

**Motoren und Hilfsapparate**

für

**elektrisch betriebene Hebezeuge.**

Von

**F. Niethammer,**

Regierungs-Maschinenbauführer  
Assistent am Elektrotechn. Institut der Techn. Hochschule Stuttgart.

Mit 111 in den Text gedruckten Figuren.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1897.

Sonderabdruck  
aus der  
Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure  
1897.

**Motoren und Hilfsapparate**

für

**elektrisch betriebene Hebezeuge.**

Von

**F. Niethammer,**

Regierungs-Maschinenbauführer  
Assistent am Elektrotechn. Institut der Techn. Hochschule Stuttgart.

Mit 111 in den Text gedruckten Figuren.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1897

ISBN 978-3-662-31957-4  
DOI 10.1007/978-3-662-32784-5

ISBN 978-3-662-32784-5 (eBook)

Es lässt sich wohl kaum verkennen, dass die elektrische Kraftübertragung alle übrigen Leistungen der Elektrotechnik überflügelt hat. Elektrische Uebertragungen und Verteilungen von Arbeit auf große und kleine Entfernungen sind in fast allen Ländern etwas ganz Gewöhnliches geworden. Für den Straßenbahnbetrieb bedeutet der Elektromotor einen mächtigen Aufschwung, und bereits hat er auch vereinzelt für Vollbahnen, und zwar zum Teil unter ausnahmsweise schwierigen Verhältnissen, erfolgreiche Verwendung gefunden. Der elektrische Antrieb von Bergwerksmaschinen, von Hilfsmaschinen auf Schiffen, von Arbeitsmaschinen in den verschiedensten Werkstätten und insbesondere auch von Hebezeugen aller Art ist stetig im Zunehmen begriffen, obwohl nicht zu leugnen ist, dass diese Betriebe eine lange Reihe von Kinderkrankheiten zu überwinden hatten und sich sicherlich auch heute noch nicht zu der Vollkommenheit entwickelt haben, deren sie fähig sind.

In den letztvergangenen Jahren haben die Aufzüge für Gasthöfe und andere große Baulichkeiten sich ungemein rasch entwickelt und ausgedehnt; in New York z. B., wo Aufzüge mit 1000 täglichen Fahrten zu finden sind, werden mehr Personen senkrecht in Aufzügen als wagerecht in Straßenbahnen befördert. Die riesigen Geschäftsgebäude in Chicago und New York, die sogenannten sky scrapers, wären ohne zahlreiche Personen- und Warenaufzüge gar nicht lebensfähig. Ferner haben viele bedeutende Häfen der Welt neuerdings ihre Kranparke ganz beträchtlich vergrößert und verbessert, oder sind im Begriff, dies zu thun. Bei diesen Anlagen ebenso wie bei Aufstellung zahlreicher Fabriks- und Schiffskrane tritt die Frage des elektrischen Antriebes in betracht der vielen bereits vorhandenen städtischen und anderen Elektrizitätswerke für Licht- und Kraftabgabe allerorten in den Vordergrund. Grundbedingung eines sicheren und einwurfsfreien Betriebes elektrischer Hebezeuge ist nun neben gründlicher Durcharbeitung des mechanischen Teils zweckmäßige Bauart der Motoren und sachgemäße Anbringung aller erforderlichen Hilfs- und Sicherheitsvorrichtungen. Für den letzteren Zweck eignet sich die Elektrizität in einer kaum zu übertreffenden Weise, da sie in beliebig gespaltenen Stromkreisen jedwede Bewegung oder Feststellung innerhalb kürzester Frist einzuleiten vermag.

Für eine gedeihliche Entwicklung dieses jungen Zweiges des Maschinenbaues ist es angezeigt, dass der im allgemeinen Kran- und Aufzugbau erfahrene Maschineningenieur sich auf dem einschlägigen Gebiete der Elektrotechnik möglichst gründliche Kenntnisse erwirbt. Es dürfte dies zum allermindesten sein Zusammenarbeiten mit den elektrotechnischen Firmen wesentlich fördern. Hierzu einige Anregung zu geben, ist der Zweck nachstehender Ausführungen.

1) Die für eine größere Anzahl von Hebezeugen erforderliche elektrische Energie lässt sich entsprechend den hydraulischen Betrieben in einer Zentralanlage durch große Maschinen erzeugen; die hieraus zu erzielenden Vorteile dürfen als bekannt vorausgesetzt werden. Hervorzuheben ist, dass sich weit größere Gebiete elektrisch als mit anderen Uebertragungsmitteln versorgen lassen, insbesondere bei Benutzung von Gleichstrom von rd. 500 V Spannung oder gar von hoch-

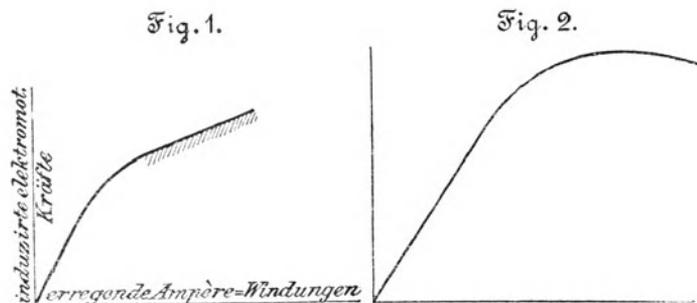
gespanntem Drehstrom mit Transformatoren-Unterstationen, in welchem Falle der Versorgungskreis beliebig groß sein kann. Die Anlagekosten elektrischer Leitungsnetze sind mäßig, die Leitungsverluste unerheblich, die Verteilung ist äußerst anpassungsfähig, erfordert wenig Zubehör, gestattet bequeme Abzweigungen und Erweiterungen nach entlegenen Verbrauchsstellen und zu den höchsten Stockwerken; Ausbesserungen lassen sich leicht und rasch bewerkstelligen, gegen Feuchtigkeit, Frost und andere atmosphärische Einflüsse sind gut montierte Leitungen, ob unter- oder oberirdisch verlegt, so gut wie unempfindlich. Es dürfte allgemein bekannt sein, dass im Gegensatz hierzu hydraulische Leitungen sehr sorgfältig zu montieren sind, Kanäle von ganz erheblichen Abmessungen erfordern und gegen Frost peinliche Schutzmaßnahmen notwendig machen, und dass Ausbesserungen häufig lange dauernd und schwierig sind.

2) Die Stromerzeuger für die vorliegenden Kraftverteilungen unterscheiden sich wenig von den sonst üblichen. Im allgemeinen ist es zweckmäßig, bei gleichzeitiger Licht- und Kraftabgabe getrennte Stromerzeuger aufzustellen oder womöglich keine Motoren von mehr als  $\frac{1}{20}$  der Generatorleistung in die Lichtleitung zu legen, außerdem die Stromerzeuger reichlich zu bemessen, um Erwärmung und Funkenbildung bei der veränderlichen Belastung zu vermeiden. In umfangreichen Anlagen ziehe man eine größere Anzahl kleiner Maschinensätze, die nach Bedarf zu- und abgeschaltet werden können, einer oder wenigen großen Maschinen vor.

Bei Gleichstrombetrieb bietet sich als vorzügliches Ausgleichmittel der Betriebschwankungen eine Akkumulatoren-batterie, eine sogenannte Pufferbatterie, die mehr für erhebliche augenblickliche als für langdauernde Entladungen zu berechnen ist. Dem hydraulischen Akkumulator gegenüber befindet sich indessen der elektrische, wenigstens in seiner jetzigen Anordnung, ganz entschieden im Nachteil. Jener verzehrt so gut wie keine Arbeit, ist sehr elastisch, d. h. er füllt und leert sich in weiten Grenzen und innerhalb äußerst kurzer Zeiträume, arbeitet vollständig selbstthätig und lässt sich bequem irgendwo in die Leitung einfügen, ohne gerade zu viel Platz in Anspruch zu nehmen. Die elektrischen Akkumulatoren nehmen hingegen einen verhältnismäßig großen Raum ein, haben keinen hohen Nutzeffekt (etwa 70 bis 85 pCt), ihre Entladungsgrenzen sind der Menge und Zeit nach beschränkt, ihre Spannung lässt mit der Entladung allmählich nach, bei angestrenzter Benutzung verändern sie unter Umständen ihre Zusammensetzung und werden unbrauchbar, die Ladezeit dauert etwas lange, und die Bedienung erheischt Sorgfalt.

Im wesentlichen verwendet man in den Kraftstationen Nebenschlussmaschinen, auf denen eine zusätzliche Reihenwicklung, um die Spannung konstant zu erhalten, sehr angebracht ist; nur ist, falls Akkumulatoren damit zu laden sind, eine Vorrichtung vorzusehen, um die Zusatzwicklung kurzzuschließen oder abzutrennen. Die Vereinigungspunkte zwischen Bürste und Anfang der Reihenwicklung derartiger parallel geschalteter Doppelschlussmaschinen sind durch eine Ausgleichleitung von ganz geringem Widerstande zu verbinden; am einfachsten macht man den Maschinenausschalter dreipolig

und legt damit jene genannten Punkte an eine gemeinsame dritte Sammelschiene. Sehr empfehlenswert ist es, die Generatoren durch die meist vorhandene Akkumulatoren-batterie zu erregen. Durch entsprechende Konstruktion der Stromerzeuger sollte man in jedem Falle nach Kräften dafür sorgen, dass die Spannung auch ohne weitere Hilfsmittel bei verschiedener Stromentnahme sich wenig verändert; man wird demnach den Ankerwiderstand und die Rückwirkung der Anker-Ampèrewindungen, also auch den Bürstenvorschub, möglichst klein zu halten suchen. Zu gleichem Zwecke wählt man, falls weder von Hand noch selbstthätig auf Spannung geregelt wird, die Induktion auf dem oberen, flachen Zweige der Charakteristik, Fig. 1, die allerdings nicht durch übermäßige Ankerrückwirkung nach Art der Fig. 2 herabgedrückt

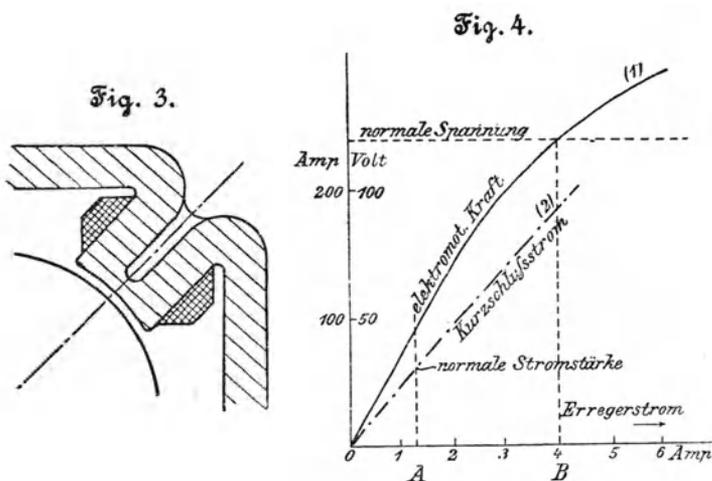


sein darf, eine Erscheinung jedoch, die sich in den heutigen Maschinen leicht vermeiden lässt. Verlangt indessen eine Maschine, die etwa großen Ankerwiderstand hat, einen Nebenschlussregler, um die Spannung konstant zu halten — es sei z. B. die selbstthätige Konstruktion nach Thury erwähnt, die von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin ausgeführt wird —, oder trägt die Maschine gemischte Wicklung, so ist der leichter regelbare untere steile Zweig der Charakteristik, Fig. 1, vorzuziehen. Maschinen, die parallel auf ein Netz arbeiten, müssen auf ihrem ganzen Verlaufe zusammenfallende Charakteristiken haben. Die Ankerrückwirkung lässt sich einerseits durch Wahl eines starken Schenkelfeldes — große Eisenquerschnitte bzw. hohe Induktion — und weniger Ankerwindungen, andererseits durch großen magnetischen Widerstand im Ankerfeldkreise vermindern. Diese letzte Bedingung wird namentlich dadurch erfüllt dass man das Poleisen tief einschneidet, Fig. 3, sodass die Schenkelkraftlinien ungehindert, ja bis zu einem gewissen Grade richtig geführt, hindurchtreten können, während den quermagnetisierenden Ankerkraftlinien durch die Luft der Weg erschwert wird. Großer Polspitzenabstand, Weglassung aller Polschuhe, wie es bei gusseisernen Maschinen meist geschieht, Anbringung von entgegenwirkenden (die schädlichen Anker-Ampèrewindungen aufhebenden) Ampèrewindungen oder Verwendung von Hülfspolen, die die Kraftlinien in den Ankerwindungen rechtzeitig wenden, wie in Sayers' Dynamo, sind empfehlenswerte und häufig noch an fertigen Maschinen anzubringende Auskunftsmittel. Bei sonst gleichen Verhältnissen haben Trommelanker kleinere Rückwirkung als Ringanker, und ebenso vielpolige Maschinen geringere als solche mit weniger Polen. Die Bürsten von Stromerzeugern mit unbedeutender Ankerrückwirkung können bei jeglicher Kraftabgabe, ohne dass etwa Funken zu fürchten wären, in ihrer Stellung belassen werden. Falls dies die Maschine an und für sich nicht erlaubt, leistet die Anwendung einer Kohlenbürste, die um eine Lamelle gegen die benachbarten Kupferbürsten vorgesetzt ist, und die je an den verschiedenen Bürstenstiften um eine Bürstenbreite, den ganzen Kollektor bestreichend, versetzt ist, vorzügliche Dienste. Durch Anbringung nur zweier Bürstenpaare bei innerer Verbindung gleichartiger Ankerdrähte, falls sich diese Schaltung mit den Rücksichten auf Stromdichte und Erwärmung verträgt, erreicht man eher funkenlosen Gang als bei einem vielgliedrigen Bürstestern; jedenfalls sind die unten am Kollektor liegenden Bürsten, weil die Bedienung erschwert wird, nach Möglichkeit zu vermeiden. Durch Einfügung eines Nickelindrahtstückes zwischen den Verbindungspunkten der einzelnen Ankerwindungen und den Kollektorlamellen wird der Bürsten-Kurzschlussstrom in willkommener Weise verringert. Bezüglich weiterer Kon-

struktionsrücksichten dieser Art, wie: reichliche Wahl von Kommutatorlamellen usw., sei auf Fischer-Hinnens Werk: Die elektrische Gleichstrommaschine, 3. Aufl. S. 203 ff., verwiesen.

3) Ist die Kraftanlage mit Drehstrom ausgeführt, so kann bei gleichzeitiger Beleuchtung durch Bogenlicht oder Scheinwerfer, die Gleichstrom erheischt, derselbe Stromerzeuger auf einer Seite für Drehstrom-, auf der andern für Gleichstromabgabe eingerichtet werden. Es ist dies eine Ausführung, wie sie auf modernen Schiffen bereits zu finden ist.

Die Drehstromdynamos sollen bei der hier infrage kommenden induktiven Belastung mit asynchronen Motoren nicht erheblich in der Spannung abfallen, d. h. geringe Ankerrückwirkung und Streuung besitzen. Bei ausschließlichem Kraftbetrieb dürften 15 pCt, bei gleichzeitigem Lichtbetrieb



5 pCt die äußersten Grenzen des zulässigen Spannungsabfalls sein. Ein gutes Urteil in dieser Frage lässt sich durch Aufnahme der Kurven für die elektromotorische Kraft bei Leerlauf, Fig. 4, Kurve 1, und für den Strom bei Kurzschluss der Maschine, Fig. 4, Kurve 2, als Funktionen des Erregerstromes gewinnen. Im allgemeinen<sup>1)</sup> soll bei Kurzschluss die normale Stromstärke bei einer Erregung A mit etwa dem dritten Teile des zur Erzeugung normaler Spannung bei Leerlauf nötigen Erregerstroms B erreicht werden. Der Spannungsabfall  $e$ , Fig. 5, eines Drehstromerzeugers setzt sich zusammen aus einer Arbeitskomponente  $e'$  zur Ueberwindung der Kupfer- und Eisenverluste und einer hierzu senkrechten wattlosen  $e''$ , deren Ursache in der Selbstinduktion der Ankerwicklung und in der Streuung der magnetischen Kraftlinien liegt. Mit zunehmender Ankerbelastung drängen gleichsam die Anker-Ampèrewindungen einen Teil der erregenden Feldkraftlinien zurück; das hieraus entstehende pulsierende Streufeld wirkt gerade wie eine Selbstinduktion und wird im Diagramm, Fig. 5, durch eine um  $90^\circ$  hinter dem Strome  $J$  zurückbleibende elektromotorische Kraft  $e'$  zum Ausdruck gebracht, die annähernd proportional dem Strome  $J$  wächst und deren Wert mit dem höchsten Werte der gestreuten Kraftlinienzahl  $K_s$ , der Ankerwindungszahl  $Z$  und der sekundlichen Umlaufzahl  $N$  bei sinusförmigem Wechselstromverlauf durch die Beziehung

$$e' = 4,44 N Z K_s \dots \dots \dots (1)$$

verbunden ist. Führt man statt  $K_s$  einen Selbstinduktionskoeffizienten der Streuung ein, so erhält man<sup>2)</sup>

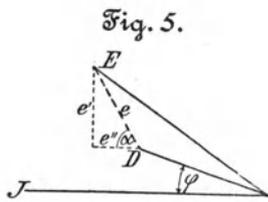
$$e' = 2\pi N L_s J \dots \dots \dots (2),$$

wo  $J$  der Ankerstrom ist. Wie ersichtlich, spielt die Streuung bei Wechselstromapparaten eine etwas andere Rolle als bei Gleichstrommaschinen. Die aus  $e'$  und  $e''$  resultierende elektromotorische Kraft  $e$  setzt sich nach Art des Kräfte dreiecks

<sup>1)</sup> Kolben, Elektrot. Z. 1895 S. 802.

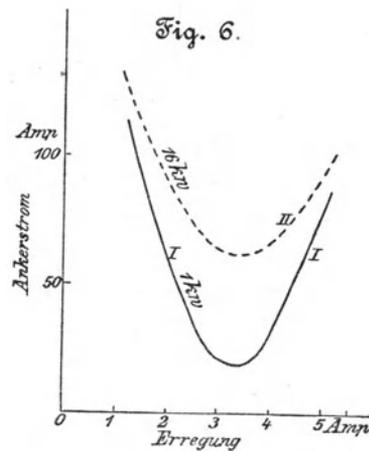
<sup>2)</sup> Gleichung (2) geht aus (1) gemäß der Beziehung  $L_s \frac{di}{dt} = Z \frac{dK}{dt}$  hervor. 4,44 entsteht aus  $\pi \sqrt{2}$ .

mit der im Anker induzierten elektromotorischen Kraft  $E$  (aus Fig. 4, Kurve 1) zu der Klemmenspannung  $D$  der Maschine zusammen, die wiederum nach Maßgabe der Netzbelastung dem Strome  $J$  um einen Winkel  $\varphi$  vorausseilt.  $\cos \varphi$  ist bei ausschließlicher Motorenbelastung etwa 0,7 und kann bei



gleichzeitiger Lichtverteilung ganz nahe an 1 herankommen. Das Diagramm, Fig. 5, ergibt, wenn für verschiedene Winkel  $\varphi$  durchkonstruiert, dass mit zunehmender Phasenverschiebung  $\varphi$  die Spannung  $D$  gegenüber  $E$  mehr und mehr herabgedrückt wird.

Der Wert von  $e'$ , der gewöhnlich gleich  $e$  gesetzt wird, da  $e'$  klein gegen  $E$  ist, lässt sich aus der Leerlaufspannung  $E$  und dem Kurzschlussstrom  $J$  bei gleicher Erregung aus Fig. 4 entnehmen<sup>1)</sup>. Bei Kurzschluss ist einfach  $D = 0$  und  $e = E$ . Für irgend eine Belastung  $J$  ersieht man aus Fig. 4, Kurve 2, die zu demselben Kurzschlussstrom  $J$  gehörige Erregung, zu der wiederum auf Kurve 1 die Kurzschlussspannung  $e'$  zu suchen ist. Es möge noch bemerkt werden, dass  $\frac{e}{J}$  einfachen scheinbaren Widerstand des Stromerzeugers darstellt. Aus  $e = e'$ , sowie der bei normaler Erregung vorhandenen elektromotorischen Kraft  $E$ , Fig. 4, Kurve 1, und dem Phasenwinkel  $\varphi$  ergibt sich die jeweilige Spannung  $D$ . Um noch genauere Ergebnisse zu erzielen, könnte man  $e$  aus der Kurzschlussspannung und dem im Einzelfalle zu berechnenden oder zu messenden Spannungsfall  $e''$  für Ohm- und Magnetisierungsverluste zusammensetzen. Einen weiteren Maßstab für die Güte einer Wechselstrommaschine liefert die in Fig. 6 wiedergegebene Schaukurve. Der Stromerzeuger wird durch Einleiten von Drehstrom als Synchronmotor betrieben, indem er zugleich durch Gleichstrom erregt wird. Bei konstanter Belastung (etwa 1 Kilowatt wie in Kurve I) ändert sich der zuzuführende Ankerstrom mit der Erregung nach Fig. 6. Links vom kleinsten Werte eilt die Spannung dem Strome voraus, an der Stelle des kleinsten Wertes herrscht Phasengleichheit, rechts davon eilt der Strom der Spannung voraus. Je steiler nun die beiden Aeste dieser Kurven ansteigen, desto geringer ist der induktive Spannungsabfall des Stromerzeugers. Maschinen mit recht kräftiger Erregung und kleiner Ankerwindungszahl  $Z$  erfüllen die eben genannte Bedingung geringer Ankerrückwirkung  $e'$  am besten (s. Gleichung 1). Die neuerdings vielfach gebaute Maschinenform mit ruhender induzierter und erregender Wirkung hat einen kleineren magnetischen Streuungswiderstand und damit einen größeren Selbstinduktionskoeffizienten  $L_s$  der Streuung, also einen erheblicheren Spannungsabfall, als die nach Art der üblichen vielpoligen Gleichstrommaschinen gebauten Drehstromdynamomas mit 3 Schleifringen. Aus diesem Gesichtspunkt betrachtet, ist also diese ältere Form jener allerdings wohl billigeren, einfacheren und betriebsicheren entschieden überlegen. Ich möchte übrigens nicht versäumen, hier noch auf eine Wicklungsart bei Drehstromdynamomas für konstante Spannung in der Art der Gleichstrommaschinen nach Ausführungen der General Electric Co. in Schenectady<sup>2)</sup>, Vereinigte Staaten, aufmerksam zu machen. Die in Sternschaltung zu verbindenden Enden der sich drehenden Ankerwicklung werden nicht unmittelbar verkettet, sondern zu drei ebenfalls sich drehenden Lamellen eines Kommutators ge-

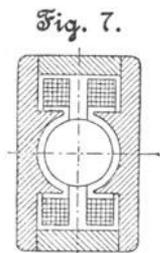


führt, von denen aus die drei Zweige über drei auf der Achse angebrachte kleine Widerstände verkettet werden. Zwei diametral gegenüber liegende Bürsten führen zu dem sogenannten Reihenfelde, das durch einen parallel gelegten Widerstand je nach Art der Belastung — ob induktiv oder induktionslos — geregelt werden kann. 70 bis 75 pCt des Gesamtstromes fließen in der Reihenwicklung, der Rest in den zwei Nebenschlüssen, dem sich drehenden und dem festen.

Um die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung zu vermeiden, die, wie bemerkt, den Abfall der Klemmenspannung vergrößert, bietet sich unter Umständen das zweckmäßige Auskunftsmittel, einen oder mehrere übererregte Synchronmotoren — es sind das einfach als Motoren benutzte Dynamomas — im Netze aufzustellen, die den Leitungsstrom gegen die Spannung vorschoben, falls sie auf dem rechts vom kleinsten Werte liegenden Teile der Fig. 6 erregt sind. Sie laufen entweder leer mit, oder man benutzt sie zu einer ihnen entsprechenden Kraftabgabe. Obwohl sie als Synchronmotoren nicht anlaufen, lassen sie sich gewöhnlich leicht asynchron in Betrieb setzen, sollten dann aber möglichst während der ganzen Arbeitszeit nicht still gestellt werden. Bei erheblichen Ueberlastungen und Stromstößen z. B. auch bei Blitzschlägen im Leitungsnetze, können sie allerdings außer Tritt fallen und stehen bleiben; ihr Nutzeffekt ist jedoch größer als der von asynchronen Motoren, und ferner laufen sie mit durchaus gleichmäßiger Umlaufzahl. Synchronmotoren, deren V-Kurven, Fig. 6, recht steile Aeste haben, erweisen sich als die wirksamsten Phasenregler.

4) Der Vorteil des elektrischen Betriebes von Hebezeugen tritt dadurch am deutlichsten zutage, dass man die Eigenschaften des Elektromotors so weitgehend wie nur möglich ausnutzt, indem man z. B. dem Motor die Umkehr der Bewegungsrichtung und die Aenderung der Umdrehungszahl überlässt. Für Laufkrane — ähnliches gilt für Drehkrane — wird man demnach, falls man es nicht gerade mit Ausführungen in verhältnismäßig kleinem Maßstabe zu thun hat, drei getrennte Motoren verwenden, die ein einfaches Vorgelege und billigeren Betrieb ergeben als ein Motor, der häufig leer oder mit schlechtem Nutzeffekt läuft, da er eben so groß gewählt werden muss, dass verschiedene Bewegungen gleichzeitig ausgeführt werden können. Die Kosten für Unterhaltung dreier Umsteuerer motoren werden allerdings im allgemeinen erheblicher sein, als für einen einzigen, immer gleich umlaufenden, und überdies sind, um genau anhalten zu können, bestimmte Hilfsvorrichtungen nötig, von denen später die Rede sein wird. In Aufzuganlagen gleicht man das Fahrstuhlgewicht und einen vom Betriebe abhängenden Teil der Nutzlast, meist  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$ , durch ein Gegengewicht aus. Dies gestattet die Verwendung eines kleineren Elektromotors, der aber umsteuerbar sein muss. Die Ausnahme, die die Sprague Electric Elevator Co. in New York mit ihren Aufzügen mit hoher Geschwindigkeit und großem Hube macht, wird an anderer Stelle Besprechung finden.

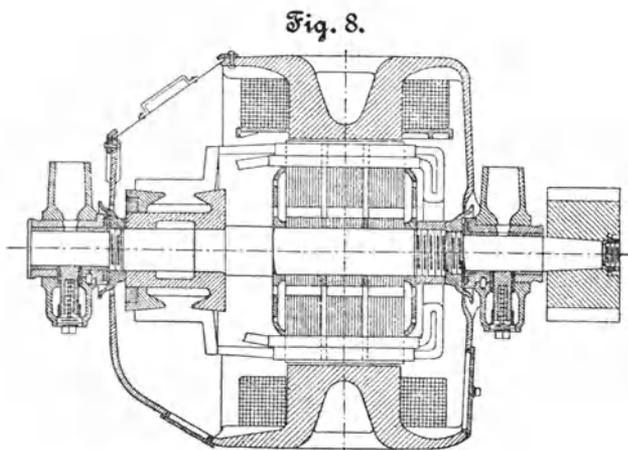
Beim äußeren Aufbau der Motoren, deren Betriebsspannungen sich um 100, 200 und 500 V bewegen, muss meist zunächst auf mechanische Bedingungen Rücksicht genommen werden. Im Freien, in Gießereien und ähnlichen Betrieben verwendet man gewöhnlich, so lange es sich um Gleichstrommotoren handelt, die ich vorerst nur im Auge habe, die eisengeschlossene Motorenform der Straßenbahnen oder die von Eickemeyer, Fig. 7, die vollständig gegen Staub und Nässe abgeschlossen werden kann. Der Kollektor muss vermöge eines abnehmbaren Deckels leicht zugänglich sein und ist durch Oelspritzringe gegen Verunreinigung durch Lageröl zu schützen, Fig. 8. Das ganze Motorgehäuse muss zweiteilig und überhaupt mit Rücksicht auf rasche und bequeme Ausbesserung entworfen werden. Diese eisengeschlossenen Motoren haben auf Schiffen außerdem den Vorteil kleinster magnetischer Streuung und damit geringster Beeinflussung des Kompasses. Andererseits lässt sich nicht verkennen, dass sie sich, weil die Lüftung mangelt, leicht übermäßig erwärmen und sich, wenn einmal heiß, nur lang-



<sup>1)</sup> Dr. Behn-Eschenburg, Schweiz. Bauzeitung 1895 No. 25.

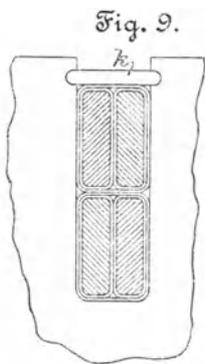
<sup>2)</sup> L'Industrie élect. 5. Jahrg. No. 107 Fig. 2.

sam wieder abkühlen. Durch Konstruktion luftiger Trommelanker von genügend großem Durchmesser mit Stirnverbindungen am Umfange statt der luftabschließenden Kreuzungen über die Achse, sodass die innere Fläche des Ankereisens freiliegt, durch Anbringung künstlicher Luftkanäle, Fig. 8, unter Umständen auch durch Luftlöcher im Gehäuse, die allerdings den mechanischen Schutz beeinflussen dürften, lässt sich jedenfalls befriedigend abhelfen. Die Manchester-Form, zu der auch der frühere, allerdings schon über 4 Jahre verlassene Sprague-Motor gehörte, erfreute sich bis jetzt wegen



ihrer widerstandsfähigen, standfesten, überall zugänglichen und gefälligen Bauart im Aufzugbau weitgehender Beliebtheit, obwohl sie teurer und größer ausfällt und mehr streut als zweipolige Dynamos mit einem magnetischen Kreise, wie z. B. die LH-Form von Siemens & Halske. Mag auch häufig der Platz für Hebezeugmotoren beschränkt sein, so sollte man sich doch wegen etwaiger Ueberlastungen und Erwärmungen nicht dazu verleiten lassen, den Motor zu schwach zu wählen. Besser werden die Abmessungen durch Wahl guten Materials und, wenn nicht anders möglich, durch Verzicht auf einen hohen Nutzeffekt verringert. Andererseits braucht man bei kräftig konstruirten Motoren bezüglich kurzer Ueberlastungen und beim Anlauf auftretender Stromstöße nicht zu ängstlich zu sein. Anderson<sup>1)</sup> sagt in betreff eines Gießereikrans, dass die Schmelzsicherungen anfangs die unangenehme Gewohnheit an den Tag legten, in sehr kritischen Augenblicken beim Gießen durchzuschmelzen. Er brachte einfach stärkere Sicherungen an, womit er sich immerhin der Gefahr aussetzte, dass der Anker ausbrenne. Jahrelanger störungsfreier Betrieb bewies jedoch, dass die Zeitdauer der Stromstöße zu gering ist, um eine übermäßige Temperatursteigerung eintreten zu lassen.

