

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



I. inw.

~~1846~~

ek

Technik

and

Die Krankheiten
elektrischer
Maschinen

VON

Ernst Schulz

Oberingenieur

Drittes Tausend



Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchh., Hannover

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297158

1175

II 1846

Bibliothek der gesamten Technik. • Zweiter Band.

Die Krankheiten elektrischer Maschinen

Kurze Darstellung
der Störungen und Fehler an Dynamomaschinen,
Motoren und Transformatoren für Gleichstrom,
:: :: ein- und mehrphasigen Wechselstrom :: ::
für den praktischen Gebrauch der Installateure

Von
Ernst Schulz
Ober-Ingenieur

————— Mit 42 Abbildungen im Text —————

Drittes Tausend



Hannover
Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung
1905

P 10/98.



I-301713

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

II ~~1846~~

Akc. Nr. 300 ~~150~~

VORWORT

Das kleine Werkchen verdankt sein Entstehen dem von verschiedenen Seiten geäusserten Wunsche, es möge der Verfasser seine früheren knappen Veröffentlichungen über den vorliegenden Gegenstand in erweiterter Form zusammenfassen und in Buchform herausgeben. Indessen würde ich diesem Begehren nicht ohne weiteres Folge geleistet haben, wenn nicht tatsächlich auf diesem Gebiete ein derartiges kleines Werkchen bisher entbehrt wurde. Weder in den recht guten Kalendern und Taschenbüchern, wie solche z. B. von Pohl*), Uppenborn und Frh. v. Gaisberg verfasst, seit einer langen Reihe von Jahren sich weite Kreise des Publikums erobert haben, noch in unseren grösseren Fachschriften findet sich eine zum Gebrauch für die Techniker und Monteure von Installationsbureaus zweckmässige Zusammenstellung der Fehler und Störungen elektrischer Maschinen. Eine solche Zusammenstellung soll einerseits kurz gefasst sein und theoretische Auseinandersetzungen, wenn sie nicht unbedingt notwendig sind, vermeiden; andererseits soll sie aber gerade dem Praktiker möglichst umfassende Regeln an die Hand geben, damit ihn der Rat des kleinen Buches selten oder nie im Stich lässt.

Meine zwölfjährige Praxis als Konstrukteur und meine jetzige Stellung als Civilingenieur hat mir Tausende von Maschinen aller Art durch die Hände gehen lassen, so dass ich mir ein Urteil über

*) Die Montage elektrischer Licht- und Kraftanlagen. Ein Taschenbuch für Elektromonteuere, Installateure und Besitzer elektrischer Anlagen. Von H. Pohl, Oberingenieur. Mit 328 in den Text gedruckten Beispielen und Schaltungen. Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover. Gebunden 4,40 Mk.

die Punkte, welche im Rahmen dieses Themas zu behandeln sind, wohl erlauben darf. Im allgemeinen habe ich im folgenden nur die im Betriebe auftretenden Fehler und Störungen in die Erörterung gezogen; doch lässt sich an diesem Grundsatz nicht immer streng festhalten, so dass auch zuweilen Fabrikationsfehler und solche Mängel, die in der Berechnung und Konstruktion ihre Ursache haben, besprochen werden. Ferner beschränken sich die Auseinandersetzungen nicht nur auf die Maschinen, sondern umfassen auch diejenigen Hilfsapparate, welche bei jedem Maschinenbetriebe unentbehrlich sind, nämlich Regulierwiderstände und Anlasser.

Die Einteilung des Themas ergab sich von selbst in vier grosse Abteilungen, nämlich:

Gleichstrommaschinen,
ein- und mehrphasige Wechselstromdynamos,
ein- und mehrphasige Motoren,
Transformatoren.

So möge denn das kleine Werkchen denjenigen, für welche es geschrieben ist, den gewünschten Nutzen bringen und ihnen ein sicherer Ratgeber sein.

I.

Gleichstrommaschinen.

Wir wollen die Störungen und Fehler zweckmässig einteilen in:

1. Ankerstörungen,
2. Fehler in der Bewickelung der Magnetspulen,
3. Fehler in den Regulatoren und Anlasswiderständen.

Ankerstörungen. Wir beginnen mit den Ankerstörungen. Dieselben zeigen sich dem Beobachter entweder durch eine mehr oder weniger starke, jedenfalls aussergewöhnliche Funkenbildung unter den Bürsten an oder auch durch aussergewöhnliche Erhitzung eines Teiles des Ankers, schliesslich noch durch Stromlosigkeit der ganzen Maschine und bei Motoren durch Nichtanlaufen derselben; jedoch gibt es noch einige andere Störungen, welche unter den Begriff Ankerstörungen fallen, ohne dass sie sich unter eine der vorgenannten Kategorien bringen lassen; diese werden wir besonders behandeln.

Funkenbildung. Die bei weitem am häufigsten auftretende Ursache für die Funkenbildung an den Bürsten ist schlechte oder unsachgemässe Behandlung des Kollektors bzw. der ganzen Maschine. In vielen Fällen hat es sich bei Beanstandungen von Gleichstrommaschinen herausgestellt, dass an der Maschine selber kein Grund für die anormale Funkenbildung zu finden war, dass vielmehr lediglich Unkenntnis oder Nachlässigkeit des bedienenden Maschinisten, gewöhnlich eines Laien, die alleinige Schuld trug. So kann z. B. durch ein einmaliges ungeschicktes Parallelschalten einer Dynamo mit einer anderen oder mit einer Batterie oder durch ein zu plötzliches Einrücken des Anlassers eines Motors, d. h., allgemein gesagt, durch die plötzliche Zufuhr oder Entnahme aussergewöhnlicher Stromstärken ein Brandfleck auf den Kollektor kommen, der trotz sehr sorgfältigen Abschmirelens nicht ganz zu beseitigen ist, vielmehr Anlass dazu gibt, dass die Bürsten beim Gleiten über den angegriffenen Teil des Kollektors funken; hierdurch wird eine weitere Ausdehnung des ursprünglich vielleicht nur auf eine oder

zwei Lamellen beschränkten Brandfleckes hervorgerufen, so dass nach kurzer Zeit ein funkenloses Arbeiten selbst bei immerwährendem Abschmirlgen nicht mehr denkbar ist. Oft wird gerade bei dieser Erscheinung der Fehler ganz wo anders gesucht, in vorstehender Lamellenisolation, ungleichmässiger Härte einzelner Lamellen, Lockerung des Kollektors u. s. w., während doch der Bedienungsmann recht genau die Ursache der Erscheinung kennt. Man sollte daher in allen diesen Fällen zuerst ein sorgfältiges Abdrehen des Kollektors vornehmen, um wieder eine vollständig saubere Kollektoroberfläche zu erhalten, ehe man der Maschinenfabrik, welche die Maschine geliefert hat, einen Vorwurf macht.

Das Abdrehen des Kollektors muss von einer besonders mit dieser Arbeit vertrauten Person vorgenommen werden, entweder zwischen den Spitzen einer Präzisionsleitspindeldrehbank oder mittels eines sogenannten Kollektorabdrehapparates, wie sie unter anderem vom Verfasser konstruiert worden sind. Die Anschaffung eines solchen Apparates empfiehlt sich für jeden Installateur.

Zum Kapitel des durch unaufmerksame Bedienung ruinierten Kollektors gehört auch folgendes. Die Lauffläche richtig konstruierter Kollektoren ist länger als die Breite aller auf einem Zapfen sitzenden Bürstenhalter und zwar ersichtlich zu dem Zwecke, damit man die Bürstenhalter des einen Zapfens so gegen die Bürstenhalter des anderen Zapfens versetzt, dass die ganze Lauffläche des Kollektors gleichmässig benutzt und abgeschliffen wird. Man findet indes manchmal grobe Verstösse gegen diese einfachste Regel, indem die Bürsten eines Zapfens genau den Bürsten des anderen Zapfens gegenüber schleifen, wodurch dann einige Stellen des Kollektors nicht abgenutzt und dadurch ausgesprochene Erhöhungen im Laufe der Zeit eintreten. Selbstverständlich fangen nun die Bürsten an zu ecken und sich zu kanten, hierdurch werden sie teilweise vom Kollektor abgehoben, funken und werden in kurzer Zeit den Kollektor verderben. Hier hilft ebenfalls nur Abdrehen des Kollektors.

Karborundum als Kollektorschleifmittel. Es sei hier erwähnt, dass zum Abschmirlgen des Kollektors in jüngster Zeit ausser Glaspapier ein vorzügliches neues Mittel, das Karborundum, Verwendung findet; es wird als Karborundumpapier in mehreren Stärkegraden in den Handel gebracht. Was mit Glaspapier nicht möglich ist, nämlich das Abschmirlgen von Kollektoren mit zu harten, hervorstehenden Glimmersegmenten, gelingt mit Karborundumpapier. Der hohe Härtegrad des Karborundums ermöglicht dies; der Verfasser verwendet dies neue Schleifmittel ausschliesslich in seiner Praxis.

Falsche Bürstenstellung. Oft genug wird auch falsche Bürstenstellung ein Grund für die Funkenbildung, indem durch die auftretenden Funken die Lamellen so angegriffen werden, dass selbst später nach Richtigstellung der Bürsten auf der rauhen Kollektor-

fläche nunmehr ein funkenloses Schleifen nicht mehr möglich ist. Da bei den modernen Maschinen die Ankerwickelungen recht verschieden sein können, so hat eine allgemeine Vorschrift für die Bürstenstellung keinen Zweck, sondern könnte leicht zu einem falschen Resultat führen. Während man früher sagen konnte, dass die Bürsten bei Leerlauf der Maschine auf derjenigen Lamelle stehen sollen, zu welcher der genau in der Mitte zwischen zwei Polschuhen befindliche Ankerdraht führte, ist dies heutzutage nicht möglich. Es wird vielmehr eine grosse Anzahl von Maschinen nicht mehr wie früher so gewickelt, dass bei einem zweipoligen Trommelanker die beiden Seiten einer Windung sich unter 180° gegenüber stehen (Fig. 1); man findet mehr und mehr den sogenannten verkürzten Wickelungsschritt, bei welchem der Winkel, welchen die beiden Spulenseiten miteinander bilden, nur etwas grösser ist als der Polschuhzentriwinkel (Fig. 2). Bei den letztgenannten Ankeren können nun die

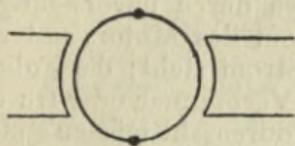


Fig. 1.

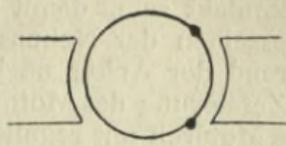


Fig. 2.

Bürsten bei Leerlauf nicht in die Mitte zwischen zwei Pole gestellt, sondern müssen erheblich gegen eine Polschuhkante verrückt werden. Es wird daher, da in den seltensten Fällen die Anordnung der Ankerwicklung an dem fertigen Anker erkannt werden kann, zweckmässig sein, sich nach der Marke zu richten, die wohl an jeder Maschine für die richtige Stellung der Bürstenbrille seitens des Fabrikanten angegeben ist. Die meisten neueren Maschinen sind mit nur *einer* Marke auf der Bürstenbrille versehen; daraus geht hervor, dass bei Leerlauf und Belastung die Stellung gleich ist. Im allgemeinen muss man dies auch — wenigstens von Elektromotoren — heute verlangen. Ältere Maschinen zeigen zwei Marken, eine für Leerlauf, die andere für volle Belastung. Hierbei ist die Regel zu beachten, dass bei Dynamomaschinen mit steigender Belastung die Brille *mit*, bei Motoren entgegengesetzt der Drehrichtung zu verschieben ist.

Längere Zeit fortgesetzte falsche Bürstenstellung kann, abgesehen von dem schädlichen Einfluss der Funkenbildung auf die Oberfläche des Kollektors und die Bürsten, eine nicht unerhebliche Erwärmung des Kollektors zur Folge haben; ebenso kann eine schädliche Ankererwärmung durch falsche Bürstenstellung hervorgerufen werden.

Falsche Tourenzahl. Funkenbildung an den Bürsten kann ferner, ohne dass die Maschine einen Fehler hat, hervorgebracht werden durch eine zu hohe Tourenzahl der Maschine. Es ist

durchaus nicht gleichgültig, ob die vorgeschriebene Tourenzahl innegehalten wird oder nicht. Dadurch, dass man letztere bedeutend überschreitet, muss man bei gleichbleibender Spannung den Magnetismus des Magnetkörpers durch Verringerung des Magnetstromes verkleinern; geschieht dies unter eine gewisse Grenze hinab, so wird schliesslich die Einwirkung der Ankerströme zu gross und die Maschine fängt, wie sonst bei normaler Tourenzahl durch starkes Überlasten, zu funken an. Dies kann bei Dynamomaschinen durch eine falsche Übersetzung im Vorgelege seinen Grund haben; doch findet man die Erscheinung auch bei Elektromotoren, deren Tourenzahl in gewissen Grenzen reguliert werden soll durch Einfügung eines Regulators in den Nebenschluss-Stromkreis. Es ist daher zu betonen, dass derartige Überschreitungen der normalen Tourenzahl stets nur im Einverständnis mit dem Lieferanten der Maschine zugelassen werden dürfen. Der erwähnte Regulator muss möglichst ohne Nullkontakt sein, damit nicht etwa durch unvorsichtiges Ausschalten desselben der Nebenschlussstrom des Motors unterbrochen wird, während der Anker noch unter Strom steht; die Folge davon wäre eine Zerstörung des Motors durch Verbrennen oder Durchgehen.

Solche Motoren mit regulierbarer Tourenzahl müssen stets besonders berechnet und gebaut werden, damit sie die Schwächung des Magnetismus ohne Funkenbildung aushalten. Über Tourenregulierung von Gleichstrommotoren hat der Verfasser an anderer Stelle Vorschläge veröffentlicht, z. B. im Elektrot. Anzeiger 1902, im Handbuch der Elektrotechnik, Band IX, Abteilung 2 und anderen Orten. Vornehmlich sei in Dreileiterzentralen bei kleinen Motoren auf die Umschaltung von 110 auf 220 Volt hingewiesen, sowie auf die Verwendung von Ankern mit zwei Wickelungen und zwei Kollektoren, die man parallel und hintereinander schalten kann. Beide Methoden ergeben Regulierungen von 100 0/0.

Zusatzdynamos. Am unangenehmsten ist in dieser Beziehung der Betrieb von sogenannten Zusatzdynamos für Akkumulatorenladung, die bekanntlich z. B. für ca. 50 Volt passend, um in Hintereinanderschaltung mit einer gewöhnlichen 110 voltigen Hauptdynamo eine Batterie von 60 Zellen zu laden, gebaut werden. Beim Anfang der Ladung, wenn die Batterie mittelmässig entladen worden ist, darf die Zusatzdynamo nicht mehr als höchstens 20 Volt geben; der Anfang der Ladung geschieht dann also mit 130 Volt. Nun bedenke man aber, dass es sehr schwierig ist, eine Dynamomaschine zu bauen, welche bei gleichbleibender Tourenzahl um mehr als 50 0/0 bei voller Stromentnahme in der Spannung herunter reguliert werden kann. Diese Maschinen werden daher ganz speziell berechnet und ausgeführt mit grösster Rücksicht auf die notwendige Verminderung der Funkenbildung bei der ausserordentlichen Schwächung des Magnetismus. Reguliert man aber solche Maschinen womöglich noch weiter herunter bis auf 10 Volt, wie der Verfasser es mehrfach konstatieren musste, so ist eine starke Funkenbildung durch den

starken Einfluss der Ankerströme auf das schwache Magnetfeld selbstverständlich und nicht zu vermeiden. Hiermit soll angedeutet werden, dass die Bedienung solcher Zusatzmaschinen nur erfahrenen und gewissenhaften Leuten überlassen werden darf. Vielfach wird es auch gut sein, eine übermässige Feldschwächung der Zusatzdynamo dadurch zu vermeiden, dass man sie mit einer Stufenscheibe versieht, um sie bei niedrigeren Spannungen auch mit niedrigerer Tourenzahl und stärkerem Magnetfeld betreiben zu können, ein Vorschlag, welcher oft Verwendung finden möge und vor allem überall da Verwendung finden kann, wo die Zusatzdynamo durch Riemen von der Hauptdynamo aus betrieben wird.

Magneterregung der Zusatzdynamos. Es ist hier der Ort, darauf hinzuweisen, dass Zusatzdynamos nur immer mit Fremderregung der Magnetschenkel betrieben werden sollten. Diese Fremderregung verleiht dem Magnetismus der Maschinen etwas Stabiles und ist jedenfalls der Selbsterregung in dem Falle erheblich vorzuziehen, dass die Maschinen auf sehr niedrige Spannung herunter reguliert werden müssen. Der Praktiker weiss, und die Theorie bestätigt es ohne weiteres, dass eine Nebenschlussmaschine sich nur bis auf etwa $\frac{1}{3}$ ihrer Spannung herunter regulieren lässt, darüber hinaus wird ihre Spannung labil, d. h. sie neigt dazu, die Spannung überhaupt zu verlieren. Mit Fremderregung dagegen ist dies gänzlich ausgeschlossen; aus diesem Grunde wird man die Magneterregung der Zusatzdynamos am besten durch die Hauptdynamo oder durch die Batterie selber vornehmen.

Kollektorschmiermittel. Zu der grossen Reihe von Ursachen für die Funkenbildung am Kollektor, ohne dass eine eigentliche Ankerstörung vorliegt, gehören die einem jeden Dynamobauer verhassten Kollektorschmiermittel; mögen sie heissen wie sie wollen, sie werden in den seltensten Fällen einen Nutzen, in ausserordentlich vielen Fällen aber grossen Schaden stiften. Man glaube doch, dass der Erbauer der Dynamomaschine dieselbe so berechnet, dass sie unter Anwendung des mitgelieferten Bürstenmaterials funkenfrei zu arbeiten imstande ist; funkt die Maschine dennoch, so wird auch ein Graphitschmiermittel nichts ändern, wohl aber kann es sonst gutlaufende Maschinen zum Funken bringen durch die unerwünschte Erhöhung des Übergangswiderstandes zwischen Kollektor und Bürsten. Wenn man durchaus glaubt, dem Kollektor eine gewisse Politur geben zu müssen, was übrigens nur bei Verwendung von Kohlenbürsten möglich ist, so tue man dies durch *einen Tropfen reinen Öles*, den man sorgfältig auf der ganzen Oberfläche verreibt.

Bürstenersatz. Beim Ersatz verbrauchter Bürsten ist sehr genau darauf zu achten, dass die Schleiffläche der neu in Betrieb zu nehmenden Bürsten der Kollektoroberfläche genau angepasst ist; es ist zwar nicht zu befürchten, dass der Fehler viele Nachahmer finden wird, den der Verfasser einige Male beobachten konnte, dass

nämlich Kohlenbürsten ganz uneingeschliffen in die Halter eingesetzt wurden; immerhin kann nicht genug darauf hingewiesen werden, dass eine mangelhaft eingeschliffene Bürste schon der Verderb manches Kollektors geworden ist. Man sollte deshalb diese Arbeit nicht leichtthin vornehmen, sondern geraume Zeit darauf verwenden und die Maschine erst dann in vollen Betrieb nehmen, wenn man sich davon überzeugt hat, dass die Schleiffläche eine vollkommene ist. Man wird daher gut tun, eine jede Maschine mit neuen Bürsten erst mehrere Stunden *leer laufen zu lassen*.

