

I. Aus der Elektrizitätslehre.

§ 1. Elektrische Spannungsreihe = Aufeinanderfolge der Metalle und Stoffe, bei deren gegenseitiger Berührung und Verbindung durch einen Draht ein schwacher elektrischer Strom fließt. Physiker Volta stellte gegen 1795 folgende Spannungsreihe:

Zink — Blei — Zinn — Wismuth — Antimon — Eisen — Kupfer — Silber — Gold — Platin — Kohle — Braunstein

auf und fand, daß durch Einlegung angesäuertes Tuch- oder Filzstreifen zwischen zwei Metallen vorstehender Spannungsreihe Strom verstärkt wurde. Dieser wurde um so stärker, je weiter Metalle vorstehender Spannungsreihe voneinander entfernt waren. Hiermit war der Weg zur Erfindung der galvanischen Elemente gegeben.

§ 2. Galvanische Elemente.

*) Die galvanischen Elemente sind, auch wenn sie für Kraftstellwerte nicht in Frage kommen, lediglich zur Verständlichmachung der folgenden §§ kurz behandelt.

Vorstehende Spannungsreihe läßt erkennen, daß ein Element aus Zink- und Bleielektroden die kleinste elektromotorische Kraft, ein Element aus Zink- und Braunsteinelektroden bei zweckmäßigstem Elektrolyt (Elementflüssigkeit) die größte elektromotorische Kraft ergibt. Negative (—) Elektrizität wird vom Zinkpol, positive (+) vom darauffolgenden Metall der Spannungsreihe abgenommen. Als Elektrolyt werden verwendet: Bittersalz, Kupfervitriol, Salmiak, verdünnte Schwefelsäurelösungen u. dgl. Der elektrische Strom entsteht durch die chemischen Vorgänge im geschlossenen Element (Umwandlung des Zinkes in Zinksulfat u. dgl., Zersetzung des Elektrolytes) und der hierdurch zwischen beiden Elektroden hervorgerufenen Spannungsunterschiede (Potentialdifferenz).

Da bei den galvanischen Elementen dieser Spannungsunterschied im geschlossenen Zustand in gewissen Grenzen dauernd vorhanden sein muß, so ergibt sich hieraus das Vorhandensein einer treibenden Kraft im Element. Diese wird als elektromotorische Kraft (EMK) bezeichnet und in Volt (V) ausgedrückt, z. B. EMK = . . . V. In Abbildung 1 sind a und b zwei Metalle der Spannungsreihe. Die schiefe Ebene 1—2 stellt die EMK dar. Zum Unterschiede von den Sammlern werden die galvanischen Elemente auch als primäre bezeichnet, weil sie innerhalb gewisser Grenzen jederzeit in sich selbst elektrischen Strom erzeugen und nach außen abgeben können.

Infolge Zersetzung des Elektrolyten werden am +-Pol Wasserstoff, Zinkoxyd und Kristalle des betr. Salzes ausgeschieden. Dies

bewirkt eine elektromotorische Gegenkraft (Polarisation) im Element. Ist die Gegen-EMK = der EMK des Elementes, so ist es aufgebraucht. Die EMK eines Elementes (wie bereits nachgewiesen aus dem Spannungsunterschied entstehend) wird an dessen Polen als Spannung gemessen. In Abb. 1 stellt mithin die Wagerechte 2—3 die Spannung E des Elementes dar (z. B. $E = \dots V$).

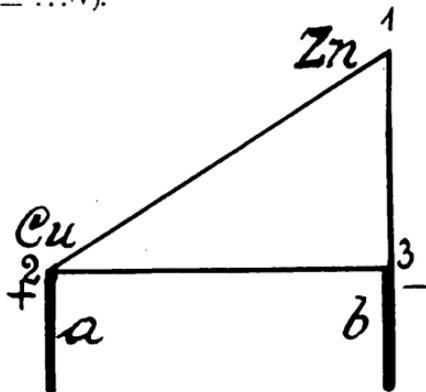


Abb. 1.

In der Praxis gebräuchlichste Elemente sind:

1. **Daniell-Element.** Elektroden: Zink und Kupfer, Elektrolyte: Kupfer in Kupfervitriollösung, Zink in verdünnter Schwefelsäure, Trennung beider durch Einsetzen eines porösen Tonzylinders.

Cu in CuSO_4 , Zn in H_2SO_4 + H_2O
 Kupfer in Kupfervitriol, Zink in Schwefelsäure + Wasser.
 Freiwerdender Wasserstoff (Hydrogenium = H) aus H_2O verbindet sich mit SO_4 zu Schwefelsäure (H_2SO_4) und Cu wird am Cu-Pol als chemisch reines Kupfer niedergeschlagen. Am Zn- (Zink-) Pol kann kein Niederschlag erfolgen, da nur Schwefelsäure, aber kein Zinkvitriol vorhanden. Der Zn-Pol muß sich daher langsam zersetzen (aufbrauchen). Spannung E dieses Elementes etwa 1 V, innerer Widerstand rund 3 Ohm¹⁾.

¹⁾ Der Begriff „Ohm“ wird später erläutert.

2. **Reidinger-Element.** Elektroden: Zink und Kupfer, Elektrolyte: Kupfer in Kupfervitriollösung, Zink in Bittersalzlösung. Infolge verschiedener spezifischer Gewichte dieser Lösungen lagert sich schwerere CuSO_4 -Lösung unten im Glas um den Cu-Pol, leichtere Bittersalzlösung darüber um den obenliegenden Zn-Pol. Chemische Vorgänge wie beim Daniell-Element. Spannung E etwa 1 V, Lebensdauer höher, innerer Widerstand 4 bis 9 Ohm.

3. **Leclanche-Element.** Elektroden: Zink und Kohle (Gemisch aus Kohle und Braunstein). Elektrolyt: gesättigte Salmiaklösung. Spannung E etwa 1,45 V, innerer Widerstand 1,7—3 Ohm.

4. **Trockenelemente.** Elektroden wie vor, Elektrolyt mit Sägespänen versetzt oder verdrickt eingefügt. Abschluß durch Vergießen mit Wachs-, Rosolphonium-, Hartfitt- oder Compoundmasse. Spannung 1,45—1,7 V, innerer Widerstand 0,5—2 Ohm. Da Trockenelemente ihrer Handlichkeit wegen umfangreiche Verwendung bei der Eisenbahn finden, sind für deren Lieferung besondere Bedingungen herausgegeben.

§ 3. Sammler.

Zum Unterschiede von den galvanischen Elementen (§ 2) sind die Sammler keine Stromerzeuger, sondern Stromspeicher. Sie heißen daher auch Akkumulatoren. Entstehung

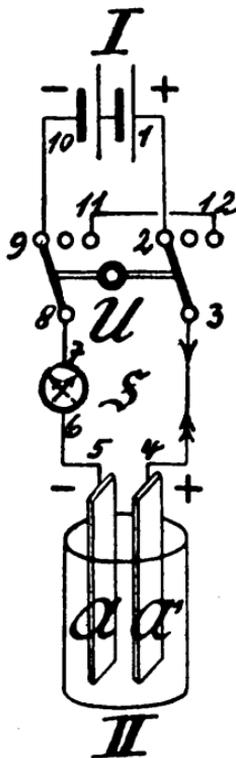


Abb. 2.

und Entwicklung aus dem Kupfer-Voltameter (elektrolytische Zelle mit Kupferplatte, mit Kupfer beschlagener Platte in Kupferpulphatlösung) und dem Platinsammler des Böhlfisters Grove. Er stellte zwei Platinplatten A und A¹ nach Abb. 2 in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß II, um daran Zersetzung des angesäuerten Wassers festzustellen. I Batterie, U Umschalter, S Stromzeiger. Strom von I fließt über 1 bis 4, Platinplatte A¹ und A über 5 bis 10 zum —Pol der Batterie zurück. Je nach Stärke des Stromes und der Spannung zeigten sich an den Platten Gasbläschen oder ein starkes Kochen.

Wurde nach einiger Zeit Umschalter U auf 0-Klemmen zwischen 9/11 und 2/12 umgelegt, so ging Zeiger des Strommessers S auf 0 zurück. Die Gasentwicklung bei A und A¹ hörte auf, Platten zeigten eine leichte Trübung.

Wurde U auf 11 und 12 umgelegt, so zeigte sich, daß Strommesser nach der entgegengesetzten, punktierten Seite ausschlug. Da Batterie I bei 2 und 9 abgeschaltet ist, so kann Strom nur aus dem Gefäß II herrühren. Er fließt in Richtung des Doppelpfeiles aus der Platte A¹, in welche Ladestrom eintrat, wieder zurück über 4, 9, 12, 11, 8 bis 5. Nach Abgabe des bei A und A¹ angesammelten Stromes geht Zeiger von S auf 0 zurück, der Lade- und Entladevorgang kann beliebig wiederholt werden.

Bei weiteren Versuchen stellte Grove fest, daß reine Platinplatten nicht nötig sind. Er hatte mit Platinplatten, die mit dicker Lösung von Metalloxyden bestrichen waren, bessere Erfolge.

Planté setzte die Versuche um 1860 mit billigeren Metallen fort und fand, daß das Blei sich am besten für solche Zwecke eigne. Auch heute sind in überwiegender Mehrzahl Sammler mit Bleiplatten in Anwendung. Planté lud, um einen brauchbaren Sammler zu erhalten, die Bleiplattensammler jeden Tag im entgegengesetzten Sinne auf, bis sich genügend schwammiges Blei und Bleisuperoxyd an den Platten, gebildet hatte (Formierungsvorgang).

Faure kürzte diesen Vorgang ab. Er kam gegen 1880 dazu, das Blei und Bleisuperoxyd nicht erst durch Laden und Entladen in beiden Richtungen entstehen zu lassen, sondern er ließ beide Platten von vornherein mit einer Mennige (Pb₂O₃)¹⁾ Schicht versehen.

Vorgang bei Ladung: An der +Elektrode wird die Mennige durch Aufnahme des O aus der H₂SO₄ Lösung in Bleisuperoxyd verwandelt (Abb. 3, links).

Formel 1: Pb₂O₃ + O = Pb₂O₄ = 2 . PbO₂ (Bleisuperoxyd).

An der —Elektrode wird die Mennige durch Aufnahme von H zu reinem Blei reduziert.

Formel 2: Pb₂O₃ + H = Pb₂ + H₂O₃ = Pb₂ + H₂O. H₂O geht

¹⁾ Man merke sich für Sammler folgende wichtigsten chemischen Zeichen: Pb = Plumbum-Blei, O = Oxygenium-Sauerstoff, H = Hydrogenium-Wasserstoff, S = Sulfur-Schwefel, H₂O = Wasser, H₂SO₄ = Schwefelsäure.

in der H_2SO_4 Lösung auf, Pb_2 bleibt zurück.
 + Platte erhält durch Bleisuperoxydschicht
 braune, - Platte erhält durch Reinbleischicht
 graue Färbung.

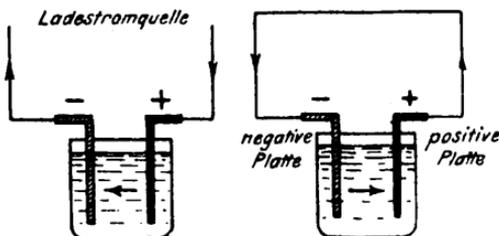
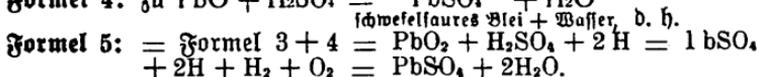
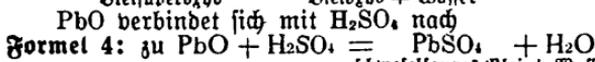
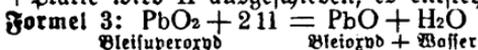
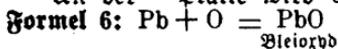


Abb. 3

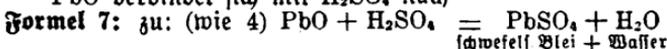
Vorgang bei Entladung (Abb. 3, rechts). An der + Platte wird H ausgeschieden, es entsteht:



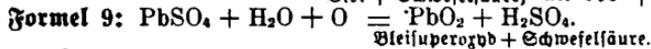
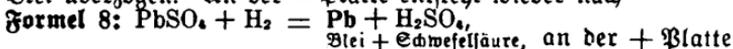
An der - Platte wird O ausgeschieden, es entsteht



PbO verbindet sich mit H_2SO_4 nach



Nach Entladung und bei Beginn weiterer Ladung sind anfänglich beide Elektroden (+ und -) mit $PbSO_4$ -schwefelsaurem Blei überzogen. An der - Platte entsteht wieder nach



Das Elektrolyt wird bei der Ladung konzentrierter (2 Moleküle H_2O weniger, 1 Molekül H_2SO_4 mehr), das spezifische Gewicht der Säure geladener Sammler mit hin schwerer. Die Säuredichte ist somit ein Maßstab für den geladenen und entladenen Zustand eines Sammlers.

Aus dem Platte-Sammler entstand 1883 der Tudor-Sammler, aus diesem 1888 der deutsche Tudor-Sammler der Firma Büsche u. Müller und aus diesem 1890 der Sammler der Akkumulatorenfabrik Akt.-Ges. Berlin (AFA).