Zum Aufbau des Ankers benutze man best ausgeglühte Eisenbleche, die nach amerikanischem Vorgange zwecks Raum- und anderer Ersparnisse als Ersatz der gebräuchlichen Papierzwischenlage oxydirt werden. Das Feld gieße man aus weichstem Stahlguss. Gusseisen lässt die gewöhnlich verlangte rasche Geschwindigkeitsregelung gar nicht zu, Gusseisenmotoren sind außerdem viel schwerer und haben, da sie mehr Erregerwindungen brauchen, geringeren Nutzeffekt. Falls



es sich darum handelt, das Eisengerippe klein zu halten, kann man die Induktion groß, also auf dem oberen Aste der Charakteristik, Fig. 1, wählen. Es geht diese Beschränkung jedoch auf Kosten des Nutzeffektes bezw. der zur Erregung nötigen Kupferdrahtmenge, da die Erhöhung der Induktion vom Knie der Kurve ab aufwärts unverhältnismäßig mehr Ampèrewindungen erfordert als unter dem Knie. Ein starkes Schenkelfeld ist indes aus noch zu erwähnenden Gründen stets anzustreben, aber zweckmäßig durch Wahl großer Eisenquerschnitte; man

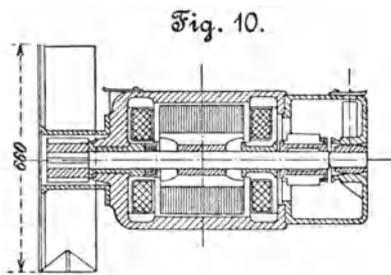
spart damit an Erregerstrom und Erregerkupfer, auch die Ankerwindungszahl und der Ankerwiderstand werden bei dem stärkeren Felde kleiner, sodass sich damit der Nutzeffekt steigern lässt. Bei Reihenmotoren ist es sehr angezeigt, unter dem Knie der Charakteristik zu bleiben, damit sie weite Geschwindigkeitsregelungen zulassen und wegen der Möglichkeit, die Induktion in weiten Grenzen zu steigern, ein großes Anzugmoment ergeben. Das Magnetgestell entwirft man zweckmäßig so, dass es geringe magnetische Streuung besitzt, weil Hebezeugmotoren gewöhnlich in eisenreicher Umgebung aufgestellt sind und die Streuung mit stärkerer Magnetisierung zunimmt, sodass sogar die Regulirfähigkeit des Motors dadurch Einbuße erleiden kann. Alle Drahtwicklungen müssen kräftig und widerstandsfähig sein, sodass Erschütterungen und atmosphärische Einflüsse nicht zerstörend wirken. Auf den Anker legt man heutzutage fast durchweg nach Schablone hergestellte Trommelwicklung, deren Grundform von Eickemeyer<sup>1)</sup> gegeben worden ist. Diese Schaltung vermeidet alle unmittelbaren Drahtkreuzungen, die Spulen sind leicht einzeln ersetzbar und haben alle genau gleiche Drahtlänge. Häufig besteht eine Spule aus nur einer oder ganz wenigen Windungen in länglichem oder quadratischem Vierkantkupfer, das in Nuten der Ankerbleche eingelegt und dann durch eine Keilplatte *k* festgehalten wird, Fig. 9. Die Nuten füttere man nicht, wie es meist üblich ist, mit einer Isolationsröhre aus, sondern gebe den Drähten selbst die genügende Isolation. Ein Ersatz bewerkstelligt sich auf diese Weise einfacher und rascher. Aus gleichem Grunde sind kegelförmige Nuten, die am Umfange enger sind, und in welche die Drähte eingezogen werden müssen, sodass die Platte *k*, Fig. 9, überflüssig wird, ebenso wie Lochanker nicht zu empfehlen. Für mehrpolige Motoren lässt sich die Trommelwicklung bequem so verbinden, dass nur 2 Bürstenpaare zur Stromableitung notwendig werden. Da indessen bei dieser Wicklungsart Stäbe von erheblich verschiedenem Potential neben einander zu liegen kommen, muss ihre Isolation besser sein als bei Ringwicklung. Die Walker Co. in den Vereinigten Staaten weicht ihre Feldspulen vollständig in Asphalt ein, um sie wasserdicht zu machen.

5) Um den Drehungssinn der Motoren umzukehren, wechsle man den Ankerstrom, nicht das Feld. Motoren, die zugleich als Dynamos zu elektrischer Bremsung gebraucht werden, können durch Wechseln des Feldes vollständig entmagnetisirt werden und ihren Dienst als Bremse versagen. Für Motoren, und insbesondere für Umsteuermotoren, ist Verwendung von Kohlenbürsten geboten, da diese sich gut radial anschmiegen und wegen ihres beträchtlichen elektrischen Widerstandes und größerer Breite in Richtung des Umfangs am ehesten funkenfreien Gang ergeben. Da die Motoren möglichst wenig Wartung erfordern sollen, ist auf gute Bürsten und Bürstenhalter besonderer Wert zu legen. Die Spannfeder sollte z. B. während der ganzen Lebensdauer der Bürste ohne Regelung gleich stark andrücken. Eine vorzügliche Bürstenkonstruktion ist diejenige der Compagnie de l'Industrie électrique in Genf, wie sie z. B. in Fischer-Hinnens bereits angezogenem Werke in Fig. 167 u. 168 S. 257 dargestellt ist. Es werden kleine kegelförmige Kohlenstücke, die verkupfert oder in ein Kupfernetz gesteckt sein können, in eine schwalbenschwanzförmige Nute des Bürstenhalters geschoben. Eine Spiral- oder Blattfeder, die sich manchmal, wie in einer Ausführung der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co., zurückschlagen oder überschlagen lässt, sodass die Kohlen bequem ersetzt werden können, drückt die Bürste auf den Kollektor. Die Bürstenabmessungen sind für alle Maschinengrößen gleich, es wird nur ihre Zahl geändert. Den Kommutator wähle man, um Funkenbildung zu vermeiden, groß mit entsprechend zahlreichen Lamellen. Die Ankerrückwirkung spielt bei Motoren eine noch größere Rolle als bei Dynamos, da sie kleiner und umsteuerbar sind. Die Mittel zur Abhilfe sind die früher erwähnten. Die Ausführung eines eisengeschlossenen, recht gedrängten Motors, die nach Art der Fig. 3 Rücksicht auf die Verringerung der Ankerrückwirkung nimmt, was von dieser Motorenform im allgemeinen gerade nicht gesagt werden kann, findet sich in dem bereits mehrfach erwähnten

<sup>1)</sup> The Electrician 25. Sept. 1896.

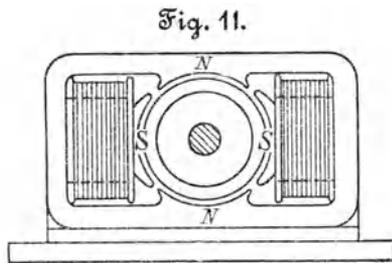
<sup>1)</sup> Arnold, Ankerwicklungen, 2. Aufl. S. 263.

Werke Fischer-Hinnens auf S. 270, sowie in Fig. 8, die einen Motor der Westinghouse und Baldwin Co. in den Vereinigten Staaten darstellt (s. deren Katalog). Die Elektrizitäts-A.-G.



form. Kummer & Co. in Dresden erstrebt in ihrer Eta-Form, Fig. 10, funkenlosen Gang bei jeder Belastung und gleichbleibender Bürstenstellung durch Verringerung des magnetischen Widerstandes, indem sie — ähnlich wie auch Eickemeyer — die Feldspulen über den Anker hereinschiebt, und erzielt hiermit gleichzeitig geringen Energieverbrauch für die Erregung.

6) Die Umlaufzahl des Motors mache man verhältnismäßig niedrig; bei Schneckenbetrieb ist allerdings, wie später erörtert werden wird, im Auge zu behalten, dass der Nutzeffekt der Schnecke mit zunehmender Geschwindigkeit zunimmt. Für die hier inbetracht kommenden Fälle dürfte die Umdrehungszahl zwischen 500 und 1000 liegen.



Ein bequemes Mittel zur Verminderung der Umlaufzahl liegt im Bau mehrpoliger Motoren. Ein vierpoliger Motor läuft bei sonst gleichen Verhältnissen mit der halben Geschwindigkeit wie ein zweipoliger. Um einen gedrängten Bau zu erzielen, empfiehlt sich die Benutzung von Folgepolen, Fig. 11, wie beim neuen Sprague-Motor, oder von Polpaaren mit nur einer Erregerspule. Obwohl Motoren mit hoher Umlaufzahl kleiner und billiger ausfallen und höhere Nutzeffekte haben, so ist dieser Gewinn doch meist hinfällig, da das umfangreichere Vorgelege viel Kraft verzehrt. Außerdem ist es bei hohen Geschwindigkeiten von gewissen Umlaufzahlen ab sogar fast unmöglich, geräuschlosen Gang des Räderwerkes zu erzielen. Ein Motor von kleiner Umdrehungszahl und großem Ankerdurchmesser hat überdies bei gleicher Leistung den wesentlichen Vorteil eines größeren Anzugmoments. Die Drehmomente sind hierbei einfach umgekehrt proportional den Umlaufzahlen. Das Anzug- oder Drehmoment  $M$  im allgemeinen wird durch die Beziehung

$$M = \frac{2p}{\pi} Z \cdot J \cdot K \dots \dots (3)$$

in absolutem Maße ausgedrückt, wobei  $p$  die Polpaarzahl,  $Z$  die Ankerwindungszahl,  $J$  den Ankerstrom und  $K$  die Kraftlinienzahl bedeutet. Ein großes Anzugmoment erzielt man demnach in erster Linie durch kräftigen Ankeranlaufstrom  $J$ . Obgleich dies einen gewissen Stromstoß auf das Netz bedeutet, tritt der Strom gewöhnlich gewissermaßen von selbst in erheblicher Stärke beim Anlauf in Wirksamkeit. Bevor sich nämlich der Anker dreht, besitzt er die bei der Drehung entstehende gegenelektromotorische Kraft

$$E = \frac{nZK}{30 \cdot 10^8} \dots \dots (4)$$

noch nicht ( $n = \text{Min.-Umdr.}$ ). Es wird sich also beim Einschalten ein kräftiger, jedenfalls noch durch Anlasswiderstand zu vermindern Strom einstellen. Im Reihenmotor, dessen Erregerwicklung hinter den Anker geschaltet ist, fließt dieser starke Strom  $J$  auch durch die Feldwicklung und erzeugt dort nach Maßgabe der Fig. 1 eine bedeutende Kraftlinienzahl, die dem Normalbetriebe gegenüber um so beträchtlicher wird, als die Eisenabmessungen reichlich gewählt sind und die Induktionssteigerung hierdurch nicht so rasch auf dem obersten Aste der Fig. 1 zu Ende kommt. Das Anzugmoment eines Reihenmotors ist demnach weit größer als das eines Nebenschlussmotors, dessen Kraftlinienzahl  $K$  sich so gut wie gleich bleibt. Für letzteren kann man deshalb, um

von vornherein eine große Kraftlinienzahl und geringen Anlaufstrom  $J$  zu bekommen, die Induktion auf dem obersten Aste, Fig. 1, wählen. Hat ein Motor irgend welche Regulierungsvorrichtung zur Aenderung der Kraftlinienzahl  $K$ , so ist sie für den Anlauf stets auf den größten Wert von  $K$  einzustellen. Nebenschlussmotoren mit zwei getrennten Ankerwicklungen lässt man jedenfalls mit beiden in Reihe anlaufen, da dies eine Vergrößerung von  $Z$  und damit von  $M$  zur Folge hat. Einige wenige zusätzliche erregende Reihenwindungen, die abschaltbar anzubringen sind, erhöhen das Anzugmoment eines Nebenschlussmotors ganz wesentlich.

Der Nutzeffekt des Motors soll bei verschiedenen Belastungen gut sein; bei Normalbelastung für die hier in Frage kommenden Größen soll er etwa 90 pCt, bei  $1/4$  dieser Belastung noch mehr als 70 pCt betragen. Diese Eigenschaft ist ein Vorteil des elektrischen Betriebes gegenüber dem üblichen hydraulischen, dessen gesamter Nutzeffekt bei Vollbelastung eher größer ist als der einer elektrischen Anlage. Mit abnehmender Belastung nimmt er jedoch viel rascher ab, da eben bei jeder Belastung die gleiche Wassermenge gebraucht wird.

Für alle Anlagen, bei denen die Geschwindigkeit nicht unbedingt überwacht werden kann oder die geringste Belastung nicht groß genug ist, um zu verhindern, dass der Motor durchgeht, aber wo man sich nicht der Unannehmlichkeit einer Betriebsunterbrechung durch die Sicherheitsvorrichtungen aus diesem Grunde aussetzen kann, ist der Reihenmotor, und damit auch der mit einer starken zusätzlichen Reihenwicklung versehene Motor mit gemischter Wicklung, ausgeschlossen. Er bietet jedoch die Vorteile, rasch und ohne Stoß selbst bei bedeutender Ueberlastung anzulaufen und im allgemeinen wenig Funken zu geben, da sich Schenkel- und Ankerfeld bei richtiger Konstruktion innerhalb gewisser Grenzen proportional ändern. Seine Umlaufzahl ist recht bequem zu regeln und seine Bedienung einfach. Für Krane und Lastaufzüge, die ja zweckmäßig größere Lasten bei kleineren Geschwindigkeiten, wie sie der Reihenmotor von selbst ergibt, befördern, ist dieser ebenso wie der gleichsinnig gemischt gewickelte Motor ganz am Platze; hat man zum Lastheben und -senken einen umsteuerbaren Motor nötig, so ist der Reihenmotor jedenfalls ausgeschlossen. Für genau haltende Aufzüge mit regelmäßigem sicherem Gange kommt nur der Nebenschlussmotor in Frage, der bei wachsender Belastung nur um wenige Umdrehungen nachlässt und nie durchgehen kann. Einwerfen lässt sich gegen den Nebenschlussmotor außer dem geringeren Anzugmoment nur, dass seine Erregerwicklung sorgfältigere Isolation erheischt als die des Reihenmotors, dass sie überhaupt kaum so fest und sicher herzustellen ist und mehr Platz erfordert, sodass der ganze Motor teurer wird. Zugunsten des Nebenschlussmotors lässt sich noch anführen, dass sein Nutzeffekt bei geringen Belastungen größer ist als der des Reihenmotors, und dass er unter Umständen ins Netz zurückarbeiten kann, wie das noch erörtert werden wird.

7) Die verschiedenen Möglichkeiten einer Geschwindigkeitsänderung folgen aus der nach Gleichung (4) sich ergebenden Beziehung

$$n = \frac{E \cdot 30 \cdot 10^8}{Z \cdot K} \dots \dots (5)$$

Bei der üblichen Verteilung mit konstanter Klemmenspannung, von der sich die elektromotorische Kraft  $E$  nur um den geringen, allerdings mit zunehmender Belastung wachsenden Betrag des Spannungsabfalls durch Ankerverluste unterscheidet, nimmt der Strom des Reihenmotors und damit  $K$  mit der Belastung zu; also wird nach (5) mit zunehmender Belastung die Umlaufzahl kleiner. Die Geschwindigkeitscharakteristik, Fig. 12<sup>1)</sup>, giebt als Kurve I in Abhängigkeit von der Umlaufzahl ein Bild der einem Reihenmotor bei verschiedener Belastung zuzuführenden Energie. Die Kurve des Drehmoments ist der Kurve I ganz ähnlich. Kurve II stellt die vom Motor geleistete mechanische Energie in PS dar. Bei konstantem Belastungsmoment verbraucht der Reihenmotor bei jeder Spannung den gleichen Strom, da nach (3) für ihn gilt:

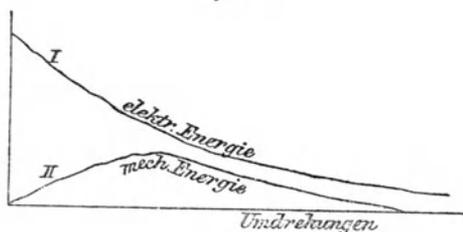
<sup>1)</sup> Kapp, Elektrische Kraftübertragung.

$$M = \frac{2p}{\pi} Z \cdot J \cdot f(J) \dots (6).$$

( $K$  ist ja, wie aus Früherem erhellt, eine Funktion von  $J$ .)

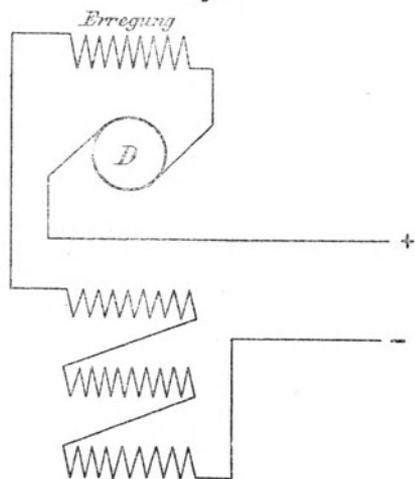
Die Umlaufzahl ändert sich hierbei proportional der Klemmenspannung. Um die Umdrehungszahl von Reihenschlussmotoren konstant zu halten, benutzt die Compagnie de l'Industrie électrique in Genf — die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft Berlin hat die Ausführung für Deutschland — den sogenannten Thury-Regulator, der aus einem Zentrifugalpendel besteht, das bei abnehmender Belastung selbst-

Fig. 12.



thätig Widerstand in den Hauptstrom legt und damit  $E$  vermindert und umgekehrt. Um wenigstens eine außergewöhnliche Steigerung der Umlaufzahl zu verhindern, empfiehlt sich die Verwendung eines Hauptstromsolenoids, das, sowie es wenig oder keinen Strom bekommt, einen Eisenkern derart bewegt, dass er Widerstand vorschaltet, der zugleich einen Teil des Anlasswiderstandes bilden kann. Ein wirksames Mittel ist auch die Anbringung einer zusätzlichen Nebenschlusswicklung, die bei zu hoher Geschwindigkeit selbstthätig, etwa durch einen Zentrifugalregulator, eingeschaltet wird und auf Vergrößerung der Kraftlinienzahl  $K$  und damit auf Herabdrückung von  $n$  hinwirkt. Die Geschwindigkeit des Reihenschlussmotors lässt sich auf 3 verschiedene Weisen in den weitesten Grenzen verändern; zunächst dadurch, dass man Widerstandsspulen in den Hauptstrom legt, die verschiedenartig geschaltet werden können, und zwar alle hintereinander, Fig. 13, dann in einer Reihe von Gruppen teilweise parallel,

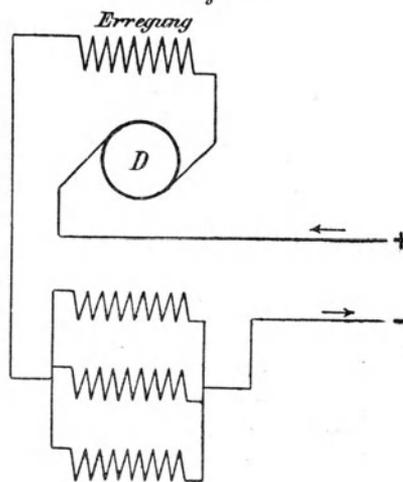
Fig. 13.



teilweise hintereinander und schließlich alle parallel, Fig. 14. Die Regulierung wird hier durch Aenderung der Klemmenspannung und der gegenelektromotorischen Kraft  $E$  bewirkt. Das zweite Regulierverfahren gründet sich auf die Unterteilung der Erregerwicklung. Die Zahl  $Z$  der Erregerwindungen kann auf die in Fig. 15 dargestellte Art beliebig verändert werden. Die einzelnen Spulen der Erregung lassen sich auch in verschiedener Weise hintereinander und parallel gruppieren. In all diesen Fällen erzielt man eine Aenderung der erregenden Ampère-Windungen und damit der Kraftlinienzahl  $K$ . Es lässt sich endlich drittens parallel zur Feldwicklung ein regulirbarer Widerstand  $W$ , Fig. 16, legen, wodurch der Erregerstrom und die Kraftlinienzahl  $K$  beliebig geändert werden können. Das zweite Verfahren hat jedenfalls die geringsten Energieverluste zur Folge, indem es jeden nutzlosen Widerstand entbehrlich macht. Die Widerstände

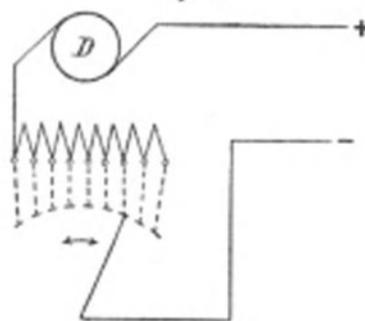
des ersten und dritten Regulierverfahrens können jedoch zugleich als Anlasser verwendet werden. Im übrigen lassen sich die drei Verfahren nach Belieben mit einander verbinden. Eine weitere Regulierung, wie sie z. B. Sprague patentirt ist, erreicht man durch Zu- und Abschalten zusätzlicher Nebenschlusswicklungen, die das Reihenschlussfeld entweder stärken oder schwächen. Für Schiffskranmotoren verwendet man hier und

Fig. 14.



da zur Erzielung eines beschleunigten Rückgangs eine solche zusätzliche Nebenschlusswicklung, die das Reihenschlussfeld schwächt. Bezüglich der Berechnung aller genannten Geschwindigkeitsabstufungen sei gesagt, dass die Ampèrewindungen je mit Rücksicht auf die Charakteristik, Fig. 1 S. 2, bestimmt wer-

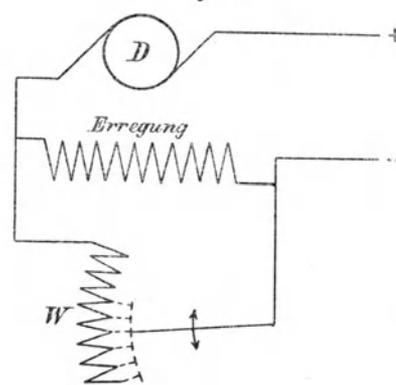
Fig. 15.



den müssen. Die Widerstände und Spulen müssen bezüglich Stromdichte und Erwärmung selbstverständlich für die größte Stromstärke bemessen werden.

Um den Nebenschlussmotor, der mit wachsender Belastung um einige Prozent in der Umlaufzahl nachlässt, selbstregelnd zu machen, giebt ihm Sprague eine schwächende zusätzliche

Fig. 16.



Reihenschlusswicklung, sodass  $\frac{E}{K}$  (Gl. 5) stets konstant bleibt. Beim Anlauf ist diese ausgeschaltet oder mit der Nebenschlusswicklung gleichsinnig geschaltet. Nebenschlussmotoren, deren Schenkelfeld annähernd gesättigt ist, deren Induktion dem oberen Zweige

der Fig. 1 angehört, ändern ihre Umlaufzahl mit der Belastung weniger. Innerhalb beschränkter Grenzen, welche durch die eintretende Schwächung des Feldes gesteckt sind, ist es möglich, die Umdrehungszahl mittels des Nebenschlusswiderstandes zu verändern, der so zu bemessen ist, dass er auch bei Dauerstellung auf den ersten Kontakten, wo am wenigsten Widerstand vorgeschaltet und so der Strom am größten ist, keine unzulässige Erwärmung zeigt. In den Vereinigten Staaten scheint eine ähnliche Regulierung durch Kraftlinienänderung mittels Parallelschaltung abgestufter Erregerwicklungen nach Maßgabe der Fig. 17 sich Eingang zu verschaffen. Neueren Mitteilungen von Baxter in der *Electrical World* zufolge lassen sich bei Wahl entsprechender Eisenquerschnitte durch Anordnungen, wie sie Fig. 18 und 19 veranschaulichen, Geschwindigkeitsabstufungen im Verhältnis 1 : 6 erreichen. Zunächst liegen in Fig. 18 die Spulen I, II, III hintereinander, dann werden I und II parallel hinter III gelegt, schließlich wird nach Fig. 19 alles parallel verbunden. Da bei gleicher Bemessung der 3 Spulen die Abstufungen

sich ungleichförmig gestalten würden, sind jene in der ange-deuteten Weise verschieden groß gewählt. Geringere Aenderungen der Umlaufzahl lassen sich auf jeder Stufe durch den Rheostaten  $R$  bewerkstelligen. Unvorteilhaft ist es, die Geschwindigkeit dadurch zu vermindern, dass man die Klemmen-spannung mittels eines Vorschaltwiderstandes im Anker-

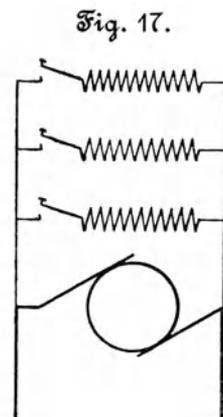


Fig. 17.

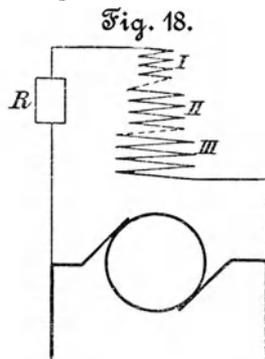


Fig. 18.

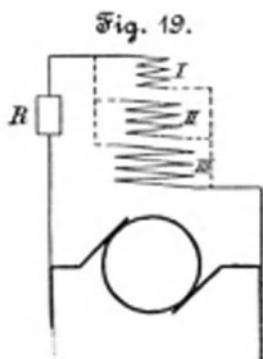


Fig. 19.

stromkreise verringert; dies erfordert zugleich kräftige, teure Widerstände. Eine recht ausgiebige Regulierung ist durch Aenderung der Ankerwindungszahl  $Z$  möglich; man giebt dem Motor zwei Kollektoren mit je einer Ankerwicklung, die sich beliebig einzeln oder gruppenweise verwenden lassen. Sind z. B. die beiden Wicklungen gleich, so ergibt sich bei Hintereinanderschaltung die halbe Umlaufzahl wie bei Benutzung nur einer Hälfte oder beider in Parallelschaltung. Fig. 20 und 21 zeigen eine Ausführung der Berliner Maschinenbau-A.-G. vormals L. Schwartzkopf<sup>1)</sup>. In Fig. 20 ist  $H_1$  der zum Anlassen dienende Schalthebel,  $H_2$  stellt auf bestimmte Umlaufzahlen ein. Da eine Aenderung der Ankerwindungszahl bei gleichbleibendem Felde eine Aenderung der neutralen Zone und infolgedessen Funken an den Bürsten bedingt, so ändert man gemäß der Anordnung in Fig. 21 mit dem Ankerstromkreise auch die Stärke des magnetischen Feldes. Bewegt man in Fig. 21 den Hebel  $H_1$  nach rechts, so fließt zunächst ein Teil des Stromes vom Netz durch  $W_2$ , die Erregerwicklungen  $E_1$  und  $E_2$ , den ganzen Widerstand  $W_3$  nach Schiene II und Bürste 4 ins Netz zurück. Führt man den Hebel  $H_1$  etwas weiter, so schließt man einen Stromkreis über den nach und nach auszuschaltenden Anlasswiderstand  $W_1$ , Bürste 1 und 2 nach der einen Ankerwicklung  $M_1$ , Bürste 5, Schiene II und Bürste 4 an das Netz; zugleich liegt die andere Ankerwicklung  $M_2$  parallel zu  $M_1$  an den Schienen I und II. Der Motor macht dann 3200 Min.-Umdr. Wird der Hebel  $H_1$  in seine Ruhelage zurückgedreht, so klinkt er den die Scheibe  $S$  hemmenden Schlagbolzen  $s$  aus, sodass  $S$  etwa soweit gedreht werden kann, bis  $a$  auf  $c_2$  liegt.

<sup>1)</sup> Elektrot. Z. 1895 S. 625.

Hebel  $H_2$ , Fig. 20, liegt an der Scheibe  $S$ , Fig. 21. Der Betrieb ist nun ganz ähnlich wie vorhin, es liegt jetzt nur nicht der ganze Widerstand  $w_3$  vor der Erregung. Die Umlaufzahl beträgt 2400. Wird die Scheibe  $S$  noch weiter verschoben, sodass  $a$  auf  $c_3$  liegt, so kommen die Bürsten 3 und 5 auf die Schiene III zu liegen und die beiden Anker  $M_1$  und  $M_2$  sind hintereinandergeschaltet. Der Motor macht 1600 Min.-Umdr. Kommt  $a$  auf  $c_4$  zu liegen, so verringert

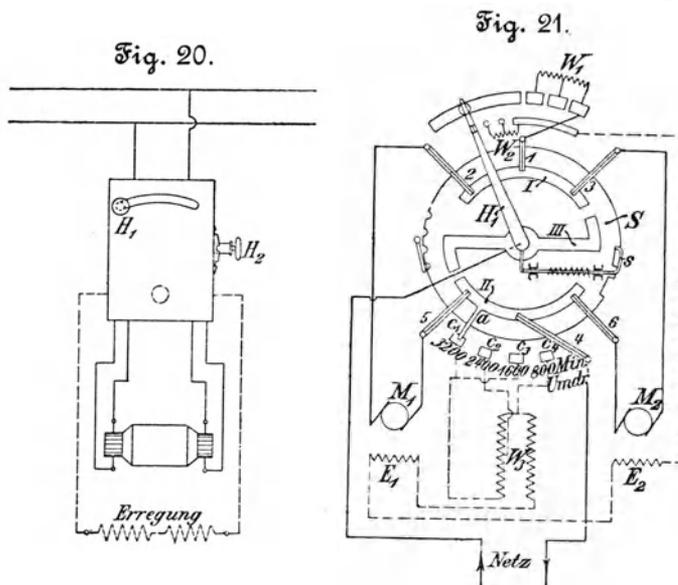


Fig. 20.