Das Einschleifen der Kohlenbürsten geschieht in der Weise, dass man um den Kollektor ein Stück Glaspapier, mit der rauhen Seite nach oben, herumlegt, die Bürsten in die Halter setzt, sie fest gegen die vom Glaspapier umgebene Oberfläche des Kollektors anpresst und nun die Bürstenbrille so lange hin und her bewegt, bis die Bürsten durch die schleifende Wirkung des Glaspapiers sich dem Radius des Kollektors entsprechend eingeschliffen haben.

Ungeeignetes Kollektor-Material. Wir kommen nun zu den eigentlichen Störungen und Fehlern, welche eine Funkenbildung an den Bürsten hervorrufen können. Hier ist in erster Linie der rein mechanische Grund des ungeeigneten Materials zu nennen. Die modernen Kollektoren werden für den Betrieb mit Kohlenbürsten aus hartgezogenen Kupferlamellen (auch im Gesenke geschmiedete Lamellen sind in Verwendung und zweckmässig) unter Zwischenlegung von Glimmerlamellen hergestellt. Bei diesen Kollektoren kann sowohl ungeeignetes Material als auch ungeeignete Konstruktion nach einiger Zeit zur Funkenbildung führen, im ersteren Falle, wenn ungeeignetes Material vorliegt, leider fast immer erst nach einer Betriebsdauer von einigen Wochen, so dass also bei der Probe im Prüfraum solche Fehler nicht gefunden werden können.

Zu harte Glimmerlamellen. Hier ist in erster Linie der verschieden harte Grad des Glimmers zu bemerken. Glimmer, bekanntlich ein Material von vorzüglich isolierenden Eigenschaften, ist sehr variabel in Bezug auf seine Härte. Wenn nun Glimmer zur Herstellung von Kollektoren benutzt werden soll, so muss man verlangen, dass er etwa denselben Härtegrad besitzt wie das Lamellenkupfer, damit durch die Bürsten das Kupfer und der Glimmer gleichmässig abgeschliffen werden. Es ist gewiss nicht leicht, diese Forderung stets zu erfüllen, und so hat man sich dazu bequemt, auch solchen Glimmer zu verwenden, welcher weniger hart ist als das Kupfer; da aber die Prüfung des Materials in der Fabrik unmöglich so eingehend vorgenommen werden kann, dass jede Glimmerlamelle untersucht wird, so kann es vorkommen, dass auch Glimmer Verwendung findet, welcher härter ist als das Lamellenkupfer. Alsdann ist es klar, dass das Kupfer leichter von den Bürsten abgeschliffen wird als der Glimmer, so dass nach einigen Betriebswochen die Glimmersegmente etwas über die Kupfersegmente

hervorragend. Dies ist weder durch das Auge noch durch das Gefühl einwandfrei festzustellen, da schon das Hervorragend um den Bruchteil eines Millimeters genügt, die Bürsten in eine hüpfende Bewegung zu versetzen und hierdurch Funkenbildung hervorzubringen. Diese Funkenbildung ist sehr gefährlich, da sie das Lamellenkupfer ausserordentlich schnell angreift. Ein Abschmirlgeln des Kollektors mit Glaspapier hilft in diesem Falle gar nichts, da Glimmer von solchem Härtegrade durch Glaspapier nicht angegriffen wird; man macht durch das Abschmirlgeln den Fehler nur grösser, indem man eben nur das Kupfer wegschmirlgelt. In solchen Fällen muss unbedingt sofort ein feiner Schnitt vom Kollektor herunter gedreht werden.

Ist der Prozess schon weiter vorgeschritten, dann tritt bei Dynamos mit Kohlenbürsten wohl auch die Erscheinung auf, dass die Maschine nicht angeht, das heisst, keine Spannung gibt, weil eben der Kontakt zwischen den Bürsten und dem Kollektorkupfer durch die vorstehenden Glimmerlamellen unterbrochen ist.

Abdrehen von Kollektoren. Bei dieser Gelegenheit erscheint es zweckmässig, einige Worte über das Abdrehen von Kollektoren zu sagen. Beim Abdrehen darf die Geschwindigkeit nicht grösser sein als entsprechend einer Geschwindigkeit einer Kollektorperipherie von 12 cm pro Sekunde. Zunächst ist zum Vordrehen ein Stahl mit scharfer Spitze zu verwenden, so dass die vorstehenden Glimmerlamellen gleichzeitig mit abgedreht werden und keine Glimmerteile über die Kupferteile hervorrage. Zum Schlichten ist darauf ebenfalls ein scharfer Stahl zu verwenden, dessen Vorwärtsbewegung nicht mehr als $\frac{1}{10}$ mm pro Umdrehung betragen darf; die Umfangsgeschwindigkeit der Kollektorperipherie darf auf 16 bis 17 cm pro Sekunde erhöht werden. Hierauf muss der Kollektor auf der Drehbank untersucht werden, ob sich etwa Kupferspäne von einer zur anderen Lamelle herüber gezogen haben; dieselben sind sorgfältig zu entfernen und auszukratzen. Darauf muss die Schleiffläche mit Glaspapier abgeschliffen und möglichst poliert werden, wobei die Verwendung von einigen Tropfen Öl mit Glaspapier zu empfehlen ist, während Schmirgel in jeder Form unbedingt vermieden werden muss. Aus vorstehendem geht hervor, dass das Abdrehen eines Kollektors nur durch kundige Hand geschehen darf, da Unerfahrene den Kollektor total zerstören könnten. Es ist ein grosser Unterschied zwischen Metaldrehen und Eisendrehen.

Künstliche Glimmerlamellen. Erwähnt sei, dass neuerdings eine Art Kunstglimmer, Megomit genannt, sich als Ersatz der Glimmerlamellen zu bewähren beginnt. Megomit hat den Vorteil eines geringeren Härtegrades, während es zugleich den Fehler der bisher bekannten Kunstglimmerarten vermeidet, nämlich das Ausschwitzen von Klebstoffen bei Erwärmung.

Recht untaugliche Materialien für die Lamellenisolation sind Pressspan und Vulkanfibre, vor allen Dingen bei Verwendung von

Kohlenbürsten. Diese Materialien schwinden leicht bei Erwärmung und quillen hervor bei Aufnahme von Feuchtigkeit, so dass Maschinen mit derartig konstruierten Kollektoren nicht als moderne Konstruktionen bezeichnet werden können. Allenfalls kann man bei älteren Maschinen noch Pressspan unter Verwendung von Metallbürsten zulassen.

Lockerwerden des Kollektors. Einen Konstruktionsfehler lässt die manchmal eintretende Lockerung des Kollektors erkennen; sie wird am einfachsten nachgewiesen dadurch, dass man unter Zwischenschaltung eines kräftigen Holzstückes mit dem Hammer auf die einzelnen Kupferlamellen einen kräftigen Schlag ausführt und dann zusieht, ob die Lamelle zurückgetreten ist. Die Lockerung von Kollektoren kann ihren Grund darin haben, dass das Isolationsmaterial zwischen Kollektorkupfer und Kollektorbuchse schwindet, wie es z. B. bei Vulkanfibre sicher im Laufe der Zeit eintritt; andererseits können die Pressringe, welche die Lamellen zusammenhalten, oder die hierbei in Frage kommende Isolation die Schuld daran tragen. In jedem Falle wird es kaum Sache des Installateurs sein, diesen Fehler zu beheben. Locker gewordene Kollektoren bringen natürlich, wenigstens bei Kohlenbürsten, eine Funkenbildung mit sich, da sie unrund werden und den Bürsten eine hüpfende Bewegung erteilen; bei Metallbürsten wird wegen ihrer Schmiegsamkeit weit weniger aus diesem und aus einigen der früheren Gründe eine Funkenbildung zu befürchten sein.

Unrunder Kollektor. Unrunder Kollektor kann indessen auch seinen Grund haben in den verschiedenen Härtegraden einzelner Lamellen. Wenn dies weniger zu befürchten ist bei der Verwendung von gezogenem oder im Gesenke geschmiedetem Kupfer, so tritt die Erscheinung häufiger auf bei Verwendung von gegossenen Lamellen, wie solche z. B. aus einfachem Messingguss, besser aus Bronze, z. B. Phosphorbronze oder Siliciumbronze, hergestellt werden. Die Verwendung solcher Bronzen als Kollektormaterial ist daher nicht ganz einwandfrei, wenngleich man sie nicht als direkt verwerflich bezeichnen kann.

Bürsten und Bürstenhalter. Einen erheblichen Einfluss auf die Funkenbildung haben die Bürsten. Sowohl in ihrer Form und Anzahl wie auch in ihrem Material können sie schädlich wirken. Bei Kohlenbürsten sollten möglichst viele schmale Bürsten angeordnet werden; eine zu breite Kohlenbürste wird steif und unbeweglich, ihr Bürstenhalter wird zu schwer, um kleinen Unebenheiten des Kollektors schnell folgen zu können. Es sollte im allgemeinen eine Bürstenbreite von 20 mm nicht wesentlich überschritten werden. Kohlenbürsten von 30 mm und mehr Breite sind nur in besonderen Ausnahmefällen zulässig. Es kommt indessen nicht nur auf die Breite der Bürsten an, sondern auch auf ihre Dicke. In dieser Beziehung ist es empfehlenswert, sich an die Angaben des Lieferanten

der Maschine zu halten. Nur er allein ist imstande, die zweckmässigste Dicke der Bürsten anzugeben, da diese Dimension von grossem Einfluss auf die funkenfreie Kommutation ist. Es ist deshalb ein Fehler, wenn man Kohlenbürsten später von einem anderen Lieferanten bezieht und womöglich ihre Form ändert.

Kohlenbürsten. Auch die Qualität der Kohlenbürsten spielt eine grosse Rolle; der Widerstand der verschiedenen Qualitäten ist ganz enorm verschieden; es ist nicht bei jeder Gleichstrommaschine erwünscht, dass die Bürste einen besonders hohen oder einen besonders niedrigen Widerstand aufweist, ebensowenig wie eine Maschine, die mit Metallbürsten gut läuft, auch immer mit Kohlenbürsten gut laufen wird und umgekehrt. Es ist ganz in der Bauart der Maschine, in ihren Polschuhabmessungen, in der Lamellenzahl begründet, ob sie Bürsten von hohem oder niedrigem Widerstand braucht. Auch dies ist ein Fingerzeig dafür, dass nicht jede Bürste gleich gut laufen wird, selbst wenn sie mechanisch recht günstige Eigenschaften besitzt. Dazu kommen nun noch die eben angezogenen mechanischen Eigenschaften; manche Kohlenbürsten sind unbrauchbar wegen ihres grossen Härtegrades; sie splintern leicht an den Kanten und führen dadurch Funkenbildung herbei; wieder andere Bürsten sind zu weich, verschmieren den Kollektor und verschleissen sehr schnell.

Die einzelnen Sorten von Kohlenbürsten, welche im Handel sind, erfüllen sehr selten alle Ansprüche, welche man an sie stellen muss. Auch hier zeichnet sich wieder eine Firma durch die Herstellung ganz vorzüglicher Kohlenbürsten aus; es ist dies die Firma *Le Carbone* in Frankfurt a. M. Allerdings sind diese Bürsten in ihrer besten Qualität gut sechsmal so teuer als andere Fabrikate; sie sind indessen ausserordentlich zuverlässig im Betriebe und halten hohe Stromdichten aus, so dass man einer Bürste von sechs Quadratcentimeter Querschnitt im Dauerbetriebe eine Stromstärke von 30—40 Ampère und bei plötzlichen Überlastungen ruhig das Doppelte zuzumuten darf.

Das Kollektormaterial bei Kohlenbürsten muss ganz unbedingt gezogenes Kupfer sein. Die Anwendung von Bronze oder von gegossenem Kupfer ist absolut zu verwerfen. Als Isolationsmaterial zwischen den Lamellen kommt nur Glimmer in Frage.

Metallbürsten. Abgesehen von den Kohlenbürsten ist das Kapitel der Metallbürsten unerschöpflich; denn während die Fabrikation der Kohlenbürsten heutzutage noch in der Hand weniger und guter Firmen liegt, hat sich der Herstellung von Metallbürsten eine Reihe von Firmen zugewendet, deren vollständige Unkenntnis auf diesem Gebiete nur noch durch die marktschreierische Anpreisung ihres Fabrikates übertroffen wird. Die Anforderungen, welche man an eine Metallbürste stellen muss, sind etwa folgende. Sie sollen einen geringen Widerstand besitzen, sehr schmiegsam sein, in möglichst kurzer Zeit sich der Lauffläche des Kollektors

genau anpassen und sollen schliesslich aus einem Metall bestehen, welches den Kollektor möglichst wenig angreift; denn es ist besser, dass das Bürstenmaterial verschleisst als der Kollektor.

Als eine augenblicklich weit verbreitete und vom Verfasser durch jahrelange Versuche und in den letzten Jahren durch fast ausschliesslichen Gebrauch als allen Zwecken gut entsprechend erkannte Metallbürste ist die (von der Firma *Louis Patz* in Dresden hergestellte) Dynamoblätterbürste (Patent *Boudreaux*) zu nennen. Diese Bürste besteht aus ausserordentlich dünnen Metallblättchen, über deren chemische Zusammensetzung das Fabrikgeheimnis bewahrt wird. Nur soviel steht fest, dass dem Metalle Zusätze gegeben sind, welche die Wirkung haben, dass die Bürste den Kollektor etwas fettig erhält. Es ist dies ein Vorzug, der eine sehr geringe Abnutzung des Kollektors zur Folge hat. Ausserdem schmiegt sich die Bürste wegen der ausserordentlichen Feinheit der Metallblätter dem Kollektor sehr innig an und vermittelt eine gute Kontaktfläche. Der einzige Übelstand bei dieser Bürste ist, dass sie verhältnismässig schnell verschleisst, doch wäre dieser Übelstand nur zu heben, indem man einen Teil der übrigen Vorzüge der Bürste wieder aufgibt.

Die Bürste ist vermöge der schmierenden Wirkung nicht brauchbar für Niederspannungsmaschinen, eine Tatsache, die allerdings in diesem Bande des Handbuches nicht weiter interessiert, da wir hier nur von Elektromotoren sprechen. Es sei deshalb nur nebenbei erwähnt, dass Niederspannungsmaschinen etwas unter zehn Volt Spannung nicht gut mit *Boudreaux*-Bürsten arbeiten, weil die schmierende Wirkung der Bürste immerhin einen kleinen Übergangswiderstand auf dem Kollektor hervorruft. Dieser Übergangswiderstand ist bei Maschinen höherer Spannung absolut zu vernachlässigen, da ein nennenswerter Verlust durch ihn wegen der verhältnismässig geringen Stromstärke nicht entsteht. Bei Niederspannungsmaschinen indessen ist die Stromstärke verhältnismässig hoch, und da die davon abhängende Erwärmung des Kollektors mit dem Quadrate der Stromstärke wächst, so ist unter Umständen eine Kollektorerwärmung bei Anwendung der Blätterbürste zu befürchten.

Ähnliche Bürsten, welche in ihrer Wirkungsweise den eben geschilderten Blätterbürsten der Firma *Louis Patz* nicht nachstehen, werden auch von der Firma *P. Ringsdorff* in Essen a. d. Ruhr hergestellt; dieselben besitzen indessen nicht die schmierende Wirkung der *Boudreaux*-Bürsten.

Unsicherer Kontakt der Ankerdrähte mit dem Kollektor.

Ein nicht selten vorkommender Fehler, der beträchtliche Funkenbildung am Kollektor zur Folge hat, besteht in unsicherem Kontakt der Ankerdrähte an dem Kollektornocken. Ältere Maschinen zeigen noch die wenig einwandfreie Verbindung der Ankerdrähte mit dem Kollektor durch Verschraubung. Diese Verschraubung hat ja insoweit ihren grossen Vorteil, als dadurch z. B. der Kollektor-

Ersatz sehr schnell und selbst von weniger geübter Hand vollzogen werden kann; indes wird dieser Vorteil auf der anderen Seite reichlich aufgewogen durch die Gefahr, dass in längerem Betrieb einzelne der Schrauben des Kollektornockens locker werden. Es haben dann nicht alle Spulen des Ankers den gleichen Widerstand, da durch die Lockerung der Verschraubung ein unter Umständen nicht unbeträchtlicher Übergangswiderstand auftreten kann. Die Folge hiervon sind Funken an den Bürsten, durch welche nach kurzer Zeit diejenigen Lamellen kenntlich werden, deren Kontakt mit der Wicklung ungenügend geworden ist. Bei gelöteten Ankerverbindungen ist der Fehler äusserst selten und tritt eigentlich nur auf, wenn in einer Lamelle sehr viele Ankerdrähte eingelötet sind, indem unter Umständen die unteren Drähte nicht mehr genügend von der Lötmasse erhalten haben.

Unterbrechung in einer Windung. Häufiger als dieser Grund tritt ein anderer gleichgearteter auf, nämlich die vollständige Unterbrechung einer Ankerwindung durch Drahtbruch. Speziell bei dünnen Drähten, d. h. also bei Maschinen geringer Leistung bzw. höherer Spannung oder niedriger Tourenzahl, passiert es nicht selten, dass eine schlechte Stelle im Draht, die beim Wickeln nicht entdeckt wird, nach einiger Betriebsdauer bricht. Mit Vorliebe geschieht dies natürlich an den Stellen des Ankers, an denen der Ankerdraht auf Zug beansprucht wird, nämlich beim Eintritt in die Ankernute und dicht am Kollektornocken. Es ist deshalb empfehlenswert, den Ankerdraht nicht zu straff und geradlinig von der Nute zum Kollektornocken zu führen, man gibt ihm vielmehr besser eine kleine Biegung, deren Elastizität das Abbrechen durch Zugbeanspruchung zu verhindern imstande ist. Während bei Dynamomaschinen sich die Unterbrechung einer Ankerspule meistens dadurch bemerkbar machen wird, dass die Maschine nicht angeht, d. h. nicht auf Spannung kommt, sich nicht erregt, so zeigt sich beim Elektromotor, der ja durch Fremdstrom erregt wird, eine geringe Erhöhung der Geschwindigkeit, ausserdem aber eine sehr stark sprühende und manchmal um den Kollektor herumlaufende Funkenerscheinung; nach Stillsetzen des Motors sieht man deutlich zwischen denjenigen beiden Lamellen, an welche die defekte Spule angeschlossen ist, die Isolation stark eingebrannt. Es gibt vielleicht keinen Fehler an elektrischen Maschinen, der sich so sicher sofort beurteilen liesse als der eben beschriebene. Vermutet man den Fehler bei einer Dynamomaschine, so kann man dieselbe Erscheinung dadurch hervorrufen, dass man sie leer mit durch Fremdstrom erregten Magneten laufen lässt, was ja jederzeit möglich ist, wenn man eine Akkumulatoren-Batterie zur Verfügung hat. Die Maschine wird dann dieselbe Funkenbildung aufweisen, wie dies eben beim Elektromotor beschrieben wurde. Sehr häufig wird das Zerreißen von Ankerdrähten durch falsche Dimensionierung des Anlassers bei Motoren veranlasst. Wenn Motoren leer anlaufen, so darf der

Anlasser nicht für Anlauf mit voller Last berechnet sein, da sonst wegen des geringen Widerstandes im Anlasser der Motor zu schnell anläuft. Dies ist bei Motoren, die viel an- und abgestellt werden, besonders zu beachten.

Zerrissene Ankerdrähte müssen möglichst mit Silberlot gelötet werden; in eiligen Fällen ist ein einfaches Mittel, die beiden Lamellen, zwischen denen die unterbrochene Spule liegt, kurzzuschliessen, doch ist dies nur zulässig, wenn der Kollektor eine hohe Teilzahl hat.

