichstromspannung erforderliche Wechselspannung wird durch einen Einphasentransformator $E.T.$, Abb. 270, 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. Sie kann durch Kippen des Kolbens mit dem Quecksilber der Kathode in Verbindung gebracht werden;

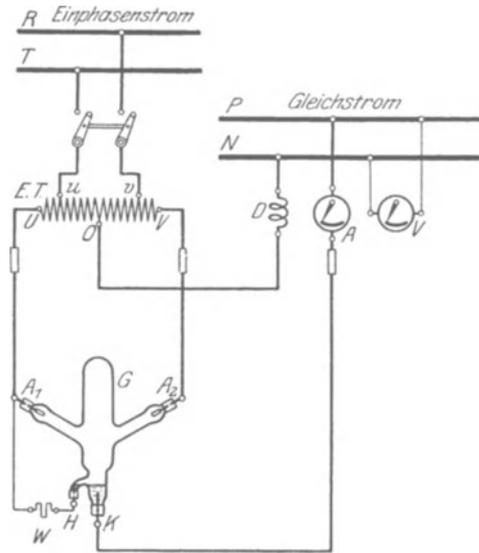


Abb. 270. Einphasengleichrichter.

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 verschiedener Firmen ist die Kippzündung vermieden. Es sind Verfahren ausgebildet worden, wie z. B. die „Spritzzündung“ der SSW, bei denen eine Lagenänderung des Gleichrichterkolbens nicht erforderlich ist.

167. 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. 271 ist der Schaltplan einer Drehstrom-Gleichrichteranlage, nach einer Ausführung der Gleichrichter-Gesellschaft m. b. H., Berlin, 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

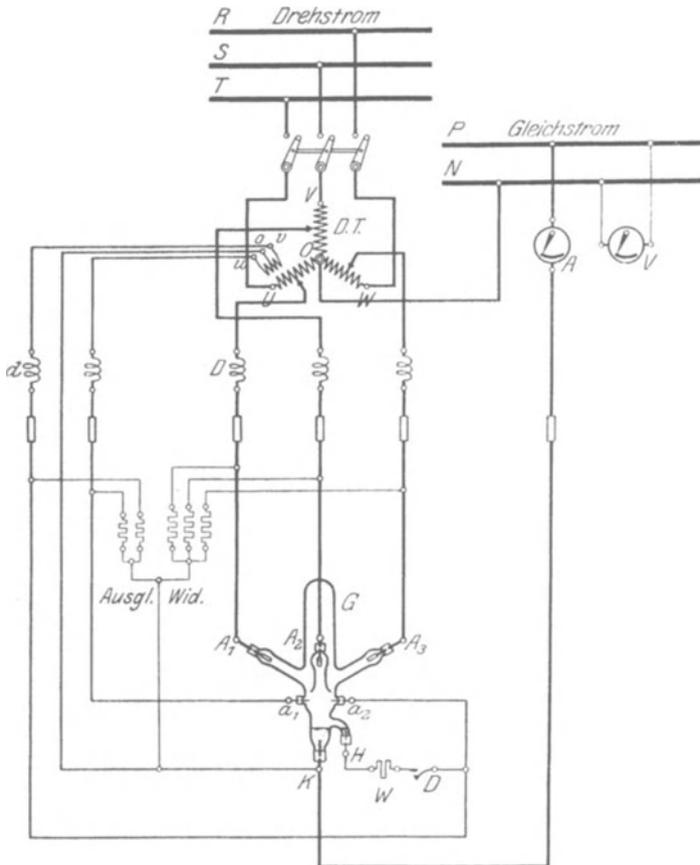


Abb. 271. Drehstromgleichrichter mit Hilfserrcgung.

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 aufrecht erhalten bleibt, ist bei der vorliegenden Bauweise dadurch vermieden, daß der Gleichrichter mit „Hilfserrcgung“ ausgestattet ist. Es sind in dem Glas-

gefäß noch zwei kleine Erregeranoden a_1 und a_2 eingeschmolzen, welche unter Zwischenschaltung der Drosselspulen d von einer Hilfswicklung uv gespeist werden. Diese ist über eine Phase des Transformators gelegt, und ihr Mittelpunkt o ist an die Gleichrichter-kathode 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 aus Silit bestehenden, zwischen den Anoden und der Kathode befindlichen hochohmigen Ausgleichswiderstände sollen bei etwa auftretenden Überspannungen ein Überschlagen von Anode zu Anode verhindern.

168. Gleichrichter für Drehstrom in Parallelschaltung und mit selbsttätiger Zündung.

Um in einem Gleichrichterkolben eine große Stromstärke zu bewältigen, ist eine künstliche Kühlung notwendig. Erforderlichenfalls werden zur Erzielung höherer Leistung mehrere Gleichrichter parallel geschaltet.

In Abb. 272 ist der Schaltplan für zwei parallel arbeitende Gleichrichter dargestellt, wiederum 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 Drehstromschienen R, S, T angeschlossen. Er erhält einige Regulierstufen, durch die ein Regelbereich von ungefähr $\pm 10\%$ der verlangten mittleren Gleichstromspannung erzielt wird. Sein Nullpunkt 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 Transformatornullpunkt 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 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. 271 erforderlichen Ausgleichswiderstände sind der besseren Übersicht wegen im Schaltbild fortgelassen. Dagegen kann die selbsttätig wirkende Zündung der Gleichrichter an Hand des Schemas 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 Relais-

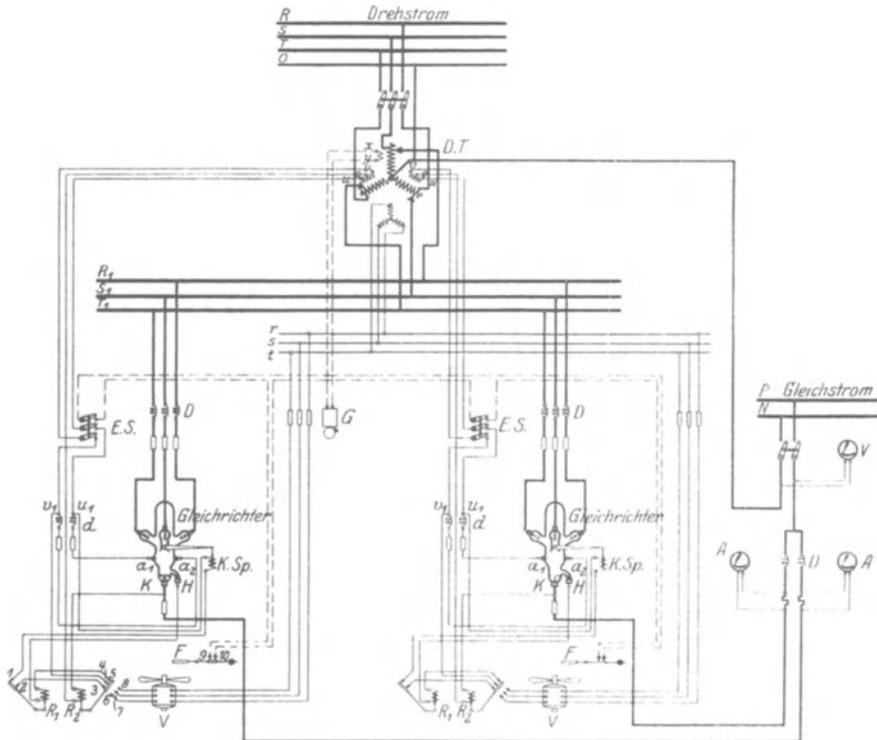


Abb. 272. Drehstromgleichrichter in Parallelschaltung.

spule R_1 , weiter zur Hilfsanode und Kathode und über Relaisspule R_2 zur Mitte der Erregerwicklung fließen. Die Relaisspulen 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 Unterbrechungsfunken wird die Zündung eingeleitet. Der Erregerstrom nimmt nunmehr, abwechselnd wäh-

rend 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 Reguliertransformator 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 Schema durch gestrichelte Linien angegeben ist, geschlossen. Seine Stromquelle wird von der über eine Phase des Reguliertransformators gelegten Wicklung xy gebildet, und er enthält eine elektrische Glocke G . Während des Ingangsetzens 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 kann daher schon während des Betriebes angezeigt werden.

