

	Temperatur bzw. Temperaturzunahme über die Raumtemp. mit dem Thermometer gemessen		Temperaturzunahme über die Raumtemp. aus der Widerstandszunahme berechnet
	°C	°C	
Ankereisen } . . . . .	69	46	—
Ankerwicklung } . . . . .			
Magnetwicklung . . . . .	—	—	79
Wendepole . . . . .	56	33	—
Kollektor . . . . .	67	44	—

Isolierprobe: Kollektor 660 Volt, Magnete 660 Volt Wechselspannung, eine halbe Stunde geprüft.

Die Einzelverluste berechnen sich bei einer Belastung von  $\frac{1}{1}$  wie folgt:

Kupferverlust im Anker (Rotor)	$J^2 \cdot r_a = 65^2 \cdot 0,133 =$	560 Watt
Kupferverl. in d. Magnetwicklung (Stator) . . . . .	$e \cdot i_n = 220 \cdot 1,33 =$	292 „
Kupferverlust (Wendepole) . . . $J^2 \cdot (r_n)_{\text{Wendepole}}$	$w = 65^2 \cdot 0,038 =$	160 „
Leerlaufverlust + Reibungs- u. Bürstenverlust . . . . .	$i_l \cdot e = 2,14 \cdot 220 =$	470 „
Gesamtverluste . . . . .		= 1482 Watt
Elektrische Nutzleistung . . . . .	17.736	= 12500 „
Gesamter Effekt = Nutzleistung + Verlustarbeit . . . . .		= 13982 Watt

Hieraus resultiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Nutzleistung} + \text{Verlustarbeit}} = \frac{12500}{13982} = 89,7 \text{ Proz.},$$

garantiert 87,5 — 2 = 85,5 Proz., somit  $\eta$  um 4,2 Proz. überschritten.

Die Garantien sind somit erreicht bzw. überschritten.

Aus den Gesamtversuchsergebnissen geht hervor, daß die Garantien in bezug auf Leistung, Nutzeffekte und Erwärmung nicht nur bei weitem eingehalten, sondern zum Teil über- bzw. unterschritten sind. Auch die Garantie betreffend Isolierfestigkeit ist bei weitem erreicht. Auch bei vorübergehender hoher Überlastung waren die Erwärmungen der einzelnen Teile der Maschinen nicht übermäßig und der Gang der Maschinen ein tadelloser. Die Nutzeffekte sind durchgehend hoch. (Siehe auch Kapitel T.)

## M. Ein- und Mehrphasenstrommaschinen.

### 1. Vergleichende Betrachtung des Ein- und Mehrphasensystems.

Das Einphasensystem zeichnet sich aus durch einfaches Leitungsnetz und einfache Spannungsregulierung und kommt speziell bei reinem Beleuchtungsbetriebe in Frage, während bei Kraftabgabe oder gemischtem Betriebe hauptsächlich das Dreiphasensystem angewandt wird.

Unter gleichen Verhältnissen (Leistung, Verlust, Gebrauchsspannung, Phasenverschiebung) ist für das Dreiphasennetz bei Dreiecksschaltung 25 Proz., bzw. bei Sternschaltung 75 Proz. und bei neutralem Leiter vom Verkettungspunkte aus etwa 70 Proz. Kupfer weniger nötig als beim Einphasennetz<sup>1)</sup>. Die Stromstärken bei gleicher Arbeitsleistung für einphasigen Wechselstrom, Zweiphasenstrom und Dreiphasenstrom verhalten sich wie etwa 1:0,50:0,57.

Gegen das Dreiphasensystem spricht die Komplikation durch das Mehrleitungs- und Schaltmaterial (drei Leiter), sowie die Schwierigkeit der gleichmäßigen Belastung und Spannung in den drei Teilen des Netzes.

Die Ein- und Mehrphasenmaschinen unterscheiden sich im Wesen nur durch die verschiedene Wicklungsart. In bezug auf die mehrphasigen Wicklungen nimmt die Ausgiebigkeit<sup>2)</sup> bei Einphasen-, Zweiphasen- und Dreiphasenwicklungen im Verhältnis 64:90:95 zu. Eine Einphasenmaschine erfordert demnach zum Zwecke gleicher Leistung bedeutend mehr Kupfer als eine Dreiphasenmaschine. Streuung und Ankerrückwirkung sind als Folgewirkungen größeren Ankerstromes ( $\sqrt{3}$ mal so groß bei der Einphasenmaschine) bei der Einphasenmaschine viel beträchtlicher als bei der Dreiphasenmaschine. Die erstere wächst annähernd proportional mit dem Strome. Infolge dieser größeren Verluste ist der Nutzeffekt bei der Einphasenmaschine kleiner.

