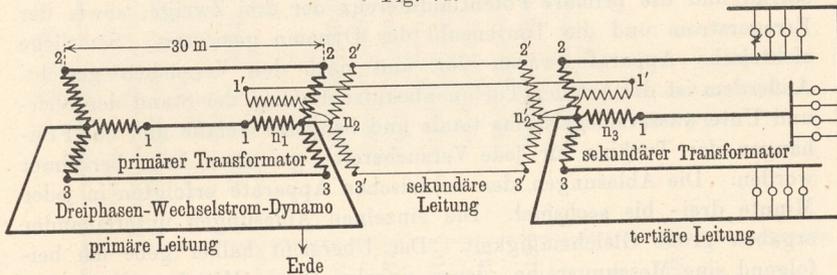


und zwar in Abhängigkeit von der Bremsleistung und der gesamten elektrischen Leistung. Die Größe des Bremseffektes variierte bei den Untersuchungen zwischen 78 und 197 PS, dementsprechend sind die Werte in der Tabelle für die Bremsleistung bzw. elektrische Gesamtleistung bis auf 200 bzw. 190 PS eingetragen, trotzdem die gemessenen Werte für die Dynamogrößen etwa 40 PS tiefer liegen. In Ermangelung genauerer Daten ist diese Ausnahme eingeführt worden. Die normale Leistung der Dynamo (300 PS) soll bei einer Tourenzahl 150 und einer Spannung von 55 Volt eintreten. Würde die oben abgeleitete Relation zwischen dem totalen Verluste und der gesamten elektrischen Leistung der Dynamo auch bei 300 PS Gültigkeit behalten, so wäre der normale Wirkungsgrad der Dynamo  $\eta_D = 0,954$ .

### C. Wirkungsgrad der Transformatoren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und der Oerlikon-Aktien-Gesellschaft.

Zur Bestimmung des Wirkungsgrades der zwei Transformatoren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft von je 100 Kilowatt Leistung, welche dazu dienten, die von der Dynamo in dieselben eingeführte Niederspannungsenergie als Hochspannungsenergie fortzuführen, wurde

Fig. 71.



folgende Schaltungsweise angewandt. Die drei Polklemmen der Dynamo wurden durch ein Kupferkabel von etwa 30 m Länge und  $400 \text{ mm}^2$  Querschnitt mit den drei primären Klemmen eines Transformators und die sekundären Klemmen desselben mit den drei sekundären Klemmen des anderen Transformators auf kürzestem Wege verbunden. Die drei primären Klemmen des letzteren wurden mit einem Pole mittels dreier Zweige einer tertiären Leitung mit der Glühlampenbatterie verbunden, welche bereits bei den Untersuchungen an der Dynamo als Belastungswiderstand angewandt worden war; das andere Ende der Glühlampenbatterie war durch die neutrale Leitung mit dem neutralen Knotenpunkt des zweiten Transformators verbunden. Der neutrale Knotenpunkt des ersten Transformators war mit dem neutralen Knotenpunkt der Dynamo in Kontakt. Das Schema der Schaltung ist aus beifolgender Fig. 71 zu ersehen.

Es bezeichnen: 1, 2, 3 die drei Polklemmen der Dynamo bzw. die drei primären Klemmen des ersten bzw. die primären Klemmen des zweiten Transformators, 1', 2', 3' die sekundären Klemmen des ersten bzw. des zweiten Transformators.

Der Effekt in den Zuleitungskabeln von der Dynamo bis zum ersten Transformator bestimmte sich mittels Einschaltung je eines Wattmeters mit der Hauptleitung in je ein Zuleitungskabel bzw. mit der Nebenleitung an die Enden der zugehörigen Kabel und je eines Präzisionsampèremeters in die Zuleitungskabel zu

2,36 PS, 1,57 PS, 0,77 PS und 0,32 PS,

bei den mittleren Stromstärken in den primären Zuleitungskabeln von 662 Amp. 540 Amp. 377 Amp. und 244 Amp.

Zur Bestimmung des Wirkungsgrades der Transformatoren wurden die oben benutzten Wattmeter in die drei tertiären Leitungen mit festen Windungen direkt und mit der Wattmeternebenleitung — welche bei allen Messungen einen Gesamtwiderstand von 1000 Ohm besaß — an den Anfang des betreffenden Zweiges mit einem Ende und an den Anfang der neutralen Leitungen eingeschaltet. Die Voltmeter zur Feststellung der tertiären Spannung lagen an denselben Punkten wie die Wattmeternebenleitungen. Gleichzeitig wurde die primäre Stromstärke und die primäre Potentialdifferenz der drei Zweige, sowie der Erregerstrom und die Tourenzahl der Dynamo gemessen. Sämtliche elektrische Apparate waren vor und nach den Versuchen geeicht. Außerdem ist die Art der Turbinenbeaufschlagung, der Stand des Ober- und Unterwasserspiegels, das totale und benutzte Gefälle und das Freihängen der Turbine für jede Versuchsreihe gemessen bzw. berechnet worden. Die Ablesungen der elektrischen Apparate erfolgten in jeder Minute drei- bis sechsmal. Die einzelnen Ablesungen untereinander ergaben große Gleichmäßigkeit. Der Übersicht halber gebe ich beifolgend eine Messungsreihe, deren einzelne Werte Mittelwerte aus den für jede Minute erfolgten Ablesungen bedeuten (s. Tabelle I, S. 127). Auf diese Weise sind 16 Messungsreihen aufgestellt worden. Die durch dieselben enthaltenen Resultate finden sich in Tabelle II (S. 128). In derselben bezeichne:  $E'_1$  den auf den ersten Transformator von der Dynamo übertragenen Effekt — Unterschied zwischen dem von der Dynamo geleisteten und dem Energieverlust in den primären Zuleitungskabeln —,  $i_{1(m)}$  und  $e_{2(m)}$  die Mittelwerte der Stromstärke und Spannung in den drei primären Zweigen,  $e_3$  die an einem Zweige gemessene tertiäre Spannung,  $\Sigma(E_V)$  die Summe der Effektverluste in den zwei hintereinandergeschalteten Transformatoren und  $\eta'_T$  und  $\eta''_T$  die Wirkungsgrade der zwei Transformatoren. Eine Bremsung der Turbine bei der Beaufschlagung: Innenkranz zu  $\frac{2}{6}$  geöffnet, konnte nicht erfolgen; es konnten somit die Werte für den Bremseffekt und den Wirkungsgrad der Dynamo in die IV. Versuchsgruppe nicht eingetragen werden. Die