169. Gleichrichter in Verbindung mit der Eigenbedarfsanlage eines Drehstromwerkes.

Abb. 273 zeigt eine Eigenbedarfsanlage (vgl. Abschn. 81) 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 Ölschalters ist, um die Kosten herabzusetzen, verzichtet, und der Überstromschutz ist lediglich 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 Reguliertransformator *R. T.* ist an die 380 Volt-Schienen ein kleiner Quecksilberdampfgleichrichter *G* gelegt,

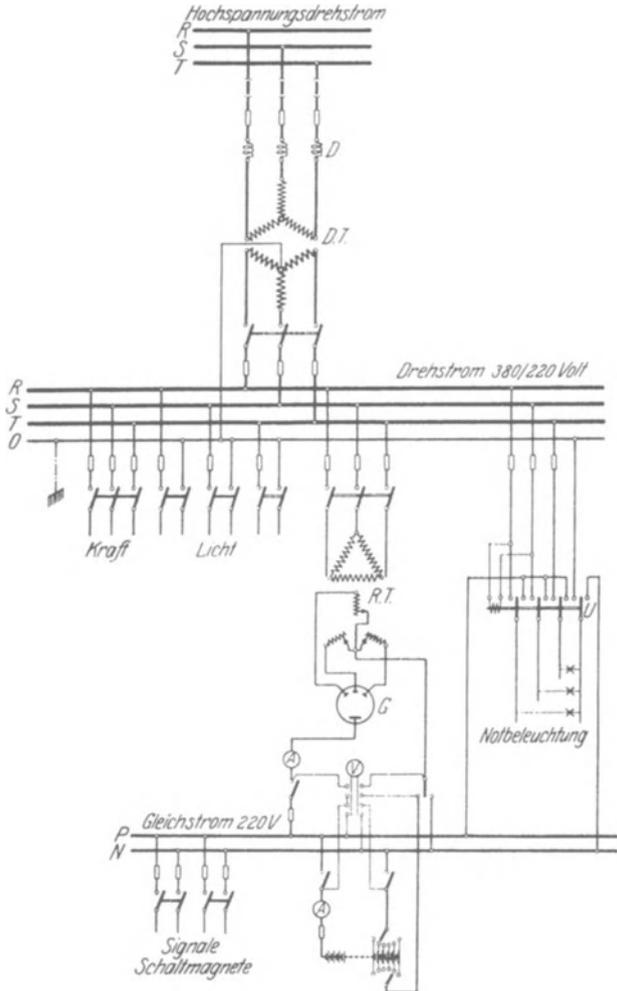


Abb. 273. Gleichrichter in der Eigenbedarfsanlage eines Drehstromwerkes.

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. 161, 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 Reguliertransformators eingestellt werden (s. auch die Eigenbedarfsanlagen in Abb. 164 u. 166).

170. Großgleichrichter für Drehstrom.

Bei Quecksilberdampfgleichrichtern größerer Leistung wird statt des Glaskolbens ein gut abgedichteter eiserner Zylinder verwendet. Die allgemeine Schaltung eines Drehstrom-Großgleichrichters dieser Art zeigt Abb. 274. Die zum Betrieb des Gleichrichters erforderliche Drehstromspannung wird wieder in einem Transformator hergestellt. Derselbe ist primär in Dreieck geschaltet. Sekundär sind die drei Phasen in ihrem Mittelpunkt verkettet (sog. Sechshephasenschaltung). 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 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.

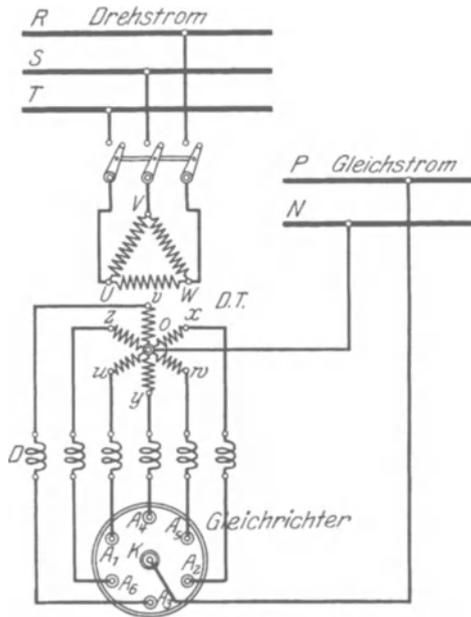


Abb. 274. Drehstrom-Großgleichrichter.

Nebeneinrichtungen des Gleichrichters sind im Schema 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.

171. 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 gibt Abb. 275. Sie gehört zum Elektrizitätswerk der Stadt Dresden und ist an ein Drehstromnetz von 6000 Volt Spannung angeschlossen. Sie liefert Strom an das Straßenbahnnetz. Ausgeführt wurde sie von der AEG.

Der Drehstrom wird über Trenn- und Ölschalter den Primärklemmen des vor den Gleichrichter gelegten Transformators zugeführt. Der Öl

schalter ist mit Überstromauslösung versehen, und zwar über Relais, für die der Hilfsstrom einer vorhandenen Wechselstromanlage von

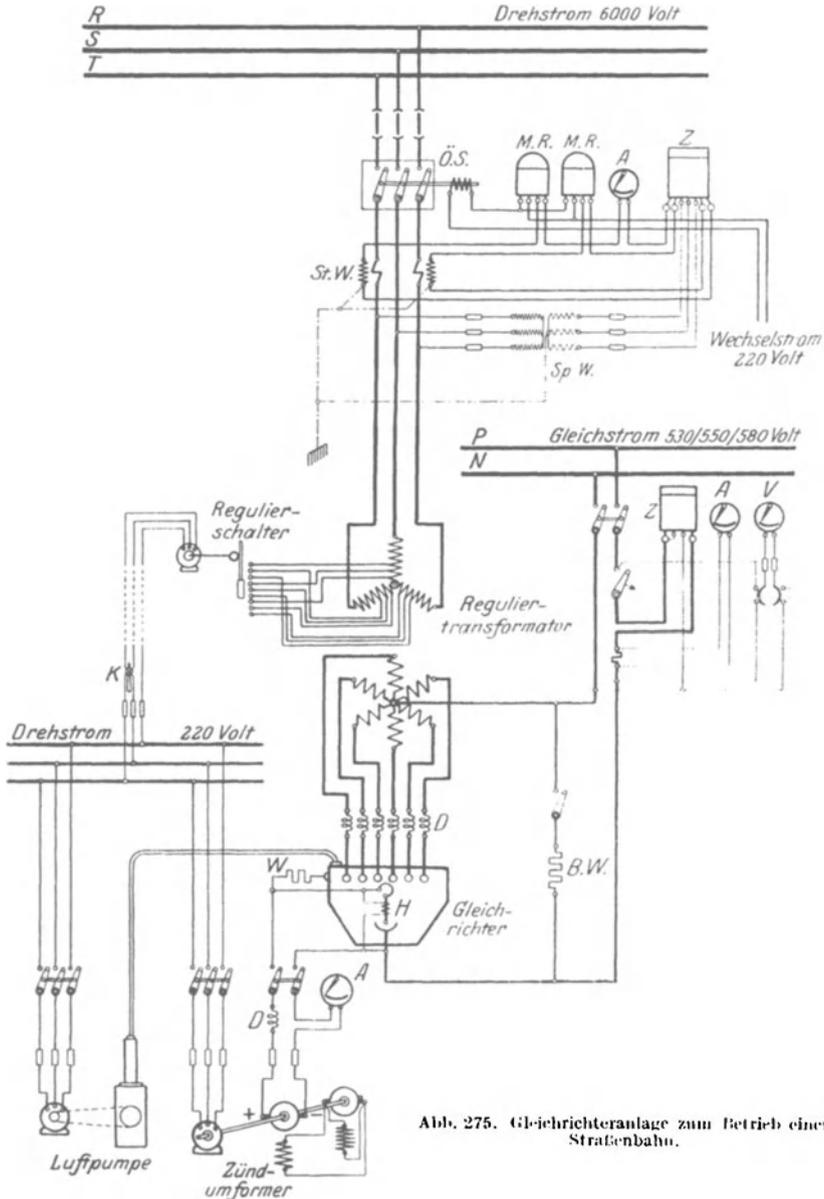


Abb. 275. Gleichrichteranlage zum Betrieb einer Straßenbahn.