+ und - Platten sind sog. „Großoberflächenplatten“. Bei der + Platte ist Groß-Oberfläche durch tiefe, wagerecht liegende

Riefelung um das achtfache der Projektionsfläche vergrößert. Die —Platte bildet ein Bleigitter oder ein Bleifasten mit eingepreßtem Bleischwamm. Aus den ersten sog. A-Platten entstanden später die sog. D-, E-, J-Plattentypen.

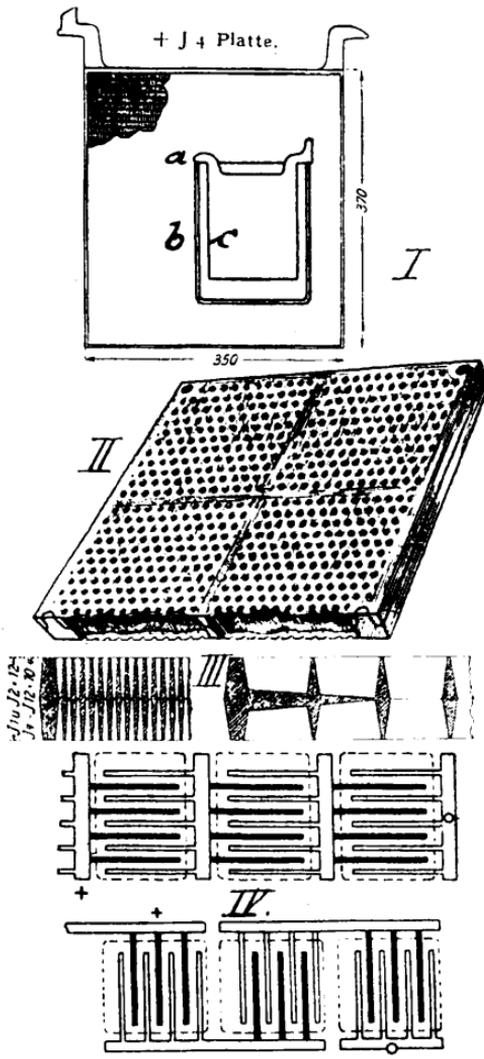


Abb. 4.

Für Kraftstellwerke sind meist gebräuchliche Typen J 3 und J 4. Anordnung der Type J 4 zeigt Abb. 4. Teilbild I zeigt die + Platte, darin verkleinert dargestellt das Glasgefäß b mit an je 2 Ansätzen a eingehängten Platten c. Teilbild II zeigt die - Kastenplatte. - Platten wurden von der Afa anfangs ebenfalls als Großoberflächenplatten hergestellt. Andere Akkumulatorenfabrikanten verwenden auch heute noch Großoberflächenplatten für - Platten. Die - Kastenplatten, seit 1902 eingeführt, haben oft 20 und mehr Jahre Lebensdauer. Sie bestehen aus zwei großfelderigen Hartbleigittern, die außen durch fein perforiertes Weichbleiblech verschmolzen sind. Beide Gitter sind durch Bleiniete verbunden, die Hohlräume mit feingerteilter Bleifüllmasse ausgefüllt. Teilbild III zeigt einen Schnitt durch die + Platte I. Teilbild IV Anordnung und Einbau der Plattenfäße.

Für Kraftstellwerk- und andere Gleichstrom-Stromlieferungsanlagen werden je nach Leistung der Batterien Zellen mit 3, 5, 7, 9 und mehr Platten geliefert, deren Größe ebenfalls verschieden ist. Jede Sammlerzelle, mit Ausnahme kleiner Schwachstromzellen, enthält immer eine - Platte mehr, als + Platten zwischen ihnen hängen. Man nennt diese Zusammenstellungen **Plattenfäße**. Sie werden durch Bleileisten, in Zwischen- oder Seitenlötung und zwar entweder je 3 + Platten durch eine Bleileiste mit den 4 - Platten der nächsten Zelle oder je 5 - Platten mit 4 + Platten durch eine Bleileiste verbunden. Die von oben herabgeführten Anschlußdrähte werden in die durch Kreise dargestellten Anschlußstüben eingelötet.

Solche Anschlußstüben (Blei-Vollschuhe) befinden sich naturgemäß nur an den Endleisten. Die Glasgefäße müssen so hoch sein, daß eingehängte Bleiplatte mindestens 5 cm vom Boden absteht. Dies ist nötig, um ohne Nachteil eine Ablagerung des ausgeschiedenen Bleischwammes zuzulassen. Im Betriebe werden kleinste Teilchen Bleischwamm lose, die sich auf dem Boden des Gefäßes b (Teilbild I) niederschlagen. Um Kurzschluß in der Zelle (metallische Verbindung der + und - Platten) durch Bleischwamm auszuschließen, muß Abstand zwischen Glasboden und Unterkante-Platten 5 bis 10 cm betragen. Seitlich muß ein Spielraum zwischen Platte c und Glaswand b vorhanden sein, da + Platten infolge ständiger Ablagerung neuen Bleischwammes sich etwas ausdehnen. Wäre Spielraum zwischen b und c eng, so würde + Platte sich seitlich, d. h. auf den Breitseiten ausdehnen (krumm werden) und Kurzschlüsse in der Zelle verursachen können. Zwischen + und - Platten sind zur Sicherstellung gleichen Abstandes Glasröhrchen und dünne ausgelaugte Holzstäbchen und Brettchen eingeschoben. Aus dem Holz treten Stoffe in die Säurelösung, welche das sog. Sulfatieren (Unwirksamwerden der Füllmasse, hellere Färbung der + Platten, Vordern der Füllmasse der - Platten) der Platten möglichst verhindern und eine längere Kapazität sicherstellen.

Eine —(negative) Endplatte liegt dicht an der Glaswand, die andere wird durch eine Feder aus Hartblei abgestützt. Zellen erhalten Unterlagen aus Weichblei und Isolierrollen (Sammlerisolatoren). Das Weichblei soll Unebenheiten im Glasboden ausgleichen und ein Wackeln der Zellen ausschließen. Isolatoren sollen Nebenschlüsse durch größere Niederschläge bei unachtsamer Beobachtung und Wartung hintanhalten. Gefäße stehen auf Gestellen aus lufttrockenem, mit heißem Leinöl getränktem Kiefernholz.

Voll geladene Sammler haben je 2,4–2,7 V/Zelle. Unter 1,8 V/Zelle darf eine Zelle nicht entladen werden.

§ 4. Die elektrischen Einheiten.

a) **Spannung.** Als Einheit der Spannung E gilt das Volt (Abkürzung V). Sie ist vergleichbar mit dem in einer Rohrleitung vorhandenen Druck. In mit Elementen oder Sammlern gespeisten Stromkreisen wird die Spannung erhöht durch Hintereinanderschaltung der Elemente oder Sammler (Abb. 5).

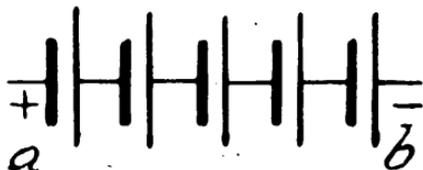


Abb. 5.

$E = n \cdot E_1$. Beträgt die Spannung je Element oder Zelle $E_1 = 1,8$ V, so herrscht zwischen a und b eine Spannung $E = 5 \cdot 1,8 = 9,0$ V. Sehr kleine Spannungen werden nach Millivolt gemessen. 1 Millivolt = $\frac{1}{1000}$ V.

b) **Stromstärke.** Als Einheit der Stromstärke J gilt das Amperere (Abkürzung A). Sie ist vergleichbar mit der durch eine Rohrleitung fließenden Wassermenge. Wie diese abhängig von dem Rohrquerschnitt, so ist auch die Stromstärke abhängig von dem Querschnitt des Leiters. Die Einheit 1 A ist diejenige Strommenge, welche in 1 Sek. aus einer Silbersalzlösung 1,118 mg Silber, aus Wasser in 1 Min. 7 ccm Wasserstoff (H) oder 3,5 ccm Sauerstoff O oder aus einem Kupferbad in 1 Min. 0,02 g Kupfer ausscheidet.

In einer Elementverbindung kann die Stromstärke durch Nebeneinanderschaltung nach Abb. 6 erhöht werden. Im oberen Teil der Abb. ist $J = n \cdot J_1$.

Beträgt E jedes Elementes z. B. 1,8 V, so ist auch die Gesamtspannung nur = der eines Elementes = 1,8 V. Die Stromstärke beträgt jedoch, wenn jedes Element 0,5 Amp. liefert, $J = n \cdot J_1 = 5 \cdot 0,5 = 2,5$ A.

Bei Gruppenschaltung nach dem unteren Teil der Abb. 6 ergeben sich $E = n \cdot E_1 = 5 \cdot 1,8 = 9,0$ V.

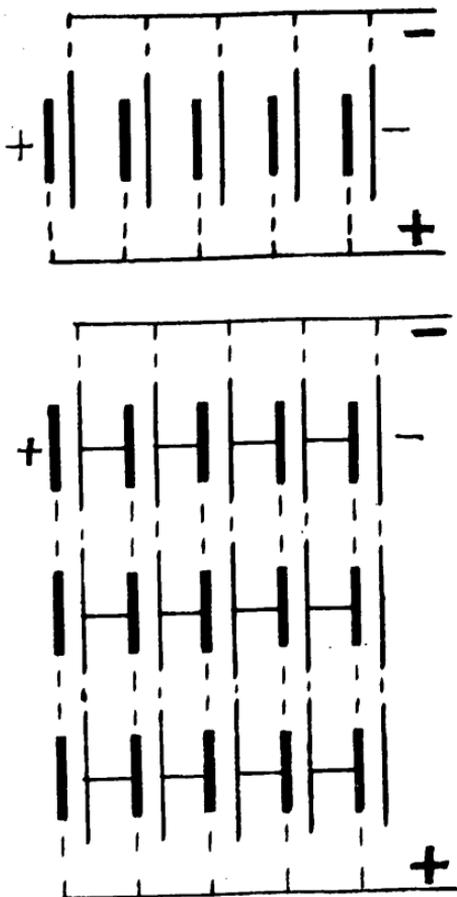


Abb. 6.

Beträgt J einer Reihe $= 5 \cdot 0,5 = 2,5$ A, so ergeben die drei nebeneinandergeschalteten Reihen $= 3 \cdot 2,5 = 7,5$ A.

Fließt 1 Amp. = 1 Std., so bezeichnet man diese Strommenge als 1 Amp./Std.

c) **Widerstand.** Widerstand eines Leiters ist abhängig von dem spezifischen elektrischen Leitungsvermögen, der Länge und dem Querschnitt des Leiters. Von den Metallen ist Kupfer der beste, Quecksilber der schlechteste Leiter. Bezogen auf Quecksilber mit einem elektrischen Leitungsvermögen von 1 bis 1,06, haben

Nickel	das 2,42 fache	Leitungsvermögen,	
Eisen	"	10,27	
Kupfer	"	62,06	" des Quecksilbers.

Es wird z. B. das Verhältnis $\frac{\text{Hg (Kupfer)}}{\text{Cu Quecksilber}} = \frac{1}{62,06} = 0,0161$ als spezifischer Widerstand c des Kupfers bezeichnet. Widerstand eines Leiters kann rechnerisch ermittelt werden aus

$$R = \frac{c \cdot l \text{ (in mm)}}{q \text{ (in mm}^2\text{)}} \text{ in Ohm (Zeichen } \Omega\text{)}.$$

Als Einheit des Widerstandes R ist international $1 \Omega = 1$ Quecksilberfaden von 1 mm^2 Querschnitt und $1,063 \text{ m}$ Länge bei 0° C eingeführt.

Für hohe Widerstände (Isolationswiderstände pp.) gilt $1 \text{ Meg-ohm} = 1\,000\,000 \text{ Ohm} = 10^6 \Omega = 1 \text{ M}\Omega$.

d) Einheit der Leistung des elektrischen Stromes.

Als Einheit der el. Arbeit gilt

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ sec.}$$

Da $1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ als 1 Watt (Zeichen W) bezeichnet wird, so ist $1 \text{ Joule} = 1 \text{ W/sec.}$

In der Praxis wird die el. Leistung des Stromes nach Wattstunden und nach Kilowattstunden berechnet.

Auf die Arbeit der Motoren bezogen, ergibt sich, da Arbeit = Kraft Weg, d. i. $A = P \cdot s$ und $9,81$ die Erdbeschleunigung ist, als Einheit der Arbeit $1 \text{ kg/m} = 9,81 \text{ W/sec.}$ Auf eine Pferdestärke $1 \text{ PS} = 75 \text{ kg/m}$ bezogen, ergibt sich demnach $1 \text{ PS} = 9,81 \cdot 75 = 736 \text{ W.}$

§ 5. Das Ohm'sche Gesetz.

Um 1826 stellte der Physiker Ohm fest, daß die unter § 4a bis c erläuterten Einheiten in gegenseitiger Beziehung zueinander stehen. Er fand, daß die aus einer Batterie entnommene Stromstärke mit der Spannung der Batterie zunimmt, jedoch mit Vergrößerung des Widerstandes abnimmt, und leitete hieraus das Gesetz ab:

$$J = \frac{E}{R} \text{ d. h.}$$

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand.}} \quad \text{Hieraus ergeben sich:}$$

$$R = \frac{E}{J} \text{ und}$$

$$E = J \cdot R.$$

Bei Stromverzweigungen nach Abb. 7 gilt folgendes: Haben die Zweige w^1 , w^2 und w^3 gleichen Widerstand, so ist der Gesamtwiderstand

$$R = \frac{w}{n} = \frac{\text{Widerstand eines Zweiges}}{\text{Anzahl der Zweige}} \Omega.$$

Sind w^1 , w^2 und w^3 verschieden, so ist

$$R = \frac{w^1 \cdot w^2 \cdot w^3}{w^1 \cdot w^2 + w^1 \cdot w^3 + w^2 \cdot w^3} \Omega.$$

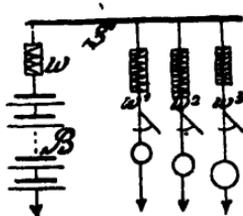


Abb. 7.

