

ermittelt. Fig. 93 u. 94 (a und b) zeigen den Anleger in großer und kleiner Ausführung mit Anschluß eines elektromagnetischen Amperemeters bzw. eines Kopftelephons für Niederspannungsanlagen.

5. Messung der Schlüpfung bei asynchronen Motoren.

Die Schlüpfung eines asynchronen Wechselstrommotors, d. h. der prozentuale Geschwindigkeitsunterschied des Rotors gegenüber dem Drehfelde im Stator, ist veränderlich mit der variablen Belastung des Motors; sie hängt außerdem, wo es sich um einen Motor mit Schleifringen, also um einen solchen mit regulierbarem Rotorwiderstand handelt, von der Größe dieses letzteren ab. Die Ermittlung des Zusammenhanges der Schlüpfung mit den genannten Größen wird bei der Untersuchung der Eigenschaften eines asynchronen Motors erforderlich.

Man wird im allgemeinen sich darauf beschränken können, die veränderliche Umdrehungszahl des Motors mit einem der üblichen Apparate, Handtourenzähler oder Tachometer zu messen und durch Vergleich mit der Umlaufzahl des Drehfeldes die Schlüpfung zu bestimmen. Die Umlaufzahl des Drehfeldes drückt sich, wenn p die Polzahl des Motors und c die Periodenzahl des Generators ist, aus durch:

$$(23) \dots \dots \dots n' = 120 \frac{c}{p}.$$

Die Tourenzahl n des Motors ist stets kleiner als dieser Wert und zwar um so mehr, je größer das Drehmoment ist. Die Schlüpfung ist dargestellt durch:

$$(24) \dots \dots \dots s = \frac{n' - n}{n'}.$$

Die rechnerische Bestimmung der Schlüpfung aus der Tourenzahl setzt voraus, daß die Umlaufzahl des Drehfeldes bzw. die Periodenzahl genau bekannt ist.

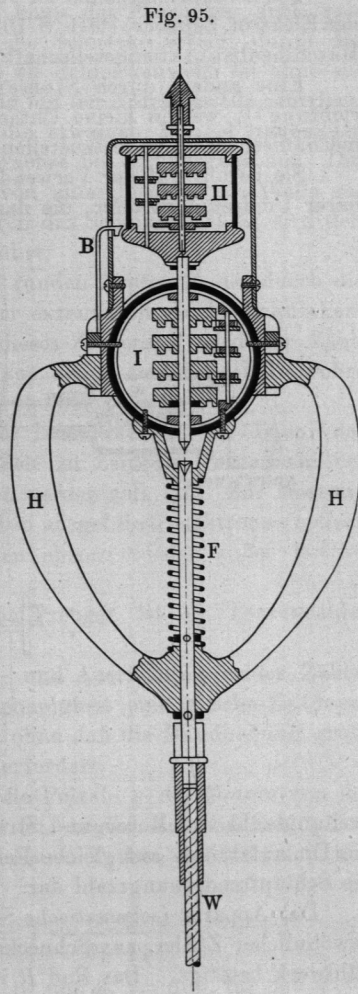
In vielen Fällen kann man sich jedoch, besonders wenn das Resultat sehr genau sein soll, auf die Konstanz der Periodenzahl nicht mit Sicherheit verlassen und muß in der einen oder anderen Weise eine Kontrolle für dieselbe haben, sei es durch Beobachtung der Umdrehungszahl des Generators selbst, sei es derjenigen eines synchronen Motors, der an dem betreffenden Netze liegt.

Es gibt nun Apparate, welche die Schlüpfung direkt zu messen gestatten. Einer dieser Apparate, der unmittelbar die Schlupftouren mißt, sei in folgendem beschrieben. Er beruht auf der Kuppelung zweier einfacher Tourenzähler. Fig. 95 stellt denselben im Schnitt dar. Der Zähler I mißt die synchrone Umdrehungszahl des Primärfeldes, indem er mittels der biegsamen Welle W entweder vom Generator selbst oder von einem kleinen, eigens zu diesem Zwecke dienenden Synchronmotor von gleicher Polzahl wie der zu untersuchende asynchrone Motor angetrieben wird. Das Gehäuse des Zählers II, das zylindrisch

