

Leitfaden
der
Elektrotechnik
von
Rudolf Krause

Kurzer
Leitfaden der Elektrotechnik

für Unterricht und Praxis
in allgemein verständlicher Darstellung.

Von

Rudolf Krause,
Ingenieur.

Mit 180 in den Text gedruckten Figuren.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1905.

ISBN 978-3-662-42880-1 ISBN 978-3-662-43166-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-43166-5

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

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1905

Vorwort.

Der wesentliche Inhalt und der Zweck des vorliegenden Buches sind schon im Titel ausgesprochen. Es erübrigt hier noch hinzuzufügen, daß es in der Absicht des Verfassers liegt, mit den gegebenen Abhandlungen hauptsächlich eine richtige oder, besser und bescheidener ausgedrückt, eine brauchbare Vorstellung über die Wirkung der Elektrizität und ihrer Erzeuger und Verwerter zu geben, welche den Leserkreis, für den das Buch bestimmt ist, in den Stand setzt, die Vorgänge einigermaßen im Geiste zu verfolgen und selbst gegebenenfalls zu erkennen, welche Schaltungen und Handgriffe für bestimmte Zwecke notwendig sind.

Nach der unmaßgeblichen Ansicht des Verfassers ist eine klare Vorstellung der Vorgänge in elektrischen Apparaten ebenso wichtig, als eine rechnerische mathematische Verfolgung der dabei auftretenden Wirkungen, und das richtige Erkennen der zu ergreifenden Maßnahmen ist für diejenigen, die im sogenannten praktischen Betriebe stehen, also mit Apparaten und Maschinen umgehen müssen, immer nur abhängig von einer richtigen Vorstellung der Vorgänge.

Dies möge also als Entschuldigung für das Zustandekommen des kleinen Buches aufgefaßt werden, dessen Aufbau nicht streng nach geordnetem Schema erfolgt ist, sondern, um eine zusammenhängende Darstellung zu ermöglichen, wurde, von allgemeinen Betrachtungen ausgehend, in großen Zügen eine Einteilung vorgenommen, die in den Überschriften der einzelnen Abschnitte zu erkennen ist, und dabei gleichzeitig das am Wege liegende mitgenommen. Es sind dadurch mitunter Abschweifungen nötig geworden, die aber dennoch als notwendige Folge des Vorherigen oder als Übergang zu Kommendem anzusehen sind.

Des weiteren folgt aus der Anordnung des Stoffes und der Darstellungsweise, die immer auf früheres zurückgreift, daß das Buch von Anfang an gelesen werden muß, der Reihe nach, wie es geschrieben wurde.

Die beigefügten Abbildungen sind vom Verfasser unter dem Gesichtspunkt gezeichnet, daß sie das Wesentliche des Gegenstandes hervorheben sollen. Es sind deshalb auch Photographien vermieden worden, da sie zu viel unwesentliche Einzelheiten mit zeigen würden, die das Wesentliche namentlich für Unkundige schwer erkennen lassen. Sodann sind nur neuere Apparate und Instrumente beschrieben und die gewöhnlich zur Erklärung vieler Maschinen benutzten Ringwickelungen durch die der Wirklichkeit im allgemeinen mehr entsprechenden Trommelwickelungen ersetzt worden, um dem Leser das sonst immer notwendige, oft nicht ganz einfache Übertragen der Erscheinungen auf Trommelwickelungen zu ersparen.

Zum Schluß bleibt noch der Wunsch offen, daß das Büchlein den beabsichtigten Zweck erfüllen möge.

Mittweida, im Juli 1905.

Rudolf Krause.

Inhalt.

I. Elektrizität und Magnetismus.		Seite
Einleitung		1
Geschichtliches		2
Wirkungen		4
Meßinstrumente:		
Drehspulinstrument		5
Hitzdrahtinstrument		7
Dynamische Instrumente		8
Wesen des elektrischen Stromes		9
 II. Stromstärke, Spannung, Widerstand, Watt, Magnetismus, Arbeit bei Gleich- und Wechselstrom.		
Elektromotorische Kraft, Spannung		11
Stromstärke		11
Ohmsches Gesetz		11
Widerstand der verschiedenen Metalle		12
Zusammenhang zwischen elektrischer und Wärmeleitung		12
Isolatoren		13
Spannungsverlust		15
Voltmeter		15
Schaltung von Volt- und Amperemeter (Fig. 10)		16
Arbeit		16
Stromwärme		18
Zusammenhang zwischen mechanischer und elektrischer Arbeit		18
Watt		18
Magnetismus		19
Kraftlinien		22
Korkzieherregel		25
Scheinbarer Widerstand bei Wechselstrom		29
Hörnerblitzableiter		30
Phasenverschiebung		31
Schaltung der Wattmeter (Fig. 29)		32
Leistungsfaktor ($\cos \varphi$)		32
Zähler:		
Pendelzähler		33
Motorzähler		35

III. Die Erzeugungsarten des elektrischen Stromes.		Seite
Erregung von Strömen in Kupferscheibe		37
Handregel		38
Transformator		39
Wechselstrom in der Drahtschleife		41
Gleichstrom vermittels Kollektor		43
Thermosäule		44
Galvanische Elemente		44
Chemische Wirkungen des Gleichstromes		45
Akkumulatoren		52
Zellenschalter		53
IV. Stromerzeuger für Gleichstrom.		
Magnetgestelle		57
Anker		57
Verluste in elektrischen Maschinen		58
Wirkungsgrad		59
Wicklung des Ankers		61
Formspulen		61
Stäbe		62
Riemenmaschine		64
Bürste		64
Langsamlaufende Maschinen		65
Hauptstrommaschinen		66
Selbsterregung		67
Bürstenlage		73
Feldverschiebung		73
Rückwirkung des Ankers		75
Arbeitsweise der Hauptstrommaschinen		76
Nebenschlußmaschine		77
Selbsterregung		78
Arbeitsweise der Nebenschlußmaschine		80
Maschinen mit gemischter Schaltung		81
V. Stromerzeuger für Wechselstrom, ein- und mehrphasig.		
Prinzip einer Einphasenmaschine		85
Prinzip einer Zweiphasenmaschine		87
Prinzip einer Dreiphasenmaschine		87
Drehstrom		88
Sternschaltung		91
Dreieckschaltung		91
Leistung der Drehstrommaschinen		94
Messung derselben		95

Teile der Wechselstrommaschinen:	Seite
Magneträder	96
Anker	98
Gehäuse	99
Wicklungen	100
Riemenmaschinen	102
Langsamlaufende Maschinen	102
Regelung der Wechselstrommaschinen	103

VI. Motoren für Gleichstrom.

Wirkungsweise des Gleichstrommotors	106
Das Anlassen	107
Die Anlasser	107
Bei Nebenschlußmotoren	108
Bei Hauptstrommotoren	113
Verwendung der Motoren	114
Wenden der Drehrichtung	114
Straßenbahn-Motoren	115

VII. Motoren für Wechsel- und Drehstrom.

Synchron-Motoren:	
Einphasig	117
Dreiphasig	119
Asynchrone Motoren:	
Drehfeldmotoren	121
Entstehung des Drehfeldes	122
Mehrpolige Drehfelder	124
Läufer mit Käfigwicklung	126
Wenden der Drehrichtung	127
Läufer mit Phasenanker	129
Einphasenmotor:	
Anlauf mit Hilfsphase	130
Wirkungsweise des Einphasenmotors	131
Kollektormotoren für Wechselstrom	135

VIII. Umformer und Spannungswandler (Transformatoren).

Zweck der Umformer	137
Zwei gekuppelte Maschinen (Motor-Generatoren)	138
Einankerumformer	139
Transformatoren	140
Meßtransformatoren	141

IX. Das elektrische Licht und die elektrischen Lampen.

Kohlenfadenlampe	142
Fassung	143

	Seite
Führung der Leitung im Beleuchtungskörper	143
Metallfadlampen:	
Osmiumlampe	144
Tantallampe	145
Nernstlampe	146
Lichtbogen	147
Bogenlampen:	
Hauptstromlampe	148
Nebenschlußlampe	149
Vorschaltwiderstand	150
Differentiallampe	151
Dauerbrandlampen	152
Effektbogenlampen (Bremerlampe)	153
Flammenbogenlampen	153
Wechselstrombogenlampen	154
Quecksilberdampflampen	155
Kaltes Licht	156

X. Elektrische Anlagen.

Parallelbetrieb von mehreren Gleichstrommaschinen	158
Inbetriebsetzen	159
Verteilung der Belastung auf die einzelnen Maschinen	159
Schalttafel	160
Sicherungen	161
Schalter:	
Gewöhnliche	163
Momentschalter	164
Hörnerschalter für Hochspannung	164
Ölschalter für Hochspannung	165
Parallelbetrieb mit Akkumulatoren	165
Drespulinstrument für 2 Ausschlagrichtungen	167
Nullstromausschalter (Minimalschalter)	168
Dreileitersystem	169
Dreileitersystem mit Akkumulatoren	169
Dreileitersystem mit Akkumulatoren und Ausgleichsmaschinen	170
Elektrische Bahnen	171
Schaltwalzen für elektrische Straßenbahnen	172
Arbeitsübertragung durch Hauptstrommaschinen, Hochspannung	173
Parallelbetrieb mehrerer Wechselstrommaschinen	174
Parallelbetrieb mehrerer Drehstrommaschinen	175

XI. Schlußbemerkungen

I. Elektrizität und Magnetismus.

Die Elektrizität hat ihren Namen von dem Bernstein, der im Griechischen „Elektron“ hieß und dessen eigentümliche Eigenschaft, elektrisch zu werden, wenn man ihn reibt, schon im Altertum bekannt war. Die Elektrizität des Bernsteins äußert sich genau so, wie diejenige des Hartgummis; dieser Stoff wird, wie allgemein bekannt ist, ja ebenfalls durch Reiben mit Wolle elektrisch, wie man sich an einem Federhalter aus Hartgummi leicht überzeugen kann, der nach dem Reiben imstande ist, kleine leichte Papierstückchen anzuziehen, die er dann nach erfolgter Berührung gleich wieder fallen läßt, um sie sofort wieder anzuziehen, sobald sie auf den Tisch gefallen sind. So geht das fortwährende Anziehen und Abstoßen einige Zeit fort, bis schließlich der Federhalter seine Kraft verliert. Denselben Versuch kann man auch mit einer Stange Siegelack ausführen. Hält man einen solchen elektrisch gemachten Körper vorsichtig an das Ohr, so hört man ein leises Knistern, welches von überspringenden kleinen Funken herrührt. Besonders stark wird dieses Knistern, wenn man einer Katze mit einem Hartgummikamm das Fell kämmt.

Diese im Altertum schon bemerkte Tatsache blieb wie so manches andere während des ganzen Mittelalters unentwickelt, weil man in dieser Zeit den Sinn für das Natürliche allmählich verloren hatte und nur derjenige für gelehrt galt, der besonders gut Lateinisch sprechen konnte und in dieser Sprache sich in unfruchtbaren philosophischen Spekulationen erging, unfruchtbar, weil sie nicht auf dem Boden der Naturwissenschaften standen.

Aus dieser den Körper über der Seele ganz und gar vergessenden Zeit, der infolgedessen die Fähigkeit zum Beobachten abhanden gekommen war, stammt auch die unselige Gewohnheit, in

Fremdwörtern zu sprechen, die auch beibehalten wurde, als man wieder anfang sich auf die Natur zu besinnen. So sind auch in der Elektrotechnik eine ganze Menge Fremdwörter in Gebrauch, die man zum Teil noch nicht gut verdeutschen kann. Im allgemeinen aber herrscht heute das Bestreben, die von der Wissenschaft in die Technik übernommenen Fremdwörter deutsch auszudrücken, wie denn auch in dem vorliegenden Buch diesem Bestreben nach Möglichkeit gefolgt wurde. Der Leser möge mir die kleine Abschweifung verzeihen, weil sie ihn mit einem Zuge der Zeit bekannt gemacht hat, und wir wollen zurückkehren zur Reibungselektrizität.

Erst gegen Ende des Mittelalters erfand der berühmte Bürgermeister von Magdeburg, OTTO VON GUERICKE (1602—1686) die erste Reibungselektriermaschine, bestehend aus einer mit der Hand gedrehten Schwefelkugel, die sich an Lederlappen rieb.

Die durch Reibung erzeugte Elektrizität ist jedoch für technische Zwecke nicht anwendbar, wir wollen daher auch nicht weiter darauf eingehen.

Die erste grundlegende Entdeckung für eine heutige Art der Elektrizitätserzeugung machte der italienische Arzt **Galvani** im Jahre 1789, und zwar, wie es gewöhnlich bei großen Entdeckungen geschieht, machte er sie durch Zufall. Er hatte für irgend welche heilwissenschaftlichen Zwecke mehreren Fröschen die Hinterschenkel abgezogen und mit kupfernen Haken an ein eisernes Fenstergitter gehängt. Jedesmal wenn ein Windstoß die Schenkel gegen das Eisen des Gitters bewegte, beobachtete GALVANI ein Zusammenzucken der Schenkelmuskeln. Jedoch verstand er noch nicht seine Entdeckung zu verwerten, dies gelang erst im Jahre 1799 dem Professor in Pavia **Alessandro Volta**. Dieser erkannte, daß es zur Erzeugung eines elektrischen Stromes notwendig ist, zwei verschiedene Metalle in einer Salzlösung zu verwenden, und zwar baute er zuerst seine nach ihm benannte VOLTASche Säule, welche aus Zink- und Kupferplatten mit zwischengelegten, in Kochsalzlösung angefeuchteten Filzlappen bestand, nach dem Schema: Zink, Lappen, Kupfer, Zink, Lappen, Kupfer, Zink, Lappen, Kupfer usw. Später ersetzte er bei seiner Becherbatterie die unbequemen Filzlappen durch Glasgefäße, welche mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt waren.

Weitere wichtige Entdeckungen für die Entwicklung der Elektrotechnik folgten nun rasch. Im Jahre 1813 entdeckte **Davy** den elektrischen Lichtbogen, dessen Anwendung in den elek-

trischen Bogenlampen zum Zwecke der Lichterzeugung und ferner zum Schweißen und Löten geschieht. 1819 machte **Oersted** die wichtige Entdeckung, daß weiches Eisen magnetisch wird, wenn man es mit einem Draht umgibt, durch den man einen elektrischen Strom leitet, das heißt also, er erfand den Elektromagneten, ohne welchen unsere heutigen elektrischen Maschinen undenkbar wären. Ebenfalls von der größten Bedeutung für die elektrischen Maschinen war die Entdeckung **Faradays** 1831 über Erzeugung elektrischer Ströme durch die Einwirkung von Magneten auf Drähte; man nennt diese Entdeckung das Gesetz der magneto-elektrischen Induktion. Zwei Jahre später, also 1833, ließen die beiden Professoren an der Universität Göttingen, **Gauß** und **Weber** den ersten Telegraphen ausführen zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Institut und verständigten sich durch denselben auf eine allerdings für heutige Begriffe recht umständliche Weise. Durch die Erfindung des MORSE-Telegraphen von **Morse** 1835 wurde die Telegraphie bedeutend verbessert und im Jahre 1847 war sie so weit entwickelt, daß die Gründung der Telegraphenfabrik der späteren Weltfirma **Siemens und Halske** in Berlin erfolgen konnte. Für die Entwicklung des Fernsprechers wurde die Erfindung des Telephons durch den deutschen Volksschullehrer **P. Reis** im Jahre 1861 grundlegend. Die Entwicklung der heutigen elektrischen Maschinen wurde möglich durch die Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzipes von **Werner von Siemens**, dem einen Mitbegründer der schon genannten Firma, im Jahre 1867. Die Bedeutung dieser Entdeckung kann an dieser Stelle noch nicht auseinandergesetzt werden und soll erst später erfolgen.

Trotzdem schon 1813 der Lichtbogen von **Davy** entdeckt war, wurde erst 1876 die erste elektrische Bogenlampe, welche Anwendung von dem Lichtbogen machte, durch **Jablochkoff** erfunden. Die erste Anwendung dieser Lampe geschah in der Großen Oper zu Paris bei Aufführung des Propheten, und zwar wurde der Aufgang der Sonne durch das Bogenlicht bewerkstelligt. 1879 fuhr die erste elektrische Eisenbahn auf der Ausstellung in Berlin; sie war gebaut von der Firma **SIEMENS & HALSKE** und mutet uns heute, nach nur 25 Jahren, ordentlich lächerlich an, im Vergleich mit den gewaltigen elektrischen Schnellbahnlokomotiven der Jetztzeit. Die heutige, durch **Marconi** zuerst entwickelte Telegraphie ohne Draht oder Funkentelegraphie beruht auf der durch **Hertz** 1886 gemachten Entdeckung der elektrischen Wellen in der Luft.

Nachdem wir nun in großen Zügen die Entwicklung der Elektrotechnik bis zur Jetztzeit verfolgt haben, wollen wir versuchen, uns, soweit es möglich ist, eine Vorstellung darüber zu machen, was Elektrizität ist. Wir sind mit unseren gewöhnlichen fünf Sinnen nicht imstande, einen elektrischen Strom wahrzunehmen, obwohl die Elektrizität sicher einen Einfluß auf uns ausübt, der uns allerdings nicht zum Bewußtsein kommt. Geht z. B. dicht neben uns her ein Draht vorbei, so können wir dem Draht nicht anmerken, wann ein Strom durch ihn hindurchgeht und wann derselbe wieder aufhört. Wir müssen erst Hilfsapparate benutzen, die uns in den Stand setzen, den elektrischen Strom zu erkennen. Ein solcher Hilfsapparat ist die Magnetnadel, wie sie in jedem Kompaß benutzt wird, also ein magnetisches kleines Stück Stahlblech, welches drehbar aufgehängt ist und dann bekanntlich sich stets in die Richtung von Norden nach Süden einstellt. Fließt aber ein Strom in der Nähe dieser Magnetnadel vorbei, dann wird sie je nach der Stärke des Stromes mehr oder weniger aus ihrer gewöhnlichen Nord-Süd-Richtung herausgedreht. Weiter beobachtet man, daß ein dünner Draht glühend wird, ja sogar schmelzen kann, wenn man einen elektrischen Strom hindurchleitet. Wir haben also hier zwei Mittel in der Hand, um das Vorhandensein eines elektrischen Stromes nachzuweisen; die Verdrehung der Magnetnadel und die Erwärmung von dünnen Drähten. Das erste Mittel läßt uns freilich bei dem sogenannten Wechselstrom, wie er in der Elektrotechnik wenigstens ebenso häufig als der Strom von stets gleichbleibender Richtung, der Gleichstrom, angewendet wird, im Stich. Ein Wechselstrom besteht aus in der Regel 80—100 in einer Sekunde aufeinander folgenden Stromstößen von entgegengesetzter Richtung. Da aber die Ablenkungsrichtung der Magnetnadel abhängt von der Richtung des Stromes, so müßte sie ebenfalls 80 bis 100 mal in der Sekunde ihre Stellung von links nach rechts ändern, weil immer der eine Stromstoß sie nach der einen Seite, der nächste sie wieder nach der anderen Seite ablenkt; da sie aber so schnell gar nicht hin- und herschwingen kann, so bleibt sie einfach in ihrer gewöhnlich Nord-Süd-Richtung still stehen. Es bleibt also zur Erkennung eines Wechselstromes nur noch die Erwärmung eines dünnen Drahtes übrig.

Wir haben durch diese beiden Wirkungen sogleich die Möglichkeit, elektrische Ströme zu messen, und wollen daher ganz kurz

auf das Prinzip neuzeitlicher Meßinstrumente eingehen, indem die veralteten Tangentenbussolen und Torsionsgalvanometer nur mit dem Namen erwähnt werden mögen, denn in der Technik wendet sie niemand mehr an.

Die heute für Gleichstrom verwendeten Meßinstrumente beruhen auf der gegenseitigen Einwirkung von elektrischem Strom auf Magnete. Allerdings ist bei ihnen keine Magnetnadel in Anwendung, sondern ein fester Stahlmagnet; dafür macht man aber den Strom beweglich, indem man ihn durch eine feine Spule *S* (Fig. 1) leitet. Fließt nun ein Strom durch die Spule, so dreht sie sich, denn da der Strom einen beweglichen Magneten ablenkt, so ist das ein Zeichen dafür, daß beide mit einer Kraft aufeinander einwirken. Hält

man also den Strom fest und macht den Magneten beweglich, so dreht sich letzterer unter der Einwirkung dieser Kraft; macht man umgekehrt den Magneten fest und die Stromspule drehbar, so dreht sich letztere, und zwar, da sie bei der Drehung zwei Uhr-

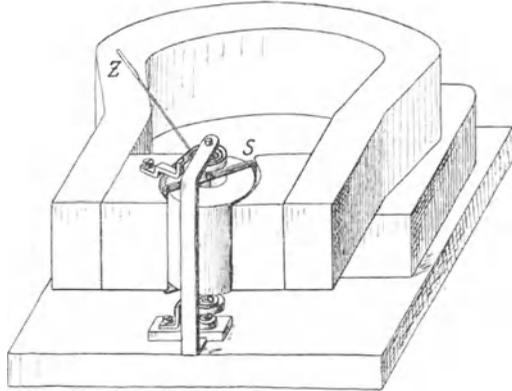


Fig. 1.

federn spannen muß, die in Fig. 1 sichtbar sind, wird sie sich um so stärker drehen, je stärker der Strom ist. Die Drehung wird sichtbar gemacht durch einen mit der Drehspule verbundenen Zeiger *Z*, welcher über einer Teilung schwingt. Zum Schutz wird das ganze Instrument, welches den Namen **Drehspul-Instrument** führt, in ein Gehäuse eingeschlossen, so daß es das Aussehen der Fig. 2 erhält. Außer mit dem Namen Drehspul-Instrument wird das Instrument auch wohl DEPREZ-Instrument genannt nach dem Erfinder des Prinzips und WESTON-Instrument nach der ersten Firma, die es für technische Zwecke ausführte.

Wie aus Fig. 1 zu erkennen ist, muß natürlich die Spule *S* sehr leicht drehbar sein; es ist also nur möglich, ganz dünnen

Draht zu verwenden. Damit aber das Instrument brauchbar wird für die starken Ströme der Technik, schaltet man es an die Enden

eines in dem Stromkreis liegenden Meßwiderstandes w nach Fig. 3 ein. Es fließt dann ein ganz bestimmter Bruchteil i des zu messenden starken Stromes J durch das Instrument und die Teilung desselben ist gleich so eingerichtet, daß man auf ihr den Strom J abliest. Häufig liegt dieser Meßwiderstand w gleich mit im Innern des Instrumentes, sonst wird er in die zu messende Leitung hinter der Schalttafel angebracht, während das mit ihm durch zwei dünne Drähte verbundene Instrument auf

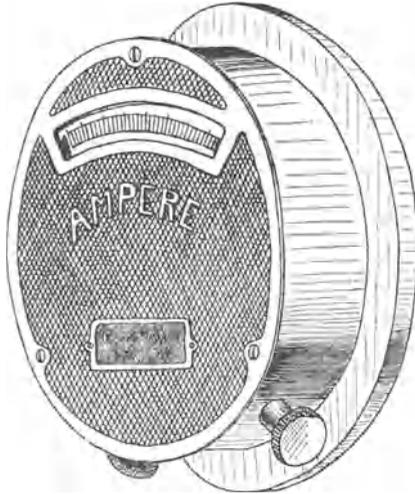


Fig. 2.

der Vorderseite der Schalttafel hängt.

Instrumente der eben beschriebenen Art können nur für Gleich-

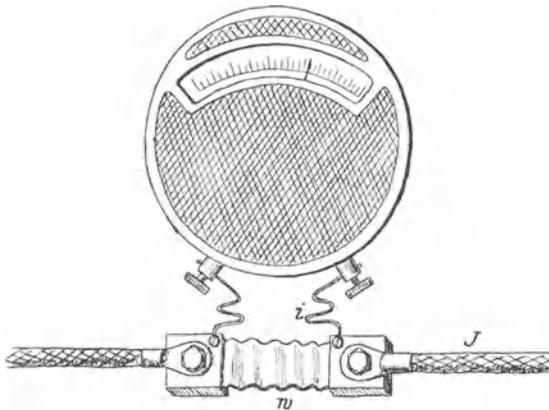


Fig. 3.

strom verwendet werden, weil sie auf der Wechselwirkung von Magnet und Strom beruhen, wie schon auseinandergesetzt wurde.

Die Zweite Wirkung des Stromes, die Erwärmung eines dünnen Drahtes, wird nun ebenfalls zur Messung des Stromes benutzt, und solche Instrumente sind sowohl für Gleichstrom als auch für Wechselstrom anwendbar; da sie aber nicht so genau zeigen, wie die Drehspul-Instrumente, so nimmt man sie gewöhnlich nur für Wechselstrom. Die Wirkungsweise eines solchen sogenannten **Hitzdraht-Instrumentes** geht aus der Fig. 4 hervor. *dd* ist ein dünner Silberdraht, durch welchen der Strom hindurchgeleitet wird. Hierbei wird der Draht warm; ein warmer Körper dehnt sich aber aus, d. h. der Draht wird länger. Da er aber durch einige Spanndrähte mit der Feder *f* verbunden ist, so streckt sich diese, wenn der Hitzdraht *dd* länger wird, und dreht hierbei entsprechend die Rolle mit dem Zeiger, weil der Spanndraht, der nach *f* führt, einmal um die Rolle herumgeschlungen ist. Je stärker der Strom ist, um so stärker wird der Hitzdraht erwärmt, um so mehr kann sich die Feder *f* strecken und um so stärker wird die Rolle mit dem Zeiger *Z* gedreht. Da auch hier nur ein dünner Draht als Hitzdraht verwendet werden kann, muß man das Instrument ebenfalls wie das Drehspul-Instrument an einen Meßwiderstand nach Fig. 3

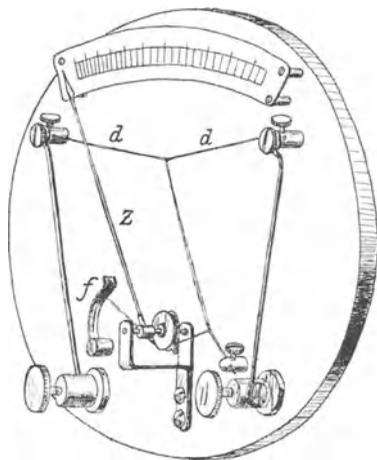


Fig. 4.

schalten, und dann befindet sich das Hitzdraht-Instrument ebenfalls in einem Gehäuse wie Fig. 2.

Der Vollständigkeit halber sollen hier auch noch die ebenfalls für Wechselstrom angewendeten sogenannten **dynamometrischen Meßinstrumente** erwähnt werden. Diese Instrumente beruhen auf der gegenseitigen Einwirkung von zwei Strömen aufeinander; diese suchen sich nämlich stets einander parallel zu stellen. Denkt man sich den Stahlmagnet in Fig. 1 ersetzt durch eine feste Drahtspule und legt man sie so, daß sie eine bewegliche Spule von der Art der Spule *S* in Fig. 1 beeinflussen kann, so sucht sie diese zu drehen. Die Wirkung tritt sowohl bei Gleichstrom als auch bei Wechsel-

strom ein, da in letzterem Falle der Strom in beiden Spulen seine Richtung immer gleichzeitig ändert und infolgedessen eine stets gleich gerichtete Drehkraft auf die bewegliche Spule wirkt.

Eine der Firma SIEMENS & HALSKE patentierte Ausführungsform der erwähnten festen und beweglichen Spule zeigt Fig. 5. Es wird die bewegliche Spule in der Pfeilrichtung zu drehen versucht und dabei werden dann, ebenso wie beim Drehspul-Instrument, zwei Uhrfedern gespannt und die Verdrehung der beweglichen Spule an einem über einer Teilung schwingenden Zeiger sichtbar. Es findet dieses Instrument hauptsächlich als Wattmeter oder Leistungsmesser bei Wechselstrom Verwendung.

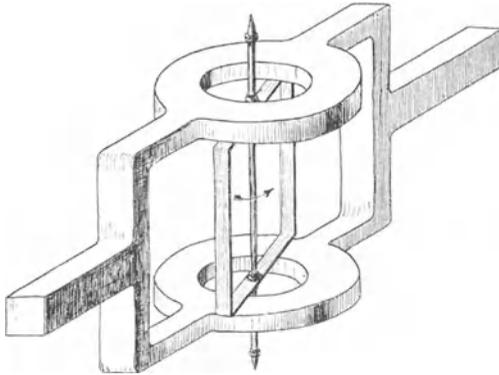


Fig. 5.

Nachdem wir nun einige Wirkungen des elektrischen Stromes und deren Anwendung zur Messung desselben kennen gelernt haben, möchte ich kurz auf die neueren Anschauungen über das Wesen des elektrischen Stromes eingehen. Die Untersuchungen der in einer Röntgenröhre entstehenden Strahlung, der sogenannten Kathodenstrahlen, und der erst in ganz letzter Zeit entdeckten Kanalstrahlen haben bewiesen, daß der elektrische Strom hervorgerufen wird durch das Wandern ganz außerordentlich feiner Körperchen, der sogenannten Elektronen. Diese Elektronen durchdringen alle festen Körper, so sonderbar uns dies auch scheinen mag; sie bewegen sich infolge ihrer Kleinheit mit einer für unsere Begriffe unvorstellbaren Geschwindigkeit und können sich deshalb ohne weiteres aus dem Wirkungsbereich der sonst alle anderen Körper durch ihre Anziehungskraft festhaltenden Erde entfernen. Sie sind, wie ebenfalls

durch Versuche bewiesen ist, die Träger des Lichtes und der elektrischen Wellen; beides sind besondere Schwingungszustände, von denen wir aber nur ganz bestimmte Schwingungszahlen wahrnehmen können, nämlich diejenigen, welche dem Licht in seinen Farben: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, und der gleichzeitigen Einwirkung dieser, dem Weiß, entsprechen. Für diese Schwingungsarten der Elektronen, auch Ätherteilchen genannt, besitzen wir in den Zapfen und Stäbchen der Netzhaut des Auges Sinnesorgane zur Wahrnehmung, dagegen für die elektrischen Wellen besitzt der menschliche Körper keinen Sinn. So wurden z. B. vor kurzer Zeit Versuche mit Funkentelegraphie zwischen einem italienischen Kriegsschiff und einer Stadt in Italien ausgeführt, wobei das Schiff von der Ostsee durch die Nordsee allmählich ins Mittelmeer fuhr. Hierbei gingen die elektrischen Wellen durch ganz Mitteleuropa und doch dürfte wohl kaum ein Mensch sie bemerkt haben. Damit auch dem Leser der Beweis der Körperlichkeit der Elektronen klar wird, will ich einen Versuch von THOMSON beschreiben, muß allerdings dazu etwas weiter ausholen.

Es ist eine allgemein bekannte Erscheinung, daß in einem Zimmer die Fensterscheiben beschlagen, wenn es draußen kalt wird. Es rührt dies daher, daß in der Luft stets unsichtbarer Wasserdampf enthalten ist und daß die Wasserdampfmenge, welche die Luft erfüllt, abhängt von dem Wärmegrad der Luft; wird es kälter, so gibt sie einen Teil dieses Wasserdampfes ab in Gestalt von Wassertropfchen, wird dagegen die Luft wärmer, so verdunsten die Wassertropfen wieder zu Dampf. Kommt nun die warme Luft des Zimmers mit den kalten Fensterscheiben in Berührung, so gibt sie dort einfach einen Teil des in ihr enthaltenen Wasserdampfes in Gestalt von kleinen Wasserbläschen ab.

Macht man denselben Versuch mit einer luftgefüllten Glasglocke, welche Staubteilchen enthält, so setzen sich die bei der Abkühlung entstehenden Wasserbläschen um die Staubteilchen und es entsteht Nebel. Preßt man aber die Luft durch Watte hindurch in die Glasglocke hinein, so daß sie keine Staubteilchen mehr enthält, dann bekommt man keinen Nebel mehr. Setzt man aber solche gereinigte Luft kurze Zeit der Einwirkung der Kathodenstrahlung einer Röntgenröhre aus, so erhält man sofort wieder Nebel beim Abkühlen der Luft. Es sind also die kleinen, zur Nebelbildung notwendigen Körperchen direkt durch das Glas der Kugel in die in ihr enthaltene Luft gelangt.

Damit ist durch den Versuch der Beweis erbracht, daß die Kathodenstrahlung aus sehr feinen kleinen Körperteilchen besteht, und da diese Strahlung von der sogenannten Kathode der Röntgenröhre ausgeht, diese aber mit einer Elektrizitätsquelle verbunden sein muß, so folgt weiter, daß diese Körperteilchen den elektrischen Strom selbst darstellen. Übrigens ist dieser Versuch nicht der einzige die Körperlichkeit der Elektronen beweisende, auf weitere Versuche können wir hier aber nicht eingehen.

Wenn wir nun den Ausdruck gebrauchen, ein elektrischer Strom fließt durch den Draht, so ist dieser Ausdruck nach vorstehendem vollständig richtig. Allerdings müssen wir uns das Fließen des Stromes vorstellen als ein Wandern dieser kleinen Elektronen, welche stets in allen Körpern enthalten sind und durch diejenigen Mittel, mit welchen wir einen elektrischen Strom erzeugen können, nur in Bewegung versetzt werden.

Als Beispiel für die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes diene noch folgendes: Schließt man einen elektrischen Strom auf einem Punkt des Äquators der Erde, so würde derselbe, wenn der Leitungsdraht rund um die Erde gespannt wäre, nach etwa weniger als $1\frac{1}{2}$ Sekunden wieder an seinem Anfangspunkt angelangt sein. Der Umfang der Erde beträgt am Äquator 40 070 km und unsere schnellsten Fahrzeuge sind die elektrischen Schnellbahnlokomotiven, welche mit 200 km in der Stunde gefahren sind. (Für die gewöhnlichen Dampflokomotiven gilt 120 km in der Stunde.) Solch ein Schnellbahnwagen würde etwa 200 Stunden dazu gebrauchen, also ist der elektrische Strom etwa 8000 mal schneller.

II. Stromstärke, Spannung, Widerstand, Watt, Magnetismus, Arbeit bei Gleich- und Wechselstrom.

Wir haben schon im ersten Abschnitt gesehen, daß der elektrische Strom in dem Wandern der Elektronen besteht. Da diese Elektronen aber bei der Bewegung Widerstand finden, so muß eine treibende Kraft wirken, um die Elektronen in Bewegung zu versetzen. Diese treibende Kraft nennt man **elektromotorische Kraft**, oder einen Teil derselben **Spannung**; sie läßt sich vergleichen mit dem Druck, der bei einer Wasserleitung angewendet werden muß, um das Wasser durch die Röhren zu pressen. Je stärker der Druck ist, um so mehr Wasser fließt durch die Röhren, und je stärker die Elektromotorische Kraft ist, um so stärker wird der Strom, welcher in einem Draht fließt. Ebenso wie wir für unser Längenmaß den Namen Meter benutzen, so benutzen wir auch für die elektrischen Größen besondere Namen, und zwar nennen wir die Stromstärke **Ampere**, die elektromotorische Kraft **Volt** und den Widerstand für den Stromdurchgang **Ohm**.

Zwischen den drei Größen besteht die Beziehung:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}},$$

das heißt, wenn die elektromotorische Kraft größer wird, dann wird auch der Strom stärker, wenn dagegen der Widerstand zunimmt, dann wird der Strom kleiner. Die obige Beziehung heißt das Gesetz von OHM.

Der Widerstand, welchen verschiedene Körper dem elektrischen Strom entgegen setzen, ist ganz verschieden groß. Man kann das sehr einfach an folgendem Versuch erkennen: Man schaltet Drähte von gleicher Länge und gleicher Dicke, also gleichgroßem Querschnitt

alle hintereinander, und zwar seien die Metalle der Reihe nach: Silber, Kupfer, Gold, Aluminium, Platin, Blei. Schickt man dann einen stärkeren Strom hindurch, so beobachtet man, daß der Bleidraht am heißesten wird; weniger heiß wird der Platindraht, noch weniger heiß der Aluminiumdraht usf., also am kältesten bleibt der Silberdraht. Da nun die Wärme des Drahtes daher rührt, daß die Elektronen bei ihrer Bewegung Widerstand finden, also Reibung entsteht, die sich bekanntlich in Wärme umsetzt, so hat Blei den größten Widerstand und Silber den kleinsten. Silber eignet sich wegen seiner hohen Kosten nicht als Leitungsmaterial, man verwendet daher für elektrische Leitungen stets Kupfer, welches nur einen etwas größeren Widerstand als Silber besitzt. Eigenartig ist, daß dieselben Körper,

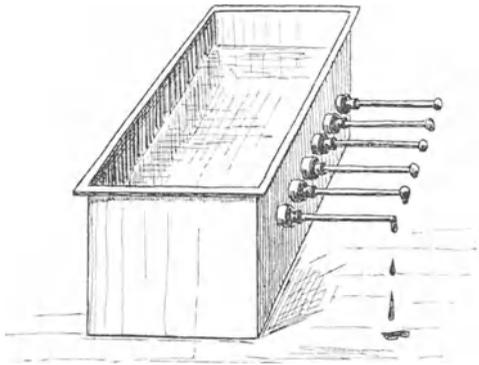


Fig. 6.

welche den elektrischen Strom gut leiten, auch die Wärme gut leiten.

Um ihre verschiedene Wärmeleitfähigkeit nachzuweisen, ist es nur nötig, gleichlange und gleichdicke Drähte aus verschiedenem Metall nach Fig. 6 an ihren Enden mit Wachstropfen zu versehen und sie mit dem andern Ende durch

einen Kork zu schieben, mit welchem man sie an einen Zinkblechkasten steckt, so daß ein kurzes Stück jedes Drahtes in das Innere des Kastens hineinragt. Der Kasten wird mit heißem Wasser gefüllt, dessen Wärme sich natürlich auch den einzelnen Drähten mitteilt und infolgedessen die Wachstropfen an ihrem Ende allmählich abschmelzen. Zuerst schmilzt nun das Wachs an dem Silberdraht, darauf das an dem Kupfer, dann kommt Gold usf., also in der Reihe, wie oben die Metalle angegeben, und es folgt eben daraus, daß Silber die Wärme am besten leitet, dann folgt der Reihe nach Kupfer, Gold usf.

Sämtliche Stoffe, welche die Wärme nicht leiten, leiten auch die Elektrizität nicht, z. B. Seide, Wolle, Papier, Holz, Gummi, Stroh, Porzellan, Glas, Marmor, Schiefer usw. Die letzteren Körper,

welche den Strom nicht leiten, nennt man **Nichtleiter** oder **Isolatoren** und aus ihnen verfertigt man Umhüllungen von Leitungsdrähten oder sonstige Gegenstände, welche vermeiden sollen, daß Strom aus den Leitungen entweicht. Bekannt sind z. B. die Porzellanglocken, auf welchen die Telegraphenleitungen oder andere elektrische Leitungen

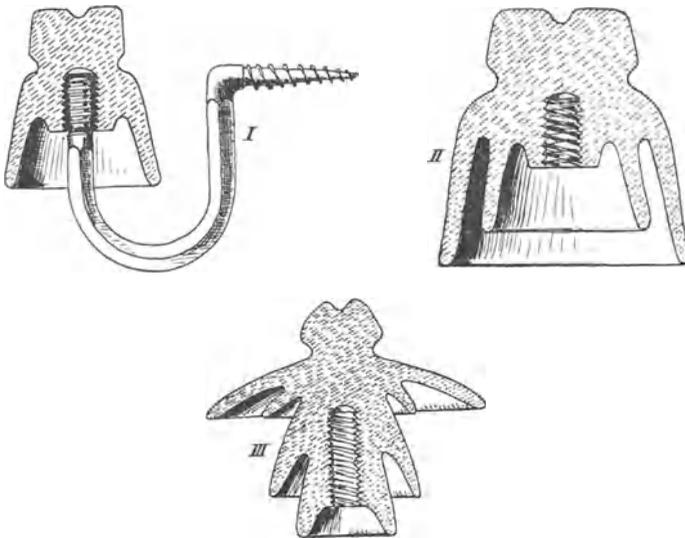


Fig. 7.

liegen. In Fig. 7 sind mehrere Formen solcher Porzellanglocken gezeichnet. *I* ist eine einfache Glocke, *II* eine mit zweifachem Mantel und *III* mit dreifachem Mantel. Die gewöhnlichste Form ist die zweifache Mantelglocke. Die Form *III* wird angewendet, wenn der Strom in der Leitung, die von der Glocke getragen wird, sehr hohe Spannung besitzt; sie entspricht einer Ausführung der Porzellanfabrik Hermsdorf.

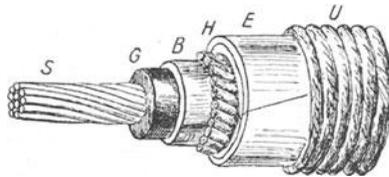


Fig. 8.

Elektrische Leitungen, welche in die Erde verlegt werden sollen, sogenannte Kabel, müssen ebenfalls mit Stoffen umgeben sein, welche den Strom nicht leiten. In Fig. 8 ist solch ein Stück eines Kabels gezeichnet. *S* ist die Seele, welche, damit das Kabel biegsam

wird, aus mehreren verseilten Kupferdrähten besteht. Über die Seele ist eine Gummipressung G gebracht, darüber wird zum Schutz gegen Eindringen von Feuchtigkeit ein Bleimantel B nahtlos umgepresst. Über diesen kommt eine Lage H aus Hanf und über den Hanf wird ein Eisenband gewickelt, letzteres teilweise zum Schutze gegen mechanische Beschädigungen des Kabels und zum Teil auch damit der Bleimantel geschützt wird vor einer chemischen Zersetzung durch in der Erde enthaltenes Ammoniak. Als äußerste Umhüllung U wird dann noch eine Lage Hanf aufgewickelt.

Für besondere Zwecke werden die Kabel auch noch stärker gepanzert, indem man sie mit Stahldrähten außen umgibt; dies trifft für Küstenkabel, die im Wasser liegen, zu. Solche Kabel müssen besonders gut geschützt sein gegen etwa auffahrende Schiffe.

Die gewöhnlichen elektrischen Leitungen, welche für Beleuchtungsanlagen usw. verwendet werden, müssen, wenn sie nicht

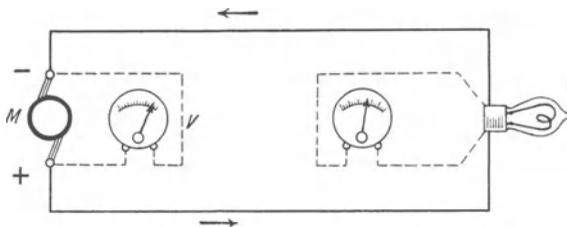


Fig. 9.

im Freien auf Isolierglocken befestigt werden, ebenfalls mit nichtleitenden Stoffen umhüllt werden; man benutzt dazu auch Gummi und Umspinnungen mit Baumwolle oder Seide.

Wie wir schon gesehen haben, lautet das Gesetz von OHM:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}.$$

Fließt also ein Strom in einem Stromkreise, so wird die elektromotorische Kraft verbraucht, damit der Strom den Widerstand überwindet. Jeder Stromkreis ist aber stets aus mehreren Teilen zusammengesetzt, und zwar kann man meist unterscheiden: die Stromquelle, die Leitungen, den Nutzwiderstand. Um das Gesagte besser zu veranschaulichen, ist in Fig. 9 ein einfacher Stromkreis gezeichnet. Dabei ist M die Stromquelle z. B. eine Maschine, von welcher eine Hinleitung zur Glühlampe, also dem Nutzwiderstand führt; eine zweite Leitung ist die Rückleitung. In der Stromquelle

entsteht fortwährend eine elektromotorische Kraft, welche dauernd einen Strom durch den Stromkreis treibt. Damit die Lampe gut leuchtet, muß ein Strom von ganz bestimmter Stärke durch sie hindurchfließen, und da dieser Strom im ganzen Stromkreis denselben Wert hat, da er alles hintereinander durchfließt, so ist er bestimmt nach dem OHMSchen Gesetz durch die Beziehung:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand der Stromquelle} + \text{Widerstand der Hinleitung} + \text{Widerstand der Lampe} + \text{Widerstand der Rückleitung.}}$$

Damit nun der Strom in der verlangten Stärke entsteht, wie ihn die Lampe gebraucht, muß die elektromotorische Kraft, welche in der Stromquelle entsteht, den vollen Strom zunächst durch den Widerstand der Stromquelle hindurechtreiben, darauf durch die Hinleitung zur Lampe, dann durch die Lampe und schließlich durch die Rückleitung zurück zur Maschine. Man kann also sagen, daß ein Teil der elektromotorischen Kraft verbraucht wird zur Überwindung des Widerstandes der Stromquelle, ein weiterer Teil zur Überwindung des Widerstandes der Hinleitung usw. Da aber eigentlich nur in dem Nutzwiderstand, also hier in der Lampe der Strom wirken soll, so wird man die übrigen Widerstände im Stromkreise, also den Widerstand der Stromquelle und die Widerstände der Leitungen möglichst klein halten, damit nicht zu viel elektromotorische Kraft in der Stromquelle erzeugt zu werden braucht. Die Teile der elektromotorischen Kraft, welche verbraucht werden, damit der Strom die Leitungswiderstände und den Widerstand der Stromquelle überwindet, nennt man **Spannungsverlust**, es ist also:

Elektromotorische Kraft — Spannungsverlust = Nutzsannung,
und die Nutzsannung ist wirksam an der Lampe.

Spannungen werden gemessen mit dem Spannungsmesser oder **Voltmeter**. Schaltet man das Voltmeter V an die Lampe, wie in Fig. 9 gezeichnet ist, dann zeigt es die Nutzsannung an, legt man es an die Maschine, dann zeigt es an:

$$\text{Elektromotorische Kraft} - \text{Spannungsverlust in der Maschine} = \text{Klemmensannung.}$$

Solch ein Voltmeter ist genau so eingerichtet wie ein Ampere-meter nach Fig. 1 oder 4. Es geht ein Strom hindurch nach dem OHMSchen Gesetz:

$$\text{Strom} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand des Instrumentes}}$$

Da nun der Widerstand des Instrumentes immer derselbe bleibt, so ist der hindurchfließende Strom genau ein Maß für die Spannung; man führt demnach die Teilung des Instrumentes so aus, daß die Spannung abgelesen wird und nicht der Strom, der durch das Instrument fließt. Damit aber der Strom, welcher hindurchfließt, möglichst klein bleibt, führt man den Widerstand eines Voltmeters immer sehr hoch aus, indem man vor die bewegliche Spule oder vor den Hitzdraht noch eine Drahtrolle schaltet, mit viel Widerstandsdraht bewickelt. Der Unterschied zwischen der Schaltung eines Volt- und eines Amperemeters geht aus Fig. 10 hervor. Da das Amperemeter direkt in die Leitung gelegt wird, so muß sein Widerstand möglichst klein sein, damit nicht durch dasselbe ein größerer Spannungsverlust entsteht; das Voltmeter aber muß von einem möglichst schwachen Strom i durchflossen werden, sonst müßte die Maschine einen größeren Strom J liefern, wenn man ein Voltmeter

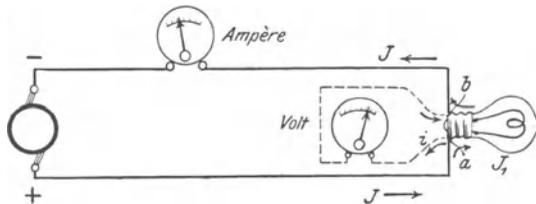


Fig. 10.

einschaltet, denn es tritt, wie aus der Fig. 10 zu sehen ist, an der Lampe bei a eine Verzweigung des Stromes J in die Zweigströme J_1 und i ein; damit aber die Maschine beim Einschalten des Voltmeters nicht einen stärkeren Strom zu liefern braucht, sorgt man durch hohen Widerstand des Voltmeters, daß i möglichst klein bleibt.

Wir wollen uns nun noch dem Begriff der Arbeit zuwenden. Unter Arbeit versteht man: $\text{Arbeit} = \text{Kraft} \times \text{Weg}$. Im Maschinenbau werden aber die Leistungen der Kraftmaschinen immer in Pferdestärken ausgedrückt (abgekürzt PS; das vielfach auch von deutschen Firmen gebrauchte HP oder HP ist falsch, weil es englische Pferdestärke bedeutet [Horse power] und die Engländer ein anderes Maß dafür haben als wir). Unter einer Pferdestärke versteht man eine Arbeit von 75 Kilogramm-Metern in einer Sekunde, und zwar ist dann eine Pferdestärke geleistet, wenn eine Last in einer Sekunde so viel Meter gehoben wird, daß $\text{Last} \times \text{Meter} = 75$ ergibt, z. B.

können demnach 1 kg 75 m hoch gehoben werden oder 75 kg um 1 m hoch, beides ist dieselbe Arbeitsleistung. Eine Maschine, welche 1 kg auf 75 m Höhe in einer Sekunde hebt, würde genau so viel Kohlen verbrauchen, als eine solche, welche 75 kg 1 m hoch heben würde. Nun läßt sich die Arbeit durch Reibung in Wärme umsetzen, und zwar hat man durch einen Versuch nach Fig. 11 beobachtet, wieviel Wärme man für eine bestimmte mechanische Arbeit erhält.

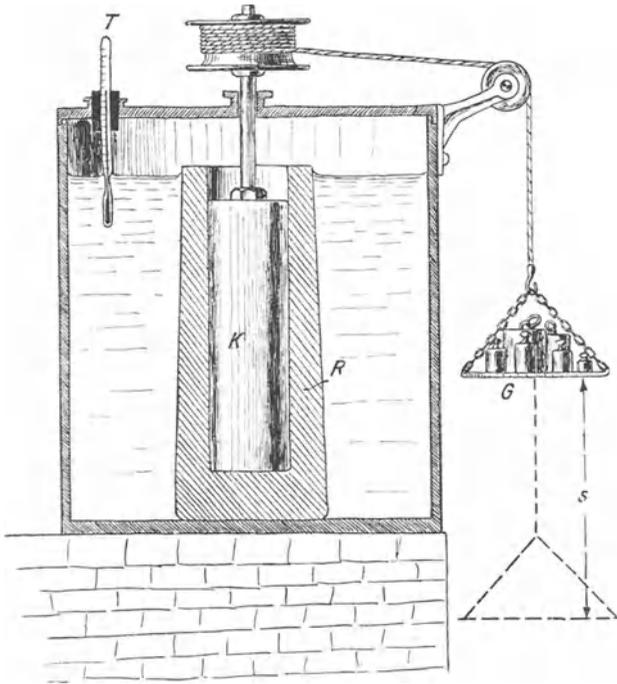


Fig. 11.

Es ist in Fig. 11 *K* ein Kolben, der sich in dem Rohr *R* dreht; das Rohr steht in einem Gefäß mit Wasser und in dieses ragt ein Thermometer *T* hinein. Läßt man nun die Wagschale mit den Gewichten *G* sinken und beobachtet, um wieviel Meter sie in einer Sekunde sinkt, so ist $G \cdot s$ die Arbeit, wenn *s* die Meter sind, um die die Schale in einer Sekunde gesunken ist.

Man fand durch viele Versuche, daß ein Gewicht $G = 424$ kg um 1 m in der Sekunde sinken mußte, wenn 1 l Wasser durch die

dabei verursachte Reibung des Kolbens *K* in dem Rohr *R* um 1° C. erwärmt werden sollte.

Wie wir schon wissen, kann man auch den elektrischen Strom in Wärme umsetzen. Man verfährt hier nun so, daß man eine Drahtspirale *w*, Fig. 12, in ein Gefäß mit Wasser hängt, den Strom *J* mit einem Amperemeter mißt und die Spannung *e*, welche auf die Spirale wirkt, mit dem Voltmeter bestimmt. Es ergab sich, daß zur Erwärmung von 1 l Wasser so viel Ampere und so viel Volt nötig sind, daß ihr Produkt mit der Zeit in Sekunden 4166 beträgt. Das Produkt aus Stromstärke und Spannung, also Ampere × Volt, hat den Namen **Watt**. Es sind also

424 Kilogramm-Meter gleichwertig 4166 Wattsekunden.

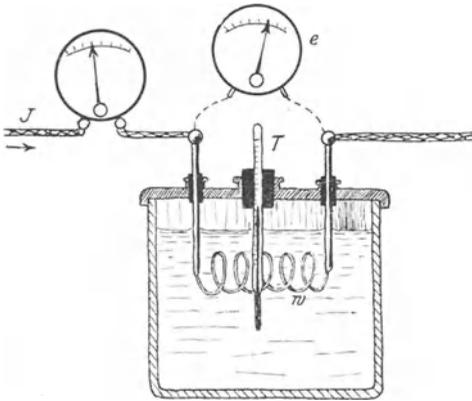


Fig. 12.

Da wir aber alle Maschinenleistungen in Pferdestärken, also 75 Kilogramm-Metern angeben, so ist

$$1 \text{ PS gleichwertig } \frac{4166 \cdot 75}{424} = 736 \text{ Watt pro Sekunde.}$$

Wenn wir also in einen Elektromotor so viel Ampere bei so viel Volt einleiten, daß ihr Produkt 736 ergibt, so müßte der Motor

1 PS leisten. In Wirklichkeit wird er allerdings etwas weniger leisten, weil in jeder Maschine Verluste auftreten, wie wir noch sehen werden. Es ist aber gleichgültig, wie hoch der Strom und wie hoch die Spannung ist, wenn nur ihr Produkt 736 gibt. Will man daher einen solchen Motor für 110 Volt einrichten, dann muß er $\frac{736}{110} = 6,68$ Ampere erhalten, oder ist er für 500 Volt eingerichtet, dann müßte er nur $\frac{736}{500} = 1,47$ Ampere erhalten usw., je höher also die Spannung ist, um so niedriger wird der Strom. Es sind demnach die Watt gleichbedeutend mit der elektrischen Arbeit in der Sekunde und es bedeutet Watt das Produkt aus Ampere × Volt, aber dies

gilt nur für Gleichstrom. Um einsehen zu können, warum es für Wechselstrom nicht gilt, muß ich den Leser zunächst bitten, mit mir einen Streifzug durch das Gebiet des Magnetismus zu machen.

Der Name **Magnetismus** rührt her von der Stadt Magnesia, welche in Kleinasien lag und in deren Nähe schon im Altertum Eisenerze gefunden wurden, welche magnetisch waren, also kleine Eisenstückchen festhielten. Bestreicht man mit solch einem natürlichen Magneten ein gehärtetes Stück Stahl, so wird dasselbe ebenfalls zu einem Magneten. Hängt man solch einen Magneten nach Fig. 13 an einem Faden auf, so stellt er sich, wie bekannt ist, in die Nord-Süd-Richtung ein, weil unsere Erde ebenfalls ein großer Magnet ist. Dieses Verhalten des frei aufgehängten Magneten wird beim Kompaß benutzt, den man infolge des natürlich vorkommenden magnetischen Eisenerzes schon im Mittelalter herstellen konnte. Nähert man dem nach Norden zeigenden Ende eines frei nach Fig. 13 aufgehängten Magneten einen zweiten Magneten mit dem Ende, mit welchem dieser ebenfalls nach Norden zeigen würde,

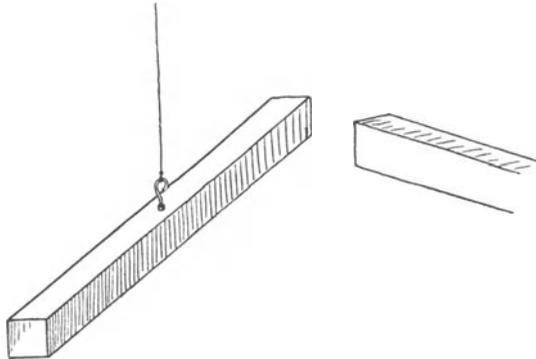


Fig. 13.

wenn er frei aufgehängt wäre, so beobachtet man, daß der freie Magnet sich von dem zweiten wegdreht. Man nennt die Enden der Magnete Pole, und das Ende, welches nach Norden zeigt, heißt dementsprechend Nordpol, das andere Ende Südpol. Es stoßen sich also zwei Nordpole ab, ebenso stoßen sich zwei Südpole ab, dagegen ziehen sich entgegengesetzte Pole an.

Bricht man einen Magneten durch, so erhält man zwei vollständige Magnete daraus, jeder derselben mit einem Nord- und einem Südpol. Man kann diese Teilung beliebig weit fortsetzen, stets erhält man vollständige Magnete, sogar ein abgefilterter Span, ein Feilspan, ist ein vollständiger Magnet, und wie man auf die soeben beschriebene Weise nachweisen kann, besitzt auch er zwei Pole. Aus dieser beliebig weit fortsetzbaren Teilung kann man schließen,

daß das Eisen von Natur aus zusammengesetzt ist aus sehr kleinen Magneten. Jeder Körper besteht aus solch außerordentlich kleinen Teilen, den sogenannten Molekülen, zwischen deren Zwischenräumen hindurch die Elektronen wandern können. Beim Eisen sind diese Moleküle schon von Natur aus Magnete, aber im unmagnetischen Eisen liegen diese Molekularmagnete unter ihrem gegenseitigen Einfluß so, daß sie sich alle mit entgegengesetzten Polen anziehen, wie Fig. 14 zeigt. Fährt man mit einem Magneten über das Eisen hinweg, so richten sich durch die Einwirkung des Magneten die Moleküle des Eisens in die magnetische Stellung.