Beispiele: Ist z. B. B die Überwachungs-Batterie (36 V), w ein Vorschaltwiderstand, S die 36 V-Schiene und w_1, w_2, w_3 , je eine angeschlossene Einrichtung von $w^1 = 25 \Omega$, $w^2 = 50 \Omega$, $w^3 = 110 \Omega$, so ergibt sich für die drei parallel geschalteten Zweige als Gesamtwiderstand

$$R = \frac{25 \cdot 50 \cdot 110}{25 \cdot 50 + 25 \cdot 110 + 50 \cdot 110} = 14,466 = \sim 14,47 \Omega.$$

Beträgt w (Vorschaltwiderstand) z. B. 2,63 und $w_i = \frac{36}{2} \cdot 0,05$ (18 Sammler) = 0,9 Ω , so beträgt der Widerstand des gesamten Stromkreises:

$$14,47 + 2,63 + 0,90 = 18,00 \Omega.$$

Es fließt mithin eine Gesamtstärke

$$J = \frac{E}{R} = \frac{36,0}{18,0} = 2 \text{ A.}$$

Diese Stromstärke fließt aber nur über w, S und die parallel geschalteten Widerstände w^1, w^2 und w^3 .

In jedem Zweige fließt bei Einschaltung nur eines der Zweige folgende Stromstärke:

$$\text{da } w = 2,63 + 0,9, w^1 = 25 \Omega, \text{ so}$$

$$i^1 \text{ im Zweige } w^1 = \frac{E}{w + w^1} = \frac{36}{2,63 + 0,9 + 25} = 1,262 \text{ A}$$

$$\text{da } w^2 = 50 \Omega, \text{ so}$$

$$i^2 = \frac{E}{w + w^2} = \frac{36}{2,63 + 0,9 + 50} = 0,672 \text{ A}$$

$$\text{da } w^3 = 110 \Omega, \text{ so}$$

$$i^3 = \frac{E}{w + w^3} = \frac{36}{2,63 + 0,9 + 110} = 0,317 \text{ A}$$

Sind an ein Kraftstellwerk z. B. 60 Weichen nach Abb. 8 angeschlossen und beträgt der Widerstand jedes Überwachungs-magneten 700 Ω (Bauart SuH), so fließt über alle 60 parallel-geschalteten Weichen, wenn der innere Widerstand der Zellen vernachlässigt und der durchschnittliche Widerstand der Stabeladern 1 und 3 mit 5 Ω angenommen wird, folgende Gesamtstromstärke:

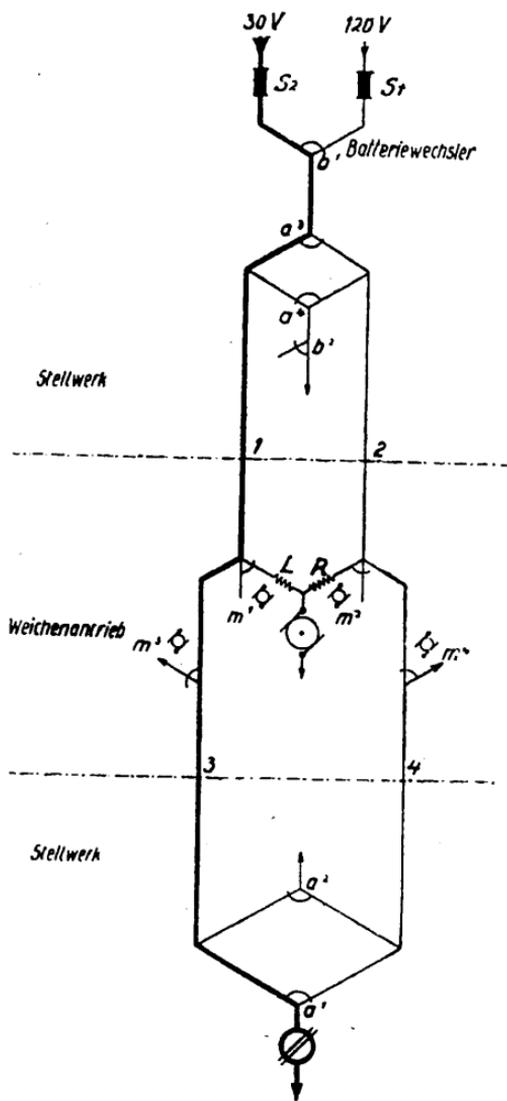


Abb. 8.

Nach der Formel $R = \frac{w}{n}$ beträgt der Gesamtwiderstand =
 $\frac{705}{60} = 11,75 \Omega$.

Mithin $J = \frac{E}{R} = \frac{30}{11,75} = 2,553 \text{ A}$.

Die Weichenschaltung selbst wird später behandelt.

Werden z. B. 6 Weichen zugleich umgestellt und beträgt der Bedarf an Stellstrom für jede Weiche rd. 6 A, so werden $6 \cdot 6 = \text{rd. } 36 \text{ A}$ der Stellbatterie entnommen.

Bei Berechnung der Gesamtstromentnahme ergibt sich folgendes:

Beträgt nach den stark ausgezogenen Linien der Kurzschaltung Abb. 9 der Gesamtwiderstand (Leitung, Vorschaltwiderstand, Feldwicklung R und Anker rd. 20Ω , so ergibt sich für 6 parallel von der Sammelschiene gespeiste Antriebe ein Gesamtwiderstand

$$R = \frac{w}{n} = \frac{20}{6} = 3,333 \Omega \text{ und eine}$$

Gesamtstromentnahme $J = \frac{E}{R} = \frac{120}{3,333} = 36,0003 \text{ A}$.

Spannungsverlust. Bei Anlegen eines geeordneten Spannungsmessers an Sicherung S_2 in Abb. 8 besteht eine höhere Spannung, als bei Anlegen des Spannungsmessers hinter dem Überwachungsmagneten. Durch den Widerstand der Leitungen 1, 3 und des Überwachungsmagneten wird die Spannung um ein gewisses Maß abgedrosselt (Spannungsverlust).

Dieser kann rechnerisch nach der Formel

$$E_p = \frac{E}{R_a + R_i} \quad R_a \text{ ermittelt werden.}$$

Es bedeutet E die an der Batterie, E_p die außen am Überwachungsmagneten, Antrieb u. dgl. zu errechnende Spannung, R_a = den gesamten äußeren, R_i = den inneren Widerstand der Batterie.

Ist z. B. S_2 mit 30 V gemessen, R_a (Leitung 1, 3 und Überwachungsmagnet zusammen 752Ω , $R_i = 15 \cdot 0,005 = 0,075 \Omega$ dann ergibt sich hinter dem Überwachungsmagneten

$$E_p = \frac{30}{752 + 0,075} \quad 752 = \frac{22560}{772,075} = 29,99 \text{ V.}$$

Der Spannungsabfall beträgt mithin $30 - 29,99 = \text{rund } 0,01 \text{ V}$.

Seien z. B. an der Sicherung S_1 in Abb. 9 = 120 V gemessen und betragen R der Leitung 2, Wicklung R und Anker zusammen $4,5 \Omega$, $R_i = 60 \cdot 0,005 = 0,3 \Omega$, dann ergibt sich hinter dem Anker eine Spannung

$$E_p = \frac{120}{4,5 + 0,3} \quad 4,5 = \frac{540}{4,8} = 112,5 \text{ V.}$$

Der Spannungsabfall beträgt mithin
 $120 - 112,5 = 7,5 \text{ V}$

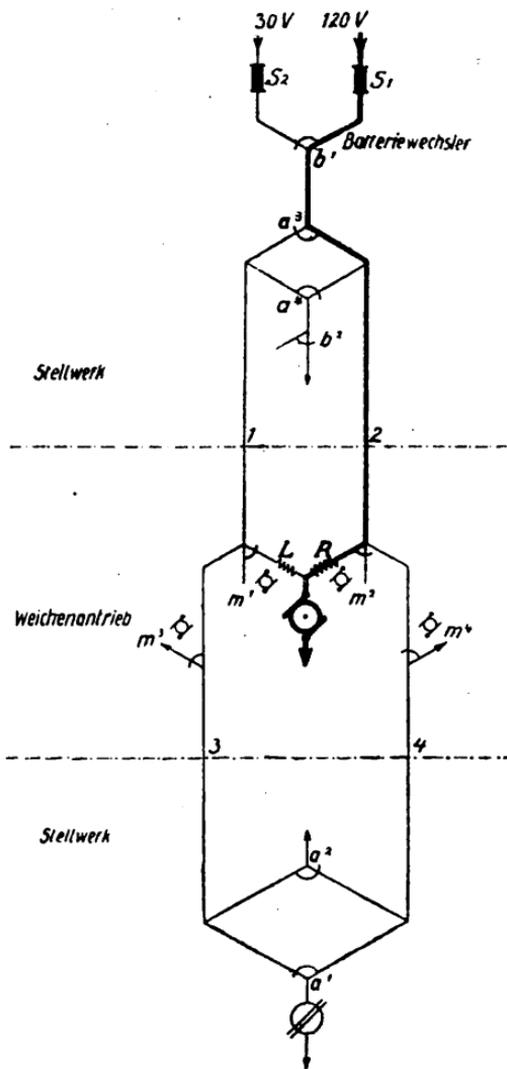


Abb. 9.

Der Spannungsabfall im Überwachungsstromkreis ist wegen dessen hohen Widerstandes gering, im Stellstromkreis wegen des niedrigen Widerstandes hoch.

Das Ohm'sche Gesetz für Wechselstrom.

Für Wechselstrom gilt das Ohm'sche Gesetz nur dann, wenn der Stromkreis keine Kapazität (Ladungsfähigkeit) bzw. Selbstinduktion¹⁾ besitzt. In Leitungen wird die störende Selbstinduktion entweder durch Verdrillen, Änderung der Leitungsführung, häufige Kreuzung, Einbau von Pupinspulen u. dgl. aufgehoben. Glühlampenwiderstände sind induktionsfrei infolge der luftleeren Birnen.

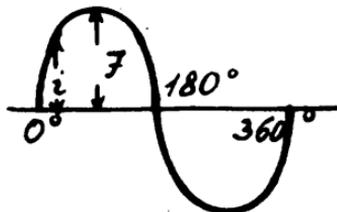


Abb. 10.

Beim Messen von Elektromagnet-Spulen ergeben sich bei Belastung mit Wechselstrom höhere Widerstände als bei Belastung mit Gleichstrom. Grund: Im Gegensatz zum Gleichstrom ändert sich bei Wechselstrom wegen ständigen Polwechsels in jedem Moment die Stromstärke. Es entsteht daher bei jeder $\frac{1}{2}$ Wechselstromperiode ein Ansteigen und Fallen der Stromstärke (vgl. Abb. 10) von 0 bis J (Mittelwert = i), was Selbstinduktion (vgl. § 6 Absatz 10) im Stromkreis zur Folge hat. Diese Selbstinduktion bewirkt eine scheinbare Erhöhung des Ohm'schen Widerstandes. Aus der Winkelgeschwindigkeit des Wechselstromes $\omega = 2 \pi \nu$ (ν = Periodenzahl), dem Ohm'schen Widerstand w und dem Selbstinduktionskoeffizienten L kann der Scheinwiderstand nach Formel

$$\cong W = \sqrt{w^2 + (\omega \cdot L)^2} \Omega \text{ errechnet werden.}$$

L wird in Henry (H) gemessen. 1 H = 10⁹ absolute Einheiten der Selbstinduktion. Ein Leiter besitzt 1 H, wenn von 1 A Stromänderung in 1 sec = 1 V erzeugt wird.

Beispiel: 1 Spule habe einen Ohm'schen Widerstand von 12 Ω und $L = 0,05$ H und sei mit 2 A bei 60 Perioden belastet, so ergibt sich

$$\begin{aligned} \omega &= 2 \pi \nu = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \\ \omega \cdot L &= 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 0,05 = 18,8 \\ &\cong W = \sqrt{12^2 + 18,8^2} = 22,2 \Omega \end{aligned}$$

Hieraus läßt sich nach dem Ohm'schen Gesetz ferner der an der Spule vorhandene induktive Spannungsabfall (Klemm-

¹⁾ Begriffserklärung „Induktion“ vgl. § 6.

(spannung) ermitteln zu

$$\cong e_{(k)} = J \cdot \cong W = 2 \cdot 22,3 = 44,6 \text{ V.}$$

Der Ohm'sche Spannungsabfall beträgt

$$e_{(k)} = J \cdot w = 2 \cdot 12 = 24 \text{ V.}$$

Der gesamte Spannungsabfall somit

$$e_{(k)} = \sqrt{44,6^2 + 24^2} = 50,78 \text{ V.}$$

Bei einer Netzspannung von 220 V herrschen an der Spule somit nur 220 — ~ 51 = 169 V.

§ 6. Das Prinzip der dynamoelektrischen Gleichstromerzeugung

(Induktionselektrizität)*).

a) Regeln der Induktion.