drisch ausgebildet ist, ist mit der Achse des Zählers I gekuppelt, macht also die synchronen Umdrehungen, während seine Achse die asynchronen Umdrehungen des Rotors ausführt und zwar in gleichem Drehsinne, in dem sich das Gehäuse bewegt. Das Zählwerk gibt somit die relativen Umdrehungen $n' - n$ des Rotors gegenüber dem Primärfelde des Motors an. Da, wie schon erwähnt, außerdem der Zähler I die Touren n' des Primärfeldes direkt anzeigt, so ist nur das Verhältnis beider Angaben $\frac{n' - n}{n'}$ zu bilden, und diese Größe stellt die Schlüpfung dar. Die Welle W ist mit der Achse des kleinen synchronen Motors gekuppelt. Der Apparat selbst wird an den Handgriffen H gefaßt und gegen die Achse des asynchronen Motors gedrückt, wodurch der Eingriff der Achse I in die Welle W und die Mitnahme der beiden Zähler erfolgt. Die Feder F dient zum raschen Ausrücken der Zähler im Momente, wo der Apparat abgenommen und die Beobachtung beendet wird, die Bremse B zur sofortigen Arretierung des Gehäuses II, das möglichst leicht konstruiert sein muß. Der Gebrauch des Zählers möge an folgendem praktischen Zahlenbeispiele veranschaulicht werden. Die Schlüpfung eines vierpoligen asynchronen Drehstrommotors soll gemessen werden. Dem Motore werde Strom von 50 Perioden zugeführt. Aus der Polzahl $p = 4$ und der Periodenzahl $c = 50$ ergibt sich die synchrone Tourenzahl nach Formel (23) S. 268 zu:

$$n' = \frac{120 \cdot c}{p} = \frac{120 \cdot 50}{4} = 1500.$$

Diese Größe wird durch den Zähler I, wie oben beschrieben, am Generator oder an einem synchronen Hilfsmotor gemessen. Der Rotor hingegen möge bei einer bestimmten Belastung eine Umdrehungszahl von $n = 1485$ pro Minute haben. Somit zeigt das Zählwerk II innerhalb einer Minute die Differenz $n' - n = 1500 - 1485 = 15$.



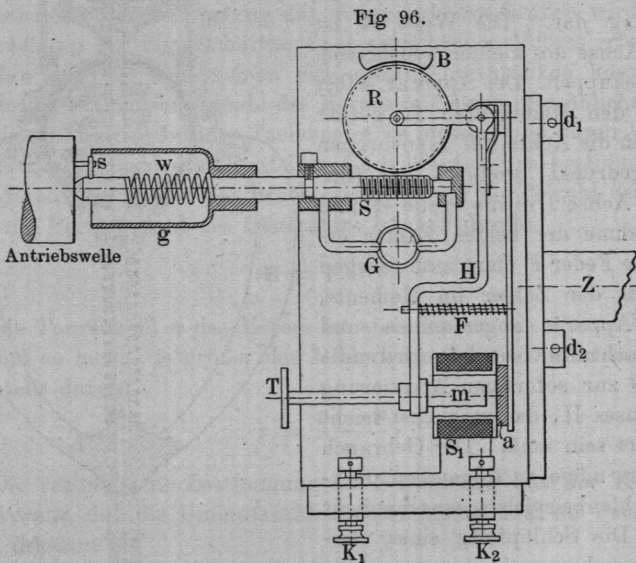
Daraus ergibt sich die Schlüpfung zu

$$s = \frac{15}{1500} = 0,01, \text{ d. h. zu 1 Proz.}$$

Der Schlüpfungszähler ist von Emil Ziehl-Berlin angegeben und in der Elektrot. Zeitschr. 1901, S. 1026 beschrieben; er wird von der Berliner Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. L. Schwarzkopff gebaut.

Eine andere durch Siemens u. Halske, A.-G., eingeführte Einrichtung¹⁾, welche kleine Unterschiede zweier Umdrehungszahlen auf mechanischem Wege festzustellen gestattet, soll noch beschrieben werden.

Sie beruht auf der Verwendung zweier gleicher elektrisch einrückbarer Umdrehungszähler, die dazu bestimmt sind, gleichzeitig die Um-



drehungszahl von Motor und Stromerzeuger zu messen. Rechnet man die Umlaufzahlen auf gleiche Polzahl um, so stellt die Differenz beider die Schlüpfungsdrehungszahl dar.

Der Apparat (schematische Skizze Fig. 96) besteht, ähnlich wie ein gewöhnlicher Zähler, aus Schnecke *S* und Schneckenrad *R*, welches das Zählwerk betätigt. Das Rad *R* ist durch den Winkelhebel *H* ausrückbar, und zwar ist es vermöge des Druckes einer Feder *F* im allgemeinen außer Eingriff mit der Schnecke. Durch eine mit Leder beklebte Hohlzylinderfläche *B* wird der Hub des Rades *R* begrenzt und dasselbe zugleich gegen Leerlauf gesichert.

