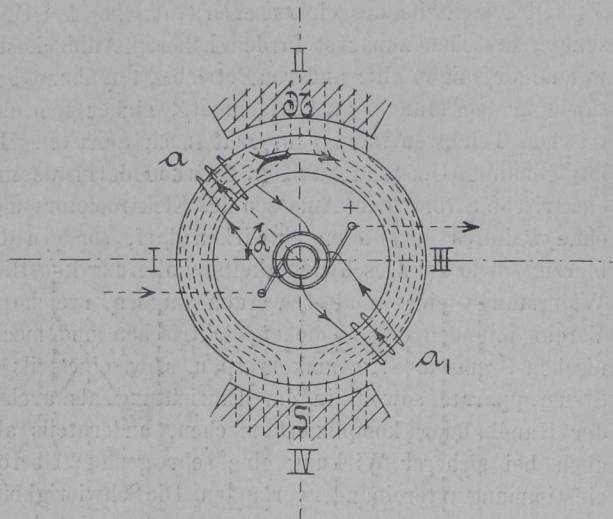


wasserbetrieb gewährleistet. Die Manövrierfähigkeit der elektrisch betriebenen Laufkrane ist namentlich dann eine grosse, wenn für jede der drei Bewegungen ein besonderer Motor vorhanden ist; die einzelnen Räderwerke sind dann unabhängig voneinander, und jede Bewegung kann für sich durch Schaltung des zugehörigen Motors reguliert werden.

Der elektrische Antrieb hat vorzugsweise bei Aufzügen und Kranen Anwendung gefunden. Bei Laufkranen kommt jetzt namentlich der erwähnte Einzelantrieb, wo jede der verschiedenen Lastbewegungen durch einen besonderen Motor erzielt wird, unter neuen Verhältnissen und für grössere Geschwindigkeiten als früher zur Aus-

Fig. 1.



führung. Was die Frage, ob der elektrische Betrieb für die Zukunft allein bei Hebezeugen mit Elementarkraftbetrieb in Betracht kommen wird, anbelangt, so ist wie auf S. 8 auch hier darauf hinzuweisen, dass diese Frage zur Zeit wenigstens nicht ohne weiteres entschieden werden kann. Bei einzelnen Hebezeugen wird man überall dort, wo der Anschluss an ein Leitungsnetz möglich ist, schon mit Rücksicht auf die Leichtigkeit und Einfachheit dieses Anschlusses in den meisten Fällen den elektrischen Antrieb wählen. Bei Gruppenanlagen dagegen wird der Druckwasserbetrieb wegen seiner für gewöhnlich geringeren Betriebskosten neben dem elektrischen seine Anwendung finden, zumal er diesem in der Einfachheit des Hebezeuges und der Steuerung, sowie in der leichten Bedienung wenigstens augenblicklich noch überlegen ist.

§ 9.

**Der elektrische Strom und die Elektromotoren.**

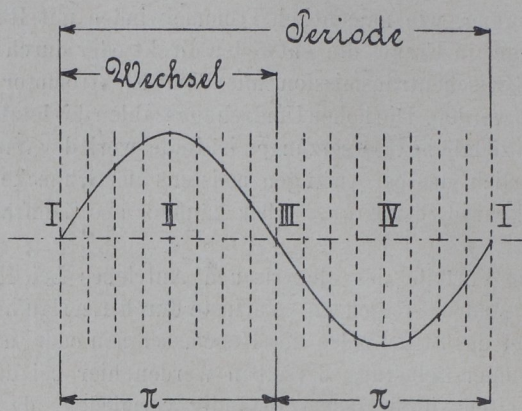
Die Wichtigkeit, welche augenblicklich dem elektrischen Antrieb der Lasthebezeugen beigelegt wird, lässt es, zumal spätere Erklärungen und Wiederholungen dadurch vermieden werden, wünschenswert erscheinen;

schon hier die Erzeugung und Eigenschaften des elektrischen Stromes, sowie die Wirkungsweise und allgemeine Einrichtung der Elektromotoren und zugehörigen Teile bis zu einem gewissen Grade zu behandeln; eingehendere Erklärungen bezüglich der Anlage, Ausführung und Einrichtung des elektrischen Teiles solcher Hebezeuge müssen den späteren Abschnitten vorbehalten bleiben.

**1. Der Wechsel- und Drehstrom.**

Der elektrische Strom wird bekanntlich dadurch in den Dynamomaschinen erzeugt, dass elektrische Leiter die Kraftlinien eines magnetischen Feldes schneiden. Als Leiter dienen die Drähte (Windungen, Spulen) des

Fig. 2.



sogenannten Ankers, der durch eine Kraftmaschine gedreht wird und je nach seiner äusseren Form als Ring- oder Trommelanker ausgebildet sein kann. Das magnetische Feld wird durch einen Elektromagneten geliefert, zwischen dessen Polen der Anker rotiert oder der selbst um den dann feststehenden Anker bewegt wird. Zur Erregung der Magnete beim Beginn der Bewegung dient entweder der im Eisen zurückgebliebene (remanente) Magnetismus, der dann später durch den von der Maschine selbst erzeugten Strom verstärkt wird, oder eine besondere kleine Dynamomaschine, die dauernd mitläuft.

Der in jedem Leiter des Ankers auf solche Weise induzierte Strom ändert fortwährend seine Stärke und elektromotorische Kraft, Spannungsdifferenz oder kurzweg Spannung, entsprechend der Zu- und Abnahme der Kraftlinien, welche der Leiter in jedem Augenblick durchschneidet. Ist in Fig. 1 des Textes N der Nord-, S der Südpol, so treten die Kraftlinien von N nach S über, wobei sie durch den Anker gehen, dessen Eisen die Linien in sich zu vereinigen sucht. Während einer vollen Umdrehung des Ankers nimmt nun die Zahl der Kraftlinien in den Spulen a und a<sub>1</sub> bei der angegebenen Drehrichtung ab, wenn die Spulen die Quadranten I—II bzw. III—IV durchlaufen, dagegen zu, wenn sie durch die Quadranten II—III bzw. IV—I gehen; umgekehrt



wachsen in den beiden erstgenannten Quadranten Stromstärke und elektromotorische Kraft, während dieselben in den beiden letztgenannten Quadranten abnehmen. Erfolgt, wie man gewöhnlich annimmt, die Zu- und Abnahme der von einer Drahtspule eingeschlossenen Kraftlinien nach dem Sinus des zugehörigen Drehwinkels  $\alpha$ , so ergibt die graphische Darstellung der Stromstärke oder elektromotorischen Kraft eine Sinuskurve nach Fig. 2 des Textes.

In I und III (Fig. 1), deren Verbindungslinie die neutrale Achse heisst, findet ein Wechsel in der Stromrichtung statt; Stromstärke und elektromotorische Kraft sind dann gleich Null. Solange ferner bei der angegebenen Drehrichtung des Ankers sich eine Drahtspule oberhalb der neutralen Achse befindet, ist der Strom in ihr vom Inneren des Ringes nach aussen gerichtet, sonst umgekehrt, von aussen nach innen. Verbindet man endlich jede Drahtspule an ihren Enden mit zwei auf der Welle des Ankers isolierten, aber mit dieser sich drehenden Metallringen, den sogenannten Schleifringen, so kann man den Strom abwechselnd durch die eine von zwei feststehenden, federnden Bürsten, welche auf den Ringen schleifen, in einen äusseren Stromkreis entsenden und durch die andere wieder zurückleiten. Dort, wo der Strom in die äussere Leitung eintritt, ist der  $+$ , dort wo er wieder in den Anker zurückkommt, der  $-$  Pol; beide Bürsten bilden abwechselnd den  $+$  und  $-$  Pol.

Der in der beschriebenen Weise erzeugte Strom wird **Wechselstrom** genannt, weil er seine Richtung beim Durchgang der Spulen durch die neutrale Achse wechselt. Die Zeit I bis III bzw. III bis I in Fig. 2, während welcher der Strom, von Null bis zu einem positiven bzw. negativen Maximum wachsend und von diesem wieder bis auf Null abnehmend, seine Richtung beibehält, heisst ein Wechsel; zwei aufeinander folgende Wechsel bilden eine Periode. Die Zahl der Perioden beträgt höchstens 50, die der Wechsel also höchstens 100 in der Sekunde. Fallen bei einem Wechselstrom die einander entsprechenden Werte<sup>1)</sup> von Stromstärke und elektromotorischer Kraft zeitlich zusammen, so bezeichnet man ihn als induktionsfrei. Tritt aber infolge von Selbstinduktion, also dadurch, dass der fortwährend zu- und abnehmende Wechselstrom einen zweiten Strom induziert, eine Verschiebung der genannten Werte von Stromstärke und elektromotorischer Kraft ein, so heisst er induktiv und die erwähnte Verschiebung die **Phasenverschiebung** oder der ihr entsprechende Winkel in der graphischen Darstellung der Phasenwinkel.

Als Masseinheiten für den elektrischen Strom gelten nach dem Reichsgesetz vom 1. Juni 1898:

1. Das Ohm als Einheit des Widerstandes. Es wird dargestellt durch den Widerstand einer Quecksilbersäule von der Temperatur des schmelzenden Eises, deren Länge bei durchweg gleichem, einem qmm gleich zu achtendem Querschnitte 106,3 cm und deren Masse 14,4521 g beträgt.

2. Das Ampère als Einheit der elektrischen Stromstärke. Es wird dargestellt durch den unveränderlichen elektrischen

1) Das sind z. B. die positiven Maximalwerte der Stromstärke und elektromotorischen Kraft.

Strom, welcher beim Durchgange durch eine wässrige Lösung von Silbernitrat in einer Sekunde 0,001118 g Silber niederschlägt.