Fig. 21.

sich die Umdrehungszahl auf 800. Eine gewisse Geschwindigkeitsregelung, wie sie z. B. von Bauch patentirt ist, lässt sich durch Veränderung der Bürstenstellung erzielen. Gemäß Fig. 22 kann durch Unterteilung der Pole und Anbringung von Hülfs Polen etwas Aehnliches erreicht werden, wenn man an Stellen diametral gegenüberliegender Pollücken der unterteilten Pole ein- und abschaltbare Bürstenpaare anbringt. Am einfachsten gestaltet sich indessen diese Regelung, wenn man, wie gezeichnet, ein Bürstenpaar verwendet und mehr oder weniger Hülfs Pole zur Verschiebung der neutralen Zone erregt. Ein bei Gleichstrommotoren bis jetzt selten verwendetes Mittel besteht in der Aenderung der Polzahl: ein vierpoliger Motor läuft etwa halb so schnell wie ein gleicher zweipoliger. Die Union Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin baut Motoren dieser Art nach Essberger<sup>1)</sup>. Die Fig. 23 bis 28 erläutern diese Schaltweise. Fig. 23, 24 und 25 sind zweipolig; in Fig. 24 wird die Erregung durch einen Rheostaten  $R$  verringert; in Fig. 25 sind zwei Erregerwicklungen überhaupt abgeschaltet, was allerdings bei gleichbleibender Klemmenspannung von geringem Werte sein dürfte, da einfach der doppelte Erregerstrom zum Fließen kommt, sodass die Ampèrewindungen konstant bleiben. Fig. 26, 27 und 28 sind die zugehörigen vierpoligen Schaltungen. — Durch die zahlreichen nunmehr aufgeführten Hilfsmittel ist jedenfalls auch für den Nebenschlussmotor eine allgemein befriedigende Lösung gegeben.

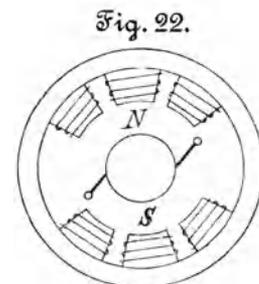
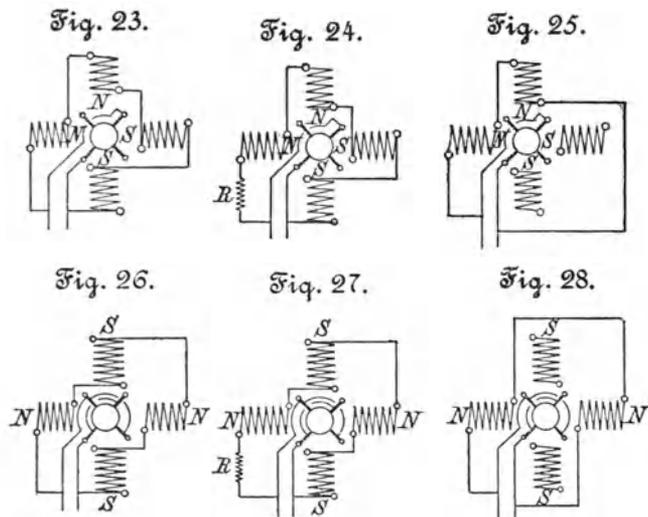


Fig. 22.

8) Von der richtigen Bemessung der Anlasswiderstände hängt das stoßfreie und zuverlässige Wirken einer Motorenanlage ganz wesentlich ab. Der erste Kontakt soll soviel Widerstand vorschalten, dass gerade ein kräftiges Anzugmoment in Wirkung tritt und der Motor unbedingt anläuft, ohne dass jedoch auf das Netz ein störender Stromstoß ausgeübt wird. Die weiteren Abstufungen — es genügen 4 bis 5 — sind so zu bemessen und der Reihe nach auszuschalten, dass der Strom mit zunehmender Geschwindigkeit sich annähernd gleich und gleich dem normalen bleibt oder allmählich nach einer Geraden ansteigt, wobei die Beschleunigung gleich

<sup>1)</sup> Z. 1896 S. 178.

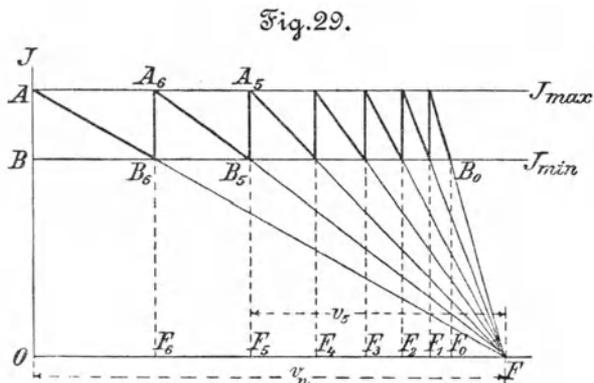
bleibt. Das von Görge<sup>1)</sup> herrührende Diagramm, Fig. 29, das dem bekannten zum Entwurf von Stufenscheiben dienenden sehr ähnelt, giebt einen gewissen Einblick in die Anlaufperiode und Anhaltspunkte über die Konstruktion der Anlasser. Die Abszissen  $OF_6$  bis  $OF$  bedeuten die den einzelnen Abstufungen entsprechenden Umlaufzahlen bei einer ganz bestimmten, sich gleichbleibenden Anlaufbelastung; die Stücke  $FF_0$  bis  $FO$  stellen die jeweiligen Verluste gegenüber



der theoretischen Umlaufzahl  $OF = v_n$  dar, die sich einstellen würde, falls der Motor gar keinen Spannungsabfall durch Widerstände verursachen würde. Wird der Anlasser auf den ersten Kontakt gestellt, so fließt ein Strom  $OA = J_{max}$ . Der Motor setzt sich in Bewegung und erzeugt eine gegenelektromotorische Kraft der Bewegung, der Strom sinkt nach  $AB_6$  bis auf  $OB = J_{min}$ . Nunmehr wird die erste Widerstandsstufe ausgeschaltet, sodass der Strom wieder auf  $J_{max}$  steigt, um wieder nach  $F_5 B_5$  abzunehmen usw. Schliesslich ist im Punkt  $B_0$  aller Anlasswiderstand bis auf den unvermeidlichen Ankerwiderstand ausgeschaltet. Zu diesem gehört die Geschwindigkeit  $OF_0$ . Die Figur ergibt nun z. B.:

$$\frac{FF_6}{FF_5} = \frac{v_6}{v_5} = \frac{A_6 F_6}{B_5 F_5} = \frac{J_{max}}{J_{min}} = \lambda$$

( $v \dots v_1$  sind die jeweiligen Verluste gegen  $v_n$ ).



$FF_0 = v_0$  sei der unumgängliche Umdrehungsverlust wegen des Ankerwiderstandes, so ist offenbar

$$v_1 = \lambda \cdot v_0 \text{ und } v_n = \lambda^n \cdot v_0,$$

also das Verhältnis  $\lambda$  der Stromschwankungen

$$\lambda = \sqrt[n]{\frac{v_n}{v_0}}.$$

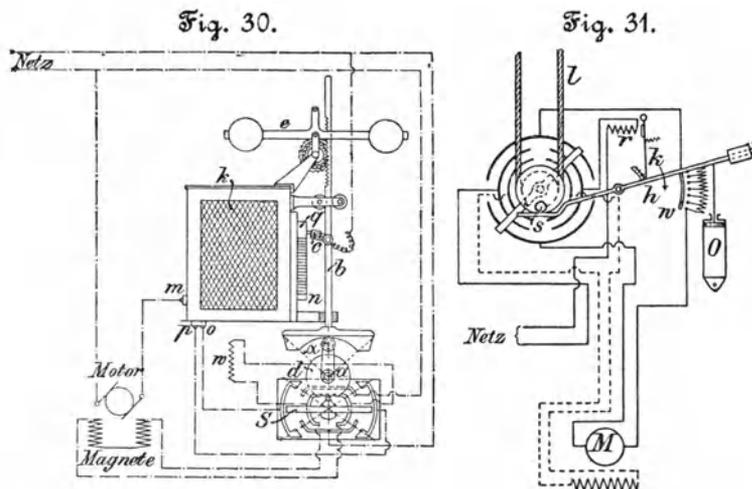
Die Stromschwankungen sind daher um so geringer, je größer die Anzahl  $n$  der Abstufungen. Die den einzelnen Stellungen  $F_m$  und  $F_{m-1}$  entsprechenden Gesamtwiderstände, z. B.  $W_m$  und  $W_{m-1}$  (samt Ankerwiderstand), verhalten sich nun umgekehrt wie die Ströme, demnach

$$\frac{W_m}{W_{m-1}} = \frac{J_{max}}{J_{min}} = \lambda.$$

<sup>1)</sup> Elektrot. Z. 1894 S. 645.

Die Widerstände folgen also ebenso wie die Geschwindigkeitsverluste einer geometrischen Reihe. Stellt  $FF_0$  hier nach eine GröÙe proportional dem Ankerwiderstand dar, so geben die Strecken  $F_1 F_2, F_2 F_3 \dots$  die GröÙen der einzelnen Widerstandsstufen wieder.

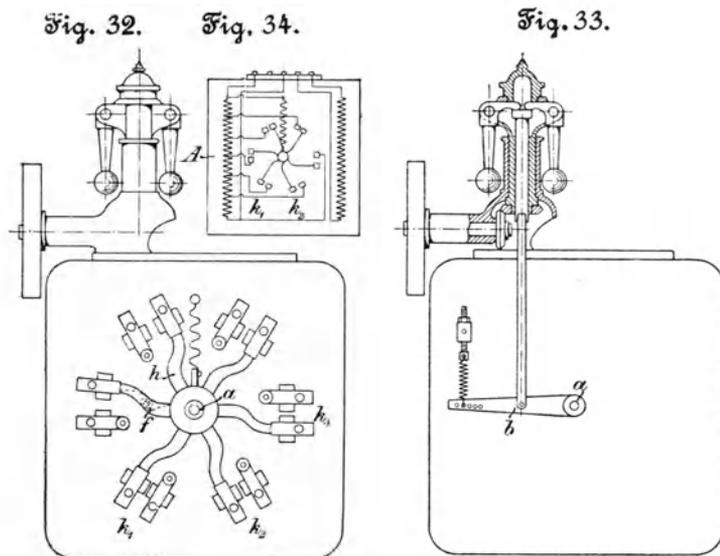
Ausgeschaltet wird der Anlasswiderstand am besten selbsttätig durch einen kleinen Hilfsmotor oder durch eine Ausklinkvorrichtung mit Hemmwerk oder Oelbremse oder auch durch ein vom Hauptmotor angetriebenes Zentrifugalpendel.



Diese Anlaufvorrichtungen sind auf möglichst zweckmäßigen Verlauf der Anlaufperiode einzurichten. Bezüglich des Anlassers mit Hilfsmotor der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co. sei auf Elektrot. Z. 1896 S. 643 verwiesen. Fig. 30 giebt den Umkehranlasser der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin mit Hemmwerkausschaltung wieder.  $a$  ist die durch irgend ein Steuerorgan bediente Antriebswelle, die bei Drehung nach rechts oder links nach reichlichem totem Gang in Gestalt des Winkels  $\alpha$ , der sehr zweckmäßig, ja sogar notwendig ist, die Stange  $b$  freigiebt. Mit ihr sinken die Messingbürsten  $c$  nach Maßgabe der Regulierung des schwingenden Pendelhemmwerkes über eine Reihe schmaler, langer Messingkontakte nach unten und schalten den im Kasten  $k$  befindlichen Anlasswiderstand allmählich aus. Zuvor war der Stromwender  $S$  durch einen Anschlag der Scheibe  $d$  gedreht und hatte die Erregung und dann den Ankerstromkreis in bestimmtem Sinne geschlossen.  $w$  ist ein Widerstand, der stets parallel zur Erregung liegt, damit der bei der Unterbrechung der Feldwicklung entstehende Extrastrom dort seinen Verlauf nehmen kann und somit Funkenbildung und Isolationsdurchschläge vermieden werden. Die Klemme  $m$  ist mit dem ganz ausgeschalteten Anlasswiderstand entsprechenden Kontaktplatte  $n$  verbunden,  $o$  mit dem entgegengesetzten Anfange desselben Widerstandes,  $p$  steht in Verbindung mit  $q$ , um damit das Einschalten und Ausschalten des Ankerstroms über  $S$  weg zu bewerkstelligen, ehe noch  $b$  mit  $c$  bewegt wird. Eine Steuervorrichtung mit Oelbremse von Siemens & Halske stellt Fig. 31 dar. Durch Ziehen am Steuerseil  $l$  giebt der Stift  $s$  den Anlasshebel  $h$  frei, der durch sein Eigengewicht mit einer durch die Oelbremse  $O$  regelbaren Geschwindigkeit niedergeht und den Anlasswiderstand  $w$  ausschaltet. Ist der Anlaufstrom zu groß, so klinkt das Relais  $r$  in  $k$  den Anlasshebel fest, sodass der Anlasswiderstand nicht ausgeschaltet wird. Ein vorzüglicher Anlasser mit Zentrifugalregulator ist der in Fig. 32 bis 34 wiedergegebene von Siemens & Halske<sup>1)</sup>. Durch irgend ein Steuerorgan schaltet zunächst ein seitlich am Anlasser oder für sich montirter kräftiger Kohlenstift-Hauptausschalter oder -Umschalter, der beim Abschalten einen den Extrastrom allmählich schwächenden Lichtbogen bildet, welcher durch einen Magnetfunkenlöcher abgerissen wird, den Hauptstrom über den gesamten Anlasswiderstand  $A$  ein, Fig. 34. Falls nun der Motor nicht übermäßig überlastet ist, setzt er sich in Bewegung. Das Zentrifugalpendel, Fig. 33, dreht allmählich mit der Zunahme der Motorgeschwin-

<sup>1)</sup> Elektrot. Z. 1895 S. 663.

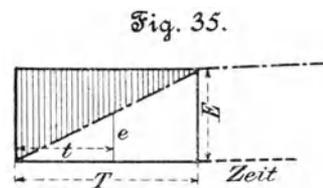
digkeit den Hebel  $b$  und die Achse  $a$ . Damit legen sich die in ungleich abgestuften Abständen angeordneten Kohlenstifte  $k_1, k_2 \dots$  der Reihe nach auf einander und schliessen eine Abteilung des Anlasswiderstandes  $A$  nach der anderen kurz, bis endlich die Netzspannung unmittelbar am Motor liegt. Die Kohlenträger  $h$  sind beweglich federnd auf der Achse  $a$  durch doppelt gewundene Torsionsfedern  $f$  befestigt, die zugleich als Stromzuleitungen dienen. Der Anlasser kann statt durch einen Zentrifugalregulator auch durch ein anderes



Steuerorgan in Betrieb gesetzt werden, z. B. durch einen mittels hydraulischen Akkumulators gesteuerten Differentialkolben.

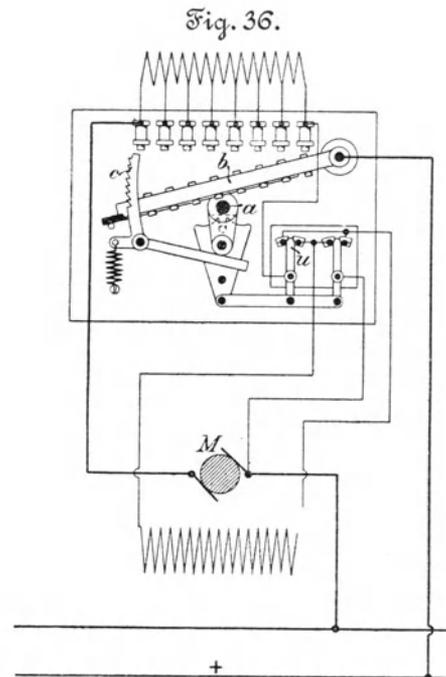
Die Anlaufzeit sollte, soweit es sich mit ruhigem Anlauf vereinigen lässt, möglichst gekürzt werden, um erstens den Widerstand klein und billig halten zu können und um zweitens an Energie zu sparen, da schon rein theoretisch mindestens die Hälfte der Anlaufenergie verloren geht, wie aus dem Diagramm, Fig. 35, zu ersehen ist.  $E$  ist die elektromotorische Kraft bei Normalbetrieb; sie steigt während der Anlaufzeit  $T$  von 0 bis  $E$  an, das Mittel ist bei geradlinigem Verlaufe  $\frac{E}{2}$ . Ist der Anlaufstrom  $J$  annähernd konstant, so

ist demnach die übertragene Anlaufenergie  $= \frac{E}{2} \cdot J \cdot T$  Wattsekunden, die aufgewandte jedoch  $E \cdot J \cdot T$ . Die schraffierte Fläche bedeutet den Anlaufverlust in den Widerständen; er



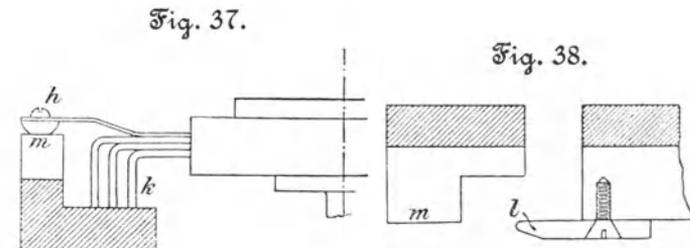
ist um so größer, je länger  $T$  ist. Soll ein Anlasser möglichst gedrängt und billig werden, so lässt sich das nicht ausschließlich durch Kürzung der Anlaufzeit erzielen, weil eine Grenze dadurch gegeben ist, dass die vorhandenen Massen nur allmählich beschleunigt werden können, sondern auch durch Zulassung eines möglichst grossen Anlaufstroms, der eine starke Zugkraft entwickelt. Der Anlasser sollte in diesem Falle möglichst luftig und auf feuersicherem Fuß und in feuersicherer Umgebung aufgestellt sein. Zu schwache Anlasser sind unbedingt als feuergefährlich und betriebsunsicher zu bezeichnen. Wenn der Motor stillgestellt werden soll, ist es angezeigt, zunächst wieder rasch den vollen Widerstand vorzuschalten und dann erst ganz zu unterbrechen. Das Anhalten gestaltet sich hierdurch ruhiger und die Stromunterbrechung funkenlos. Wird dagegen der ganze Strom auf einmal unterbrochen, so ist die Verwendung von Kohlenstiftausschaltern mit allmählich schwächerer Lichtbogenbildung und magnetischer Funkenlöschvorrichtung, wie in dem bereits besprochenen Kohlenstiftanlasser von Siemens & Halske, geboten. Es ist überhaupt zweckmässig, sämtliche Kontakte, feste wie bewegliche, aus leicht ersetzbaren Kohlenstiften herzustellen. Eine recht brauchbare Konstruktion ist in dieser

Beziehung die Ausführung des Anlassers der Maschinenfabrik Esslingen, Fig. 36. Die mit einem Handrade versehene Antriebswelle  $a$  schliesst zunächst mittels Anschläge den Umschalter  $u$ , die auf  $a$  befestigte Kurbel hebt dann den Kohlenstiftarm  $b$  und schliesst so nach und nach über die einzelnen Kohlenkontakte den Widerstand kurz. Beim Abschalten wird der Arm  $b$  solange durch das Zahnsegment  $c$  obengehalten, wie die Kurbel auf  $a$  das Segment  $c$  nicht unter Ueberwindung der Spiralfeder zurückdrückt. Der Hebel  $b$  fällt dann



auf einmal ganz ab und schaltet rasch aus. Sprague richtet seinen Anlasser derart ein, dass sämtliche Stromunterbrechungen nicht auf den Metallkontakten, sondern auf besonderen Kohlenhilfskontakten vor sich gehen. Siemens & Halske bringen auf dem Hebel ihres gewöhnlichen runden Metallanlassers einen metallenen, bequem ersetzbaren Hilfskontakt  $h$ , Fig. 37 u. 38, an, der den Strom auf dem angeschraubten vorspringenden Kupferstück  $l$  endgültig unterbricht, nachdem Hebel  $k$  die Stromschiene bereits verlassen hat. In Fig. 39 ist eine ähnliche, der Firma Siemens & Halske patentirte Kohlen-Hilfskontaktvorrichtung  $c_1, c_2$  dargestellt, welche wie die eben erwähnte ganz kurz vor der Stromunterbrechung parallel zum Hauptschalthebel in Wirksamkeit tritt und erst, nachdem letzterer die Stromschiene  $S_1$  überschritten hat, durch den Hebel  $H$  und die Rolle  $B$  unter Lichtbogenbildung auseinandergezogen wird.  $f$  ist ein funkenlöschender Elektromagnet. Die gezeichnete Stellung entspricht dem normalen Gange; wird  $K$  samt  $L$  und  $K$  in die Lage  $xy$  gebracht, so ist ausgeschaltet.

Zum Aufbau der Rheostaten wird, um eine grosse Ausstrahlungsoberfläche zu erzielen, eine Reihe verhältnismässig



dünnen Drähte oder Bänder parallel geschaltet, die sich berühren können, ohne einen Teilkurzschluss zu geben. Als Widerstandsmaterial empfiehlt sich solches, das viel Energie für kurze Zeit aufnimmt, als billigstes Eisendraht oder Eisenband, das einen beträchtlichen Widerstandskoeffizienten hat und, wenn richtig eingebaut, ziemlich heiss werden darf. Die Eisenbänder — in Amerika sollen häufig die Abfälle der Armaturbleche Verwendung finden — werden, durch Zwischenlagen von

Asbest getrennt, nach Art der viereckigen Elektromagnetspulen oder spiralförmig nach Art der Uhrfedern gewickelt. Der Anlasser von Sprague besitzt als Widerstand auswechselbare Gusseisenroste. Es ist in betreff aller Anlasswiderstände zu

in Emaille gebettet, die ihn fest und isolierend mit der die Strahlungsfläche bildenden Tragplatte verbindet, sodass die im Widerstande erzeugte Wärme möglichst rasch fortgeleitet und ausgestrahlt wird. Ein weiterer Vorteil der Emailleum-

hüllung ist der völlige Schutz gegen chemische Einwirkung aus der Luft. Um die Strahlungsfläche noch zu vergrößern, ist die gusseiserne Tragplatte auf der einen Seite mit Rippen versehen. Die Widerstände sind unbedingt feuersicher und dauerhaft, können in allen Räumen aufgestellt werden und werden durch Erschütterungen nicht beeinflusst. Die Anlasswiderstände der genannten Firma, die, obwohl sie in den Vereinigten Staaten allgemein bekannt zu sein scheinen, bei uns kaum verwendet werden, haben noch einige weitere recht beachtenswerte Eigenschaften. Der Hebel *a* in Fig. 42 wird beim Anlassen von seiner Stellung links, wo aller Anlasswider-

stand vorgeschaltet ist, nach rechts bewegt. *a* steht mit dem Hebel *b* durch eine Spiralfeder *f* in Verbindung, die bei der Rechtsdrehung von *a* aufgewickelt und gespannt wird, da *b* durch einen Elektromagneten, der vom Hauptstrom durchflossen wird, festgeklinkt ist. So lange der Hebel *a* nicht in seiner Endstellung rechts in einer Reibklemme eingeschnappt ist, ist die Feder bestrebt, ihn in seine Anfangstellung zurückzuwerfen. Wird der Hauptstrom aus irgend einem Grunde unterbrochen, oder steigt die Stromstärke über das gewünschte Maß, so klinkt der Elektromagnet den Hebel *b* aus, der durch *f* gegen *a* geworfen wird und bei *c* unterbricht. Um nun bei *c* wieder einschalten zu können, muss der Hebel *a* unter Vorschaltung des gesamten Widerstandes in seine Stellung links zurückgeschoben werden. Die Relaiskonstruktion des Rheostaten lässt sich beliebigen Bedürfnissen anpassen. Es sind Konstruktionen zu finden, die ausschalten, sobald die Erregung unter-

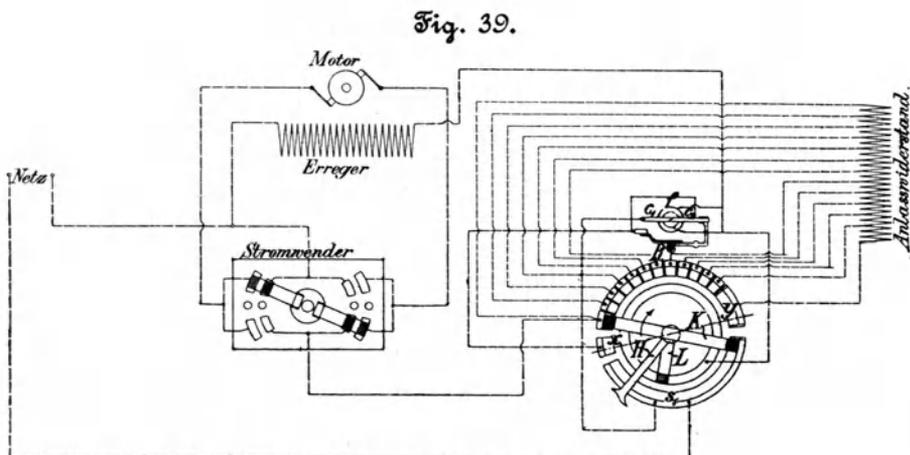
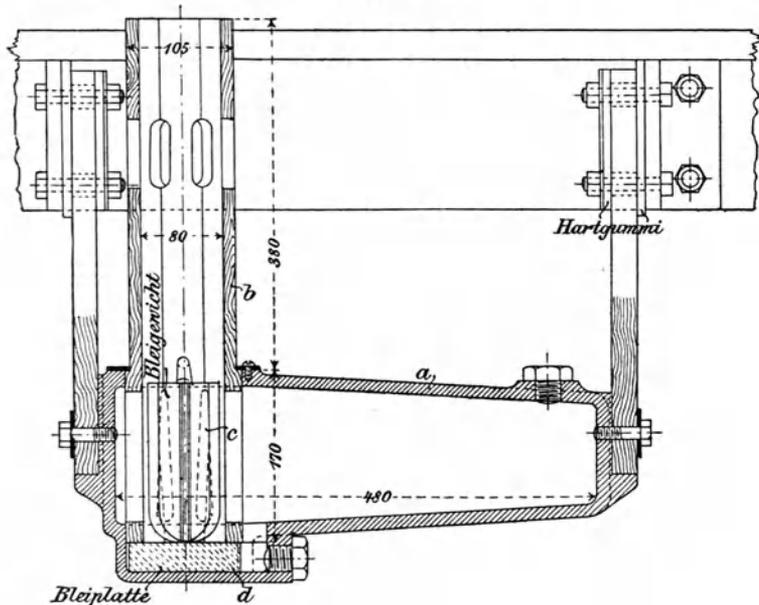


Fig. 39.

beachten, dass sie gewöhnlich nicht für Dauereinschaltung, sondern nur für eine kurze Anlaufperiode bemessen sind; es ist deshalb, wie schon zur genüge erörtert, das Ausschalten des Widerstandes am besten nicht der Willkür eines Wärters zu überlassen. Flüssigkeitswiderstände empfehlen sich für Hebezeugmotoren, insbesondere für fahrbare, nicht wohl, obwohl sie billig sind und sich namentlich für starke Motoren recht eng zusammenbauen; sie erfordern jedoch eine gewisse Wartung, da die Flüssigkeit sich ändert und verdunstet, sodass der Widerstand ziemlichen Schwankungen unterliegt. Eine recht gut durchgearbeitete und bewährte Konstruktion eines Flüssigkeitswiderstandes, der von der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Kummer & Co. in Dresden<sup>1)</sup> für Straßenbahnmotoren benutzt wird, zeigt Fig. 40. Die Flüssigkeit befindet sich in einem gusseisernen Gefäß *a* mit einem isolierten Standrohr *b*, in welchem ein Tauchkolben *c*, die eine Zuleitung

Fig. 40.



des Stromes, auf und ab geführt wird. Abgeleitet wird der Strom von der Bleiplatte *d*. Das Standrohr macht beträchtliche Schwankungen des Flüssigkeitspiegels unmöglich; Kolben *c* und Platte *d* sind leicht auswechselbar.

Die Ward Leonard Electric Co., Hoboken N. J., (Vertreter: S. Bergmann & Co. in Berlin) bringt seit einiger Zeit einen vielversprechenden Emailleheostaten auf den Markt. Der zickzackförmige Widerstandsdraht, Fig. 41, ist wie bei den elektrischen Heiz- und Kochapparaten völlig

<sup>1)</sup> Fischinger, Elektrot. Z. 1896 S. 206.

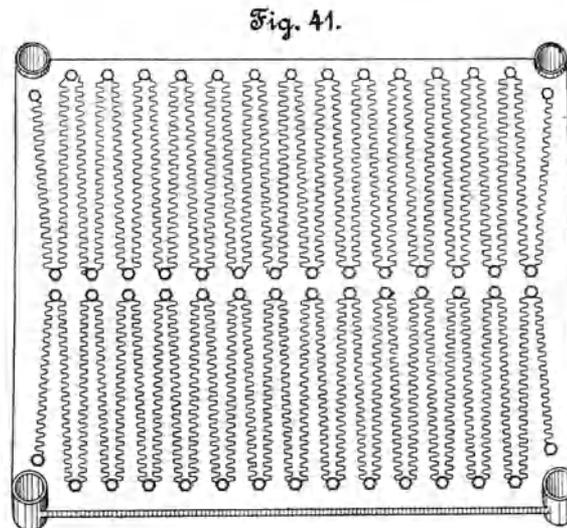


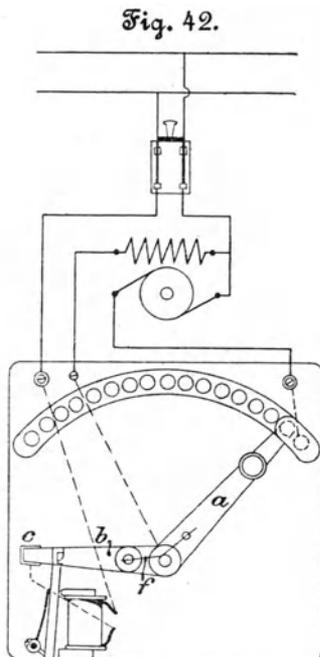
Fig. 41.

brochen wird und sich Erd- oder Kurzschlüsse oder Blitzschläge einstellen.