Am Hebelarm *H* sind zwei durch ein Joch verbundene weiche Eisenkerne *m* befestigt; dieselben liegen hintereinander und tauchen in je

¹⁾ Siehe R. Seemann, Elektrot. Zeitschr. 1899, S. 764.

eine Elektromagnetspule S_1 bzw. S_2 ; a ist der den Kraftlinienschuß bildende Anker. Die Wickelung der Spulen endigt in den Klemmen K_1 und K_2 . Sind die Spulen stromdurchflossen, so überwindet der Magnetismus die Federkraft von F , und das Rad R kommt zum Eingriffe mit der Schnecke S . Durch den Taster T kann das Einrücken auch von Hand bewirkt werden. Die Mitnahme der Schnecke erfolgt durch die Stifte s ; sie ist eine zwangsläufige, und die Schneckenwelle ist ohne erheblichen Druck in horizontaler Richtung mit der Antriebswelle zentriert. Ein Stück biegsame Welle w gleicht die etwaigen Mängel ungenauer Zentrierung von Maschinen- und Zählerachse bei der Montage aus. Die biegsame Welle und die Stifte s sind von einer lose auf die Welle gesteckten Schutzglocke g umgeben. Durch das Schmiergefäß G wird den Lagern der Schneckenwelle Fett zugeführt.

Der Apparat besitzt seitlich einen runden Zapfen Z , der durch die Schrauben d_1 und d_2 mehr oder weniger exzentrisch zu der Schneckenachse gestellt werden kann. Mittels dieses Zapfens Z wird der Zählapparat an einem Stativ, bestehend aus einem senkrechten Gasrohre mit gußeisernem Fuße, in der Höhe verstellbar befestigt.

Die Schneckenachse des Apparates läuft während der Dauer des ganzen Versuches, bei welchem von Zeit zu Zeit die Tourenzahl der Maschine bzw. die Schlüpfung gemessen werden soll, mit. Zur Messung wird alsdann das Schneckenrad, wie oben ausgeführt, elektromagnetisch eingerückt und nach 1 bis 3 Minuten ebenso wieder außer Betrieb gesetzt.

Sowohl am Motore wie am Stromerzeuger ist ein Tourenzähler der beschriebenen Art aufzustellen.

Die gleichzeitige elektrische Ein- und Ausrückung beider Zähler bietet den Vorteil, daß mit großer Genauigkeit eine gleiche Zeitdauer der Tourenregistrierung erzielt wird, ohne daß die Handhabung große Sorgfalt und Übung des Beobachters erfordert.

Für den allgemeinen Fall, daß die Polzahl p des Motors von der Polzahl p_1 des Generators verschieden ist, ergibt sich die Schlüpfung aus den mit den beiden Zählern gemessenen Touren des Motors n und des Generators n_1 zu:

$$(25) \quad \dots \dots \dots s = \frac{n_1 \cdot p_1 - n \cdot p}{n_1 \cdot p_1} = 1 - \frac{n \cdot p}{n_1 \cdot p_1}.$$

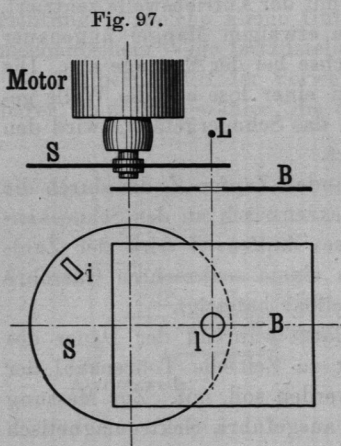
Ist z. B. für den Generator $p_1 = 10$ und $n_1 = 600$, für den Motor $p = 4$ und $n = 1470$, so folgt daraus eine Schlüpfung von

$$1 - \frac{1470 \cdot 4}{600 \cdot 10} = 1 - \frac{5880}{6000} = 0,02, \text{ d. h. von 2 Proz.}$$

Außer den rein mechanischen Methoden zur Messung der Schlüpfung, wie sie in den vorstehend beschriebenen Apparaten angewandt werden, kommen auch andere Methoden zur Anwendung, welche die Schlüpfung auf optischem und akustischem Wege zu bestimmen gestatten.