In hartem Stahl sind die Moleküle schwer beweglich; man

muß daher viele Male die Bestreichung mit dem Magneten vornehmen, ehe alle Moleküle gerichtet sind, nachher bleiben sie aber auch in dieser Zwangstellung stehen; es bleibt also harter Stahl, der einmal magnetisiert wurde, dauernd magnetisch. In weichem Eisen sind die Moleküle sehr leicht beweglich, besonders in ausgeglühtem Schmiedeeisen, deshalb wird solches Eisen sehr leicht magnetisch; aber wenn die magnetisierende Einwirkung aufhört, dann stellen sich die Moleküle zum allergrößten Teil wieder

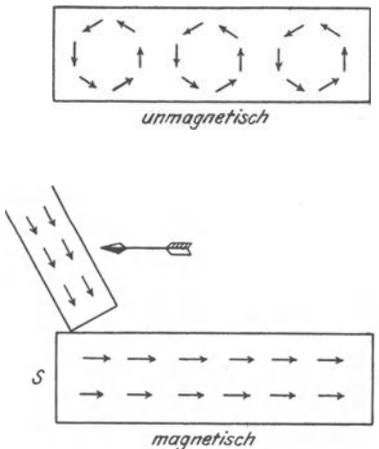


Fig. 14.

in die unmagnetische Lage ein; allerdings bleibt ein kleiner Teil derselben infolge der Reibung, die die Moleküle bei der Drehung aneinander erleiden, in der magnetischen Stellung zurück; dieser Umstand ist außerordentlich wichtig für das Selbsterregen der elektrischen Maschinen und ist die Grundlage für das schon in der Einleitung im Abschnitt I erwähnte, von WERNER VON SIEMENS entdeckte dynamoelektrische Prinzip. Will man auch den geringen nach der Magnetisierung zurückbleibenden Magnetismus noch aus dem Eisen herausbringen; so genügt es, mit einem Hammer einige Schläge darauf auszuüben, es ordnen sich dann sogleich auch die wenigen Moleküle, welche noch in der magnetischen Lage geblieben waren, wieder in

die unmagnetische Lage ein. Die Magnetgestelle der elektrischen Maschinen sind nun ebenfalls immer aus sehr weichem Eisen hergestellt, und zwar meist aus Stahlguß, auch wohl aus weichem Gußeisen. Jede elektrische Maschine wird in der Fabrik zunächst versucht und dabei werden auch ihre Magnete zuerst künstlich erregt. Läuft sie ein zweites Mal, dann ist das künstliche Erregen nicht mehr nötig, weil dann der geringe nach der Magnetisierung im Eisen zurückbleibende Magnetismus genügt, um die erforderliche elektromotorische Kraft im Anker der Maschine zu entwickeln. Wenn die Maschine aber durch die Eisenbahn an ihren Bestimmungsort gebracht ist und dort zum erstenmal laufen soll, tritt sehr häufig der Fall ein, daß sie sich nicht erregt; sie hat dann den von der ersten Magnetisierung in der Fabrik zurückgebliebenen schwachen Magnetismus infolge der Erschütterungen auf der Bahn verloren und muß noch einmal künstlich magnetisiert werden.

Wir haben schon kennen gelernt, daß ein elektrischer Strom die Magnetnadel aus ihrer normalen Lage ablenkt. Da nun das Eisen aus lauter kleinen magnetischen Molekülen zusammengesetzt ist, so kann man daraus den Schluß ziehen, daß ein elektrischer Strom die Moleküle des Eisens ebenfalls richtet, das heißt, daß er das Eisen magnetisch macht. In der Tat läßt sich dies durch den Versuch in Fig. 15 sehr leicht beweisen. *M* ist ein hufeisenförmig gebogenes Schmiedeeisenstück, welches von einem Draht in vielen Windungen umgeben ist. *A* ist eine Stromquelle, *R* ein Regulierwiderstand zum künstlichen Verändern der Stromstärke *J*. *E* ist ein sogenannter Anker aus Schmiedeeisen, an welchem die Belastung *P* hängt. Schaltet man den Strom ein, so hält der Magnet *M* einen eisernen Anker *E* fest und trägt infolgedessen die Belastung *P*.

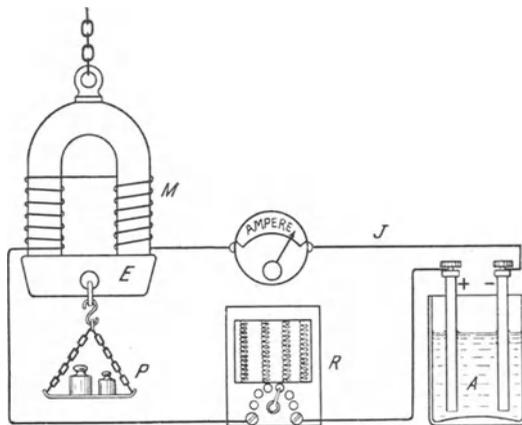


Fig. 15.

Schaltet man den Strom aus, so fällt der Anker E ab, weil dann die Moleküle des Eisens sich zum größten Teil wieder in ihre natürliche unmagnetische Lage zurückdrehen. Selbstverständlich kann man hartes Eisen auf diese Art schwerer magnetisieren als weiches. Am besten eignen sich zu diesen sogenannten Elektromagneten Schmiedeeisen und Stahlguß, denn in diesen Eisensorten sind die Moleküle leicht beweglich und stellen sich daher sofort in die magnetische Lage ein, wenn man den magnetisierenden Strom einschaltet. Harter Stahl wird selbstverständlich fast gar nicht magnetisch, bei dem Versuch in Fig. 15; er eignet sich also nicht für Elektromagnete. Ein Elektromagnet wirkt bedeutend stärker als ein Stahlmagnet. Man wendet die Elektromagnete häufig zum Heben von Eisenteilen an, indem man an Stelle des Hakens am Kran den Magneten benutzt, der einfach auf das zu hebende Eisenstück heruntergelassen wird; dann wird der Strom durch seine Windungen geleitet und der Magnet gehoben, welcher dann das Eisenstück festhält. Nun fährt der Kran mit dem Eisenstück an diejenige Stelle, wohin dasselbe gebracht werden soll; der Magnet wird heruntergelassen, und wenn die eiserne Last auf dem Boden steht, wird der magnetisierende Strom wieder ausgeschaltet, so daß der Magnet losläßt.

Damit der Leser eine bessere Vorstellung von der gewaltigen Tragkraft eines solchen Elektromagneten bekommt, gebe ich in Fig. 16 eine Skizze mit eingeschriebenen Maßen in Zentimetern von einem Elektromagneten, welcher die Hälfte eines Dynamomaschinen-Magnetgestelles trägt. Das Gewicht des Magnetgestelles beträgt 4080 Kilogramm.

Der Magnet selbst würde imstande sein, 5000 kg zu tragen, ist also noch nicht einmal voll belastet.

Es war schon erwähnt, daß zwei Magnete sich mit ungleichen Polen anziehen.

Würde man nun einen sehr langen Stahlmagneten herstellen nach der Fig. 17, so daß dessen Pole NS sehr weit auseinander liegen, und würde man Eisenfeilspäne in die Nähe des Nordpols streuen, so würden diese sich strahlenförmig in geraden Linien anordnen, wie die Fig. 17 zeigt. Die Richtung dieser Linien gibt die Richtung der von dem Pol ausgehenden Kräfte an; man nennt sie daher **Kraftlinien** und kann sie, wie oben bemerkt, durch Eisenfeilspäne sichtbar machen.

Eine kleine Magnetnadel würde sich ebenfalls so einstellen, daß sie mit der durch sie hindurch gehenden Kraftlinie zusammen in einer Richtung steht. Die Stellung einer Magnetnadel an verschiedenen Punkten ist in Fig. 17 gezeichnet. In Wirklichkeit sind aber die

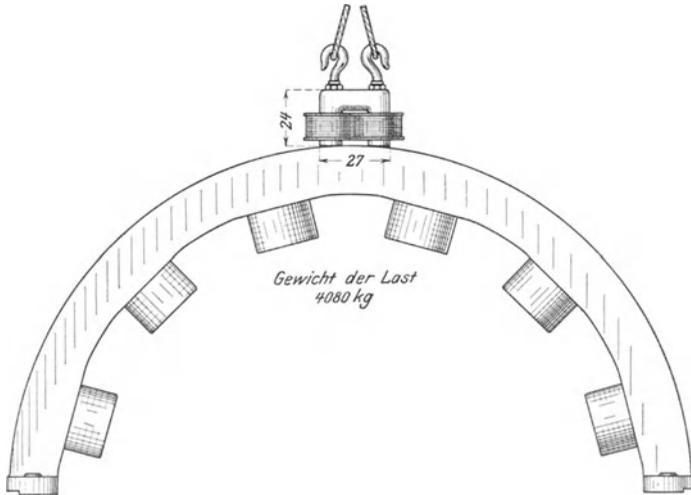


Fig. 16.

Magnete niemals so lang, daß ihre Pole sehr weit auseinander liegen, es wird daher das Kraftlinienbild eines wirklichen Magneten etwas anders aussehen als in Fig. 17. Legt man über den Magneten ein

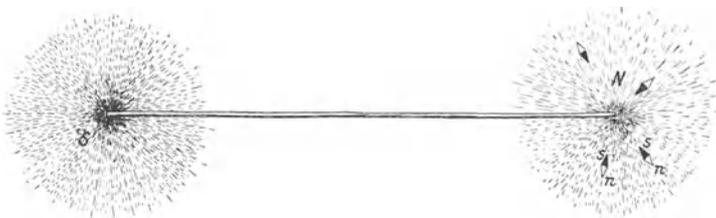


Fig. 17.

Blatt Papier, streut auf dieses Eisenfeilspäne, so ordnen sich dieselben nach Fig. 18 ein. Die Kraftlinien laufen in der Luft immer vom Nordpol des Magneten zum Südpol hin, wenigstens bezeichnet man sie als so gerichtet und deshalb sind auch die Pfeile in das

Kraftlinienbild der Fig. 18 eingezeichnet. Eine Magnetnadel, welche in das Kraftlinienfeld hineingebracht wird, stellt sich mit ihrem Nordpol stets in die Richtung dieser Pfeile ein.

Die Form des Kraftlinienfeldes hängt von der Form des Magneten ab. Außerdem suchen die Kraftlinien möglichst Eisen zu

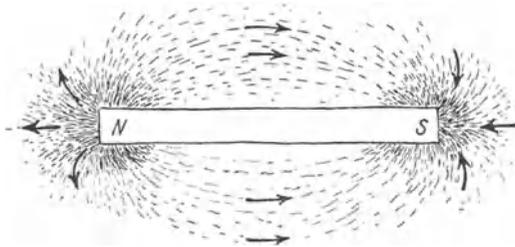


Fig. 18.

durchlaufen, wie aus Fig. 19 zu ersehen ist, wo oberhalb des Magneten ein Stück Eisen E in die Bahn der Kraftlinien gelegt ist. In Fig. 20 ist das Kraftlinienbild eines Magneten in Hufeisenform gezeichnet, zwischen dessen Pole ein Eisenring gelegt ist. Die Kraftlinien verlaufen hier zum größten Teil durch den Ring von Pol zu

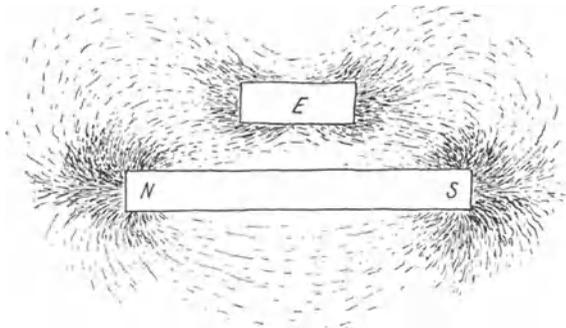


Fig. 19.

Pol. Die Richtung der Kraftlinien gibt, wie wir schon gesehen haben, die Richtung der Kraft an, welche der Magnet ausübt. Da nun der elektrische Strom die Magnetnadel ablenkt, so muß auch er magnetische Kräfte ausüben und in seiner Umgebung ein Magnetfeld besitzen. Dieses Magnetfeld oder Kraftlinienfeld des elektrischen Stromes kann man nach Fig. 21 nachweisen, indem man einen Draht

durch ein Stück Papier hindurchsteckt und durch den Draht einen Strom leitet. Streut man auf das Papier Eisenfeilspäne, so ordnen

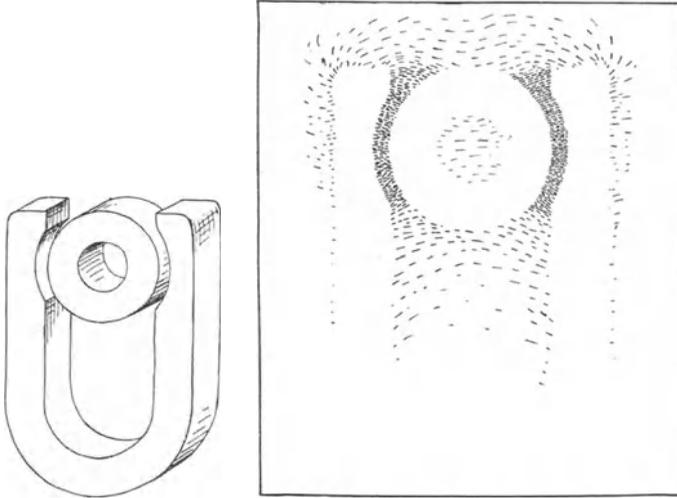


Fig. 20.

sich diese in Kreisen um den Draht an. Eine auf das Papier gestellte Magnethöhle würde sich nach dem Pfeil 2 mit ihrem Nordpol einstellen, wenn der Strom die Richtung des Pfeiles 1 hat. Hieraus kann man eine leicht zu behaltende Regel für die Richtung der Kraftlinien des Stromes ableiten:

Denkt man sich in den Draht einen Korkzieher hineingeschraubt in der Richtung, in welcher der Strom fließt, so gibt die Drehung des Korkziehers die Richtung der Kraftlinien an.

Wenden wir diese Regel an auf die beiden Drähte in Fig. 22, wenn die Pfeile 11 die Stromrichtung andeuten, so ergibt sich die eingezeichnete Richtung der Kraftlinien. Eine Magnethöhle,

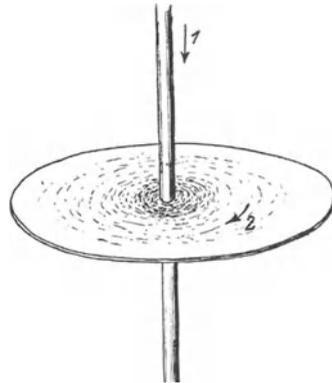


Fig. 21.

welche im Ruhezustand die Richtung NS hat, würde durch die Kraftlinien des Stromes in den beiden gezeichneten Richtungen abgelenkt werden. Haben wir nun zwei Drähte nebeneinander, in denen der Strom dieselbe Richtung hat, wie Fig. 23 zeigt, so würden

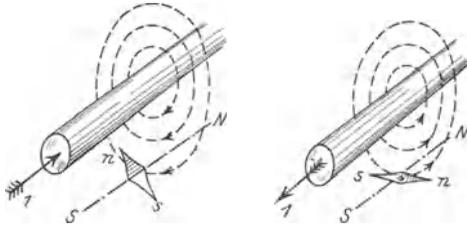


Fig. 22.

zwischen beiden Drähten die Kraftlinien mit entgegengesetzten Richtungen aufeinanderstoßen, sich also vernichten. Es entsteht dann in Wirklichkeit ein Kraftlinienfeld, wie es Fig. 24 zeigt.

Wickeln wir eine Spule von der Art der Fig. 25 durch ein Papier mit Löchern und streuen wir Eisenfeilspäne auf dieses Papier, so erhalten wir dasselbe Kraftlinienbild, wie es der Magnet in Fig. 18 zeigte, weil dann, wie in Fig. 24, der Strom in allen Drähten, die oben in das Papier hineingehen, die gleiche Richtung hat und in allen Drähten, die unten aus dem Papier wieder herauskommen, ebenfalls die gleiche Richtung besitzt, aber umgekehrt wie bei den oberen Drähten. Man muß sich also das Entstehen des Feldes in Fig. 25 vorstellen nach Fig. 26.

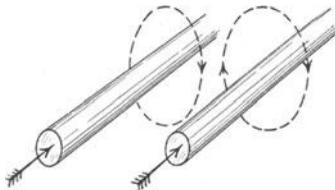


Fig. 23.

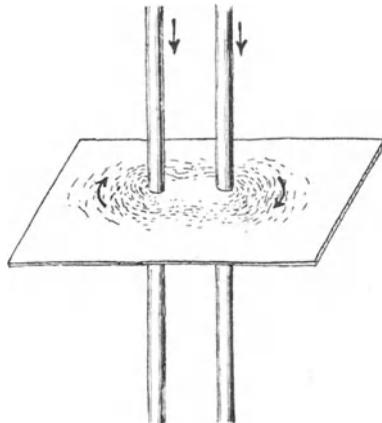


Fig. 24.

Eine solche Spule wie die in Fig. 25 gezeichnete muß, da sie genau das gleiche Magnetfeld besitzt wie ein Magnet, genau so wie ein Magnet wirken, und das tut sie auch. Hängt man sie z. B. leicht beweglich auf, so stellt sie sich unter dem Einfluß des Erd-

magnetismus von Norden nach Süden ein, sie hat also an einem Ende einen Nordpol, am andern einen Südpol, wie auch durch die

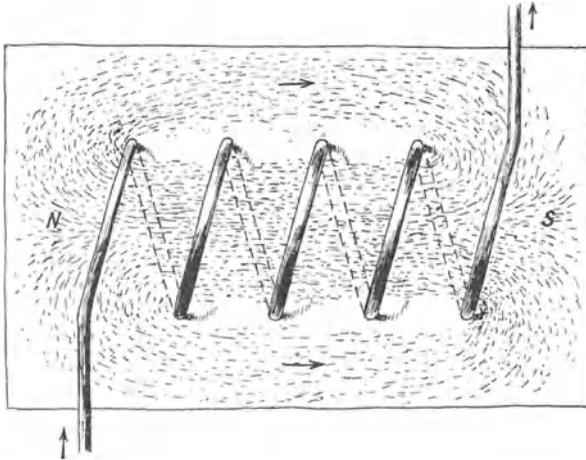


Fig. 25.

Buchstaben *N S* in Fig. 25 angedeutet ist. Legt man nun noch ein Stück weiches Eisen in das Innere einer Spule hinein, so wird ihr Magnetismus noch verstärkt und man erhält dann den schon besprochenen Elektromagneten.

Nachdem wir nun eine Vorstellung über das Wesen des Magnetismus und seine enge Beziehung zum elektrischen Strom gewonnen haben, können wir an der Stelle, an welcher wir die Abschweifung in das Gebiet des

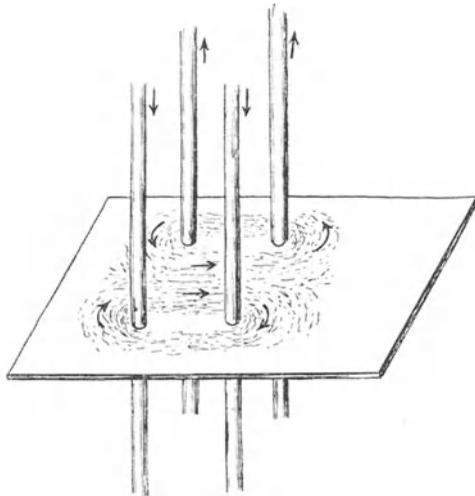


Fig. 26.

Magnetismus vornehmen mußten, weiter fortfahren. Wir haben gesehen, daß elektrische Arbeit in der Sekunde dargestellt wird

bei Gleichstrom durch das Produkt Stromstärke \times Spannung = Watt. Wie daselbst auch schon behauptet wurde, gilt dieses nicht mehr für den Wechselstrom.

Ein Wechselstrom ist ein elektrischer Strom, welcher seine Richtung in einer Sekunde 80—100mal wechselt. Solch ein Strom wird natürlich in der Umgebung des Drahtes, in welchem er fließt, ein Magnetfeld erzeugen, dessen Richtung ebenfalls 80—100mal in der Sekunde wechselt. Im nächsten Abschnitt werden wir sehen, daß in solchen Drähten oder Leitern, welche sich in einem Magnetfeld befinden, dessen Stärke sich ändert, elektromotorische Kräfte erregt werden, und zwar entsteht in diesen Drähten eine elektromotorische Kraft von entgegengesetzter Richtung, als diejenige,

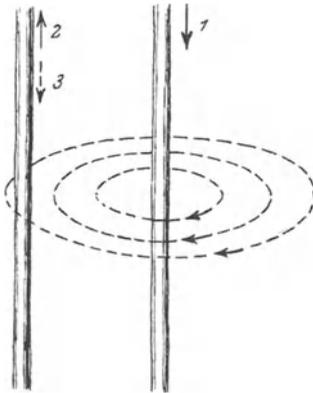


Fig. 27.

welche den Strom hervorruft, von dem das Magnetfeld herrührt, wenn das Feld zunimmt; nimmt das Feld ab, so wird die umgekehrte Wirkung hervorgerufen. Um das eben Gesagte etwas verständlicher zu machen, wollen wir annehmen, in dem Draht 1 der Fig. 27 entstehe ein Strom von der Richtung 1. In demselben Maße wie der Strom in diesem Draht zunimmt, nimmt natürlich auch sein Magnetfeld zu, indem die Kraftlinien sich zu immer größer werdenden Kreisen erweitern, so daß sie schließlich auch durch den Draht 2 hindurchdringen.

Es entsteht, solange das Magnetfeld zunimmt, in dem zweiten Draht eine elektromotorische Kraft von der Richtung 2, also entgegengesetzt wie 1. Würde man Anfang und Ende des zweiten Drahtes leitend miteinander verbinden, so erhielte man, da dann ein geschlossener Kreis vorhanden wäre, einen Strom in ihm von der Richtung 2. Würde nun der Strom 1 nicht mehr zunehmen, sondern fortwährend dieselbe Stärke behalten, dann bliebe das Feld ebenfalls von derselben Stärke und es würde der zweite Draht stromlos sein. Sowie aber der Strom 1 abnehmen würde, würde sich sein Magnetfeld in demselben Maße wieder zurückziehen, indem seine Kraftlinienkreise immer enger werden würden. Dann entstände, solange diese Änderung des Feldes andauert, in dem zweiten Draht

abermals ein Strom, der aber jetzt gleiche Richtung (Richtung 3) hat, wie der in 1 fließende.

Übertragen wir das soeben Gesehene auf eine Spule von der Art der Fig. 25. Leitet man durch diese Spule einen Strom, so entsteht aus jedem Draht ein Feld, welches sich, ebenso wie der Strom zunimmt, erweitert und dabei die nebenliegenden Drähte durchdringt. Da bei dieser Durchdringung in den betreffenden Drähten entgegengesetzte Ströme entstehen müssen als der das Feld erzeugende, so entsteht innerhalb der Spule ein sogenannter Extrastrom, welcher, da er entgegengesetzt ist wie der das Feld erzeugende Strom, diesen schwächt. Es kann demnach bei einer solchen Spule der Strom erst allmählich seinen normalen Wert annehmen, und wenn man das Amperemeter in einem solchen Stromkreise betrachtet, kann man sich sehr leicht davon überzeugen. Besonders auffallend ist dieses allmähliche Anwachsen des Stromes bei Magnetgestellen von großen Maschinen. Solche Magnete besitzen sehr viele Drähte und einen starken Magnetismus. Schaltet man den Strom ein, indem man plötzlich den Schalter schließt, so steigt er doch erst ganz allmählich auf den Betrag an, den er nach dem OHMSchen Gesetz (vergl. S. 11) haben muß. Denkt man sich jetzt eine Spule von einem Wechselstrom durchflossen, dessen treibende elektromotorische Kraft 80mal ihre Richtung in einer Sekunde wechselt, so kann der durch sie hervorgerufene Strom, da er, wie oben gesagt wurde, Zeit braucht zum Anwachsen auf seine volle Stärke, gar nicht sich voll entwickeln, weil die elektromotorische Kraft ihre Richtung zu schnell wechselt. Es folgt hieraus, daß das Gesetz von OHM:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}$$

für Wechselstromkreise nicht gültig ist, sobald dieselben Spulen mit Eisenkernen, also Elektromagnete besitzen. Diese Spulen verhalten sich demnach so, als ob sie dem Wechselstrom einen größeren Widerstand entgegensetzten; man sagt daher, die Spule besitzt für den Wechselstrom einen **scheinbaren Widerstand**, und für Wechselströme lautet das OHMSche Gesetz nunmehr:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{scheinbaren Widerstand}}$$

Dieser scheinbare Widerstand ändert für ein und dieselbe Spule aber seinen Wert. Es ist aus dem vorhin Gesagten klar, daß der Strom sich um so weniger entwickeln kann, je schneller die

elektromotorische Kraft ihre Richtung wechselt. Je größer also die Wechselzahl des Wechselstromes in der Sekunde ist, um so größer ist auch der scheinbare Widerstand, und eine Spule, die in einem Gleichstromkreise einen so starken Strom erhält, daß sie verbrennen würde, kann in einen Wechselstromkreis ohne weiteres eingeschaltet werden.

Auf diesem großen scheinbaren Widerstand einer Spule beruht auch die Wirkung der zum Schutze von elektrischen Maschinen gegen Blitzschläge benutzten Induktionsspulen. In Fig. 28 ist ein Maschinenhaus gezeichnet. Der Strom muß, ehe er in die auf

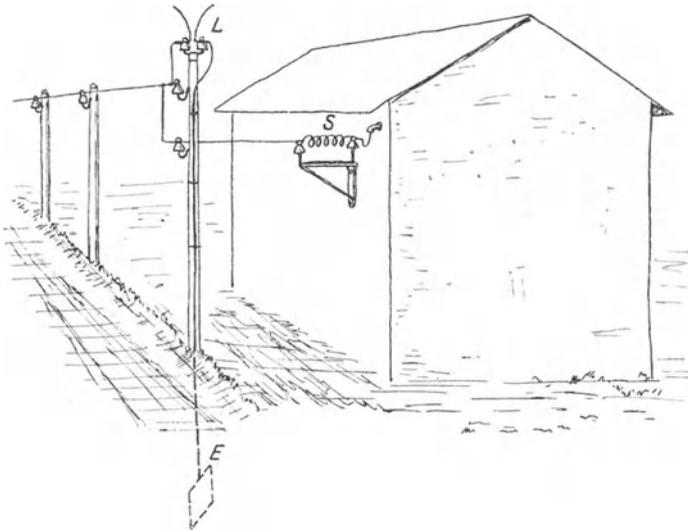


Fig. 28.

Porzellanlocken liegende Freileitung gelangt, erst durch die Spulen *S*. Diese bestehen einfach aus höchstens 10 Windungen des Leitungsdrahtes und bieten dem gewöhnlichen Wechselstrom von 80 bis 100 Wechseln in der Sekunde keinen scheinbaren Widerstand, da sie sehr weit gewickelt sind und kein Eisen enthalten. Ein Blitz besteht aber aus einem nur ganz kurze Zeit währenden Wechselstrom, der seine Richtung viele tausendmal bei einer Entladung ändert; es setzt ihm demnach die Spule einen solch gewaltigen scheinbaren Widerstand entgegen, daß er es vorzieht, zwischen den Drahthörnern *L* die kurze Luftstrecke zu durchschlagen und an der Erdleitung *E* zur Erde zu fahren.

Schaltet man einen in der Spule der Fig. 25 fließenden Gleichstrom aus, so verschwindet das Kraftlinienfeld, geht dabei immer schwächer werdend wieder in die einzelnen Drähte zurück und durchdringt oder schneidet die nebenliegenden, so daß jetzt abermals in der Spule ein Extrastrom entsteht, welcher aber nach dem Vorgang bei Fig. 27 gleiche Richtung hat mit dem das Feld erzeugenden Strom; man erhält daher beim Ausschalten einer solchen Spule an dem Schalter eine Flamme, welche durch den beim Verschwinden des Feldes entstehenden Extrastrom entsteht und Öffnungsfunke genannt wird, mit einem Funken aber keine Ähnlichkeit hat. Beim Einschalten des Stromes in einer solchen Spule entsteht, wie wir schon gesehen haben, der Strom später als die ihn erzeugende elektromotorische Kraft, und beim Ausschalten bewirkt der Extrastrom, daß er noch etwas länger anhält als die elektromotorische Kraft.

Beim Betriebe einer solchen Spule mit Wechselstrom tritt demnach der Fall ebenfalls ein, daß der Strom immer später kommt und aufhört als die ihn erzeugende Spannung; man sagt, der Strom hat eine **Phasenverschiebung** gegen die Spannung. Nun ändert aber sowohl die Spannung, als auch der Strom bei Wechselstrom fortwährend seine Stärke und Richtung. Die Spannung steigt, erreicht ihren größten Wert, fällt, geht durch Null, steigt umgekehrt, erreicht abermals umgekehrt ihren Höchstwert, fällt, geht durch Null, steigt wieder in der ersten Richtung usw., 80 mal in der Sekunde. Genau so ändert sich auch der Strom. Da aber der Strom immer später kommt als die Spannung, so haben beide niemals zu gleicher Zeit ihren Höchstwert, sondern wenn die Spannung ihren Höchstwert hat, steigt der Strom noch; fällt die Spannung wieder, dann hat erst der Strom seinen Höchstwert erreicht, geht die Spannung durch Null, dann fällt der Strom noch usw.

Die Meßinstrumente für Wechselstrom zeigen nun einen Durchschnittswert des Stromes und der Spannung an, und wenn man die Stromstärke nach dem Amperemeter mit der Spannung nach dem Voltmeter multipliziert, so erhält man bei Wechselstrom einen zu großen Wert, weil auch diese gemessenen Werte nicht gleichzeitig vorhanden sind und selbstverständlich nur solche Werte multipliziert werden können, die gleichzeitig eintreten. Nur in ganz bestimmten Fällen kann man Stromstärke mit Spannung multiplizieren, um die Watt zu erhalten, nämlich dann, wenn man einen Wechselstromkreis hat, in welchem keine Spulen mit Eisen enthalten sind, z. B. bei

reinem Glühlichtbetrieb. Sind aber, wie das gewöhnlich der Fall ist, im Stromkreise auch Motoren und Bogenlampen, dann ist zwischen Strom und Spannung Phasenverschiebung vorhanden, weil diese Gegenstände stets Spulen mit Eisenkernen besitzen.

Um nun auch die Watt bei Wechselstrom unter allen Umständen messen zu können, benutzt man die schon in Fig. 5 beschriebenen Instrumente, welche als **Wattmeter**, ausgeführt nach Fig. 29, geschaltet werden. W ist das Wattmeter, welches im Innern die beiden in Fig. 5 gezeichneten Spulen enthält; die große feste Spule liegt an den Klemmen $K_1 K_2$, während die dünne bewegliche Spule an den Klemmen $k_1 k_2$ liegt. Vor diese dünne Spule muß fast immer noch ein in Fig. 29 gezeichneter Widerstand R vorgeschaltet werden. Durch die feste Spule fließt nun direkt der

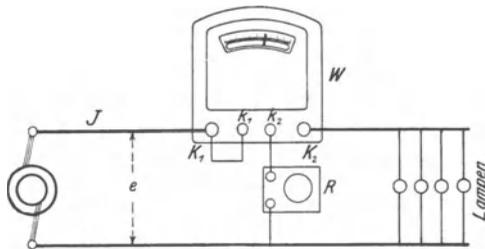


Fig. 29.

Strom J , durch die dünne Spule geht ein Strom, der in einem ganz bestimmten Verhältnis zu der treibenden Spannung e steht, die zwischen den Leitungen herrscht, wie wir das schon beim Voltmeter, S. 15,

gesehen haben. Jetzt wirken natürlich die Stromstärke J und die Spannung e in dem Instrument so aufeinander ein, daß stets gleichzeitig vorhandene Werte sich beeinflussen, und das Instrument zeigt die wirklichen Watt an, die stets kleiner sind als die aus Ampere- und Voltmeter erhaltenen sogenannten scheinbaren Watt. Das Verhältnis: $\frac{\text{wirkliche Watt}}{\text{scheinbare Watt}}$ bezeichnet man als **Leistungsfaktor ($\cos \varphi$)**. Bei Wechselstrom sind also die wirklichen Watt gegeben durch das Produkt: Stromstärke \times Spannung \times Leistungsfaktor.

Zum Schluß dieses Abschnittes möge nun noch die Messung der elektrischen Arbeit behandelt werden. Wenn sich jemand Elektromotoren aufstellen läßt oder elektrisches Licht brennt, so verbraucht er elektrische Arbeit, die er natürlich dem Elektrizitätswerk, welches ihm diese Arbeit liefert, bezahlen muß.

Die Arbeit in einer Sekunde heißt Watt, folglich die elektrische Arbeit im allgemeinen Watt \times Zeit meist in Wattstunden ausgedrückt.

Zur genauen Feststellung der verbrauchten elektrischen Arbeit dienen die **Zähler**, dieselben zeigen also Wattstunden an. Ein sehr häufig

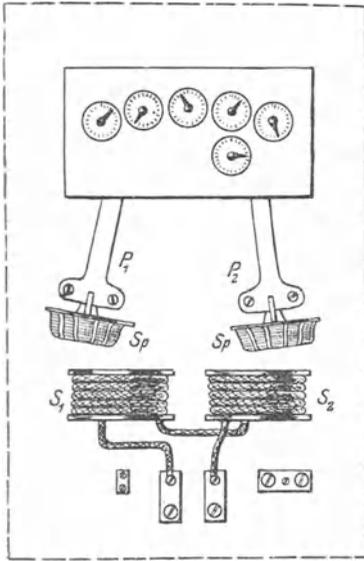


Fig. 30

vorkommender und auch wohl der genaueste ist der Aronzähler Fig. 30, 31, 32. Derselbe benutzt den Gangunterschied zwischen zwei Uhrwerken. Jedes Uhrwerk besitzt für sich ein Pendel $P_1 P_2$, an dessen unterem Ende sich je eine Drahtspule S_p befindet, mit der das Pendel über zwei feststehenden dickdrähtigen Spulen $S_1 S_2$ hin- und herschwingt.

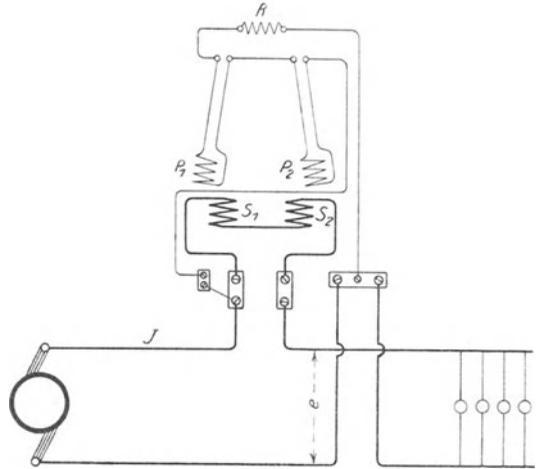


Fig. 31.

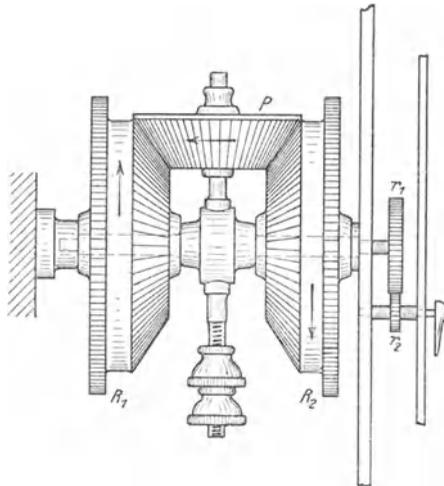


Fig. 32.

Die beiden Pendel P_1 und P_2 sind so eingerichtet, daß sie ganz genau gleichschnell schwingen, wenn sie nicht beeinflusst werden. Aus der Schaltung des Zählers Fig. 31 geht hervor, daß die Spulen

der Pendel $P_1 P_2$ von einem Strom durchflossen werden, der in ganz bestimmtem Verhältnis zu der zwischen den Leitungen herrschenden Spannung e steht, genau wie beim Wattmeter, Fig. 29; auch hier ist ein Vorschaltwiderstand R mit den Spulen hintereinander geschaltet, damit der Strom klein bleibt. Die beiden Spulen werden also wie die in Fig. 25 gezeichnete magnetisch. Die festen Spulen S_1 und S_2 werden direkt von dem vollen Strom J durchflossen und sind entgegengesetzt gewickelt, so daß die Spule S_1 anziehend auf die über ihr schwingende Spule des Pendels P_1 wirkt, während die Spule S_2 abstoßend auf die Spule des Pendels P_2 wirkt.

Die Folge dieser Wirkung der Spulen ist die, daß das Pendel P_1 schneller schwingt und das Pendel P_2 langsamer, und zwar beides um so mehr, je stärker der durch die Spulen $S_1 S_2$ fließende Strom J ist. Das Pendel P_1 treibt nun durch eine Räderübersetzung das Rad R_1 in Fig. 32 an, während das andere Rad R_2 in entgegengesetztem Sinne vom Pendel P_2 angetrieben wird. Beide Räder sitzen lose auf der Welle und wirken auf das Planetenrad P ein; dieses wird sich drehen, dabei gleichzeitig sich in der Richtung des schnelleren Rades R_1 abwälzend und infolgedessen seine mit ihm fest verbundene Achse und auf dieser das Rad r_1 drehen, von dem aus das Zählwerk angetrieben wird. Würden sich beide Räder $R_1 R_2$ in entgegengesetztem Sinne mit derselben Geschwindigkeit drehen, so würde auch das Rad P mitgedreht werden, aber seine Achse und damit das Rad r_1 ständen dabei still. Man kann sich die Wirkungsweise dieses sogenannten Planetengetriebes sehr leicht durch folgendes Bild klar machen: Man nehme einen Bleistift zwischen beide Hände; zieht man die eine Hand vor, die andere zurück, so dreht sich der Bleistift, bleibt aber über demselben Punkt stehen wie vorher, wenn beide Hände mit derselben Geschwindigkeit bewegt werden. Bewegt man dagegen die eine Hand langsamer, so bewegt sich der sich drehende Bleistift in der Richtung der schnelleren Hand. Das Planetenrad P in Fig. 32 wird also seine Achse mit dem Rad r_1 um so schneller drehen, je größer der Geschwindigkeitsunterschied zwischen den beiden Rädern R_1 und R_2 ist, und dieser wird um so größer, je stärker der Strom J in den Spulen S_1 und S_2 ist. Die Uhrwerke des Aronzählers ziehen sich selbsttätig auf und er läuft um, solange aus der Leitung Strom entnommen wird.

Weiter sind sehr viel Motorzähler in Gebrauch; dieselben sind einfach kleine Elektromotore, die um so schneller laufen, je stärker

der der Leitung entnommene Strom ist. Das Prinzip eines solchen Motorzählers, welche von vielen Firmen in verschiedener Ausführung gebaut werden, zeigt die Fig. 33.

Nach dem Schaltungsschema Fig. 34 durchfließt der gesamte Strom J die beiden Spulen S_1 und S_2 , während wieder, wie beim vorigen Zähler, ein durch einen Widerstand R möglichst klein gehaltenen, in bestimmtem Verhältnis zur Spannung stehender Strom durch

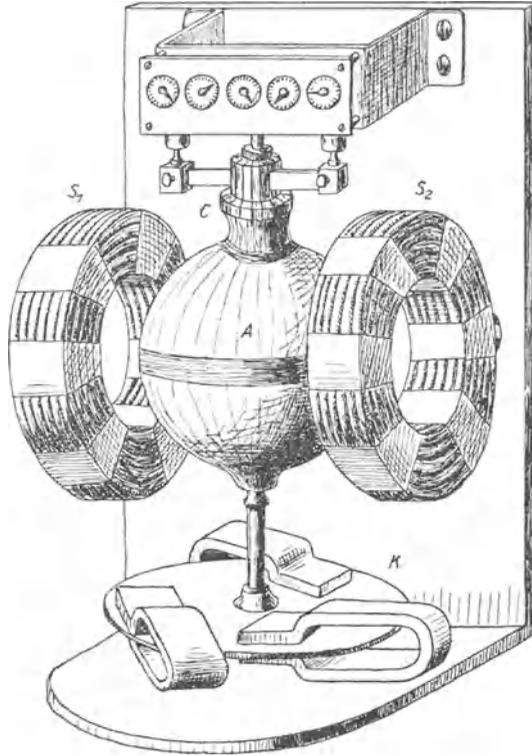


Fig. 33.

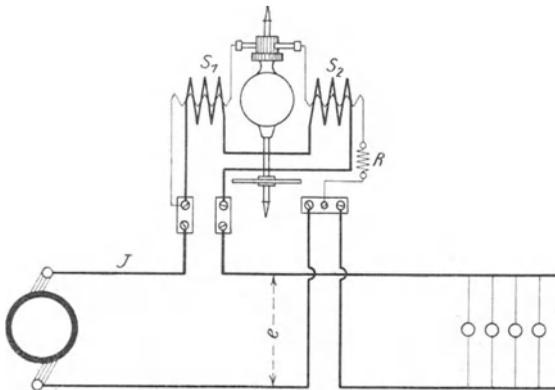


Fig. 34.

die Wickelung des Ankers A fließt. Die Übertragung der Drehung des Zählers geschieht durch Schnecke und Schneckenrad auf ein Zählwerk.

Der in den festen Spulen $S_1 S_2$ wirkende Strom übt auf den durch den Anker fließenden Strom eine Kraft aus, so daß dieser sich dreht. Unter dem Einfluß dieser Kraft würde aber der Anker immer schneller und schneller laufen, man muß daher dem Anker Arbeit leisten lassen, indem man ihn bremst. Diese Bremsung geschieht durch eine Kupferscheibe K , welche sich zwischen drei Stahlmagneten hindurchdreht (selbstverständlich ohne zu schleifen). In der Kupferscheibe entstehen bei der Drehung elektrische Ströme, sogenannte Wirbelströme, welche genau der Arbeitsfähigkeit des Ankers entsprechen, so daß dieser jetzt mit konstanter Umlaufzahl sich dreht und erst schneller läuft, wenn die auf den Anker durch die Feldspulen ausgeübte Kraft, also der Strom J , zunimmt. Die Kupferscheibe bewirkt auch, daß der Zähler sofort steht, wenn aus der Leitung kein Strom mehr entnommen wird, denn dann wirkt auf den Anker keine Kraft mehr, er kann also die Scheibe nicht mehr zwischen den Magneten hindurch drehen.

Mit der Wirkung dieser Kupferscheibe müssen wir uns nun noch genauer in dem nächsten Abschnitte befassen. Erwähnen möchte ich aber noch, daß ein Motorzähler nach Fig. 33, weil dem sich drehenden Anker Strom zugeführt werden muß, einen Kollektor C und auf diesem schleifende Bürsten besitzen muß; beides soll später bei den elektrischen Maschinen noch genau behandelt werden.

Der Aronzähler und der Motorzähler nach Fig. 33 eignen sich beide für Gleich- und Wechselstrom.

III. Die Erzeugungsarten des elektrischen Stromes.

In der Einleitung wurde erwähnt, daß im Jahre 1831 FARADAY das Gesetz der elektromagnetischen Induktion entdeckte. Dieses Gesetz ist grundlegend für unsere elektrischen Maschinen und handelt von der Erzeugung eines elektrischen Stromes durch die Einwirkung von Magnetfeldern auf Leiter.

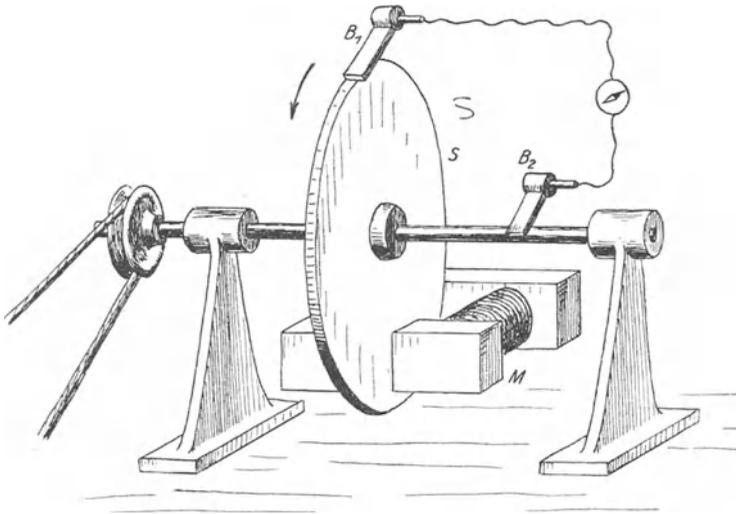


Fig. 35.

Der Versuch in Fig. 35 erläutert diese Erzeugungsart des elektrischen Stromes. Dreht man eine Kupferscheibe S zwischen den Polen eines Magneten M hindurch, so kann man von der Scheibe S elektrischen Gleichstrom abnehmen, wenn man eine Metallbürste B_1 auf dem Umfang der Scheibe, eine zweite B_2 auf ihrer

Welle schleifen läßt. Verbindet man die beiden Bürsten durch einen Draht, so fließt in diesem ein Strom von dauernd gleicher Richtung, solange man die Scheibe dreht. Man hat also hier eine elektrische Gleichstrommaschine von sehr einfacher Ausführung vor sich, welche nicht einmal den später noch zu besprechenden unangenehmen Kollektor nötig hat; trotzdem aber wendet man diese Maschine praktisch nicht an, weil sie viel zu unvorteilhaft arbeitet, denn man erhält aus ihr nur sehr wenig Spannung und kann allerdings viel Strom abnehmen, muß aber dazu sehr viele Bürsten aufsetzen und würde dadurch bedeutende Reibung verursachen. Außerdem würden sich die Bürsten, welche wie B_1 auf dem Umfang der Scheibe schleifen, außerordentlich stark abnutzen.

Die Scheibe in der Fig. 35 dreht sich zwischen den Polen des Magneten M durch dessen magnetisches Feld hindurch. Man kann nun leicht beobachten, daß der Strom, welchen man erhält, zunimmt, wenn man das magnetische Feld verstärkt, indem man z. B. bei einem Elektromagneten den Strom in seiner Drahtwindung verstärkt. Ferner erhält man eine Zunahme des Stromes durch schnelleres Drehen der Scheibe. Wenn ein stärkerer Strom entsteht, so muß durch diese beiden Mittel eine Erhöhung der den Strom treibenden elektromotorischen Kraft hervorgerufen werden. Weiter kann man beobachten, daß die Stromrichtung abhängt von der Drehrichtung und der Richtung des magnetischen Feldes. Dreht man nämlich die Scheibe entgegengesetzt, so fließt auch der Strom entgegengesetzt. Vertauscht man die Pole des Magneten, so fließt der Strom ebenfalls entgegengesetzt.

Es wird also, wenn ein Leiter sich durch ein Kraftlinienfeld bewegt, in dem Leiter eine elektromotorische Kraft erregt (induziert), deren Richtung von der Bewegungsrichtung des Leiters und der Richtung der Kraftlinien abhängt und deren Stärke mit der Geschwindigkeit der Bewegung zu- und abnimmt.

Durch den Versuch kann man folgende Regel für die Richtung der erregten elektromotorischen Kraft bestimmen:

Man halte die rechte Hand so, daß die Kraftlinien in ihre Innenfläche eintreten und der ausgestreckte Daumen die Richtung der Bewegung des Leiters anzeigt, dann entsteht die elektromotorische Kraft in der Richtung des Zeigefingers.

Man kann diese Regel sinngemäß auch anwenden, wenn sich nicht der Leiter bewegt, sondern das Feld oder Magnet und der Leiter feststeht; man denkt sich dann einfach das Feld feststehend und müßte dann natürlich den Leiter entgegengesetzt bewegen, als das Feld sich bewegt. Bewegt sich also das Feld, so lautet die obige Regel einfach:

Man halte die rechte Hand so, daß die Kraftlinien in ihre Innenfläche eintreten und der ausgestreckte Daumen nach der Richtung zeigt, von welcher die Bewegung des Feldes herkommt, dann entsteht die elektromotorische Kraft in der Richtung des Zeigefingers. Diese letzte Regel läßt sich z. B. anwenden bei Fig. 36. Es ist zum besseren Verständnis des soeben Gesagten in Fig. 36 die Stellung der

Hand gezeichnet beim Entstehen des Feldes, also beim Einschalten des Stromes im Draht 1. Es bewegt sich dann das Feld von dem Drahte 1 nach dem zweiten Draht zu in der Pfeilrichtung I . Beim Ausschalten des Stromes im Draht 1

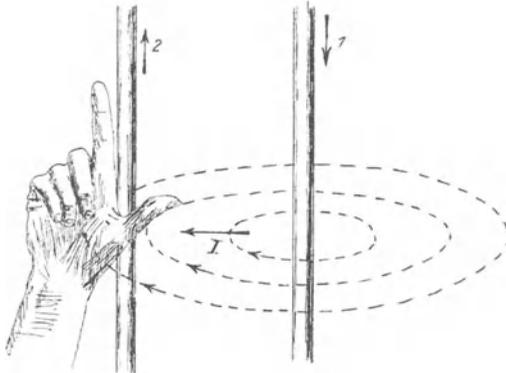


Fig. 36.

würde sich das Feld in der umgekehrten Richtung zurückbewegen; man müßte dann (Fig. 37), damit die Kraftlinien in die Innenfläche der Hand eintreten, die Hand umgekehrt mit dem Zeigefinger nach unten halten. Man wendet diese Art der Erzeugung von elektromotorischen Kräften durch Bewegung eines Magnetfeldes an bei den Transformatoren für Wechselstrom. Das Prinzip eines solchen **Transformators** zeigt Fig. 38.

Um einen eisernen Kern E sind zwei Drahtspulen gewickelt, S_1 und S_2 . Schaltet man in der Spule S_1 einen Strom von der Richtung I ein, so entsteht um jeden Draht der Spule S_1 das ringförmige Kraftlinienfeld, welches sich erweitert in dem Maße, wie der Strom zunimmt, und schließlich die Gestalt des Feldes der Fig. 25 annimmt, allerdings nur nach einer Seite hin, da sich die

Kraftlinien, wie schon in Fig. 19 gezeigt wurde, möglichst durch Eisen ziehen.

Es ist daher der Hauptverlauf des Feldes durch das Eisen in Fig. 38 punktiert eingezeichnet.

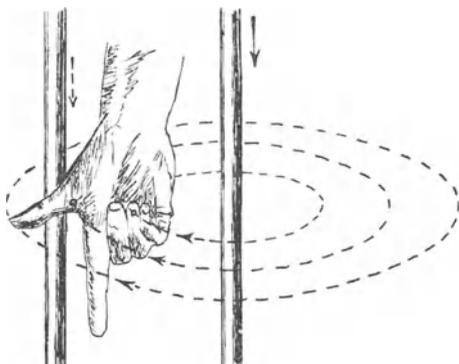


Fig. 37.

dem vorhin Gesagten in der Spule S_2 eine elektromotorische Kraft in der Richtung 2. Schaltet man den Strom in S_1 aus, so verschwindet das Feld und es entsteht eine elektromotorische Kraft von der Richtung 3 in S_2 . Man kann also, um dauernd in S_1 eine elektromotorische Kraft zu erhalten, nur einen Strom anwenden

in S_1 , dessen Stärke fortwährend wechselt, dann erhält man in S_2 durch das ebenfalls fortwährend sich ändernde Feld eine elektromotorische Kraft von wechselnder Richtung.

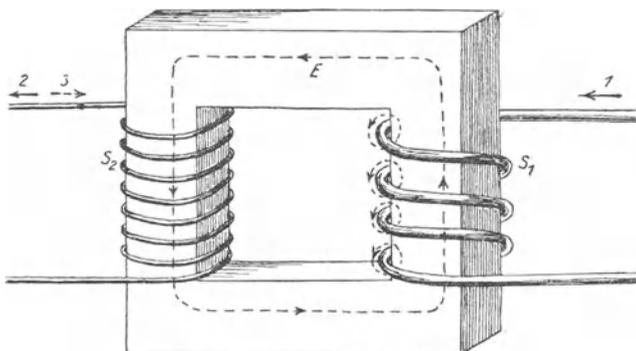


Fig. 38.

Benutzt man nun zur Erregung des Feldes in der Spule S_1 einen Wechselstrom, so ist der Vorgang folgender:

Entsteht in S_1 der Strom von der Richtung 1, dann entsteht in S_2 die elektromotorische Kraft von der Richtung 2; verschwindet 1,

so entsteht in S_2 Richtung 3; entsteht dann 1 umgekehrt, so entsteht auch das Feld umgekehrt, also entsteht in S_2 wieder 3 und beim Verschwinden der umgekehrten 1 entsteht in S_2 wieder 2. Man hat also folgendes Schema:

S_1	S_2
→ 1 zunehmend	2 ←
→ 1 abnehmend	3 →
← 1 zunehmend	3 →
← 1 abnehmend	2 ←
→ 1 zunehmend	2 ←
→ 1 abnehmend	3 →.

Aus diesem Schema ersieht man, daß die elektromotorische Kraft in S_2 ebenfalls ganz periodisch ihre Richtung wechselt; schließt man daher an die Spule S_2 einen Stromkreis an, so erhält man in diesem ebenfalls einen Wechselstrom, wenn man durch die Spule S_1 einen Wechselstrom leitet. Genau wie in Spule S_1 sich je ein zu- und ein abnehmender Strom folgen, so folgen sich auch in der Spule S_2 jedesmal 2 Ströme von derselben Richtung. Genaueres über Transformatoren soll dann später folgen.

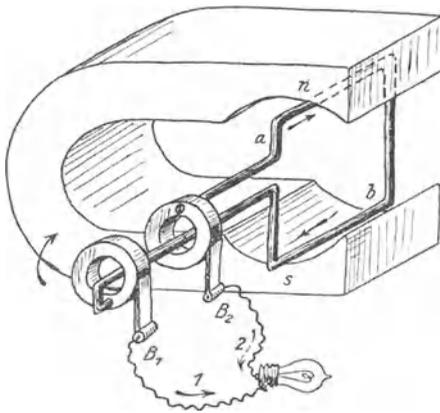


Fig. 39.

Wir wollen uns nun wieder dem Versuch in Fig. 35 zuwenden, den man allerdings, wie schon dort gesagt war, für praktische Zwecke nicht benutzen kann. Ändern wir ihn daher ab, indem wir keine Kupferscheibe, sondern einen Kupferdraht verwenden, dessen Anfang und Ende je zu einem Schleifring geführt sind, auf dem die Bürsten B_1 und B_2 schleifen, wie Fig. 39 zeigt. Wird der Draht gedreht, so erhalten wir in dem Ende a desselben unter dem Nordpol n des Magneten eine elektromotorische Kraft in der Pfeilrichtung, wenn wir die Hand so halten, daß die Kraftlinien in ihre Innenfläche eintreten und der Daumen die Bewegungsrichtung (\uparrow) des Drahtes an-

zeigt. In dem Ende b entsteht eine elektromotorische Kraft von umgekehrter Richtung, beide zusammen treiben aber durch die äußere Leitung zwischen den Schleifbürsten $B_1 B_2$ einen Strom von der Richtung 1. Wird der Drahtbügel weiter gedreht, so gelangen a und b in die Mitte zwischen beide Pole des Magneten, dann entsteht keine elektromotorische Kraft in ihnen; bei noch weiterer Drehung kommt dann a vor den Südpol s und b vor den Nordpol n , dann entsteht in a die elektromotorische Kraft, die vorher in b entstand, und in b die von a . Es fließt dann, da der Draht a stets mit der Bürste B_1 verbunden ist und b stets mit B_2 , der Strom in der äußeren Leitung umgekehrt als vorher, also in der Richtung 2. Man erhält deshalb aus der Vorrichtung in Fig. 39 einen Wechselstrom. Wie schon früher verschiedentlich gesagt wurde, muß dieser seine Richtung wenigstens 80mal in der Sekunde wechseln, damit man die Schwankungen des Stromes nicht an den Glühlampen bemerkt.

Dreht man die Drahtschleife in Fig. 39 einmal ganz herum, so erhält man 2 Stromwechsel; um 80 Stromwechsel in der Sekunde zu erhalten, müßte man sie daher 40mal in der Sekunde herumdrehen. Man gibt die Umlaufzahl von Maschinen immer auf eine Minute bezogen an, dann ergibt sich also für die Vorrichtung eine minutliche Umlaufzahl von $40 \times 60 = 2400$. Für normale Maschinen ist diese Umlaufzahl zu hoch; will man dieselbe kleiner halten, dann muß man mehr Pole anwenden; bei 4 Polen z. B. würde man für 1 Umdrehung 4 Wechsel erhalten, es wäre dann also eine Umlaufzahl von 1200 erforderlich usw. Je größer eine Maschine ist, um so langsamer läuft dieselbe, sie muß also nach dem Vorhin Gesagten auch um so mehr Pole erhalten. Es werden Wechselstrommaschinen mit 48—50 Polen ausgeführt. Eine Maschine mit 50 Polen würde also bei einer Umdrehung in der Sekunde 50 Stromwechsel erzeugen. Zu 80 Stromwechseln würden demnach $\frac{80}{50} = 1,6$ Umdrehungen in der Sekunde nötig sein, also in der Minute $60 \times 1,6 = 96$ Umdrehungen. Über die wirkliche Ausführung dieser Wechselstrommaschinen soll dann im V. Abschnitt besonders gesprochen werden.

Will man aus der Vorrichtung in Fig. 39 Gleichstrom erhalten, so muß man einen sogenannten Kollektor, oder besser gesagt, Stromwender anwenden. Dieser besteht nach Fig. 40 aus zwei Lamellen l_1 und l_2 , und zwar ist der Draht a mit l_1 , der Draht b mit l_2 ver-

bunden. Durch diese Lamellen wird erreicht, daß in der äußeren Leitung, also der Verbindungsleitung zwischen den beiden Bürsten B_1 und B_2 , bei einer Umdrehung des Drahtbügels D zwei Ströme von derselben Richtung fließen. In der augenblicklichen Stellung des Drahtbügels D fließt der Strom von B_2 nach B_1 . Dreht sich der Bügel, so daß die beiden Hälften a und b mitten zwischen beide Pole n und s zu liegen kommen, dann entsteht keine elektromotorische Kraft in ihnen; dreht man den Bügel weiter, dann kommt a vor s und b vor n , es entsteht dann in beiden eine entgegengesetzt gerichtete elektromotorische Kraft als die gezeichnete; da aber jetzt die Bürste B_1 mit b verbunden ist und die Bürste B_2 mit a , so fließt in der äußeren Verbindungsleitung doch derselbe Strom wie vorher.

Bei wirklichen elektrischen Maschinen besitzt der Stromwender eine große Anzahl, wenigstens 20 Lamellen und der Anker eine große Anzahl Drähte. Hierdurch wird erreicht, daß der Strom nicht aus 2 einzelnen Stößen von gleicher Richtung besteht, sondern daß ein fortwährend gleichbleibender Strom fließt, solange die Maschine läuft.

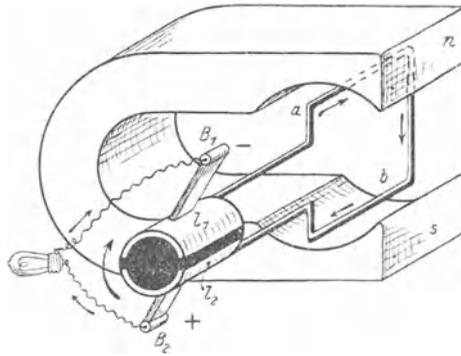


Fig. 40.

Genauer über die wirkliche Ausführung der Gleichstrommaschinen soll erst im nächsten Abschnitt ausgeführt werden.

Außer der bis jetzt auseinandergesetzten Methode der Erzeugung von elektrischen Strömen durch elektromagnetische Induktion gibt es noch zwei weitere Methoden, und zwar die Erzeugung von elektrischem Strom direkt aus Wärme und die Erzeugung durch galvanische Elemente.