Tabelle I.

Zeitdauer	Vom zweiten A. E.-G.- Transformator ausgehener Effekt im Zweige			Tertiäre Spannung in d. 3 Gruppen			Primäre Stromstärke im Zweige			Primäre Potentialdifferenz im Zweige			Erregerstrom	Tourenzahl	Turbinenbeaufschlagung	Stand des Oberwassers	Stand des Unterwassers	Totale Gefälle	Benutztes Gefälle	Freihängen der Turbine				
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III									Amp.	Volt	Amp.	Volt
10	Widerstand der Nebenleitung 1000 Ohm																							
	117,83	117,85	121,07	120,92	126,02	126,01	56,0	666	660	662	58,1	58,3	58,6	18,7	149,8	3/8 des Innenkranzes; Außenkranz geschlossen;	0,500	0,499	Totales Gefälle	Benutztes Gefälle	m			
	117,94	117,87	120,88	120,97	126,18	126,22	56,0	666	660	661	57,9	58,2	58,2	18,4	150,0		0,499	0,502			m			
							56,1	666	661	660	57,9	58,1	58,4	18,9	150,2		0,494	0,508			m			
		117,85	117,81	120,97	121,02	126,11	126,10	55,9	668	662	660	58,1	58,1	58,4	18,7	150,2		0,494	0,512			m		
		117,99	117,94	120,96	120,99	126,22	126,21	55,8	667	657	660	58,2	58,1	58,3	18,7	150,2		0,495	0,510			m		
	117,79	117,89	120,78	120,90	126,03	126,15	56,0	665	659	660	58,0	58,4	58,5	18,7	150,5		0,496	0,506			m			
	117,79	117,89	120,78	120,90	126,03	126,15	55,8	666	661	660	58,0	58,3	58,4	18,8	150,5		0,496	0,506			m			
	Mittel 117,88		120,94		126,12		55,9	666	660	660	58,0	58,2	58,4	18,7	150,1		0,496	0,506	Totales Gefälle:		m			
<p>Unter Berücksichtigung der Eichungskonstante betragen die Energien:</p> <p>31 108 Watt   31 227 Watt   30 950 Watt</p> <p>in Summa: 93 285 Watt = 126,75 PS</p>																								
<p>Bremseffekt:</p> <p><math>151,1 \left( \frac{3,811}{3,800} \right)^{1,5} = 151,7 \text{ PS.}</math></p>																								

Tabelle II.

Versuchsgruppe	Turbinenbeaufschlagung. Innenkranz	Tourenzahl der Dynamo	PS Bremsseffekt $N_1$	Wirkungsgrad der Dynamo $\eta_D$	PS Gesamter elektrischer Effekt der Dynamo $E_1$	Verlust in den Zuleitungs- kabeln	PS Dynamoleistung — Verlust in den Zuleitungs- kabeln $E_1$	Mittelwert der Stromstärke in den 3 primären Zweigen $i_1(m)$	PS Amp.	Mittelwert der Spannung in den 3 primären Zweigen $e_1(m)$	Terriäre Spannung eines Zweiges $e_3$	Terriärer abgebener Effekt $E_3$	PS	Summe der Effektverluste $\Sigma(E^v)$	$\eta' \cdot \eta'' = \frac{E_1}{E_3}$	$\eta_T = \sqrt{\eta' \cdot \eta''}$
I	$\frac{5}{6}$	149,5	151,6	0,917	139,02	2,36	136,66	660	58,0	55,6	125,76	10,90	0,9202	0,959		
	$\frac{5}{6}$	149,5	151,8	0,917	139,20	2,36	136,84	662	58,0	55,7	125,80	11,04	0,9193	0,959		
	$\frac{5}{6}$	150,0	151,7	0,917	139,11	2,36	136,75	662	58,1	55,8	126,42	10,33	0,9245	0,962		
	$\frac{5}{6}$	150,1	151,7	0,917	139,11	2,36	136,75	662	58,2	55,9	126,75	10,00	0,9269	0,963		
II	$\frac{4}{6}$	150,2	117,7	0,894	105,22	1,57	103,65	540	55,2	53,2	96,13	7,52	0,9274	0,963		
	$\frac{4}{6}$	149,7	117,7	0,894	105,22	1,57	103,65	540	55,2	53,0	96,16	7,49	0,9277	0,963		
	$\frac{4}{6}$	150,1	119,2	0,895	106,68	1,57	103,11	538	54,8	52,7	96,01	9,10	0,9134	0,956		
	$\frac{4}{6}$	149,8	119,1	0,895	106,59	1,57	105,02	540	54,8	52,8	95,87	9,15	0,9129	0,955		
III	$\frac{3}{6}$	150,0	86,6	0,856	74,13	0,77	73,36	377	53,5	52,7	66,79	6,57	0,9104	0,954		
	$\frac{3}{6}$	150,1	86,6	0,856	74,13	0,77	73,36	377	53,5	52,7	66,95	6,41	0,9126	0,955		
	$\frac{3}{6}$	150,1	86,6	0,856	74,13	0,77	73,36	377	53,6	52,8	66,94	6,42	0,9125	0,955		
	$\frac{3}{6}$	149,9	86,6	0,856	74,13	0,77	73,36	377	53,6	52,8	66,99	6,37	0,9132	0,956		
IV	$\frac{2}{6}$	149,9	—	—	(49,04)	0,32	48,72	244	55,1	54,7	43,59	5,13	0,8947	0,946		
	$\frac{2}{6}$	149,6	—	—	(48,98)	0,32	48,66	244	54,9	54,6	43,60	5,06	0,8960	0,947		
	$\frac{2}{6}$	150,0	—	—	(49,02)	0,32	48,70	243	55,0	54,7	43,66	5,04	0,8965	0,947		
	$\frac{2}{6}$	150,0	—	—	(49,00)	0,32	48,68	244	55,2	54,7	43,65	5,03	0,8967	0,947		