Die magnetische Beanspruchung bzw. die erforderlichen Eisenmengen der Maschinen für gleiche Leistung stehen bei Einphasenwechselstrom, Zweiphasenwechselstrom, Drehstrom im Verhältnis von 1:0,70:0,66.

Was die Motoren betrifft, so sind die Mehrphasenmotoren den Wechselstrommotoren bedeutend überlegen.

Ein Hauptnachteil der synchronen Wechselstrommotoren ist der, daß dieselben mit Belastung ohne besondere Hilfsmittel nicht angehen und nur mit einer Tourenzahl betrieben werden können, welche dem Synchronismus entspricht. Sobald die Belastung über einen Höchstwert steigt, so kommt der Motor durch Abnahme der Tourenzahl außer Tritt und bleibt stehen. Um diese Motoren in Gang zu setzen, ist, soweit nicht besondere (kleine) Antriebsmotoren verwandt werden, eine Hilfsphase oder Kunstphase erforderlich. Die hierzu notwendigen Hilfswicklungen können aus Drähten von geringerem Querschnitte als die Betriebswicklung bestehen, da dieselben nur zum Anlaufe im Betriebe sind. Die Phasenverschiebung zwischen Haupt- und Hilfswicklung kann auf verschiedene Weise erreicht werden — z. B. Hauptwicklung als Trommelwicklung, Hilfswicklung als Grammwicklung, oder Kapazität in Parallelschaltung zur Hauptwicklung. — Hauptsache

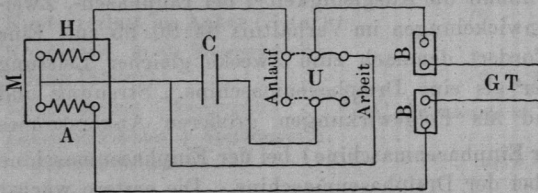
<sup>1)</sup> Siehe Teichmüller, E. T. Z. 1902, Heft 1 und 2.

<sup>2)</sup> Siehe H. Görges, E. T. Z. 1892.

bei dem ersteren Verfahren ist, daß die verschiedenen Wicklungen verschiedene Selbstinduktion besitzen.

Bei asynchronen Einphasenmotoren werden, wenigstens bei den größeren Typen (bei kleinen Motoren genügt ein Andrehen von Hand, um die Bewegung einzuleiten), dieselben Mittel wie bei synchronen Einphasenmotoren zur Erzeugung einer Kunstphase beim Anlassen angewandt. Brown benutzt bei seinem asynchronen Einphasenmotor einen Flüssigkeitskondensator von sehr hoher Kapazität, um den zum Ingangsetzen erforderlichen Phasenunterschied zu erreichen. Da zum Anziehen ein hoher Strom und niedrige Spannung erforderlich ist, so verwendet Brown neben dem Kondensator einen Transformator, so daß nur ein schwacher Strom bei normaler Spannung eingeführt wird,

Fig. 110.



während der Motor starken Strom von niedriger Spannung aufnimmt. Nebestehende Figur (110) zeigt die Schaltung des Motors (ohne Transformation). Die eingetragenen Be-

zeichnungen bedeuten: *M* Motor, *H* und *A* die Hilfs- bzw. Arbeitswicklung, *C* die Flüssigkeitskapazität, *G* bzw. *T* die Leitungen zum Wechselstromerzeuger bzw. Transformator, *BB* die Sicherungen, *U* Umschalter.

In der mittleren Lage des Umschalters ist der Motor ausgeschaltet. Die Arbeitswicklung liegt mit der Hilfswicklung und der Kapazität, die untereinander parallel geschaltet sind, in Serie.

Der Verlust durch Stromwärme ist beim asynchronen Einphasenmotor etwa doppelt so groß wie beim asynchronen Drehstrommotor. Im Belastungszustande sind die Ankerströme beim Dreiphasenstrommotor annähernd dem Quadrate der Schlüpfung, d. h. des relativen Tourenverlustes, proportional, und dieser letztere ist nahezu ein proportionales Maß für die Arbeitsleistung.