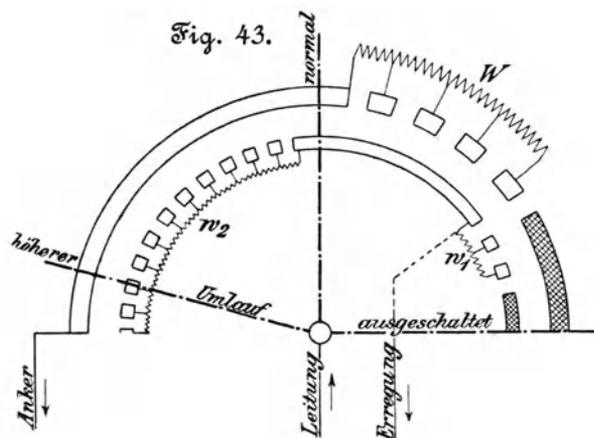
Eine in vielen Fällen sehr nahe liegende Anlasserform ist auch die Schalttrommel der bei Straßenbahnen verwendeten Controller. In Dreileiternetzen lässt sich die Anlassvorrichtung in der Weise etwas einschränken, dass zum Anlassen nur die halbe Netzspannung und bei Normalbetrieb die ganze angelegt wird.

Wie aus den verschiedenen bereits erörterten Ausführungen erhellt, muss die volle, größte Erregung des Nebenschlussmotors vor dem Ankerstrom eingeschaltet werden, und zwar zwangsläufig durch den Schaltmechanismus. Vor die Erregung legt man allerdings zunächst einige Widerstandsspulen  $w_1$ , Fig. 43, (Anlasser der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin). Diese ermöglichen nämlich die Unter-

brechung des geschwächten Erregerstroms mit geringerer Funkenbildung.  $W$  ist der Ankeranlasswiderstand,  $w_2$  ein zusätzlicher Widerstand im Erregerkreis zur Steigerung der Umlaufzahl. Die Selbstinduktion der Erregerwicklung, die Ursache der Funkenbildung, lässt sich dadurch fast ganz unschädlich machen, dass man die Wicklung beim Wegnehmen vom Netz auf einen Widerstand schließt, in welchem der Extrastrom seinen Verlauf nehmen kann (Nebenschlussauschalter der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co.)<sup>1)</sup>. Häufig genügt es, einfach den geschwächten Hauptstrom zu-



erst abzutrennen und nach einiger Zeit die Erregung zu öffnen. Hierbei übt die Schaltung zugleich eine gewisse elektrische Bremsung aus, da der Motor als Dynamo auf die Erregung arbeitet. Unter Umständen wird man auch dauernd einen genügend großen Widerstand parallel zur Erregung legen, siehe z. B.  $w$  in Fig. 30; eine oder zwei Glühlampen erfüllen den Zweck vollständig. Bei häufiger Benutzung des Hebezeugs wird die Erregung überhaupt nicht ausgeschaltet.

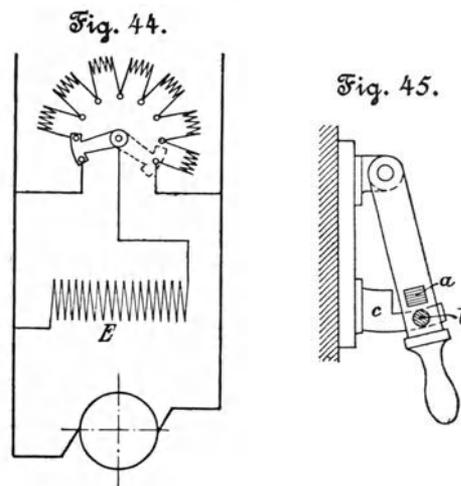


Eine sinnreiche Anordnung des Nebenschlusswiderstandes zur allmählichen Schwächung und schliesslichen Abtrennung des Erregerstroms hat Egger in Elektrot. Z. 1894 S. 453 angegeben: in der gezeichneten Stellung der Fig. 44 ist die Erregung Null, in der punktierten Lage am grössten.

Da der Nebenschlussmotor kein erhebliches Anzugmoment besitzt, muss man ihn in gewissen Fällen leer anlaufen lassen, um ihn hierauf selbstthätig mit der Arbeitswelle zu verbinden, etwa mittels einer magnetischen Kupplung, deren Erregerspule an den Bürsten des Motors liegt und die in Wirksamkeit tritt, sobald der Motor eine gewisse elektromotorische

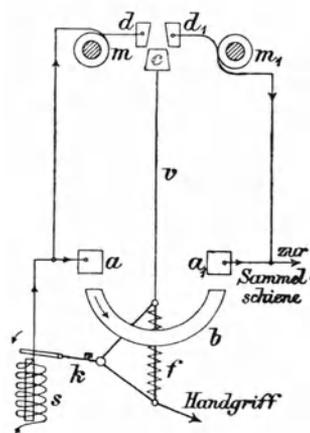
Gegenkraft der Bewegung entwickelt. Beim Ausschalten hat man dann noch den Vorteil, das Hebezeug für sich rasch zum Halten bringen zu können, während der Motor mit seinem schweren Anker weiterläuft.

9) Die Hauptauschalter und die magnetischen Sicherheitsauschalter — letztere sind wegen einfacherer Bedienung unter allen Umständen den unsicheren, feuergefährlichen Schmelzsicherungen vorzuziehen — entwirft man zweckmässig als Augenblicks- oder Schnappausschalter mit Hilfskontakten



aus Kohle. Fig. 45 stellt einen Handauschalter dar, der jedoch leicht selbstthätig zu gestalten ist. Hier verlässt zuerst die kupferne federnde Hauptkontaktfläche  $a$  die Klemme  $c$ , und erst beim Weitergehen unterbricht der auswechselbare Kohlenkontakt  $b$  vollständig. Als gelungene Konstruktion ist der Straassenbahnausschalter<sup>1)</sup> der Union Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin zu bezeichnen, der in Fig. 46 in ausgerückter Stellung gezeichnet ist. Den Hauptschluss bildet der Metallbügel  $b$  von  $a$  zu  $a_1$ ; hierzu parallel liegt ein zweiter Kreis über einen Kohlenkontakt  $c, d, d_1$  und zwei magnetische Funkenlöcher  $m, m_1$ . Sobald das Solenoid  $s$  seinen Anker anzieht

Fig. 46.



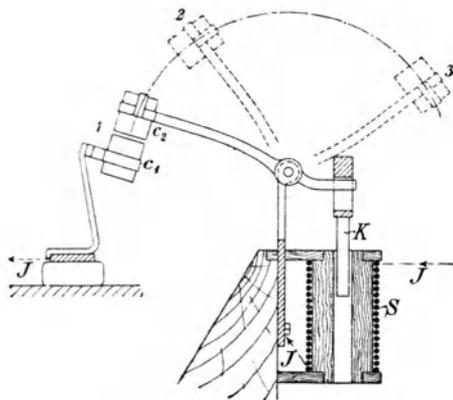
und die Klinke  $k$  freigibt, reißt die gezeichnete Feder  $f$  die Schiene  $b$  von den Kontakten  $a, a_1$  los. Der Strom wird jedoch erst durch den Kohlenpfropfen  $c$  unterbrochen. Fig. 47 giebt einen Sicherheitsauschalter von Siemens & Halske wieder. Das Solenoid  $S$ , das vom Hauptstrom durchflossen wird, zieht seinen Kern  $K$  um so mehr in sich hinein, je größer die Stromstärke  $J$  ist, und schaltet dabei einen immer länger werdenden Lichtbogen zwischen den Kohlenstiften  $c_1$  und  $c_2$  in den Hauptstrom ein, wodurch dieser geschwächt wird. Ueberschreitet die Stromstärke eine gewisse obere Grenze, so schlägt  $c_2$  in die unterbrochene Stellung 3 über. Als Grundregel für die Konstruktion von Sicherheitsauschaltern, wie sie in der Müllerschen Ausführung (D. R. P. 67471) von der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co.

<sup>1)</sup> Elektrot. Z. 1894 S. 136.

<sup>1)</sup> Z. 1896 S. 1477.

verwirklicht ist, gilt, dass der magnetisch ausgeklinkte Schalt-  
hebel erst nach Erlangung einer gewissen lebendigen Kraft  
und eines genügenden Hebelarmes auf den eigentlichen Aus-  
schalter schlägt und ihn augenblicklich unterbricht. Wegen  
der Gefahr des Einrostens der Ausschalter ist als Material  
keinesfalls einfach Eisen, auf alle Fälle nur kupferbeschla-  
genes, am besten Phosphorbronze zu wählen.

Fig. 47.



10) Der Drehstrommotor ist in den meisten Beziehungen  
dem Gleichstrommotor ebenbürtig, ja ihm überlegen; gerade  
als Hebezeugmotor ist er wirklich unübertroffen. Der emp-  
findliche Kommutator und zumeist auch alle andern strom-  
zuführenden Teile, wie Schleifringe, kommen bei ihm in  
Wegfall, und seine Wicklung ist einfacher und widerstands-  
fähiger als die des Gleichstrommotors<sup>1)</sup>. Verwendet man  
gleich viel Kupfer auf dem Anker, so zieht der Drehstrom-  
motor etwa 11 pCt mehr als der Gleichstrommotor<sup>2)</sup>. Nutz-  
effekt und Preis sind bei beiden Motorengattungen beiläufig  
gleich, und nach Ablauf mancher Patente und bei allgemeinerer  
Verwendung dürfte der Drehstrommotor sogar noch billiger  
werden. Bei der jetzt ausschließlich üblichen Ringschmierung  
braucht der Drehstrommotor fast gar keine Bedienung, jeden-  
falls kaum mehr als zwei Transmissionslager.

Im Folgenden soll wesentlich nur von sog. asynchronen  
Dreiphasenmotoren, die mit drei um 120° gegeneinander ver-  
schobenen Wechselströmen gespeist werden, die Rede sein.  
Synchronmotoren und asynchrone Wechselstrommotoren (In-  
duktionsmotoren) fallen wohl hier ganz außer betracht.  
Letztere leiden an dem Grundfehler, dass sie sehr schlecht  
und nur unter großem Stromverbrauch anlaufen, und  
zwar meist nur bei völliger Entlastung. Sie vertragen keine  
nennenswerte auch nur augenblickliche Ueberlastung, da sie  
hierbei einfach stehen bleiben und der Strom dann meist so  
hoch ansteigt, dass entweder die Schmelzsicherungen ihn  
gänzlich unterbrechen oder der Motor Schaden leidet. Ihr  
Nutzeffekt ist überdies anderen Elektromotoren gegenüber  
klein. Der Leistungsfaktor, das Verhältnis der wirklichen  
zu den scheinbaren Watt, ist gering, d. h. der Phasenver-  
schiebungswinkel zwischen Strom und Spannung, dessen  
Cosinus der Leistungsfaktor ist, ist groß; das hat zur Folge,  
dass die Stromerzeuger, Leitungen und Transformatoren  
mehr Strom zu führen haben wie bei anderen Systemen.  
Bezüglich der Synchronmotoren gilt das früher anlässlich  
der Phasenregler Gesagte. Gegenüber anderen Mehrpha-  
senströmen gestaltet sich der Dreiphasenstrom in ver-  
schiedenen Beziehungen vorteilhafter. Bei gleichem Kupfer-  
gewicht und sonst entsprechenden Verhältnissen leisten Drei-  
phasengeneratoren und -motoren etwas mehr als zweiphasige.  
Das Verhältnis der Drahtmengen für Leitungsnetze bei glei-

<sup>1)</sup> Auf der Millenniumsausstellung zu Budapest lief ein einpfer-  
diger Drehstrommotor von Ganz & Co. vollständig unter Wasser,  
sodass auch der Luftzwischenraum mit Wasser angefüllt war;  
vergl. Z. 1897 S. 839.

<sup>2)</sup> Kapp, Elektr. Kraftübertragung 2. Aufl. S. 246.

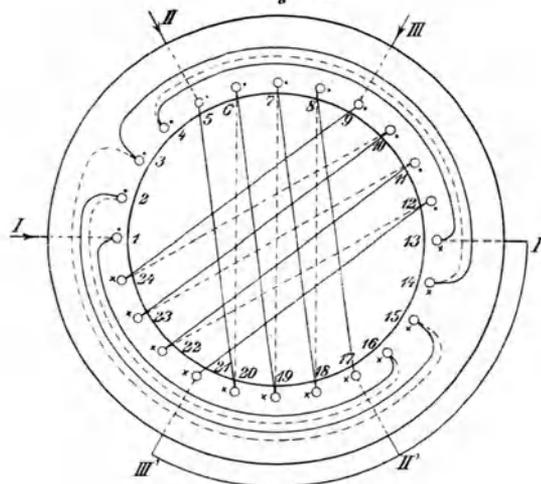
cher Spannung, gleicher Energie und gleichen Verlusten ist  
nach G. Kapp:

für einfachen Wechselstrom: unverketteten Zweiphasen-  
strom (4 Drähte): verketteten Zweiphasenstrom (3 Drähte),  
gemeinsame Rückleitung): Dreiphasenstrom

$$= 100 : 100 : 170 : 75.$$

Andererseits ist zu betonen, dass bei gleichzeitigem  
Lichtbetrieb der Zweiphasenstrom eine unabhängige Regu-  
lierung der einzelnen, verschieden belasteten Zweige zulässt,  
die bei Dreiphasenstrom nicht möglich ist. Dieser näm-  
liche Grund erklärt auch die Bevorzugung des einfachen  
Wechselstroms vor mehrphasigem in Anlagen mit vorwiegender  
Lichtabgabe, sowie die häufig anzutreffende Dreieckwicklung  
der Drehstromgeneratoren für Lichtbetrieb, da sich die ein-  
zelnen Zweige bei Dreieckschaltung gegenseitig weniger stören  
als bei Sternschaltung.

Fig. 48.



Im übrigen besitzen alle Wechselströme dem Gleich-  
strom gegenüber den Vorteil, nicht elektrolytisch zersetzend  
zu wirken; andererseits jedoch auch die Nachteile, dass sie  
Telephonnetze stark beeinflussen und dass die Selbstinduktion  
und die Kapazität der Leitung unangenehme Spannungsabfälle  
— wenn sie auch wattlos sind — erzeugen, und dass überdies  
mit zunehmender Periodenzahl und wachsendem Durchmesser  
der Wechselstrom mehr und mehr gegen den Drahtumfang  
gedrängt wird, sodass der volle Querschnitt gar nicht mehr  
in Wirksamkeit kommt (skin effect). Die Einzeldrahtdurch-  
messer sind deshalb bei Wechselstromübertragungen unter  
7 bis 8 mm zu halten und in passender Weise und Entfer-  
nung zu gruppieren.

Um eine richtige Würdigung der Eigenschaften des Dreh-  
strommotors zu ermöglichen, sei zunächst in kurzen Zügen  
eine rechnerische Entwicklung seiner Theorie gegeben. Der  
dem Leitungsnetz entnommene Dreiphasenstrom tritt in Fig.  
48 durch die drei Leitungen I, II, III über die Stäbe 1, 5  
und 9 in das stehende Motorfeld, in den »Stator« ein. Die  
erste Phase I der zweipoligen Trommelwicklung — die Ring-  
wicklung ist, wie von Gleichstrommaschinen her bekannt ist,  
dieser ganz ähnlich — ist der Ausführung entsprechend mit  
Verbindungen am Umfange, die beiden andern Phasen II und  
III sind schematisch mit Kreuzverbindungen gezeichnet. Die  
Wicklung ist durch I' II' III' in Sternschaltung verkettet (sche-  
matisch wie W der Fig. 50).

Die Punkte an der einen Hälfte der 24 Statorstäbe —  
jede Phase hat 2×4 Stäbe — deuten an, dass die betreffenden  
Stäbe beim Verfolgen der Wicklung von hinten nach vorn  
zu durchlaufen sind; für die mit Kreuzen versehenen gilt das  
Umgekehrte. Die drei um 120° verschobenen Wechselströme  
erzeugen nun drei ebenfalls um 120° versetzte magnetische  
Wechselstromfelder, die sich zu einem sog. Drehfeld zu-  
sammensetzen, d. h. zu einem Magneten, dessen Pole bezw.

Achse sich im Motoreisen mit der Winkelgeschwindigkeit, die der Periodenzahl des Wechselstromes entspricht, im Kreise drehen. Innerhalb des Stators liegt der bewegliche, aus Eisen bestehende und mit einer Kupferwicklung versehene Anker, der »Rotor«, dessen Eisen die Feldkraftlinien schließt. In Fig. 50<sup>1)</sup> ist ein derartiger Anker entworfen, der zu dem vierpoligen Felde Fig. 49 gehört. Solange der Rotor steht, ist die Wirkungsweise dieselbe wie bei einem gewöhnlichen Dreiphasentransformator. Das äußere Drehfeld induziert in dem stehenden Anker, z. B. in der durch Fig. 50 wieder-

Fig. 49.

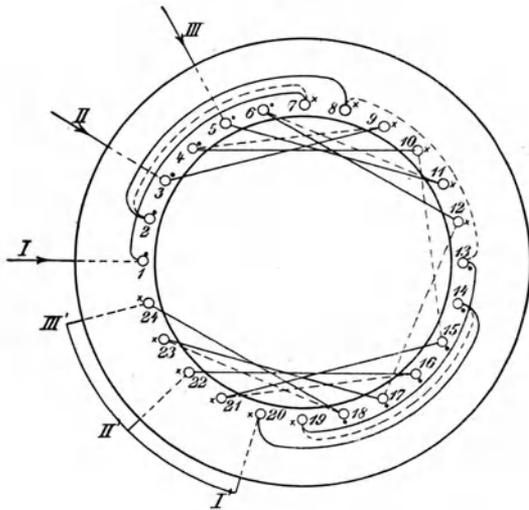
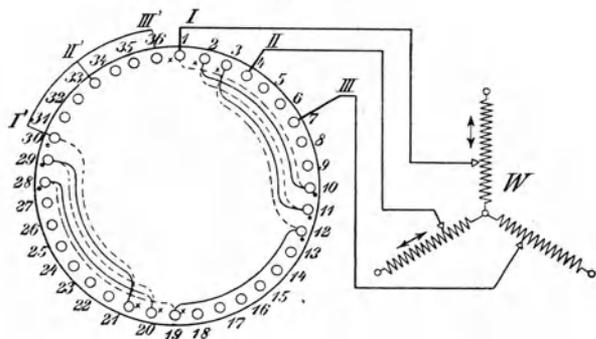


Fig. 50.



gegebenen, in Sternschaltung entworfenen Wicklung, Dreiphasenströme, die mittels Schleifringe in den äußeren Anlasswiderstand  $W$  geleitet werden; und zwar sind diese Ströme um mehr als  $90^\circ$ , meist um nahe  $180^\circ$ , gegen die primären verschoben. Das primäre zusammen mit dem dagegen verschobenen sekundären Ankerdrehfelde bewirken die Drehung des Rotors. Würde dieser sich nunmehr mit der Winkelgeschwindigkeit des primären Drehfeldes innerhalb des Stators bewegen, so würden sich die Ankerstäbe immer in gleicher relativer Lage gegenüber dem Drehfelde befinden, sie würden also keine Induktion erleiden.

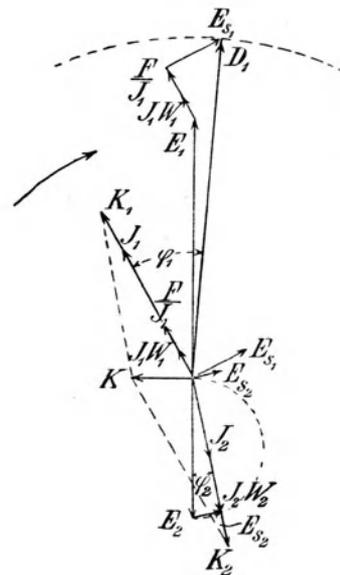
Zwischen diesen beiden äußersten Fällen, zwischen Stillstand und synchronem Umlauf, findet Induktion im Rotor nach Maßgabe des Umdrehungsverlustes des Ankers gegenüber dem primären Drehfelde bzw. der synchronen Umlaufzahl statt. Dieser Geschwindigkeitsverlust des Ankers wird Schlüpfung (slip) genannt<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> In Fig. 50 ist der Uebersichtlichkeit halber nur die Phase I ausgeführt, die übrigen Phasen sind genau wie I zu schalten; die Ableitungen nach außen, ebenso die Verkettung, sind für sämtliche Phasen angegeben.

<sup>2)</sup> Die Schlüpfung lässt sich einfach auf folgende Weise vor Augen führen: Man steckt auf die Welle eines Asynchronmotors

Die einzelnen, kurz skizzierten Vorgänge in einem Drehstrommotor sollen nun anhand der Fig. 51 Erläuterung finden. Das Diagramm ist ganz in der Art des bekannten Transformatorendiagramms von Kapp entworfen<sup>1)</sup>, und zwar ohne besondere Rücksicht auf die Phasenzahl<sup>2)</sup>. Die verschiedenen Vektoren des Diagramms stellen je die effektiven Werte der betr. Größen dar, d. h. die Wurzel aus dem mittleren Quadrat der betr. Wechselstromfunktion; nur  $K$ ,  $K_1$ ,  $K_2 \dots$  stellen größte Werte dieser Funktionen dar. Der primäre Netzstrom  $J_1$  erzeugt ein magnetisches Drehfeld von der Kraftlinienzahl  $K_1$ , der sekundär induzierte Strom  $J_2$  ein um mehr als  $90^\circ$  zurückbleibendes Feld  $K_2$ ; beide

Fig. 51.



setzen sich zusammen zu dem resultierenden Drehfelde  $K$ . In Wirklichkeit kommt in dem Motor nur die Resultierende  $K$  zustande, sodass auf ihr weiterzubauen ist. Diese Kraftlinienzahl  $K$  induziert nun primär eine gegen  $K$  um  $90^\circ$  nacheilende gegen elektromotorische Kraft  $E_1$ , die durch eine gleiche und entgegengesetzt gerichtete Komponente  $E_1$  der Klemmenspannung  $D_1$  überwunden werden muss. Es ist

$$-E_1 = E_1 = c N_1 Z_1 K \dots (7),$$

wobei  $N_1$  die sekundliche Perioden-(Umdrehungs-)zahl des primären Stromes bzw. Drehfeldes und  $Z_1$  die Statorwindungszahl pro Phase ist. (Die Beziehung entspricht der bekannten Gleichstromgleichung  $E = \frac{n Z K}{30 \cdot 10^8}$ ; Kapp, Elektrische Kraftübertragung S. 263, giebt für  $c$  bei Drehstrommotoren 4,26 an, sinusförmige Wechselströme vorausgesetzt, für andern Verlauf schwankt die Konstante nach oben oder unten um den Wert 4,26, je nachdem man es mit spitzeren oder flacheren Kurven zu thun hat.)

Im Anker induzieren die Kraftlinien  $K$  eine elektromotorische Kraft

$$E_2 = c(N_1 - N_2) Z_2 K = c N_s Z_2 K \dots (8).$$

$N_2$  ist die sekundliche Umlaufzahl des Ankers,  $N_s = N_1 - N_2$  die vorerwähnte absolute Schlüpfung des Ankers,  $Z_2$  die Ankerwindungszahl pro Phase.  $E_2$  steht, wie immer die in-

eine schwarze Scheibe mit weißem Kreuz. Beleuchtet man nun diese Scheibe mit einer Bogenlampe, die derselbe Wechselstrom speist, so läuft das Kreuz mit der Geschwindigkeit der Schlüpfung rückwärts gegen die eigentliche Ankerdrehung. Liefere der Motor synchron, so würde das Kreuz für das Auge stehen bleiben; vergl. Z. 1897 S. 834.

<sup>1)</sup> Kapp, Die Transformatoren; s. auch Uppenborns Kalender.

<sup>2)</sup> Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass im Folgenden auf Feinheiten, die nur den Ueberblick erschweren würden, wie Abweichungen von der Sinusform der Wechselströme, Verschiedenheiten im magnetischen Widerstand bei wechselnder Ankerstellung u. a. m., nicht eingegangen werden kann.

duzierten elektromotorischen Kräfte, senkrecht zu  $K$ . Es ist nun noch weiter zu sagen, dass die durch die primäre Wicklung, durch die Stator-Ampèrewindungen erzeugten Kraftlinien  $K_1$  nicht alle die Ankerstäbe schneiden; vielmehr werden mit zunehmender Belastung durch die sekundären Ampèrewindungen immer mehr Primärkraftlinien zurückgehalten oder zur Streuung veranlasst. Dieses Streufeld wirkt, wie früher erörtert, gleich einer Selbstinduktion und erzeugt eine um  $90^\circ$  hinter dem sekundären Strom  $J_2$  verlaufende elektromotorische Kraft  $E_{s_2}$  (s. Gleich. 1 und 2):

$$E_{s_2} = c N_s Z_2 K_s' \dots (9).$$

$K_s'$  sind die vom Primärfelde gestreuten Kraftlinien, deren Anzahl mit der Belastung wächst.

Wie früher lässt sich auch schreiben:

$$E_{s_2} = 2\pi N_s L_s'' J_2 \dots (10),$$

wobei  $L_s''$  der sekundäre Selbstinduktionskoeffizient der Streuung ist. Die sekundär induzierte elektromotorische Kraft  $E_2$  hat nun dies  $E_{s_2}$  und den mit  $J_2$  phasengleichen Ohmschen Spannungsabfall  $J_2 W_2$  ( $W_2$  ist der Ohmsche Widerstand des Ankers) zu überwinden.  $E_2$  ist demnach als Resultierende die Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen Katheten  $J_2 W_2$  und  $E_{s_2}$  sind. Für den Phasenwinkel  $\varphi_2$  zwischen  $J_2$  und  $E_2$  gilt:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{E_{s_2}}{J_2 W_2} = \frac{2\pi N_s L_s'' J_2}{J_2 W_2} = \frac{2\pi N_s L_s''}{W_2} \dots (11).$$

Die Hysteresis- und Wirbelstromverluste im Eisen des Ankers sind gering, da die Zykelzahl nur gleich der Schlüpfung  $N_s$  ist, die bei guten Motoren nur wenige Prozente von  $N_1$  ausmacht. Das Ankereisen braucht deshalb nicht notwendigerweise unterteilt zu sein. Etwaige Eisenverluste wären im Diagramm als Quotient aus den verlorenen Watt im Eisen und dem Strom  $J_2$  als Spannungsabfall zu  $J_2 W_2$  zu schlagen. Primär hat die Klemmenspannung  $D_1$  folgende Spannungskomponenten zu liefern: zuerst eine der induzierten elektromotorischen Kraft  $E_1'$  entgegengesetzte Größe  $E_1$ , dann den Ohmschen Spannungsabfall  $J_1 W_1$  ( $W_1$  ist der Statorwiderstand pro Phase) im Kupfer der Stators, ferner den Spannungsabfall  $\frac{F}{J_1}$  zur Ueberwindung der Eisenverluste vom Betrage  $F$  Watt, beide in Richtung des primären Stromes  $J_1$ . Schliesslich ist noch die elektromotorische Kraft  $E_{s_1}'$  der Streuung beizufügen, die daher rührt, dass nicht alle Kraftlinien  $K_2$  in das Feldeisen gelangen. Es ist wieder wie vorher:

$$E_{s_1}' = c N_1 Z_1 K_s'' \dots (12)$$

$$\text{oder} \quad E_{s_1}' = 2\pi N_1 L_s' J_1 \dots (13).$$

$E_{s_1}'$  steht senkrecht auf  $K_1$  und eilt um  $90^\circ$  nach. Von der Klemmenspannung ist also eine gleich große entgegengesetzte Komponente  $E_{s_1}$  zu ihrer Ueberwindung aufzubringen.

