

Auswertungen der Versuchszahlen in Tabelle B.

Der Wirkungsgrad der Dynamo war gefunden zu 89,3 Proz. bei Normalbelastung (s. Auswertungen, Anlage A).

Mittlere Leistung war 21,31 KW; hieraus berechnet sich die effektive Leistung zu:

$$\frac{21,31}{736 \cdot 0,893} = 32,50 \text{ PS}_e.$$

Flächeninhalt d. Diagramms 518 qmm } hieraus mittl. Höhe = $\frac{518}{63,25} = 8,19$ mm.
Diagrammlänge 63,25 mm } des Diagramms

Federmaßstab 1,5 mm/Atm. Mittlerer Druck $\frac{8,19}{1,5} = 5,46$ kg/qcm.

Nach Formel 9a, S. 155, ist die indizierte Leistung

$$= 0,10000 p_i \frac{s_1 \cdot n}{30} \cdot \frac{1}{75} = 0,0447 \cdot 5,46 \cdot 169,86 \sim 41,45 \text{ PS}_i.$$

$$\text{Der Wirkungsgrad } \frac{N_e}{N_i} = \frac{32,50}{41,45} = \sim 0,784 \sim 78,4 \text{ Proz.}$$

Pferdekraftstunden 32,50 · 7 = 227,5 Kilowattstunden 21,31 · 7 = 149,17.

Gesamt-Anthrazitverbrauch 84 kg,

$$\text{somit pro PS}_e \text{ u. Stde.} = \frac{84}{227,5} \sim 0,369 \text{ kg, garantiert } 0,480 \text{ kg,}$$

$$\text{" " KW-Stde.} = \frac{84}{149,17} \sim 0,563 \text{ " " } 0,760 \text{ "}$$

Gesamt-Wasserverbrauch 7400 Liter,

$$\text{somit pro PS}_e \text{ u. Stde.} = \frac{7400}{227,5} \sim 32,5 \text{ Liter, garantiert } 50 \text{ Liter.}$$

K. Messungen.

1. Allgemeine Bemerkungen über Messungen.

Vor den definitiven Versuchen müssen die zu prüfenden Maschinen bzw. die Transformatoren oder sonstigen Apparate mehrere Stunden mit voller Belastung betrieben werden. Erst wenn die Erwärmung des normalen Betriebes eingetreten ist, haben die Messungen Gültigkeit; jedoch ist es gut, wenn die Meßinstrumente schon während der Zeit dieser Vorversuche abgelesen werden, damit man ein richtiges Bild über den Betrieb erhält und somit bei den späteren Messungen während der einzelnen Versuchsreihen die Konstanterhaltung der Werte leichter zu erreichen ist. Als Belastung dienen Glüh- und Bogenlampen und Elektromotoren oder auch regulierbare Widerstände. Bei allen Maschinen- bzw. Transformatormessungen ist die Ermittlung der Arbeit im äußeren Stromkreise und des Nutzeffektes mit die wichtigste. Neben diesen sind noch die Größen für Spannung und Stromstärke usw. festzustellen. Zur genauen Bestimmung der elektrischen Größen wurden früher bei gleichgerichteten Strömen vielfach Torsionsgalvanometer: bei

Spannungsmessung mit geeigneten Vorschaltwiderständen bzw. bei Strommessung mit Manganinabzweigwiderständen von $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$, $\frac{1}{9999}$ Ohm sowie andere Apparate mit Magnetnadeln benutzt. Bei großen Stromstärken hat man den Abzweigwiderstand durch Wasser gekühlt und während der Ruhepausen (Nichtbeobachtung) kurz geschlossen. Der Spannungsstromkreis wurde — behufs Vermeidung der Erwärmung — nur während der eigentlichen Ablesungen geschlossen. In neuerer Zeit werden sowohl für Gleichstrom wie für Wechselstrom am zweckmäßigsten zu allen Messungen nur Präzisionsapparate in Anwendung gebracht. Näheres hierüber folgt später.