Schlechte Zentrierung des Ankers. Während bei zweipoligen Maschinen schlechte Zentrierung des Ankers zwischen den Polen in der Weise, dass ein Pol dem Anker näher steht als der andere, keinen merklichen Einfluss auf Funkenbildung ausüben wird, so kann dies in beträchtlichem Masse der Fall sein bei mehrpoligen Maschinen. Beispielsweise haben die meisten vierpoligen Maschinen eine derartige Schaltung ihrer Ankerwicklung, dass vier parallele Stromkreise entstehen. Unrichtige Zentrierung kann nun bewirken, dass in den vier parallelen Kreisen die erzeugten Spannungen ungleich sind; hierdurch treten innere Ausgleichsströme und verschiedene Belastung der Einzelkreise auf; die Folge davon wird Funkenbildung und unter Umständen sehr stark und schnell eintretende Erwärmung des Ankers selbst bei geöffnetem äusseren Stromkreise sein.

Bei zweipoligen Maschinen, deren beide Magnete vertikal übereinander stehen, ist es Gebrauch, den Luftraum zwischen dem oberen Pol und dem Anker kleiner zu machen, als zwischen Anker und unterem Pol, um durch die Anziehung des oberen Poles die Lager etwas zu entlasten.

Die Erhitzung von Kollektoren bei Niederspannungsmaschinen hat häufig ihren Grund in zu grossen Kupfermassen, zu breiten und massiven Lamellen, in denen wegen der hohen Stromstärken starke Wirbelströme entstehen. Durch die Erhitzung wird die Oberfläche rau und es tritt Funkenbildung ein.

Hiermit hätten wir im wesentlichen diejenigen Fehler erledigt, welche sich durch starke Funkenbildung zeigen und gehen zu anderen Erscheinungen über.

Verschiedene Arten von „Ankerschluss“. Häufig hört man als Grund einer Maschinenstörung die Angabe: Der Anker hat Schluss. Die wenigsten von denjenigen, welche diese Worte auszusprechen pflegen, machen sich ein Bild von den verschiedenen und voneinander ganz abweichenden Fehlern, welche mit diesem Sammelnamen bezeichnet werden. Es kann erstens die Isolation zwischen der Ankerwicklung und dem Ankereisen an irgend einer Stelle schadhafte sein, ferner kann die Isolation einer Ankerspule an zwei Stellen derartig schadhafte sein, dass die Ankerspule in sich selbst kurz geschlossen ist; dieser Fehler kann in gleicher Weise

durch Kupferstaub und Schmutz zwischen zwei Kollektorsegmenten hervorgerufen werden; und endlich kann eine Ankerspule mit einer anderen direkten Schluss haben, was bei Trommelankern, bei denen auf der Vorder- und Rückseite viele Drähte einander kreuzen, bei unsachgemässer Ausführung der Wickelung, bei unvorsichtigem Einlegen des Ankers in die Maschine, durch Stoss oder Schlag u. s. w. sehr leicht eintritt. Ausser diesen drei ganz verschiedenartigen Störungen, die sämtlich mit dem Ausdruck Ankerschluss bezeichnet werden, giebt es natürlich noch eine Reihe von ähnlichen Fehlern.

Berührung der Wickelung mit dem Eisengestell. Der Schluss irgend eines Punktes der Ankerwicklung mit dem Eisen des Ankers hat an und für sich gar nichts zu sagen, so lange nicht eine zweite ganz beliebige stromführende Stelle der Maschine ebenfalls Schluss mit dem Eisen der Maschine bekommt. Dies ist z. B. ohne weiteres der Fall bei allen denjenigen Maschinen, bei welchen ein Pol an Erde gelegt ist; bei solchen Maschinen ist der Maschinenkörper aus Sicherheitsgründen geerdet; die Folge davon ist, dass irgend ein noch so leichter Isolationsfehler des Ankers oder Kollektors sofort einen Kurzschluss zur Folge hat; es wird dann in den meisten Fällen die Ankerwicklung verbrennen. Dieser Fehler kann demnach auftreten bei Strassenbahnmotoren, bei Motoren, welche an ein Strassenbahnnetz angeschlossen sind, bei Motoren, welche mit geerdetem Maschinengestell in Dreileiterzentralen mit blankem Mittelleiter arbeiten; oft ist indes in gewöhnlichen Anlagen, wenn die Maschinen nicht isoliert von Erde aufgestellt sind, das Hinzutreten eines Isolationsfehlers in einer der beiden Leitungen bei gleichzeitigem Ankerschluss verderblich für die Wickelung der Maschine.

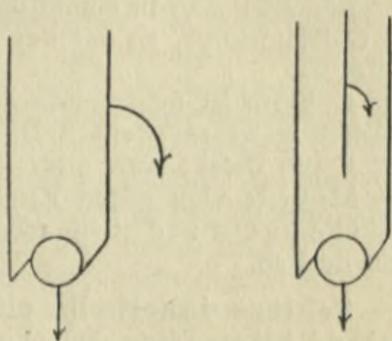


Fig. 3.

Die vorstehende Fig. 3 verdeutlicht dies in schematischer Weise.

Auch der Schluss eines Bürstenhalterzapfens mit dem Eisenkörper der Brille ist an und für sich so lange belanglos, bis ein zweiter Schluss auftritt. Man wird die vorstehenden Auseinandersetzungen sofort verstehen, wenn man sich vergegenwärtigt, dass ein schädlicher Einfluss, also eine Störung, erst dann auftreten kann, wenn dem Maschinenstrom ein falscher Weg geboten wird, den er passieren kann. Es muss also eine Eintritts- und eine Austrittsstelle für den Strom vorhanden sein. Ist nur eine Stelle vorhanden, wo die Wickelung mit dem Eisenkörper Berührung hat, so ist wohl eine Eintrittsstelle, aber noch keine Austrittsstelle da; letztere wird erst geboten durch eine zweite Berührungsstelle zwischen dem Eisen und einem stromführenden Teile der Maschine *oder der Leitung*.

Das Aufsuchen einer Fehlerstelle in der Maschine ist nicht schwierig, falls man über ein Galvanoskop verfügt, das möglichst mit Trockenelementen ausgerüstet ist; wenn Starkstrom zur Verfügung steht zum Messen, so kann eine Glühlampe, besser ein Voltmeter benutzt werden.

Man schaltet die Maschine vollständig von der Leitung ab, entfernt also die Hauptleitungen und die Nebenschlussleitung vom Klemmenbrett, hebt die Bürsten ab, löst am Klemmenbrett die meistens vorhandene Verbindung zwischen dem einen Ankerpol und der Magnetwicklung und legt einen Draht des Galvanoskops an das Gehäuse der Maschine, also an Eisen; mit dem anderen Drahte berührt man nacheinander

1. jeden der beiden Bürstenhalterzapfen,
2. die Klemme der Magnetwicklung,
3. den Kollektor.

Bemerkt man in einem dieser Fälle einen wesentlichen Ausschlag des Galvanoskops, so hat der untersuchte Maschinenteil eine Schlussstelle.

Abhülle ist manchmal schon durch eine sorgfältige Untersuchung möglich gewesen, wenn z. B. in Fall 1 die Isolation zwischen Zapfen und Brille defekt war, oder in Fall 2 eine Verbindungsklemme einer der Magnetspulen gegen Eisen anlag. Bei Ankerschlüssen ist selten Abhülle an Ort und Stelle möglich, vielmehr Reparatur in der Fabrik erforderlich.

Schluss innerhalb einer Windung. Während der vorstehend besprochene einfache Ankerschluss erst dann Störungen im Gefolge hat, wenn eine zweite Berührungsstelle sich bildet oder bereits vorhanden ist, ist der Schluss innerhalb einer Ankerwindung, also die Berührung zweier Punkte einer Ankerspule sofort verderblich und eine Störung von bedeutendem Umfang. Bei Dynamomaschinen zeigt sich diese Störung dadurch, dass die Maschine sich nicht erregt. Erregt man ihre Magnetschenkel mit Fremdstrom, so bringt man sie gleichwohl nicht auf die volle Spannung hinauf und kann dabei deutlich beobachten, dass die Maschine bei geöffnetem äusseren Stromkreis aussergewöhnlich viel Kraft verbraucht; innerhalb ganz kurzer Zeit, etwa $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Minute, macht sich ein Brandgeruch bemerkbar; stellt man die Maschine sofort ab, so kann man an der ungleichmässigen Erhitzung der Ankerwicklung diejenige Spule deutlich herausfühlen, in welcher der Kurzschluss sich befindet. Es kommt diese Erwärmung daher, dass in der kurzgeschlossenen Ankerspule ein ausserordentlich starker Strom erzeugt wird; daher auch der grosse Kraftverbrauch, trotzdem nach aussen hin und auch zur Erregung der Magnetspulen kein Strom abgegeben wird. Tritt dieser Fehler bei einem Gleichstrommotor auf, so zeigt er sich dadurch, dass der Motor ganz langsam und ruckweise läuft; unter Umständen läuft er überhaupt nicht; man kann dann aber, wenn die

Magnetschenkel erregt sind, beim Drehen des Ankers im erregten Feld deutlich den Kurzschluss nachweisen durch das ruckweise Laufen des Motors. In diesen eben beschriebenen Fällen ist gewöhnlich eine Neuwicklung des Ankers, zum mindesten aber, wenn dies möglich ist, ein Ersatz der defekten Spule notwendig.

Schluss zwischen zwei Ankerspulen. Schlimmer noch ist das Auftreten einer Berührung zwischen zwei Punkten verschiedener Ankerspulen, da dann in fast allen Fällen der grösste Teil der Ankerwicklung verkohlt, wenn das Auftreten des Fehlers nicht sofort bemerkt und die Maschine sogleich abgestellt wird.

Schluss im Kollektor. Was im vorstehenden über die Ankerwicklung gesagt ist, gilt in gleicher Weise vom Kollektor. Wenn sonst alles an der Maschine in Ordnung ist, so ist selbst ein direkter Schluss einer Lamelle mit der Eisen-Kollektorbuchse belanglos, so lange nicht ein zweiter Schluss, eine zweite Berührungsstelle hinzutritt. Berühren zwei nebeneinander liegende Lamellen sich selbst oder beide die Buchse, so ist der Erfolg derselben wie bei dem oben besprochenen inneren Schluss einer Ankerspule; die Ankerspule wird verbrennen, die Kennzeichen sind dieselben; der hohe Kraftverbrauch, die starke Erwärmung, das ruckweise Anlaufen. Berühren zwei voneinander weiter entfernte Lamellen die Buchse, so ist der Erfolg derselbe, als ob zwei Punkte zweier Ankerspulen sich berühren; die Zerstörung der ganzen Ankerwicklung wird die Folge sein. In dem letzteren Falle gibt eine Dynamomaschine auch mit Sondererregung keine Spannung mehr; ebensowenig läuft der Elektromotor noch an.

Um diese Fehler noch etwas zu verdeutlichen, nehmen wir im folgenden unsere Zuflucht zur schematischen Darstellung durch Figuren.

In allen diesen Figuren bedeuten die punktierten Linien Fehlerstellen, wo ein Schluss vorhanden ist. In den Figuren 4 bis 7 sehen wir schematisch einen Kollektor mit seinen sämtlichen Segmenten und die dazu gehörige Ankerwicklung schematisch angedeutet (Lamellenzahl 12, eine Lamelle doppelt gezeichnet). In einer

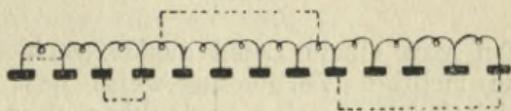


Fig. 4—7.

Ankerspule befindet sich ein Schluss; wir sehen dann an Hand der Fig. 4 sofort, dass diese Ankerspule an der Arbeit der Maschine, also an der Erzeugung von Spannung und Stromstärke, nicht teilnehmen wird, da sie einen in sich geschlossenen Stromkreis darstellt; da die Ankerspule aber, wenn man die Maschine mit Fremdstrom erregt oder als Motor laufen lässt, in einem magnetischen Feld rotiert, so wird in ihr eine Spannung und, da sie kurz geschlossen ist, eine ausserordentlich hohe Stromstärke erzeugt.

Zum gleichen Resultat führt uns ersichtlich Fig. 5, in welcher angenommen ist, dass zwei nebeneinander liegende Lamellen unter sich selbst Schluss haben. Es wird auch dann die Ankerspule, welche zu den beiden Lamellen gehört, kurz geschlossen und daher bei der Rotation im magnetischen Feld einer sehr hohen Stromstärke ausgesetzt sein.

Liegen die beiden Schlusstellen nicht in einer Spule bzw. zwei nebeneinander liegenden Kollektorlamellen, sondern in zwei voneinander entfernten Ankerspulen oder zwei voneinander entfernten Kollektorlamellen (das letztere wird immer nur dadurch auftreten können, dass die zwei Lamellen mit der Buchse Schluss haben), so zeigen die Figuren 6 und 7 deutlich, dass dann die kurz geschlossene Strombahn sich auf die sämtlichen zwischen den beiden Schlusstellen liegenden Ankerspulen ausdehnt, so dass die Maschine nicht mehr funktioniert und in der Mehrzahl aller derartigen Fälle verbrennt; bei Trommelankern ist dann fast immer eine vollständige Neuwicklung des Ankers notwendig, während bei Ringankern nur eine Erneuerung der beiden Spulen notwendig wird, falls nicht die übrigen kurz geschlossenen Spulen durch längere Einwirkung des starken Kurzschlussstromes ebenfalls verkohlt sind.

Aus den Figuren 4—7, welche zu einer gemeinsamen Skizze vereinigt sind, kann man aber auch erkennen, was oben gesagt wurde, dass ein einzelner Schluss nichts zu bedeuten hat, dass vielmehr eine Gefahr erst auftritt, wenn zwei Berührungsstellen vorhanden sind.

Bei Reparaturen von Gleichstrommaschinen kann es vorkommen, dass der Kollektor abgenommen und falsch wieder aufgesetzt wird und zwar in der Weise, dass die Drähte, welche zu den Kollektorsegmenten führen, irgendwie verwechselt werden. Es ist deshalb das Aufsetzen von Kollektoren und ihrer Verbindung mit der Ankerwicklung nicht eine Arbeit, die

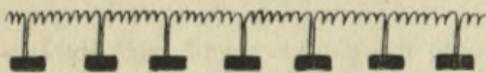


Fig. 8.

man von einem Laien ausführen lassen kann. Zeigt z. B. Fig. 8 die richtige Verbindungsweise des Kollektors mit einer Ankerwicklung, so wäre es denkbar, dass selbst ein Fachmann, wenn er

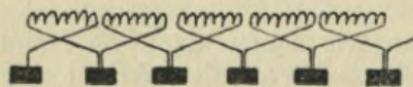


Fig. 9.

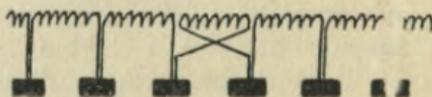


Fig. 10.

sich die Verbindungsweise vor Abnahme des Kollektors nicht genau bezeichnet hat, später beim Wiederverbinden etwa nach Fig. 9 die Verbindung ausführt. Gegen diese Verbindungsweise lässt sich nicht

das geringste einwenden; sie ist vielmehr vollständig korrekt und doch wird die Maschine keinen Strom geben, sondern erst dann, wenn entweder die Drehrichtung geändert oder die beiden Enden der Magnetwicklung miteinander vertauscht worden sind. Dieser Fall wäre ja nun nicht schlimm; indessen kann von allen Spulen z. B. bei *nur einer* Anfang und Ende verwechselt sein, wie es Fig. 10 zeigt; diese Spule wird dann eine verkehrte Spannung erzeugen und das Funktionieren der Maschine beeinträchtigen.

Fehler in den Magneten. Wir gehen nun über zu denjenigen Störungen an Gleichstrommaschinen, welche in der Hauptsache ihre Fehlerquellen in der Bewickelung der Magnete haben. Gerade hier ist falsche Schaltung nichts allzu Seltenes. Jeder weiss, dass bei einer zweipoligen Maschine der eine Pol ein sogenannter Nordpol, der ihm gegenüberliegende ein Südpol sein soll. Welcher von beiden Polen der positive und welcher der negative sein soll, hängt ganz von der Verbindungsweise der Ankerwicklung mit dem Kollektor und von der Drehrichtung der Maschine ab.

Falsche Schaltung. Wenn daher eine Gleichstrommaschine keine Spannung gibt, so ist, wenigstens wenn es sich um eine erstmalige Inbetriebsetzung handelt, allemal dieser Fehler der wahrscheinlichste, dass nämlich die beiden Magnetpole vertauscht werden müssen, was ja in bekannter Weise am einfachsten durch Vertauschen der beiden Zuführungen zu den Magnetspulen geschieht; es muss einfach die Stromrichtung in der Bewickelung der Magnetpole geändert werden. Natürlich ist ja immerhin eine Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass bei Reparaturen, wenn die Magnetspulen von den Polen herunter genommen worden sind und nachher wieder eingesetzt werden, auch in der Weise eine falsche Schaltung eintreten kann, dass zwei gleiche Pole sich gegenüberstehen bei zweipoligen Maschinen; dies ist natürlich nicht ohne weiteres zu erkennen, vielmehr muss man die Wickelungsrichtung der Magnet-

spulen kennen; man wird sie aber meistens schon aus der obersten Lage der Wickelung herausfinden können.

Polarität. Nun ist derjenige Pol ein positiver, um welchen der Magnetspulenstrom in einer Richtung herumfließt, welcher derjenigen des Uhrzeigers entgegengesetzt ist; diese Regel ist nur richtig, wenn man auf die aus-

gebohrte Polfläche sieht. Dagegen ist derjenige Pol ein negativer oder Südpol, bei dem die Stromrichtung der Uhrzeigerbewegung entspricht, wobei man ebenfalls die ausgebohrte Polfläche vor sich haben muss. Die Figuren 11 und 12 erläutern diese handliche Regel.

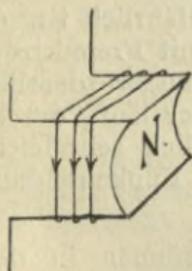


Fig. 11.

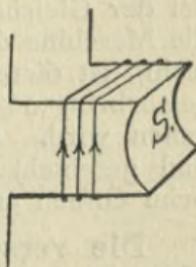


Fig. 12.

Polfolge bei mehrpoligen Maschinen. Bei vierpoligen Maschinen müssen die beiden gegenüberliegenden Pole gleichnamig sein, so dass also immer auf einen positiven ein negativer Pol folgen muss. In derselben Weise ist es bei allen mehrpoligen Maschinen nötig, dass nebeneinander stets ungleichnamige Pole liegen. Ein Fehler in dieser Beziehung beeinträchtigt das Funktionieren der Maschinen um so mehr, je mehr Pole falsch geschaltet sind und je weniger Pole die Maschine überhaupt hat. Die auftretende Erscheinung bei falsch geschalteten Polen ist zu geringe Ankerspannung, starke Funkenbildung, innere Ausgleichsströme in der Ankerwicklung und infolgedessen Erhitzung der letzteren.

