

$$\text{Verhältnis: } \frac{\text{Watt}}{\text{Indizierte Leistung}} = \frac{417000}{741} = 563.$$

$$\text{Verhältnis: } \frac{\text{Watt}}{\text{Im Anker umgesetzter Effekt}} = \frac{417000}{685} = 609.$$

Viertes Beispiel.

Als weiteres Beispiel mögen die Resultate der von mir im Auftrage des Stadtmagistrates Erlangen vorgenommenen Prüfung der elektrischen Maschinen für das Erlanger städtische Elektrizitätswerk, geliefert von der Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. Schuckert u. Co., Nürnberg, dienen.

Es kamen bei der Prüfung in Betracht zwei Nebenschlußgleichstromgeneratoren zur Speisung eines Netzes von 2×220 Volt und ein Zusatzaggregat von vier nach Schuckertschem Systeme angeordneten Maschinen: zwei Motoren und zwei Generatoren zur Spannungserhöhung beim Laden der Batterie und zugleich als Ausgleichsmaschinen für das Netz. Die Leistung der Maschinen ist durch folgende Daten gegeben:

Nebenschluß-Gleichstrom-Generatoren:

$$\begin{array}{l} 197 \text{ Amp.} \times 440 \text{ bis } 500 \text{ Volt bei } n = 120 \text{ Touren,} \\ 197 \text{ " } \times 550 \text{ " " " } n = 132 \text{ " } \end{array}$$

Zusatzdynamos:

$$10 \mid 100 \mid 130 \text{ Volt} \times 163 \mid 163 \mid 55 \text{ Amp. bei } n = 740 \text{ Touren.}$$

Motoren:

$$220 \text{ bis } 250 \text{ Volt} \times 91 \text{ Amp. bei } n = 740 \text{ Touren.}$$

Der Übersicht halber seien im folgenden:

1. die Methode und Einrichtung der Messungen,
2. die Prüfungsprotokolle und Berechnungen,
3. die Resultate der Prüfungen

gegeben.

1. Es kam die auf S. 275 u. 276 beschriebene Methode der Bestimmung der Verlustarbeiten zur Anwendung.

Die Widerstände der Maschinen wurden zunächst in kaltem Zustande gemessen, ebenso wurde die Raumtemperatur festgestellt; sodann erfolgte eine fünfstündige Dauerprobe unter normalen Verhältnissen. Nach derselben wurden die Widerstände sowie die Temperatur der Wickelungen — diese mit dem Thermometer — abermals bestimmt und anschließend hieran die Leerlaufsversuche vorgenommen.

Bei der Belastungsprobe und den darauf folgenden Messungen bei Entlastung wurden:

die Klemmenspannung e , die Stromstärke im äußeren Stromkreise i , der Strom im Nebenschlusse i_n ,

die Magnetschenkelspannung e_n (ohne den Spannungsabfall im Rheostaten) und die Tourenzahl n der Dynamomaschinen

bestimmt.

Zur Ermittlung der kleinen Widerstandsbeträge geschah die Messung auf indirektem Wege (s. S. 247). Die Magnetwiderstände in kaltem und in warmem Zustande ergaben sich aus der ersten Aufschreibung beim Einschalten, bzw. aus den letzten Werten — von Magnetschenkel-Strom und -Spannung — vor Entlastung. Bei Bestimmung der Ankerwiderstände wurden Bürstenkontakte und Zuleitungen mitgemessen.

Der Wirkungsgrad des Motorzusatzdynamoaggregates ergab sich als Verhältnis der nützlich erzeugten zur gesamten eingeleiteten Energie.

2. a) Aufnahmeprotokolle der Prüfungen an einer Nebenschlußdynamomaschine und den vier Maschinen des Zusatzaggregates: Dynamo I bzw. II und Motor I bzw. II.

Widerstände im kalten Zustande.

