

Leitfaden für die Übungen

im

Laboratorium II.

I Teil

Die Untersuchung

von

Gleichstrommaschinen.

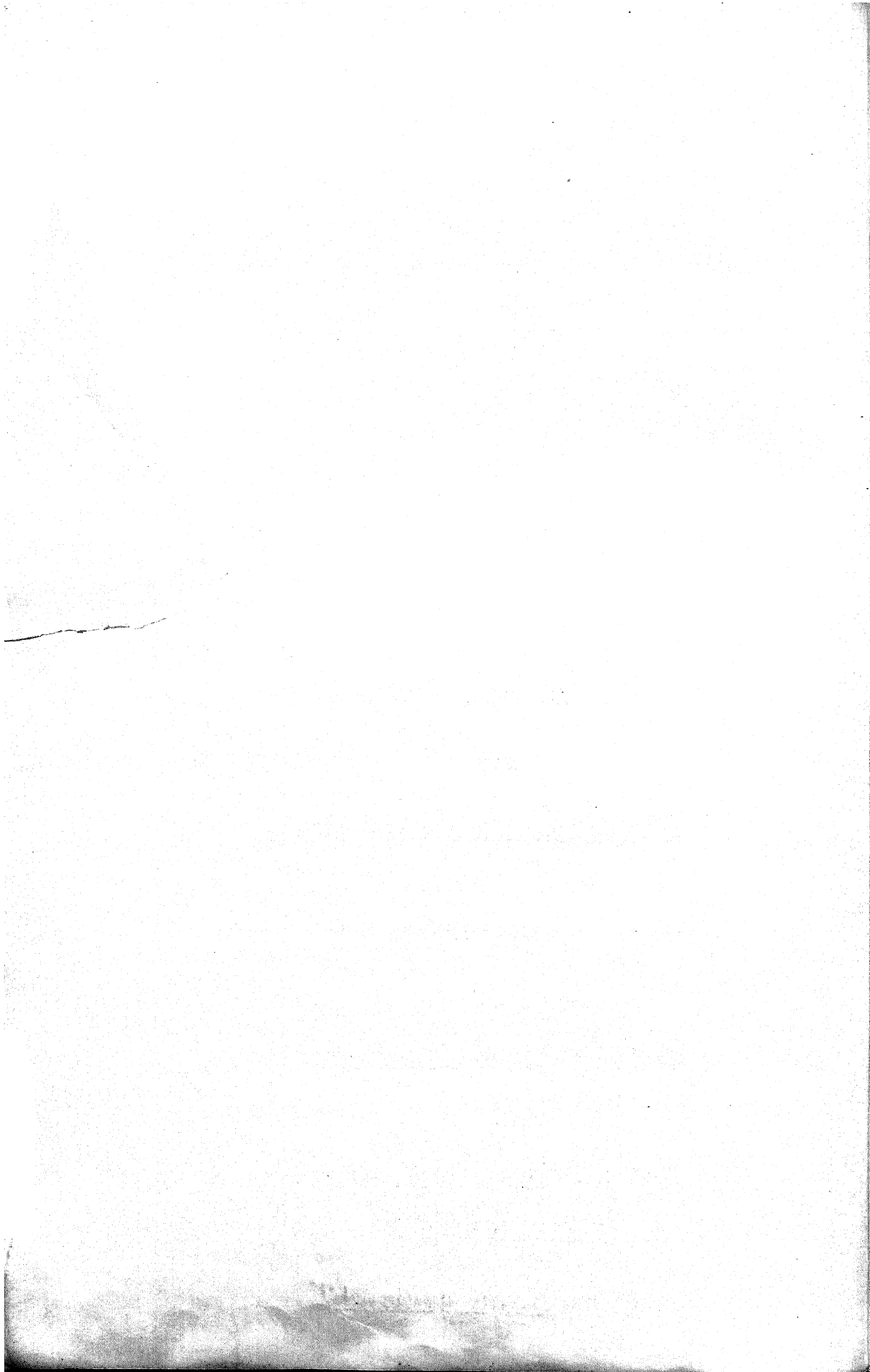
Elektrotechnisches Institut

der

Technischen Hochschule

Karlsruhe 1904

als Manuscript gedruckt.



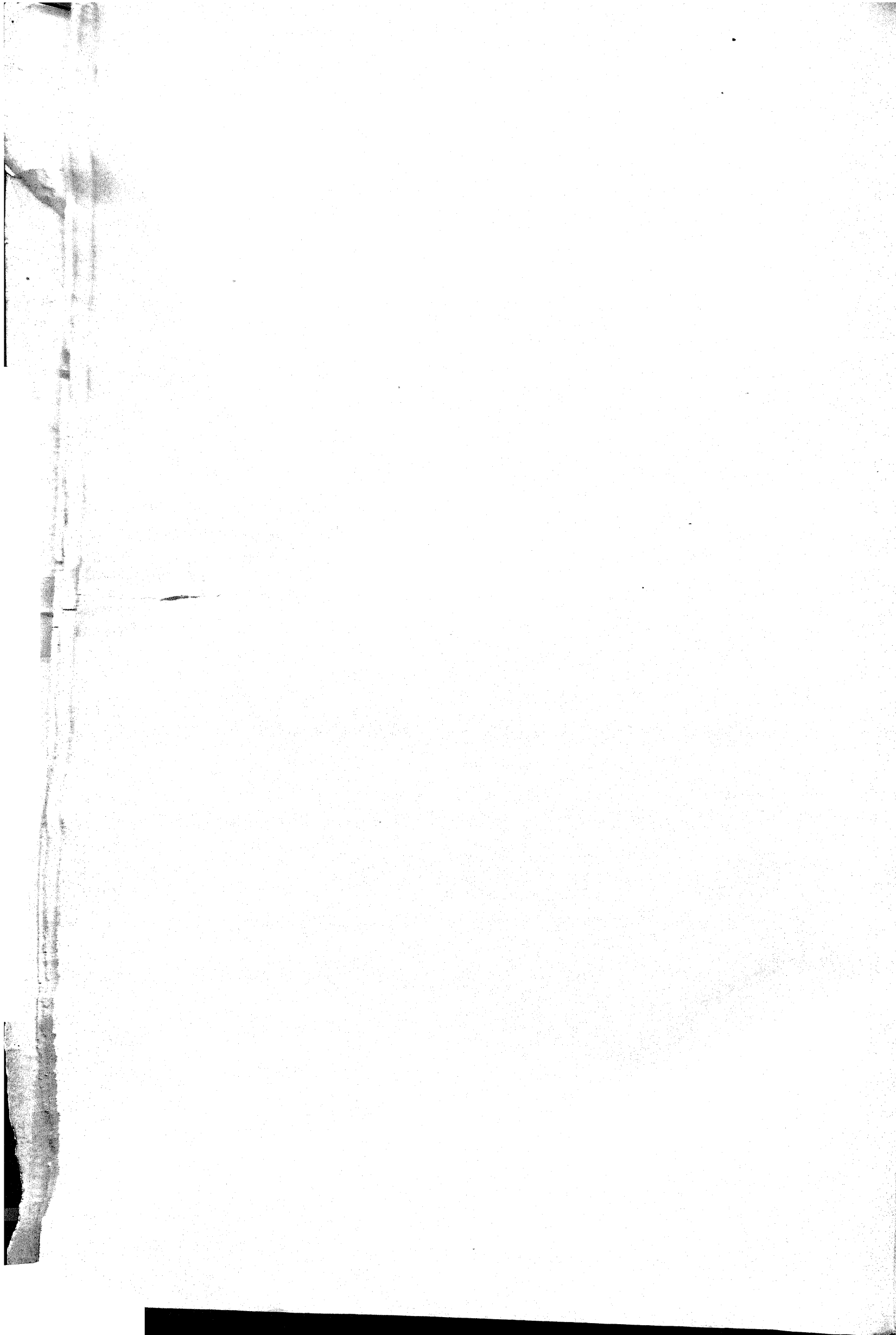
Die nachfolgenden Darstellungen
der Untersuchung von Gleichstromma-
schinen sind durch eine Neubearbei-
tung der im Januar 1902 erschie-
nenen ersten Ausgabe dieses Leit-
fadens und mit Bewützung der
„Gleichstrommaschine II Bd.“ entstan-
den.

Sie sollen den Studirenden ermög-
lichen sich vor und während der
Übungen über die Messmethoden
genau zu unterrichten und bei der
großen Zahl von Praktikanten
einen gedeihlichen Unterricht fördern.

Herr Assistent Ing. Land
hat sich in dankenswerter Weise
an der Bearbeitung des Leitfadens
betheiligt und seine Redaktion
besorgt.

Karlsruhe im Mai 1904

Arnold



Inhalts-Verzeichnis.

Gleichstrom.

Generatoren.

Nebenschlussmaschine.

Stufgabe

Seite

1. Leerlaufcharakteristik bei Selbst- 1
und Fremder Erregung
2. Belastungscharakteristik: 3
Läufer und Übergangswiderstand
3. Stufenre Charakteristik. 4
Die Regulierungskurve.

Hauptschlussmaschine.

4. Die charakteristischen Kurven 10

Compoundmaschine.

5. Charakteristische Kurven 12
Leerlauf und äußere Charakteristik

6. Abhängigkeit der E. W. K. bei Leerlauf . . 14
und bei Belastung, von der Tourenzahl.

7. Aufnahme von Feldkurven 16
 - A. bei Leerlauf
 - B. " Belastung

8. Feldkurve für das Läuferfeld: . . . 19.

Aufgabe	Seite
9. Potentialkurven des Kollektors.	22
10. Bestimmung der Rückwirkung durch Regulierung auf konstante induzierte $\frac{E}{U}$ %.	24
11. Untersuchung der Temperaturerhöhung.	26

Motoren

15. Motorschaltungen.	29
Drehrichtung eines Motors.	
16. Abhängigkeit der Tourenzahl eines Motors von Nennspannung und Erregerstrom.	35
17. Aufnahme der Feldkurve eines Motors bei Leerlauf und Belastung.	36
18. Bestimmung des Leistungsmoments eines Nebenschlussmotors	37
19. Bestimmung des Leistungsmoments eines Hauptschlussmotors.	40
20. Bestimmung des Leistungsmoments eines Compoundmotors.	41
21. Belastungskurven eines Nebenschlussmotors	43
22. Belastungskurven u. äußere Motor Charakteristik eines Hauptschlussmotors.	45

Aufgabe.	Seite.
23. Belastungskurven eines Compoundmotors	48
und Unregulierung der Compoundierung.	
24. Hauptstromkraftübertragung bei konstanter	50
primärer Leistungszahl und variabler Spannung	
und Stromstärke.	
25. Hauptstromkraftübertragung bei konstanter	53
sekundärer Leistungszahl.	
26. Hauptstromkraftübertragung bei konstanter	55
Stromstärke und variabler Spannung.	

Wirkungsgrad und Verlustbestimmung.

30. Bestimmung des Wirkungsgrades	57
aus den Leerlaufverlusten.	
31. Bestimmung des Wirkungsgrades	61
zweier gekuppelter Maschinen nach	
der Zwickelarbeitmethode.	
A. Parallelschaltung	
B. Hintereinanderschaltung.	
32. Bestimmung des Wirkungsgrades	65
durch Bremsung.	
a) mit Pronyschem Rad	
b) " Wirbelstrombremse.	
c) " Brauer'sches Bremsdynamometer.	
33. Formung der Verluste nach Pettmar	68

Aufgabe

Seite.

34. Bestimmung der Verluste nach der 74
Stromlaufmethode
35. Bestimmung der Einzelverluste 77
einer Maschine mittels der Wirbel-
strombremse.

Nebenschlussmaschine.

Aufgabe 1.

Leerlaufcharakteristik.

$$E_a = f(i_n)$$

Umdrehungszahl konstant.

Bürstenstellung "

Erregung veränderlich.

Die Leerlaufcharakteristik wird aufgenommen indem man die Erregung, bei stromlosem Anker, konstanter Umdrehungszahl und konstanter Bürstenstellung variiert und bei jedem Werte des Erregerstromes die zugehörige Kleinminispannung beobachtet.

Die im Anker induzierte \mathcal{E}_k berechnet sich

$$\text{aus } \mathcal{E}_k = \frac{10}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot \Phi \cdot 10^{-8}$$

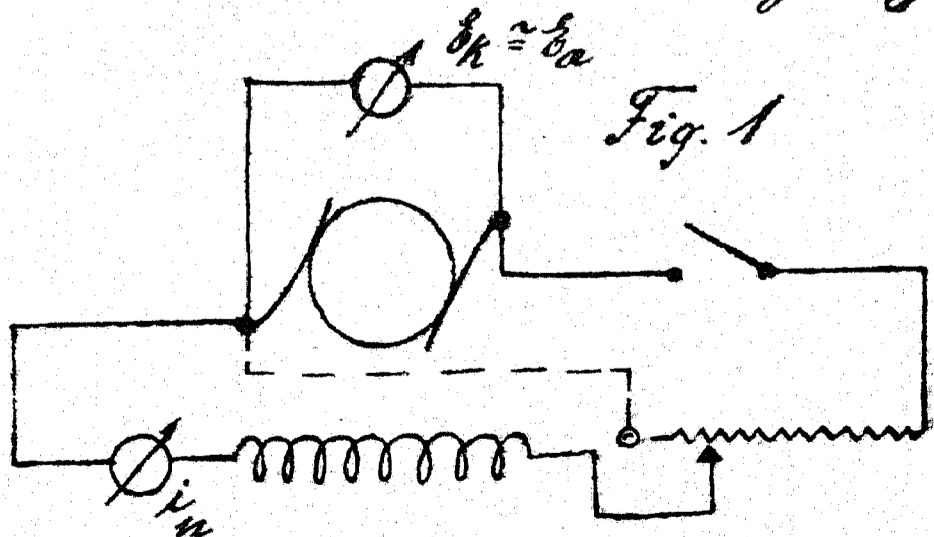
somit wird:

$$\mathcal{E}_k = \mathcal{E}_f = \text{const. } n \Phi$$

Stehen die Bürsten in der neutralen Zone, so ist $\mathcal{E} = \mathcal{E}_a$ und die Leerlaufcharakteristik ist identisch mit der Magnetisierungskurve.

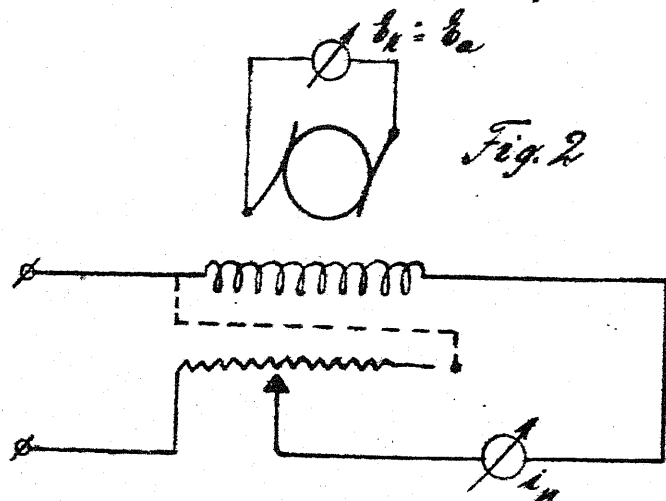
Die Kurve kann nach zwei Weisen aufgenommen werden.

a) bei Selbstregnung.



Hierbei ist die an den Klemmen der Maschine gemessene Spannung, infolge der Induktionwirkung und des Spannungsabfalls durch den Erregerstrom, kleiner wie die induzierte \mathcal{E}_h .

b) bei fremder Erregung:



Bei dieser Anordnung ist der Läufer stromlos, so daß $\mathcal{E}_h = \mathcal{E}_a$ ist.

Bemerkung:

Bei der Aufnahme ist noch zu beachten, daß die Variation des Erregerstromes immer nur in einer Richtung erfolgt, da infolge der Resonanz die spannungsweise Änderung der Erregung einen un-
stetigen Verlauf der Magnetisierungskurve bedingt.

Kleinere Abweichungen von der, der Untersuchung zu Grunde gelegten Powerzahl n können leicht korrigiert werden, da $\mathcal{E}_a : \mathcal{E}_a' = n : n'$ wenn \mathcal{E}_a bzw. \mathcal{E}_a' die bei den Powerzahlen n bzw. n' abgelesenen Spannungen bedeuten.

Graphische Darstellung.

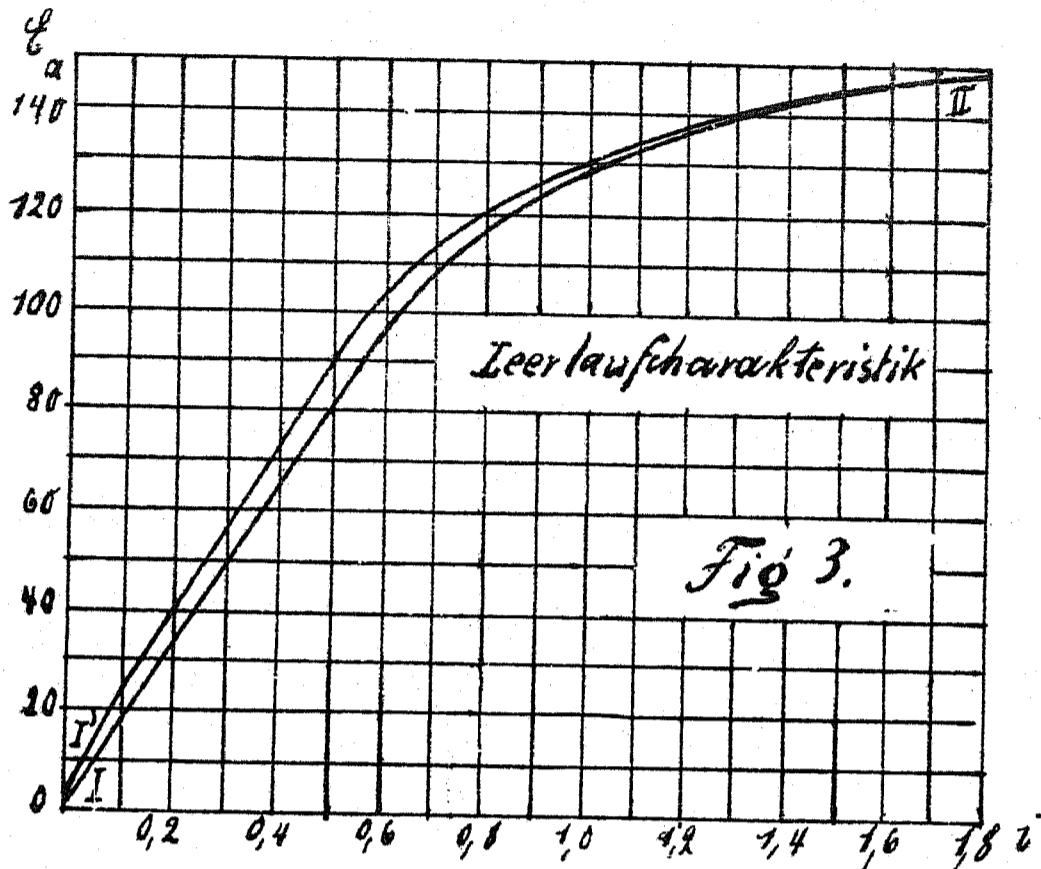


Tabelle.

n	U_a	Erregung auf n	i
Konstant			

* Aufgabe 2.

Belastungscharakteristik
(Arnold Bd. I S. 425)

- $I_k = f(x_n)$
- Polenzahl konstant
- Stromstrom "
- Erregung veränderlich
- Klemmenspannung "

Die Belastungscharakteristik wird aufgenommen bei konstantem Stromstrom, indem man die Erregung variiert und gleichzeitig den Widerstand im äußeren Stromkreise reguliert. Kurvengehänge

Werte von Erregerstrom und Kleinm. Spannung werden abgelesen.

Bei der selbstregulierten Maschine ist der konstant zu haltende Strom $I_a = I + I_m$.

Die Belastungscharakteristik kann sowohl bei Fremd- als auch bei Selbstregulierung aufgenommen werden. Die beiden Kurven zeigen aber so wenig von einander ab, daß sie praktisch als identisch angesehen werden dürfen. Nur aber, bei niedrigerer Spannung Punkte aufnehmen zu können, ist Fremdregulierung zu empfehlen.

Aus der Belastungscharakteristik erhält man die im Läufer induzierte $\% U$, indem man zu dem einzelnen Wertes der Kleinm. Spannung den Spannungsabfall im Läufer addiert.

Nimmt man die Belastungscharakteristik für verschiedene Werte der Belastungsstromstärke auf, z. B. $I = 1/4, 1/2, 3/4$ der normalen Stromstärke, so erhält man eine Kurvenchar.

Aus derselben entnimmt man die Größe der Regulierung, wenn die Kleinm. Spannung vom Leerlauf bis $3/4$ Belastung konstant erhalten werden soll.

Schaltungsschema.

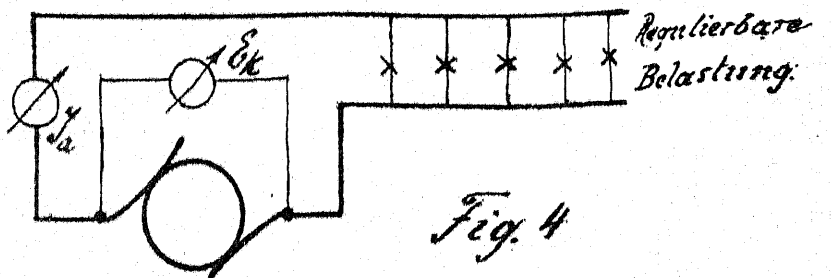
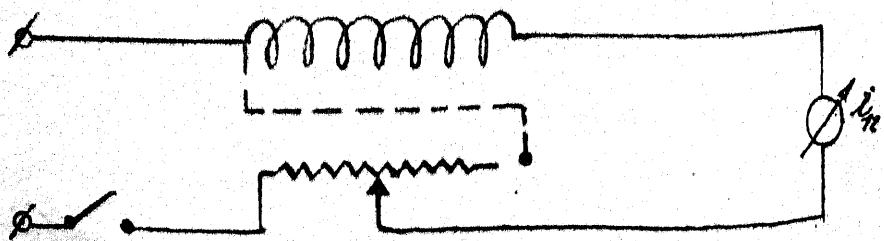


Fig. 4

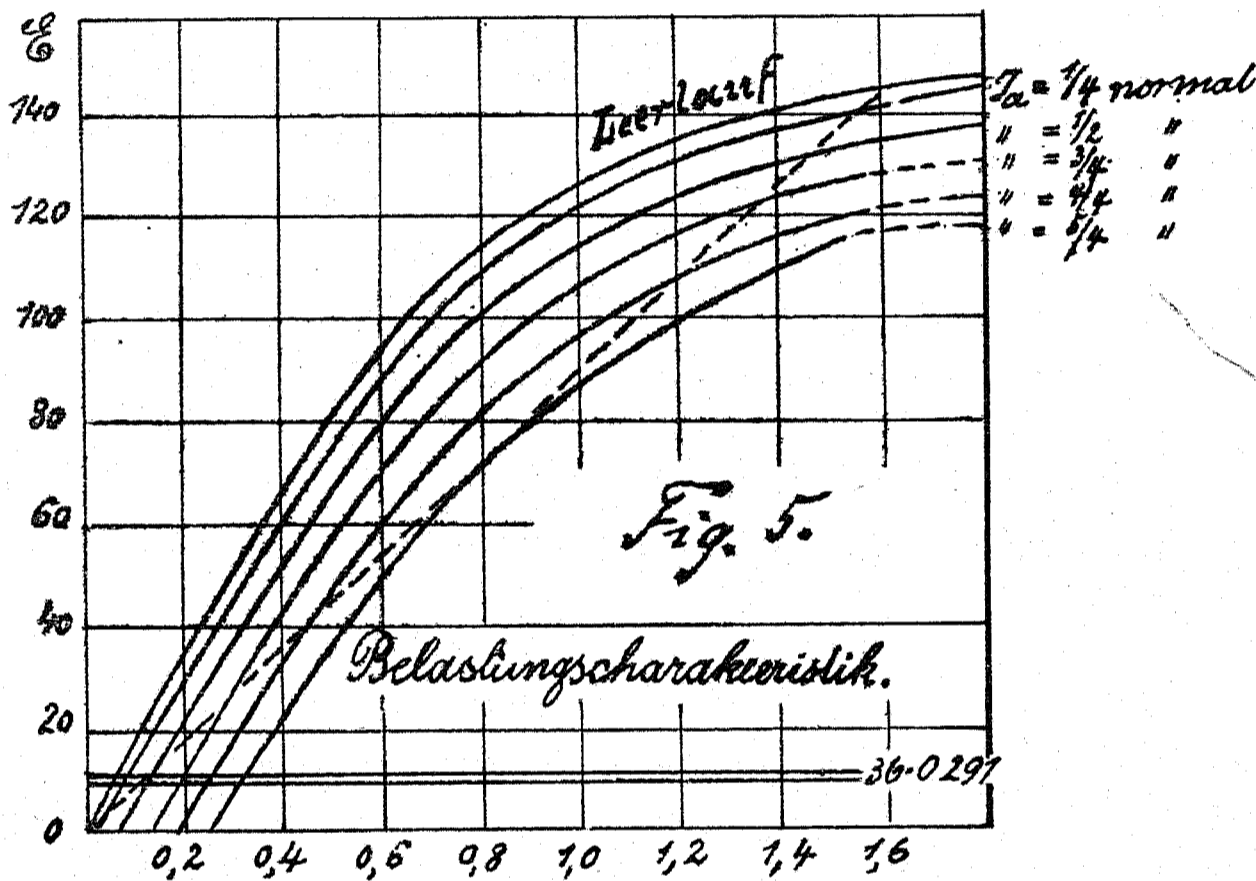


Tabellen

n	i_n	J_k	J_a
Kont.			Kont.

Berechnungen für $J_a = 1/4, 2/4, 3/4, 4/4, 5/4$ Normal.

Graphische Darstellung.



Messung des Zuckers- und Uebergangswiderstandes.

Für genauere Messungen sei auf Gl.-M. Bd. II Seite 457 u. f. verwiesen; im Allgemeinen wird es genügen den Gesamt-Widerstand aus Strom und Spannung zu messen. Zu diesem bei dem vorläufigen Uebergangswiderstand der Kohlen bei verschiedenen Stromdichten zu berücksichtigen, wird eine Reihe von Messungen ausgeführt bei verschiedenen Stromstärken. Zu der Messung wird bei uncorregtem Feldmagneten Strom in dem Zucker geschickt und die Spannung an den Klemmen gemessen und zwar bei

verschiedenen Stellungen des Ankere.
Schaltungsdiagramm.