Unterbrechung in der Magnetwicklung. Ein weiterer Fehler kann in einer vollständigen Unterbrechung in der Magnetspulenbewicklung liegen, so dass ein Strom sich in der Magnetwicklung nicht bilden und infolgedessen eine Spannung nicht hervorgebracht werden kann. Bei älteren Maschinen findet man häufig noch die Magnetspulen zwar an und für sich ganz zweckmässig gewickelt, die Enden indessen, d. h. die Herausführungen, in sehr unzuweckmässiger Weise angeordnet. Am meisten ausgesetzt ist der Anfang der Bewicklung einer Magnetspule, und zu gleicher Zeit ist hier ein Bruch des Drahtes am gefährlichsten, weil man dann gewöhnlich die ganze Magnetspule abwickeln muss; zu diesem Zwecke ist es sehr empfehlenswert, stets als Anfang einer Magnetspule dünnes biegsames Kabel zu verwenden und dasselbe erst mehrmals um den Spulenkasten herumzuwinden, ehe man es mit der Drahtbewicklung verlötet. Vor allen Dingen ist darauf zu achten, dass Anfang und Ende einer jeden Magnetspule vollständig von Zug entlastet sind; in der Praxis ist das auf viele Weisen möglich, wie der Verfasser dies an anderem Ort geschrieben hat (Technologie der Dynamomaschinen, Seite 150 und folgende).

Während die Unterbrechung einer Magnetspulenbewicklung bei der Gleichstromdynamo im Augenblicke nicht gefährlich ist, da die Maschine dann eben nicht angehen wird (auch mit Fremdstrom nicht), ist dieselbe Erscheinung beim Elektromotor ausserordentlich gefahrbringend, da der Motor, wenigstens wenn er leer läuft, durchgehen wird. Die Erkennung des Fehlers ist natürlich sehr leicht und geschieht einfach aus dem Fehlen einer jeden Funkenbildung beim Öffnen und Schliessen eines Regulators.

Die verschiedenen „Schlüsse“. Schlüsse können in den Magnetspulen in der verschiedensten Weise auftreten. Erstlich kann bei einer Nebenschlussmaschine eine Magnetspule in sich Kurzschluss haben, etwa dadurch, dass durch zu starkes Klopfen beim Wickeln an mehreren Stellen die Isolation gegeneinander durchgeschlagen ist; der Strom wird dann zwischen verschiedenen Lagen direkt übertreten, es wird eine Anzahl Windungen ganz

kurz geschlossen und dadurch überbrückt, d. h. von jedem Einfluss auf die Erzeugung des Magnetismus ausgeschlossen sein.

Schluss innerhalb einer Magnetspule. Diesen Fehler erkennt man weniger an einer immerhin wahrscheinlich vorhandenen Erwärmung als vielmehr an der Erhöhung des Nebenschlussstromes sowie daran, dass der Widerstand der defekten Spule ganz erheblich kleiner geworden ist. Der Widerstand ist eben durch die Überbrückung einzelner Windungselemente verringert, es sind daher in der Wickelung weniger Windungen wirksam auf dem Spulenkasten als in Wirklichkeit vorhanden sind; aus beiden Gründen wird die Magnetstromstärke bei gleicher Spannung des Ankers grösser sein müssen. Der direkte Schluss in einer Magnetspule und die Überbrückung von Windungen kann schliesslich so stark sein, dass die ganze Magnetspule nicht mehr zur Wirkung kommt und überbrückt ist, wenn z. B. Anfang und Ende der Bewickelung miteinander Schluss haben; bei modernen Maschinen wird dies nur noch selten vorkommen, während es früher, als die Spulenkästen noch aus Zink angefertigt wurden, öfters vorgekommen ist. Eine solche vollständig überbrückte Magnetspule wird natürlich nicht mehr warm werden, da im Betrieb durch sie ja kein Strom mehr hindurchfliesst. Bei einer zweipoligen Maschine wird auf das Funktionieren des Ankers dadurch weiter kein Einfluss ausgeübt, da man bekanntermassen von zwei einander gegenüberliegenden Polen nur einen mit einer Magnetbewickelung auszustatten braucht, während der andere ein Folgepol sein kann ohne Bewickelung; die beiden Pole sind dann trotzdem ungefähr (abgesehen von der Streuung) gleich stark, und, da durch Überbrückung der einen Magnetspule ihr Widerstand auf Null gesunken ist, ist der gesamte Magnetwiderstand nur noch 50 % des früheren richtigen Widerstandes; infolgedessen kann und muss sich eine doppelt so hohe Nebenschlussstromstärke bei gleicher Spannung bilden, allerdings unter ausserordentlich starker Erwärmung der nicht defekten Magnetspule, jedoch ohne jede Funkenbildung der Maschine.

Nicht selten liegt der Grund eines derartig nach und nach vollständig eintretenden Verkohlens einer Magnetspule in starker Feuchtigkeit derselben.

Berührung der Magnetwicklung mit dem Eisen. Neben diesem Spulenschluss in sich oder Überbrückung kann bei Nebenschlussmaschinen ein Magnetspulenschluss mit Eisen, d. h. die Berührung der Kupferbewickelung der Magnetspulen, oder, was häufiger der Fall sein wird, die Berührung der Zuführungsdrähte zur Magnetwicklung, ihr Anfang und Ende mit dem Eisen des Magnetkörpers, dann gefährlich werden, wenn zwei derartige Schlussstellen vorliegen, entweder beide in der Spulengewickelung oder eine davon im Kollektor oder der Ankerwicklung, ferner auch bei Maschinen in Leitungsnetzen mit blankem Mittelleiter,

wenn ihr Magnetkörper geerdet ist, oder in Trambahnnetzen, wie dies weiter oben bei Gelegenheit der Ankerstörungen schon eingehend besprochen worden ist. Fig. 13 zeigt z. B., wie durch die

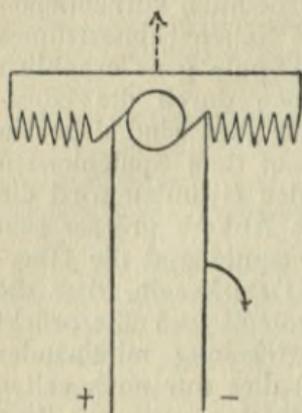


Fig. 13.

Berührung des Verbindungskabels zwischen den beiden Polen eines zweipoligen Motors mit dem Magnetgestell unter der Voraussetzung, dass letzteres geerdet und der negative Leiter blank an Erde liegt, die rechte Spule vollständig überbrückt erscheint; je nachdem, wo ein derartiger Schluss eintritt, wird die Wirkung auch verschieden sein.

Berührung der dünnen und dicken Magnetwicklung.

Bei Maschinen mit gemischter Wickelung, sogenannten Compoundmaschinen, treten unter Umständen Schlüsse zwischen der dicken und dünnen Bewickelung der Magnetschenkel auf. Es kommt bezüglich der Wirkung dieser Schlüsse

ganz darauf an, wo dieselben auftreten. Das allgemeine Schema einer Compoundmaschine gibt Fig. 14, wo die dick ausgezogene Linie die dicke Wickelung (Hauptstromwicklung), die dünn ausgezogene Spirale die Nebenschlusswicklung darstellt. Indessen kann auch ohne wesentlichen Unterschied die Schaltung nach der folgenden Fig. 15 vorgenommen werden, wo die Nebenschlusswicklung direkt parallel zur

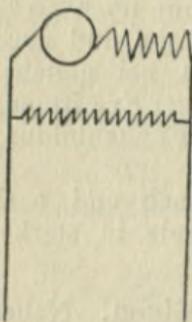


Fig. 14.

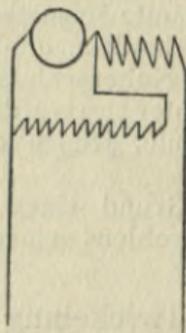


Fig. 15.

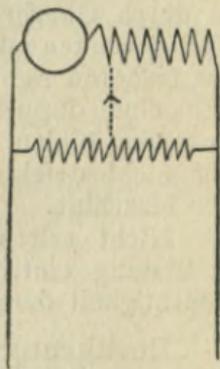


Fig. 16.

Ankerwicklung liegt; der einzige Unterschied ist zwischen den beiden Figuren, dass im ersteren Falle der geringfügige Nebenschlussstrom durch die Hauptstromwicklung hindurchfließt, in letzterem Falle nicht. Halten wir uns zuerst an die erstere Fig. 14, so kann eine Berührungsstelle, ein Schluss zwischen Nebenschlusswicklung und Hauptstromwicklung an verschiedenen Punkten auftreten. Fig. 16

zeigt einen Fall, wo die Mitte der Nebenschlusswicklung mit irgend einem Punkt der Hauptstromwicklung Berührung hat, der Erfolg ist der, dass eine Hälfte der Nebenschlusswicklung stromlos ist. Die Erscheinung zeigt sich naturgemäss im Betriebe ebenso, wie dies weiter oben bei überbrückten Spulen erwähnt wurde. Bei mehrpoligen Maschinen ist eine Fortführung des Betriebes überhaupt unmöglich, bei zweipoligen Maschinen wird zwar im allgemeinen

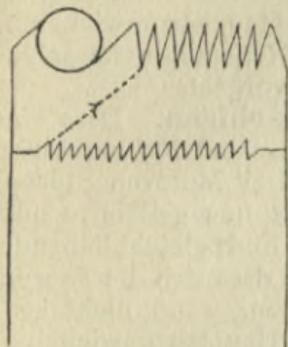


Fig. 17.

der Betrieb nicht direkt gestört, indessen wird die eine Spule wegen des verdoppelten Nebenschlussstromes ausserordentlich heiss, während die andere kalt bleibt.

Die weitere Fig. 17 zeigt einen Schluss zwischen dem Anfang der Nebenschlusswicklung und der Hauptstromwick-

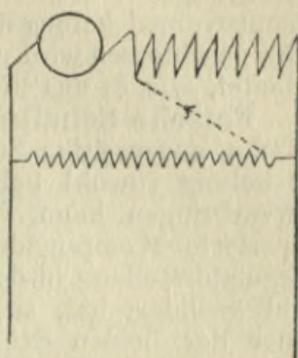


Fig. 18.

kelung. In diesem Falle ist die ganze Nebenschlusswicklung parallel geschaltet zu der Hauptstromwicklung. Da der elektrische Widerstand der Nebenschlusswicklung mehr als 1000 mal so gross sein wird wie derjenige der Hauptstromwicklung, so kann man sagen, dass die Nebenschlusswicklung kurz geschlossen ist; es geht praktisch kein Strom durch sie hindurch, die Maschine erregt sich nicht, was schon deshalb unmöglich ist, weil durch die Berührungsstelle die beiden Pole des Ankers selbst kurz geschlossen sind. Ein derartiger Schluss verhindert also den Betrieb einer Dynamomaschine vollständig, beim Gleichstrommotor wirkt er als direkter Kurzschluss des Leitungsnetzes.

Eine weitere Möglichkeit wäre eine Berührungsstelle zwischen dem Ende der Nebenschlusswicklung und dem Anfang der Hauptstromwicklung, wie es in Fig. 18 dargestellt ist. Ersichtlich ist dieser Schluss gleichbedeutend mit einem Schluss zwischen der negativen Leitung und dem negativen Bürstenhalterzapfen. Das Resultat ist jedenfalls, wenn der Schluss ein ganz direkter von ausserordentlich geringem Widerstand ist, dass die Hauptstromwicklung kurz geschlossen erscheint und die Maschine nicht mehr als Compoundmaschine, sondern als Nebenschlussmaschine funktioniert, ohne dass deswegen der Betrieb weiter gestört wäre.

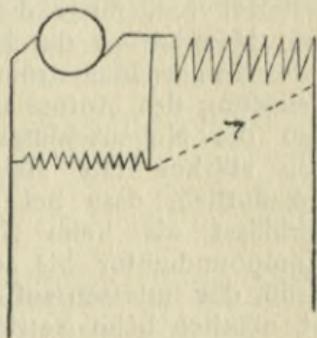


Fig. 19.

Ein in seiner Wirkung harmloser Schluss zwischen den beiden Magnetspulenwickelungen ist es, wenn das Ende der Nebenschlusswicklung mit dem Ende der Hauptstromwicklung Berührung hat; es ist klar, dass dieser Schluss keinerlei Einwirkung auf den Betrieb hat, wenigstens bei der nach Fig. 14 angenommenen Schaltung der Maschine. Nehmen wir jedoch die oben ebenfalls in Fig. 15 dargestellte Maschinenschaltung an, so hat bei ihr allerdings die Berührung zwischen den Enden der Nebenschlusswicklung und der Hauptstromwicklung wieder die Folge, dass die Hauptstromwicklung kurz geschlossen wird und die Maschine nur als Nebenschlussmaschine arbeitet, wie es aus Fig. 19 ohne weiteres hervorgeht.

Falsche Schaltung bei Compoundmaschinen. Dass eine falsche gegenseitige Schaltung der Hauptstrom- und Nebenschlusswicklung sowohl bei Dynamomaschinen als bei Motoren Störung hervorbringen kann, ist bekannt. Wenn eine neu gelieferte oder reparierte Compoundmaschine bei Belastung und gleichbleibender Regulatorstellung in der Spannung abfällt, ohne dass sich die Tourenzahl geändert hat, so ist zunächst zu vermuten, wenn nicht etwa einer der beiden Schlüsse vorliegt, dass die Hauptstromwicklung in verkehrtem Sinne vom Hauptstrom durchflossen wird; die Abhilfe ist naturgemäss leicht durch Vertauschung der beiden Enden der Hauptstromwicklung zu schaffen. Während bei Dynamomaschinen eine derartig falsche Schaltung einen Betriebsunfall nicht zur Folge haben kann, muss sie bei Gleichstromcompoundmotoren geradezu als gefährlich bezeichnet werden. Bei einem richtig geschalteten Gleichstromcompoundmotor, d. h. bei einem Nebenschlussmotor, welchen man zum Zwecke der Erreichung einer höheren Anzugskraft noch mit einer Hauptstromwicklung ausgestattet hat, muss die Hauptstrombewicklung in gleichem Sinne vom Hauptstrom durchflossen sein wie die Nebenschlusswicklung vom Nebenschlussstrom; dann wirkt die Hauptstromwicklung bei Belastung des Motors in gleichem Sinne magnetisierend, unterstützt also die Nebenschlusswicklung, der Magnetismus der Pole wird also stärker mit steigender Belastung. Die Folge davon ist bekanntlich, dass bei steigender Belastung die Tourenzahl mehr nachlässt als beim Nebenschlussmotor, so dass gewöhnlich ein Compoundmotor bis zu 25 0/0 in der Tourenzahl abfällt, ein Umstand, der indessen auf seinem Anwendungsgebiete nicht unerwünscht ist, nämlich beim Betriebe von Kränen, Winden, Aufzügen, Fahrzeugen und dergl. Nun stelle man sich aber vor, dass die Hauptstromwicklung des Compoundmotors falsch geschaltet sei; sie wird dann vom Hauptstrom im umgekehrten Sinne durchflossen wie die Nebenschlusswicklung vom Nebenschlussstrom. Die Folge ist, dass sie nicht magnetisierend und die Nebenschlusswicklung unterstützend, sondern entmagnetisierend und die Nebenschlusswicklung schwächend wirkt. Bei geschwächtem Magnetfeld steigt aber die Tourenzahl und dies kann unter Umständen zu Katastrophen führen. Man soll daher

bei der Inbetriebsetzung von Compoundmotoren jedenfalls vorsichtiger sein als mit dem Anschluss gewöhnlicher Nebenschlussmotoren.

Störungen an Anlassern und Regulatoren. Wir gehen dazu über, diejenigen Fehler und Störungen zu besprechen, welche an den Nebenapparaten der Maschinen, nämlich an Regulier- und Anlasswiderständen auftreten können. Es sind ihrer naturgemäss nur wenige, und sie sind wegen der leichten Zugänglichkeit der vorgenannten Apparate schneller zu erkennen als die Fehler und Störungen an den Maschinen selbst. Die am häufigsten vorkommende Störung beruht in der Unterbrechung irgend einer Spirale oder Elementes des Regulators oder Anlassapparates. Es geht dann durch den Apparat kein Strom mehr hindurch; die Folge davon ist, dass eine Dynamomaschine nicht angeht, ein Motor nicht anläuft, erstere, weil sich kein Nebenschlussstrom bilden kann, der letztere, weil der Ankerstrom seinen Weg unterbrochen findet. In beiden Fällen ist es möglich, trotzdem zum Betrieb zu gelangen, wenn die unterbrochene Spirale nahe dem Ausschaltkontakt des Apparates sich befindet, da man dann bei der Dynamo sicher, beim Motor meistens ohne Gefahr auf den nächsten, nicht unterbrochenen Kontakt übergehen kann. In den weitaus meisten Fällen wird man sich schnell dadurch helfen können, dass man die unterbrochene Spirale kurz schliesst, so dass der Stromverlauf wieder hergestellt ist. Während in den beiden angeführten Fällen die Störung selbst nicht gefährlich wirken kann, da man sie ja sofort merken wird, liegt der Fall ungleich gefährlicher bei Motoren, welche zum Zwecke der Tourenregulierung einen Regulator in ihrem Magnetstromkreise haben; eine Unterbrechung in diesem Regulator während des Betriebes hat ein Durchgehen oder ein Verbrennen des Motors zur Folge, da je nach der Belastung und der Bürstenstellung ein Gleichstrommotor, dessen Nebenschlussstromkreis während des Laufes plötzlich unterbrochen wird, entweder eine kolossale Tourenzahl annehmen oder stehen bleiben und verbrennen wird.

Schaltung von Anlassern für Nebenschlussmotoren.

Wenn gleich es vielleicht überflüssig erscheint, an dieser Stelle noch über die richtige Schaltung eines Anlasswiderstandes zu sprechen, so haben doch verschiedene schlechte Erfahrungen, die der Verfasser in der Praxis machen musste, ihn dazu be-

wogen, auch hierüber einiges zu sagen. In kurzen Worten lässt sich sagen, dass bei einem Nebenschlussmotor der Anlasser so geschaltet sein muss, dass sein Widerstand vor dem Anker liegt, siehe Fig. 20, während die Nebenschlusswicklung parallel zu Anlasser + Anker

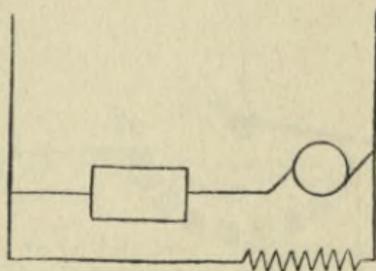


Fig. 20.

geschaltet sein muss. Dann ist die Bedingung erfüllt, dass im Augenblick des Einschaltens der Nebenschluss unter der vollen Betriebs-

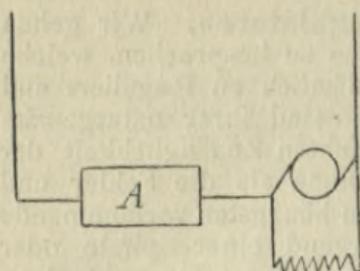


Fig. 21.

spannung steht, also die Magnete stark magnetisiert sind, während der Anker eine durch den vorgeschalteten Anlasswiderstand abgeschwächte Stromzufuhr erhält. Auf keinen Fall darf die Schaltung etwa nach der falschen Fig. 21 vorgenommen werden, wo der Nebenschluss nur parallel zum Anker liegt. Ersichtlich wird dann beim Einschalten durch den Nebenschluss nur ein ganz schwacher Strom fließen und der Motor

wird keinerlei Anzugskraft besitzen, also nicht anlaufen.

Aus Gründen der funkenfreien Ausschaltung des Anlasswiderstandes fand man früher vielfach Anlassapparate, welche mit dem Motor zusammen etwa nach Fig. 22 geschaltet waren. Es liegt dann die Magnetwicklung ständig am Leitungsnetz, wenn man sie nicht nach definitiver Ausserbetriebsetzung des Motors durch einen Ausschalter unterbrach. Eine sehr einfache und zweckmässige dabei jede Funkenbildung beim Ausschalten vermeidende Anlasserschaltung ist in Fig. 23 dargestellt.