Bestimmung der Werte für die gesamte von der Dynamo geleistete elektrische Arbeit bei der oben erwähnten Beaufschlagung ist bei Untersuchung des Wirkungsgrades der Dynamo erfolgt. Die beobachteten Werte waren:

Turbinen- beaufschlagung	Tourenzahl	Benutztes Gefälle $z_b$ m	Freihängen der Turbine m	Von der Dynamo ge- leisteter Effekt $E_1$ PS
Innenkranz . . $\frac{2}{6}$	150,0	3,882	0,191	49,34
" . . $\frac{2}{6}$	149,7	3,883	0,194	49,46
Mittel . . . . .		3,8825		49,40

Unter der Versuchsgruppe IV bei Bestimmung des Wirkungsgrades der Transformatoren waren folgende Werte gefunden:

Turbinen- beaufschlagung	Tourenzahl	Benutztes Gefälle $z_b$ PS	Freihängen der Turbine m	Von der Dynamo ge- leisteter Effekt $E_1$ PS
Innenkranz . . $\frac{2}{6}$	149,9	3,863	0,228	(49,04)
" . . $\frac{2}{6}$	149,6	3,860	0,243	(48,98)
" . . $\frac{2}{6}$	150,0	3,862	0,243	(49,02)
" . . $\frac{2}{6}$	150,0	3,861	0,241	(49,00)

Für gleiche Tourenzahl und Beaufschlagung der Turbine besteht die Beziehung:

$$\frac{N'_1}{N''_1} = \left(\frac{z'_b}{3,80}\right)^{1,5} : \left(\frac{z''_b}{3,80}\right)^{1,5}$$

Ferner gilt für die Werte von  $z'_b$  und  $z''_b$ , welche so geringe Unterschiede der Werte von  $E'_1$  und  $E''_1$  ergeben, daß der Wirkungsgrad der Dynamo für beide denselben Wert beibehält, auch die Beziehung:

$$\frac{E'_1}{E''_1} = \left(\frac{z'_b}{3,80}\right)^{1,5} : \left(\frac{z''_b}{3,80}\right)^{1,5}$$

Aus dieser Beziehung sind die eingeklammerten Werte obiger Tabelle aus den Resultaten für  $z_b = 3,882$  und  $E_1 = 49,40$  PS bei der Dynamountersuchung gewonnen worden.

Innerhalb eines Intervalles der Belastung, in welchem der Wirkungsgrad auf einem längeren Bereiche der Belastung konstant bleibt, konnte der Wirkungsgrad des ersten Transformators, welcher den Effekt  $E'_1$  aufnimmt und den Effekt  $E_2$  abgibt, ohne merklichen Fehler gleich dem Wirkungsgrade des zweiten Transformators gesetzt werden; dieser letztere empfängt den Effekt  $E_2$  und leistet den Effekt  $E_3$  an die äußere

tertiäre Leitung. Die Änderung des Wirkungsgrades über halbe Voll-  
last hinaus ist sehr gering. Aus den Relationen

$$\eta'_T = \frac{E_2}{E'_1} \quad \text{und} \quad \eta''_T = \frac{E_3}{E_2} \quad \text{erhält man} \quad \eta'_T \cdot \eta''_T = \frac{E_3}{E'_1}.$$

Für den soeben erwähnten Fall, woselbst, wie aus den erhaltenen  
Resultaten erhellt,  $\eta'_T = \eta''_T = \eta_T$  gesetzt werden darf, ist also

$$\eta_T = \sqrt{\frac{E_3}{E'_1}}.$$

Die Mittelwerte der einzelnen Resultate sind in der folgenden  
Tabelle III zusammengestellt:

Tabelle III.

Aufgenommener Effekt $E'_1$ PS	Abgegebener Effekt $E_3$ PS	Wirkungsgrad $\eta_T$	Effektverlust im zweiten Trans- formator $V''_T$
136,75	126,18	0,961	5,12
104,36	96,04	0,959	4,11
73,36	66,92	0,955	3,15
48,69	43,62	0,947	2,49