3. Das Volt als Einheit der elektromotorischen Kraft. Es wird dargestellt durch die elektromotorische Kraft, welche in einem Leiter, dessen Widerstand ein Ohm beträgt, einen elektrischen Strom von einem Ampère erzeugt.

Die Leistung eines Ampère in einem Leiter von einem Volt Endspannung heisst ein Watt; 1000 Watt bilden ein Kilowatt. Drückt man die effektive<sup>1)</sup> Stromstärke und elektromotorische Kraft eines Wechselstromes in Ampère bzw. Volt aus, so ist die Leistung desselben in Watt gleich

$$\text{Ampère} \times \text{Volt} \times \cos \varphi.$$

$\cos \varphi$  ist der sogenannte Leistungsfaktor, er ist bei induktionsfreien Strömen, bei denen der Phasenwinkel Null ist, gleich 1, sonst aber selten weniger als 0,8.

Bei einer Wechselstrom-Dynamomaschine mit nur zwei Polen findet während einer Umdrehung nur eine Periode statt, und die Zahl der Umdrehungen, welche der Anker zur Erzeugung der oben erwähnten Periodenzahl machen muss, fällt sehr gross aus. Zur Beschränkung der Umdrehungszahl werden deshalb Wechselstrommaschinen stets mit mehreren Polpaaren versehen, wobei Nord- und Südpol immer abwechselnd aufeinander folgen. Da auch hier die Stromrichtung in einer Spule wechselt, wenn sie durch die Mitte zwischen zwei benachbarten Polen geht, so braucht die Umdrehungszahl der Maschinen mit 2, 3 ... Polpaaren nur die Hälfte, ein Drittel ... derjenigen mit nur 1 Polpaar bei derselben Periodenzahl zu betragen. Die Zahl der Drahtspulen auf dem Anker einer Wechselstrommaschine ist weiter ebenso gross wie die der Pole. Je nachdem diese Spulen entweder sämtlich oder alle erst untereinander und dann nur an zwei Stellen mit den Schleifringen verbunden sind, spricht man von Parallel- und Hintereinanderschaltung des Ankers. Die Leistung der Maschine bleibt unter sonst gleichen Verhältnissen natürlich dieselbe, gleichgültig oder der Anker parallel- oder hintereinander geschaltete Wickelung besitzt, nur wird bei Parallelschaltung die Stromstärke, bei Hintereinanderschaltung die elektromotorische Kraft im äusseren Stromkreise entsprechend der Zahl der Polpaare 2-, 3- ... mal so gross als bei der anderen Schaltung. Wechselstrommaschinen werden schliesslich nicht nur mit feststehenden Magneten und rotierendem Anker, sondern auch umgekehrt mit rotierenden Magneten und stillstehendem Anker gebaut. Zur Erregung der Magnete ist bei Wechselstrommaschinen, da der von ihnen gelieferte Strom hierzu nicht geeignet ist, stets eine besondere kleine Dynamomaschine erforderlich, welche den für die Erregung nötigen Gleichstrom (siehe später) liefert; bei stillstehendem Anker wird der letztere den rotierenden Magneten vermittelt Schleifringen und Bürsten zugeführt.

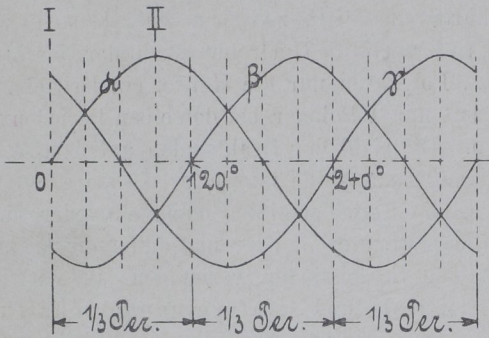
Beim Antriebe von Hebezeugen kommt der einfache Wechselstrom selten zur Verwendung. Meistens benutzt man drei verkettete Wechselströme, die man als **dreiphasigen Wechsel- oder Drehstrom** bezeichnet. Teilt

1) Das ist die konstant gedachte Stromstärke bzw. elektromotorische Kraft des Wechselstromes bei der gleichen Leistung und der gleichen elektromotorischen Kraft bzw. Stromstärke.



man nämlich die Wickelungen einer Wechselstrommaschine in drei Teile, so gehen diese bei der Drehung des Ankers nacheinander an den Magnetpolen vorüber und erzeugen drei Ströme  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  (Fig. 3 des Textes), von denen jeder um  $\frac{1}{3}$  Periode oder 120 Grad, eine Periode, wie üblich, zu 360 Grad gerechnet, gegen den vorhergehenden verschoben ist. Die Verkettung dieser drei Ströme erfolgt in Dreiecks- oder Sternschaltung. Fig. 4 und 5 des Textes zeigen beide Schaltungen schematisch, wobei jede Zickzacklinie eine der drei Spulenabteilungen darstellt. Für beide Schaltungsarten sind aber nur drei Leitungen erforderlich, weil, wie schon aus Fig. 3 ersichtlich, in jedem Augenblicke die algebraische Summe der drei Ströme Null ist; fließt also der Strom in zwei Leitungen von der Maschine fort (a und b in Fig. 4 und 5 für einen bestimmten Augenblick), so kehrt die Summe beider Ströme durch die dritte Leitung (c in Fig. 4 und 5) wieder zurück, und weitere Leitungen sind überflüssig. Die Spannungsdifferenz zwischen zwei beliebigen der drei Leitungen (a und b, a und c, sowie b und c in Fig. 4 und 5) ist zudem gleich.

Fig. 3.



Die Leistung eines Drehstromes in Watt beträgt, wenn die effektive Stromstärke und elektromotorische Kraft der Einzelströme in Ampère bzw. Volt ausgedrückt werden,

$$\text{Ampère} \times \text{Volt} \times \cos \varphi \times \sqrt{3}.$$

$\sqrt{3}$  ist der sogenannte Verkettungsfaktor und rührt daher, dass die drei Einzelströme niemals gleichzeitig in ihrer vollen Stärke auftreten.

Die Drehstrom-Dynamomaschinen werden mit oder ohne Schleifringe gebaut. Im ersteren Falle rotiert der Anker, und die Enden seiner Spulen sind zu drei Schleifringen geführt. Im letzteren Falle steht der Anker fest, und in ihm rotiert ein Eisenkern (Induktor) mit vorstehenden Polhörnern, für welche aber nur eine einzige, gleichfalls feststehende Erregerspule vorhanden ist.

## 2. Der Gleichstrom.

### Vergleich von Gleich- und Drehstrom.

Schliesst man die Enden der in Fig. 1 des Textes (S. 10) angedeuteten beiden Drahtspulen a und a', nicht an zwei Schleifringe, sondern an einen einzigen Ring auf der Welle an, der sich mit dieser dreht und unter zwei Kupferbürsten schleift, dabei aber aus zwei durch Glimmer isolierten Längshälften besteht, so kann in dem Augenblicke, wo die Richtung des induzierten Stromes sich beim Durchgang der Spulen durch die neu-

trale Achse I—III ändert, jede Bürste mit einer anderen Ringhälfte in Verbindung treten. Infolgedessen wird in dem genannten Augenblicke der Strom durch eine andere Bürste als vorher abfließen, die Stromrichtung im äusseren Stromkreise also stets dieselbe bleiben. Ein solcher Strom wird im Gegensatz zu dem seine Richtung stets ändernden Wechselstrom **Gleichstrom** genannt; der erwähnte Ring, auf welchem die Kupferbürsten schleifen, heisst Kommutator. Um eine Gleichförmigkeit in der elektromotorischen Kraft und Stärke des Stromes zu erzielen, die sich beide mit der in jedem Augenblicke verschiedenen Zahl der durchschnittlichen Kraftlinien ändern, ordnet man natürlich nicht nur zwei, sondern soviel Spulen auf dem Anker an, als auf diesem Platz haben. Der Kommutator muss dann aber auch aus soviel Segmenten bestehen, als ableitende Punkte vorhanden sind.

Fig. 6 des Textes (S. 13) zeigt z. B. einen Anker mit drei Spulenpaaren aa', bb', cc', und zwischen zwei aufeinander folgenden Spulen, also an 6 Stellen, ist eine Ableitung zum Kommutator vorhanden, der dem entsprechend aus 6 Lamellen besteht. Die in den einzelnen Spulen

Fig. 4.

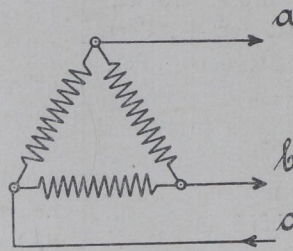
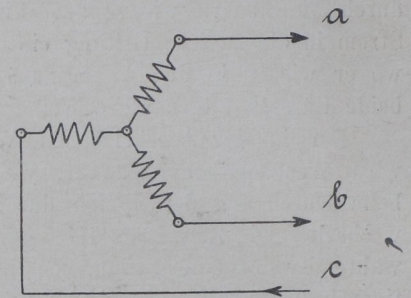


Fig. 5.



