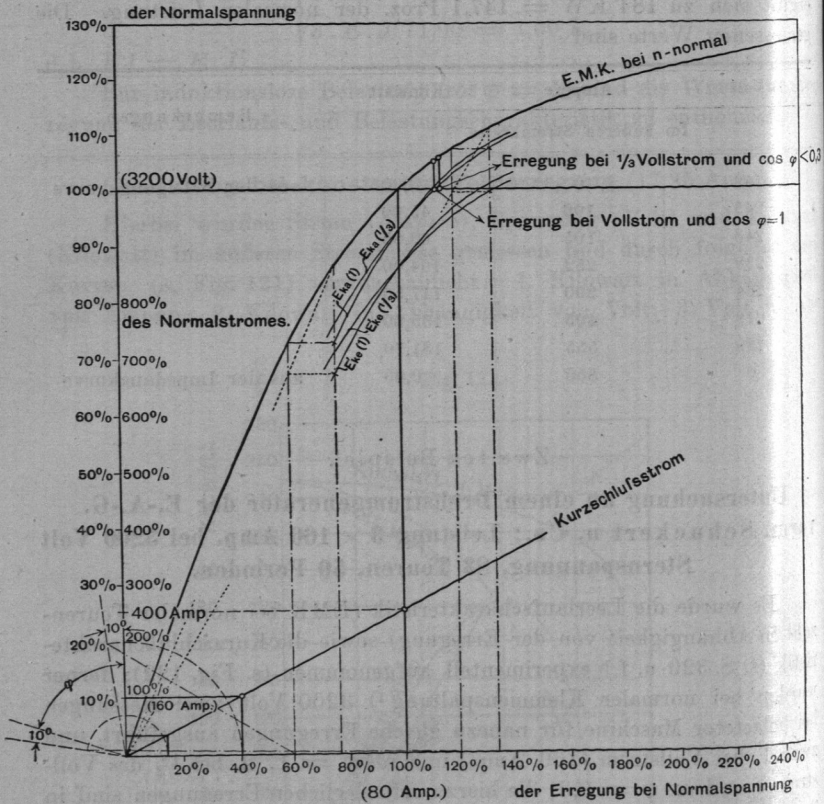


und $E'_{ke}(\frac{1}{2})$]. Aus dem Verlaufe der Kurven ist zu ersehen, daß der tatsächliche Spannungsverlust der durch die oberen Kurven (E_{ka}) dargestellten Grenze sehr nahe kommt, mithin einen verhältnismäßig geringen Wert aufweist.

Fig. 122.



Drittes und viertes Beispiel.

Prüfung zweier Drehstromgeneratoren von 600 KVA Leistung bei 3350 Volt Spannung, $\cos \varphi = 1$ und 600 Touren in der Minute, erbaut von den Felten-Guilleaume-Lahmeyer-Werken in Frankfurt a. M.

Die Generatoren wurden vom Verfasser im Auftrage einer Firma in Madrid untersucht. Die Maschinen waren für eine — verkettete — Spannung von 3350 Volt bei einer normalen Stromstärke von 104 Amp. — Sternschaltung — gebaut; sie leisteten bei induktionsfreier Belastung: $\sqrt{3} \cdot 3350 \text{ Volt} \times 104 \text{ Amp.} = 600 \text{ KVA}$ bei $n = 600$ in der Minute.

Die Daten und Garantien für die Maschinen sind:

Daten.

Erreger (primäre Wickelung).	Anker (sekundäre Wickelung).
Spannung: 110 Volt.	Spannung: 3350 Volt.
Schaltung: Serie	Frequenz: 50.
Widerstand: kalt 1,300 Ohm } pro warm 1,515 " } Phase	Wickelart: 3 Phasen, Λ -Schaltung.
Strom: bei $\cos \varphi = 0,7$ 55 Amp. Vollast.	Polzahl: 10.
34,5 " Leerlast.	Widerstand: 0,1615 Ohm pro Phase.
Touren: 600 in der Minute.	Strom: 104 Amp. Vollast.
Spulenzahl: 10, Windgn. pro Spule 170.	Touren: 600 in der Minute.
6 Bürstenbolzen à 1 Bürste 10 mm dick, 20 mm breit. Marke: L.B.	Luftweg total: 16,5 mm.
	Drähte pro Phase: 230.

