

erstere Verlust ist experimentell zu bestimmen, da derselbe mit der Induktion, der Periodenzahl und der Eisensorte sehr variiert. Der Wirbelstromverlust kann annähernd nach der Formel von Steinmetz bestimmt werden. Die Größe der Induktion ist mit Rücksicht auf die zulässige Temperaturerhöhung und den Wirkungsgrad zu wählen. Je besser die Abkühlung ist und je kleiner der Wirkungsgrad sein darf, desto größer kann die Induktion gewählt werden.

7. Lagerreibungsarbeit  $R_{la}$ . Dieser Verlust hängt lediglich von der Beschaffenheit, der Temperatur und dem verwendeten Öle des Lagers ab. Die Dettmarsche Formel liefert bei einem spezifischen Lagerdrucke bis etwa 35 kg gute Resultate. Sie lautet:

$$(9) \dots \text{Lagerreibungsarbeit in Watt } R_{la} = 49,05 \cdot r \cdot d \cdot l \cdot \sqrt{v^3}$$

[ $d$  Zapfendurchmesser in Zentimeter,  $l$  Zapfenlänge in Zentimeter,  $v$  Umfangsgeschwindigkeit des Zapfens in Meter-Sekunden,  $r =$  etwa 0,015 (Reibungskoeffizient)]. Über die Lagerreibungsarbeit als Funktion der umgebenden Temperatur finden sich wertvolle Angaben im Niethammerschen Werke „Wechselstromerzeuger“.

8. Die Luftreibungsarbeit  $R_{lu}$  wächst stark mit zunehmender Umlaufgeschwindigkeit, kann also bei hoher Tourenzahl bedeutend werden. Im übrigen kann man sie nur schätzungsweise bestimmen.

9. Die Bürstenreibung  $R_b$  auf den Schleifringen bzw. dem Kommutator der Erregermaschine. Dieser Verlust läßt sich angenähert in Watt bestimmen durch die Relation:

$$(10) \dots \dots \dots R_b = 9,81 \cdot q \cdot d_r \cdot u \cdot k_r$$

( $q$  Bürstenquerschnitt in Quadratcentimeter,  $d_r$  spezifischer Druck der Bürsten in Kilogramm-Quadratcentimeter, im Mittel etwa 0,130;  $u$  Umfangsgeschwindigkeit in Meter-Sekunden,  $k_r$  Reibungskoeffizient für Metall- und Kohlenbürsten, im Mittel etwa 0,3).

Aus diesen Verlusten bestimmt sich der Gesamtwirkungsgrad durch:

$$(11) \cdot \eta = \frac{p \cdot J \cdot E_k \cdot \cos \varphi}{p \cdot J \cdot E_k \cdot \cos \varphi + \text{Summe der Verluste unter 1 bis 9}}$$

Der Nenner dieses Ausdruckes stellt naturgemäß die dem Generator zugeführte Gesamtenergie dar.  $E_k$  bedeutet hierin die Klemmenspannung (in dem Sinne, daß dieselbe z. B. bei verkettetem Dreiphasenstrom in Sternschaltung zwischen Außenleiter und Verkettungspunkt, d. h. als Sternspannung gemessen wird).

Bezüglich Erwärmung und Abkühlung einer Wechselstrommaschine verweise ich auf das für Gleichstrommaschine Gesagte (s. S. 276 u. f.).

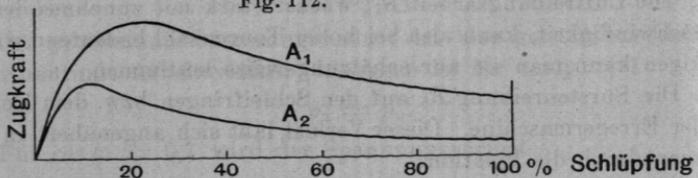
#### 4. Theoretische Bemerkungen über asynchrone Drehstrommotoren.

Um das Verständnis für die späteren Versuche zu klären, seien hier noch einige Erläuterungen und Formeln für die asynchronen Drehstrommotoren gegeben. Für den Drehstrommotor ist ein Hauptmoment eine

große Anzugskraft mit geringem Watt- bzw. Stromverbrauche. Mit zunehmender Erregerstrom-(Statorstrom-)Stärke wird die Streuung im Motor vermehrt und infolge der zunehmenden Streuung — Selbstinduktion im Stator und im Rotor — die Zugkraft vermindert. Der große Einfluß ist aus folgenden von Kapp<sup>1)</sup> aufgezeichneten Kurven (Fig. 112) zu ersehen. Kurve  $A_1$  stellt die Zugkraft eines Motors, bei dem die Streuungsinduktion in der Statorwicklung bei voller Belastung 15 Proz. der zugeführten Spannung beträgt, in Abhängigkeit von der Schlüpfung dar. Die Kurve  $A_2$  gilt sodann für einen Motor, bei dem der Wert der Streuungsinduktion der doppelte ist.