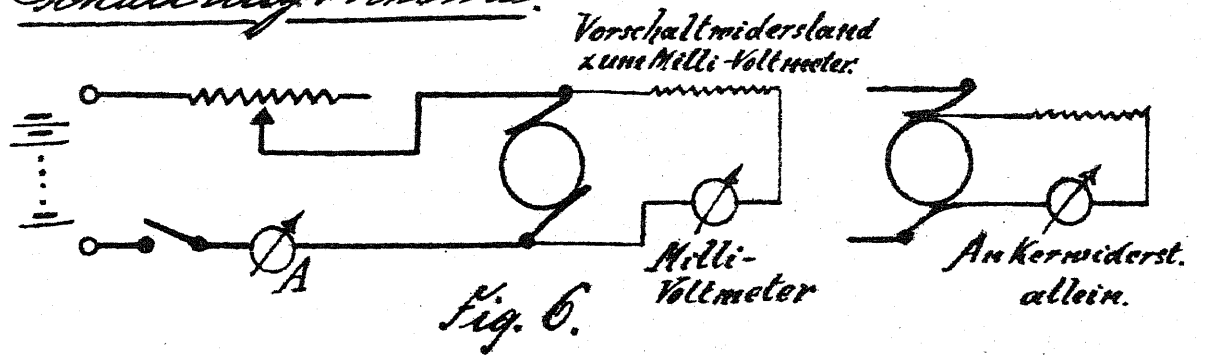
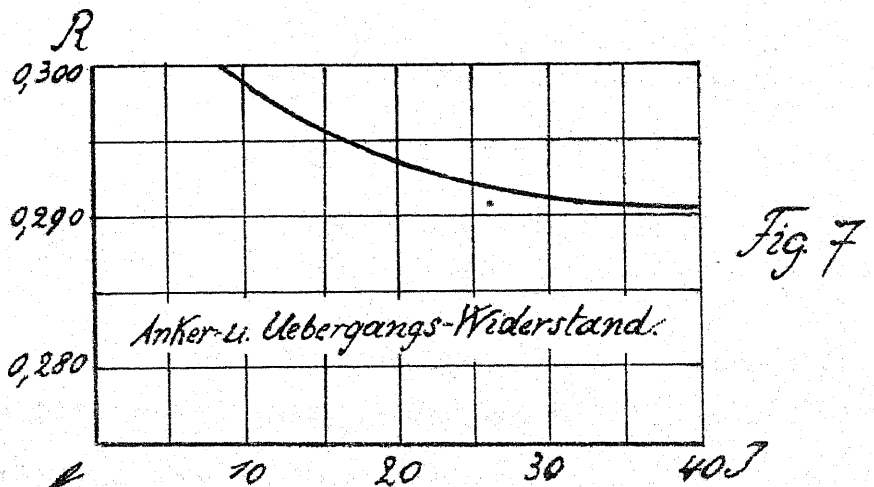


Tabelle.

Strom			Spannung			$\Omega = \frac{U}{I}$			Ω Mittel
Stellung			Stellung			Stellung			
1	2	3	1	2	3	1	2	3	

Graphische Darstellung.



Bemerkung.

Die so erhaltenen Resultate sind nicht genau
 denselben gleich, welche auftreten, wenn
 die Maschine in Rotation ist, da der
 Uebergangswiderstand auch von der Kollekt-
 orgeschwindigkeit abhängig ist; sie werden
 aber für die meisten Versuche genügen.

Aufgabe 3.

Außere Charakteristik.

(Arnold Bd. I S. 428 u. 437)

Bd. II S. 463.

$$I_k = f(\gamma)$$

Polarzahl konstant.

Erregungsstrom bzw. Erregungswiderstand konstant.

Klemmenspannung veränderlich

Ankerstrom veränderlich.

Die äußere Charakteristik gibt über die Maschine im Betrieb, Leerlauf. Sie zeigt den Spannungsabfall in Abhängigkeit vom Belastungsstrom, wenn keine Nachregulierung erfolgt. Die Aufnahme geschieht somit bei konstantem Erregungswiderstand unter Variation des äußeren Stromes und Beobachtung der Klemmenspannung.

Wird zu jedem Werte der Klemmenspannung der Ohm'sche Spannungsabfall im Anker und die an den Bürsten auftretenden Spannungsabfälle addiert, so bekommt man die E_a -Kurve, innere Charakteristik genannt.

Spannungsänderung.

Wird eine Maschine bei Leerlauf so erregt, daß sie mit der normalen $E_{WN} E_0 = E_k$ läuft, und belastet man sie, ohne nachzuregulieren, bei konstant gehaltener Polanzahl, so sinkt z. B. beim Strom I_1 die normale Spannung auf E_1 Volt, also um $E_0 - E_1$ Volt. Der procentuale Spannungsabfall ist dann durch:

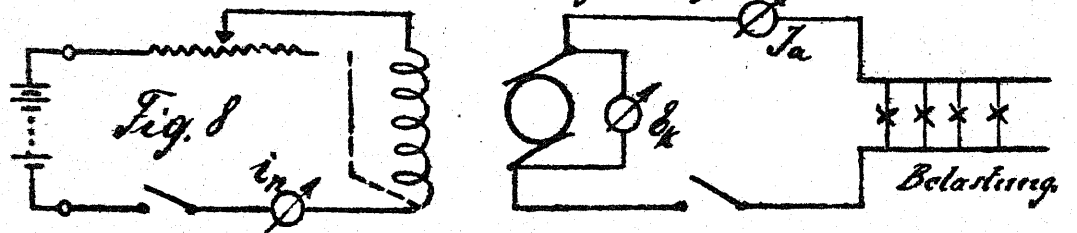
$$\frac{E_0 - E_1}{E_0} \cdot 100 \text{ gegeben.}$$

Reguliert man, umgekehrt, die Maschine bei einer bestimmten Stromstärke auf die normale Nennspannung E_n und entlastet sie, ohne die Erregung nachzuregulieren, so wird, wenn die entlastete Maschine die Spannung E_0' anzeigt, die procentuale Spannungserhöhung durch:

$$\frac{E_0' - E_k}{E_k} \cdot 100 \text{ ausgedrückt.}$$

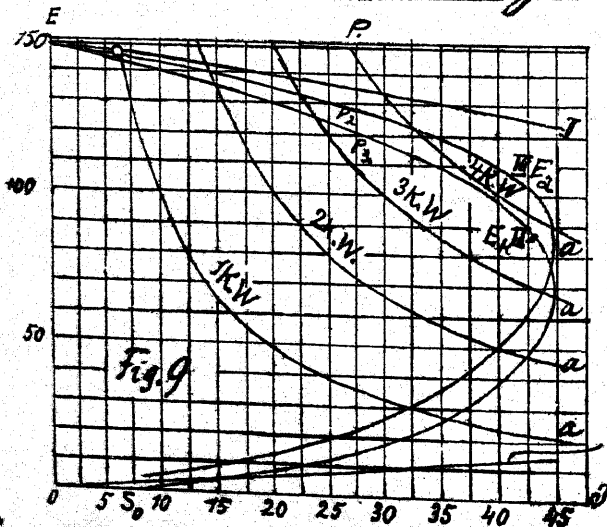
Schaltungschema:

bei Selbsterregung.
wie in Fig. 8 angegeben.
bei Fremderregung.



Tabell.	n	E_k	I	i_n	$R_n = \frac{E_n}{i_n}$
	konstant				konstant

Graphische Darstellung:



I äußere Charakteristik bei Fremderregung.
II äußere Charakteristik bei Selbsterrgung.
III innere Charakteristik.
a Leistungskurven.

Äußere u. innere Charakteristik einer Nebenschlussmaschine.

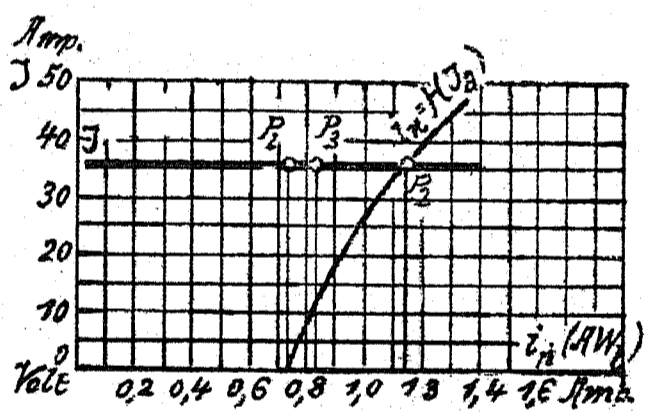
Bemerkung:

Demit die Maschine, bei Aufnahme der äußeren Charakteristik, welche Aufnahme durchgeführt werden soll, bis die Maschine spannungslos ist, nicht zu stark überlastet wird, empfiehlt es sich bei einer niedrigeren Spannung z. B. 30 Volt anzufangen. Eine zweite Kurve kann noch bei normaler Spannung bis ca 5/4 Normallast aufgenommen werden.

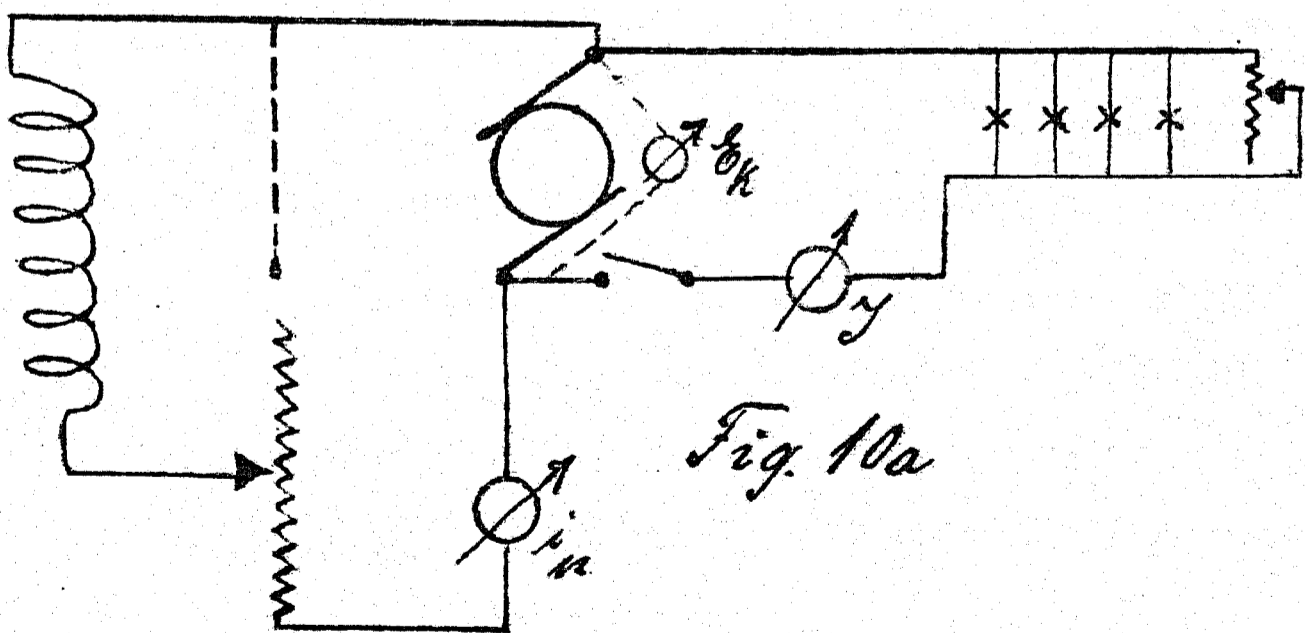
Die Regulierungskurve ($i_n = f(\beta_n)$) erhält man, indem man die Maschine stufenweise belastet und die jeweils zur Erzeugung der konstanten Feldspannung erforderliche Erhöhung der Erregung beobachtet.

Graphische Darstellung.

Tabelle.



n	β_k	β_a	i_n
Konstant	Konstant		



Hauptschlussmaschine.

Aufgabe 4.

Die charakteristischen Kurven.

(Arnold Gl.-M. Bd. I S. 432.)

a) Die Leerlaufcharakteristik können wir nur aufnehmen, wenn wir die Maschine fremd erregen, da der Ankerstromlos sein muss. Die so erhaltene Kurve ist identisch mit der Leerlaufcharakteristik der fremd-erregten Nebenschlussmaschine.

b) Die Belastungscharakteristik. Auch diese Kurve kann nur mit fremder Erregung aufgenommen werden.

c) Die äußere Charakteristik. Tourenzahl konstant. $\mathcal{E}_a = f(I_a)$.

In dieser Kurve kommt nun das charakteristische der Hauptschlussmaschine zum Ausdruck. Da der genannte Ankerstrom zur Erregung der Feldmagnete verwendet wird, so muss mit zunehmender Belastung der Maschine die im Anker induzierte EMK \mathcal{E}_a und mit ihr die Klemmenspannung \mathcal{E}_k zunehmen.

Addiert man zu jedem Punkte dieser Charakteristik den Spannungsabfall im Anker, am Kollektor und in den Feldwindungen, so erhält man die innere Charakteristik.

Das elektrische Güterverhältnis ist das Verhältnis zwischen \mathcal{E}_a und \mathcal{E}_k bei einer bestimmten Belastung $\eta_e = \frac{P_{\mathcal{E}_a}}{P_{\mathcal{E}_k}}$ (Fig. 11)

Bei Maschinen mit starker Ankerückwirkung

und hoher Sättigung zeigen äußere und innere Charakteristik einen abweichenden Art, wie in Fig. 11.

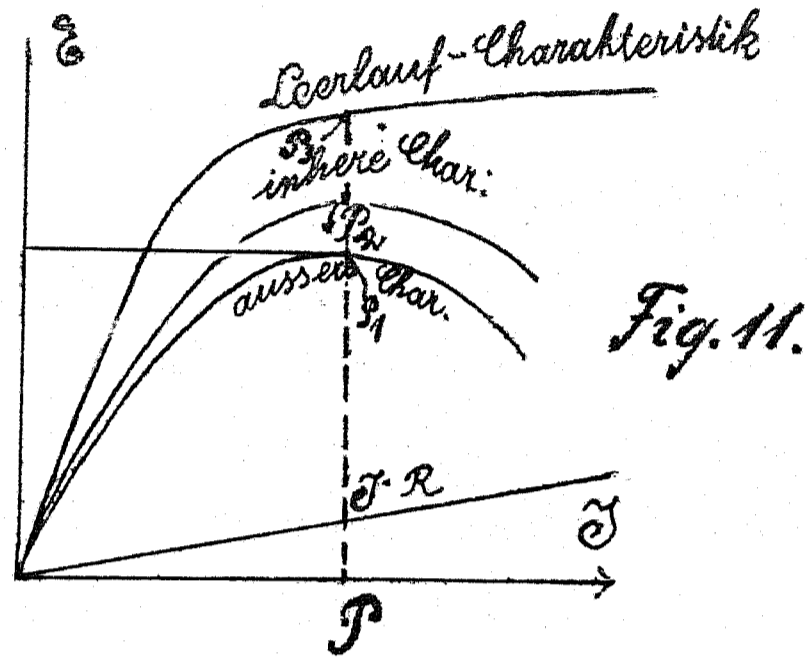


Fig. 11.

Schaltungsrechnung.

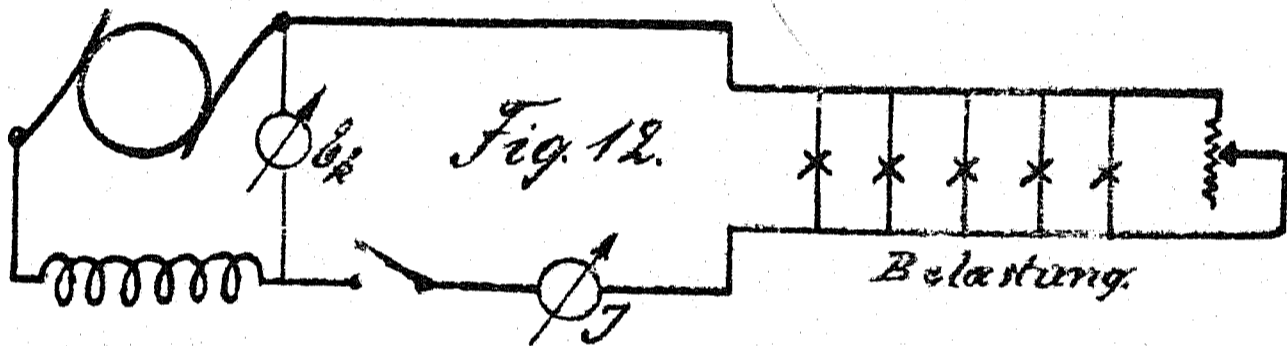


Fig. 12.

Tabelle.

n	I_k	y
Konstant.		

Graphische Darstellung.

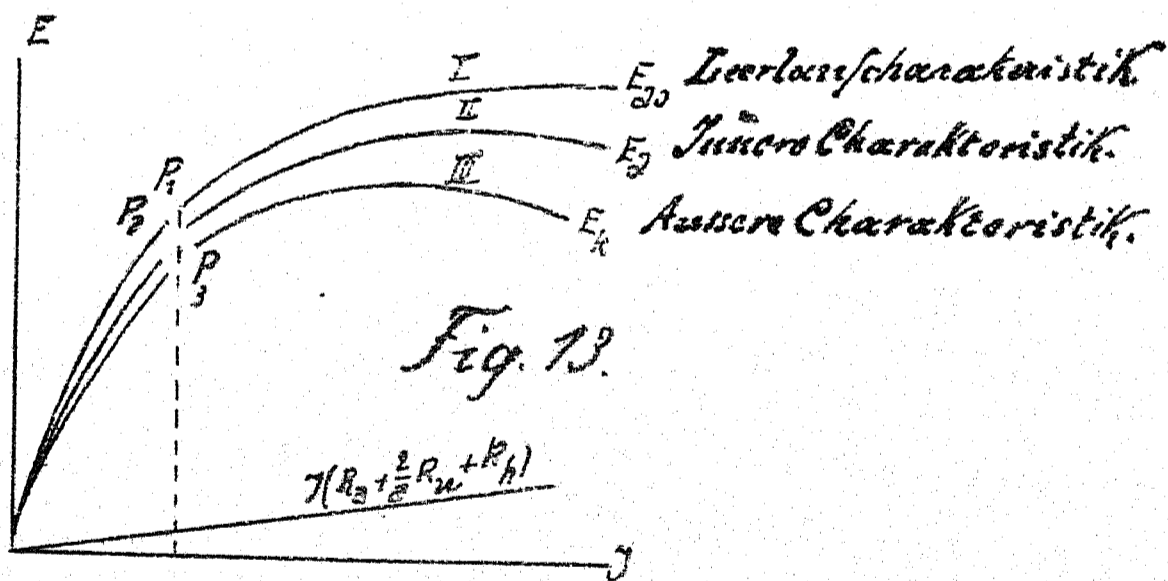


Fig. 13.

Bemerkung.

Kleinere Abweichungen von der, der Umlernrechnung zu Grunde gelegten Tourenzahl n können mit hinreichender Annäherung korrigiert werden, indem man die Ordinaten der Kurve im Verhältnis der Umdrehungszahlen ändert. Genau gilt dies für die innere Charakteristik, um also genauer zu verfahren, könnte diese Korrektur über die innere Charakteristik ausgeführt werden.

Compoundmaschine.

Aufgabe 5.

Charakteristische Kurven.

Glückeregulieren der Compoundierung durch Haupt.
(Arnold Gl.-M. Bd. I S. 443, Bd. II S. 465.)

a) Die Leerlaufcharakteristik.

Dieselbe ist identisch mit der Leerlaufcharakteristik einer Nebenschlussmaschine, da bei Leerlauf die Compoundwicklungstromlos ist.

b) Die äußere Charakteristik. $I_k = f(\varphi)$

Die äußere Charakteristik ist so aufzunehmen, daß man, wie bei der Nebenschlussmaschine die normale Spannung bei Leerlauf einreguliert und bei verschiedenen Erregerrückständen, die den verschiedenen äußeren Belastungen entsprechenden Nennspannungen beobachtet.

Die Zahl der compoundierenden Windungen wird an der ausgeführten Nebenschlussmaschine bestimmt, indem man den Erregerstrom von Leerlauf bis Belastung abreguliert, daß die Nennspannung konstant bleibt. Die Differenz

$$i_{n0} \cdot w_n - i_{n0} \cdot w_k = c \cdot w_k = I_w \cdot w_k$$

gibt die zur Deckung des gesunkenen Spannungsabfalls nötigen Amperewindungen.

Für die Ausführung werden im Allgemeinen einige Windungen zugegeben und dann durch Haupt die richtige $A \cdot W$ Zahl einreguliert.

Da die zur Compensierung auf konstante Klemmenspannung notwendige $A \cdot W$ Zahl zwischen Leerlauf und Belastung nicht proportional dem Belastungsstrom ist, so wird die erhaltene Kurve keine gerade Linie ergeben.

Der Hauptwiderstand wird nun so einreguliert, daß bei normaler Belastung dieselbe Klemmenspannung erzeugt wird wie bei Leerlauf, und dann die äußere Charakteristik im Leerlauf aufgehend, aufgenommen.

Erhaltungsschema.

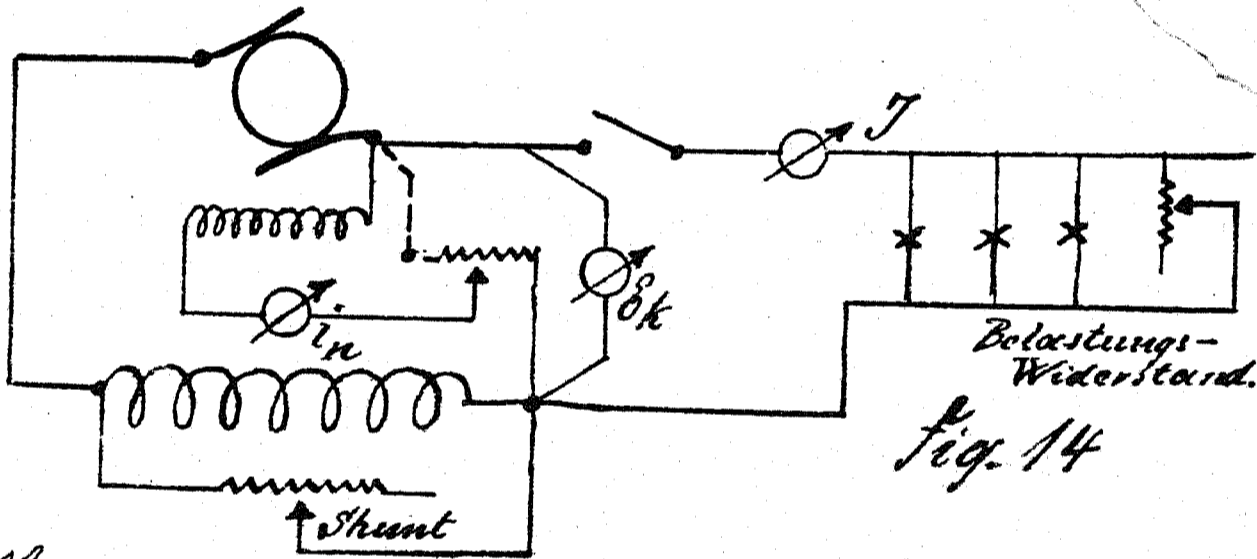


Fig. 14

Tabelle.

n	i_n	δ_k	J
Konstant.			

Graphische Darstellung.

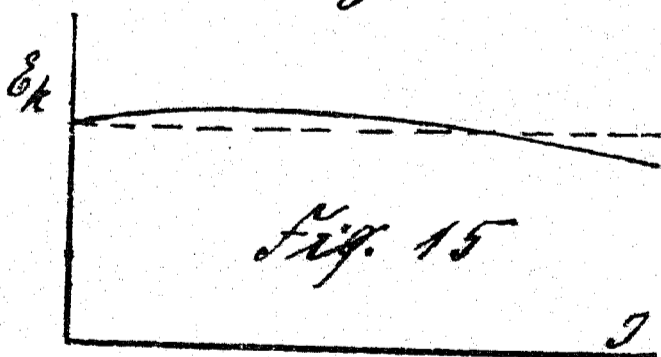


Fig. 15

Bemerkung.

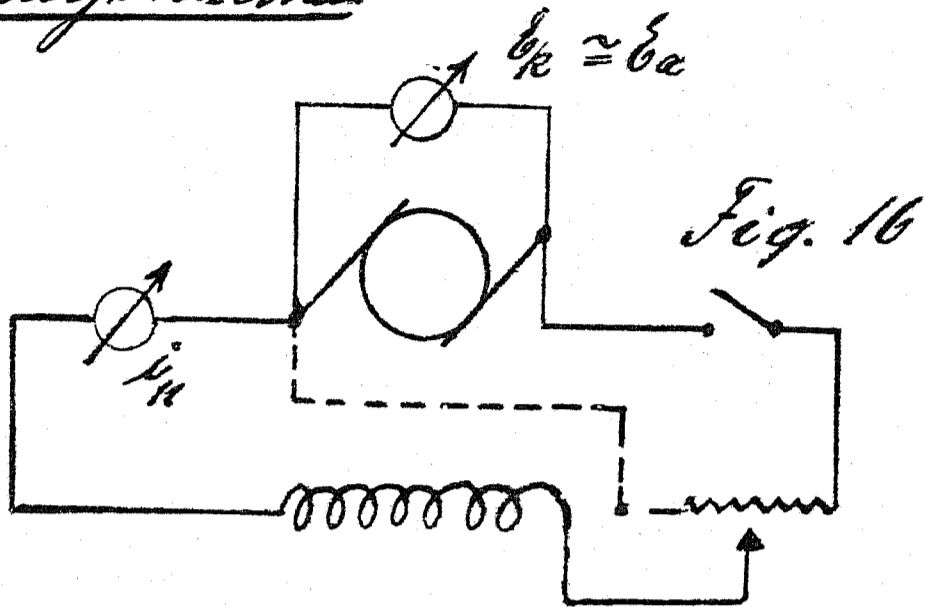
Da die Rückwirkung des Yukers abhängig ist von der Bürsteneinstellung, so müssen zunächst die Bürsten einjustiert und erst dann die Compensierung einreguliert werden.

Aufgabe 6.