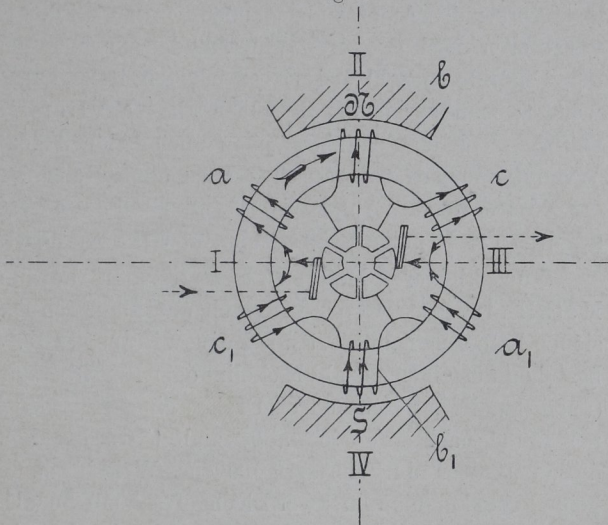
jeweilig erzeugten elektromotorischen Kräfte und Stromstärken sind nun zwar in jedem Augenblicke verschieden, sie summieren sich aber zu einer resultierenden elektromotorischen Kraft bzw. Stromstärke, die um so weniger schwankt, je mehr Spulen vorhanden sind. Es ist dies aus Fig. 7 (S. 13) des Textes ersichtlich, welche mit Bezug auf Fig. 6 für drei Paar Spulen gezeichnet ist. Die Kurve aa' entspricht der elektromotorischen Kraft bzw. Stromstärke in den Spulen aa',  $\beta\beta$  derjenigen in bb',  $\gamma\gamma$  derjenigen in cc'. Die resultierende Kurve rr zeigt weit geringere Schwankungen als die Einzelkurven.

Jedesmal, wenn eine Lücke zwischen zwei Kommutatorlamellen unter den Bürsten hingeleitet, werden diese zwei Lamellen für einen Augenblick miteinander verbunden und die zugehörigen Windungen des Ankers kurz geschlossen. Dies geschieht, falls die Bürsten, wie in Fig. 6 angegeben, in der neutralen Achse I—III anliegen, gerade dann, wenn der Strom seine Richtung wechselt. Infolgedessen ist in dem erwähnten Augenblicke in den fraglichen Ankerwindungen auf ganz kurze Zeit kein Strom vorhanden, während gleich darauf der Strom in entgegengesetzter Richtung durch sie fließen will, als er vorher geflossen ist. Da diese Vorgänge alle äusserst rasch aufeinander folgen, so stösst der alte Strom, welcher



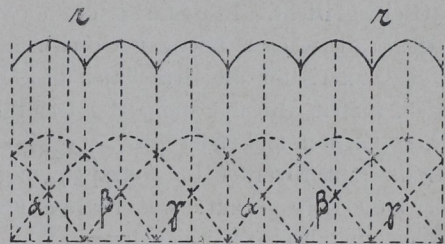
infolge seiner plötzlichen Unterbrechung zurückstaut und seine Richtung beibehalten will, nach Beendigung des Kurzschlusses für kurze Zeit auf den neuen, entgegengesetzt gerichteten, und das Zusammentreffen beider führt zur Funkenbildung zwischen dem Kommutatorsegment und der Bürste. Um solche Funken, die zu nachteiligen Folgen führen, zu verhüten, setzt man die Bürsten nicht in die neutrale Achse, sondern rückt sie in der Drehrichtung des Ankers etwas vor. Dadurch wird schon während des Kurzschlusses in den betreffenden Ankerwindungen ein Strom erzeugt, der den Rückstau des alten vernichtet. Zur Verminderung des Funkens nimmt man auch die Zahl der Windungen, welche zwischen benachbarten Lamellen liegen, möglichst klein oder ersetzt die Kupferbürsten durch solche aus Kohle, die weniger leitend ist.

Fig. 6.



mehreren Hebezeugen von Wichtigkeit ist, so findet Gleichstrom stets für Gruppenanlagen solcher Maschinen mit eigener Kraftzentrale und von nicht zu grosser Ausdehnung Verwendung. Die Pufferbatterie bietet hier eine vorzügliche Kraftreserve und einen schätzenswerten Ausgleich für den stark schwankenden Energiebedarf solcher Anlagen. Andererseits lässt sich die elektrische Energie durch Drehstrom auf weit grössere Entfernungen als durch Gleichstrom übertragen. Während nämlich bei diesem die Spannung für gewöhnlich nicht mehr als 500 Volt beträgt, kann sie bei jenem, ohne dass Schwierigkeiten entstehen, durch Transformatoren beliebig hoch gesteigert werden. Hochgespannte Ströme von geringer Menge lassen sich aber durch Drähte von geringerem Querschnitt, also durch billigere Leitungen als solche von niedriger Spannung und grosser Menge fortleiten.

Fig. 7.



Gleichstrom-Dynamomaschinen werden mit einem oder mehreren Polpaaren gebaut; bei den letzteren folgt wieder stets auf einen Nordpol ein Südpol und umgekehrt. Die Ankerwickelungen, von denen bei mehrpoligen Maschinen soviel Abteilungen als Pole vorhanden sind, können wieder parallel- oder hintereinandergeschaltet sein. Bei derselben Leistung liefert eine Maschine mit Parallelschaltung eine entsprechend der Zahl der Polpaare grössere (2-, 3fache u. s. w.) Stromstärke, eine solche mit Hintereinanderschaltung eine entsprechend grössere Spannung für den äusseren Stromkreis als bei der anderen Schaltungsart und sonst gleichen Verhältnissen.

Die Leistung eines Gleichstromes, dessen Stromstärke in Ampère und dessen elektromotorische Kraft in Volt ausgedrückt ist, beträgt in Watt

$$\text{Ampère} \times \text{Volt.}$$

Für den Betrieb der Lasthebemaschinen kommt neben dem Gleichstrom nur der Drehstrom in Betracht. Ein Vergleich beider Stromarten ergibt, dass ein wesentlicher Vorteil des Gleichstroms darin beruht, dass er die Einschaltung einer sogenannten Pufferbatterie (von Akkumulatoren) zulässt, während dies bei Drehstrom nicht angängig ist. Da dies namentlich für Anlagen mit

Pohlhausen, Flaschenzüge etc.

Infolgedessen kommt Drehstrom vorzugsweise für Kraftübertragung auf grosse Strecken, also für räumlich sehr ausgedehnte Netze in Frage. Auch wird von Vielen den Drehstrom-Dynamomaschinen und -Motoren eine höhere Zuverlässigkeit, sowie grössere Einfachheit bezüglich der Ausführung und Wartung als den Gleichstrommaschinen und -motoren zuerkannt, wenn auch von Anderen dies geleugnet und den Gleichstrommotoren im Hebezeugbau der Vorzug mit Rücksicht darauf gegeben wird, dass sie Eigenschaften besitzen, die, wie später gezeigt wird, gerade für den Antrieb der Lasthebemaschinen äusserst wertvoll und den Drehstrommotoren in weit geringerem Masse eigen sind. Für feuchte Räume und solche mit explosiven Gasen kann nur Drehstrom verwendet werden. Die Stromzuführung endlich fällt bei Gleichstrom einfacher aus, was für manche Hebezeuge, wie namentlich fahrbare, von Wichtigkeit ist.

In vielen Fällen ist die Stromart natürlich vorgeschrieben oder durch andere Rücksichten bedingt; jenes ist z. B. der Fall, wenn Hebezeuge an ein vorhandenes Netz angeschlossen werden, dieses tritt ein, wenn das oder die zu betreibenden Hebezeuge einen untergeordneten Teil einer grösseren Anlage bilden.



### 3. Die Gleichstrommotoren.

Sie sind in der Hauptsache wie die entsprechenden Dynamomaschinen eingerichtet. Der Strom, welcher den einzelnen Windungen des Ankers durch einen Kommutator zugeführt wird, bewirkt beim Durchfliessen derselben infolge der Einwirkung seiner Kraftlinien auf diejenigen des gleichzeitig erregten Magnetfeldes eine Bewegung beider Kraftlinien gegeneinander; hieraus resultiert eine Drehung des Ankers in einem von der Richtung des zugeführten Stromes abhängigen Sinne. Da hierbei die Ankerleiter die Kraftlinien schneiden, so wird wieder eine elektromotorische Kraft in den ersteren erzeugt; dieselbe wirkt aber hier der entsprechenden Kraft des äusseren Stromkreises entgegen und wird deshalb elektromotorische Gegenkraft genannt. Sie bietet dem äusseren, treibenden Strom gleichsam den Widerstand dar, den dieser bei der Verrichtung der äusseren Arbeit, also bei der Drehung des Ankers und seiner Welle, überwinden muss, und hält somit der Spannung des äusseren Stromes im Verein mit den sonstigen inneren Widerständen das Gleichgewicht. Die Stärke der elektromotorischen Gegenkraft wächst mit der Geschwindigkeit, mit welcher die Ankerleiter die Kraftlinien des Magnetfeldes schneiden, nimmt also mit steigender Umdrehungszahl des Ankers zu, mit sinkender ab.

Gleichstrommotoren werden für Netzspannungen von 110, 220 oder 500 Volt gebaut, sie erhalten ein oder mehrere Polpaare, und ihre Ankerwicklung kann parallel- oder hintereinandergeschaltet sein. Motoren für grosse Leistungen und grosse Drehmomente bzw. grosse Zugkraft baut man mehrpolig mit parallelgeschalteter, langsamlaufende Motoren mehrpolig mit hintereinandergeschalteter Ankerwicklung. Motoren mit 2, 3, 4 Polpaaren und parallelgeschalteter Ankerwicklung geben nämlich bei derselben Umdrehungszahl und entsprechend grösserem Stromverbrauch den 2-, 3- bzw. 4fachen Effekt und ein 2-, 3- bzw. 4mal so grosses Drehmoment als der entsprechende Motor mit nur 1 Polpaar, während die ersteren bei hintereinandergeschalteter Ankerwicklung zur Erzielung der gleichen Leistung und desselben Drehmomentes wie der letztere nur die Hälfte, ein Drittel bzw. ein Viertel von dessen Umdrehungen zu machen brauchen. Für grosse Lasten bevorzugt der Hebezeugbau jetzt vielfach langsamlaufende Motoren; sie sind zwar teurer als die entsprechenden schnelllaufenden Motoren von gleicher Leistung, verlangen aber kleinere Übersetzungen im Räderwerk und bieten namentlich ein grösseres nutzbares Anzugmoment, da das zur Beschleunigung der Ankermasse erforderliche Moment infolge der niedrigeren Umdrehungszahl kleiner ausfällt.