Die Temperaturen des Raumes müssen während der Versuche beobachtet und mit in Rechnung gezogen werden. Zur Bestimmung von Tourenzahlen werden Tachometer oder Tourenzähler benutzt. Für jede Belastung pflegt man bei Maschinenprüfungen unter Konstant-erhaltung von Tourenzahl und äußerem Widerstand, sowie auch bei anderen Prüfungen, mehrere Einzelmessungen auszuführen bzw. entsprechend gleich viele Diagramme bei eventuell gleichzeitiger Dampfmaschinen- oder Gasmotorenprüfung aufzunehmen. Aus diesen Einzelmessungen werden am zweckmäßigsten Tabellen über die korrigierten Mittelwerte und aus den hieraus folgenden Berechnungen Tabellen über die Resultate der Messungen aufgestellt.

Zur Bestimmung des elektrischen Güteverhältnisses sind bei Nebenschluß- und Compoundmaschinen auch Stromstärke und Spannung im Nebenschlusse zu ermitteln. Außerdem müssen bei allen Maschinen die Widerstände der Anker- und Magnetschenkelwickelungen bekannt sein. Meistens sind diese Widerstände von den Lieferanten gewissenhaft bestimmt. Falls die Angaben nicht sicher sind und man die Werte nicht erfahren kann, so sind entsprechende Widerstandsmessungen vorzunehmen. Die größeren Widerstände (Nebenschlußwicklung) sind leicht nach irgend einer genauen Widerstandsbestimmungsmethode (Wheatstone usw.) oder am besten auf indirektem Wege zu ermitteln. Für die Bestimmung der kleinen Widerstandswerte (Anker- und Hauptwicklung der Magnete) erfolgt die Messung nur auf indirektem Wege. Als Stromquelle werden hierbei meist Akkumulatoren verwendet. Der Strom, den die Batterie liefert, wird durch den zu messenden Widerstand geleitet und aus der beobachteten Spannungsdifferenz an den Enden des Widerstandes und dem Strome im Stromkreise der Widerstand bestimmt. Es ist bei Messung von Ankerwiderständen darauf zu achten, daß die Bürsten auf dem Kollektor eine gute Kontaktfläche bilden. Am besten wählt man als Resultat den Mittelwert einer Anzahl von Messungen an verschiedenen korrespondierenden Kontaktflächen.

Wie schon erwähnt, kommen heute bei Prüfungen in Zentralen fast nur Präzisionsinstrumente oder, falls solche nicht vorhanden sind, Elektrodynamometer in Frage¹⁾.

¹⁾ Näheres über Messung von Strömen und Spannungen siehe: Kittler, Handbuch der Elektrotechnik, II. Band.

Zur Messung von Wechselströmen werden folgende Apparate benutzt:

1. das Elektrodynamometer,
2. das Elektrometer,
3. das Kalorimeter,
4. das Cardew-Voltmeter,
5. die Präzisionsgalvanometer mit weichem Eisen.

Auch bei Wechselstrom haben für die Praxis die Präzisionsinstrumente den Vorrang.

Ein gemeinsames Merkmal aller Instrumente für Wechselstrom ist, daß dieselben, soweit Strom- und Spannungsmessung in Betracht kommen, die Effektivwerte messen, d. h. die Wurzeln aus den quadratischen Mittelwerten:

$$(1) \dots \dots \bar{J} = \sqrt{M(J^2)} = \sqrt{\frac{2}{T} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} J^2 \cdot dt}$$

und

$$(2) \dots \dots \bar{E} = \sqrt{M(E^2)} = \sqrt{\frac{2}{T} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} E^2 \cdot dt}.$$

Es bedeuten hierbei J und E die Momentanwerte von Strom bzw. Spannung, $M(J^2)$ und $M(E^2)$ die entsprechenden Mittelwerte der Quadrate, \bar{J} und \bar{E} die Effektivwerte, T die Zeitdauer einer Periode und t die Zeit.