Zur Erzeugung des elektrischen Stromes direkt aus Wärme benutzt man die sogenannten Thermo-Elemente, die man zu Thermo-Säulen vereinigt. In Fig. 41 ist schematisch das Prinzip einer solchen Säule gezeichnet. Man verbindet immer abwechselnd miteinander zwei verschiedene Metalle, am besten Wismut und Antimon,

und erhitzt die Lötstellen 2, 4, 6, während die Lötstellen 1, 3, 5 kalt bleiben. Je größer der Temperaturunterschied zwischen den heißen und kalten Lötstellen ist, um so stärker wird der in der äußeren Verbindungsleitung fließende Strom.

Leider lassen sich aber diese Thermosäulen für praktische Zwecke nicht anwenden, denn ein Element gibt nur eine sehr geringe elektromotorische Kraft, auch bei großer Erhitzung; um nun eine genügende gesamtelektromotorische Kraft zu erhalten, muß man eine große Zahl Elemente (in Fig. 41 sind nur drei gezeichnet) anwenden. Dadurch wird aber der Widerstand der Säule wieder sehr hoch, so daß ein großer Teil der erzeugten elektromotorischen Kraft verbraucht wird, um den Strom nur durch die Säule zu treiben, und

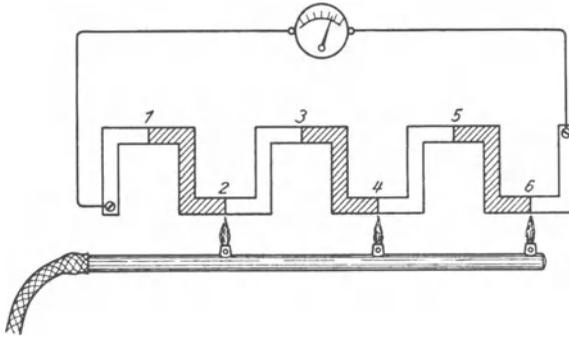


Fig. 41.

für die äußere Leitung mit dem Nutzwiderstand demnach nicht mehr viel übrig bleibt.

Viel besser zur Erzeugung eines Gleichstroms geeignet sind die galvanischen Elemente. Sie werden zwar auch nur für untergeordnete Zwecke zur Stromerzeugung angewendet, haben aber trotzdem ihr eigenes Anwendungsgebiet, besonders in der sogenannten Schwachstromtechnik, das ist hauptsächlich die Technik des Fernsprechers (Telephonie).

Um die Wirkungsweise der galvanischen Elemente zu verstehen, bedarf es zunächst einer kleinen Abschweifung in das Gebiet der Chemie, denn in den galvanischen Elementen treten bei Stromentnahme chemische Veränderungen ein.

Diese **chemischen Veränderungen** werden veranlaßt durch das Wandern der den elektrischen Strom darstellenden kleinen Körperchen,

Elektronen genannt, über welche schon geredet wurde. Diese Elektronen sind in allen Stoffen enthalten, und man muß unterscheiden zwischen positiven und negativen Elektronen, wie die Untersuchungen der Kathoden- und Kanalstrahlen in der Röntgenröhre bewiesen haben.

Denkt man sich irgend einen Körper in viele Teile zerlegt und diese Teilung so lange fortgesetzt, bis sie nicht mehr weiter möglich ist, so erhält man Moleküle. Es sind also die Moleküle die kleinsten denkbaren Teile eines Körpers. Die einzelnen Moleküle sind aber immer noch aus mehreren Stoffen zusammengesetzt, wenn der Körper, dessen Teile sie sind, aus mehreren Stoffen chemisch zusammengesetzt ist. Die Chemie ist nun imstande, jeden Körper, der aus mehreren Stoffen chemisch zusammengesetzt ist, in diese Einzelstoffe zu zerlegen. Diese Einzelstoffe, die sich nicht weiter chemisch zerlegen lassen, nennt man chemische Elemente. Solche chemische Elemente sind die Gase: Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Chlor usw., ferner die festen Körper: Kohlenstoff, Schwefel, alle reinen Metalle, das gewöhnlich flüssige Metall Quecksilber usw. Das Wasser ist ein zusammengesetzter Körper, aus den Gasen: Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt. Die Salzsäure ist z. B. ebenfalls zusammengesetzt aus Wasserstoff und Chlor. Untersucht man genauer, so findet man, daß Wasser stets aus 2 Teilen Wasserstoff und 1 Teil Sauerstoff besteht; Salzsäure besteht dagegen aus 1 Teil Wasserstoff und 1 Teil Chlor. Da nun der ganze Körper z. B. Wasser aus 3 Teilen besteht, so müssen auch seine Moleküle aus 3 Teilen bestehen. Zerlegt man also ein Molekül Wasser chemisch, so zerfällt es in 2 Teile Wasserstoff und 1 Teil Sauerstoff. Diese Teile eines Moleküles haben den Namen Atome erhalten. Es besteht also ein Molekül Wasser aus 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff.

Leitet man einen elektrischen Strom durch Wasser, welches durch einen schwachen Salzzusatz besser leitend zu machen ist, da chemisch reines Wasser nicht leitet, so beobachtet man, daß das Wasser zersetzt wird in seine chemischen Bestandteile: Wasserstoff und Sauerstoff. Es wird stets der Wasserstoff an der Stelle abgeschieden, an welcher der Strom die Flüssigkeit wieder verläßt; aus Salzlösungen wird stets das Metall, welches in dem betreffenden Salz enthalten ist, ebenfalls an der Stelle ausgeschieden, an welcher der Strom die Flüssigkeit verläßt. Hierauf beruht das Verkupfern, Versilbern, Vernickeln usw. von Metallen.

Um den Vorgang verständlicher zu machen, sollen zwei bestimmte Fälle genauer besprochen werden. In Fig. 42 ist ein Glasgefäß, dessen Rohre *H* und *O* gezeichnet, vollständig mit Wasser gefüllt sind. Wasser besteht aus 2 Teilen Wasserstoff und 1 Teil Sauerstoff. Die chemischen Zeichen dafür sind Wasserstoff *H*, Sauerstoff *O* und die chemische Formel für Wasser ist H_2O (die angehängte kleine Zahl bedeutet die Anzahl Atome, aus denen das Molekül besteht, wobei die Zahl 1 nicht geschrieben wird). Es ist in Fig. 42

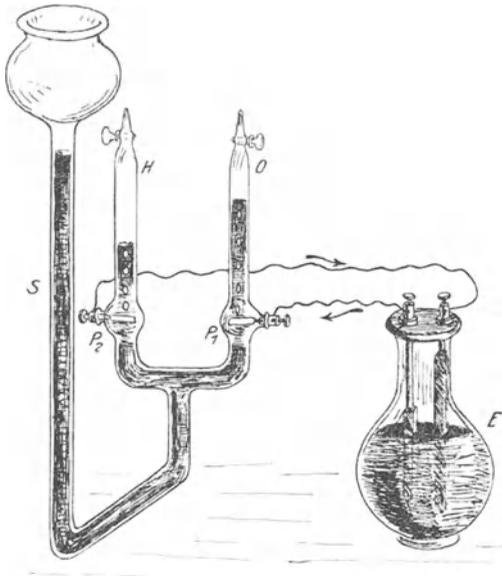


Fig. 42.

E eine Stromquelle, aus welcher von + aus ein Strom durch einen Draht zur Platte P_1 fließt, von da durch das Wasser zur Platte P_2 und durch den zweiten Draht wieder in die Stromquelle bei — zurückkehrt. Man bemerkt sofort nach dem Einschalten des Stromes, daß sich sowohl an der Platte P_1 als auch an der Platte P_2 Gasblasen bilden, welche in den Röhren *H* und *O* aufsteigen, bei verschlossenen Hähnen abgefangen werden und die Flüssigkeit immer weiter herunterdrücken, wobei sie entsprechend in dem Rohre *S* aufwärts steigt. In dem Rohr *O* bildet sich aber nur die halbe Gasmenge als in dem Rohr *H*.

Untersucht man die Gase, so findet man in dem Rohr *H* Wasserstoff und in dem Rohr *O* Sauerstoff. Es bildet sich also, wie schon gesagt wurde, der Wasserstoff an der Stelle, an welcher der elektrische Strom die Flüssigkeit wieder verläßt. Ehe die Erklärung dafür gegeben wird, möge ein zweiter Versuch beschrieben werden. Das Gefäß *G* in Fig. 43 sei gefüllt mit einer Kupfervitriollösung. Kupfervitriol besteht aus 1 Teil Kupfer (*Cu*), 1 Teil Schwefel (*S*) und 4 Teilen Sauerstoff (*O*). Die chemische Schreibweise für Kupfervitriol ist also $CuSO_4$. *E* sei eine Stromquelle, aus welcher bei + der Strom austritt und an der Platte P_1 in die Kupfervitriollösung eintritt, diese durchfließt, bei P_2 wieder verläßt

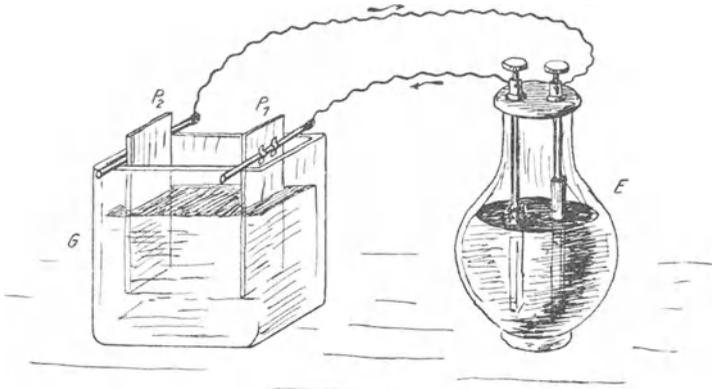


Fig. 43.

und durch den zweiten Draht wieder nach — in die Stromquelle zurückkehrt. Man bemerkt nun auf der Platte P_2 nach dem vorhin Gesagten nach einiger Zeit einen Kupferniederschlag. Daß das niedergeschlagene Kupfer aus der Flüssigkeit ausgeschieden ist, kann man sehr leicht dadurch beweisen, daß man beide Platten P_1 und P_2 aus Platin herstellt. Es wird dann, solange die Flüssigkeit noch Kupfersalze gelöst enthält, Kupfer auf P_2 abgesetzt.

Die Erklärung für diese chemische Wirkung des elektrischen Stromes ist folgende: Die schon erwähnten Elektronen, deren körperliche Eigenschaften schon bei den THOMSONSchen Versuchen erklärt wurden, sind in allen Körpern enthalten, und zwar ist jedes Molekül eines Körpers mit 2 Elektronen, einem positiven und einem negativen Elektron behaftet.

Bei dem Versuch der Wasserzersetzung (Fig. 42) wird eine Spaltung der Wassermoleküle herbeigeführt, deren jedes, wie wir schon gesehen haben, aus 2 Atomen Wasserstoff (H) und 1 Atom Sauerstoff (O) zusammengesetzt ist. Die beiden Wasserstoffatome wandern mit den positiven Elektronen in der Richtung durch die Flüssigkeit, die man mit Richtung des Stromes bezeichnet, bis zu der Stelle, an welcher der Strom die Flüssigkeit verläßt. Hier scheiden sich die Elektronen von den Wasserstoffatomen, welche sich zu Gasblasen vereinigen und in der Flüssigkeit aufsteigen. Die Elektronen selbst aber wandern weiter in den Draht hinein. In der umgekehrten Weise bewegen sich die negativen Elektronen mit den Sauerstoffatomen bis zu der Stelle, an welcher der Strom in das Wasser eintritt: dort scheiden sich Elektronen und Sauerstoffatome und die negativen Elektronen wandern umgekehrt in den Draht hinein, als die positiven aus ihm heraus.

Ähnlich ist auch der Vorgang bei der Ausscheidung von Kupfer aus Kupfervitriol. Das Kupfervitriol hat die chemische Formel $CuSO_4$, wie auch schon erwähnt wurde. Die positiven Elektronen wandern mit dem Kupfer (Cu) in der als Richtung des Stromes bezeichneten Richtung bis zur Platte P_2 (Fig. 43); dort setzt sich das Kupfer ab und die positiven Elektronen wandern allein weiter in die Platte und den Draht hinein; die negativen Elektronen wandern auch hier wieder umgekehrt, und zwar nehmen sie mit sich bis zur Eintrittsstelle des Stromes das SO_4 , welches sich bei seinem Auftreffen auf der Platte P_1 mit dem Metall derselben chemisch verbindet, so daß also die Platte P_2 allmählich verzehrt wird. Diesen Umstand macht man sich beim Verkupfern, Versilbern usw. in der Weise zunutze, daß man diejenige Platte (P_1 in Fig. 43), an welcher der Strom zugeführt wird, aus demselben Metall herstellt, welches aus der Flüssigkeit ausgeschieden wird. In unserem Falle bei Kupfervitriol müßte man also P_1 aus Kupfer wählen, dann wird in der erklärten Weise das Kupfer auf der Platte P_2 aus der Lösung ausgeschieden und das frei gewordene SO_4 wird von den negativen Elektronen nach der Platte P_1 mitgenommen, mit der es, da sie aus Kupfer (Cu) besteht, sich wieder zu $CuSO_4$ verbindet. Ähnlich muß man beim Vernickeln die Platte P_1 aus Nickel wählen, beim Versilbern aus Silber usw. Dann kann man viel länger mit einer Lösung arbeiten, als wenn man irgend welche anderen Metalle nimmt. Selbstverständlich können alle diese chemischen Wirkungen nur durch einen Gleichstrom hervorgerufen werden.

Aus den bisher beschriebenen Vorgängen ist zu ersehen, daß in den Flüssigkeiten gewissermaßen Verbindungen bestehen zwischen den Elektronen und den Atomen; diese Verbindungen nennt man Ionen, und zwar sind positive Ionen die Verbindungen der positiven Elektronen mit Atomen (z. B. bei der Wasserzersetzung die Wasserstoff-Atome mit positiven Elektronen) und negative Ionen Verbindungen zwischen negativen Elektronen und Atomen.

Die **galvanischen Elemente**, genannt nach GALVANI und verbessert von VOLTA, wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, bestehen im Prinzip aus einer Salzlösung oder leitenden Flüssigkeit, in welche zwei Platten aus verschiedenen Metallen hineingehängt sind. Um das Zustandekommen eines elektrischen Stromes zu erklären, benutzen wir am besten ein Beispiel, und zwar das VOLTASche Element, gezeichnet in Fig. 44. Es besteht aus verdünnter

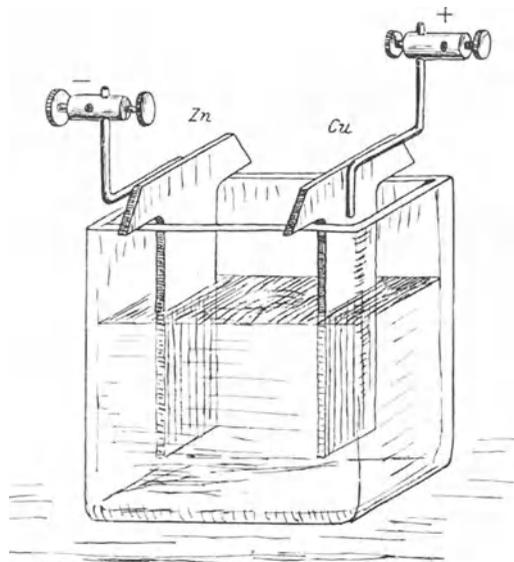


Fig. 44.

aus verdünnter Schwefelsäure, die aus 2 Teilen Wasserstoff (H), einem Teil Schwefel (S) und 4 Teilen Sauerstoff (O) besteht, also chemisch bezeichnet wird mit H_2SO_4 , und 2 verschiedenen Metallplatten, am besten Kupfer Cu und Zink Zn . Der Wasserstoff ist mit positiven Elektronen geladen und das SO_4 mit negativen. Die positiven Elektronen werden durch die Kupferplatte angezogen, die negativen durch die Zinkplatte. Verbindet man die beiden Platten an den Klemmen $+$ und $-$ durch einen Draht, so erhält man in diesem einen elektrischen Strom, welcher von $+$ nach $-$ fließt und in der Flüssigkeit natürlich umgekehrt von $-$ nach $+$. Die positiven Elektronen nehmen den Wasserstoff (H)

aus der Schwefelsäure mit und setzen ihn am Kupfer *Cu* ab, während die negativen Elektronen umgekehrt wandern nach dem Zink *Zn* zu mit dem SO_4 . Dieses verbindet sich mit dem *Zn* zu schwefelsaurem Zink $ZnSO_4$, so daß mit der Zeit das Zink verzehrt wird. Bei allen galvanischen Elementen verzehrt sich übrigens mit der Zeit das Zink und muß deshalb von Zeit zu Zeit erneuert werden.

Der Nachteil des VOLTaschen Elementes besteht aber darin, daß bei längerer Stromentnahme sich allmählich die Kupferplatte immer stärker mit

Wasserstoffbläschen überzieht und infolgedessen der Strom geschwächt wird.

Man vermeidet diese Schwächung des Stromes bei den neueren Elementen. Ein Element, bei welchem der Strom fortgesetzt denselben Wert behält, ist das in Fig. 45 gezeichnete MEDINGER Element, welches früher hauptsächlich in der Telegraphie verwendet wurde, wofür aber heute Akkumulatoren benutzt werden. Es

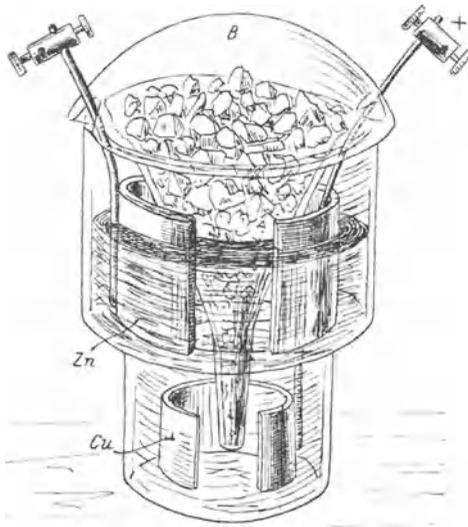


Fig. 45.

besteht dies Element aus Kupfer (*Cu*) in Kupfervitriollösung und Zink (*Zn*) in Bittersalzlösung. Die Kupfervitriollösung wird zuerst hineingefüllt und steht in dem unteren engen Teile des Glasgefäßes mit dem aus einem Kupferblech gebogenen Zylinder *Cu*. Über der Kupfervitriollösung steht in dem weiten Teile des Glasgefäßes der Zinkzylinder *Zn* in der Bittersalzlösung, welche auf der Kupfervitriollösung schwimmt, wie Öl auf Wasser, da sie leichter ist als die Kupfervitriollösung. Der Strom fließt bei diesem Element in der äußeren Leitung von + nach - und im Innern des Elementes umgekehrt, also vom Zink zum Kupfer. Hierbei wird zunächst die Bittersalzlösung chemisch verändert und infolgedessen das Zink allmählich verzehrt;

weiter gelangt der Strom dann in die Kupfervitriollösung, aus welcher das Metall Kupfer ausgeschieden und auf dem Kupfer Cu abgesetzt wird; es setzt sich hier also Kupfer auf Kupfer ab und es kann deshalb nicht die beim VOLTA-Element eintretende Schwächung des Stromes eintreten. B in Fig. 45 ist ein Glasball, welcher in einen Trichter endigt, der bis in das Kupfervitriol hineinragt und mit Kupfervitriolkristallen gefüllt wird, damit die Lösung, in der das Kupferblech Cu steht, stets gesättigt bleibt mit gelöstem Salz.

Ein für Haustelegraphen und für Fernsprech-Einrichtungen sehr häufig angewendetes Element ist das von LECLANCHÉ in Fig. 46. Dieses besteht aus Kohle K und Zink Zn in Salmiaklösung. Die Kohle wird hergestellt aus der bei der Leuchtgasherstellung gewonnenen Retortenkohle, welche gemahlen und in die betreffende Form gepreßt wird; innen bleibt sie hohl und wird mit Mangansuperoxyd gefüllt. Das Zink wird mit Bindfaden an die Kohle angebunden, darf letztere aber nicht direkt berühren. Es werden deshalb Porzellan- oder Holzstückchen vor dem Zusammenbinden zwischen gelegt.

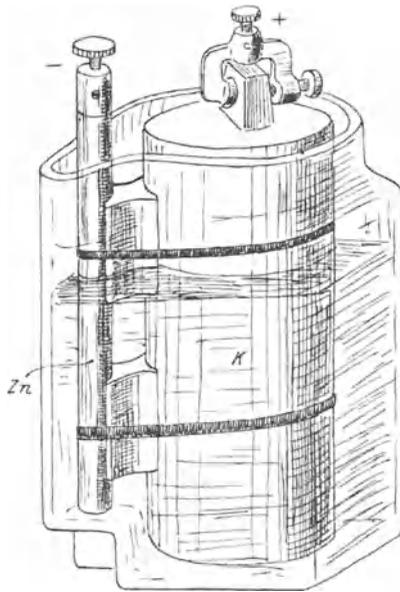


Fig. 46.

Entnimmt man Strom aus dem Element, so fließt derselbe in der äußeren Leitung von der Kohle zum Zink und innen umgekehrt. Hierbei zersetzt sich die Salmiaklösung, wodurch das Zink verzehrt wird und Wasserstoff frei wird, welcher sich auf der Kohle absetzen und den Strom schwächen würde, wenn nicht das Mangansuperoxyd vorhanden wäre, mit dem sich der Wasserstoff sehr leicht chemisch verbindet, also unschädlich wird. Bei nicht zu starker Stromentnahme tritt bei diesem Element auch keine Schwächung ein.

Unter die galvanischen Elemente kann man auch die **Akkumulatoren** rechnen. Ein Akkumulator besteht im Prinzip aus zwei besonders vorbereiteten Bleiplatten, die wie die Platten in Fig. 44 in einem Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure hängen. Im Zustand der Entladung bestehen beide Platten aus schwefelsaurem Blei. Leitet man einen elektrischen Strom durch den Akkumulator zur einen Platte hinein und an der anderen wieder hinaus, so wird die Schwefelsäure chemisch zersetzt und es bildet sich die Platte, an der der Strom eintritt, um in Bleiglätte (Mennige), während die andere Platte sich in reines Blei verwandelt. Wenn die Oberfläche der

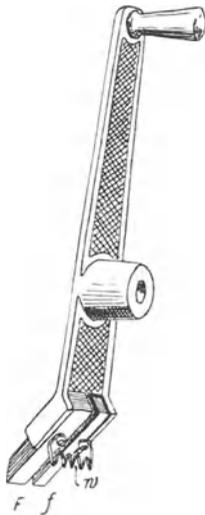


Fig. 47.

Platten auf diese Weise chemisch verschieden geworden ist, ist der Akkumulator geladen. Leitet man jetzt noch immer weiter Strom hinein, dann können sich die Zersetzungsprodukte der Schwefelsäure nicht mehr chemisch mit der Plattenoberfläche verbinden und steigen in Form von Gasblasen in der Schwefelsäure auf. Diese Erscheinung nennt man das Kochen des Akkumulators, sie zeigt also an, daß die Ladung beendet ist und eine weitere Hindurchleitung von Strom Verschwendung bedeutet.

Wir haben jetzt zwei verschiedene Platten in der Schwefelsäure, die eine aus Bleiglätte, welche an der rötlich-braunen Färbung zu erkennen ist, und die andere aus reinem Blei von bleigrauer Farbe. Verbinden wir beide durch einen Draht, so liefert der Akkumulator jetzt selbständig

einen Strom, welcher die umgekehrte Richtung hat als der vorherige Ladestrom; dieser Entladestrom fließt also in der äußeren Leitung von der Bleiglätteplatte zur reinen Bleiplatte, also in der Flüssigkeit vom reinen Blei zur Bleiglätte. Hierbei zersetzt sich die Flüssigkeit abermals und es bilden sich infolgedessen beide Platten wieder um zu schwefelsaurem Blei.

Während der Entladung werden nun allmählich beide Platten wieder chemisch gleichartig; in demselben Maße, als dieses vor sich geht, nimmt auch die elektromotorische Kraft des Akkumulators ab. Man wendet in Beleuchtungsanlagen eine

Spannung von 110 Volt, auch 220 Volt an, nehmen wir z. B. 220 Volt, jede Akkumulatorzelle besitzt im frisch geladenen Zustand 2 Volt, man braucht also dann zur Erzeugung von 220 Volt 110 Zellen. Man darf jede Zelle so weit entladen, bis sie nur noch 1,7 Volt besitzt, dann sind also $\frac{220}{1,7} = 130$ Zellen notwendig; um dennoch mit einer Akkumulatorenbatterie eine konstante Spannung von 220 Volt zu erzeugen, muß man die Zahl der Zellen ändern können von 110 auf 130, denn sonst würde die Spannung nicht konstant bleiben und die Lampen immer dunkler brennen. Zur Änderung der Zellenzahl der Batterie benutzt man die Zellenwechsler. Kleinere Zellenwechsler besitzen runde Form. Auf den Kontakten, die im Kreis angeordnet sind, schleift eine Doppelfeder, die an einer Kurbel befestigt ist nach Fig. 47. Und zwar ist die Feder *F* direkt auf die gußeiserne Kurbel aufgeschraubt, während die Feder *f* von der Kurbel isoliert ist

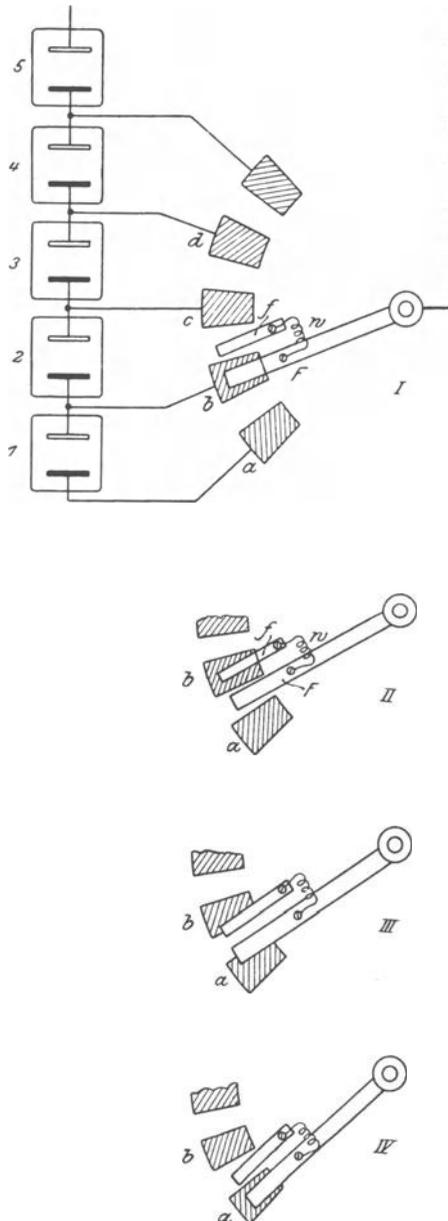


Fig. 48.

durch Hartgummi. F und f sind durch einen kleinen spiraligen Draht w aus Widerstandsmaterial verbunden. Die Schaltung des Zellschalters geht aus Fig. 48 hervor. Die Federn Ff schleifen auf den kreisförmig angeordneten Kontakten a, b, c usw., von welchen bei 220 Volt 20 Stück vorhanden sein müssen, da die Zellenzahl,

wie wir sahen, bei dieser Spannung von 110 bis auf 130, also um 20 vermehrt werden muß. Die Stellung I zeigt die normale Stellung der Kurbel. Soll jetzt die Zelle 1 noch zugeschaltet werden, so muß die Feder F von b auf a gedreht werden. Die einzelnen Kontakte a, b, c usw. dürfen nun nicht so eng liegen, daß F den Zwischenraum überbrücken kann, denn dann würde die zuzuschaltende Zelle, also hier 1 , kurzgeschlossen, wenn F die Kontakte ab verbindet. Unter Kurzschluß versteht man die direkte Verbindung der Pole einer Stromquelle, hier also die Zelle 1 . Bei solchem Kurzschluß entstünde ein sehr starker Strom, der der Zelle schaden würde und gleichzeitig den Zellschalter bald unbrauchbar machen würde. Man muß daher diesen Kurzschluß vermeiden, indem man den Zwischenraum zwischen je zwei Kontakten breiter macht, als die Feder F ist. Jetzt würde aber beim Weiterdrehen der Kurbel jedesmal in der äußeren Leitung das Licht verlöschen, weil jedesmal, wenn F zwischen zwei Kontakten steht, ausgeschaltet wäre. Das darf ebenfalls nicht eintreten, man setzt daher die zweite Feder f isoliert neben F und verbindet beide durch den kleinen Widerstand w . Dreht

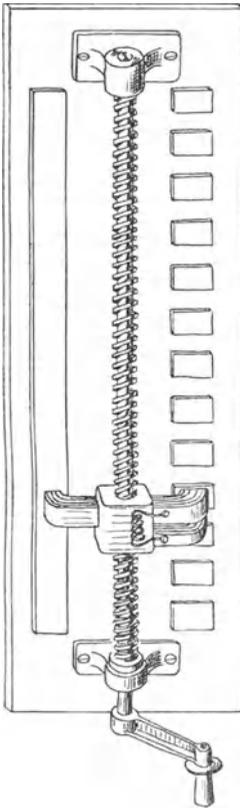


Fig. 49.

man jetzt von Stellung I nach IV , so durchläuft man die Zwischenstufen II und III . Bei II geht der ganze Strom durch f und w nach den Schienen, bei III ist Zelle 1 auf den Widerstand w geschaltet, also der Kurzschluß vermieden und bei IV ist Zelle 1 mit zugeschaltet.

Große Zellschalter besitzen die Form der Fig. 49. Auch hier ist eine Doppelfeder vorhanden, welche auf den Kontakten

schleift. Sie wird durch Drehen einer Schraubenspindel bewegt. Der Zellenschalter in Fig. 49 geht aus dem runden in Fig. 48 hervor, wenn man den Drehpunkt des runden sich in eine Schiene gestreckt denkt und die Kontakte geradlinig anordnet.

In elektrischen Anlagen mit Akkumulatoren benutzt man meist Doppelzellenschalter, um gleichzeitig laden und entladen zu können. Diese Doppelzellenschalter sind bei kleineren Zellenschaltern nichts anderes als ein gewöhnlicher runder Zellenschalter mit 2 Kurbeln, von denen eine für die Ladung, die andere für die Entladung dient. Bei größeren Zellenschaltern nach Art der Fig. 49 benutzt man zwei einfache.

Über die Anwendung der Doppelzellenschalter soll in einem späteren Abschnitt Genaueres gesagt werden.

IV. Stromerzeuger (Generatoren) für Gleichstrom.

Im vorigen Abschnitt haben wir gesehen, wie man durch Bewegung eines Leiters in einem magnetischen Felde in dem Leiter elektromotorische Kräfte erregt. Wendet man eine gewöhnliche Drahtschleife an, deren Enden mit Schleifringen verbunden sind (Fig. 39), so erhält man einen Wechselstrom, dessen Wechselzahl abhängt von der Zahl der Magnetpole und der Umdrehungszahl der Drahtschleife. Will man Gleichstrom erhalten, dann muß man den Stromwender (Kollektor) anwenden, dessen Prinzip in Fig. 40 erklärt wurde.

Weiter haben wir bei der Beschreibung der Fig. 35 gesehen, daß die erregte elektromotorische Kraft um so größer wird, je größer die Umlaufzahl des gedrehten Leiters und je stärker das magnetische Feld ist.

Hieraus folgt, daß man elektrische Maschinen oder Dynamos mit möglichst starken Magneten, also Elektromagneten ausführt und sie möglichst schnell laufen läßt, um kleine, also billige Maschinen zu erhalten.

Da man Elektromagnete anwendet, so muß man weiches Eisen verwenden, und zwar eignet sich, wie schon früher erwähnt, weiches Schmiedeeisen, Stahlguß und etwas weniger gut auch Gußeisen.

Man unterscheidet zweipolige und mehrpolige Magnetsysteme und die den Magnetismus erzeugenden Drahtwindungen oder Spulen können an ganz verschiedenen Teilen des Magnetsystemes angebracht sein.

In Fig. 50 ist ein zweipoliges Magnetsystem gezeichnet, wie sie heute für Maschinen von 1—20 Kilowatt fast allgemein üblich sind. Gleichzeitig sind die Teile daran bezeichnet, und zwar ist S_2 der Schenkel, an welchem der Polschuh P sitzt. Auf den

Schenkeln wird die Spule S_1 angebracht; in Fig. 50 ist sie nur auf dem oberen Schenkel gezeichnet, um die Form der Schenkel zeigen zu können. Die Schenkel sind verbunden durch das Joch J .

Zwischen den Polen P des Magnetsystemes befindet sich der Anker mit den Drähten. Der Kern des Ankers besteht aus weichem Schmiedeeisen, weil dadurch ein stärkeres magnetisches Feld entsteht. Das äußere Bild eines solchen Ankers zeigt Fig. 51, und zwar ist es ein Nuten-Trommel-Anker. Andere Ausführungen, wie Ring-Anker oder Anker ohne Nuten, kommen bei modernen Maschinen dieser Art nicht mehr vor, ihre Besprechung ist daher überflüssig.

Der Ankerkörper selbst ist aus einzelnen Schmiedeeisen-Blechscheiben aufgebaut und mit Nuten versehen nach Fig. 52. Der Aufbau aus Blechen ist notwendig, weil in dem Eisenkörper

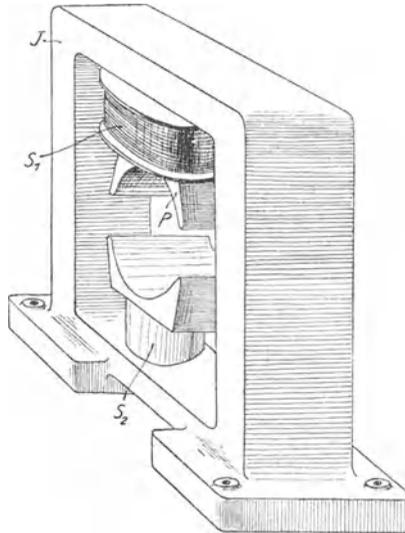


Fig. 50.

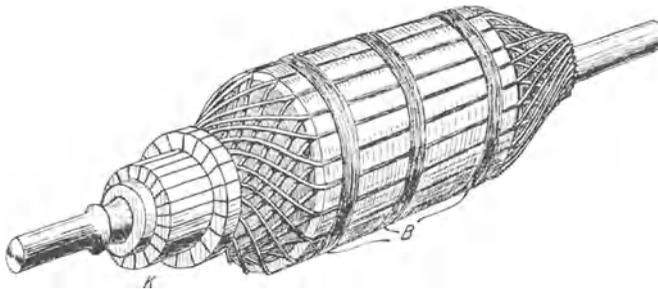


Fig. 51.

bei der Drehung zwischen den Magnetpolen, genau wie in der Scheibe S Fig. 35, starke elektrische Ströme entstehen würden, wenn er nicht unterteilt wäre. Diese Ströme, die sogenannten Wirbel-

ströme, werden durch die Unterteilung des Eisens in Bleche zum größten Teil vermieden. Vollständig lassen sie sich allerdings niemals vermeiden. Nun verbrauchen aber, wie wir schon im zweiten Abschnitt kennen gelernt haben, elektrische Ströme Arbeit zu ihrer Erzeugung.

Wenn wir nun aus einer elektrischen Maschine elektrische Arbeit oder Watt herausholen wollen, dann müssen wir ihr eine entsprechende mechanische Arbeit durch eine Dampfmaschine, Gasmaschine oder Wasserkraftmaschine zuführen. Da auch die Wirbelströme Arbeit verbrauchen, so geht ein Teil der zugeführten mechanischen Arbeit zur Erzeugung der Wirbelströme verloren, folglich erhält man entsprechend weniger Watt aus der elektrischen

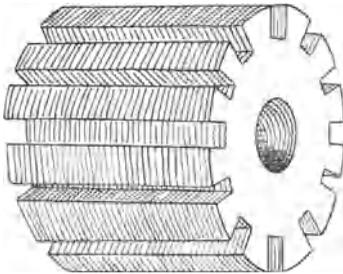


Fig. 52.

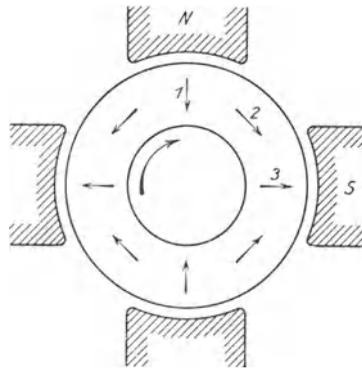


Fig. 53.

Maschine. Die Wirbelströme sind also ein Verlust und deshalb möglichst klein zu halten.

Ein weiterer Verlust in jeder elektrischen Maschine ist der Ummagnetisierungs-(Hysteresis-)Verlust. Er hat ebenfalls seinen Sitz im Eisen des Ankers und rührt daher, daß die Moleküle des Eisens bei der Drehung des Ankers fortwährend ihre Lage ändern unter der anziehenden Wirkung der Feldmagnete.

In Fig. 53 ist schematisch dieser Vorgang gezeichnet. Ein ganz bestimmtes Molekül steht z. B. vor dem Nordpol *N* in der Stellung 1. Dreht sich der Anker, dann nimmt dasselbe Molekül nacheinander die Lagen 2 und 3 an usw. Dieselbe Drehbewegung im Eisen führen natürlich alle Moleküle aus und hierbei reiben sie sich gegenseitig aneinander. Diese Reibung verlangt wieder einen

Teil der zugeführten mechanischen Arbeit zur Überwindung, ist also abermals ein Verlust.

Man könnte nun einwenden, warum man denn überhaupt den Kern des Ankers aus Eisen ausführt, wo doch in ihm Verluste entstehen. Man erhält aber durch die Anwendung des Eisens ein viel stärkeres Magnetfeld und außerdem wird dasselbe durch das Ankerisen in eine für die Erregung von elektromotorischen Kräften in den Drähten sehr günstige Form gebracht, wie schon aus der Kraftlinienverteilung in Fig. 20 hervorgeht, in welcher zwischen den Magnetpolen sich ebenfalls ein schmiedeeiserner Zylinder befindet, ähnlich wie der Ankerkern einer Maschine.

Ein dritter Verlust in jeder elektrischen Maschine rührt daher, daß die Drahtwicklung der Maschine einen Widerstand für den Strom besitzt; es kommt daher weniger aus der Maschine heraus, als in ihr erzeugt wird, weil ein Teil der erzeugten elektromotorischen Kraft erforderlich ist, um den Strom durch den Widerstand der Maschine zu treiben, wie wir schon im II. Abschnitt gesehen haben. Ein vierter Verlust jeder elektrischen Maschine liegt in der Reibung der sich drehenden Teile, besonders in den Lagern der Welle.

Infolge dieser vier Verluste werden in einer elektrischen Maschine nicht 736 Watt für jede zugeführte Pferdestärke erzeugt (vergl. Abschnitt II), sondern weniger. Allerdings sind die Verluste bei elektrischen Maschinen im Vergleich zu anderen Maschinen (denn jede Maschine hat Verluste) außerordentlich klein; bei kleineren Maschinen gehen etwa 20% verloren, bei größeren weniger, bis zu 8% herauf für ganz große Generatoren.

Wollen wir z. B. aus einer elektrischen Maschine 73600 Watt herausholen, so müßte die Dampfmaschine $\frac{73600}{736} = 100$ PS zuführen, wenn keine Verluste vorhanden wären hat aber die Maschine z. B. 8% Verlust, so muß die Dampfmaschine 108 PS zuführen, die 8 PS gehen also verloren.

Man bezeichnet bei jeder Maschine das Verhältnis von abgegebener Arbeit geteilt durch zugeführte Arbeit als Wirkungsgrad. Liefert z. B. eine Dampfmaschine 200 PS an eine elektrische Maschine und liefert diese dafür eine elektrische Arbeit von 667 Ampere bei 220 Volt, dann sind das $667 \times 220 = 132400$ Watt oder 132,4 Kilowatt. Der Wirkungsgrad dieser Maschine beträgt dann

$$\frac{\text{abgegebene Arbeit}}{\text{zugeführte Arbeit}} = \text{Wirkungsgrad.}$$

Da die abgegebene Arbeit in Watt ausgedrückt ist und die zugeführte Arbeit in PS und man nicht zwei verschiedene Größen durcheinander teilen kann, so muß man beides in PS verwandeln, indem man die abgegebene Arbeit durch 736 teilt, weil, wie wir gesehen haben, 736 Watt einer Pferdestärke entsprechen. Es wird in unserem Falle:

$$\frac{132400}{736 \times 200} = 0,89.$$

Der Wirkungsgrad ist maßgebend für die gute Ausführung einer Maschine; man muß ihn daher bei Abnahme-Versuchen häufig bestimmen, um festzustellen, ob die Firma, welche die Maschine aufstellte, dieselbe den gestellten Bedingungen entsprechend ausgeführt hat.¹⁾

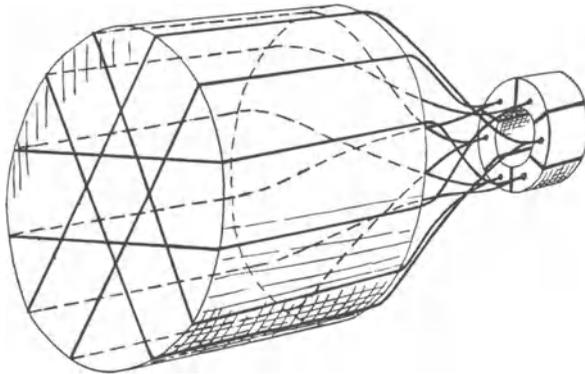


Fig. 54.

Wir wollen uns nun zunächst mit dem Anker der elektrischen Gleichstrommaschinen etwas genauer befassen. In den Nuten des Eisenkörpers liegen, wie schon gesagt, die Drähte, deren Anzahl, ebenso wie die Zahl der Nuten, so groß ist, daß man dieselben nicht übersichtlich aufzeichnen könnte. Um aber dem Leser einen Begriff zu geben von dem Verlauf der Drähte auf dem Anker, habe ich in Fig. 54 eine schematische Darstellung eines bewickelten Ankers mit dem Kollektor gezeichnet.

¹⁾ Genaueres über die Bestimmung des Wirkungsgrades, sowie überhaupt über Maschinenmessungen enthält das kleine Buch des Verfassers: „Messungen an elektrischen Maschinen“. Verlag von JULIUS SPRINGER in Berlin.

Durch das Beispiel in Fig. 54, in welchem der Deutlichkeit wegen auch die Nuten fortgelassen wurden, soll dem Leser klar werden, daß eine Ankerwicklung in ganz bestimmter gesetzmässiger Weise ausgeführt werden muß. Die Ableitung der Wickelungsgesetze läßt sich durch mathematische Überlegung bewerkstelligen, würde aber weit über den Umfang dieses Buches hinausragen.¹⁾ Es soll jedoch auf die äußeren Ausführungsformen der Wickelungen etwas eingegangen werden.

Man muß unterscheiden zwischen Handwicklung, Stabwicklung und Formspulenwicklung. Bei der Handwicklung und der Formspulenwicklung besteht die Wicklung aus Drähten, bei der Stabwicklung aus Kupferstäben.

Handwicklung wendet man nur noch bei kleinen zweipoligen Anker an. Das Äußere eines solchen Ankers zeigt Fig. 51. Um das hübsche Aussehen der dort gezeichneten Wicklung zu erreichen, muß man diese Wicklung in ganz eigenartiger Weise ausführen, abweichend vom gewöhnlichen Schema, sonst erhält man auf der Rückseite des Ankers ein unsymmetrisches Drahtknäuel.

Für mehr als zwei Pole wendet man heute allgemein Formspulenwicklung (Schablonenwicklung) an. Hierbei werden die

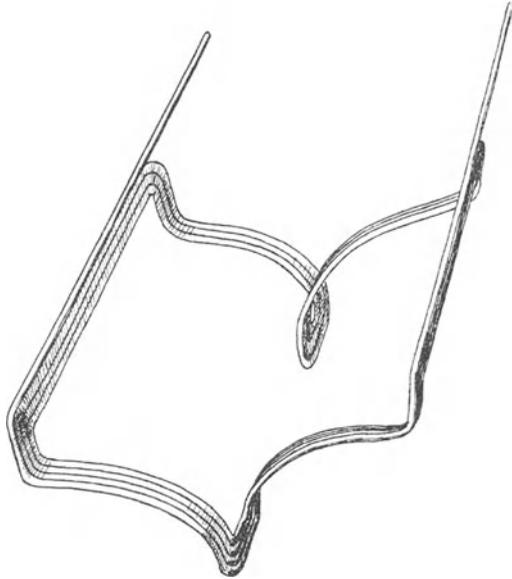


Fig. 55.

¹⁾ Genaueres über Wickelungen siehe: „Trommelwickelungen der Gleichstrommaschinen mit Nutenankern“ von RUDOLF KRAUSE. Verlag von R. SCHULZE, Mittweida.

Drähte, bevor sie auf dem Anker untergebracht werden, zuerst auf entsprechend geformten Holzschablonen oder besonderen Maschinen gebogen. Eine solche Formspule besitzt das Aassehen der Fig. 55 und ein größerer Anker mit Formspulenwicklung ist in Fig. 56

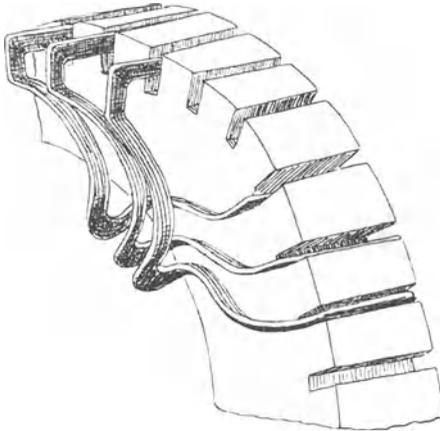


Fig. 56.

gezeichnet. Der Vorteil der Formspulenwicklung besteht darin, daß die einzelnen Spulen sich nicht berühren, also gut isoliert sind, dann aber in einer guten Kühlung des Ankers und in einem guten Aussehen.

Für größere Anker mit nicht zu hoher Spannung kommt häufig auch die Stabwicklung vor. Hierbei liegen in einer Nut immer nur einer oder zwei Stäbe aus Kupfer.

In Fig. 57 sind in jeder Nut zwei Stäbe angenommen und je ein in einer Nut oben liegender Stab mit einem anderen in einer anderen

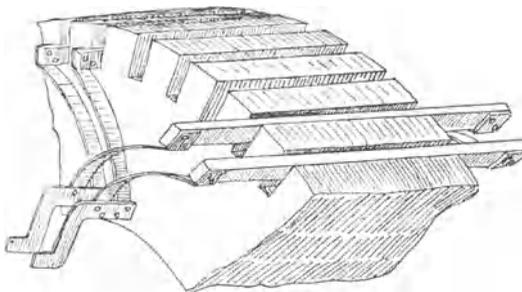


Fig. 57.

Nut unten liegenden Stab durch gebogene Gabeln verbunden.

Die in Fig. 57 gezeichnete Stabwicklung ist eine solche mit Stirnverbindungen, weil die Gabeln auf den Stirnseiten des Ankers liegen; kröpft

man die Stäbe und verbindet sie nicht durch Gabeln, dann erhält man die Faß- oder Mantelwicklung (Fig. 58).

An jeder elektrischen Maschine für Gleichstrom kann man in elektrischer Beziehung folgende drei Teile unterscheiden: Anker mit Wicklung, Kollektor oder Stromwender und Magnetsystem. Das

Prinzip und der Zweck des Kollektors ist in Fig. 40 schon erklärt worden. Er besteht in Wirklichkeit immer aus einer größeren

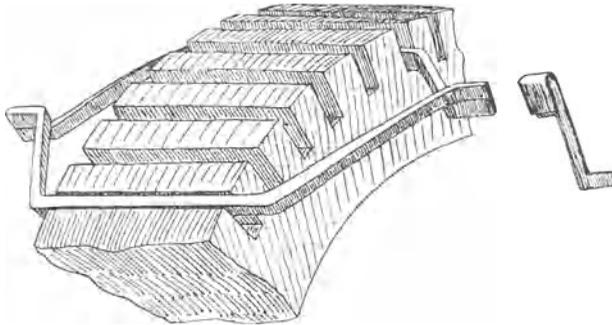


Fig. 58.

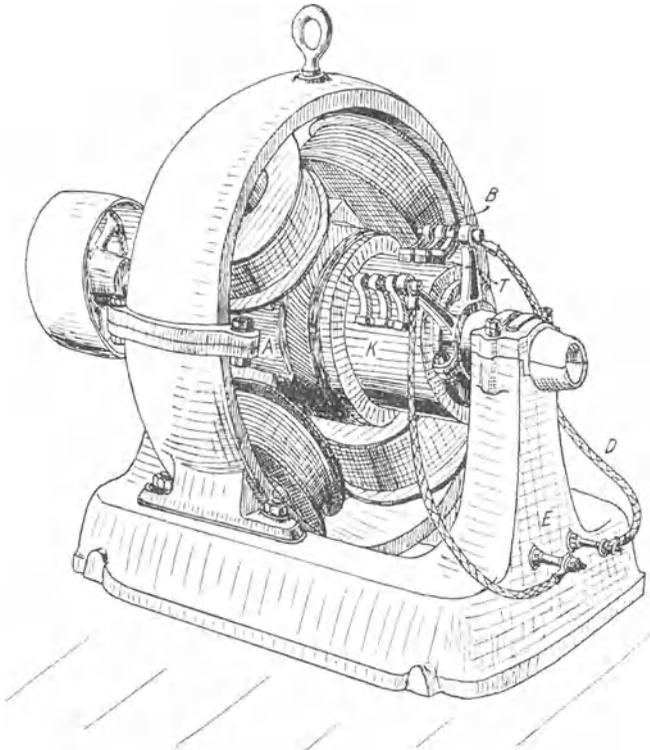


Fig. 59.

Anzahl Lamellen, welche einzeln voneinander durch Glimmer isoliert sind. Auf den Kollektor-Lamellen liegen die Bürsten auf, die bei modernen Maschinen in der Regel aus Kohle bestehen.

In Fig. 59 ist eine vollständige elektrische Maschine für Riemenantrieb gezeichnet, und zwar eine vierpolige, wie aus dem Magnet-system zu ersehen ist.

A ist der Anker, der stets bei allen Maschinen nur durch einen sehr schmalen Zwischenraum, unter Umständen nur 1 mm von den Polen getrennt ist. *K* ist der Kollektor, auf welchem die Bürsten *B* schleifen. Die Bürsten sind in Fig. 60 noch einmal besonders gezeichnet. *K* ist die Kohle, welche in den Kohlenhalter

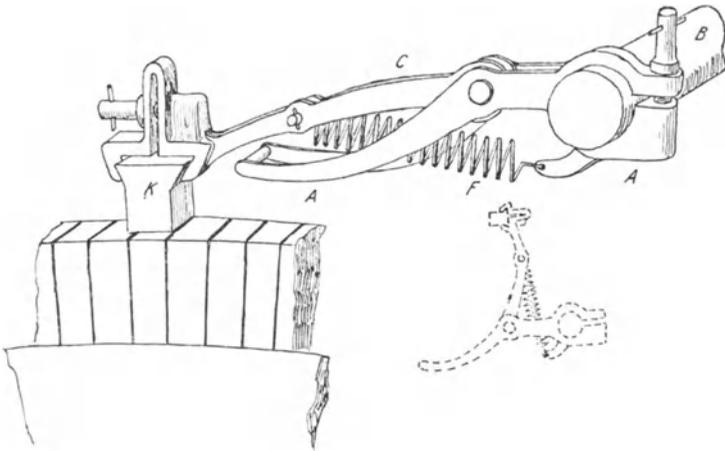


Fig. 60.

festgeklemmt ist. *B* ist der sogenannte Bürstenbolzen, auf welchem das Klemmstück *A* festgeklemmt ist. Der Arm *C* ist drehbar an diesem Klemmstück befestigt und wird durch eine Feder *F* auf den Kollektor gezogen. Will man während des Betriebes eine Kohle auswechseln, so kann man, da immer mehrere Kohlenhalter auf einem Bürstenstift sitzen, den Arm *C* hochklappen; er bleibt dann stehen, wie in Fig. 60 punktiert gezeichnet ist, und man kann die Kohle auswechseln. Die Bürste in Fig. 60 entspricht einer Ausführung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin.

Die Bürstenbolzen sitzen isoliert an der Bürstenbrücke *T* (Fig. 59) und sind mit Kabeln *D* verbunden, die zu den Klemmen *E*

der Maschine führen, von wo der Strom in die Leitungen geleitet wird. Bei größeren Maschinen geschieht die Stromabnahme meist durch Kabel, die im Fußboden des Maschinenhauses verlegt sind,

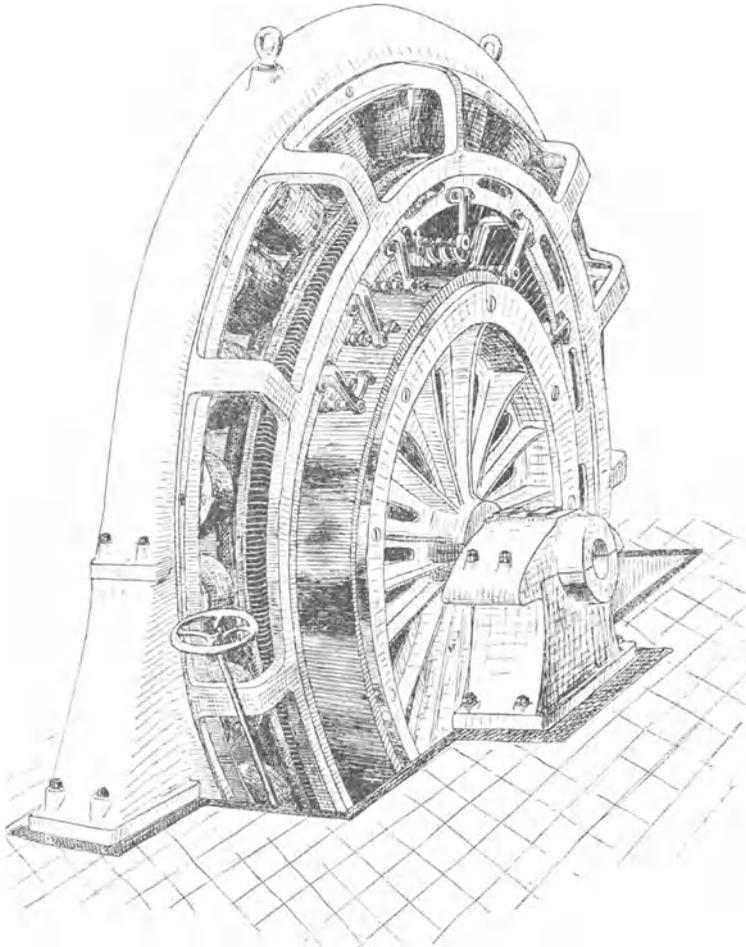


Fig. 61.

oder durch blanke Schienen, die auf Porzellanlocken in einem Kanal verlegt sind, der oben durch eiserne Abdeckplatten zugedeckt ist.

Größere Maschinen werden häufig mit der Dampfmaschine direkt gekuppelt, und da sie dann viel langsamer laufen müssen als

normale Maschinen, werden sie immer größer als diese. Ihr Magnet-system wird dann in der Wagerechten geteilt und erhält eine große Anzahl Pole. Die obere Hälfte eines solchen Magnetsystems ist schon gezeichnet in Fig. 16 und eine Maschine dieser Art zeigt Fig. 61. Solche Maschinen werden dann zur Hälfte in den Boden eingelassen, weil die Welle der Dampfmaschine meist niedrig ist.

Nachdem wir diese Äußerlichkeiten der elektrischen Maschinen kennen gelernt haben, wollen wir uns mit der Schaltung derselben befassen, und zwar unterscheidet man bezüglich derselben Hauptstrom-, Nebenschlußmaschine und gemischte Schaltung.

Die **Hauptstrommaschine** ist gekennzeichnet durch Fig. 62. Wenn solch eine Hauptstrommaschine in Betrieb gesetzt werden soll,

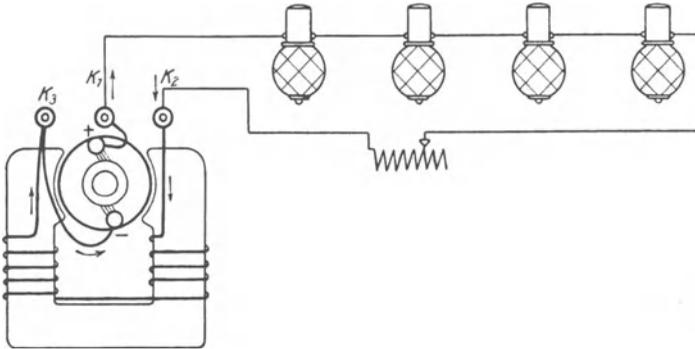


Fig. 62.

dann muß zunächst der sie antreibende Kraftmotor anlaufen, und wenn dann die elektrische Maschine normal läuft, dann muß der äußere Stromkreis, der an die Klemmen K_1 K_2 angeschlossen ist, eingeschaltet werden. Nun wissen wir schon, daß in dem Magnetsystem der Maschine von der vorherigen Benutzung der remanente Magnetismus vorhanden ist (vergl. S. 21), welcher zwar nur sehr schwach ist, aber trotzdem zum Selbsterregen der Maschine verwendet werden kann, wie zuerst WERNER VON SIEMENS erkannte (vergl. Einleitung). Es entsteht nämlich durch die Drehung des Ankers vor den schwachen Polen in seinen Drähten eine schwache elektromotorische Kraft und bei geschlossenem äußeren Stromkreis demnach nach dem OHMSchen Gesetz ein schwacher Strom, welcher, wie aus Fig. 62 zu sehen ist, auch durch die Wicklung der Magnete mit hindurchgeht, folglich

den schwachen Magnetismus verstärkt. Infolge dieser geringen Verstärkung des Magnetismus wird aber auch die in den Ankerdrähten erregte elektromotorische Kraft verstärkt, folglich der Strom stärker, dadurch weiter der Magnetismus stärker usf. Allerdings geht diese gegenseitige Verstärkung von elektromotorischer Kraft, Stromstärke und Magnetismus nicht etwa fortwährend weiter, sondern es kommt die Maschine nur bis zu einer ganz bestimmten elektromotorischen Kraft, abhängig von der Größe des Widerstandes im Stromkreise. Damit der Leser dieses versteht, muß ich auf früheres zurückgreifen.