Garantien.

1. Die Leistung der Generatoren wird zu je 600 KVA in der Form garantiert, daß die Maschinen gemäß den Normalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker überlastet werden können und in bezug auf Erwärmung usw. und sonstigen technischen Bedingungen gleichfalls den genannten Normalien entsprechen, so daß ein dauernd gutes Funktionieren der Generatoren und des Zubehörs sicher ist.

2. Der Lieferant garantiert folgende Wirkungsgrade:

Bei $\frac{1}{4}$ -Belastung	$\frac{3}{4}$ -Belastung	$\frac{1}{2}$ -Belastung	
94 Proz.	92,5 Proz.	89,5 Proz.	bei $\cos \varphi = 1$
92 "	90,5 "	87,5 "	" $\cos \varphi = 0,85$
mit 1 Proz. Toleranz.			

Die Prüfung der Wirkungsgrade soll gemäß § 41 (Leerlaufsmethode) der Normalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker erfolgen.

3. Das Magnetrad muß derart konstruiert werden, daß dasselbe, ohne Schaden zu nehmen, während drei Minuten eine Erhöhung der Tourenzahl um 80 Proz. der normalen aushalten kann, und die Maschinen müssen mit den nötigen Vorrichtungen versehen sein, um zu verhüten, daß bei der hohen Tourenzahl weder Spannungserhöhungen noch Temperatursteigerungen auftreten, welche den Generatoren schädlich sein könnten.

Ad 1. Ein Vorversuch bei normaler Belastung hatte ergeben, daß die maximale Erwärmung der Maschinen nach etwa fünf Stunden schon eintrat. Es wurde daher der Hauptversuch — Dauerprobe bei normaler Belastung — auf $5\frac{1}{2}$ Stunde bemessen, nachdem die Maschinen vorher schon einige Stunden zur Vorerwärmung gelaufen waren und nur eine kurze Betriebsunterbrechung, zur Bestimmung der Leerlaufsarbeit, vor dem Hauptversuche eingetreten war.

Ein Drehstromgenerator wurde als Dynamo mit Übererregung und der andere als Motor mit Untererregung betrieben. Das Prüfungs-

Drehstromgenerator als Motor untererregt.
Maschine Nr. 50529,

3350 Volt, 104 Amp., $n = 600$, Frequenz 50, gekuppelt mit einer Erreger-Dynamo Nr. 50531, Max. 55 Amp., 110 Volt.

Drehstromgenerator als Dynamo übererregt.
Maschine Nr. 50522,

3350 Volt, 104 Amp., $n = 600$, Frequenz 50, gekuppelt mit einer Erreger-Dynamo Nr. 50530, Max. 55 Amp., 110 Volt.

Zeit Uhr	Touren	Erregung		Amp.	Volt Konstante = 40	Amp.	Erregung		
		Amp.	Volt				Volt	Amp.	
11 ³⁰	650	14,0	85,0	106	85,0	106	100,0	69,0	
12	620	14,0	90,5	109	85,0	109	96,0	69,0	
12 ³⁰	605	12,6	85,0	102	85,0	102	101,0	66,0	
1	600	12,3	85,0	105	85,0	105	103,5	67,0	
1 ³⁰	600	12,0	84,0	105	84,0	105	104,0	66,5	
2	600	12,4	84,5	105	84,0	105	104,0	66,5	
2 ³⁰	600	12,6	86,0	104	86,0	104	106,5	67,0	
3 ⁰⁰	600	13,6	91,0	104	91,0	104	113,0	70,5	
3 ³⁰	600	12,2	84,6	104	84,6	104	104,5	65,5	
4	600	12,1	84,0	105	84,0	105	103,5	65,2	
4 ³⁰	600	12,2	84,5	104	84,5	104	104,5	65,8	
5	600	12,2	84,5	104	84,5	104	104,0	65,0	
		Mittel 85,72,		104,8			Mittel 85,2, 105		
		85,72 · 40 = 3428,8 Volt und 104,8 Amp. im Mittel				85,2 · 40 = 3408 Volt und 105 Amp. im Mittel.			

