

Die elektrische Maschinenanlage des physikalischen Instituts der Universität Greifswald. Beschreibung und Untersuchung derselben.

Von

A. Oberbeck.

1.

In dem Programm für die elektrische Maschinenanlage des, in den Jahren 1889 bis 1891 erbauten, physikalischen Instituts der Universität Greifswald war als Zweck angegeben, dass dieselbe:

1. die Beleuchtung des grossen Hörsaals durch Glühlampen,
2. den Betrieb einer Bogenlampe von 12 bis 15 Ampère,
3. die Lieferung stärkerer Ströme für Versuche der verschiedensten Art,

leisten sollte.

Und zwar sollte sie mindestens zwei der genannten Functionen gleichzeitig ausüben.

Bei der engeren Concurrenz verschiedener Firmen für diese Anlage wurde das Project von Schuckert & Co. in Nürnberg bevorzugt.

Nach demselben wird die Triebkraft durch einen sechspferdigen Deutzer Gasmotor geliefert.

Durch denselben wird eine Schuckert'sche Flachringmaschine (No. 5023) in Bewegung gesetzt, deren normale Tourenzahl auf 1100 in der Minute angesetzt ist.

Dieselbe wird bei gewöhnlichem Betrieb als Compoundmaschine benutzt.

Da sie aber auch gleichzeitig als Unterrichtsobject dienen

soll, so ist die Einrichtung getroffen, dass sie auch als Hauptschluss- und als Nebenschluss-Maschine betrieben werden kann. Ueber die einzelnen Theile der Maschine hat die Firma die folgenden Angaben gemacht.

1. Drahtwindungen des Ankers. Dicke des Drahts 2,8 mm. Gesamtwiderstand (warm): 0,11 Ohm.
2. Die Elektromagnete.
 - a) Hauptwicklung:

Drahtdicke 6,5 mm; Zahl der Drahtlagen für jeden Magnet 2 mit 30 Windungen; hiernach im Ganzen 240 Windungen mit dem Gesamtwiderstand (warm) von 0,057 Ohm.
 - b) Nebenwicklung:

Drahtdicke 1,7 mm; Zahl der Drahtlagen für jeden Magnet 10 mit je 100 Windungen; hiernach im Ganzen 4000 Windungen mit dem Gesamtwiderstand 15,8 Ohm.

Als normale Leistung der Maschine bei der oben genannten Tourenzahl ist angegeben:

- | | | |
|------------------------------|------------|----------|
| a) als Compoundmaschine: | 60 Ampère, | 65 Volt, |
| b) als Hauptschlussmaschine: | 35 - | 30 - |
| c) als Nebenschlussmaschine: | 59 - | 50 - |

Die Verwandlung der verschiedenen Maschinentypen in einander wird an einem unmittelbar neben der Maschine angebrachten Schaltbrett bewirkt. Die dabei getroffene Anordnung lässt sich leicht in der schematischen Zeichnung (Figur 1) verfolgen

Der von dem rotirenden Anker *A* gelieferte Strom verzweigt sich von der Bürste *B* aus in die äussere Leitung *L* und in die Nebenwicklung *N*. Verfolgen wir zunächst den ersten Zweig. Derselbe geht bis zum Punkt *C* eines einpoligen Umschalters. Ist die Verbindung nach *D* hergestellt, so geht der Strom durch die Hauptwicklung *H* nach der Bürste *B*¹. Wird dagegen *C* mit *E* verbunden, so ist die Hauptwicklung ausgeschaltet. Die Compoundanschaltung ist hierdurch in Nebenschluss verwandelt.

Der andere Zweigstrom durchläuft die Nebenwicklung *N* und geht dann bis zum Anfangspunkt *F* des Regulatorwiderstandes *R*. Durch eine, um *H* drehbare Kurbel kann mehr

oder weniger Widerstand eingeschaltet werden. Von der Kurbel H aus geht die Leitung nach B^1 zurück.

Wird die Kurbel über G hinaus gedreht, so ist die Nebenleitung unterbrochen. Die Maschine arbeitet mit Hauptschluss.

Zwischen B und C ist das Voltmeter zur Messung der Klemmspannung an den Endpunkten der Fernleitung angebracht. Letztere enthält das Ampèremeter J .

Ausserdem ist noch die Einrichtung getroffen, dass die Windungen der Elektromagnete der Nebenwicklung entweder hinter einander oder paarweise neben einander geschaltet werden können. Die hierzu erforderlichen Leitungen, sowie der entsprechende Umschalter, sind in der Zeichnung fortgelassen. Hiernach kann die Maschine in sehr verschiedenen Weisen benutzt werden.

Die Fernleitung geht nach einem zweiten Schaltbrett im grossen Hörsaal, von wo aus die Vertheilung in die verschiedenen, oben erwähnten Leitungen erfolgt.

2.

Im Anschluss an diese Beschreibung sollen einige Versuchsreihen über die Wirkung der Maschine mitgetheilt werden. Dieselben bezweckten theils die Leistung derselben quantitativ zu messen, theils die bisher entwickelte Theorie der Dynamomaschinen mit der Erfahrung zu vergleichen.