1. Induktionselektrizität heißt Erregung eines elektrischen Stromes in einem geschlossenen Stromkreis durch Einwirkung eines benachbarten Stromkreises, eines benachbarten permanenten oder Elektromagneten oder durch Entladungen hochgespannter Elektrizität.

2. Wird ein permanenter Magnetstab (Dauermagnet) in eine Drahtspule gesteckt, deren Enden an ein empfindliches Galvanoskop gelegt sind, so schlägt die Magnetnadel bei jeder Bewegung des Magneten im Spulenkern wechselseitig aus. Der Magnetstab erzeugt bei seiner Bewegung im benachbarten Stromkreis elektrische Stromstöße (Induktionsströme).

3. Wird unter einer Magnetnadel eine Spule angeordnet, so schlägt die Magnetnadel aus der Nord-Südrichtung aus, sobald man Strom durch die Spule schickt. Nach Unterbrechung des Stromes geht die Magnetnadel wieder in die Nord-Südrichtung zurück. Der Ausschlag gibt einen Anhaltspunkt für die Stärke des Stromes. Galvanoskop (deutsch Stromanzeiger), Weicheisenfern-Instrumente, Tangentenboussole u. a. Magnetnadel-Meßinstrumente beruhen hierauf.

4. Wird eine stromdurchflossene Spule in eine andere größere stromlose Spule gesteckt, deren Enden an ein Galvanoskop gelegt sind, so schlägt dessen Magnetnadel wie zu 3. bei jeder Bewegung der stromdurchflossenen Spule aus.

5. Eine stromdurchflossene Spule erzeugt in ihrer Umgebung, insbesondere in ihrem Kern (Innenraum) magnetische Kräfte. Der Raum, in dem diese Kräfte bezw. magnetischen Kraftlinien auftreten, heißt magnetisches Feld.

6. Die Dichte der Kraftlinien pro cm^2 gibt ein Maß für die Größe der magnetischen Kraft (Feldstärke).

Gesetz: Eine Kraftlinie auf 1 cm^2 wird als „1 Gauß“ (benannt nach dem Physiker Gauß) bezeichnet.

Einheit der magnetischen Kraft = 1 Dyn.

* Dieses Kapitel wird hier nur soweit behandelt, als es für die Verständlichmachung der Stromlieferungsanlagen für Kraftstellwerke nötig ist.

- (1) Einheit der Arbeit = $A = P \cdot s$, d. h. Arbeit = Kraft · Weg.
In der Technik gilt als Einheit der Arbeit =
- (2) $1 \text{ kgm} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}$, d. h. die Arbeitsleistung, um 1 kg 1 m zu bewegen.
Da als Längeneinheit das m ,
als Kräfteinheit das kg ,
als Masseneinheit die Masse von $9,81 \text{ kg}$ gilt, so erfährt eine Masse von $9,81 \text{ kg}$ durch die Kräfteinheit 1 kg nur eine Beschleunigung von $\frac{1}{9,81}$, d. h. $1 \text{ kg Kräfteinheit} = \frac{1}{9,81}$ Masseneinheit oder 1 kg erfährt durch sein Gewicht die Beschleunigung $9,81 \text{ m/sec}$.
In der Physik gilt als Einheit der Arbeit =
- (3) $1 \text{ Erg} = 1 \text{ Dyn} \cdot 1 \text{ cm}$
 $1 \text{ Erg} = \frac{1}{981} \text{ g} \cdot 1 \text{ cm}$. Hieraus folgt
 $1 \text{ g} = 981 \text{ Dyn}$,
 $1 \text{ kg} = 981\,000 \text{ Dyn}$.
Da die Arbeitseinheit 1 Erg sehr klein ist, hat Joule
- (4) $10^7 \text{ Erg} = 1 \text{ Joule}$ als höhere Einheit eingeführt.
 $10^7 \text{ Erg} = 10\,000\,000 \cdot \frac{\text{cm}}{100} \cdot \frac{\text{kg}}{981\,000} =$
 $10\,000\,000 \cdot \frac{\text{m}}{100} \cdot \frac{\text{kg}}{981\,000}$ oder
- (5) $1 \text{ kgm} = 10^7 \text{ Erg} \cdot 981 = 981\,000 \text{ Dyn} \cdot 100 \text{ cm} = 98\,100\,000 \text{ Erg}$.
Da $10^7 \text{ Erg} = 1 \text{ Joule}$, so kann man auch sagen
 $1 \text{ Joule} (10^7 \text{ Erg}) = \frac{1 \text{ kgm}}{9,81}$ und somit
- (6) $1 \text{ kgm} = 981 \text{ Joule}$.
Einheit der elektrischen Arbeit ist das Watt (W).
- (7) $\text{set. el. Arbeit} = E \cdot J \text{ in W}$.
- (8) $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = \frac{1}{9,81} \text{ kgm/sec}$. Somit ist nach (6)
- (9) $1 \text{ W} = 1 \text{ Joule/sec}$ oder
 $10^7 \text{ Erg/sec} = 1 \text{ Joule/sec}$.
Da nach (8) $\frac{1}{9,81} \text{ kgm/sec} = 1 \text{ W}$, so ist nach (5)
- (10) $1 \text{ kgm} = \frac{98\,100\,000 \text{ Erg}}{10^7} = \frac{98\,100\,000}{10\,000\,000} = 9,81 \text{ W}$
Da $75 \text{ kgm/sec} = 1 \text{ PS}$ (auch HP), so ergibt sich
- (11) $75 \text{ kgm} = 75 \cdot 9,81 = 735,8 = \sim 736 \text{ W}$.
(Vgl. § 4 Absatz d).

7. Eine in einem Magneten oder magnetischen Feld drehbar aufgehängte Spule wird im stromdurchflossenen Raum in gleicher Weise gedreht, wie zu 3. die Magnetnadel. Auf diesem Grundsatz

beruhen die Elektrodynamometer und alle Drehspul-Meßinstrumente, wie Präzisions- Spannungs- und Stromstärkemesser u. dgl.

8. Wird in einem Felde in der Stärke 1 Gauß (s. 6.) ein Draht von 1 cm Länge mit einer Geschwindigkeit von 1 cm/sec bewegt, so entsteht eine Kraft E der absoluten Einheit. Sie beträgt den

$$\frac{1}{100\,000\,000} = \frac{1}{10^8} \text{ Teil von 1 V.}$$

Um 1 V zu induzieren, muß demnach ein Draht von 100 000 000 = 10^8 Kraftlinien in 1 sec geschnitten werden.

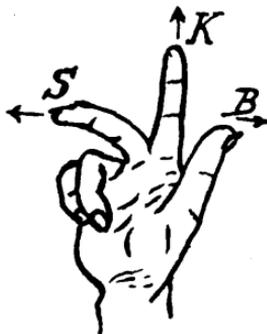


Abb. 11.

9. Für die Richtung der induzierten EMK bezw. des Stromes stellte Fleming folgende Rechte-Handregel auf:

Werden Daumen, Zeige- und Mittelfinger nach Abb. 11 und zwar Daumen nach dem Gesicht in Richtung der Bewegung B, Zeigefinger senkrecht in Richtung der Kraftlinien K und Mittelfinger wagerecht nach links gerichtet, so zeigt Mittelfinger Richtung des Stromes S an. Dieselbe Regel kann auch auf die linke Hand bezogen werden. Es muß alsdann der Mittelfinger dem Gesicht zugewendet werden.

10. Selbstinduktion heißt die Induktion eines Stromes in seiner eigenen Leitung. Sie tritt auf bei jedem Schließen und Öffnen, sowie plötzlichem Ändern der Stromstärke oder Spannung des Stromkreises. Die Selbstinduktion ist bei geraden Leitungen gering, bei Spulen erheblich größer und entsteht aus den bei Stromschluß, Stromunterbrechung und Änderung auftretenden Kraftlinien um den Leiter herum (Induktion). Diese Kraftlinien erzeugen bei Stromschluß einen entgegengesetzt gerichteten, bei Stromunterbrechung einen gleichgerichteten Induktions-Stromstoß. Diese sog. Extrastrome werden auch als Schließungs- und Öffnungs-extrastrom bezeichnet.

11. Foucault (Physiker) stellte nach ihm benanntes Gesetz der Foucaultströme auf. Es sind das Induktionsströme, die in Leitern oder Spulen benachbarten Metallen kommen, wenn letztere von Kraftlinien durchschnitten werden.

Nachteil der Foucaultströme: unerwünschte Erwärmung der Metallmassen,

Vorteil: sog. Kupferdämpfung in empfindlichen Zeiger- oder Spiegelgalvanometern.

b) Arten und charakteristische Eigenschaften der Dynamomaschinen.

Werner v. Siemens entdeckte 1867, daß zur Erzeugung von Strom in Maschinen weder permanente Stahlmagnete, noch von einer Stromquelle gespeiste Elektromagnete erforderlich wären, sondern daß eine elektrische Maschine sich selbst erregen kann. Von Siemens ist dieses Prinzip als dynamoelektrisches bezeichnet. Der schwache remanente Magnetismus der Elektromagnetkerne leitet die Wirkung derart ein, daß bei Inangabe der Maschine die Kraftlinien einen schwachen Strom erzeugen, der sogleich die Feldwirkung verstärkend, wieder stärkeren Strom erzeugt und so fort bis zur Höchstleistung der Maschine. Je nach Art der Bewickelung von Anker (drehbarer Teil der Maschine) und Feldern (feste Elektromagnete und Körper der Maschine) werden unterschieden:

Reihenschlußmaschinen (Serienschaltung),

Nebenschlußmaschinen (Shuntschaltung),

Doppelschlußmaschinen (Compounderschaltung).

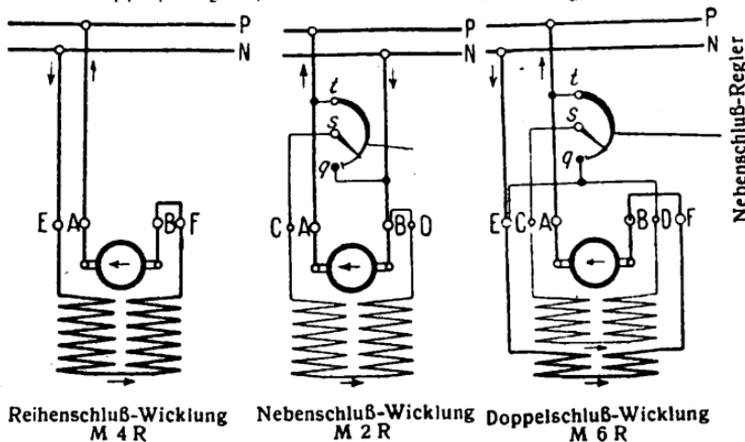


Abb. 12.

Abb. 12 und 13 zeigen schematisch die Schaltungsarten. Es werden Rechts- und Linkslauf-Maschinen und solche ohne und

mit Wendepollen unterschieden. Als „Rechtslauf“ gilt Dreh Sinn der Uhrzeiger, als Linkslauf der entgegengesetzte. Der Dreh Sinn wird bestimmt

- a) von der dem Kommutator (Stromabnehmer) entgegengesetzten Seite, wenn nur ein Kommutator auf einer Maschine vorhanden ist,
- b) von der Schleifringseite aus, wenn Kommutator und Schleifringe vorhanden sind,
- c) durch Pfeile mit beigefügtem R oder L.

Für den Bau der S u. H Maschinenätze gelten folgende Regeln:

1. Einzeln laufende Maschinen erhalten Rechtslauf.
2. Bei Motorgeneratoren (aus Gleich- oder Drehstrommotor und Gleichstrommaschine bestehend) erhält Motor Rechtslauf, Generator Linkslauf.
3. Einankerumformer erhalten Rechtslauf.

Abb. 12 zeigt links die Reihenschluß-, in der Mitte die Nebenschluß und rechts die Doppelschlußwicklung der Feldmagnete für S u. H Gleichstromgeneratoren ohne Wendepole und für Rechtslauf. Es ist A positiver (+), B negativer (-) Ankerpol, P positive, N negative Leitung.

Bei der **Reihenschlußwicklung** fließt im Anker (durch Kreis mit Pfeil dargestellt) erzeugter Strom über A, P, N und E unverzweigt durch die Erregerwicklung (Feldwicklung) und über F zum - Pol B des Ankers. Bei der für Kraftstellwerkanlagen meist gebräuchlichen **Nebenschlußwicklung** fließt im Anker erzeugter Strom über A, t, P, N zum - Pol B zurück. Parallel zu A und B liegt zwischen s und t ein Regulierwiderstand, sodaß ein Teil des Ankerstromes über t, s, C, Feldwicklung, D zum - Pol B fließt. Bei bestimmter Tourenzahl wird die von der Maschine zu liefernde Stromstärke am Regulierwiderstand s-t eingeregelt. Diese Bauform (Nebenschlußwicklung) kommt meist zur Anwendung, wenn konstante (gleichbleibende) Spannung verlangt wird.

Die **Doppelschlußschaltung** ist eine Vereinigung der Reihen- und Nebenschlußschaltung. Ihre Feldwicklung wird gleichzeitig durch beide Wicklungen erregt.

Stromlauf: + Pol A, P, N, E, stark ausgezogene Reihen-Feldwicklung F, - Pol B. Parallel zu A/E liegt Regulierwiderstand t, s, C, Nebenschlußwicklung, D, E (Reihen-Feldwicklung EF, - Pol B im Hauptstromkreis).