Würde man den Netzstrom ohne weiteres auf den stillstehenden Elektromotor bei dessen Ingangsetzung einwirken lassen, so würde der in den Anker tretende Strom eine ausserordentliche Grösse erreichen und durch seine Wärmewirkung leicht gefährlich für die Ankerwindungen werden können. Um dies zu vermeiden, macht sich für den Anlauf der meisten Gleichstrommotoren ein sogenannter Anlasswiderstand er-

forderlich, welcher dem Anker vorgeschaltet wird und den in diesen eintretenden Strom beim Anlauf abschwächt. Mit zunehmender Ankergeschwindigkeit und allmählich wachsender elektromotorischer Gegenkraft werden aber die Ankerwindungen zur Aufnahme eines immer stärkeren Stromes geeignet, und kann dementsprechend der Anlasswiderstand nun langsam und stufenweise ausgeschaltet werden. Beim Abstellen des Motors muss umgekehrt der ganze Widerstand wieder vorgeschaltet und dann erst der Strom unterbrochen werden. Dieses Vorschalten hat aber nun nicht langsam, sondern schnell zu geschehen, damit der durch die plötzliche Unterbrechung des Stromes hervorgerufene Rückstau, welcher den Strom nochmals in der alten Richtung anwachsen lässt, bei möglichst unveränderter Ankergeschwindigkeit und elektromotorischer Gegenkraft eintritt und dadurch in seiner Wirkung möglichst abgeschwächt wird.

Ausser den Anlasswiderständen werden bei den Elektromotoren noch weitere Widerstände zur Regulierung der Umdrehungszahl bei unveränderter Belastung verwendet; man bezeichnet dieselben als Regulierwiderstände. Vielfach vereinigt man auch beide Arten von Widerständen, so dass durch Drehen eines Hebels zuerst das Ausschalten des Anlasswiderstandes und dann das Vorschalten des Regulierwiderstandes bewirkt werden kann.

Für kleinere Motoren benutzt man gewöhnlich Metall-, für grössere der Billigkeit und kleineren Dimensionen halber meistens Flüssigkeitswiderstände. Jene bestehen aus einer Anzahl Nickel- oder Neusilberspiralen (auch -bänder), welche durch Drehen eines Kontakthebels der Reihe nach zu- oder abgeschaltet werden können, diese enthalten ein  $\square$ förmig gebogenes Weissblech, dessen beide Schenkel man in zwei Blechgefässe mit Sodalösung einlassen kann. Tauchen die Schenkel gar nicht in die Flüssigkeit, so ist der Strom unterbrochen; beim langsamen Eintauchen nimmt der Widerstand für den nun geschlossenen Strom allmählich und um so mehr ab, je tiefer die Platten des Bleches stehen, bis endlich beim tiefsten Stande derselben der Flüssigkeitswiderstand vollständig ausgeschaltet ist. Da der Gleichstrom die Eintauchplatten mit der Zeit zersetzt, so sind dieselben in allerdings längeren Zwischenräumen zu erneuern. Metall-Anlasswiderstände werden meistens so dimensioniert, dass sie einen dauernden Stromdurchgang nicht vertragen können. Deshalb muss bei ihnen dafür gesorgt werden, dass der sie bedienende Kontakthebel nur in der Anfangs- und Endlage dauernd stehen bleiben kann. Regulierwiderstände aus Metall sind dagegen stets in solchen Dimensionen auszuführen, dass sie einen längere Zeit anhaltenden Stromdurchgang vertragen.

Die Drehrichtung eines Gleichstrommotors wird umgekehrt, wenn man entweder die Stromrichtung im Anker oder diejenige in den Magnetwickelungen umkehrt. Umsteuerbare Elektromotoren für Gleichstrom bedürfen deshalb einer besonderen Schaltvorrichtung, durch welche die erwähnte Änderung in der Stromrichtung bewirkt werden kann. Man legt diese Vorrichtung vielfach in die Anlasswiderstände, die man dann als Umkehr-Anlasser



bezeichnet. Gewöhnlich wird beim Umsteuern der Gleichstrommotoren die Richtung des Ankerstromes geändert, da die Stromumkehr in den Magnetwickelungen stets mit Verlusten infolge des dann zu vernichtenden remanenten Magnetismus verbunden sein würde.

In allen Vorschalt- und Regulierwiderständen wird ein Teil des eintretenden Stromes in Wärme umgesetzt. Dieser Teil geht natürlich für die Nutzwirkung verloren und bildet einen Verlust, der, wie schon früher bemerkt, bei dem häufig unterbrochenen Betriebe und den kurzen Arbeitsperioden mancher Hebezeuge den wirtschaftlichen Wirkungsgrad der Anlage recht ungünstig beeinflussen kann.

Zur Vermeidung des Funkens, das bei den Gleichstrommotoren durch dieselben Vorgänge wie bei den entsprechenden Dynamomaschinen hervorgerufen wird und namentlich beim Anlassen, Abstellen oder bei Änderungen in der Belastung auftritt, müssten die kupfernen Kommutatorbürsten etwas entgegen der Drehrichtung des Motors über die neutrale Achse geschoben werden, und zwar entsprechend der hier sehr wechselnden Stromstärke verschieden stark. An umsteuerbaren Motoren müsste sich ferner diese Verschiebung beim jedesmaligen Wechsel in der Drehrichtung auf eine andere Seite erstrecken. Da beides aber mit Rücksicht auf die erforderliche Einfachheit in der Bedienung nicht angängig ist, so verwendet man bei Motoren fast stets Kohlenbürsten, die radial stehen und das Funken erschweren. An umsteuerbaren Motoren sind solche Bürsten, die ihre Stellung für beide Drehrichtungen beibehalten, unerlässlich. Weiter wird zur Verhütung des Funkens empfohlen, die Zahl der Kommutatorteile möglichst gross zu nehmen und mehrere derselben durch die Bürsten zu überdecken, wie denn überhaupt schon bei der Konstruktion des Motors durch Wahl seiner magnetischen und elektrischen Dimensionen die Ursachen der Funkenbildung thunlichst zu beheben sind.

Auch bei den Steuerschaltern der Elektromotoren treten Funken auf, wenn die Anlass- und Regulierwiderstände nicht richtig abgestuft sind oder zu schnell abgeschaltet werden. Für die Betriebsdauer dieser Apparate ist es daher von grösster Wichtigkeit, die Funken unschädlich zu machen. Man versieht zu diesem Zwecke die Anlasser mit Kohlenkontakten nach Siemens & Halske in Berlin oder bringt besondere Funkenlöcher an, von denen namentlich der elektromagnetische Funkenlöcher der Union-Electricitätsgesellschaft in Berlin bekannt ist. Kohlenkontakte geben erfahrungsgemäss nur unschädliche Lichtbogen, während das Kraftlinienfeld der elektromagnetischen Funkenlöcher die Funken der Steuerschalter zur Seite drängt und durch den mit der Länge des Lichtbogens wachsenden Widerstand zum Erlöschen bringt.

Die Gleichstrommotoren werden von den Fabriken in gedrungener Form und geschlossenem Gehäuse geliefert, das einerseits Staub und Schmutz von den wichtigen Teilen abhält, andererseits aber zur Einsicht und Vornahme von Reparaturen leicht geöffnet werden kann. Als empfindlichster Teil der vorliegenden Motoren hat der Kommutator zu gelten, der nament-

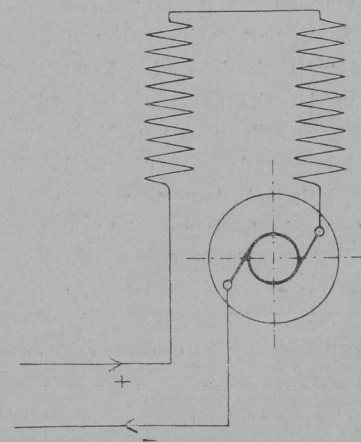
lich bei starken Belastungsschwankungen und sehr hohen Spannungen Schwierigkeiten bereitet, indem er eine dauernde Instandhaltung dann erschwert und zu häufigen Reparaturen Veranlassung giebt. Dieser Nachteil des Gleichstrommotors wird meist Drehstrommotoren gegenüber angeführt, die für geringe Leistungen gar keinen Kommutator, für andere an dessen Stelle die schon bei den betreffenden Dynamomaschinen erwähnten Schleifringe erhalten, welche weniger zum Funken neigen, dauerhafter und betriebs-sicherer sein sollen. Wenn dies nun auch für hohe Spannungen allgemein anerkannt wird, so ist ebenso nicht zu leugnen, dass Gleichstrommotoren bei den gebräuchlichen Spannungen und sachgemässer, sowie sorgfältiger Wartung — die ihnen allerdings gerade im Hebezeugbetrieb häufig nicht zu teil wird — jahrelang anstandslos gelaufen sind. Der Gleichstrommotor hat zudem, wie schon früher bemerkt und wie im Folgenden näher angegeben, Eigenschaften, die gerade für den Antrieb von Lasthebemaschinen äusserst wertvoll sind, er ist ferner billiger als der Drehstrommotor, während dieser kleiner, leichter und gedrängter ausfällt. Wo somit andere Gründe nicht für Drehstrommotoren sprechen, werden Gleichstrommotoren wohl stets das Feld behaupten.

Die Gleichstrommotoren trennt man, je nachdem die Magnetwickelungen im Hauptstrom oder im Nebenschluss zu diesem liegen, in Hauptstrom-(Serien-) und Nebenschlussmotoren.

a) Die Hauptstrommotoren.