In Fig. 15 ist eine Versuchsanordnung gezeichnet, durch welche man in den Stand gesetzt wird, Eisen auf seine Magnetisierbarkeit zu untersuchen. Führt man einen solchen Versuch aus, so beobachtet man, daß der Magnet M (Fig. 15), aus dem zu untersuchenden Eisen gebogen, um so mehr Belastung P in der Wagschale an seinem Anker E festhält, je stärker der Strom ist; aber nur für schwächere Ströme nimmt der Magnetismus, der ja gleichbedeutend ist mit der Belastung P , in demselben Verhältnis zu, wie der Strom J , der durch die Windungen des Magneten fließt. Für stärkere Ströme nimmt der Magnetismus allmählich immer weniger zu als der Strom, bis schließlich bei ganz starken Strömen eine Erhöhung des Magnetismus sich nicht mehr erreichen läßt. Hat man nun eine elektrische Maschine, so kann man sehr einfach den Verlauf der Magnetisierung derselben feststellen durch Aufnahme der sogenannten Leerlaufs-Charakteristik.¹⁾ Hierbei wird die Maschine durch den Riemen oder sonstwie in gewöhnlicher Weise angetrieben, so daß sie ihre normale Umlaufszahl macht. Zu den Klemmen $K_2 K_3$ (Fig. 62) wird aus einer Akkumulatorenbatterie ein fremder Strom J geleitet, dabei ist die Verbindung von der Bürste — nach K_3 unterbrochen und an die Bürsten $+ -$ wird ein Voltmeter gelegt. Leitet man nun Strom durch die Wicklung der Magnete, so werden diese magnetisch, und da der Anker mit seinen Drähten vor den Polen vorbei gedreht wird, so entsteht in den Drähten eine elektromotorische Kraft E , die genau in demselben Maße zu- oder abnimmt, als der Magnetismus. Wir wollen annehmen, es habe sich bei einem solchen Versuch folgendes ergeben, wenn mit J die Stromstärke in Ampere bezeichnet wird, die durch die Magnetwicklung ging, und mit E die an den

¹⁾ Genaueres über diese Untersuchungen siehe das schon auf S. 60 erwähnte Buch des Verfassers.

Bürsten des Ankers gemessene elektromotorische Kraft in Volt: bei $J = 5$ Amp. $E = 20$ Volt, bei $J = 10$ Amp. $E = 50$ Volt usw., wie nachstehende Tabelle zeigt:

E in Volt	J in Amp.
20	5
50	10
74	20
85	30
90	40
94	50
98	60
100	70

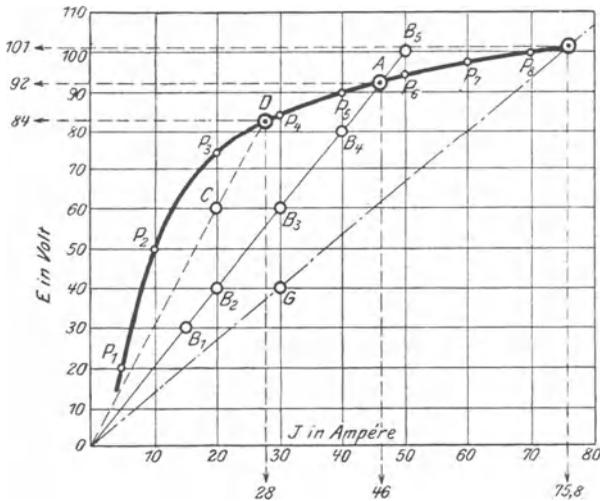


Fig. 63.

Die Konstruktion in dieser Figur ist nur angenähert richtig, aber für das Verständnis zunächst ausreichend. Die genauere Erklärung erfolgt später bei Fig. 68.

Diese Tabelle tragen wir auf als Kurve, indem wir nach Fig. 63 eine senkrechte Linie in 10 Teile teilen und eine wagerechte in 7 Teile (die gleichgroßen Teile der wagerechten brauchen nicht gerade so groß zu sein als die unter sich gleichgroßen Teile der

senkrechten Linie). Auf der senkrechten Linie bedeutet also jedesmal 1 Teilstrich 10 Volt, auf der wagerechten 1 Teilstrich 10 Ampere. Wir können also die nach der Tabelle zusammengehörigen Werte auftragen. Z. B. entspricht Punkt P_1 dem mit 20 bezeichneten Teilstrich auf der senkrechten und dem mit 5 bezeichneten auf der wagerechten, also 20 Volt bei 5 Amp., P_2 entspricht 50 Volt bei 10 Amp. usw., also die Punkte $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8$ sind die zusammengehörigen Werte, die in der Tabelle verzeichnet sind. Verbindet man alle diese Punkte durch eine Linie, so erhält man die sogenannte Leerlauf-Charakteristik der Maschine. Diese Kurve ist natürlich für jede Maschine eine andere. Um nun mit Hilfe dieser Kurve erkennen zu können, wie hoch die elektromotorische Kraft E der Maschine bei der Selbsterregung steigt, muß man noch den Widerstand des Stromkreises kennen. Der ganze Widerstand setzt sich bei der Hauptstrommaschine zusammen aus dem Widerstand des Ankers, dem Widerstand des äußeren Stromkreises und dem Widerstand der Magnetwicklung, denn in dieser Reihenfolge durchfließt der Strom nach Fig. 62 die verschiedenen Widerstände.

Es sei nun der Ankerwiderstand 0,02 Ohm, der Widerstand der Magnetwicklung ebenfalls 0,02 Ohm und der äußere Stromkreis möge einen Widerstand von 1,94 Ohm besitzen, dann ist der Gesamtwiderstand des ganzen Stromkreises: $0,02 + 0,02 + 1,94 = 2$ Ohm und nach dem OHMSchen Gesetz (S. 11) wird dann die

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}$$

Um bequemer rechnen zu können, wollen wir Buchstaben einführen, und zwar die Stromstärke mit J , die elektromotorische Kraft mit E und den Widerstand mit W bezeichnen. Dann lautet also das OHMSche Gesetz:

$$J = \frac{E}{W}$$

Ist nun die elektromotorische Kraft der Maschine $E = 60$ Volt, dann wird, da W ja 2 Ohm ist, die Stromstärke

$$J = \frac{60}{2} = 30 \text{ Ampere.}$$

Rechnen wir noch mehr Werte aus, so finden wir für

$$E = 30 \text{ Volt: } J = \frac{30}{2} = 15 \text{ Ampere.}$$

$$E = 40 \text{ Volt: } J = \frac{40}{2} = 20 \quad ,$$

$$E = 80 \text{ Volt: } J = \frac{80}{2} = 40 \text{ Ampere.}$$

$$E = 100 \text{ Volt: } J = \frac{100}{2} = 50 \quad ,,$$

Tragen wir diese nach dem Ohmschen Gesetz zusammengehörenden Werte ebenfalls als Kurve auf in Fig. 63, so erhalten wir durch Verbindung der Punkte B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 , welche den berechneten Werten entsprechen, eine gerade Linie.

Verfolgen wir nun einmal genau den Vorgang bei der Selbst-erregung unter der Voraussetzung, daß der Widerstand des ganzen Stromkreises 2 Ohm beträgt.

Der in dem Magnetgestell vorhandene schwache Magnetismus erzeuge zunächst eine elektromotorische Kraft von $E = 20$ Volt, dann würde durch diese ein Strom erzeugt von $J = \frac{20}{2} = 10$ Amp.

Nach der Leerlaufcharakteristik in Fig. 63 entsteht aber bei 10 Amp. ein solcher Magnetismus, daß 50 Volt elektromotorische Kraft im Anker erzeugt werden, denn zu 10 Amp. gehört Punkt P_2 , der 50 Volt entspricht.

Diese 50 Volt erzeugen aber wieder einen stärkeren Strom, nämlich $J = \frac{50}{2} = 25$ Amp., und durch diesen entstehen 80 Volt im Anker; diese 80 Volt erzeugen dann einen Strom $J = \frac{80}{2} = 40$ Amp.; diese 40 Amp. verstärken aber die elektromotorische Kraft des Ankers weiter bis auf 90 Volt (P_5) usw., bis auf diese Weise allmählich der Punkt A erreicht wird; dann hört die Steigerung auf, denn jetzt erzeugt der Strom $J = 46$ Amp. eine elektromotorische Kraft von 92 Volt im Anker und nach dem Ohmschen Gesetz entsteht $J = \frac{92}{2} = 46$ Amp., also genau derselbe Strom, der einen Magnetismus erzeugt, durch den 92 Volt entstehen.

Würde der Strom noch weiter steigen, z. B. bis auf 50 Amp., so müßte die elektromotorische Kraft 100 Volt betragen, damit bei den 2 Ohm Widerstand des Stromkreises die 50 Amp. fließen könnten; nach der Leerlaufcharakteristik können aber nur 94 Volt (P_6) entstehen bei 50 Amp., diese elektromotorische Kraft ist also zu klein für 50 Amp. Man erkennt nun, daß, solange die Leerlaufcharakteristik höher liegt als die dem Ohmschen Gesetz für den bestimmten Widerstand des Stromkreises von 2 Ohm entsprechende gerade Linie aus den Punkten B_1, B_2, B_3 usw., die durch den von dem Strom J er-

zeugten Magnetismus hervorgerufene elektromotorische Kraft immer größer ist, als sie nach dem OHMSchen Gesetz sein muß; erst beim Schnittpunkt *A* genügt die elektromotorische Kraft gleichzeitig dem OHMSchen Gesetz und der Leerlaufscharakteristik.

Untersuchen wir jetzt das Verhalten der Maschine bei einem anderen äußeren Widerstand, z. B. 2,96 Ohm, dann beträgt, da ja der Ankerwiderstand und Magnetwiderstand je 0,02 Ohm sind, der gesamte Widerstand des Stromkreises jetzt $0,02 + 0,02 + 2,96 = 3$ Ohm. Wir erhalten also nach dem OHMSchen Gesetz jetzt für 60 Volt im Anker eine Stromstärke

$$J = \frac{60}{3} = 20 \text{ Amp.},$$

und wenn wir die gerade Linie für 3 Ohm Widerstand des Stromkreises aufzeichnen wollen, brauchen wir nur den Punkt *C* in Fig. 63 einzuzeichnen und durch *O* und *C* eine gerade Linie legen, welche die Leerlaufscharakteristik im Punkt *D* schneidet. Es liegen dann, wie wir schon von der Linie $B_1 B_2$ usw. her wissen, auf der neuen Linie *OC**D* alle elektromotorischen Kräfte, die nach dem OHMSchen Gesetz für die verschiedenen Ströme erforderlich sind. (Das Ausrechnen der vielen Punkte B_1, B_2, B_3 usw. war ebenfalls nicht nötig, es genügte ein beliebiger Punkt, um die Gerade zu ziehen, denn diese geht stets durch *O*; es wurde aber so genau gerechnet, um zu zeigen, daß die Linie wirklich eine Gerade ist.)

Da nun diese neue Linie *OC**D* für 3 Ohm Widerstand des Stromkreises die Leerlaufscharakteristik im Punkt *D* schneidet, so ergibt sich, daß jetzt, wo der Widerstand des Stromkreises höher ist, die Maschine sich nur noch bis zum Punkt *D* erregen kann, also ihre elektromotorische Kraft nicht höher als 84 Volt und folglich der Strom nicht höher als $\frac{84}{3} = 28$ Amp. steigen kann.

Wäre der gesamte Widerstand des Stromkreises nur noch 1,333 Ohm, dann erhielte man z. B. für 40 Volt $J = \frac{40}{1,333} = 30$ Amp., dem entspräche Punkt *G*; ziehen wir dann die Linie *OG*, so erhalten wir durch deren Verlängerung den Schnittpunkt *F*, d. h. es erregt sich jetzt die Maschine bis 101 Volt und liefert dabei einen Strom von $\frac{101}{1,333} = 75,8$ Amp.

Man erkennt daraus auch das Verhalten der Hauptstrommaschine bei Änderungen des Widerstandes im Stromkreise. Je kleiner der Widerstand wird, um so mehr elektromotorische Kraft

und um so mehr Strom erzeugt die Hauptstrommaschine, und da das Produkt aus elektromotorischer Kraft und Stromstärke, das sogenannte Watt (vergl. S. 18), gleichbedeutend ist mit Arbeit in der Sekunde, so folgt: die Hauptstrommaschine leistet als Generator oder Stromerzeuger um so mehr Arbeit in der Sekunde, je kleiner der Widerstand des Stromkreises ist.

Wie aber schon bei Fig. 63 bemerkt steht, ist die dort gezeichnete Konstruktion nicht ganz richtig, und zwar deshalb nicht, weil die Leerlaufcharakteristik nur, wie ihr Name sagt, für die leer laufende Maschine gültig ist, d. h. für stromlosen Anker. Wenn aber eine elektrische Maschine Strom liefert, so ist der Anker nicht

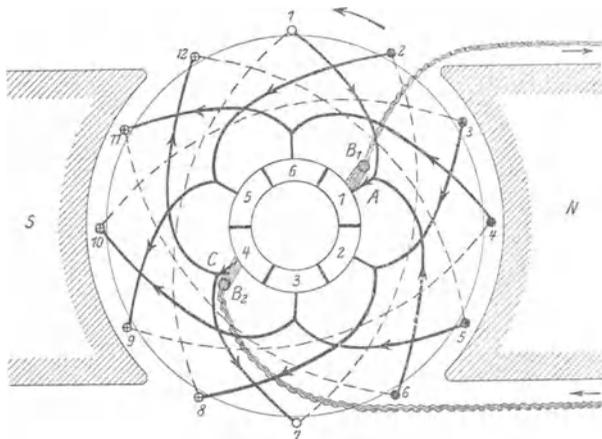


Fig. 64.

mehr stromlos. Wir wollen nun zunächst untersuchen, auf welche Lamellen die schon bei Fig. 40 gezeichneten Bürsten $B_1 B_2$ aufzulegen sind.

In Fig. 64 ist noch einmal schematisch der schon in Fig. 54 gezeichnete Anker dargestellt. Bei der bezeichneten Drehrichtung entstehen dann nach der auf S. 38 erklärten Handregel in den Drähten 2, 3, 4, 5, 6 elektromotorische Kräfte, die nach vorn zu gerichtet sind, während in den Drähten 8, 9, 10, 11, 12 elektromotorische Kräfte entstehen, die nach hinten zu gerichtet sind. Verfolgt man nun die dadurch im Anker entstehenden Ströme, so findet man, daß an dem Punkt A von Draht 8 aus durch den nicht induzierten Draht 1 hindurch und von Draht 6 aus die Ströme zu-

sammenstoßen: folglich: legt man auf die Lamelle 1 eine Bürste B_1 , dann fließen die bei A zusammenkommenden Ströme nach der Lamelle 1 und in die Bürste B_1 hinein, von dort weiter in die Leitung L_1 . Durch die Leitung L_2 kehrt dann der Strom wieder zurück zur Bürste B_2 nach Lamelle 4 zum Punkt C , wo er sich nach links und rechts hin verzweigt. Man erkennt, daß Lamelle 1 mit Draht 1 und Lamelle 4 mit Draht 7 verbunden ist: es ergibt sich für die Auflagestellen der Bürsten hieraus für **jede Gleichstrommaschine**, sowohl Generatoren als Motoren, die Regel: **Man muß die Bürsten stets auf diejenigen Lamellen auflegen, welche mit Drähten verbunden sind, die in der Mitte zwischen den Polen liegen.**

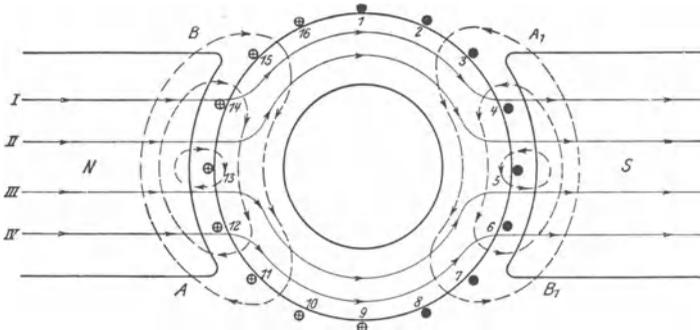


Fig. 65.

In Fig. 21 wurde schon gezeigt, daß ein stromdurchflossener Draht ein kreisförmig um denselben verlaufendes Kraftlinienfeld besitzt. Folglich verlaufen, ähnlich wie in Fig. 25, die Kraftlinien so, wie in Fig. 65 gezeichnet ist, durch die punktierten Linien. Die Linien I , II , III , IV sind der Verlauf der Kraftlinien des Magnetfeldes der Maschine, und man erkennt aus Fig. 65, daß die punktierten Kraftlinien den Hauptkraftlinien III , IV an der Kante A des Poles N entgegengesetzt gerichtet sind, während an der Kante B des Poles N die punktierten und die Hauptkraftlinien gleiche Richtung haben: bei Pol S sind die entsprechenden Kanten mit A_1 , B_1 bezeichnet. Es sind natürlich nur die Drähte 3, 4, 5, 6, 7 und 11, 12, 13, 14, 15, welche gerade unter den Polen liegen, imstande, ihre Kraftlinien in der praktischen Weise durch die Pole zu senden. Die Folge ist, daß an den Kanten A und A_1 das Feld schwächer und an den

Kanten B, B_1 stärker wird. Es verläuft also das Feld, wenn der Anker Strom liefert, nicht mehr in der Weise, wie schon in Fig. 20 gezeichnet, sondern wie in Fig. 66 angedeutet ist, so daß also an den Kanten B, B_1 das Feld dichter wird und an den Kanten A, A_1 geschwächt wird. Es ist gewissermaßen das Feld verschoben, und zwar ist es immer bei Generatoren im Sinne der Drehung des Ankers verschoben, bei Motoren, da diese bei derselben Stromrichtung und derselben Art der Pole entgegengesetzt umlaufen, entgegen der Drehrichtung.

Aus der Verschiebung des Feldes, welche sich wie ohne weiteres klar ist, mit der Stromstärke des Ankers ändert, derartig, daß bei starkem Strom die Verschiebung auch stark ist und bei schwachen Strömen gering folgt, daß die Bürsten der Maschine ebenfalls ver-

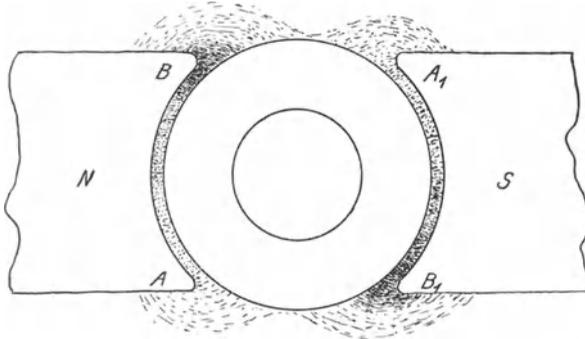


Fig. 66.

schieben werden müssen, wenn sich die Stromstärke des Ankers, also die Belastung der Maschine ändert. Neuerdings wird aber bei Gleichstrommaschinen unter anderem auch die Bedingung gestellt, daß die Stellung der Bürsten bei allen Belastungen zwischen Vollbelastung und Leerlauf dieselbe bleiben soll. Man kann dies hauptsächlich durch besondere Form der Polschuhe erreichen.

Die Wirkung der stromdurchflossenen Ankerdrähte besteht aber nicht nur in einer Verschiebung des Feldes, welche durch die Drähte von den Polen bewirkt wird, wie in Fig. 65 und 66 gezeigt ist, sondern sogar in einer Schwächung des Hauptfeldes. Diese Schwächung, die eigentliche sogenannte Rückwirkung des Ankers wird bewirkt durch die in Fig. 67 mit a, b, c und d, e, f bezeichneten Drähte. Von diesen Drähten rühren die in Fig. 67 gezeichneten

punktierten Kraftlinien her, welche den Hauptkraftlinien *I*, *II*, *III*, *IV* direkt entgegengerichtet sind. Es wird also das Hauptfeld bei stromdurchflossenem Anker geschwächt, und auch hier ist die Schwächung um so stärker, je stärker der Strom im Anker, also die Belastung ist.

Wegen dieser soeben beschriebenen Schwächung des Hauptfeldes durch den Ankerstrom ist die Ableitung in Fig. 63 nicht

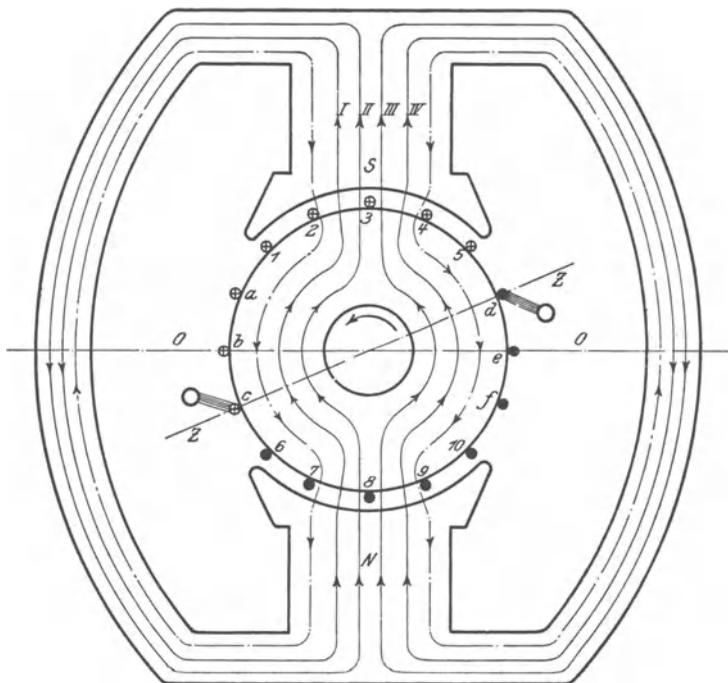


Fig. 67.

ganz richtig, denn die dort gezeichnete Kurve $P_1, P_2, P_3 \dots P_8$ ist die sogenannte Leerlaufcharakteristik, bei deren Aufnahme der Anker der Maschine ohne Strom läuft, wie aus der Beschreibung der Messung S. 67 hervorgeht.

Um den Vorgang genau darzustellen, darf man nicht die Leerlaufcharakteristik verwenden, sondern eine Kurve *II*, vergl. Fig. 68, welche man erhält, wenn man von der Leerlaufcharakteristik *I* die immer größer werdende Ankerrückwirkung abzieht. Wie

diese Konstruktion auszuführen ist, würde hier zu weit führen. Man sieht aber aus Fig. 68, daß der Verlauf der Kurve II ähnlich ist wie der der Kurve I, und führt man die schon in Fig. 63 gezeigte Konstruktion mit der Kurve II aus, dann erhält man genau die Vorgänge bei der Selbsterregung.

Fassen wir nun noch einmal die Arbeitsweise der Hauptstrommaschine (Fig. 62) kurz zusammen. Es fließt bei der Hauptstrommaschine derselbe Strom, der im Anker fließt, auch durch den äußeren Stromkreis (in Fig. 62 Bogenlampen) und durch die Magnetwicklung hintereinander. Wenn die Hauptstrommaschine stark belastet wird, also starken Strom liefern muß, dann wird, da dieser Strom durch die Magnetwicklung fließt, auch ein starkes Feld erzeugt, welches allerdings wegen der eben besprochenen Ankerrückwirkung etwas,

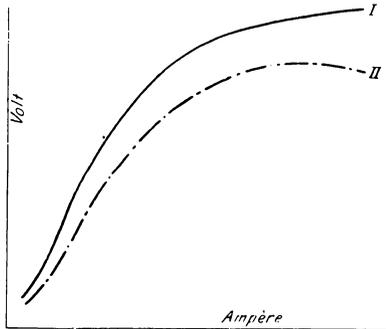


Fig. 68.

aber meist nur sehr wenig geschwächt wird. Infolge des starken Feldes entsteht auch eine hohe elektromotorische Kraft im Anker der Maschine. Wird also eine Hauptstrommaschine stärker belastet, dann steigt ihr Strom und ihre Spannung. Beide Werte werden um so höher, je kleiner der Widerstand im äußeren Stromkreis wird. Beide Werte werden am höchsten bei

einem sogenannten Kurzschluß (wobei die von der Maschine abgehenden Leitungen vor den Lampen in Fig. 62 direkt miteinander verbunden sein würden, indem sie z. B. beide gleichzeitig ein Gasrohr oder einen eisernen, Träger berührend infolge schlechter Verlegung). Selbstverständlich ist die Maschine nur für eine bestimmte Spannung isoliert und für eine bestimmte Stromstärke eingerichtet; werden diese Werte überschritten, dann kann die Isolierung der Maschine zerstört werden und wegen der zu hohen Stromstärke würde die Drahtwicklung heiß werden.

Es muß also die Hauptstrommaschine vor den Folgen zu hoher Belastung, wozu auch der Kurzschluß zu rechnen ist, geschützt werden. Dies geschieht am besten durch selbsttätige Vorrichtungen, die später bei der Arbeitsübertragung durch Hauptstrommaschinen erklärt werden (Sicherungen oder durch Magnete bediente Schalter).

Wenden wir uns jetzt zu der **Nebenschlußmaschine**. Ihre Schaltung ist gezeichnet in Fig. 69. Man ersieht daraus, daß bei dieser Maschine nur ein Teil des Stromes, der aus dem Anker fließt, durch die Magnetwicklung hindurchgeht, denn an der Klemme K_1 verzweigt sich der Strom J_a , der durch die + Bürste aus dem Anker kommt, in die beiden Zweige J und i , von denen der Strom J in den äußeren Stromkreis fließt und von da nach der Klemme K_2 zurückkehrt, während i die Magnetwicklung durchfließt, dann zur Klemme k von dort durch den Regler R ebenfalls zur Klemme K_2 zurückkehrt, sich dort mit dem äußeren Strom J vereint und gemeinsam mit diesem zur - Bürste und in den Anker zurückfließt. Man hält

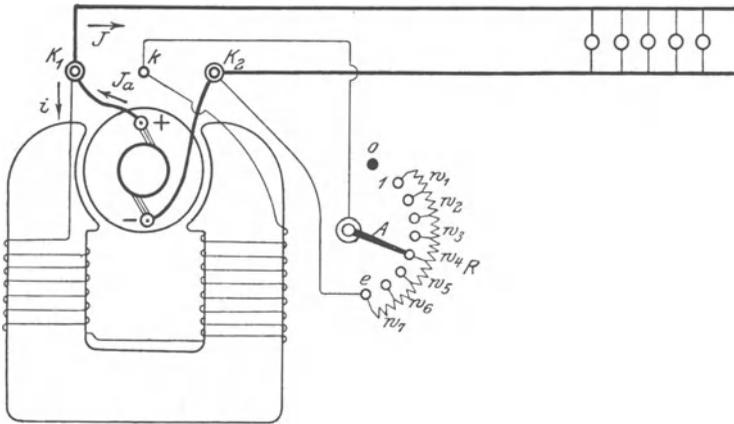


Fig. 69.

natürlich den Zweigstrom i , der zur Magnetisierung der Maschine dient, möglichst klein gegenüber J . Da aber ein schwacher Strom auch nur wenig Kraftlinien erzeugt, so muß er in vielen Windungen um die Magnete herumgeführt werden; es ist also ein äußerlicher Unterschied zwischen Nebenschluß- und Hauptstrommaschinen der, daß erstere viele Windungen aus dünnem Draht auf den Magneten besitzt, die Hauptstrommaschine dagegen hat nur wenige dicke Windungen als Magnetwicklung.

Auch die Nebenschlußmaschine kann sich selbst erregen. Es muß aber dann der äußere Stromkreis ausgeschaltet sein. Man läßt nur die Antriebsmaschine anlaufen, und wenn der Anker der Nebenschlußmaschine seine normale Umlaufszahl macht, dreht man die

Kurbel A des Reglers R von dem Kontakt o auf irgend einen Kontakt zwischen l und e . Dadurch ist für den Magnetisierungsstrom i ein geschlossener Stromkreis hergestellt: von der $+$ Bürste nach K_1 durch die Magnetwicklung nach k durch R nach K_2 zur $-$ Bürste. Durch den vom vorherigen Betrieb herrührenden schwachen remanenten Magnetismus entsteht dann im Anker eine schwache elektromotorische Kraft, die einen ebenfalls schwachen Strom i durch die Magnetwicklung treibt. Dieser verstärkt das Feld, dadurch wird die elektromotorische Kraft weiter verstärkt usf., wie bei der Hauptstrommaschine schon erklärt wurde.

Um zu erkennen, wieweit die Nebenschlußmaschine sich

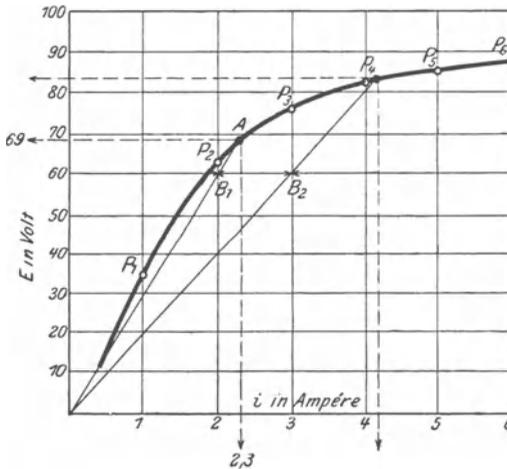


Fig. 70.

selbst erregen kann, wollen wir auch hier den Vorgang genau besprechen. Wir benutzen wieder die Leerlaufscharakteristik der Maschine, die wir auch hier erhalten, indem wir den Anker mit seiner normalen Umlaufgeschwindigkeit antreiben, durch die Magnetwicklung einen Strom aus einer fremden Strom-

quelle hindurchleiten und mit einem Spannungszeiger die im Anker erregte elektromotorische Kraft E messen. Wir erhalten dann eine um so größere elektromotorische Kraft E , je größer wir den Strom i in der Magnetwicklung wählen. Tragen wir die zusammengehörigen Werte von E und i auf, genau wie bei Fig. 63 erklärt wurde, dann erhalten wir auch hier eine Kurve, wie Fig. 70 zeigt, deren Verlauf wieder ähnlich wird wie in Fig. 63, aus denselben Gründen, wie schon dort erklärt. Nur sind hier die Ströme, die auf der wagerechten Linie aufgetragen werden, viel schwächer, weil ja bei der Nebenschlußmaschine nur ein schwacher Strom durch die Magnetwicklung fließt. Nun nehmen wir, um ein Beispiel zu haben, an,

der Magnetwiderstand unserer Nebenschlußmaschine sei 20 Ohm, die Kurbel A (Fig. 69) des Reglers stehe so, daß an dem Regler noch 10 Ohm eingeschaltet sind. (Der Regler besteht, wie in Fig. 69 schematisch angegeben ist, aus Kontakten $0, 1$ bis e , auf welchen die Kurbel A verschoben werden kann. Die einzelnen Kontakte mit Ausnahme von 0 sind durch abgegliche Widerstände w_1, w_2, w_3 usw. verbunden. Steht die Kurbel A auf 1 , dann muß der Strom durch alle Widerstände w_1, w_2, w_3 bis w_7 hindurch. Steht A auf Kontakt e , dann ist kein Widerstand mehr eingeschaltet. In der gezeichneten Stellung sind die Widerstandsstufen w_5, w_6, w_7 eingeschaltet.) Der gesamte Widerstand im Magnetstromkreis beträgt dann $20 + 10 = 30$ Ohm. Folglich würden bei 60 Volt z. B. $i = \frac{60}{30} = 2$ Ampere durch die Magnetwicklung fließen. Um nun zu wissen, wie weit sich bei 30 Ohm Magnetwiderstand die Maschine selbst erregen würde, zeichnen wir den Punkt B_1 ein, welcher 2 Ampere bei 60 Volt entspricht, verbinden B_1 mit 0 und haben dann im Schnittpunkt A dieser Geraden 69 Volt und 2,3 Amp. Magnetisierungsstrom.

Es ist der Vorgang also ebenso, wie bei der Hauptstrommaschine in Fig. 63 erklärt wurde, allerdings mit dem Unterschied, daß die Konstruktion in Fig. 70 absolut richtig ist für die Nebenschlußmaschine, wie noch erklärt werden soll. Es hängt die elektromotorische Kraft, bis zu welcher sich die Nebenschlußmaschine selbst erregen kann, ab von der Größe des Magnetkreiswiderstandes. Der kleinste Wert desselben wäre in unserem Beispiel 20 Ohm (wenn die Kurbel A in Fig. 69 auf e gestellt ist). Für diesen Fall würden bei 60 Volt z. B. $i = \frac{60}{20} = 3$ Amp. durch die Magnetwicklung fließen, es verläuft also dann die Gerade durch B_2 und wir erkennen, daß sich jetzt die Nebenschlußmaschine bis zum Punkt C 83 Volt bei 4,15 Amp. Magnetisierungsstrom erregen würde. Je weniger Widerstand also an dem Regler eingeschaltet ist, um so höher erregt sich die Maschine.

Nun war die Konstruktion in Fig. 63 für die Hauptstrommaschine nicht ganz richtig, weil man nicht die Leerlaufcharakteristik verwenden darf, bei dieser Maschine wegen der Ankerrückwirkung. Die Ankerrückwirkung, rührt wie Seite 75 und durch Fig. 67 gezeigt ist, von dem Strom im Anker her. Läßt man aber eine Nebenschlußmaschine anlaufen, so ist der äußere Stromkreis, wie schon erwähnt, zunächst ausgeschaltet, es liefert also der Anker nur den

sehr schwachen Magnetisierungsstrom i , der höchstens 5% des gesamten Stromes der Maschine beträgt, und dieser schwache Strom im Anker kann selbstverständlich keine Rückwirkung auf das Feld der Maschine ausüben. Man kann also bei der Nebenschlußmaschine zur Konstruktion der Vorgänge bei der Selbsterregung direkt die Leerlaufcharakteristik verwenden, weil die Maschine leer anlaufen muß.

Das Verhalten der Nebenschlußmaschine beim Betriebe ist nun gerade entgegengesetzt wie das der Hauptstrommaschine. Nehmen wir als Beispiel eine Nebenschlußmaschine, welche zum Betriebe einer Lichtanlage dient, in welcher die Lampen zum normalen Brennen 110 Volt verbrauchen. Es muß dann die Maschine so berechnet und ausgeführt sein, daß sie, wenn die Kurbel A des Reglers R in Fig. 69 auf Kontakt I steht, bei ausgeschaltetem äußeren Widerstand sich selbst erregt bis zu einer elektromotorischen Kraft von 110 Volt. Wird dann die Maschine belastet, indem im äußeren Stromkreis Lampen eingeschaltet werden, so liefert der Anker außer dem schwachen Magnetisierungsstrom i noch den starken Strom J für den äußeren Stromkreis, es fließt also starker Strom durch die Drähte des Ankers und jetzt tritt eine Rückwirkung des Ankers auf das Feld der Maschine ein. Diese Rückwirkung äußert sich genau so, wie schon bei Fig. 67 und Fig. 65 erklärt wurde; sie schwächt also das Hauptfeld und bewirkt eine Verschiebung desselben. Da aber bei der Nebenschlußmaschine die Stärke des Magnetstromes i abhängig ist von der Spannung zwischen den Klemmen K_1, K_2 (vergl. Fig. 69) und diese sogenannte Klemmenspannung = elektromotorische Kraft — Spannungsverlust im Anker ist (vergl. S. 15), so fällt der Magnetisierungsstrom i , wenn der Strom J im äußeren Stromkreis zunimmt, denn der Spannungsverlust im Anker beträgt ja nach Seite 15 Stromstärke \times Ankerwiderstand, nimmt also mit zunehmendem äußeren Strom ebenfalls zu, außerdem nimmt auch infolge der Feldschwächung durch die Ankerrückwirkung die im Anker erzeugte elektromotorische Kraft ab. Nehmen wir den besonderen Fall eines Kurzschlusses an bei der Nebenschlußmaschine, indem also die Klemmen K_1, K_2 direkt durch eine Leitung von fast gar keinem Widerstand verbunden wären, dann würde zwar im Augenblick der Verbindungsherstellung ein sehr starker Strom entstehen, aber es bestände dann auch sogleich zwischen den Klemmen K_1, K_2 kein Spannungsunterschied mehr, die Klemmenspannung wäre gleich null

geworden, weil eben der einzige Widerstand nur noch im Anker liegt, und es würde die ganze erzeugte elektromotorische Kraft im Anker selbst verbraucht werden. Wenn aber die Klemmenspannung zu null wird, dann wird auch der Magnetisierungsstrom i der Nebenschlußmaschine zu null, d. h. bei Kurzschluß verliert die Nebenschlußmaschine ihren Magnetstrom, ihr Feld verschwindet demnach und sie wird stromlos. Es tritt also gerade der umgekehrte Fall ein, wie bei der Hauptstrommaschine.

Da auch, wie schon gesagt, bei zunehmender Belastung die Klemmenspannung der Nebenschlußmaschine abnimmt, die an die Maschine angeschlossenen Lampen oder Motoren zum normalen Arbeiten aber eine konstant bleibende Spannung verlangen, so muß man mit Hilfe des Reglers R (Fig. 69) die Spannung der Maschine nachregulieren, wenn die Belastung der Maschine zunimmt. Wenn wir z. B. von der leerlaufenden Maschine auf Kontakt 1 eine Spannung von 110 Volt erhalten und die Maschine belastet wird, indem im äußeren Stromkreis Lampen eingeschaltet werden, dann sinkt die Klemmenspannung der Nebenschlußmaschine und es muß die Kurbel A des Reglers R (Fig. 69) von Kontakt 1 nach e zu gedreht werden. Dadurch wird der Widerstand im Nebenschlußstromkreis verkleinert, also der Nebenschlußstrom i vergrößert und die Feldschwächung infolge der Ankerrückwirkung ausgeglichen. Je stärker nun die Maschine belastet wird, um so weiter muß die Kurbel nach e zu gedreht werden.

In großen Zentralen und überall wo nicht nur eine Maschine vorhanden ist, liegt die Magnetwicklung der Nebenschlußmaschine an den sogenannten Sammelschienen, an welche alle Maschinen, und wenn eine Akkumulatorenbatterie vorhanden ist, auch diese angeschlossen sind. Zwischen diesen Sammelschienen herrscht dann konstante Spannung und es sinkt infolgedessen bei Zunahme der Belastung nicht mehr die Magnetstromstärke, sondern sie bleibt konstant; es nimmt aber infolge der Ankerrückwirkung das Feld der Maschine doch ab und die elektromotorische Kraft der Maschine sinkt, so muß also auch dann mit einem Regler R reguliert werden. Genaueres über diese Maschinenschaltung, die **Maschine mit Fremd-erregung** genannt wird, soll später bei Anlagen Abschnitt X gesagt werden.

Als dritte Schaltung führt man bei den elektrischen Gleichstromerzeugern noch die **Maschine mit gemischter Schaltung**

aus. Bei dieser Maschine, die auch Compoundmaschine heißt, liegen zwei Wicklungen auf den Magneten: die eine aus wenigen dicken

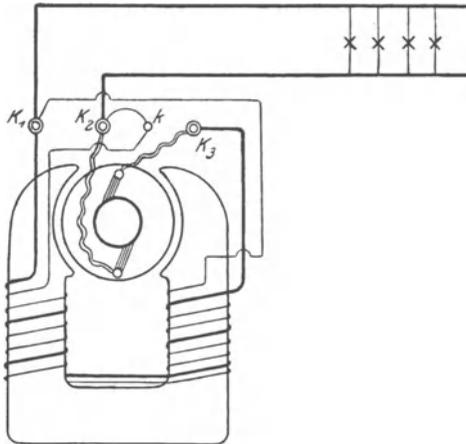


Fig. 71.

Windungen und die zweite aus vielen dünnen Windungen. Die dünne Wicklung kann nach Fig. 71 entweder direkt an die Bürsten gelegt werden ($K_2 K_3$ sind ja direkt mit den Bürsten verbunden) oder nach Fig. 72 mit den Klemmen $K_1 K_2$, an welche der äußere Stromkreis angeschlossen ist. Beide Schaltungen haben keine Vorzüge vor einander.

Wie der Leser erkennt, ist die Maschine mit gemischter Schaltung eine Vereinigung der beiden bisher besprochenen Schaltungen, Nebenschluß- und Hauptstrommaschine. Sie wird daher auch deren Eigenschaften gemeinsam besitzen. Da bei der Nebenschlußmaschine die Spannung sinkt, wenn die Belastung zunimmt, bei der Hauptstrommaschine aber zunimmt, so wird die Maschine mit gemischter Schaltung mit konstanter Klemmenspannung arbeiten, wenn sich auch die Belastung ändert. Man kann deshalb an die Maschine mit gemischter Schaltung Lampen anschließen und

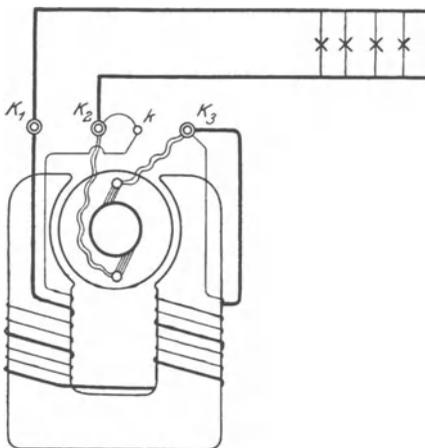


Fig. 72.

braucht die Spannung der Maschine nicht zu regulieren, wenn Lampen zu- oder abgeschaltet werden. Die Maschinen mit gemischter Schaltung eignen sich aber nur für kleine Anlagen ohne Akkumulatoren. Will

braucht die Spannung der Maschine nicht zu regulieren, wenn Lampen zu- oder abgeschaltet werden. Die Maschinen mit gemischter Schaltung eignen sich aber nur für kleine Anlagen ohne Akkumulatoren. Will

man mit mehreren Maschinen gemeinsam arbeiten, dann muß man sie doch regulieren, indem man zwischen die Klemmen $K_2 k$ in den Fig. 71 und 72 einen Regler einschaltet, um die Belastung beliebig auf die Maschinen verteilen zu können und um die Maschine zu den schon laufenden hinzuschalten zu können. Es ist daher die Nebenschlußmaschine mit der Schaltung als fremderregte Maschine diejenige, die in großen Zentralen angewendet wird. Die Hauptstrommaschine wird nur für besondere Fälle, z. B. Bogenlichtbeleuchtung mit hintereinander geschalteten Lampen und Arbeitsübertragung auf größere Entfernungen angewendet.

In betreff der Größe der Gleichstrommaschinen im allgemeinen muß noch hinzugefügt werden, daß die Maschinen um so kleiner und leichter werden, je schneller sie laufen; denn je schneller sie sich drehen, um so schwächer darf der Magnetismus der Maschine sein, um so weniger Eisen wird sie daher erhalten. Da die Kraftmaschinen (Dampf-, Gas-, Wassermotoren) immer langsamer laufen als eine elektrische Maschine von gleicher Leistung, so kann man normal gebaute elektrische Maschinen nicht direkt verbinden oder kuppeln mit der antreibenden Kraftmaschine, sondern muß durch Einschaltung eines Riemens eine Übersetzung ins Schnelle herbeiführen. Die normalen Gleichstrommaschinen sind daher nach Fig. 59 ausgeführt, werden aber selbstverständlich für größere Leistungen mit noch mehr als 4 Polen ausgeführt. Eine solche durch Riemen angetriebene elektrische Maschine braucht mit der Kraftmaschine zusammen aber einen größeren Raum, als wenn beide Maschinen direkt gekuppelt sind. Wo man also mit dem Raum sparen muß, wendet man die direkt gekuppelten Maschinen an; die elektrische Maschine wird dann etwa nach Fig. 61 ausgeführt. Durch die Elektrotechnik wurden die Maschinenbauer veranlaßt, ihre Kraftmaschine schneller laufend zu bauen als vorher, damit die elektrischen Maschinen direkt gekuppelt werden konnten und nicht gar zu groß ausfielen. Heute ist der umgekehrte Fall eingetreten infolge der scheinbar immer häufiger werdenden Anwendung der Dampfturbinen, deren Umlaufszahl sehr viel höher ist als die der bisher angewendeten Kraftmaschinen. So macht z. B. eine normale Dampfmaschine für 75 PS etwa 200—250 Umdrehungen in der Minute, dagegen eine Dampfturbine derselben Leistung macht 3000 Touren. Eine normale elektrische Maschine für Riemenantrieb, passend zu einer Kraftmaschine von 75 PS, wäre eine Maschine für 50 Kilo-

watt, die eine Umlaufzahl von etwa 900 in der Minute machen muß. Wie man sieht, ist die Dampfturbine nicht geeignet zur direkten Kuppelung mit normalen elektrischen Maschinen, da ihre Tourenzahl etwa 4 mal so hoch ist. Man muß also entweder durch Riementübertragung eine Übersetzung ins Langsame für die elektrische Maschine herbeiführen oder man muß die elektrischen Maschinen für noch größere Umlaufzahl ausführen. Letzteres macht aber bedeutende Schwierigkeiten, denn bei der hohen Umlaufzahl müssen die Drähte des Ankers vor der abschleudernden Wirkung der Zentrifugalkraft viel sicherer geschützt werden, als mit den heute angewendeten Drahtbändern *B* (Fig. 51) möglich ist. Ferner macht der Kollektor große Schwierigkeiten eben auch wegen der hohen Umfangsgeschwindigkeit und besonders wegen der Schwierigkeit, die Maschine für funkenfreien Lauf auszuführen. Abschließende Versuche über die Ausführbarkeit der für direkte Kuppelung mit Dampfturbinen zu verwendenden Gleichstromgeneratoren liegen noch nicht vor. Ich will nur noch erwähnen, daß eine amerikanische Firma augenblicklich Versuche macht mit einer Gleichstrommaschine ohne Kollektor, einer sogenannten Unipolarmaschine, über welche aber auch noch nichts an die Öffentlichkeit gelangt ist. (Es ist das eine von J. E. NOEGGERATH erfundene sogenannte Unipolarmaschine, welche von der General Electric Co. versuchsweise für 500 Volt und 500 Kilowatt ausgeführt ist und gute Resultate ergeben hat — vergl. Elektrotechn. Zeitschrift 1904, S. 1038). Das Prinzip einer Unipolarmaschine ist schon gezeichnet in Fig. 35. Die praktisch brauchbare Ausführung muß natürlich wesentlich abweichen von Fig. 35. Damit man genügende Spannung erhält, wendet man einzelne Stäbe und keine Scheibe an und schaltet die Stäbe hintereinander. Dazu sind dann Schleifringe erforderlich, aber kein Kollektor. Außerdem ist natürlich ein zweckmäßigeres Magnetsystem vorhanden als in Fig. 35.

V. Stromerzeuger für Wechselstrom, ein- und mehrphasig.

Wie wir schon im Abschnitt III bei Fig. 39 gesehen haben, erhält man durch Drehung einer Drahtschleife vor den Polen eines Magneten eine elektromotorische Kraft, deren Richtung bei einer Umdrehung der Drahtschleife so oft wechselt, als das Magnetsystem Pole besitzt. Da man mit wenigstens 80 Wechseln in der Sekunde arbeiten muß, wenn man mit Wechselstrom Glühlampen speisen will, wie schon früher erklärt wurde, und man aus praktischen Gründen mit der Umlaufszahl nicht zu hoch gehen kann, muß man im allgemeinen bei heute normalen Maschinen immer mehr als 2 Pole anwenden, wie auch schon auf Seite 42 gesagt wurde. Wechselstrommaschinen werden aber aus später zu erörternden Gründen sehr häufig für hohe Spannungen ausgeführt. Da man aber Wickelungen mit hoher Spannung besser isolieren kann, wenn sie still stehen, so führt man bei Wechselstrom den Anker mit der Bewickelung stehend aus, während man das Magnetrad mit den Polen sich drehen läßt; denn es ist selbstverständlich gleichgültig, ob der Anker oder die Magnete bewegt werden (vergl. Seite 39). Das Schema einer wirklichen Wechselstrommaschine mit stehendem Anker und sich drehendem Magnetrad zeigt Fig. 73. Die Wickelung besteht aus 4 Stäben 1, 2, 3, 4, die in Löchern des aus Blechen aufgebauten eisernen Kernes *A* stecken und in der gezeichneten Weise miteinander verbunden sind. Wenden wir die auf Seite 38 gegebene Handregel an für den Fall, daß das Magnetfeld sich bewegt, so erhalten wir bei der augenblicklichen Stellung des Magnetrades in den einzelnen Drähten elektromotorische Kräfte von der Richtung der beigezeichneten Pfeile. Hat sich das Magnetrad gedreht, so daß der Pol N_1 vor dem Draht 2 steht, dann entstehen in allen Drähten

umgekehrte elektromotorische Kräfte wie oben; steht das Magnetrad mit N_1 vor Draht 3, dann entstehen wieder die elektromotorischen Kräfte von der gezeichneten Pfeilrichtung, und schließlich, wenn das Polrad mit N_1 vor 4 steht, entstehen wieder dieselben elektromotorischen Kräfte, wie wenn es mit N_1 vor 2 stünde.

Man erhält also bei einer Umdrehung des Polrades eine viermal wechselnde elektromotorische Kraft, und wenn wir, wie in der Praxis meist üblich, 100 Wechsel in der Sekunde haben wollen, so

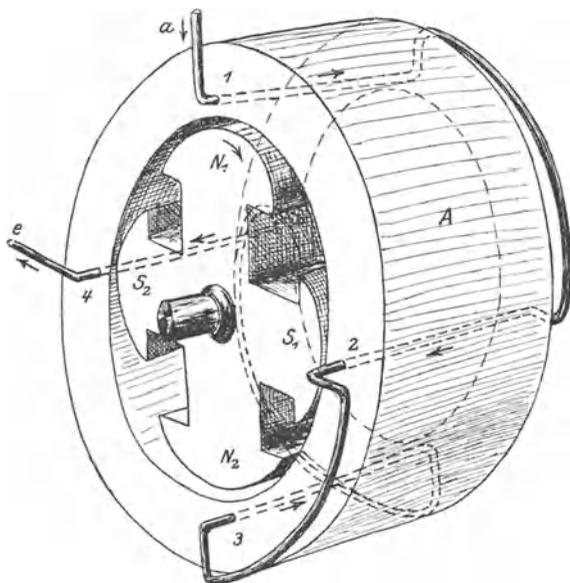


Fig. 73.

müssen wir das Polrad mit $\frac{100}{4} = 25$ Umdrehungen in der Sekunde oder einer minutlichen Tourenzahl von $25 \cdot 60 = 1500$ laufen lassen. Wie auch schon auf Seite 42 gesagt wurde, erhalten die für direkte Kuppelung mit Dampf- usw. Maschinen bestimmten Wechselstrommaschinen eine große Anzahl Pole, bis zu 50 und mehr, weil sie langsam laufen müssen.

Bei den Wechselstrommaschinen muß man unterscheiden zwischen einphasigen und mehrphasigen Maschinen. Hat die Maschine nur eine Wickelung, wie in Fig. 73, dann ist sie einphasig. In

Fig. 74 sind 2 Wickelungen auf dem Anker angebracht: $a_1 e_1$ die eine, $a_2 e_2$ die zweite Wickelung. Man erkennt, daß bei dem Polrad der Fig. 73, welches in Fig. 74 fortgelassen wurde, in der einen Wickelung der Strom gerade null ist, wenn er in der anderen seinen größten Wert hat. Bei drei Wickelungen hat man eine dreiphasige Maschine, wie sie z. B. Fig. 75 zeigt. Zweiphasenmaschinen werden fast gar nicht angewendet, wohl aber einphasige und noch häufiger dreiphasige Maschinen. Wir wollen uns daher mit den Zweiphasenmaschinen nicht weiter befassen.

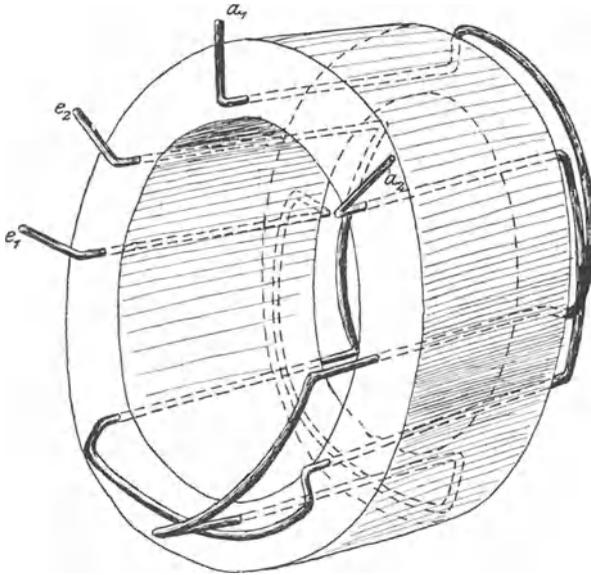


Fig. 74.

Aus einer dreiphasigen Maschine nach Fig. 75 würde man nun drei Wechselströme erhalten und man müßte demnach 6 Leitungen aus der Maschine fortführen, welche sich aber auf 3 vermindern, wie aus folgendem hervorgeht.

Denken wir nun einmal die Fig. 75 von vorn gesehen auf-gezeichnet, so erhalten wir Fig. 76. Wir erkennen, daß die Anfänge a_1, a_2, a_3 der drei Wickelungen um $\frac{2}{3}$ der Polteilung von einander entfernt sind, es müssen also auch die drei Ströme um $\frac{2}{3}$

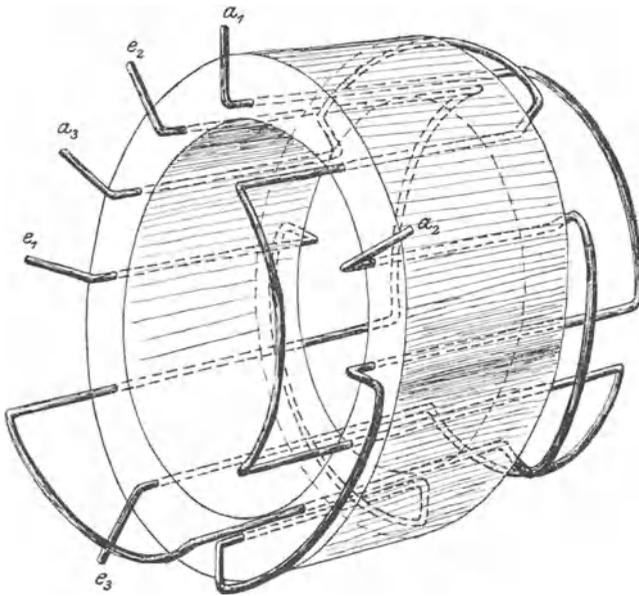


Fig. 75.

der Zeit eines Wechsels gegeneinander verschoben sein. Um das

soeben Gesagte noch deutlicher zu machen, wollen wir den zeitlichen Verlauf eines Wechselstromes einmal aufzeichnen.

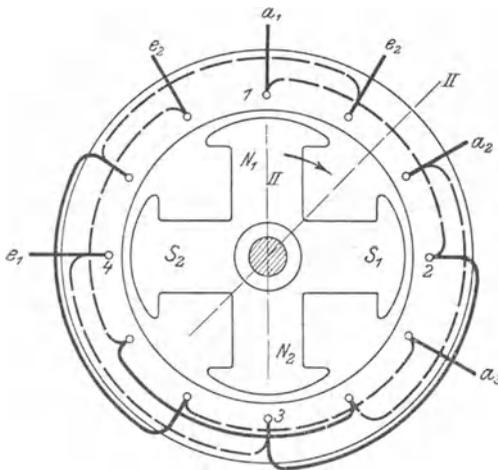


Fig. 76.

In Fig. 77 ist die wagerechte Linie eingeteilt in Sekunden, die Senkrechte von dem Punkt O aus nach oben und unten in 30 Teile, und zwar mögen dies Ampere sein. Wir über-

legen mit Hilfe der Fig. 76 und wollen annehmen, die Maschine

soll 100 Wechsel in der Sekunde liefern, dann hat sich ein Wechsel in $\frac{1}{100}$ Sekunde vollzogen. Folglich, wenn bei der in Fig. 76 gezeichneten Stellung des Polrades in dem Draht 1 der Strom z. B. 30 Amp. beträgt, erhalten wir den Punkt P_1 in Fig. 77. Nach $\frac{1}{100}$ Sekunde hat der Strom seine Richtung gewechselt, das heißt er ist dann wieder 30 Amp., aber umgekehrt gerichtet wie vorher, also negativ, wir erhalten dementsprechend Punkt P_5 . In der Mitte zwischen beiden Werten zu der Hälfte von $\frac{1}{100}$ Sekunde, also $\frac{1}{200}$ Sekunde ist der Strom null gewesen; dem entspricht Punkt P_4 , und von P_1 nach P_4 hat der Strom allmählich abgenommen, wie die Kurve 1 in Fig. 77 zeigt; von P_4 nach P_5 nimmt er wieder zu, aber um-

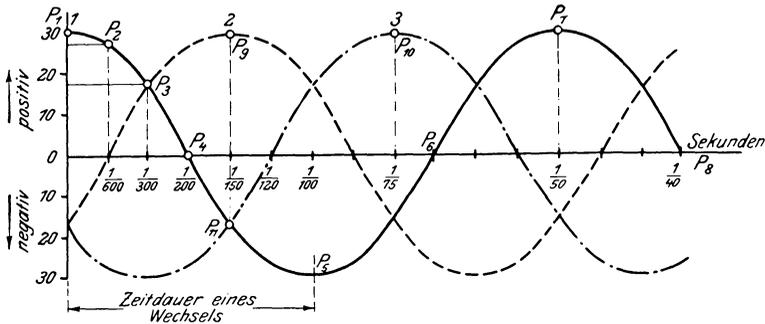


Fig. 77.

gekehrt als vorher; bei P_5 hat er sein negatives Maximum, nimmt von P_5 bis P_6 allmählich wieder ab, dann steigt er wieder von P_6 bis P_7 usw. Im Augenblick, wo also der Strom im Draht 1 (Fig. 76) den Wert P_1 hat, steht das Polrad in der gezeichneten Lage. Hat der Strom im Draht 1 den Wert null entsprechend P_4 , dann hat sich das Polrad so weit gedreht, daß es mit dem Pol N_1 auf der Linie II (Fig. 76) steht. Es liegt dann der Draht 1 in der Mitte zwischen N_1 und S_2 . Dreht sich das Polrad weiter, dann kommt N_1 vor a_2 und wir erhalten in der Wicklung deren Anfang; a_2 ist ein Strom von der Stärke 30 Amp. und die Zeit, die verstrichen ist zwischen der Stellung N_1 vor 1 und N_1 vor a_2 , beträgt $\frac{2}{3}$ von $\frac{1}{100}$ Sekunde, also $\frac{1}{150}$ Sekunde, demnach entspricht der Punkt P_3 dem augenblicklich im Draht a_2 vorhandenen Strom. Gleichzeitig

ist auch der Pol S_2 näher an Draht 1 herangekommen, es entsteht also in diesem Draht ein umgekehrter Strom wie im Draht a_2 , entsprechend dem Wert P_{11} auf der Kurve 1. Da sich bei weiterer Drehung der Pol S_2 dem Draht 1 immer mehr nähert, so nimmt auch in ihm der Strom immer mehr zu. In dem Draht a_3 nimmt dagegen der Strom immer mehr ab, weil sich der Pol S_1 von ihm immer mehr entfernt, die Richtung in a_3 ist gleich der in a_1 . (Man ersieht das eben Gesagte am besten, wenn man sich die Fig. 76 auf ein Stück Papier zeichnet und das Magnetråd darin drehbar anordnet.)