Die 4 Komponenten  $E_1$ ,  $J_1 W_1$ ,  $\frac{F}{J_1}$  und  $E_{s_1}$  setzen sich nach Art des Kräftepolygons zu der Schlusslinie  $D_1$  zusammen. Damit ist  $D_1$  gegenüber  $J_1$  unter dem Phasenwinkel  $\varphi_1$  festgelegt. Bei verschiedener Belastung des Motors und bei konstanter Größe der Klemmenspannung  $D_1$  regulirt sich nun der Drehstrommotor ähnlich wie der Nebenschlussmotor und der Wechselstromtransformator fast selbstthätig. Da  $E_1$  annähernd gleich  $D_1$  ist, indem Verluste und Streuung in einem guten Motor klein ausfallen, so muss auch  $K$  wegen der Beziehung (7) annähernd konstant bleiben. Bei zunehmender Belastung nimmt einfach die Schlüpfung etwas zu; damit vergrößert sich  $E_2$  (Gleichung 8), ebenso  $J_2$  und  $K_2$ , und aus  $K$  und  $K_2$  ergibt sich ein größeres und steileres, näher an dem auch der Lage nach fast unveränderlichen  $D_1$  liegendes  $K_1$  und  $J_1$ . Es ist nun leicht einzusehen, dass mit wachsender Belastung  $J_1 W_1$  größer wird; deshalb muss  $E_1$  bei konstantem  $D_1$  gleichzeitig kleiner werden und infolgedessen ebenso  $K$  (Gl. 7). Da nun die Hysteresisverluste der 1,6ten Potenz und die Wirbelstromverluste der zweiten Potenz der Induktion proportional sind, so nehmen die Eisenverluste  $F$  etwas, allerdings sehr wenig, mit steigender

Belastung ab. Die durch all dieses bedingte Aenderung von  $E_1$  und  $K$  ist jedoch praktisch so gering, dass sie im Folgenden zunächst nicht weiter berücksichtigt werden soll. Aus der Fig. 51 ist ferner ersichtlich, dass  $\varphi_1$  mit zunehmender Belastung abnimmt, während  $\varphi_2$  zunimmt. Der Strom  $J_2$  lässt sich, sofern nur  $K$  bekannt ist, jeweilig einfach finden. Man bestimmt einmal für eine anzunehmende Schlüpfung  $N$ , nach Gleichung 8 die elektromotorische Kraft  $E_2$ , beschreibt darüber einen Halbkreis und legt an  $E_2$  einen Winkel  $\varphi_2$  an, der aus Gleichung 11 zu entnehmen ist. Dieser schneidet auf dem Halbkreis eine Größe  $J_2 W_2$  ab, aus der sich mittels Division durch  $W_2$  der Wert  $J_2$  ergibt. Ein Ausdruck für das Drehmoment lässt sich aus folgender Betrachtung gewinnen: Wirkt auf die Achse des Rotors kein Drehmoment, so läuft er synchron, d. h. ohne Schlüpfung, die sekundär induzierte Spannung  $E_2$  und die sekundäre Arbeit  $A_2$  sind Null. Wirkt nun ein bremsendes Drehmoment  $M$ , sodass eine Schlüpfung  $N_s$  eintritt, so ist zu diesem Zurückhalten bezw. Zurückdrehen eine Arbeit = Drehmoment  $\times$  Winkelgeschwindigkeit =  $M N$ ,  $2\pi$  erforderlich. Dieser wird nun durch die im Anker induzierte elektrische Arbeit  $A_2$  das Gleichgewicht gehalten, da sie es eben ist, die durch Schlüpfung erzeugt wird. Die sekundäre Arbeit  $A_2$  ist<sup>1)</sup>

$$\left. \begin{aligned} A_2 &= I_2 E_2 \cos \varphi_2 = \frac{E_2^2}{W_2} \cos^2 \varphi_2 \\ \text{oder } A_2 &= \frac{E_2^2}{W_2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_2)} = \frac{(c N_s Z_2 K)^2}{W_2 \left(1 + \frac{4\pi^2 L_s''^2 N_s^2}{W_2^2}\right)} \end{aligned} \right\} (14).$$

Bezeichnet man nun mit  $s$  die relative Schlüpfung, d. h. das Verhältnis der absoluten Schlüpfung  $N_s$  zur Periodenzahl  $N_1$ , also

$$s = \frac{N_s}{N_1} \dots (15),$$

so wird, falls man alle konstanten Werte, wie  $Z_2$ ,  $K$ , usw., zusammenfasst in  $C$  bezw.  $\omega_1$ :

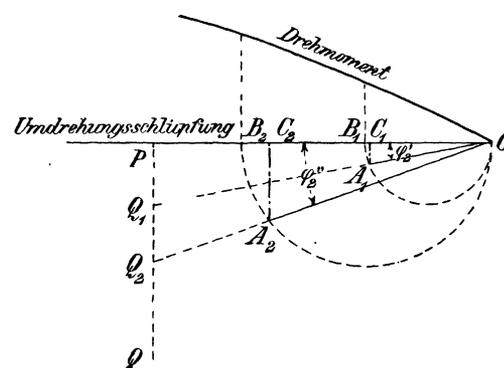
$$A_2 = C \frac{s^2}{W_2} \frac{1}{1 + \omega_1^2 L_s''^2 \frac{s^2}{W_2^2}} \dots (16).$$

Damit erhält man für  $M$  aus<sup>2)</sup>

$$2\pi N_s M = A_2 \dots (17)$$

$$M = C' \frac{s}{W_2} \frac{1}{1 + \omega_1^2 L_s''^2 \frac{s^2}{W_2^2}} = a \frac{s}{1 + b \cdot s^2} \dots (18).$$

Fig. 52.



Eine graphische Bestimmung des Drehmoments als Funktion der Schlüpfung  $N_s$  lässt sich aus dem Gesagten und aus Fig. 51 herleiten. In Fig. 52 sind  $OB_1$ ,  $OB_2$  gleich irgend einem  $E_2$  gewählt, das proportional  $N_s$  ist; über diesen

<sup>1)</sup> Die analytische Entwicklung ist eine Anlehnung an E. T. Z. 1895 S. 705, A. Rothert.

<sup>2)</sup> Für Drehstrommotoren gilt ersichtlicherwise auch die Gleichung (3):

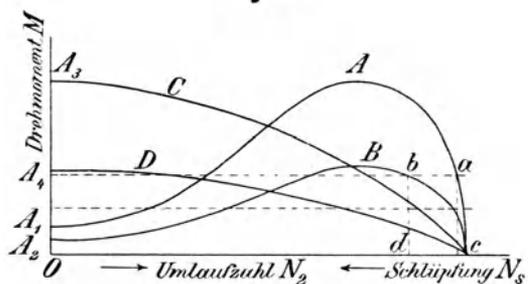
$$M = m \cdot Z_2 \cdot J_2 \cdot K.$$

Strecken sind Halbkreise beschrieben. Wird  $OP=1$  abgeschnitten und auf  $PQ$  eine Reihe von  $\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{2\pi L_s''}{W_2} N_s$ , also von Größen, die auch proportional  $N_s$  sind, abgetragen, so bekommt man Strahlen  $OQ_1, OQ_2$  unter den Winkeln  $\varphi_2', \varphi_2''$ .  $OQ_1$  z. B. schneidet nun den zu dem gleichen  $N_s$  gehörigen Halbkreis in  $A_1$ ;  $A_1 C_1$  steht senkrecht auf  $OP$ . Es ist nun nach Gl. (17)

$$M = \frac{E_2 \cdot I_2 \cos \varphi_2}{2\pi N_s} = \frac{B_1 O \cdot O C_1}{c \cdot B_1 O} = c' \cdot O C_1,$$

$$\text{wobei } c = \frac{1}{c'} = \frac{\pi}{3} \sqrt{2} \frac{W_2}{Z_2 K}.$$

Fig. 53.



Es ist also das Drehmoment einfach proportional  $OC_1$ . Da  $OB_1 = E_2$  proportional  $N_s$  ist, kann man unter Berücksichtigung des Maßstabes  $OP$  als Achse der Schlüpfungen  $N_s$  oder, vom andern Ende aus betrachtet, als Achse der Ankerumlaufzahl ansehen und senkrecht in  $B_1, B_2$  eine  $OC_1$  proportionale Größe als Drehmoment  $M$  auftragen, wie es in Fig. 52 ausgeführt ist. Der Charakter der Drehmomentenkurve hängt wesentlich von dem Verhältnis  $\frac{L_s''}{W_2}$  ab. Ist  $W_2$  groß gegenüber  $L_s''$ , so bekommt die Kurve die Form der Fig. 52, oder vollständiger, die der Kurven  $C$  und  $D$  der

Fig. 54.

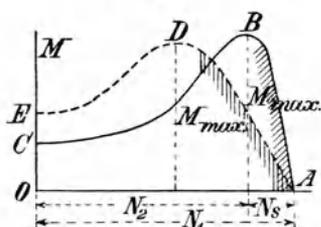


Fig. 55.

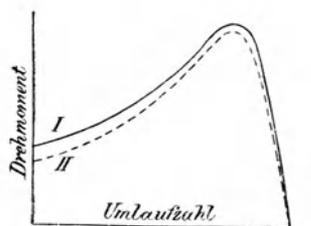


Fig. 53. Wählt man  $W_2$  gegenüber  $L_s''$  kleiner, so ergeben sich die Kurven  $ADE$  und  $ABC$  der Fig. 54 sowie  $A$  und  $B$  der Fig. 53. Kurve  $EDA$  gilt für größeren Ankerwiderstand  $W_2$  als  $CBA$ . Durch Differenzieren des Ausdrucks (18) für  $M$  nach  $\frac{s}{W_2}$  ergibt sich das größte Drehmoment  $M_{\max}$ :

$$M_{\max} = C \frac{1}{2L_s'' \omega_1} = C \frac{1}{4\pi N_1 L_s''} \quad (19).$$

$M_{\max}$  tritt bei einer Schlüpfung  $N_s$  ein, für die gilt:

$$2\pi L_s'' N_s = W_2 \quad (20).$$

Der Wert  $M_{\max}$  des Drehmomentes ist bei konstanter Klemmenspannung für denselben Motor bei verschiedenen Ankerwiderständen  $W_2$  gleich groß, er tritt nur bei anderen Schlüpfungen  $N_s$  auf. Aus Fig. 53 und 54 geht deutlich hervor, dass für großes  $W_2$  und für kleines  $L_s''$  das Anzugmoment größer ausfällt als für kleines  $W_2$  und für großes  $L_s''$ .  $L_s''$  lässt sich u. a. durch Verkleinerung des Luftzwischenraumes bequem verringern, während  $W_2$  in beliebiger Weise durch zusätzlichen induktionslosen Widerstand im Anker verändert werden kann. In Fig. 53 gehören die Kurven  $A$  und  $C$  einerseits und die Kurven  $B$  und  $D$  andererseits demselben Motor bei je gleicher Klemmenspannung und verschiedenen Ankerwiderständen an. Das Anzugmoment für Kurve  $A$  mit kleinem  $W_2$  ist nur  $OA_1$ , für  $C$  mit großem  $W_2$  mehrmals größer und gleich  $OA_3$ . In Fig. 54 sind die Anzugmomente von der Größe  $OC$  (kleines  $W_2$ ) und  $OE$  (großes  $W_2$ ). Dem erwähnten Vorteil eines großen Ankerwiderstandes steht jedoch ein ganz erheblicher Nachteil gegenüber: je größer  $W_2$  wird, desto weniger steil steigen die Kurven von  $A$  aus an (Fig. 54), desto mehr Schlüpfung ist zur Erreichung eines gewissen Momentes erforderlich; in Fig. 53 gelangt man erst bei Stillstand, für  $N_s = N_1$ , auf  $M_{\max}$ . Proportional mit zunehmender Schlüpfung nimmt jedoch, wie gleich gezeigt werden wird, der Nutzeffekt ab. Außerdem besitzt ein Motor mit der Kurve  $ABC$  (kleines  $W_2$ ), Fig. 54, die vorzügliche Eigenschaft, innerhalb der Grenzen geringer Schlüpfung alle Drehmomente von 0 bis  $M_{\max}$  abzugeben, d. h. bei allen Belastungen praktisch konstante Umlaufzahl beizubehalten. Für den Normalbetrieb kommt nämlich nur das in Fig. 54 schraffierte Stück von  $A$  ab in Betracht — ein guter Motor ist also ohne erhebliche Streuung nicht denkbar —, da nach Erreichung des Punktes  $B$  bzw.  $D$  der Motor außer Tritt fällt und stehen bleibt, bis er wieder entlastet wird, wobei er allerdings nicht durchbrennen wird, wie ein Gleichstrommotor.

In Beziehung auf die Kurven für das Drehmoment sei noch, wie schon erwähnt, bemerkt, dass mit zunehmender Belastung bei konstanter Klemmenspannung  $D_1$  die elektromotorische Kraft  $E_1$  ebenso wie die resultierende Kraftlinienzahl  $K$  etwas abnimmt. Das Verhalten des Motors wird also in Wirklichkeit statt durch die graphisch oder analytisch gefundene Kurve I, Fig. 55, durch Kurve II zum Ausdruck gebracht.

Die mechanische Leistung  $A_m$  des Motors ist

$$A_m = M 2\pi N_2 = M \omega_2 \quad (21).$$

( $\omega_2$  ist die Ankerwinkelgeschwindigkeit). Der Nutzeffekt  $\eta$ , abgesehen von Kupfer- und Eisenverlusten im Stator und von den Reibungsarbeiten, ist nun

$$\eta = \frac{A_m}{A_m + A_2} = \frac{M 2\pi N_2}{M 2\pi (N_2 + N_s)} = \frac{N_2}{N_2 + N_s} = \frac{N_1 - N_s}{N_1}$$

oder

$$\eta = 1 - s \quad (22).$$

Der Nutzeffekt nimmt also bei alleiniger Rücksichtnahme auf die Ankerverluste direkt mit zunehmender relativer Schlüpfung ab. Der gesamte Nutzeffekt  $\eta_i$  stellt sich dar als

$$\eta_i = \frac{A_m}{A_m (1 + s) + \left\{ \begin{array}{l} \text{Ohmsche Verluste + Eisenverluste im Stator} \\ \text{+ Lager- und Luftreibung} \end{array} \right\}} \quad (23).$$

Wird dieser Ausdruck nach der Schlüpfung  $s$  differenziert, so erhält man das größte  $\eta_i$  und damit für gleiches  $s$  das normale Drehmoment  $M_n$  und die normale Leistung  $(A_m)_n$ , die beide allerdings nicht vollständig zusammenfallen. Das Verhältnis

$$U = \frac{(A_m)_n}{(A_m)_{\max}} = \frac{\text{Normalleistung}}{\text{größte Leistung}} \quad (24)$$

heißt Ueberlastungsfaktor. Er lässt sich in bereits beschrie-

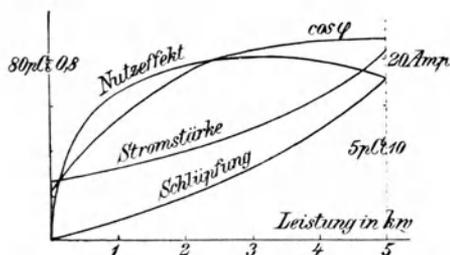
bener Weise aus  $(A_m)_n$  und der größten Leistung  $(A_m)_{max}$  bestimmen. Dr. Behn-Eschenburg<sup>1)</sup> findet für ihn den Wert

$$U = 2 \sigma \sqrt{k} \dots \dots \dots (25),$$

wobei  $k$  das Verhältnis der Eisenverluste zu den Kupferverlusten zum Ausdruck bringt und  $\sigma$  eine GröÙe ist, die proportional  $\frac{K_s'}{K}$  bzw.  $L_s''$  ist. Je größer demnach die Streuung eines Motors ist, desto überlastungsfähiger ist er. Motoren mit Locharmatur sind deshalb überlastungsfähiger und ergeben auch infolge der größeren Streuung einen geringeren Anlaufstrom als andere Konstruktionen.

In Fig. 56, 57 und 58 ist nun eine Reihe Betriebskurven, die an Drehstrommotoren der Maschinenfabrik Oerlikon<sup>2)</sup> aufgenommen wurden, zu weiterer Aufklärung über die Eigenschaften dieser Motorform dargestellt. Fig. 56 gilt für einen 4 PS-Motor von 110 V und 1450 Min.-Umdr. Es sind in Funktion der Nutzleistung angegeben die Kurven für die verbrauchte Stromstärke, für die relative Schlüpfung  $s$  in pCt, für den Nutzeffekt und den Leistungsfaktor  $\cos \varphi$ , welcher letzterer u. a. insbesondere durch Verringerung des Luft-

Fig. 56.



zwischenraumes erhöht werden kann. Fig. 57 bezieht sich auf die Anlaufperiode des 4 PS-Motors. Es sind für verschiedene Primärspannungen der Anlaufstrom und das Anzugmoment in mkg verzeichnet. Letzteres wächst nach Gl. (14) und (17) beiläufig mit dem Quadrat der Klemmenspannung. Fig. 58 giebt interessante Auskunft über die Abhängigkeit des Anzugmomentes vom gesamten Ankerwiderstand  $W_2$ . Bei festgebremstem Anker wurde der Motor gerade wie ein gewöhnlicher Transformator mit verschiedenen zusätzlichen äußeren Widerständen  $W$  (Fig. 50) untersucht. Die Kurve für das Anzugmoment lässt deutlich erkennen, dass durch Zuschalten von Widerstand bis etwa  $W = 0,2$  Ohm das Anzugmoment steigt, um allerdings von da ab wieder abzufallen. Außerdem sind für diesen 65 PS-Motor noch der Anlaufstrom, der durch Vermehrung des Ankerwiderstandes ganz erheblich verringert werden kann, und die Umlaufzahl in Funktion des zusätzlichen Widerstandes aufgetragen.

Es dürfte hier nun nicht unangebracht sein, im Anschluss an die graphischen Darstellungen die sechs wesentlichen Anforderungen an einen guten Drehstrommotor zusammengefasst wiederzugeben. Erstens sollte die Schwankung der Umdrehungszahl zwischen Leerlauf und Normalbelastung gering sein, für einen 5 PS-Motor höchstens 6 pCt, für einen 100 PS-Motor höchstens 3 pCt. Zweitens muss der Motor unter Belastung mit möglichst großem Moment anlaufen. Die Maschinenfabrik Oerlikon baut z. B. Kranmotoren ohne Schleifringe und ohne jegliche Regulirvorrichtung, deren Anlaufmoment durch entsprechende Wahl der Widerstands- und Streuungsverhältnisse das normale um das 2- bis 3fache übertrifft<sup>3)</sup>. Die Ankerschlüpfung beträgt allerdings bis 12 pCt, und der Leistungsfaktor ist verhältnismäßig niedrig. Dr. L. Bell erwähnt Motoren, die mit einem Moment anlaufen, das bei gleicher Stromstärke um 50 pCt größer ist als das

normale<sup>1)</sup>. Drittens sollte der Nutzeffekt, auf den allerdings nicht einseitig und ausschließlich Gewicht gelegt werden darf, etwa der nachstehenden Tabelle entsprechen, in der zugleich der vierte Punkt, nämlich der Leistungsfaktor, also das Verhältnis der wirklichen zur scheinbaren Wattzahl oder der Cosinus des Phasenwinkels  $\varphi_1$  zwischen Netzstrom  $J_1$  und Netzspannung  $D_1$ , aufgeführt worden ist, eine GröÙe, die der Einheit möglichst nahe zu bringen ist.

Motor	Nutzeffekt	Leistungsfaktor
PS	pCt	$\cos \varphi_1$ <sup>2)</sup>
1 1/2	75	0,65
5	80	0,72
12	84	0,75
15	88	0,78
100	92	0,82

Gelingt es, den Leistungsfaktor z. B. von 0,75 auf die Einheit zu bringen, so bedeutet das eine Verkleinerung der Generatoren, Transformatoren und Leitungen um etwa 1/4 ihrer GröÙe, also eine ganz wesentliche Ersparnis. Diese

Fig. 57.

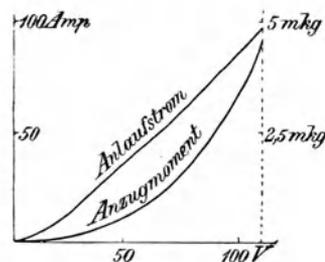
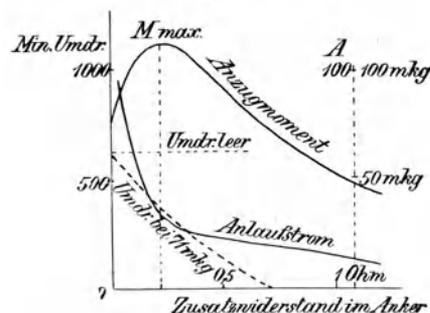


Fig. 58.



Phasenverschiebung  $\varphi_1$  hat nun ihre Ursache in dem sog. Magnetisierungsstrom, einer Komponente des Gesamtstromes, die der Spannung stets um 90° nacheilt und welche erforderlich ist, um das Magnetfeld des Motors zu schaffen. Der Magnetisierungsstrom kann durch im Netze verteilte Kondensatoren (Stanley Manufacturing Co.) oder durch übererregte Synchronmotoren geliefert werden, zwei Hilfsmittel, welche die Phasenverschiebung vollständig aufheben können.

Einen fünften Anhaltspunkt für die Güte eines Drehstrommotors gewährt die GröÙe des Leerlaufstromes, in dem sich gewissermaßen der Nutzeffekt und der Leistungsfaktor wieder spiegeln, da er sich aus der der Spannung um 90° nacheilenden Magnetisierungskomponente, die sich ebenso wie  $K$  in Fig. 51 bei allen Belastungen annähernd gleich bleibt, und der mit der Spannung phasengleichen Arbeitskomponente für Eisen- und Lagerverluste zusammensetzt. Obere Grenzwerte für den Leerstrom dürften 20 bis 30 pCt des Stromes bei Normalbelastung sein. Schließlich ist je nach der Betriebsart die größere oder geringere Überlastungsfähigkeit eine an Motoren zu stellende Anforderung.

<sup>1)</sup> Schweiz. Bauz. 1893.  
<sup>2)</sup> E. T. Z. 1896 S. 88, Dr. Behn-Eschenburg.  
<sup>3)</sup> »Polyphase Currents« von S. Thompson.

<sup>1)</sup> Esson, Electrician Bd. 38.

Die Feldwicklung der Motoren wird meist in Sternschaltung ausgeführt. Sofern der Anker äußere Regulierung besitzt, Fig. 50 (S. 1057), giebt man ihm der bequemen Widerstandsschaltung halber ebenfalls Sternschaltung. Der in sich geschlossene sog. Kurzschlussanker kleinerer Motoren bis etwa 6 PS kann entweder derart konstruiert werden, dass sämtliche Ankerstäbe an beiden Stirnseiten je durch einen Kurzschlussring verbunden werden (Käfiganker), oder aber derart, dass eine zusammenhängende Phasenschaltung ähnlich induzierter Stäbe hergestellt wird, die dann als Ganzes oder in Gruppen kurz geschlossen wird (Phasenanker). Damit der Motor bei jeder zufälligen Ankerstellung sicher und gleichmäÙig anzieht, ist es zweckmäÙig, dem Anker eine andere Stabzahl zu geben als dem Felde. s. Fig. 49 und 50 mit 24 Feld- und 36 Ankerstäben, etwa den Anker zweiphasig zu wickeln, wenn der Stator dreiphasig ist, und ferner möglichst viele Stäbe zur Anwendung zu bringen. Unter Umständen

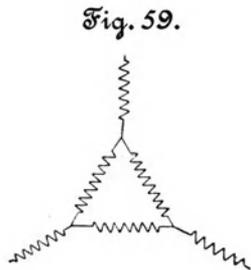


Fig. 59.

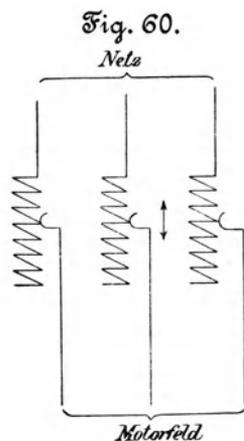


Fig. 60.

empfehl es sich auch, um gröÙere Schwankungen in der Felderregung innerhalb der einzelnen Wechselstromperioden zu vermeiden, die in Fig. 59 angedeutete Kombinationswicklung von Dobrowolsky anzuwenden. Bei Dreieckschaltung beträgt nämlich die größte Abweichung der jeweilig sich aus den 3 Phasen ergebenden Erregung von der mittleren erregenden Kraft 13,0 pCt, bei Sternschaltung 7,25 pCt und bei der aus beiden zusammengesetzten Kombinationsschaltung 0,5 pCt<sup>1)</sup>. Zur Erzielung eines möglichst gleichmäÙigen Moments um den ganzen Ankerumfang ist es vorteilhaft, die Ankernuten ausen zu verengen oder die Blechvorsprünge der Nutenanker ausen zu verbreitern. Eine ähnliche Wirkung ergibt sich, wenn die Ankerstäbe etwas schräg, also nicht parallel zur Motorachse aufgebracht werden. Für Hebezeug-

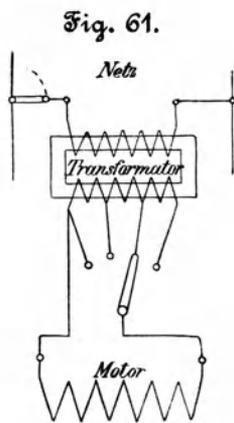


Fig. 61.

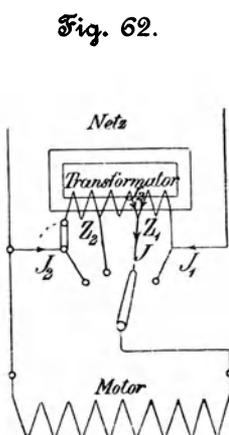


Fig. 62.

motoren ist es von Vorteil, dem Stator Ringwicklung zu geben, da sie widerstandsfähiger ist als Trommelwicklung. Die Gefahr, durch übermäßige Stromzufuhr, etwa beim Ein- oder Umschalten oder bei Kurzschluss, zu verbrennen, ist für Drehstrommotoren geeigneter Konstruktion gerade wie für Generatoren und Transformatoren fast ausgeschlossen.

11) Was Anlassvorrichtungen für Drehstrommotoren anbelangt, falls solche namentlich für gröÙere Motoren zur Ver-

<sup>1)</sup> Kapp, Elektr. Kraftübertragung 2. Aufl. S. 267.

meidung von Stromstößen usw. erforderlich werden<sup>1)</sup> — die meist verwendeten Lochanker mit großer Streuung und kleinem Anlaufstrom können am ehesten ohne Anlasser in Betrieb gesetzt werden —, so bietet sich eine weit gröÙere Auswahl als bei Gleichstrombetrieb. Das Nächstliegende ist die Verminderung der Klemmenspannung, wodurch nach Fig. 57 (S. 1059) der Anlaufstrom, aber auch das Anzugmoment verringert wird, ersterer etwa proportional der Klemmenspannung, letzteres mit deren Quadrat. Ganz in der Art und Weise des Gleichstrombetriebes lässt sich in die Hauptzuleitung ein Anlasswiderstand legen, der natürlich nach Fig. 60 bei Dreiphasenstrom dreifach sein muss. Oekonomischer lässt sich diese Regulierung mit Hilfe eines spannungsvermindernden Transformators, Fig. 61, machen, dessen Sekundärwindungen unterteilt und abschaltbar sind. Um an Kupfer zu sparen, kann man den Anlasstransformator einspulig (Fig. 62) entwerfen. Die Wirkungsweise eines derartigen sog. Autotrans-

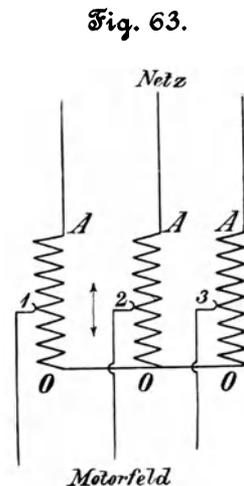


Fig. 63.

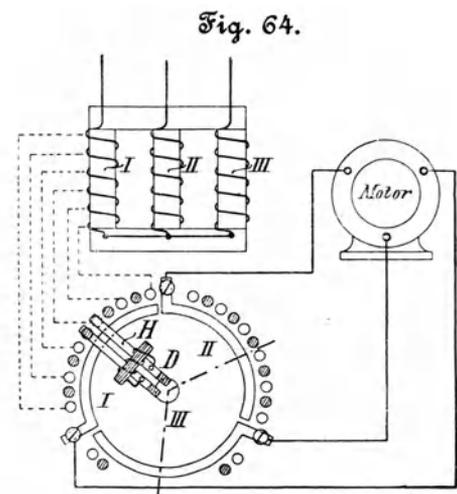


Fig. 64.

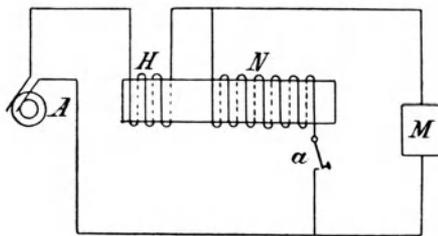
formators ist der eines zweispuligen ganz ähnlich. Die freien Windungen  $Z_1$ , Fig. 62, die den Netzstrom  $J_1$  führen, sind die primären, die induzierenden; die am Motor liegenden Windungen  $Z_2$  werden induziert und schicken ihren Strom  $J_2$  in den Motor. Der Unterschied liegt nun darin, dass die beiden Wicklungen des Transformators an einer Ecke verbunden sind, und dass die Ströme  $J_1$  und  $J_2$  vereint zu  $J$  (als Vektoren nach dem Parallelogramm) in den Motor fließen, dass also der Motorstrom  $J$  größer ist als der dem Netz entnommene  $J_1$ . Nachdem die Anlaufperiode verflossen ist, kann der Transformator vom Netze getrennt werden. Fig. 63 ist die schematische Skizze eines derartigen dreiphasigen Anlassers. Bei Stellung der drei Bürsten 1, 2, 3 in  $O$  steht der Motor still, er hat keine Spannung; nun werden die Bürsten allmählich nach  $A$  geschoben, woselbst dann der Motor unmittelbar an der Netzspannung liegt und der Anlasstransformator abgetrennt wird. Fig. 64 stellt eine Ausführung desselben Transformators dar, welche der A. E. G.-Berlin patentiert ist<sup>2)</sup>. Beim Verschieben des Schalthebels  $H$  darf — ebenso wie bei Akkumulatorenzellschaltern — weder sprungweise eine völlige Unterbrechung, noch ein Kurzschluss der Spule stattfinden, über deren Enden der Hebel  $H$  eben hinweggeht. Der Hebel  $H$  ist deshalb in zwei von einander isolierte Stücke geteilt, die durch eine kleine Drosselspule  $D$  in Verbindung stehen, welche, ohne merklich Arbeit zu verzehren, den Kurzschlussstrom klein hält. Außerdem sind je zwischen zwei Verbindungskontakten (schraffierte) unverbundene Hilfskontakte notwendig. Der Anlasstransformator, Fig. 65, wirkt folgendermaßen: In den Hauptstrom ist eine Spule  $H$  eingeschaltet; auf demselben Eisenkern mit

<sup>1)</sup> Da sich die beiden Forderungen: großes Anzugmoment und vorteilhaftester Normalbetrieb ohne Verwendung von Hilfsvorrichtungen, entgegenlaufen, so wird die Motorenergie hier und da durch eine recht elastische Federkupplung übertragen, sodass der Motor sozusagen leer anläuft und keiner Anlassvorrichtung bedarf.

<sup>2)</sup> Die Phasen II und III sind ebenso wie I verbunden zu denken.

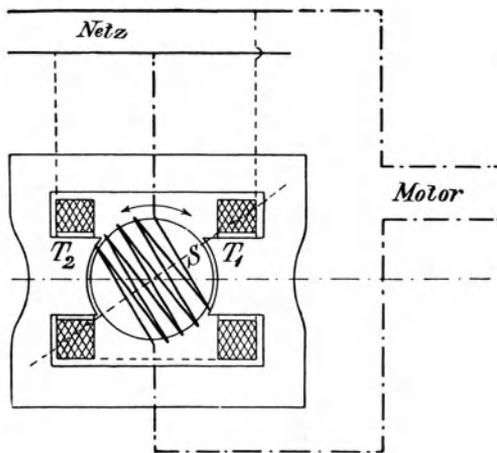
ihr sitzt die Spule  $N$ , die im Nebenschluss zu der Netzleitung liegt. Sie wirkt derart, dass sie in  $H$  eine elektromotorische Kraft erzeugt, welche der Netzspannung des Alternators  $A$  entgegenwirkt und also die Klemmenspannung des Motors  $M$  entsprechend verringert. Eine recht bequem abgestufte Regulierung gestattet die Vorrichtung Fig. 66.  $T_1$  und  $T_2$  ist ein Windungssystem, das unmittelbar am Netz liegt und ein die Spule  $S$  durchsetzendes Kraftlinienfeld schafft. Die Spule  $S$  ist drehbar angeordnet, sodass sie mit ihrer Achse in die Kraftlinienrichtung und senkrecht dazu

Fig. 65.