Die ersten Versuche über Dynamomaschinen wurden mit Hauptschlussmaschinen angestellt. Bei denselben wurde die Tourenzahl, sowie der äussere Widerstand innerhalb weiter Grenzen verändert und die Stromstärke gemessen. Diese Versuche gaben zunächst die Basis, auf der sich die Theorie der Gleichstrommaschinen aufbauen liess.

Bei meinen Versuchen blieb stets die Tourenzahl constant. Sie schwankte, wie mehrfach mit Hilfe eines Tachometers festgestellt wurde, nur sehr wenig und betrug mit geringen Abweichungen 1120 Touren in der Minute. Dagegen wurde bei einer Gruppe von Versuchen der äussere Widerstand verändert und die Klemmspannung und Stromstärke in der äusseren Leitung gemessen. Bei einer zweiten Gruppe wurde die Stromstärke durch geeignete Veränderung des Widerstandes der Fernleitung constant erhalten und die

Klemmspannung gemessen, während der Regulatorwiderstand der Nebenwicklung verändert wurde.

Zum Verständniss der Wirkung einer Dynamomaschine ist es vielleicht zweckmässig, dieselbe zunächst mit einer constanten Kette zu vergleichen.

Ist die elektromotorische Kraft der letzteren E , der innere Widerstand a , der äussere Widerstand w , so ist:

$$E = i(w + a).$$

Definirt man die Klemmspannung durch die Gleichung:

$$e = iw,$$

so ist:

$$e = E - ia.$$

Die Klemmspannung einer constanten Kette nimmt hiernach proportional der Stromstärke ab.

Da Stromstärke und Klemmspannung bei den Dynamomaschinen leicht direct abgelesen werden kann, so sollen hier zunächst die Formeln für diese beiden Grössen abgeleitet und die Klemmspannung (e) als Function der Stromstärke in der Fernleitung (i) ausgedrückt werden.

Die Theorie der Gleichstrommaschinen ist zuerst von O. Frölich ¹⁾, später von R. Clausius ²⁾ entwickelt worden.

Es sollen hier die einfacheren Annahmen der ersteren Theorie zu Grunde gelegt werden. Zunächst ist dabei der Thatsache Rechnung zu tragen, dass der Magnetismus einer Eisenmasse unter dem Einfluss einer magnetisirenden Kraft bei kleineren Kräften derselben proportional, bei stärkeren aber langsamer wächst und sich einem Grenzwert h nähert. Da die magnetisirende Kraft der Feldmagnete von den dieselben umgebenden stromdurchflossenen Drahtwindungen herührt, so ist dieselbe der Windungszahl m und der Stromstärke J proportional. Hiernach hat O. Frölich für die Stärke des Magnetfeldes M den zweckmässigen Ausdruck:

$$(1) \quad M = \frac{\mu m J}{1 + \mu m J}$$

eingeführt.

1) O. Frölich. Die dynamoelektrische Maschine. Berlin 1886. Ueber weitere Literaturangaben vergl. E. Kittler, Handbuch der Elektrotechnik. 1886. I. p. 374—446.

2) R. Clausius. Wied. Ann. 20. p. 353. 1883.

Sind die Magnete mit zwei Windungslagen versehen, wie bei der gemischten Wickelung, so würde der entsprechende Ausdruck:

$$(2) \quad M = \frac{\mu (m_1 J_1 + m_2 J_2)}{1 + \mu (m_1 J_1 + m_2 J_2)} \text{ heissen.}$$

Hat der Magnetismus bei gleichmässiger Drehung den ihm zukommenden Werth erreicht, so kann man die inducirte, elektromotorische Kraft E durch die Gleichung:

$$(3) \quad E = n f M,$$

ausdrücken, wo n die Tourenzahl ist und f als Ankerconstante bezeichnet wird.

Bei der Hauptschlussmaschine bilden die Windungen des Ankers, der Elektromagnete und die äussere Leitung einen unverzweigten Stromkreis. Bezeichnet man die entsprechenden Widerstände mit a , b , w , die Stromstärke mit i , so gelten ausser (3) die Gleichungen:

$$(4) \quad \left\{ \begin{array}{l} i(a + b + w) = E, \\ M = \frac{\mu m i}{1 + \mu m i}. \end{array} \right.$$

Aus denselben folgt:

$$(5) \quad i = \frac{n f}{a + b + w} - \frac{1}{m \mu}.$$

Die Klemmspannung: $e = i w$ ist:

$$(6) \quad e = i \left\{ \frac{\frac{n f}{1} - (a + b)}{\frac{1}{m \mu} + i} \right\}$$

Dieselbe verhält sich wesentlich anders, wie diejenige einer constanten Kette. Während sie für $i = 0$ ebenfalls 0, überhaupt für kleine Werthe von i sehr klein ist, erreicht dieselbe für grössere Werthe der Stromstärke einen Maximalwerth und sinkt von da ab wieder mit steigender Intensität.

Da hierdurch diese Form für viele Anwendungen ungeeignet ist, so wurden andere Anordnungen getroffen, die als Nebenschlussmaschinen und als Compound- oder Verbund-Maschinen oder als Maschinen mit gemischter Wickelung bezeichnet werden.