Bei **Reihenschlußschaltung** nimmt Bürstenspannung bei wachsendem äußeren Widerstand erst zu und dann stetig ab, bei **Nebenschlußschaltung** nimmt Bürstenspannung bei wachsendem äußeren Widerstand stets zu, zuerst rasch und dann langsam steigend. Bei **Doppelschlußschaltung** kann man durch richtige Bemessung der Wicklungen die Klemmenspannung

fast unabhängig vom äußeren Widerstand halten (1—2 % Änderung in der Spannung).

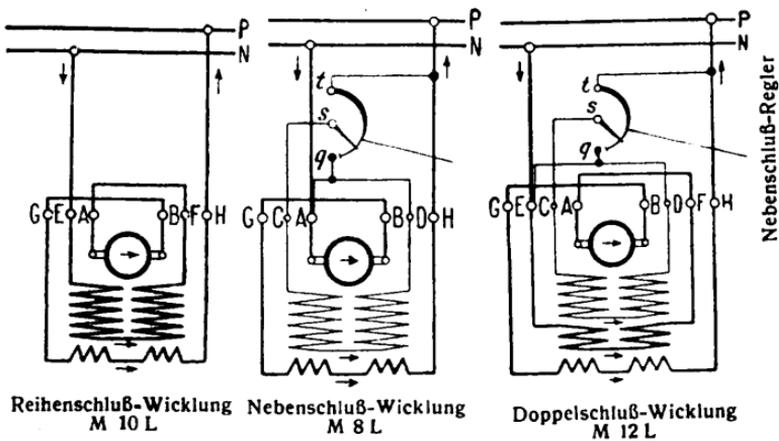


Abb. 13.

Eine andere Schaltungsart der gleichen Maschinen mit Wendepolen zeigt Abb. 13. Zum Unterschiede von Abb. 12 sind hier die Anordnungen für Linkslauf (B = + Pol) gezeigt. Bei Reihenschlußwicklung mit Wendepolen (linke Schaltung) liegt Feldwicklung in der abgehenden +, als auch in der - Leitung des Ankers.

Stromlauf: + Pol B, G, kleine Feldwicklung, H, P, N, E, große Feldwicklung, F, - Pol A. Die beiden anderen Schaltungs-Anordnungen wolle der Leser hiernach zum Zweck der Übung selbst verfolgen. Die Anker sind entweder Ring- oder Trommelanker. Sie sind entweder mit geschlossener oder offener Spulenwicklung versehen (Abb. 14). Bei geschlossener Spulenwicklung (links) sind alle Spulen hintereinander geschaltet (1—8), bei offener Wicklung (rechts) sind

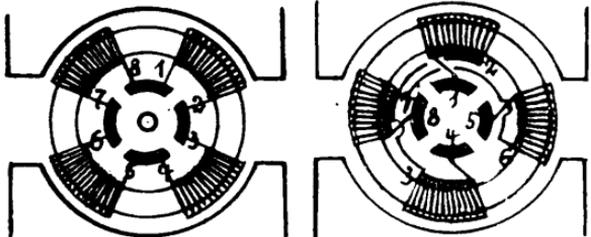


Abb. 14.

radial sich gegenüberliegende Spulen untereinander verbunden (2, 3; 6, 7) und deren Enden an je 1 Lamelle des Kommutators (Stromwenders) gelegt (1, 4; 5, 8). Außer vorgenannten Wicklungen wird zwischen Spiral-, Schleifen- und Wellenwicklung sowie kombinierter Schleifen- und Wellenwicklung unterschieden.

Die Feldmagnete sind in Abb. 14 wegen leichter Verständlichmachung nur 2polig dargestellt. In Wirklichkeit haben die Dynamomaschinen meist 4 oder 6 Feldmagnete. Einem Nordpol ist stets ein Südpol benachbart. Der Deutlichkeit halber sind in der Abb. 14 nur 4 Stromwenderlamellen dargestellt. Bei der Spiralwicklung nach Abb. 14 sind ebensoviel Lamellen nötig als der Anker Spulen hat. Bei der Schleifen- und Wellenwicklung ist die Zahl der Lamellen = $\frac{1}{2}$ der Spulenzahl. Ein Beispiel der **Schleifenwicklung** (für Nebenschlußmaschinen verwendbar) zeigt schematisch Abb. 15. Schaltung der 1. Wicklung: Strom fließt von Lamelle a über Wicklung 1, Wicklung 6, Lamelle b, Wicklung 3 und 8 an Lamelle c. Wird z. B. bei a = - Impuls, bei c = + Impuls abgenommen, so ist Lamelle e = wiederum - und Lamelle g = + Pol; 2. Wicklung = c (+ Pol), 5, 10, d, 7, 12, e (- Pol), 9, 14, f, 11, 16, g (+ Pol); 3. Wicklung = g (+ Pol), 13, 18, h, 15, 2, i, 17, 4, a (- Pol). Man sieht hieraus, daß Schleifenwicklung vorwärts und rückwärts schreitet (Spiralwicklung nur vorwärts) und Schleifen sich gegenseitig überdecken.

Die in den Spulen erzeugten Ströme haben naturgemäß wechselnde Richtung. Durch Anordnung des Stromabnehmers und der ihn bestreichenden Stromabnehmerbürsten werden die Impulse wechselnder Richtung gleichgerichtet. Je mehr Spulen und Stromabnehmerlamellen angeordnet sind, desto gleichmäßiger ist der Strom. Die Bürstenhalter sind federnd, nachstellbar und mit verschiebbaren Kohle- oder Kupferbürsten versehen. Auflage-**d r u c k** bei Kohlebürsten etwa 200 g/cm², bei Kupferbürsten etwa 160 g/cm², um möglichst geringen Übergangswiderstand zwischen Bürste und Lamelle zu haben. Geschwindigkeit des Kommutators je nach Größe und Art der Maschine 3—9 m/sec. Spannungsberlust an der Bürste bei Kohlebürsten rund 1 V, bei Kupferbürsten rd. 0,1—0,3 V. Die Bürste muß zumindest $1\frac{1}{2}$ Lamellen bedecken, besser 2 Lamellen, so daß sie gerade eine 3. verläßt.

Bei zu schwacher Erregung der Felder und zu hoher Selbstinduktion in den Ankerspulen entsteht meist Funkenbildung. Die Selbstinduktionsströme sind den erzeugten Strömen gleichgerichtet und verursachen daher leicht Funkenbildung an den von der Bürste ablaufenden Lamellen. Zur Verminderung der Funkenbildung müssen die Bürsten in eine solche Stellung gebracht werden, bei der in den Spulen eine EMK erzeugt wird, welche derjenigen der Selbstinduktion entgegenwirkt (neutrale Zone der Bürsten). Die Funkenbildung ist ferner von der Geschwindigkeit des Kommutators, von der Zahl der Lamellen, von den Bindungszahlen der

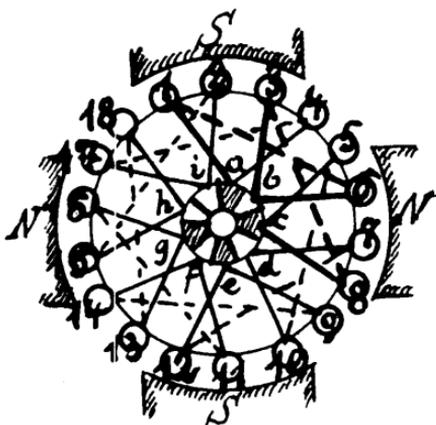


Abb. 15.

Spulen und davon abhängig, daß die Feldmagnete mehr Ampere-
windungen erhalten als der Anker. Bei Nebenschlußmaschinen
zum Laden von Sammlern kann Einstellung der Bürsten so er-
folgen, daß Gleichstromabgabe der mittleren Belastung entspricht.
Spannung der Maschine muß also in weiten Grenzen regulierbar
sein. Die EMK der Selbstinduktion der von der Bürste kurz
geschlossenen Ankerwindungen muß mithin möglichst klein sein,
um funkenfreies Kommutieren sicherzustellen. Diese Selbstinduk-
tions-EMK wird als Reaktanzspannung bezeichnet. Nach
dem Ohm'schen Gesetz (§ 5) ist diese, wenn

L = Selbstinduktionskoeffizient der kurzgeschlossenen Anker-
spule in Henry,

ω = Winkelgeschwindigkeit des Stromes in der kurzgeschlossenen
Ankerspule,

J = voller Wert des Stromes in der Ankerspule sind,

$$E_s = \omega \cdot L \cdot J = 22 \pi \nu L J \text{ in Volt.}$$

Ist T die Zeit der Kommutierung, in der der Strom von $+$ i
auf $-$ i geht (halbe Periode), so ist

$$\nu = \frac{1}{2T}$$

§ 7. Das Prinzip der elektrischen Gleichstrom-Motoren¹⁾.

Flemmings Linke Handregel (Abb. 16) besagt: Hält man
Zeigefinger in Richtung des Feldes (N-Feld), Mittelfinger dem
Gesicht zugewendet in Richtung des Stromes J , so gibt aus-
gestreckter Daumen Richtung der magnetischen Zug-
kraft bzw. die Bewegungsrichtung des Leiters an.

¹⁾ Das Allgemeine über Gleichstrommotoren wird hier nur soweit behandelt,
als es zur Verständlichmachung der Signal- und Weichen-Gleichstrommotoren
nötig ist.



Abb. 16.

Jede Gleichstromdynamo wird somit als Motor wirken, sobald man Strom in sie hineinschickt, in der Regel entgegengesetzt zur Drehrichtung der Dynamo.

Bezeichnet B die Felddichte, l = Länge des stromdurchflossenen Leiters in cm, J = Stromstärke, so ist die Zugkraft (Leistung)

$$N = \frac{B \cdot l \cdot J \cdot \sin \alpha}{9,81 \cdot 10^6} \text{ in kg}$$

Die in den Motor hineingeschickte elektrische Arbeit ist

$$\mathcal{E} = E \cdot J \text{ in Watt.}$$

Im umlaufenden Moto erzeugt sich eine elektromotor. Gegenkraft E . Da im Unter nach dem Ohm'schen Gesetz ein Spannungsabfall $J \cdot R$ stattfindet, so ist $\mathcal{E} = E + J \cdot R$. In obige Gleichung eingeführt, ergibt sich

$$\mathcal{E} = E \cdot J + J^2 \cdot R.$$

Hierin stellt $J^2 \cdot R$ den Energieverlust in der Unterwicklung dar. Es verbleibt alsdann als mechanische Arbeitsleistung des Motors nur $\mathcal{E} = E \cdot J$ in Watt.

Da nach den im § 4 behandelten Einheiten

$$1 \text{ W} = 1 \text{ Amp} \cdot 1 \text{ Volt} = 10^{-1} \cdot 10^6 = 10^7 \text{ Erg und}$$

$$1 \text{ kgm} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} = 981\,000 \text{ Dyne} \cdot 100 \text{ cm} = 98\,100\,000 \text{ Erg, so ist}$$

$$1 \text{ kgm} = \frac{98\,100\,000 \text{ Erg}}{10^7 \text{ Erg}} = \frac{98\,100\,000}{10\,000\,000} = 9,81 \text{ W}$$

Bezeichnet P = Zugkraft, r = Radius der angetriebenen Scheibe, n = Tourenzahl/min, so ist die mechanische Leistung

$$\text{Nusseffekt } N = P \cdot 2\pi \cdot r \cdot \frac{n}{60} = \frac{E \cdot J}{9,81} \text{ in kgm (vgl. auch § 4).}$$

In gleicher Weise wie bei Dynamomaschinen wird bei den Motoren zwischen

Reihenschluß-,
Nebenschluß- und
Doppelschlußmotoren unterschieden.

Für el. Stellwerkeanlagen werden Reihenschlußmotore mit 2 Feldwicklungen (je 1 für Vorwärts- und Rückwärtslauf) nach Abb. 17 verwendet. 2 Stelleleitungen 1, 2 führen den Stellstrom über linke oder rechte Feldwicklung F und Unter A an die Rückleitung 0 (—Pol).

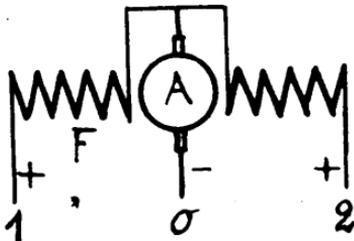


Abb. 17.