Der Verlauf des Stromes in den drei Wickelungen ist aber nur zeitlich gegeneinander verschoben, sonst sind die drei Kurven einander gleich, wie aus Fig. 77 auch hervorgeht. Man bezieht die

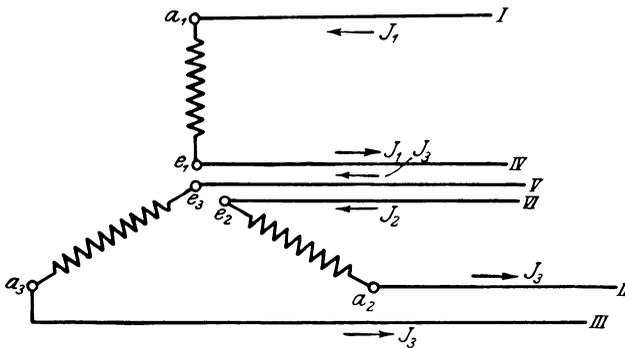


Fig. 78.

Phasenverschiebung immer auf eine 2 polige Maschine; da das Polrad derselben sich um einen Winkel von 120° gedreht haben muß, zwischen Punkt P_1 und P_2 z. B., so nennt man die drei Kurven 1, 2, 3 in Fig. 77 auch „um 120° verschoben“. Greifen wir nun irgend einen Augenblick heraus, z. B. $\frac{1}{200}$ Sek., dann ist der Strom in der Wickelung a_1 entsprechend P_1 gerade null, während er in der Wickelung a_2 positiv (etwa 27 Amp.) und in der Wickelung a_3 negativ (auch etwa 27 Amp.) ist. Zählt man alle drei Ströme zusammen, so erhält man also $0 + 27 - 27 = 0$. Nehmen wir einen anderen Augenblick, z. B. $\frac{1}{150}$ Sek., dann ist der Strom in der Wickelung $a_2 + 30$, in den beiden anderen Wickelungen a_1 und a_3 ist er -15 . Zählen wir wieder alle drei Ströme zusammen, so erhalten wir abermals $+30 - 15 - 15 = 0$. Wir können dasselbe

für jeden beliebigen Augenblick ausführen, immer ist die Summe der drei Ströme gleich null. Wenn wir Fig 76 noch weiter schematisch aufzeichnen, indem wir die drei Wicklungen einfach wie in Fig. 78 als drei Zickzacklinien zeichnen, und an jede Wicklung zwei Leitungen anschließen, zwischen denen die Lampen usw. liegen, dann hätten wir 6 Leitungen, und nehmen wir daraus die Leitungen IV, V, VI, so ist in diesen, wie wir eben gesehen haben, die Summe der Ströme stets gleich null. Verbinden wir also die drei Punkte e_1, e_2, e_3 , dann würden wir die drei Leitungen IV, V, VI zusammenfassen in eine und in dieser würde die Summe der drei Ströme fließen, also überhaupt kein Strom. Wir brauchen daher diese Leitung gar nicht zu ziehen und führen die Schaltung der Maschine in Fig. 76 nach dem Schema Fig. 79 aus, indem wir die drei Enden e_1, e_2, e_3 der drei Wicklungen zu einem sogenannten Knotenpunkt K verbinden

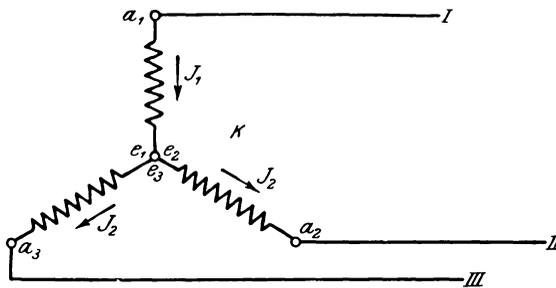


Fig. 79.

und von den drei Anfängen a_1, a_2, a_3 drei Leitungen abführen. Man nennt die Schaltung nach dem Schema Fig. 79, wie leicht einzusehen ist, **Sternschaltung**. Sie sieht in der Anwendung auf Fig. 76 aus, wie Fig. 80 zeigt, indem die drei Punkte e_1, e_2, e_3 miteinander verbunden und nur drei Leitungen vorhanden sind. Anstatt der Sternschaltung kann man auch **Dreiecksschaltung** ausführen. Diese sieht schematisch aus wie Fig. 81.

Es sind auch nur drei Leitungen erforderlich, aber jedesmal Anfang und Ende zweier Wicklungen verbunden. Die Beweisführung dafür, daß auch hier drei Leitungen genügen, ist etwas umständlicher als bei der Sternschaltung.

Wir haben die Fig. 77 für die Ströme gezeichnet, wir hätten genau dasselbe erhalten, wenn wir die elektromotorischen Kräfte aufgezeichnet hätten, denn auch diese müssen denselben Verlauf

und dieselbe zeitliche Verschiebung gegeneinander besitzen, wie die drei Ströme. Wählen wir nun den Augenblick, der dem Punkt P_0 entspricht, so würde in der Wicklung $a_2 e_2$ die elektromotorische Kraft E_2 doppelt so groß und entgegengesetzt gerichtet sein, d. h. von e nach a gerichtet, wenn E_2 von a_2 nach e_2 gerichtet ist, als

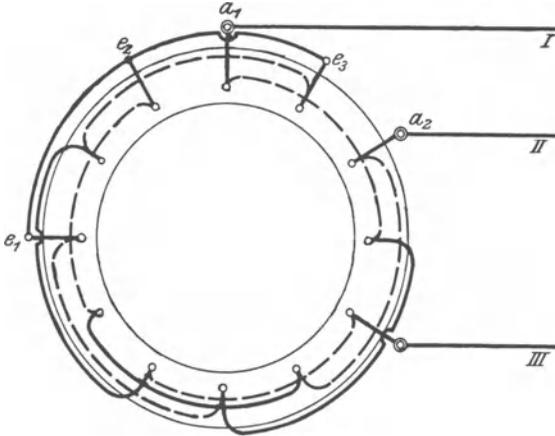


Fig. 80.

in den beiden anderen Wicklungen. Man darf nun nur solche elektromotorischen Kräfte miteinander verbinden, die sich aufheben, wenn nicht in der Wicklung Ausgleichströme fließen sollen.

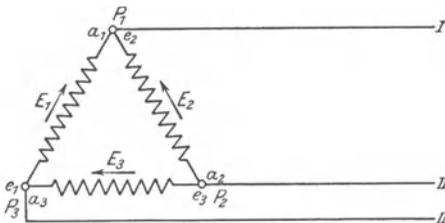


Fig. 81.

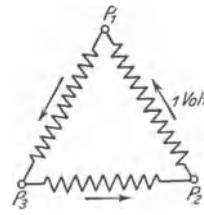


Fig. 82.

Wir sehen aus Fig. 81, daß E_2 entgegengesetzt wirkt als E_1 und E_3 zusammen, es ist immer in dem Dreieck die Summe der elektromotorischen Kräfte = null. Setzen wir die Zahlenwerte aus Fig. 77 ein und die Vorzeichen, so ist

$$+ E_2 - E_1 - E_3 = 30 - 15 - 15 = 0.$$

Ebenso erhalten wir für jeden anderen Augenblick ebenfalls als Summe der elektromotorischen Kräfte stets null, genau wie schon

für die Ströme bei Stromschaltung gezeigt war. Wir dürfen also die Schaltung nach Fig. 81 ausführen, ohne befürchten zu müssen, daß die elektromotorischen Kräfte sich nicht aufheben und dementsprechend Ausgleichströme in der Wickelung entstanden. Wäre aus irgend einem Grunde, vielleicht weil falsche Wickelung ausgeführt ist, die elektromotorische Kraft E_1 nicht 15, sondern nur 14 in dem betrachteten Augenblick, so wäre

$$+ E_2 - E_1 - E_3 = 30 - 14 - 15 = 1,$$

es würde dann ein Strom entstehen, der die in Fig. 82 gezeichnete Richtung hätte und der hervorgerufen würde durch die Differenz 1 Volt der Spannungen.

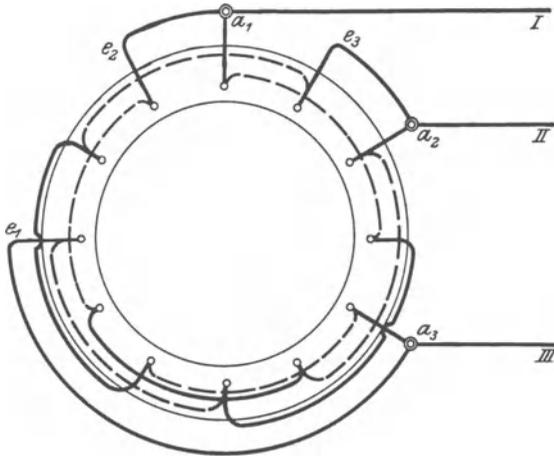


Fig. 83.

Wenn die Maschine belastet läuft und Strom abgibt, dann fließen selbstverständlich in den drei Wickelungen die entsprechenden Ströme, die aber dann gleiche Richtung haben, wie die jeweilig vorhandenen elektromotorischen Kräfte E_1 , E_2 , E_3 . Zu diesen Strömen würden dann bei falscher Wickelung die Ausgleichströme noch hinzu kommen und die Maschine natürlich unnötig erwärmen.

Die Anwendung der Dreiecksschaltung auf die Maschine in Fig. 76 ergibt Fig. 83. Ob man Sternschaltung oder Dreieckschaltung anwendet, bleibt sich gleich. Häufiger wird Sternschaltung heute ausgeführt. Schaltet man ein und dieselbe Maschine einmal in Stern und einmal in Dreieck, so erhält man bei Sternschaltung zwischen den einzelnen Leitungen I , II , III (Fig. 84) eine Spannung

$1,733 \cdot e$, wenn e die in einer Wicklung erzeugte elektromotorische Kraft ist, während bei Dreiecksschaltung die Spannung e zwischen den Leitungen bleibt, die in einer Wicklung oder Phase erzeugt wird. Dagegen ist bei Dreiecksschaltung der Strom in jeder Leitung I , II , III $1,733 \cdot J$, wenn J der Strom in einer Phase ist, während er bei Sternschaltung J bleibt, wie in den Fig. 84 und 85 angedeutet ist. In Fig. 84 müßte die Spannung zwischen den Leitungen I , II , III eigentlich $2e$ sein, weil immer zwei Phasen zwischen 2 Leitungen hintereinander liegen; weil aber die elektromotorischen Kräfte zeitlich

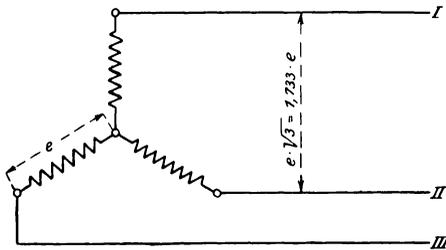


Fig. 84.

gegeneinander verschoben sind (vergl. Fig. 77), so beträgt die Spannung zwischen den Leitungen nur $1,733 e$; dasselbe gilt bei Dreiecksschaltung für den Strom.

Die Leistung der dreiphasigen oder Drehstrommaschine beträgt nun, gleichgültig ob Dreiecks- oder Sternschaltung, $3 \cdot e_f \cdot J_f \cdot \cos \varphi$ Watt; dabei ist $\cos \varphi$ der Leistungsfaktor (vergl. S. 32) und e_f die Spannung,

die mit einem Hitzdrahtspannungsmesser gemessen wird, J_f die Stromstärke, die mit einem Hitzdrahtstrommesser gemessen wird (vergl. S. 7 und Fig. 4, S. 7). Die Werte e_f und J_f bedeuten effektive Spannung und effektive Stromstärke, sie sind

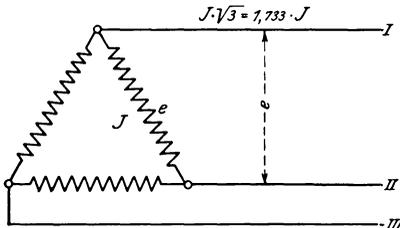


Fig. 85.

selbstverständlich kleiner als in Fig. 77 die Maximalwerte. Wenn E der Maximalwert der Spannung ist, dann ist e_f ungefähr $0,707 \cdot E$, ebenso $J_f = 0,707 \cdot J$. Die Werte e_f und J_f sind gleichbedeutend mit denen, die vorhanden sein müßten bei Gleichstrom.

Noch einfacher läßt sich die Leistung direkt mit dem Wattmeter bestimmen (vergl. S. 32, Fig. 29). Bei der Messung einer Drehstromleistung muß aber bedacht werden, daß wir dreimal die Leistung einer Phase messen müssen. Die Schaltung zur Messung mit dem Wattmeter zeigt daher Fig. 86 bei Sternschaltung. Ist der

Knotenpunkt P zugänglich, dann schaltet man die drei Wattmeter nach Fig. 86 I, wobei angenommen ist, daß der Vorschaltwiderstand R für die dünne Spule (vergl. Fig. 29) mit im Instrument liegt, wie das bei Schalttafelinstrumenten häufig ist. Ist der Knotenpunkt nicht zugänglich, dann kann man einfach die drei dünnen Spannungsdrähte der drei Wattmeter, die im Punkt P zusammenkommen, so miteinander verbinden. Ist die Belastung der drei Phasen stets gleich groß, z. B. bei Motorenbetrieb, dann genügt ein Wattmeter mit drei Vorschaltwiderständen R_1, R_2, R_3 , welches nach Fig. 86 II zu schalten wäre.¹⁾

Wir können aber durch den Vergleich mit einer Einphasenwechselstrommaschine sehr leicht die Vorteile des Drehstromes erkennen.

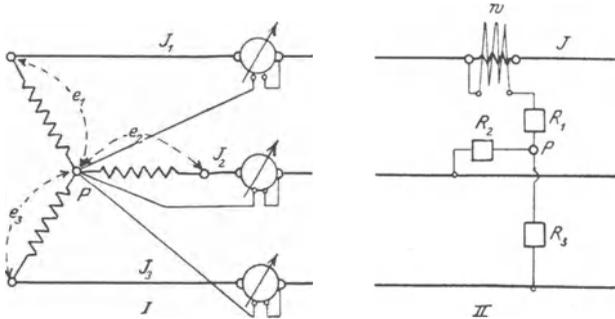


Fig. 86.

Zunächst läßt sich die einphasige Wechselstrommaschine nicht so vollständig bewickeln als eine Drehstrommaschine, wie noch gezeigt werden wird. Dann aber kann man eine Leistung, die 3mal so groß ist als eine entsprechende einphasige, nicht mit der 3fachen Drahtzahl, also 6, sondern mit nur 3 Drähten fortleiten. Fügt man also nur einen Leitungsdraht zu einem Einphasensystem hinzu und stellt man eine dreiphasige Maschine auf, so läßt sich die dreifache Leistung fortleiten. Wenn man z. B. eine elektrische Zentrale vergrößern müßte, die einphasigen Wechselstrom lieferte, könnte man sie auf einfache Weise um das Dreifache verstärken. Allerdings würden dabei die elektrischen Maschinen doch etwas größer und

¹⁾ Genaueres über Wattmetermessungen bei Drehstrom siehe das Buch des Verfassers: „Messungen an elektrischen Maschinen“. Verlag von JULIUS SPRINGER in Berlin.

selbstverständlich die antreibenden Dampfmaschinen, Kessel usw. für die dreifache Leistung zu wählen sein.

Wir wollen uns nun zu der äußeren Erscheinung der Wechsel- und Drehstrommaschinen wenden. Wir müssen äußerlich unterscheiden Anker und Feld- oder Magnetsystem.

Das Magnetsystem ist immer aus weichem Eisen hergestellt, es kommt in Frage Stahlguß, Schmiedeeisen und seltener auch Gußeisen. Die äußere Form eines Magnetsystems oder Polrades für kleinere Maschinen zeigt Fig. 87. Je größer die Maschine ist, um so mehr Pole muß sie erhalten, weil größere Maschinen immer

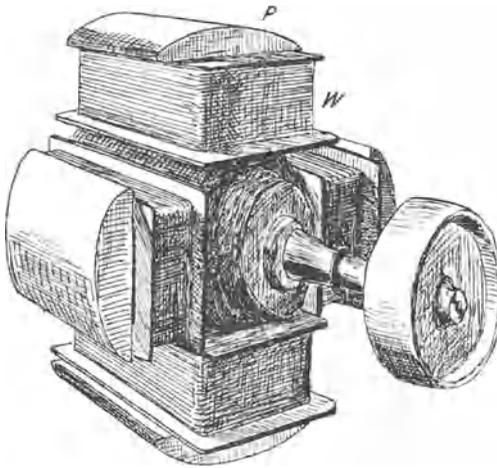


Fig. 87.

langsamer laufen, wie schon erwähnt ist. Für größere

Maschinen zeigt Fig. 88 das Polrad. Noch größere Maschinen erhalten Polräder, die wie Schwungräder ausgebildet werden, wie an Fig. 99 zu sehen ist.

Die Polräder besitzen eiserne Magnetschenkel oder Pole, meist aus Schmiedeeisen, über

welche die Drahtwicklung *W* (Fig. 87 und 88) herübergelegt ist, denn auch hier kommen natürlich nur Elektromagnete in Frage. Als magnetisierender Strom kommt selbstverständlich nur Gleichstrom in Frage, welcher durch Schleifringe *S* (Fig. 88) der Wicklung der Pole zugeführt wird. Auf den Schleifringen liegen Bürsten, ähnlich wie in Fig. 60. Der Gleichstrom wird erzeugt in einer besonderen kleinen Erregermaschine, die entweder direkt mit der großen Dreh- oder Wechselstrommaschine gekuppelt ist oder besonders angetrieben wird.

Bei dreiphasigen oder Drehstrommaschinen werden die Pole und die Polschuhe *P* (Fig. 87) massiv hergestellt. Bei einphasigen Maschinen müssen sie aus Blech hergestellt werden, wie Fig. 89 zeigt.

Es wird aus einzelnen Schmiedeeisen-Blechen, deren jedes etwa 0,8 mm dick ist, der Pol aufgebaut und die Bleche durch Nieten oder Bolzen *N* und zwei dickere Endbleche zusammengehalten.

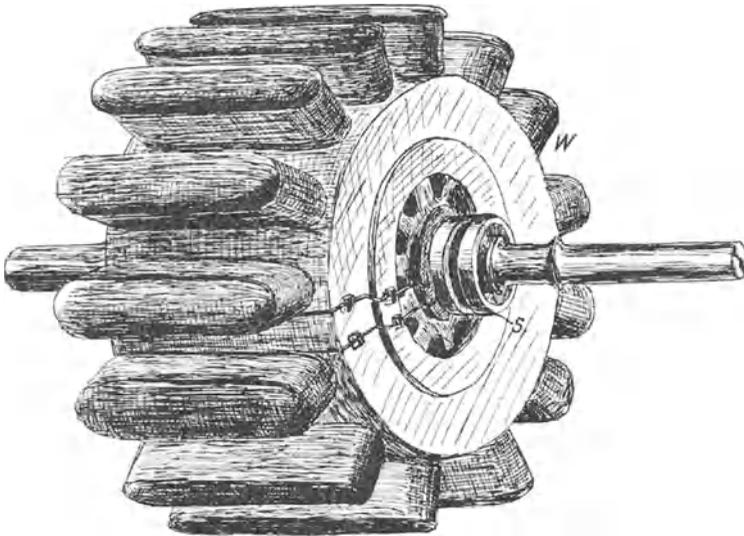


Fig. 88.

Am unteren Ende besitzt der Pol einen Schwalbenschwanz, mit dem er in das ihn tragende Rad aus Gußeisen oder Stahlguß

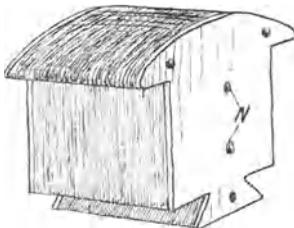


Fig. 89.

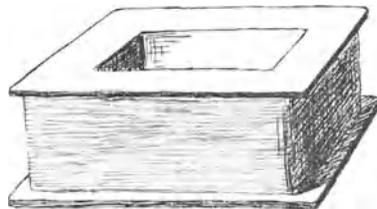


Fig. 90.

seitlich eingeschoben wird, nachdem vorher die Spule *W* (Fig. 90) aufgeschoben wurde. Die Spule, welche die Drahtwicklung enthält, die bei kleineren Maschinen aus Drähten, bei größeren aus Kupferband besteht, liegt auf einem Rahmen aus gepreßtem Papier oder,

wenn ein starker Druck durch Zentrifugalkraft zu befürchten ist, auf einem isolierten Metallrahmen.

Der Grund für die Herstellung der Pole aus Blech bei Einphasenmaschinen liegt in der Ankerrückwirkung. Bei Einphasenmaschinen schwankt der Strom im Anker zwischen $+$, null, $-$ 80—100 mal in der Sekunde, demnach muß auch das durch den Ankerstrom entstehende Feld, welches ähnlich, wie schon bei Gleichstrom gezeigt wurde, auf das Magnetfeld zurückwirkt, schwanken, das heißt die Kraftlinien würden zu- und abnehmen und dadurch entstünden bei massiven Polen in diesen Wirbelströme, wie schon

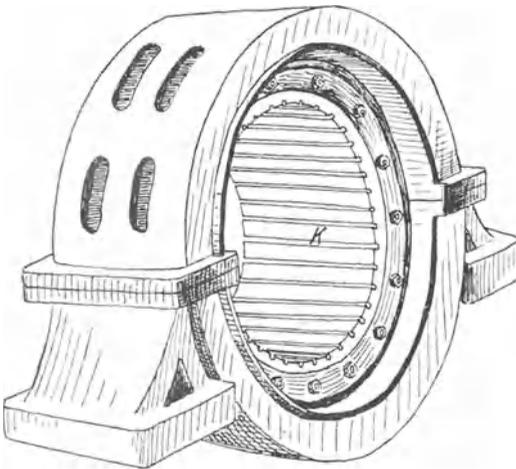


Fig. 91.

früher auseinander-gesetzt wurde; diese Wirbelströme bedeuten einen Verlust, sie müssen also vermieden werden durch die Unterteilung in Bleche (vergl. Seite 58). Bei Drehstrommaschinen entstehen 3 Ströme im Anker, die zeitlich gegeneinander verschoben sind (vergl. Fig. 77). Alle 3 Ströme wirken gleichzeitig

auf das Hauptfeld schwächend ein durch ihr Kraftlinienfeld, aber dieses Rückwirkungsfeld ist bei Drehstrom ein Feld von derselben Stärke, welches nicht schwankt, sondern sich nur dreht (deshalb Drehstrom, was eigentlich falsch ist, weil nur das durch einen dreiphasigen Strom erzeugte Feld sich dreht; die Entstehung dieses Drehfeldes wird im Abschnitt VII bei den Drehstrommotoren erklärt) mit derselben Geschwindigkeit wie das Polrad. Es ist deshalb das Rückwirkungsfeld in den sich mit derselben Geschwindigkeit drehenden Polen in Ruhe, so daß jetzt keine Wirbelströme entstehen können.

Der Anker der Wechsel- und Drehstrommaschinen ist, wie schon gesagt wurde, der feststehende Teil mit der Wicklung, in der der Wechselstrom erzeugt wird durch die Drehung des Polrades.

Der Kern des Ankers muß hier natürlich ebenso wie bei den Gleichstrommaschinen zur möglichsten Vermeidung von Wirbelströmen aus Schmiedeeisenblechen hergestellt werden, ebenso ist gutes weiches Blech wegen der auftretenden Ummagnetisierung des Eisens zu verwenden. Überhaupt gilt für die Verluste der Wechsel- und Dreh-

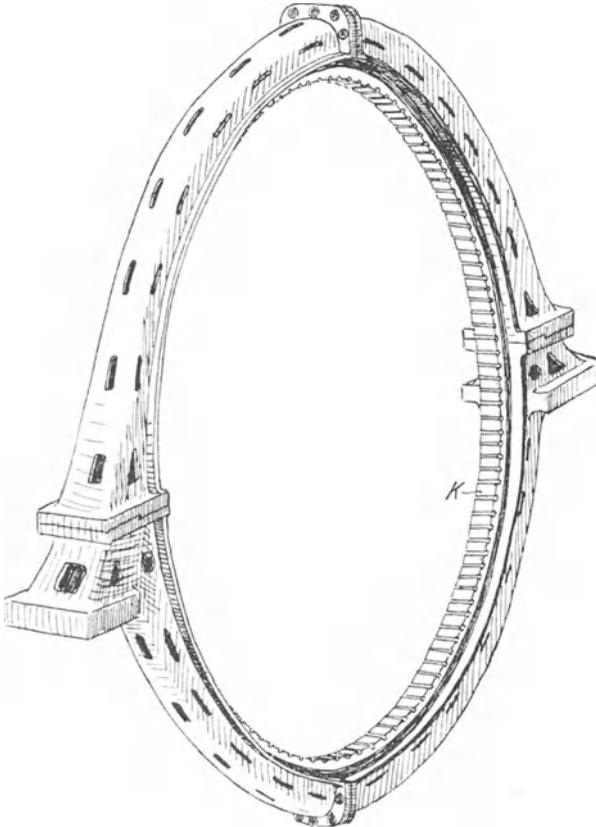


Fig. 92.

strommaschinen dasselbe, was schon auf Seite 58—60 bei den Gleichstrommaschinen gesagt ist, ebenso über den Wirkungsgrad (Seite 60). Der aus Blechen aufgebaute Kern *K* sitzt in einem meist aus Gußeisen hergestellten Gehäuse, wie Fig. 91 zeigt, für eine kleinere Maschine. Bei größeren Maschinen hat das Gehäuse mit Rücksicht auf Festigkeit gegen Durchbiegung Formen etwa wie Fig. 92, die

dann halb in die Erde eingebaut wird, wie die Gleichstrommaschine in Fig. 61. Die Anker nach Fig. 92 werden bis zu 5 m Höhe und unter Umständen noch mehr ausgeführt. Die großen Maschinen sind immer sehr schmal, wie auch aus Fig. 92 zu erkennen ist. *K* ist der aus Blechen zusammengebaute Kern des Ankers, der in den Fig. 91 und 92 durch seitliche Preßringe und Bolzen in dem Gehäuse gehalten wird. Es sind auch in beiden Figuren die Nuten gezeichnet, die in denselben liegende Wicklung ist aber fortgelassen. Die Löcher in den Gußgehäusen dienen zur besseren Ableitung der Wärme, die durch die Ummagnetisierung und die Wirbelströme (vergl. Seite 58—60) in dem Kern *K*, sowie durch die Stromwärme in der Wicklung entsteht, die sich auch dem Kern mitteilt. Ganz

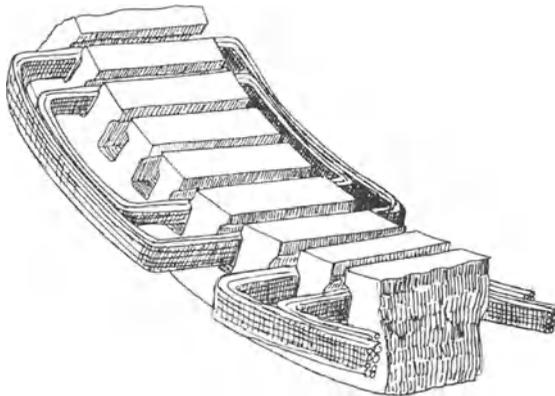


Fig. 93.

große Anker erhalten auch Gehäuse, die durch Zugstangen und Spannschlösser versteift sind oder, wie *SIEMENS* und *HALSKE* ausführen, Gehäuse, die aus Blech und Profileisen zusammengenietet sind, weil diese leichter als Gußeisen werden und höhere Festigkeit besitzen, sich also schwerer durchbiegen.

Bei der Ankerwicklung der Wechsel- und Drehstrommaschinen läßt sich wieder unterscheiden zwischen Drahtwicklung und Stabwicklung, wie bei Gleichstrom auch. Die Wicklung kann in Nuten liegen oder in Löchern. Die Nuten sind aber fast immer am Eingang enger; man nennt sie dann halbgeschlossen. Die Einphasen-Wechselstrommaschinen werden nur vor den Polen bewickelt, so daß immer einige Nuten, die der Einfachheit wegen gleich in die Bleche gestanzt

werden, frei bleiben. Das Stück eines Ankerkernes mit Drahtwicklung für eine Einphasenmaschine zeigt Fig. 93 mit halbgeschlossenen Nuten. Es sind die halbgeschlossenen Nuten oben immer so weit offen, daß die einzelnen Drähte, aus denen die Spulen bestehen, von oben eingelegt werden können.

Ein Stück von Drahtwicklungen für Drehstrommaschinen zeigen die Fig. 94 und 95.

Hierbei sind in Fig. 94 alle Spulen genau gleich; es eignet sich daher diese Wicklung besonders gut zum

Herstellen der Spulen auf besonderen Formen, also als Formspulwicklung.

In den Fig. 96 und 97 sind einige Stabwicklungen gezeichnet. Fig. 96 wird als Mantelwicklung bezeichnet. In Wirklichkeit sind natürlich alle Nuten voll gewickelt. Die einzelnen Stäbe werden zuerst gebogen und lassen sich dann ab-

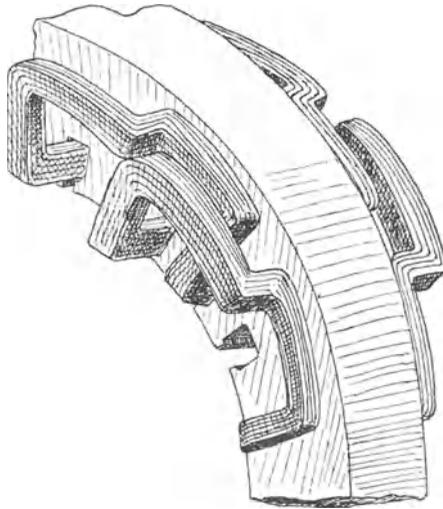


Fig. 94.

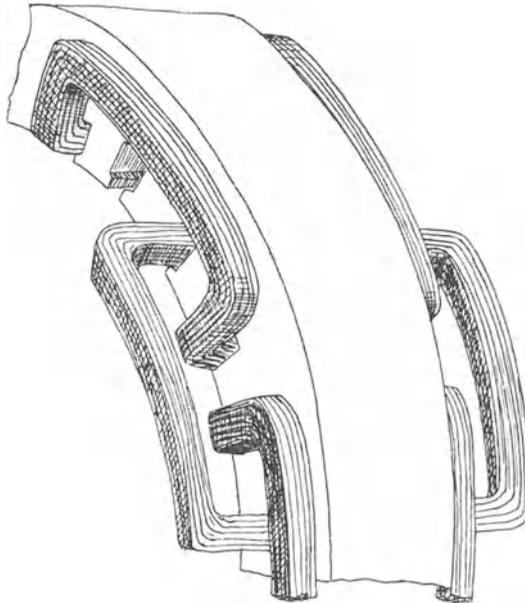


Fig. 95.

wechselnd von links und rechts in die Nuten einschieben. Darauf

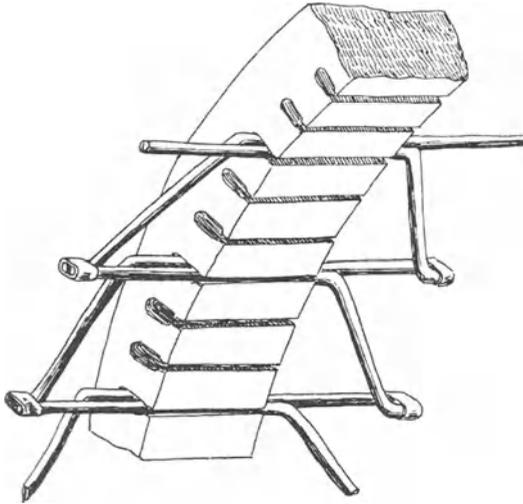


Fig. 96.

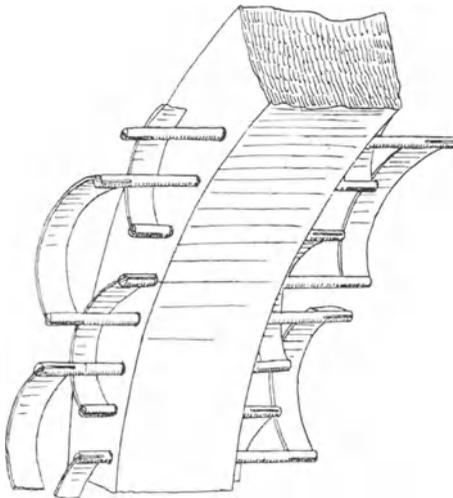


Fig. 97.

werden sie an ihren Köpfen verlötet. In Fig. 97 sind die Stäbe in Löchern gelagert.¹⁾

Wie bei den Gleichstrommaschinen, so lassen sich auch bei den Wechsel- und Drehstrommaschinen unterscheiden solche, die durch Riemen angetrieben werden, und solche, die direkt gekuppelt sind mit der sie antreibenden

Kraftmaschine. In Fig. 98 ist der Typus einer Riemenmaschine gezeichnet, mit der die Erregermaschine, die den Gleichstrom für die Magnete liefert, direkt verbunden ist. In Fig. 99 ist eine direkt zu kuppelnde Drehstrommaschine gezeichnet, die ebenfalls eine kleine Erregermaschine besitzt, deren Anker auf derselben Welle mit dem großen Polrad sitzt. Da diese direkt gekuppelten Erregermaschinen mit der für ihre Größe außerordentlich langsamen Um-

¹⁾ Genaueres über die Wechselstromwickelungen siehe das Buch des Verfassers: „Wechselstromwickelungen für Ein- und Mehrphasenmaschinen“. Verlag von R. SCHULZE. Mittweida.

drehungszahl der großen Wechsel- oder Drehstrommaschine laufen, so sind es ganz abnormale Gleichstrommaschinen, die verhältnismäßig viele Pole erhalten müssen.

Wir wollen uns nun noch zur Regelung der Spannung der Wechsel- und Drehstrommaschinen wenden. In Fig. 100 ist eine Drehstrommaschine schematisch gezeichnet, deren Wicklung nach Fig. 80 oder 83 ausgeführt sein kann. *EM* ist die dazu gehörige Erregermaschine, die als Nebenschlußmaschine geschaltet ist und

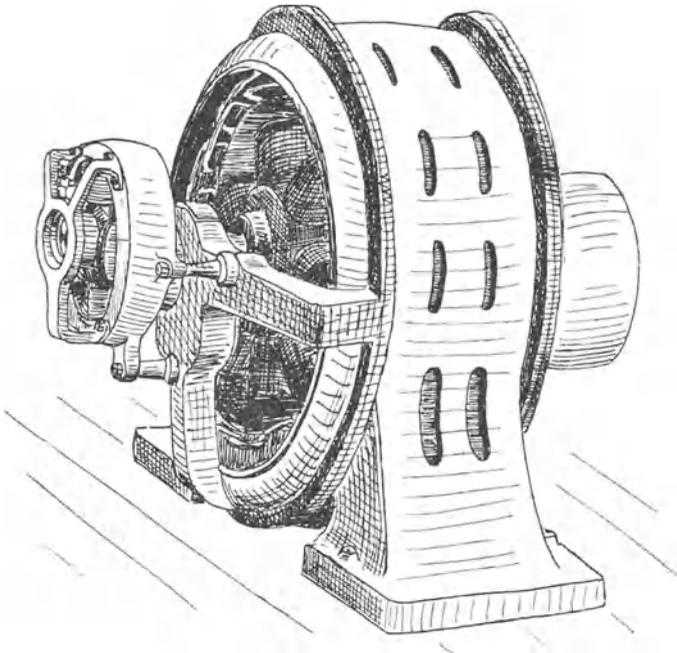


Fig. 98.

ihren Regler R_1 besitzt. Der Strom, den sie liefert, wird, nachdem er einen weiteren Regler R_2 durchflossen hat, um das Polrad des großen Generators G geleitet. Für eine einphasige Wechselstrommaschine würde die Schaltung so weit genau dieselbe bleiben. Wenn im äußeren Stromkreis Lampen, Motoren usw. eingeschaltet sind, der Anker der großen Maschine also Strom liefert, dann tritt, wie schon erwähnt wurde, eine Rückwirkung des Ankers auf das Hauptfeld der Maschine ein und es geht die Spannung der Maschine zurück.

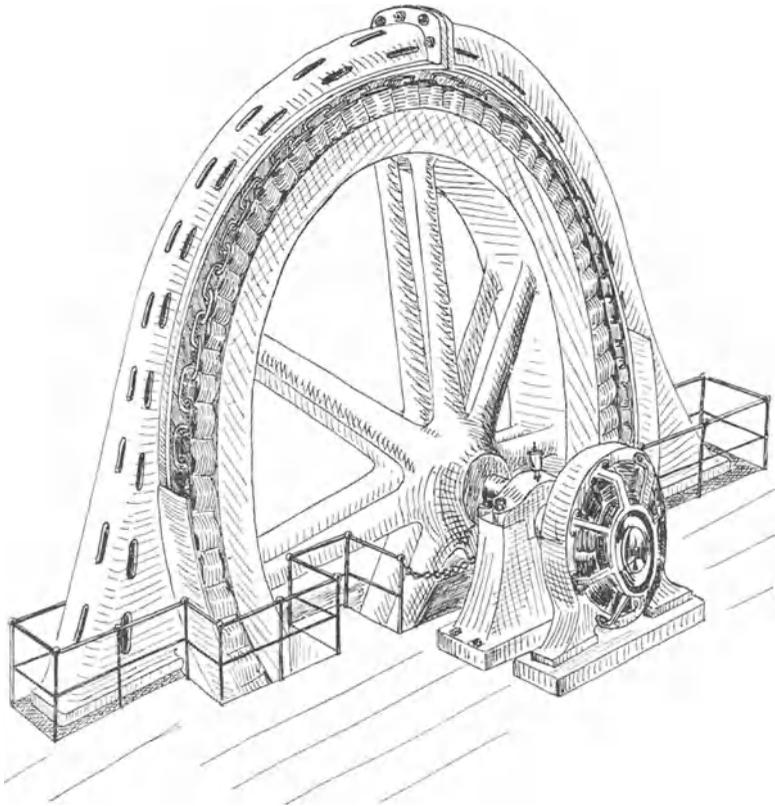


Fig. 99.

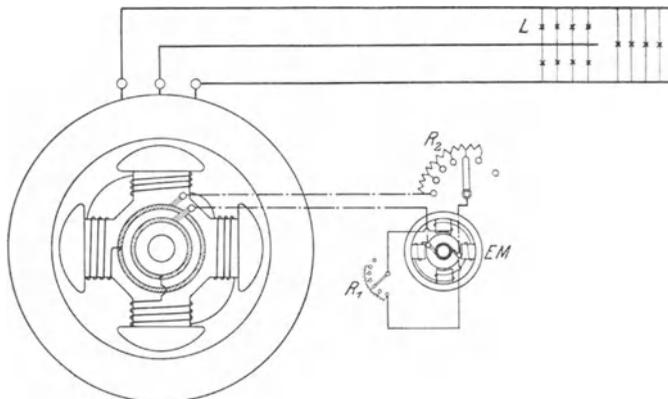


Fig. 100.

Man muß dann mit Hilfe des Reglers R_1 die Erregermaschine stärker erregen, so daß deren Spannung höher wird und sie einen stärkeren Strom durch die Magnetwicklung des Polrades der großen Maschine treibt. Meist besitzt der Regler R_1 nur einige wenige Kontakte, während mit dem Regler R_2 die feine Regulierung vorgenommen wird.

Während man bei Nebenschluß-Gleichstrommaschinen, wie noch gezeigt wird im Abschnitt X bei mehreren Maschinen, die gemeinsam auf das Netz arbeiten, die Belastung nach Willkür auf die einzelnen Maschinen mit Hilfe der Nebenschlußregler verteilen kann, läßt sich dieses bei Wechsel- und Drehstrommaschinen nicht mehr mit den Reglern ausführen, man muß vielmehr zu diesem Zweck, wie ebenfalls im Abschnitt X gezeigt werden soll, den Regulator der Kraftmaschine beeinflussen.

Ebenso wie man in neuerer Zeit Gleichstrommaschinen für direkte Kuppelung mit den außerordentlich rasch laufenden Dampfturbinen baut, so führt man für den gleichen Zweck auch Wechsel- und Drehstrommaschinen aus. Solche Maschinen erhalten dann wegen der hohen Umlaufszahl der Dampfturbinen (vergl. S. 86) nur sehr wenig Pole. Die Anker machen meist keine Schwierigkeit, wohl aber die Polräder, weil bei der hohen Umlaufszahl die Wickelung der Pole abfliegen würde; denn wenn man sie in der Weise ausführt, wie in Fig. 87 oder 88, dann kann man sie nicht mehr genügend sicher befestigen durch die Polschuhe, sondern man muß ganz besondere Befestigungsvorrichtungen anbringen. Die Wechsel- und Drehstrommaschinen lassen sich aber leichter für direkte Kuppelung mit Dampfturbinen ausführen als Gleichstrommaschinen, weil die Hauptschwierigkeit der letzteren, der Kollektor und das funkenfreie Arbeiten, bei ihnen fortfällt.

Erwähnen möchte ich noch, daß man ebenfalls neuerdings für Drehstrom auch sogenannte asynchrone Generatoren ausführt, Maschinen, welche aus den Drehfeldmotoren hervorgegangen sind. Sie besitzen keine Polräder und müssen, wenn ihre Leistung erhöht werden soll, mit höherer Geschwindigkeit laufen. Genaueres über diese Maschinen soll auf S. 121 im Abschnitt VII bei den Drehfeldmotoren gesagt werden. Diese asynchronen Maschinen müssen möglichst klein gebaut werden, also möglichst schnell laufen; sie dürften sich daher vielleicht noch einmal zur direkten Kuppelung mit Dampfturbinen ausbilden lassen.

VI. Motoren für Gleichstrom.

Im ersten Abschnitt schon haben wir unter den Wirkungen des elektrischen Stromes die Wirkung eines gleichgerichteten Stromes auf die Magnetnadel kennen gelernt, die in einer Kraftäußerung auf die Pole der Magnetnadel besteht. Der umgekehrte Fall hiervon ist das Prinzip des Gleichstromelektromotors, also die Wirkung von Magneten auf stromdurchflossene Drähte. In Fig. 101 ist schematisch ein Gleichstrommotor gezeichnet. Wir haben einen Magneten und

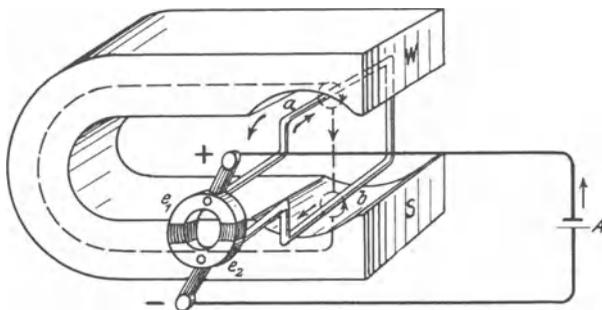


Fig. 101.

zwischen dessen Polen eine Drahtschleife, genau wie in Fig. 40. Nur leiten wir in Fig. 101 durch eine fremde Stromquelle, z. B. einen Akkumulator A , Strom zu den Bürsten $+ -$. Steht die Drahtschleife so, wie sie in Fig. 101 gezeichnet ist, dann würde sie durch die Bürste $+$ und die Lamelle l_1 einen Strom von der punktierten Pfeilrichtung, erhalten, und nach der Korkzieherregel (S. 25) würde dann um ihre Drähte $a b$ ein Kraftlinienfeld von der kreisförmig punktierten Richtung entstehen. Es entsteht aber dadurch, wie auch schon in den Fig. 66 und 65 gezeigt wurde und nochmals in Fig. 102 gezeichnet ist, an den Kanten A_1 und A eine Schwächung des Feldes und an den Kanten $B_1 B$ eine Verdichtung. Diese Störung

der Gleichförmigkeit des Feldes sucht sich dadurch wieder auszugleichen, daß der Draht nach der Seite zu gedrängt wird, an welcher die Schwächung auftritt, es dreht sich der Drahtbügel also in der Richtung des Pfeiles (Fig. 102), bis er in die Stellung gelangt ist, rechtwinklig zu der gezeichneten.¹⁾ Dann ist die Stromzufuhr unterbrochen, weil die Bürsten + — auf der Isolation zwischen den Lamellen stehen. Da aber, wie wir schon bei den Generatoren gesehen haben, nicht nur ein Drahtbügel, sondern (vergl. Fig. 64 und 54) eine große Anzahl, so stehen immer neue Drahtbügel oder Anker-
spulen in der störenden Stellung Fig. 102 und es kommt eine dauernde Drehung zustande. Außer der eben erwähnten, die Drehung verursachenden Feldverschiebung erleiden die Gleichstrommotoren natürlich ebenso wie die Generatoren eine Schwächung des Hauptfeldes durch die sogenannte Ankerückwirkung (vergl. Fig. 67).

Um einen Elektromotor in Betrieb zu setzen, muß man einen Anlaßwiderstand oder kurz Anlasser verwenden. Zur Erklärung desselben diene folgende Überlegung: Der Widerstand der Ankerwicklung einer elektrischen Maschine, gleichgültig

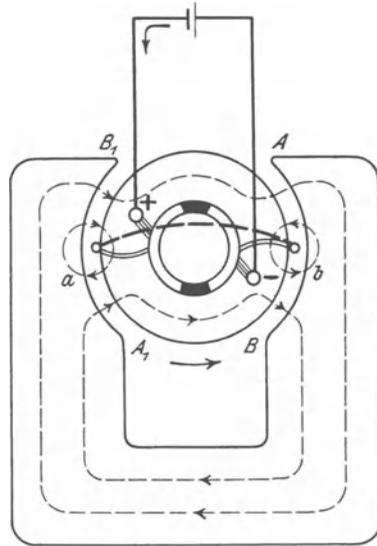


Fig. 102.

ob Motor oder Generator, ist stets sehr klein, z. B. beträgt er für einen Motor von 10 PS für 220 Volt etwa 0,1 Ohm und die normale Stromstärke für diesen Motor würde etwa 42 Amp. betragen. Schaltet man nun auf solch einen Anker 220 Volt, so erhält er nach dem OHMSchen Gesetz S. 11 einen Strom: $\frac{220}{0,1} = 2200$ Ampere, anstatt 42 Ampere, d. h. der Anker würde verbrennen. Um dies zu vermeiden, müssen wir einen abstufbaren Widerstand, den Anlasser *W* nach Fig. 103 vor den Anker schalten. In Fig. 103 ist ein Nebenschlußmotor gezeichnet. Man führt im allgemeinen Nebenschluß-

¹⁾ Vergl. hierüber auch die spätere Fig. 111.

und Hauptstrommotoren aus, deren Schaltung ebenso ist, wie die entsprechende der Generatoren.

Der in Fig. 103 gezeichnete Anlasser besteht aus der Kurbel K , die über die Kontakte hinweggedreht werden kann. Steht diese Kurbel auf den schwarzen Schienen, dann ist der Motor ausgeschaltet. Will man ihn anlassen, so dreht man die Kurbel langsam von Kontakt 1 bis auf den Kontakt 5 (es sind 5 Kontakte gezeichnet, ihre Zahl kann natürlich auch eine andere sein). Hierbei gelangt die Kurbel zuerst auf die Schiene S , so daß ein Strom von $+$ durch S nach k durch die Magnetwicklung hindurch nach K_2 und $-$ fließen kann:

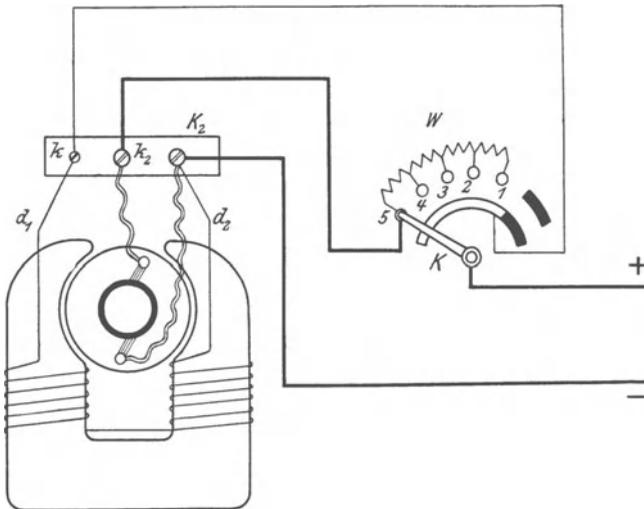


Fig. 103.

es werden also zunächst die Magnete sogleich voll erregt. Kommt dann die Kurbel auf den Kontakt 1, so fließt von $+$ ein zweiter Strom durch die Kurbel nach 1, durch den ganzen Widerstand W bis 5, nach k_2 durch den Anker nach K_2 und $-$. Da die Magnete schon erregt sind, so wird der Anker, falls der Widerstand W so berechnet ist, daß der Ankerstrom etwas stärker ist als der normale Strom (in unserem Falle vielleicht 50 Amp. anstatt 42), sich langsam drehen. Bei diesem langsamen Drehen entsteht aber in der Wicklung des Ankers eine elektromotorische Kraft; denn immer, wenn sich Leiter in einem Kraftlinienfeld bewegen, erhalten wir in den Leitern elektromotorische Kräfte, also auch hier. Um die Richtung dieser

elektromotorischen Kraft zu bestimmen, wenden wir die Handregel Seite 38 an. Danach erhalten wir in Fig. 102 z. B. im Draht a , eine elektromotorische Kraft, die von hinten nach vorn gerichtet ist, also gerade entgegengesetzt wie der Strom, den die Spannung durch den Anker treibt, an welche der Motor angeschlossen ist.

Man nennt deshalb diese elektromotorische Kraft die gegen-elektromotorische Kraft des Motors. Diese gegen-elektromotorische Kraft wird so groß, daß der normale Strom, bei uns also 42 Amp., durch den Anker geht; solange ein stärkerer Strom hindurch geht, nimmt die Geschwindigkeit des Ankers noch zu und damit auch die gegen-elektromotorische Kraft. Der Strom, der durch den Anker geht, ist nach dem OHMSchen Gesetz:

$$\text{Ankerstrom} = \frac{\text{Spannung} - \text{gegen-elektromotorische Kraft}}{\text{Anlaßwiderstand} + \text{Ankerwiderstand}}.$$

Schalten wir nun die Kurbel weiter auf Kontakt 2, so hat der Anker vom Kontakt 1 her schon eine bestimmte gegen-elektromotorische Kraft; da aber sein vorgeschalteter Widerstand W kleiner geworden ist, weil das Stück Widerstand zwischen 1 und 2 abgeschaltet ist, so erhält der Motor jetzt wieder einen stärkeren Stromstoß, d. h. seine Geschwindigkeit nimmt weiter zu, bis dadurch seine gegen-elektromotorische Kraft ebenfalls so weit gestiegen ist, daß wieder der normale Strom hindurch geht usw., bis schließlich auf dem letzten Kontakt 5 die normale Umdrehungszahl des Motors erreicht ist.¹⁾

Jetzt kann natürlich nicht mehr ein zu starker Strom durch den Anker fließen, weil im Anker durch die Drehung der Drähte in dem Magnetfelde eine gegen-elektromotorische Kraft entsteht. In unserem Beispiel soll der Motor normal mit 42 Amp. arbeiten bei 220 Volt und 0,1 Ohm Ankerwiderstand. Da auf Kontakt 5 der Anlaßwiderstand W abgeschaltet ist, so können wir nach dem OHMSchen Gesetz berechnen, daß die Spannung, die 42 Amp. durch 0,1 Ohm treibt, sein muß: $e = 42 \times 0,1 = 4,2$ Volt. Da wir aber 220 Volt Betriebsspannung haben, so entsteht im Anker bei der Drehung eine gegen-elektromotorische Kraft von $220 - 4,2 = 215,8$ Volt.

¹⁾ Die Berechnung der Stufung, Stufenzahl und Anlaufstromstärke richtet sich nach den Betriebsverhältnissen des Motors und erfolgt nach bestimmten Gesetzen. Genaueres darüber siehe das kleine Buch des Verfassers: „Anlasser und Regler usw.“ Verlag von JULIUS SPRINGER in Berlin.

Wollen wir nun untersuchen, wie sich der Nebenschlußmotor im Betriebe verhält. Wird er stärker belastet, so muß er, damit er besser durchzieht, mehr Strom erhalten. Das kann er nur, wenn seine gegenelektromotorische Kraft abnimmt; diese hängt aber ab von der Stärke des Feldes und der Umdrehungsgeschwindigkeit; da das Feld immer dieselbe Stärke behält beim Nebenschlußmotor (unter Vernachlässigung der nur wenige Prozent betragenden Ankerrückwirkung), so muß also der Motor langsamer laufen, wenn er stärker belastet wird. Um zu erkennen, wieviel seine Tourenzahl abnimmt, rechnen wir am besten wieder. Die normale Umlaufzahl des Motors sei 1000 in der Minute. Der Motor werde nun stärker belastet, und zwar wollen wir eine ganz starke Überlastung annehmen, die in Wirklichkeit kaum vorkommen dürfte, nämlich 60 Amp. Damit er 60 Amp. erhält, müßte die Spannung betragen: $e = 60 \cdot 0,1 = 6$ Volt und seine gegenelektromotorische Kraft demnach $220 - 6 = 214$ Volt. Da nun die gegenelektromotorischen Kräfte genau sich verhalten wie die Tourenzahlen und bei 1000 Touren 215,8 Volt gegenelektromotorische Kraft vorhanden waren, so sind jetzt: $1000 \cdot \frac{214}{215,8} = 993$. Die Tourenzahl hat also abgenommen um 7 Umdrehungen, also 0,7%. In Wirklichkeit wird sie sogar noch weniger abnehmen, weil durch den stärkeren Ankerstrom das Feld geschwächt wird und bei einem schwächeren Felde der Anker sich doch wieder etwas schneller drehen müßte, damit er seine erforderliche gegenelektromotorische Kraft erzeugt. Man kann hieraus folgern:

Der Nebenschlußmotor ändert praktisch seine Tourenzahl nicht bei Belastungsänderungen.

Bezüglich der Anlasser für Nebenschlußmotoren ist noch zu bemerken, daß die Schaltung in Fig. 103 veraltet ist. Eine moderne Schaltung zeigt Fig. 104. Es sind dort zugleich einige Schutzvorrichtungen angebracht, die ebenfalls erklärt werden sollen. Der Widerstand des Anlassers, der zwischen den Kontakten liegt, besteht aus Drahtspiralen, die aber so dünn sind, daß sie den Strom nur kurze Zeit während des Anlassens (höchstens 30 Sek.) aushalten können. Man darf deshalb die Kurbel nur entweder auf Ausgeschaltet oder ganz auf Eingeschaltet stehen lassen. Die Zwischenkontakte sind nur vorübergehend zu benutzen. Da die Elektromotoren aber von Leuten bedient werden müssen, die der Elektrotechnik unkundig sind, so muß man die Anlaßvorrichtung so ausführen, daß Irrtümer

ausgeschlossen sind. Durch Anordnung einer Feder f (Fig. 104) wird zunächst erreicht, daß die Kurbel immer selbsttätig auf Ausgeschaltet gezogen wird, wenn man sie stehen läßt, bevor sie auf den letzten Kontakt 4 gedreht ist; es können also die Widerstandspiralen nicht verbrennen. Damit die Kurbel auf dem letzten Kontakt 4 nicht durch die Feder zurückgezogen werden kann, bringt man einen kleinen Magneten m dort an, der die Kurbel festhält. Dieser Magnet ist mit der Magnetwicklung des Motors hintereinandergeschaltet; er kann also nur die Kurbel festhalten, wenn die Magnete des Motors erregt sind. Schaltet man mit dem Hebel H z. B. aus, so verliert der ganze Motor seinen Strom und der kleine Magnet m

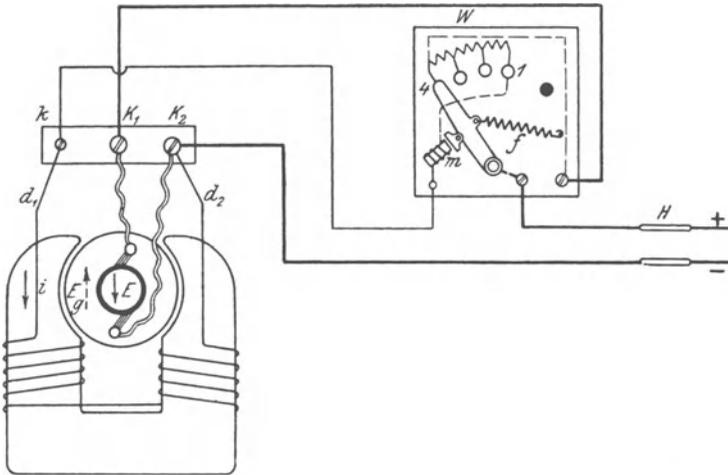


Fig. 104.

demnach auch: es schaltet sich also der Anlasser von selbst aus, was bei der Schaltung in Fig. 103 nicht eintritt. Würde man dort mit einem Hebel in der $+ -$ Leitung ausschalten und vergessen, die Kurbel des Anlassers zurückzudrehen, so erhielte man beim neuen Einschalten mit dem Hebel den für den Anker viel zu starken Strom, wie Seite 107 schon gesagt wurde, weil man dann so einschaltet, als ob kein Anlasser vorhanden wäre. Ferner ist die Schaltung in Fig. 104 noch von Vorteil gegenüber der in Fig. 103, weil sie funkenloses Ausschalten des Motors bewirkt. Schaltet man in Fig. 103 aus, dann entsteht beim Abgleiten der Kurbel von der Schiene S ein starkes Feuer, welches dadurch zustande kommt, daß

das Kraftlinienfeld der Maschine verschwindet und hierbei eine Extraspannung entsteht (vergl. Seite 31). Dieses Feuer, welches wir noch später als Lichtbogen kennen lernen werden, besitzt eine außerordentlich hohe Temperatur, und wenn es zwischen Metallen längere Zeit stehen bleibt, schmelzen diese. Es wird also durch dieses Feuer die Schiene des Anlassers allmählich zerstört, wenn man nicht Hilfskontakte aus Kohle anwendet. Dann aber wird durch die Extraspannung beim Ausschalten sehr leicht die Isolierung der Magnetspulen des Motors durchschlagen, besonders wenn man schnell ausschaltet. Alles dieses wird unmöglich bei der Schaltung in Fig. 104. Schaltet man hier aus, so muß es zunächst immer mit dem Hebel geschehen, schon deshalb, weil man mit der Hand die Kurbel nicht so leicht von dem Magneten abreißen kann. Durch das Ausschalten verschwindet die Spannung E . Der Motor läuft aber noch infolge des Schwunges, den er besitzt, etwas nach und es verschwindet hierbei sein Feld nur ganz langsam, ganz unabhängig davon, ob man den Hebel schnell oder langsam ausschaltet; denn es ist noch die punktierte gegenelektromotorische Kraft E_g wirksam, die, wie wir sahen, ganz wenig schwächer ist als die Betriebsspannung E , und diese kann, da die Magnetwicklung immer noch mit dem Anker verbunden ist, weiter einen Strom i durch die Magnetwicklung treiben von derselben Richtung und auf von fast genau derselben Stärke wie vorher die Spannung E . In dem Maße, wie die Tourenzahl des Motors abnimmt, nimmt auch die Stromstärke i ab, weil E_g dann ebenfalls immer schwächer wird. Schließlich kann der Magnet m nicht mehr halten und die gespannte Feder f zieht die Kurbel auf Ausgeschaltet in die punktierte Stellung. Aber auch dann ist die Verbindung zwischen Anker und Magnetwicklung nicht unterbrochen. Es wird daher bei der Schaltung in Fig. 104 der Magnetstrom gar nicht plötzlich ausgeschaltet, und das Kraftlinienfeld verschwindet ganz allmählich, so daß keine schädliche Extraspannung entstehen kann. Es ist also ein Anlasser nach dem Schema Fig. 104, dessen Äußeres Fig. 105 zeigt, geeignet, ganz unkundigen Leuten in die Hände gegeben zu werden: eine Bedingung, die der Konstrukteur bei solchen Anlassern unbedingt erfüllen muß, weil das Wohl und Wehe des Motors vom Anlasser und seiner Bedienung sehr abhängig ist. Bei dem Schema Fig. 104 ist, wenn die Kurbel auf Kontakt 4 steht, der Widerstand W des Anlassers vor die Magnete geschaltet; aber da der Anlaßwiderstand stets sehr klein ist gegen den Wider-

stand der Magnetwicklung, so ist diese Schaltung weiter kein Nachteil.