Abhängigkeit der EMK bei Leerlauf und bei Belastung, von der Tourenzahl.

Da $\mathcal{E}_a = \frac{p}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot N \cdot \Phi \cdot 10^{-8}$ const. in Φ , so wird bei Leerlauf die Abhängigkeit der EMK von der Tourenzahl bei fremderregter Maschine, abgesehen von dem Einfluss von Wirbelströmen, einen geradlinigen Verlauf haben. Anders ist es bei selbstregter Maschine, da hierbei zugleichzeitlich die, an den Klammern des Erkers angeschlossene Erregung sich mit dieser EMK ändert. Aus den Figuren (Op.-M.v. Arnold Bd. I S. 441. Fig. 350 und 351) welche diese Kurve, konstruiert aus der Leerlaufcharakteristik, vorstellen, ersieht man; dass die Kurve in der Nähe der normalen Spannung und Tourenzahl einen angenähert geradlinigen Verlauf hat, und dass die Linie bei niedrigeren Touren resp. Spannungen durch Abnahme der Permeabilität des Eisens, von dieser abbiegt, sodass die Spannung dadurch schneller wie die Touren fällt, um schließlich durch die Wirkung des remanenten Magnetismus wieder nach dem Ursprung umzubiegen. Wäre Remanenz im Eisen nicht vorhanden so würde die Kurve die Abscissenachse schneiden; der Schnittpunkt wird der tote Punkt der Maschine genannt. Bei niedrigen Touren reicht die induzierte EMK nicht mehr aus zur Erzeugung eines Stromes welcher die Induktion im Eisen erhöhen könnte.

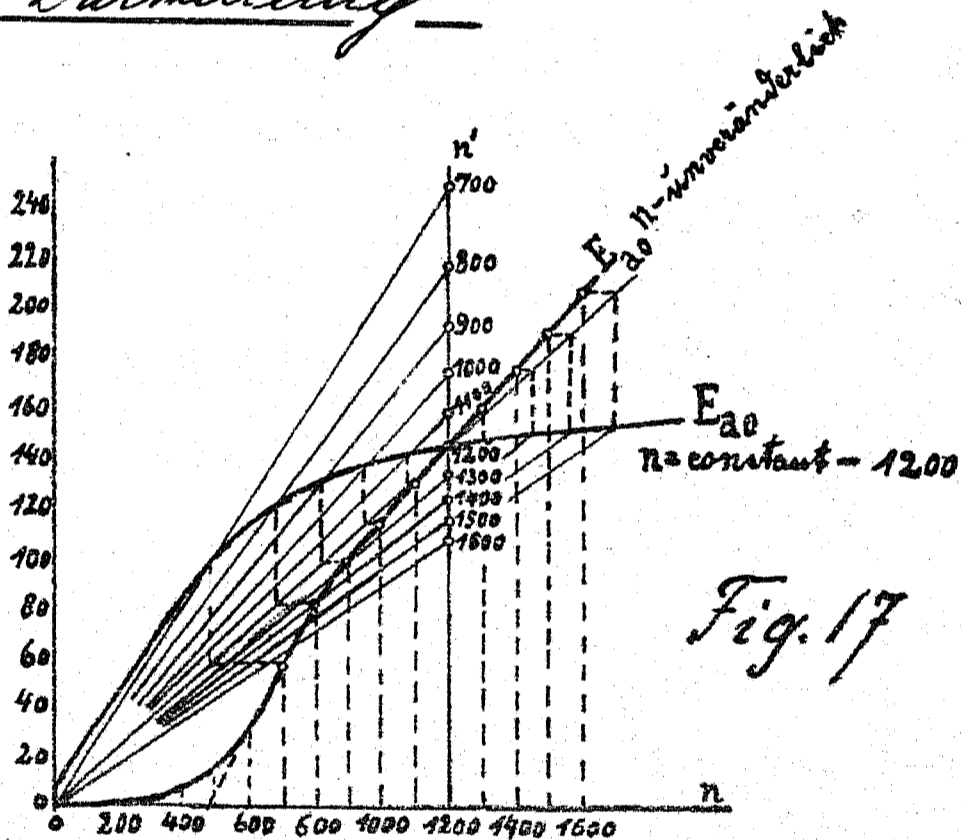
Leistungsberechnung



Tabelle

n	E_k	i_n

Graphische Darstellung



Bemerkung.

Lässt man die Maschine zugleichzeit auf einem konstanten äußeren Widerstand arbeiten, so liegt die Kurve tiefer und wird sie weniger steil verlaufen wegen des bei höherer Spannung auftretenden größeren Stromes und demzufolge vergrößerten Wirkung des Spannungsabfalls und Ankerreaktion.

Aufgabe 7.

Aufnahme von Feldkurven.

(Arnold, Gl.-M. Bd. I S. 86; Bd. II S. 466)

A. Bei Leerlauf.

Die Feldverteilung am Läuferumfang kann experimentell in der Weise konstruiert werden, daß man die in einer Spule induzierte EMK an verschiedenen Stellen des Läufers mißt. Bei konstanter Geschwindigkeit ist die Feldstärke an der betreffenden Stelle der gemessenen EMK proportional.

Aufnahme von Feldkurven mit zwei beweglichen Hilfsbürsten.

Die zwischen den Enden einer Formatorspule auftretende Spannung kann in beliebiger Lage der Spule durch zwei entlang des Kollektors verschiebbare Bürsten B (Fig. 19) gemessen werden.

Die Hilfsbürsten sollen nun immer in einer solchen Entfernung von einander eingestellt werden, daß sie die auflaufenden Kanten derjenigen Lamellen berühren, die mit Anfang und Ende einer Spule verbunden sind, d. h. die um den Kollektorschritt auseinander liegen Fig. 17^a

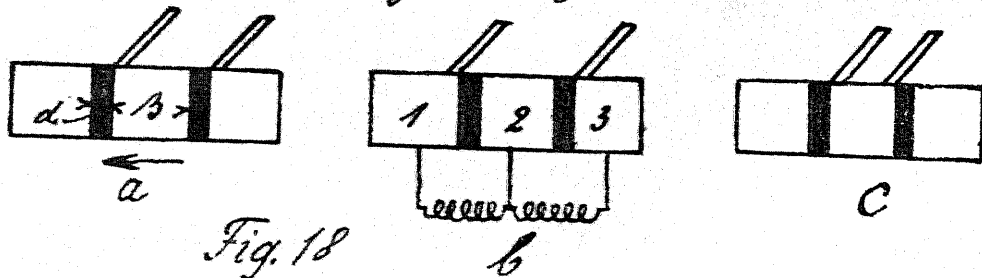


Fig. 18

Zu beachten ist, daß die Bürsten nicht zu weit auseinander stehen, da sonst zeitweise

Die Summe der Spannungen von zwei Stellen an die Bürsten zu liegen kommt, wie z. B. in Stellung Fig. 18^e.

Der Voltmeterstromkreis wird jedesmal unterbrochen, sobald die Bürsten die Isolation berühren; bei richtiger Einstellung dauert die Unterbrechung $\frac{d}{v}$ der Zeit während welcher der Kollektor um $\frac{1}{2}d$ seiner Kollektorteilung zurücklegt. Stehen die Bürsten zu eng beieinander, so wird die Zeit noch vergrößert und der Voltmeter zeigt eine zu kleine Spannung an, oder schwankt. Fig. 18^e.

Die Bürsten werden regelmäßig vorwärts geschoben und ihre Stellung an einer Scala abgelesen.

Damit der Motor stromlos ist, empfiehlt es sich die Kerne bei Leerlauf, mit Fremderregung aufzunehmen.

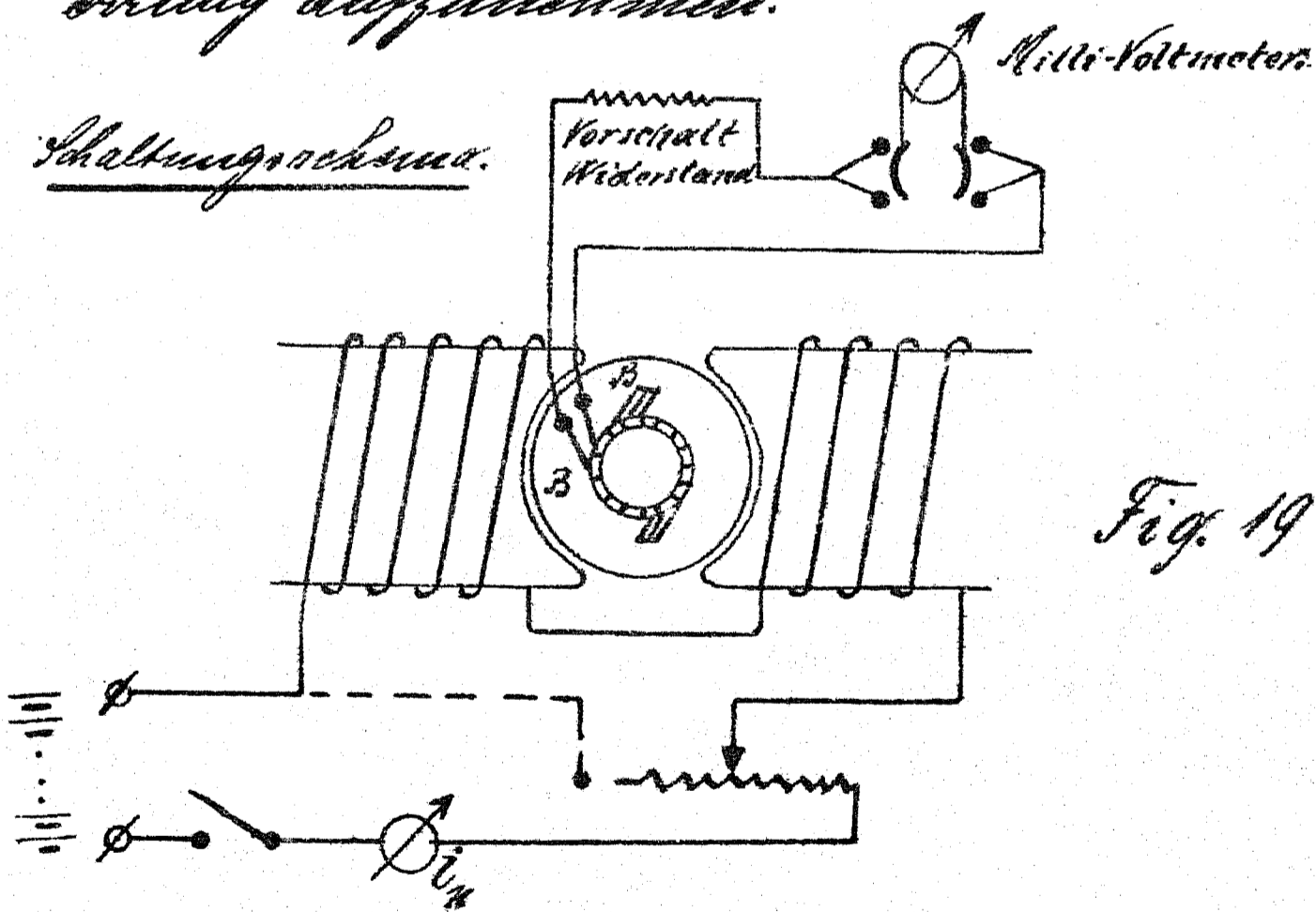


Tabelle.

Stellung d. Bürsten	Ablesung am Voltmeter	i_n	v
		konstant.	konstant.

Graphische Darstellung.

Diese Kurve wird zusammen, mit der Ankerfeldkurve und der bei Belastung aufgenommenen, gezeichnet. Fig. 19. ¹⁰ Stromwert

B. Bei Belastung.

Die Aufnahme geschieht auf gleiche Weise wie bei Leerlauf. Da aber der Anker nicht mehr stromlos ist, so ist die in einer Lage gemessene Spannung, abgesehen von dem Einfluss der regelmäßigen Ueberbrechungen, noch um den Spannungsabfall in der Spule von der induzierten \mathcal{E}_k verschieden.

Je nachdem Strom und induzierte \mathcal{E}_k gleiche oder entgegengesetzte Richtung haben, müsste zu der gemessenen Spannung der Spannungsabfall addiert oder davon subtrahiert werden, um die induzierte \mathcal{E}_k zu erhalten.

Deswegen wäre die Aufnahme mittelst einer aufgebrauchten Hilfspule besser. Die Maschine kann sich jetzt wieder selbst erregen.

Von einem richtigen Vergleich zu bekommen soll auf gleichen Erregerstrom und Powerzahl eingereguliert werden.

Weiter soll darauf geachtet werden, dass die Entfernung zwischen den Hilfsbürtzen sich nicht geändert hat.

Schaltungszeichnung.

Fig. 20

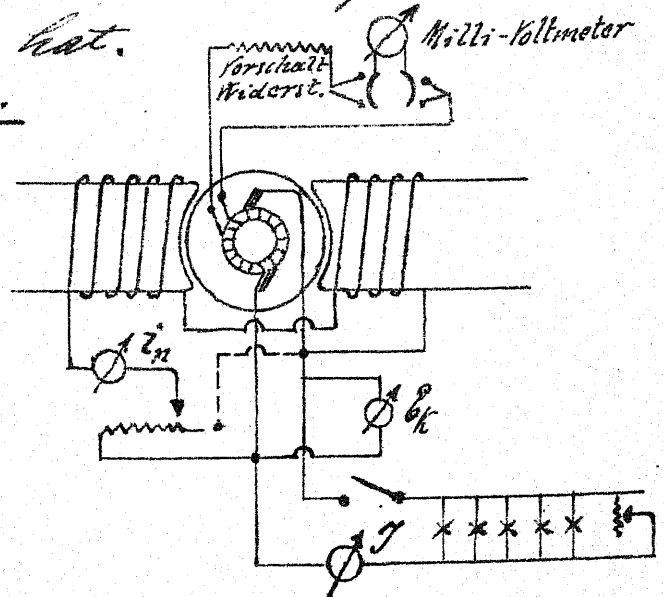


Tabelle.

Stellung der Bürsten	Ablenkung am Vorkammer	i_n	u
		Konstant wie bei A	Konstant wie bei A

Graphische Darstellung.

Die Kurve wird zusammen mit der des Ankerfeldes und der bei Leerlauf aufgenommenen, gezeichnet. (Fig. 22. Kurve B.)

Aufgabe 1.

Feldkurve für das Ankerfeld.

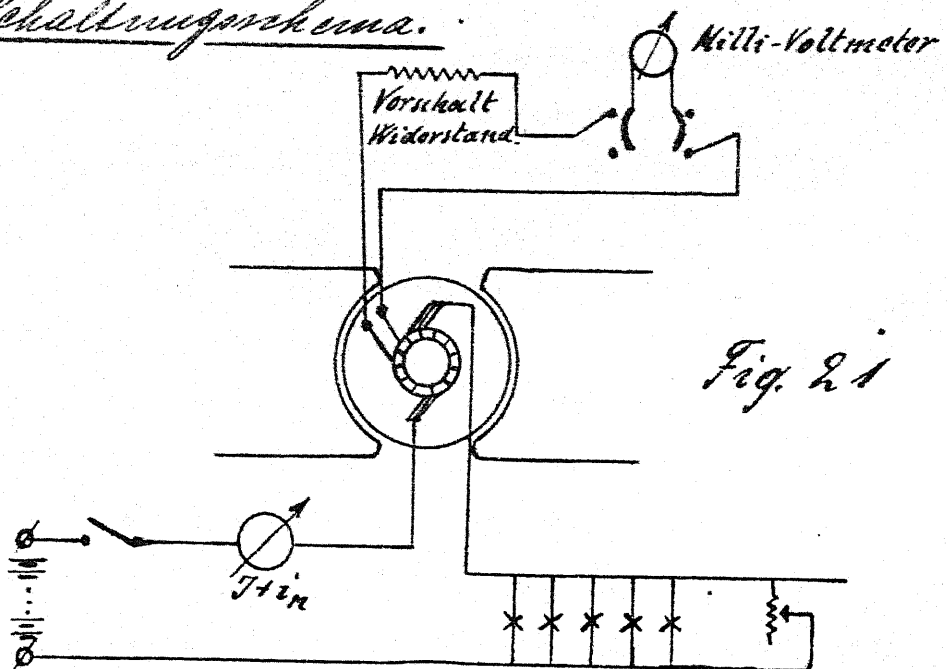
(Gl.-M. Arnold Bd. I 4. 242, Bd. II 470)

Das von dem Anker-*trampere*minungen allein erzeugte Feld wird experimentell gefunden. (Fig. 22. Kurve C) indem man bei unregelmäßig und mechanisch angetriebenem *Handlapp* einen Strom in den Anker schickt, welcher im gleichen Sinne verläuft, wie bei der Aufnahme der Belastungskurve. Da die *Drumaturspulen* in dem vom Ankerstrom erzeugten und im Raum stillstehenden Felde rotieren, so kann die in ihnen induzierte *EMK*, welche proportional der Feldstärke an der betreffenden Stelle ist, durch die Potentialdifferenz zwischen zwei benachbarten *Extr.* von *a* aneinander liegenden Kamellen in Abhängigkeit vom Kollektorumfang ermittelt werden.

Der einzuleitende Strom ist, wenn die Auf-
nahme der Belastungskurve bei Selbst-
regung genau gleich $I + i_n$ zu nehmen.
Auch hier müßte wieder eine Korrektur
angebracht werden, wegen des Spannungs-
abfalles in der Spule. Ein weiterer Fehler
rührt von remanenten Magnetismus her.

Die algebraische Zusammenstellung der
Feldkurve für Leerlauf mit der für das
Läuferfeld, gibt höhere Werte als wieder
für Belastung aufgenommene Feld
aufweist. Die Ursache liegt darin, daß
sich erstens nicht die Felder zusammen-
setzen, sondern, daß das resultierende
Feld der Summe der Ampère-Hindnungen
entspricht und zweitens, daß von dem
remanenten Magnetismus noch eine
kleine $\mathcal{G}M K$ in der Armatur induziert
wird. Letzteren Einfluß kann man
durch die Aufnahme des remanenten
Feldes, bei unregelter und stromloser
Maschine eliminieren.

Schaltungschema.



Graphische Darstellung.

Zusammensetzung von Leerlauf- und

Anker-Feldkurven

$E = 110 \text{ Volt}$ $H = 45 \text{ At}$ $i_m = 37 \text{ Amp}$ $J = 45 \text{ Amp}$

$J = 0$

Fig. 22

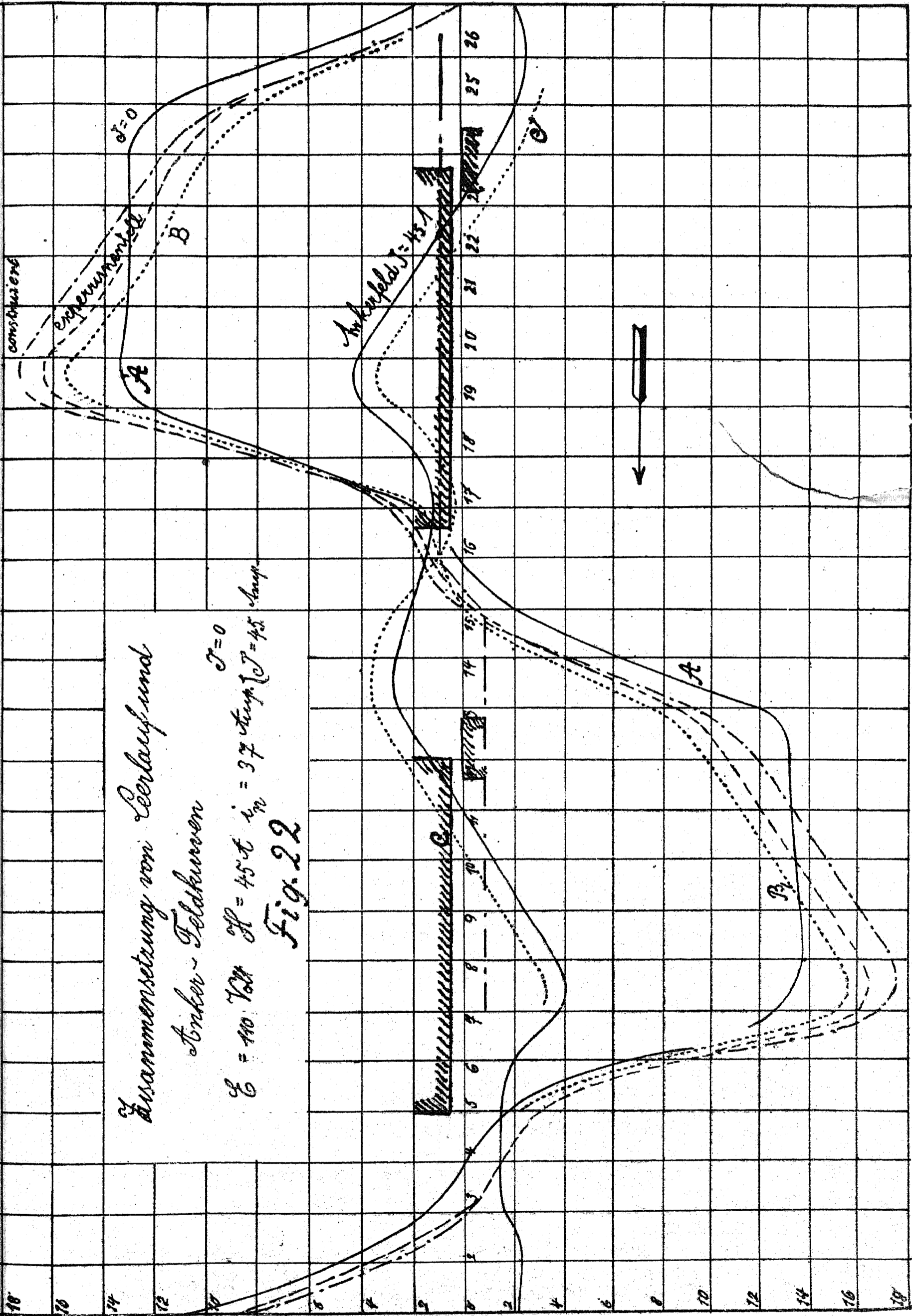


Tabelle.

Stellung d. Bürsten	Abbaueigenschaft Vollmotor	$I + i_n$	u
		Konstant	Konstant

Bemerkung.

In der graphischen Darstellung sind die Stellen
wo sich die Bürsten, sowie die Pole befinden,
genau anzugeben.

Aufgabe 9.

Potentialkurve des Kollektors.

(Arnold. Gl.-M. Bd. I S. 88, Bd. II S. 474)

Beobachtet man die Spannungsdifferenz
zwischen einer Hauptbürste und einer ent-
lang des Kollektorumfanges verschieb-
baren Prüfbürste, so erhält man, wenn
wieder die gemessene Potentialdifferenz
als Funktion des Kollektorumfanges auf-
getragen werden, die Potentialkurve.
Dieselben geben ein Bild von dem Zusam-
menwirken der einzelnen Wicklungselemen-
te. Die Potentialkurve steigt von Null,
an der Bürste, von welcher ausgegangen wird,
bis zu einem Maximum an der folgenden Bürste
entgegengesetzter Polarität, d. h. wenn die Bürsten
in der neutralen Zone stehen.

Bei belasteter Maschine wird infolge
des Ohm'schen Widerstandes und der
 i_n , die der Statorrückwirkung entspricht,
eine Potentialkurve des Kollektors

in der Drehrichtung bezw. entgegen der-
selben vorzuehen, je nachdem die Maschine
als Generator oder Motor läuft.
Schaltungsschema.

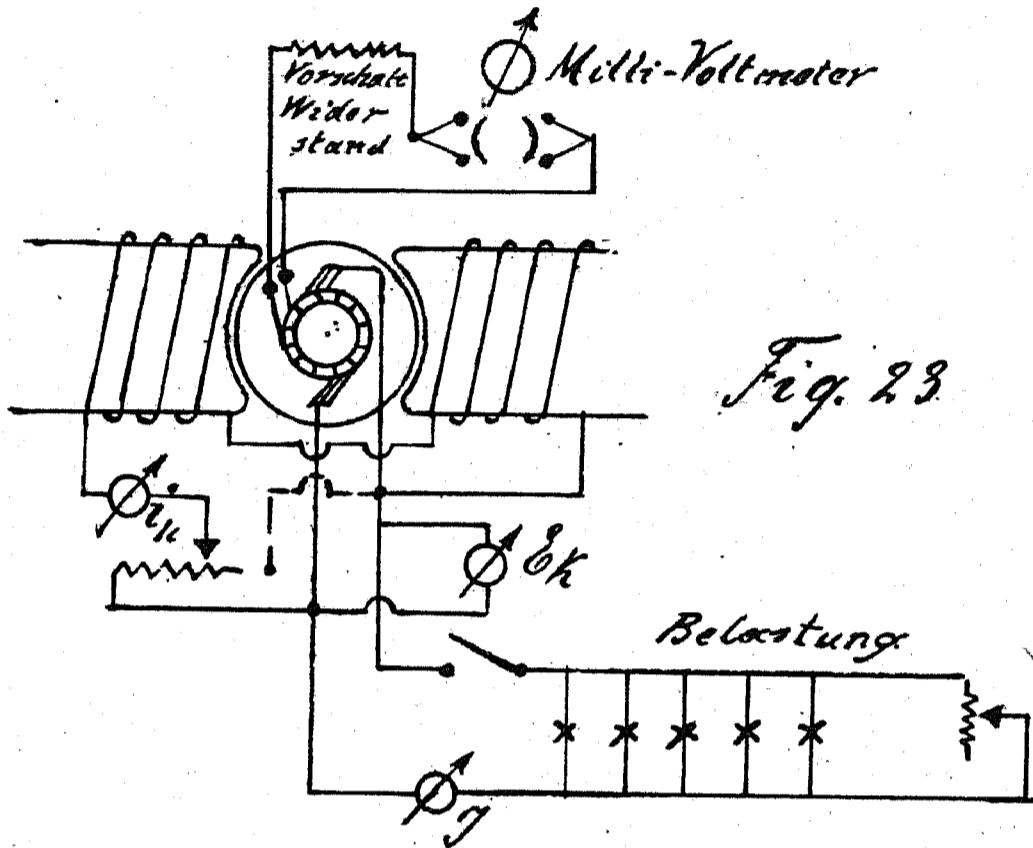
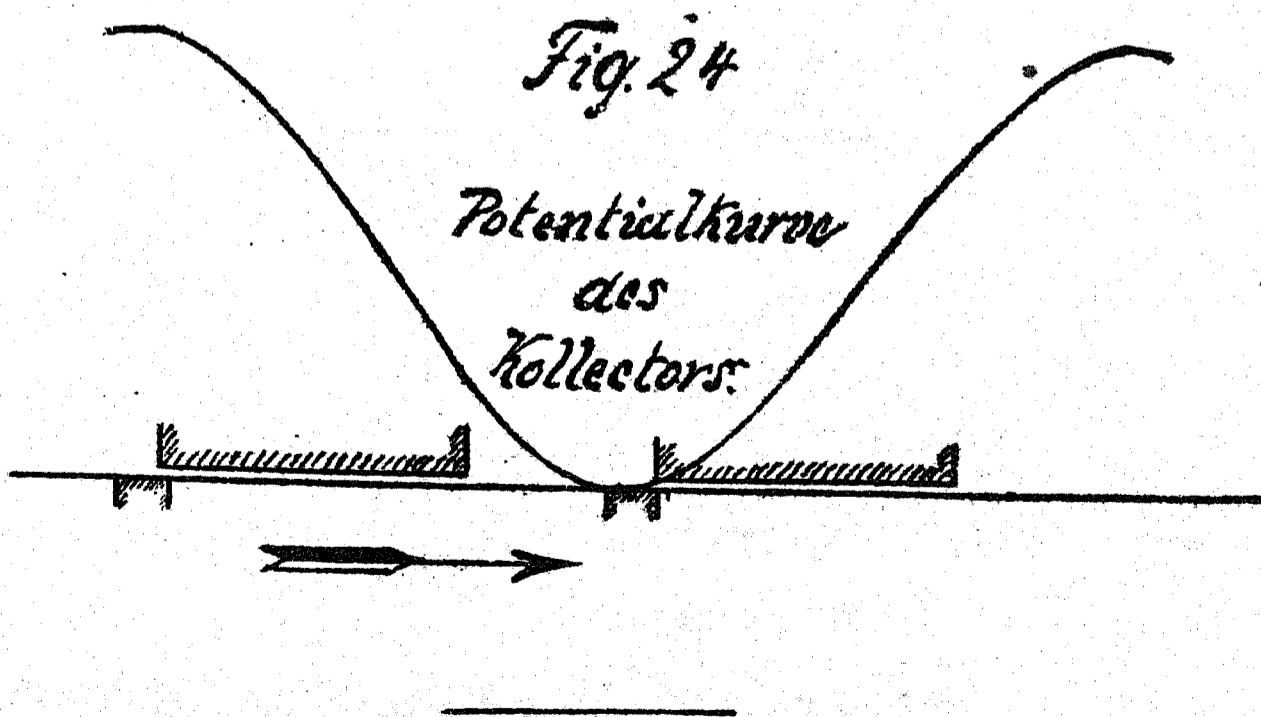


Fig. 23

Tabelle.