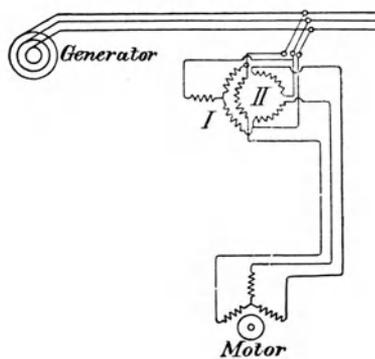
gestellt werden kann. Im ersten Fall findet größte Induktion in der Spule statt, im letzteren gar keine. Die induzierte elektromotorische Kraft wirkt der Netzspannung entgegen, sodass also die Motor-klemmenspannung beliebig verändert werden kann. Eine Ausführung für Drehstrom giebt Fig. 67 wieder, worin die in Stern geschaltete Wicklung I den Spulen  $T_1, T_2$ , die in Dreieck geschaltete bewegliche Wicklung II

Fig. 66.



der Spule  $S$  entspricht. Auf der Ueberlegung, dass die Drehmomente von Drehstrommotoren dem Quadrat der elektromotorischen Kraft proportional sind, beruht des weiteren eine Umschaltvorrichtung der Union E.-G., die beim Anlauf den induzierten und den induzierenden Teil des Motors vertauscht. Haben z. B. die Windungszahlen beider genannten Teile das Verhältnis 4:5, so verhalten sich die zu den beiden Schaltungen gehörigen Momente wie 25:16. Das grössere Moment tritt dann auf, wenn die kleinere Windungszahl Linienstrom bekommt. Schliesslich ist noch festzustellen, dass sich die gleiche Wirkung

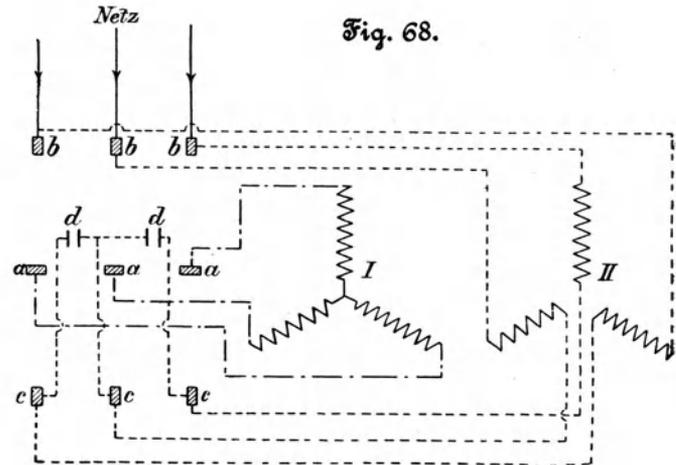
Fig. 67.



wie durch Verringerung der Klemmenspannung auch dadurch erreichen lässt, dass man das Feld in Unterabteilungen zerlegt, die zum Anlassen hintereinander und nacheinander parallel geschaltet werden. In Fig. 68 ist eine solche

Schaltvorrichtung vor Augen geführt.  $a, a, a$  sind die Drehpunkte eines dreiteiligen Umschalters. Liegt der Schalthebel in  $c$ , so sind die zwei Windungssysteme II und I des Motors hintereinander geschaltet; liegt er in  $b$ , so sind sie parallel, und das Windungssystem II ist in  $d, d$  verkettet. In Fig. 69 wird etwas ganz Entsprechendes dadurch erreicht, dass zum Anlauf die 3 Spulensysteme  $S_1, S_2, S_3$  des Motorfeldes in Stern geschaltet werden<sup>1)</sup> (Hebelverbindung  $ac, ac, ac$ ); bei Normalbetrieb sind sie in Dreieck geschaltet (Hebel-

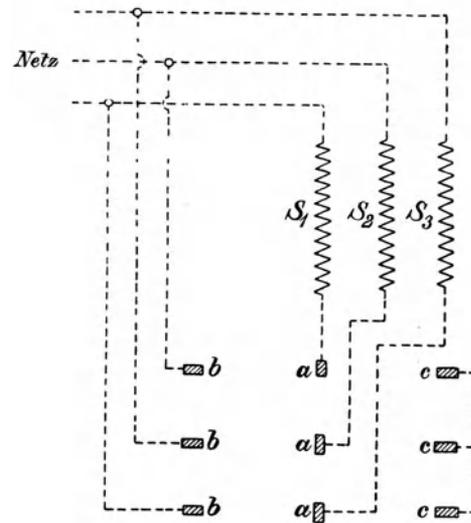
Fig. 68.



stellung  $ab, ab, ab$ ). Falls ein Motor mit verschiedener Polzahl betrieben werden kann, sollte er mit der größten Polzahl, also mit der geringsten Umdrehungszahl, in Betrieb gesetzt werden, da dann sein Anlaufstrom am kleinsten ist.

Rationeller als die bis jetzt genannten Anlassvorrichtungen vor der Statorwicklung sind solche, die im Ankerkreise liegen. Der in diesem induzierte sekundäre Strom wird über drei Schleifringe nach einem dreiteiligen Widerstand in Stern-

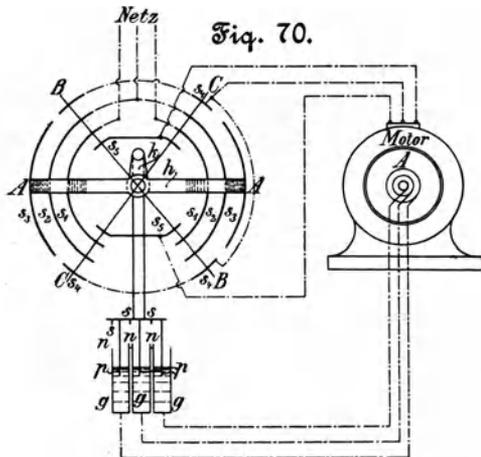
Fig. 69.



schaltung (Fig. 50) geführt, der die sekundäre Stromstärke und damit nach Art eines gewöhnlichen Transformators auch die primäre abschwächt. Mittels dieses Widerstandes, der allmählich kurz geschlossen wird, lässt sich zugleich das Anzugmoment steigern und damit der Vorteil der Kurve  $EDA$  mit dem von  $CBA$ , Fig. 54 (S. 1059), vereinigen; ausserdem ist die sekundäre Klemmenspannung gewöhnlich erheblich niedriger und weniger gefährlich als die primäre. Fig. 70 giebt das Bild einer derartigen Anlassvorrichtung wieder, die

<sup>1)</sup> Die A. E. G. Berlin verkettet beim Anlassen die drei Spulensysteme  $S_1, S_2, S_3$  nicht unmittelbar in  $c, c, c$ , sondern legt noch vor den Verkettungspunkt einen dreifachen Flüssigkeitswiderstand, der allmählich kurz geschlossen wird.

zugleich zum Umsteuern dient, wie weiter unten ausgeführt werden wird. Der Anlasswiderstand besteht aus drei Gefässen *g*, die mit Sodalösung angefüllt sind und in die drei Platten *p* durch die Kurbel *k* mehr und mehr eingetaucht werden, auf diese Weise den Widerstand stetig verringert, bis schliesslich der Anker *A* durch unmittelbare Verbindung



von *s* mit *n* kurz geschlossen wird. Die üblichen Drahtvorschaltwiderstände werden häufig zweckmässig rotierend auf die Motorwelle gesetzt; nachdem die normale Umlaufzahl erreicht ist, schliesst man sie, gegebenenfalls in einzelnen Abstufungen, durch eine Kupplungsmuffe kurz. Letzteres lässt sich auch ausführen, falls der Widerstand ausser liegt; man hat alsdann nur überdies noch die Bürsten abzuheben (Maschinenfabrik Oerlikon). Siemens & Halske verwenden ausserdem zu Anlaufzwecken für Motoren bis zu 100 PS, um den Anlasser zu sparen, eine sogenannte Gegenschaltung von Görge, wodurch Schleifringe und Bürsten vermieden werden und beinahe die Einfachheit des Kurzschlussankers ohne dessen Nachteil erreicht ist. Es sind hierbei zu Anfang die einzelnen nicht ganz gleichen Ankerspulen gegeneinander geschaltet, Fig. 71, sodass nur eine geringe wirksame elektromotorische Kraft zwecks Verminderung des Anlaufstromes entsteht. Nach-

Fig. 71.

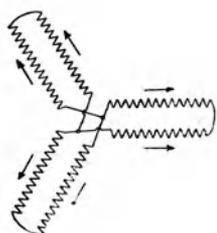


Fig. 72.

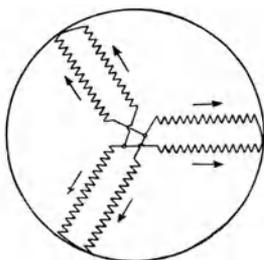
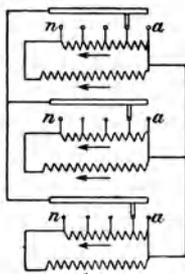


Fig. 73.

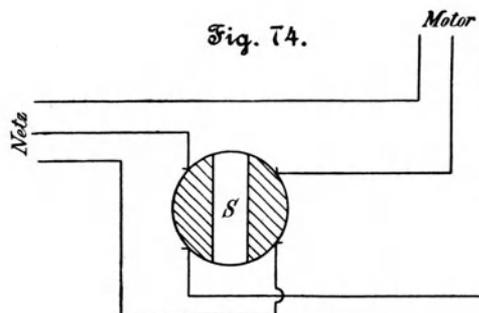


her werden die Spulen insgesamt kurz geschlossen, Fig. 72, derart, dass bei der geringeren Rotorwechselzahl *N*, des Normalbetriebes im Anker genügend starke Ströme induziert werden. In Fig. 73 sind dem Anlasser eine Reihe einzelner Abstufungen gegeben: Stellung *a* des Laufkontakts gilt für das Anlassen, Stellung *n* für den Normalbetrieb!).

12) Der Drehungssinn von Drehstrommotoren kehrt sich durch Vertauschen zweier Zuleitungen um. Fig. 74 zeigt schematisch einen derartigen Umschalter. Dreht man *S* um 90°, so läuft der Motor in umgekehrtem Sinn wie bei der gezeichneten

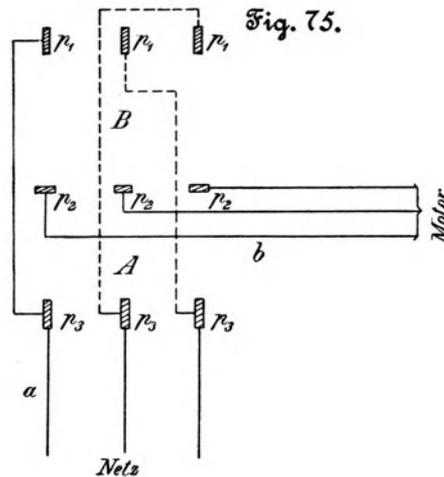
1) Um der Mühe entzogen zu sein, im geeigneten Zeitpunkt die Gegenschaltung aufzuheben, und um ferner eine falsche Einstellung oder ein dauerndes Verbleiben in der Gegenschaltung zu verhüten, haben Siemens & Halske einen auf der Achse mitumlaufenden zuverlässig wirkenden Zentrifugalkurzschliesser gebaut, der die Schnappkontakte bei einer gewissen Geschwindigkeit selbstthätig rasch und sicher schliesst und beim Ausschalten oder bei Ueberlastung ebenso schnell wieder öffnet.

Lage von *S*. Der Aus- und Umschalter, Fig. 75, ist eine praktische und übliche Ausführung für den genannten Zweck. *p*<sub>2</sub> sind die Drehpunkte, die mittels dreifachen Hebels mit *p*<sub>1</sub> bzw. *p*<sub>3</sub> verbunden werden können. Handelt es sich um bloßes Umschalten, so kann Leitung *a* unmittelbar mit *b* in bleibender Verbindung stehen, sodass der Umschalter nur zweiteilig wird. Ein rasches Ein-, Aus- und Umschalten mit



diesen Hackmesserumschaltern ist für Drehstrom im Gegensatz zu Gleichstrom ohne weiteres möglich. Die bereits erwähnte Anlasserkonstruktion, Fig. 70, schliesst einen Umschalter in sich. Steht Hebel *h* in der Stellung *AA*, so ist der Motor in Ruhe, in Stellung *BB* läuft er in einem Sinn und in Stellung *CC* im andern um. Als zweckmässig ist der grosse Weg von einer Steuerungslage *BB* zur anderen *CC* zu empfehlen.

13) Die Umlaufzahl eines Drehstrommotors lässt sich zunächst in beschränktem Mafse durch den Ankerwiderstand in Form von Schlüpfung regeln. Es geht dies allerdings auf Kosten des Nutzeffektes (Gl. 22 und 23 S. 1059). Bei den praktisch



verwendeten kleinen Schlüpfungen ändert sich bei gleichem Belastungsmoment die Umdrehungszahl angenähert proportional dem gesamten Ankerwiderstand *W*<sub>2</sub>. Ist nun der Rotorwiderstand für sich allein *w*<sub>2</sub> und sind die Vorschaltwiderstände vor *w*<sub>2</sub> bei den Drehmomenten *M*' und *M*'' von der Grösse *W*' bzw. *W*'', so gilt für die zugehörigen Schlüpfungen *N*' und *N*'' angenähert nach Gleichung 18:

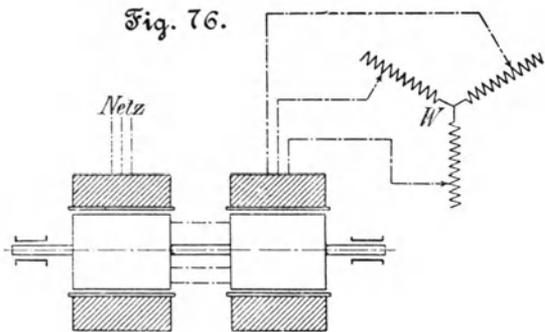
$$\frac{s'}{s''} = \frac{N_s'}{N_s''} = \frac{M'(w_2 + W')}{M''(w_2 + W'')} \dots (26).$$

Ist ferner *n* die minutliche Umdrehungszahl des primären Drehfeldes und sind *n*' und *n*'' die beiden wirklichen Umlaufzahlen des Motors bei *M*' und *M*'', so ist bekanntlich

$$\frac{n - n'}{n - n''} = \frac{N_s'}{N_s''} \dots (27).$$

Die Grenze dieser Regulierung ist durch die Forderung eines bestimmten kleinsten Nutzeffektes und eines bestimmten kleinsten Momentes vorgeschrieben. Es ist indessen noch darauf aufmerksam zu machen, dass der Gesamtwiderstand nicht allein durch Vorschalten von Widerstand vor den Anker, sondern auch durch Aenderung oder verschiedene Gruppierung

der Ankerspulen, z. B. auch durch die früher erwähnte Gegenschaltung, geändert werden kann. Eine recht weitgehende Veränderung der Umlaufzahl erlaubt die sinnreiche Kaskadenschaltung von Siemens & Halske, Fig. 76. Das Feld eines gewöhnlichen Drehstrommotors wird vom Netz aus gespeist. Die im zugehörigen Anker induzierten Ströme werden in einen zweiten Anker derselben Welle geführt, während das entsprechende zweite Feld entweder in sich



oder auf einen Widerstand  $W$  geschlossen ist. Da der zweite Anker das Bestreben hat, sich höchstens mit der der Schlüpfung des ersten Ankers entsprechenden Umlaufzahl zu drehen, so stellt sich die Kombination etwa auf die halbe Umdrehungszahl des primären Drehfeldes ein. Die beiden Anker können Phasenanker oder zwei durchweg verbundene Kurzschlussanker sein. Für volle Umdrehungszahl werden die beiden Motoren parallel ans Netz gelegt. Eine allerdings nicht gerade immer zu empfehlende Aenderung der Umlaufzahl lässt sich durch Verringerung der Klemmenspannung nach einem der in den Fig. 60 bis 69 dargestellten Verfahren bewirken. In Fig. 53 (S. 1059) sind  $B$  und  $D$  die Drehmomentkurven für geringe,  $A$  und  $C$  für hohe Klemmenspannung. Das gleiche Moment  $bd = ac$  tritt auf  $B$  bei einer bedeutend größeren Schlüpfung ein als auf  $A$ . Das Moment ist ja nach Früherem unter sonst gleichen Verhältnissen angenähert proportional dem Quadrat der Klemmenspannung.

In recht hohem Mafse wird die Umlaufzahl durch Aenderung der Polzahl verändert, die sich durch einfaches Umschalten der Feldwicklung bewerkstelligen lässt.<sup>1)</sup> Bei den gebräuchlichen 50 Perioden des Wechselstromes macht ein

2 poliger Motor	etwas weniger als	3000 Umläufe
4 » » » » »	» » » » »	1500 »
2n » » » » »	» » » » »	$\frac{3000}{n}$ »

Inbetracht zu ziehen ist jedoch, dass Motoren von hoher Polzahl im Vergleich zu ihrer Größe bedeutende Streuung besitzen und, sowohl was Anlaufen als Normaltrieb anbelangt, an Güte verlieren. In der nachstehenden Tabelle ist das Verhalten eines derartig regulirten Motors der Maschinenfabrik Oerlikon nach Veröffentlichungen von Dr. Behn-Eschenburg wiedergegeben.

Polzahl	Min.-Umdr.	Umfangskraft	Leistung	Nutz-effekt	Stromstärke
		kg	PS	pCt	Amp
2	2700	0	0	0	9
	2650	0,8	3	77	13
	0	1,4	0	0	90
4	1350	0	0	0	9
	1320	1,6	3	75	13
	0	3,2	0	0	60
8	675	0	0	0	9
	640	2,8	2,5	70	13
	0	1,4	0	0	35

Eine Veränderung der Perioden-(Zykel-)zahl des zur Verwendung gelangenden Drehstromes bedingt ebenfalls eine Aenderung der Umdrehungen proportional der Zykelzahl; sie ist indes wohl nur selten zu gebrauchen, da sie weitere Generatoren oder Transformatoren mit rotirendem Kollektor

<sup>1)</sup> E. T. Z. 1897 S. 257 ff.

voraussetzt<sup>1)</sup>. Immerhin hat die A. E. G.-Berlin dieses Mittel zum Antrieb von Holzbearbeitungsmaschinen benutzt. Unter Umständen lassen sich auch einzelne Bezirke oder Motoren mit anderer Zykelzahl speisen. Ganz & Co. in Budapest bringen z. B. für Kraftbedarf nur 15 Zykel in Anwendung; der Lichtverbrauch wird vom selben Generator mittels Gleichstromes gedeckt<sup>2)</sup>. Die Motoren, von deren Verkettungspunkt aus jeweilig noch der Mittelleiter für das Gleichstromnetz abgezweigt wird, machen, falls sie zweipolig sind, nur

Fig. 77.

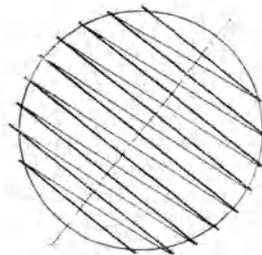
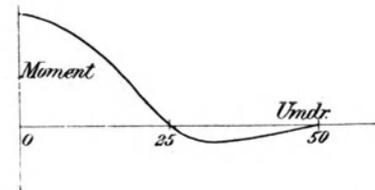
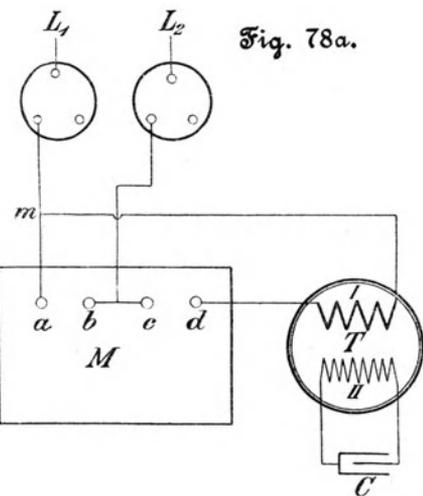


Fig. 78.



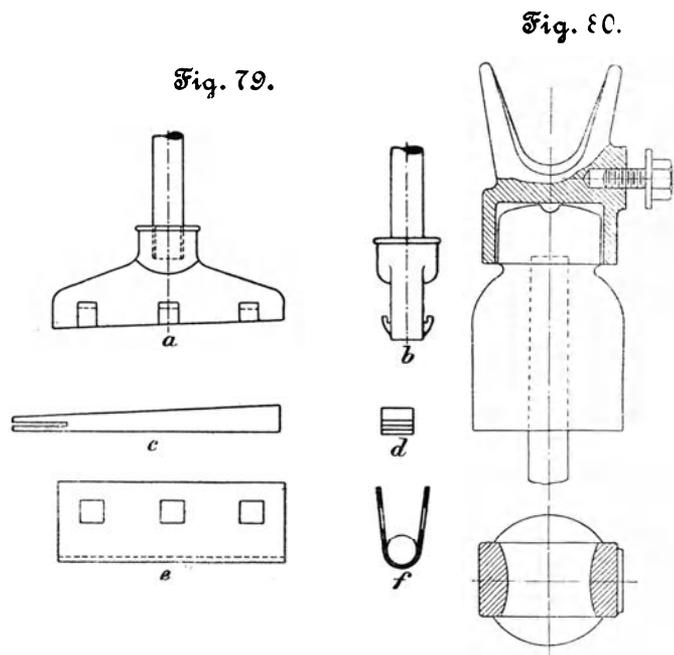
900 Min.-Umdr. Zum Schluss sei die Aufmerksamkeit noch auf ein Verfahren gelenkt, das in der Praxis noch wenig Verwendung gefunden haben dürfte und das auf dem sogenannten einachsigen Drehstromanker beruht. Bewickelt man den Rotor eines Drehstrommotors mit einer einzigen Wicklung nach einer Achsrichtung, Fig. 77, so läuft er stabil mit etwa halb so vielen Umläufen wie bei dreiachsiger Wicklung. Die Drehmomentkurve eines derartigen Motors in Funktion der sekundlichen Umlaufzahl ist in Fig. 78 entworfen. Das Moment wird bei einer Umdrehungszahl gleich der Hälfte der Zykelzahl des primären Drehfeldes Null, um dann negativ zu werden. Die gleiche Wirkung erzielt man auch durch Abheben einer der 3 Bürsten eines mit Schleifringen versehenen Motors. Der Motor muss indessen für diesen Fall entsprechend gebaut sein, da es z. B. vorkommt, dass bei Abnahme einer Bürste der Leerlaufstrom größer wird als der Strom bei den kleineren Belastungen. Siemens & Halske geben für den Nutzeffekt bei normal 50 sekundlichen Umdrehungen die Werte 85 bis 90 pCt an, für 25 Umdrehungen noch 70 bis 75 pCt.



14) Inbezug auf Einphasenmotoren, die unter gewissen Einschränkungen auch für Hebezeugbetriebe benutzt werden können, falls man eben unbedingt von einer gewöhnlichen Wechselstromzentrale abhängig gemacht ist, sei noch Folgendes gesagt. Man lässt sie immer in einer Richtung umlaufen, und zwar möglichst ohne Unterbrechung, auch wenn das Hebezeug absatzweise stille steht. Der Motor ist unbelastet und mittels Hilfsvorrichtung einzuschalten, die z. B.

<sup>1)</sup> Electrical World 1897 S. 758 ff.  
<sup>2)</sup> Z. 1897 S. 254.

einfach in zwei Wicklungen mit verschiedener Selbstinduktion bestehen kann, welche entsprechend umgeschaltet werden können, oder in einem Kondensator, mittels dessen leicht ein Anzugmoment zu erreichen ist, welches das normale erheblich übertrifft (Fig. 78 a). In dem monozyklischen Verteilungssystem ist neuerdings die Einfachheit des Wechselstromes für Lichtbetrieb in geschickter Weise mit dem Vorteil des Zweiphasenstromes für Motoren verbunden worden. Der Generator trägt einmal eine Hauptwicklung für Einphasenstrom, gegen die andererseits eine verhältnismäßig schwache Hülfswicklung so versetzt liegt, dass die dort induzierte elektromotorische Kraft gegen die der Hauptwicklung um  $90^\circ$  verschoben ist. Das eine Ende der Hülfswicklung ist mit der Mitte der Hauptwicklung verbunden, das andere geht als dritter Leitungsdraht, als sogenannter »teazer«, ins Netz. Das Licht liegt nur an den beiden Hauptleitungen, die Motoren liegen an allen dreien und werden wie Mehrphasenmotoren betrieben. Ferrari und Arnò haben seit kurzem mit Erfolg in Wechselstromnetzen sogenannte Phasentransformatoren benutzt, d. h. asynchrone Wechselstrommotoren mit gewöhnlicher Ankerkonstruktion, aber mit zwei Feldwicklungen, deren Achsen senkrecht zu einander stehen. Die eine Feldwicklung wird durch Netzstrom gespeist, wobei in der anderen ein Wechselstrom von um  $90^\circ$  versetzter Phase induziert wird, der dazu dient, die in der Nähe befindlichen Motoren in Gemeinschaft mit dem Netzstrom nach Art der Zweiphasenmotoren belastet anlaufen zu lassen. Der Phasentransformator, der nicht größer zu sein braucht als der größte Motor im Netz, muss natürlich je zu Anfang der Arbeitszeit ein für allemal mittels Hilfsvorrichtung angelassen werden, um dann möglichst ohne Unterbrechung und mit möglichst gleichmäßiger Belastung betrieben zu werden<sup>1)</sup>. Ganz & Co. in Budapest verbinden den Eckpunkt, in dem die zwei für ihre Wechselstrommotoren verwendeten Feldwicklungen zusammenstoßen, mit den Eckpunkten der übrigen Motoren, wodurch nach künstlicher Inbetriebsetzung eines der Motoren alle übrigen ohne weiteres

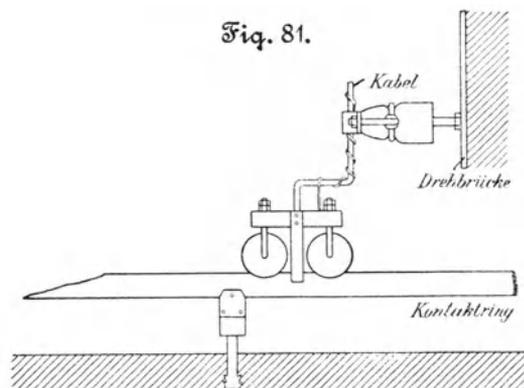


anlaufen und die einzelnen Motoren bei Ueberlastung sich gegenseitig unterstützen. Dieselbe Firma verwendet auch den unter Last anlaufenden Wechselstromreihenmotor, dessen Rotor ein ganz gewöhnlicher Gleichstromanker mit Kollektor ist, welcher einfach unmittelbar hinter die Feldwicklung geschaltet wird; beide Teile werden so in Reihe von Wechselstrom durchflossen. Der Motor soll trotz des Kollektors befriedigend funkenfrei laufen.

15) Der Strom kann von der Kraftstation ober- oder unterirdisch zu den Motoren geleitet werden. Ersterer Anordnung wird in vielen Fällen der größeren Billigkeit halber der

<sup>1)</sup> vergl. Z. 1897 S. 837.

Vorzug gegeben; jedenfalls ist sie derart zu bemessen und zu montieren, dass Betriebsstörungen durch Erwärmung der Drähte, durch atmosphärische Einflüsse und dergl. im allgemeinen ausgeschlossen bleiben; insbesondere ist für genügenden Blitzschutz zu sorgen, der auch bei Kabelnetzen nicht entbehrt werden kann. Die unmittelbare Stromzufuhr zu den Elektromotoren wird bei Laufkränen, die heutzutage gerade wegen der äußerst einfachen Energiezuleitung fast ausschließlich elektrisch betrieben werden, häufig durch zwei<sup>1)</sup> der Länge nach versetzte, an der Kranbrücke befestigte hakenförmig umgebogene Flacheisen vermittelt, die unter den Speisedraht greifen. Dieser ist entweder nur an beiden Enden der Kranlaufbahn befestigt und liegt dazwischen vermöge seines Durchhangs auf kleinen ausgekehlten Armen oder Konsolen auf, von denen er jeweilig durch den Stromabnehmer abgehoben wird, oder er ist dazwischen nach Art des Speisedrahtes der Strafsenbahnen aufgehängt, Fig. 79. Im letzteren Falle wird er mittels eines umgebogenen Kupferblechs (Fig. 79 e und f) in den Halter (Fig. 79 a und b) unter Zwischenschiebung eines Spannkeiles (Fig. 79 c und d) eingehängt. Diese Aufhängevorrichtung sowohl wie die in Fig. 80 dargestellte Skizze eines Stromabnehmers sind dem Laufkran der Maschinenfabrik Esslingen entnommen, der in Z. 1897 Tafel III von W. Pickersgill veröffentlicht ist. In besondern Fällen lässt sich natürlich als Stromabnehmer auch der gewöhnliche Strafsenbahnarm oder der Bügel verwenden, der bei Richtungsumkehr von selber durchschlägt und zuverlässige Berührung giebt. Drehkränen wird der Strom durch die hohle Säule entweder vom Boden aus oder mittels eines festen Ständers von oben her über im Kreise auf Metallschienen schleifende Bürsten oder über kreisende Kontaktrollen, Fig. 81, zugeführt. Aufzüge, für die Strom-

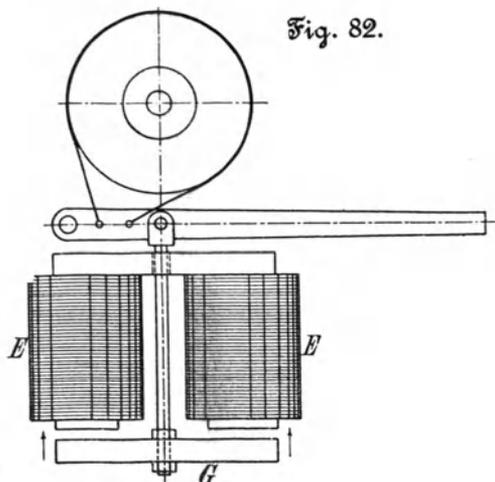


schlüsse im Fahrkorb selbst auszuführen sind, versieht man mit einem langen beweglichen Kabel, das sich selbstthätig auf- und abwickelt. Eben wegen der einfachen Stromzuleitung und allerdings auch wegen des gedungenen leichten Baues der Antriebsmotoren lässt sich für elektrische Aufzüge die ganze Motorenanlage ebenso gut unter dem Dach wie im Keller aufstellen, obgleich aus naheliegenden Gründen letzterer Aufstellung im allgemeinen der Vorzug gegeben wird.