Der Netzstrom geht bei ihnen, wie die schematische Darstellung eines solchen Motors in Fig. 8 des Textes zeigt, der Reihe nach durch die Magnetwickelungen, den

Fig. 8.



Anker und wieder in die Leitung zurück. Die Haupteigenschaften der vorliegenden Motoren sind die folgenden.

Sie ziehen unter Last an und entwickeln bei verhältnismässig kurzer Anlaufperiode ein grosses Anzugmoment, da der ganze Ankerstrom, soweit er nicht in den Anlasswiderständen verzehrt wird



beim Anlassen durch die Magnetwickelungen geht und also die Magnete sehr kräftig erregt werden.

Sind die Widerstände vollständig ausgeschaltet, so stellt sich der Gleichstrommotor selbstthätig auf eine seiner Belastung entsprechende Umdrehungszahl derart ein, dass er bei kleinerer Belastung schneller als bei grösserer läuft. Die Umdrehungszahl ist hier nämlich fast allein von der Stärke der Magneterregung bzw. des Stromes in der Magnetwicklung abhängig und dieser Stärke umgekehrt proportional; je kleiner nun die Last ist, desto kleiner ist auch die Stromstärke im Anker und den Magnetwickelungen, desto grösser also die Umdrehungszahl, und umgekehrt. Mit dieser Eigenschaft der vorliegenden Motoren ist einerseits der Vorteil verbunden, dass kleinere Lasten schneller, grössere langsamer gehoben werden, wodurch die Zeit für das Heben leichter Lasten, wie namentlich das unter Umständen häufig erforderliche Heben des leeren Hakens, verkürzt wird. Andererseits bringt die erwähnte Eigenschaft aber auch den Nachteil mit sich, dass Hauptstrommotoren bei unveränderter Netzspannung im unbelasteten Zustande, sich selbst überlassen, durchgehen und dass es in allen den Fällen, wo nicht die Widerstände im Hebezeug selbst oder sonstige Vorrichtungen ein Durchgehen verhüten, dies mit Hilfe der Vorschaltwiderstände geschehen muss, was bei manchen Hebezeugen eine geschickte und aufmerksame Bedienung voraussetzt.

Ein Hauptstrommotor, der bei der Maximalbelastung  $n$  Umdrehungen macht, läuft bei der halben Maximallast mit ungefähr  $n\sqrt{2}$ , bei dem Drittel der Maximallast mit ungefähr  $n\sqrt{3}$  Touren. Der leere Haken wird gewöhnlich 3- bis 4 mal so schnell als die grösste Last gehoben. Die mit steigender Last eintretende relative Abnahme der Umdrehungszahl fällt natürlich um so geringer aus, je grösser die Last wird und je mehr die Magnete durch den immer stärkeren Ankerstrom gesättigt werden.

Der Hauptstrommotor verträgt weiter für kurze Zeit eine erhebliche Überlastung, ohne dass die hiermit verbundene Erwärmung des Ankers nachteilig wird; mit 50 Prozent seiner Nennleistung kann er minutenlang ohne Bedenken überlastet werden. Seine Neigung zum Funken endlich ist geringer als bei dem später behandelten Nebenschlussmotor und sein Wirkungsgrad, wie die nachstehende Tabelle erkennen lässt, keinen bedeutenden Schwankungen unterworfen, so lange die Leistung nicht allzusehr abnimmt.

Tabelle  
der Leistungen eines Hauptstrommotors.

Indizierte Ampère.	Indizierte PS.	Gebremste PS.	Normales Drehmoment in kgm.	Umdrehungen in der Minute.	Wirkungsgrad.
10	3,0	1,3	0,40	2300	0,45
15	4,5	3,2	1,47	1560	0,72
20	6,0	4,7	3,03	1110	0,79
25	7,4	6,0	4,88	880	0,81
30	9,0	7,3	7,07	740	0,81
35	10,5	8,4	9,26	650	0,80
40	11,8	9,2	11,36	580	0,78

Die Werte der Tabelle beziehen sich auf einen Motor der Union Electricitäts-Gesellschaft in Berlin, welche

namentlich dem Bau der langsamlaufenden Hauptstrommotoren ihre Aufmerksamkeit widmet. Entsprechend dem günstigsten Wirkungsgrad von 0,81 wird der Motor als 7pferdiger bei 750 Umdrehungen ausgegeben. Diese Leistung (die sogenannte Nennleistung)<sup>1)</sup> und Umdrehungszahl wäre also gegebenen Falles der Berechnung der maximalen Last bzw. Geschwindigkeit des angetriebenen Hebezeuges zu Grunde zu legen.

Das Anzugmoment eines Hauptstrommotors beträgt bei entsprechend grösserer Stromstärke ungefähr das Doppelte bis Dreifache des normalen Drehmomentes. So giebt Kammerer in der Zeitschrift des Ver. deutsch. Ingenieure<sup>2)</sup> für einen 30pferdigen normalen Hauptstrommotor von Siemens & Halske in Berlin, der mit 675 min. Umdrehungen läuft, ein normales Drehmoment von 29 kgm und ein Anlaufmoment von 60 kgm an. Von dem letzteren gehen aber 12 kgm für die Beschleunigung der Ankermasse während des Anlaufes ab, so dass nur  $60 - 12 = 48$  kgm als nutzbares Anzugmoment für das Hebezeug verbleiben. Ein gleichpferdiger langsamlaufender Hauptstrommotor derselben Firma, der bei 350 min. Umdrehungen ein normales Drehmoment von 55 kgm entwickelt, liefert beim Anlauf ein maximales Moment von 115 kgm und ein nutzbares von 93 kgm, da zur Beschleunigung der Ankermasse 18 kgm erforderlich sind. - Man ersieht, dass das nutzbare Anlaufmoment des langsamlaufenden Motors nicht ganz zweimal so gross als das des schnelllaufenden normalen ist.

Die Regulierung der Umdrehungszahl bei bestimmter Last lässt sich an Hauptstrommotoren innerhalb genügend weiter Grenzen in leichter Weise ermöglichen. Gewöhnlich schaltet man hierzu der Einfachheit wegen Widerstände in den Anker- oder Magnetstromkreis (parallel zu dem letzteren) ein und aus, trotzdem dabei mehr oder weniger Strom in den Widerständen in Wärme umgesetzt wird und für die Nutzwirkung verloren geht. Um möglichst viele Grössen und Stufen von Widerständen zu ermöglichen, richtet man dieselben meistens so ein, dass sie sowohl einzeln als auch alle hinter- oder parallel-, oder aber gleichzeitig teilweise hinter- und teilweise parallelgeschaltet werden können. Nicht mit dem Nachteil von Energieverlusten ist eine andere Methode der Regulierung verbunden, welche durch Veränderung der Magnetwindungszahl auf die Stärke der Magneterregung und hierdurch auf die Umdrehungszahl einwirkt.

#### b) Die Nebenschlussmotoren.

Die Magnetwickelungen liegen hier, wie Fig 9 des Textes schematisch zeigt, im Nebenschluss, also in einem Abzweige des Haupt- und Ankerstromkreises, dem sie parallelgeschaltet sind.

Aus dem Umstande, dass durch die Magnetwickelungen ein bedeutend kleinerer Strom als durch den Anker geht und dass sich ferner der Erregerstrom und die Stärke des Magnetfeldes bei wechselnder Belastung nur wenig oder gar nicht ändern, folgen die wichtigsten Eigenschaften des Nebenschlussmotors. Diese sind: Kleineres Anzugmoment als beim Hauptstrommotor, nur ge-

1) Nach dem Entwurf des Verbandes deutscher Elektrotechniker für Normalien zur Prüfung von elektrischen Maschinen und Transformatoren hat als normale Leistung eines Motors bei intermittierendem Betriebe diejenige zu gelten, welche ohne Unterbrechung eine Stunde lang abgegeben werden kann, ohne dass der als zulässig bezeichnete Wert der Temperaturzunahme überschritten wird.

2) Jahrgang 1901, S. 17 u. 20.



ringe Schwankungen in der Umdrehungszahl bei verschiedener Belastung und unveränderter Netzspannung, so dass einerseits eine selbstthätige Einstellung der Geschwindigkeit auf eine von der Last abhängige Grösse wie beim Hauptstrommotor nicht stattfindet, andererseits ein Durchgehen des unbelasteten Nebenschlussmotors von selbst ausgeschlossen und dessen höchste Geschwindigkeit begrenzt ist. Wegen der letztgenannten Eigenschaft finden die vorliegenden Motoren vorzugsweise im Aufzugbau Verwendung. Der Wirkungsgrad des Nebenschlussmotors weicht, wie die nachstehende Tabelle erkennen lässt, innerhalb ziemlich weiter Grenzen

Fig. 9.

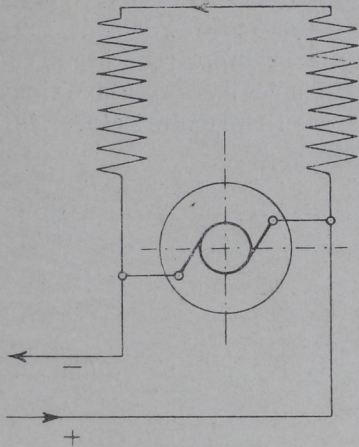
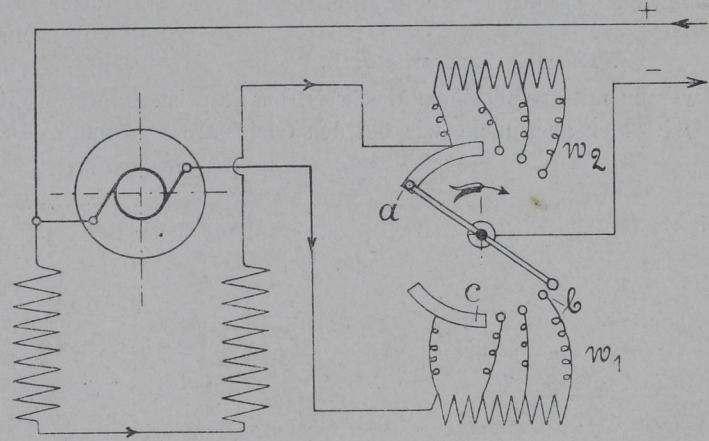


Fig. 10.



von der normalen Leistung nur wenig ab. Die Arbeit der niedergehenden Last kann ferner durch den Nebenschlussmotor in elektrische Energie umgewandelt werden, indem der Motor unter dem Antrieb dieser Last als Dynamo läuft und Strom in das Netz zurücksendet. Dieser Vorteil ist aber, wie schon früher erwähnt, nicht von grosser Bedeutung und wird jetzt, da er für das meist nur wenige Sekunden andauernde Senken der Last zu gering ausfällt und weitere Komplikationen in den Steuerapparaten nach sich zieht, nicht mehr ausgenutzt. Die Neigung zum Funken ist beim Nebenschlussmotor im allgemeinen grösser als beim Hauptstrommotor.