Für die Leistungen  $\frac{1}{2}(E_3 + E'_1)$ , d. h. für die Werte 46,1; 70,1;  
100,2 und 131,4 PS erhält man für  $\eta_T = 0,961; 0,959; 0,955$  und  $0,947$   
und für  $E_3 = 126,2; 96,0; 66,9$  und  $43,6$  erhält man für  $\eta_T = 0,961;$   
 $0,959; 0,955$  und  $0,946$ . Mit diesen letzteren Werten von  $\eta_T$  sind  
die Verluste  $V''_T$  des zweiten Transformators mittels der Beziehung  
 $V''_T = (E_3 : \eta_T) - E_3$  erhalten worden. Zur Ermittlung des Wirkungs-  
grades des Oerlikon-Transformators unter Benutzung der Resultate der  
A. E.-G.-Transformatoren ist es notwendig, für den zweiten A. E.-G.-  
Transformator die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der gelieferten  
Leistung  $E_3$  zu kennen. Der Gesamtverlust  $V_T$  setzt sich aus dem  
Kupferverlust  $V_{T(K)}$  — primären und sekundären Windungen — und  
aus dem Hysteresis- und Foucault-Verlust  $V_{T(H+F)}$  zusammen. Wie  
früher schon von mir <sup>1)</sup> dargetan, ist der zweite Teil des Verlustes bei  
konstanter primärer Spannung und Periodenzahl unabhängig von der  
Leistung des Transformators; hingegen steht der erste Teil des Ver-  
lustes nicht in so einfacher Beziehung zur Leistung  $E_3$ .

Nach der Fig. 71 bezeichnen  $n_1$  die Zahl der primären Windungen,  
 $n_2$  und  $n'_2$  die Zahlen der zu der sekundären Leitungsbahn vereinigten  
Windungen und  $n_3$  die Zahl der tertiären Windungen. Bei induktions-  
freien Leitungen bestehen zwischen der effektiven primären Stromstärke  $i_1$   
und sekundären  $i_2$  zu der tertiären Stromstärke  $i_3$  folgende Relationen:

<sup>1)</sup> Lehmann-Richter, „Prüfungen in elektr. Zentralen usw.“, S. 156,  
157 u. 160.

$$i_1^2 = i_{1,l}^2 + \left( \frac{n_3}{n_2} \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot i_3 \right)^2 + 2 \frac{n_3}{n_2} \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot i_3 \cdot i_{1,l} \cdot \sin(2\pi n x),$$

$$i_2^2 = i_{2,l}^2 + \left( \frac{n_3}{n_2} \cdot i_3 \right)^2 + 2 \frac{n_3}{n_2} \cdot i_3 \cdot i_{2,l} \cdot \sin(2\pi n x).$$

Es seien:  $R_1, R_2, R_3$  die Widerstände und  $L_1, L_2, L_3$  die Selbstinduktionskoeffizienten der primären, sekundären und tertiären Leitung,  $r_1, r_2, r_2'$  und  $r_3'$  die Widerstände der primären Wickelungen des ersten Transformators, der sekundären Wickelungen des ersten bzw. des zweiten Transformators und die primären Wickelungen des zweiten Transformators,  $i_{1,l}$  und  $i_{2,l}$  die in den primären und sekundären Wickelungen auftretenden Leerlaufstromstärken und  $2\pi n x$  der Winkel der magnetischen Verzögerung. Ferner gelten die Annahmen, daß der Wert

$\frac{R_1}{2\pi n L_1}$  als verschwindend klein im Verhältnisse zu 1 ist und der Wert  $\frac{2\pi n L_3}{R_3}$  gegenüber dem Werte  $\frac{2\pi n L_2}{R_2}$  vernachlässigt werden kann.

Für den Kupferverlust der zwei Transformatoren bestehen die Werte  $(r_1 \cdot i_1^2 + r_2 i_2^2)$  und  $(r_2' i_2^2 + r_3' \cdot i_3^2)$  und da außerdem  $i_3 \cdot e_3 = E_3$  ist und für die großen Belastungen der Transformatoren die Gleichung

$i_2 = \frac{n_3}{n_2} \cdot i_3$ , ohne großen Fehler zu begehen, gesetzt werden darf, so

läßt sich  $V_{T(K)}$  durch

$$V_{T(K)} = \left( r_2' \cdot \frac{n_3^2}{(n_2')^2} + r_3' \right) i_3^2 = \frac{1}{e_3^2} \left( r_2' \cdot \frac{n_3^2}{(n_2')^2} + r_3' \right) \cdot E_3^2 = a \cdot E_3^2$$

ausdrücken.

Zwischen den Werten  $V_{T(H+F)}$ ,  $V_{T(K)}$  und  $V_T$  besteht die Gleichung:  $V_T = V_{T(H+F)} + V_{T(K)}$  oder  $V_T = V_{T(H+F)} + a \cdot E_3^2$ .

Aus den früher gefundenen Werten für  $V_T$  und  $E_3$  bei dem zweiten Transformator, nämlich

$$\begin{aligned} V_T &= 5,12, & 4,11, & 3,15, & 2,49 \text{ PS,} \\ E_3 &= 126,20, & 96,00, & 66,90, & 43,60 \text{ PS,} \end{aligned}$$

bestimmen sich nach der Methode der kleinsten Quadrate die Werte  $V_{T(H+F)}$  und  $a$  zu 2,26 und 0,000 185.

Die Differenz der gemessenen und berechneten Werte für  $V_T$  bei den betreffenden Belastungen  $E_3$  war so klein, daß die Formel

$$V_T = V_{T(H+F)} + a \cdot E_3^2$$

für die betreffenden Belastungsgrenzen durchaus anwendbar war.

Zum späteren Gebrauche seien die Werte für  $E_3$  von 40 bis 150 PS, des Verlustes  $V_T$  und der Wirkungsgrade  $\eta_T$  in einer Tabelle gegeben (s. S. 132 oben).