Nebenschluß-Dynamomaschine.

$$\left. \begin{array}{l} r_a = 0,136 \, \Omega \text{ ohne Bürsten} \\ r_a = 0,1435 \, \Omega \text{ mit Bürsten} \\ r_n = 52,3 \, \Omega \end{array} \right\} \text{Raumtemperatur} = 17^\circ \text{C.}$$

Dynamo I.

$$\left. \begin{array}{l} r_a = 0,023 \, \Omega \\ r_n = 52,2 \, \Omega \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Raumtemperatur} \\ = 18^\circ \text{C} \end{array}$$

Motor I.

$$\left. \begin{array}{l} r_a = 0,0963 \, \Omega \\ r_n = 85,1 \, \Omega \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Raumtemperatur} \\ = 18^\circ \text{C.} \end{array}$$

Dynamo II.

$$\left. \begin{array}{l} r_a = 0,0225 \, \Omega \\ r_n = 47,7 \, \Omega \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Raumtemperatur} \\ = 18^\circ \text{C} \end{array}$$

Motor II.

$$\left. \begin{array}{l} r_a = 0,094 \, \Omega \\ r_n = 85 \, \Omega \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Raumtemperatur} \\ = 18^\circ \text{C.} \end{array}$$

Belastungsprobe.

Nebenschluß-Dynamomaschinen.

i	i_n	e	e_n	n
200	5,50	590,0	288	142
197	5,24	592,0	286	144
199	5,50	616,2	308	148
200	5,45	616,2	308	148
207	5,60	631,8	320	150
200	5,40	633,0	318	152
200	5,30	627,0	320	154
200	5,30	627,0	320	154

Entlastungen nach fünfständigem Dauerbetriebe.

i	i_n	e	e_n	n
207	5,30	631,8	320	152
149	5,02	631,8	300	152
102	4,85	637,8	288	153
55	4,75	639,0	280	153
196	4,50	556,2	266	152
150	4,23	556,2	254	152
0	3,80	556,2	228	152
0	4,80	658,8	288	156
0	4,90	651,0	292	157

Da die Tourenzahl des Antriebsmotors wegen höher gehalten werden mußte, als dem normalen Werte entspricht, so wurde die Spannung der Maschine proportional der erhöhten Tourenzahl vergrößert; dadurch wird die normale Erwärmung in den Magnetwickelungen erreicht.

Zusatzaggregat.

Ablesungen bei Dauerprobe.

Dynamo I					Motor I				
i	i_n	e	e_n	n	i	i_n	e	e_n	n
167	2,05	101,5	107,0	830	88,5	1,95	233	166	830
163	1,92	99,5	102,0	840	83,5	1,95	235	168	840
168	1,88	97,5	108,0	840	87,5	1,87	233	170	840
167	1,83	96,5	102,0	840	85,5	1,80	233	168	840
176	1,92	101,5	104,0	865	72,5	1,95	245	162	865
168	1,92	103,5	110,0	880	76,5	1,95	245	180	880
163	1,80	99,5	102,5	880	85,5	1,95	245	186	880
165	1,80	101,5	104,5	876	76,5	1,97	248	190	876

Dynamo II					Motor II				
i	i_n	e	e_n	n	i	i_n	e	e_n	n
167	2,12	100	100,0	830	86	1,93	234	164	830
170	2,09	100	102,0	840	85	1,91	236	167	840
167	2,03	101	101,5	840	80	1,83	234	168	840
167	2,02	101	101,0	849	85	1,80	232	166	840
165	1,99	101	101,0	865	95	1,85	246	174	865
171	2,12	105	105,0	880	100	1,88	246	178	880
167	1,95	100	102,0	880	80	1,95	246	184	880
168	1,97	102	103,0	876	83	1,97	249	190	876

Weitere Be- und Entlastungen nach fünfständigem Betriebe.

Dynamo I					Motor I				
<i>i</i>	<i>i_n</i>	<i>e</i>	<i>e_n</i>	<i>n</i>	<i>i</i>	<i>i_n</i>	<i>e</i>	<i>e_n</i>	<i>n</i>
162	1,78	98,5	101	876	81,5	1,90	247	180	876
120	1,78	103,0	102	896	60,0	1,95	249	188	896
160	2,08	99,5	119	766	88,5	1,98	219	220	766

Dynamo II					Motor II				
<i>i</i>	<i>i_n</i>	<i>e</i>	<i>e_n</i>	<i>n</i>	<i>i</i>	<i>i_n</i>	<i>e</i>	<i>e_n</i>	<i>n</i>
163	1,92	99,5	100	876	82	2,10	248	204	876
123	1,97	101,0	107	896	60	2,13	250	204	896
167	1,95	100,0	88	766	80	2,22	220	220	766

Widerstände im warmen Zustande.