Etwas einfacher noch ist die Schaltung zum Anlassen der Hauptstrommotoren. Sie ist gezeichnet in Fig. 106 und bedarf nach dem bisher Gesagten keiner weiteren Erläuterung. Beim Ausschalten eines Hauptstrommotors kann keine so hohe Extraspannung entstehen, weil seine Magnete viel weniger Windungen besitzen als ein Nebenschlußmotor; man braucht deshalb auch keine solchen Schutzvorrichtungen anzuwenden, wie bei diesen.

Im Betrieb verhält sich der Hauptstrommotor ganz anders als der Nebenschlußmotor. Selbstverständlich entsteht auch im Anker des Hauptstrommotors eine gegenelektromotorische Kraft. Wenn der Motor stark belastet ist, dann fließt auch ein starker Strom durch

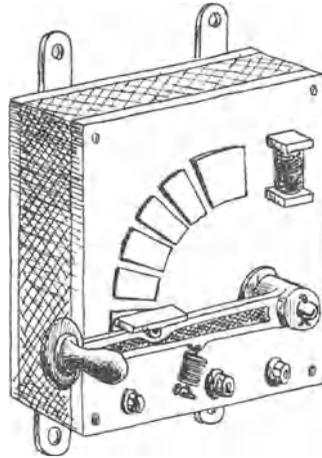


Fig. 105.

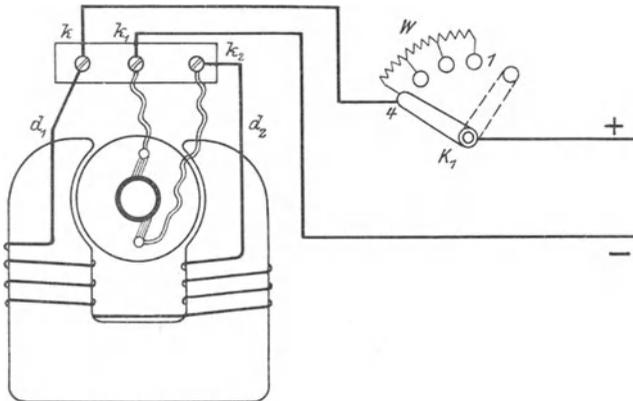


Fig. 106.

die Magnetwicklung, denn sie ist mit dem Anker hintereinander geschaltet. Es ist demnach bei starker Belastung des Motors auch ein starkes Kraftlinienfeld vorhanden und die Umlaufzahl des Motors

ist klein, denn bei einem starken Feld gehört zur Erzeugung der erforderlichen gegenelektromotorischen Kraft, die nur wenig von der Betriebsspannung verschieden ist, eine geringe Tourenzahl. Ist dagegen der Hauptstrommotor wenig belastet, so läuft er schnell, denn er braucht dann nur wenig Strom, hat also ein schwaches Feld und muß schnell laufen, um die erforderliche gegenelektromotorische Kraft zu erzeugen. Es läuft also der Hauptstrommotor bei starker Belastung langsam und bei schwacher Belastung schnell.

Aus dem Verhalten der Motoren ergibt sich auch ihr Verwendungsgebiet. Der Nebenschlußmotor wird zum Antrieb von Werkzeugmaschinen in Fabriken usw. verwendet und allgemein dort, wo häufige und plötzliche Änderungen in der Belastung vorkommen und sich deswegen die Tourenzahl nicht ändern darf. Der Haupt-

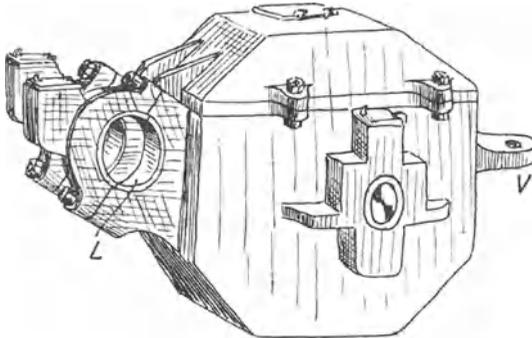


Fig. 107.

strommotor wird zum Antrieb von Pumpen und Ventilatoren verwendet, wo sich die Belastung nicht ändert, oder als Motor zum Heben von Lasten und als Straßen- und Eisenbahnmotor, wobei er beim Anfahren des Wagens oder des Zuges langsam läuft und mit starkem Felde und starkem Strom, demnach starker Zugkraft arbeitet und, wenn der Zug in Bewegung gesetzt ist, schnell läuft. Will man die Drehrichtung eines Motors umkehren, so muß man entweder den Strom im Anker oder den Strom in der Magnetwicklung umkehren. Sowohl in Fig. 106 als in Fig. 104 und 103 laufen die Motoren entgegengesetzt herum, wenn man die Drähte $d_1 d_2$ vertauscht.

Das Äußere der Elektromotoren weicht von dem der Generatoren nicht ab, nur kommen als Elektromotore mehr die Typen nach Fig. 59 in Frage und selten die großen Maschinen nach Fig. 61.

Für besondere Zwecke werden allerdings die Motoren in ganz andere Formen gebracht als die normalen. Dies ist z. B. bei Straßenbahn- und Eisenbahnmotoren der Fall. Für diese Zwecke müssen die

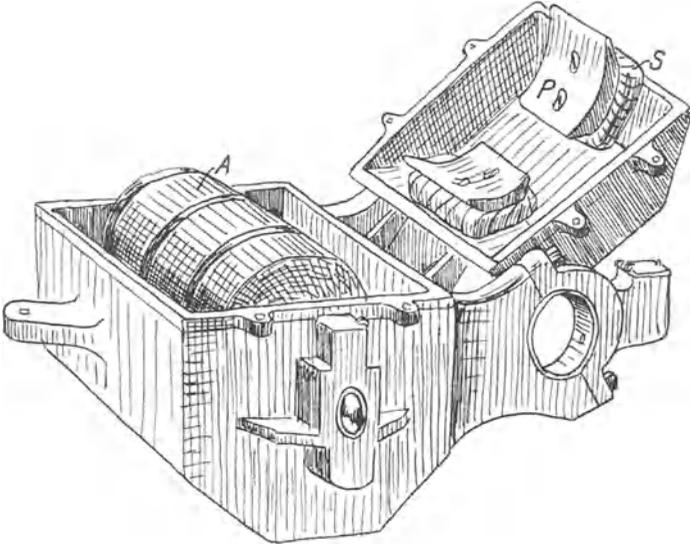


Fig. 108.

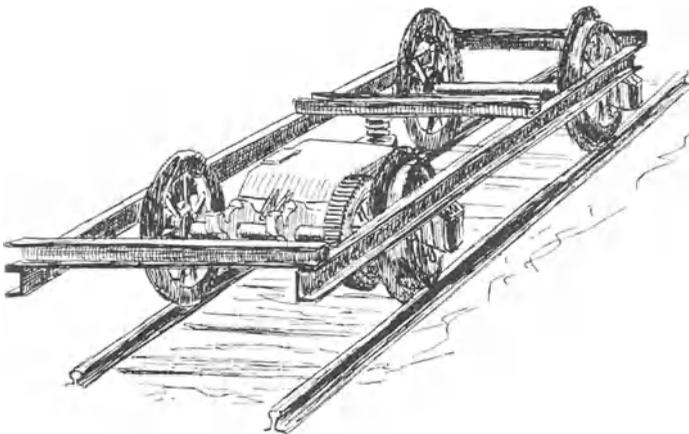


Fig. 109.

Motoren unter dem Wagen angebracht werden können und staub- und zum Teil wasserdicht sein; dabei müssen sie aber doch ventiliert sein, damit sie ihre Wärme gut abgeben können, und dann sollen sie leicht sein. Es treten also bei der Konstruktion dieser Motoren allerlei Schwierigkeiten auf, die der moderne Elektromaschinenbau aber gelöst hat. In Fig. 107 ist ein Straßenbahnmotor gezeichnet, der in Fig. 108 geöffnet ist. Man erkennt in dieser Figur die Pole mit den Polschuhen P und den Magnetspulen S ; A ist der Anker. Der Motor wird so aufgehängt an dem eisernen Untergestell der Wagen, daß die Laufradachse durch die Lager L hindurchgeht, während er mit dem Vorsprung V an dem Untergestell federnd befestigt ist, wie man noch besser an Fig. 109 erkennen kann, woselbst auch die Zahnradübertragung vom Motor auf die Laufachse sichtbar ist, die in Wirklichkeit natürlich vor Staub durch eine Kapsel geschützt ist.

VII. Motoren für Wechsel- und Drehstrom.

Ebenso wie wir die Gleichstrom-Generatoren als Motoren arbeiten lassen können, wenn wir ihnen durch eine fremde Stromquelle Strom zuführen, wie wir im vorigen Abschnitt sahen, so können wir auch die im V. Abschnitt behandelten Wechsel- und Drehstrom-Generatoren als Motoren arbeiten lassen.

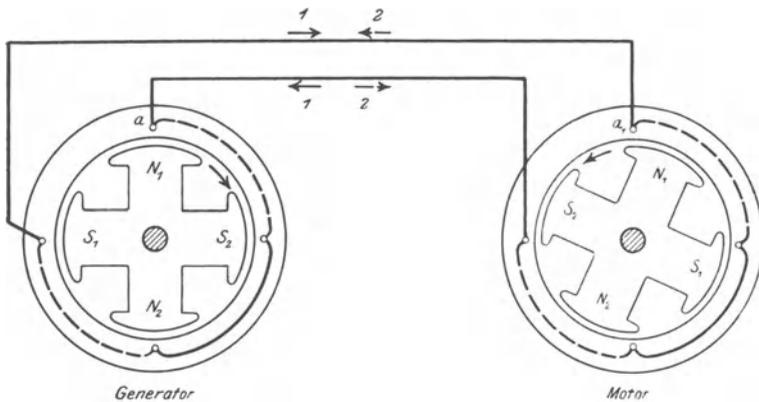


Fig. 110.

Wir haben dann sogenannte **synchrone Motoren**. Der Ausdruck synchron bedeutet, daß diese Motoren in gleichem Takt mit dem Generator laufen müssen. Die Wirkungsweise dieser Synchronmotoren geht aus Fig. 110 hervor, wobei bemerkt werden muß, daß es gleichgültig ist, ob wir einphasigen Wechselstrom oder mehrphasigen betrachten. In Fig. 110 ist einphasiger Wechselstrom angenommen. Bei der gezeichneten Drehrichtung des Stromerzeugers (Generators) entsteht augenblicklich (vergl. S. 38) in dem Draht *a* des Generators eine elektromotorische Kraft von vorn nach hinten

gerichtet, folglich hat der Strom die Richtung des Pfeiles 1. Wegen der Phasenverschiebung zwischen elektromotorischer Kraft und Strom entsteht aber der Strom erst später als die elektromotorische Kraft, so daß das Polrad sich schon etwas weiter gedreht hat, als gezeichnet ist. Leiten wir nun den Wechselstrom in den Motor ein, welcher, wie schon gesagt wurde und wie auch aus der Fig. 110 hervorgeht, genau so ausgeführt ist als wie der Stromerzeuger, so wird von den stromdurchflossenen Drähten der Wicklung des Motors eine Kraft auf sein Magnetfeld ausgeübt. Um das Zustandekommen dieser Kraft noch besser zu erklären, ist Fig. 111 gezeichnet. In Fig. 111 I fließe der Strom im Draht von vorn nach hinten. Dann entsteht um den Draht das kreisförmige Kraftlinienfeld, dessen Richtung nach der Korkzieherregel (S. 25) bestimmt ist. Von dem

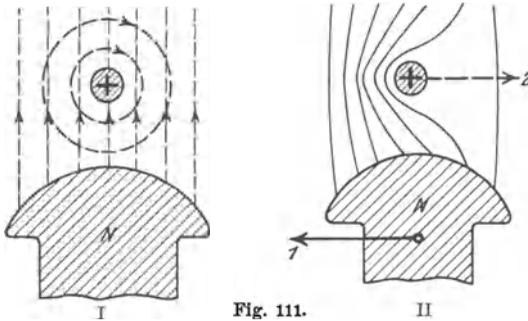


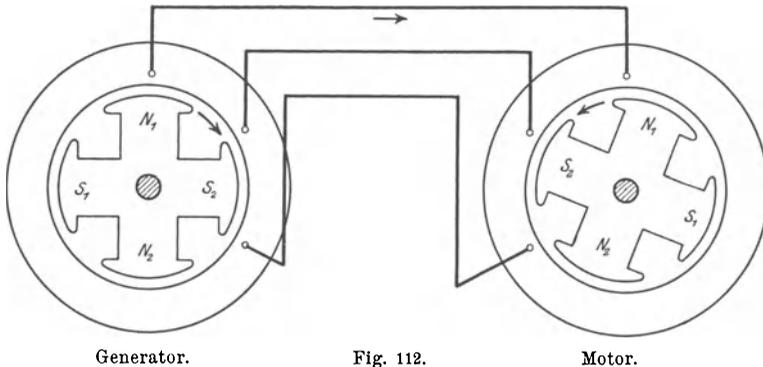
Fig. 111.

Pol N unter dem Draht gehen die geradlinig gezeichneten Kraftlinien aus. Man erkennt, daß rechts von dem Draht das Stromfeld und das Feld des Poles entgegengesetzt gerichtet sind, sich also zum

großen Teil aufheben werden; dagegen wird links von dem Draht eine Verstärkung des Feldes eintreten. Das infolge dieser gegenseitigen Beeinflussung beider Felder entstehende wirkliche Feld wird demnach die Verteilung in Fig. 111 II aufweisen. Da aber die Kraftlinien bestrebt sind, die ungleichmäßige Verteilung wieder gleichförmig zu gestalten, so muß entweder der Draht in der Richtung 2 oder der Pol in der Richtung 1 ausweichen. Bei einer Wechselstrommaschine ist aber der Draht an dem feststehenden Anker untergebracht, folglich muß sich der Pol drehen, und in Fig. 110 ergibt sich die gezeichnete Drehrichtung des Polrades für den Motor. Man erkennt aber auch, daß der Pol S_1 in Fig. 110 ebenso rasch an die Stelle von N_1 getreten sein muß, als der Strom in dem Motor seine Richtung gewechselt hat, daß also bei jedem Stromwechsel das Polrad sich um einen Pol weiter gedreht haben muß. Hieraus ist zunächst zu ersehen, daß ein stillstehender

Synchronmotor nicht von selbst anlaufen kann, und weiter, daß ein im Betriebe befindlicher Motor nicht überlastet werden kann; denn dadurch würde er beginnen langsamer zu laufen und schließlich müßte er stehen bleiben, denn es kann nur dann eine dauernde Drehung des Polrades eintreten, wenn, wie soeben gesagt wurde, die Umdrehungszahl in bestimmtem Verhältnis zur Stromwechselzahl steht.

Da die Motoren nicht von selbst anlaufen, so müssen sie zunächst erst künstlich in Gang versetzt werden. Es geschieht das mit Hilfe der Erregermaschine, welche nach Fig. 98 oder 99 direkt mit der Maschine gekuppelt ist und die dann als Gleichstrommotor läuft. Es können also Synchronmotoren nur dort verwendet werden, wo z. B. eine Akkumulatorenbatterie oder eine sonstige Stromquelle



für die Erregermaschine vorhanden ist; ihr Verwendungsgebiet ist demnach sehr beschränkt. Außerdem erfordert das Einschalten eines Synchronmotors noch einen Apparat, welcher den Maschinisten anzeigt, wann die Stellung des Polrades und die Umlaufzahl desselben die richtige zum Einschalten des Stromes vom Generator aus ist. Solch ein Apparat heißt Synchronismusanzeiger, er soll noch im Abschnitt X beschrieben werden.

In Fig. 112 ist der Vollständigkeit wegen auch noch eine Arbeitsübertragung zwischen zwei Drehstrommaschinen gezeichnet, deren Wicklung nach Fig. 80 oder 83 ausgeführt sein kann.

Die Wirkungsweise des synchronen Drehstrommotors ist natürlich genau die gleiche als die des synchronen Wechselstrommotors. In den Fig. 110 und 112 ist stets das Polrad des Motors

noch vor dem Draht befindlich gezeichnet, während das Polrad des Generators sich gerade unter einem Draht befindet; z. B. steht in Fig. 110 der Pol N_1 des Generators gerade unter dem Draht a , während N_1 des Motors noch vor a_1 steht. Diese Verdrehung der Polräder gegeneinander rührt her von der Phasenverschiebung zwischen Strom und elektromotorischer Kraft. Es entsteht, wie schon auf S. 31 auseinandergesetzt wurde, der Strom später als die elektromotorische Kraft, daher muß das Polrad des Motors noch vor dem Draht stehen, wenn das des Generators schon unter demselben steht.

Aus der vorstehend erwähnten Tatsache, daß das Polrad sich so schnell drehen muß, daß es gerade um die Polteilung sich verschoben hat, wenn der Strom seine Richtung wechselt, folgt, daß ein Synchronmotor genau dieselbe Umlaufzahl haben muß als der den Wechselstrom liefernde Generator. Hat der Motor weniger Pole, so läuft er schneller als der Generator. Nehmen wir einen Generator an, der 80 Stromwechsel in der Sekunde erzeugt, mit 8 Polen, so muß dessen Polrad sich in der Sekunde 10 mal herumdrehen, also der Generator eine Umlaufzahl von $10 \times 60 = 600$ in der Minute haben. Der Synchronmotor, welcher durch den Strom dieses Generators betrieben wird, möge nur 6 Pole besitzen. Da der Strom 80 mal in der Sekunde wechselt, so muß das Polrad des Motors sich um $\frac{1}{6}$ seines Umfanges (Polteilung) in $\frac{1}{80}$ Sekunde gedreht haben, also in 1 Sekunde $\frac{80}{6}$ und in der Minute $\frac{80 \cdot 60}{6} = 800$ Umdrehungen machen. Auf diese Weise läßt sich aus der Wechselzahl des Stromes und der Polzahl des Synchronmotors stets leicht die Umlaufzahl berechnen, die der Motor machen muß und die man die „synchrone“ bezeichnet. Wird ein Synchronmotor überlastet, dann sinkt seine Umlaufzahl unter die synchrone Umlaufzahl herab und der Motor kann nicht mehr weiter laufen; er fällt aus dem Tritt, wie der dafür übliche Fachausdruck lautet, und bleibt dann stehen.

Da die Synchronmotoren eine Erregermaschine nötig haben und nur umständlich in Gang gesetzt werden können, so ist klar, daß man sie nur für große Leistungen ausführen kann, z. B. wenn es sich darum handelt, eine vorhandene Wasserkraft an einem entfernten Ort auszunutzen. Man treibt dann durch die Wasserkraft einen Hochspannungs-Generator an, dessen Strom fortgeleitet wird bis zu dem Ort, wo er verwendet werden soll. Dort leitet man ihn

in einen Synchronmotor, der dann Gleichstrommaschinen antreibt, deren Energie zu Licht- und Arbeitszwecken weiter verteilt wird.

Für Motoren, die zum Antrieb von Werkzeugmaschinen, Pumpen und dergleichen dienen, die also für kleinere Leistungen bestimmt

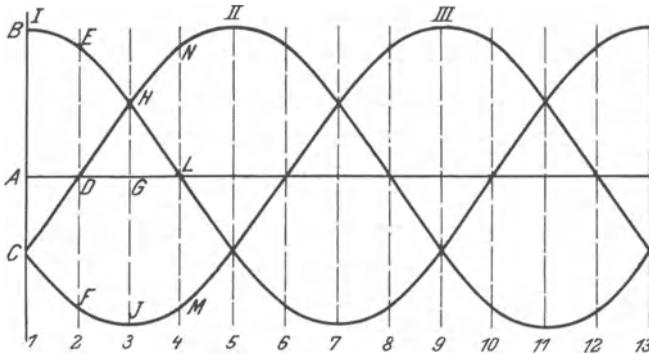


Fig. 113.

sind und häufig ein- und ausgeschaltet werden, kann man keine Synchronmotoren anwenden. Hierfür sind die **asynchronen Motoren** geeignet, die aber außerdem, wie sogleich bemerkt werden muß, auch für sehr große Leistungen ohne weiteres geeignet sind, sogar neuerdings häufiger angewendet werden als die Synchronmotoren, denn sie können ohne Umständlichkeit ein- oder ausgeschaltet werden, sie brauchen keine Erregermaschine und bleiben bei Überlastung nicht so leicht stehen als die Synchronmotoren.

Die einfachsten asynchronen Motoren sind diejenigen, die durch zweiphasigen oder dreiphasigen Wechselstrom betrieben werden und die man kurzweg meist als Drehstrommotoren, richtiger Drehfeldmotoren bezeichnet. Zur Erklärung ihrer Wirkungsweise muß zunächst die Erscheinung des Drehfeldes erklärt werden. Dazu dienen die Fig. 113, 114 und 115. In Fig. 113 sind zunächst noch einmal

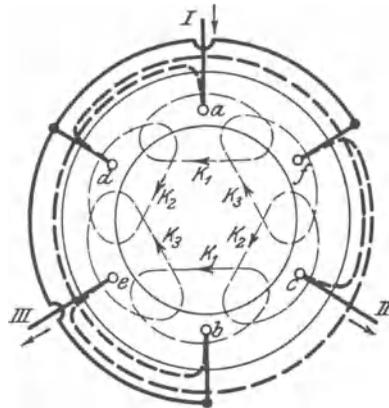


Fig. 114.

drei um 120° in der Phase verschobene Ströme gezeichnet (vergl. Seite 89). In Fig. 114 ist eine sogenannte Feldwicklung eines

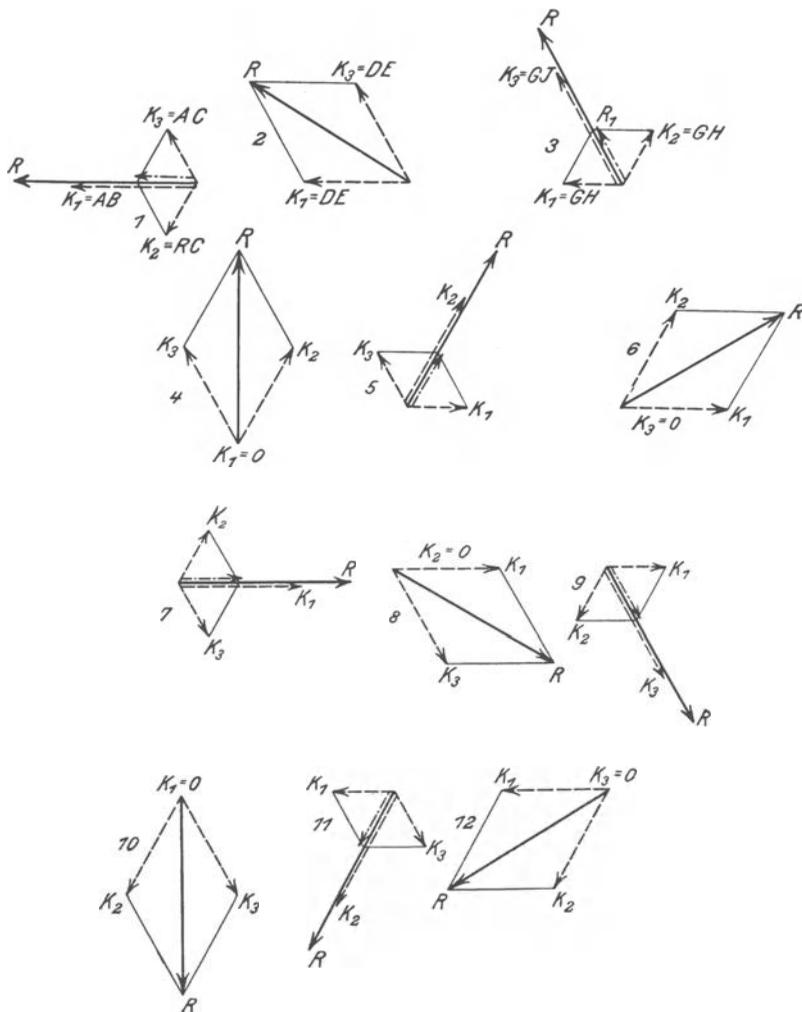


Fig. 115.

Drehfeldmotors gezeichnet, welche aber genau ausgeführt wird wie der Anker einer Drehstrommaschine, also z. B. wie Fig. 91 zeigt. Greifen wir nun den in Fig. 113 mit 1 bezeichneten Augen-

blick heraus. Der Strom I soll in den in Fig. 114 mit I bezeichneten Draht eintreten, dann würde in dem Draht a der Strom von vorn nach hinten fließen und in dem mit ihm verbundenen Draht b wieder von hinten nach vorn. Nach der Korkzieherregel (Seite 25) bildet sich um beide Drähte ein Feld K_1 . Der Strom II hat, wie aus Fig. 113 hervorgeht, ebenso wie der Strom III in dem Augenblick I entgegengesetzte Richtung wie I , folglich wird in Fig. 114 im Draht c und im Draht e der Strom von hinten nach vorn fließen und in den beiden Drähten d und f von vorn nach hinten. Es entstehen dann um die Drähte c und d die Kraftlinien K_2 und um die Drähte e und f die Kraftlinien K_3 . Selbstverständlich können nicht 3 Felder gleichzeitig vorhanden sein, sondern es muß aus allen 3 Feldern ein einziges wirksames Feld übrig bleiben, die sogenannte Resultierende, deren Größe und Richtung von der Größe und Richtung der einzelnen 3 Felder abhängt. Nun ändert sich Größe und Richtung der Felder genau wie die Ströme bei Drehstrommaschinen; folglich können wir die Kurven in Fig. 113 auch als Kurven der 3 Felder auffassen. Fassen wir die beiden in Fig. 114 gezeichneten Kraftlinienkreise K_1 zu einem einzigen zusammen und zeichnen es in Fig. 115 ein, indem wir seine Richtung aus Fig. 114 und seine Größe aus Fig. 113 entnehmen. Im Augenblick 1 ist die Größe des Feldes $K_1 = AB$, die Felder K_2 und K_3 sind beide gleich AC . Wir setzen nun zunächst die Felder K_2 und K_3 zusammen zu dem resultierenden Feld R_1 . Dieses hat gleiche Richtung mit dem Felde K_1 , folglich wird ein wirksames Feld R vorhanden sein $K_1 + R_1$; im Punkt 2 Fig. 113 ist das Feld II null, $K_1 = DE$ und $K_3 = DF$, wir erhalten demnach in Fig. 115 2 aus K_1 und K_3 das wirksame Feld R .

Im Punkt 3 Fig. 113 ist $K_1 = GH$, $K_2 = GH$ und $K_3 = GJ$; da aber K_2 nach oben liegt, also positiv geworden ist, müssen wir in Fig. 115 3 K_2 nach der entgegengesetzten Seite auftragen als in Fig. 115 1 . Es setzt sich zunächst aus K_2 und K_1 das resultierende Feld R_1 zusammen, welches zu K_3 addiert wird und dann das wirksame Feld R bildet. Führt man die Konstruktion in der angegebenen Weise nacheinander für die Punkte $1, 2, 3$ bis 12 durch, so erhält man, wie in Fig. 115 zu erkennen ist, ein wirksames Feld R von stets derselben Stärke, dessen Lage aber fortwährend wechselt, und zwar führt es eine drehende Bewegung aus, daher auch der Name „Drehfeld“ (vergl. die Bemerkung Seite 98; das Rückwirkungsfeld eines Drehstromgenerators ist ein Drehfeld, dessen Stärke nicht

schwankt). Für den Punkt 13 in Fig. 113 würde man wieder dasselbe Bild erhalten wie für Punkt 1; nun liegen aber Punkt 1 und Punkt 13 um 2 Stromwechsel voneinander entfernt, es hat sich also bei der Wickelung nach Fig. 114 das Feld nach 2 Stromwechseln einmal herumgedreht. Es läßt sich hiernach leicht ausrechnen, wie groß die Drehgeschwindigkeit des Feldes in der Minute ist.

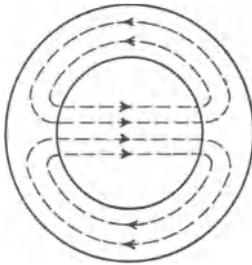


Fig. 116.

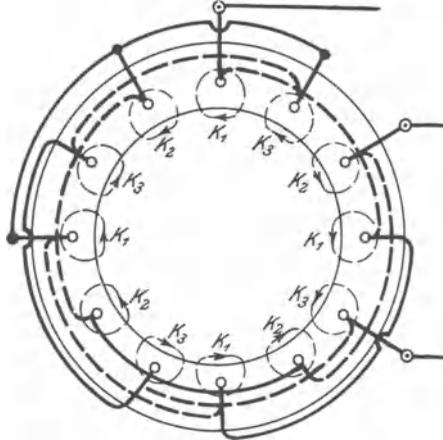


Fig. 117.

Es sei z. B. die Zahl der Stromwechsel 80 in der Sekunde, dann würde das Drehfeld also in der Sekunde 40 Umdrehungen und in

der Minute $60 \times 40 = 2400$ Umdrehungen machen. Diese hohe Zahl kann man aber nicht in der Praxis anwenden, und um sie zu erniedrigen, macht man die Wickelung nicht zweipolig, sondern stets vierpolig und bei größeren Motoren sechs- und mehrpolig. Die Wickelung in Fig. 114 ist zweipolig, weil das wirksame Feld nach Fig. 116 dieselbe Form hat wie bei einem zweipoligen Magnetrad. Eine vierpolige Wickelung zeigt Fig. 117,

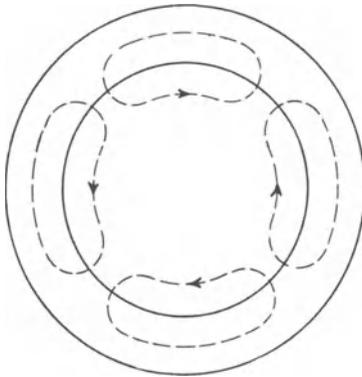


Fig. 118.

deren wirksames Feld die Verteilung nach Fig. 118 besitzt, weil sich die Felder K_1 , K_2 , K_3 in Fig. 117 in dieser Weise zusammensetzen. Auch dieses Feld dreht sich, wie man leicht erkennen kann aus Fig. 119. In Fig. 119 entspricht 1 dem Punkt 1 in Fig. 113, während 3 dem Punkt 3 und 5 dem Punkt 5 in Fig. 113 entsprechen.

Im Punkt 3 hat sich das Feld K_2 umgekehrt, im Punkt 5 das Feld K_1 ebenfalls. Berücksichtigt man dies in der Weise, wie Fig. 119 zeigt, so erkennt man, daß das wirksame resultierende Feld sich ebenfalls dreht. Auch seine Umlaufgeschwindigkeit erkennt man aus Fig. 119; denn wenn man in der dort angegebenen Weise fortfährt, so hätte sich das Feld bei Punkt 7 um 90° gegen die Lage bei 1 verschoben, demnach bei Punkt 13 um 180° , also eine halbe Umdrehung ausgeführt bei zwei Stromwechsleln. Es wird sich demnach bei einer

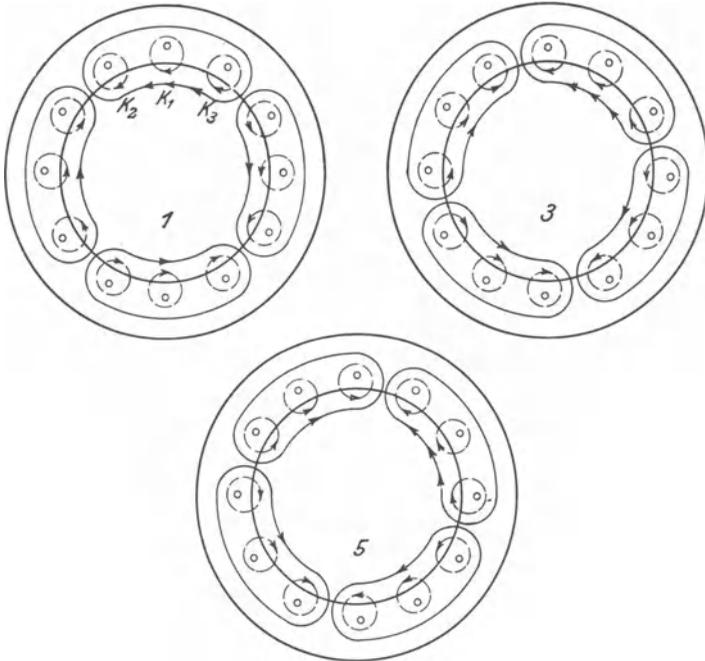


Fig. 119.

vierpoligen Wicklung das Feld nur noch halb so schnell drehen als bei einer zweipoligen, bei einer sechspoligen Wicklung nur noch $\frac{1}{3}$ so schnell usw. Die Anwendung des Drehfeldes auf die Motoren ist dann mit Hilfe von Fig. 120 erklärt. Man führt in die Bohrung des Feldes einen auf einer Welle befestigten drehbaren Eisenkern ein, welcher in Löchern eine Anzahl Kupferstäbe d besitzt, die auf beiden Seiten außen durch einen Ring verbunden sind. Das Äußere dieses sogenannten Läufers zeigt Fig. 121. Schalten wir nun auf die Wicklung des Feldes den Drehstrom ein, so entsteht das Drehfeld.

Die Kraftlinien dieses Drehfeldes drehen sich durch die Drähte d des vorläufig noch stillstehenden Läufers mit der Umlaufgeschwindigkeit des Drehfeldes hindurch.

Wo aber Drähte und Kraftlinien sich schneiden, da entstehen in den geschnittenen Drähten elektromotorische Kräfte. Der Leitungs-

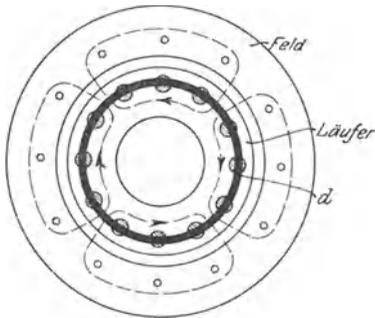


Fig. 120.

widerstand der dicken Läuferstäbe und der Ringe, welche dieselben außen verbinden, ist aber sehr klein, so daß starke Ströme in den Stäben entstehen. Da aber auf Ströme in einem Kraftlinienfeld eine Kraft ausgeübt wird (vergl. Fig. 111), so muß sich der Läufer auch drehen. Um die Drehrichtung zu bestimmen, zeichnen wir in Fig. 122 I die Felder auf, die

z. B. entstehen in Fig. 120 links oben bei dem dort liegenden Läuferdraht. Das Feld R hat die Drehrichtung 1 , wie wir gesehen haben. In dem Draht des Läufers wird dann nach der Handregel (S. 38) eine

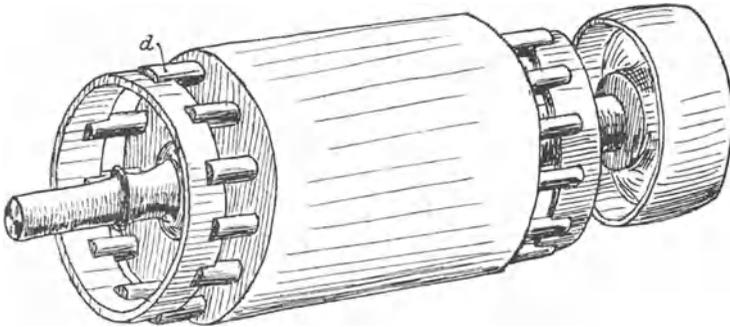


Fig. 121.

elektromotorische Kraft von vorn nach hinten gerichtet entstehen, folglich ist auch der Strom ebenso gerichtet und das Feld des Stromes in dem Draht besitzt die kreisförmige Gestalt, dessen Richtung aus der Korkzieherregel (Seite 25) folgt. Durch die gegenseitige Beeinflussung beider Felder entsteht die in Fig. 122 II gezeichnete Verschiebung des Hauptfeldes, durch welche der Draht in die

Richtung 2 gedrängt wird. Es wird sich also der Läufer in demselben Sinne umdrehen wie das Drehfeld.

Es folgt hieraus weiter: Will man die Umlaufsrichtung eines Drehfeldmotors umkehren, so muß man das Drehfeld umgekehrt umlaufen lassen. Zu diesem Zweck braucht man nur von den drei Zuleitungen zu dem Feld zwei zu vertauschen, wie Fig. 123 veranschaulicht, dann

läuft das Drehfeld entgegengesetzt um. Vertauscht man z. B. in Fig. 117 die Zuleitungen zu I und II, so würden die Felder K_1 und K_2 ebenfalls vertauscht und die 3 Stellungen in Fig. 119

würden das Aussehen der Fig. 124 erhalten, woraus man erkennt, daß sich jetzt das Feld entgegengesetzt dreht, als vorher. Dasselbe würde man natürlich erreicht haben durch Vertauschung der Leitungen II und III oder I und III.

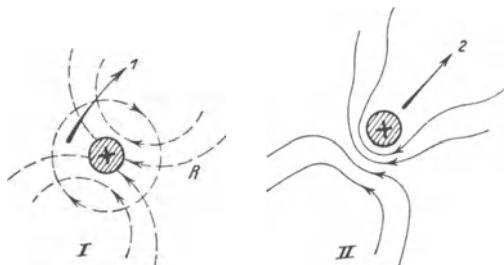


Fig. 122.

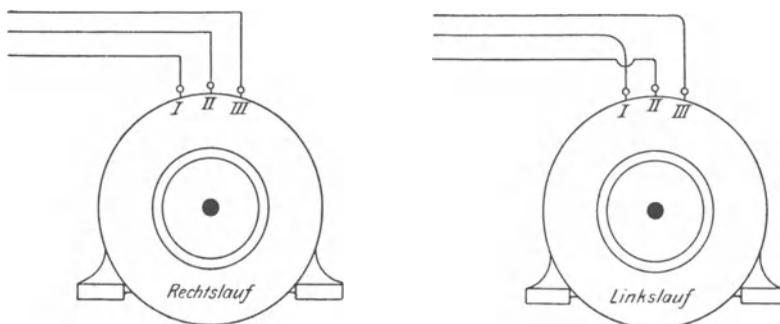


Fig. 123.

Wenden wir uns nun weiter wieder der Fig. 120 zu. Wir haben also gesehen, daß ein solcher Motor zu laufen beginnt. Nehmen wir an, der Motor habe wenig Arbeit zu leisten, dann kann auch die Kraft, die auf die Drähte des Läufers ausgeübt wird, klein sein. Diese Kraft hängt aber ab von der Stärke des Feldes und der Stärke des Stromes im Draht, eines von beiden größer, so wird auch die Kraft größer und umgekehrt. Das Feld behält im wesentlichen

aber immer dieselbe Stärke, folglich braucht bei schwacher Belastung des Motors in seinen Läuferdrähten auch nur ein schwacher Strom zu entstehen, d. h. es braucht nur eine schwache elektromotorische Kraft in den Stäben des Läufers hervorgerufen werden. Diese hängt aber ab von der Geschwindigkeit, mit der die Kraftlinien und die Drähte sich schneiden, und diese ist offenbar am größten, wenn der

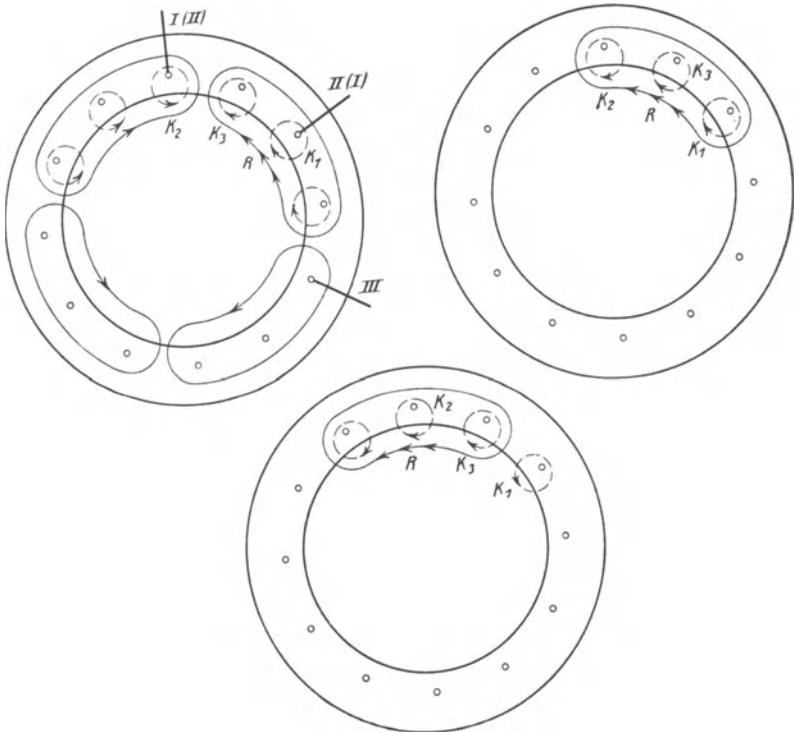


Fig. 124.

Läufer noch steht; je schneller er aber läuft, um so kleiner wird diese Geschwindigkeit. Denken wir uns den Läufer so schnell gedreht wie die Umlaufgeschwindigkeit des Drehfeldes, dann würden Kraftlinien und Läuferdrähte sich gar nicht schneiden und es könnte kein Strom in den Läuferdrähten entstehen. Dann würde aber auch keine drehende Kraft auf den Läufer wirken, folglich muß der Läufer immer etwas langsamer laufen als das Drehfeld; da aber der Widerstand des Läufers absichtlich durch Anwendung von dicken Stäben

und breiten Verbindungsringen klein gehalten wird, so gehört nur eine schwache elektromotorische Kraft dazu, einen starken Strom im Läufer zu erzeugen, es wird also der Läufer nur wenig langsamer laufen als das Drehfeld. Je stärker man aber den Motor belastet, um so stärker muß der Strom im Läufer werden, d. h. um so mehr wird letzterer hinter der Umlaufgeschwindigkeit des Drehfeldes zurückbleiben. Da aber der Widerstand des Läufers klein ist, so genügt schon ein sehr geringes Zurückbleiben des Läufers, um einen Strom von genügender Stärke entstehen zu lassen, so daß der Unterschied der Umlaufzahl des Läufers bei Leerlauf und bei voller Belastung nur gering ist. Es verhält sich demnach der asynchrone Drehstrommotor genau so wie der Nebenschlußmotor für Gleichstrom.

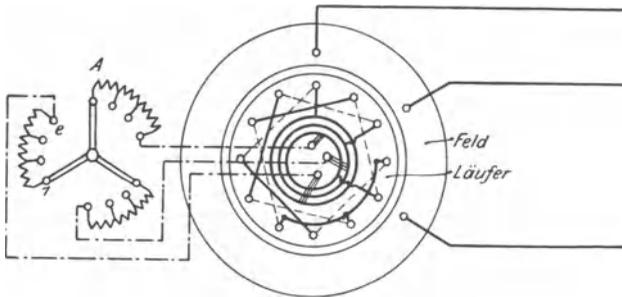


Fig. 125.

Asynchrone Drehstrommotoren mit einem Läufer nach Fig. 121, einem sogenannten „Käfiganker“, kann man aber im allgemeinen nur für kleine Leistungen, 5—7 PS anwenden. Für größere Leistungen muß man Läufer mit Schleifringen ausführen. Das Feld eines solchen Motors ist genau dasselbe wie bei den kleineren Motoren, nur besitzt der Läufer eine meist in Sternschaltung verkettete Drehstromwicklung aus Stäben. Das Schema eines solchen Motors zeigt Fig. 125.

Die 3 Anfänge der Läuferwicklung führen zu je einem Schleifring, auf dem Bürsten schleifen, durch welche der Läufer mit einem Anlasser A verbunden ist, durch welchen der Widerstand des Läufers beim Anlaufen künstlich erhöht wird. Der Grund hierfür ist der folgende: Große Motoren kann man mit noch viel kleinerem Widerstand in der Läuferwicklung ausführen als kleine, und da dieses die Verluste des Motors herabsetzt, also den Wirkungsgrad erhöht, geschieht es auch. Es würde aber bei einem größeren Motor der

Strom im Läufer beim Anlassen, also wenn der Läufer noch still steht, so stark werden, daß durch die Rückwirkung des Läuferstromes das Feld des Motors derartig geschwächt wird, daß er keine Zugkraft zum Anlaufen mehr entwickelt. Man vergrößert einfach durch den Anlasser nach Fig. 125 den Läuferwiderstand, wodurch der Strom so weit verkleinert wird, daß seine Rückwirkung das Feld nur noch wenig schwächt. Beginnt dann der Motor zu laufen, so dreht man allmählich die dreifache Kurbel des Anlassers von dem Kontakt *1* auf den Kontakt *e*. In dieser letzten Stellung ist aller Widerstand des Anlassers ausgeschaltet und die Läuferwicklung in sich kurz geschlossen. Es wirkt nun der Motor genau so, wie ein solcher mit Käfiganker.

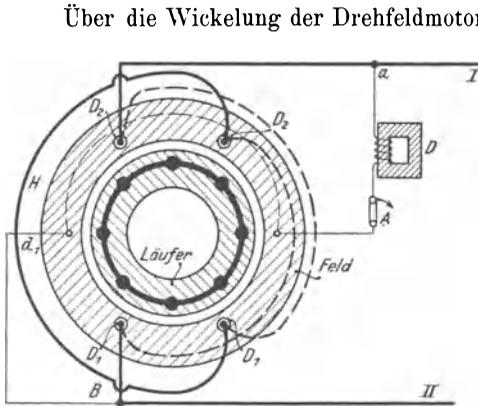


Fig. 126.

Über die Wickelung der Drehfeldmotoren läßt sich nichts Neues mehr sagen. Das Feld besteht aus einem Eisenblechring, welcher in einem Gußgehäuse nach den Fig. 91 oder 92 untergebracht ist, und die Wickelung wird als Drahtwicklung nach den Fig. 94 und 95 oder als Stabwicklung nach den Fig. 96 und 97 ausgeführt. Der Läufer wird, wie wir schon gesehen haben, bei kleineren Motoren nach Fig. 121 als Käfiganker ausgeführt; bei größeren Motoren erhält er Stabwicklung, welche dann etwa ausgeführt wird wie die der Gleichstromanker nach den Fig. 57 oder 58; sie erhalten natürlich keinen Kollektor, sondern drei Schleifringe, und die Wickelung wird als Dreiphasenwicklung verbunden nach dem Schema Fig. 125.

Man baut aber nicht nur für Dreiphasenstrom, sondern auch für Einphasenstrom asynchrone Motoren. Diese **Einphasen-Asynchronmotoren** können aber nicht von selbst anlaufen, weil man bei nur einem Wechselstrom kein Drehfeld, sondern ein Wechselfeld erhält. Zum Anlaufen, welches aber nur ohne Belastung geschehen kann, muß das Feld des Motors eine Hilfswicklung besitzen, welche im normalen Betrieb ausgeschaltet wird.

Der Läufer eines asynchronen Einphasenmotors kann genau so ausgeführt werden wie der eines dreiphasigen, also als Käfiganker nach Fig. 121 oder als dreiphasig gewickelter Stabanker mit Schleifringen und Anlasser nach dem Schema Fig. 125.

Zur Erklärung der Wirkungsweise des asynchronen Einphasenmotors diene die Fig. 126.

Aus dieser Figur erkennt man, daß das Feld des Motors zwei Wickelungen besitzt, eine Hauptwicklung, welche stark gezeichnet ist, und eine nur zum Anlaufen bestimmte Hilfswickelung H , welche aus dünnem Draht hergestellt ist und infolgedessen nur während der kurzen Zeit des Anlaufens eingeschaltet sein darf, wenn sie nicht verbrennen soll. Dadurch, daß in den Stromkreis dieser Hilfswickelung eine Drosselspule D eingeschaltet ist, erfährt der Strom in dieser Hilfswickelung eine Phasenverschiebung gegen den Strom in der Hauptwicklung.

Eine Drosselspule ist ein eiserner Kern, um den der Draht in mehreren Windungen herumgeführt ist. Solch eine Spule besitzt dann für Wechselstrom einen hohen scheinbaren

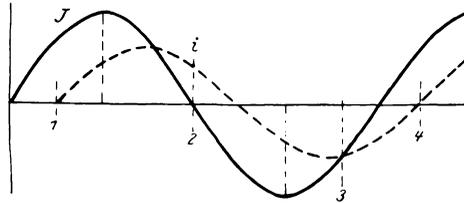


Fig. 127.

Widerstand und erzeugt, wie wir im Anfang gesehen haben, eine Verspätung des Stromes, die man als Phasenverschiebung bezeichnet. In Fig. 127 sind die beiden Ströme gezeichnet. J ist der Strom in der Hauptwicklung, i der in der Hilfswickelung. Die Entstehung des durch beide Ströme mit den beiden Wickelungen hervorgerufenen Drehfeldes ist mit Hilfe der Fig. 127 und 128 erklärt. In Fig. 127 ist zu der Zeit, die dem Punkt 1 entspricht, der Strom in der Hilfswickelung null, folglich wirkt nur die Hauptwicklung mit den Drähten $D_1 D_1, D_2 D_2$ und das Feld hat die Richtung R , Fig. 128 1. Zur Zeit 2 ist der Strom J null, es wirkt also nur die Hilfswickelung. Der Strom im Draht d_1 muß aber, da dieser mit D_1 nach Fig. 126 verbunden ist, so gerichtet sein, als vorher der Strom J in D_1 , weil in Fig. 127 J im Punkt 1 nach oben und i im Punkt 2 auch nach oben liegt. Folglich hat das Feld die in Fig. 128 2 bezeichnete Richtung R . Die Stärke dieses Feldes ist aber schwächer als die des Feldes im Punkt 1, weil die Hilfswickelung weniger Windungen

besitzt es schwankt also die Stärke des Drehfeldes. Im Punkt 3 sind J und i umgekehrt wie vorher und wir erhalten aus beiden Feldern das resultierende Feld R . Für Punkt 4 würde man wieder dieselbe Figur erhalten wie für Punkt 1.

Da in Fig. 127 die Punkte 1, 2, 3 genau gleichen Abstand voneinander haben, trotzdem aber, wie aus Fig. 128 zu ersehen ist, das Feld R aus der Stellung 1 nach 2 sich viel stärker gedreht hat als aus Stellung 2 nach 3, und von 3 nach 4 (gleich mit 1) sich wieder sehr stark drehen muß, erkennt man, daß dieses Drehfeld nicht nur seine Stärke wechselt, sondern während einer Umdrehung sich auch noch mit verschiedener Geschwindigkeit bewegt. Aus diesen Umständen folgt, daß ein Einphasenmotor nur mit sehr schwacher Belastung, am besten natürlich leer anlaufen kann, denn die Wirkung dieses mit der Hilfsphase entstandenen schwankenden

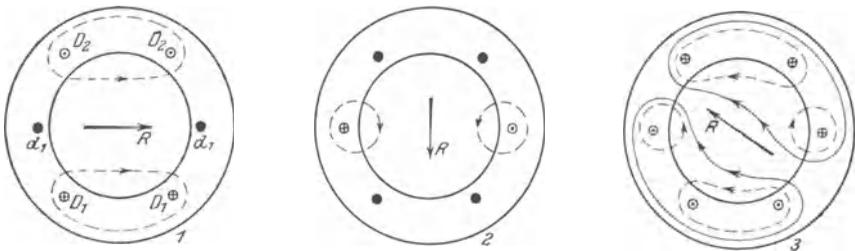


Fig. 128.

und unregelmäßig umlaufenden Drehfeldes ist längst nicht so stark als diejenige des beim Dreiphasenmotor vorhandenen Feldes.

Aus der Fig. 128 erkennt man, daß das Drehfeld R entgegengesetzt umlaufen wird, wenn man den Strom in den Hilfsdrähten d_1, d_2 umkehrt. Dies läßt sich nach Fig. 126 dadurch erreichen, daß man dort d_1 mit Punkt a anstatt mit B verbindet und gleichzeitig den Draht a nach Leitung II herüber legt. Es läuft dann das Drehfeld entgegengesetzt um und der Läufer des Motors wird natürlich ebenfalls entgegengesetzt umlaufen, denn die Drehung des Läufers kommt hier ebenso wie beim asynchronen Dreiphasenmotor nach Fig. 122 zustande.

Sobald der Läufer aber in Gang gesetzt ist und eine bestimmte Geschwindigkeit erreicht hat, kann die Hilfsphase abgeschaltet werden; es bleibt dann der Läufer in Bewegung und er kann auch belastet werden, darf allerdings nicht zu stark überlastet werden; es eignen

sich also diese Motoren schlecht zum Betrieb von Hebezeugen und man muß sie zu diesem Zweck schon sehr sicher bauen (also eigentlich unnötig groß und teuer) und außerdem mit Schwungrädern versehen. Das Abschalten der Hilfsphase geschieht nach Fig. 126 mit dem Ausschalter *A*.

Wir haben uns nun noch darüber Rechenschaft abzulegen, warum der einmal auf eine bestimmte Geschwindigkeit gebrachte Läufer eines asynchronen Einphasenmotors ohne Hilfsphase nur in einem Wechselfeld weiter läuft, und benutzen dazu die Fig. 129.

In Fig. 129 *I* ist der Augenblick gezeichnet, in welchem das Feld entsteht. Es entwickelt sich aus den Drähten $D_2 D_2$ und $D_1 D_1$ heraus, und die Kraftlinien, die als ausgezogene Linien gezeichnet sind, schneiden dabei die Läuferdrähte 1, 2, 3, 4 und 5, 6, 7, 8 in

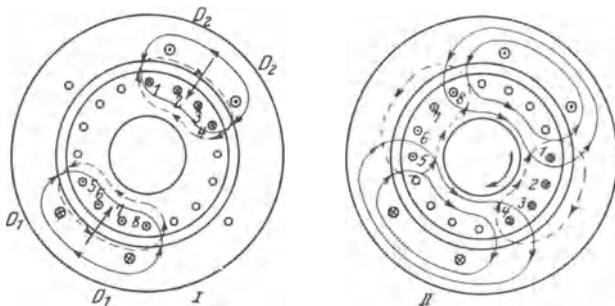


Fig. 129.

der Richtung der Pfeile. Nach der Handregel entstehen dann in den Drähten 1, 2, 3, 4 Ströme von vorn nach hinten und in 5, 6, 7, 8 umgekehrt. Stände der Läufer still, so würde das Feld der Läuferdrähte, welches punktiert gezeichnet ist, gerade entgegengesetzt laufen; es könnte also die die Drehung bewirkende Verschiebung des Feldes, wie sie in Fig. 122 gezeichnet ist, nicht eintreten, folglich kann der stillstehende Läufer des asynchronen Einphasenmotors nicht in Gang kommen ohne das durch die Hilfsphase hervorgerufene Drehfeld.

Nun braucht das Feld aber zu seiner Entstehung Zeit und ebenfalls der Strom in den Läuferdrähten. Wenn sich der Läufer so schnell dreht, daß die Drähte 1, 2, 3, 4 in die in Fig. 129 *II* gezeichnete Lage gelangt sind, während noch Strom in ihnen fließt und gleichzeitig das Feld sich voll entwickelt hat, wie gezeichnet,

so tritt infolge der Rückwirkung der punktierten Läuferstromkraftlinien die die Drehung veranlassende Feldverschiebung nach Fig. 122 ein. Dreht sich der Läufer weiter, so verschwindet das Feld wieder; dabei werden die Drähte 1, 2, 3, 4, die fast in die Lage gekommen sind, die in Fig. 129 I die Drähte 5, 6, 7, 8 haben, wieder denselben Strom erhalten wie vorher, also die Drehung in demselben Sinne fortgesetzt werden. Das Feld verschwindet und entsteht umgekehrt wieder, weil sich jetzt der Strom in den Drähten $D_1 D_1$, $D_2 D_2$ umgekehrt hat. Mittlerweile sind die Läuferdrähte 1, 2, 3, 4 vollständig in die Lage der Drähte 5, 6, 7, 8 der Fig. 129 I hineingelangt; sie werden also durch das Entstehen des umgekehrten Feldes auch einen umgekehrten Strom erhalten, der noch in ihnen fließt, wenn sie sich in die Lage der Drähte 5, 6, 7, 8 der Fig. 129 II gedreht haben; da aber auch das Feld die umgekehrte Lage hat, ist der Sinn der dem Läufer erteilten Drehung derselbe wie vorher. Es bleibt also der Läufer im Gang mit Hilfe des einfachen Wechselfeldes.