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. 274, 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 Gleichstropol. Der positive Gleichstropol 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 Meßinstrumenten 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 Gleichstromschienen, 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 Ingangsetzen 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 Gleichrichtergehäuse ist eine Sondereinrichtung und hat den Zweck, eine schnellere Zündung des Gleichrichters zu bewirken.

Die Erregung der Zündynamo 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 Schema 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.

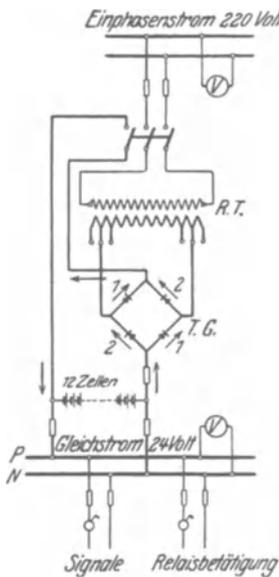
172. Trockengleichrichter für Einphasenstrom.

In den letzten Jahren sind die Trockengleichrichter oder Kupferoxydulgleichrichter für die praktische Anwendung durchgebildet worden. Sie finden z. B. Anwendung in Umspannwerken 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. 276 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 einen kleinen Reguliertransformator *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 durchfließen. In den zu den Gleichstromschienen führenden Leitungen behält der Strom stets die gleiche Richtung bei.

Abb. 276. Trockengleichrichter für Einphasenstrom.

Die Trockengleichrichter können bei geeigneter Schaltung auch zur unmittelbaren Gleichrichtung von Drehstrom Verwendung finden.



X. Anlaß- und Regelsätze.

A. Maschinensätze mit Gleichstrom-Regelmotor.

173. 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. Ihr Schema zeigt Abb. 277 für den Fall, daß ein Gleichstromnetz vorhanden ist. Der über einen Anlasser an das Netz angeschlossene Gleichstrommotor *G. M.*, ein Nebenschlußmotor, treibt, in direkter Kupplung, die *Steuerdynamo St. D.* an, eine Gleichstromdynamo, die vom Netz erregt wird. (Die Erregerschienenschieben *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 Steuerdynamo 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 Steuerdynamo bestehende Motor-generator wird als Leonardumformer bezeichnet.

Das Anlassen und Regeln des Motors *M* geschieht nun ausschließlich durch Spannungsregulierung der Steuerdynamo. Je nach deren Spannung stellt sich die Umlaufzahl des Motors ein, sie kann von Null bis zum Höchstwert gesteigert und wieder auf Null zurückgeführt werden. Die Drehrichtung des Motors hängt von der Polarität der Steuerdynamo ab. Um eine plötzliche Umkehr der Drehrichtung zu verhindern, werden Magnetregler und Umschalter der Steuerdynamo in der praktischen Ausführung so zu einem Steuerapparat zusammengefaßt, daß

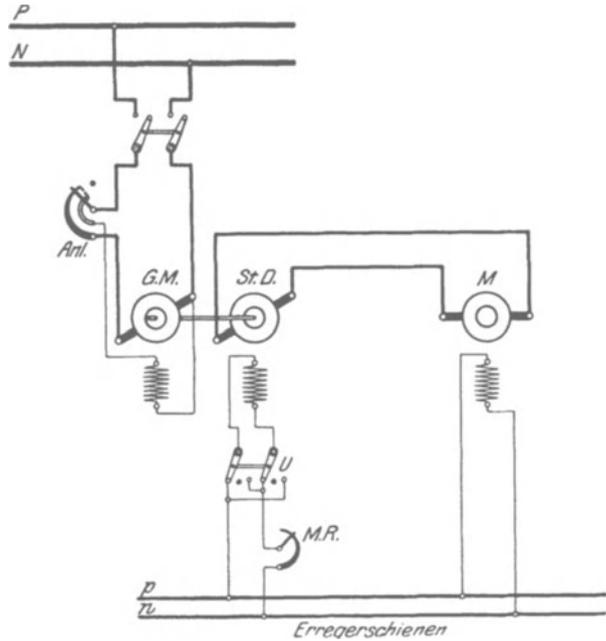


Abb. 277. Die Leonardschaltung in Verbindung mit einem Gleichstromnetz.

das Umschalten nur bei ausgeschaltetem Magnetstrom erfolgen kann (vgl. Abb. 279).

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.

174. Die Leonardschaltung für Drehstrom.

Abb. 278 gibt das Schema der Leonardschaltung wieder unter der Annahme, daß vom Netz aus nur Drehstrom zur Verfügung steht. In diesem Falle muß eine Umformung in Gleichstrom vorgenommen

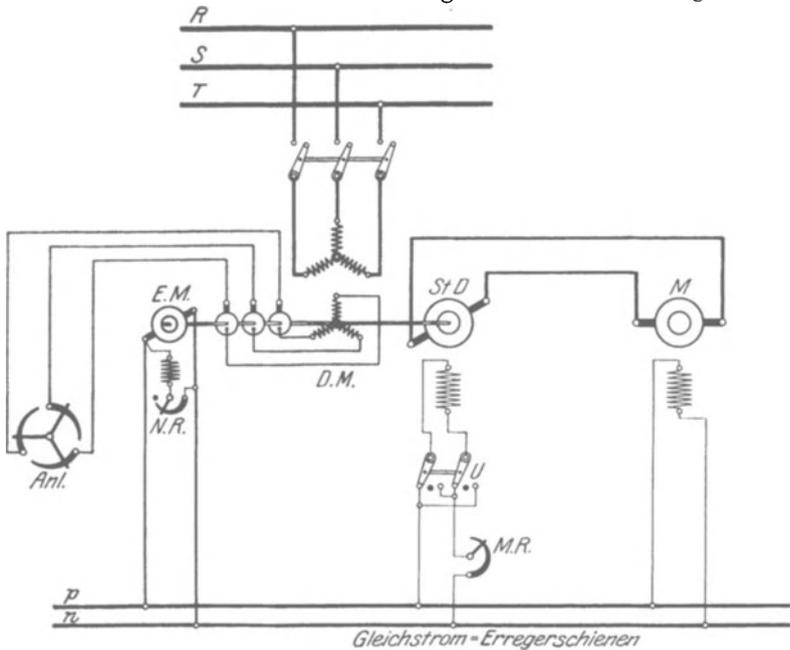


Abb. 278. Die Leonardschaltung in Verbindung mit einem Drehstromnetz.

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.

175. 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 Iglner angegeben und wird namentlich bei Fördermaschinen und Walzenzugmotoren viel benutzt. Das Schwungrad wird mit dem Leonardumformer gekuppelt, wodurch sich der sog. Iglnerumformer¹ ergibt.

In Abb. 279 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 Steerdynamo 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 Dreh-

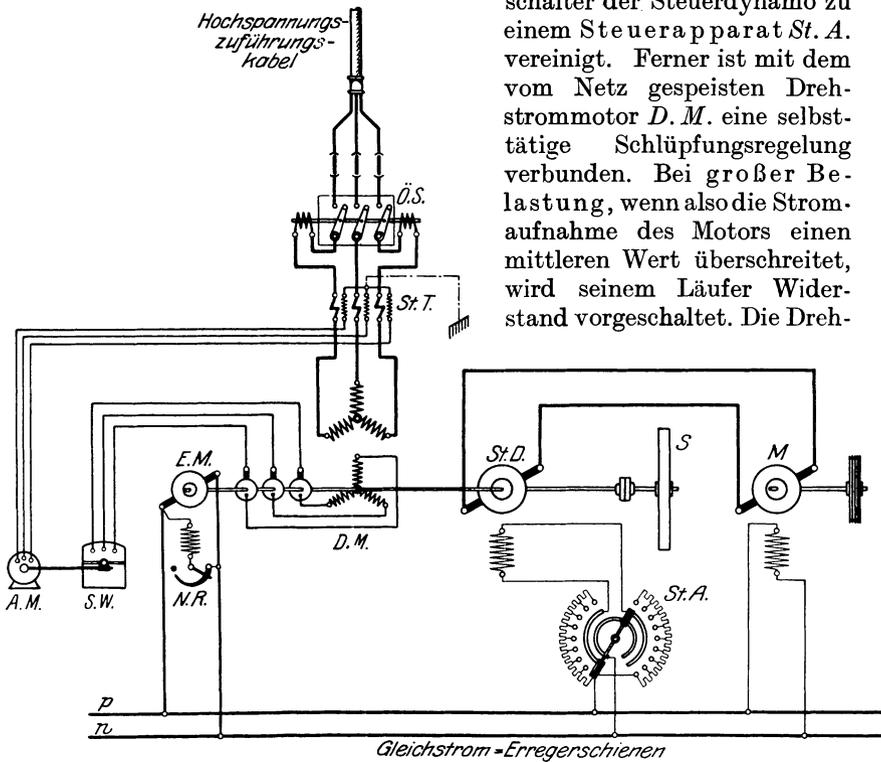


Abb. 279. Ignerschaltung.

zahl des Umformers und somit auch des Schwungrades *S* wird mit- hin 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.