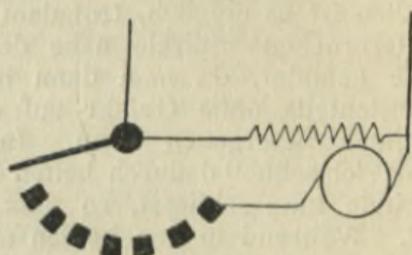


Fig. 22.

Gewöhnlich werden von den Firmen die Anlasser mit drei Anschlusskontakten ausgeführt, welche mit Buchstaben etwa wie in der Skizze

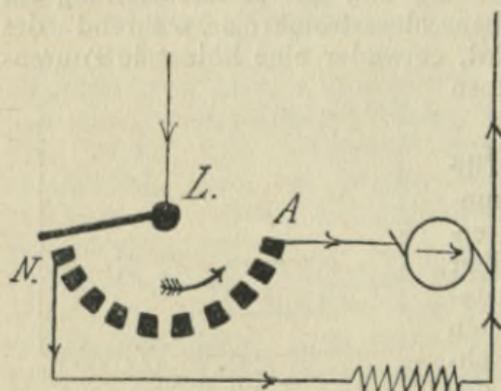


Fig. 23.

angegeben nämlich *L* (Leitung), *N* (Nebenschluss), *A* (Anker) bezeichnet sind. Hierbei ist nur zu bemerken, dass vom Kontakt *N* eine dünne Leitung zu dem freien Ende der Magnetwicklung, vom Kontakt *A* eine dicke Leitung zu derjenigen Ankerbürste zu führen ist, welche nicht mit der Nebenschlusswicklung in Verbindung steht. Fig. 24 stellt dies dar. Nun wird aber leider nicht selten der Anschluss

eines solchen Anlasswiderstandes in zwei Richtungen verkehrt gemacht. Fig. 25 stellt den häufigeren Fall der falschen Schaltung dar. Hier sind die Klemmenbezeichnungen des Anlasswiderstandes

richtig benutzt, an den Kontakt des Hebels L ist eine Leitung angeschlossen, an den Kontakt N das freie Nebenschlussende, an den Kontakt A ein Ankerpol, aber der falsche, nämlich der mit der Nebenschlusswicklung verbundene, während die Ableitung an der freien Ankerbürste fälschlich liegt. Stellt man sich vor, welche

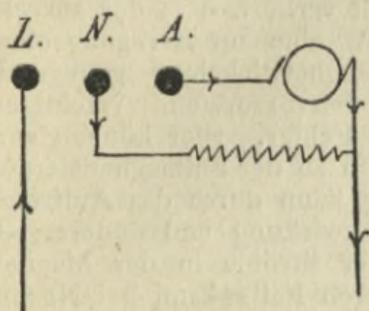


Fig. 24.

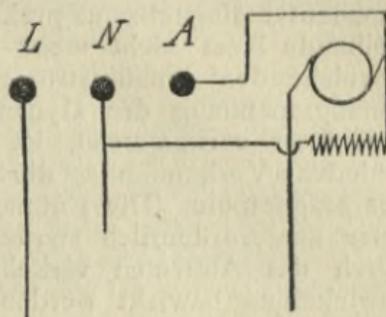


Fig. 25.

Wirkung diese Schaltung hat, so wird man finden, dass der Motor vielleicht leer, keinesfalls aber belastet anlaufen wird, je weiter man aber mit dem Hebel über die Kontakte vorwärts geht, um so mehr vermindert man die Stromstärke im Nebenschluss, bis schliesslich die Magnetwicklung stromlos wird und der Motor entweder unter starker Funkenbildung durchgeht oder stehen bleibt und verbrennt.

Eine weitere seltenere fehlerhafte Schaltung zeigt Fig. 26; hier sind die Klemmen A und L miteinander verwechselt. Die Wirkung ist, dass beim Einschalten der Nebenschlussstrom stark geschwächt ist, weswegen der Motor in den meisten Fällen nicht anlaufen wird. Läuft er aber an, so läuft er von Kontakt zu Kontakt besser, da er schliesslich in der Endstellung richtig geschaltet ist, wie man sich leicht überzeugen wird. Es liegt hier also der Fehler der Fig. 21 vor.

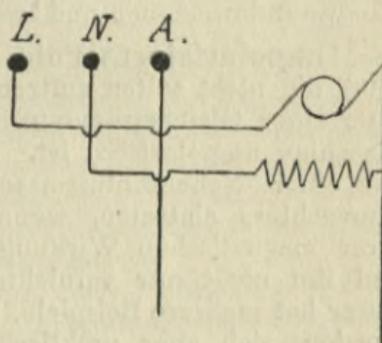


Fig. 26.

Verschiedene andere Störungen. Hiermit glauben wir genug über dieses Thema gesagt zu haben und wenden uns zu dem letzten Kapitel unserer Auseinandersetzungen über Gleichstrommaschinen. Wir wollen hier verschiedene Ursachen von Störungen im Maschinenbetriebe besprechen, die sich unter keins der vorhergehenden Kapitel bringen lassen, und müssen dies naturgemäss in unregelmäßiger Folge tun. Eine Störung, die öfters beklagt wird, beruht darin, dass eine Gleichstromdynamomaschine ihren remanenten

Magnetismus verloren hat. Es kann dies auf zweierlei Weisen möglich sein, nämlich erstens durch längere Nichtbenutzung der betreffenden Maschine und zweitens durch falsche Magnetisierung der Magnetpole.

Verlust des Magnetismus. Die erstere Erscheinung ist darin begründet, dass Gusseisen bezw. Stahlguss allmählich seinen remanenten Magnetismus praktisch so weit verliert, dass der zurückbleibende Rest nicht mehr imstande ist, eine zur Erregung eines ausreichenden Anfangsstromes in der Magnetwicklung genügende Anfangsspannung der Dynamomaschine hervorzurufen. Wichtiger, weil öfter vorkommend, ist der zweite Fehler. Hier können verschiedene Vorkommnisse die Schuld tragen an der Entmagnetisierung der Magnetpole. Die Entmagnetisierung kann durch das Auftreten einer ausserordentlich starken Ankerrückwirkung und andererseits durch das Auftreten verkehrt gerichteter Ströme in der Magnetwicklung bewirkt werden. Im ersteren Falle kann bei Nebenschlussmaschinen durch einen starken Kurzschluss tatsächlich der Ankerstrom so stark werden, dass die magnetische Ankerrückwirkung den Magnetismus der Pole vernichtet. Derartige Fälle sind in der Praxis bewiesen; damit ist auch bewiesen die Möglichkeit, dass in Akkumulatorenanlagen eine Nebenschlussmaschine umpolarisiert werden kann; doch davon später. Das Auftreten verkehrt gerichteter Ströme in der Magnetwicklung wird vorzugsweise bei Compoundmaschinen und zwar in Akkumulatorenanlagen vorkommen.

Umpolarisierte Pole. Hiermit in direktem Zusammenhange steht die nicht selten auftretende Störung, dass plötzlich die beiden Pole einer Gleichstromdynamo vertauscht erscheinen, d. h. dass die Maschine umpolarisiert ist. Wie eben auseinandergesetzt, kann dies bei einer Nebenschlussmaschine sehr wohl durch einen starken Kurzschluss eintreten, wenn die starke Stromstärke im Anker in ihrer magnetischen Wirkung den Magnetismus der Pole übertrifft und ihn nicht nur vernichtet, sondern sogar umkehrt. Der Verfasser hat mehrere Beispiele, die seinerzeit als unglaublich bezeichnet wurden, sich aber praktisch durch keine andere Möglichkeit und theoretisch recht gut durch diese erklären lassen. Dass ein Umpolarisieren von Maschinen mit Compoundwicklung durch Zurücktreten von Akkumulatorenstrom in die Maschine sehr leicht möglich ist, weiss jeder.

Da das Umpolarisieren nur in Akkumulatorenanlagen oder in solchen Anlagen auftreten wird, in welchen ausser dem umpolarisierten Generator noch andere Stromerzeuger parallel arbeiten, so ist die Abhilfe leicht, nämlich nach Abheben der Bürsten vom Anker einen Strom vom Leitungsnetz aus durch die Nebenschlusswicklung einige Sekunden hindurchfliessen zu lassen.

Magnetspulenerhitzung durch zu hohen Nebenschlussstrom. Eine jede Dynamomaschine ist für eine bestimmte Spannung,

aber auch für eine bestimmte Tourenzahl gebaut. Daraus geht hervor, dass man die Dynamo weder bei der richtigen Spannung mit zu niedriger oder zu hoher Tourenzahl noch auch umgekehrt bei richtiger Tourenzahl mit zu hoher oder zu niedriger Spannung laufen lassen darf. Die Fehler, die eine Dynamomaschine bei richtiger Spannung mit zu hoher Tourenzahl oder bei richtiger Tourenzahl mit zu niedriger Spannung läuft, haben wir weiter oben bereits unter „Funkenbildung“ besprochen und gesehen, dass der unter diesen Umständen geschwächte Magnetismus der Pole die störende Funkenbildung verursacht. Die umgekehrten Fehler, nämlich den Betrieb mit zu niedriger Tourenzahl oder zu hoher Spannung, zogen wir noch nicht in den Bereich unserer Betrachtungen; dieses fehlerhafte Verfahren zeigt sich durch eine gleichzeitige übermässige Erwärmung des Ankereisens und der Magnetspulen. Diese Fehler treten öfter auf als man denken sollte bei Lademaschinen in Akkumulatorenanlagen. An und für sich sind Dynamomaschinen für die Ladung von Akkumulatoren bei ihrer Höchstspannung (etwa 165 Volt für 60 Zellen) magnetisch schon sehr stark beansprucht; es schadet dies allerdings nicht weiter, da die Ladung mit dieser hohen Spannung nur verhältnismässig kurze Zeit dauert. Darüber hinaus jedoch sollte man die Maschine nicht beanspruchen; eine Verminderung der Stromstärke bei Erhöhung der Spannung bringt keinen wesentlichen Vorteil, da bei zu hoch getriebener Spannung der Einfluss der Belastung auf die Grösse des Nebenschlussstromes unbedeutend ist, so dass die Spulen und das Ankereisen in ihrer Erhitzung nicht vom Hauptstrom, sondern von der Höhe der Spannung abhängig sind.

Die Lager. Die modernen Maschinenlager sind sämtlich mit Ringschmierung ausgestattet; viele Firmen verwenden auch selbst bei kleineren Typen von 1 PS. ab schon einstellbare Kugellager. Daher ist bei aufmerksamer Inbetriebsetzung ein Heisslaufen trotz der ausserordentlich hohen Wellenzapfengeschwindigkeiten selten und stets auf eine Nachlässigkeit zurückzuführen.

Bei neuen Maschinen müssen unter allen Umständen vor der ersten Inbetriebsetzung die Lager mit reinem Petroleum ausgespült werden, so lange, bis das abfliessende Petroleum klar bleibt; denn in vielen Fällen stehen kleine und mittelgrosse Maschinen längere Zeit vor dem Verkauf auf Lager, wobei es gar nicht zu vermeiden ist, dass sich in der Ölkammer etwas Staub ansammelt. Wird die Maschine ohne eine solche Vorsichtsmassregel in Betrieb genommen, so kann Heisslaufen der Achse, sogar Festbrennen des Zapfens im Lager oder Auslaufen der Lagerschale (bei Weissmetallschalen) eintreten.

Die Verwendung eines guten, nicht zu schweren Öles zur Füllung der Ölkammer darf als selbstverständlich vorausgesetzt werden. Die Ölkammer darf nur soweit angefüllt sein, dass der Öhring eben in das Öl taucht; taucht er zu weit ein, so wird er in seiner Bewegung gehemmt und transportiert nicht die genügende Menge auf den Zapfen.

Die Ölringe müssen aus Messing sein (von gezogenem Messingrohr abgestochen und sauber von Grat befreit). Eisen ist wegen magnetischer Einflüsse, Zink wegen des Verschmutzens unzulässig.

Eine besonders bei neuen Anlagen häufig auftretende Störung wird veranlasst durch zu straffe Treibriemen und kann vor diesem Übel nicht ernst genug gewarnt werden, da durch zu straffes Anspannen des Treibriemens die Lager in ganz kurzer Zeit heiss werden und ausschmelzen können.

Diesem Vorkommnis kann durch vorsichtiges, allmähliches Anspannen des Treibriemens leicht genug vorgebeugt werden; dass aber Betriebsstörungen aus dieser Veranlassung nur zu häufig vorkommen, ist ein Beweis dafür, dass diesem Punkte nicht immer genügende Sorgfalt gewidmet wird.

Abschluss der Luftzufuhr. Bei andauerndem Betrieb braucht ein Motor *reichliche Luftzufuhr* und ist es häufig eine Ursache überstarker Erwärmung, dass der freie Zutritt der Luft zum Motor durch Eindecken desselben mit einem Kasten gehindert wird. Nur für häufig unterbrochenen Betrieb ist die völlige Einkapselung eines Motors zulässig; bei Dauerbetrieb jedoch für den Motor gefährlich.

Es sei noch auf eine, direkt auf **Nachlässigkeit oder Vergesslichkeit** eines Angestellten zurückzuführende Störungsursache aufmerksam gemacht. Bei Ausserbetriebsetzung eines Motors, oder bei etwa während des Betriebes eintretender Stromunterbrechung, ist es *unbedingt erforderlich*, bei sämtlichen angeschlossenen Motoren den Anlasshebel auf die Anfangsstellung zurückzubringen, so dass der gesamte Anlass-Widerstand dem Anker vorgeschaltet ist und beim Wiederkehren des Stroms oder beim Neueinschalten des Motors nicht ein Kurzschluss im Anker hervorgebracht wird.

Kurzschluss im Leitungsnetz: Wird während des Stillstandes der Dynamomaschine ein Kurzschluss im Leitungsnetz verursacht, dann wird die Dynamomaschine beim Anlaufen stromlos bleiben, weil die Nebenschlussmagnete sich infolge des Kurzschlusses nicht erregen können. Es lässt sich diese Ursache in der einfachsten Weise dadurch nachweisen, dass man das Leitungsnetz von der Maschine abschaltet und dieselbe nur mit dem Voltmeter im Stromkreis anlaufen lässt. Liegt ein Kurzschluss im Leitungsnetz vor, dann ist dessen Beseitigung selbstverständlich das einzige Mittel zur Beiseitigung der Störung.

Kurzschluss im Leitungsnetz, verursacht durch nicht ausgeschaltete Motoren oder durch eine Anzahl parallel geschalteter Bogenlampen. Wird es unterlassen, bei Betriebseinstellung, die angeschlossenen Motoren oder parallel geschaltete Bogenlampen abzuschalten, dann kann dies unter Umständen die gleiche Wirkung hervorgerufen, wie ein Kurzschluss im Leitungsnetz, d. h. die Dynamomaschine wird infolge Nichterregung der Magnete stromlos bleiben, da die

event. im Stromkreis angeschlossenen Motoren oder parallel geschalteten Bogenlampen einen Kurzschluss bilden. Es geht hieraus hervor, dass unter allen Umständen Motoren und Bogenlampen beim Betriebsschluss ausgeschaltet werden müssen. Durch Verwendung von Anlasswiderständen mit automatischer Nullstromausschaltung kann einem solchen Versehen, soweit Motoren in Betracht kommen, vorgebeugt werden, da diese Apparate die Motoren beim Ausbleiben des Stroms selbsttätig ausschalten.

Temperaturbestimmung. Dynamomaschinen und Elektromotoren sind im Betrieb naturgemäss einer Erwärmung unterworfen, indem die in der Maschine entstehenden Umsetzungsverluste als Wärme auftreten.

Diese Erwärmung darf jedoch bei normalem Betrieb eine bestimmte Höhe nicht überschreiten und ist durch langjährige Erfahrung festgestellt, dass die Erwärmung irgend eines Teiles der Maschine bei Dauerbetrieb 40° C. über die umgebende Lufttemperatur nicht übersteigen soll.

Um festzustellen, ob die während mehrstündigen Betriebes entstandene Erwärmung die vorerwähnte Grenze überschreitet, genügt es nicht, die Maschine durch die Hand zu befühlen, sondern es müssen zu diesem Zweck sofort nach Einstellung des Betriebes eigens hierfür hergestellte Thermometer*) innerhalb des Magnetgehäuses auf den Anker gelegt und mit Putzwolle oder Lappen gegen Abkühlung geschützt werden.

Die Ablesungen sind in kürzeren Zwischenräumen zu machen, und solange fortzusetzen, bis keine Erhöhung der Quecksilbersäule mehr zu beobachten ist, d. h. bis das Thermometer anfängt zu fallen.

II.

Ein- und mehrphasige Generatoren.

Generatoren mit rotierendem Anker. Ein und mehrphasige Generatoren wurden früher nicht selten mit rotierendem Anker und 2 bzw. 3 Schleifringen zur Abgabe des Wechselstromes gebaut; auch heute findet man noch bei niedrigen Spannungen bis etwa 500 Volt derartige Maschinen. Sie unterscheiden sich daher wenig von den besprochenen Gleichstrommaschinen; ein

*) Diese Thermometer können von G. A. Schulze, Berlin SW., Schöneberger Strasse 4, bezogen werden.

gewisser Vorzug liegt darin, dass ihnen der empfindlichste Teil der Gleichstrommaschine, der Kollektor, fehlt, weshalb bei solchen Maschinen die Störungen weit weniger aufzutreten pflegen. Die Schleifringe sind naturgemäss viel leichter vom Körper bzw. von der Achse zu isolieren als die Kollektorlamellen.

Ankerstörungen. Störungen treten daher selten an den Schleifringen auf. Die Ankerwicklung derartiger einphasiger Generatoren unterscheidet sich allerdings von der Ankerwicklung einer Gleichstrommaschine dadurch, dass bei letzterer mindestens *zwei*, bei höherer Polzahl aber gewöhnlich mehr *parallele Ankerabteilungen* vorhanden sind, welche durch die Bürsten parallel geschaltet werden. Demgegenüber haben einphasige Generatoren mit rotierendem Anker fast immer nur *einen Ankerstromkreis*, ein Grund, weshalb die Windungszahl des Ankers beträchtlich kleiner ist unter sonst gleichen Bedingungen wie bei Gleichstrommaschinen. Mehrphasige Generatoren haben bekanntlich mehrere miteinander in einem Punkt zusammenstossende Wicklungen, so ein zweiphasiger Generator zwei Stromkreise, ein dreiphasiger drei Stromkreise, die miteinander im sogenannten neutralen Punkt verbunden sind. Störungen, welche in diesen Wicklungen auftreten, können durch Eisenschluss oder durch Kupferschluss innerhalb einer Spule oder zwischen zwei Spulen hervorgerufen sein und zeigen sich äusserlich nicht durch Funkenbildung, da die nicht unterteilten Schleifringe eine Funkenbildung fast vollständig ausschliessen, sondern nur durch ausserordentlich starke Erhitzung der entsprechenden Wicklungselemente.

Moderne Generatoren mit unbeweglichem Anker. Da indessen doch in der Praxis heutzutage Wechselstromgeneratoren mit rotierendem Anker immer seltener werden, so gehen wir von vornherein über zu den modernen ein- und mehrphasigen Generatoren mit feststehendem Anker und rotierendem Magnetsystem; wir können dies um so eher tun, als wir bei ihnen dieselben Fehlererscheinungen finden wie bei den eben besprochenen Maschinen.

Indem wir den feststehenden Anker *Stator* nennen, können wir unsere Besprechung einteilen: 1. in die Fehler, welche im Stator und seiner Wicklung auftreten, 2. in die Störungen der Magnetwicklungen, 3. in die Störungen der Erregermaschine.