Man erkennt aber aus der eben beschriebenen Wirkungsweise, daß der Läufer die stärkste Kraftwirkung erfährt, wenn die die Drehung hervorrufende Feldverschiebung voll eintreten kann, d. h. wenn er sich so schnell dreht, daß die Drähte 1, 2, 3, 4 in die Lage Fig. 129 II gelangt sind, während das Hauptfeld vollständig entwickelt ist; also wenn der Strom im Feld von null bis zum Höchstwert gestiegen, muß auch der Läufer bei den 2 Polen der Wicklung in den Fig. 126 und 129 $\frac{1}{4}$ Drehung vollführt haben; demnach wird während zweier Stromwechsel der Läufer bei einer zweipoligen Wicklung eine volle Umdrehung machen müssen, wenn die stärkste Kraft auf ihn ausgeübt werden soll. Aber auch wenn er etwas weniger schnell läuft, so daß die Drähte des Läufers nur zum Teil die erwähnten Stellungen erreichen, während das Hauptfeld voll entwickelt ist, wird noch eine Kraft auf die Läuferdrähte ausgeübt; allerdings darf die Geschwindigkeit des Läufers nicht unter eine bestimmte Grenze sinken, wenn er nicht stehen bleiben soll.

Es macht auch der asynchrone Einphasenmotor demnach ungefähr eine von der Wechselzahl des Stromes abhängige Umdrehungszahl, wie der asynchrone Drehfeldmotor, d. h. bei einer zweipoligen Wicklung würde er bei 2 Stromwechseln ungefähr 1 Umdrehung ausführen, bei 4 Polen aber nur $\frac{1}{2}$ Umdrehung usw.

Die Nachteile des soeben beschriebenen asynchronen Einphasenmotors haben schon frühzeitig dazu geführt, bessere Motoren für

Einphasenstrom auszubilden, die Versuche sind aber wieder fallen gelassen. In letzter Zeit sind aber solche Motoren verschiedentlich mit wesentlichen Verbesserungen und zum Teil gutem Erfolge in Anwendung gekommen. Diese Motoren, welche man, wie wir gleich sehen werden, auch als asynchrone bezeichnen müssen, besitzen bei den neueren Ausführungen einen Stabanker mit Kollektor und Bürsten und sind wie ein Gleichstromanker gewickelt, nur haben sie stets ziemlich dicke Stäbe. Das Prinzip eines solchen Motors zeigt die Fig. 130. Dieselbe entspricht ungefähr den Ausführungen des DÉRI-

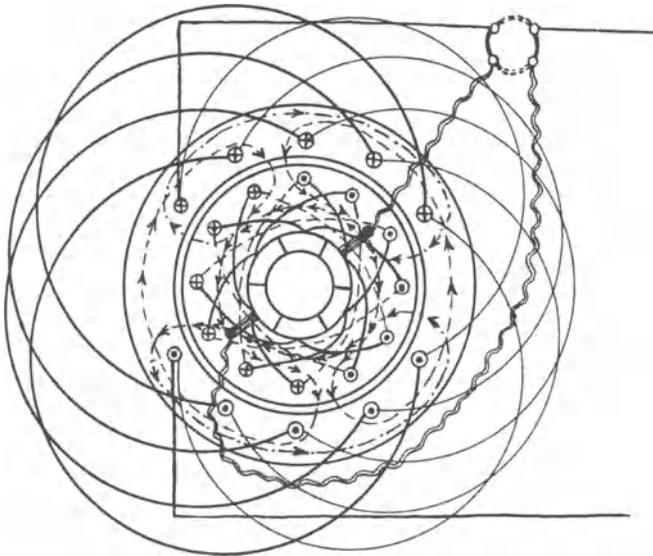


Fig. 130.

Motors der Österreichischen Union Elektrizitäts-Gesellschaft und denen von WAGNER & Co. in Nord-Amerika.

Der Motor besitzt ein Feld wie der gewöhnliche asynchrone Einphasenmotor und in diesem Feld den Gleichstromanker. Seine Schaltung ist nach Fig. 130 dieselbe wie beim Gleichstrom-Hauptstrommotor, und da der Strom im Anker und im Feld immer gleichzeitig die Richtung wechselt, so muß der Motor von selbst anlaufen, da er sich genau so wie ein Gleichstromanker in seinem Felde befindet. Hat der Motor eine bestimmte Umlaufzahl erreicht, dann wird der Läufer von den Zuleitungen abgeschaltet, indem man die

punktierten Verbindungen herstellt, wobei gleichzeitig die Bürsten des Ankers miteinander verbunden werden, also eine Kurzschlußwicklung im Läufer entsteht. Man schließt nun noch alle Kollektorlamellen durch eine Vorrichtung kurz und kann dann die Bürsten abheben, die also nur während des Anlaufens benutzt werden. Sind die Lamellen alle verbunden, so ist der Motor auf den asynchronen Einphasenmotor zurückgeführt und der einmal laufende Anker wird sich genau so in der Bewegung erhalten, wie der des asynchronen Einphasenmotors nach der Fig. 129 *I* und *II*.

Ein in der letzten Weise ausgeführter Wechselstrommotor mit Gleichstromanker kann mit starker Belastung anlaufen.

VIII. Umformer und Spannungswandler (Transformatoren).

Häufig ist bei elektrischen Anlagen die Anwendung einer hohen Spannung geboten, nämlich dann, wenn die elektrische Energie auf weite Entfernungen fortgeleitet werden muß. Nehmen wir z. B. an, es sollen 100 PS auf 2 km fortgeleitet werden, so wird man dazu keinen dickeren Draht als etwa 8 mm verwenden, denn bei noch dickerem Draht würde die Anlage viel zu teuer werden. Man kann aber durch einen Draht von 8 mm höchstens 100 Amp. hindurchleiten, wenn derselbe blank auf Porzellanglocken verlegt wird. Da nun, wie wir im Anfang gesehen haben, 736 Watt = 1 PS sind, so würden 100 PS = 73600 Watt sein, d. h. man müßte bei 100 Amp. eine Spannung von $\frac{73600}{100} = 736$ Volt anwenden.

Bei 100 Amp. würde aber in einer Leitung von 2 km Länge schon ein ziemlicher Teil der Spannung verbraucht werden, um den Strom nur durch die Leitung zu treiben, und damit der Wirkungsgrad der ganzen Anlage so hoch wird, daß der Betrieb wirtschaftlich wird, muß man mit noch schwächeren Strömen arbeiten, also die Spannung auf wenigstens 1000 Volt erhöhen. Je länger eine Leitung aber wird, um so höher muß dann die Spannung gewählt werden; z. B. war bei der großen Arbeitsübertragung zwischen Laufen a. Neckar und Frankfurt a. M. im Jahre 1890 bei der Frankfurter elektrotechnischen Ausstellung die Entfernung 175 km und die Spannung 8500 Volt. Neuerdings ist von der „Compagnie de l'Industrie Electrique in Genf eine Arbeitsübertragung bei Lausanne ausgeführt mit Gleichstrom, welche 5000 PS auf 55 km fortleitet und mit 22000 Volt arbeitet bei voller Belastung.

Solche Spannungen sind aber, wenn die elektrische Energie am Verbrauchsort für Licht und andere Zwecke bei vielen Abnehmern

angewendet werden soll, zu gefährlich, denn sie sind unmittelbar tödlich. Man muß dann am Verbrauchsort Spannungswandler aufstellen, die die Hochspannung in Niederspannung verwandeln.

Außerdem kann es vorkommen, daß die Stromart nicht verwendet werden kann am Verbrauchsort. So wendet man z. B. zurzeit für elektrische Eisenbahnen meist Gleichstrom an. Hat man aber große Vollbahnen, so ist die Kraftzentrale unter Umständen sehr weit entfernt von der Stelle, an der sich die elektrische Lokomotive befindet. Hier verteilt man hochgespannten Wechselstrom oder Drehstrom aus der Zentrale und wandelt denselben auf besonderen Unterstationen um in den für Bahnzwecke meist angewendeten Gleichstrom von 500 Volt Spannung. Das Umwandeln auf den Unterstationen besorgen dann sogenannte Umformer.

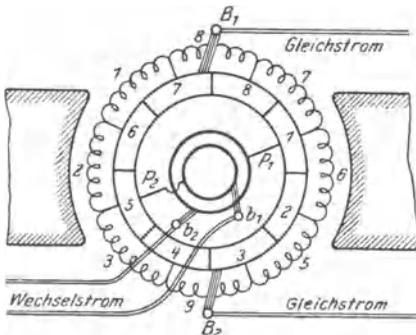


Fig. 131.

Man unterscheidet nun sich drehende Umformer und ruhende Umformer. Letztere sind die nur für Wechsel- und Drehstrom anwendbaren Transformatoren, deren Prinzip schon früher bei Fig. 38 erklärt wurde.

Die sich drehenden Umformer werden nur angewendet, wenn man Wechsel- oder Drehstrom

in Gleichstrom oder umgekehrt verwandeln will, und es können entweder zwei gekuppelte Maschinen sein, von denen die eine als Motor läuft und die zweite antreibt, die die zu liefernde Stromart erzeugt, oder auch nur eine einzige, ein sogenannter Einankerumformer, dessen Anker auf einer Seite Schleifringe, auf der anderen Seite einen Kollektor besitzt.

Diejenigen Umformer, welche aus zwei gekuppelten Maschinen bestehen, brauchen wir nicht weiter zu behandeln, denn sie dürften dem Leser ohne weiteres verständlich sein. Wohl aber wollen wir uns mit den Einankerumformen noch etwas beschäftigen. Diese Maschinen haben also, wie wir schon sahen, nur einen Anker, welcher aber Kollektor und Schleifringe gleichzeitig besitzt. In Fig. 131 ist im Schema solch ein Anker gezeichnet, dessen Wicklung

nach Fig. 64 ausgeführt sein würde, nur sind zwei einander gegenüber liegende Kollektorlamellen mit Schleifringen verbunden, auf denen die Bürsten b_1 b_2 schleifen. Leiten wir zu den Bürsten B_1 B_2 Gleichstrom zu, so erhalten wir aus den Bürsten b_1 b_2 Wechselstrom, wie man sich leicht klar machen kann. Denken wir uns in Fig. 131 die Lamelle 1 unter der Bürste B_1 , dann steht Lamelle 5 unter der Bürste B_2 . Es würde dann von B_1 aus der Strom durch Lamelle 1 über P_1 und den Schleifring durch b_1 in die Wechselstromleitung fließen, aus dieser zurück durch b_2 über P_2 durch 5, B_2 wieder in die Gleichstromleitung. Denken wir uns jetzt den Anker um eine halbe Umdrehung verschoben, dann steht Lamelle 1 unter B_2 und Lamelle 5 unter B_1 ; wie man erkennt, würde jetzt in der Wechselstromleitung der Strom umgekehrte Richtung haben.

Nun kann man aber nicht nur einphasigen Wechselstrom aus solch einer Maschine entnehmen, sondern auch dreiphasigen; man würde dann nur drei Schleifringe anwenden und an drei um 120° gegeneinander versetzten Lamellen diese Schleifringe anschließen. Ebenso braucht wohl nur erwähnt zu werden, daß diese Maschinen nicht nur zweipolig, sondern auch mehrpolig ausgeführt werden. Laufen sie von der Wechselstromseite als Motoren, wenn sie also Wechselstrom in Gleichstrom verwandeln sollen, so müssen sie als Synchronmotoren arbeiten, d. h. beim Anlassen muß man sie nur mit Gleichstrom, der aus der meist vorhandenen Akkumulatorenbatterie entnommen wird, auf die der Wechselzahl des Wechselstromes entsprechende Umlaufzahl bringen, erst dann darf man den Wechselstrom einschalten.

Da der Wechselstrom immer nur dann denselben Wert erreicht wie der Gleichstrom, wenn gerade die Lamellen mit den Schleifringanschlüssen unter den Gleichstrombürsten stehen, so ist der Effektivwert des Wechselstromes kleiner, und zwar liefern solche Drehumformer ungefähr den 1,4ten Teil der Gleichstromspannung als Wechselstrom; z. B. würde ein Drehumformer 500 Volt Gleichstrom erhalten, so lieferte er $\frac{500}{1,4} = 358$ Volt Wechselstrom.

Es sind daher die eben beschriebenen Einankerumformer nur geeignet für solche Zwecke, wo die Stromart geändert werden soll; soll aber die Spannung z. B. aus Hochspannung in Niederspannung verwandelt werden, wie wir im Anfange auseinandersetzen, dann muß man, wenn dabei gleichzeitig die Stromart geändert werden

soll, sogenannte Motorgeneratoren nehmen, also zwei Maschinen kuppeln, von denen die eine als Motor läuft.

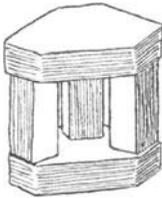


Fig. 132.

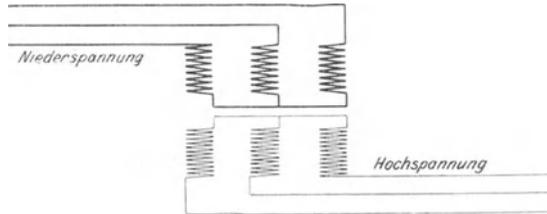


Fig. 133.

Soll nur Wechselstrom umgewandelt werden, dann verwendet man ruhende Transformatoren, deren Prinzip schon in Fig. 38 erklärt wurde. Dort ist aber nur ein einphasiger Transformator gezeichnet. Die Dreiphasentransformatoren werden mit drei Eisenkernen ausgeführt nach Fig. 132 und dann geschaltet nach Schema Fig. 133.

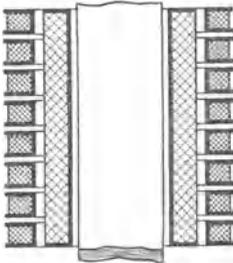


Fig. 134.

Bezüglich der praktischen Ausführung solcher Transformatoren ist noch zu bemerken, daß die Niederspannungs-

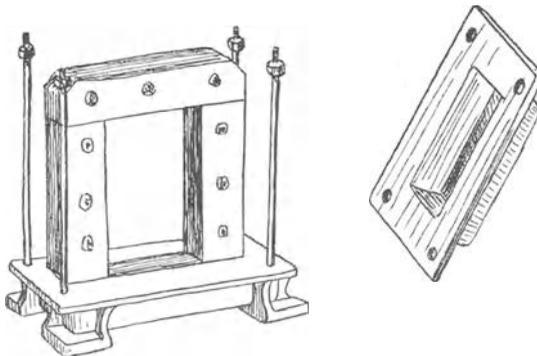


Fig. 135.

spule aus dicken Drähten meistens direkt auf einen Spulenkasten aus gepreßtem Papier aufgewickelt und dann über den Kern herüber geschoben wird; über diese Niederspannungsspule kommt dann die

für die Hochspannung, welche aber stets in viele Teile unterteilt ist, damit die Gefahr des Durchschlagenwerdens der Isolation verringert wird und gleichzeitig ein Auswechseln schadhafter Teile leichter wird. Im Schnitt ist die Anordnung, wie sie eben beschrieben wurde, in Fig. 134 gezeichnet.

Die Eisenkerne der Transformatoren sind aus Blechen aufgebaut, deren Zusammensetzung in Fig. 132 und auch in Fig. 38 hervorgehoben ist. Das Eisenblechgerüst würde sich allein aber nicht halten können, es wird daher in einem Gehäuse aus Gußeisen

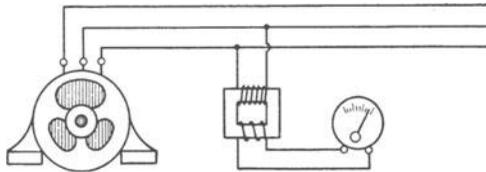


Fig. 136.

untergebracht und dieses Gehäuse wieder durch schmiedeeiserne Bolzen zusammengehalten. In Fig. 135 ist ein Gehäuse mit Eisenkern ohne Bewicklung teilweise auseinandergenommen gezeichnet. Das ganze Gehäuse wird dann von außen an den Stellen, wo die Wicklung liegt, noch mit gelöchertem Blech umgeben, damit eine Berührung der Hochspannungswicklung unmöglich wird.

Ganz kleine Transformatoren werden auch für Meßinstrumente in Hochspannungsanlagen verwendet, die sogenannten Meßtransformatoren. Aus Fig. 136 geht z. B. die Benutzung dieser Meßtransformatoren für ein Voltmeter hervor.

IX. Das elektrische Licht und die elektrischen Lampen.

Wir sahen schon im Anfang, daß der elektrische Strom einen dünnen Draht so stark erwärmen kann, daß derselbe ins Glühen kommt. Diese Erscheinung können wir selbstverständlich benutzen zur Erzeugung von elektrischem Licht. Lampen, welche diese Eigen-

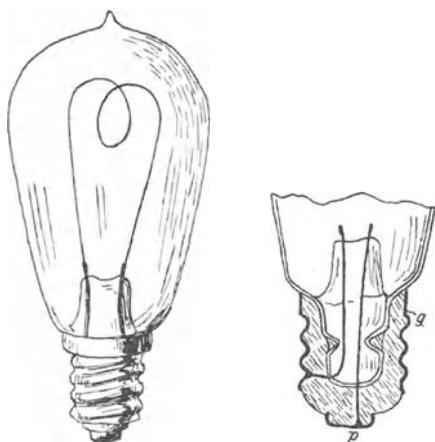


Fig. 137.

schaft des elektrischen Stromes ausnützen, heißen Glühlampen. Man benutzt in diesen Glühlampen entweder einen dünnen Faden aus künstlich hergestellter Kohle oder neuerdings aus schwer schmelzbarem Metall. Die **Kohlenfaden-glühlampen** sind zurzeit noch am verbreitetsten. Sie lassen sich für Spannungen bis zu 220 Volt herstellen und werden bis zu 32 Kerzenstärken angewendet, meist verwendet

man aber nur 16 kerzige und 25 kerzige Lampen. (Eine Kerzenstärke ist ungefähr gleich der Lichtstärke einer Stearinkerze von 20 mm Dicke und einer Flammenhöhe von 50 mm; gewöhnliche Familien-Petroleumlampen haben etwa 18—30 Kerzenstärken.) Das Äußere einer Kohlenfadenglühlampe zeigt die Fig. 137. Der Glühfaden wird durch künstliche Verkohlung aus Pflanzenfaser hergestellt, und damit er nicht verbrennen kann, in eine luftleer gepumpte Glasbirne hinein-

gebracht. Die Lampe besitzt einen Fuß, welcher mit Gewinde g aus Messing und einer Platte p , ebenfalls aus Messing, versehen ist; beides ist an die Birne, welche zu dem Zweck mit kleinen Vertiefungen ausgeführt ist, angekipst. Im Schnitt durch den Fuß Fig. 137 ist zu sehen, daß der Kohlenfaden durch Platindrähte mit g und p verbunden ist; diese Drähte sind in das Glas eingeschmolzen. Mit dem Fuß paßt die Glühlampe in eine sogenannte Fassung, wie sie Fig. 138 zeigt. Dort ist G das zu g passende Muttergewinde, welches bei allen Fassungen in derselben Weise ausgebildet ist

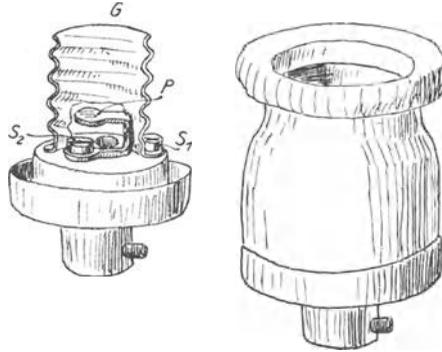


Fig. 138.

als sogenanntes EDISON-Gewinde und welches durch die Schraube S_1 mit dem einen Leitungsdraht verbunden ist; schraubt man die Lampe ein, so kommt die Platte p auf die Platte P in der Fassung, welche mit dem anderen Leitungsdraht durch die Schraube S_2 verbunden ist. Die Leitungsdrähte werden nach Fig. 139 durch den Beleuchtungskörper in die Fassung geführt. Solche Fassungen können

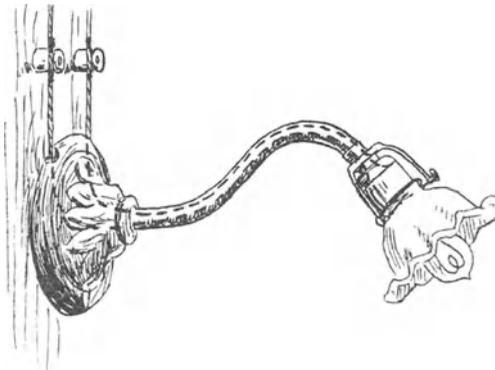


Fig. 139.

auch gleich mit einem kleinen Ausschalter für die Lampe versehen werden; diese Einrichtungen sind ja so bekannt, daß wir uns dabei nicht aufzuhalten brauchen.

Die Kohlenfadenlampen gebrauchen im Mittel alle 3,3 Watt für 1 Normkerze Helligkeit, z. B. würde also eine 25 kerzige Lampe

3,3 · 25 = 82,5 Watt gebrauchen oder bei 110 Volt Spannung eine Stromstärke von $\frac{82,5}{110} = 0,75$ Amp.; jede Glühlampe verliert ebenso wie z. B. die Gasglühlichtstrümpfe nach und nach ihre Leuchtstärke; man rechnet im allgemeinen immer die Lampen so lange zu den noch brauchbaren, als ihre Lichtstärke noch nicht mehr als etwa 25 0/10 abgenommen hat, und das ist bei den Kohlenfadenglühlampen nach etwa 600 Brennstunden der Fall. Diese Zeit bezeichnet man als Brenndauer. Man kann natürlich die Lampe noch länger benutzen, denn der Kohlenfaden brennt meist erst nach vielen tausend Brennstunden durch, aber die Lampe liefert dann zu wenig Licht für die hineingeleitete Energie und wird infolgedessen zu unwirtschaftlich.

Die Kohlenfadenglühlampe war bis vor ganz kurzer Zeit die einzige elektrische Glühlampe; neuerdings sind aber mehrere erheblich bessere Glühlampen in den Handel gebracht, welche keinen Kohlenfaden, sondern einen Metalldraht besitzen. Die erste dieser Lampen war die durch die Deutsche Gasglühlicht-Gesellschaft, Auer-Gesellschaft in Berlin in den Handel gebrachte und von AUER von Welsbach erfundene **Osmium-Glühlampe**. Das Osmium ist ein sehr schwer schmelzbares Metall, welches schwierig rein darzustellen und zu verarbeiten ist; infolgedessen sind die Osmiumlampen augenblicklich etwa 10 mal teurer als die Kohlenfadenlampen, aber sie haben den Vorteil, daß sie nur die Hälfte der Energie verbrauchen als die Kohlenfadenlampen, und daß sie 2000 Brennstunden benutzt werden können; es kann also eine Kohlenfadenlampe in der heutigen Form, die sich wohl kaum noch verbessern läßt, sich nicht neben der Osmiumlampe behaupten.

Da das Osmium ein Metall ist und als solches viel besser leitet wie die Kohle, außerdem aber die Lampe nur die Hälfte der Energie einer Kohlenfadenlampe, nämlich 1,5 Watt für die Normalkerze verbraucht, so muß der Widerstand der Osmiumlampe größer sein als der der Kohlenfadenlampe. So muß z. B. eine Kohlenfadenlampe von 25 Kerzen für 110 Volt einen Strom erhalten von $\frac{3,3 \cdot 25}{110} = 0,75$ Amp.; damit sie diesen Strom bekommt, muß ihr Widerstand $\frac{110}{0,75} = 147$ Ohm betragen. Eine Osmiumlampe gebraucht aber bei 25 Kerzen Lichtstärke nur $\frac{1,5 \cdot 25}{110} = 0,341$ Amp., sie muß also einen Widerstand von $\frac{110}{0,341} = 0,323$ Ohm besitzen. Da

der Widerstand viel größer werden muß als bei der Kohlenfadenslampe, aber das Osmium als Metall besser leitet als Kohle, also weniger Widerstand hat, so muß der Glühfaden der Osmiumlampe sehr lang werden. Da aber ein langer Faden nicht so einfach in einer gewöhnlichen Glühlampe untergebracht werden kann, konnte man die Osmiumlampe zuerst nur für 37 Volt herstellen, so daß in einer 110 Volt-Gleichstromanlage immer drei Lampen hintereinander geschaltet werden mußten und in einer Wechselstromanlage ein kleiner Transformator die Spannung auf 37 Volt umformen mußte. Heute ist es aber auch gelungen, 110 Volt-Osmiumlampen herzustellen.

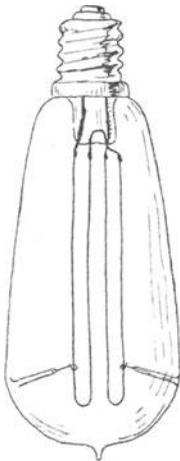


Fig. 140.

In der Fig. 140 ist die gewöhnliche Osmiumlampe gezeichnet, die, wie man erkennt, einen aus 2 hintereinander geschalteten Stücken bestehenden Faden besitzt. Da der Faden ziemlich lang ist, wird er unten durch 2 Stützen gehalten. Diese Stützen sind aber noch aus einem anderen Grunde nötig. Das Osmium ist im glühenden Zustande, wie alle Metalle,

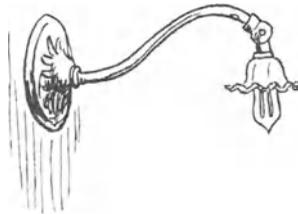


Fig. 141.

ziemlich weich; es würde daher bei Erschütterungen der Lampe der Faden sich berühren können, es muß ebenfalls deswegen die Lampe stets senkrecht hängen; will man sie in Beleuchtungskörpern nach Fig. 139 benutzen, so befestigt man die Fassung an einen Nippel, den man an den Arm schraubt. Dieser Nippel besitzt ein Gelenk, welches man so stellt, daß die Lampe senkrecht hängt, wie Fig. 141 zeigt.

Eine weitere neue Metallfadenglühlampe ist die **Tantallampe** von SIEMENS & HALSKE, A.-G. Berlin. Diese Lampe wird auch für 110 Volt hergestellt und gebraucht, auch nur 1,5 Watt für 1 Normalkerze Licht. Sie hält etwa 400—600 Brennstunden; es kann aber der Faden, wenn er an einer Stelle durchgebrannt ist, durch Er-

schütterung wieder zur Berührung gebracht werden, mehrere Male, weil die Befestigung des aus dem Metall Tantal bestehenden Glühdrahtes in der Weise geschehen ist, wie die Fig. 142 zeigt; auf diese Weise kann noch eine größere Brenndauer erzielt werden. Diese Tantallampe braucht aus diesem Grunde auch nicht gerade senkrecht zu hängen.

Beide Lampen, die Osmiumlampe und die Tantallampe, werden jedenfalls der gewöhnlichen Kohlenfadenlampe den Garaus machen, denn ihre Vorteile sind zu große; nicht nur sind die Kosten für den Stromverbrauch nur noch halb so groß, sondern es können ohne weiteres in neuen Anlagen die Leitungen dünner ausgeführt werden. Außerdem wird natürlich ein Elektrizitätswerk, ohne daß es vergrößert zu werden braucht, an viel mehr Personen Strom liefern können,



Fig. 142.

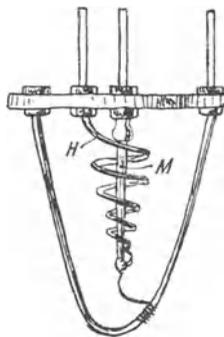


Fig. 143.

wenn Osmium- und Tantallampen an Stelle der Kohlenfadenlampen benutzt werden, so daß jedenfalls die Kosten für die Stromlieferung auch noch billiger werden, jedoch muß dies alles die Zeit lehren.

Die eben beschriebenen Glühlampen werden bis zu 32 Kerzenstärken ausgeführt. Für darüber liegende Kerzenstärken empfehlen sich die **Nernstlampe** von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. Bei diesen Lampen kommt ein Stäbchen aus Magnesia als Glühkörper zur Anwendung. Die Magnesia leitet aber im kalten Zustande den Strom nicht, sondern nur im glühenden Zustande; es muß deshalb das Stäbchen vorher erst angewärmt werden, und dies geschieht durch eine Heizspirale, welche um das Glühstäbchen herumgewunden ist, wie die Fig. 143 zeigt. Dort ist *M* das Magnesiastäbchen, *H* die Heizspirale. Alles zusammen ist an einem

leicht auswechselbaren Brenner befestigt. Beim Einschalten der Lampe geht zuerst der Strom durch die Heizspirale *H*; sobald das Stäbchen glüht, wird die Heizspirale selbstätig durch einen Magneten ausgeschaltet. Die Nernstlampe wird bis zu 800 Kerzenstärken hergestellt und eignet sich am besten für höhere Spannungen; so kann sie ohne Schwierigkeit für 500 Volt benutzt werden, während die Glühlampen mit Metallfäden schwierig für mehr als 110 Volt ausgeführt werden können.

Noch höhere Kerzenstärken als mit der Nernstlampe erreicht man mit den elektrischen Bogenlampen. Ehe wir aber darauf eingehen, müssen wir uns zunächst kurz mit dem sogenannten **Lichtbogen** oder **Flammenbogen** befassen.

Unterbricht man einen geschlossenen Stromkreis langsam und vorsichtig an irgend einer Stelle, so hört der Strom, falls die Stromquelle genügende Spannung besitzt, nicht auf, sondern geht an der Unterbrechungsstelle als Flamme über. Am besten wird diese Flamme, wenn man sie zwischen 2 Kohlenstiften entstehen läßt, die man wagrecht hält; es brennt dann die Flamme bogenförmig nach oben zwischen beiden Kohlen und versetzt dabei die Spitzen der Kohlen in Weißglut. Die Temperatur des Lichtbogens ist so hoch, daß

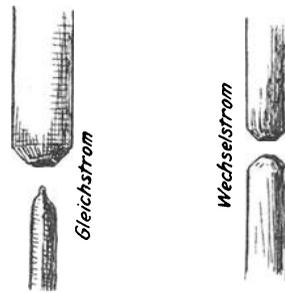


Fig. 144.

darin alle Metalle geschmolzen werden. Man kann nun mit Gleichstrom und mit Wechselstrom den Lichtbogen erzeugen, in beiden Fällen ist er verschieden. Man erkennt dies an der Form der Kohlenspitzen, die sie nach kurzer Zeit unter dem Einfluß des Lichtbogens annehmen. In Fig. 144 sind die Kohlenspitzen für beide Stromarten gezeichnet. Leitet man bei Gleichstrom den Strom von der oberen Kohle zur unteren, so wird die obere allmählich kraterförmig ausgehöhlt, die untere dagegen spitz. Bei Wechselstrom werden beide Kohlen ausgehöhlt, aber weit weniger als bei Gleichstrom. Die Form der Kohlenspitzen rührt daher, daß der Strom von der einen Kohle kleine glühende Teilchen mitreißt, die dann auf der anderen wieder abgesetzt werden. Da aus diesem Grunde immer die Kohle bei Gleichstrom stärker abgenutzt wird, von welcher der Strom austritt, wird sie in den Gleichstrombogen-

lampen stets dicker und länger ausgeführt als die untere Kohle. Beide Kohlen verbrennen aber außerdem allmählich, sie werden also immer kürzer und der Zwischenraum zwischen ihren Spitzen wird immer länger. Da der Lichtbogen aber nicht beliebig lang gezogen werden kann und außerdem möglichst immer dieselbe Länge besitzen muß, wenn die Lampe ruhig brennen soll, muß jede Bogenlampe eine Vorrichtung besitzen, welche die Kohlen selbsttätig immer wieder einander nähert, wenn sie sich allmählich verzehren. Die Auslösung dieser Vorrichtung geschieht meist durch Elektromagnete und je nach der Schaltung dieser Magnete sind zu unterscheiden: Hauptstrom-, Nebenschluß- und Differenziallampen.

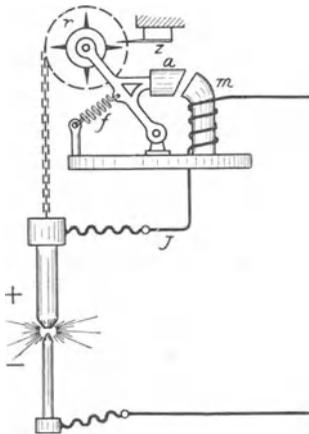


Fig. 145.

Die Wirkungsweise der **Hauptstromlampe** geht hervor aus Fig. 145. Durch das Abbrennen der Kohlen wird die Entfernung zwischen ihnen größer, also der Widerstand für den Strom auch größer. Dadurch wird die Stromstärke J kleiner und schließlich der Magnet m so schwach, daß die Feder f den Eisenanker a von m abzieht, wodurch das Sperrrad r von der Zunge z heruntergezogen wird und die obere Kohle infolge ihres Gewichtes nach unten sinkt. Damit sie aber nur langsam sinken kann, ist in Wirklichkeit zwischen Sperrrad r und Kettenrad eine größere Anzahl

Zahnräder eingeschaltet, außerdem muß die Kohle ein kleines Windflügelrad drehen; alle diese Teile sind, da sie zur Erklärung des Prinzipes nicht notwendig sind, in der Figur fortgelassen. Ist die Kohle so weit gesunken, daß der Strom J wieder stärker geworden ist, dann zieht der Magnet m seinen Anker a wieder an und stellt das Werk fest.

Die Hauptstromlampe kann nur einzeln brennen, da mehrere Lampen sich stark stören würden; sie wird deshalb in Beleuchtungsanlagen nicht verwendet und dient nur zu Scheinwerfern, Projektionslaternen und dergleichen.

Viel allgemeiner ist die **Nebenschlußlampe**, deren Prinzip aus Fig. 146 hervorgeht. Diese Lampe ist etwas schwieriger zu ver-

stehen, denn sie muß zum Brennen einen Vorschaltwiderstand W besitzen, ohne den sie überhaupt nicht arbeiten kann. Man erkennt aus der Figur, daß der Strom J sich verzweigt in einen Strom J_1 , welcher durch den Lichtbogen geht, und einen Strom i , welcher durch die Wicklung des Magneten geht, welche diesmal im Gegensatz zur Hauptstromlampe hohen Widerstand besitzt, also aus vielen Windungen dünnen Drahtes besteht. Wird der Lichtbogen länger, so wird dadurch der Strom J_1 schwächer, folglich auch J schwächer. Nun hat die Spannung E immer denselben Wert. Wenn aber J kleiner wird, dann wird nicht so viel Spannung von E verbraucht,

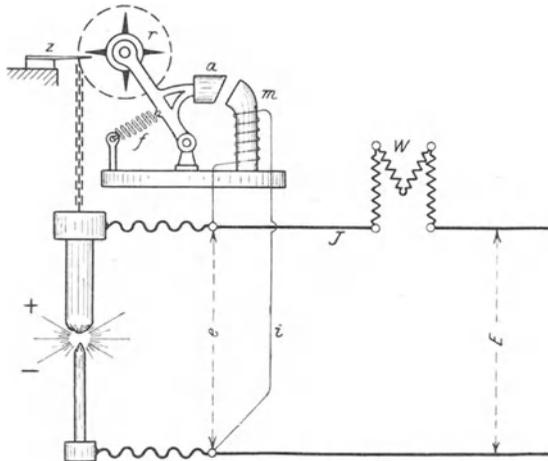


Fig. 146.

um den Strom durch den Vorschaltwiderstand hindurch zu treiben, so daß die Spannung e , die für den Lichtbogen übrig bleibt, größer wird. Nun treibt aber diese Spannung e den Strom i durch die Wicklung des Magneten m , folglich, wenn durch das Abbrennen der Kohlen J_1 damit J schwächer wird, dann wird i stärker. (Trotzdem aber i stärker wird, wird doch J schwächer, denn i ist so klein gegen J_1 , daß seine Änderung nichts ausmacht.) Infolge des stärker werdenden i zieht schließlich m seinen Anker a an, wodurch dann die obere Kohle heruntersinken kann, wie bei der Hauptstromlampe. Beim Heruntersinken der oberen Kohle wird der Lichtbogen wieder verkürzt, der Strom stärker, folglich wird mehr

Spannung verbraucht, um den Strom durch den Vorschaltwiderstand zu treiben, so daß e abnimmt und die gespannte Feder f den Anker a vom Magneten abzieht, weil dieser infolge des abnehmenden e schwächeren Strom i bekannt. Selbstverständlich besitzt auch die Nebenschlußmaschine noch mehr Zahnräder, als gezeichnet sind, und ein Windflügelrad oder dergleichen Vorrichtungen zur Vermeidung zu schnellen Sinkens der oberen Kohle. Man erkennt an dem Schema Fig. 146 auch, was zu tun ist, wenn die Lampe schlecht brennt. Der Lichtbogen braucht zum richtigen Brennen eine bestimmte Länge, meist 2—5 mm; diese bestimmte Länge muß möglichst eingehalten werden, es muß also die Lampe sehr häufig und immer nur wenig regulieren. Nun kann es vorkommen, daß sie zu leicht reguliert, dann zischt der Lichtbogen und das Licht ist unruhig,

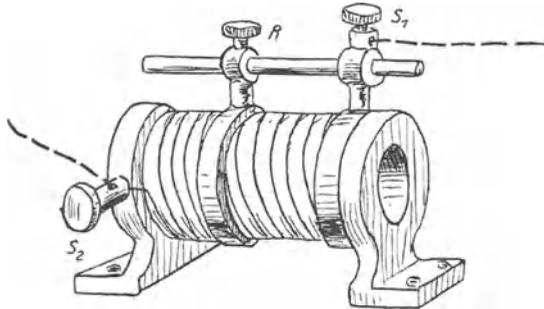


Fig. 147.

es fallen häufig glühende Kohlenteilchen von der Spitze der unteren Kohle herunter; ebenfalls kann auch das Umgekehrte der Fall sein, die Lampe reguliert zu schwer, dann verlöscht der Lichtbogen fast oder ganz und brennt ebenfalls unruhig; in beiden Fällen muß man einfach, wenn man sich überzeugt hat, daß die Lampe ihren richtigen Strom bekommt, daß also der Vorschaltwiderstand richtig eingestellt ist, nur die Spannung der Feder f ändern; im ersten Falle müßte man sie spannen, damit dem Magneten das Anziehen seines Ankers schwerer gemacht wird, im zweiten Falle nachlassen.

Selbstverständlich müssen auch die Vorschaltwiderstände eingestellt werden, damit die Lampe ihren richtigen Strom bekommt. In Fig. 147 ist ein Vorschaltwiderstand gezeichnet, in der Art, wie sie gewöhnlich benutzt werden. Auf einem Porzellanzyylinder ist ein Draht aus Widerstandsmaterial aufgewunden. Die Stromzu- und

ableitung geschieht an den Klemmen S_1 S_2 . Je weiter man den Ring R nach S_2 zu verschiebt, um so kürzer wird das Stück des Widerstanddrahtes, durch welches der Strom hindurgeht, um so stärker also der Strom, und umgekehrt würde man den Strom schwächen, wenn man den Ring R nach S_1 zu verschiebt.

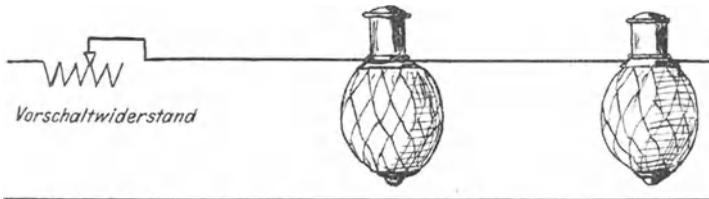


Fig. 148.

Die Nebenschlußlampe kann zu mehreren zusammen brennen und wird bei 110 Volt zu zweien, bei 220 Volt zu vierten hintereinander geschaltet, wobei für alle Lampen zusammen immer ein Vorschaltwiderstand genügt. Die Schaltung für 110 Volt zeigt Fig. 148. Die Spannung, mit welcher eine Lampe brennt, beträgt 40—45 Volt.

Neuerdings baut man auch Lampen für 37 Volt, von denen man bei 110 Volt drei hintereinander schalten kann, wenn man **Differentiallampen** benutzt, weil diese ohne Vorschaltwiderstand arbeiten

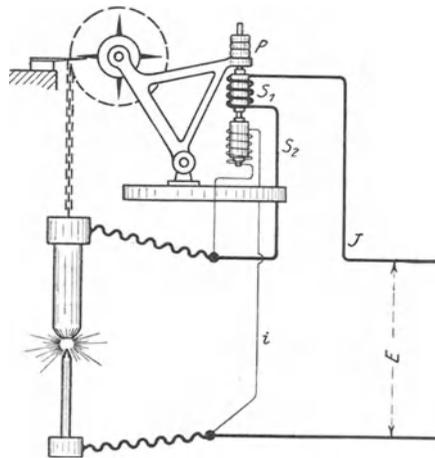


Fig. 149.

können. Man nennt diese Art Lampen Dreischaltungslampen; sie werden von der Bogenlampenfabrik KÖRTING & MATTHIESSEN ausgeführt.

Alle Differentiallampen können ohne Schwierigkeit zu beliebig vielen hintereinander geschaltet werden, denn sie beeinflussen sich noch weniger als die Nebenschlußlampe. Das Prinzip der Differentiallampen zeigt die Fig. 149. Man erkennt daraus, daß diese Lampen

eine Mischung aus Hauptstrom- und Nebenschlußlampe sind. Sie besitzen 2 Spulen S_1 S_2 , welche jede einen eisernen Kern in sich einziehen kann. Wird der Lichtbogen allmählich immer länger, dann wird der Strom J immer schwächer, folglich wird die Spule S_1 allmählich ebenfalls schwächer. Da aber die Spule S_2 immer mit derselben Kraft zieht, oder wenn eine längere Leitung vorhanden oder ein Vorschaltwiderstand, sogar noch etwas stärker, wenn J abnimmt, aus demselben Grunde, wie bei der Nebenschlußlampe auseinandergesetzt wurde, so wird schließlich die Spule S_2 stärker ziehen als S_1 und dadurch das Werk frei machen. Nun sinkt die

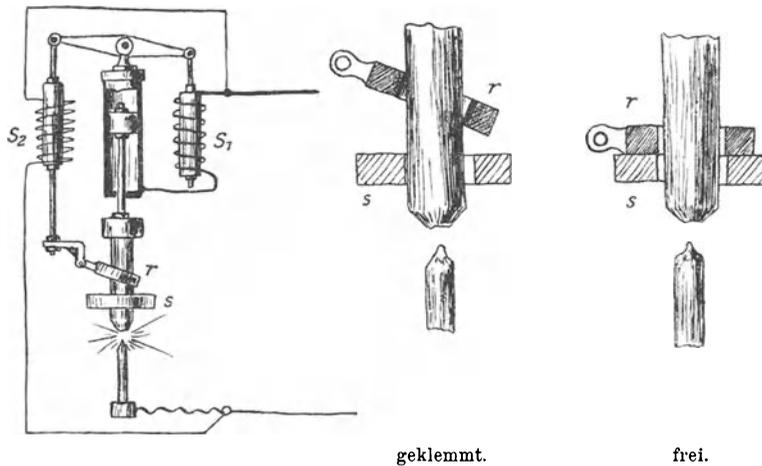


Fig. 150.

obere Kohle herunter, wodurch J wieder stärker wird und die Spule S_1 dann das Werk wieder feststellt.

Die bisher beschriebenen Reguliereinrichtungen entsprechen im Schema denen, wie sie die schon erwähnte Firma KÖRTING & MATTHIESSEN anwendet. In Fig. 150 ist eine Differentiallampe von SCHUCKERT & Co., Nürnberg, gezeichnet. Das dort zur Anwendung gekommene Prinzip wird von der genannten Firma für **Dauerbrandbogenlampen** verwendet, die noch erklärt werden sollen, und ist gezeichnet, damit der Leser auch noch außer dem bisher behandelten Prinzip eines Regelungsmechanismus einen anderen kennen lernt.

Die beiden Spulen S_1 S_2 , deren Schaltung natürlich dieselbe ist wie in Fig. 149, wirken auf einen Hebel. Zieht die Hauptstrom-

spule S_1 stärker, dann wird durch den Ring r die obere Kohle geklemmt, wie die Nebenfigur zeigt. Wird schließlich durch das Abbrennen der Kohlen die Wirkung der Nebenschlußspule S_2 stärker, so wird der Ring r , weil die Spule S_2 dann ihren Eisenkern einzieht, nach unten bewegt und legt sich schließlich auf die Scheibe s auf, so daß die obere Kohle heruntersinken kann. Damit sie nur langsam sinkt, ist sie mit einer Stange verbunden, die einen in einem Rohr sich bewegenden Kolben besitzt. Gleichzeitig dient Kolben und Rohr zur Stromzuführung für die obere Kohle.

Wir wollen nun zunächst noch die schon erwähnten Dauerbrandlampen kurz besprechen. Wie der Name sagt, zeichnen sie sich dadurch aus, daß die Kohlen wesentlich länger aushalten als in gewöhnlichen Bogenlampen, nämlich 80—120 Brennstunden, während bei den gewöhnlichen Lampen im Winter fast jeden Tag neue Kohlen eingesetzt werden müssen.

Die Dauerbrandlampen besitzen einen in einen Glaszylinder eingeschlossenen Lichtbogen nach Fig. 151. Der Glaszylinder ist oben offen, so daß die obere Kohle frei sich bewegen kann. An der unteren Kohle ist er abgedichtet. Schaltet man die Lampe ein, so nehmen die glühenden Kohlen zunächst der in dem Zylinder enthaltenen Luft den Sauerstoff, d. h. sie verbrennen, wobei sich Kohlensäure bildet. Sobald aller Sauerstoff der Luft entzogen ist, was ziemlich rasch vor sich geht, hört das Verbrennen der Kohlen auf, sie werden dann nur noch durch den Strom allmählich verzehrt. Der Glaszylinder darf oben offen sein, weil das sauerstoffarme Gasgemisch in ihm schwerer als Luft ist; unten muß er natürlich dicht sein. Die Dauerbrandlampen müssen an 110 Volt Spannung brennen, können aber sonst genau so eingerichtet sein wie gewöhnliche Bogenlampen.

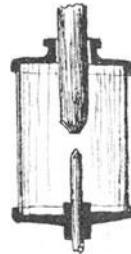


Fig. 151.

Durch Zusatz von Salzen, welche Kalzium, Strontium, Baryum enthalten, zu den Kohlen erreicht man eine günstigere Lichtausbeute und außerdem eine Färbung des Lichtes rötlich, gelblich usw. Eine solche Lampe ist die **Bremerlampe**. Sie muß mit einem längeren Lichtbogen brennen als die gewöhnlichen Lampen, weil die verdampfenden Salze den Bogen besser leitend machen.

Eine besondere Art neuer Bogenlampen sind die **Flammenbogenlampen** mit schräg abwärts gerichteten Kohlen (Fig. 152). Sie

strahlen das meiste Licht senkrecht nach unten aus, müssen aber, damit der Lichtbogen nach unten brennt, einen Magneten vor den Kohlen haben, durch dessen Einfluß auf den Strom im Lichtbogen letzterer in die erforderliche Richtung gedrängt wird.

Alle besprochenen Einrichtungen können für Gleich- oder

Wechselstrom im Prinzip Anwendung finden. Die **Wechselstromlampen** müssen jedoch, wenn die Spulen auf Hülsen aus Metall aufgewickelt sind, mit geschlitzten Hülsen versehen sein, weil letztere sonst durch das infolge des Wechselstroms beständig wechselnde Kraftlinienfeld der Sitz von

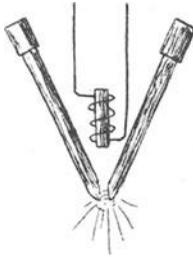
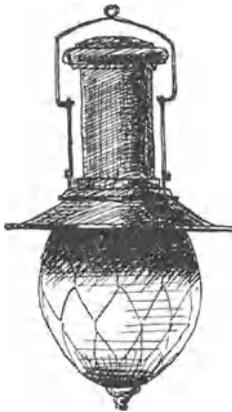


Fig. 152.

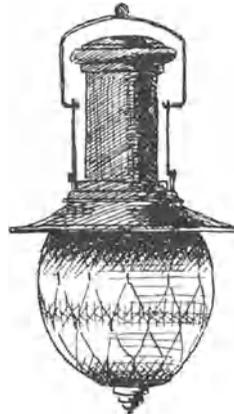


Fig. 153.

Wirbelströmen werden, welche die Spulen heiß machen. Bei geschlitzten Spulenhülsen können Wirbelströme nur in geringem Maße entstehen.



Gleichstrom.



Wechselstrom.

Fig. 154.

Ferner sind die Kohlenspitzen bei Wechselstrom nach Fig. 144 andersartig geformt als bei Gleichstrom. Da aber der schon dort erwähnte Krater die Hauptquelle des Lichtes ist, so folgt aus Fig. 144, daß Gleichstrombogenlampen hauptsächlich ihr Licht nach unten werfen, Wechselstromlampen dagegen werfen ihr Licht teil-

weise nach oben, teilweise nach unten, da beide Kohlen einen Krater haben. Man erkennt diese Lichtverteilung an dem Schatten auf den Lampenglocken, wie Fig. 154 zeigt. Da das nach oben geworfene Licht wenig Zweck hat, sucht man diese Verteilung bei den Wechselstromlampen zu ändern, indem man dicht über dem Lichtbogen einen Reflektor *R* aus emailliertem Eisen anbringt nach Fig. 155.

Neuerdings haben auch die **Quecksilberdampflampen** Aufsehen erregt. Diese Lampen bestehen aus einem etwa $\frac{1}{2}$ m langen Glasrohr, in welchem oben und unten Drähte eingeschmolzen sind. Schaltet man die Lampe ein und bringt durch Neigen die beiden Drähte mit dem Quecksilber in Verbindung, so entsteht beim Zurückneigen in die schräge Stellung (Fig. 156) zwischen dem oberen Draht

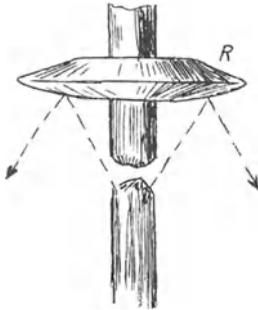


Fig. 155.



Fig. 156.

und dem zurückfließenden Quecksilber ein Lichtbogen, dadurch wird fortwährend im Inneren der Röhre Quecksilber verdampft und die Dämpfe erzeugen ein grünliches Licht. Die Lampe brennt außerordentlich billig, leider hat ihr Licht eine zu unangenehme Farbe. Da sie aber sehr viele chemisch wirksame Strahlen aussendet, eignet sie sich für Photographen, die sie auch schon verschiedentlich anwenden.

Eine weitere vielversprechende Neuerung ist die Magnetitbogenlampe der General-Electric. Co., deren Brenndauer etwa 400 Stunden beträgt. Bei ihr wird der Lichtbogen zwischen Kupfer und Magneteisenstein gebildet.

Ich möchte nun noch einige Bemerkungen über das elektrische Licht im allgemeinen machen. Da die heute noch verwendeten elektrischen Lampen mit allen sonstigen Beleuchtungseinrichtungen

das gemeinsam haben, daß bei ihnen das Leuchten durch infolge hoher Temperatur zum Glühen gebrachter Körper entsteht, so entwickeln sie neben dem Licht hauptsächlich Wärme. Je schlechter nun eine Lampe die ihr gelieferte Energie umsetzt, um so mehr Wärme entwickelt sie und um so weniger Licht. Am schlechtesten ist in dieser Beziehung die Stearinkerze. Am besten sind die elektrischen Lampen. Das elektrische Licht hat aber noch einen sehr wesentlichen Vorzug. Es wird, da die Glühlampen in einer verschlossenen Glasbirne glühen, kein Sauerstoff der Luft entzogen, weil die Fäden nicht verbrennen; auch die Kohlen der Bogenlampen entziehen der Luft nur sehr wenig Sauerstoff zu ihrem Verbrennen, da sie hauptsächlich durch den Strom ins Glühen versetzt werden und das Verbrennen nur eine Nebenerscheinung ist. Nun bedeutet aber ein Verbrennen stets eine unangenehme Luftverschlechterung, denn beim Verbrennen wird der Sauerstoff der Luft in Kohlensäure verwandelt. Der Mensch braucht aber den Sauerstoff zum Atmen, und da vor allem die Gaslampen sehr viel Kohlensäure entwickeln, ebenso Petroleum usw., so steht das elektrische Licht in gesundheitlicher Beziehung an der Spitze, vor allem das Glühlicht, welches gar keine Kohlensäure entwickeln kann.

Das Ideallicht, das sogenannte Licht der Zukunft ist dasjenige Licht, bei dessen Erzeugung gar keine Wärme mehr entsteht, und welches natürlich keine Kohlensäure oder sonstigen Gase entwickelt, welches also die ihm gelieferte Energie vollständig in Licht umsetzt. Wir besitzen dieses Licht in der Natur beim Glühwürmchen und können es künstlich herstellen durch die Elektrizität in den GEISSLERschen Röhren. Leider ist aber diese Art der Lichterzeugung praktisch für ausgedehnte Beleuchtungsanlagen noch nicht anwendbar. Jedoch wird es in einer anderen Form schon seit mehreren Jahren, vor allen Dingen in Amerika versuchsweise angewendet, als sogenanntes **kalt**es Licht oder MOORESches Licht. MOORE unterbricht einen Strom aus einer größeren Batterie *A* (Fig. 157) in einem luftleeren Raum bei *L*. Diese Unterbrechung geschieht selbsttätig in folgender Weise: Durch den Strom, der in den Windungen der Spule *S* um den Eisenkern *K* fließt, wird dieser magnetisch, er zieht infolgedessen den eisernen Anker *a* an, welcher an einer Feder *f* befestigt ist. Dadurch biegt sich die Feder und es kommt die Kontaktplatte *p* außer Berührung mit der Feder *f*, wodurch der Strom unterbrochen wird.

Durch das Unterbrechen des Stromes, welches, da es im luftleeren Glaskörper L vor sich geht, sehr rasch erfolgt, verschwindet das magnetische Feld des Kernes, wodurch in den Windungen der Spule S eine außerordentlich hohe Extraspannung entsteht. Sobald aber der Strom unterbrochen ist und der Kern unmagnetisch wird, schnellt die Feder f wieder zurück gegen p , es ist der Strom wieder geschlossen, also wird der Kern wieder magnetisch, zieht a an, und so geht in rascher Folge das selbsttätige Schließen und Öffnen des Stromkreises vor sich. Die jedesmal beim Unterbrechen auftretende hohe Extraspannung veranlaßt GEISSLERSche Röhren R ,

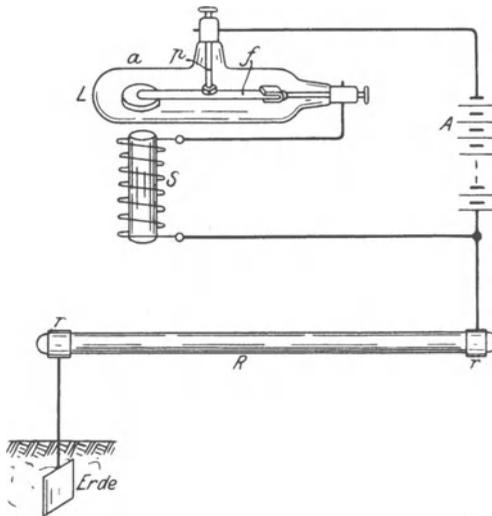


Fig. 157.

die nicht einmal in einem geschlossenen Stromkreis zu liegen brauchen und nur mit Metallringen r von außen umgeben sind, zum Aufleuchten, welches, da die Unterbrechungen sehr schnell erfolgen, ähnlich wie Wechselstromglühlicht einen ununterbrochenen Eindruck macht. Die GEISSLERSche Röhre ist ein Glasrohr, welches mit verdünnten Gasen gefüllt ist. Je nach der Art der Gase ist die Farbe des Lichtes verschieden. Bei der praktischen Anwendung des MOORESchen Lichtes werden die Röhren unter der Decke der Räume in den Ecken angebracht, so daß die Beleuchtung dann ganz und gar abweichend von der althergebrachten erscheint.

X. Elektrische Anlagen.

In jeder elektrischen Anlage wird die Elektrizität in der sogenannten Zentrale erzeugt. In dieser laufen die Maschinen und von hier aus wird durch Drähte und Kabel die elektrische Energie für Kraft- und Lichtzwecke verteilt. Da man fast stets in einer Zentrale mehrere Maschinen anwendet, die zu Zeiten starker Strom-

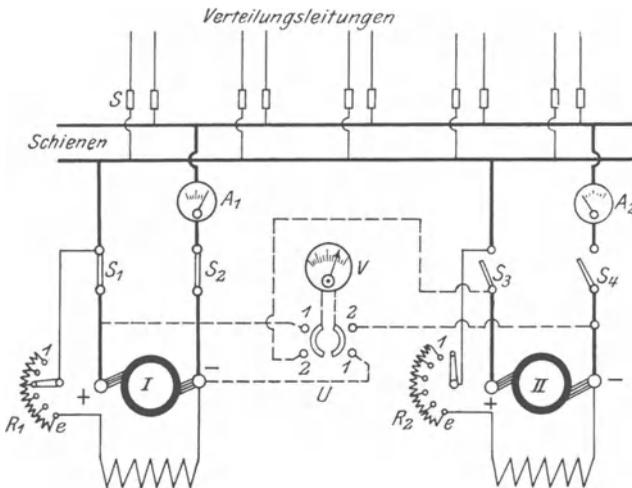


Fig. 158.

entnahme zusammen arbeiten, wollen wir uns mit den dabei zu beachtenden Vorschriften zunächst befassen. In Fig. 158 ist die Schaltung einer kleinen Gleichstromanlage mit 2 Maschinen gezeichnet. Nehmen wir an, es sei diejenige einer Fabrik. Dann werden morgens zunächst beide Maschinen eingeschaltet, wenn im Winter Licht und Kraft gleichzeitig gebraucht werden. Man stellt z. B. zuerst die Maschine I an, indem man nach Inbetriebsetzung

der Antriebsmaschine den Hebel S_1 schließt und die Kurbel des Reglers R_1 von Kontakt O auf einen beliebigen Kontakt zwischen 1 und e stellt. Es kann sich bei geschlossenem Schalter S_1 die Maschine selbst erregen, welcher Vorgang ja schon früher beschrieben wurde. Man stellt den Voltmeter-Umschalter U auf die Stellung $1-1$ und erkennt dann am Voltmeter V , wann die normale Spannung der Maschine erreicht ist. Sobald dies der Fall, schließt man auch den zweiten Hebel S_2 . Soll die Maschine II nun auch eingeschaltet werden, so braucht sie sich nicht mehr selbst zu erregen, weil schon Spannung an den Schienen vorhanden ist. Man schließt deshalb bei dieser Maschine zuerst den Hebel S_4 , dann fließt von den Schienen aus ein Strom durch die Magnetwicklung der Maschine II , dessen Stärke mit dem Regler R_2 so geregelt wird, daß auch II die normale Spannung gibt, was man am Voltmeter V erkennt, wenn man U auf $2-2$ stellt. Sobald die Spannung von Maschine II genau so hoch geworden ist als die von Maschine I , darf man den Hebel S_3 schließen. Schließt man S_3 zu früh, dann würde aus Maschine I ein Strom in Maschine II hineinfließen; man muß deshalb vor dem völligen Ausschalten der zweiten Maschine an die Schienen die Spannungen genau vergleichen. Die zugeschaltete Maschine II gibt nun zunächst noch keinen Strom. Um sie auch zu belasten, geht man mit der Kurbel von R_1 zurück, mehr nach 1 zu, und mit der von R_2 weiter vor, nach e zu. Dadurch reguliert man die elektromotorische Kraft von Maschine I etwas herunter und die der Maschine II etwas herauf. Wir wissen ja schon, daß die elektromotorische Kraft den Strom erzeugt und daß zum Fließen des Stromes Spannung verbraucht wird.