¹ Vgl. Philippi, Entwicklung des elektrischen Fördermaschinenantriebes. ETZ 1919, 37.

Der Schlupf Widerstand $S.W.$, gleichzeitig als Anlaßwiderstand dienend, wird durch ein Stromrelais (s. Abschn. 164) beeinflusst: ein kleiner als Induktionsmotor gebauter Antriebsmotor $A.M.$ ist an einen in den Zuführungsleitungen zum Drehstrommotor des Umformers liegenden Stromtransformators $St.T.$ angeschlossen und besorgt selbsttätig die Einschaltung des Schlupf Widerstandes nach Maßgabe der in den Zuführungsleitungen herrschenden Stromstärke.

176. Die Zu- und Gegenschaltung für Gleichstrom.

Der gleiche Erfolg wie mit der Leonardschaltung läßt sich mit dem im Schema Abb. 280 angegebenen Verfahren der Zu- und Gegen-

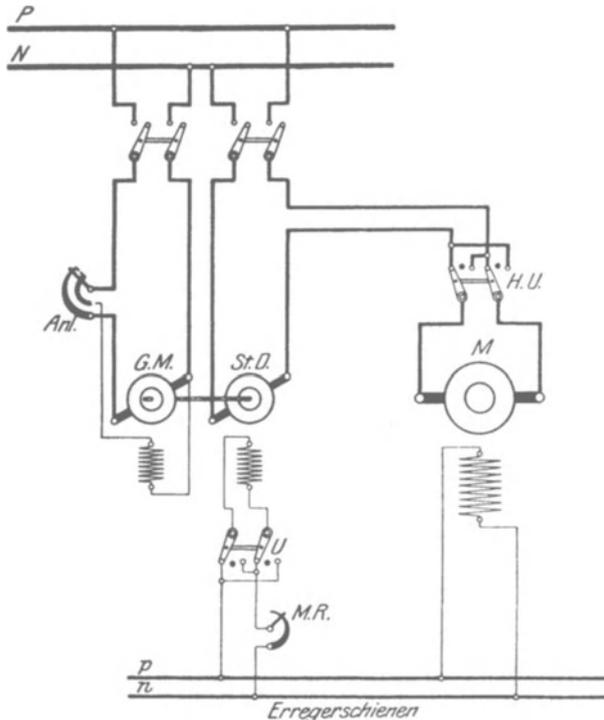


Abb. 280. Verfahren der Zu- und Gegenschaltung in Verbindung mit einem Gleichstromnetz.

schaltung erzielen. Für die Abbildung ist ein Gleichstromnetz vorausgesetzt. Die Steerdynamo $St.D.$ 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 Steerdynamo 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 Steerdynamo zunächst gleich der Netzspannung, aber ihr entgegen-

gerichtet 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 Steuerdynamo-

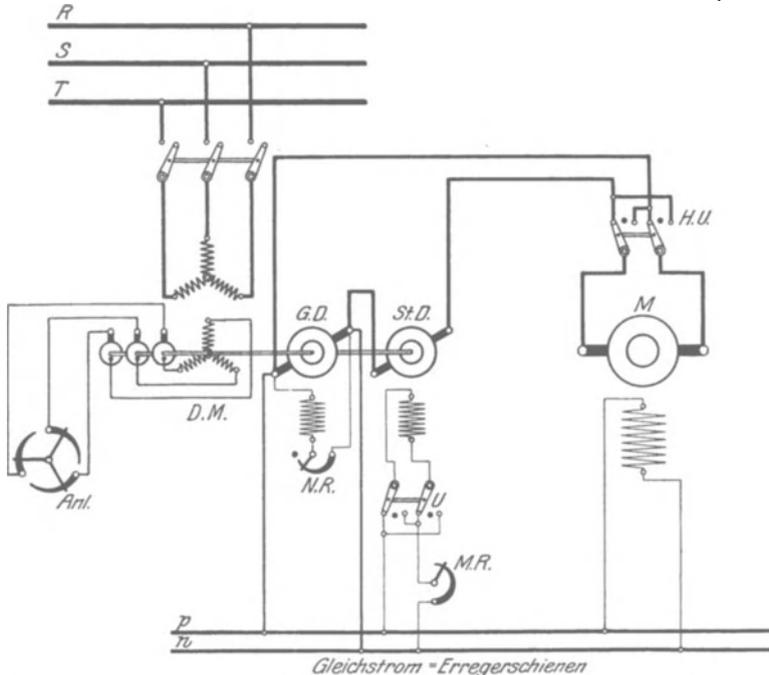


Abb. 281. Verfahren der Zu- und Gegenschaltung in Verbindung mit einem Drehstromnetz.

spannung 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 Steuerdynamo bilden zusammen mit dem Hauptumschalter den Steuerapparat.

Der Umformersatz ist bei dem vorstehend geschilderten Regelverfahren nur für eine Leistung gleich der Hälfte der eines Leonardumformers zu bemessen.

177. Die Zu- und Gegenschaltung für Drehstrom.

In Abb. 281 ist das vorige Schema 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 Erregerschien *p* und *n* angeschlossen, denen der Magnetstrom für die Steuerdynamo und den Regelmotor entnommen wird.

B. Regelsätze für Drehstrom.

178. Die Kaskadenschaltung im allgemeinen.

Die Drehzahl eines Drehstrom-Induktionsmotors mit Schleifringläufer kann nach Abschn. 123 reguliert 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 ihr wird die im Läufer des Motors infolge Herabsetzung der Geschwindigkeit freiwerdende 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.

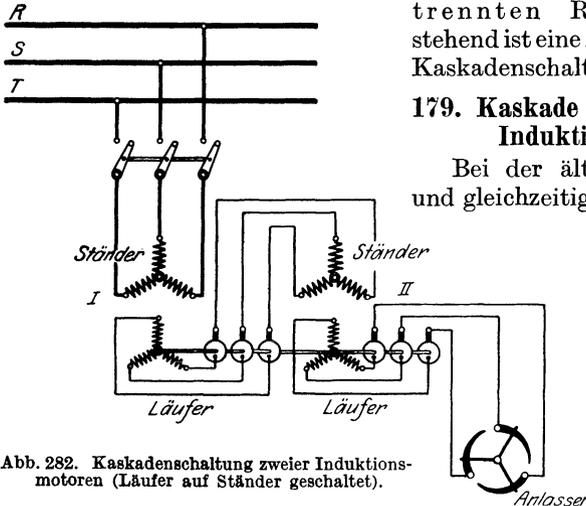


Abb. 282. Kaskadenschaltung zweier Induktionsmotoren (Läufer auf Ständer geschaltet).

179. Kaskade zweier Drehstrom-Induktionsmotoren.

Bei der ältesten, von Görges 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.

Die Einrichtung kann so getroffen werden, daß der Läufer von Motor *I* auf den Ständer von *II* arbeitet und der Läufer von *II* mit dem gemeinsamen Anlasser in Verbindung steht, Abb. 282. Oder es können auch, Abb. 283, die Läufer beider Motoren aufeinander geschaltet werden, der Anlasser wird dann hinter 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. 284 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 sprunghaftes Einstellen auf einige wenige Drehzahlen möglich, nicht jedoch ein allmähliches Einregulieren auf eine beliebige Geschwindigkeit.