Benötigt z. B. ein Signalmotor bei $E = 110 \text{ V}$ 3 Amp, so beträgt seine Leistung

$$N = \frac{E \cdot J}{9,81} = \frac{110 \cdot 3}{9,81} = 33,7 \text{ kgm} = 0,45 \text{ PS}$$

Benötigt eine schwergängige Weiche bei 110 V 7,5 Amp, so beträgt die Leistung des Weichenmotors

$$N = \frac{110 \cdot 7,5}{9,81} = 84 \text{ kgm} = 1,12 \text{ PS.}$$

§ 8. Das Prinzip der elektrischen Wechselstrom-Maschinen und Motoren.

a) Allgemeines. Für Kraftübertragungs- und Beleuchtungsanlagen ist Wechselstrom wirtschaftlicher als Gleichstrom. Maschinelle Wechselstromerzeugung ist billiger als Gleichstromerzeugung (die durch Kommutierung entstehenden Verluste fallen fort). Da

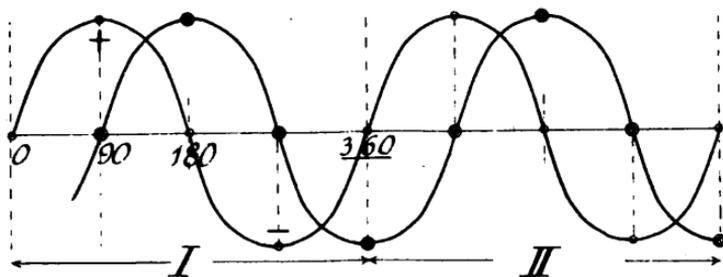


Abb. 18.

nach § 7 Absatz 4 die el. Leistung eines Motors $P = E \cdot J$ ist, so muß zur Einschränkung des Leitungsquerschnittes niedrige Stromstärke, mithin bei gleicher Energieübertragung hohe Spannung gewählt werden. Wechselstrom läßt sich ferner ohne Anwendung rotierender Umformer mittels Transformatoren auf hohe Spannungen bringen (Überlandzentralen). In Umformern wird mit sehr hoher Spannung zugeführter Strom auf ungefährliche Betriebsspannungen von 220 bzw. 440 V dem Verbraucherneß zugeführt. Wechselstrommaschinen als auch Motoren werden für Einphasenstrom, Zweiphasenstrom und Dreiphasenstrom gebaut. Das Wellendiagramm des einphasigen Wechselstromes zeigt bereits Abb. 10, in Abb. 18 Periode I und II von 0° bis 360° (durch einfache Kreise gekennzeichnet). Bei jeder Umdrehung einer Ankerspule im magnetischen Feld wird von 0° bis 180° ein +, von 180° bis 360° ein - Impuls erzeugt.

Wellendiagramm des 2phasigen Wechselstromes zeigt Abb. 18, das des 3phasigen Abb. 19. Bei ersterem ist die 2. Phase um $\frac{180}{2} = 90^\circ$, bei letzterem sind 2. und 3. Phase um $\frac{360}{3} = 120^\circ$ verschoben. Phasen sind durch 1, 2 und 3 Kreise gekennzeichnet. Zwei- oder dreiphasiger Wechselstrom wird Drehstrom genannt. Bei Gleichstrommaschinen wird, wie bereits früher behandelt, Gleichstrom dadurch erzeugt, daß die Spulenden an Kommutatorlamellen angelegt und somit bei jeder vollen Umdrehung zwei Impulse (Stromkurven $0-90-180^\circ$, $180-270-360^\circ$) abgenommen werden.

Wechselstrom wird dadurch erzeugt, daß Ankerwicklungen nicht an Kommutatorlamellen, sondern an Schleifringe gelegt werden. Der Schleifringansatz wird als Kollektor bezeichnet. Es entsteht in jeder Spule des Ankers bei jeder vollen Umdrehung eine Wechselstromperiode. Bei jeder weiteren Umdrehung wiederholt sich die Periode. In jeder Periode wechseln Spannung und Stromstärke somit zweimal ihre Richtung. Umdrehungszahl pro Sekunde ist gleichbedeutend mit Periodenzahl. Bei Wechselstrommaschinen werden Ankerdrähte meist in Nuten eingebettet.

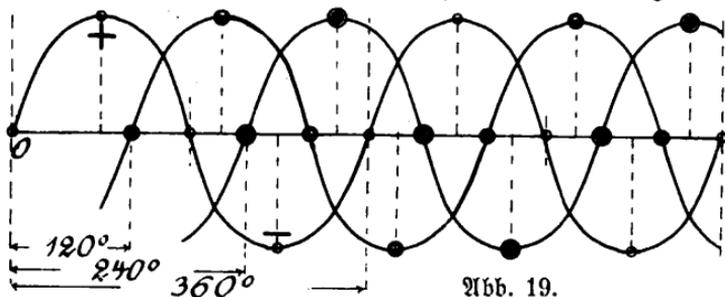


Abb. 19.

Bei Maschinen für niedrige Spannung und hohe Stromstärke erhält jede Nut 1 bis 2 dicke Drähte, bei Hochspannungsmaschinen eine größere Zahl dünner, gut isolierter Drähte. Wie bei Gleichstrommaschinen wird auch bei Wechselstrommaschinen zwischen Schleifen- und Wellenwindelung (§ 6 Abschn. b) unterschieden.

Bei Einphasen-Wechselstrommaschinen hat der Anker (Ringanker) durchgehende Bewicklung. Zwei sich 180° gegenüberliegende Rollen sind mit je einem Schleifring verbunden, von denen Ströme wechselnder Richtung abgenommen werden.

Bei Zweiphasen-Wechselstrommaschinen sind Enden zweier sich gegenüber liegender Spulen einerseits miteinander verbunden, andererseits an je einen Schleifring gelegt. Anker erhält statt einer Spulengruppe zwei gegeneinander um $\frac{1}{4}$ Periodenlänge (90°) versetzte Spulengruppen (vgl. Abb. 18). Bei gemeinschaftlicher Rückleitung erhält Ankerwelle 3 Schleifringe und Verbindung der Wicklungsenden an einem Schleifring. Bei Nichtverbindung der Wicklungsenden sind 4 Schleifringe nötig. Werden beim Zweiphasenstrom Rückleitung der 1. Phase mit Hinleitung der 2. Phase vereinigt, so fließt, wenn beide Phasen gleichmäßig belastet sind, in der gemeinsamen Leitung ein Strom von der 1,4fachen Potentialdifferenz jeder einzelnen Phase. Abb. 20 zeigt oben das Prinzip des Zweiphasennetzes mit unverketteten, unten mit verketteten Phasen. Oben sind Rund S die Rückleitungen jeder Phase, unten ist R/S gemeinschaftliche Rückleitung.

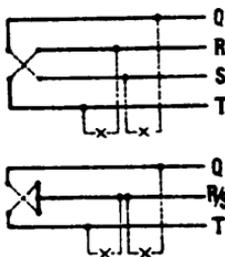


Abb. 20.

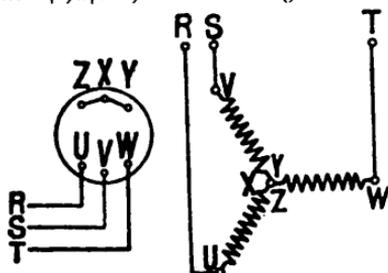


Abb. 21.

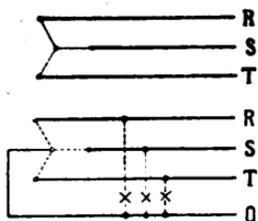


Abb. 22.

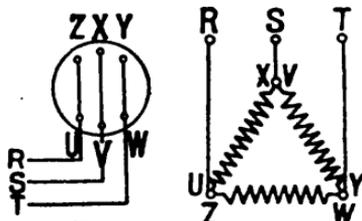


Abb. 23.

Bei Dreiphasen-Wechselstrommaschinen erhält Anker 3 gegeneinander - um $\frac{1}{3}$ Periode (120°) versetzte Spulengruppen (vgl. Abb. 19). Hierbei wird zwischen Stern- und Dreieckschaltung unterschieden. Abb. 21 zeigt Prinzip der Sternschaltung. Ein Ende der 3 Wicklungen des Ankers ist an je einen Schleifring gelegt. Diese sind mit den Anschlußklemmen U/V/W der 3 Leitungen R S T verbunden. Die anderen Enden der 3 Spulen sind bei X/Y/Z miteinander verbunden. Es fließen dann 3 Wechselströme mit 120° Phasenverschiebung. Sind alle 3 Phasen gleichmäßig belastet, so ist der resultierende Strom in der 4. bei X/Y/Z sich zu denkenden Rückleitung = 0. Diese 4. Leitung kann daher bei gleichmäßiger Belastung aller 3 Phasen erspart werden. Leitungen RST liefern einen Strom, dessen Potentialdifferenz das 1,7fache der einzelnen Phase beträgt. Im Weiteren (Abb. 22) erscheine nur 3 Leitungen R, S, T. Bei ungleichmäßiger Belastung (Lampennetz) kommt 4. Leitung (0) hinzu. Abb. 23 zeigt Prinzip der Dreieckschaltung. Die 3 Phasen sind so verbunden, daß die Rückleitung der einen Phase mit der Hinleitung der nächsten Phase zusammengelegt wird. Zahl der erforderlichen Leitungen verringert sich auf 3. In jeder Leitung fließen 2 Wechselströme, die gegenseitig um $\frac{120}{2} = 60^\circ$ verschoben sind. Sind diese Ströme gleich, so ist auch hier wie bei der Sternschaltung der Resultierende das 1,7fache seines Wertes. Auch bei getrennten Phasen behalten bei dieser Schaltung die Leitungen gegeneinander die Spannung. Die 3 hintereinander geschalteten Ankerspulen bilden ein Dreieck. Ihre Verbindungsstellen X, Y, Z sind mit je einem Schleifring und diese mit den Anschlußklemmen U, V, W verbunden. Leitungen R, S, T wie zu Abb. 22 oben.

b) Leistung. Bei Gleichstrom ist elektr. Leistung

$$E = J \cdot E \text{ (Watt).}$$

Bei Wechselstrom ist sie meistens kleiner, weil sie in jeder Periode viermal das Vorzeichen wechselt (+ und - Werte).

Bezeichnet E_n = Netzspannung,

J_n = Netzstrom,

E_{ph} = Phasenspannung,

J_{ph} = Phasenstrom,

$\cos \varphi$ = Leistungsfaktor, so ist beim Einphasen-

system:

$$E = E_{ph} \cdot J_{ph} \cdot \cos \varphi \text{ Watt,}$$

beim Zweiphasensystem:

$$E = 2 E_{ph} \cdot J_{ph} \cdot \cos \varphi \text{ Watt =}$$

$$\sqrt{2} E_n \cdot J_n \cdot \cos \varphi \text{ Watt}$$

beim Drehstromsystem (Stern und Dreieck):

$$P = 3 E_{ph} \cdot J_{ph} \cdot \cos \varphi \text{ Watt} =$$

$$\sqrt{3} J_n \cdot E_n \cdot \cos \varphi \text{ Watt}$$

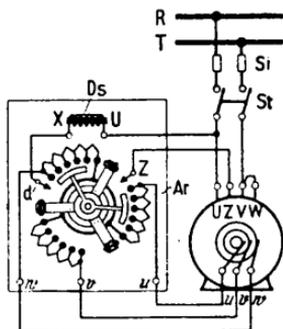


Abb. 24.

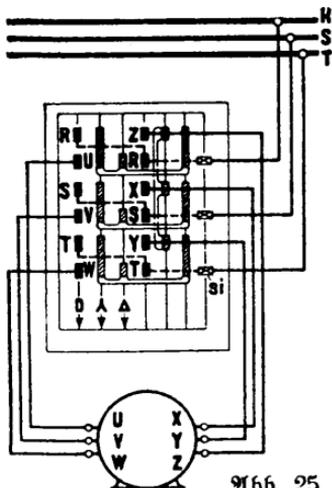


Abb. 25.

c) **Wechselstrommotore.** In gleicher Form, wie beim Gleichstrom kann man auch einen Motor mit Wechselstrom beschreiben. Man unterscheidet „synchron“ und „asynchron“ Wechselstrommotoren. Synchron Motore werden meist nur für große Umformeranlagen verwendet. Im Eisenbahn-Sicherungswesen werden meist nur Kleinmotoren verwendet und zwar Einphasen-Wechselstrommotoren für Antriebe ($\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ PS) und 2- oder 3phasige asynchrone Drehstrommotoren für Umformeranlagen (3—10,8 PS). Der Einphasen-Wechselstrom-Signalmotor gleicht dem Reihenschlußmotor nach Abb. 17. Der asynchrone Motor besteht aus einem feststehenden Teil (Ständer) und einem umlaufenden Teil (Läufer). Ständer (Körper und Feldmagnete) trägt Ein-, Zwei- oder Dreiphasenwicklung. Anordnung der Einphasenmotors nebst Anlasser für Umformeranlagen von Siemens und Halske zeigt Abb. 24. An Speiseleitungen R und T ist über Sicherungen Si und Ständerhalter St der Motor mit Klemmen U und V angeschlossen, W mit V, und Z mit dem Anlasser Ar verbunden. Schleifringbürsten u, v, w sind an die gleichen Regulierwiderstände gelegt. Zwischen U (R Leitung) und d/x liegt eine Drosselspule Ds. Eine für Anschluß an Drehstromneße gebräuchliche Schaltung von Drehstrommotoren ohne Anlasser und mit automatischem Ausschalter zeigt Abb. 25. Anschlußleitungen R, S, T laufen über je 1 Sicherung Si an die Kontakte R, S, T. Walzenschalter ist als Stern-Dreieck-Anlassschalter ohne Regulier-

widerstand (für kleine Anlagen) ausgebildet. Für kleine Anlagen, Kraftstellwerk-Umformer u. dgl. sind meist Motoren mit sog. Kurzschlußanker im Gebrauch. Ankerwicklung (Läufer) solchen Motors besteht aus einfachen, in die Nuten eingebrachten Kupferstäben. Sie ragen beiderseits aus dem Anker heraus und sind an den Stirnseiten durch Kurzschlußringe verbunden. Da Stromaufnahme dieser Anker bei großen Motoren sehr groß, ist Prinzip der Kurzschlußanker auf kleine Typen beschränkt. Das magnetische Drehfeld wird, wie schon erwähnt, durch 3 in der Phase um 120° verschobene Ströme erzeugt. Die 3 Wechselströme werden in 3 Gruppen um einen festen Eisenring (den Motor oder Ständer) geführt. Bei einem Motor mit 2poliger Ringwicklung wird Strom der 1. Phase über 2 sich diametral gegenüberliegende Spulensätze (180°) geführt, desgl. der Strom der 2. Phase über 2 weitere 60° von den ersten abstehende Spulensätze geführt. Ebenso ist Strom der 3. Phase über 2 weitere Spulensätze zwischen den 1. und 2. Spulensätzen (von jedem Satz 60° entfernt) geführt. Werden in alle 3 Spulensätze um 120° verschobene Wechselströme geschickt, so entsteht ein Drehfeld wie beim 2phasigen Motor.