Stellung der Hilfsbürste	Abgelesene Werte aus Voltmeter	L_{ca}	J	ϕ_k	v
		konstant			

Graphische Darstellung



Aufgabe 10.

Bestimmung der Rückwirkung durch
Regulierung auf konstante induzierte EMK.
Arnoldt Gl.-M. Bd. I. S. 139

Ein Maß für die Rückwirkung, ausgedrückt durch die Erreger - Kupferwindungen, erhält man, wenn man bei verschiedenen Belastungen auf konstante induzierte EMK reguliert, man bildet also für jeden Strom des Produkts $I_a R_g$ und hieraus

$$E_k - E_a - I_a R_g$$

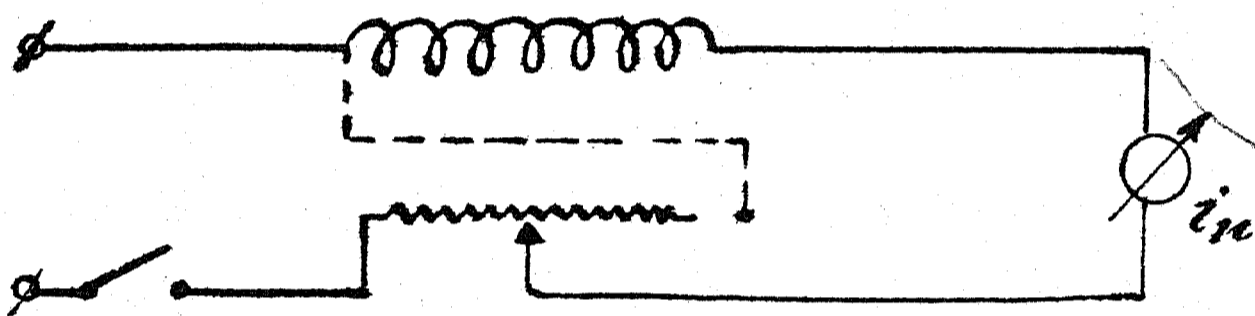
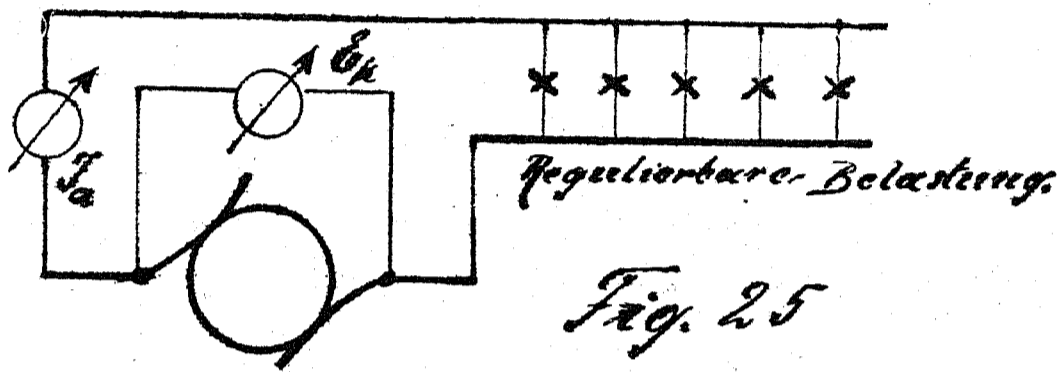
den Quotienten wird nun eine Tabelle gemacht, wobei in der 2. Rubrik für R_g die aus einer besonderen Messung gesammelten Werte bei den betreffenden Strömen eingeführt werden.

I_a	$I_a R_g$	E_a	$E_k - E_a - I_a R_g$
5			
10			
15			
⋮			

Hierauf wird die Maschine belastet und so einreguliert, daß bei einem bestimmten Werte des Ankerstromes die Klammervoltage den dazu gehörigen Wert hat. Der Erregerstrom wird bei steigender Belastung wachsen und diese Zunahme dient nun zur Compensation der Rückwirkung. Wegen der Streuung ist dies aber nicht ganz genau in Wirklichkeit möglich die Kurve etwas flacher verlaufen.

Zwischen Ankerstrom und der zur Regulierung

auf konstante Luftke nötigen Erregung be-
steht keine Proportionalität; die Ursache
liegt in der Inkonsistenz der Permeabilität
und der erhöhten Streuung bei großen
Sättigungen.
Schaltungsdiagramm.

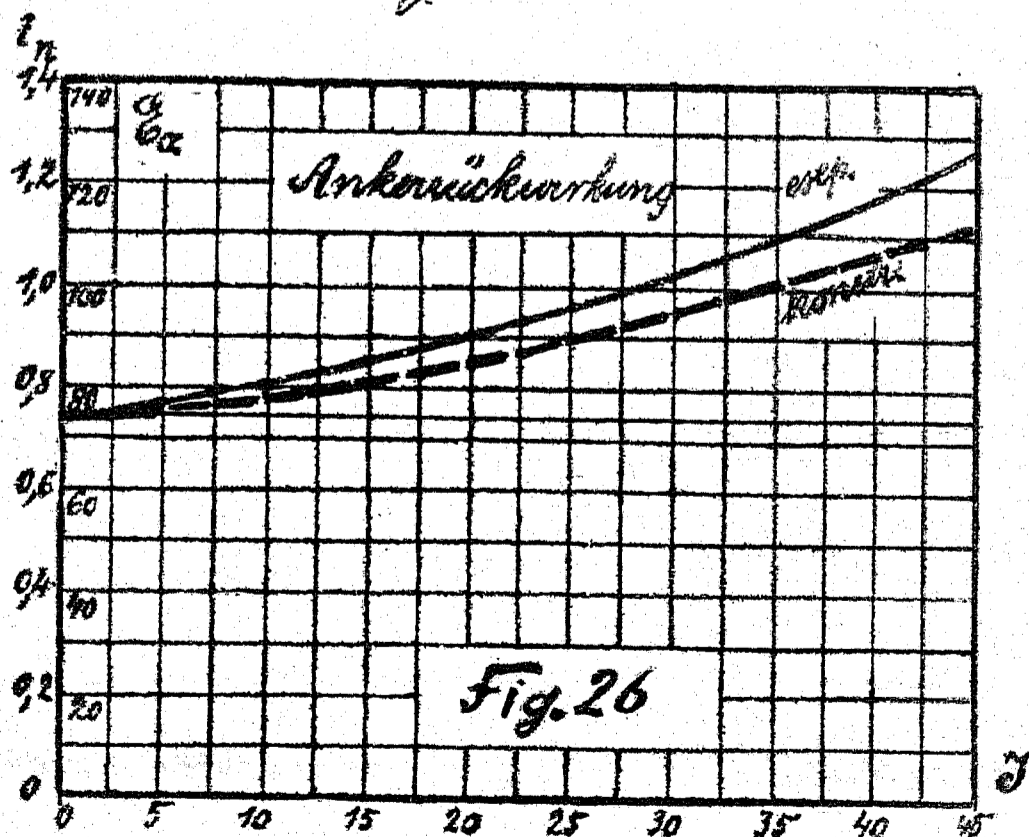


Tabelle

Zur Vierstandsmessung.

H_a	$E =$ Spannung an den Flüssen	$L_g = \frac{E}{I_a}$	u	E_a	$E_k - E_a - I_a L_g$	I_a	i_u
I_{a1}			konstant	konstant		I_{a1}	
I_{a2}						I_{a2}	
I_{a3}						I_{a3}	

Graphische Darstellung.



Bemerkung.

Die Kurve für die Vorkerrückwirkung kann man auch aus einer Reihe von Belastungscharakteristiken abgreifen, indem man die Werte der Erregung aufsucht, welche bei den verschiedenen Belastungen gleicher ξ_a entsprechen (punktirte Kurve in Fig 16)

Aufgabe 11.

Untersuchung der Temperaturerhöhung.

Sehr wesentlich für die Beurteilung einer Maschine ist die Erwärmung bei normaler Dauerbelastung.

Im Allgemeinen ist, bei kleineren Maschinen eine Betriebsdauer von 4-5 Stunden hinreichend um stationäre Temperaturverhältnisse herzustellen.

Die Temperaturmessung geschieht entweder mit Thermometer oder durch Rechnung aus dem zunehmenden Widerstand.

$$R_t = R_{Luft} (1 + \alpha t)$$

$$t = \frac{1}{\alpha} \frac{R_t - R_{Luft}}{R_{Luft}}$$

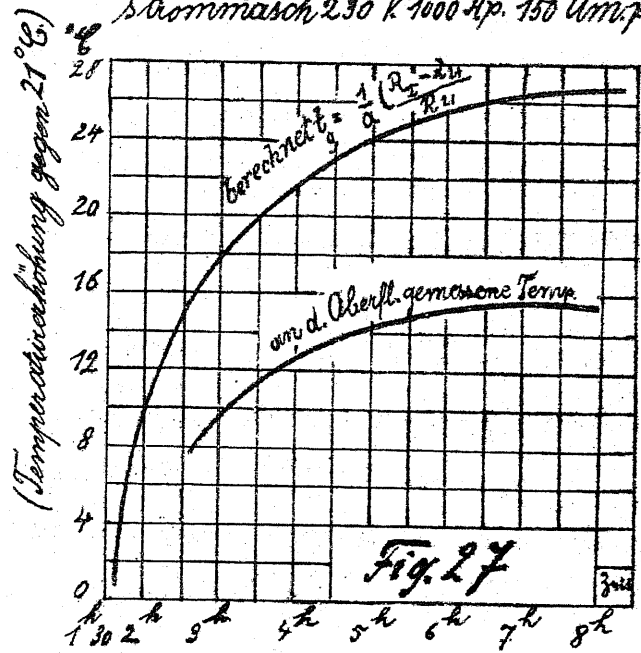
da für Kupfer $\alpha = 0,004$ eingerechnet werden kann, so giebt

1% Widerstandszunahme = 2 1/2° C Temperaturerhöhung.

Die Thermometerangaben beziehen sich auf die Oberfläche, sind also geringer,

Graphische Darstellung

Belastungsprobe einer 240 H. V. Gleichstrommaschine 230 V 1000 Hp. 150 U/min p. H.



Aufgabe 15.

Motorschaltungen.

(Arnold, Gl.-M. Bd. II IX, XX u. XXI Kapitel S. 425 u. f.)

Die Kraft, welche ein homogenes Feld von der Intensität H auf einen von Strom i durchflossenen Leiter, von der Länge l aus übt, welcher den Winkel φ mit der Kraftlinienrichtung einschließt, ist

$$P = B \cdot l \cdot i \cdot \sin \varphi$$

Diese Kraft wird also um so größer, je größer B und i sind.

Kommt der Leiter aus infolge dieser Kraft in Bewegung, so wird in demselben eine EMK induziert, entgegengesetzt der aufgedrückten Spannung, welche den Strom i hervorrief. Diese EMK ist

$$e = B \cdot l \cdot \sin \varphi \cdot v$$

wobei v die Geschwindigkeit anzeigt.

Die sekundliche Leistung der Kraft P wird somit:

$$a = P \cdot v = e \cdot i$$

d. h. die in mechanische Energie umgesetzte elektrische Energie ist gleich der eingeleiteten Stromstärke mal induzierter EMK.

Ist R der Widerstand des Leiters, so ist die in ihm durch Stromwärme verbrauchte Energie $i^2 R$. Es besteht somit die Energiegleichung: $\mathcal{E}_k \cdot i = e i + i^2 R$.

Hieraus folgt:

$$\mathcal{E}_k = e + i R$$

Um also einem Motor beim Startlaufen ein genügend starkes Drehmoment zu geben, soll die Schaltung derart ausgeführt werden, daß das magnetische Feld stark (B groß) ist. Da am Anfang die Gegen EMK Null oder nur sehr geringe Werte hat, so muß, um bei konstanter ω_p keinen unzulässig großen Strom i zu erhalten, vor dem Läufer ein Widerstand geschaltet, R also vergrößert, werden. Beim allmählich auf Touren kommen wächst e , so daß R verringert werden kann.

Beim Wechselstrommotor muß daher der Läufer so eingerichtet sein, daß die Wechselstromwicklung, vor oder neigstens gleichzeitig mit dem Läufer Strom und zwar ohne Abrosselung erhält.

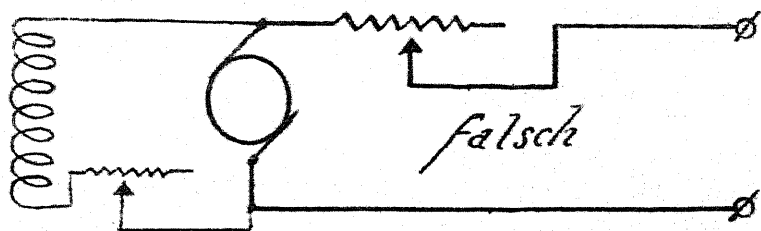


Fig. 28

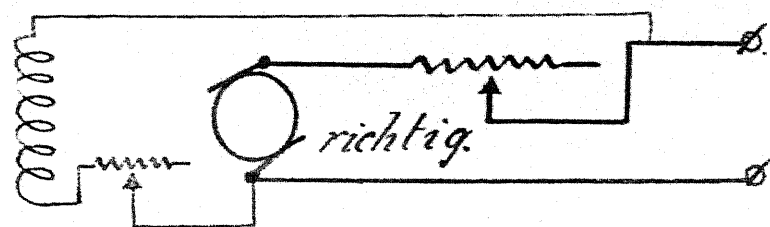


Fig. 29

Die Schaltung wie z. B. Fig. 28 wäre falsch, weil hierbei so der größte Teil der Spannung im Läufer verzehrt wird und somit die Magnete nahezu unerreget bleiben. Daher muß der Durchfluß der Magnete vor dem Läufer gelegt werden, wie in Fig. 29. Ein zweiter Punkt, welcher besonders bemerkenswert ist, ist die Anordnung der Schaltung mit Rücksicht auf das Durchschalten

der Erregerrwicklung.

Wird bei einer größeren Maschine mit vielen Feldwindungen diese plötzlich abgeschaltet, so daß der Strom in sehr kurzer Zeit von seiner normalen Stärke auf Null zurückgehen muß, so kann die entstehende hohe Selbstinduktionsspannung $\frac{L}{dt} \frac{di}{dt}$ ein Durchschlagen der Isolation verursachen.

Um dieser Gefahr zu begegnen, kann man verschiedene Wege einschlagen.

1. Beim Ausschalten der Felderregung zieht man einen Lichtbogen in welchem die Feldenergie verwickelt wird.

Bei einer praktischen Ausführung werden dazu Kohlentaktarme verwendet.

2.) Durch Vorschalten von Widerstand wird der Erregestrom erst stark vermindert, so daß beim Ausschalten die Energie im Feld keine beträchtlichen Werte mehr hat. Das darf aber erst geschehen, nachdem der Läuferstrom unterbrochen ist.

3. Eine dritte Methode beruht darauf, daß die Energie des verschwindenden Feldes in Stromwärme umgesetzt und zwar entweder in der Erregerrwicklung selbst in dem diese in sich geschlossen wird, oder es kann hierfür auch ein besonderer Stromkreis angewandt werden, wenn man z. B. unter dem Erregerpulver direkt auf dem Magnethorn eine Hülse aus Kupferblech anbringt oder eine etwa vorhandene Compensawicklung vor dem Abschalten der Nebenschlusswicklung in sich kurzschließt.

Einige Typen von Umläufem.

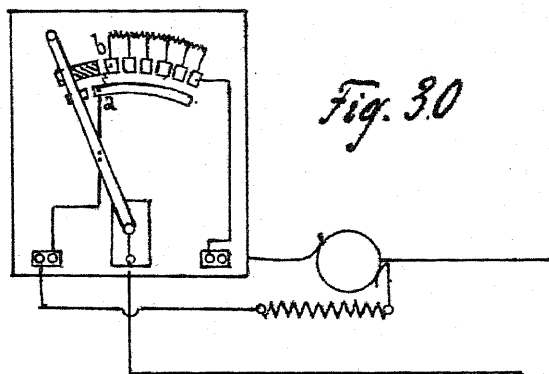


Fig. 30

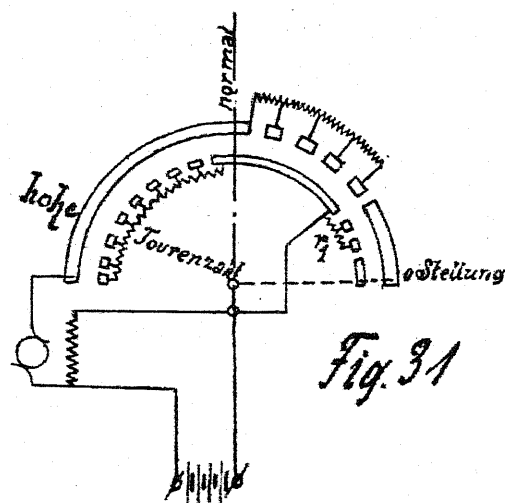


Fig. 31

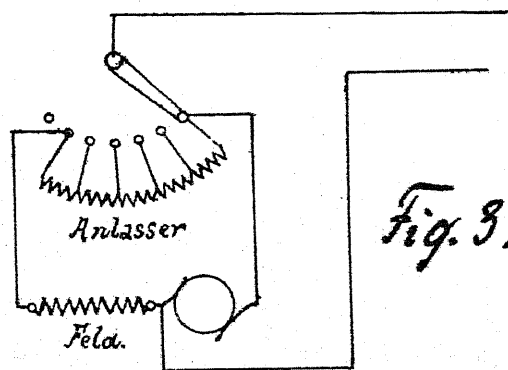


Fig. 32

Drehrichtung eines Motors.

Wenn an einem Nebenschlußmotor die Anschlußklemmen an der Stromquelle vertauscht, so wird der Strom umkehrt, so wie in den Magneten umgekehrt. Der Motor wird nun eine derartige Drehrichtung erhalten, daß die gegen $G \cdot H \cdot K$ gegen die aufgedrückte Klemmenspannung gerichtet ist. Die Klemmenspannung ist umgekehrt, folglich muß auch die gegen $G \cdot H \cdot K$ ihre Richtung umkehren, und dies wird, da auch das Feld umgekehrt ist, mit derselben Drehrichtung wie vorher geschehen.

Die Umkehr der Drehrichtung kann also nur erreicht werden durch Umkehren von Stromrichtung in den Spulen allein, oder durch Umkehren der Spannung im Anker.

Läuft ein Nebenschlussmotor leer, so ist die Gegen-EMK nur um den Betrag $\frac{1}{2} R_g$ kleiner wie die Klemmenspannung, wird nun der Motor in gleichem Sinne von außen angetrieben und zwar mit zunehmender Powerzahl, so steigt, weil der Anker sich in einem konstanten (von den Klemmen aus) erzeugten Feld bewegt, die Gegen-EMK. Sind diese beiden gleich, so ist der Ankerstrom = 0. Wird die Powerzahl noch mehr gesteigert, so wird die Gegen-EMK größer wie E_k und Strom fließt aus dem Anker heraus, weil, wie aus Fig 33 ersichtlich die Feldmagnete in demselben Sinne erzeugt bleiben.

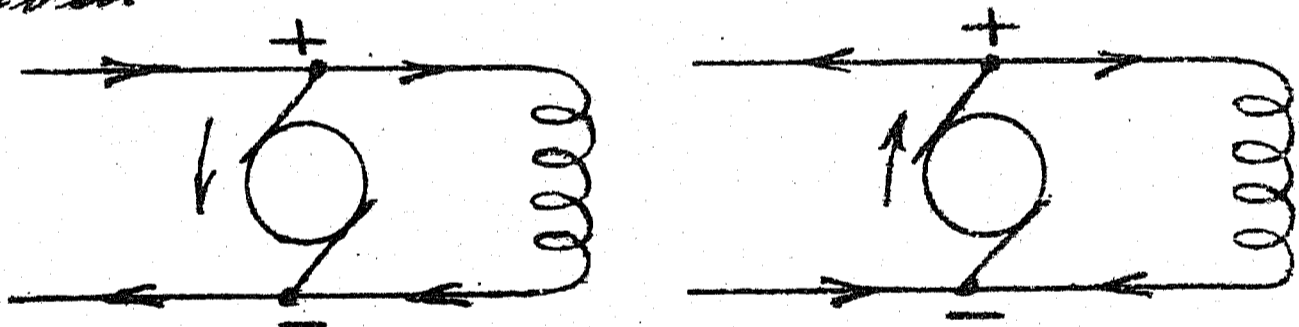
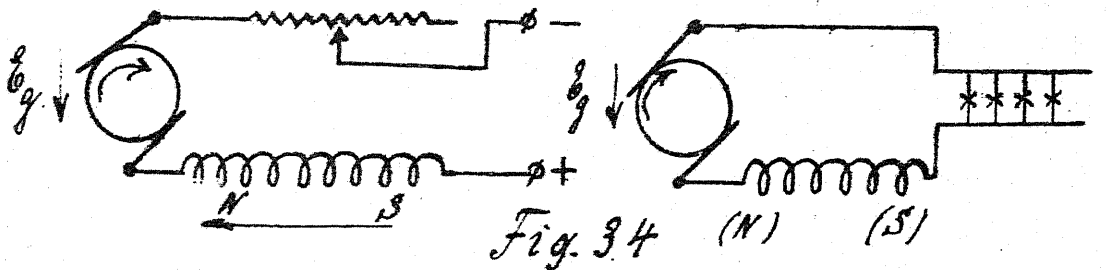


Fig. 33.

Bei der Hauptabflusmaschine ist dies anders. In Fig. 34 ist ein Hauptabflusmotor gezeichnet. Durch den aufgenommenen Strom sind die Magnete wie eingezzeichnet magnetisiert. Wird diese Maschine vom Netz los getrennt und durch einen Widerstand geschlossen angetrieben und zwar in derselben Drehrichtung wie zuvor, so wird die, durch den permanenten Magnetismus inducierte Spannung

den gleichen Sinn haben wie die Gegen-
EMK vorkommt. Der Strom welcher hierdurch
entsteht, hat aber entgegengesetzte Richtung,
erstmagnetisiert also die Magnete.

Somit kann die Hauptstrommaschine bei glei-
cher Drehrichtung nicht als Generator so-
wie als Motor laufen, sondern nur dann,
wenn die Klemmen am Läufer oder von den
Magneten vertauscht werden.



Die Reversir oder Henseauläufer einfacher
Konstruktion (Fig. 35) möge hier noch folgen. Die
Magnete werden durch den Apparat nicht umgekehrt,
nur am Läufer wird die Spannung vertauscht.

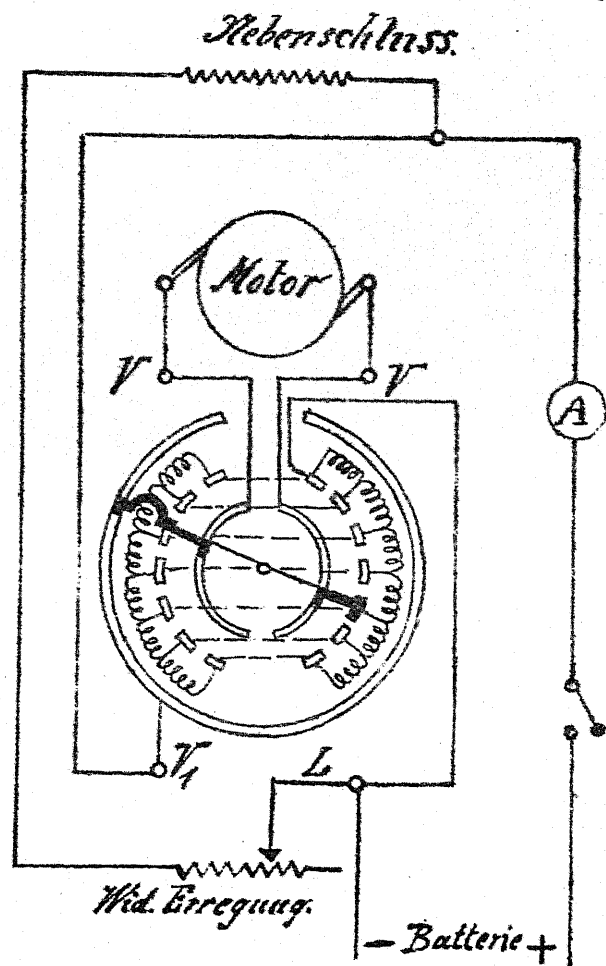


Fig. 35

Aufgabe 16.