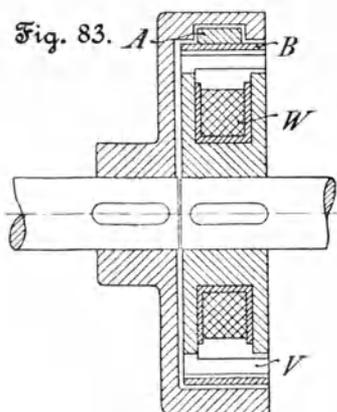
16) Eine Frage, welche die Lebensfähigkeit einer Hebezeuganlage insofern bedingt, als genaues Einstellen und Anhalten wesentlich von ihr abhängen, ist die der Zuverlässigkeit und Sicherheit der angebrachten Bremsen. Die mechanischen Bremsen sind zurgenüge bekannt; es möge hier nur betont werden, dass kein Kran ohne gute mechanische Lüftungsbremse oder gleichwertige elektrische Bremse ausgeführt werden sollte, dass die Bremsachse, sofern es sich um Backenbremsen handelt, durch Anwendung zweier oder mehr symmetrischer Bremsklötze entlastet sein sollte, und dass es sehr ratsam ist, eine zwangläufige Verbindung zwischen Bremsgestänge und Steuervorrichtung mit entsprechendem totem Gange vorzusehen, sodass die Bremsen nicht zu früh und nicht zu spät angezogen werden können. Die übliche

<sup>1)</sup> zwei, um stets sicheren Kontakt zu haben, auch wenn einer der Abnehmer unter einem den Speisedraht haltenden Isolator durchläuft, woselbst jener keinen Durchhang hat.

Lüftungsbremse, als Band- oder Klotzbremse ausgeführt, lässt sich in einfacher Weise elektrisch bedienen. Eine kräftige Feder oder ein Gewicht  $G$ , Fig. 82, zieht die Bremse für gewöhnlich fest. Durch den Elektromagneten  $E$  fließt entweder der Nebenschlussstrom, sofern es sich um einen Nebenschlussmotor handelt, oder er wird durch einen besonderen, unmittelbar an der konstanten Netzspannung liegenden Stromkreis erregt. Sobald nun der Motor eingeschaltet wird,



löst sich die Bremse, indem der Elektromagnet  $E$  seinen Anker  $G$  anzieht. Falls die Stromzufuhr aus irgend einem Grunde versagt, zieht die Bremse wieder an, während der Anker  $G$  abfällt. Um eine sichere Bremsung nach Stromunterbrechung zu erzielen, ist es von Vorteil, den Anker  $G$  durch Anschläge daran zu verhindern, dass er die Polschuhe vollständig berührt. Den Elektromagneten  $E$  durch den Haupt- oder Ankerstrom zu erregen, ist unzweckmässig, da dessen Gröfse von der Motorbelastung bei Anlauf



abhängig ist. Die Bremswirkung sollte durch Regelung der bremsenden Feder oder des Gewichtes dem einzelnen Falle entsprechend eingestellt werden können. Der Elektromagnet lässt sich fernerhin auch unmittelbar zum Bremsen, nicht allein zum Lösen benutzen. In Fig. 83 ist eine derartige magnetische Bremse in einer Ausführung als Hohlzylinderkupplung bzw. -bremse (D. R. P. 80748) wiedergegeben.  $W$  ist die erregende Wicklung,  $V$  stellt einen Kranz ineinandergreifender Polschuhe von abwechselnder magnetischer Polarität dar.  $B$  ist ein kolbenringartig federndes Band, das auf dem ganzen Umfange von dem erregten Magneten  $W$  auf die Polfortsätze  $V$  gepresst wird. Solange  $W$  stromlos ist, legt sich das Band  $B$  federnd an  $A$  an. Fig. 84 und 85<sup>1)</sup> zeigen eine recht verbreitete Ausführung der Dresdener Elektrizitätswerke A.-G. vorm. O. L. Kummer & Co. Die Erregerwicklung  $f$  ist auf einer durch den Arm  $d$  festgehaltenen Scheibe  $b$  untergebracht. Ihr gegenüber rotiert eine

<sup>1)</sup> Fischinger E. T. Z. 1896.

durch Federn  $k$  abgedrückte, mit ersetzbaren Schleifstücken  $i$  versehene Scheibe  $a$ . Bei Stromschluss in  $f$  schleifen die Polschuhe  $i$  bremsend auf der ebenfalls ersetzbaren Fläche  $h$ .

Die Zugkraft  $Z$ <sup>1)</sup>, mit der ein Elektromagnet seinen Anker an sich presst, ergibt sich in kg aus der Gleichung

$$Z = F \cdot \left(\frac{B}{5000}\right)^2 \cdot \dots \cdot (28),$$

wobei  $F$  der angepresste oder genauer der Kraftlinien führende Querschnitt in qcm und  $B$  die Induktion pro qcm ist, die sich aus der betreffenden Eisencharakteristik für einen gegebenen Erregerstrom entnehmen lässt. Im Durchschnitt kann für die grösste Zugkraft 16 kg/qcm Anpressungsfläche angenommen werden. Die durch die Kraft  $Z$  hervorgerufene Reibungsbremung wird in den besprochenen Konstruktionen, die auf einer Seite keine ununterbrochene

Fig. 84.

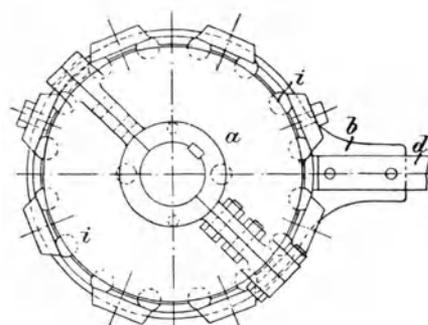
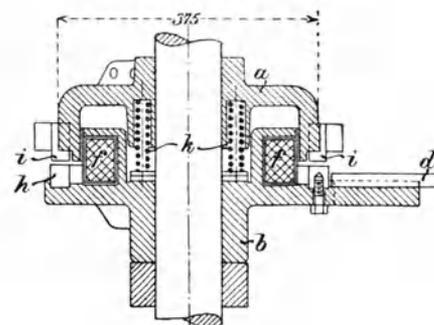


Fig. 85.

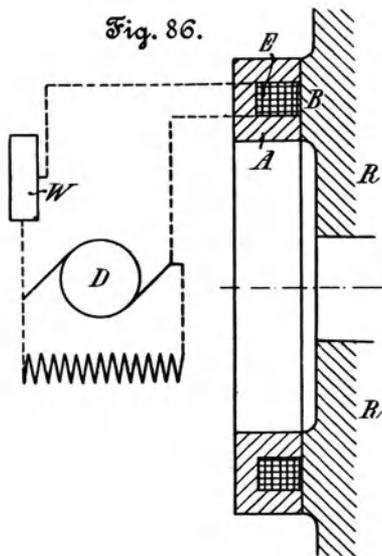


Bremsfläche, sondern einzelne vorspringende Pole besitzen, durch die hemmende Wirkung von Wirbelströmen ganz erheblich vermehrt. Die volle Fläche der Bremscheibe  $b$ , Fig. 85, bzw. des Bremsbandes  $B$ , Fig. 83, wird nämlich in rascher Folge in den einzelnen Teilen von verschiedenen grossen Kraftlinienflüssen durchsetzt, was bei dem geringen elektrischen Widerstande der Scheibe zu verhältnismässig kräftigen Wirbelströmen Veranlassung giebt.

Eine naheliegende und wirksame Bremsung bietet die Benutzung des Motors als Dynamo, indem man ihn vom Netze trennt und auf einen Widerstand, etwa auf den Anlasswiderstand, arbeiten lässt. Die Bremswirkung ist eine Funktion des entwickelten Stromes, der bei gleichem Widerstande mit abnehmender Geschwindigkeit immer kleiner wird, und zwar rascher als im Quadrat der Geschwindigkeit. Im Gegensatz zur gewöhnlichen Bremsung, bei der der Reibungskoeffizient mit zunehmender Geschwindigkeit eher noch abnimmt, wächst hier ebenso wie bei der eben besprochenen Wirbelstrombremung die Bremswirkung mit der Geschwindigkeit ganz beträchtlich. Um eine möglichst beschleunigte und sichere Bremsung zu erzielen, ist es zweckmässig, mit hoher Bremsstromstärke einzusetzen, d. h. wenig Widerstand in den Dynamokreis zu legen und ihn allmählich auszuscheiden, sodass der Strom etwa konstant bleibt. Dieser

<sup>1)</sup> H. du Bois, Magnet. Kreise S. 164.

rasche Vorgang ist womöglich nicht in das Belieben des Führers zu stellen, sondern nach Einleitung der Bremsung selbstthätig etwa durch einen Oelkatarakt zu veranlassen. Unter Umständen bremst der vom Netze getrennte Motor schon dadurch ziemlich wirksam, dass man ihn auf seine eigene Erregung arbeiten lässt. Bei der Verwendung des Motors als Dynamo ist zu beachten, dass in gewissen Fällen recht hohe, die Isolation gefährdende Spannungen entstehen können; eine etwa daraus hervorgehende zu hohe Stromstärke sollte mittels eines selbstthätigen Stromreglers durch Vorschalten von Widerstand innerhalb der zulässigen Grenzen gehalten werden.



Eine beachtenswerte Kombination der beiden genannten elektrischen Bremsen ist die von Sperry, die in Fig. 86 schematisch skizzirt ist. Die magnetische Bremse mit dem feststehenden Bremsringe *A*, der Erregerwicklung *E* und der Bremsfläche *B* entspricht den Fig. 84 und 85. *D* ist der Motor, der nunmehr in einer durch den Rheostaten *W* regelbaren Weise auf die Erregerwicklung *E* arbeitet. Die Vorrichtung wirkt dreifach: 1) durch gewöhnliche mechanische Bremsung in *B*, hervorgerufen durch die magnetische Anziehung *Z*; 2) entstehen durch die Polfortsätze von *A*, wie in Fig. 85, in der rotirenden Eisenscheibe *R* bremsend wirkende Wirbelströme; 3) wirkt der Motor als Dynamo. Aus der folgenden Tabelle geht die Vergrößerung der Bremswirkung durch Punkt 2) und 3) hervor; es bedeutet *B* die wirkliche bremsende Kraft und *A* die mittels  $\mu = 0,1$  aus dem Anpressungsdruck *Z*, Gl. (28), berechnete.

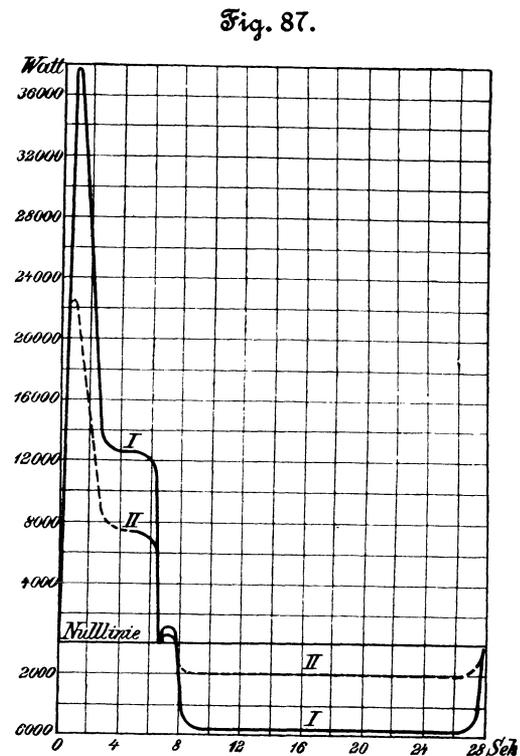
Bremsstrom	Spannung	B	A
Amp	V	kg	kg
5	1	60	3,4
15	3	916	56,1
41	8,5	1692	103,4

Diese Bremsung ist von der äußeren Stromzufuhr vollständig unabhängig.

Ueber den Bremsmagneten selbst seien nun noch einige Worte gesagt. Die Thomson-Houston Co. schmiert die Bremsfläche mittels Bürste mit Graphit, was die Abnutzung verringert und die Wirkung der Wirbelströme vergrößert. Die Erregerwicklung sollte den Erregerstrom immer in gleicher Richtung zugeführt bekommen. Weil der remanente Magnetismus die Bremsfläche leicht festhält, ist es vorteilhaft, sie durch eine Feder abdrücken zu lassen oder beim Einschalten des Motors durch einen schwachen Nebenschlussstrom abzustößen, der die Remanenz aufhebt. Da die Bremswicklung eine erhebliche Selbstinduktion besitzt, wird man gut thun, einen induktionslosen Widerstand dauernd parallel zu ihr zu legen, ähnlich wie es früher für das Ausschalten von Nebenschlusswicklungen der Gleichstrommotoren geschildert worden ist, um dadurch den Extraströmen beim Ausschalten einen ungefährlichen Verlauf zu geben. Auf die magnetische Bremse wird von Sperry und der Thomson-

Houston Co. der Motor durch eine vollständig zwangsläufige Schaltvorrichtung umgeschaltet, sodass für rechtzeitige Bremsung Gewähr geleistet ist und unheilbringende Fehlgriffe so gut wie ausgeschlossen sind.

Bei Kranen und Aufzügen, deren Fahrstuhlgewicht und Nutzlast nicht teilweise ausgeglichen ist, wirkt der Nebenschlussmotor während des Senkens von selbst als Bremse, und es kann diese Bremsleistung vorteilhaft zur Rückgewinnung von elektrischer Arbeit ins Netz benutzt werden. Der Motor liefert beim Lastsenken, sobald seine elektromotorische Kraft durch erhöhte Umlaufzahl die Klemmenspannung übersteigt, Strom ins Netz. Wie die in Fig. 87



wiedergegebenen Angaben der A.-E.-G.-Berlin<sup>1)</sup> zeigen, handelt es sich hierbei unter Umständen um ganz erkleckliche Beträge. Die Kurven geben den Energieumsatz eines Schiffskranes beim Laden an, und zwar Kurve I bei Volllast, Kurve II bei halber Last. Die unter der Nulllinie liegende Fläche stellt zurückgewonnene Arbeit dar. Der Drehstrommotor — obgleich Erfahrungen hierüber kaum zugänglich sind — eignet sich zu diesem Zwecke offenbar ebenfalls. Bei übersynchroner Umlaufzahl wird er asynchroner Generator mit einer Schlüpfung, die gegenüber dem asynchronen Motor als negativ bezeichnet werden muss, indem sich nämlich der erzeugte Drehstrom in der Zykelfahl vollständig mit dem Netzstrom synchronisiert<sup>2)</sup>. Aus der Darstellung des Drehmoments für den einachsigen Drehstrommotor, Fig. 78, erhellt ebenfalls, dass dieser von der halben synchronen Umlaufzahl ab ein negatives Drehmoment besitzt, also als Generator läuft.

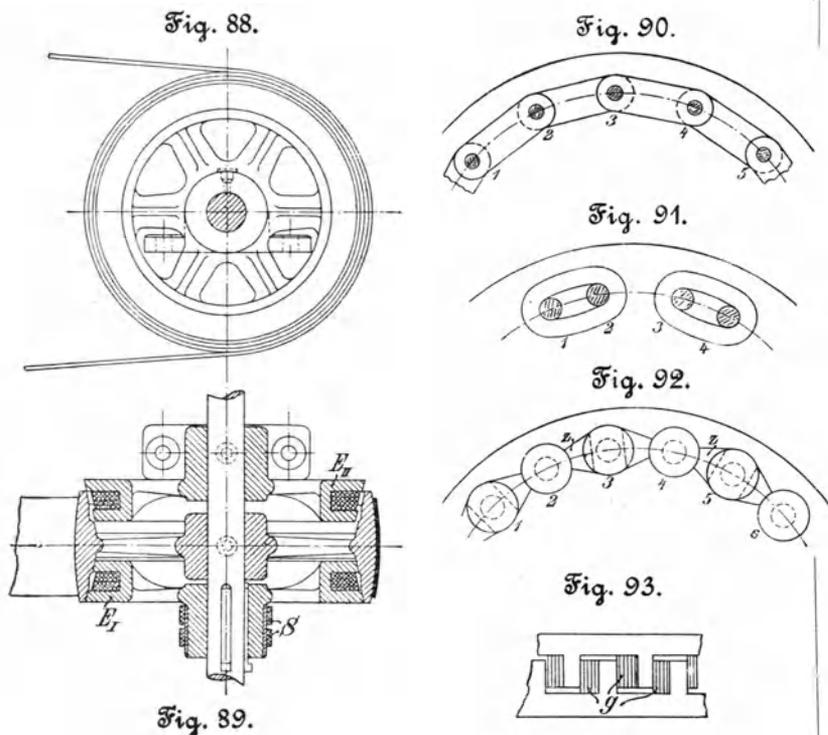
Die wirksamste, wenngleich bei Gleichstrommotoren häufig zerstörend wirkende Bremsung ist, den Strom im Anker umzukehren, während der Motor noch im früheren Sinne weiter läuft. Drehstrommotoren geeigneter Konstruktion ertragen diesen Vorgang ohne weiteres; Laufkrane der Maschinenfabrik Oerlikon weisen z. B. als einzige Steuerorgane 3 Hackmesserumschalter auf, die beliebig rasch umgelegt werden können.

17) Der Motor ist im allgemeinen und insbesondere bei starrer Uebersetzung durch eine nachgiebige Kupplung, die häufig als Bremse ausgearbeitet ist, mit dem Vorgelege zu

<sup>1)</sup> Elektrische Kraftübertragung und Kraftverteilung der A.-E.-G., 1897 (Jul. Springer).

<sup>2)</sup> S. Thompson, Polyphase currents, und L'Industrie électrique 10. Jan. 1897, Hutin & Leblanc.

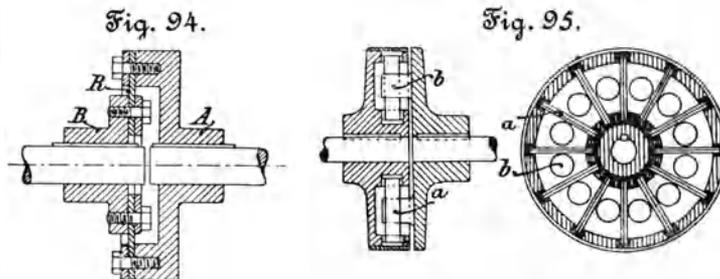
verbinden. Sofern diese elektrisch nach Art der bereits besprochenen Bremsen eingerichtet ist, löst sich bei Stromunterbrechung die Kupplung, sodass der Motor auslaufen kann, während das Vorgelege bzw. das Hebezeug gebremst wird. Die Einrichtung der elektromagnetischen Sicherheitskupplung von Siemens & Halske ist aus Fig. 88 und 89 ersichtlich:  $E_I$  ist der Kupplungsmagnet, der über die Schleifringe  $S, S$  seinen Strom bekommt,  $E_{II}$  ist ein Bremsmagnet, der bei Lösung der Kupplung in Tätigkeit tritt. Liegt die Erregerwicklung der magnetischen Kupplung an den Bürsten des Elektromotors, so wird das Vorgelege erst mitgenommen, nachdem eine gewisse Klemmenspannung, also eine gewisse Umdrehungszahl des Motors



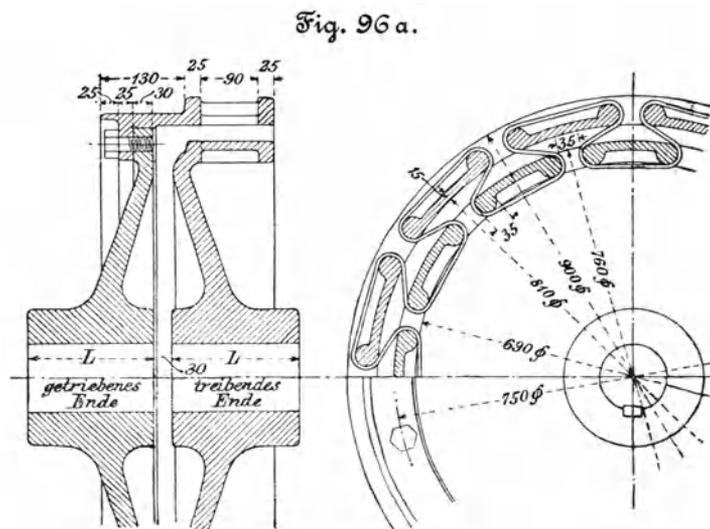
erreicht ist; der Motor läuft somit leer an. Falls der Motor vor Ueberlastung geschützt werden soll, lässt sich die Kupplung durch Differentialwicklung derart ausführen, dass sie bei zu hohem Hauptstrom den Motor abtrennt und das Vorgelege gebremst wird. Mechanisch kann eine derartige Kupplung nach zwei Gesichtspunkten in der Form der Zentrifugalbremsen entworfen werden: einmal als Kupplung, die erst nach Erlangung einer bestimmten Umlaufzahl durch Zentrifugalkraft eingerückt wird, wenn z. B. gegen hohe Umlaufzahl, wie beim Nebenschlussmotor, der ja nicht durchgehen kann, nicht zu schützen ist; andererseits als Kupplung, die sich bei zu hoher Geschwindigkeit löst und dann zugleich bremst. Beide Vorgänge können auch durch ein gewöhnliches Zentrifugalpendel eingeleitet und im weiteren elektrisch besorgt werden.

Die elastischen Kupplungen haben in der Ausführung zahllose verschiedene Formen angenommen, von denen nur einige typische Fälle hier Erwähnung finden mögen. Die Maschinenfabrik G. Luther in Braunschweig stellt seit einigen Jahren lösbare Bürstenkupplungen her, die gerade für elektrische Betriebe mit hoher Umdrehungszahl und kleinen Umfangskräften zu empfehlen sind. Die eine Kupplungshälfte besteht aus langen federnden Stahlbürsten, während die gegenüberstehende die nicht biegsamen Mitnehmerrippen trägt; s. Bach, Maschinenel. 5. Aufl. Taf. 23. Fig. 90 zeigt die Lederstreifenkupplung, wie sie z. B. von Schuckert und der Maschinenfabrik Esslingen ausgeführt wird; 1, 3, 5 sind je Bolzen einer Scheibe auf der treibenden, 2, 4, 6 solche auf der angetriebenen Welle. Auf jeden Bolzen sind abwechselnd gerichtet eine Reihe Lederstreifen geschoben. Fig. 91 ist eine Raffard-Kupplung mit Kautschukringen, welche die Bolzen 1 und 2, 3 und 4 der beiden Scheiben verbinden. Die Maschinenfabrik Esslingen hat in recht zweckmäßiger Weise die Kautschukringe, die nicht auf Lager gehalten

werden können, durch entsprechende Lederringe ersetzt, welche aus einem Riemen aufgewickelt und durch einige Schrauben zusammengehalten werden. In Fig. 92 ist eine Konstruktion skizziert, deren elastische Zwischenlagen  $z$  auf Druck, nicht wie in Fig. 90 und 91 auf Zug, beansprucht werden. 1, 3, 5... gehören wiederum der treibenden, 2, 4, 6... der angetriebenen Scheibe an. Ähnliches gilt für die Skizze Fig. 93, welche, kurz gesagt, eine ausgebreitete Klauenkupplung mit Gummizwischenlagen  $g$  darstellt. Etwas weniger nachgiebig ist eine Kupplung, die auf einer Scheibe zwei Stahlbolzen mit stramm übergeschobenem Gummiring trägt, während die andere Scheibe zwei radiale Schlitzlöcher hat, in die jene Bolzen eingreifen. In Fig. 94, einer Aus-



föhrung der Firma C. & E. Fein, Stuttgart, stellt ein Lederring  $R$  die Verbindung zwischen den beiden Scheiben  $A$  und  $B$  her. Für kleinere Motoren ist die allerdings nicht nachgiebige Stahlbandkupplung der A.-E.-G.-Berlin, Fig. 95, empfehlenswert, die auf der einen Scheibe einen Kranz von Bolzen  $b$  und auf der anderen eine Reihe radialer Stahlbänder  $a$  trägt. In Fig. 96a ist die durch sinnreichen Aufbau äußerst nachgiebig gestaltete Bandkupplung von Zodel-Voith vollständig aufgezeichnet. Ein leicht beschaffbarer Leder- oder Baumwollriemen  $W$  — im Gegensatz zu Kautschuk, der mit der Zeit brüchig wird und nicht auf Lager zu halten ist — schlingt sich nahtartig durch Schlitzlöcher der zwei konzentrisch in einander angeordneten Scheiben  $S_1$  und  $S_2$ . Es kommt so die volle Elastizität des ganzen Riemens beim Anlaufen und bei Geschwindigkeitsschwankungen in Tätigkeit. Der Riemen nützt sich durch Reibung so gut wie nicht ab. Der äußere Schlitzring der Scheibe  $S_1$  kann abgeschraubt werden.

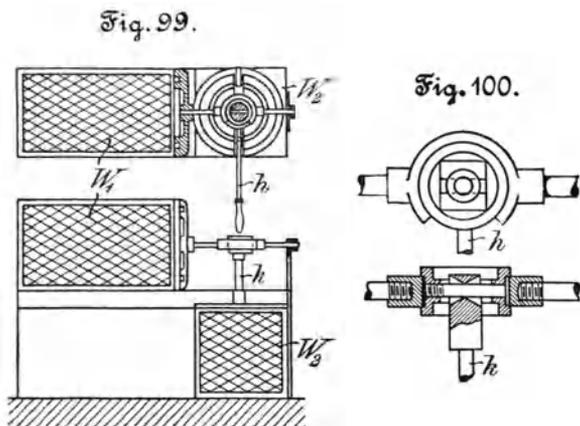


Was Reibungskupplungen angeht, die bei geringen Uebertragungsmomenten wohl am Platze sind, so sei auf eine Konstruktion<sup>1)</sup> hingewiesen, die darin besteht, dass eine kleine Scheibe aus gepresstem Papier auf der Achse des in einer Schwinge gelagerten Motors sich zwischen zwei größeren Riemenscheiben presst, welche, durch einen Riemen umschlungen, die Bewegung auf einander übertragen. Die eine der beiden Scheiben sitzt auf der Uebertragungswelle, welche

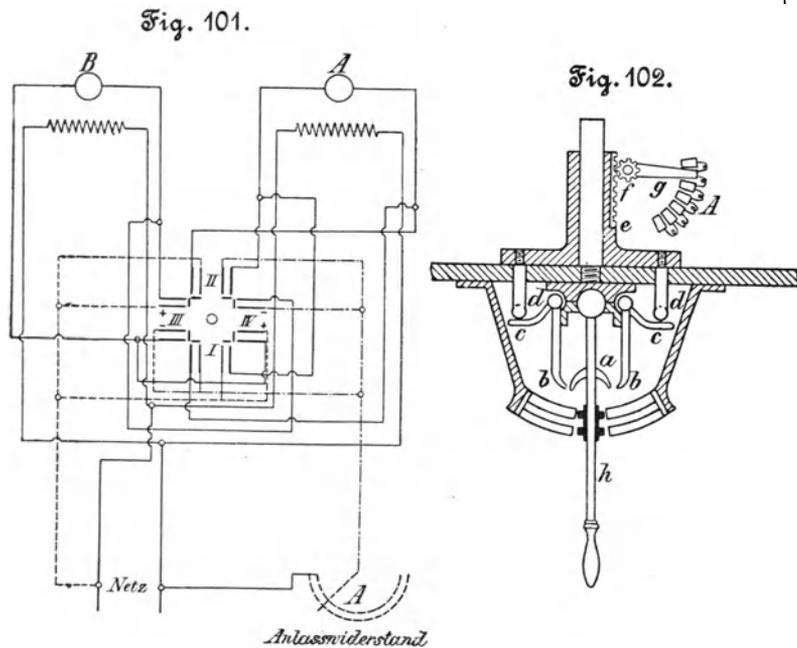
<sup>1)</sup> Electrician 25. Sept. 1896.



die ja häufig daran kranken, dass der Wärter zu viele Hebel zu bedienen hat, so möge die Steuervorrichtung der Union E.-G., Berlin<sup>1)</sup>, gewürdigt werden. Die Drehkrane haben überhaupt nur einen Steuerhebel *h*, Fig. 99, dessen Bewegung die Last im Raume genau folgt, sowohl was Heben und Senken, als was Drehung anbelangt. Bewegt man *h* in einer senkrechten Ebene auf oder ab, so wird der Umkehranlasswiderstand  $W_1$  für den Lastmotor bethätigt, während bei einer wagerechten Drehung der Umkehranlasswiderstand  $W_2$  für den Drehmotor in Thätigkeit tritt. In Fig. 100 ist in etwas größerem Maßstabe das Drehgelenk angedeutet. Beim Los-



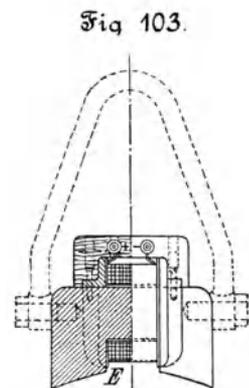
lassen fällt der Steuerhebel jeweils in die Nulllage zurück. Die Laufkrane der genannten Firma haben zwei ganz ähnliche Hebel, einen für beide Fahrbewegungen und einen für die Last. Es können natürlich verschiedene Bewegungen zugleich ausgeführt werden. Fig. 101 und 102 stellen eine weitere Ausführung ebenfalls der Union E.-G. dar, die außer dem Vorteil des eben erwähnten Apparates noch den besitzt, das Anlassen zweier Motoren mittels eines einzigen Anlasswiderstandes — allerdings zeitlich nach einander — zu ermöglichen. Legt man den Steuerhebel *h* der Fig. 102, welche die konstruktive Ausführung der mittleren Teile der schematischen Skizze Fig. 101 wiedergibt, verbindend in die beiden



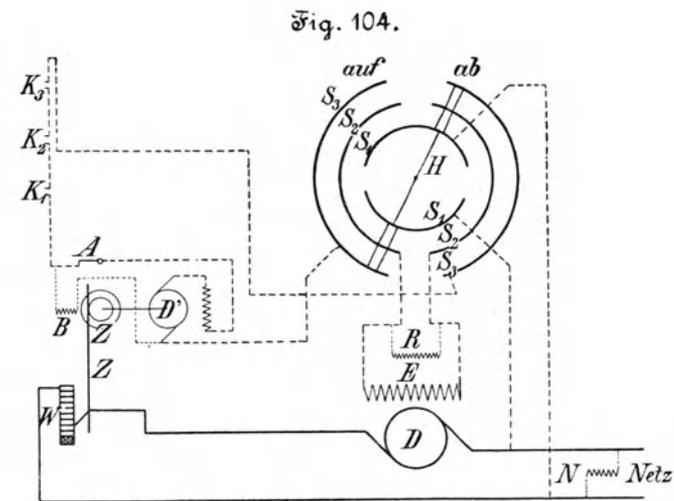
Schlitze I, so läuft der Lastmotor *A* linksrum, wenn in II, rechtsrum; die Schlitze III und IV dienen zur entsprechenden Inbetriebsetzung und Umsteuerung des Drehmotors *B*. Der Hebel *h*, Fig. 102, schaltet bei jeder Steuerbewegung über die Anschläge *a*, die Winkelhebel *b, c*, die Stifte *d*, die Zahnstange *e* und den Trieb *f* weg den Anlasswiderstand *A* jeweils aus und ein.