Man unterscheidet folgende Anordnungen von Wechselstrommotoren:

- a) für Dreiphasen- (Drehstrom) und Zweiphasenstrom

Kurzschlußmotore ohne Anlasser (Sternschaltung),
 " mit Sterndreieckschalter (f. Drehstrom),
 " mit mechan. Anlasser,
 " mit Ständeranlasser,

Schleifringmotore ohne Anlasser mit festem Widerstand,
 " mit Läuferanlasser,

Kollektormotoren ohne Anlaßwiderstand.

- b) für Einphasenstrom:

Kurzschlußmotore mit Anlaßschalter,
 Schleifringmotore mit Anlaßwiderstand.

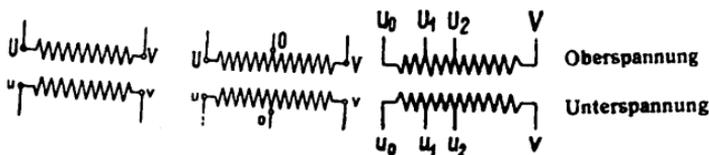


Abb. 26.

§ 9. Das Prinzip der elektrischen Transformatoren.

Im Eisenbahn-Sicherungswesen werden sog. Kleintransformatoren angewandt bei aus Wechselstromnetzen gespeisten Kraftantrieben und bei Wechselstrom-Weichen- und Signalbeleuchtungen. Die Transformatoren bestehen meist aus 2 übereinandergeschobenen

oder nebeneinander liegenden Spulen nach Abb. 26 (links ohne, mittlings und rechts mit Spannungsunterteilung). Netzspannung fließt über U und V durch die Primärspule (Oberspannung). Niedrigere Spannung (Unterspannung) wird der sekundären Spule u/v entnommen. Beide Spulen sind durch einen Eisentern magnetisch miteinander gekoppelt. Zur Verminderung von Wirbelströmen ist Eisentern aus 0,3—0,5 mm dünnen, durch Lack oder Papier getrennten Blechen zusammengefasst. Je nach Größe und Wickelung kann Netzstrom von 500 und mehr V auf 100—300 V und bei Unterteilung auf jede gewünschte niedrigere Spannung (bis zu wenigen V) heruntertransformiert werden. Ausgedehnte Verwendung finden solche Kleintransformatoren auch bei mit Wechselstrom betriebenen Gleisbesetzungen (Einrichtungen, die eine Einfahrt in ein besetztes Gleis ausschließen) und bei mit Wechselstrom betriebenen selbsttätigen Signal- und Blockanlagen.

§ 10. Die Meßeinrichtungen für Kraftstellwerk- anlagen. +37

Vorbemerkung.

Für Bau, Unterhaltung, Wartung und Störungsbeseitigungen an Kraftstellwerken werden angewandt:

- a) Spannungs- (Voltmeter)- und Stromstärkemesser (Ampere-meter,
- b) Elektrizitätszähler (Wattstundenmesser) und zuweilen
- c) Isolationsmesser und Widerstandsmeßeinrichtungen,
- d) Kabelmeßeinrichtungen.



Abb. 27.



Abb. 28.

a) Spannungs- und Stromstärkemesser.

Schalttafel-Instrumente sind sog. Weicheisen-, Dreheisen- oder Drehspul-Instrumente. Spannungs- und Stromstärkemesser sind im Aufbau gleich. Spannungsmesser werden stets parallel zum + und - Pol angelegt, Stromstärkemesser hingegen in die Leitung ein-

geschaltet. Stromstärkemesser erhalten je nach dem Meßbereich einen Nebenschluß zwischen den Anschlußklemmen, der so bemessen ist, daß der größere Stromteil durch den Nebenschluß, der kleinere durch das Instrument fließt. Ein Dreheisen-Meßwerk zeigt Abb. 27. Eine in harten Stahlhütchen oder Steinen gelagerte Achse trägt mittlings einen kreisförmig gebogenen Eisenanker, der in eine stromdurchflossene Spule je nach Stärke des Stromes hineingezogen wird. In einem kreisförmigen Rohr schwingt eine auf der Achse befestigte sogenannte Luftdämpfung. Sie bezweckt pendelfreie Zeigereinstellung bei jedem Wechsel des Ausschlages. Spule ist bei Spannungsmessern mit dünnem Draht, bei Stromstärkemessern mit dickerem Draht entsprechend dem Meßbereich des Instrumentes bewickelt.

Ein Drehspul-Instrument zeigt Abb. 28. Im Gegensatz zu dem Instrument nach Abb. 27 ist hier ein Hufeisenmagnet fest und zwischen seinen Polen eine Spule drehbar angeordnet. Diese von Deprez-DeArsonval erfundene Anordnung macht das Instrument hochempfindlich und frei von Einflüssen durch vagabondierende Ströme. Die im magn. Kraftlinienfeld drehbare, auf einen Aluminiumrahmen gewickelte Spule ist mit hartem Stahlspitzen in Achatsteinen gelagert. Die Spulenden sind je mit einer oberen und unteren Torsionsfeder (entgegengesetzt wirkende Uhrs-feder aus Hart- oder Kupferbronze) und diese mit den Zuleitungen verbunden. Bei Drehspul-Präzisionsinstrumenten ist Zeiger blattförmig schmal ausgezogen und mit unterlegtem Spiegel versehen. Eigenverbrauch der Dreheisen-Instrumente schwankt je nach Meßbereich und Type bei Stromstärkemessern zwischen 1 bis 2 Watt, bei Spannungsmessern kommt Eigenverbrauch des Vorwiderstandes von 7—8 Watt hinzu.

Bei Drehspulinstrumenten beträgt Eigenverbrauch erheblich weniger. Strommesser haben einen Spannungsabfall von rd. 60 Millivolt (0,06 V). Spannungsmesser haben im Endauschlag 10—20 Milliampere (0,010—0,020 A) Stromverbrauch. Widerstand für je 1 Volt des Meßbereiches 50—100 Ω .

Dreheisen-Instrumente können für Gleich- und Wechselstrom (15—100 Perioden), Drehspul-Instrumente jedoch nur für Gleichstrom benutzt werden.

Um Vertuschungen und dadurch bedingtes falsches Anschließen auszuschließen, sind Skalen für Strommesser mit auffälligem A, Skalen der Spannungsmesser mit auffälligem V versehen (Abb. 29).

Nachstehend einige Beispiele zur Vornahme von Spannungs- und Stromstärkemessungen bei Kraftstellwerkanlagen. Soll

1. in Abb. 9 Spannung der Überwachungs- und der Stellan-batterie an den Sicherungen gemessen werden, so ist + Pol des Spannungsmessers an S_2 bzw. S_1 , - Pol des Spannungsmessers an Erde zu legen. Soll

2. Spannungsabfall des Überwachungstromes am

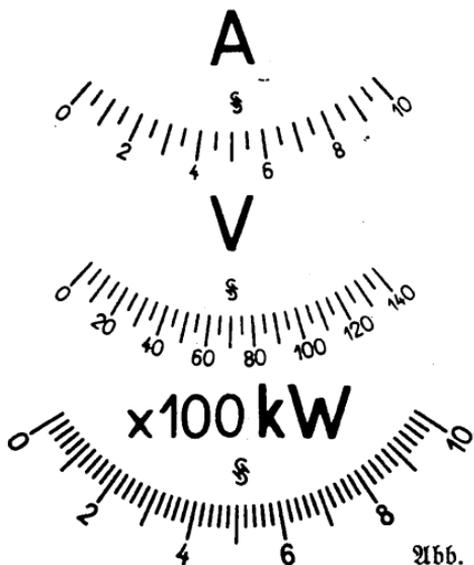


Abb. 29.

Überwachungsmagneten gemessen werden, so ist nach Messung 1 Spannungsmesser parallel zum Überwachungsmagneten anzulegen. Soll

3. Stromstärke des Stellstromes in Leitung 2 gemessen werden, so ist Strommesser an beliebiger Stelle (S_1 , b^1 , a^3 , m^2 oder Erdkontakt) in den Stromkreis einzuschalten. Soll

4. mit einem Stromstärkemesser für 10 A z. B. ein Strom von rd. 85 A gemessen werden, so ist parallel zu den Anschlußflemmen des Stromstärkemessers ein Nebenschluß zu legen, dessen Wert vom Eigenwiderstand des Instrumentes abhängig ist. Da Meßbereich 0—10 A, so muß Nebenschluß so bemessen werden, daß von max. 100 A nur 10 das Instrument, hingegen 90 A den Nebenschluß durchfließen = 1:9. Es fließen mithin 1 Stromteil über das Instrument, 9 über den Nebenschluß. Nimmt man Leitfähigkeit des Instrumentes zu 100 an, so muß die des Nebenschlusses = 900 sein. Ist Widerstand des Instrumentes = 0,01, so ergibt sich für

den Nebenschluß = $\frac{0,01 \cdot 100}{900} = \frac{1}{900} = 0,0011 \Omega$. Bei Stromstärkemessern für mehrere Meßbereiche sind entsprechende Nebenschlüsse beigegeben oder in das Instrument eingebaut. Soll

5. ein Spannungsmesser für 0—50 V für rd. 150 V benutzt werden, so verhält sich Meßbereich = 1:3. Zusatzwiderstand R_z , der dem Instrument vorzuschalten ist, muß also von 150 V = 150—50 = 100 V für sich aufnehmen, d. i. = das

2fache der Instrumentenspannung. Somit muß Zusatzwiderstand $R_z = 2 R_i$ (Instrumentwiderstand) betragen.

6. Bei den Maschinen nach Abb. 12 ist bei Messung der Maschinenspannung Spannungsmesser an Klemmen A und B, bei Messung der Netzspannung an P und N zu legen.

7. Stromstärkemesser kann beliebig in Leitungen P oder N zwischengeschaltet werden.

Für Wechselstrom sind außer Dreheisen-Instrumenten und Instrumenten mit Stromwandlern sog. Drehfeldinstrumente als Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser (kVA) im Gebrauch. Dreheisen-Instrumente sind zur Wechselstrommessung deswegen verwendbar, weil Wechselstromimpulse in rascher Folge (entsprechend der Periodenzahl) bald Wert 0, bald +, bald - Maximalwert haben. Eisenanker hat daher die Tendenz, schnell zwischen Ruhelage und max. Ausschlag hin und her zu schwingen. Trägheit des Eisenankers läßt jedoch so rasche Schwingungen nicht zu, sondern gibt ihm einen mittleren Dauerausschlag, der im Vergleich zu Gleichstrominstrumenten aber kleiner ist.

Drehfeldinstrumente (elektrodynamische Meßinstrumente) besitzen eine feste und eine bewegliche Spule. Ältere Drehfeldinstrumente (Elektrodynamometer) haben entweder 2 senkrecht übereinander angeordnete Spulen, bei denen durchfließender Strom die bewegliche ablenkt, oder die Spulen besitzen parallele Bindungsebenen dergestalt, daß bei Stromdurchfluß bewegliche Spule von der festen angezogen bzw. abgestoßen wird. Mechanische Drehkraft der beweglichen Spule ist abhängig von dem Produkt $I_b I_f$ (für Gleich- und Wechselstrom). Es bedeutet b = bewegliche, f = feste Spule.

Drehfeldinstrumente mit hintereinander geschalteten Spulen sind wie vorbehandelte Gleichstrom-Instrumente zur Stromstärke- und zur Spannungsmessung verwendbar. Sie werden bei Stromstärkemessungen in die Leitung, bei Spannungsmessungen parallel zwischen beide Leitungen geschaltet. Ferner sind Drehfeldinstrumente zur Leistungsmessung geeignet. Leistungsmesser von S & H gibt Zeigerausschlag direkt in kW (kVA) oder n 100 kW (n-Skalenteile) an, siehe Abb. 29).

Schaltung des Drehfeld-Strommessers von S & H zeigt Abb. 30 links. Feststehende Spule (stark ausgezogen) wird

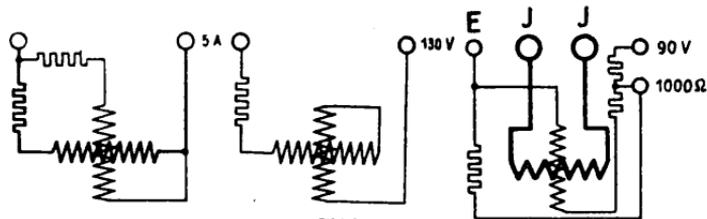


Abb. 30.

vom zu messenden Hauptstrom durchflossen. Zu ihr parallel geschaltete bewegliche Spule führt infolge entsprechender Bemessung des Widerstandes und Manganin-Vorwiderstandes nur einen kleinen Teilstrom. Eigenverbrauch bei vollem Zeigerausschlag etwa 6,5 W. Bei Benutzung mit Stromwandler ist gemessener Strom:

$$J a = \frac{J}{5} \cdot \frac{a}{20} = \frac{J}{100} \cdot a \text{ in A}$$

a = Ausschlag in Skalenteilen,

$\frac{J}{5}$ = Übersetzung des Stromwandlers mit sekundärem

Nennstrom = 5 Amp.