Nebenschluß-Dynamomaschine.

$$\begin{aligned}
 r_a &= 0,1511 \Omega \text{ ohne Bürsten,} & \text{Ankertemperatur} &= 44,5^\circ \text{C} \\
 r_a &= 0,1523 \Omega \text{ mit Bürsten,} & \text{Magnettemperatur} &= 40^\circ \text{C} \\
 r_n &= 60,4 \Omega, & \text{Raumtemperatur} &= 20^\circ \text{C}.
 \end{aligned}$$

Ferner wurde während der Vollbelastung der Übergangswiderstand vom Stromabgeber zu den Bürsten nebst Widerstand der Bürstenzuführungskabel bis zu den Maschinenklemmen bestimmt. Es geschah dies, indem der eine Draht eines fein geteilten Voltmeters mit einer Maschinenklemme verbunden wurde, während der andere Voltmeterdraht direkt unter der gleichpoligen Bürste an den Stromabgeber gehalten wurde. Die Messung erfolgte für beide Pole. Die ermittelte Spannung zwischen den Maschinenklemmen und dem Stromabgeber betrug 0,75 Volt für den einen, 1,10 Volt für den anderen Pol bei einer Stromstärke von 195 Amp.; daraus folgt ein Übergangswiderstand für beide Pole nebst Zuleitungen von $1,85 : 195 = 0,0095 \Omega$.

Dynamo I.	Dynamo II.
$ \begin{aligned} r_a &= 0,0255 \Omega \\ r_n &= 56,75 \Omega \\ \text{Ankertemperatur} &= 44,5^\circ \text{C} \\ \text{Magnettemperatur} &= 36^\circ \text{C} \end{aligned} $	$ \begin{aligned} & \left. \begin{array}{l} \text{Raum-} \\ \text{tempe-} \\ \text{ratur} \end{array} \right\} = 20^\circ \text{C} \left\{ \begin{array}{l} r_a = 0,0249 \Omega \\ r_n = 52,65 \Omega \\ \text{Ankertemperatur} = 45^\circ \text{C} \\ \text{Magnettemperatur} = 33^\circ \text{C}. \end{array} \right. \end{aligned} $
Motor I.	Motor II.
$ \begin{aligned} r_a &= 0,1116 \Omega \\ r_n &= 94,7 \Omega \\ \text{Ankertemperatur} &= 49,5^\circ \text{C} \\ \text{Magnettemperatur} &= 41,2^\circ \text{C} \end{aligned} $	$ \begin{aligned} & \left. \begin{array}{l} \text{Raum-} \\ \text{tempe-} \\ \text{ratur} \end{array} \right\} = 20^\circ \text{C} \left\{ \begin{array}{l} r_a = 0,109 \Omega \\ r_n = 97,1 \Omega \\ \text{Ankertemperatur} = 55^\circ \text{C} \\ \text{Magnettemperatur} = 44^\circ \text{C}. \end{array} \right. \end{aligned} $

Aus diesen und den im kalten Zustande gemessenen Werten ergeben sich die Widerstandserhöhungen der Wickelungen, bzw. die Temperaturzunahmen (s. Formel 3, S. 276), unter Abzug der Raumtemperaturzunahme, wie folgt:

Nebenschlußdynamo:

Anker: 9,93 Proz. Widerstandserhöhung oder 24,8° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur,
 Magnete: 14,3 Proz. Widerstandserhöhung oder 35,8° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur.

Dynamo I.

Anker: 10,08 Proz. Widerstandserhöhung oder 25,2° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur,
 Magnete: 7,92 Proz. Widerstandserhöhung oder 19,8° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur.

Dynamo II.

Anker: 9,88 Proz. Widerstandserhöhung oder 24,7° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur,
 Magnete: 9,58 Proz. Widerstandserhöhung oder 23,95° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur.

Motor I.

Anker: 15,08 Proz. Widerstandserhöhung oder 37,7° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur,
 Magnete: 10,48 Proz. Widerstandserhöhung oder 26,2° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur.

Motor II.

Anker: 15,15 Proz. Widerstandserhöhung oder 37,9° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur,
 Magnete: 13,4 Proz. Widerstandserhöhung oder 33,5° C Temperaturzunahme über die Außentemperatur.