Störungen im Stator. Der Stator einer modernen einphasigen Wechselstrommaschine hat eine feststehende, in Nuten oder Löchern an der inneren Peripherie verlegte Ankerwicklung, welche zum Zweck der Stromabnahme zu zwei festen Klemmen führt. Wenn nicht besondere Gründe, wie z. B. sehr hohe Stromstärke, dagegen sprechen, so sind alle Ankerspulen hintereinander geschaltet, doch kann es natürlich bei Maschinen von niedriger Spannung und hoher Leistung leicht möglich sein, dass man, um einen handlichen

Kupferquerschnitt für die Wickelung zu erhalten, mehrere parallele Stromkreise anordnet.

Unterbrechung. Ist die Wickelung aber hintereinander geschaltet, so wird die Maschine naturgemäss bei einer Unterbrechung in der Wickelung stromlos. Ein derartiger Fehler lässt sich sehr leicht finden, doch wird er sehr selten auftreten, da ein Grund für die Unterbrechung in einer unbeweglichen Ankerwicklung höchst selten gegeben sein dürfte.

Kupferschluss. Hat die Maschine in ihrer Ankerwicklung einen Kupferschluss, worunter wir also die nicht beabsichtigte Berührung zweier Stellen der Wickelung verstehen, derart, dass ein Stromübergang stattfindet, so wird es sehr darauf ankommen, wo diese Stellen sich befinden. Befinden sie sich innerhalb einer und derselben Ankerspule, so leidet nur die betreffende Ankerspule darunter; sie erscheint kurz geschlossen, die in ihr erzeugte Spannung bringt in der kurz geschlossenen Spule einen kolossal hohen Strom hervor, so dass sich ein solcher Fehler sehr schnell durch gefahrdrohende Erhitzung der schadhafte Spule bemerklich macht. Ausserdem wird die Gesamtspannung der Maschine vermindert 1. weil die Spannung der defekten Spule nach aussen hin nicht mehr zur Wirkung gelangt und 2. weil die defekte Spule durch ihre ausserordentlich hohe Stromstärke entmagnetisierend auf das Magnetsystem wirkt. Will man rasch Abhülfe schaffen, ohne sofort eine neue Ankerspule einzusetzen (vorausgesetzt natürlich, dass nicht überhaupt die Berührungsstelle in einfacher Weise unschädlich gemacht werden kann durch Zwischenschieben von Glimmer), so kann man die defekte Ankerspule unterbrechen, aus dem Zusammenhang der übrigen Ankerwicklung lösen und nun die vorhergehende und die folgende Spule miteinander verbinden. Da auch Einphasengeneratoren gewöhnlich eine grössere Anzahl von Ankerspulen besitzen, so kann das Fehlen einer einzigen gewöhnlich ohne allzugrosse Mehrbeanspruchung der Magnetspulen und des Ankereisens durch Erhöhung des Magnetstromes (Erregerstromes) ausgeglichen werden. Der Fehler, dass zwei voneinander durch mehrere dazwischenliegende Ankerspulen getrennte Wickelungselemente miteinander in unbeabsichtigte Berührung kommen, ist bei der Wickelungsweise unserer modernen Generatoren ausgeschlossen und kommt nicht in Betracht.

Eisenschluss in der Statorwicklung. Eisenschluss bei Wechselstromgeneratoren kann nicht nur für die Ankerwicklung gefährlich, sondern auch für Menschenleben bedrohlich werden; unsere modernen Generatoren werden ja gewöhnlich für höhere Spannungen gebaut; selbst aber eine Spannung von 200 Volt Wechselstrom kann unter besonders ungünstigen Verhältnissen tödlich wirken, wie verschiedene Vorkommnisse (Oscherslebener Zuckerfabrik, Rote Erde Hüttenwerk u. s. w.) gezeigt haben. Derartige

Generatoren werden mit ihrem Eisengestell geerdet, also leitend mit dem Erdboden verbunden.

Erdung von Generatoren. Diese Erdung hat folgenden Zweck. Bei weitverzweigten Wechselstromnetzen tritt nicht selten in irgend einem Kabel eine Ableitung zur Erde ein. Ist dieser Fall eingetreten, so steht streng genommen jeder Mensch, der nicht vom Erdboden isoliert ist, unter der Einwirkung dieses Erdschlusses. Gäbe man dem Wechselstrom nun die Möglichkeit, durch die Erdschlussstelle des Kabels und durch die Erde und den auf der Erde stehenden menschlichen Körper hindurch zum anderen Maschinenpol zurückfliessen zu können, so wäre in vielen Fällen der betreffende Mensch verloren. Vergegenwärtigt man sich nun, dass die meisten Unglücksfälle dadurch entstehen können und entstanden sind, dass jemand den Eisenkörper des Generators berührte, so versteht man den Zweck der Erdung. Hat nämlich die Wechselstromankerwicklung eine Berührungsstelle mit dem Ankereisen, einen Eisenschluss, so würde, wenn die Maschine nicht geerdet wäre, im Falle eines Kabelschlusses der Mensch das Bindeglied zwischen Erde und Maschinenkörper sein. Durch den Menschen würde gewissermassen die Erdung des Maschinenkörpers vorgenommen werden. Beim gleichzeitigen Auftreten eines Kabelschlusses und eines Eisenschlusses in der Ankerwicklung würde also eine bestimmte Spannung auf den menschlichen Körper wirken, die in ihrer Höhe lediglich abhängig wäre von dem Verhältnis des Widerstandes des Erdschlusses zu dem Widerstand des menschlichen Körpers und also unter Umständen tödlich wirken kann. Dadurch nun, dass man den Maschinenkörper nicht von der Erde isoliert, sondern ihn gerade in gute leitende Verbindung bringt mit der Erde, ist der menschliche Körper beim Berühren des Maschinenkörpers parallel zu der Erdung geschaltet, ist also selbst geschützt, da er jedenfalls einen bedeutend höheren Widerstand besitzt als ihn die Erdung haben kann.

Bei einer nicht geerdeten Maschine ist es möglich, dass das gleichzeitige Auftreten eines Erdschlusses in einem Kabel und eines Eisenschlusses in der Ankerwicklung unbemerkt bleibt; bei geerdeten Maschinenkörpern indes fliesst sofort ein Strom von der einen zur anderen Fehlerstelle durch Erde hindurch und wird je nach der Grösse der Fehlerstellen eine Mehrbelastung der zwischen den beiden Fehlerstellen befindlichen Ankerspulen im Gefolge haben.

Treten in der Ankerwicklung selbst zwei Eisenschlüsse auf, so ist die Wirkung dieselbe, als ob die beiden Fehlerstellen nicht jede mit Eisen, sondern beide miteinander Berührung hätten, wie wir dies weiter oben bei der Besprechung der Kupferschlüsse bereits erörtert haben.

Zweiphasige Wickelung. Zweiphasig gewickelte Anker enthalten zwei voneinander unabhängige, gegen einander um die

Hälfte der Entfernung zweier aufeinander folgender Pole verschobene Wickelungen, die in einem Punkte, nämlich dem Endpunkte beider Wickelungen, zusammenstossen. Ebenso haben dreiphasige Generatoren drei Wickelungen, welche gegeneinander um $\frac{2}{3}$ der Entfernung zweier aufeinander folgender Pole verschoben sind. Während aber bei zweiphasigen Generatoren in der Praxis die Verbindung der beiden Phasenwickelungen, wie oben bemerkt, stets in einem Punkte, dem neutralen Punkte, stattfindet, findet man in der Praxis bei Dreiphasengeneratoren zwei verschiedene Verbindungsweisen.

Dreiphasige Sternschaltung. Fig. 27 stellt die häufiger benutzte Schaltungsweise vor, nach welcher drei Wickelungen mit ihren drei Enden in einem Punkte vereinigt sind in dem neutralen oder Nullpunkte. Der Strom wird dann abgenommen an den drei Anfängen, die zu drei Klemmen führen. Es ist dann die Spannung zwischen Klemme 1 und 2 gleich der Spannung zwischen Klemme 2 und 3 und auch gleich der Spannung zwischen Klemme 1 und 3. Dieses Verhältnis verdient besonders hervorgehoben zu werden gegenüber den Spannungsverhältnissen in Zweiphasen- und in Dreileitersystemen (Fig. 28 und 29).

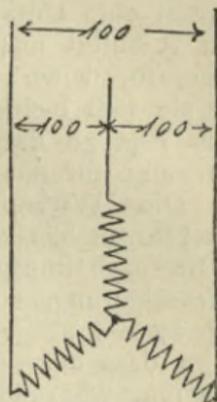


Fig. 27.

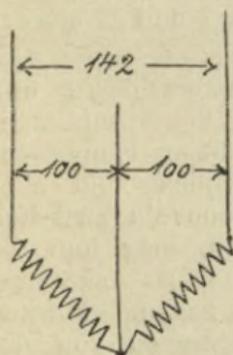


Fig. 28.

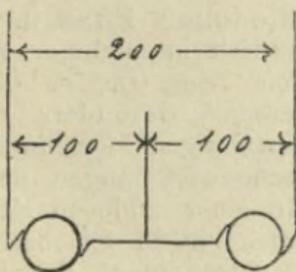


Fig. 29.

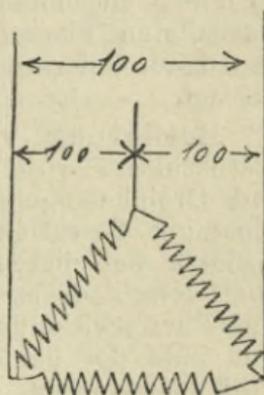


Fig. 30.

Dreieckschaltung. Fig. 30 zeigt uns aber noch eine andere Schaltungsweise von Drehstromgeneratoren, welche man Dreieckschaltung nennt im Gegensatz zu der eben besprochenen Sternschaltung. Bei der Dreieckschaltung ist, wie ersichtlich, jedesmal das Ende einer Phase mit dem Anfang der folgenden Phase verbunden, ein neutraler oder Nullpunkt existiert nicht; der Strom wird abgenommen nach aussen hin an den drei Verbindungspunkten der Phase.

Es war nötig zum Verständnis des folgenden, diese Beziehungen ein wenig genauer zu besprechen als es vielleicht im Rahmen dieses Aufsatzes erwartet werden dürfte.

Unterbrechung. Wir wollen uns nun zunächst die Frage vorlegen, welche Wirkung bei zweiphasigen und dreiphasigen Generatoren eine Unterbrechungsstelle in der Wickelung haben werden. Das Resultat unserer Überlegung ist folgendes: Bei zweiphasigen Generatoren wirkt eine Unterbrechungsstelle nur auf die Phase, in der sie sich befindet, nicht auf die andere Phase. Demgemäss wird nach Fig. 28 der Zweiphasengenerator beim Eintritt einer Unterbrechung nur noch einphasig arbeiten.

Die Wirkung einer Unterbrechungsstelle auf Dreiphasengeneratoren hängt ab von der Schaltungsart, d. h. ob die Maschine in Sternschaltung oder Dreieckschaltung läuft. Hat die Maschine Sternschaltung, so hat die Unterbrechungsstelle in Phase 3 nach Fig. 27 die Folge, dass die Maschine nur noch einphasig arbeitet, d. h., dass nur die Lampen zwischen den Klemmen 1 und 2 noch brennen, während alle Lampen zwischen den Klemmen 1 und 3 sowie zwischen 2 und 3 verlöschen. Hat die Maschine indes Dreieckschaltung, so arbeitet sie gemäss Fig. 30 bei Eintritt einer Phasenunterbrechung in Phase III scheinbar zweiphasig, in Wirklichkeit aber immer noch dreiphasig. Es treten nämlich immer noch zwischen den drei Klemmen der Maschine drei Spannungen auf, es ist die Spannung zwischen 1 und 3 nicht mehr von der als defekt angenommenen Phase III, sondern von den gegeneinander geschalteten Phasen I und II hervorgebracht. Natürlich werden wegen der Unterbrechung von Phase III die Phasen I und II stärker belastet.

Berührung verschiedener Phasen. Kupferschlüsse und Eisenschlüsse wirken natürlich in analoger Weise bei Zweiphasen- und Dreiphasengeneratoren wie wir es oben beim Einphasengenerator beschrieben haben. Besonders verderblich sind aber Schlüsse bei diesen mehrphasigen Maschinen, wenn sie zwischen zwei verschiedenen Phasenwickelungen auftreten, mag nun die eine Phasenwicklung mit einer anderen Kupferschluss oder mag eine jede der beiden Wickelungen Eisenschluss haben. Merken wird man immer den Fehler sofort daran, abgesehen von der ausserordentlichen Erhitzung, dass die Spannungen nicht mehr gleich sind. Es ist dann Sache einer Prüfung, die in einfachster Weise durch Galvanoskop oder durch Glühlampen vorgenommen werden kann, die Fehlerstelle zu ermitteln.

Falsche Schaltung in der Statorwicklung. Falsche Schaltung an der Bewickelung ein- oder mehrphasiger Wechselstromgeneratoren wird zwar selten vorkommen, doch wird es nichts schaden, auch an dieser Stelle auf einige Punkte hinzuweisen. Wenn eine einzelne Ankerspule falsch verbunden ist, so kann

dies nur dadurch geschehen sein, dass der Anfang und das Ende miteinander verwechselt worden sind. Die in ihrer Reihenfolge

aufeinander folgenden Ankerspulen werden stets so verbunden, dass das Ende der ersten mit dem Anfang der zweiten, das Ende der zweiten mit dem Anfang der dritten u. s. f. verbunden werden. Ist also eine der Ankerspulen in dieser Kette nicht richtig eingefügt, so arbeitet sie gegen die übrigen und es vermindert sich die Spannung der Ankerbewicklung bzw. die Spannung der einzelnen Phase um das Doppelte der Teilspannung der betreffenden Ankerspule. Es ist aber auch möglich, dass eine ganze Phasenbewicklung falsch mit den anderen Phasenwickelungen verkettet ist. Es kommt vor, dass bei einer Phase Anfang und Ende verwechselt werden und z. B. bei dreiphasigen Maschinen von einer Phase nicht der Anfang an die Klemme, das Ende an den neutralen Punkt, sondern umgekehrt das Ende an die Ankerklemme und der Anfang an den neutralen Punkt gelegt wird (Fig. 31). Eine so geschaltete dreiphasige Maschine in Sternschaltung gibt allerdings auch dreiphasigen Strom; aber es herrscht zwischen den drei Wechselströmen nicht

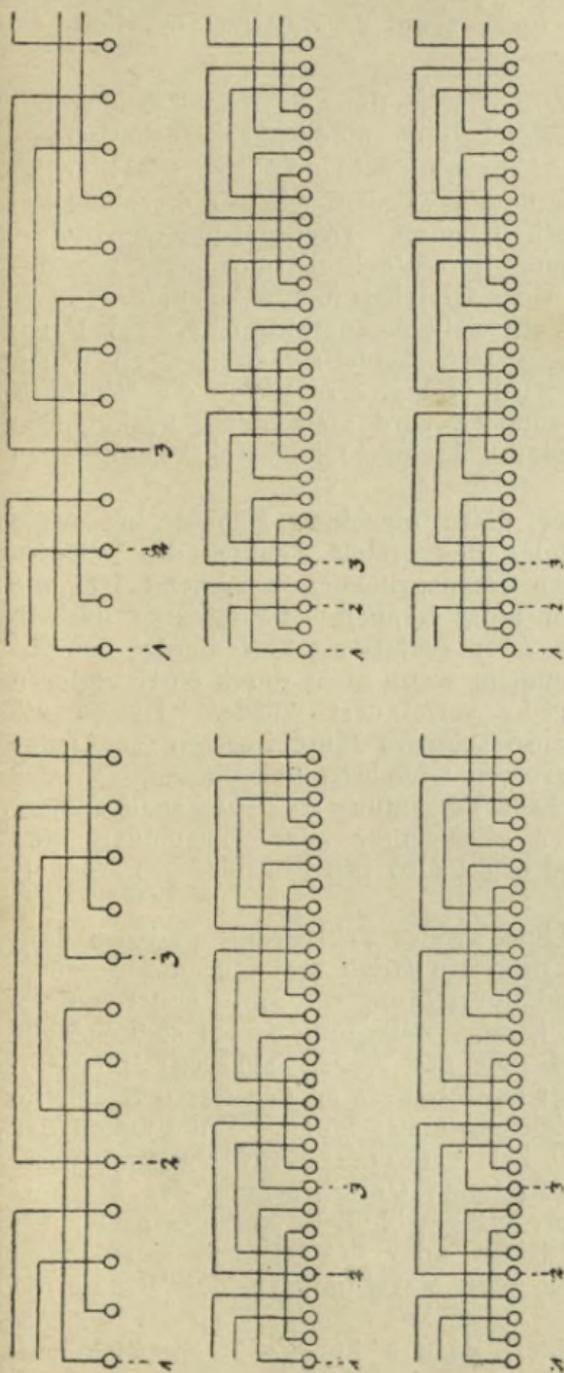


Fig. 31.

mehr eine Phasenverschiebung von 120° , sondern nur noch eine solche von 60° . Ich habe diesen Fehler an anderer Stelle, allerdings mit Bezug auf die Wickelung von Drehstrommotoren, beschrieben im Handbuch der Elektrotechnik, Band 9, 2. Abteilung, Seite 60 und Seite 91 und 92.

Magnetwicklung. Wenn wir nun zu den Fehlern und Störungen in der Magnetbewickelung moderner Wechselstromgeneratoren übergehen, so ist es einleuchtend, dass wir hier im wesentlichen dieselben Fehler finden werden, wie wir dieselben bei Gleichstrommaschinen besprochen haben. Dreierlei indessen unterscheidet die Magnetbewickelung der Wechselstromgeneratoren des modernen Typs von derjenigen der Gleichstrommaschinen. 1. Rotiert die Magnetbewickelung der Wechselstromgeneratoren, 2. — als Folge des ersteren — mündet sie in zwei Schleifringen aus, an denen der Erregerstrom zugeführt wird und 3. erregt sich die Wechselstrommaschine nicht selbst, sondern wird stets durch Fremdstrom erregt, der von einer besonderen kleinen Gleichstrommaschine zu liefern ist.

Indem wir nacheinander diese einzelnen Punkte ins Auge fassen, ist es klar, dass infolge des ersten Punktes die Magnetwicklung einer mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist, die wir bei Gleichstrommaschinen nicht kennen. Es müssten deshalb unter gleichen Verhältnissen öfter Isolationsfehler infolge Durchscheuerns der Isolation vorkommen, wenn nicht durch einen anderen Umstand wiederum die Gefahr vermindert würde. Hätten die Wechselstromgeneratoren ebenso schwere Kupfermassen auf jeder Magnetspule wie die gleich grossen Gleichstrommaschinen, so wäre allerdings die eben ausgesprochene Vermutung als richtig anzunehmen. Wechselstrommaschinen haben aber unter allen Umständen eine erheblich grössere Polzahl und damit also pro Pol oder pro Magnetspule kleinere Kupfermassen.

Die notwendige Verwendung zweier Schleifringe und des dazu gehörigen Bürstenapparates bringt ein Glied mehr in den Magnetstromkreis, welches zu Isolationsstörungen und anderweitigen Fehlern Veranlassung geben kann. Allerdings lassen sich Schleifringe leicht voneinander und von der Achse isolieren; immerhin wird an ihnen öfter ein Fehler auftreten als an den festen Klemmen der Magnetwicklung von Gleichstrommaschinen. Ein Funken der Bürsten auf den Schleifringen hat verschiedene Erklärungen: Erstlich kann eine periodisch auftretende Unterbrechung der Magnetwicklung die Ursache sein, oft gewöhnlich ist indes schlechtes Material entweder der Schleifringe oder der Bürsten, mangelhafte Bedienung und Unrundlaufen oder Verschmutzen der Ringe die Ursache.