Ich gehe jetzt zu den Versuchen an dem Oerlikon-Transformator über. An Stelle des ersten Transformators der A. E.-G. im Schaltungs-

Leistung PS	Verlust PS	Wirkungs- grad	Bemerkungen	
40	2,56	0,940	Bei normaler Belastung 100 Kilowatt $\sim$ 140 PS ist der Wirkungsgrad des A. E.-G.-Transformators also 96,0 Proz. Bei dem maximalen Wirkungsgrade von 96,1 Proz. sind die Eisen- und Kupferverluste gleich groß.	
50	2,72	0,948		
60	2,92	0,954		
70	3,16	0,957		
80	3,44	0,959		
90	3,76	0,960		
100	4,11	0,960		
110	4,50	0,961		Von $\frac{1}{2}$ -Normalbelastung bis zu 120 PS steigt der Wirkungsgrad nur von 95,7 bis 96,1 Proz., von da ab fällt derselbe auf 96,0 Proz. bei der normalen Belastung.
120	4,92	0,961		
130	5,39	0,960		
140	5,89	0,960		
150	6,43	0,959		

schema Fig. 71 tritt der Oerlikon-Transformator. Die Entfernung der Verbindung zwischen der Dynamo und den primären Klemmen des Transformators wurde so klein gehalten (etwa 2 m), daß der Energieverlust in diesem starken Zuleitungskabel vernachlässigt werden konnte. Es wurden je drei Beobachtungsreihen mit einer Turbinenbeaufschlagung von  $\frac{5}{6}$  und  $\frac{4}{6}$  des Innenkranzes mit geschlossenem Außenkranz und je zwei mit einer Beaufschlagung von  $\frac{3}{6}$  und  $\frac{2}{6}$  des Innenkranzes und geschlossenem Außenkranz ausgeführt. Analog den vorhergehenden Untersuchungen seien ein Versuchsprotokoll (Tabelle IV, S. 133) und die Übersicht der Gesamtergebnisse tabellarisch (Tabelle V, S. 134) gegeben. In der Tabelle bezeichnet  $\eta_{T(a)} = \frac{E_3}{E_2}$  den Wirkungsgrad des zweiten A. E.-G.-Transformators,  $\eta_{T(o)} = \frac{E_2}{E_1}$  den Wirkungsgrad des Oerlikon-Transformators,  $E_2$  den ausgegebenen Effekt des letzteren. Da  $\eta_{T(a)} = \frac{E_3}{E_2}$  und  $\eta_{T(o)} = \frac{E_2}{E_1}$  ist, so besteht die Relation:

$$\eta_{T(o)} \cdot \eta_{T(a)} = \frac{E_3}{E_1};$$

ferner ist, wie oben gezeigt, der Wert

$$\eta_{T(a)} = E_3 : (E_3 + 2,26 + 0,000185 E_3^2)$$

ableitbar.

Zur Bestimmung des Gesamtverlustes im Oerlikon-Transformator aus den Verlusten beider Transformatoren  $\Sigma(V)$  ist der Wert  $2,26 + 0,000185 E_3^2$  (s. Spalte 12 der Tabelle, S. 134) von  $\Sigma(V)$  in Abzug zu bringen. Die Mittelwerte des Gesamtverlustes  $E_1 - E_2$  und die anderen Werte findet man in folgender Zusammenstellung (S. 135):

Tabelle IV.

Zeitdauer	Vom zweiten A. E.-G.-Transformator abgegebener Effekt im Zweige			Tertiäre Spannung im Zweige			Primäre Stromstärke im Zweige			Primäre Potentialdifferenz im Zweige			Erregerstrom	Tourenzahl	Turbinen-beaufschlagung	Stand des Oberwassers	Stand des Unterwassers	Totales Gefälle %	Benutztes Gefälle %	Freihängen der Turbine						
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III									Amp.	Volt	Amp.	m	m	m
	= 1000 Ohm																									
10	119,18	119,51	122,65	123,93	126,31	127,86	54,6	660	643	649	56,4	57,6	57,6	15,6	152,0	0,499	0,524									
	119,30	119,51	123,50	124,13	127,21	127,57	54,5	661	648	652	56,9	57,8	57,8	15,3	150,2	0,470	0,537									
	119,51	119,30	123,00	123,95	127,90	127,60	54,5	660	650	654	57,0	57,7	57,6	15,8	149,5	0,461	0,547									
	119,66	119,68	124,08	123,81	128,34	127,73	54,4	661	648	654	56,8	57,7	57,6	15,9	149,5	0,470	0,553									
	119,96	119,65	123,93	123,80	128,36	127,65	54,5	660	651	652	57,0	57,8	57,7	15,7	150,0	0,470	0,553									
Mittel	119,53		123,68			127,65	54,5	660	649	652	56,8	57,7	57,6	15,7	150,2	0,474	0,543	3,960	3,832	0,128						
<p>Unter Berücksichtigung der Eichungskonstanten tragen die Energien:</p> <p><math>E_{3,1}</math>   <math>E_{3,2}</math>   <math>E_{3,3}</math></p> <p>= 31520 Watt = 31885 Watt = 31338 Watt</p> <p>in Summa: <math>E_3 = 94743</math> Watt = 128,73 PS</p>																										
																		<p>Totales Gefälle:</p> <p>4,977 — (Oberw. + Unterw.)</p>			<p>Benutztes Gefälle:</p> <p>4,306 — Oberwasser</p>			<p>Bremsseffekt:</p> <p><math>151,1 \left( \frac{3,832}{3,800} \right)^{1,5} = 153,0</math> PS.</p>		



$i_1$	$E_1$	$E_2$	$E_1 - E_2$	$\eta_{T(o)}$
Amp.	PS	PS	PS	
654	140,42	134,16	6,26	0,956
480	105,78	99,67	6,11	0,942
341	73,61	68,32	5,29	0,928
234	48,79	44,40	4,39	0,910

Die Scheidung des Eisenverlustes von dem veränderlichen Kupferverluste drückt sich aus durch die Formel

$$V_T = E_1 - E_2 = V_{T(H+F)} + (r_1 \cdot i_1^2 + r_2 \cdot i_2^2).$$

Erinnern wir uns der früher gegebenen Beziehungen für große Belastungen der Transformatoren, so bestehen folgende Relationen:

$$i_1 = \frac{n_3}{n_2} \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot i_3, \quad i_2 = \frac{n_3}{n_2} \cdot i_3$$

und somit

$$i_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot i_1.$$

Es ist somit für  $V_T$  die Form

$$V_T = V_{T(H+F)} + b \cdot i_1^2$$

gestattet.