Die stroboskopischen Schlüpfungszähler von A. Bianchi, L. Schüler u. G. Seibt besitzen alle kostspielige Vorrichtungen; einfachere Apparate sind die von Gisbert Kapp¹⁾ u. A. Brückmann²⁾, welche ich hier kurz beschreiben will.

In Fig. 97 bedeutet *B* eine Blende, *S* Scheibe und *L* Bogenlampe. Erstere beiden sind schwarz. *B* ist in der Mitte mit einem Loch „*l*“ — mit durchscheinendem Papier beklebt — und *S* mit einem Schlitz „*i*“



versehen. *i* passiert für jede Umdrehung das Loch *l* und das Licht der Lampe leuchtet durch *i* auf das durchscheinende Papier. Das durchscheinende Papier leuchtet somit bei jeder Umdrehung auf, und zwar so, daß die Zählung auch bei großer Umdrehung noch gut erfolgen kann. Bedeuten *b* die Lichtblitze in der Zeit *t*, so ist die Schlüpfung in Prozenten bezogen auf die primäre Frequenz f_p : $\sigma = \frac{100}{f_p} \cdot \frac{b}{2t}$. (Siehe

Näheres in der schon angeführten Arbeit von Gisbert Kapp.) Die Genauigkeit der Methode ist nach Angabe des Verfassers so groß, daß selbst bei einem

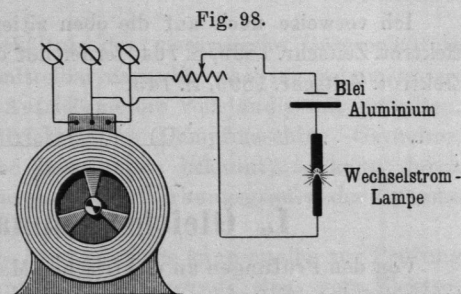
zweipoligen Motor und 50 Perioden des Primärstromes die Schlüpfung noch gut festgestellt werden kann, falls sie 6 Proz. nicht überschreitet.

Bei dem Brückmannschen stroboskopischen Schlüpfungsmesser „wird eine vom Anker angetriebene schwarze Scheibe mit weißem Radius mit Wechselstrombogenlicht, von einer mit der des Stators gleichen Periodenzahl, beleuchtet“. „Die Lampenhelligkeit wechselt zwischen einem Maximal- und Minimalwerte mit doppelter Frequenz, weil die negativen Impulse auch positive Lichtmaxima ergeben“. Bei jedem Wechsel wird der Radius einmal erleuchtet und es entstehen soviel Bilder des Radius als Wechsel auf eine Umdrehung kommen. Die Zahl der Bilder, welche sich bei synchronem Lauf ergeben und sich in Form eines ruhig stehenden Stromes darbieten, ist der Polpaarzahl des Stators gleich. Beim Anfangen des Schlüpfens vermehrt sich die Wechselzahl pro Umdrehung und der Stern dreht sich mit einer Tourenzahl entsprechend dem Werte $n' - n$ (n' Drehfeldgeschwindigkeit, n Ankertourenzahl) und die Schlüpfung ergibt sich zu s Proz. $= \frac{n' - n}{n'} \cdot 100$. Die Umdrehungszahl eines Armes des Sternes in der Zeiteinheit muß bei dem Versuche

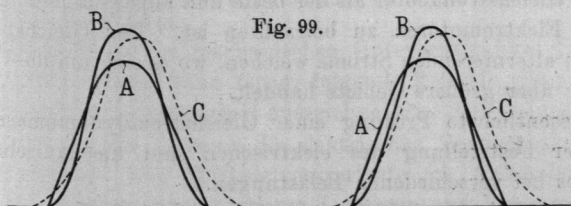
¹⁾ Gisbert Kapp u. Dr. Brückmann, Elektrot. Zeitschr. 1909, S. 418 und S. 621.

²⁾ A. Brückmann, Elektrot. Zeitschr. 1911, Heft 9, S. 219 u. f.

festgestellt werden. Bei niedriger Polpaarzahl und großer Schlüpfung, sowie bei hoher Polpaarzahl ist die Feststellung eines einzigen Armes durch Bestehen vieler Arme schwierig; hierzu kommt, daß die Helligkeitsmaxima und -minima bei 50 Perioden wenig voneinander abweichen, so daß die Bilder nur sehr schwer zu unterscheiden sind. Durch eine entsprechende Schaltung sind die Verringerung der Anzahl der Arme auf die Hälfte und auch scharfe und klare Bilder auf der Scheibe zu erreichen. Dieses wird erzielt, wenn man die negativen Stromimpulse durch entsprechende Mittel abdrosselt, so daß nur positive Impulse verbleiben. Wenn man eine Aluminiumzelle, — welche nur Strom in einer Richtung bewirkt, — in den Lampenstromkreis schaltet, so erhält man eine Verringerung der Armzahl des Sternes auf die Hälfte und erzielt die Eigenschaften einer Gleichstromlampe. Bei Wechselstrombetrieb werden die