Bemerkungen: Maschinen liefern schon von 8⁰⁰ Uhr an mit kurzer Unterbrechung zur Bestimmung der Leerlaufarbeit. — Maschine Nr. 50522 ist mit etwa 22 Proz. übererregt.

protokoll auf voriger Seite gibt einen Überblick über den Verlauf der Versuche.

Aus den Zahlen dieser Tabelle resultiert, daß die normale Leistung der Generatoren bei weitem erreicht ist. Der $\cos \varphi$ betrug bei der Belastung etwa 0,03, somit für den Betrieb der Generatoren ein sehr ungünstiger Wert, welcher in der Praxis nie vorkommt. Es sind somit die Generatoren unter sehr ungünstigen Verhältnissen für dieselben bei dem Versuch betrieben worden.

Direkt nach Stillstand der Maschinen wurden Temperaturmessungen mit dem Thermometer an den einzelnen Teilen der Maschinen und Widerstandsmessungen vorgenommen; die Widerstände der Wicklungen im kalten Zustande der Maschinen waren vor den Versuchen gemessen worden. — Die Temperaturen bzw. Temperaturerhöhungen über die Raumtemperatur von 14°C, mit dem Thermometer gemessen, ergaben:

	Temperaturen	Temperaturerhöhungen
Generatoren		
1. Statoreisen	44,5 bzw. 50° C	30,5 bzw. 36° C
2. Statorkupfer	40,0 „ 41° C	26,0 „ 27° C
3. Polschuhe Mittel etwa	44° C	30° C
Erregermaschinen		
1. Pole Mittel etwa	46° C	32° C
2. Kollektoren „ „	48° C	34° C
3. Schleifringe „ „	49° C	35° C
4. Ankerwicklung „ „	45° C	31° C
5. Ankereisen „ „	47° C	33° C
6. Gehäuse „ „	39° C	25° C

Die maximale Temperaturerhöhung in den Rotor- und Statorwicklungen wurde aus der Widerstandserhöhung ermittelt, indem man vor und nach dem Dauerversuch — auf indirektem Wege durch Beobachtung der Spannungsdifferenz an den Enden der Wicklungen und dem Strom im Stromkreise der Wicklungen — die Widerstände der Wicklungen bestimmte; als Stromquelle diente eine kleine Batterie. Die Messungen ergaben:

Rotorwicklungen.

Spannungsdifferenz	Strom	Widerstand (warm) =	$\frac{\text{Spannungsdifferenz}}{\text{Strom}}$
44,5	29,5		1,505 Ohm
79,5	52,0		1,525 „
		Mittel	1,515 Ohm
		Widerstand (kalt) =	1,300 Ohm
			Differenz 0,215 Ohm.

Statorwickelungen: Raumtemperatur etwa 14° C.

Spannungsdifferenz	Strom	Widerstand (warm) =	$\frac{\text{Spannungsdiff.}}{\text{Strom}}$
Konst. \times Ausschlag	Konst. \times Ausschlag		
0,02 . 61	0,1 . 75,5)	0,1615 Ohm	
0,02 . 61	0,1 . 75,5 j		
	Widerstand (kalt) =	0,1417 Ohm	
	Differenz	0,0198 Ohm.	

Die Temperaturerhöhungen in den Rotor- bzw. Statorwickelungen über die Raumtemperatur berechnen sich hiernach zu:

$$T = \frac{w_1 - w_0}{0,004 \cdot w_0} = \frac{0,215}{0,004 \cdot 0,1300} = 41,4^\circ \text{C} \text{ bzw. } \frac{0,0198}{0,004 \cdot 0,1417} = 35,2^\circ \text{C}$$

s. hierzu Formel 3, S. 276.