**Tabelle**  
der Leistungen eines Nebenschlussmotors.

Indizierte Ampère.	Gebrenste PS.	Normales Drehmoment in kgm.	Umdrehungen in der Minute.	Wirkungsgrad.
25,5	5	0,5	870	0,65
42	10	1,0	870	0,81
59	15	4,16	860	0,86
78	20	17,25	830	0,87
99	25	22,1	810	0,865
120	30	27,54	780	0,825

Die Werte der vorstehenden Tabelle beziehen sich auf einen 23pferdigen Nebenschlussmotor von Siemens & Halske in Berlin, der mit 830 min. Umdrehungen und 220 Volt Spannung arbeitet. Die Anzugmomente betragen für Nebenschlussmotoren ungefähr das 1,6fache des normalen Momentes und erfordern die 1,6fache normale Stromstärke.

Kammerer<sup>1)</sup> giebt das Anzugmoment eines 30pferdigen

1) Siehe die 2. Anmerkung auf S. 16.

Nebenschlussmotors von Siemens & Halske, der mit 770 min. Umdrehungen arbeitet und ein normales Drehmoment von 28 kgm entwickelt, mit 50 kgm an. Da hiervon aber 22 kgm zur Beschleunigung des Ankers dienen, so verbleibt ein nutzbares Anlaufmoment von nur 28 kgm, das bedeutend kleiner als dasjenige des auf S. 16 angeführten Hauptstrommotors (48 bzw. 93 kgm) ist.

Die Regulierung der Umdrehungszahl des arbeitenden, nicht anlaufenden Motors bei unveränderter Last kann auch hier durch Widerstände bewirkt werden, die entweder in den Anker- und Hauptstrom oder in den Erreger- und Nebenstrom eingeschaltet werden. Das letztere Verfahren ist das ökonomischere. Fig. 10 des Textes zeigt eine diesbezügliche Anordnung, wo die

Anlass- und Regulierwiderstände durch Drehen eines einzigen Hebels bedient werden können. Nach einem anderen Regulierverfahren werden die Magnetwickelungen, die in eine Anzahl von Stufen eingeteilt sind, entweder einzeln oder alle hintereinander- oder parallel-, oder aber gleichzeitig teils hintereinander- und teils parallelgeschaltet. Ferner haben die Firmen, welche sich mit dem Bau von Elektromotoren und der Zubehöerteile befassen, noch besondere Reguliermethoden ausgebildet, bezüglich welcher auf die Angaben dieser Firmen selbst verwiesen werden muss.

Beim Drehen des Hebels der Fig. 10 in der angegebenen Pfeilrichtung wird, was bei Nebenschlussmotoren stets zu geschehen hat, beim Anlauf zunächst der Erregerstrom der Magnete bei a und dann erst der Ankerstrom bei b eingeschaltet. Ist der Schluss in b bewirkt, so geht der Ankerstrom durch die sämtlichen Anlasswiderstände  $w_1$ , die stets in den Ankerstromkreis gelegt und, entsprechend der Weiterdrehung des Hebels, allmählich abgeschaltet werden, in c also vollständig ausgeschaltet sind. Nun ist der Anlauf beendet. Bei der Regulierung der Umdrehungszahl wird dann durch Drehen des Hebels über c hinaus der Regulierwiderstand  $w_2$  nach und nach in den Magnetstromkreis eingeschaltet, während der volle Hauptstrom unverändert durch den Anker geht.

Nebenschlussmotoren erhalten mitunter noch eine zweite Wickelung auf den Magneten, die man in den Haupt- oder Ankerstrom legt und als zusätzliche Reihenwicklung gegenüber der im Nebenschluss liegenden Hauptwicklung bezeichnet. Die betreffenden Motoren nennt man Compoundmotoren oder Motoren mit Verbundwicklung. Die Zusatzwicklung dient



dazu, dem Nebenschlussmotor ein grösseres Anzugmoment beim Anlauf zu geben. Auch benutzt man sie hin und wieder dazu, die geringen Schwankungen, welche der Nebenschlussmotor noch in der Umlaufzahl zeigt, ganz zu beseitigen. Die Zusatzwicklung, die nur in einer kleinen Zahl von Windungen besteht, wird dann vom Hauptstrom entgegengesetzt wie die Hauptwicklung vom Nebenstrom durchflossen und schwächt bzw. verstärkt diese bei einer Änderung in der Belastung, wodurch die beim Nebenschlussmotor hiermit verbundenen Geschwindigkeitsschwankungen vollständig beseitigt werden. Im allgemeinen finden aber Compoundmotoren zum Antrieb von Hebezeugen wenig Verwendung, zumal sie die Gefahr in sich bergen, die Schenkel der Magnete durch die Hauptstromwicklung umzumagnetisieren.

#### 4. Die Drehstrommotoren.

Sie werden mit dreiphasigem Wechselstrom gespeist. Derselbe tritt hier aber nicht wie bei den Gleichstrom-

geben zwei Felder, deren Nordpole in  $\mathfrak{N}_b$  bzw.  $\mathfrak{N}_c$  und deren Südpole in  $\mathfrak{S}_b$  bzw.  $\mathfrak{S}_c$  liegen. Das hieraus resultierende Feld hat offenbar seinen Nordpol in  $\mathfrak{N}_I$  und seinen Südpol in  $\mathfrak{S}_I$  (Fig. 11). Entsprechend ergibt sich für den Zeitpunkt II in Fig. 13 z. B., der  $\frac{1}{4}$  Periode später als I eintritt und für den  $\alpha$  seinen grössten positiven,  $\beta$  und  $\gamma$  denselben halben grössten negativen Wert haben, die aus Fig. 12 des Textes ersichtliche Lage der Pole. Die beiden Felder von  $\beta$  und  $\gamma$  vereinigen sich mit demjenigen von  $\alpha$ , das in gleichem Sinne wirkt. Das resultierende Feld  $\mathfrak{N}_{II}\mathfrak{S}_{II}$  liegt jetzt horizontal, ist also gegen dasjenige zur Zeit I um  $\frac{1}{4}$  Umdrehung oder 90 Grad verschoben, und zwar in der Richtung, in welcher die Ströme in den einzelnen Wicklungsabteilungen  $aa, bb, cc$ , ihren positiven Maximalwert erreichen. Verfolgt man weitere Zeitpunkte in der angegebenen Weise, so erkennt man, dass das resultierende Feld, wie es durch

Fig. 11.

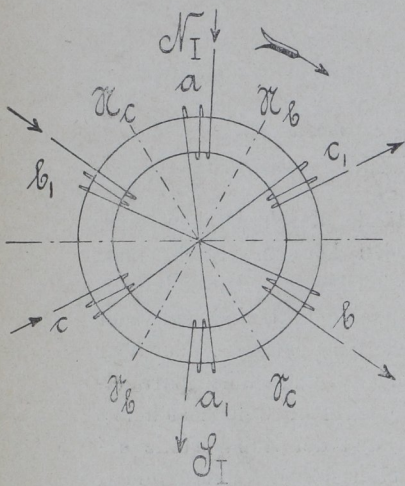


Fig. 12.

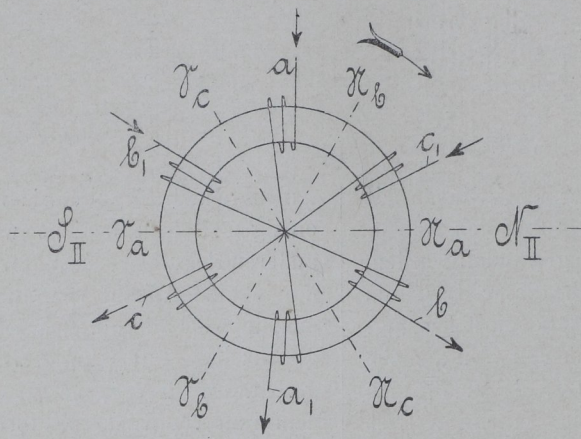
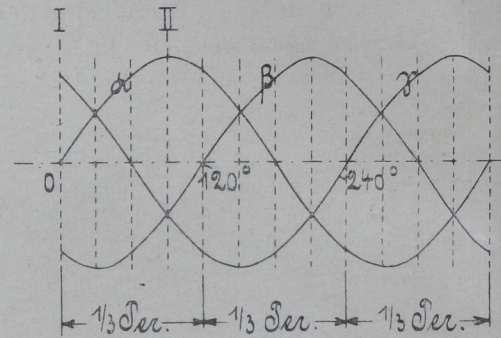


Fig. 13.



motoren in den Anker, sondern in die Wicklungen der Magnete. In den Anker der Drehstrommotoren wird kein Strom eingeleitet, sondern nur ein solcher durch den Erregerstrom der Magnete induziert. Die Wirkungsweise ist dabei die folgende.