Dieselben Instrumente würden bei Gleichstrom direkt die Werte E und J messen.

Es ist nun die Frage von Wichtigkeit, ob durch das Produkt $\bar{E} \cdot \bar{J}$ die mittlere Arbeit A eines Wechselstromes in der Zeiteinheit oder ob dieselbe durch einen anderen Wert dargestellt wird. Es zeigt sich, daß

$$(3) \dots \dots A = M(E \cdot J) = \frac{2}{T} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} E \cdot J \cdot dt$$

ist. Der zur Messung der Leistung eines Wechselstromes bestimmte Apparat muß derartig konstruiert sein, daß er den Mittelwert $M(E \cdot J)$ unmittelbar angibt.

Wenn ein Wechselstrom einen Leiter durchfließt, so wird durch das Elektrodynamometer die Größe $\sqrt{M(J^2)}$ bestimmt. Ist der betreffende Stromleiter, zwischen dessen Enden die Leistung des Stromes gemessen werden soll, induktionsfrei, so genügt die Kenntnis des Widerstandes R , um

$$(4) \dots \dots A = M(J^2) \cdot R = \frac{M(E^2)}{R}$$

als Arbeitsleistung pro Sekunde zu bestimmen.

In vielen Fällen ist indes ein Apparat erwünscht, welcher den Mittelwert $M(E \cdot J)$ mißt, und welchen wir als Wattmeter bezeichnen.

Während das Kalorimeter nur in den Händen sehr geschickter Experimentatoren brauchbare Resultate liefert, so sind das Cardew-Voltmeter, das Elektrodynamometer und auch das Wattmeter sehr leicht zu handhabende Meßinstrumente.

Das Cardew-Instrument besteht aus einem etwa 1 m langen Rohre, in welchem ein feiner Platindraht von etwa 0,07 mm Stärke ausgespannt ist; derselbe wird vom durchgehenden Strom erwärmt; die hierdurch erfolgte Verlängerung des Drahtes wird auf einen Zeiger übertragen.

Das Elektrodynamometer und das Wattmeter werde ich noch eingehender behandeln, weil diese Instrumente eine vielseitige Verwendung haben.

In der Praxis wird man heute jedoch, wie schon erwähnt, für alle Messungen, sowohl für Gleich- wie für Wechselstrom, zur Ermittlung von Strom, Spannung und Leistung möglichst Präzisionsapparate benutzen. Bei diesen Apparaten werden alle Werte durch direkte Ausschläge gemessen; dieselben beruhen entweder auf der durch Stromwärme verursachten Verlängerung bzw. Durchbiegung eines stromdurchflossenen Platinsilberdrahtes, welche auf ein drehbares System mit Messerzeiger übertragen wird, oder auf dem Prinzip einer stromführenden, im starken konstanten Magnetfelde sich drehenden Spule von Thomson bzw. Deprez-d'Arsonval. Die hierbei verwendeten Magnete sind von relativ großer Stärke, deren Konstanz durch zahlreiche zeitlich weit auseinanderliegende Kontrollmessungen erwiesen ist. Die Instrumente sind für aperiodische Einstellung gebaut und müssen vollkommen unabhängig von fremden Magnetfeldern sein. Diese Apparate werden von Weston, Hartmann und Braun, Siemens und Halske und anderen Firmen hergestellt. Die Präzisionsvoltmeter werden für jede beliebige Einteilung und Spannung, gewöhnlich mit mehreren Meßbereichen fabriziert. Die Instrumente besitzen einen hohen Widerstand, so daß der in ihnen verbrauchte Strom ein minimaler ist. Dieser Umstand gestattet eine vielstündige Einschaltung des Instrumentes ohne merklichen Rückgang der ersten Einstellung. Durch geeignete Zusatzvorschaltwiderstände kann der Meßbereich eines Instrumentes auf 1500 und mehr Volt ausgedehnt werden. Instrumente für einen Meßbereich werden bis zu etwa 30000 Volt fabriziert. Zur bequemen Benutzung werden auch Instrumente gebaut, welche die Bestimmung von Spannungen und Stromstärken mit einem Apparate gestatten (sogenannte Millivolt- und Amperemeter). Man kann z. B. mit einem derartigen Apparat von 1 Ω Widerstand mit einer Skala von 150 Tln. entsprechend einer Empfindlichkeit (Meßwert eines Teilstriches) von 0,001 Volt bzw. 0,001 Amp. bei einem Vorschaltwiderstand von 9, 99, 999 bzw. Nebenschlußwiderstand von $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$, $\frac{1}{9999}$ Ohm — 1,5, 15, 150 Volt bzw. 1, 5, 15, 150 und 1500 Amp. messen. Die Nebenschlüsse bestehen