Da man von der letzteren, allgemeineren Form leicht auf

den Nebenschluss als speciellen Fall übergehen kann, so soll dieselbe hier kurz besprochen werden.

Die Elektromagnete sind bei derselben von zwei Wicklungen umgeben, der Hauptwicklung (H) mit geringerer Windungszahl und kleinerem Widerstand und der Nebenwicklung (N) mit grösserer Windungszahl und grösserem Widerstand. Es sind dabei zwei verschiedene Anordnungen üblich, die leicht aus den folgenden beiden, schematischen Zeichnungen (Fig. 2 und Fig. 3) hervorgehen, in denen A den Anker, L die Fernleitung bedeuten soll.

Die erste Schaltung heisst:

Nebenschluss parallel zum Anker,
die andere:

Nebenschluss parallel zur Leitung.

Zur Entwicklung der Formeln für diese beiden Anordnungen soll bezeichnet werden:

für den Anker der Widerstand mit a , die Stromstärke mit x ,
für die Fernleitung Widerstand mit w , Stromstärke mit i ,
für die Hauptwicklung Widerstand b_1 , Windungszahl m_1 ,
für die Nebenwicklung Widerstand b_2 , Windungszahl m_2 ,
Stromstärke y .

Dann gelten die folgenden Gleichungssysteme:

$$\text{I.} \quad E = \frac{nf\mu(m_1 i + m_2 y)}{1 + \mu(m_1 i + m_2 y)},$$

$$E = ax + i(b_1 + w),$$

$$(b_1 + w)i = b_2 y, \quad x = i + y.$$

$$\text{II.} \quad E = \frac{nf\mu(m_1 x + m_2 y)}{1 + \mu(m_1 x + m_2 y)},$$

$$E = (a + b_1)x + iw,$$

$$iw = b_2 y, \quad x = i + y.$$

Nach Elimination von x und y aus beiden Systemen erhält man Ausdrücke für i , denen man in beiden Fällen die gleiche Form:

$$(7) \quad i = \frac{p}{w + r} - \frac{q}{w + s},$$

geben kann. Die Werthe der Constanten sind bei:

$$(8) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{I. } p = \frac{nf b_2}{a + b_2}, \quad q = \frac{b_2}{\mu m_2}, \\ r = \frac{ab_1 + ab_2 + b_1 b_2}{a + b_2}, \quad s = b_1 + b_2 \frac{m_1}{m_2}. \end{array} \right.$$

$$(9) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{II. } p = \frac{nf b_2}{a + b_1 + b_2}, \quad q = \frac{b_2}{\mu (m_1 + m_2)} \\ r = \frac{b_2 (a + b_1)}{a + b_1 + b_2}, \quad s = \frac{m_1 b_2}{m_1 + m_2}. \end{array} \right.$$

Für den Nebenschluss erhält man leicht die specielleren Werthe, wenn man: $b_1 = m_1 = 0$ setzt.

Da es sich hierbei nur um eine Wickelung handelt, so können von b_2 und m_2 noch die Indices fortgelassen werden. Dann ist:

$$(10) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{III. } p = \frac{nf b}{a + b}, \quad q = \frac{b}{\mu m}, \\ r = \frac{ab}{a + b}, \quad s = 0. \end{array} \right.$$

In diesen Formeln sind überall: nf (bei gleichbleibender Tourenzahl) und μ Constanten der Maschine, welche — die stete Gültigkeit der zu Grunde liegenden Theorie vorausgesetzt — bei allen Anordnungen dieselben Werthe haben müssten.

Es wurde früher erwähnt, dass die Nebenwicklung so geschaltet werden kann, dass der betreffende Strom entweder die Windungen aller vier Magnete hintereinander durchläuft, oder dass sich derselbe verzweigt und jeder Zweigstrom zwei Windungen durchfließt. Die oben entwickelten Formeln gelten zunächst für den ersten Fall. Dann ist insbesondere:

$$b_2 = \rho + \nu,$$

wenn ρ der eingeschaltete Theil des Regulatorwiderstandes und ν der Gesamtwiderstand der Nebenwicklung ist. Sind die beiden Magnetpaare parallel geschaltet, so sind die früheren Formeln, wie eine einfache Rechnung zeigt, auch dann noch anwendbar, wenn man:

$$b_2 = \rho + \frac{\nu}{4}$$

setzt und an Stelle von m_2 oder $m : \frac{m_2}{2}$ oder $\frac{m}{2}$ einführt.

Alle weiteren Betrachtungen können hiernach an die Gleichung:

$$i = \frac{p}{w+r} - \frac{q}{w+s}$$

geknüpft werden.