Abhängigkeit der Powerzahl eines Nebenschleifmotors von Klammenspannung u. Erregstrom.

Läuft ein Nebenschleifmotor leer, so gilt:

$$S_k \approx S_a = \frac{P}{a} \cdot \frac{n}{60} \cdot \pi \cdot \phi \cdot 10^{-8} = \text{konst.} \cdot n \cdot \phi$$

so daß bei konstanter Klammenspannung die Powerzahl annähernd umgekehrt proportional dem Kraftfluß ist, d.h. bei geschwächtem Felde muß der Motor seine Powerzahl erhöhen, um die gleiche gegen elektromotorische Kraft zu erzeugen. Trägt man die Powerzahl in Abhängigkeit vom Erregstrom auf (Fig. 36) so ist bei $i_m = 0$, $n = a$ (abgelesen vom remanenten Magnetismus) denn fällt die Kurve steil und verläuft schließlich horizontal, sobald das Eisen gesättigt wird. Die Powerzahl ist also dann nicht mehr zu verringern durch stärkere Erregung oder durch Verminderung des magnetischen Widerstandes.

Eine weitere Regulierung der Power kann auch erfolgen, durch Verminderung der dem Motor aufgedrückten Klammenspannung, also durch Einschalten von Widerstand vor dem Motor; wieder bei die Erregung konstant gehalten, so ist $n = \text{konst.} \cdot \phi$, so daß die Kurve geradlinig verlaufen wird.

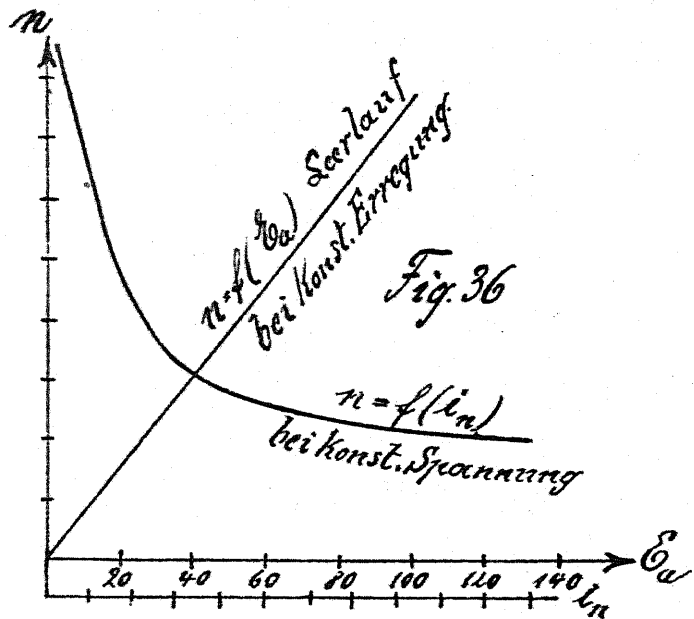
Schaltungschema.

Wie Figur 29 Seite 30.

Tabellen.

S_k	i_e	u	i_e	S_k	u
Konstant			Konstant		

Graphische Darstellung



Aufgabe 17.

Aufnahme der Feldkurven eines Motors bei Leerlauf und Belastung.

Da bei sonst gleichen Verhältnissen der Ankerstrom beim Motor entgegengesetzt gerichtet ist, wie beim Generator, so wird die Quermagnetisierung auch entgegengesetzte Richtung haben.

Wo also beim Generator die auflaufende Seite des Polfeldes geschwächt, die ablaufende gestärkt ist, so ist hier das umgekehrte der Fall.

Die Aufnahme der Kurven geschieht genau so wie bei Aufgabe 7, obwohl die Kurve bei Leerlauf und bei angetriebener Maschine richtig zu erhalten wäre, genügt eine Aufnahme bei leerlaufendem Motor um die Verzerrung zu erkennen.

Schaltungsschema:

Gewöhnliche Motorschaltung.

Tabelle.

Stellung der Bürsten	Ablesung an Voltmeter	i	u	γ_a
		Konstant	Konstant	bei Leistung mit Belastung Konstant

Graphische Darstellung.

Ähnlich wie Fig. 24.

Aufgabe 18.

Bestimmung des Drehmomentes eines Gleichstrom- Motors.

Das Drehmoment kann bestimmt werden, indem man auf die Nennrevolver eines Drehmoments so fest aufsetzt, daß sich die Feder in ihm nicht drehen kann. An das eine Hebelarm woran Gewichte gehängt, während man auf das andere den Zug einer Federwaage wirken läßt, die so einreguliert ist, daß der Dreharm in der horizontalen Lage bleibt, wenn die Maschine dreht und im Uhrer ein bestimmtes Drehmoment. Das Drehmoment ist dann gleich

$$D = R(P_1 + P_2) / \eta_{\text{gen}} \quad (\text{Fig. 37})$$

und die bei einem bestimmten Drehmoment und Ueberstrom am Nennrevolver.

Umfang verfügbare Kraft K ist:

$$K = \frac{R}{2} (P_1 + P_2) / kg.$$

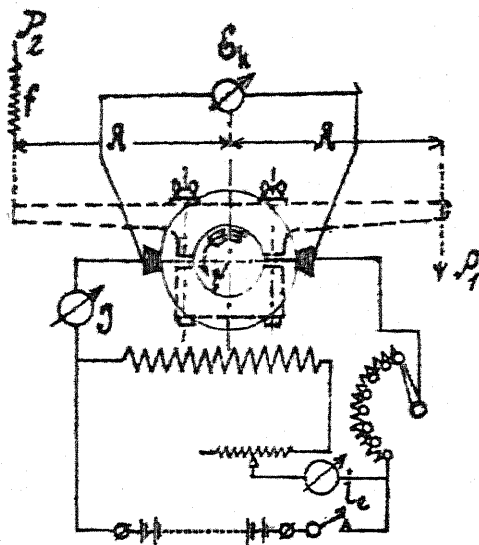


Fig. 37

Nun das hauptsächlich vom resultierenden Folge auf den Motor ausgeübte Moment D_1 zu messen, hat man den Einfluss der Lagerreibung zu eliminieren. Dies kann mit Hilfenahme der Zugspannung geschehen. Die Ausschläge

der Hebelarme des Bremszuges voran durch zwei Ausschlagbögen begrenzt, man hängt zunächst rechts so viel Gewichte P_1 auf, dass beim Einschalten des Stromes der Bremshebel gerade noch auf einem unteren Ausschlagbogen aufliegen bleibt. Nun spannt man die Feder der Waage solange an, bis sich der Bremshebel in die horizontale Lage bewegt. Dieser Einstellung entsprechen p_1 kg.

Nachdem man die Feder nun weiter ausspannt bis der Balken am oberen Polgen aufliegt und dann allmählich entspannt bis wieder die horizontale Lage erreicht ist, so woran dieser Einstellung folgt p_2 kg entsprechen.

Das auf den Motorumfang wirkende Drehmoment ist dann gleich

$$D_1 = R \left(P_1 + \frac{p_1 + p_2}{2} \right) / kgm.$$

Pri kleineren Motoren wird oft ein Hebelarm aus Eisen fest auf der Welle verschraubt

und lässt diesen direkt auf eine Nüchtern-
waage drücken. Um den Einfluss der Lager-
reibung zu beseitigen, hebt man das Eisen
mit der Hand & lässt es allmählich herun-
ter, dann drückt man es herunter und lässt
es von selbst steigen. Der Mittelwert dieser
Ablesungen, abzüglich der auf ähnliche Weise
gemessenen Druck des Hebelarmes selbst,
gibt multipliziert mit dem Hebelarm
das Moment.

Das Drehmoment der Maschine ist propor-
tional dem magnetischen Kraftfluss, her-
vorgehoben durch den Erregerstrom (i_u)
und den Ankerstrom (i_a). Der Proportio-
nalitätsfactor ist durch die Dimensionen
der Maschine gegeben.

$$D = c \cdot i_u \cdot i_a$$

Lässt man i_a konstant und variiert i_u , so
ergibt sich eine Kurve $D = f(i_u)$ welche
wie eine Magnetisierungskurve verläuft.
Hält man den Erregerstrom konstant und
variiert i_a so wird:

$$D = k \cdot i_a$$

Die Kurve weicht aber von der Geraden ab,
weil infolge Lückerrückwirkung Φ nicht
konstant ist.

Schaltungsschema.

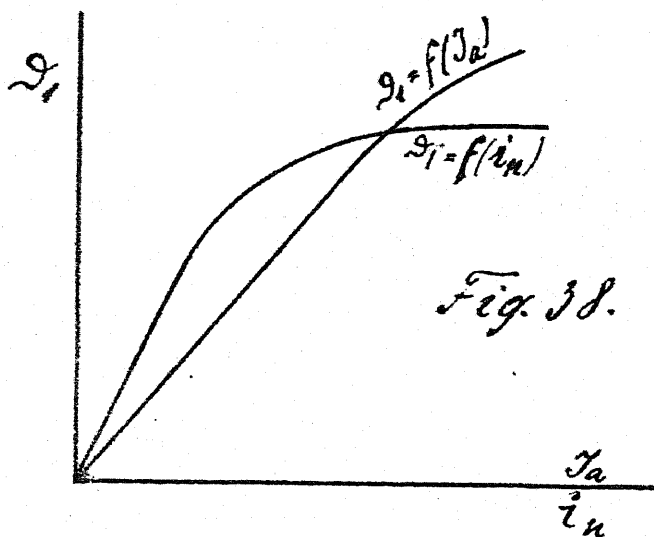
Siehe Figur. 37. Seite 38

Tabelle.

i_a	i_u	P_1	P_2'	P_2''	$P_1 + \frac{P_2' + P_2''}{2}$	D_1
konstant						

i_n	y_a	P_1	P_2'	P_2''	$P_1 + \frac{P_2' + P_2''}{2}$	g
Konstant						

Graphische Darstellung.



Aufgabe 19.

Bestimmung des Drehmomentes
eines Hauptstrom-Motors.

Die Bestimmung des Drehmomentes geschieht genau so wie in der vorigen Aufgabe, nur wird die Kurve welche die Abhängigkeit des Drehmomentes von der Stromstärke angibt, sein ausser Verlauf haben.

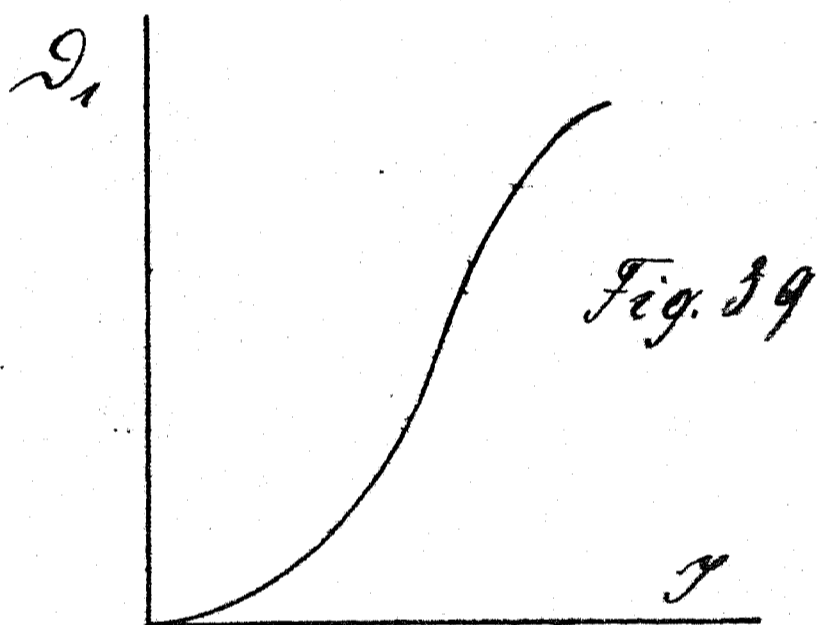
Da $D = c \cdot \phi \cdot y_a$ und beim Hauptstrom-Motor $\phi = f(i_n)$ und $y_a = y$ ist, so erhält man $D = f(y^2)$. Am Anfang, wo die Maschine noch nicht gerätigt ist, ist die

Kurve parabolisch, bei ansteigender Stromstärke wird durch Sättigung und Vergrößerung der Induktionwirkung die Kurve abweichen.

Tabelle.

γ	ρ_1	ρ_2'	ρ_2''	$\rho_1 + \frac{\rho_2' + \rho_2''}{2}$	\mathcal{D}_1

Graphische Darstellung.



Aufgabe 10.

Bestimmung des Umlagewinners
eines Compoundmotors.

Die Aufnahme der Kurve, welche die Abhängigkeit des Umlagewinners von Belastungsstromauslastung, wird auf gleiche Weise, wie in den beiden vorigen Aufgaben vorgenommen. Die Kurve wird durch die gemischte Bewegung steiler sein, wie bei reiner Nebenschluss-erregung.

Durch Aufnahme zweier Kurven, erster, ohne und zweiter mit Anwesenheit der Hauptstromwindungen, lässt sich der Einfluss dieser, deutlich erkennen.
Schaltungschema.

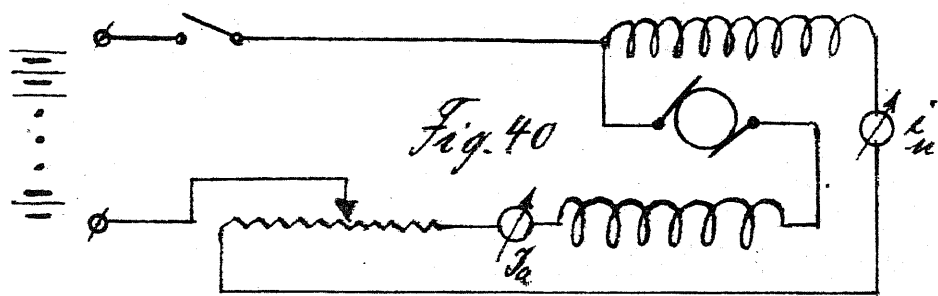
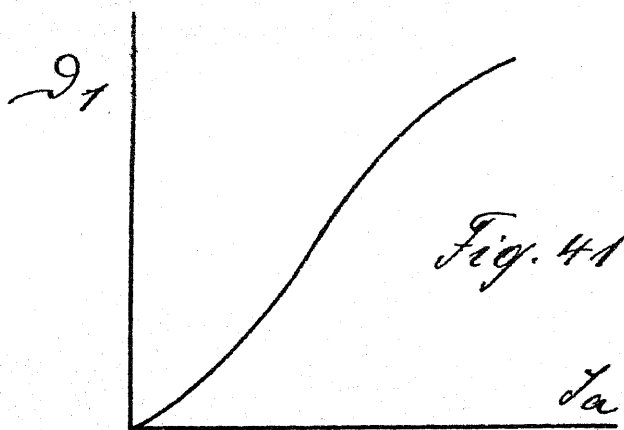


Tabelle.

i_u	i_a	P_1	P_2'	P_2''	$P_1 + \frac{P_2' + P_2''}{2}$	\mathcal{D}_1

Graphische Darstellung.



Aufgabe 21.

Belastungskurven eines Nebenschlußmotors.

(Arnold, Gl.-M. Bd. I S. 449 u. f.)

Um das Verhalten eines Nebenschlußmotors bei Belastung zu studieren, wird er durch Bremszahn oder geachteten Generator belastet und Leistung, Drehmoment, Läuferstrom und Wirkungsgrad in Abhängigkeit der abgegebenen Leistung aufgetragen.

Über Bremsung eines Motors siehe Aufg. 32 S. 65
Leistung.

bleibt die Klemmenspannung konstant, so wird die Leistung sich um wenig mit der Belastung ändern.

Es gelten die Formeln:

$$E_a = E_k - I \left(R_a + \frac{1}{a} R_u \right)$$

$$E_a = C \cdot n \cdot \phi$$

Da der Kraftfluss infolge der Läuferwirkung bei steigender Belastung sinkt, so muß die Leistung steigen, damit die gleiche Gegen EMK induziert wird, da aber andererseits infolge des Anwachsens des Spannungsabfalles $\left[I \left(R_a + \frac{1}{a} R_u \right) \right]$ die zu induzierende Gegenspannung kleiner wird, so hängt die auftretende Leistung in der Leistung nur davon ab, welche dieser beiden entgegengesetzten Wirkungen überwiegt.

Je nachdem, der Ohm'sche Spannungsabfall oder die Läuferwirkung vorherrscht fällt oder steigt die Leistung mit zunehmender

Belastung sind sie gleich, so bleibt die Tourenzahl konstant.

Ackerstrom.

(Arnold Gl.-M. Bd. I 4. 450)

Da die vom Motor abgegebene Leistung $= (I_a - I_{a0}) E_a$ ist, wo I_{a0} den Leerlaufstrom bedeutet, so würde bei konstanter U. W. $E_a (I_a - I_{a0})$ proportional der Leistung sein. Da aber die induzierte EMK infolge des Ohm'schen Spannungsverlustes $I_a (R_a + \frac{1}{2} R_u)$ sinkt, so muß der Strom immer rascher zunehmen.

Drehmoment.

Leistung = Drehmoment \times Winkelgeschwindigkeit.

Die Abhängigkeit des Drehmoments von der abgegebenen Leistung wird also durch die Tourenzahländerung bedingt. Je nachdem die Tourenzahl des Motors mit zunehmender Leistung fällt, konstant bleibt oder steigt, nimmt das Drehmoment schneller, proportional oder langsamer als die abgegebene Leistung zu.

Wirkungsgrad.

Der Wirkungsgrad = $\frac{\text{abgegebene Leistung}}{\text{zugeführte Leistung}}$

in Abhängigkeit von der abgegebene Leistung wird zu einem Maximum ansteigen und dann wieder fallen.

Tabelle.

E_k	i_u	I_a	n	P_1	P_2'	P_2''	$P_1 + \frac{P_2' + P_2''}{2}$	Leistung in P.S. = $\frac{P \cdot L \cdot n}{7162}$	$\eta =$ Leistung: Watt $\frac{P \cdot L}{E_k (I_a + i_u)}$	Dreh- Moment $P \cdot L$
Konstant	Konstant									

*L. Hebler
ab Brauns-
nummer 10.*

Graphische Darstellung

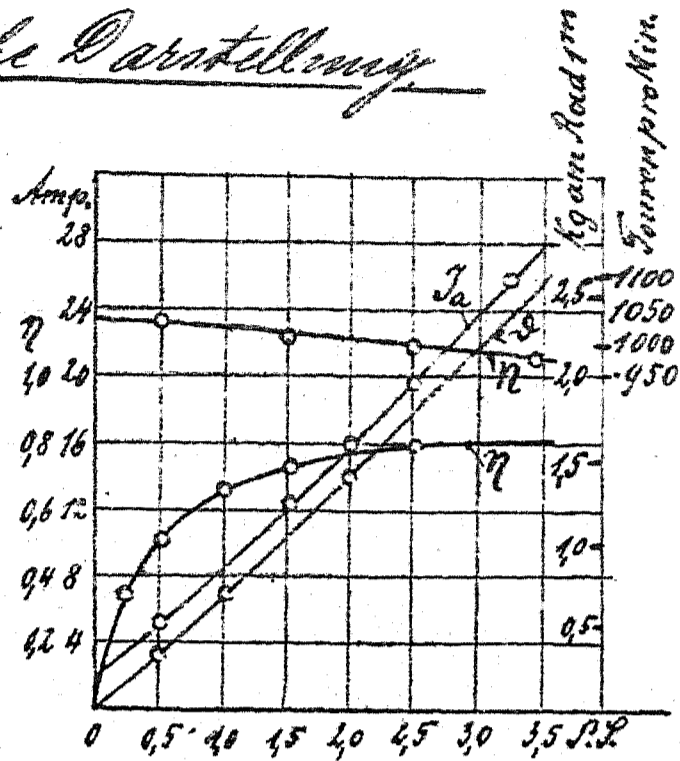


Fig. 42.

Bemerkung.

Obige Kurven, welche bei konstanter Nennspannung ohne Nachregulierung der Polanzahl aufgenommen wurden, können auch aufgenommen werden, indem man die Polanzahl konstant hält und wiederum Aukerstrom, Drehmoment, Wirkungsgrad und noch Erregerstrom in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung aufträgt.

Aufgabe 2h.

Belastungskurven eines Hauptstrom-

Motor, und äußere Motor-Charakteristik.

(Sonderl. Gl.-M. Bd. I 9. 451; Bd. II. 4. 530.)

Indem man die Spannung an den Nennmen des Motor konstant hält und die Belastung stufenweise steigert, beobachtet man den Strom I und die Polanzahl n , aus der gewonnenen abgegebenen Leistung, durch Brennung oder auf andere Weise bekannt, ergibt sich der Wirkungsgrad.

$$\eta = \frac{\text{abgebene Leistung in Watt}}{P \cdot n}$$

Schaltungs-schema.

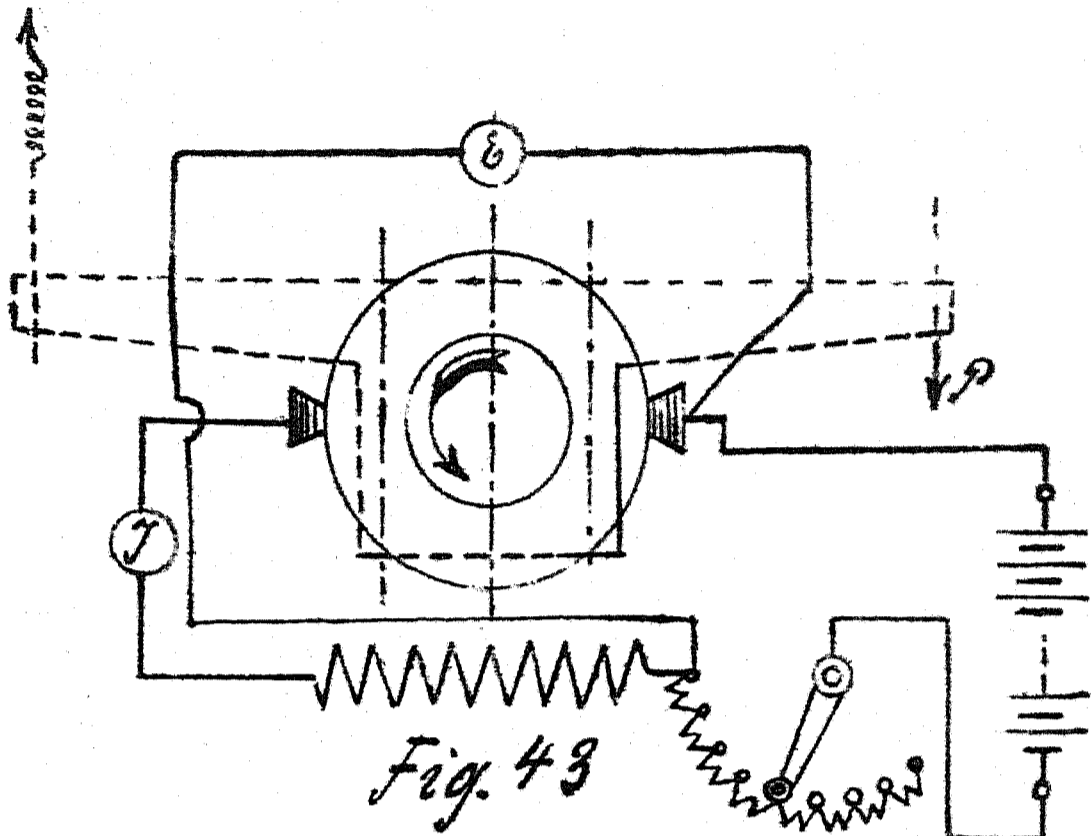


Fig. 43

Graphische Darstellung.