aus Manganinblech und können ohne Zuhilfenahme von Drähten usw. an das Instrument angeschlossen werden. Zur Messung von Stromstärken über 300 Amp. mit Nebenschluß ist es erforderlich, den Nebenschlußwiderstand mit entsprechender Kühlung (durch Paraffin) zu versehen.

Zur Spannungsmessung sowie indirekt auch zur Strom- und Energiemessung wird im Laboratorium auch noch das Elektrometer benutzt¹⁾.

Das Instrument eignet sich für die Praxis wenig.

2. Elektrodynamometer, Präzisionsinstrumente für Strom-Spannung und elektrische Energiemessung — Wattmeter, Phasemesser —, transportable Strom- und Spannungstransformatoren.

Im allgemeinen ist, sobald man keinen Präzisionsapparat zur Verfügung hat, das Dynamometer vorzuziehen, zumal mit demselben in einfacher Weise auch Energiemessungen auszuführen sind. Ich will daher im folgenden die Verwendbarkeit des Elektrodynamometers näher untersuchen, und zwar für verschiedene Zwecke.

1. Verwendung des Dynamometers zur Messung von Wechselströmen.

a) Wenn beide Rollen des Instrumentes im Hauptstromkreise liegen und senkrecht zueinander stehen, so gilt die Konstante, welche für Gleichströme bestimmt wurde, auch für Wechselströme. Wir messen dann den Mittelwert des Quadrates der Stromstärke $M(J^2)$, welcher proportional dem Torsionswinkel φ ist, und erhalten:

$$(5) \quad \bar{J} = \sqrt{M(J^2)} = C \cdot \sqrt{\varphi},$$

woselbst C die durch Gleichstrom bestimmte Konstante ist.

b) Wenn beide Rollen des Elektrodynamometers im Nebenschluß liegen und der abgezweigte Strom beide Rollen hintereinander durchfließt, so ist der Koeffizient L_m der gegenseitigen Induktion und die Selbstinduktionskoeffizienten L_1 und L_2 der Widerstände W_1 und W_2 (des festen Widerstandes bzw. der in Serie geschalteten Rollen) in Rechnung zu ziehen.

Bezeichnen wir mit I_{max} , i_{1max} und i_{2max} die Maximalwerte des Hauptstromes bzw. der Nebenströme i_1 und i_2 , so ist:

$$(6) \quad \left\{ \begin{aligned} & \frac{i_{2max}^2}{W_2^2 + \frac{4\pi^2}{T^2} (L_2 - L_m)^2} + \frac{i_{1max}^2}{W_1^2 + \frac{4\pi^2}{T^2} (L_1 - L_m)^2} \\ & = \frac{I_{max}^2}{(W_1 + W_2)^2 + \frac{4\pi^2}{T^2} (L_1 + L_2 - L_m)^2} \end{aligned} \right.$$

Machen wir den Widerstand W_1 induktionsfrei, also $L_1 = 0$ und auch $L_m = 0$ und sorgen dafür, daß der Selbstinduktionskoeffizient L_2

¹⁾ Siehe Kittler, Heinke, Rühlmann.