Die Auflösung dieser Gleichung nach w liefert:

$$w = \frac{1}{2} \left\{ \frac{p-q}{i} - (r+s) \right\} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{p-q}{i} \right)^2 + 2 \frac{(s-r)(p+q)}{i} + (s-r)^2}$$

Hiernach ist die Klemmspannung $e = iw$ als Function der Stromstärke:

$$(11) \quad e = \frac{1}{2} \{ p-q-(r+s)i \} + \frac{1}{2} \sqrt{(p-q)^2 + 2(s-r)(p+q)i + (s-r)^2 i^2}.$$

Die später mitzutheilenden Versuche lehren, dass es gestattet ist, die Wurzeln nach Potenzen von i zu entwickeln und bei den Gliedern von der Ordnung i^2 stehen zu bleiben. Dann ist:

$$(12) \quad e = p - q + \frac{sq - pr}{p - q} i - \frac{pq(s - r)^2 i^2}{(p - q)^3}.$$

Aus den letzten beiden Formeln geht hervor, dass für $i = 0$, die Klemmspannung von Null verschieden ist. Bezeichnet man dieselbe mit e_0 , so ist:

$$(13) \quad e_0 = p - q,$$

$$(14) \quad e = e_0 + \frac{sq - pr}{e_0} i - \frac{pq(s - r)^2 i^2}{e_0^3}.$$

Für den Nebenschluss gilt die speciellere Gleichung:

$$(15) \quad e = e_0 - \frac{pr}{e_0} i - \frac{pqr^2 i^2}{e_0^3}.$$

Hiernach nimmt zunächst beim Nebenschluss die Klemmspannung mit wachsender Stromstärke ab, für schwächere Ströme derselben proportional. Die Dynamomaschine ver-

hält sich dann nahezu wie eine constante Kette mit der elektromotorischen Kraft e_0 und einem (fingirten) inneren Widerstand von der Grösse $\frac{pr}{e_0}$, genauer wie eine solche Kette, bei welcher der innere Widerstand mit der Stromstärke zunimmt, wenn man das zweite Glied noch beachtet.

Bei den Compoundmaschinen hängt die Veränderung der Klemmspannung mit der Stromstärke in erster Linie von dem Factor: $sq - pr$ ab. Derselbe war stets positiv. Ist die Anordnung so getroffen, dass derselbe Null oder klein ist, so würde eine solche Maschine nahezu gleiche Klemmspannung behalten. Man bezeichnet dieselben auch wohl als Gleichspannungsmaschinen. Ist dies nicht der Fall, so ist durch Veränderung des Regulatorwiderstandes jedenfalls die Möglichkeit gegeben, die Spannung e innerhalb weiter Grenzen von i constant zu erhalten. Ein Gleiches gilt auch von dem Nebenschluss. In beiden Fällen wird b_2 resp. b durch den Regulatorwiderstand verändert. Eine Vermehrung desselben bedingt eine Vergrösserung von q und eine gleichzeitige Vergrösserung von $(sq - pr)i$. Bei Compound treten dieselben mit entgegengesetzten Zeichen auf. Hiernach ist mit zunehmender Stromstärke auch der Regulatorwiderstand zu vergrössern. Bei Nebenschluss ist umgekehrt zur Erhaltung der Spannung bei wachsender Stromstärke der Regulatorwiderstand zu verkleinern.

Die Gleichungen (14) und (15) kann man noch auf die Form bringen:

$$(16) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_0(e - e_0)}{i} = \alpha - \beta i, \\ \text{wenn man:} \\ \alpha = sq - pr, \beta = \frac{pq(s - r)^2}{e_0^2} \text{ setzt,} \end{array} \right.$$

und:

$$(17) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_0(e_0 - e)}{i} = \gamma + \delta i, \text{ wenn man:} \\ \gamma = pr, \delta = \frac{pqr^2}{e_0^2} \end{array} \right.$$

setzt.

Bei der Maschine des Instituts ist der Nebenschluss parallel zum Anker. Es sind daher die Werthe der Constanten nach Gleichungen (8) zutreffend.

3.

Wir wenden uns nun zur Besprechung der angestellten Versuche.

Bei der ersten Gruppe wurde, wie schon früher angegeben, der Regulatorwiderstand während einer Versuchsreihe constant erhalten. Nachdem die Maschine in Thätigkeit gesetzt war, wurde ein geeigneter Regulatorwiderstand eingeschaltet und zunächst die Klemmspannung bei offener Fernleitung (e_0) beobachtet. Hierauf wurde letztere durch einen Neusilberdrahtwiderstand geschlossen und derselbe so regulirt, dass die Stromstärke in der Fernleitung 5, dann 10, dann 15 Ampère betrug. Die entsprechende Klemmspannung wurde notirt. Dann wurden von den vorhandenen 9 Glühlampen von 50 Kerzen Lichtstärke, welche zur Beleuchtung des Hörsaals dienten, je 3 nacheinander eingeschaltet und jedesmal wieder durch Verstellen des Neusilberrheostaten bewirkt, dass die gesammte Stromstärke der Fernleitung einen passenden Werth erhielt. Hierdurch konnte ich bis zu 40 A. gehen. Sodann wurden die Lampen nach und nach wieder ausgeschaltet und der Widerstand verkleinert. Dabei ergab sich, dass die Klemmspannungen bei absteigender Stromstärke stets etwas anders ausfielen, als bei ansteigender.