Kohlenstifte gleichmäßig erhitzt, während bei Betrieb mit intermittierendem Strome einer Richtung ungleichmäßige Erhitzung eintritt, welche durch Anordnung der $+$ -Kohle — d. i. der oberen mit der Aluminiumelektrode verbundenen — noch begünstigt wird. Die obere, sowieso heißere Kohle, wird durch die warm aufsteigende Luft nur sehr langsam abgekühlt, wohingegen die untere — durch kalte hinzukommende Luft



— schnell gekühlt wird. Die Lichtverteilung und der Abbrand entsprechen einer mit Gleichstrom betriebenen Lampe und die Maximalwerte der Helligkeit treten je nach Anordnung der positiven Kohle über oder unter der Vertikalebene auf (s. Fig. 98).

Dem Lichtbogen wird eine halbe Periode lang keine Energie zugeleitet und kühlt die Kohle sich in dieser Zeit weiter ab und die Beleuchtung des Radius wird in dieser Zeit nicht erkennbar. Die Kurvenform, wie Fig. 99 zeigt, wird durch die Aluminiumzelle und eben beschriebene Schaltung Fig. 98 erzielt. Es treten, wie Fig. 99 zeigt, nur positive Impulse auf. A bedeutet die Sinuswelle des Wechselstromes, B den Helligkeitssinusquadrant und C die resultierende Kurve. Die

Helligkeitskurve C ist verzerrt. Das Wesentliche der Methode besteht also darin, daß durch die Einschaltung der Aluminiumzelle in den Lampenstromkreis nur Strommaximalwerte in einer Richtung bestehen, wohingegen die der anderen Richtung abgedrosselt werden. Durch die Verringerung der Bilderzahl auf die Hälfte können größere Schlüpfungen ohne weiteres festgestellt werden. Die Zelle läßt sich aus Aluminiumblech und Blei und als Elektrolyt — doppelsaures Natron in gesättigter Lösung — leicht zusammenstellen; die Menge der Elektrolyten muß reichlich sein, so daß durch Zirkulation eine hinreichende Abkühlung bewirkt wird.

Ich verweise noch auf die oben zitierte Arbeit von R. Seemann, Elektrot. Zeitschr. 1899, S. 764, ferner auf diejenige von Dr. Benischke, Elektrot. Zeitschr. 1899, S. 143.

L. Gleichstrommaschinen.

Von den Prüfungen an elektrischen Maschinen seien als die wichtigsten zunächst diejenigen an Gleichstrommaschinen behandelt. Diese letzteren kommen für elektrische Anlagen mittlerer Größe meistens und für alle kleineren Lichtenanlagen fast ausschließlich in Betracht, sowohl wegen der Einfachheit und großen Betriebssicherheit des Gleichstromsystemes — indem in einfacher Weise Akkumulatorenbatterien als Reserve und zum Ausgleich der schwankenden Tagesbelastung Verwendung finden können —, als auch aus dem Grunde, weil für Kraftzwecke der Gleichstrommotor als der beste und anpassungsfähigste unter sämtlichen Elektromotoren zu betrachten ist. Der Gleichstrom muß erst da dem alternierenden Strome weichen, wo es sich um die Verteilung der Energie über größere Gebiete handelt.

Die wesentlichste Prüfung einer Gleichstromdynamomaschine besteht in der Feststellung des elektrischen und mechanischen Güteverhältnisses bei verschiedenen Belastungen.

Zu diesem Behufe wird die abgegebene elektrische Leistung (Effekt) gemessen und gleichzeitig die Antriebsmaschine indiziert oder — wenigstens bei kleineren Maschinen — vermittelt eines Einschaldynamometers der zugeführte Arbeitsbetrag bestimmt. Es wird somit das Verhältnis

$$(1) \dots \eta' = \frac{\text{Nutzbare elektrische Leistung}}{\text{Indizierte Leistung des Betriebsmotors}}$$

oder das Verhältnis (Wirkungsgrad)

$$(2) \dots \eta = \frac{\text{Nutzbare elektrische Leistung}}{\text{Effektive Leistung des Betriebsmotors}}$$

festgestellt.