

Ab- lenkung der Nadel	Primär- strom- stärke	Energie- verlust	Sekun- där- strom- stärke	Sekun- där- span- nung	Sekun- där- lei- stung	Kupfer- verlust, primär und sekundär	Hysteresis- und Wirbel- strom- verluste	Wir- kungs- grad
Grad	Amp.	Watt	Amp.	Volt	Watt	Watt	Watt	Proz.
91,0	0,10	91,0	—	52,4	—	0,1	90,3	0,000
91,0	0,25	91,0	2,046	52,4	107	0,7	90,3	0,540
92,0	0,30	92,0	4,092	52,3	214	1,1	90,9	0,699
93,0	0,40	93,0	7,818	51,6	404	2,5	90,5	0,813
95,0	0,60	95,0	11,460	51,5	590	4,5	90,5	0,861
99,0	0,79	99,0	15,280	51,0	779	9,4	89,6	0,887
110,0	1,13	110,0	21,320	50,3	1072	19,5	90,5	0,907
127,5	1,55	127,5	28,440	50,0	1422	36,0	91,4	0,918
91,0	0,10	91,0	—	52,4	—	0,1	90,4	0,000

Zweites und drittes Beispiel.

Im folgenden gebe ich je ein Prüfungsergebnis eines Einphasen-
transformators der Type *Tme* 14 und eines Drehstromtransformators
der Type *Tmd* 14 der E. A. G. vorm. Schuckert u. Co. Jedes Beispiel
ist für den täglichen und jährlichen Wirkungsgrad unter Annahme
einer bestimmten Tagesbelastung durchgerechnet.

I. Die Daten des Einphasentransformators sind:

- Maximale sekundäre Leistung $117 \text{ Amp.} \times 120 \text{ Volt} = 14040 \text{ Watt.}$
 - Spannung, primär $e_1 = 3600 \text{ Volt,}$
 - sekundär $e_2 = 120 \text{ „}$
 - Stromstärke, primär $i_1 = 4,026 \text{ Amp.,}$
 - sekundär $i_2 = 117 \text{ „}$
 - Widerstand, primär $r_1 = 6,4 \text{ Ohm}$
 - sekundär $r_2 = 0,00629 \text{ Ohm}$
- } bei einer Raumtemperatur
von 28° C.

Die Messungen ergaben folgendes:

Die Prüfspannung der Hochspannungswickelung gegen Eisen und
Niederspannungswickelung war 7000 Volt.

Das Übersetzungsverhältnis bei unbelastetem Transformator
war $3600 \text{ Volt primär; } 122 \text{ Volt sekundär.}$

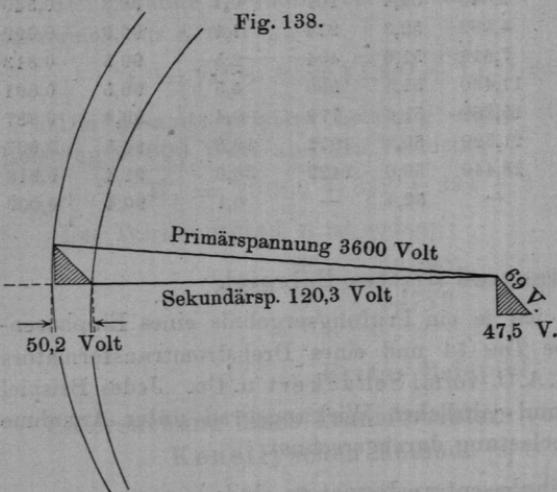
Der Spannungsabfall — in Hochspannung ausgedrückt — wurde
zu $50,2 \text{ Volt, d. h. } 1,4 \text{ Proz.}$ von der Primärspannung bei induktions-
freier Belastung gemessen. Annähernd berechnet sich derselbe auch aus
den normalen Stromstärken primär und sekundär und aus den Wider-
ständen nach Formel ¹⁾ (7), S. 366 als Ohmscher Spannungsabfall zu:

¹⁾ In derselben bedeuten: $J_p = i_1, r_p = r_1, J_s = i_2, r_s = r_2, \epsilon_r = \text{Ohm-}$
scher Spannungsabfall und $\frac{h}{n} = \text{Übersetzungsverhältnis.}$

$$6,4 \cdot 4,026 + 0,00629 \cdot 117 \cdot \frac{3600}{122} = 47,5 \text{ Volt.}$$

Daß der so berechnete Wert etwas zu klein ist, ergibt sich leicht, wenn man die Konstruktion (Fig. 135) für die Phasenverschiebung $\varphi = 0$ ausführt.

Die Kurzschlußspannung wurde zu 69 Volt, d. h. 1,92 Proz. von der Primärspannung gemessen. Untenstehende Fig. 138 diene zur Erläuterung der Ausführungen. Die genannten Spannungsgrößen sind daselbst eingetragen. Durch Subtraktion des Spannungsabfalles 50,2 Volt von der Primärspannung ergibt sich eine sekundäre Klemmenspannung von



(3600 - 50,2) $\frac{122}{3600}$
= 120,3 Volt.