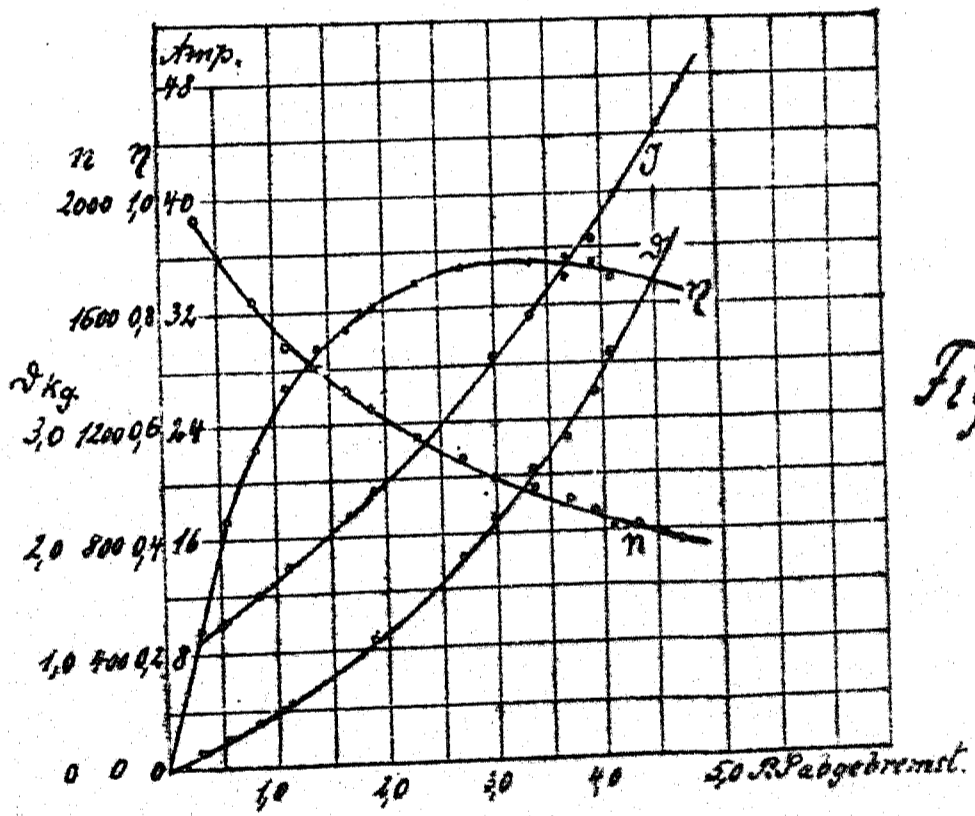


Fig. 44

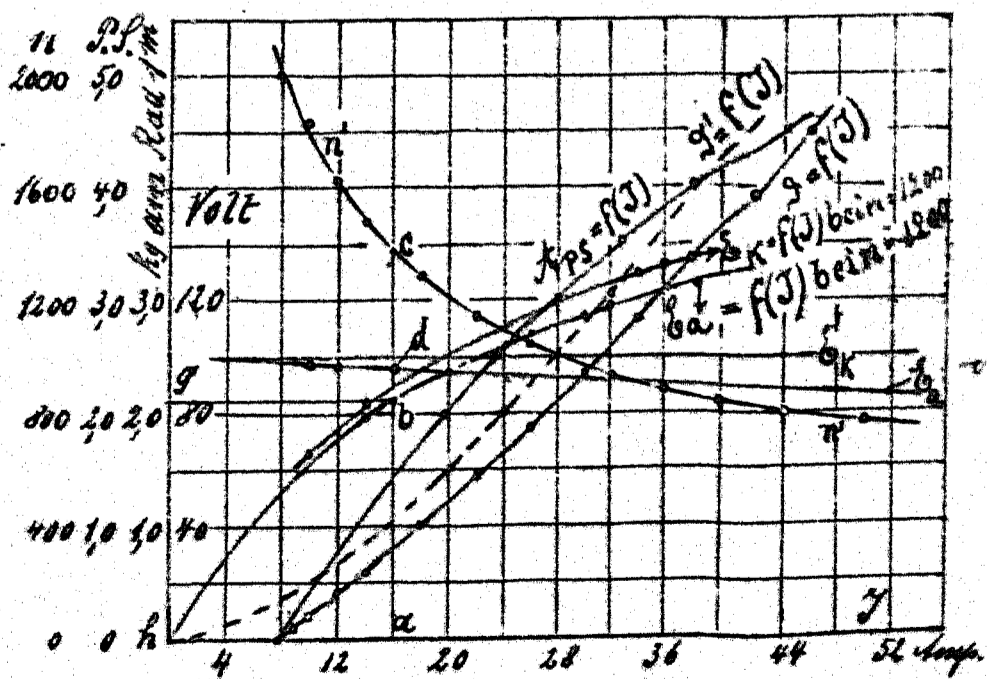


Fig. 45

Aufgabe 13.

Belastungskurven eines Compoundmotor Wirkregulierung der Compoundierung.

Obwohl in den meisten Fällen, wo es sich um einen Motor handelt, welcher zwischen Leerlauf und Vollast mit annähernd konstanter Tourenzahl arbeiten soll, ein Nebenschlussmotor vollkommen ausreicht, so kann man aber durch Anbringung einer Compoundwicklung die Tourenzahländerung noch vermindern. Eine größere Bedeutung hat aber das Anrücken der Drehmomente beim Stilllauf, oder wenn die Compoundmaschine mehr der Hauptkreislauf als der Nebenschlussart sich nähert, das Verhindern des Durchgehens beim Leerlauf.

Um die Tourenzahl annähernd konstant zu halten, müssen die Compoundamperewindungen so bemessen und so gerichtet sein, daß sie die Differenz der Einflüsse der Ankerückwirkung und des Ohmschen Spannungsabfalls aufheben. Ist die Ankerückwirkung überwiegend, so müssen die Compoundwindungen der Feld verstärken, ist dagegen der Einfluß des Spannungsabfalls überwiegend, so muss der Strom in der Compoundwicklung demjenigen im Nebenschluss entgegengerichtet gerichtet sein, so daß das Feld geschwächt wird. Da die Ankerückwirkung nicht proportional dem Ankerstrom ist, so kann eine ganz konstante Tourenzahl nicht erreicht werden. Die Maschine läßt man nun erst als reine Nebenschlussmaschine leer laufen und mißt

die Powerzahl, darauf wird die Maschine belastet und beobachtet, ob die Powerzahl steigt oder fällt. Hieraus ist die Stromrichtung in der Compoundwicklung bestimmt.

Nun wird die Stromstärke in dieser Wicklung mittels eines Rheostats so unreguliert, daß bei Vollast dieselbe Powerzahl wie bei Leerlauf auftritt.

Hierauf werden dieselben Messungen, wie in den beiden vorigen Aufgaben, gemacht.

Schaltungschema.

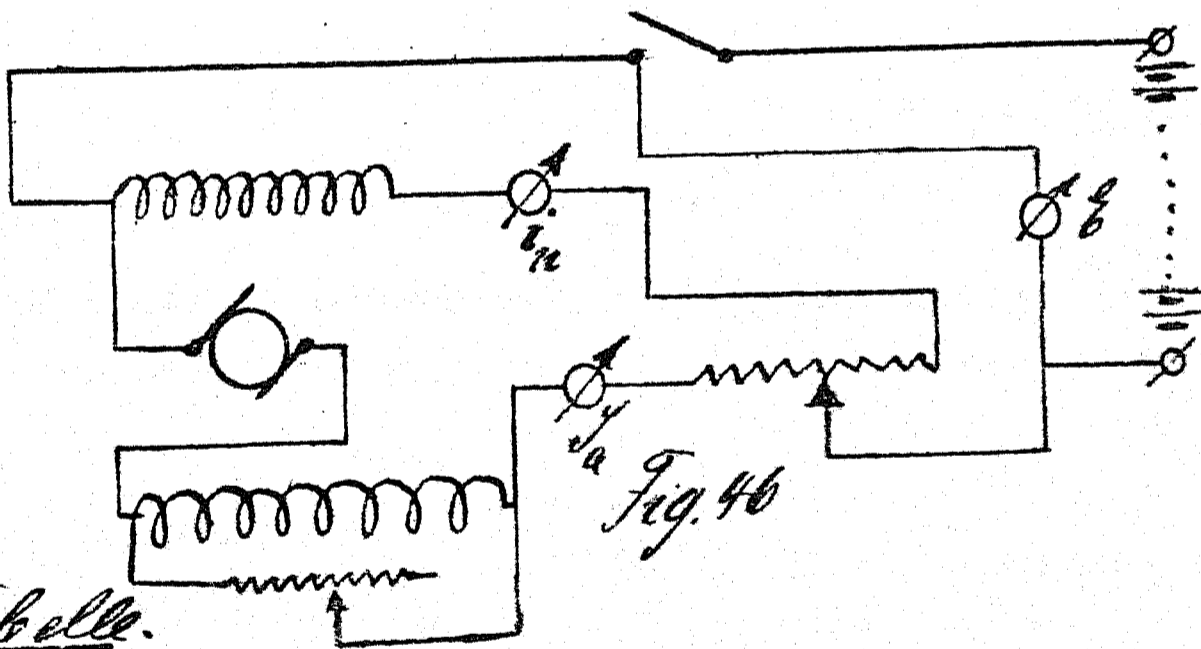
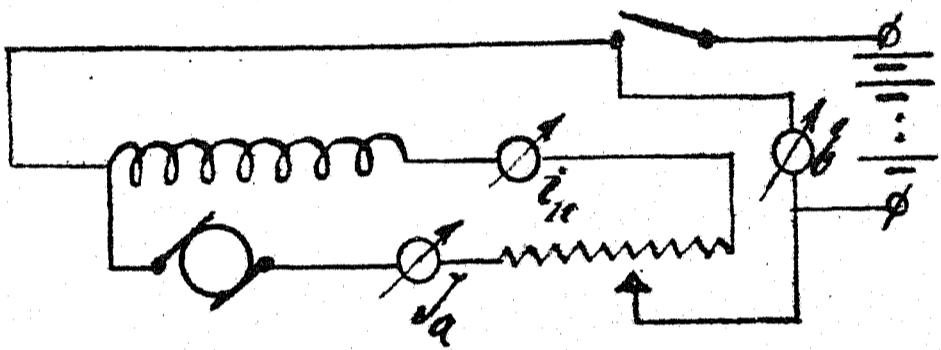


Tabelle.

i_k	i_n	i_a	n	P_1	P_2	P_2'	$P = \frac{P_1 + P_2 + P_2'}{2}$	Leistung $= P \cdot \eta = \frac{P \cdot L \cdot n}{716,2}$	Drehmoment \bar{M}
Konstant.	Konstant.								

Graphische Darstellung.

Wie in beiden vorigen Aufgaben

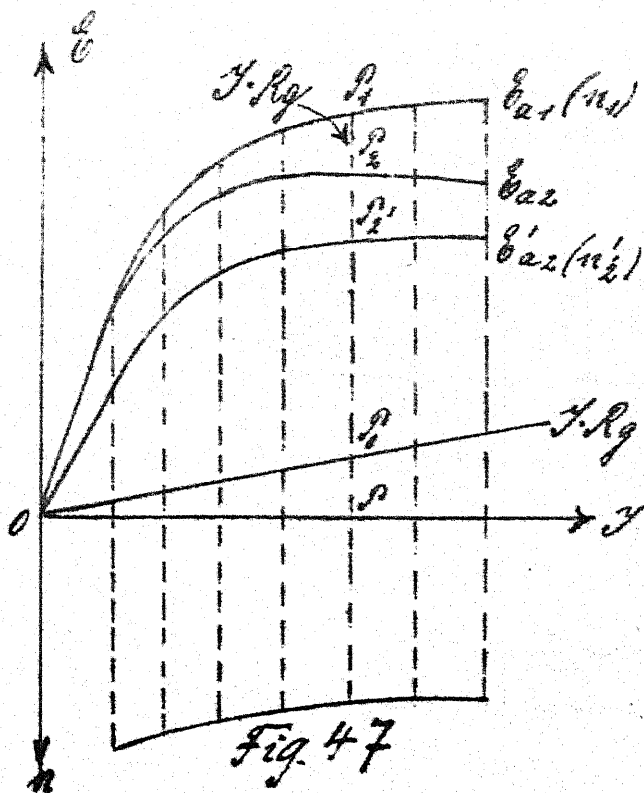
Aufgabe 14

Hauptstromkraftübertragung bei konstanter primärer Leistung und variabler Spannung und Stromstärke.

In Aufgabe 13 haben wir einen Hauptstrom-Motor bei konstanter Klemmenspannung untersucht und gesehen, daß die Leistung bei zunehmender Belastung stark fällt. Anders wird dies, wenn der Motor von einem Hauptstrom-Generator gespeist wird, welche selbst mit konstanter Leistung angetrieben wird.

Figur 49 giebt den einfachsten Fall einer Hauptstromkraftübertragung. Die Bedingungen unter welchen der Motor mit konstanter Leistung läuft, stellen sich dann wie folgt dar:

In Fig. 47 stellen die Kurven \mathcal{E}_1 und \mathcal{E}_2 die inneren Charakteristiken des Generators und des Motors bei den Drehzahlen n_1 resp. n_2 dar.



Es sei nun die Widerstand der Leitung, der Generator- und Motormwicklung =

$$R_t = R_{g1} + R_{k1} + R_2 + R_{g2} + R_{k2}$$

so besteht die Beziehung

$$y = \frac{\mathcal{E}_{g1} - \mathcal{E}_{g2}}{R_t}$$

wenn \mathcal{E}_{g1} die im Generator induzierte EMK und \mathcal{E}_{g2} die im Motor induzierte Gegen-EMK bei einem bestimmten

Strome I darstellen.

Somit ist: $E_{a2} = E_{a1} - I R_t$

Wenn man von der Generator - Kurve E_{a1} die Werte von $I R_t$ abzieht, so erhält man also die Kurve der in jedem Betriebszustande im Motor zu induzierenden $\mathcal{E}W\mathcal{K}$ E_{a2} (Kurve E_{a2} Fig. 47.)

Aus inneren Motor - Charakteristiken und dieser Kurve läßt sich die Tourenzahl, welche der Motor annehmen wird, direkt konstruieren.

Bei einer bestimmten Stromstärke ist die induzierte $\mathcal{E}W\mathcal{K}$ ein Hauptschlusmotor proportional der Tourenzahl also: Sei einem Strom OP und einer Tourenzahl n_1 ist die induzierte $\mathcal{E}W\mathcal{K} = OP_1$, dann wird die Tourenzahl bei E_{a2} induzierter $\mathcal{E}W\mathcal{K} = n_2 =$

$$\frac{P P_2}{P P_1} n_1 \text{ sein.}$$

So erhält man die in Fig. 47 gezeichnete Tourenzahlkurve. Um nun bei verschiedenen Belastungen konstante Tourenzahl des Motors zu erzielen, ist es notwendig, dass die E_{a1} Kurve mit der E_{a2} Kurve zusammenfällt, d. h. daß die im Generator induzierte $\mathcal{E}W\mathcal{K}$, kompensiert um den Ohm'schen Spannungsabfall $I R_t$ eine Motorcharakteristik giebt. Sind zwei vollkommen gleiche Maschinen gegeben, von denen eine als Generator, die andere als Motor läuft, so wird die innere Charakteristik des Motors wegen geringerer Rückwirkung etwas höher liegen als diejenige des Generators. Zunächst ergibt sich wieder aus der Generator - Charakteristik die E_{a2} - Kurve (Fig. 48)

$$E_{a2} = E_a - I R_t$$

$$P_2 = P_1 - P P_0$$

Konstruiert man nun eine innere Charakteristik E_{a2}'' für eine Tourenzahl des Motors n_2 aus der für n_1 giltigen E_{a2}' - Charakteristik des Motors, so wird dieselbe, auch wenn sie den Punkt a_2 z. B. mit der E_{a2} - Kurve gemeinschaftlich hat, nicht mit dieser E_{a2} - Kurve zusammenfallen, da $I R_t$ proportional I wächst, während die Differenz der Ordinaten der Charakteristiken $E_{a2}' - E_{a2}''$ proportional E_{a2}' also langsamer als I wächst.

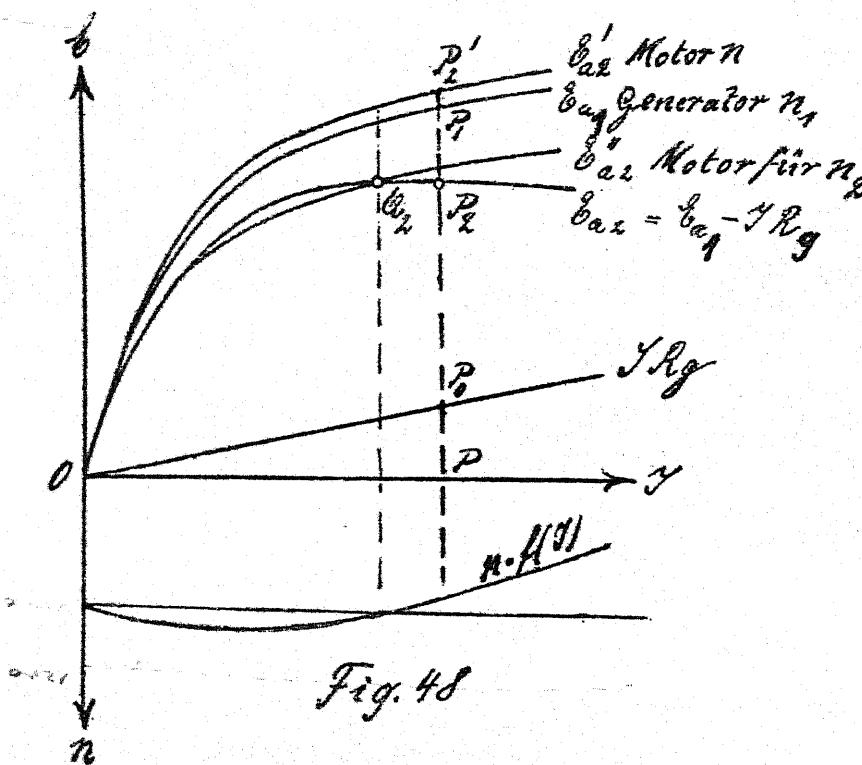


Fig. 48

Somit wird die Charakteristik für die Tourenzahl n_2 (E_{a2}'') vor a_2 tiefer und hinter a_2 höher liegen als die Kurve $E_{a2} = E_{a2}' - I R_t$. Daraus ergibt sich, daß die Leistungskurve ($n = f(y)$) wie gezeichnet verlaufen wird.

Es wird nun der sekundäre Motor durch Stromzahn belastet, dabei Tourenzahl, Strom und Klammervspannung beobachtet. Primär wird die Tourenzahl des Antriebsmotors konstant gehalten und von dem Generator die Klammervspannung beobachtet.

Aufzutragen sind in Abhängigkeit der se-
kundär abgegebenen Leistung, Fournzahl,
Strom, Nennspannung, Drehmoment,
und Wirkungsgrad, weiter primär abge-
gebene Leistung und Wirkungsgrad der
Übertragung. (primär abgegebene Leistung.
sekundär abgegebene Leistung.)

Schaltungschema.

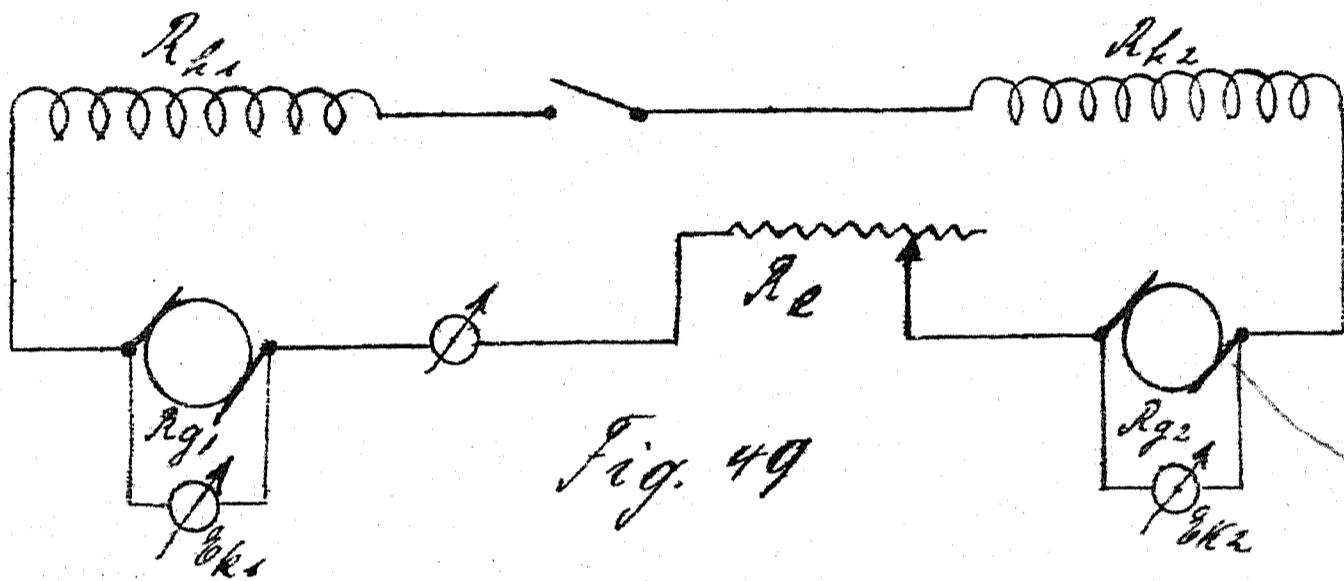


Fig. 49

Tabelle.

I	U_{k1}	n_1	U_{k2}	n_2	P_2	P_1	P_2'	P_2''	P_2'''	P_2''''	Drehmoment $=$ $P \cdot k$	Leistung in P.S. $=$ $\frac{P \cdot k \cdot n}{736}$	$\eta_m =$ Leistungskoeff. $=$ $\frac{P_2''}{P_2}$
		Konstant											

Aufgabe 45.

Hauptstromkraftübertragung bei konstanter sekundärer Fournzahl.

Da wir in der vorigen Aufgabe gesehen haben, dass die Fournzahl sekundär nicht konstant bleibt, so wollen wir untersuchen, auf welche Weise dies zu erreichen wäre.

- 1) Für praktische Zwecke ist zwar, bei richtiger Wahl der Verhältnisse, die geringe Senkung der Fournzahl ohne Belang.

1. Methode: Durch Regulierung der Tourenzahl primär.

Die Ungleichheit der Tourenzahl bei verschiedenen Belastungen rührt von den ungleichen Formen her, welche die \mathcal{E}_{a2} und $\mathcal{E}_{a2} = \mathcal{E}_a - \gamma R_c$ Kurven in Fig. 48 haben. Man kann man aber den Verlauf der \mathcal{E}_{a2} -Kurve ändern, indem man die Tourenzahl des Antriebsmotors variiert, also in diesem Fall, anfangs etwas vermindert, bei größeren Belastungen erhöht. Diese Methode wäre also da, wo Generator und Motor auf große Entfernungen von einander stehen, nur mit besonderen Hilfsmitteln auszuführen.

2. Methode. Regulierung durch Shunt.

In Fig. 48 liegt der Teil der \mathcal{E}_{a2} Kurve rechts von \mathcal{E}_2 höher wie die in Gleichgewichts zu haltenden $\mathcal{E}_{a2} = \mathcal{E}_a - \gamma R_c$ Spannungen. Bei der bestimmten Stromstärke und Tourenzahl n_2 ist die im Motor in dieser \mathcal{E}_{a2} zu hoch, folglich wird der Motor langsam laufen. Schwächt man nun das Feld durch Ubringung eines Shunts, so wird der Motor seine Touren wieder erhöhen müssen, um in diesem geschwächten Felde die nötige \mathcal{E}_{a2} zu erzeugen.

Ubringung eines Shunts kann nur die Touren erhöhen, sodass eine vollkommene Regulierung dadurch allein nicht immer zu erreichen ist.

3. Methode. Durch Bürstenverstellung.

Diese Methode kommt nur da in Betracht, wo die Maschine durch Ubringung einer Bürstenverstellvorrichtung besonders dazu eingerichtet ist.

Da $\mathcal{E}_a = \frac{p}{a} \cdot \frac{z}{60} \Phi \cdot n$ ist, und der wirksame Kraftfluss Φ sich mit der

Pflichtenerstellung durch, so gilt bei gege-
bener Konstante \mathcal{E}_k

$$n = \frac{\text{Konstante}}{\Phi}$$

Diese Regulierungsweise kann nur bei kleinen
Belastungen ausgeführt werden, wird dann auch
oft in Combination mit der 2. Methode
ausgeführt.

Die in der vorigen Aufgabe aufzunehmenden
Größen können also jetzt bei konstanter
Poleanzahl aufgetragen werden und zwar
einmal nach der ersten und einmal
nach der zweiten Methode. Die dritte
Methode ist weniger empfehlenswert,
wenn im Laboratorium ausgeführt zu werden.

Aufgabe 16.

Hauptstromkraftübertragung bei konstan- ter Stromstärke und variabler Spannung.

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_k &= \mathcal{E}_a + \gamma R_g \\ &= \mathcal{C} \Phi n + \gamma R_g - \mathcal{C}' n + \mathcal{C}', \end{aligned}$$

wobei R_g Widerstand des Kupfers und Über-
gangswiderstand an dem Bürsten bedeutet,
d.h. bei dem Betrieb mit konstanter Strom-
stärke ist die Abhängigkeit der Poleanzahl
von der Spannung durch eine Gerade
leicht dargestellt.

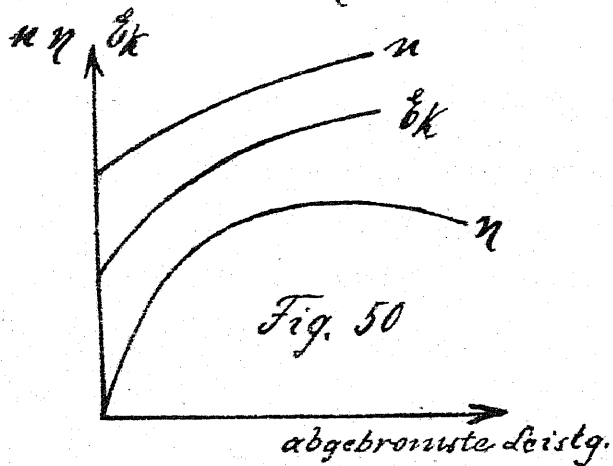
$$\begin{aligned} \text{Die abgegebene Leistung } \mathcal{L} &= \mathcal{E}_k \cdot \gamma \cdot n \\ &= \mathcal{C} \mathcal{E}_k \cdot n \end{aligned}$$

Hieraus folgt $E_k = \text{konstant} \frac{L}{n}$

$$\text{Fournzahl } n = \frac{E_k - e''}{e'} = C_3 \frac{L}{n} - C_4$$

Drehmoment aus: Leistung = Drehmoment mal Winkelgeschwindigkeit.

$$Q = \frac{L \cdot 60}{2\pi n} = \frac{60 \cdot L}{2\pi (C_3 \frac{L}{n} - C_4)}$$



Die Regulierung der Generatoren auf konstanten Strom erfolgt durch:

- 1) Stützung der Generator-Erregung.
- 2) Veränderung der Fournzahl der Antriebsmaschine des Generators.
- 3) Bei ausgeführten Anlagen wird außerdem durch Kombination von Stützung und Bürstenverstellung und zwar letztere Methode bei kleinen Belastungen, konstanter Strom erhalten.

Um die Fournzahl sekundär zu regulieren, können wieder Stützung und event. Bürstenverstellung angewandt werden.

Literatur: Arnold Gl.-M. Bd. I. Seite 534 u. f.
über Pendelerscheinungen Seite 534
und weiter Kapitel 34 Seite 636. u. f.

Wirkungsgrad und Verlustbestimmung

Aufgabe 30.

Bestimmung des Wirkungsgrades aus den Leerlaufverlusten. (Arnold Gl.-M. Bd. I S. 500; Bd. II S. 475)

Die in einer Maschine auftretenden Verluste setzen sich zusammen aus:

- 1.) Der Lager-, Bürsten-, und Luftreibung (W_p)
- 2.) Den Hysteresis- und Wirbelstromverlusten ($W_h + W_w$)
- 3.) Den Stromwärmeverlusten im Leiterkupfer ($\frac{1}{2} I_a^2 R_a$)
- 4.) Den Übergangsverlusten am Kollektor (W_u)
- 5.) Den Stromwärmeverlusten in der Erregewicklung und den Regulierwiderständen.