Bei Verbundanordnung waren dieselben beim Absteigen grösser, als beim Ansteigen. Bei Nebenschluss trat das entgegengesetzte Verhalten ein. Wir haben es hier jedenfalls mit der bekannten Eigenschaft des Eisens zu thun, der man die Bezeichnung „Hysteresis“ gegeben hat, wonach das Eisen beim Uebergang von einer starken zu einer schwächeren Magnetisirung einen grösseren Magnetismus zeigt als im umgekehrten Fall, obgleich die magnetisirende Kraft denselben Werth hat. Letztere hat bei Compound I. den Werth:

$$\frac{i}{b_2} \{m_2 w + m_2 b_1 + m_1 b_2\} = \frac{m_2}{b_2} e + \frac{i}{b_2} \{m_1 b_2 + m_2 b_1\}.$$

Sie wächst also mit e und i . Bei Nebenschluss ist der

Werth für dieselbe: $\frac{me}{b}$. Hier ist sie also allein von der Klemmspannung abhängig.

Ich theile hiernach zunächst zwei Reihen ausführlich mit, welche die erwähnte Erscheinung deutlich erkennen lassen. —

In den folgenden beiden Tabellen ist unter G die Anzahl der eingeschalteten Glühlampen angegeben unter e , die beobachtete Klemmspannung in Volt unter i die Gesamtstärke des Stromes der Fernleitung in Ampère. In den Zweig, der den Neusilberwiderstand enthielt, war ein zweites Ampèremeter eingeschaltet. Die dort beobachtete Stromstärke ist i^1 . Die Differenz $i - i^1$ giebt daher den durch die Glühlampen gehenden Strom. Hiernach ist $\frac{e}{i - i^1}$ der Widerstand der betreffenden, bekanntlich stets nebeneinander geschalteten Glühlampen.

Tabelle 1. Verbund.

G	e	i	i^1	$i - i^1$
0	54	0	0	0
0	57	5	5	0
0	60	10	10	0
3	62	15	8,5	6,5
6	65	20	6,5	13,5
6	66	25	11,5	13,5
6	68	30	16,0	14,0
6	65	20	6,3	13,7
3	62	10	3,5	6,5
0	60	5	5	0
0	57	0	0	0

Tabelle 2. Nebenschluss.

G	e	i	i^1	$i - i^1$
0	65	0	0	0
0	62	5	5	0
0	58	10	10	0
3	55	15	9,2	5,8
6	51	20	9,5	10,5
9	46	25	13,0	12,0
9	40	30	20,0	10,0
9	45	25	13,6	11,4
9	49	20	6,8	13,2
6	52	15	6,0	9,0

G	e	i	i^1	$i - i^1$
3	57	10	5,4	4,6
0	57	10	10	0
0	61	5	5	0
0	64	0	0	0

Hiernach ergibt sich zunächst der Widerstand von je 6 Glühlampen bei der Tabelle 1. zu:

4,81 4,89 4,85 4,74

im Mittel: 4,82. Also der durchschnittliche Widerstand einer Lampe: 25,92 Ohm. Aus Tabelle 2. folgt für die 9 Lampen:

3,83 4,00 3,96 3,74

im Mittel: 3,88. Also durchschnittlich für eine Lampe: 34,92 Ohm. Die Verschiedenheit dieser Werthe erklärt sich leicht dadurch, dass im ersten Fall ein Strom von ungefähr 2,4 A., im zweiten ein solcher von ungefähr 1,3 A. durch jede Lampe ging.

Im ersten Fall glühten dieselben lebhaft, im zweiten nur ganz schwach. Der Widerstand der Kohlenfäden nimmt aber, wie bekannt, mit zunehmender Temperatur ab.

Die oben erwähnte Verschiedenheit der Spannungen bei Auf- und Absteigen der Stromstärke folgt leicht bei Durchmusterung der Spalten e und i der beiden Tabellen. Um die hierdurch eintretende Unsicherheit der Beobachtungen möglichst zu beseitigen, wurden bei den weiteren Reihen die Werthe der Spannungen mehrfach bei auf- und absteigenden Stromstärken notirt und hieraus die Mittel genommen.

In den folgenden Tabellen sind demnach unter e diese Mittelwerthe der Klemmspannung zu verstehen. Ausser e und i sind dann noch die Werthe $\frac{e - e_0}{i}$ bei Verbund und $\frac{e_0 - e}{i}$

bei Nebenschluss und schliesslich noch die Producte derselben mit e_0 angegeben. Letztere sind von besonderem Interesse, da sie eine directe Vergleichung mit den früher entwickelten Formeln (16) und (17) gestatten.

Es sind ferner die Werthe von b_2 und s bei Verbund und b bei Nebenschluss mitgetheilt. Von diesen kann b_2 und b direct aus dem Widerstand der Nebenwindungen und dem eingeschalteten Regulatorwiderstand berechnet werden, während s aus den Gleichungen (8) folgt.

Tabelle 3.

Verbund. Magnete hinter einander.

$$b_2 = 24,6. \quad s = 1,54$$

i	e	$\frac{e - e_0}{i}$	$\frac{(e - e_0) e_0}{i}$
0	46,7		
5	51,5	0,93	43,4
10	55,0	0,83	38,8
15	56,7	0,67	31,9
20	60,0	0,66	30,8
25	61,7	0,60	28,0
30	64,0	0,58	27,1
35	65,0	0,50	23,4

Tabelle 4.