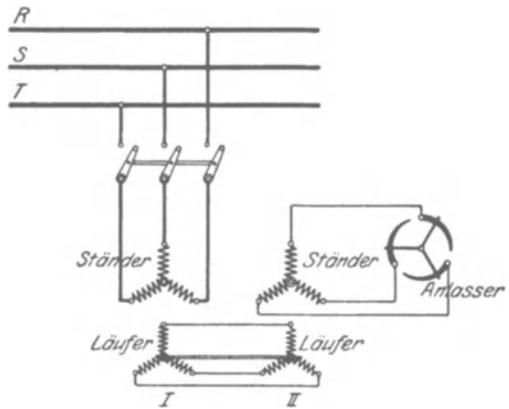


Abb. 283. Kaskadenschaltung zweier Induktionsmotoren (Läufer auf Läufer geschaltet).

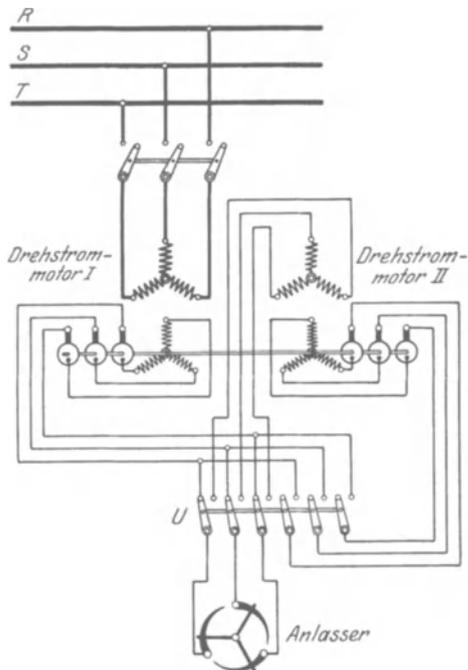


Abb. 284. Kaskadenschaltung zweier Induktionsmotoren für zwei Geschwindigkeitsstufen.

180. 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:

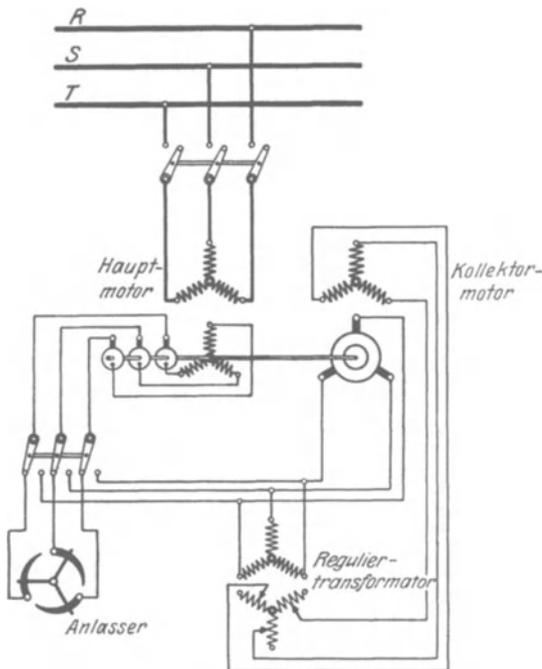


Abb. 285. Drehstrom-Induktionsmotor mit mechanisch gekuppeltem Kollektormotor.

die Drehzahl ist also von der Belastung ziemlich unabhängig; ihre Einstellung erfolgt meistens durch einen Reguliertransformator. Die Kaskade arbeitet, wie auch die nachfolgend erörterten Anordnungen, im allgemeinen ohne Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke, also mit dem Leistungsfaktor 1.

Abb. 285 zeigt das Schaltungsschema einer Kaskade mit Nebenschlußkollektormotor. Letzterer entspricht in seiner Ausführung im wesentlichen dem durch Abb. 240 gekennzeichneten Motor, nur daß — umgekehrt wie bei diesem — nicht die Läuferspannung, sondern die

Ständerspannung geregelt wird. Beim Anlauf wird der Läufer des asynchronen Hauptmotors durch den Umschalter U^1) zunächst in normaler

¹⁾ Es muß hier, wie in den nachfolgenden Kaskadenschaltungen, Sorge getragen werden, daß die Umschaltung ohne Unterbrechung vor sich geht.

rators 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. Kollektormotor und Generator sind miteinander starr gekuppelt, stellen also einen als Motor-generator ausgeführten Umformer dar.

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 Reguliertransformators 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 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.

181. 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 Schema Abb. 287 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. 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.

Statt des in der Abbildung angegebenen Einankerumformers mit drei Schleifringen wird häufig ein solcher mit sechs Schleifringen (s. Abb. 258) 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.

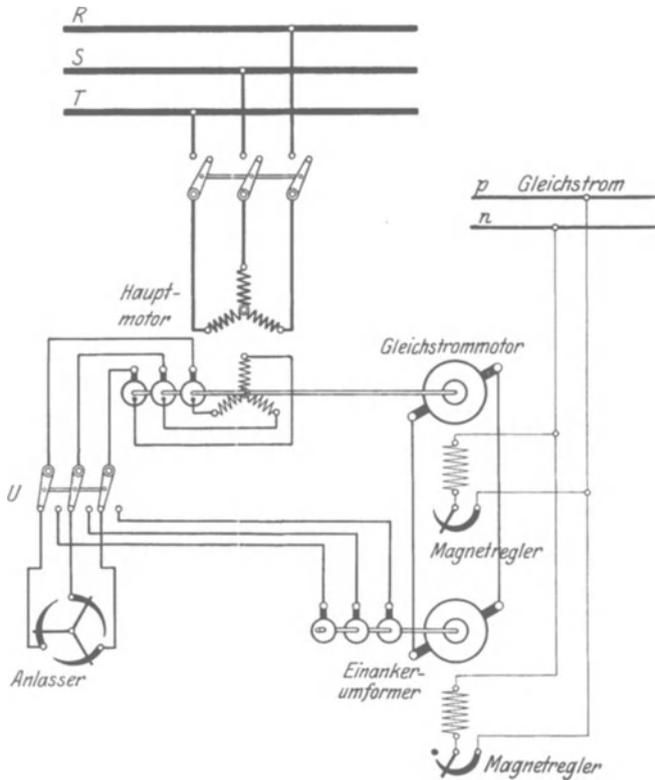


Abb. 287. Drehstrom-Induktionsmotor mit mechanisch gekoppeltem Gleichstrommotor.

Das vorstehend erörterte Regelverfahren, das auch für große Leistungen brauchbar ist, ist unabhängig voneinander von Linse-
mann, Krämer und Heyland angegeben worden.

b) Elektrisch gekuppelter Regelsatz.

Auch bei dem vorstehend beschriebenen Verfahren kann ein ge-
trennter Regelsatz zur Anwendung kommen. Es ist alsdann der vom
Einankerumformer gelieferte Gleichstrom über den Gleichstrom-
motor mit Hilfe eines asynchronen Drehstromgenerators
(vgl. Abb. 286) in Drehstrom überzuführen und dieser an das Netz
zurückzuliefern. Das Schaltbild einer solcherart eingerichteten Anlage
zeigt Abb. 288. 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 Ausführungen: der aus Gleichstrommotor und Drehstromgenerator bestehende Umformer wird von der Drehstromseite aus angetrieben; der Hauptmotor wird angelassen, der Einankerumformer erregt und mit dem Läufer des Hauptmotors ver-