Nach Kapp bestimmt sich die Selbstinduktion der Primärwicklung folgendermaßen: Die Ankerachse wird festgekeilt und die primäre Spannung so niedrig gehalten, daß die Stromstärke des Stators nicht höher ansteigt als bei voller Belastung des Motors. Die relative Umdrehungszahl des Rotors gegen das primäre Feld ist sodann gleich der Umdrehungszahl dieses letzteren; bei der hohen relativen Geschwindigkeit, mit der sich in diesem Falle die Leiter des Rotors durch das Feld

Fig. 112.



bewegen, ist nur ein schwaches Feld zur Erzeugung kräftiger Ströme im Rotor erforderlich. Die erregende Kraft für die resultierende Induktion  $B$  und die elektromotorische Gegenkraft, welche vom resultierenden Felde  $B$  herrührt, sind somit annähernd gleich Null. Ferner ist der Spannungsverlust durch den primären Leitungswiderstand gering. Man kann daher unter Vernachlässigung dieses Spannungsverlustes sowohl wie der elektromotorischen Gegenkraft annehmen, daß die zugeführte Spannung nur zur Überwindung der Selbstinduktion für die normale Stromstärke  $i_1$  dient; der gemessene Spannungswert stellt daher den durch die Streuung bewirkten Spannungsverlust dar. Das Verhältnis der nutzbaren zu der in der Primärwicklung erzeugten Induktion heißt der Streuungsfaktor. Je näher diese Größe dem Werte 1 kommt, desto besser ist der Motor. Dieser Faktor ist aus dem Verhältnisse der Magnetwindungen und Ankerwindungen und der dazu gehörigen, durch Spannungsmesser bestimmten induzierten elektromotorischen Kräfte zu ermitteln. Wird z. B. durch die Statorwicklung von 90 Windungen ein Strom von gegebener Wechselzahl und Spannung geschickt und beträgt die mit Spannungsmesser bestimmte elektromotorische Kraft 102 Volt und wird im Anker mit 60 Windungen bei

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

einer bestimmten Geschwindigkeit eine effektive gemessene elektromotorische Kraft von 60 Volt erzeugt, so ist der Streuungsfaktor

$$\frac{90}{60} \cdot \frac{60}{102} = \text{rund } 0,88;$$

es gelangen somit von 1000 im Stator erzeugten Krafftlinien 880 in die Rotorwicklung, die anderen schließen sich im Luftraume zwischen Feld- und Ankerwicklung und gehen also verloren.

Die zugeführte Energie eines Drehstrommotors ist

$$(12) \dots \dots \dots W = 3 \cdot e_1 \cdot i_1 \cdot \cos \varphi,$$

und der Leistungsfaktor des Motors bei voller Belastung ist

$$(13) \dots \dots \dots \cos \varphi = \frac{W}{3 \cdot e_1 \cdot i_1},$$

worin  $e_1$  und  $i_1$  die Effektivwerte von Spannung und Stromstärke, gemessen in den drei Statorwickelungen, und  $W$  die mit dem Wattmeter gemessene Energie bedeuten.

Bezeichnet  $\omega_{st}$  bzw.  $\omega_r$  die Winkelgeschwindigkeit des Drehfeldes im Stator bzw. des Rotors, so besteht die Relation:

$$(14) \dots \dots \dots \frac{\omega_{st} - \omega_r}{\omega_{st}} = s = \text{Schlüpfung des Motors.}$$

Nennen wir das Drehmoment  $D$ , den Widerstand der Statorwicklung pro Phase  $w_1$ , so ist der Wirkungsgrad des Drehstrommotors rechnerisch gegeben durch

$$(15a) \dots \dots \dots \frac{D \cdot \omega_r}{D \cdot \omega_{st} + \frac{3 \cdot i_1^2 \cdot w_1}{9,81}},$$

wobei  $D \cdot \omega_r = W_n$  die vom Motor nutzbar abgegebene Energie, welche durch Bremsung ermittelt werden kann,  $D \cdot \omega_{st}$  die vom Rotor aufgenommene Energie und  $3 \cdot i_1^2 \cdot w_1$  die in der Primärwicklung in Wärme umgesetzte Energie bedeuten. Bei Vernachlässigung dieser letzteren Größe wird

$$(15b) \dots \dots \dots \eta = \frac{\omega_r}{\omega_{st}} = 1 - s,$$

d. h. der Wirkungsgrad des Motors ist eine Funktion der Schlüpfung und zwar fällt derselbe mit Zunahme der Schlüpfung.

Natürgemäß drückt sich der Wirkungsgrad auch durch folgende Relation aus:

$$(16) \dots \dots \dots \eta = \frac{D \cdot \omega_r}{3 \cdot e_1 \cdot i_1 \cdot \cos \varphi}.$$

### 5. Experimentelle Untersuchungen an Mehrphasengeneratoren.

Ich gebe im folgenden die wichtigsten Faktoren der Prüfungen und den Gang der Untersuchungen bei Ein- und Mehrphasenmaschinen an.