(W_{ue} - in E_k für Nebenschlussmaschine)

$$W_{ue} = I_a^2 R_k \quad (\text{ohne Skunt})$$

$$W_{ue} = I_a^2 a R_k \quad (\text{für Hauptstrommaschinen})$$

(S. Gl.-M. Bd. I S. 489)

Der Wirkungsgrad der Maschine, bestimmt aus den meßbaren Verlusten ist, je nachdem sie als Generator oder als Motor arbeitet

$$\begin{aligned} \text{Generator } \eta &= \frac{\text{abgegebene Leistung}}{\text{abgegebene Leistung} + \Sigma \text{Verluste}} \\ &= \frac{E_k \cdot I}{E_k \cdot I + (W_p + W_h + W_w) + \frac{1}{2} I_a^2 R_a + W_u + W_n (\text{Sk})/t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Motor } \eta &= \frac{\text{aufgenommene Leistung} - \Sigma \text{Verluste}}{\text{aufgenommene Leistung}} \\ &= \frac{E_k \cdot I - (W_p + W_h + W_w) - \frac{1}{2} I_a^2 R_a + W_u + W_n (\text{Sk})/t}{E_k \cdot I} \end{aligned}$$

Die Bestimmung des Wirkungsgrades aus Leerlaufeffekt beruht auf der Annahme, daß sich sämtliche in einer Maschine auftretenden Verluste in die Leerlaufverluste und die bei Belastung hinzukommenden Stromwärmeverluste zerlegen lassen, da dies in Wirklichkeit aber nicht der Fall ist, bleibt diese Methode eine annähernde.

Läuft man die Maschine als Motor leer laufen, bei gleicher Tourenzahl, so werden die Reibungsverluste die gleichen sein, wie bei Belastung.

Die Verluste unter 2) genannt: Hysteresis und Wirbelstromverluste sind annähernd die gleichen, wenn die Maschine mit einer so großen Nennspannung leertläuft, daß die induzierte EMK die gleiche ist, wie wenn sie belastet wäre. Daraus folgt dann, daß bei gleicher Tourenzahl der Kraftfluß Φ gleich ist, und annähernd die Eisenverluste.

Durch Quermagnetisierung ist aber die Induktion örtlich vergrößert.

Ein zweiter Fehler entsteht in den vergrößerten Wirbelstromverlusten im Läuferkupfer, in den massiven Läuferbleichen, und in den Polbleichen, bei zunehmender Belastung, welche Verluste bei Leerlauf aber nicht auftreten.

Die Verluste unter 3) 4) und 5) werden aus dem gemessenen Widerstande und den bei Belastung auftretenden Läufer- und Erregerstromstärken, gerechnet.

Bei Hauptstrommaschinen muß Fremderregung angewendet werden.

Generator

Soll der Wirkungsgrad eines Nebenschlussgenerators bei einer Belastung I_k in Ampere bestimmt werden, so muß, der bei dieser Belastung nötige Erregerstrom, aus einem Versuch, aus Belastungs- oder äußere Charakteristik oder aus der Regulierungskurve, bekannt sein, dann ist Lasterstrom = $I + i_n$. Man messe Innenwiderstand und Bürstenübergangswiderstand bei diesem Strom $I_a = I + i_n$ gemessen. Somit ist R_{ga} bekannt. Man wird die induzierte EMK bei Belastung

$$E_a = E_k + I_a R_{ga} \text{ sein.} \dots \dots \dots 1)$$

Läuft der Motor bei einer Klemmenspannung E_k' leer, so ist die induzierte EMK

$$E_a = E_k' - I_0 R_{g0} \dots \dots \dots 2)$$

wobei I_0 Lasterstrom bei Leerlauf, R_{g0} der Gesamt-Widerstand bei diesem Strom I_0 bedeuten.

I_0 und E_k' sind vorläufig noch unbekannt, E_a aus 2) soll gleich der gerechneten E_a aus 1) sein; macht man nun einen Versuch indem man dem Läufer eine Klemmenspannung E_k' aufbrückt, welche geschätzt ist, so kann man I_0 annähernd bestimmen und $E_k' = E_a + I_0 R_{g0}$ gewinnen. Selbstverständlich soll hierbei stets auf gleiche Tourenzahl n reguliert werden. Der jetzt gemessene Leerlaufstrom multipliziert mit E_k' abzüglich $I_0^2 R_{g0}$ gibt die gesuchte Summe von Reibungs- und Eisenverlusten. Es läßt sich nun zusammenstellen:

$$\begin{aligned} \text{Reibungs- + Eisenverluste} & \dots \dots \dots E_k' \cdot I_0 - I_0^2 R_{g0} \\ \text{Stromwärmeverluste im Armaturekupfer} & \dots \dots \dots I_a^2 \cdot R_a \end{aligned}$$

Kollektorübergangsverluste $2 I_a \cdot I_f$
 Stromwärmeverluste in der Erregung $i_n \cdot E_k$

Zusammen die meßbaren Verluste.

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{E_k \cdot I}{E_k \cdot I + \text{Summe d. Verluste}}$$

Die Klemmenspannung, womit der Motor also laufen muß ist bei Bestimmung des Wirkungsgrades eines Generators:

$$E_k' = E_k + I_a R_{ga} + I_o R_{go}$$

Motor.

Damit im leertlaufenden Motor dieselbe E_k wie bei dem mit einem bestimmten Lasterstrom I_a laufenden Motor induziert ist, soll die Maschine mit der Klemmenspannung

$$E_k' = E_k - (I_a R_{ga} - I_o R_{go})$$

laufen, wobei $I_a = I - i_n$ ist; i_n ist aus anderen Versuchen zu entnehmen.

Der Wirkungsgrad wird dann = $\frac{E_k \cdot I - \text{Summe d. Verluste}}{E_k \cdot I}$

Die Leistung in P.f. = $\frac{E_k \cdot I - \Sigma \text{Verluste}}{1.36}$;

Schaltungschema:

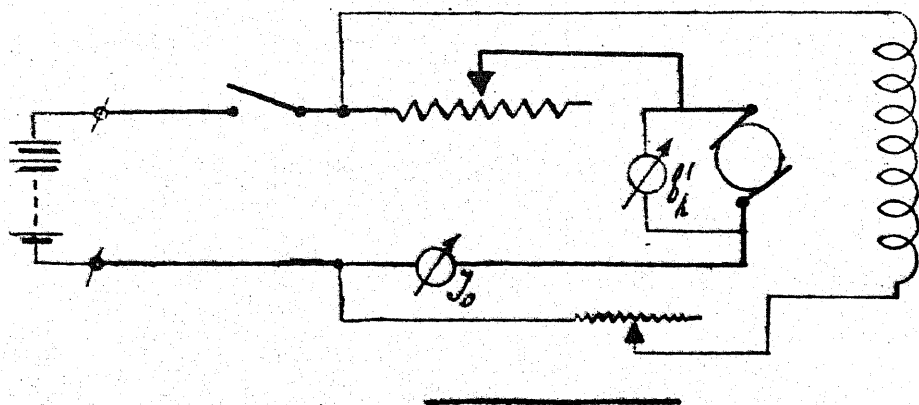


Fig. 51

Aufgabe 31.

Bestimmung des Wirkungsgrades zweier gekuppel-
ter Maschinen, nach der Zurückarbeitmethode.
(vgl. M. Arnold Bd II S 480)

A Parallelschaltung.

Diese Methode gestattet eine angenäherte Be-
stimmung des Wirkungsgrades zweier Dyna-
momachinen, die für dieselbe Leistung gebaut
und gleicher Type sind. Außerdem findet
sie Verwendung, da wo die Energiequelle
nicht ausreicht, größere Maschinen nur
Vollast zu probieren.

Die als Motor und die als Generator laufende
Maschinen sind entweder direkt oder auch
vermittlung einer Riemenübersetzung mechanisch
gekuppelt. Das nach Fig 5 dargestellte System
erzeugt sich selbst die zum Betrieb erforderliche
Energie; alles was bei der Transformation an
Energie verloren geht, muß von einer Stromquelle
z. B. Batterie B, zugeführt werden.

Der Motor M wird normal angeschlossen, während
der Schalter U geöffnet ist. Dem Generator
welcher vom Motor angetrieben wird, läßt man
sich selbst erregen und schaltet ihn mit dem
Motor parallel, sobald das Voltmeter V an den
Klemmen des Schalters U die Potential-
differenz Null anzeigt.

Fourenzahl und Belastung werden durch
Nebenschlußregulierung des Motors bzw.
Generators reguliert.

Verbraucht der Motor E_m Jn Watt und liefert
der Generator E_g Jg Watt, so ist der Wirkungs-
grad der Gesamtübertragung:

$$\eta = \frac{E_g \cdot J_g}{E_m \cdot J_m}$$

Die Verluste welche bei derartigen Betriebe in den beiden Maschinen auftreten sind nicht gleich; da die induzierten \mathcal{E} \mathcal{H} \mathcal{K}_2 sehr verschieden sind, müssen auch die Eisenverluste ungleich sein. Man führt der Läufer des Motors einen Strom $J_g + J_z$, sodass beim Motor diese Verluste wieder größer sind. Annähernd kann man annehmen, dass die gesamt zugeführte Energie $J_g \mathcal{E}$ sich gleichmäßig auf beide Maschinen verteilt. Somit wird dann der Wirkungsgrad des Motors $\eta_m = \frac{J_g + \frac{J_z}{2}}{J_g + J_z}$ und der des Generators $\eta_g = \frac{J_g}{J_g + \frac{J_z}{2}}$

Sind die Maschinen nicht direkt sondern durch Riemen gekuppelt, so erhält man, wenn η_t der Wirkungsgrad der Riemenübertragung ist

$$\eta_m = \frac{\mathcal{E}(J_g + \frac{J_z}{2})}{(1 + \eta_t)(J_g + J_z)} \text{ resp. } \eta_g = \frac{(1 + \eta_t) J_g}{2 \eta_t (J_g + \frac{J_z}{2})}$$

Schaltungsplan.

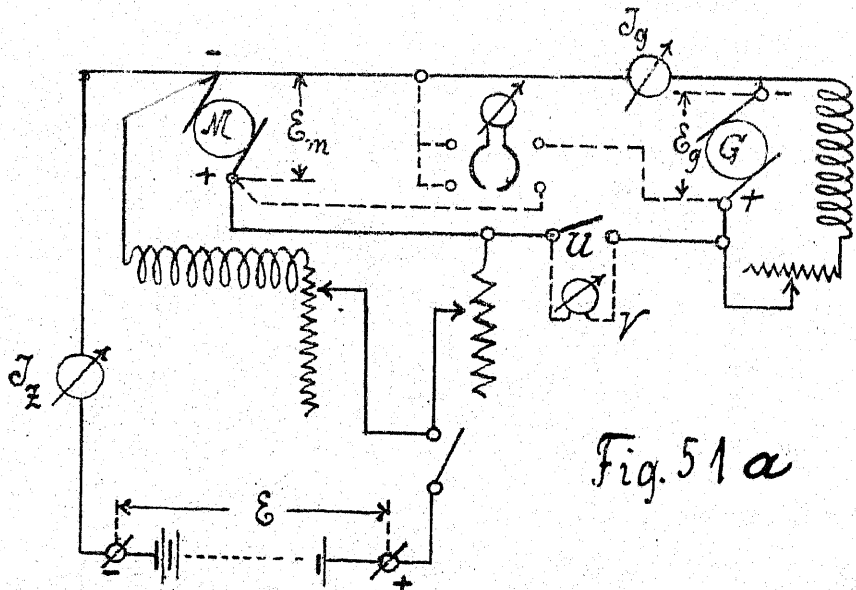


Fig. 51 a

Tabelle.

n	\mathcal{E}_g	\mathcal{E}_z	\mathcal{E}_m	i_{ag}	i_{am}	i_{gm}	$\eta = \frac{\mathcal{E}_g}{\mathcal{E}_m}$	Leistung Generator $\mathcal{E} \cdot \mathcal{I}_g$	Leistung d. Motor $\mathcal{E}_m \cdot (i_{ag} + i_{zm} + i_{am})$
konstant	konstant								

B Hintereinanderschaltung.

Seitens einer Chlorströmung dieser Zurückarbeitungs- methode kann durch Hintereinanderschaltung der Hilfsenergiequelle mit Generator und Motor erreicht werden.

Der Motor \mathcal{M} wird von der Batterie B_1 aus normal aufgelassen und auf normale Touren gebracht, hierbei soll der Ausschalter U_1 geöffnet bleiben, erst wenn die Feldspannung aus dem Schalter U_2 gleich Null ist, d. h. sobald die Spannung des Generators plus derjenigen der Hilfsbatterie B_2 gleich der des Motors ist, wird das Voltmeter V_2 auf Null stehen und kann der Ausschalter U_2 eingelegt werden. Nun wird die Batterie B_1 abgeschaltet und durch passendes Regulieren des Generators bezw. Motornebenleistungsstromes Belastungs- und Touren eingestellt.

Die vom Generator gelieferte Energie sei \mathcal{E}_g Volt
 " " Motor verbrauchte " " \mathcal{E}_m "
 und " von der Batterie gelieferte " " \mathcal{E} "

Die Differenz $\mathcal{E}_m - \mathcal{E}_g = \mathcal{E}$ wird zur Deckung der bei der Übertragung entstehenden Verluste verwendet, sodass

$$\eta = \frac{\mathcal{E}_g}{\mathcal{E}_m} \text{ ist.}$$

Da die Spannungen von Generator und Motor sehr stark verschieden sind und dementsprechend

auch in den Maschinen Eisenverluste auftreten, welche nicht mehr als annähernd gleich aus-
geglichen werden können, und dagegen bei
dieser Methode die Stromwärmeverluste in der
Her der beiden Maschinen wohl gleich sind, so
erscheint die Stromeinheit $\eta_g - \eta_m$ kaum zulässig.

Ein weiterer Nachteil dieser Methode liegt in der
Notwendigkeit zweier Batterien mit verschiedenen
Spannungen, und in der Schwierigkeit der Ein-
stellung einer bestimmten Belastung und
Fourenzahl.

Die Zurückarbeitungsverfahren kann noch in
der Weise ausgeführt werden, indem man die
den Verluste deckende Energie in Form von
mechanischer Energie zuführt. Man hat
dann eine weitere Energiequelle, Elektro-
motor Dampfmaschine etc./so anzuordnen,
daß dieselbe nur die Leistung abgibt, die den
Verlusten entspricht.

Schaltungsdiagramm.

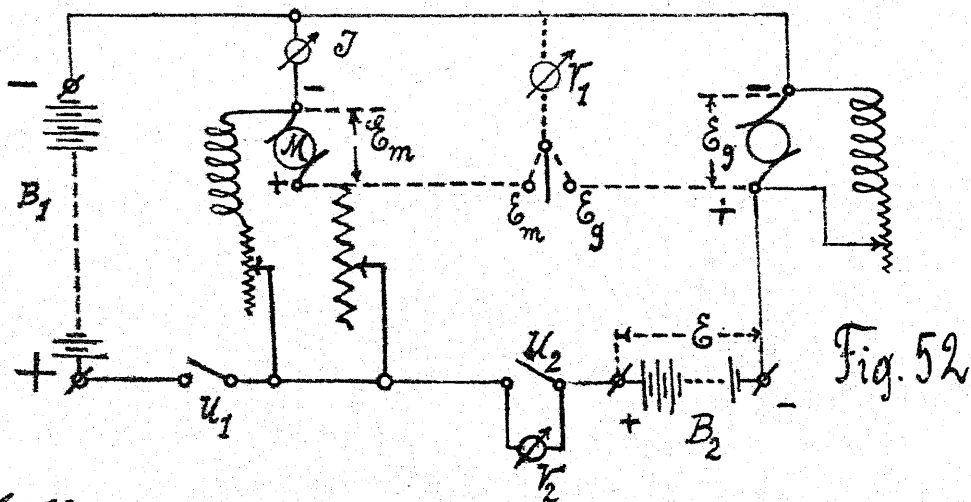


Tabelle.

U	J	E_g	E_m	$\eta = \eta_g \cdot \eta_m = \frac{E_g}{E_m}$

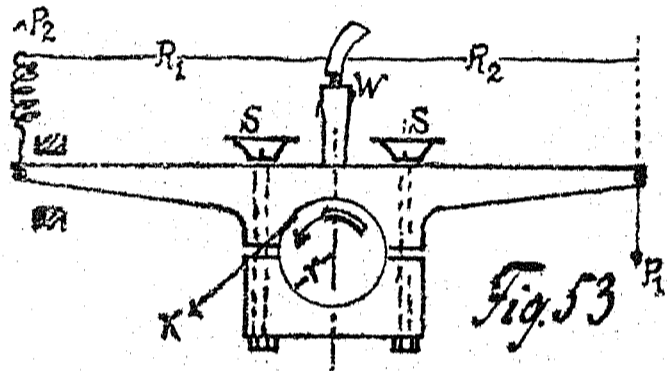
Aufgabe 34.

Bestimmung des Wirkungsgrades durch Bremsung.

(Zgl. M. Arnold Bd. II S. 485)

a) Mit dem Prony'schem Rad.

Die von einer Maschine gelieferte mechanische Leistung wird durch die Bremsung ermittelt. Die beiden Bremsklötze (Fig. 53) können mittels der Schrauben S gegen den Brems- / Reimscheiben) Umfang gepresst werden. Bei einer



bestimmten Reibungskraft wird der Gleichgewichtszustand hergestellt, indem man rechts P_1 und links P_2 kg, im Sinne der Pfeile wirkend, anbringt.

Sei K die Umfangskraft an der Reimscheibe in kg, r der Radius der Reimscheibe, v - Umfangsgeschwindigkeit derselben in $\frac{m}{sek.}$, so wird die von der Bremsung aufgenommene Leistung

$$L_{pH} = \frac{v K}{75} = \frac{2\pi r}{75 \cdot 60} \cdot n \cdot (P_1 R_1 + P_2 R_2)$$

und wenn $R_1 = R_2 = R$

$$L_{pH} = \frac{2\pi}{75 \cdot 60} R n (P_1 + P_2) \text{ Pferdestärken}$$

$$L_{Watt} = \frac{2\pi}{60} 9,81 R n (P_1 + P_2) \text{ Watt.}$$

Feinere Abstufungen in der Belastung werden erzielt, indem man in der Richtung von P_2 den Zug einer geachteten Feder wirken lässt. Nachdem mittels der Rädchen S die bestimmte Belastung eingestellt ist, wird

wird an der rechten Seite ein Gewicht P_1 an-
gehängt, sodass sich der Balken nach gerade
nicht von dem mittlern Durchschlag bewegt.
Dann wird die Feder langsam so lange an-
gespannt, bis der Balken horizontal steht.

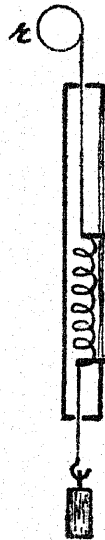
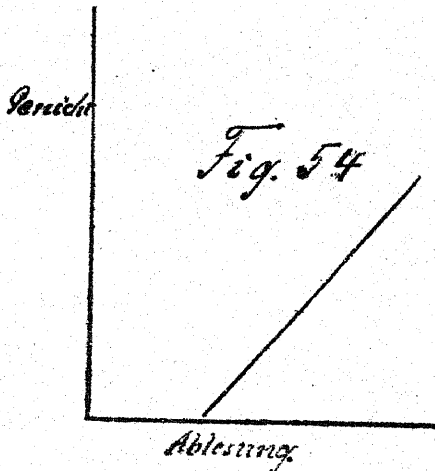
Hierbei sei die Spannkraft der Feder $= p_1'$.
Darauf zieht man die Feder wieder an, bis der
Balken oben anschlägt und entlastet die Feder
wieder langsam, bis der Balken wieder wag-
recht steht; die Spannkraft sei nun p_2' , als
richtigen Wert nimmt man dann

$$P = P_1 + \frac{p_1' + p_2'}{2}$$

Hat man nun bei jeder Belastung I und Q_2
sowie die Tourenzahl abgelesen, so kann man
folgende Tabelle aufstellen.

n	$\frac{t}{n}$	I	i_n	P_1	p_1'	p_2'	$P = P_1 + \frac{p_1' + p_2'}{2}$	Leistung in P.S.	η

Um die Feder zu zeichnen, hängt man
nacheinander verschiedene Gewichte
an und dreht die Rolle so lange bis der
untere Zeiger auf Null steht und liest
den Stand des oberen
Zeigers an der Skala
ab. Diese Messungen
werden graphisch
aufgezeichnet, wie
in Fig. 54.



B.) Mit dem Brauer'schen Bremsdynamometer.

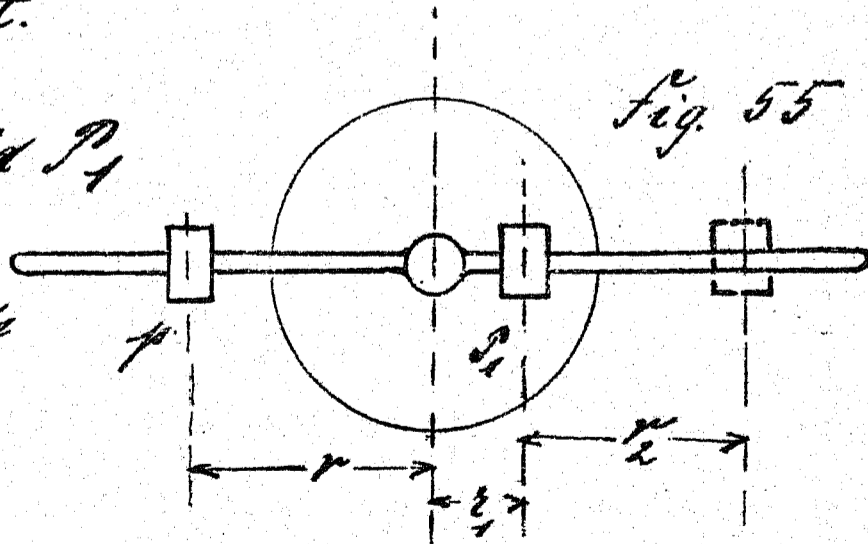
(Arnold Gl.-M. Bd. II. S. 488)

Der Nachteil des Prony'schen Laufes liegt in der Möglichkeit, daß bei zu starkem Bremsen, ungenügender Kühlung etc, der Lauffest-
bremsst. Dierum Nachteil ist durch das
Brauer'sche Bremsdynamometer, welches
selbstregulierend ist, abgeholfen. Im übrigen
beruht dessen Methode auf demselben Prinzip
wie der Prony'sche Lauf.

C.) Mit der Wirbelstrombremse. (Arnold. Gl.-M. Bd. II. S. 490)

Bei der Wirbelstrombremse wird die an die Ma-
schinennelle abgegebene Energie nicht in Form
von mechanischer Reibung, sondern in Form
von Wirbelströmen in Wärmeenergie umgesetzt.
Der hier vorhandene Apparat von Pasquelini
besteht aus einer Kupferscheibe, welche in Feld
eines Elektromagneten rotiert und auf der
Welle des Motors befestigt wird. Durch Reak-
tion würde der Magnet in der Rotation mit-
genommen werden, wird aber durch Stützen
von Gewichten zurückgehalten. Bei dieser
Bremsen ist das Gewicht konstant der Hebel-
arm variabel. Ein kleineres Gewicht dient
dazu, bei Leerlauf das zurückgeschobene
Bremsgewicht P_1 auszubalancieren, so daß
 $p \cdot r = P_1 \cdot r_1$ ist.

Bei Belastung wird P_1
verrückt und das
Gleichgewichtshaltende
Moment ist
 $M = P_1(r_1 + r_2) - p \cdot r = P_1 \cdot r_2$



also gleich Gewicht P_1 mal Verschiebung von P_1 .

Diese Verschiebung ist an einer angebrachten
Skala in cm abgelesen und in folgender
Formel in n eingesetzt. Die Leistung wird dann

$$A_{\text{P}} = \frac{2\pi P_1 \cdot k_2 \cdot n}{60 \cdot 75} = \text{konstant } k_2 \cdot n$$

Diese Konstante ist auf dem Gewicht angegeben
und ist $= \frac{2\pi P_1}{60 \cdot 75}$.

Aufgabe 33.

Prüfung der Verluste nach Dettmer.

Für die Wirkungsgradbestimmung genügt es,
die Verluste bloß in ihrer Summe zu betrachten.
Handelt es sich jedoch darum, die einzelnen
Verluste bei verschiedenen Umläufen und
Umdrehungszahlen zu ermitteln, so muß man
die im Eisen auftretenden Verluste, sowohl einzeln
als auch gesondert von den übrigen Verlusten be-
stimmen können.

Eine Methode, welche dies unter gewissen Be-
dingungen ermöglicht giebt Dettmer in
S. V. Z. 1899 Seite 203 an.

Die zu untersuchende Maschine läßt man
als Motor unter verschiedenen Spannungen
ablaufen, wobei man innerhalb einer Beobach-
tungsreihe den Erregerstrom konstant hält,
und Ukerspannung, Ukerstrom und
Powerzahl beobachtet.

Sei E_2 die induzierte EMK im Uker, $E_2 \cdot I_2$
die dem Uker zugeführte Energie und
 n die Umdrehungszahl der Maschine, so
kann man für jeden Wert des Erregerstromes i_n

die Abhängigkeit $W = f(\epsilon_a)$ in einer Kurve auftragen. Eine derartige Kurvenschar ist in Fig. 56 angegeben. Zu beachten ist, daß um einigermaßen genaue Resultate zu erzielen, es nötig ist auch Kurven bei stark geschwächter Feldstärke aufzunehmen, wobei aber die Klammernspannung ebenso stark abgemindert ist. Wird jetzt noch der Läufer- und Bürstenübergangswiderstand gemessen, so sind die Messungen fertig und wird die Trennung weiter graphisch vorgenommen.