<sup>1)</sup> E. T. Z. 1895 S. 390.

Die Bedienung eines elektrischen Kranes kann im allgemeinen ohne weitere Schulung von jedem Arbeiter übernommen werden; wesentlich ist es, dem Wärter einen solchen Standpunkt auf dem Krane zu geben, dass er die zu bestreichende Fläche gut übersieht. In dieser Hinsicht ist die Anordnung des Laufkranes in Z. 1897 Taf. III mit unten rechts angehängtem festem Führerstand und sieben Speisedrähten für die Katze jedenfalls, sofern es die örtlichen Verhältnisse zulassen, der anderen häufig anzutreffenden Gruppierung vorzuziehen, bei welcher der Kranwärter oben auf der Kranbühne die Schaltungen zum Heben und Senken sowie zur Querbewegung an Steuerapparaten zu besorgen hat, die mit der Laufkatze beweglich angeordnet sind, und bei der der Motor für die Längsbewegung durch eine quer über die Kranbühne gehende Zugvorrichtung eingeschaltet werden muss. Beiläufig sei noch bemerkt, dass die Manövrierfähigkeit von Laufkranen in Eisengießereien und Montagewerkstätten durch Anwendung von Hebeelektromagneten statt der üblichen Haken ganz wesentlich erhöht werden kann. Ein Elektromagnet für Hebezwecke aus dem Royal Arsenal, Woolwich, ist in Fig. 103 nach der Electrical Review vorgeführt. Die Erregerwindung *E* hat zur Sicherheit zwei Zuleitungspaare. Der Schalter und der Widerstand liegen auf dem Kranwagen, der Erregerstrom schwankt zwischen 3 und 4 Amp bei 20 bis 30 V, die größte Tragfähigkeit überschreitet 1600 kg. Die zu hebenden Geschosse haften, obwohl ihre Oberfläche rau und dick mit Farbe bestrichen ist, dennoch fest an dem Magneten<sup>1)</sup>. Für unregelmäßig gestaltete Oberflächen lassen sich eine Reihe beweglicher, selbstthätig einstellbarer Polschuhe zur Anwendung bringen.



20) Was nun rein elektrisch betriebene Aufzüge anbelangt, so ist nach dem bereits oben Gesagten die sicherste Lösung die — mag sie an und für sich auch noch so verwickelt erscheinen, wenn die Anordnung nur ähnlich der Westinghousebremse vollständig selbstthätig arbeitet —, durch Drücken oder Verschieben eines Knopfes die gewünschte Schaltung einzuleiten, das übrige aber durchweg selbstthätig besorgen zu lassen. In vielen Fällen genügt es auch, durch das Steuer-



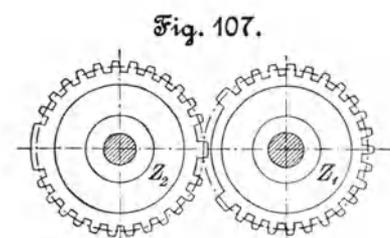
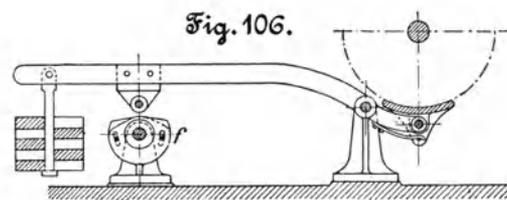
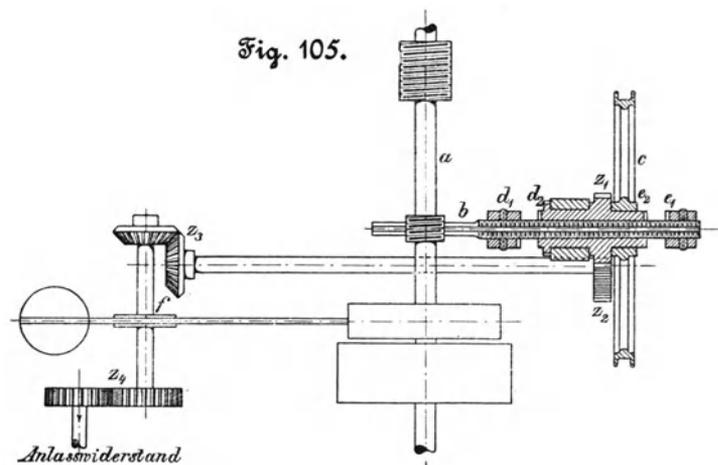
seil den Motor bzw. seinen Anlasser soweit einzuschalten, dass er gerade anläuft; die weitere Regulierung überlässt man einer Schaltvorrichtung auf der Motor- oder Trommelachse oder einem Zentrifugalpendel. Eine derartige Ausführung zeigt Fig. 104, herrührend von der Allgem. Elektrizitäts-Gesellschaft-Berlin (D. R. P. 82629). Das Steuerseil dreht den Hebel *H* in eine der beiden Stellungen »auf« oder »ab«. Der Hebel schließt zunächst die Erregung *E* des Hauptmotors *D* über Schiene *S*<sub>2</sub>, dann den Stromkreis des Hilfsmotors *D*' über Schiene *S*<sub>3</sub>. Letzterer

<sup>1)</sup> s. a. The Iron Age 12. Aug. 1897.

schaltet den Vorschaltwiderstand  $W$ , der zugleich Ausschalter ist, vermittels Zahnrades und Zahnstange  $Z$ ,  $Z$  allmählich aus. Die Zahnstange  $Z$  unterbricht in ihrer obersten Stellung mit Hilfe eines Anschlages die Zuleitung zu  $D'$  durch den Ausschalter  $A$ , während  $Z$  selbst noch durch die magnetische Kupplung  $B$  oben festgehalten wird.  $K_1, K_2, K_3$  sind Kontakte, die erst bei geschlossener Fahrstuhlhür verbunden werden und vorher eine Inbetriebsetzung unmöglich machen. Zur Erregung  $E$  parallel liegt ein großer Widerstand  $R$ , um Unterbrechungsfunken beim Abschalten von  $E$  zu verhindern.  $N$  stellt die Wicklung einer magnetischen Sicherheitsbremse dar, die, solange Strom in den Motor fließt, gelüftet ist, sonst aber unbedingt bremsst. Während der Fahrt des Fahrstuhles werden nunmehr die Schienen  $S_2$  und  $S_3$  durch eine vom Motor  $D$  bewerkstelligte Uebersetzung unter dem Hebel  $H$  weggedreht, bis schliesslich  $S_3$  unter  $H$  weggleitet und die Kupplung  $B$  unterbrochen wird. Die Folge davon ist, dass die Zahnstange  $Z$  vermöge ihrer Schwere nach unten sinkt und der Motor  $D$  rasch unter Vorschaltung des Widerstandes  $W$  ausgeschaltet wird. Gleich darauf verlässt  $S_2$  den Hebel  $H$  und unterbricht die Erregung  $E$ . Da die Schaltung selbstthätig vor sich geht, kann sie auf genaue Einstellung ein für allemal einregulirt werden.

Ohne hier die große Zahl ausgeführter Schaltungsschemen im einzelnen wiedergeben zu wollen<sup>1)</sup>, möchte ich immerhin ihrer grundlegenden Züge Erwähnung thun. Bei einer nun zunächst zu besprechenden Ausführung schließt der Wärter mit Hilfe des Steuerseils drei Kontakte, durch die in erster Linie die Erregung und weiter der allerdings noch durch ein Relais unterbrochene Ankerstromkreis eingeschaltet wird. Dieses im Erregerkreis liegende Relais  $R_1$  schließt sodann den Ankerstrom bei vorgeschaltetem Anlasswiderstand endgültig. Sowie der Motor eine gewisse Umdrehungszahl erreicht hat, schaltet ein Zentrifugalpendel jenen Vorschaltwiderstand mittels eines Relais  $R_2$  durch Kurzschließen aus. Unterbricht das Steuerseil die drei genannten Kontakte, so legt Relais  $R_1$  sofort die Erregung vom Netze weg auf zwei Glühlampen. Der Motor wird, sobald man die Steuerung in die Mittellage auf Halt stellt, als Dynamo kurz geschlossen und, solange er läuft, hierzu über einen vom Zentrifugalpendel geschlossenen Stromkreis vom Netz erregt, was allerdings wegen dieser Abhängigkeit von aussen nicht für unbedingte Zuverlässigkeit der Bremsung spricht. Eine weitere Konstruktion ist mit je einem Relais für die Auf- und die Abwärtsbewegung ausgerüstet. Drückt man in der Kabine auf einen der beiden vorhandenen Druckknöpfe, so schließt man über ein im Schacht herabhängendes bewegliches Kabel das zugehörige Relais, welches den Motor im gewünschten Drehungssinn ans Netz legt. Sobald der Anker eine gewisse Umlaufzahl und damit eine gewisse Klemmenspannung aufweist, schließt ein an den Motorbürsten liegendes Relais den Anlasswiderstand kurz. Die Erregung liegt während der Betriebszeit dauernd am Netz. In den einzelnen Stockwerken sind Anschläge vorgesehen, die einstellbaren Stiften im Fahrstuhl entsprechen. Sie unterbrechen zur richtigen Zeit die Relaisleitung und ermöglichen damit, genau anzuhalten. In der obersten und untersten zulässigen Stellung muss der Fahrstuhl selbstthätig zum Stillstand gebracht werden. Es kann dies in der in Fig. 105 skizzirten Weise<sup>2)</sup> dadurch geschehen, dass man aufser der von Hand durch das Steuerseil, Scheibe  $c$  und Zahnräder  $z_1, z_2, z_3, z_4$  zu bethätigenden Steuerung noch eine weitere von der Motorwelle  $a$  in Betrieb gesetzte Ausrückvorrichtung anbringt. Die Hauptwelle  $a$  treibt die Steuerspindel an, die bei den äussersten Fahrstuhlstellungen die Klauenkupplung  $d_1, d_2$  bzw.  $e_1, e_2$  schließt, wodurch das Zahnrad  $z_1$  im erforderlichen Sinne mitgenommen und der Motor abgeschaltet wird. Die Aufzugwinde zeigt zugleich in Fig. 106 die durch die Steuerung ohne weiteres besorgte Bedienung der Bremse, die in der Ausführung natürlich doppelbackig ist, mittels der un-runden nachstellbaren Scheiben  $f$ . Fig. 107 stellt einen beach-

tenswerten Kunstgriff im Steuergetriebe dar. Um zu schnelles Umsteuern oder Uebersteuern zu vermeiden, hat man dem Zahnrade  $Z_1$  eine große Zahnücke gegeben, sodass immer geraume Zeit darüber vergeht, bis in anderem Sinne gesteuert werden kann. Der Aufzug kann auch in den äussersten Stellungen bequem elektrisch zum Stillstand gebracht werden, indem eine Relaisleitung oder die Hauptleitung mittels Schnappausschalters unterbrochen wird. Ein solcher Ausschalter ist in Fig. 108 in geschlossener, in Fig. 109 in geöffneten, unterbrochener Stellung nach einer Ausführung der Berlin-Anhaltischen Maschinenbau-A.-G. gezeichnet. Der Winkelhebel  $h$  wird durch Anschläge aus der Stellung Fig. 108 in diejenige Fig. 109 gedreht, wodurch der Ausschalter  $a$  geöffnet wird. Durch das Seil  $s$  lässt sich  $a$  wieder vom Fahrstuhl aus in die Schlussstellung zurückführen. Falls das Trage-seil etwa locker wird, muss der Fahrstuhl ebenfalls ohne weiteres stillgestellt werden, was am einfachsten durch die Spannung des Seiles selbst besorgt wird, welches etwa einen Ausschalterhebel entgegen einer Feder eingeschaltet hält und



beim Schlaffwerden freigibt, oder eine Leitrolle für gewöhnlich zurückdrückt und dann im Notfalle sich selber überlässt, wobei sie das Ausschalten besorgt.

Der Aufzug der Sprague Elevator Co., New York, für große Geschwindigkeiten und beträchtliche Hubhöhen ist von Prof. Gutermuth<sup>1)</sup> in seinen mechanischen Einzelheiten besprochen worden. Fig. 110 giebt die verschiedenen Stromverzweigungen zu den Motoren und Hilfsapparaten schematisch wieder. Der Betriebselektromotor läuft nur in einem Sinne um; zum Senken wird das Eigengewicht der Kabine benutzt, wobei der Motor vom Netz getrennt als Dynamo zur Bremsung dient. Beim Heben zeigt demnach ein derartiger Aufzug recht erheblichen Stromverbrauch, während er beim Senken Null ist. Die für parallelen Lichtbetrieb störenden Schwankungen dürften unter sonst gleichen Umständen bei diesem Aufzug größer sein als bei andern. Der Spraguesche Aufzugantrieb besteht bekanntlich nicht aus Schneckengetriebe und Windtrommel, sondern aus einer langen vom Motor gedrehten Schraube, die zur Verminderung der Reibung auf Kugeln läuft und die beweglichen Flaschen des wagerechten Seilflaschenzuges verschiebt. Inwiefern dieser Gedanke, durch

<sup>1)</sup> Wer hierfür Interesse hat, sei auf einen längeren Aufsatz des Génie Civil 1896 No. 22 u. f. sowie auf Nouvelles Annales de la Construction Juli 1896 u. f. verwiesen.

<sup>2)</sup> Patent der Berlin-Anhaltischen Maschinenbau-A.-G.

<sup>1)</sup> Z. 1894 S. 1573.

die Schraube zuerst ins Langsame und dann durch die Flasche wieder ins Rasche zu übersetzen, glücklich ist, bleibe dahingestellt, da eben hoher Nutzeffekt und ruhiger Gang bei hoher Fahrgeschwindigkeit widersprechende Forderungen sind. Der elektrische Vorgang bei der Auffahrt ist nun gemäß Fig. 110 folgender: Der Umschalter  $U$  im Fahrstuhl oder in irgend einem Stockwerk wird auf Stellung 1 gelegt. Dadurch erhält der kleine Hilfsmotor  $H$ , der Reihenwicklung trägt, über den Kontakt  $b$  hinweg Strom. Zugleich löst sich die magnetische Bremse  $h$ , worauf sich der Hilfsmotor  $H$  entsprechend der oberen Erregerwicklung  $e_1$  nach bestimmter Richtung in Bewegung setzt. Die Schnecke  $f$  dreht nunmehr den Hebel  $C$  des Anlasswiderstandes, der zwischen  $x$  und  $y$  stand, gegen den Sinn des Uhrzeigers. Zunächst schaltet hierbei  $C$  den Hauptausschalter  $A$  nach I ein und läuft dann über die Kontakte des Vorschaltwiderstandes  $V$ ,

Fig. 108.

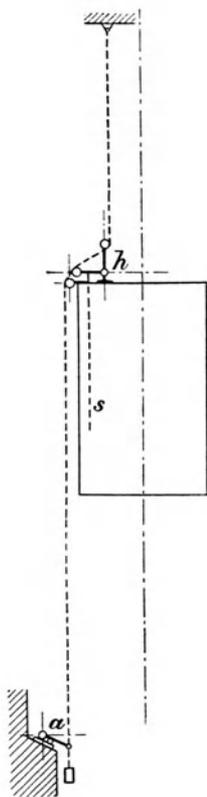
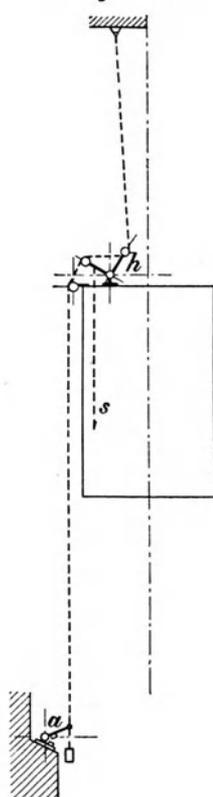


Fig. 109.



bis dieser in Lage  $y$  ganz abgetrennt ist. In diesem Augenblick wird der Hilfsmotor  $H$  durch den mittels Schraube wagerecht verschobenen Schaltmechanismus  $S$  unterbrochen und durch Bremse  $h$  augenblicklich festgebremst, indem die Zuleitung  $l_1$  auf das schraffierte, aus Isolationsmasse bestehende Stück zwischen  $a$  und  $b$  zu liegen kommt. Der Hauptstrom geht jetzt durch den Hauptmotor  $D$  und die Reihenerregung  $E_s$  und löste durch die Wicklung  $B_s$  die magnetische Bremse  $B$ . Die Nebenschlusserregerwicklung  $E_n$  liegt dauernd über dem Widerstande  $w$  am Netz. Zum Anhalten wird  $U$  auf 2 gestellt. Der Hilfsmotor  $H$  dreht sich infolgedessen durch Stromschluss über  $a$  ( $S$  steht entsprechend),  $e_2$  und  $h$  in umgekehrtem Sinn wie zuvor. Der Schalthebel  $C$  bewegt sich im Uhrzeigersinn bis  $x$  zurück und löst gerade noch den Ausschalter  $A$ , worauf sich der Motor  $D$  sowie  $H$  stillstellt und die Bremse  $B$  bei stromlosem  $B_s$  angezogen wird. Zur Abwärtsfahrt der Kabine dient die Stellung 3 des Umschalters  $U$ . In diesem Falle bewegt sich der zwischen  $x$  und  $y$  ruhende Hebel  $C$  im Uhrzeigersinn nach links, schließt Ausschalter  $A$  auf II und macht darauf in  $y$  Kontakt. Nun ist der Motor als Dynamo bei Netz-erregung  $E_n$  auf sich selbst kurz geschlossen. Die magnetische Bremse  $B$  ist noch angezogen, da  $B_s$  ausgeschaltet ist; anderseits hat inzwischen das Stück  $S$  die beiden Enden  $z_1$  und  $z_2$  auf  $c$  verbunden, sodass die Bremswicklung  $B_n$  jetzt Strom bekommt. Die Bremse  $B$  wird damit gelüftet,

und der Fahrstuhl setzt sich allmählich in Bewegung, den kurz geschlossenen Motor antreibend. Gleichzeitig wandert der Hebel  $C$  immer mehr gegen  $x$  hin und schaltet Widerstand  $V$  vor, wodurch der Motor  $D$  in seiner Bremsleistung entlastet wird und der Fahrstuhl rascher läuft. Wächst die Geschwindigkeit der Kabine über eine zulässige Grenze, so unterbricht der Zentrifugalregulator  $R$  den Kreis  $B_n$ , und die Bremse  $B$  stellt den Aufzug fest. Soll nunmehr angehalten werden, so bringt man  $U$  wieder auf 2, und der Hilfsmotor  $H$  dreht  $C$  nach  $y$  zurück, in welcher Lage der Motor  $D$  kurz

Fig. 110.

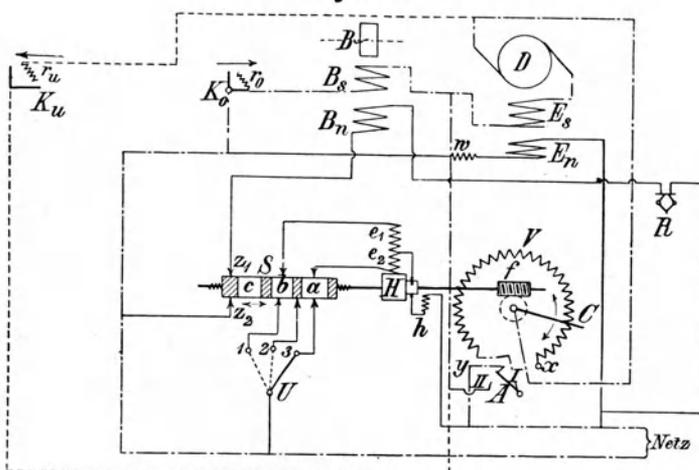
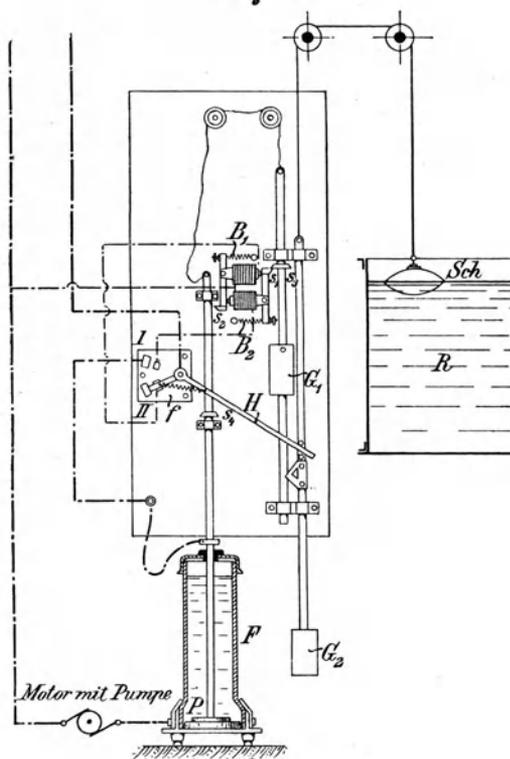


Fig. 111.



geschlossen und damit kräftig gebremst wird, während gleichzeitig durch Unterbrechung von  $z_1 z_2$  auf  $S$  die Bremse  $B$  angepresst wird. In der oberen Grenzstellung wird der Fahrstuhl durch den Sicherheitsausschalter  $K_o$  angehalten, welcher über den Widerstand  $r_o$  weg den Hauptstromkreis  $D$  und die Bremswicklung  $B_s$  ausschaltet. Für die unterste Stellung wird der Ausschalter  $K_u$  benutzt, der nach allmählichem Ausschalten von  $r_u$  den Motor, der ja in diesem Falle als Dynamo arbeitet, unter Umgehung des Widerstandes  $V$  kurz schließt und damit festbremst. Der Schalthebel  $U$  ist derart konstruiert, dass er beim Loslassen von selbst auf Halt (2) fällt. Neuere Sprague-Aufzüge erreichen dadurch verschiedene Fahrgeschwindigkeiten, dass verschieden lange auf den

Schaltknopf gedrückt und damit der Hilfsmotor zu verschiedenen Zeiten ausgerückt wird, welcher je der Kontaktdauer entsprechende Vorschaltwiderstände  $V$  vor dem Motor belässt. Ueberdies ist in jedem Stockwerk ein Druckknopf vorgesehen, mit dem man die Kabine beiholen kann, der jedoch unwirksam ist, falls der Fahrstuhl sich unterwegs befindet. Aufser der bereits genannten Hubbegrenzung elektrischer Natur hat der Aufzug noch eine mechanische in der die bewegliche Flasche führenden Mutter und Sicherheitsmutter. Sobald der Uebertragungswiderstand abnorm wird, dreht sich einfach die Mutter mit, ohne sich zu verschieben.

An dem elektrischen Otis-Aufzug ist gegen zu hohe Geschwindigkeit ein Zentrifugalpendel angeordnet, das eine mechanische Bremse und eine Klingel im Fahrstuhl bethätigt und ebenso, wie sonst ein Elektromagnet, bei zu starkem Strom die Umsteuerung ausklinkt, sodass in einer durch einen Katarakt geregelten Zeit ausgeschaltet wird. Die Lager haben durchweg Thermostaten, die beim Warmwerden eine Glocke ertönen lassen. Eine weitere recht beachtenswerte Schaltanordnung besitzt wie der Spraguesche Aufzug im Fahrstuhl drei Druckknöpfe für Aufwärtsbewegung und Stillstand. Jeder der 3 Kontakte schliesst ein zugehöriges Relais, das je mittels schwingenden Quecksilberunterbrechers einen umsteuerbaren Hilfsmotor in entsprechendem Sinne ans Netz legt. Letzterer verschiebt nun eine Zahnstange, die durch Anschläge alle erforderlichen Schaltbewegungen ausführt, nämlich zunächst den Hauptausschalter schliesst, womit zugleich die Erregung eingeschaltet wird, dann mit Hilfe einer unrunten Scheibe die Bandbremse löst, um im selben Augenblicke durch einen Stromwender den Ankerstrom zu schliessen, welcher zugleich eine Reihenerregerwicklung durchfließt. Schliesslich wird der durch einen Anschlag zurückgehaltene Schalthebel des Anlasswiderstandes freigegeben. Dieser Hebel ist damit der Wirkung eines Ankerstromsolenoids ausgesetzt, das den Vorschaltwiderstand und zuletzt auch die Reihenerregung ausschaltet, welche nur zum Anziehen erforderlich war. In der Endstellung unterbricht sich jeweilig der Hilfsmotor. Beim Anhalten erfolgen die Schaltbewegungen in umgekehrter Reihenfolge.

Bemisst man den Vorschaltwiderstand kräftig genug, so lässt sich aufser den Druckknöpfen für Auf- und Abwärtsbewegung und Stillstand noch einer für langsamen Gang einfügen. Es ist nur inbetracht zu ziehen, dass der Spannungsabfall im Widerstande und damit auch die Verminderung der Umlaufzahl von der Belastung abhängig ist. Die Stromkreise der verschiedenen Relais führt man zweckmässig zu den Aufzugthüren und ähnlich gefährdeten Punkten, damit

überhaupt keine Bewegung eintreten kann, bevor nicht alles in Ordnung ist. Halbe Umsteuerungen müssen ausgeschlossen sein; drückt man etwa zu kurze Zeit auf den Schaltknopf, so muss der Apparat entweder in Ruhe bleiben bezw. sofort dorthin zurückkehren, oder aber wirklich ganz umsteuern.

Bei vorhandenen hydraulischen Aufzügen lassen sich zur Erzielung grösserer Wirtschaftlichkeit und besonders einfacher Bedienung die Presswasserpumpen durch Elektromotoren betreiben. Es ist dies eine Kombination, wie sie in Theatern und Hotels mehrfach zur Ausführung gekommen ist. Die Elektromotoren lassen sich entweder durch Anschläge am hydraulischen Akkumulator oder durch ein Druckventil bezw. einen Druckmesser, durch einen Wassercylinder mit Differentialkolben oder auch durch einen Schwimmer im Hochbehälter in Gang setzen, ohne besondere Aufsicht zu erfordern; und zwar kann dies direkt geschehen, wie in Ausführungen der Firma Siemens & Halske, vermittels des in Fig. 32 bis 34 skizzirten Anlassers, wobei das Zentrifugalpendel z. B. durch das Gestänge eines Druckventils ersetzt ist, oder aber mittels eines kleinen Hilfsmotors. Es ist recht wesentlich, dafür Sorge zu tragen, dass die Umsteuerung stets rasch und vollständig wirkt und nicht auf halbem Wege stehen bleibt. Um leichter in Betrieb zu kommen, ist es unter Umständen ratsam, in die Pumpenleitung ein Ueberströmventil zwischen Druck- und Saugraum einzuschalten. In Fig. 111 soll noch eine schematische Darstellung der Umsteuerung einer elektrisch angetriebenen Pumpe gegeben werden<sup>1)</sup>. Es ist der Augenblick aufgezeichnet, in dem der Behälter gefüllt ist und der Motor stillsteht. Es ist jedoch in der Figur bis jetzt nur der Hauptstrom in I unterbrochen. Die Stellung II schliesst oben den Stromkreis auf die Spule  $B_1$ , Schneide  $s_1$  wird angezogen,  $s_1$  wird frei, und das Gewicht  $G_1$  fällt nach unten, wobei es die Metallplatte  $P$  des Flüssigkeitswiderstandes  $F$  hochzieht, bis  $s_1$  in  $s_2$  einschnappt. Entleert sich nunmehr der Behälter  $R$ , so sinkt der Schwimmer  $Sch$ , und die Gewichte  $G_2$  und  $G_1$  sowie Hebel  $H$  werden solange gehoben, bis die Feder  $f$  durchschnappt und der Ausschalthebel augenblicklich von II auf I überspringt. Spule  $B_1$  wird damit unterbrochen,  $s_1$  schiebt sich unter  $s_3$ , Spule  $B_2$  bekommt Strom,  $s_2$  giebt  $s_4$  frei, und die Kontaktplatte  $P$  sinkt langsam in der Flüssigkeit abwärts, um ganz unten in eine kurzschliessende Quecksilberschicht zu tauchen. Die Geschwindigkeit des Anlassens kann durch Verdecken oder Oeffnen von Löchern in der Platte  $P$  beliebig geregelt werden.

<sup>1)</sup> A. Oppenheim, Z. f. E., Wien, XV Heft 8.