Aus den soeben gegebenen Werten für  $V_T$  und  $i_1$  ermitteln sich nach der Methode der kleinsten Quadrate die Werte

$$V_{T(H+F)} = 4,56 \quad \text{und} \quad b = 0,000\,004\,58.$$

Der Unterschied der beobachteten und der nach obiger Formel berechneten Werte für  $V_T$  ist so gering, daß die Anwendung der letzteren, ohne große Fehler zu begehen, gestattet ist; derselbe beträgt im Mittel 0,34 PS, allerdings sind in diesem Mittelwerte alle Fehler in der Bestimmung der Verluste der letzteren Transformatoren, bei welchen auch

Tabelle VI.

Leistung PS	Wirkungs- grad	Leistung PS	Wirkungs- grad	Bemerkungen
50	0,913	140	0,954	Bei der normalen Leistung von 207 PS entsprechend 152 Kilowatt betrug der Wirkungsgrad somit 95,7 Prozent.
60	0,923	150	0,955	
70	0,932	160	0,956	
80	0,938	170	0,957	
90	0,943	180	0,957	
100	0,946	190	0,957	
110	0,949	200	0,957	
120	0,951	210	0,957	
130	0,953	220	0,957	

Tabelle I. Versuche über den Leerlauf der Lauffener Trans-

formatoren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

Versuchsnummer	Zeit (Versuchsdauer) Min.	Mittlere Tourenzahl der Dynamomaschine (gezählt)	Turbinen- beauf- schlagung		Scheinbarer						Effekt			Summe der Effekte Watt	Erreger- stromkreis			Spannung am Schaltbrett			Mittlere Spannung am Schaltbrett	Bemerkungen	
					Stromkreis I			Stromkreis II			Stromkreis III				Volt	Amp.	Watt	Volt					
					Wattmeter I			Wattmeter II			Wattmeter III							Stromkreis I	Stromkreis II	Stromkreis III			
					Mittlere Ablesung	Widerstand im Nebenschluß	Watt	Mittlere Ablesung	Widerstand im Nebenschluß	Watt	Mittlere Ablesung	Widerstand im Nebenschluß	Watt										
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
2	7	87,8	19/12 reguliert durch die Schützen		8,35	500	1180	9,04	500	1220	8,52	500	1160	3560	40,7	22,2	904	37,3	37,2	37,3	37,3	1. Der Stromkreis der Nebenspule der Wattmeter war an d. Schaltbrett angeschlossen; das Cardew-Voltmeter desgl.	
3	7	88,4			8,22	500	1170	9,12	500	1230	8,51	500	1160	3560	41,1	22,2	912	37,6	37,6	37,6	37,6		37,6
4	7	90,2			5,75	500	820	6,41	500	860	5,78	500	790	2470	14,4	7,8	112	29,1	29,1	29,1	29,1		29,1
5	7	90,1			5,61	500	800	6,43	500	870	5,99	500	820	2490	14,4	7,8	112	29,0	29,0	29,1	29,0		29,0
6	6	109,8			5,25	500	750	5,95	500	800	5,52	500	750	2300	9,4	5,1	48	29,1	29,2	29,1	29,1		29,1
7	7	110,3			7,66	500	1090	8,51	500	1150	7,88	500	1070	3310	16,2	9,2	149	37,9	37,9	38,0	37,9		37,9
8	7	152,2			6,98	500	990	7,48	500	1010	7,19	500	980	2980	8,2	4,7	39	38,6	38,4	38,5	38,5		38,5
9	8	150,7			4,54	500	650	5,19	500	700	4,98	500	680	2030	6,0	3,5	21	29,1	29,1	29,3	29,2		29,2
10	7	94,7			9,54	500	1360	10,78	500	1460	10,06	500	1370	4190	69,0	37,5	2590	42,6	42,7	42,7	42,7		42,7
11	6	93,5			9,48	500	1350	10,79	500	1460	10,02	500	1360	4170	69,6	37,0	2575	42,4	42,0	42,1	42,2		42,2
12	6	108,6			11,32	500	1610	12,66	500	1710	11,81	500	1610	4930	63,4	32,9	2080	48,9	48,9	48,8	48,9		48,9
13	6	108,4			11,17	500	1590	12,69	500	1720	11,70	500	1590	4900	63,7	32,7	2080	48,5	48,5	48,6	48,5		48,5
14	7	114,8	9,38	500	1330	10,46	500	1410	9,68	500	1320	4060	20,2	11,3	228	43,9	43,9	44,0	43,9	43,9			
15	6	115,2	9,35	500	1330	10,49	500	1420	9,63	500	1310	4060	20,6	11,5	237	44,0	44,1	44,0	44,0	44,0			
16	5	149,8	8,68	500	1230	9,64	500	1300	8,93	500	1220	3750	11,0	6,3	69	44,4	44,4	44,5	44,4	44,4			
17	7	148,8	8,56	500	1220	9,57	500	1290	8,91	500	1210	3720	11,1	6,6	73	44,1	44,0	44,0	44,0	44,0			
18	6	153,8	10,25	500	1460	11,25	500	1520	10,50	500	1430	4410	13,0	7,5	98	49,6	49,4	49,7	49,6	49,6			
19	6	161,0	10,63	500	1510	11,85	500	1600	11,03	500	1500	4610	13,2	7,7	102	51,7	51,8	52,0	51,8	51,8			
20	6	119,3	10,75	500	1530	11,67	500	1580	11,00	500	1500	4610	27,8	15,4	428	47,9	47,8	48,1	47,9	47,9			
21	5	119,7	10,55	500	1500	11,92	500	1610	10,97	500	1490	4600	27,2	15,0	408	47,9	48,0	48,0	48,0	48,0			
22	7	104,1	11,16	500	1590	12,53	500	1690	11,19	500	1520	4800	26,8	15,0	3070	47,5	47,4	47,4	47,4	47,4			
23	6	104,2	10,99	500	1560	12,47	500	1680	11,27	500	1530	4770	26,8	15,0	3030	47,4	47,3	47,4	47,4	47,4			
24	6	117,0	8,49	750	1810	9,54	750	1930	8,60	750	1750	5490	80,0	39,1	3130	53,2	53,2	53,3	53,2	53,2			
25	5	117,0	8,48	750	1810	9,54	750	1930	8,60	750	1750	5490	79,8	38,8	3100	53,3	53,2	53,1	53,2	53,2			
26	6	138,5	7,76	750	1650	8,72	750	1770	8,04	750	1640	5060	22,2	11,0	244	53,0	52,7	52,8	52,8	52,8			
27	6	137,6	7,71	750	1640	8,55	750	1730	7,99	750	1630	5000	21,6	10,9	235	52,2	52,2	52,3	52,2	52,2			
28	4	162,4	7,40	750	1580	8,40	750	1700	7,87	750	1600	4880	15,4	8,0	123	53,3	53,1	53,3	53,2	53,2			
29	3	160,5	7,56	750	1610	8,48	750	1720	7,90	750	1610	4940	15,8	8,0	126	53,4	53,4	53,4	53,4	53,4			