Das feststehende Magnetgestell, welches zugleich das Gehäuse des Motors bildet, ist ein Eisenring, der, dem dreiphasigem Wechselstrom entsprechend, mit drei Abteilungen von Drahtwicklungen versehen ist. Sind  $aa, bb$ , und  $cc$ , in Fig. 11 des Textes diese drei Abteilungen, in welche die einzelnen Wechselströme so eingeleitet werden, dass sie der angegebenen Reihenfolge gemäss ihren grössten positiven Wert erreichen, so erzeugen diese Ströme  $\alpha, \beta$  und  $\gamma$  für den Augenblick I in Fig. 13 die in Fig. 11 des Textes eingetragenen Felder. Der Strom  $\alpha$  liefert, da er in dem genannten Augenblicke Null ist, kein Feld, die Ströme  $\beta$  und  $\gamma$  dagegen, die zur Zeit I nach Fig. 13 nicht ganz ihren grössten negativen bzw. positiven Wert erreicht haben, in der Grösse aber gleich sind,

die jeweilige Grösse und Richtung der drei Wechselströme bedingt ist, sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in der angegebenen Richtung dreht. Der Zeitdauer einer Periode entspricht eine volle Umdrehung des resultierenden Magnetfeldes. Die Stärke des letzteren bleibt dabei, wie sich leicht nachweisen lässt, annähernd konstant.

Das sich drehende Magnetfeld schneidet nun weiter die in sich geschlossenen Leiter des Ankers, wenn ein äusserer oder innerer Widerstand denselben zurückhält. Dadurch wird in diesen Leitern ein Ankerstrom induziert, zugleich aber auch infolge der Einwirkung, welche die Kraftlinien des induzierten Ankerstromes auf diejenigen des Magnetfeldes ausüben, der Anker mitgenommen und der Widerstand desselben von dem sich drehenden Kraftmoment des Magnetfeldes überwunden. Dabei bleibt der Anker immer um einen gewissen Betrag hinter dem Magnetfeld zurück, beide laufen asynchron, wie man sagt. Die



Differenz in der Geschwindigkeit beider wird durch die sogenannte Schlüpfung gemessen, das ist der Quotient

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

wenn

$n_1$  die Umdrehungszahl des Magnetfeldes,

$n_2$  die des Ankers in der Sekunde

bezeichnet. Solange ein äusserer oder innerer Widerstand am Anker wirksam ist, hat die Schlüpfung einen positiven Wert, und zwar einen um so grösseren, je grösser der zu überwindende Widerstand ist. Würde der letztere im und am Anker Null werden, so würde die Schlüpfung auch Null sein. Das Magnetfeld würde dann die Ankerleiter nicht mehr schneiden, also auch keinen Strom in ihnen induzieren und der Motor, der nun synchron liefe, somit keine Zugkraft entwickeln. Dreht sich aber der Anker infolge eines äusseren Antriebes schneller als das Magnetfeld, so wird die Schlüpfung negativ; der Motor wird dann zum Dynamo und liefert Strom in das Netz zurück.

Die Schlüpfung eines Drehstrommotors beträgt bei Leerlauf infolge des inneren Ankerwiderstandes und der Reibung seiner Welle in den Lagern 2 bis 3, bei voller Belastung 4 bis 7, selten aber mehr als 10 Prozent. Von der Schlüpfung ist auch der Wirkungsgrad des Motors zur Hauptsache abhängig. Während des Anlaufes, wo zur Beschränkung der Stromstärke und zur Steigerung des Drehmomentes bezw. der Anzugkraft auch hier Widerstände in den Ankerstromkreis eingeschaltet werden müssen, nimmt die Schlüpfung unter entsprechender Verminderung der Stromstärke und des Drehmomentes (wenn auch bisweilen unter anfänglicher Steigerung des letzteren) allmählich ab. Das dauert auch noch fort, wenn die erwähnten Widerstände nach und nach ausgeschaltet werden, bis dass nach vollständiger Ausschaltung der letzteren die Schlüpfung ihren bei der betreffenden Belastung möglichen kleinsten, der Wirkungsgrad seinen diesbezüglichen grössten Wert während des Beharrungszustandes annimmt. Sobald aber in den Ankerstromkreis des arbeitenden Motors die Widerstände wieder eingeschaltet werden, nimmt die Schlüpfung wieder zu, sinkt also die Geschwindigkeit und Leistung des Motors unter gleichzeitiger Abnahme des Wirkungsgrades bei gleichbleibendem Drehmoment.

Von wesentlicher Bedeutung für die Eigenschaften eines Drehstrommotors ist ferner die Grösse der sogenannten Streuung. Man versteht darunter den Verlust, welcher dadurch hervorgerufen wird, dass ein Teil der Kraftlinien des Magnetfeldes und induzierten Ankerstromes nicht durch den Anker bezw. die Feldmagnete geht, sondern durch den Spielraum tritt, der zwischen Anker und Feldmagnete vorhanden ist. Dieser Teil der Kraftlinien bleibt für die Leistung des Motors wirkungslos, und deshalb müssen Drehmoment und Wirkungsgrad desselben um so geringer sein, je grösser unter sonst gleichen Verhältnissen die Zahl der wirkungslosen Kraftlinien bezw. die Streuung ist. Die letztere wächst im

allgemeinen mit zunehmender Schlüpfung und Belastung des Motors infolge des dann grösser werdenden Stromes.

Bezüglich der Bauart der Drehstrommotoren ist zu bemerken, dass dieselben, soweit sie zum Antriebe von Lasthebemaschinen dienen, stets mit mehreren Polpaaren versehen, d. h. die Feldmagnete so gewickelt werden, dass durch den eintretenden Strom mehrere Polpaare entstehen. Der Grund hierfür ist wieder, die Umdrehungszahl des Motors möglichst zu beschränken. Bei derselben Periodenzahl fällt nämlich für einen Drehstrommotor mit 2, 3 . . . Polpaaren die Umdrehungszahl des Ankers nur halb, ein Drittel . . . so gross als bei 1 Polpaar aus. Ferner unterscheidet man bezüglich der Bauart Drehstrommotoren mit Kurzschluss- und solche mit Spulenanker. Bei den ersteren, die gewöhnlich nur für kleine Leistungen bis zu 5 PS gebaut

Fig. 14.

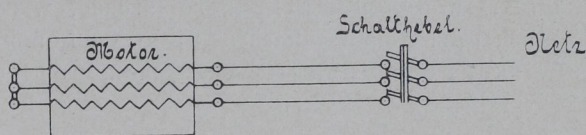
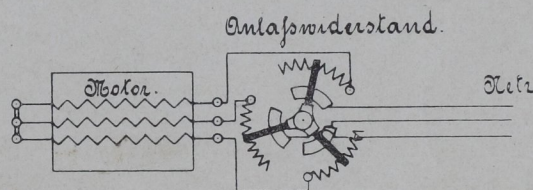


Fig. 15.



werden, besitzt der cylindrische Anker auf seinem Mantel Löcher, die parallel zur Drehachse in geringem Abstände voneinander eingbohrt und mit Kupferstäben ausgefüllt sind; die hervorstehenden Enden der Stäbe sind an jeder Stirnfläche des Ankers durch starke Kupferringe untereinander verbunden, also kurz geschlossen. Schematisch kann ein solcher Motor nach Fig. 14<sup>1)</sup> des Textes dargestellt werden. Da hier für gewöhnlich kein besonderer Widerstand in den Ankerstromkreis eingeschaltet werden kann, so muss man durch hinreichend grosse Streuung dafür sorgen, dass beim Anlauf der Ankerstrom genügend geschwächt und für den Anker ungefährlich wird. Selten findet man nach Fig. 15 des Textes bei Motoren mit Kurzschlussanker zur Abschwächung des Anlaufstromes Widerstände in den Magnetstromkreis geschaltet.

Bei den Drehstrommotoren mit Spulenanker ist dieser mit einer Wicklung, ähnlich der des Magnetringes, bekleidet. Diese Wicklung berührt, um Widerstände zur Beschränkung des Anlaufstromes und zur Regulierung der Umdrehungszahl einschalten zu können, mit ihren Enden drei Schleifringe auf der Achse des Motors. Vermittelst Bürsten, welche auf diesen Ringen schleifen,

1) Fig. 14 bis 16 nach „C. Lasehe, Elektrischer Einzelantrieb mit Drehstrom“, Zeitschrift des Ver. deutsch. Ingenieure, Jahrgang 1899, S. 287.



und dreier Leitungen kann dann der Ankerstrom durch den in Stern- oder Dreieckschaltung eingesetzten Widerstand geleitet werden. Fig. 16 des Textes zeigt das Schema solcher Motoren, wenn der Widerstand eingeschaltet ist. Während des Beharrungszustandes wird der letztere ausgeschaltet und der Spulenanker durch einen Kurzschliesser bei abgehobenen Bürsten kurz geschlossen. Ist der Beharrungszustand kurz, muss also der Motor häufig an- und abgestellt werden, wie z. B. bei vielen Kranen, so lässt man den Kurzschliesser der Einfachheit wegen meistens fort.

Über die wichtigsten Eigenschaften der Drehstrommotoren ist das Folgende zu bemerken.

Drehstrommotoren mit Kurzschlussanker und ohne besonderen Widerstand zeichnen sich, da ihnen Kommutator und Schleifringe fehlen, durch grosse Einfachheit aus. Ihre Verwendung bleibt aber nur auf kleine Leistungen und solche Fälle beschränkt, in denen starke Stromstösse, wie sie namentlich beim Anlauf entstehen, nicht vorkommen. Der Wirkungsgrad und das Anzugmoment dieser

stand abschwächen lässt, mit geringerer Streuung als solche mit Kurzschlussanker ausgeführt werden. Sie liefern infolge dessen im allgemeinen einen höheren Wirkungsgrad und ein grösseres Anzugmoment als diese. Allerdings werden diese Vorteile auf Kosten der Einfachheit und Billigkeit erkauft.