Jedenfalls sind alle Fehler, welche in der Magnetwicklung moderner Wechselstrommaschinen auftreten können, leicht zu finden;

die grosse Polzahl der Maschinen hat noch den Vorteil, dass man gewöhnlich bei eintretendem Defekt einer Magnetspule dieselbe ruhig ausschalten und die links und rechts von ihr befindliche Magnetspule miteinander verbinden kann, so dass durch Aufwendung von etwas mehr Magnetisierungsstrom die volle Spannung der Dynamomaschine gehalten werden kann. Allerdings tritt dabei eine Unregelmässigkeit in der Stärke der einzelnen Pole ein, die indessen ohne Belang ist, da eine Funkenbildung, wie sie bei der Gleichstrommaschine unter ähnlichen Verhältnissen sicher wäre, hier ohne Kollektor und Bürsten ausgeschlossen ist.

Erregerdynamo. Die Lieferung des Gleichstroms für die Magnetwicklung geschieht in den meisten Fällen durch eine direkt gekuppelte Erregermaschine, welche häufig gewöhnliche Nebenschlusswicklung, zuweilen aber auch Hauptstromwicklung ihrer Magnete besitzt. Bei dieser Erregermaschine können nun wieder alle diejenigen Störungen auftreten, die wir zu Anfang der Besprechung kennen gelernt haben, so dass es nutzlos erscheint, hierauf weiter einzugehen.

III.

Ein- und mehrphasige Induktionsmotoren.

Die Induktionsmotoren, sowohl einphasig wie mehrphasig, unterscheiden sich lediglich durch ihren Rotor, d. i. der rotierende Teil, welcher gewöhnlich fälschlich als Anker bezeichnet wird, von den eben besprochenen Generatoren für einphasigen und mehrphasigen Wechselstrom. Der Aussenkörper, der unbewegliche Stator, welcher als der eigentliche Anker des Motors aufzufassen ist, ist in allem vollständig gleich dem Anker von Wechselstromgeneratoren der modernen Type. Bei grösseren Induktionsmotoren tritt diese Gleichheit so stark hervor, dass man fabrikmässigerweise den gleichen Stator für Generatoren und Motoren zu benutzen pflegt.

Es ist deshalb zwecklos, des weiteren einzugehen auf die Störungen, welche in der Statorwicklung dieser Motoren entstehen können, da wir die meisten der auftretenden Fehler bei den Generatoren bereits kennen lernten. Wir können uns darauf beschränken, einige besondere Punkte, die wenigstens in ihrer Wirkung nach aussen eigentümlich sind und von dem früher Besprochenen abweichen, hervorzuheben.

Besonders hervorheben müssen wir allerdings den einphasigen Wechselstrommotor, zumal es leider bekannt ist, dass sich beim Betriebe dieser Art Maschinen unter Umständen nicht selten Störungen ergeben. Einphasenmotoren haben ausser ihrer im normalen Betriebe wirksamen Statorwicklung noch eine besondere Statorwicklung, welche nur im Augenblick des Anlaufens eingeschaltet ist. Bekanntlich wird durch besondere Hilfsmittel zwischen den in beiden Bewickelungen auftretenden Strömen eine künstliche Phasenverschiebung erzeugt, so dass der Motor zweiphasig anläuft. Es gibt zwei gebräuchliche Methoden, um die notwendige Phasenverschiebung zwischen den beiden Strömen zu erzielen. Entweder legt man in die Hauptwicklung eine Kapazität oder aber in die Hilfswickelung eine Drosselspule. Beides gleichzeitig angewendet gibt die besten Resultate; doch erreicht man auch einen recht günstigen Erfolg, wenn man in die Hilfswickelung eine Drosselspule, in die Hauptwicklung einen induktionsfreien Widerstand einschaltet. Vorstehendes gilt speziell für Induktionsmotoren mit Kurzschlussläufer; Einphasenmotoren mit Schleifringläufer sind erheblich günstiger im Anlauf und erfordern, abgesehen von dem notwendigen Anlasswiderstand zwischen den Schleifringen des Rotors nur entweder eine Drosselspule in der Hilfswickelung oder eine Kapazität in der Hauptwicklung des Stators, um mit vollem Drehmoment anzulaufen.

Die auftretenden Störungen bei Einphasenmotoren haben nun bekanntlich viel seltener ihre Ursache in Unterbrechungen, Kupferschlüssen oder Eisenschlüssen der Statorwicklung und dergleichen Störungen, wie wir sie schon bei den Generatoren kennen lernten, sondern weit öfter liegt die Ursache in dem Hilfsapparat, gewöhnlich der Kapazität. Diese Kapazitäten bestehen aus isolierten Gefässen, in welchen eine Reihe von Eisenscheiben nebeneinander und voneinander isoliert eingesetzt sind; das Gefäss ist dann bis zur Höhe der Eisenscheiben mit einer Pottasche- oder Sodalösung gefüllt. Der Strom durchläuft diese Kapazität in der Weise, dass er von Eisenplatte zu Eisenplatte durch die Flüssigkeit hindurch zu gehen gezwungen ist. Nun kommt es auf die Konzentration der Sodalösung und auf den elektrischen Widerstand, d. h. auf die Menge der Flüssigkeit in Gefässe genau an. Verdunstet daher im Sommer oder friert im Winter die Flüssigkeit teilweise, so ist der Wert der Kapazität verändert, der Motor wird nicht mehr befriedigend anlaufen, vielleicht überhaupt den Dienst versagen. Wenn daher Einphasenmotoren, die mit solchen Kapazitäten ausgerüstet sind, plötzlich nicht mehr so günstig anlaufen, wie sonst, so pflegt in 99 von 100 Fällen die Kapazität die Schuld davon zu tragen. Drosselspulen sind naturgemäss einer solchen Veränderung nicht ausgesetzt, weshalb dieselben unbedingt den Vorzug verdienen.

Drehstrommotoren. Störungen im Stator. Zweiphasige und dreiphasige Induktionsmotoren brauchen nun zwar keine der-

artigen Hilfsmittel zum Anlauf; wohl aber können sie mit den verschiedenen Fehlern, die wir bei Besprechung der Generatoren kennen lernten, behaftet sein. Zeigt z. B. ein Drehstrommotor starke Erwärmung der Statorwicklung in der Form, dass einzelne Stellen heiss, andere wieder normal warm sind, so kann man sich leicht darüber klar werden, dass ein doppelter Schluss entweder in einer Phase oder zwischen zwei verschiedenen Phasen eingetreten ist; der Motor wird dann mit geringer Zugkraft aber starkem und unregelmässig auf die drei Phasen vertheiltem Stromverbrauch arbeiten. Ein Drehstrommotor, bei dem eine Phase unterbrochen ist, läuft in Sternschaltung überhaupt nicht an; tritt die Unterbrechung während des Betriebes auf, so läuft er einphasig weiter, wenn die Belastung nicht zu stark ist. Ein vollbelasteter Drehstrommotor wird fast immer bei plötzlicher Unterbrechung einer Phase stehen bleiben. Ebenso wird ein Drehstrommotor nicht anlaufen, wenn seine drei Phasen in der Weise falsch miteinander verbunden sind, dass, wie oben bei den Generatoren schon besprochen, 60° Phasendifferenz durch Verwechslung des Anfanges und des Endes einer Phase bei Sternschaltung vorhanden sind. Es sind dann die Stromstärken in den drei Phasen verschieden.

Auf einen Schaltungsfehler möchte ich noch hinweisen, der unter Umständen dazu führt, den Motor fast ganz unbrauchbar zu machen. Wenn auch die meisten Fabriken ihre Drehstrommotoren für Sternschaltung der Statorwicklung bauen, so kommt es doch und zwar vornehmlich bei 110voltigen Motoren vor, dass die Statorwicklung für Dreieckschaltung berechnet ist, um so mehr, als eine und dieselbe Statorwicklung mit Dreieckschaltung für 110 Volt und mit Sternschaltung für 190 Volt richtig ist. Ist nun fälschlich ein Motor, dessen Statorwicklung im Dreieck geschaltet werden soll, in Sternschaltung angeschlossen, so wird er zwar anlaufen, wenn er nicht zu stark belastet ist, aber er wird einen starken Tourenabfall zeigen und schon bei mittlerer Belastung den Dienst versagen und stehen bleiben.

Rotor. Dasjenige, was die Induktionsmotoren von den Generatoren unterscheidet, ist der rotierende Teil der Maschine, der Rotor. Während die Generatoren hier ein vollständig ausgebildetes Magnetsystem mit einzelnen Polen, deren Bewickelung von Gleichstrom durchflossen wird, zeigen, so haben wir bei all den Induktionsmotoren einen im allgemeinen einfacheren Maschinenteil, der entweder als Kurzschlussläufer oder als Schleifringläufer mit Anlasswiderstand erscheint. In letzterem Falle werden wir in der Hauptsache wieder dieselben Erscheinungen finden, wie bei Gleichstrommaschinen, während im ersteren Falle Störungen überhaupt sehr selten sind.

Kurzschlussrotor. Die grosse mechanische Einfachheit des Kurzschlussläufers zeitigt sehr selten Störungen. Bei älteren Typen,

bei denen die einzelnen Kurzschlussstäbe in Ringe eingelötet oder aufgelötet sind, kann es durch starke Beanspruchung des Motors infolge der Erhitzung der Kupferstäbe vorkommen, dass sich die Stäbe loslöten; infolge des dann an den Lötstellen auftretenden hohen Widerstandes versagt der Motor seinen Dienst. Bei neueren Motoren pflegt man die Kupferstäbe nicht nur zu verlöten, sondern auch zu vernieten, oder aber überhaupt durch eine geeignete Anwendung gestanzter Spulen jede Lötstelle oder Verbindungsstelle zu vermeiden. Jedenfalls sind derartige Fehler eines Kurzschlussläufers sehr leicht zu erkennen und auch zu beseitigen.

Schleifringrotor. Da die Wickelung eines Schleifringläufers erheblich komplizierter ist, so liegt auch mehr Grund zu Störungen vor. Erstlich kann eine Unterbrechung in einer Phase des Läufers auftreten, wobei es gleichgültig ist, ob diese Unterbrechungsstelle in der Wickelung des Läufers oder vielleicht im Anlassapparat liegt; der Motor wird dann schwerer anlaufen als sonst und wird ferner nicht bis auf die volle Tourenzahl, sondern nur bis auf die halbe sich hinaufarbeiten. Schluss in einer Phase oder zwischen zwei Phasen wird sich, abgesehen von der Erwärmung des Rotors, in einem starken brummenden Geräusch kenntlich machen.

Es mag an dieser Stelle noch darauf hingewiesen sein, dass alle Firmen ohne Ausnahme die Schleifringläufer nicht nur ihrer dreiphasigen, sondern auch ihrer einphasigen und zweiphasigen

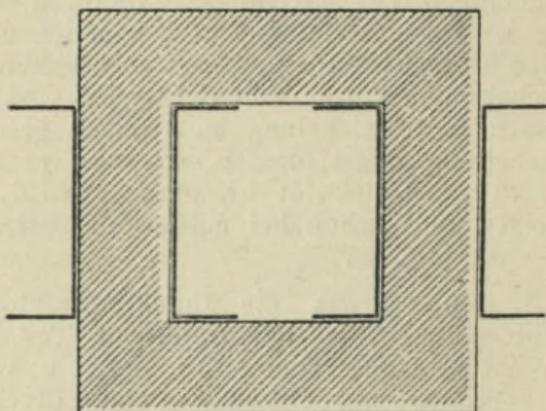


Fig. 32.

Motoren mit Schleifringen und dreiphasiger Wickelung ausführen, weshalb also auch stets ein dreiteiliger Anlasswiderstand in Frage kommt. Wenn wir oben gesagt haben, dass bei Unterbrechung einer Rotorphase der Motor noch anläuft, so vermag er nicht mehr anzulaufen bei Unterbrechung von zwei Motorphasen, da ja in diesem Falle eine einfache Überlegung beweist, dass sich dann kein Strom in der dritten Phase mehr bilden kann.

Aus vorstehenden Erläuterungen geht hervor, dass die Störungen an Drehstrommotoren erheblich geringer sind, als wir bei Gleichstrommotoren gesehen haben, wie es auch die Praxis jederzeit bestätigt. Wir schliessen deshalb dieses Kapitel und gehen über zur Besprechung der im Transformatorenbetriebe auftretenden Fehler.

IV.

Einphasige und mehrphasige Transformatoren.

Alle Transformatoren lassen sich einteilen in Kerntransformatoren einerseits und Manteltransformatoren andererseits. Ein Kerntransformator für einphasigen Wechselstrom wird z. B. dargestellt durch Fig. 32, ein Manteltransformator für einphasigen Wechselstrom

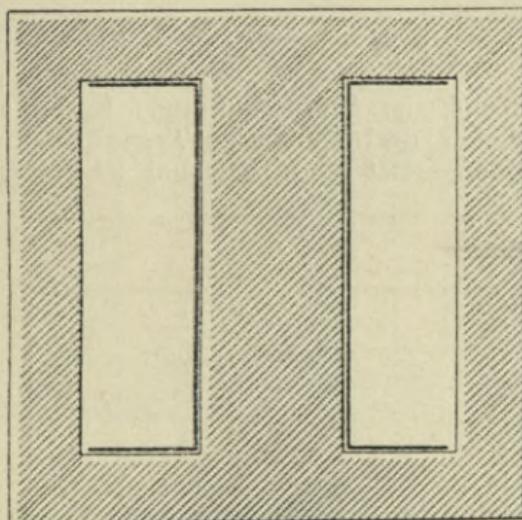


Fig. 33.

durch Fig. 33. Es kann der Nachweis leicht geführt werden, dass der Eisenkörper von einphasigen Transformatoren sich zurückführen lässt auf den Eisenkörper zweiphasiger Dynamomaschinen; so kann man sich den Kerntransformator, Fig. 32, aus der Hufeisenfigur 34 hervorgegangen denken, während der Manteltransformator, Fig. 33, ersichtlich aus der zweipoligen Manteltype, Fig. 35, entstanden ist.

Zweiphasige und dreiphasige Transformatoren setzt man bekanntlich am einfachsten aus zwei bzw. drei einzelnen Einphasentransformatoren zusammen nach der Schaltung Fig. 36 (zweiphasig)

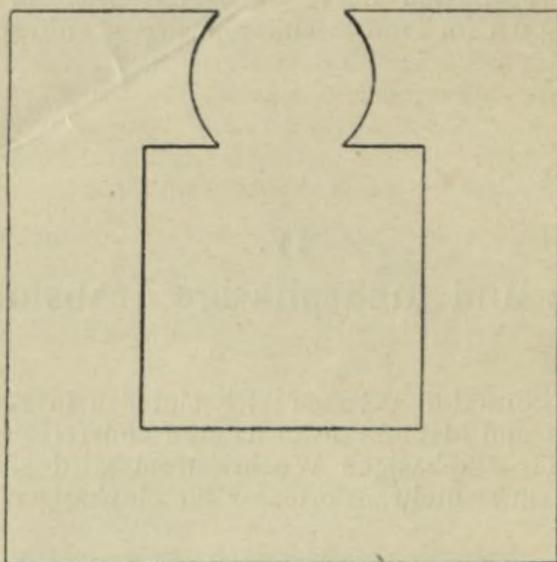


Fig. 34.

oder Fig. 37 (dreiphasig, Sternschaltung); häufig auch findet sich Fig. 30, bei welcher drei einphasige Transformatoren in Dreieckschaltung zusammengesetzt sind. Hierbei ist folgendes zu berücksichtigen.

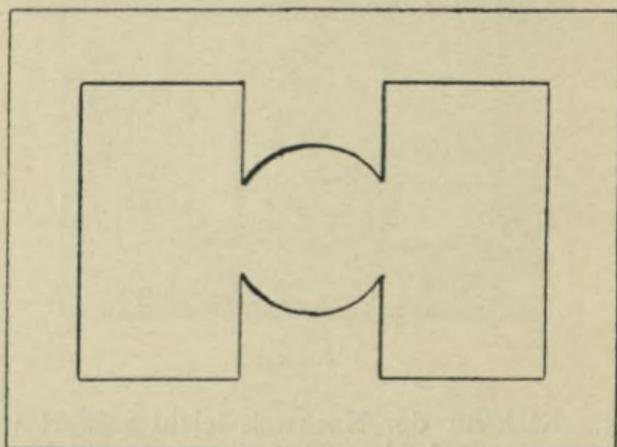


Fig. 35.

sichtigen. Beträgt die Hauptspannung des Zweiphasenstromes 142 Volt, so müssen die beiden einphasigen Transformatoren jeder für 100 Volt ausgeführt sein. Betragen bei Sternschaltung des

Dreiphasentransformatoren die Hauptspannungen 173 Volt, so müssen die einzelnen drei Transformatoren für 100 Volt ausgeführt sein. Setzt man aber drei einzelne Transformatoren in Dreieckschaltung zu einem dreiphasigen Transformator zusammen, so ist die Hauptspannung zwischen den Leitungen gleich der Spannung jedes einzelnen Transformators. In den Fig. 36, 37 und 30 sind die Spannungen eingetragen.

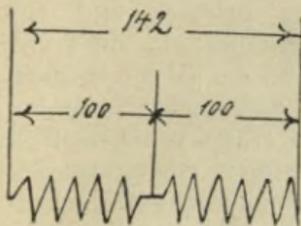


Fig. 36.

Man kann aber auch davon absehen, Dreiphasentransformatoren oder Zweiphasentransformatoren aus einer entsprechenden Anzahl einphasiger Transformatoren zusammensetzen; so haben sich bei vielen Firmen

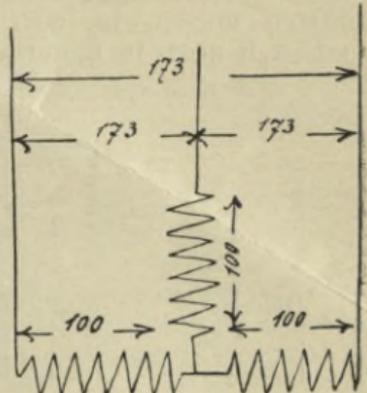


Fig. 37.

Man kann aber auch davon absehen, Dreiphasentransformatoren oder Zweiphasentransformatoren aus einer entsprechenden Anzahl einphasiger Transformatoren zusammensetzen; so haben sich bei vielen Firmen

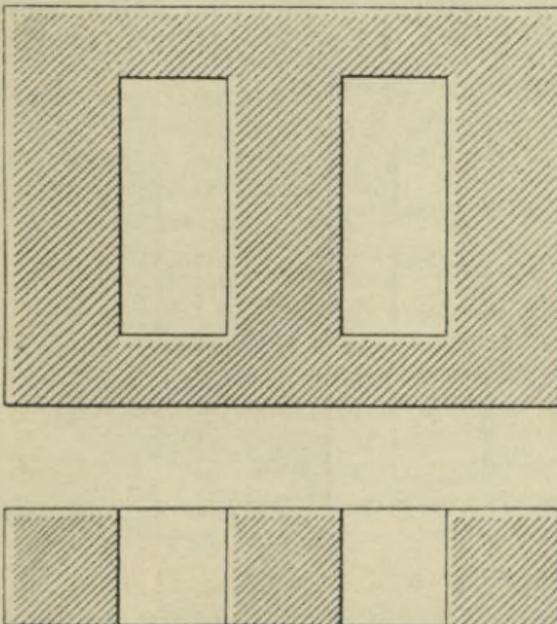


Fig. 38.

dreiphasige Transformatoren nach Fig. 38 eingeführt; es sind dies dreischenkellige Kerntransformatoren; sie unterscheiden sich von den einphasigen Manteltransformatoren, Fig. 33, dadurch, dass bei ihnen

der Eisenquerschnitt aller drei Schenkel gleich ist und alle drei Schenkel bewickelt sind, während beim einphasigen Manteltransformator der mittlere bewickelte Schenkel den doppelten Querschnitt besitzen muss, wie jeder der beiden Seitenschkel. Schliesslich sind auch noch in Benutzung Manteltransformatoren für Zweiphasen- oder Dreiphasenstrom nach Fig. 39

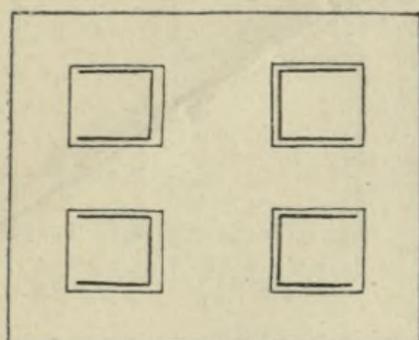


Fig. 39.