1. Der Stromkreis der Nebenspule der Wattmeter war an d. Schaltbrett angeschlossen; das Cardew-Voltmeter desgl.

2. Stromverhältnisse waren sehr konstant.

3. Die Nebenspulen der Wattmeter waren mit den primären Klemmen der Transformatoren in Verbindung. Das Cardew-Voltmeter war wie bisher an das Schaltbrett angeschlossen.

Tabelle II. Versuche über den Leerlauf des Lauffener

Versuchsnummer	Zeit (Versuchsdauer) Min.	Mittlere Tourenzahl der Dynamomaschine (gezählt)	Turbinenbeaufschlagung		Scheinbarer					
					Stromkreis I			Stromkreis II		
			Innenkranz	Außenkranz	Wattmeter I			Wattmeter II		
					Mittlere Ablesung	Widerstand im Nebenschluß	Watt	Mittlere Ablesung	Widerstand im Nebenschluß	Watt
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	6	150,6	ganz offen, reguliert durch die Schützen	}	4,09	750	870	4,65	750	940
3	5	148,6			4,07	750	870	4,60	750	930
4	6	118,8			4,78	750	1020	5,37	750	1090
5	4	119,0			4,80	750	1020	5,26	750	1070
6	6	118,9			4,64	750	990	5,22	750	1060
7	5	148,6			6,60	750	1410	7,38	750	1490
8	5	148,8			6,53	750	1390	7,44	750	1510
9	6	170,5			6,41	750	1370	7,32	750	1480
10	5	170,5			6,30	750	1340	7,36	750	1490

Tabelle III. Scheinbarer Leerlaufeffekt (Kilowatt) zweier in Reihe geschalteter Transformatoren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft bei variabler Spannung und Periodenzahl. (Aus den Wattmeterangaben,

Spannung in Volt	Touren und Periodenzahl pro Minute							
	90	100	110	120	130	140	150	160
	1440	1600	1760	1920	2080	2240	2400	2560
16000	2,54	2,39	2,27	2,18	2,10	2,04	2,00	
16500	2,65	2,50	2,37	2,28	2,20	2,14	2,09	
17000	2,75	2,60	2,47	2,38	2,30	2,23	2,18	
17500	2,86	2,70	2,57	2,48	2,39	2,32	2,27	
18000	2,96	2,81	2,68	2,58	2,49	2,42	2,37	
18500	3,06	2,91	2,78	2,68	2,59	2,52	2,46	
19000	3,16	3,02	2,89	2,78	2,69	2,62	2,55	
19500	3,27	3,12	2,99	2,88	2,79	2,71	2,65	
20000	3,37	3,23	3,09	2,99	2,89	2,81	2,75	
20500	3,47	3,33	3,20	3,07	2,98	2,90	2,84	
21000	3,57	3,43	3,30	3,18	3,07	2,99	2,92	
21500	3,69	3,53	3,41	3,30	3,19	3,10	3,03	
22000	(3,85)	3,65	3,52	3,40	3,30	3,22	3,15	
22500		3,76	3,63	3,51	3,42	3,33	3,27	

Transformators der Maschinenfabrik „Oerlikon“.