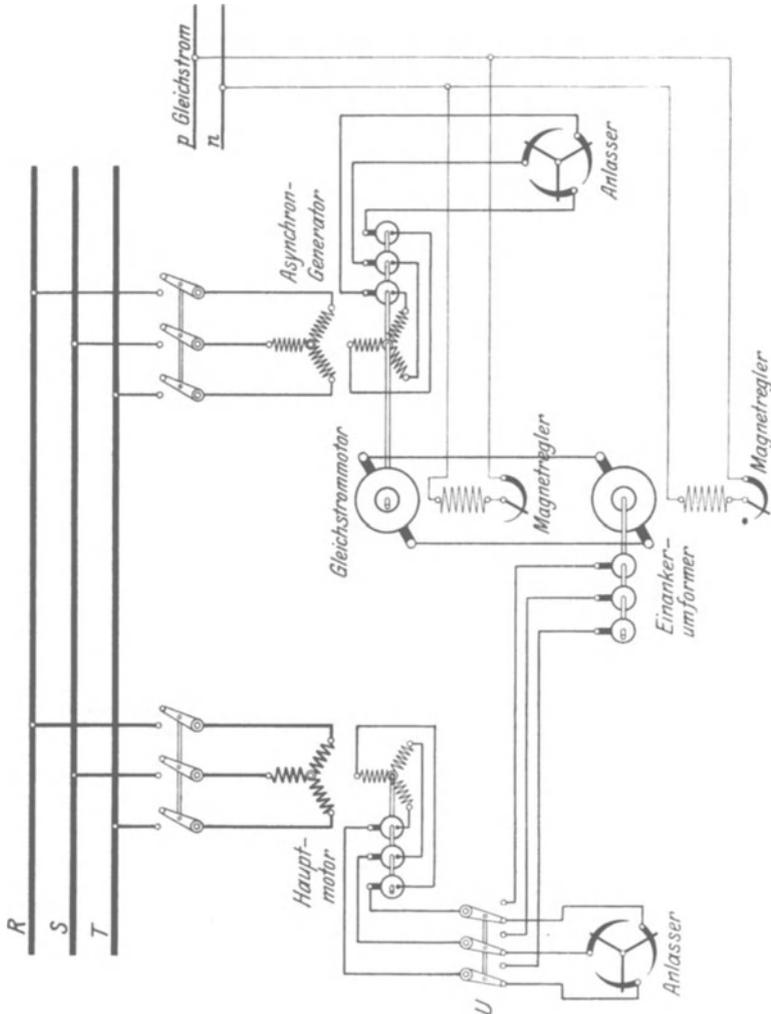


Abb. 288. Drehstrom-Induktionsmotor mit elektrisch gekuppeltem Gleichstrommotor.

bunden. 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.

182. Der Drehstrom-Induktionsmotor mit Frequenzwandler.

Um die Läuferenergie des zu regelnden Induktionsmotors dem Netz wieder zuzuführen, kann nach einem Vorschlage von He y l a n d auch ein

Frequenzwandler, wie er bereits in Abschn. 135a als Phasenkompen- sator 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 entspricht dem Schema Abb. 289. Der Läufer des Hauptmotors arbeitet auf den Kollektor des Frequenzwandlers. Die Schleifringe des Wandlers stehen über einen Reguliertransformator mit dem Netz in Verbindung. Der Antrieb des Frequenzwandlers kann

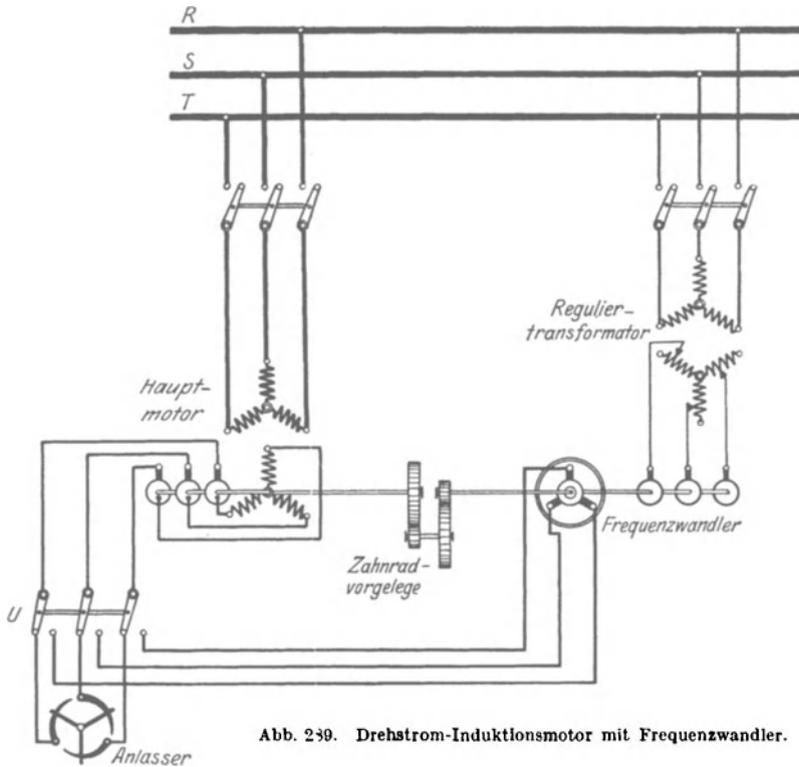


Abb. 289. Drehstrom-Induktionsmotor mit Frequenzwandler.

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 Reguliertransformator 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.

183. Regelung eines Drehstrom-Induktionsmotors auf unter- und übersynchronen Lauf.

Bei den bisher behandelten Kaskadenschaltungen ist eine Regelung der Drehzahl 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 neuerdings ausgebildeten 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 Kozisek ausgebildeten Verfahren der unter- und übersynchronen Regelung eines Induktionsmotors wird eine Drehstrom-Erregermaschine mit Netzerrregung benutzt nach Art der in Abschn. 135b als Phasenkomparator beschriebenen. Es sind verschiedene Schaltungen möglich, von denen eine in Abb. 290 wiedergegeben 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 Reguliertransformators vom Netz aus erregt. Der Erregerstrom wird vom Mittelpunkt jeder der drei Phasen der Sekundärwicklung des Reguliertransformators 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 synchronen Geschwindigkeit auf.

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.

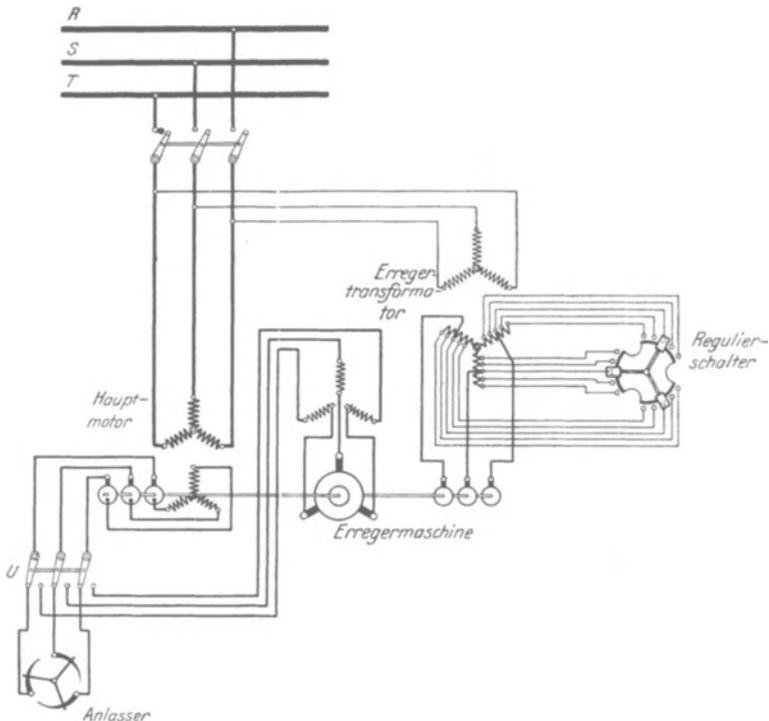


Abb. 290. Mechanisch und elektrisch gekuppelter Regelsatz für unter- und übersynchronen Lauf.

Der Maschinensatz wird vom Hauptmotor aus mittels seines Anlassers in Betrieb gesetzt, wobei sich der Regulierschalter zunächst noch in der Nullage 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. 180 b behandelte Schaltung anschließt, zeigt Abb. 291. Das Verfahren ist in Amerika entwickelt und in Deutschland von BBC durchgebildet worden. Es wird ein vom Hauptmotor getrennter Regelsatz angewendet. Er besteht aus

einem Drehstrom-Kollektormotor, der mit dem Läufer des Hauptmotors in elektrische Verbindung gebracht 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 Reguliertransformators 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 einzu-

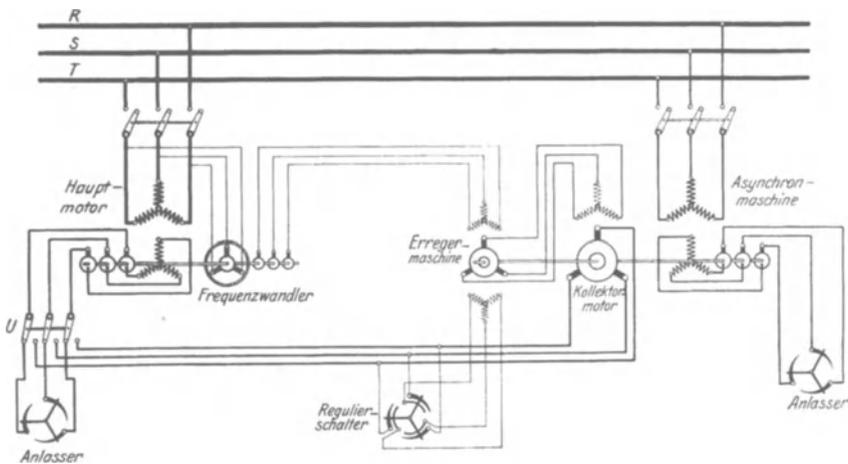


Abb. 201. Elektrisch gekuppelter Regelsatz für unter- und übersynchronen Lauf.

leiten, 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 freiwerdenden 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

Asynchronmaschine 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.