(zweiphasig) und Fig. 40 (dreiphasig).

Die Bewickelung der Eisenkerne zerfällt in eine primäre und eine sekundäre Wickelung; da ein Transformator stets die Aufgabe hat, einen Wechselstrom gegebener Spannung umzuformen in einen Wechselstrom anderer Spannung, da aber nicht immer der primär zugeführte Wechselstrom ein Hochspannungsstrom und der sekundär abgegebene ein Niederspannungsstrom ist, sondern zuweilen auch das umgekehrte Verhältnis eintritt,

so wollen wir nicht von Primär- und Sekundärwicklung, sondern nur von Hochspannungs- und Niederspannungswickelung sprechen. Es gibt zwei grundsätzlich verschiedene Arten für die Ausführung der Wickelungen. Bei der einen Methode liegt auf der ganzen

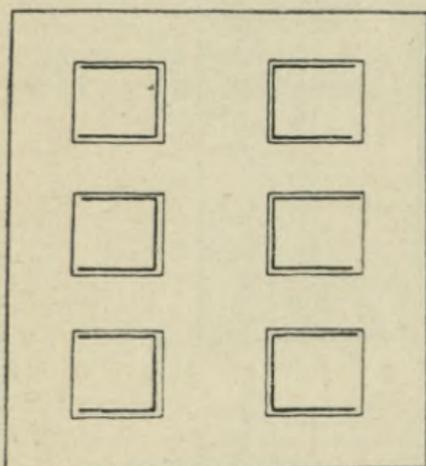


Fig. 40.

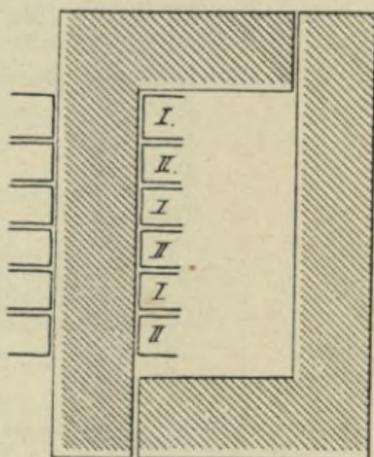


Fig. 41.

Länge des Kernes oder der Kerne die eine Wickelung über der anderen; beide sind getrennt durch eine Isolations-schicht. Bei der anderen Ausführung liegt auf Kernen nebeneinander eine ganze Reihe Spulen, welche abwechselnd zur primären und sekundären Wickelung gehören. Die erstere Ausführung finden wir angedeutet in den Fig. 32 und 33, während die Ausführung mit abwechselnden

Spulen in Fig. 41 dargestellt wird. Besondere Vorzüge der einen vor der anderen Methode lassen sich kaum angeben, höchstens der eine Punkt wäre erwähnenswert, dass bei einem Defekt die mit unterteilter Spulenwicklung versehenen Transformatoren schneller durch Ersatz einer oder einiger Teilspulen repariert werden können. Im Bezug auf Spannungsabfall sind beide Methoden einander gleich bei zweckmässiger Bemessung des Zwischenraumes zwischen Primär- und Sekundär- bzw. genügender Anzahl von Teilspulen.

Störungen. Überbrückung. Fehler an Transformatoren können verhältnismässig sehr wenige nur auftreten; der häufigste Fehler wird immer ein Schluss innerhalb der Hochspannungswicklung sein, wodurch dieselbe allmählich lagenweise verkohlt, so dass eine mehr oder minder grosse Überbrückung einzelner Windungen und Lagen der Hochspannungswicklung eintritt. In diesem Falle ist leicht einzusehen, dass sich ein solches langsames Kohlen und Überbrücken innerhalb der Hochspannungswicklung bei der Wicklung mit unterteilten Spulen weniger ausbreiten und weniger zerstörend wirken kann als bei der anderen Methode. Die durch die Überbrückung kurz geschlossenen Windungen werden von einem starken Kurzschlussstrom durchflossen; sie sind ferner ausgeschaltet von jeder magnetischen Wirkung auf die Niederspannungswicklung. Es wird deshalb sich in den meisten Fällen die Spannung an der Niederspannungsseite des Transformators erheblich erhöhen, da nunmehr das Übersetzungsverhältnis (primäre Windungszahl dividiert durch sekundäre Windungszahl) gestört ist.

Ausserdem wird eine partielle sehr starke Erwärmung und ein hoher Leerlaufstrom des Transformators den Schaden anzeigen. Ähnlich sind die Verhältnisse, wenn in der anderen Wicklung derselbe Defekt auftritt, wie es fast immer dann geschieht, wenn die Hochspannungswicklung nicht die primäre, sondern die sekundäre stromabgebende Wicklung darstellt. Auch dann wird starke Erwärmung und hoher Leerlaufstrom sich zeigen, indessen statt der vorher gewohnten Spannungserhöhung nunmehr eine Spannungserniedrigung an der sekundären Transformatorseite.

Dass derartige Überbrückungen in einer Wicklung nicht nur durch Berührung einzelner Windungen miteinander entstehen können, sondern auch durch einen doppelten Eisenschluss, ist nach früheren Darlegungen einzusehen.

Blitzschlag. Der Blitzschlag ist in Transformatorenanlagen ziemlich gefürchtet und man schiebt vielfach Störungen an Transformatoren auf elektrische Entladungen durch Blitzschläge, welche sich in einfachster Weise anders erklären lassen. Wenn der Blitz durch die primäre oder sekundäre Leitung in den Transformator gelangt, so ist es wegen der hohen Selbstinduktion der Transformatoren nicht anzunehmen, dass er die Windungen durchläuft; er wird vielmehr sofort in der Nähe der Eintrittsstelle einen Weg

zur Erde, also zunächst zum Eisenkörper des Transformators suchen und bei der hohen Spannung elektrischer Entladungen auch sicherlich finden. Hierbei zerstört er natürlich die Isolation derjenigen Wickelung, durch deren Zuleitung er eingetreten ist, vollständig und durch die beim Ueberspringen der Isolation erzeugte starke Erhitzung gewöhnlich einen Teil der Wickelung selber, beschädigt aber fast immer auch die andere Wickelung. Es lassen sich indessen recht gut Fälle denken, wo durch den Eintritt und Wiederaustritt des Blitzes ein Transformator in seinem Funktionieren gar nicht weiter beeinträchtigt wird, solange nicht ein zweiter Schluss dazu tritt.

Sehr gefährlich kann bei schlecht isolierten Transformatoren der Fall sein, dass die Hochspannungswickelung mit der Niederspannungswickelung an zwei Stellen Berührung bekommt, da dann der hochgespannte Wechselstrom in den Niederspannungsstromkreis eintritt und grosse Zerstörungen mit Gefahr für das Leben anrichten kann. Derartige Vorkommnisse sind zum Glück selten, wie sie aber entstehen können, möge die Fig. 42 erklären. Hier möge eine Leitung, welche Hochspannung führt, einen Erdschluss haben, während ebenfalls, wie es ja mitunter vorkommt, auch eine Niederspannungsleitung Erdverbindung aufweist. Fährt nun der Blitz in Richtung des Pfeiles in den Transformator und entsteht durch die Einwirkung des Lichtbogens ein Schluss zwischen Primär- und Sekundärwicklung, der durch die gestrichelte Linie angedeutet sei, so tritt unvermeidlich der Hochspannungsstrom direkt in den Niederspannungsstromkreis ein, zerstört Lampen, Motoren und alle stromverbrauchenden Gegenstände und kann viel Unheil anrichten.

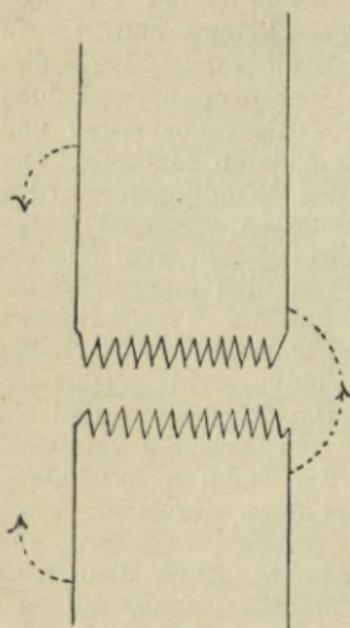


Fig. 42.

Umformung von Dreiphasenstrom mit zwei Einphasentransformatoren. Wenn bei Zweiphasentransformatoren, die aus zwei einzelnen Einphasentransformatoren zusammengesetzt sind, eine der beiden letzteren defekt wird, so kann die Anlage bis zur erfolgten Reparatur nur einphasig weiterbetrieben werden. Dagegen kann bei aus drei einzelnen Einphasentransformatoren zusammengesetzten Dreiphasentransformatoren in Dreieckschaltung beim Defektwerden eines Transformators die Anlage trotzdem noch dreiphasig betrieben werden, wobei allerdings die beiden übrigbleibenden stark belastet werden.

V.

Nutzeffekt oder Wirkungsgrad.

Es wird von manchem Besteller einer Dynamomaschine, eines Elektromotors oder Transformators ein bestimmter Wirkungsgrad oder Nutzeffekt der betreffenden Maschine vorgeschrieben und oftmals eine Prüfung verlangt, zum Nachweise, dass der verlangte Wert nicht unterschritten wird. Es ist daher hier vielleicht am Platze, die einfachsten und verständlichsten Methoden für die Ermittlung des Nutzeffektes anzugeben. Unter dem Nutzeffekt oder Wirkungsgrad einer Dynamomaschine oder eines Elektromotors oder eines Transformators versteht man das Verhältnis der abgegebenen Leistung zu der zugeführten Energie. Bei einer Dynamomaschine ist also der Nutzeffekt gleich dem Verhältnis der an den Klemmen abgegebenen elektrischen Energie zu der an der Achse zugeführten mechanischen Energie, beim Elektromotor das Verhältnis der an der Achse abgegebenen mechanischen Energie zu der zugeführten elektrischen Energie, beim Transformator das Verhältnis der abgegebenen zur zugeführten elektrischen Energie. Die beiden Werte, welche den Zähler und den Nenner des Bruches bilden, müssen natürlich im gleichen Masse ausgedrückt werden, also zweckmässig in Watt oder Kilowatt, wobei eine mechanische Energie von einer Pferdestärke gleich einer elektrischen Energie von 736 Watt zu setzen ist. Liefert also eine Dynamomaschine 10000 Watt und verbraucht dabei an zugeführter mechanischer

Energie 15 PS., so ist ihr Nutzeffekt $= \frac{10000}{15 \cdot 736} = \text{ca. } 0,91 = 91\%$

Nutzeffekt. Werden einem Elektromotor 10000 Watt an den Klemmen zugeführt, und leistet er 12 PS. an der Achse, so be-

trägt sein Wirkungsgrad $\frac{12 \cdot 736}{10000} = 0,88 = 88\%$. Führt man einem

Transformator primär 20 Kilowatt zu und leistet er dafür sekundär

19 Kilowatt, so ist sein Nutzeffekt $\frac{19000}{20000} = 0,95 = 95\%$.

Es ist klar, dass bei dem Umwandlungsprozess, welcher innerhalb einer elektrischen Maschine vor sich geht, sei es aus mechanischer in elektrische Energie (Dynamo) oder aus elektrischer in mechanische Energie (Motor) oder schliesslich aus elektrischer Energie der einen Spannung in elektrische Energie einer anderen Spannung (Transformator) Verluste an Energie innerhalb der Maschine auftreten müssen; sonst wäre die zugeführte der abge-

gebenen Energie gleich, wir hätten einen Nutzeffekt von 100 % und die Frage des Perpetuum mobile wäre gelöst. Wir kennen die Verluste innerhalb unserer elektrischen Maschine sehr genau und wollen hier nur erwähnen Verlust in der Ankerwicklung und Magnetwicklung, Verlust durch die fortwährende Ummagnetisierung des Ankereisens und Transformatoreisens, Verlust durch Wirbelströme, Lagerreibung, Luftwiderstand, Bürstenreibung, Bürstenwiderstand u. s. w. Es kommt bei der Methode, welche wir nachstehend entwickeln, nicht auf die Unterscheidung dieser einzelnen Verluste an. Es ist aber notwendig, dass wir uns darüber klar werden, in welcher Weise einzelne dieser Verluste zusammengenommen bestimmt werden können.

Es leuchtet ein, dass man den Verlust in der Ankerwicklung, in der dicken Bewicklung von Compoundmaschinen, in der Stator- und Rotorwicklung von Induktionsmotoren und schliesslich in den Kernbewicklungen von Transformatoren rechnerisch finden kann, wenn man den elektrischen Widerstand in Ohm gemessen hat und die in der betreffenden Wicklung bei voller Belastung auftretende Stromstärke kennt. Es ist dann dieser Verlust gleich dem Widerstand multipliziert mit dem Quadrat der Stromstärke ($W \cdot I \cdot I$).

Ebenso klar ist es, dass der Verlust in der Magnetbewicklung einer Nebenschlussmaschine bekannt ist, wenn man die Spannung und den bei richtiger Spannung, richtiger Tourenzahl, richtiger Bürstenstellung und voller Belastung der Maschine auftretenden Nebenschlussstrom kennt; der Verlust ist einfach gleich Spannung \cdot Nebenschlussstrom.

So einfach nun die vorgenannten rein elektrischen Verluste in der Ankerwicklung und Magnetwicklung voraus berechnet werden können, wenn man den Widerstand der Wicklungen gemessen hat (dieser lässt sich ja jederzeit leicht dadurch bestimmen, dass man unter Einschaltung eines Ampèremeters einen möglichst starken Strom durch die Wicklung schickt und an ihren Enden die dabei auftretende Spannung misst, wobei dann der Widerstand gleich dem Verhältnis der betreffenden Spannung zu der hindurch gesandten Stromstärke sein muss), so schwierig würde sich die Vorausberechnung der magnetischen und der Reibungsverluste gestalten. Hier ist es indes leicht, an Hand des Versuchs die Verluste zu bestimmen, indem man die Maschine, sei es Dynamomaschine oder Elektromotor, ohne Riemen ganz leer als Motor mit der richtigen Spannung und der richtigen Tourenzahl unter Einschaltung eines sehr genau zeigenden Ampèremeters in den Ankerstromkreis laufen lässt. Es ist zweckmässig, die Maschine erst wenigstens zwei Stunden laufen zu lassen, ehe man die im Strommesser abgelesene Stromstärke als richtig annehmen darf wegen der allmählich sich vermindern Lagerreibung. Die Ankerstromstärke, multipliziert mit der Spannung gibt den Wert der sämtlichen magnetischen und Reibungsverluste der Maschine ziemlich genau an.

Beispiel 1.

Gleichstrom - Nebenschlussdynamo 40 Kilowatt, 600 Touren, 110 Volt.

Ankerwiderstand gemessen = 0,0055 Ohm.

Bei voller Belastung mit 364 Ampère bei 110 Volt und 600 Touren zeigt die Maschine einen Nebenschlussstrom = 6 Ampère.

Die Maschine wird als Motor geschaltet, in den Ankerstromkreis ein kleines genau zeigendes Ampèremeter eingeschaltet, dasselbe zeigt nach mehrstündigem Leerlaufen eine Ankerstromstärke von 15 Ampère.

Verlust in der Ankerwicklung = $364 \cdot 364 \cdot 0,0055 = 725$ Watt.

Verlust in der Magnetwicklung = $6 \cdot 110 = 660$ „

Leerlaufverlust = $15 \cdot 110 = 1650$ „

Summe der Verluste = 3035 Watt.

Nutzeffekt der Maschine:

$$\frac{40\ 000}{40\ 000 + 725 + 660 + 1650} = \frac{40\ 000}{43\ 035} = 93\ \%$$

Beispiel 2.

Gleichstrom - Nebenschlussmotor 50 PS., 110 Volt, dieselbe Maschine, welche eben als Dynamo geprüft wurde. Die Werte der Widerstände sind dieselben, auch die Stromstärke bei voller Belastung ist dieselbe, dagegen beträgt der Magnetstrom 4 Ampère; der Leerlaufstrom ist dagegen wie oben 15 Ampère.

Wir haben also Verluste:

Ankerwicklung 725 Watt.

Magnetwicklung 440 „

Leerlauf 1650 „

so dass bei 50 PS. der Nutzeffekt beträgt:

$$\frac{50 \cdot 736 - (725 + 440 + 1650)}{50 \cdot 736} = 92\ \%$$

Beispiel 3.

Dreiphasiger Induktionsmotor mit Kurzschlussrotor für 220 Volt Hauptspannung, 2 PS., 50 Perioden, 1500 Touren.

Gegeben ist durch Messung der Leerlauf und die Vollbelastung des Motors, ferner sein elektrischer Widerstand für eine Statorphase, d. h. den dritten Teil der Statorwicklung.

Es sei nämlich der Leerlaufstrom 2,22 Ampère, der Wattverbrauch bei Leerlauf pro Phase 59 Watt, für alle drei Phasen 177 Watt, und unter Annahme eines Stromes von 5,5 Ampère bei voller Belastung gefunden 600 Watt pro Phase, also 1800 Watt für alle drei Phasen. Der elektrische Widerstand einer Statorphase sei 0,73 Ohm.

Dann treten folgende Verluste auf:

1. Leerlauf (mechanische, magnetische Verluste, Verluste in der Statorwicklung durch den Leerlaufstrom) = 177 Watt nach Prüfung.
2. Zusätzlicher Kupferverlust im Stator bei voller Belastung = $(5,5 \cdot 5,5 - 2,22 \cdot 2,22) \cdot 0,73 \cdot 3 = 55$ Watt.
3. Kupferverluste im Rotor. Dieselben sind proportional dem Tourenabfall. Der Motor macht 1500 Touren bei Leerlauf und 1420 Touren bei Belastung. Also sind die Rotorverluste:

$$1800 \cdot \left(1 - \frac{1420}{1500}\right) = 99 \text{ Watt.}$$

Der Nutzeffekt ist hiernach:

$$\frac{1800 - (177 + 55 + 99)}{1800} = \text{rund } 82 \text{ } \frac{0}{10}.$$

Nach obigen Daten ist ausserdem:

$$\cos = \frac{1800}{220 \cdot 5,5 \cdot \sqrt{3}} = 0,86.$$

Ein Beispiel für Transformatoren zu geben, halten wir für unnötig, da hier der Wert des Nutzeffektes an Hand des oben Gesagten vollständig klar sein dürfte, nämlich gleich dem Verhältnis der abgegebenen Watt zu den zugeführten Watt.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

S - 98

S. 61

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301713

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297158