Aus diesen Temperaturen und denjenigen, welche mit dem Thermometer bestimmt waren, erhellt, daß die maximalen Temperaturzunahmen, welche die Verbandsvorschriften Deutscher Elektrotechniker (s. § 18) zulassen, bei weitem nicht erreicht werden.

Eine halbstündige Überlastung beider Maschinen um 25 Proz. erfolgte während einer halben Stunde gemäß der Verbandsvorschriften Deutscher Elektrotechniker (s. § 22) und wurden hierbei keine schädlichen Einwirkungen beobachtet, trotzdem eine Maschine sogar um 56 Proz. übererregt war. Das Prüfungsprotokoll bzw. Überlastungsversuche folgen hier:

Maschine Nr. 50529, betrieben
als Synchronmotor.

Maschine Nr. 50522, betrieben
als Dynamo.

Zeit Uhr	Touren	Volt Konst. = 40	Amp.	Erreg. Amp.	Volt Konst. = 40	Amp.	Erregung	
							Volt	Amp.
10	600	84,5	130	9	84,5	130	113,5	78
10 ¹⁵	600	84,5	130	9	84,5	130	113,5	78
10 ³⁰	600	84,5	130	9	84,5	130	113,5	78
84,5 . 40 = 3380 Volt, 130 Amp.					84,5 . 40 = 3380 Volt, 130 Amp.			

Die Prüfung auf Isolierfestigkeit wurde gemäß den Verbandsvorschriften Deutscher Elektrotechniker (§ 26 u. 27) mit 7600 Volt Prüfspannung an beiden Maschinen während einer halben Stunde vorgenommen ohne Beschädigung derselben, so daß die Isolation von Wickelungen gegen das Gestell als gut bezeichnet werden muß.

Es sind somit die Verbandsvorschriften Deutscher Elektrotechniker (s. §§ 18, 22 u. 26) der Normalien für Prüfungen von elektrischen Maschinen bzw. die Garantien sub 1 bezüglich Dauerleistung — bei normaler Belastung —, Überlastung, Isolierfestigkeit bzw. Erwärmung nicht nur eingehalten, sondern zum Teil überschritten bzw. unter-

schrritten. Ein gutes Funktionieren der Maschinen bestand während der längeren Vorversuche und Dauerproben.

Ad 2. Die Leerlaufsarbeit wurde nach der Leerlaufmethode bestimmt. Die Generatoren wurden als Synchronmotoren mit normaler Tourenzahl betrieben und die Energiemenge, welche den Motoren zum Leerlauf zugeführt werden mußte, nach der Zweiwattmetermethode bestimmt. Die Generatoren waren direkt mit einem Motor gekuppelt und wurde der dem Motor zugeführte elektrische Effekt bei Leerlauf des Generators mit und ohne Erregung, sowie nach Abkuppelung des Generators bei Leerlauf des Motors bestimmt. Für die normale Spannung des Generators wurde die dem Antriebsmotor zugeführte elektrische Energie bei Erregung mit derjenigen verglichen, welche dem Motor bei der Klemmenspannung 0 des Generators — Erregung 0 — zuzuführen ist; die Differenz der beiden Energien ergibt die Leerlaufsarbeit. Sowohl die wattmetrische Methode, als auch diejenige mit Hilfe des Antriebsmotors kam bei den Messungen, welche ich hier folgen lasse, zur Anwendung:

Bestimmung der Leerlaufsarbeit mit Hilfe des Antriebsmotors.

Maschine Nr. 50522		Antriebsmotor			
Volt	Amp.-Erreg.	n	Volt	Amp.	KW
Konst. = 40	—	600	109,5	81,5	} 8,50
—	—	600	110	73,5	
84,0	34,0	600	110	Konst. = 2 100,5	} 22,10
3360 Volt		600	110	100,5	
abgekuppelt		600	110	34,0	} ¹⁾ 3,75
		600	110	34,0	

22,1 KW erregt bei 3360 Volt,
 3,7 „ Leerlauf des Antriebsmotors,
 18,4 KW Eisen- + Reibungsverlust.

Bestimmung

der Leerlaufsarbeit nach der Zweiwattmetermethode.