Nebenschluss. Magnete hinter einander.

$$b = 17,6 \text{ Ohm.}$$

i	e	$\frac{e_0 - e}{i}$	$\left(\frac{e_0 - e}{i}\right) e_0$
0	66,0		
5	63,3	0,56	36,9
10	60,0	0,60	39,6
15	56,5	0,63	41,6
20	52,5	0,67	44,2
25	49,0	0,68	44,9
30	43,7	0,74	48,8
35	40,0	0,74	48,8

Tabelle 5.

Nebenschluss. Magnete nebeneinander.

$$b = 8,5 \text{ Ohm.}$$

i	e	$\frac{e_0 - e}{i}$	$\frac{(e_0 - e) e_0}{i}$
0	65,3		
5	62,7	0,52	33,9
10	60,2	0,51	33,3
15	57,0	0,55	35,9
20	53,3	0,60	39,2
25	49,5	0,63	41,1
30	45,3	0,67	43,8

Die mitgetheilten Beobachtungen stimmen in der Hauptsache mit den aus der Theorie folgenden Formeln überein.

Bei Verbund nimmt die Klemmspannung mit wachsender Stromintensität zu und zwar etwas langsamer wie letztere.

Bei Nebenschluss nimmt die Klemmspannung mit wachsender Stromstärke ab, etwas stärker als die Stromstärke zunimmt.

Das Verhalten der Nebenschlussmaschine⁹ kommt, wie schon früher bemerkt, demjenigen einer constanten Kette sehr nahe. Bei den Versuchsreihen der Tabeilen 4. und 5. kann die Maschine angesehen werden wie eine constante Kette von ungefähr 66 Volt Spannung und einem (fingirten) Widerstand, der langsam mit der Stromstärke wächst bei Tabelle 4. von 0,56 bis 0,74, bei Tabelle 5. von 0,52 bis 0,67 Ohm.

Ein eingehenderer Vergleich mit den Formeln (14) bis (17) kann durch Berechnung der Constanten α und β resp. γ und δ vorgenommen werden. Um für dieselben Werthe zu erhalten, die möglichst wenig von den zufälligen Unregelmässigkeiten der Einzelbeobachtungen abhängen, wurde in der folgenden Weise vorgegangen. Bezeichnet man in der

Tabeile 3. die Werthe der letzten Spalte: $\frac{(e - e_0) e_0}{i}$ mit A , so wurden α und β aus zwei Gleichungen:

$$A = \alpha - \beta 10.$$

$$A^1 = \alpha - \beta 35.$$

berechnet. Die Werthe A und A^1 , entsprechend den Stromstärken $i = 10$ und 35 , habe ich noch, um auch die benachbarten Beobachtungen möglichst auszunutzen, in der Weise berechnet, dass ich:

$$A = \frac{1}{4} \{A_5 + 2A_{10} + A_{15}\},$$

$$A^1 = \frac{1}{4} \{A_{30} + 2A_{35} + A_{40}\},$$

setzte, wo der Index von A denjenigen Werth bedeutet, der zu der entsprechenden Stromstärke gehört. Dasselbe Verfahren wurde auch bei den übrigen Tabellen befolgt.

Hiernach ergaben sich die folgenden Werthe:

$$\text{Tabelle 3: } \alpha = 44,10. \quad \beta = 0,590.$$

Für die Beobachtungen mit Nebenschluss:

$$\text{Tabelle 4: } \gamma = 35,12, \delta = 0,430.$$

$$\text{Tabelle 5: } \gamma = 29,3, \delta = 0,480.$$

Wie schon früher bemerkt, folgen die Werthe von s und r aus den Angaben über den Widerstand der Magnetwindungen und der Ankerwindungen. Insbesondere ist r nach den Formeln (9) und (10) bei Verbund nahezu $a + b_1$, bei Nebenschluss nahezu a selbst, da b_2 resp. b gross im Vergleich zu a und b_1 sind.

Hiernach lag es nahe aus den Gleichungen (bei Verbund):

$$e_0 = p - q,$$

$$\alpha = qs - pr,$$

die beiden Unbekannten p und q zu berechnen. Die Ausrechnung gab aber keine befriedigende Uebereinstimmung. Insbesondere die Grösse p , welche aus den oben angeführten Gründen in allen Fällen nahezu denselben Werth:

$$p = nf$$

hätte haben sollen, fiel ziemlich verschieden aus. Es liegt dies jedenfalls daran, dass durch eine geringe Veränderung der kleinen Widerstände r oder a grosse Veränderungen von p bedingt werden. Da möglicherweise ein, wenn auch nur kleiner, wahrscheinlich nicht immer constanter Uebergangswiderstand an den Bürsten auftritt, so erklärt sich daraus sehr wohl die Veränderlichkeit des Widerstands a .