184. Der Doppelkurzschlußkollektormotor.

Regelmaschinen besonderer Art stellt die Firma BBC her, indem sie zwei Einphasen-Kurzschlußkollektormotoren (vgl. Abschn. 146, Abb. 248) zu einem Motor mit zwei Kollektoren vereinigt. Die Stromzuführung kann über zwei Einphasentransformatoren erfolgen, die nach der Skottischen Schaltung (s. Abschn. 93) verbunden sind, so daß jeder Einzelmotor an eine Phase eines Zweiphasensystems angeschlossen wird.

Die Transformatoren sind jedoch entbehrlich, wenn, wie in Abb. 292, 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.

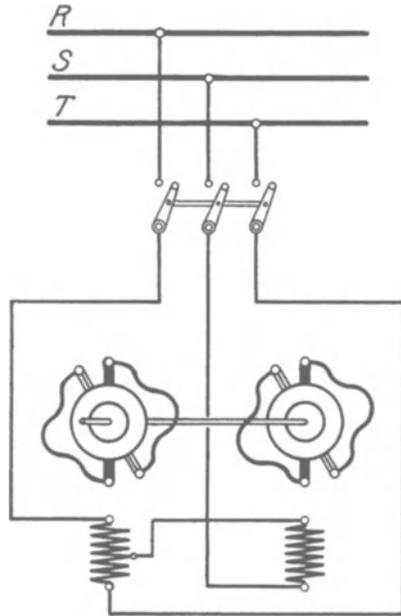


Abb. 292. Doppelkurzschlußkollektormotor.

Anhang.

A. Die wichtigsten Klemmenbezeichnungen.

(Näheres s. „Normen für die Bezeichnung von Klemmen bei Maschinen, Anlassern, Reglern und Transformatoren“ 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.
 $N-P$ = Zweileiternetz.
 $N-O-P$ = Dreileiternetz.
 L, M, R = Anlasser.
 s, t = Magnetregler, q = Ausschaltkontakt des Reglers.

$U-X, V-Y, W-Z$ oder $u-x, v-y, w-z$ = unverkettete Drehstromwicklung.

U, V, W oder u, v, w = verkettete Drehstromwicklung.

O oder o = Nullpunkt der verketteten Drehstromwicklung.

$J-K$ = gleichstromerregte Magnetwicklung.

L = Leitung, unabhängig von der Phase.

$R-T$ = Einphasennetz.

$Q-S, R-T$ = Zweiphasennetz.

$R-S-T$ = Drehstromnetz.

$R-S-T-O$ = Drehstromnetz mit Nulleiter.

s, t = Magnetregler für Gleichstromerregung, 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.

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.

$R. T.$ = Reguliertransformator.

$E. M.$ = Erregermaschine.

$P. D.$ = Piranimaschine.

$P. M.$ = Puffermaschine.

$M. R.$ = Magnetregler.

$N. R.$ = Nebenschlußregler.

II. Meß- und Prüfinstrumente.

A = Strommesser, Amperemeter.

V = Spannungsmesser, Voltmeter.

W = Leistungsmesser, Wattmeter.

P = Phasenmesser, $\cos \varphi$ -Zeiger.

F = Frequenzmesser.

$D. F.$ = Doppelfrequenzmesser.

Z = Zähler, allgemein.
Wh = Wattstundenzähler.
R. A. = registrierender Strommesser.
R. V. = „ Spannungsmesser.
R. W. = „ Leistungsmesser.

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. = Schutzschalter,
 auch 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, Rückleistungs-
 relais.
N. R. = Spannungsrückgangsrelais,
 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.

P. Z. = Polarisationszelle.

F = Funkenableiter.
H = Hörnerableiter.
R = Rollenableiter.
C = Kondensator.
D = Drosselspule.
C. D. = Campos-Drosselspule.
E. W. = Erdungswiderstand.
E. D. = Erdungsdrosselspule.
W. E. = Wasserstrahlerder.
P. D. = Erdschlußspule, Petersen-
 Drosselspule.
L. T. = Löschtransformator.

C. Abkürzungen im Text.

VDE = Verband deutscher Elektrotechniker.
 AEG = Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.
 BBC = Brown, Boveri & Co.
 Bergmann-EW = Bergmann Elektrizitätswerke.
 SSW = Siemens-Schuckertwerke.

D. Literaturangaben.

ETZ = Elektrotechnische Zeitschrift.
 AEG-Mitt. = AEG-Mitteilungen.
 SZ = Siemens-Zeitschrift.

Theorie der Wechselstromübertragung. (Fernleitung und Umspannung.) Von Dr.-Ing. **Hans Grünholz**. Mit 130 Abbildungen im Text und auf 12 Tafeln. VI, 222 Seiten. 1928. Gebunden RM 36.75

Wechselstrom-Leistungsmessungen. Von Obergeringieur **Werner Skirl**. Dritte, vollständig umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 247 zum größten Teil auf Tafeln angeordneten Bildern. VII, 278 Seiten. 1930. Gebunden RM 14.—

Die asynchronen Wechselfeldmotoren. Kommutator- und Induktionsmotoren. Von Professor Dr. **Gustav Benischke**. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 109 Abbildungen im Text. V, 123 Seiten. 1929. RM 11.40; gebunden RM 12.60

Die asynchronen Drehstrommotoren und ihre Verwendungsmöglichkeiten. Von Betriebsingenieur **Jakob Ippen**. Mit 67 Textabbildungen. VII, 90 Seiten. 1924. RM 3.60

Die asynchronen Drehstrommaschinen mit und ohne Stromwender. Darstellung ihrer Wirkungsweise und Verwendungsmöglichkeiten. Von Professor Dipl.-Ing. **Franz Sallinger**, Eßlingen. Mit 159 Textabbildungen. VI, 197 Seiten. 1928. RM 8.—; gebunden RM 9.20

Einführung in die komplexe Behandlung von Wechselstromaufgaben. Von Dr.-Ing. **Ludwig Casper**. Mit 42 Textabbildungen. V, 121 Seiten. 1929. RM 6.60

Die symbolische Methode zur Lösung von Wechselstromaufgaben. Einführung in den praktischen Gebrauch. Von **Hugo Ring**. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 50 Textabbildungen. VII, 80 Seiten. 1928. RM 4.50

Erdströme. Grundlagen der Erdschluß- und Erdungsfragen. Von Dr.-Ing. **Franz Ollendorff**. Mit 164 Textabbildungen. VIII, 260 Seiten. 1928. Gebunden RM 20.—

Die Akkumulatoren, ihre Theorie, Herstellung, Behandlung und Verwendung. Von Prof. Dr. **W. Bernbach**. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 107 Textabbildungen. VI, 214 Seiten. 1929. RM 8.50; gebunden RM 9.75

Elektrische Starkstromanlagen. Maschinen, Apparate, Schaltungen, Betrieb. Kurzgefaßtes Hilfsbuch für Ingenieure und Techniker sowie zum Gebrauch an technischen Lehranstalten. Von Oberstudienrat Dipl.-Ing. **Emil Kosack**, Magdeburg. Siebente, durchgesehene und ergänzte Auflage. Mit 308 Textabbildungen. XI, 342 Seiten. 1928.