Maschine Nr. 50529 wurde als Synchronmotor betrieben und folgende Messungen vorgenommen:

n	Volt	Amp.	2 Wattmeter Ablesungen		KW
600	83,7	3,8	Konst. = 240		} Mittel 17,37 KW Leerlaufs- arbeit
			39 + 34	= 17,50	
600	83,0	3,8	39 + 33	= 17,25	

¹⁾ Leerlauf des Antriebsmotors.

Der Verlust durch Stromwärme wurde aus den bereits gemessenen Widerständen und den Stromstärken festgestellt. Die Wirkungsgrade berechnen sich hiernach zu:

Für Maschine Nr. 50522 bei $\cos \varphi = 1$.

Belastung	$\frac{1}{1}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	
Amp.: Stator	104	78	52	
Rotor	43	40	38	
KW: Leistung	600	450	300	
Verluste	Eisen und Reibung	18,4	18,4	18,4
	Stator $3 \cdot J^2 \cdot w_s$ (warm) = $3 \cdot 104^2 \cdot 0,1615 =$	5,22	—	—
	bzw. $3 \cdot 78^2 \cdot 0,1615 =$		2,95	
	bzw. $3 \cdot 52^2 \cdot 0,1615 =$			1,305
	Rotor $i^2 \cdot w_r$ (warm) = $43^2 \cdot 1,525 =$	2,82		
bzw. $40^2 \cdot 1,525 =$		2,44		
bzw. $38^2 \cdot 1,525 =$			2,20	
Nutzleistung und Verluste	626,44	473,79	321,905	
η in Proz. aus Einzelverlusten $\frac{600}{626,44} =$. . . 96 Proz.			
bzw. $\frac{450}{473,79} =$. . . 95 Proz.			
bzw. $\frac{300}{321,905} =$. . . 93,3 Proz.			
Garantiert war	94 Proz.	92,5 Proz.	89,5 Proz.	
mit 1 Proz. Toleranz.				

Für Maschine Nr. 50522 bei $\cos \varphi = 0,85$.

Belastung	$\frac{1}{1}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	
Amp.: Stator	104	78	52	
Rotor	51	47	43	
KW: Nutzleistung	510	382	255	
Verluste	Eisen und Reibung	18,4	18,4	18,4
	Stator $3 \cdot J^2 \cdot w_s$ (warm) = $3 \cdot 104^2 \cdot 0,1615 =$	5,22		
	bzw. $3 \cdot 78^2 \cdot 0,1615 =$		2,95	
	bzw. $3 \cdot 52^2 \cdot 0,1615 =$			1,305
	Rotor $i^2 \cdot w_r$ (warm) = $51^2 \cdot 1,525 =$	3,97		
bzw. $47^2 \cdot 1,525 =$		3,37		
bzw. $43^2 \cdot 1,525 =$			2,82	
Nutzleistung und Verluste	537,59	406,72	277,525	
η in Proz. aus Einzelverlusten $\frac{510}{537,59} =$. . . 95,1 Proz.			
bzw. $\frac{382}{406,72} =$. . . 94 Proz.			
bzw. $\frac{255}{277,525} =$. . . 92,4 Proz.			
Garantiert war	92 Proz.	90,5 Proz.	87,5 Proz.	
mit 1 Proz. Toleranz.				

Für Maschine Nr. 50529 bei $\cos \varphi = 1$.

Belastung	$\frac{1}{1}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	
Amp.: Stator	104	78	52	
Rotor	43	40	38	
KW: Nutzleistung	600	450	300	
Verluste	Eisen und Reibung	17,37	17,37	17,37
	Stator $3 J^2 \cdot w_s$ (warm) = $3 \cdot 104^2 \cdot 0,1615 =$	5,22		
	bzw. = $3 \cdot 78^2 \cdot 0,1615 =$		2,95	
	bzw. = $3 \cdot 52^2 \cdot 0,1615 =$			1,305
	Rotor $i^2 \cdot w_r$ (warm) $43^2 \cdot 1,525 =$	2,82		
	bzw. = $40^2 \cdot 1,525 =$		2,44	
bzw. = $38^2 \cdot 1,525 =$			2,20	
Nutzleistung und Verluste	625,41	472,76	320,875	
η in Proz. aus Einzelverlusten $\frac{600}{625,41} =$		96,2 Proz.		
bzw. $\frac{450}{472,76} =$			95,3 Proz.	
bzw. $\frac{300}{320,875} =$			93,6 Proz.	
Garantiert war	94 Proz.	92,5 Proz.	89,5 Proz.	
mit 1 Proz. Toleranz.				