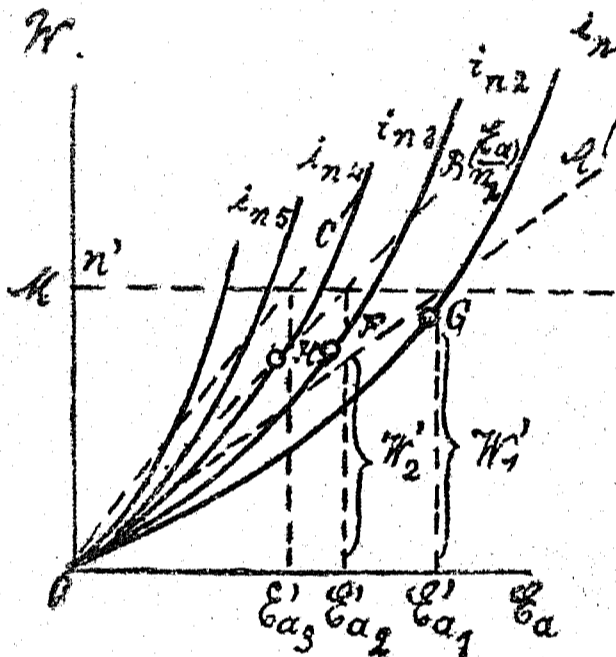


Fig. 56

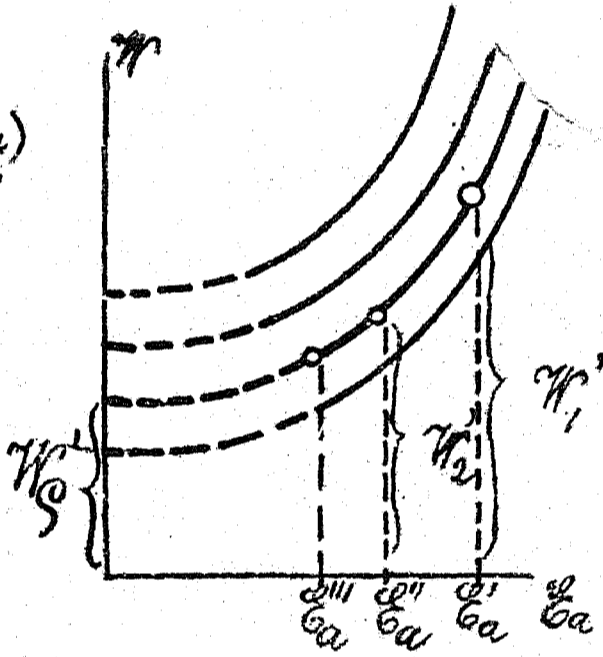


Fig. 58

Ersteres wird die Abhängigkeit $W = f(\epsilon_a)$ bei konstanter Tourenzahl abgeleitet. Da für eine gegebene Maschine $\epsilon_a = c\phi n$ ist, so wird bei konstantem Kraftfluß ϕ , bezw. konstantem i_n , ϵ_a eine Konstante sein. Bringt man nun in der Ordinatenachse eine zweifache Scala ein, für Umdrehungszahlen, so kann man wie folgt verfahren. Es sei gemessen:

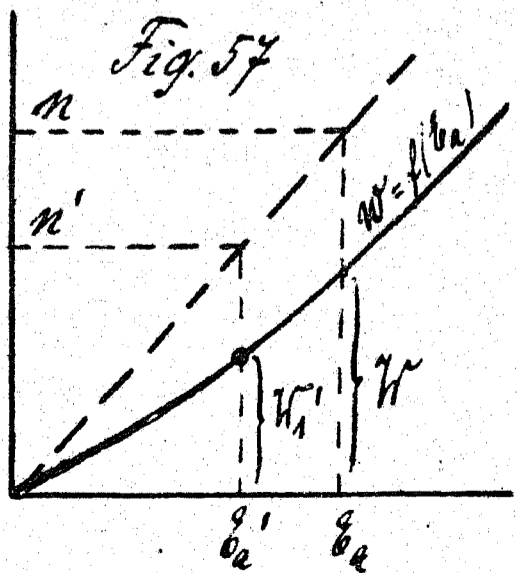


Fig. 57

W Watt und n Umdrehungen bei Erregerstrom i_n und ϵ_a W ϵ_a , so wird bei demselben Erregerstrom i_n und n' Touren die ϵ_a $W = \epsilon_a'$ sein und die aufgemessenen Watt = W_1 (siehe Fig. 57)

Führt man dies bei allen Erregerströmen durch, so bekommt man eine Kurve, welche für konstante Tourenzahl n die Abhängigkeit $W = f(E_u)$ anzeigt. Dasselbe ist für mehrere Tourenzahlen auszuführen, wodurch man eine Kurvenschar wie Fig. 58 erhält.

Die zuletzt erhaltenen Kurven, können, wenn man mit der Erniedrigung der E_u bis zu den Werten gegangen ist, bei welchen die Maschine noch regelmäßig läuft, genügend genau bis zum Schnittpunkt mit der Ordinatenachse verlängert werden. Als Anhaltspunkt für die richtige Verlängerung einer Kurve kann auch noch die Tatsache benützt werden, daß dieselben annähernd quadratischer Natur sind.

$W = W_p + a E_u^2$ worin a eine Konstante ist. Die Abschnitte auf der Ordinatenachse ergeben dann für die einzelnen Tourenzahlen die Reibungsverluste W_{p1}, W_{p2}, \dots welche man in einer Kurve $W_p = f(n)$ (Fig. 59) auftragen kann.

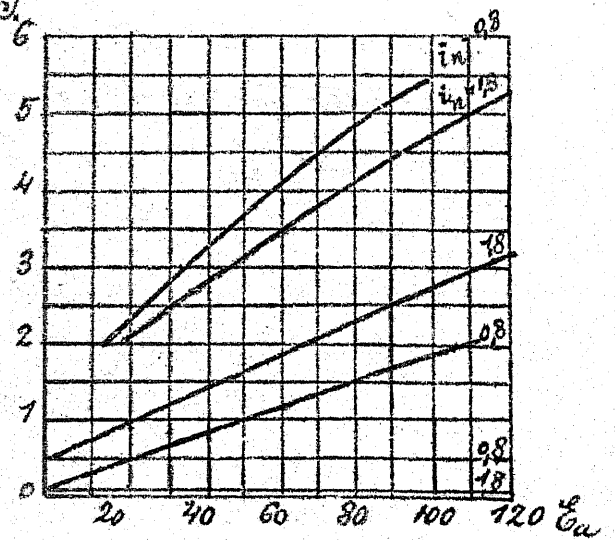
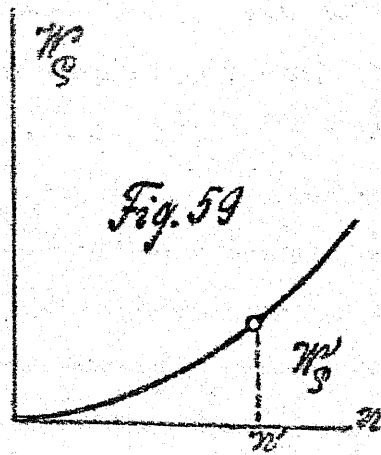


Fig. 60.

Um die Hysterisis- und Wirbelstromverluste zu bestimmen, trägt man sich für jede Erregung i die Ankerstromstärke als Funktion der E_u (Fig. 60) auf.

Die Verluste durch Reibung werden nun wie folgt abgezogen:

Man greift einige Spannungen heraus, für einen bestimmten Erregerstrom i_n , wobei die Tourenzahlen aus der Kurve bekannt sind.

Aus der Kurve Fig. 59 ergeben sich dazugehörige Werte von η_p . Diese Werte, dividirt durch die zugehörigen Spannungen liefern die für die Reibung abzugehenden Ströme i_{p1}, i_{p2}, \dots . Die so erhaltenen Punkte ergeben annähernd wieder eine Gerade, welche von der Ordinatenachse die der Hysterese entsprechende Stromstärke abschneidet.

Die einzelnen Verluste erhält man direkt, wenn man die Stromstärken mit den zugehörigen Spannungen multipliziert und das Produkt als Funktion der ω u. η_p aufträgt. (Fig. 61.)

Dies kann sowohl für einen bestimmten Erregerstrom, als auch für eine bestimmte Tourenzahl durchgeführt werden.

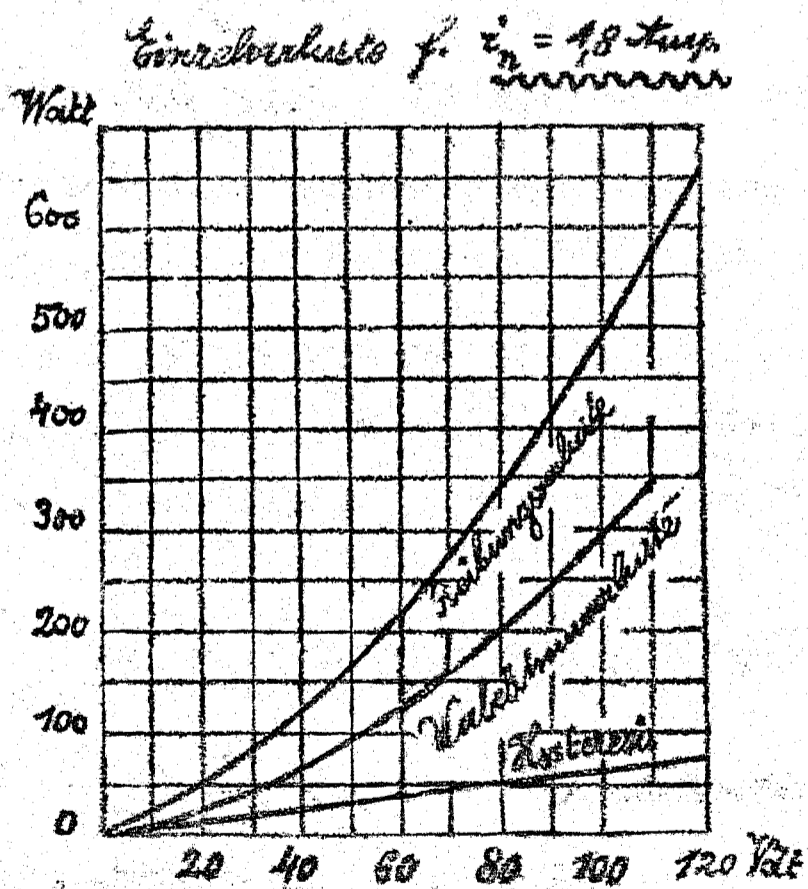


Fig. 61

Aufgabe 34.

Bestimmung der Verluste nach der
Auslaufmethode.

(Arnold. Gl.-M. Bd I S. 513. Bd II S. 494)

Seine Methode beruht auf der Momenten-trägheit. Ist der Kucker in Rotation gesetzt, so wird er, nachdem die Triebkraft auf denselben aufgehört hat zu wirken, und er sich selbst überlassen wird, seine Geschwindigkeit nach und nach verlieren und zwar desto schneller, je größer die Lufterverluste und Reibungsverluste sind.

Hat ein Kucker das Momenten-trägheitsmoment J_z in Bezug auf die Achse und wird ihm eine Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ mitgeteilt, so ist die in dem Kucker-körper aufgespeicherte Energie (lebendige Kraft)

$$L = \frac{1}{2} J_z \omega^2$$

Wird der Kucker jetzt plötzlich sich selbst überlassen, so wird er seine Geschwindigkeit nach und nach verlieren und die aufgespeicherte Arbeit wird in Lufter- und Reibungsverluste umgesetzt. Der von der lebendigen Kraft in irgend einem Moment geleistete Effekt ist gleich

$$-\frac{dL}{dt} = -\frac{1}{2} J_z \omega \frac{d\omega}{dt} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{30}\right)^2 n \frac{dn}{dt} = -C n \frac{dn}{dt}$$

wobei $C = 9,81 \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{30}\right)^2$ Watt.

Um $-\frac{dL}{dt}$ in Watt zu erhalten, wurde der Faktor 9,81 in C hinein verlegt; denn 1 sek kg/m ist gleich 9,81 Watt.

C ist also eine konstante Größe, welche von den Dimensionen des Induktors abhängig ist, und welche wegen der komplizierten Form des Induktors genau nur experimentell bestimmt werden kann.

Der Effekt $-\frac{d\lambda}{dt}$ in Watt ist gleich dem in diesem Momente durch Reibung und im Induktoren auftretenden Verlusten also

$$-\frac{d\lambda}{dt} = -C n \frac{dn}{dt} = W_p + W_h + W_w.$$

Es ist nun folgendes experimentell aufzunehmen.

a) Auslaufkurve:

Nachdem der Induktor auf eine um ca 20% höhere, wie die normale Tourenzahl, gebracht ist, wird der Induktorstrom unterbrochen und eine Kurve aufgenommen, welche die Tourenzahl in Abhängigkeit der Zeit also $n = f(t)$ anzeigt und zwar bei verschiedenen Erregungen $i_n = 0, 1/4, 3/4, 4/4$ normal und wenn möglich noch bei $5/4$ normal.

b) eine sogenannte Verlustkurve.

Bei konstanter normaler Erregung läßt man den Induktor bei verschiedenen Klemmenspannungen verlaufen und mißt jedesmal Klemmenspannung und Induktorstrom. Das Produkt $U_k \cdot I_k$ abzüglich Induktor- und Übergangswiderstand am Kollektor ergibt $U_k I_k$, ist also gleich $W_p + W_h + W_w$.

Bestimmung der Konstante C .

Trägt man wie in Fig. 62 die Auslaufkurve bei normaler Erregung und die Verlustkurve wie da angegeben, auf, so läßt sich die Konstante C folgender Weise bestimmen.

$$-C n \frac{dn}{dt} = W_p + W_h + W_w.$$

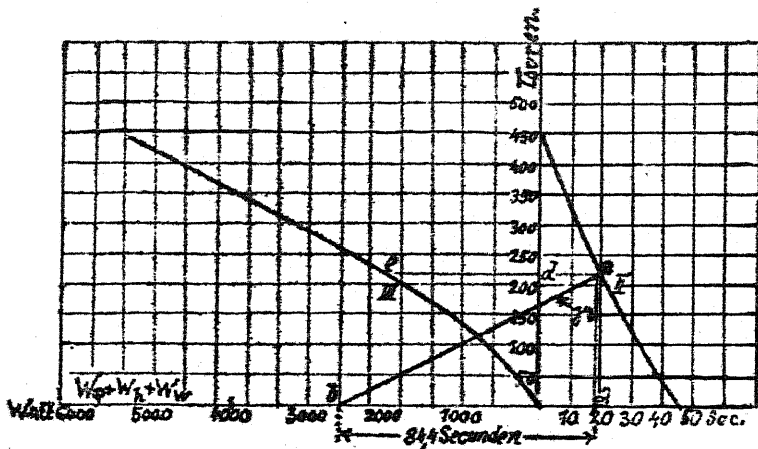


Fig. 62

$W_p + W_m + W_m$ wird durch die Strecke \overline{de} angegeben u durch \overline{ca} ,
 $-\frac{dn}{dt} = \text{tg } f$ also
 ist $ab = -n \frac{dn}{dt}$
 so wird C das Verhältnis zwischen \overline{de} und \overline{ab} .

Ausarbeitung der Resultate.

Da die Constante C jetzt bekannt, können wir aus den anderen Kurvenverläufen (für andere Erregungen) die dabei auftretenden Verluste im Watt bestimmen, indem wir jetzt umgekehrt verfahren. Für eine bestimmte Leistung konstruieren wir die subnormale \overline{ab} , multiplicieren diese mit C und bekommen in das Produkt die bei dieser Leistung und Erregung auftretende Verluste.

So können die Verlustkurven konstruiert werden bei $i_n = 0, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}$ und $\frac{1}{2}$ normal.

Die Verlustkurve bei $i_n = 0$ enthält nur W_p $f(n)$ abgesehen von dem von remanenten Magneten verursachten geringen Eisenverlust.

Die Differenzen zwischen dieser Kurve und den anderen enthalten also die bei verschiedenen Erregungen und Leistungszahlen auftretenden Eisenverluste, also $W_p + W_m = f(n)$

Da nun bei konstantem Felde $W_p = a n$, dagegen $W_m = b n^2$, so lassen sich diese Verluste einfach trennen, indem man $\frac{W_p + W_m}{n} = f(n)$ aufträgt. Die Kurve wird

wie in Fig. 63.

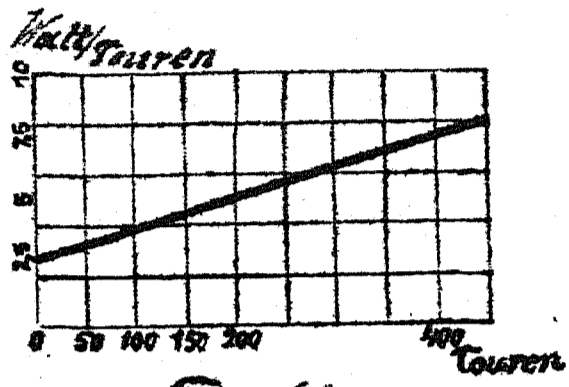


Fig. 63

Der Drahtabchnitt ist die Konstante a , sodass W_h - an jetzt bekannt, eben wie $W_m = W_{hcr} - W_h$. So sind also die Verluste getrennt und können wie in Fig. 64 in Abhängigkeit der Power aufgetragen werden.

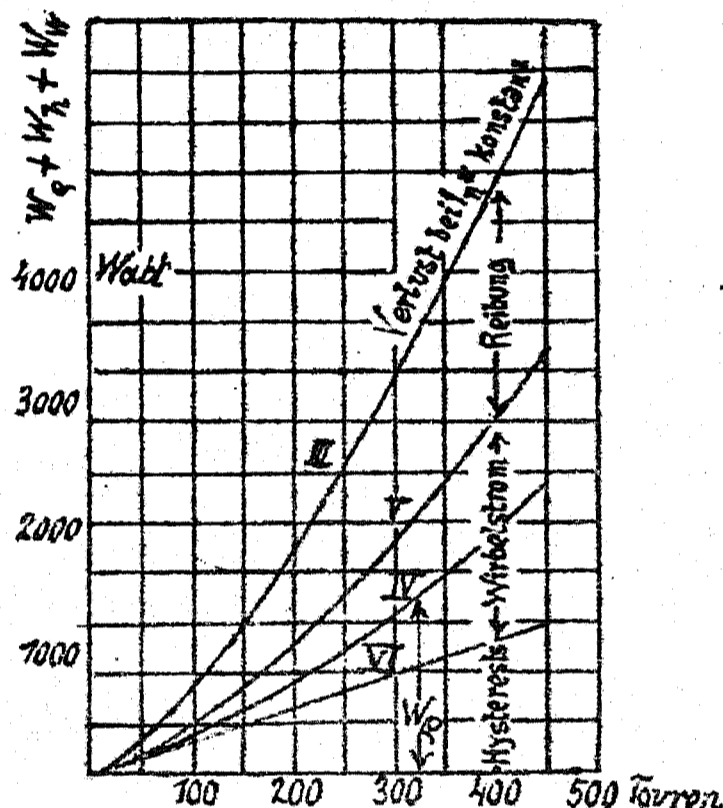


Fig. 64

Überw können die Verluste bei konstanter Powerzahl aufgetragen werden, wozu die verschiedenen Kurven notwendig wären.

Schaltungsschema.

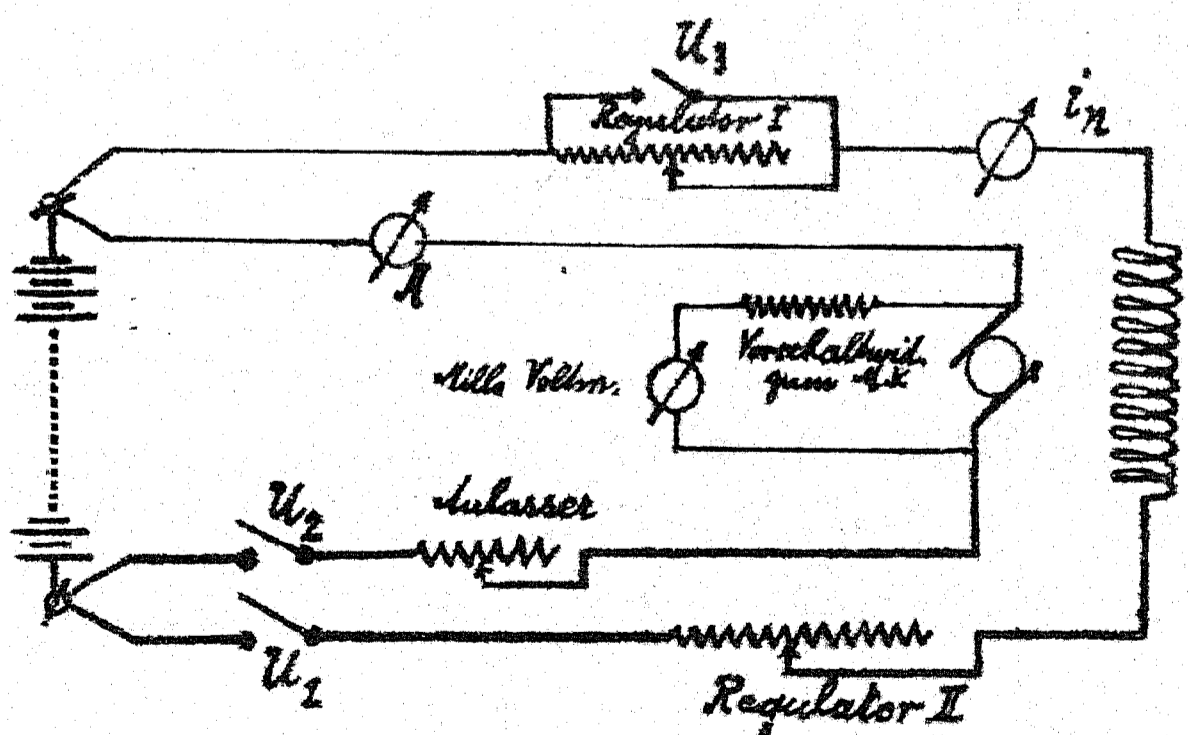


Fig. 65

Tabellen.

Verlustkurve				Acker- und Bürsten Übergangswiderstand			Auslaufkurven.		
i_n	δ_k	i_u	n	γ	$\frac{\delta_k}{\delta_n}$	Ω	i_n	n	Zeit
normale 2.3-normale	variabel	7/11 7/12 ...			7/11 7/12 ...		konstant		

für $i_n = 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1$ normal.

Bemerkungen.

Hat die zu untersuchende Maschine gewöhnliche Lager (keine Kugellager), so ist es erforderlich, daß die Maschine durch einen vorhergegangenen mehrtägigen Betrieb, konstante Temperatur erhalten hat, da sich sonst die Reibungsverhältnisse zu stark ändern.

Da bei hochgeschalteten Maschinen der Verschleiß des Magnetsystems oft lange dauert, wird der obere Teil der Auslaufkurve wertlos sein, die Maschine läuft dann unter anderen Verhältnissen aus, wie bei dem weiteren Teil; darum läßt man die Maschine von einer um Ca 20% höheren Tourenzahl wie der normalen auslaufen.

Die kleineren Werte der Erregung kann man sich leicht bei stillstehender Maschine einstellen und hierauf während des Auslaufes die Regulierverhältnisse kurz richtigstellen.

Fig. 65 dunkeltes U_3 .

Der Regulierwiderstand Ω ist dann so ein- gestellt, daß bei kurzgeschlossenen Widerstand I die um 20% höhere Tourenzahl erreicht wird, während die Widerstände I und Ω zusammen den gewöhnlichen Erregerstrom beim Auslauf hervorruft.

Die momentane Geschwindigkeit des Ankors kann mittels Pachometer abgelesen werden. Da aber bei festem Andrücken dieses Apparats die Lage des Ankors sich ändern kann, (bei kleineren Typen) so ist es besser Voltmeterablesung anzuwenden. Das Verhältnis von Inducirte EMK ist bei konstanter Erregung konstant und man muss dieses Verhältnis kennen zu lernen, braucht man nur einige gleichzeitige Messungen zu machen.

Aufgabe 35.

Bestimmung der Einzelverluste einer Maschine mit der Wirbelstrombremse.

Die weitere Ermittlung der Einzelverluste in einer Dynamomaschine kann auch in der Weise vorgenommen werden, dass man dieselbe bei verschiedenen Betriebsverhältnissen: (Leerlauf, unregelt und erregt, belastet und kurzgeschlossen) durch einen Motor antreibt und den dabei vom Motor jeweils geleisteten Effekt bestimmt. Dies kann nun geschehen, indem der Motor bespannt geacht wird, besser aber, indem die der Maschine zugeführte mechanische Energie durch eine zwischen den Wellen der beiden Maschinen angebrachte Featrkuppelung gemessen wird. Diese weitere Methode lässt sich mit Hilfe einer Wirbelstrombremse ausführen;

Bei dieser Methode kann die Maschine mit
Reinsein angetrieben werden, im Gegensatz
zu der Methode, bei welcher ein geschalteter
Motor verwendet wird.

Bringt man auf der Welle der zu untersu-
chenden Maschine die Scheibe einer Wir-
belstrombremse an, so kann man die Ein-
zelverluste bestimmen, indem man jeweils,
mittels der Bremse auf gleiche Stromauf-
nahme des Motors einstellt.

1. Aufzuga werden also Dynamomaschine
und Bremse beide unerregt mit normaler
Drehzahl vom Motor angetrieben und dessen
Stromaufnahme (konstante Spannung voraus-
gesetzt) aufgenommen.

2. Der Generator wird bei offenem äußeren
Stromkreise auf verschiedene Umlauffrequen-
zen erregt und jeweils die vom Motor
aufgenommenen Ströme beobachtet; hierauf
wird die Erregung des Generator wieder abge-
halten und nun mittels der Bremse die
jeweilige Belastung des Motors wieder her-
gestellt.

Der in der Bremse vernichtete Effekt ist dann
gleich dem bei Erregung auftretenden Hystere-
sis und Wirbelstromverlusten.

3. Dasselbe wird bei sehr schwach erregtem
kurzgeschlossenen Generator gemacht,
wobei Stromwärmeverluste und Wirbelstrom-
verluste infolge des Ankurstromes gefunden
werden.

4. Die an den mit konstanter Nennspannung
und verschiedenen Ankurstrome belasteten Ge-
nerator abgegebene Energie ist nun gleich

der vom Generator abgegebenen, vermehrt
um die Summe aller Verluste.

Diese Gesamtenergie vermindert um die
Reibungsverluste kann nun wieder auf gleiche
Weise mittels der Bremsen bestimmt werden,
sodass, wenn die Reibungsverluste aus Leerlauf
oder Auslaufmethode bekannt sind, die
Summe der tatsächlich auftretenden Verluste
gefunden ist.

Als Vorteil dieses Principes wäre wohl, dass
hier die nicht bestimmbareren Verluste in dem
Bremsen herausfallen und dass man
hauptsächlich bei größeren Maschinen eine
Bremsen verwenden kann, welche mehr der
Größe der Verluste angemessen ist.