Effekt	Stromkreis III	Wattmeter III	Mittlere Ablesung	Widerstand im Nebenschluß	Watt	Summe der Effekte Watt	Erregerstromkreis			Spannung am Schaltbrett			Mittlere Spannung am Schaltbrett	Bemerkungen
							Volt	Amp.	Watt	Volt				
										Stromkreis I	Stromkreis II	Stromkreis III		
							12	13	14	15	16	17		
4,45	750	910	2720	15,9	8,8	140	52,6	52,5	52,7	52,6	Schaltung der Wattmeter und des Cardew-Voltmeters wie in den Versuchsreihen Tabelle I.			
4,30	750	880	2680	16,0	8,8	140	51,9	51,9	51,9	51,9				
4,95	750	1010	3120	53,8	28,7	1540	52,5	52,5	52,6	52,5				
4,95	750	1010	3100	53,8	28,5	1530	52,5	52,5	52,5	52,5				
4,90	750	1000	3050	50,9	24,7	1260	52,1	52,2	52,2	52,2				
6,85	750	1400	4300	76,0	38,8	2950	68,1	68,1	68,0	68,1				
6,85	750	1400	4300	75,9	38,1	2890	67,8	67,9	67,9	67,9				
6,85	750	1400	4250	33,0	17,1	560	71,1	71,1	71,2	71,1				
6,85	750	1400	4230	32,4	17,0	560	70,5	70,4	70,5	70,5				

Tabelle I, interpoliert.)

Spannung in Volt	Touren und Periodenzahl pro Minute							
	90	100	110	120	130	140	150	160
	1440	1600	1760	1920	2080	2240	2400	2560
23000		3,89	3,74	3,62	3,53	3,45	3,39	
23500		4,02	3,85	3,72	3,63	3,56	3,51	
24000		4,16	3,95	3,83	3,74	3,67	3,63	
24500	(4,65)	4,30	4,10	3,95	3,85	3,78	3,74	
25000		4,47	4,24	4,08	3,98	3,92	3,86	
25500		4,64	4,40	4,24	4,13	4,04	3,98	
26000		4,77	4,55	4,39	4,26	4,16	4,09	
26500			4,71	4,54	4,41	4,30	4,21	
27000	(5,40)	(5,40)	4,87	4,70	4,54	4,43	4,33	
27500			5,02	4,84	4,68	4,56	4,45	
28000			5,17	4,98	4,83	4,69	4,57	4,46
28500			5,32	5,14	4,98	4,82	4,69	4,58
29000				5,28	5,12	4,98	4,84	4,73
29500				5,43	5,27	5,13	5,01	4,91

die Verluste des Oerlikon-Transformators eine Rolle spielen, mit enthalten. Da für große Belastungen  $i_1$  proportional  $i_2$  ist und zwischen  $i_2$  und  $e_2$  (sekundäre Spannung) nur eine geringe Variation der Phasendifferenz besteht, so darf, ohne großen Fehler zu begehen, für  $b \cdot i_1^2$  der Ausdruck  $c \cdot E_2^2$  gesetzt werden.

Aus der Formel  $V_T = V_{T(H+F)} + c \cdot E_2^2$ , aus folgenden Werten

$$E_2 = 134,1 \quad 99,7 \quad 68,3 \quad 44,4$$

und aus

$$V_T = 6,26 \quad 6,11 \quad 5,29 \quad 4,39$$

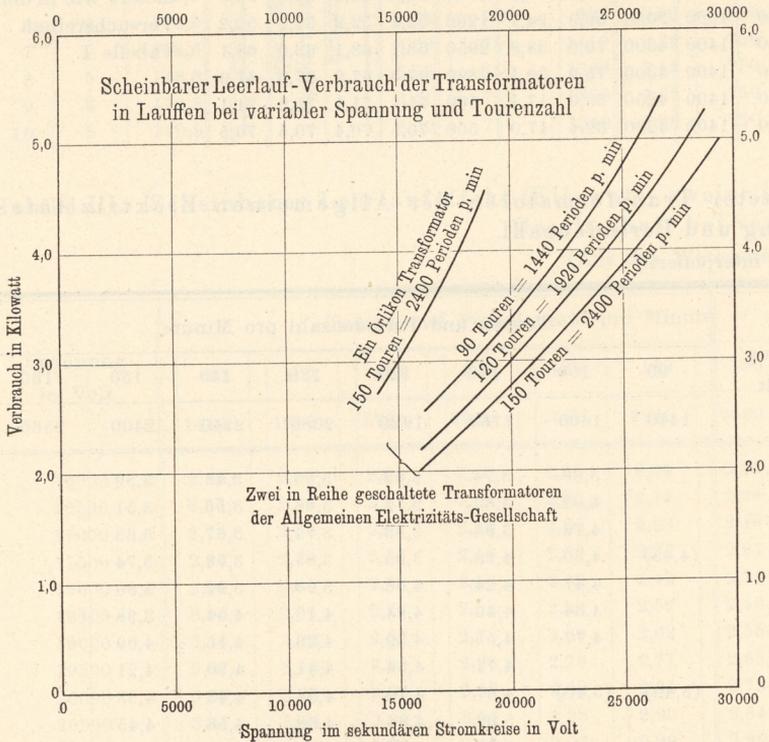
finden sich die Konstanten  $V_{T(H+F)} = 4,60$  und  $c = 0,0001075$ .

Die vorstehende Tabelle VI (S. 135) gibt die einzelnen Wirkungsgrade bei verschiedenen Belastungen.

### D. Leerlaufverbrauch der Transformatoren in Lauffen a. N.

Da die Ermittlung der Leerlaufarbeit der Anlage und zwar besonders der Transformatoren in der Zentrale Lauffen zu interessanten

Fig. 72.



Ergebnissen führte, so gebe ich noch einen kurzen Überblick über diese Messungen, wengleich dieselben nicht in allen Teilen als einwandfrei wegen der Nichtberücksichtigung des Einflusses der Wirbelströme und