RM 8.50; gebunden RM 9.50

Entwurf und Bau von Schaltanlagen für Drehstrom-Kraftwerke. Von Oberingenieur **Johann Waltjen**. Mit 373 Abbildungen im Text. XVI, 268 Seiten. 1929. Gebunden RM 39.—

Kommutatorkaskaden und Phasenschieber. Die Theorie der Kaskadenschaltungen von Drehstromasynchronmaschinen mit Drehstromkommutatormaschinen zur Regelung des Leistungsfaktors, der Drehzahl und der Leistungscharakteristik. Von Dr.-Ing. **Ludwig Dreyfus**, Vorstand des Versuchsfeldes der Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (ASEA) in Västerås, Schweden. Mit 115 Textabbildungen. IX, 209 Seiten. 1931. RM 26.—; gebunden RM 27.50

Relais und Schutzschaltungen in elektrischen Kraftwerken und Netzen. Vorträge von Oberbaurat Direktor **A. Rachel**, Dresden; Professor Dr.-Ing. **R. Rüdenberg**, Berlin; Oberingenieur Dr.-Ing. **M. Schleicher**, Berlin; Oberingenieur Dr.-Ing. **E. Sommer**, Dresden; Oberingenieur **O. Mayr**, Berlin; Chefelektriker Dr.-Ing. **E. Rühle**, Berlin; Direktor **M. Neustätter**, Berlin. Veranstaltet durch den Elektrotechnischen Verein E. V. zu Berlin, in Gemeinschaft mit dem Außeninstitut der Technischen Hochschule zu Berlin. Herausgegeben von **Reinhold Rüdenberg**, Dr.-Ing. und Dr.-Ing. e. h., Chefelektriker, Honorarprofessor an der Technischen Hochschule zu Berlin. Mit 336 Textabbildungen. VIII, 281 Seiten. 1929. Gebunden RM 25.50

Die Stromwendung großer Gleichstrommaschinen. Von Dr.-Ing. **Ludwig Dreyfus**, Vorstand des Versuchsfeldes der Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (ASEA) in Västerås, Schweden. Mit 101 Textabbildungen. XII, 191 Seiten. 1929. RM 16.—; gebunden RM 17.50

Anleitung zur Entwicklung elektrischer Starkstromschaltungen. Von Dr.-Ing. **Georg I. Meyer**, Beratender Ingenieur für Elektrotechnik. Mit 167 Textabbildungen. VI, 160 Seiten. 1926. Gebunden RM 12.—

Meßgeräte und Schaltungen zum Parallelschalten von Wechselstrom-Maschinen. Von Oberingenieur **Werner Skirl**. Zweite, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 30 Tafeln, 30 ganzseitigen Schaltbildern und 14 Textbildern. VIII, 140 Seiten. 1923. Gebunden RM 5.—

Wirkungsweise der Motorzähler und Meßwandler mit besonderer Berücksichtigung der Blind-, Misch- und Scheinverbrauchsmessung. Für Betriebsleiter von Elektrizitätswerken, Zählertechniker und Studierende. Von Direktor Dr.-Ing. und Dr.-Ing. e. h. **I. A. Möllinger**. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 131 Textabbildungen. VI, 238 Seiten. 1925. Gebunden RM 12.—

Elektrische Maschinen. Von Professor Dr.-Ing. **Rudolf Richter**, Direktor des Elektrotechnischen Instituts Karlsruhe.

Erster Band: **Allgemeine Berechnungselemente. Die Gleichstrommaschinen.** Mit 453 Textabbildungen. X, 630 Seiten. 1924. Gebunden RM 32.—

Zweiter Band: **Synchronmaschinen und Einankerumformer.** Mit Beiträgen von Professor Dr.-Ing. **Robert Brüderlink**, Karlsruhe. Mit 519 Textabbildungen. XIV, 707 Seiten. 1930. Gebunden RM 39.—

Wirkungsweise elektrischer Maschinen. Von Professor Dr. techn. **Milan Vidmar**, Ljubljana. Mit 203 Abbildungen im Text. VI, 223 Seiten. 1928. RM 12.—; gebunden RM 13.50

Der wirtschaftliche Aufbau der elektrischen Maschine. Von Professor Dr. techn. **Milan Vidmar**, Ljubljana. Mit 7 Textabbildungen. V, 113 Seiten. 1918. RM 5.60

Elektromaschinenbau. Berechnung elektrischer Maschinen in Theorie und Praxis. Von Privatdozent Dr.-Ing. **P. B. Arthur Linker**, Hannover. Mit 128 Textfiguren und 14 Anlagen. VIII, 304 Seiten. 1925. Gebunden RM 24.—

Der Elektromotor. A. Gleichstrommotoren. Von Dipl.-Ing. **Conrad Aron**, Berlin. (Technische Fachbücher, Bd. 18 a.) Mit 44 Abbildungen im Text und 113 Aufgaben nebst Lösungen. IV, 126 Seiten. 1927. RM 2.25

Hilfsbuch für die Elektrotechnik. Unter Mitwirkung namhafter Fachgenossen bearbeitet und herausgegeben von Dr. **Karl Strecker**. Zehnte, umgearbeitete Auflage.

Starkstromausgabe. Mit 560 Abbildungen. XII, 739 Seiten. 1925. Gebunden RM 20.—

Schwachstromausgabe (Fernmeldetechnik). Mit 1057 Abbildungen. XXII, 1137 Seiten. 1928. Gebunden RM 42.—

Kurzer Leitfaden der Elektrotechnik in allgemeinverständlicher Darstellung für Unterricht und Praxis. Von **Rudolf Krause**. Fünfte, erweiterte Auflage, neubearbeitet von **W. Vieweger**, Ingenieur. Mit 413 Abbildungen. VIII, 275 Seiten. 1929.

RM 10.—; gebunden RM 11.50

Elektro-Werkzeuge, Kleinwerkzeugmaschinen mit Einbaumotor und biegsame Wellen. Von Dr.-Ing. **Hans Fein**, Stuttgart. Mit 164 Textabbildungen. V, 112 Seiten. 1929. RM 6.90

Drehstrommotoren mit Doppelkäfiganker und verwandte Konstruktionen. Von **Franklin Punga**, o. Professor an der Technischen Hochschule Darmstadt, und **Otto Raydt**, Oberingenieur, Aachen. Mit 197 Textabbildungen. VII, 165 Seiten. 1931. RM 14.50; gebunden RM 16.—

Der Drehstrommotor. Ein Handbuch für Studium und Praxis. Von Professor Dr. **Julius Heubach**, Direktor der Elektromotorenwerke Heidenau G. m. b. H. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 222 Abbildungen. XII, 599 Seiten. 1923. Gebunden RM 20.—

Die Transformatoren. Von Professor Dr. techn. **Milan Vidmar**, Ljubljana. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 320 Abbildungen im Text und auf einer Tafel. XVIII, 751 Seiten. 1925. Gebunden RM 36.—

Der Transformator im Betrieb. Von Professor Dr. techn. **Milan Vidmar**, Ljubljana. Mit 126 Abbildungen im Text. VIII, 310 Seiten. 1927. Gebunden RM 19.—

Der Transformator. Von Dipl.-Ing. **Conrad Aron**, Berlin. (Technische Fachbücher, Band 13.) Mit 47 Abbildungen im Text und 115 Aufgaben nebst Lösungen. IV, 117 Seiten. 1926. RM 2.25

Die Berechnung von Gleich- und Wechselstromsystemen. Von Dr.-Ing. **Fr. Natalis**. Zweite, völlig umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 111 Abbildungen. VI, 214 Seiten. 1924. RM 10.—

Aufgaben und Lösungen aus der Gleich- und Wechselstromtechnik. Ein Übungsbuch für den Unterricht an technischen Hoch- und Fachschulen sowie zum Selbststudium. Von Professor **H. Vieweger** und Ingenieur **W. Vieweger**. Zehnte, umgearbeitete Auflage. Mit 289 Textabbildungen zu 349 Aufgaben und einer Tafel mit Magnetisierungskurven. VIII, 341 Seiten. 1931. RM 11.50; gebunden RM 13.—

Ankerwicklungen für Gleich- und Wechselstrommaschinen. Ein Lehrbuch von Professor Dr.-Ing. **Rudolf Richter**, Direktor des Elektrotechnischen Instituts Karlsruhe. Mit 377 Textabbildungen. XI, 423 Seiten. 1920. Berichtigter Neudruck 1922. Gebunden RM 20.—