Der durch den Leerlaufversuch als zugeführter Effekt ermittelte

Verlust durch Hysteresis und Wirbelströme beträgt 241,5 Watt. Derselbe ist gemessen an der Niederspannungsseite bei offener Hochspannungswicklung und bei einem Leerlaufstrom von 3,45 Amp. (Der Ohmsche Verlust durch den Leerlaufstrom ist unbedeutend, wie schon oben bemerkt, und braucht nicht berücksichtigt zu werden.)

Die Kupferverluste primär und sekundär berechnen sich zu

$$(6,4 \cdot 4,026^2 + 0,00629 \cdot 117^2) = 189,7 \text{ Watt.}$$

Die maximale primäre Leistung ist:

$$14040 + 241,5 + 189,7 = 14471,2 \text{ Watt.}$$

Der Wirkungsgrad bei Vollbelastung ist somit:

$$\eta = \frac{14040}{14471,2} = 97 \text{ Proz.}$$

Nach dauernder Vollbelastung wurden mittels des Thermometers die Temperaturen an verschiedenen Teilen des Transformators festgestellt; sämtliche Werte blieben unter 50° C.

Der tägliche Wirkungsgrad in den Monaten des größten Lichtbedarfes unter der Annahme, daß die Belastung des Transformators täglich (innerhalb 24 Stunden) etwa 5 Stunden im Mittel mit 70 Proz. der Vollast dauert, ist, wie folgt, zu ermitteln:

Nutzarbeit 14040 · 0,7 · 5	= 49 140 Wattstunden
Verlust durch Hysteresis und Wirbelströme	
241,5 · 24	= 5 796 "
Kupferverluste primär und sekundär [(4,026	
· 0,7) ² · 6,4 + (117 · 0,7) ² · 0,00629] · 5	= 465 "
Zugeführte Energie	= 55 401 Wattstunden

Täglicher Wirkungsgrad:

$$\eta_t = \frac{49\,140}{55\,401} = 88,7 \text{ Proz.}$$

Unter der Annahme, daß der Transformator etwa 500 Stunden im Jahre vollbelastet und ebenso viele Stunden durchschnittlich mit 60 Proz. der Vollast im Betriebe ist, berechnet sich der Jahreswirkungsgrad wie folgt:

Nutzarbeit 14040 · 500 + 14040 · 0,6 · 500	= 11 232 000 Wattstunden
Verlust durch Hysteresis und Wirbelströme	
241,5 · 24 · 365	= 2 115 540 "
Kupferverlust primär und sekundär [189,7	
+ (4,026 · 0,6) ² · 6,4 + (117 · 0,6) ²	
· 0,00629] · 500	= 129 000 "
Zugeführte Energie	= 13 476 540 Wattstunden

Jahreswirkungsgrad:

$$\eta_j = \frac{11\,232\,000}{13\,476\,540} = 83,3 \text{ Proz.}$$

Aus diesen Resultaten geht, wie schon gesagt, hervor, daß der Tages- bzw. Jahreswirkungsgrad lediglich durch die Hysteresis- und Wirbelstromverluste fällt. Dieser Faktor muß bei einer Zentrale mit Wechsel- oder Drehstrom wohl berücksichtigt werden.

II. Die Daten des Drehstromtransformators (mit Sternschaltung) sind:

Maximale sekundäre Leistung $\sqrt{3} \times 115 \text{ Volt} \times 70,2 \text{ Amp.}$
 = ~ 14 000 Watt.

Spannung primär . . 4900 Volt zwischen den Leitungen
 " sekundär . . 115 " " " "

Stromstärke primär 1,72 Amp.
 " sekundär 70,2 "

Widerstand primär:

gemessen zwischen den Klemmen 1 und 2 = 28,42 Ohm,
 " " " " 2 " 3 = 28,56 "
 " " " " 3 " 1 = 28,44 "

d. h. der mittlere Widerstand einer Phase primär ist 14,237 Ohm. =

Widerstand sekundär:

gemessen zwischen den Klemmen	1 und 2	=	0,01600	Ohm,
"	"	"	2 "	3 = 0,01605 "
"	"	"	3 "	1 = 0,01605 "

d. h. der mittlere Widerstand einer Phase sekundär ist 0,008017 Ohm.