Für Maschine Nr. 50529 bei $\cos \varphi = 0,85$.

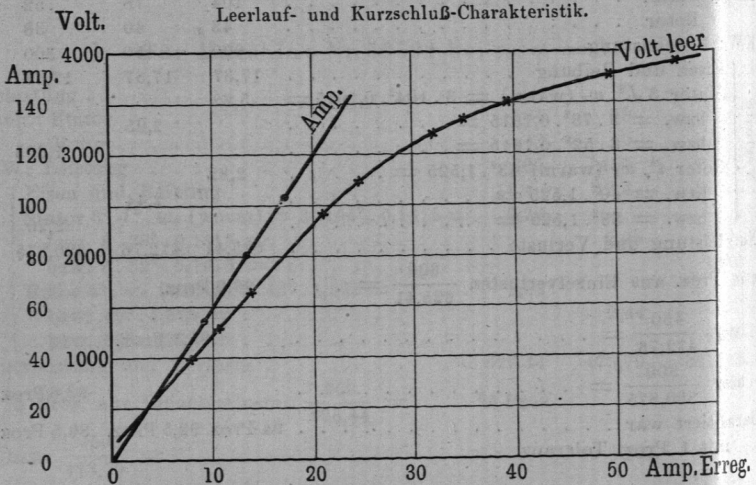
Belastung	$\frac{1}{1}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	
Amp.: Stator	104	78	52	
Rotor	51	47	43	
KW: Nutzleistung	510	382	255	
Verluste	Eisen und Reibung	17,37	17,37	17,37
	Stator $3 J^2 \cdot w_s$ (warm) = $3 \cdot 104^2 \cdot 0,1615 =$	5,22		
	bzw. $3 \cdot 78^2 \cdot 0,1615 =$		2,95	
	bzw. $3 \cdot 52^2 \cdot 0,1615 =$			1,305
	Rotor $i^2 \cdot w_r$ (warm) = $51^2 \cdot 1,525 =$	3,97		
	bzw. $47^2 \cdot 1,525 =$		3,37	
bzw. $43^2 \cdot 1,525 =$			2,82	
Nutzleistung und Verluste	536,56	405,69	276,495	
η in Proz. aus Einzelverlusten $\frac{510}{536,56} =$		95,1 Proz.		
bzw. $\frac{382}{405,69} =$			94,1 Proz.	
bzw. $\frac{255}{276,495} =$			92,4 Proz.	
Garantiert war	92 Proz.	90,5 Proz.	87,5 Proz.	
mit 1 Proz. Toleranz.				

Die durch Versuch und Rechnung ermittelten Werte für η sind somit um mehrere Prozent höher als die garantierten.

Ad 3. Die Versuche der Tourenhöhung der Maschinen um 80 Proz. der normalen hatten keine mechanischen Veränderungen oder sonstige schädlichen Einwirkungen zur Folge. Um Überspannungen beim Durchgehen der Turbinen zu vermeiden, ist ein Maximalautomat mit Spannungswicklung in die Erregung der Erregermaschine ein-