Um unabhängig von a die Grössen p und q einigermaßen beurtheilen zu können, wurden noch einige weitere Beobachtungsreihen ausgeführt. Bei denselben wurden, während die Maschine in gleichmässiger Thätigkeit war, nach einander verschiedene Werthe des Regulatorwiderstandes eingeschaltet. Es wurde dann jedesmal die entsprechende Klemmspannung beobachtet, zunächst bei offener Fernleitung, also bei der Stromstärke $i = 0$, ferner bei Schliessung der Fernleitung durch den Rheostaten, wobei in denselben stets ein solcher Widerstand eingeschaltet wurde, dass die Stromstärke denselben Werth behielt. Die Resultate dieser Beobachtungen sind in den Tabellen (8) bis (11) enthalten.

In denselben ist unter b der Widerstand der Neben-

wicklung angegeben und zwar für Schaltung der Magnete hintereinander nach der Gleichung: $b = \rho + v$, für Schaltung paarweise neben einander, $b = \rho + \frac{v}{4}$. Die drei übrigen Spalten enthalten die beobachteten Werthe der Klemmspannung, wenn die Stromstärken gleichzeitig die darüber stehenden Werthe besaßen.

Tabelle 6.

Nebenschluss. Magnete nebeneinander.

b	$i = 0$	$i = 15$	$i = 25$
7,2			70,5
7,9		69,5	64,0
8,5	71,5	63,3	56,0
9,2	65,7	57,3	49,7
10,6	56,0	46,7	
11,9	48,0		

Tabelle 7.

Verbund. Magnete hintereinander.

b	$i = 0$	$i = 10$	$i = 30$
18,6	70,0		
19,2	68,0		
19,9	66,5		
20,5	65,0	68,5	
21,2	62,5	65,5	
22,6	58,5	64,0	70,5
23,9	54,5	60,5	68,0
25,3	51,0	58,0	66,0
26,6		56,0	64,5
27,9		53,5	63,5
29,1			62,0

Tabelle 8.

Nebenschluss. Magnete hintereinander.

b	$i = 0$	$i = 10$	$i = 25$
16,0			63,0
16,6		70,0	60,0
17,3		67,0	55,5
17,9	70,5	64,0	52,5
18,6	67,5	61,5	50,0

b	$i = 0$	$i = 10$	$i = 25$
19,2	66,0	58,5	47,0
19,9	63,0	56,5	44,0
20,5	61,0	53,5	
21,2	58,5	51,5	
22,6	54,0	48,0	
23,9	50,5		

Mit Hilfe der letzten drei Reihen lassen sich die Constanten der Maschine ziemlich genau berechnen. Insbesondere können hierzu die Beobachtungen der Klemmspannung für $i = 0$ verwandt werden.

Nach den Gleichungen (8) und (13) ist für Verbund (Magnete hintereinander):

$$e_0 = p - q = \frac{nf b_2}{a + b_2} - \frac{b_2}{\mu m_2}.$$

Der Widerstand a beträgt etwa 0,2 Ohm. Er ist so klein im Vergleich zu den b_2 , dass man angenähert den Factor:

$\frac{b_2}{a + b_2}$ der Einheit gleichsetzen kann.

Hiernach sind die Constanten der Maschine bei normaler Tourenzahl: nf und $\frac{1}{\mu}$ in einfacher Weise aus den Beobachtungen zu berechnen. Die Windungszahlen m und m_2 sind im ersten Abschnitt zu 240 und 4000 angegeben. Beachtet man noch die über die Schaltung der Magnete neben einander gemachte Bemerkung, nach welcher in diesem Fall nur $\frac{m_2}{2}$ zu benutzen ist, so erhält man die folgenden Gleichungen für die einzelnen Tabellen:

$$\text{Tab. 6: } e_0 = nf - \frac{b}{\mu \cdot 2000},$$

$$\text{Tab. 7: } e_0 = nf - \frac{b}{\mu \cdot 4000}.$$

$$\text{Tab. 8: } e_0 = nf - \frac{b}{\mu \cdot 4000}.$$

Combinirt man je zwei Werthe von e_0 , welche zwei verschiedenen Werthen von b entsprechen — es wurde jedesmal der erste und letzte Werth der Reihe benutzt —, so erhält

man zwei Gleichungen, aus denen man die beiden Unbekannten nf und $\frac{1}{\mu}$ berechnen kann.

$$\text{Tab. 6: } nf = 130,2, \frac{1}{\mu} = 13820.$$

$$\text{Tab. 7: } nf = 122,8, \frac{1}{\mu} = 11360.$$

$$\text{Tab. 8: } nf = 130,2, \frac{1}{\mu} = 13333.$$

Die Uebereinstimmung ist bis auf den einen Werth von $\frac{1}{\mu}$ als befriedigend zu bezeichnen.

Eine weitere Durchsicht der Tabellen zeigt auch noch in einfacher Weise, welche Veränderungen des Nebenschlusswiderstandes in jedem Fall erforderlich sind, um die Klemmspannung für beliebige Stromstärke constant zu erhalten. Benutzt man die gefundenen Werthe, um mit ihrer Hilfe die früheren Reihen nochmals mit der Theorie zu vergleichen, so findet man allerdings etwas veränderliche Werthe für r , woraus auf Schwankungen des Ankerwiderstandes zu schliessen ist.