Herrscht nun zwischen den Schienen eine bestimmte Spannung, so muß, wenn Strom im Netz entnommen wird, in der Maschine eine höhere elektromotorische Kraft erzeugt werden, als die Schienenspannung beträgt, weil ja der Strom in der Maschine schon durch den Widerstand der Ankerwicklung getrieben werden muß. Hierzu sind einige Prozent der gesamten erzeugten elektromotorischen Kraft erforderlich, meist $2-3\%$. Ist nun die zweite Maschine so einreguliert, daß ihre elektromotorische Kraft gerade gleich der Spannung der schon laufenden ist, welche gleichbedeutend mit der Schienenspannung ist, da man in Fig. 158 und überhaupt immer mit dem Voltmeter nur dann die gesamte elektromotorische Kraft messen kann, wenn der Anker stromlos ist, so kann die zweite Maschine

zunächst noch keinen Strom abgeben, sondern da beide Maschinen mit gleichen Polen zusammengeschaltet sind, heben elektromotorische Kraft der Maschine *II* und Schienenspannung, berührend von der belasteten Maschine *I*, sich auf, so daß in den Verbindungsleitungen von Maschine *II* zu den Schienen kein Strom fließt. Reguliert man die elektromotorische Kraft von Maschine *II* etwas höher und gleichzeitig die von Maschine *I* etwas zurück, vermittelt der entsprechenden Regler R_1 und R_2 , so beteiligt sich auch Maschine *II* an der Strom-

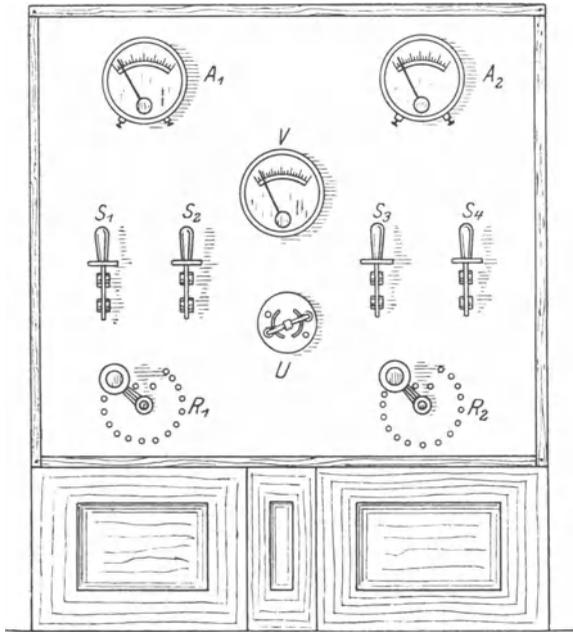


Fig. 159.

lieferung ins Netz. Der Anteil des gesamten Stromes, der im Netz nötig ist, wird für jede Maschine durch die entsprechenden Ampere-meter A_1 und A_2 angezeigt, und nach der Angabe dieser Ampere-meter kann man die gesamte Belastung beliebig auf beide Maschinen verteilen. Will man dann später, wenn kein Licht mehr erforderlich ist, eine Maschine still setzen, weil jetzt eine einzige Maschine den Bedarf decken kann, so geschieht dies in folgender Weise: Gesetzt, wir wollen Maschine *I* abschalten, *II* soll allein arbeiten. Zuerst drehen wir die Kurbel von R_1 immer mehr nach *I* zu, während

wir die von R_2 ebensoviel nach e zu drehen. Dabei beobachten wir die Maschinenamperemeter, und wenn A_1 auf null steht, ziehen wir den Hebel S_2 , setzen die Antriebsmaschine still und drehen R_1 auf null, schließlich ziehen wir zuletzt den Schalter S_1 .

Die zur Bedienung der Maschinen erforderlichen Apparate werden übersichtlich auf einer Schalttafel angebracht, die für die in Fig. 158 gezeichnete Schaltung etwa das Aussehen der Fig. 159 erhält. Alle Verbindungen der Apparate und Instrumente liegen auf der Rückseite der Marmortafel, die aus diesem Grunde stets genügenden Abstand von der Wand des Maschinenhauses erhält. Ebenfalls kommen auf die Rückseite auch die **Sicherungen** für die Leitungen. In dem Schema Fig. 158 sind diese mit S bezeichnet. Die Sicherungen haben folgenden Zweck: Denken wir uns einmal den Fall in Fig. 160, wo eine dünnere Leitung von einer dickeren abzweigt. Die Leitungen haben immer nur sehr wenig Widerstand, wie wir schon im

Anfang gesehen haben, der Hauptwiderstand liegt immer im Verbrauchsgegenstand, in Fig. 160 also in der Lampe. Wenn

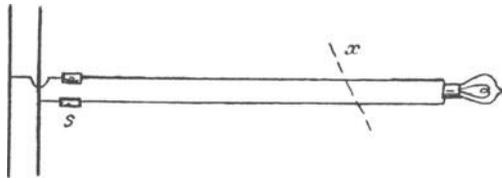


Fig. 160.

nun z. B. ein Gasrohr über der Leitung bei x vorbeiläuft und beide Leitungen durch Wind oder infolge eines anderen Umstandes ihre isolierende Umspinnung an dem Gasrohr durchscheuern, so daß beide mit ihren blanken Drähten dasselbe berühren, dann kann der Strom gleich bei x von der Hinleitung zur Rückleitung übergehen, und da jetzt nur noch der kleine Leitungswiderstand vorhanden ist, so wird der Strom sehr viel stärker werden, als der Draht aushält, d. h. er wird heiß werden und der beschriebene Fall ist ein sogenannter Kurzschluß. Bei der Erhitzung des Drahtes würde natürlich seine Umspinnung Feuer fangen und der Kurzschluß würde Veranlassung zu einem Brande werden, wenn nicht die Sicherungen vorhanden wären. Diese Sicherungen, die am Anfang der Leitung bei S liegen, sind Bleidrähte oder auch andere Drähte, welche sofort durchschmelzen, sobald der Strom nur wenig stärker wird, als der Draht verträgt, und nach dem Durchschmelzen der Sicherungen ist natürlich der Stromkreis unterbrochen. Da diese Sicherungen all-

gemein angewendet werden müssen, für ihre Anbringung ganz bestimmte vom Verband deutscher Elektrotechniker herausgegebene Vorschriften gelten, so kommen Brände durch Kurzschlüsse heute nicht mehr vor, wengleich besonders in den Zeitungen öfter noch von unverständigen Menschen leichtsinnig behauptet wird, sobald irgendwo ein Brand war und dort auch eine elektrische Anlage besteht, ein Kurzschluß sei die wahrscheinliche Veranlassung.

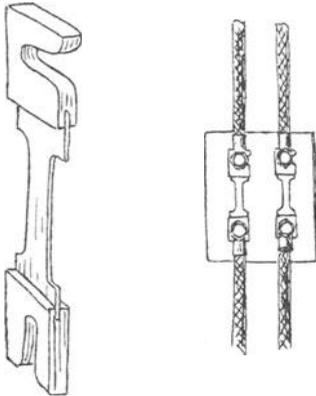


Fig. 161.

Zum besseren Verständnis des Lesers will ich kurz einige Sicherungen beschreiben. Sicherungen auf Schalttafeln bestehen nach Fig. 161 meist einfach aus einem Bleiblechstreifen, der zwischen die Leitungen geschaltet wird. Für höhere Spannungen verwendet man Bleidrähte *P*, nach Fig. 162 in eine Papierröhre eingeschlossen, da bei höherer Spannung das Durchbrennen einer Sicherung unangenehmer vor sich geht als bei Niederspannung.

Mit den Kontaktstücken *S* wird die Sicherung in federnde Bleche gedrückt, die mit den Leitungen verbunden sind. In Fig. 163 ist dann noch eine Stöpsel-Sicherung gezeichnet, wie sie für Leitungen in kleineren Anlagen und in Hausinstallationen gebraucht werden. Sie bestehen aus einem Porzellankörper, der Gewinde (*G*) aus Messing und eine Platte (*P*) besitzt.



Fig. 162.

Beides ist durch einen Bleidraht (*S*) verbunden. Dieser Stöpsel läßt sich in eine Brücke schrauben und verbindet dann die Leitungen so, daß der Strom durch den Bleidraht hindurch muß. Die ganze Vorrichtung wird noch mit einer abnehmbaren Papierklappe versehen.

Da jede Sicherung nur für eine bestimmte Stromstärke verwendet werden kann und beim Einsetzen von zu starken Sicherungen eine Leitung nicht mehr geschützt ist, werden von verschiedenen Firmen unverwechselbare Sicherungen hergestellt, deren Prinzip meist darin besteht, daß z. B. in Fig. 163 der Stöpsel für die

schwachen Ströme am längsten ist und für stärkere Ströme immer kürzer wird, so daß sich beim Einschrauben einer zu starken Sicherung die Platte *P* nicht mehr zur Berührung mit dem Kontaktstück bringen läßt. Wir wollen uns auf diese unverwechselbaren Sicherungen nicht einlassen, sie sind häufig außerordentlich kompliziert.

Wir wollen uns an dieser Stelle aber noch etwas mit den **Schaltern** befassen. Die im Schalt-schema Fig. 158 gezeichneten Schalter werden nur dann geöffnet, wenn die betreffende Maschine mit Hilfe ihres Nebenschlußreglers stromlos gemacht ist. Es können also, da dann kein Strom mehr durch den Schalter fließt, dieselben sehr einfach sein, etwa nach Fig. 164. Schalter für Fälle, in

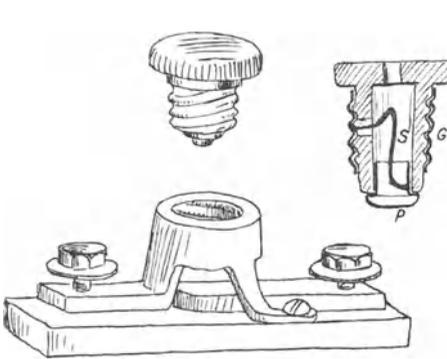


Fig. 163.

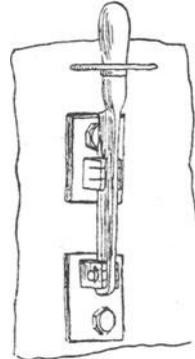


Fig. 164.

denen Strom mit dem Ausschalter unterbrochen wird, müssen mit Momentschaltung versehen sein. Diese Momentschaltung ermöglicht ein plötzliches Unterbrechen auch dann, wenn der den Schalter Bedienende ängstlich ist und diesen langsam bewegt. In Fig. 165 ist schematisch solch ein Momentschalter gezeichnet. Will man ausschalten, dann zieht man an dem Hebel. Das Schaltmesser *S* bleibt aber zunächst noch dabei eingeklemmt zwischen der federnden Kontakten *C*. Ist der Hebel in die punktierte Stellung gelangt, dann drückt man das Messer *S* aus seinen Kontakten heraus, weil dann die Nase *N* des Hebels den Fortsatz *M* des Messers berührt. Ist das Messer *S* so weit aus *C* herausgedrückt, daß es nur noch ganz wenig eingeklemmt ist, dann kann die gespannte Feder *F* dasselbe vollends herausreißen; dabei schnappt aber das Messer

gleich so weit heraus, daß die Feder wieder vollständig zusammengezogen ist, und dieses Herausschnappen geschieht ganz unabhängig von der Geschwindigkeit, mit der der Hebel bewegt wird. Je höher die Spannung ist, für welche der Schalter benutzt werden soll, um so weiter setzt man die Kontakte *C* auseinander und um so weiter läßt man das Schaltmesser herauschnappen.

Für Hochspannung werden die Schalter vielfach mit den schon bei Fig. 28 besprochenen Hörnern ausgerüstet. Der Griff des Schalters sitzt dann auf der Schalttafel, der Schalter selbst aber meist hinter derselben oben. In Fig. 166 ist ein solcher Hörnerschalter gezeichnet. Derselbe darf langsam ausgeschaltet werden, dann entsteht zwischen den Drahthörnern *H* der Flammenbogen, der dann nach obenhin ausflackert.

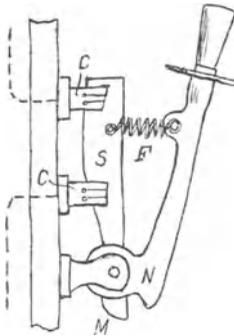


Fig. 165.

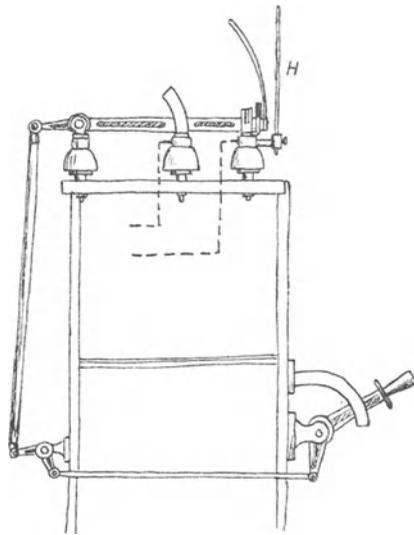


Fig. 166.

Sehr häufig werden neuerdings die Ölschalter für Hochspannung angewendet. In Fig. 167 ist ein solcher, wie er von der Union E.-G. gebaut wird, gezeichnet; man erkennt an dem offenen Schalter, daß die Verbindung der Leitungen hergestellt ist, wenn die Klötze *K* in die Federn *F* geschoben sind. Beim Ausschalten strömt sofort Öl zwischen Federn und Klötze und verhindert ein Feuern. Der in Fig. 167 gezeichnete Schalter ist für Drehstrom geeignet.

Nach diesen Abschweifungen wollen wir nun wieder zurückkehren zu den eigentlichen Anlagen. Wie wir schon wissen, wendet

man in elektrischen Anlagen sehr häufig Akkumulatoren an. In einer solchen Anlage wird das Schalterschema nicht so einfach als

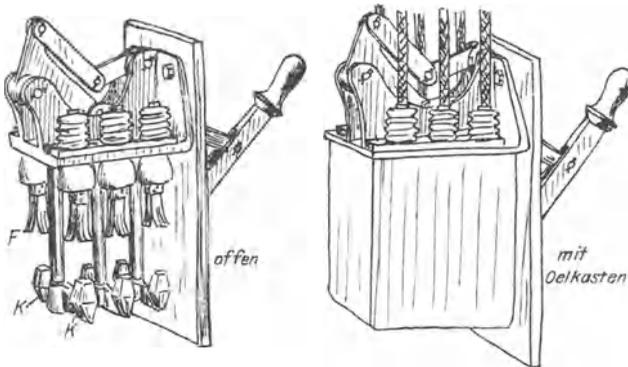


Fig. 167.

wie in Fig. 158. Das übliche Schema für **1 Maschine mit Akkumulatoren** zeigt Fig. 168. Auch hier ist ein Voltmeter V mit

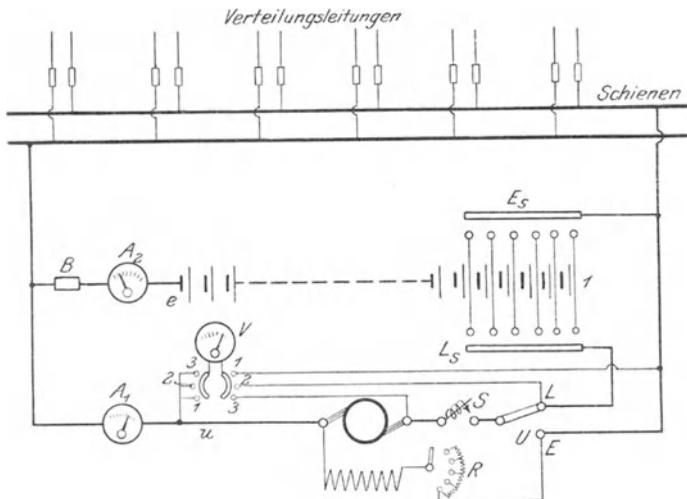


Fig. 168.

Umschalter u nötig. E_s ist der Entladezellenschalter, L_s der Ladeschalter. Diese Zellschalter können rund, nach Fig. 48, oder lang mit Schraubenspindel, nach Fig. 49 ausgeführt sein. Ihre

Notwendigkeit ist ja schon früher begründet worden. Mit der Schaltung nach Fig. 168 können folgende Betriebszustände ausgeführt werden:

1. Maschine und Akkumulatoren arbeiten zusammen auf das Netz.
2. Maschine ladet die Batterie; letztere liefert gleichzeitig Strom ins Netz.
3. Maschine ist stillgesetzt; Batterie arbeitet allein auf das Netz.

Der Zustand 1 wird natürlich erforderlich, wenn zu Zeiten großen Stromverbrauches die Maschine allein nicht die Leistung geben kann. Es steht alsdann der Maschinenumschalter U auf E , so daß die Maschine direkt mit den Schienen verbunden ist. Die Batterie ist durch den Entladeschlitten E_s immer mit den Schienen verbunden. Der selbsttätige Schalter S , der noch erklärt werden soll, ist natürlich eingeschaltet. Batterie und Maschine würden am Abend zusammen auf das Netz arbeiten, weil zu dieser Tageszeit ja die stärkste Belastung herrscht. Nachts und gegen Morgen würde die Maschine stillstehen und nur die Batterie den Bedarf im Netz decken. Alsdann ist der Schalter S ausgeschaltet, die Spannung der Batterie wird mit dem Entladeschlitten E_s auf der normalen Höhe gehalten und kontrolliert mit dem Voltmeter V , dessen Umschalter u dann auf $1-1$ stehen muß. In den Morgenstunden kann dann die Batterie wieder geladen werden. Dabei muß U auf L gestellt werden, dann ist die Maschine durch den Ladeschalter L_s mit der Batterie verbunden. Nun haben aber die Akkumulatoren, wie wir schon wissen, die Eigenschaft, bei der Entladung ihre Spannung zu ändern; dasselbe tun sie bei der Ladung, nur mißt man bei der Ladung zu Anfang an der Zelle 2 Volt; später steigt die Spannung und man setzt die Ladung in der Regel so lange fort, bis die Spannung der Zelle auf 2,5 Volt gestiegen ist. Da nun die Zellen bei 1 (Fig. 168) nur ganz zuletzt eingeschaltet werden bei der Entladung, also nicht so stark entladen werden als die nicht am Zellenschalter liegenden Zellen, so dürfen sie auch nicht so lange geladen werden als die übrigen Zellen; man wird also während der Ladung zuerst den Ladeschlitten L_s ganz links stellen und ihn dann allmählich nach 1 bewegen. Da aber in einer 110 Volt-Anlage auch am Ende der Entladung die Batterie noch 110 Volt haben muß, und dann, wie wir früher sahen, jede Zelle nur noch 1,7 Volt hat, so müssen im ganzen $\frac{110}{1,7} = 65$ Zellen vorhanden sein und die Spannung der Batterie wird

am Ende der Ladung $65 \times 2,5 = 163$ Volt betragen. Hieraus folgt, daß die Maschine zum Laden der Batterie diese höhere Spannung geben können muß, und eine Maschine, welche mit Akkumulatoren zusammen arbeiten soll, wird in der Regel gleich zur Erzeugung der höheren Ladespannung eingerichtet. Ist sie nicht dafür eingerichtet, so stellt man eine Zusatzmaschine auf, welche das Mehr an Spannung liefert. Da diese Maschine bei 110 Volt nur 53 Volt bei der Ladestromstärke der Batterie liefern muß, so wird sie immer klein. Wir wollen jedoch hier nicht weiter auf diese Zusatzmaschine eingehen, zumal sie nur ein Aushilfsmittel ist.¹⁾

In Fig. 168 würde die Bleisicherung *B* erforderlich sein, um die Batterie vor Abgabe einer zu großen Stromstärke zu schützen. Da die Richtung des Stromes in der Batterie verschieden ist bei Ladung und Entladung, so muß das Batterie-Amperemeter, falls es ein Drehspulinstrument ist, nach 2 Seiten ausschlagen. Man erkennt dann auch gleich am Zeiger, ob die Batterie geladen oder entladen wird (Fig. 169). Es wurde schon erwähnt, daß der Schalter *S* selbsttätig ist. Er hat die Eigenschaft, daß er beim schwachem Strom ausschaltet, und heißt daher Nullstromausschalter oder Minimalausschalter. Geht aus irgend einem Grunde die Spannung der Maschine zurück (z. B. wenn der Riemen reißt), dann würde die Batterie Strom in die Maschine liefern, und dieser Strom könnte für die Batterie sehr schädlich werden, weil die Maschine nur wenig Widerstand besitzt. Ehe aber dieser Fall eintritt, wird ja zunächst der Strom, der aus der Maschine kommt, schwächer, und ist er unter einen bestimmten Wert gesunken, dann wirkt der Nullstromausschalter. Dieser ist nach Fig. 170 eingerichtet. Der Strom muß von der Leitung *L* durch die Klemmkontakte und die Messer *M* in einigen Windungen *w* um einen weichen Eisenkern. Dieser wird dabei magnetisch. Er besitzt lappenförmige Fortsätze *l* auf jeder Seite, die sich gegen das Schlußstück *a*,²⁾ ebenfalls aus weichem Eisen,



Fig. 169.

¹⁾ Genaueres über Schaltungen und die dabei zu beachtenden Regeln gibt das kleine Buch von KISTNER, „Schaltungsarten und Betriebsvorschriften“, Verlag von JULIUS SPRINGER in Berlin.

²⁾ In Fig. 170 das untere *a*.

legen und dort, solange der Strom genügend stark ist, infolge des Magnetismus festgehalten werden. Wird der Strom zu schwach, so ziehen die beiden gespannten Federn f den Griff und die damit fest verbundenen Lappen l von dem Schlußstück a ab; dabei schlagen die Nasen e gegen die Messer und drücken sie aus den Kontakten schnell heraus. Das Einschalten geschieht durch Drehen des Griffes nach oben; dabei drücken die Nasen a^1 die Messer M in die Kontakte ein und die Federn werden gespannt. Da die Maschine beim Einschalten, aber auch hier genau wie bei dem Schema Fig. 158 beschrieben wurde, zunächst keinen Strom liefert, weil ihre elektromotorische Kraft mit dem Regler so hoch eingestellt wird, wie die

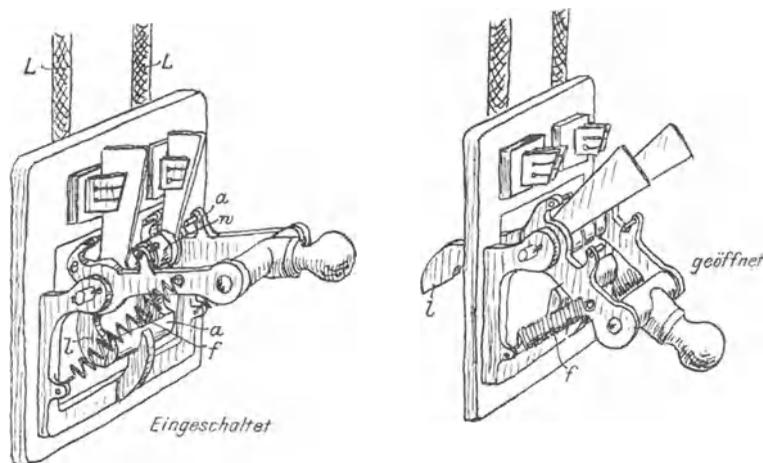


Fig. 170.

Spannung der Batterie beträgt (je nachdem gemessen am Ladeschalter, wenn die Batterie geladen, am Entladeschalter gemessen, wenn sie mit der Maschine zusammen arbeiten soll), muß der Schalter S so lange festgehalten werden, bis mit dem Regler die Maschine belastet ist; dann hält er sich selbst fest.

Die bisher gegebenen Schaltungen gelten im allgemeinen nur für kleinere Anlagen. In Zentralen, welche Städte mit Elektrizität versorgen, führt man häufig oder meistens das sogenannte **Dreileitersystem** aus. Im Prinzip ist ein solches Dreileitersystem in Fig. 171 gezeichnet.

Es sind zwei Maschinen hintereinander geschaltet, so daß zwischen den beiden dick gezeichneten Außenleitern die Summe der

¹⁾ In Fig. 170 das obere a .

beiden Maschinenspannungen herrscht. Außerdem ist zwischen beiden Maschinen eine dünnere Ausgleichsleitung, die sogenannte Nullleitung, herausgeführt. Letztere würde, wenn zwischen + und 0 und 0 und - gleichviele Lampen brennen, vollständig stromlos und demnach überflüssig sein. Es wird natürlich in Wirklichkeit in den beiden Hälften des Dreileiternetzes niemals genau dieselbe

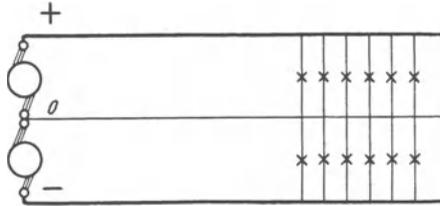


Fig. 171.

Anzahl Lampen brennen; dann muß der Nullleiter den Unterschied des Stromes in beiden Außenleitern führen. Die Verteilung der einzelnen Stromabnehmer erfolgt aber immer so, daß möglichst

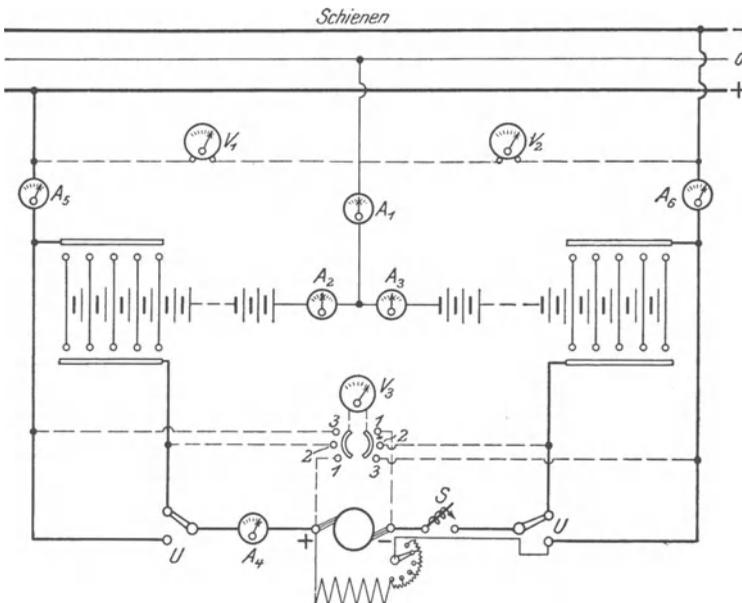


Fig. 172.

gleichmäßig beide Dreileiterhälften belastet sind; deshalb braucht auch der Nullleiter nur $\frac{1}{3}$ des Querschnittes zu besitzen wie die Außenleiter. Man erkennt nun leicht die Vorteile des Dreileitersystems. Zwischen den Außenleitern herrscht die doppelte Spannung

einer Maschine, folglich kann man bei denselben Leitungsverlusten die Energie auf eine weitere Entfernung verteilen, als wenn man mit nur einer Maschine arbeiten würde. Wollte man mit den beiden Maschinen getrennt arbeiten, um dieselbe Zahl Lampen zu speisen; dann müßten an Stelle des dünnen Ausgleichsleiters zwei dicke Leitungen ausgeführt werden; es wird also das Dreileitersystem auch billig in bezug auf die Leitungskosten.

Bei Verwendung von Akkumulatoren führt man meist die Maschine mit der doppelten Spannung aus und legt den Nullleiter an die Mitte der Batterie. Die Schaltung einer solchen Anlage zeigt Fig. 172. Die mit A bezeichneten Instrumente sind Ampere-meter, die mit V bezeichneten Voltmeter. U sind die Umschalter für die Maschine, die schon im Schema Fig. 168 erklärt wurden.

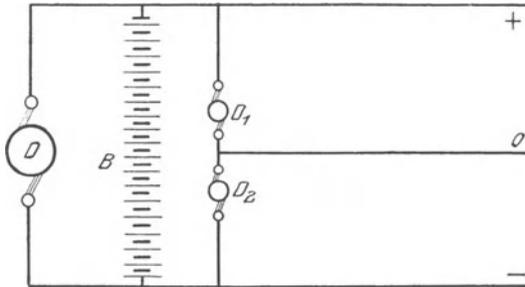


Fig. 173.

Die Amperemeter A_1 , A_2 und A_3 müssen nach 2 Seiten ausschlagen können, sind also nach Fig. 169 auszuführen. S ist der auch schon bei Fig. 168 erklärte und in Fig. 170 gezeichnete Nullstromschalter. Natürlich hat bei der Anordnung nach Fig. 172 jede Batteriehälfte ihren Doppelzellenschalter. Der Nachteil der Schaltung in Fig. 172 ist der, daß bei ungleicher Belastung der beiden Hälften des Dreileiternetzes die beiden Batteriehälften ungleich entladen werden. Da aber bei der Ladung nur immer beide Hälften gleichzeitig geladen werden können, so wird die weniger entladene Hälfte bei der Ladung überladen, und das ist eine zwecklose Verschwendung, denn die Erzeugung der elektrischen Energie kostet Kohlen, also Geld. Man vermeidet diesen Übelstand durch Ausgleichsmaschinen, wie sie SCHUCKERT, SIEMENS & HALSKE und andere Firmen anwenden. Hierbei wird der Nullleiter nur noch zu den Ausgleichsmaschinen geleitet, wie aus dem Schema Fig. 173 hervorgeht. D_1 und D_2 sind die

beiden Ausgleichsmaschinen, welche beide auf einer Welle sitzen und von denen diejenige als Motor läuft, welche in der weniger belasteten Hälfte liegt, während die andere, als Stromerzeuger ar-

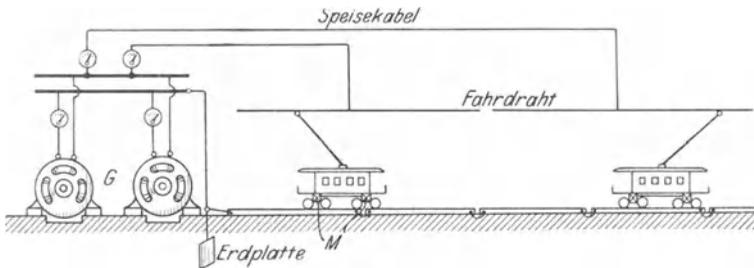


Fig. 174.

beitend, das Mehr an Verbrauch deckt. Selbstverständlich ist die praktische Ausführung der Schaltung wesentlich komplizierter, als in Fig. 173 gezeichnet ist.

Eine besondere Art von elektrischen Anlagen sind die **elektrischen Bahnen**. Wir können dieselben hier auch nur ganz kurz behandeln. Das Schema einer Bahnanlage zeigt Fig. 174.

G sind die Maschinen in der Zentrale, von denen natürlich noch mehr als zwei vorhanden sein können. Die negative Sammelschiene ist geerdet und gleichzeitig mit den Fahrschienen verbunden. Der Fahrdraht besteht aus einzelnen Abteilungen, deren jede ihr besonderes Speisekabel besitzt. Von dem Fahrdraht wird der Strom durch den Bügel oder eine Rolle abgenommen und zum Motor geleitet. Der oder die Motoren sitzen am eisernen Traggestell des Wagens, wie in Fig. 109 gezeichnet ist. Die Fortleitung des Stromes geschieht dann weiter durch die Räder, Schienen und Erde zurück zur Zentrale.

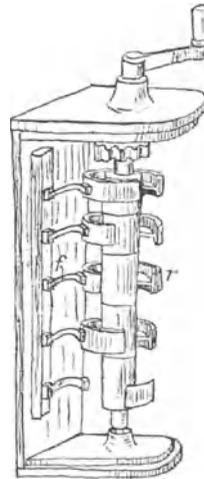


Fig. 175.

Die Regelung der Stromabnahme und der Geschwindigkeit des Wagens geschieht mittels Schaltwalzen, welche vorn und hinten auf den Plattformen angebracht sind und deren Äußeres dem Leser

bekannt sein wird. Wir wollen deshalb sogleich auf das Prinzip dieser Schaltwalzen oder Controller eingehen. In Fig. 175 ist eine Schaltwalze gezeichnet. Auf einer drehbaren Walze sitzen besonders geformte Räder r aus Gelbguß. Auf diese Räder legen sich federnde Finger f auf, und zwar sind, wie man an Fig. 175 erkennt, die Räder so geformt, daß durch Drehen der Walze immer neue Finger aufgelegt werden.

Um die Schaltung genau verfolgen zu können, wollen wir uns die Walze aufgeschnitten denken und die Schleifflächen der Räder r auf das Papier ausgebreitet aufzeichnen. Wir erhalten dann das Schema Fig. 176.

Die dort mit römischen Ziffern bezeichneten Kontakte sind die Finger. Steht die Walze so, daß die Finger auf der Linie 0

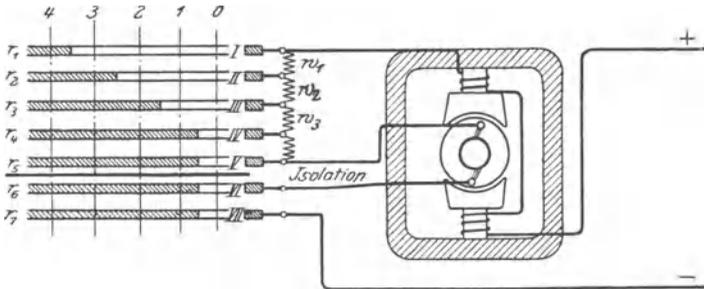


Fig. 176.

stehen, dann ist ausgeschaltet. Stehen die Finger auf der Linie 1, so liegen die Finger IV, V, VI und VII auf und der Strom geht von + durch die Magnetwicklung des Motors, darauf durch die Widerstandsstufen w_1 , w_2 , w_3 des Anlassers zu Finger IV. Da nun die Räder r_1 , r_2 , r_3 , r_4 und r_5 untereinander verbunden sind, geht der Strom von Finger IV durch Rad r_4 zu Rad r_5 , dann nach Finger V, durch den Anker nach Finger VI auf Rad r_6 und, da dieses wieder mit r_7 verbunden ist, durch Finger VII in die - Leitung. Damit der Strom nicht von Rad r_5 nach Rad r_6 herüber geht, ist zwischen diese beiden Isolation geschoben. Dreht man die Walze auf Stellung 2, dann liegt außer den in Stellung 1 aufliegenden Fingern auch noch III auf, so daß dann der Strom von + nur noch durch die beiden Widerstandsstufen w_1 und w_2 hindurch geht. Auf Stellung 3 geht er nur noch durch w_1 und auf Stellung 4 ist aller Widerstand ausgeschaltet, so daß der Motor die volle Spannung

erhält. Aus dem Schema Fig. 176 ergibt sich, daß Rad r_1 nur auf Stellung 4 Auflagefläche haben darf, r_2 auf Stellung 4 und 3 usw. Daraus folgt die in Fig. 177 gezeichnete Form für die Räder.

Bei einer wirklichen Schaltwalze für elektrische Bahnen sind noch viel mehr Schaltungen ausführbar; z. B. kann man auch rückwärts fahren, indem man die Umlaufsrichtung des Motors umkehrt; sodann kann man mit der Walze gleich elektrisch bremsen usw.

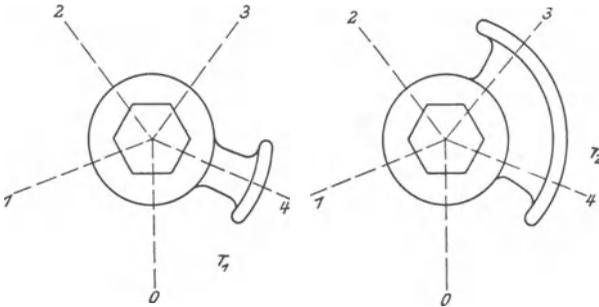


Fig. 177.

Es erübrigt nun noch, auf eine besondere Art von elektrischen Anlagen einzugehen: auf die **Arbeitsübertragungen** auf größere Entfernung mit **Gleichstrom**. Es sind derartige Anlagen selten, aber doch sind einige bemerkenswerte ausgeführt, wie schon eine

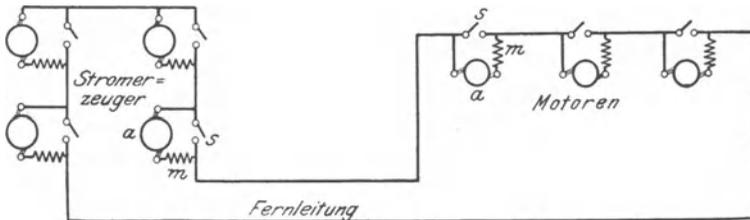


Fig. 178.

Seite 137 erwähnt ist. Man verwendet hierbei stets zweckmäßig Hauptstrommaschinen, während in allen bisher behandelten Fällen Nebenschlußmaschinen zur Anwendung kommen.

Das Schema einer solchen Anlage zeigt Fig. 178. a sind die Anker der Maschinen, m ihre Magnetwickelungen. Da man Gleichstrommaschinen nicht gut für Spannungen über 2000 Volt ausführen kann, muß man zur Erzielung einer hohen Gesamtspannung

mehrere Maschinen hintereinander schalten. Da in der Leitung Spannung verloren geht, so braucht man weniger Motoren als wie Stromerzeuger. Wenn an der Verbrauchsstelle nicht alle Motoren laufen sollen, dann kann man diejenigen, die nicht laufen sollen, durch den Schalter *S* kurzschließen; es brauchen dann natürlich auch weniger Stromerzeuger zu laufen, die man ebenfalls auf dieselbe Weise ausschalten kann.

Die Motoren haben in diesem Falle keinen Anlasser notwendig, denn sie laufen mit den Stromerzeugern gleichzeitig an. Da diese Hauptstrommaschinen sind, so müssen sie, wenn sie sich selbst erregen sollen, ja sowieso einen geschlossenen äußeren Stromkreis vorfinden, wie schon früher erklärt wurde.

Es hat ein solches System auch nur wenig Apparate nötig und außerdem haben hier die Hauptstrommotoren die Eigentümlichkeit, mit konstanter Umdrehungszahl zu laufen, gleichgültig, wie stark sie belastet sind. Wir haben früher gesehen, daß der Hauptstrommotor um so langsamer läuft, je stärker er belastet ist. Ein Hauptstromgenerator liefert aber bei starker Stromstärke hohe Spannung, folglich erhält der Hauptstrommotor bei starker Belastung eine höhere Spannung, als wenn er schwach belastet ist. Da seine Umlaufzahl aber auch von der Spannung abhängt, so läßt er sich so einrichten, daß er in einer Arbeitsübertragung mit konstanter Umdrehungszahl arbeitet, unabhängig von der Belastung.

Zum Schluß wollen wir noch einiges über **Anlagen mit Wechselstrom** und **Drehstrom** besprechen. Wie schon früher erwähnt wurde, muß man, wenn man mehrere Wechselstrommaschinen zusammen arbeiten lassen will, nicht nur auf Gleichheit der Spannungen achten, wie beim Parallelschalten bei Gleichstrommaschinen Seite 159 gezeigt wurde, sondern auch noch auf gleiche Phase. Man erkennt dies leicht am Schema Fig. 179.

Da die Wechselstromvoltmeter natürlich nicht anzeigen, welche Richtung augenblicklich der Strom hat, sondern nur den sogenannten effektiven Wert der Spannung, so könnten die gemessenen Spannungen beider Maschinen gleich sein, aber die eine hätte gerade entgegengesetzte Richtung als die andere, es würde dann ein Einschalten der zweiten Maschine einem Kurzschluß gleich kommen. Man muß daher noch einen sogenannten Phasenindikator anwenden. Dieser besteht im einfachsten Fall aus Glühlampen *L* (Fig. 179). Um die zweite Maschine einzuschalten, schließt man zunächst nur den kleinen Hilfs-

hebel h und verbindet dadurch beide Maschinen vermittels der Lampenleitungen. Da die Lampen unter dem gleichzeitigen Einfluß der Spannungen von beiden Maschinen stehen, so werden sie dann am hellsten brennen, wenn beide Spannungen genau zu gleicher Zeit steigen und abnehmen und gleiche Richtung haben. Nun läuft eine leerlaufende Kraftmaschine stets etwas schneller als eine belastete; es muß deshalb die Antriebsmaschine der zuzuschaltenden Wechselstrommaschine so beeinflusst werden können, daß die Spannungen

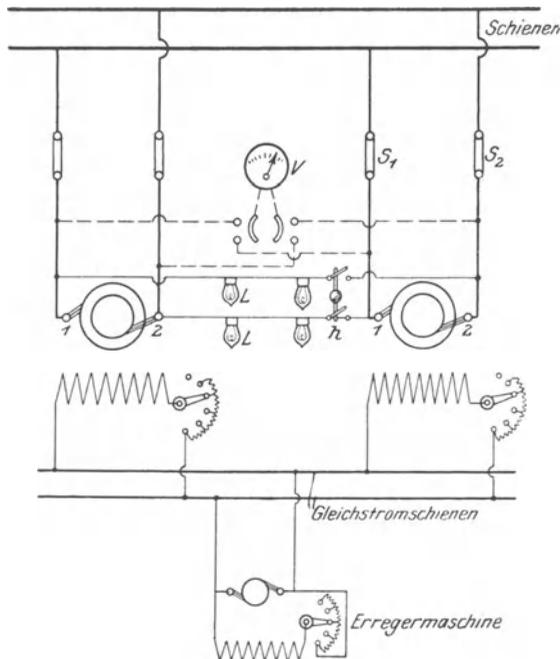


Fig. 179.

gleiche Phasen bekommen. Zu diesem Zweck läßt sich von der Schalttafel aus der Regulator der Dampfmaschine oder Turbine verstellen mit Hilfe eines kleinen Elektromotors.

Auch für Drehstrommaschinen lassen sich diese Phasenlampen anwenden und ist ein diesbezügliches Schaltungschema in Fig. 180 gegeben. Auch ist in diesem Schema höhere Spannung angenommen, denn sowohl die Phasenlampen als auch alle Meßinstrumente sind nicht direkt in die Maschinenleitungen gelegt, sondern mit kleinen

Meßtransformatoren T_1 T_2 verbunden. Außerdem ist auch in Wechselstromanlagen ein Wattmeter für jede Maschine erforderlich (WM).

Da man an den Phasenlampen schlecht erkennen kann, in welcher Weise man die Umlaufzahl der zuzuschaltenden Maschine regeln muß, sind neuerdings vielfach Phasenindikatoren im Gebrauch, welche direkt anzeigen: „zu schnell“ oder „zu langsam“, so daß der

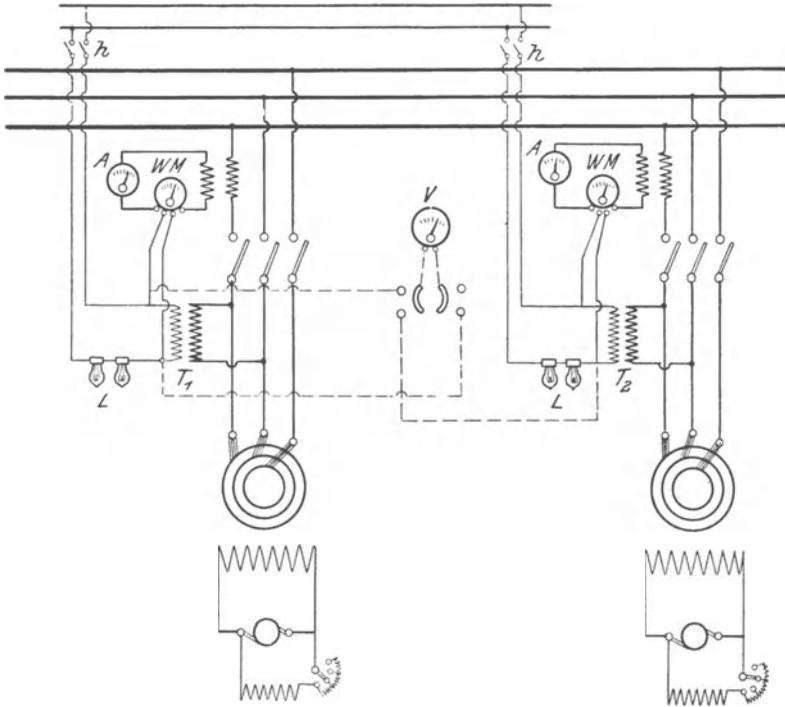


Fig. 180.

Maschinist erkennen kann, wie er regulieren muß. Ferner muß noch hinzugefügt werden, daß man die Wechsel- und Drehstrommaschinen nicht mehr wie die Gleichstrommaschinen mit Hilfe der Regler belasten kann, sondern daß die Verteilung der Belastung auf die einzelnen Maschinen nur durch Veränderung der Dampfung zur Dampfmaschine erreicht werden kann.

XI. Schlufsbemerkungen.

Die in den vorigen zehn Abschnitten zusammengedrängt gegebene Übersicht über die Elektrotechnik umfaßt nun noch längst nicht das gesamte Gebiet dieser Naturkraft. Der Umfang des Buches und der damit beabsichtigte Zweck lassen eine erschöpfende Behandlung sämtlicher Anwendungen der Elektrizität nicht erwarten. Wir sind vielmehr nur auf die eigentliche Starkstromtechnik und besonders ihre Maschinen eingegangen und haben den sogenannten Schwachstrom fast ganz vernachlässigt. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß dieser Gegenstand unwesentlich ist, denn zur Schwachstromtechnik zählt man die ungeheuer wichtigen Anwendungen der Elektrizität im Fernsprechen und Fernschreiben oder Telegraphieren, deren Bedeutung für unsere Kulturentwicklung dem Leser ja bekannt ist. Auf diesen Gebieten sind außerdem gerade in letzter Zeit auch eine erhebliche Anzahl Erfindungen gemacht, die zu einer immer weiteren Vervollkommnung der angewendeten Methoden geführt haben.

Jedenfalls ist die Elektrizität eine derartig leicht und einfach für alle möglichen Zwecke anzuwendende Naturkraft, daß ihr ohne Zweifel die Zukunft gehören wird.

Die Elektrizität läßt sich auf außerordentlich weite Entfernungen fortleiten und ermöglicht so die Ausnutzung von ungünstig gelegenen Wasserkraften, die sonst nicht ausgebeutet werden könnten. In der Schweiz und in Oberitalien werden schon viele elektrische Bahnen auf diese Weise betrieben.

Die Anwendung der Elektrizität zur Erzeugung von Licht und mechanischer Arbeit mittels Elektromotoren ist vorher besprochen worden. Neuere Anwendungen sind dann noch die zu Koch- und Heizzwecken. Leider ist aber letztere Anwendung,

obgleich sie sich mit anderen üblichen Methoden zu dem gleichen Zweck gar nicht vergleichen läßt, vorläufig noch zu teuer.

Wird man aber erst einmal imstande sein, die Elektrizität billiger zu erzeugen, dann schlägt sie vermöge ihrer Vorzüge, die hauptsächlich auf gesundheitlicher Seite liegen, alle anderen Methoden aus dem Felde.

Ein Problem, welches schon viele Köpfe beschäftigt hat und auch fortgesetzt beschäftigt, ist die Umwandlung der Wärme direkt in Elektrizität; wenn es gelöst wird in zufriedenstellender Weise, dann sind alle vorher genannten Übelstände, also hauptsächlich die Kostenfrage für die Elektrizitätserzeugung erledigt.

Es sei mir zur näheren Begründung des eben Bemerkten gestattet, einiges über unsere Mittel zur Umwandlung von Energie im allgemeinen zu sagen. Die Energiequelle, von der wir abhängen und auf die wir alles zurückführen können, ist die Sonne.

Sie leuchtet und erwärmt uns, sie läßt infolge ihrer chemischen Wirkungen unsere Nahrung wachsen, sie besorgt durch Verdunstung des Wassers das Fließen der Flüsse und Ströme, ist also die Urkraft für unsere Wasserkräfte, und sie ist auch in letzter Hinsicht die Kraftquelle für unsere Dampfmaschinen, denn die Kessel, welche den Dampf erzeugen, müssen mit Kohle oder anderem Material geheizt werden, und unsere Heizstoffe sind nur Produkte der Sonnenwärme, wie ja bekannt ist.

Wir nutzen also in der Dampfmaschine die Sonnenwärme aus, aber in welcher mangelhafter Weise und auf welcher umständlichen Art! Wir verfeuern zu dem Zweck das Heizmaterial unter einem Kessel, in den wir kaltes Wasser pumpen. Das Wasser muß dann zunächst so weit erwärmt werden, daß es verdampft; dann wird der Dampf in eine Dampfmaschine geleitet und verrichtet dort Arbeit. Darauf verläßt der Dampf die Maschine, aber immer noch als Dampf und nicht etwa als Wasser, mit der gleichen Temperatur, wie sie das in den Kessel gepumpte Speisewasser hat. Es wird also nur die Wärme dem Dampf entzogen, die er über 100° besitzt; denn Wasser, welches in Form von Dampf in der gewöhnlichen Luft vorhanden ist (beim Austritt aus der Dampfmaschine), besitzt 100° . Die Wärme, die wir dem Wasser zugeführt haben, um es von der kalten Temperatur bis auf 100° zu erwärmen, wird also in der Dampfmaschine nicht ausgenutzt: wir verfeuern die

Kohlen, ohne etwas dafür zu erhalten. Berücksichtigt man die Wärme, die in der Kohle enthalten ist, und die davon erhaltene nutzbare Arbeit, die die Dampfmaschine liefert, so beträgt letztere im besten Fall 20 % der gesamten Wärme. Die Dampfmaschine verschwendet also in entsetzlicher Weise die Kohlen, und es leuchtet danach ein, daß eine Erzeugung der Elektrizität direkt aus Kohle oder noch besser direkt aus der Sonnenwärme ein erstrebenswertes Ziel ist.

Da die Kohlenvorräte auf der Erde nicht unbegrenzt sind, so wird in absehbarer Zeit an die Menschen die Frage herantreten, sich Ersatz zu schaffen, und da bleibt dann, vorläufig wenigstens, nur die Ausnutzung der Wasserkräfte und ihre Umwandlung in Elektrizität übrig.

Anlasser und Regler für elektrische Motoren und

Generatoren. Theorie, Konstruktion, Schaltung. Von Rudolf Krause, Ingenieur. Mit 97 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.

Messungen an elektrischen Maschinen.

Apparate, Instrumente, Methoden, Schaltungen. Von Rudolf Krause, Ingenieur. Mit 166 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.

Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik.

Von Adolf Thomälen, Elektroingenieur. Mit 277 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—.

Hilfsbuch für die Elektrotechnik.

Von C. Grawinkel und K. Strecker. Unter Mitwirkung von Borchers, Eulenberg, Fink, Pirani, Seyffert, Stockmeier und H. Strecker bearbeitet und herausgegeben von Dr. K. Strecker, Geh. Postrat, Professor und Dozent an der Technischen Hochschule zu Berlin. Siebente, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit zahlreichen Textfiguren. Unter der Presse.

Elektromechanische Konstruktionselemente.

Skizzen, herausgegeben von Dr. G. Klingenberg, Professor und Dozent an der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin. Erscheint in Lieferungen zum Preise von je M. 2,40. Bisher sind erschienen: Lieferung 1, 2, 3, 4 (Apparate) und 6, 7 (Maschinen). Jede Lieferung enthält 10 Blatt Skizzen in Folio.

Theoretische und praktische Untersuchungen zur

Konstruktion magnetischer Maschinen.

Von Dr. Max Corsepius. Mit 13 Textfiguren und 2 lithographierten Tafeln. Preis M. 6,—.

Leitfaden zur Konstruktion von Dynamomaschinen

und zur Berechnung von elektrischen Leitungen. Von Dr. Max Corsepius. Dritte, vermehrte Auflage. Mit 108 Textfiguren und 2 Tabellen. In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.

Die Prüfung von Gleichstrommaschinen in Laboratorien

und Prüfräumen.

Ein Hilfsbuch für Studierende und Praktiker von Karl Kinzbrunner, Ingenieur und Dozent für Elektrotechnik an der Municipal School of Technology in Manchester. Mit 249 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 9,—.

Die Gleichstrommaschine. Theorie, Konstruktion, Berechnung, Untersuchung und Arbeitsweise derselben. Von E. Arnold, Professor und Direktor des Elektrotechnischen Instituts der Großherzoglichen Technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe. In zwei Bänden. I. Band: Die Theorie der Gleichstrommaschine. Mit 421 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 16,—. II. Band: Konstruktion, Berechnung, Untersuchung und Arbeitsweise der Gleichstrommaschine. Mit 484 Textfiguren und 11 Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 18,—.

Die Wechselstromtechnik. Herausgegeben von E. Arnold, Professor und Direktor des Elektrotechnischen Instituts der Großherzoglichen Technischen Hochschule Fridericiana zu Karlsruhe. In fünf Bänden. I. Band: Theorie der Wechselströme und Transformatoren. Von J. L. la Cour. Mit 263 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—. II. Band: Die Transformatoren. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 335 Textfiguren und 3 Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—. III. Band: Die Wicklungen der Wechselstrommaschinen. Von E. Arnold. Mit 426 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—. IV. Band: Die synchronen Wechselstrommaschinen. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Mit 514 Textfiguren und 13 Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 20,—. In Vorbereitung befindet sich: V. Band: Die asynchronen Wechselstrommaschinen. Von E. Arnold und J. L. la Cour.

Die Bahnmotoren für Gleichstrom. Ihre Wirkungsweise, Bauart und Behandlung. Ein Handbuch für Bahntechniker von H. Müller, Oberingenieur der Westinghouse-Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, und W. Mattersdorff, Abteilungsvorstand der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft. Mit 231 Textfiguren und 11 lithogr. Tafeln, sowie einer Übersicht der ausgeführten Typen. In Leinwand gebunden Preis M. 15,—.

Elektromotoren für Gleichstrom. Von Dr. G. Roeßler, Prof. an der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 49 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.

Elektromotoren für Wechselstrom und Drehstrom. Von Dr. G. Roeßler, Professor an der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin. Mit 89 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 7,—.

Motoren für Gleich- und Drehstrom. Von Henry M. Hobart, B. Sc., M. I. E. E., Mem. A. I. E. E. Deutsche Bearbeitung. Übersetzt von Franklin Punga. Mit 425 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Dynamomaschinen für Gleich- und Wechselstrom. Von Gisbert Kapp. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 255 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—.

Transformatoren für Wechsel- und Drehstrom. Eine Darstellung ihrer Theorie, Konstruktion und Anwendung. Von Gisbert Kapp. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 165 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 8,—.

Elektromechanische Konstruktionen. Eine Sammlung von Konstruktionsbeispielen und Berechnungen von Maschinen und Apparaten für Starkstrom. Zusammengestellt und erläutert von Gisbert Kapp. Zweite, verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 36 Tafeln und 114 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Der Drehstrommotor. Ein Handbuch für Studium und Praxis. Von Julius Heubach, Chef-Ing. Mit 163 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

Der elektrische Lichtbogen bei Gleichstrom und Wechselstrom und seine Anwendungen. Von Berthold Monasch, Diplom-Ingenieur. Mit 141 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 9,—.

Theorie und Berechnung elektrischer Leitungen. Von Dr. Ing. H. Gallusser, Ingenieur bei Brown, Boveri & Co., Baden (Schweiz) und Diplom-Ingenieur M. Hausmann, Ingenieur bei der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin. Mit 145 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.

Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze in Theorie und Praxis. Bearbeitet von Jos. Herzog und Cl. Feldmann. Zweite, umgearbeitete und vermehrte Auflage in zwei Teilen. Erster Teil: Strom- und Spannungsverteilung in Netzen. Mit 269 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—. Zweiter Teil: Die Dimensionierung der Leitungen. Mit 216 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—.

Schaltungsarten und Betriebsvorschriften elektrischer Licht- und Kraftanlagen unter Verwendung von Akkumulatoren. Zum Gebrauche für Maschinisten, Monteure und Besitzer elektrischer Anlagen, sowie für Studierende der Elektrotechnik von Alfred Kistner. Mit 81 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 4,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Hilfsbuch für den Maschinenbau. Für Maschinentechniker sowie für den Unterricht an technischen Lehranstalten. Von Fr. Freytag, Professor, Lehrer an den technischen Staatslehranstalten in Chemnitz. 1016 Seiten Oktav-Format. Mit 867 Textfiguren und 6 Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—. In Ganzleder gebunden Preis M. 12,—.

Maschinenelemente. Ein Leitfaden zur Berechnung und Konstruktion der Maschinenelemente für technische Mittelschulen, Gewerbe- und Werkmeisterschulen sowie zum Gebrauche in der Praxis. Von Hugo Krause, Ingenieur. Mit 305 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.

Hilfsbuch für Dampfmaschinen-Techniker. Unter Mitwirkung von Professor A. Kás verfaßt und herausgegeben von Josef Hrabák, Oberbergrat und Professor an der k. k. Bergakademie in Pöbbram. Dritte Auflage. In zwei Teilen. Mit Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 16,—.

Das Skizzieren ohne und nach Modell für Maschinenbauer. Ein Lehr- und Aufgabenbuch für den Unterricht. Von Karl Keiser, Zeichenlehrer an der Städtischen Gewerbeschule zu Leipzig. Mit 24 Textfiguren und 23 Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 3,—.

Das Skizzieren von Maschinenteilen in Perspektive. Von Carl Volk, Ingenieur. Mit 54 in den Text gedruckten Skizzen. In Leinwand gebunden Preis M. 1,40.

Technische Untersuchungsmethoden zur Betriebskontrolle, insbesondere zur Kontrolle des Dampfbetriebes. Zugleich ein Leitfaden für die Arbeiten in den Maschinenbaulaboratorien technischer Lehranstalten. Von Julius Brand, Ingenieur, Oberlehrer der Königl. vereinigten Maschinenbauschulen zu Elberfeld. Mit 168 Textfiguren, 2 Tafeln und mehreren Tabellen. In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

Die Hebezeuge. Theorie und Kritik ausgeführter Konstruktionen mit besonderer Berücksichtigung der elektrischen Anlagen. Ein Handbuch für Ingenieure, Techniker und Studierende. Von Ad. Ernst, Professor des Maschinen-Ingenieurwesens an der Kgl. Techn. Hochschule zu Stuttgart. Vierte, neubearbeitete Auflage. Drei Bände. Mit 1486 Textfiguren und 97 lithographierten Tafeln. In 3 Leinwandbänden gebunden Preis M. 60,—.