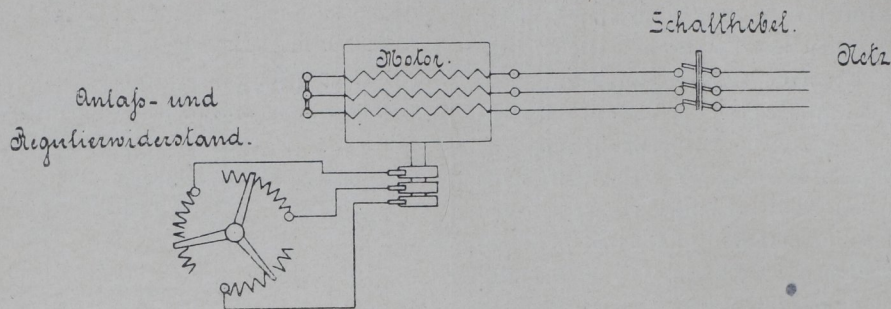
**Tabelle**

der Leistungen eines Drehstrommotors mit Spulenanker.

Indizierte Ampère.	Gebremste PS.	Wirkungsgrad.	Leistungsfaktor.	Indizierte Ampère.	Gebremste PS.	Wirkungsgrad.	Leistungsfaktor.
32	5	0,74	0,47	90	25	0,9	0,9
42	10	0,85	0,79	108	30	0,9	0,9
57	15	0,88	0,86	127	35	0,89	0,89
73	20	0,89	0,88	147	40	0,88	0,88

Die Werte der vorstehenden Tabelle beziehen sich auf einen Motor der Maschinenfabrik Örlikon in Örlikon von 30 PS Nennleistung, 830 min. Umdrehungen, 150 Volt Spannung und 42 sek. Perioden. Das Anlaufmoment ist ungefähr das Dreifache des normalen Drehmomentes. Der Motor soll auf längere Zeit bis zu 100 Prozent überlastet werden können.

Fig. 16.



Motoren ist ferner wegen der grösseren Streuung und des höheren Ankerwiderstandes geringer als bei Motoren mit Spulenanker und einschaltbarem Widerstand.

**Tabelle**

der Leistungen eines Drehstrommotors mit Kurzschlussanker.

Gebremste PS.	Wirkungsgrad.	Leistungsfaktor.	Gebremste PS.	Wirkungsgrad.	Leistungsfaktor.
0,2	0,38	0,58	1	0,77	0,92
0,4	0,64	0,73	1,2	0,77	0,92
0,6	0,70	0,83	1,4	0,75	0,92
0,8	0,74	0,89	1,6	0,73	0,91

Die Werte der Tabelle beziehen sich auf einen Motor der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin von 1 PS Nennleistung bei 1440 min. Umdrehungen. Der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  rührt, wie schon bei dem Wechselstrom auf S. 11 erklärt, daher, dass die augenblickliche Stromstärke hinter der sie erzeugenden Spannung zeitlich um den Phasenwinkel  $\varphi$  zurückbleibt. Je grösser  $\varphi$  und je kleiner  $\cos \varphi$  ist, desto kleiner ist auch der Wirkungsgrad des Motors. Das Anzugmoment beträgt ungefähr das Doppelte des normalen. Mit 50 Prozent Überlastung kann der Motor ohne Anstand  $\frac{1}{4}$  Stunde laufen.

Drehstrommotoren mit Spulenanker können, da sich der Anlaufstrom bei ihnen durch einen Anlasswider-

Bei sämtlichen Drehstrommotoren stellt sich im Beharrungszustande von selbst eine der Grösse der Belastung entsprechende Schlüpfung und Geschwindigkeit ein; mit steigender Belastung nimmt jene zu, diese ab. Diese Geschwindigkeitsänderungen sind aber bedeutend geringer als beim Hauptstrommotor, der kleinere Lasten viel schneller als der entsprechende Drehstrommotor hebt. In dieser Hinsicht ist also der Hauptstrommotor dem Drehstrommotor weit überlegen, zumal der letztere sich im Stromverbrauch bei geringer Belastung keineswegs günstiger als der erstere stellt. Andererseits bleibt ein Durchgehen des sich selbst überlassenen Drehstrommotors im unbelasteten Zustande ausgeschlossen, da er wie der Nebenschlussmotor an eine bestimmte höchste Geschwindigkeit gebunden ist. Das Anzugmoment des Nebenschlussmotors ist aber kleiner als das eines entsprechenden Drehstrommotors mit nicht zu grosser Streuung.

Eine grosse Überlastungsfähigkeit und hohe Steigerung des Drehmomentes beim Anlauf lässt sich ferner bei Drehstrommotoren nur durch Einschränkung der Streuung erzielen, ist also für gewöhnlich nur bei Drehstrommotoren mit Spulen-



anker und besonderem Anlasswiderstand vorhanden. Hier beträgt die grösste Leistung, welche vom Motor auf längere Zeit ertragen werden kann, bis zu 100 Prozent, während bei Motoren mit Kurzschlussanker gewöhnlich nur 50 Prozent für längere Dauer zugesichert werden. Der Wirkungsgrad der Drehstrommotoren, der, wie schon erwähnt, mit wachsender Schlüpfung und Streuung abnimmt, soll bei der normalen oder Nennleistung seinen grössten Wert haben.

Gegenüber den Gleichstrommotoren zeichnen sich die Drehstrommotoren dadurch vorteilhaft aus, dass sie bei gleicher Leistung im Bau leichter und gedrängter, in der Wickelung einfacher ausfallen, dass sie gegen Schmutz, Staub u. s. w. weniger empfindlich sind und geringerer Wartung bedürfen. Bei Drehstrommotoren mit Kurzschlussanker ergibt sich ferner aus dem Wegfall des Kommutators und sonstiger dem Verschleiss unterworfenen Teile (ausser den Lagern) ein vollständig funkenloser Betrieb, selbst bei wechselnder Last und Drehrichtung, verbunden mit geringer Reparaturbedürftigkeit und grosser Sicherheit. Für Drehstrommotoren mit Spulenanker sind diese Vorteile, wie schon auf S. 15 vermerkt, dahin zu beschränken, dass die hier verwendeten Schleifringe im allgemeinen, namentlich bei hoher Spannung, weniger Neigung zum Funken zeigen und weniger Anlass zu Störungen geben als der Kommutator der Gleichstrommotoren. Dagegen haben Drehstrommotoren gegenüber den letzteren den Nachteil, dass wegen der drei Leitungen auch drei Schleifkontakte, Sicherungen u. s. w. nötig sind und dass ferner aus Mangel an einer brauchbaren Kurzschlussbremse für Drehstrom mechanische Bremsen mit kompliziertem Steuergestänge angeordnet werden müssen.

Zur Regulierung der Umlaufzahl des arbeitenden Drehstrommotors werden der Einfachheit wegen meistens die Anlasswiderstände benutzt, die dann genügend abgestuft, sowie hinreichend stark für dauernden Betrieb bemessen sein müssen und gewöhnlich Flüssigkeitswider-

stände sind, da der Wechselstrom die Tauchplatten nicht zersetzt. Natürlich bewirken diese Widerstände ebenso wie bei Gleichstrommotoren Energieverluste, da ein Teil des Stromes in ihnen in Wärme umgesetzt wird. Die Widerstände können in den Magnet- oder Ankerstromkreis eingeschaltet werden. Das erstere ist, trotzdem dann der Motor mit einfachem Kurzschlussanker und ohne Schleifringe gebaut werden kann, weniger gebräuchlich, weil dann beim Einschalten des Widerstandes Drehmoment bzw. Zugkraft bedeutend sinken, oft sogar bis zum Stillstand. Auch wird durch Einschaltung des genannten Widerstandes der Stromverbrauch recht ungünstig beeinflusst. Nur die Rückstösse auf das Netz fallen weniger heftig als beim Kurzschlussanker ohne besonderen Widerstand aus. Weit gebräuchlicher ist es, vermittelt dreier Schleifringe und Leitungen mit Stern- oder Dreiecksschaltung einen Flüssigkeitswiderstand in den Ankerstromkreis zu legen, weil dann, wie schon erwähnt, beim Anlassen die Zugkraft bedeutend gesteigert werden kann und dabei der Stromverbrauch nicht allzusehr über den bei völlig ausgeschaltetem Widerstand steigt. Beim Regulieren der Umdrehungszahl sinkt die Geschwindigkeit natürlich um so mehr über die bei ganz ausgeschaltetem Widerstand vorhandene, je mehr Widerstand vorgeschaltet wird.

Bezüglich anderer Reguliermethoden muss auf die Prospekte der einzelnen Firmen verwiesen werden.

Zur Umsteuerung der Drehstrommotoren hat man zwei Zuleitungen, wie z. B. diejenigen der Spulen *bb*, und *cc*, in Fig. 11 auf S. 18 miteinander zu vertauschen. Es ändert sich dann die Umlaufrichtung des resultierenden Magnetfeldes und also auch die des Ankers. Man bedient sich zum Wechseln der Drehrichtung besonderer Umschalter, die gewöhnlich mit dem Anlasser verbunden werden. Zur Funkenlöschung benutzt man bei Drehstrommotoren selten magnetische Funkenlöcher, sondern meistens Anlasser mit Kohlenkontakten, deren Kohlenstücke leicht auswechselbar sind. Die Anlasser für Drehstrom fallen insofern komplizierter aus, als sie drei oder mindestens zwei Kontaktreihen an Stelle einer einzigen bei Gleichstrom erfordern.