Hiervon abgesehen ist die oben auseinandergesetzte Theorie wohl geeignet, das Verhalten der Dynamomaschinen unter den verschiedensten Umständen zu erklären.

Fig. 1.

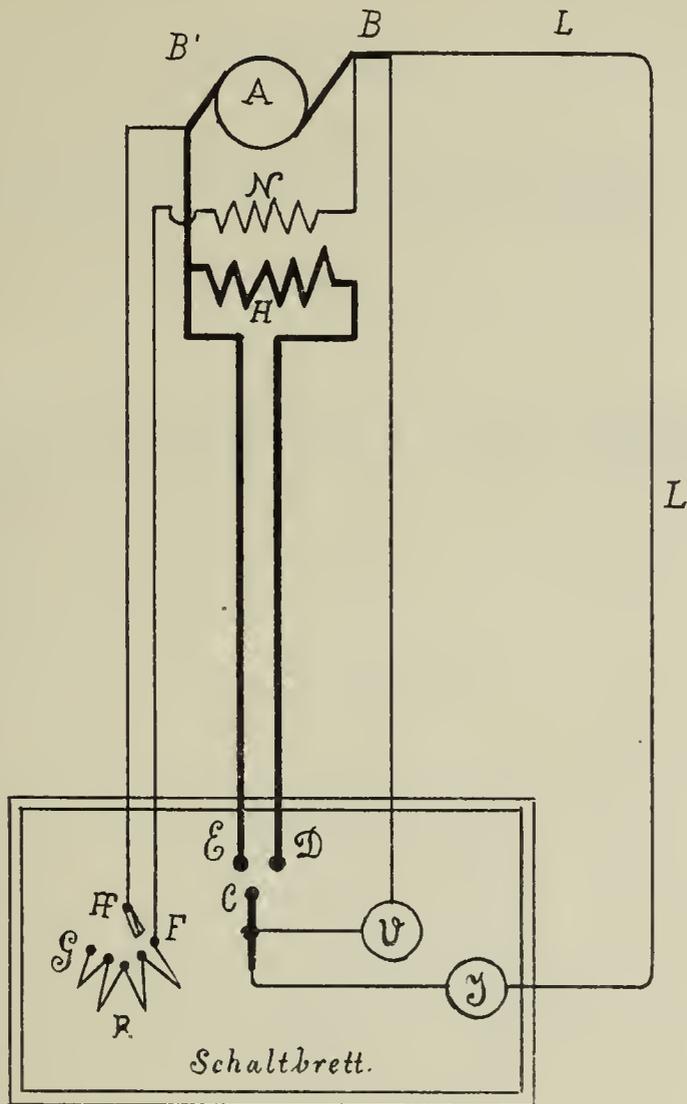


Fig. 2.

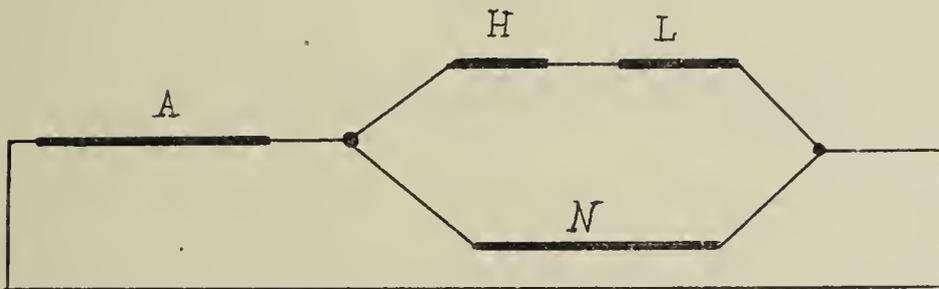
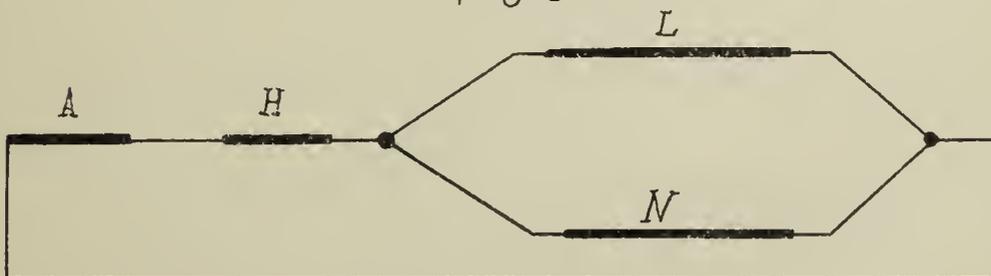


Fig. 3.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mittheilungen aus dem naturwissenschaftlichen Vereine von Neu-Vorpommern und Rügen](#)

Jahr/Year: 1891

Band/Volume: [23](#)

Autor(en)/Author(s): Oberbeck A.

Artikel/Article: [Die elektrische Maschinenanlage des physikalischen Instituts der Universität Greifswald. Beschreibung und Untersuchung derselben 157-174](#)