Hierbei ist für 1° C Temperaturerhöhung eine Widerstandserhöhung von 0,4 Proz. zugrunde gelegt.

An der Nebenschlußdynamo wurde den Spannungen 440, 500 und 550 Volt entsprechend je ein Leerlaufversuch behufs Ermittlung der Leerlaufs- (Eisen- und Reibungs-) Verluste vorgenommen, s. S. 275 u. 276. Die Messungen ergaben die Werte:

J	i_n	e	e_n	n
3,4	4,3	471	252	119
3,7	5,4	531	316	121
3,75	5,26	582	310	131

Der Spannungsverlust im Anker nebst dem der Zuleitungen, von den Maschinenklemmen abgerechnet, beträgt bei Vollast ungefähr 31 Volt, wie sich aus den Werten für die normale Stromstärke und die Widerstände leicht ergibt. Die bei dem Versuche eingestellten Ankerspannungen e sind somit den bei Vollast auftretenden elektromotorischen Kräften gleich.

b) Bestimmung der Wirkungsgrade. Die Rechnung gestaltet sich für die Nebenschlußdynamo wie folgt:

I. Wirkungsgrad einschließlich der Verluste im Nebenschlußregulierwiderstände.

1. Bei 440 Volt Spannung:

Ankerverlust = $0,151 \cdot 201,5^2$	=	6 130 Watt
Bürstenübergangsverlust = $0,0095 \cdot 201,5^2$	=	386 "
Magnetverlust = $440 \cdot 4,5$	=	1 980 "
Leerlauf = $471 \cdot 3,4$	=	1 600 "
		10 096 Watt
Abzüglich Verlust für Reibung eines Lagers ¹⁾ = $0,79 \cdot 736$	=	581 "
Gesamtverluste	=	9 515 Watt
Nutzleistung = $440 \cdot 197$	=	86 700 "
		96 215 Watt

Daraus der Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{86700}{96215} \cdot 100 = 90,1 \text{ Proz.}$$

2. Bei 500 Volt Spannung:

Ankerverlust = $0,151 \cdot 202,3^2$	=	6 180 Watt
Bürstenübergangsverlust = $0,0095 \cdot 202,3^2$	=	389 "
Magnetverlust = $500 \cdot 5,3$	=	2 650 "
Leerlauf = $531 \cdot 3,7$	=	1 965 "
		11 184 Watt
Abzüglich Verlust für Reibung eines Lagers ¹⁾ = $0,79 \cdot 736$	=	581 "
Gesamtverluste	=	10 603 Watt
Nutzleistung = $500 \cdot 197$	=	98 500 "
		109 103 Watt

Daraus der Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{98500}{109103} \cdot 100 = 90,28 \text{ Proz.}$$

¹⁾ Beim Versuche wurde ein Lager mehr verwendet und war die Verteilung der Gewichte auf die Lager eine andere, als dem späteren Betriebe entsprach. Mit Rücksicht darauf berechnete sich unter Annahme eines Reibungskoeffizienten für die Lager von $\mu = 0,02$ die abziehende Lagerreibungsarbeit bei 120 Umdrehungen zu 0,79 PS, bei 132 Umdrehungen zu 0,89 PS.

3. Bei 550 Volt Spannung:

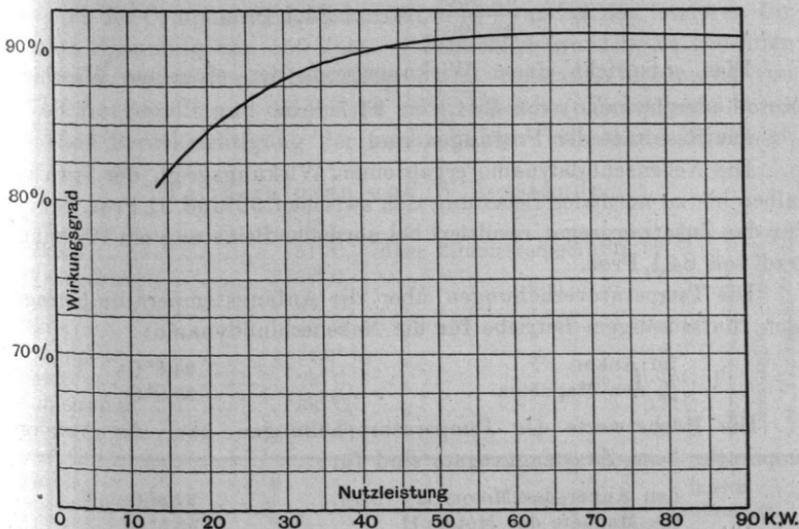
Ankerverlust = $0,151 \cdot 202,3^2$	=	6 180 Watt
Bürstenübergangsverlust = $0,0095 \cdot 202,3^2$	=	389 "
Magnetverlust = $550 \cdot 5,3$	=	2 915 "
Leerlauf = $582 \cdot 3,75$	=	2 182 "
		11 666 Watt
Abzüglich Verlust für Reibung eines Lagers ¹⁾ = $0,89 \cdot 736$	=	655 "
Gesamtverluste	=	11 011 Watt
Nutzleistung = $550 \cdot 197$	=	108 400 "
		119 411 Watt