Die Übersetzung bei Leerlauf ist

4900 Volt primär: 118 Volt sekundär für jede der drei Messungen zwischen den Leitungen.

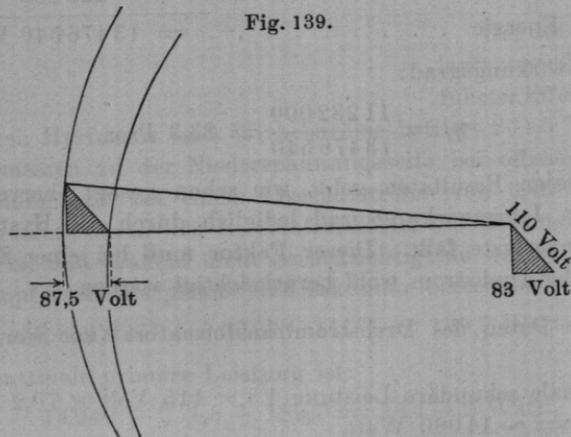
Die Prüfungsspannung der Hochspannungswickelung gegen Eisen und Niederspannungswickelung betrug 8000 Volt.

Der Spannungsabfall, zwischen den Außenleitern gemessen, betrug bei induktionsfreier Belastung in Hochspannung 87,5 Volt, das heißt 1,8 Proz.; die Kurzschlußspannung war 110 Volt oder 2,25 Proz.

Der Ohmsche Spannungsverlust zwischen den Außenleitern hatte den Wert:

$$\left(1,72 \cdot 14,237 + 70,2 \cdot 0,008017 \frac{4900}{118}\right) \cdot \sqrt{3} = \sim 83 \text{ Volt.}$$

Zur Veranschaulichung dieser Verlustgrößen ist wiederum das Spannungsdiagramm beigelegt, (s. Fig. 139).



Der Hysteresis- und Wirbelstromverlust, gemessen als zugeführter Leerlaufseffekt an der Niederspannungsseite (bei offener Hochspannungswickelung), beträgt 230 Watt; die hierbei gemessenen Leerlaufströme sind:

1,6	Amp.	in der ersten Phase,
2,1	"	" " zweiten "
2,1	"	" " dritten "

Der Kupferverlust (primär und sekundär) ergibt sich aus den Maximalwerten der Ströme (1,72 und 70,2) und den Widerständen der Wickelungen (14,237, 0,008017) zu $(1,72^2 \cdot 14,237 + 70,2^2 \cdot 0,008017) \cdot 3 = 245 \text{ Watt.}$

Die maximale primäre Leistung ist:

$$14\,000 + 230 + 245 = 14\,475 \text{ Watt,}$$

der entsprechende Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{14\,000}{14\,475} = 96,7 \text{ Proz.}$$

Nach dauernder Vollbelastung des Transformators wurden mit dem Thermometer die Temperaturen festgestellt; sämtliche Werte blieben unter 50° C.

0. Prüfungen an Akkumulatoren.

Der Akkumulator wird dank seiner Fähigkeit, die elektrische Energie in Form von chemischer Energie aufzuspeichern, in elektrischen Zentralen zum Ausgleich für die schwankende Tagesbelastung und zur Lieferung der Energie zu gewissen Tages- und Nachtstunden während Außerbetriebsetzung der Maschinenaggregate verwendet. Derselbe kann nur Gleichstrom aufnehmen und gibt eben solchen bei Entladung wieder ab. Seine wertvollen Eigenschaften kommen daher in erster Linie Gleichstromzentralen zugute. In Zentralstationen werden die Akkumulatoren — da die einzelnen Zellen nur eine geringe Spannung von etwa 2 Volt haben — zu einer Batterie vereinigt, d. h. in Hintereinanderschaltung verwendet. Die Zahl der Zellen wird nach Maßgabe der Betriebsspannung gewählt.

Die Leistungsfähigkeit und Güte einer Batterie wird nach ihrer „Kapazität“ sowie nach ihrem „Nutzeffekte“ beurteilt. Erstere gibt ein absolutes Maß für die Leistungsfähigkeit, indem sie die Elektrizitätsmenge bezeichnet, die man nach jeder vollen Ladung ohne Beeinträchtigung der Güte der Batterie, d. h. ohne Überanstrengung der Zellen entnehmen darf. Sie wird in Amperestunden gemessen und ist dargestellt durch die Größe

$$(1) \dots \dots \dots \int_0^t i \, dt,$$

worin i den Momentanwert des Entladestromes in Ampere und t die Zeit in Stunden bezeichnet. Der Nutzeffekt, auch „elektrisches Güteverhältnis“ (Hoppe), „Nutzeffekt der chemischen Aktion“ (Aron) und „Wirkungsgrad“ genannt, ist ein Maß für die Vollkommenheit, mit der sich die durch das Laden und Entladen stattfindende zweifache Umwandlung der Energie vollzieht. Er drückt sich aus durch das Verhältnis:

$$(2) \dots \dots \dots \frac{\int e \cdot i \cdot dt}{\int E \cdot J \cdot dt};$$

darin sollen e und i die Momentanwerte von Spannung in Volt und Stromstärke in Ampere während der Entladung, E und J die entsprechenden Werte während der Ladung bedeuten.