Bei Prüfung ergibt sich, daß bei gleichem Gewichte eines Einphasen- und eines asynchronen Mehrphasenmotors der erstere etwa 30 Proz. weniger zu leisten imstande und sein Nutzeffekt niedriger ist, wie der des letzteren.

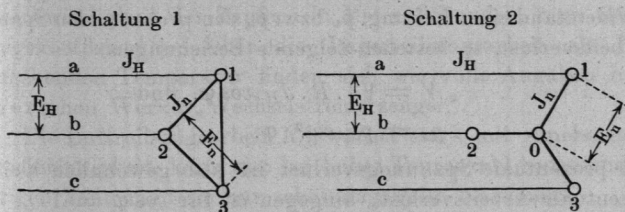
Aus vorstehendem erhellt, daß bei Dreiphasenmaschinen gegenüber Einphasenmaschinen die Ausnutzung für gleiche Leistung eine bessere, die Verluste geringere, die Nutzeffekte höhere, keine Hilfsmittel für das Ingangsetzen der Motoren (selbst mit Belastung) und geringerer Kostenaufwand erforderlich sind. Ferner ist beim Dreiphasensystem durch Rückwirkung der Motoren der Spannungsabfall geringer, die Leerlaufstromstärke niedriger und der Bau (da ev. Schleifringe und Bürsten entbehrlich sind) einfacher und hierdurch der Betrieb sicherer.

Hinsichtlich der anderen wertvollen technischen Vergleiche über Mehrphasenmaschinen verweise ich auf das Kappsche und Niethammersche Werk<sup>1)</sup>, da weitere Erläuterungen über diesen Punkt nicht in den Rahmen dieses Buches gehören.

## 2. Das Drehstromsystem (Dreiecksschaltung, Sternschaltung).

Im folgenden gebe ich noch einige Eigenschaften und Schaltungsarten des Drehstromsystems, da deren Kenntnis für die späterhin gegebenen Untersuchungen erforderlich ist. Bei der Stromentnahme in einem Drehstromsysteme sind drei Arbeitsleitungen vorhanden. Diese können in Dreiecksschaltung (Fig. 111, Schaltung 1) oder in Sternschaltung (s. Fig. 111, Schaltung 2) auf die Nutzwidestände arbeiten.

Fig. 111.



Bezeichnet  $E_H$  die Spannung zwischen je zwei Leitungen ( $a, b, c$ ), so ist die Spannung für Schaltung 1 an den Enden 1, 2, 3 gleich der Spannung zwischen den Hauptleitungen  $a, b, c$ :

(1) . . . . .  $E_H = E_n$ .

Der Strom in der Nutzleistung  $J_n$  ist aber kleiner als der Strom in der Hauptleitung  $J_H$  und zwar ist

(2) . . . . .  $J_H = 2 \cdot \cos 30^\circ \cdot J_n = \sqrt{3} \cdot J_n = 1,732 \cdot J_n$ .

Für Schaltung 2 wird

(3) . . . . .  $J_H = J_n$ ,

während die Spannung  $E_n$  von 1 nach 0, 2 nach 0, 3 nach 0 kleiner ist als die Spannung  $E_H$  zwischen  $a, b, c$ , und zwar besteht die Beziehung

(4) . . . . .  $E_H = 2 \cdot \cos 30^\circ \cdot E_n = \sqrt{3} \cdot E_n = 1,732 E_n$ .

Die Energieleistung des Drehstromsystemes ist bei gleichbelasteten Zweigen in Watt:

(5a)  $W_\Delta = 3 \cdot J_n \cdot E_H \cdot \cos \varphi = 3 \cdot J_n \cdot E_n \cdot \cos \varphi$  (für Schaltung 1),

(5b)  $W_\lambda = 3 \cdot J_H \cdot E_n \cdot \cos \varphi = 3 \cdot J_n \cdot E_n \cdot \cos \varphi$  (für Schaltung 2),

wobei  $\cos \varphi$  den sogenannten Leistungsfaktor,  $\varphi$  die Phasenverschiebung zwischen Nutzstrom  $J_n$  und Nutzspannung  $E_n$  bedeutet; unter Be-

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