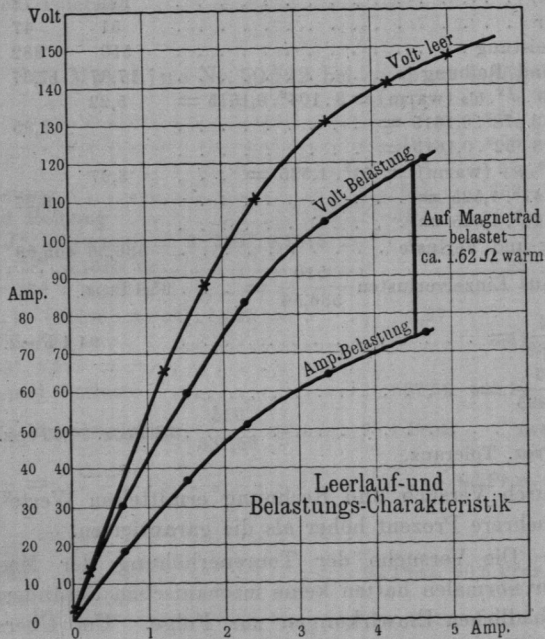
gebaut. Bei Erhöhung der Erregerspannung über ein gewisses Maximum schaltet der Automat einen Widerstand vor die Erregung, der so

Fig. 123.



Drehstromgenerator Nr. 50522. 3350 Volt, 104 Amp., 600 KVA, $n = 600$, Frequenz 50.

Fig. 124.



Erregermaschine Nr. 50530. 110 Volt, 63,5 Amp., 70 KW, 600 m. Luftraum 4,0 mm ger., 3,3 mm gem.

bemessen ist, daß der Eintritt einer schädlichen Spannung in den Generator ausgeschlossen ist.

Aus den Versuchen ad 1 bis 3 geht hervor, daß die verlangten Garantien sub 1 bis 3 bei weitem erfüllt sind.

Einige experimentell aufgenommene Kurven, welche auch Aufschluß über den Bau und die Güte der Maschinen geben und von allgemeinem Interesse sind, lasse ich hier folgen:

Fig. 123 zeigt die Leerlaufscharakteristik — EMK bei normaler Tourenzahl in Abhängigkeit von der Erregung — sowie die Kurzschlußcharakteristik für die Drehstromgeneratoren. Die Spannung 3350 Volt erfordert eine Erregung von 35 Amp.; sie wurde von 0 bis zu einem höchsten Werte gesteigert. Der Kurzschlußstrom J_0 ist ebenfalls als Funktion der Erregung dargestellt; es sind hiermit die wichtigen Kurven für die Praxis der Drehstromgeneratoren gegeben, und ist der Spannungsabfall unter verschiedenen Belastungen, welche für die Praxis eine große Rolle spielt, leicht zu finden (s. hierzu S. 320 u. f.).

Zum Schluß sei in Fig. 124 die Leerlaufs- und Belastungscharakteristik der zu einer der Generatoren gehörigen Erregermaschine gegeben; diese Kurven haben auch für die Praxis besondere Bedeutung.

Fünftes Beispiel.

Untersuchung eines asynchronen Einphasenmotors von Brown Boveri & Co., Leistung 55 PS, 2800 Volt Spannung und 670 Touren pro Minute.

Der Motor dient zum Antriebe einer 36 KW-Gleichstrommaschine, mit welcher er direkt gekuppelt ist. Die Ermittlung der Nutzleistung sowie des Wirkungsgrades geschah in diesem Falle in einfacher Weise aus den Belastungswerten der Gleichstrommaschine unter Berücksichtigung der bekannten Wirkungsgradkurve für dieselbe. Diese letztere sowie die zugehörigen Ablesungswerte sind aus dem früher erwähnten Beispiele (s. S. 281 u. f.) zu ersehen. Es resultierte z. B. aus der Nutzleistung der Dynamo (5460 Watt) und dem Wirkungsgrade derselben (65,2 Proz.) für diese Belastung eine nutzbare Leistung des Motors von 8374 Watt (= 11,39 PS_e). Da nun die gemessene, in den Motor eingeführte Leistung 12,5 KW betrug, so ist der Wirkungsgrad des Motors bei einer Leistung von 11,39 PS_e:

$$\eta = \frac{8374}{12500} = 0,67.$$

Der Leistungsfaktor und die Phasenverschiebung ergeben sich aus der gleichzeitig gemessenen, primär zugeführten Stromstärke von 10,8 Amp. und der konstanten zugeführten Spannung von 2800 Volt zu

$$\cos \varphi = \frac{12500}{2800 \cdot 10,8} = 0,413.$$