Daraus der Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{108\,400}{119\,411} \cdot 100 = 90,78 \text{ Proz.}$$

Die Kurve des Wirkungsgrades entsprechend verschiedenen Belastungen ist bei einer Spannung von 500 Volt nachstehend aufgezeichnet.

Fig. 104.



II. Der Wirkungsgrad ohne die Verluste im Nebenschlußregulierwiderstände.

Bei Berechnung der Magnetverluste wurden nicht die Klemmenspannungen, sondern diejenigen zwischen den Enden der Wicklung zugrunde gelegt. Es ergaben sich hiernach die Werte:

1. Bei 440 Volt Spannung $\eta = 90,8$ Proz.
2. " 500 " " $\eta = 91,07$ "
3. " 550 " " $\eta = 91,71$ "

¹⁾ Siehe Anmerkung 1 auf S. 294.

Die Garantien sind somit nach obigen Prüfungsergebnissen eingehalten, zum Teil sogar wesentlich überschritten.

Die analog durchgeführten Versuche an der zweiten Nebenschlußdynamo ergaben ebenso günstige Resultate.

Fünftes Beispiel.

**Prüfung eines Gleichstrom-Compound-Generators
der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft.**

Die Maschine war für eine Leistung von 300 KW bei 100 Touren bestimmt; die Spannung soll bei Vollast von 545 Amp. 550 Volt, bei Leerlauf 500 Volt betragen, Polzahl = 6.

Zunächst wurden die Widerstände der Anker- und Magnetwickelungen in kaltem Zustande, nach sechsständigem Dauerbetriebe bei Vollbelastung in warmem Zustande gemessen, sowie die Temperaturen der einzelnen Maschinenteile und die des Versuchsraumes ermittelt. — Die Messungen erstreckten sich weiterhin auf Ermittlung der Sättigungskurve und der Compoundierungskurven, und zwar bei den letzteren für konstante Spannung von 550 Volt. — Schließlich wurden die einzelnen Verluste bei verschiedenen Belastungen und konstanter Spannung von 550 Volt festgestellt und daraus die entsprechenden Wirkungsgrade — indes ohne Berücksichtigung der mechanischen Verluste — berechnet.

Temperaturen und Widerstände.

Zimmer	19° C			} Messungen mittels des Thermometers.
Ankerkern	51° C,	über Zimmertemperatur	32° C	
Ankerwicklung	38° C,	"	19° C	
Ankerflansch	26° C,	"	7° C	
Kollektor	49° C,	"	30° C	
Spulen	38,5° C,	"	19,5° C	
Rahmen	23° C,	"	4° C	
Ablaufpolspitze	36° C,	"	17° C	
Anlaufpolspitze	31° C,	"	12° C	

Widerstand	Kalt	Warm	Innere Erwärmung
Anker	0,0338 Ω	0,0382 Ω	32,5° C
Serie	0,00476 Ω	0,00528 Ω	27,5° C
Nebenschluß	103,2 Ω	118,5 Ω	36,2° C

Die innere Erwärmung wurde mit einem Temperaturkoeffizienten von 0,004 aus der Widerstandserhöhung berechnet.

Sättigungskurve.

Bei 500 Volt sind im Mittel 6700 Amperewindungen notwendig, bei 550 Volt deren 8100. Der rückkehrende Ast der Kurve liegt infolge von Hysteresis höher (Fig. 105).