Schaltung des Drehfeld-Spannungsmessers von S. & S. zeigt 2. Teilbild der Abb. 30. Feststehende und bewegliche Spule sind hintereinander (in Reihe) geschaltet. Stromverbrauch max. 60 MA, bei 130 V Drehbereich innerer Widerstand rd. 2200 Ω . Eigenverbrauch bei vollem Zeigerausschlag rd. 7,5 W. Bei Benutzung mit Spannungswandler ist gemessene Spannung

$$E a = \frac{E}{100} \cdot a \text{ in V.}$$

Schaltung des Leistungsmessers zeigt rechtes Teilbild der Abb. 30. Feststehende Spule wird vom Hauptstrom J durchflossen. Im Feld der Hauptstromspule bewegliche Spule wird an die zu messende Spannung angelegt. Parallel zur beweglichen Spule und deren Vorwiderstand liegt ein Nebewiderstand, der den Stromverbrauch des Spannungskreises (bewegliche Spule) auf

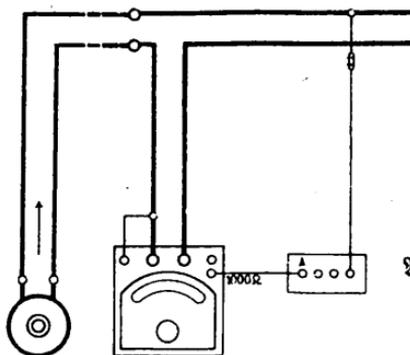
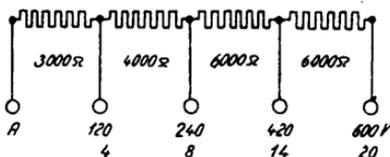


Abb. 31.



mag. 30 MA abgleicht, mithin $R = \frac{E}{J} = \frac{30}{0,030} = 1000 \Omega$.

1000 Ω Klemme ist zu benutzen bei Spannungsmessungen zwischen 120 und 600 V, 90 V Klemme (Vorkwiderstand 200 Ω) bei Spannungen bis 100 V (siehe Abb. 30). Da Normalbelastung des Instrumentes = 0,03A, so entspricht der 1000 Ω Klemme nach dem Ohm'schen Gesetz (für Gleichstrom) eine Spannung

$$E = J \cdot R = 0,03 \cdot 1000 = 30 \text{ V.}$$

Beträgt zu messende Spannung über 100 V, so wird Vorschalten eines Vorkwiderstandes nach Abb. 31 nötig. Rechts vom Leistungsmesser dargestellter Vorkwiderstand ist unter der Schaltung vergrößert dargestellt. Abgelesene Leistung wird ermittelt nach Formel

$$E = x \cdot c \cdot a \text{ Watt.}$$

- a = Ablefung in Skalenteilen,
 - x = Widerstandskonstante (4, 8, 14 oder 20),
 - c = Instrumentkonstante (Zahl, mit der Zeigerausschlag zu multiplizieren ist, um Leistung in Watt zu erhalten.
- Außer diesem S & H Leistungsmesser für Einphasenstrom sind solche für Drehstrom ohne und mit Strom- und Spannungswandlern im Gebrauch.

b) Elektrizitätszähler¹⁾.

Bei Kraftstellwerken sind in Anwendung:

Gleichstromzähler für Stell- und Überwachungsstromverbrauch (bei Stromentnahme aus Gleichstromnetz auch für diesen Verbrauch);

Wechsel- bzw. Drehstromzähler für Netzstromverbrauch.

Wirkungsweise und Schaltung des Gleichstromzählers (Bauart S & H) zeigt Abb. 32.

Von der Stromquelle G kommender Hauptstrom fließt (stark ausgezogene Linien) über Hauptstromspulen 1, Verbraucher L (bei

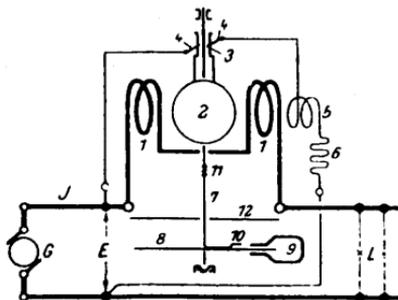


Abb. 32.

¹⁾ Es werden hier nur sogenannte Motorzähler behandelt (Vorläufer dieser sind Voltmeter, Elektrolytzähler, Pendelzähler).

Kraftstellwerten-Stellstrom- bzw. Überwachungsstromkreise) zurück zu G. Im Feld von 1 ist Anker 2 drehbar. Dieser erhält schwächeren Strom parallel zur Netzspannung E über Kollektor 3, Bürsten 4, Hilfspule 5 und Vorschaltwiderstand 6. Auf Achse 7 ist Wirbelstrom-Bremsscheibe 8 (nebst Bremsfahne 10) befestigt, die im Kraftlinienfeld des permanenten Magneten 9 läuft. Achse 7 trägt ferner Schnecke 11 des Zählwerkes. Schutzblech 12 schützt Brems-scheibe. Bei Stromschluß muß Anker 2 entsprechend der Stärke des Stromes langsam oder schneller laufen. Ankerstrom J' ist proportional der Netzspannung und zwar

$$J' = \frac{E}{R'} \text{ Amp}$$

wenn R' = Gesamt-widerstand des Anterkreises.

Drehmoment D ist proportional dem Kraftfeld zwischen 1, 2, 1 und der Ankerstromstärke. Da Hauptstrom proportional J und Ankerstrom proportional E ist, so ist Drehmoment des Zählers proportional der Wattbelastung $E \cdot J$. Ist CD die von der Bauart abhängige Proportionalkonstante des Zählers, so ist das Drehmoment

$$D = C_D \cdot E \cdot J$$

Gleichzeitig mit Drehung des Ankers üben Wirbelströme in Scheibe 8 ein Bremsmoment B, proportional der Drehzahl n aus, d. h. $B = C_B \cdot n$. Es ist mithin $C_D \cdot J \cdot E = C_B \cdot n$, mithin

$$n = \frac{C_D}{C_B} \cdot J \cdot E = C \cdot J \cdot E = C \cdot W,$$

worin C eine neue Proportionalitätskonstante. Gesamtzahl der Ankerumdrehungen von 2 während der Zeit t ist somit proportional der elektrischen Arbeit $E = W \cdot t$ (in kWh).

Für Kraftstellwerkanlagen gebräuchlicher Zähler Type G 5 Bauart S. & S. hat einen

Meßbereich von 3 bis 200 A;

Wattverbrauch rd. 1,5 W/je 100 V Netzspannung im Nebenschluß (Anker) und max 12 W (bei Rennstrom) in den Hauptstromspulen.

Umdrehungszahl bei Rennlast rd. 50/min = rd. 4500/1 kWh für Zähler des Überwachungsstromes (30 V/20 A) und rd. 8770/1 kWh für Stellstromzähler (136 V/30 A). Drehmoment (mittleres) bei Rennlast etwa 6,5 gem.

$$\text{Spannungsabfall} = \frac{12}{J} \text{ max. (} J = \text{Nennstromstärke)}$$

Er beträgt bei Zählern bis 5 A = max. 2,5 V, bei Zählern über 5 A = 1,5 V max.

Alle Teile 1 bis 12 sind auf gußeiserner Grundplatte zusammenhängend angeordnet und durch plombierten Deckel (Kastenform) abgeschlossen. Ein in Höhe Brems-scheibe angeordnetes Fenster läßt Drehung (Stromentnahme) oder Stillstand der Brems-scheibe erkennen. Zählwerk enthält weiße 3stellige Zahl mit

2 roten Dezimalstellen von 000,09 bis 999,99 + 0,01 = 1000 kWh bei Überwachungsstromzählern, und weiße 4stellige Zahl mit 1 roten Dezimalstelle von 0000,9 bis 9999,9 + 0,1 = 10000 kWh bei Stellstromzählern.

Wirkungsweise und Anordnung der eisengeschlossen dynamometrischen Wechsel- und Drehstromzähler (Bauart S. & H.) zeigt Abb. 33. Anwendung bei Kraftstellwertanlagen

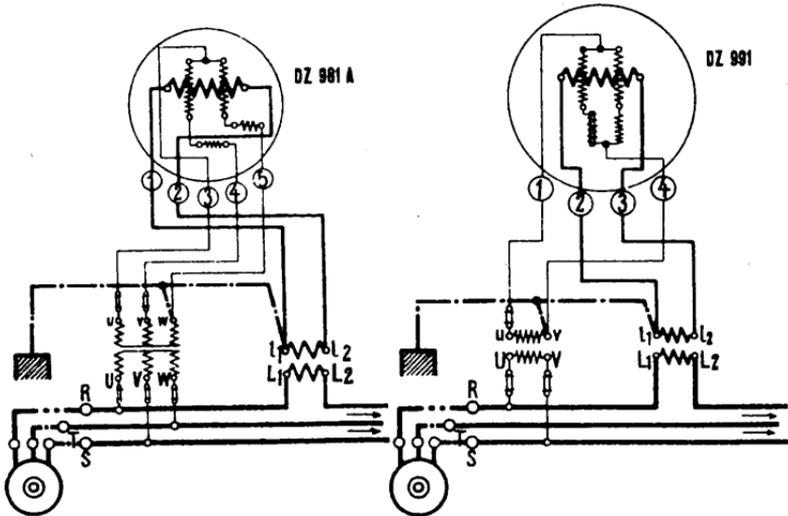


Abb. 33.

nur, wenn Drehstrom-Entnahme auf dem Bahnhof an anderer Stelle nicht gezählt wird. Prinzip: Zwischen 2 in der Phase um rd. 90° verschobenen Wechselstromfeldern wird ein magnetisches Drehfeld erzeugt, in welchem eine drehbar gelagerte Kupfer- oder Aluminiumscheibe bei Strombelastung der festen Spulen in Umdrehungen versetzt wird.

Linke Schaltungsanordnung mit 5 Klemmen enthält Spannungs-Transformator für Nebenspulenfeld in Leitungen R/S oder R/T. In linker Schaltung wird

bei Strom aus Leitung R Spannung von RST,

bei Strom aus Leitung S Spannung von STR,

bei Strom aus Leitung T Spannung von TRS

abgenommen.

In rechter Schaltung wird

bei Strom aus Leitung R Spannung von R - S,

bei Strom aus Leitung S Spannung von S - T und

bei Strom aus Leitung T Spannung von T - R

abgenommen. Hauptstromspule wird bei beiden Anordnungen

vom Stromtransformator L in Leitung R gespeist.

c. Isolations- und Widerstandsmessrichtungen.

1. Allgemeines.

Isolationsmessungen sind im Gegensatz zu reinen Widerstandsmessungen Messungen des Isolationswiderstandes von Kabeln und Leitungen. Werte der Isolationsmessungen sind im Gegensatz zu Widerstandsmessungen abhängig von der Höhe der Meßspannung. Der Verband Deutscher Elektrotechniker (V. D. E.) hat in seinen Verbandsvorschriften u. a. festgelegt:

Isolationsmessungen sollen tunlichst mit der Betriebsspannung, mindestens aber mit 100 V ausgeführt werden.

Bei Isolationsmessungen mit Gleichstrom (gegen Erde) soll, wenn tunlich, der —Pol der Stromquelle an die zu messende Leitung gelegt werden.

Der Isolationszustand einer Niederspannungsanlage (Anlaßen bis 250 V gegen Erde) gilt als angemessen, wenn der Isolationszustand jeder Teilstrecke zwischen 2 Sicherungen oder hinter der letzten Sicherung wenigstens $1000 \Omega \cdot n \text{ V}$ der Betriebsspannung beträgt (z. B. $1000 \cdot 220 = 220\,000 \Omega$ für 220 V Betriebspannung).

In der Praxis werden zu Isolationsmessungen Leitungsprüfer und Isolationsprüfer angewandt.

Leitungsprüfer dienen zur Untersuchung von Leitungsschluß, Erd- oder Körperschluß und Drahtbruch. Man unterscheidet zwischen Leitungsprüfern mit Batterie, Gleichstrominduktor oder Wechselstrominduktor. Leitungsprüfer von S. & H. mit Wechselstrominduktor besteht aus einem Kasten mit eingebautem 25 V Wechselstrominduktor, Wechselstromwecker, Kurbel und 2 Anschlußklemmen in Hintereinanderschaltung. Verwendung lediglich zum Ausklängen von Leitungen. Ohm'scher Widerstand von Induktor und Wecker zus. rd. 600 Ω . Bei Leitungs-, Erd- oder Körperschluß ertönt Glocke kräftig. Glocke beginnt zu läuten bei Widerständen von 2000 Ω abwärts (starker Nebenschluß). Leitungsprüfer von S. & H. mit Gleichstrominduktor besteht aus einem Kasten mit eingebautem 25 V Gleichstrominduktor, Nadelgalvanoskop, Kurbel und 2 Anschlußklemmen in Hintereinanderschaltung. Ohm'scher Widerstand rd. 600 Ω . Ohm'skala reicht von 0 bis 40 000 Ω bei rd. 30 Kurbelumdrehungen in 10 Sekunden.

Wirkungsweise und Schaltung eines für Kraftstellwertanlagen geeigneten Isolationsprüfers von S. & H. für Weichen-, Signal- und Speisefabel zeigt Abb. 34. Anwendung bei Herstellung von Verbindungsmuffen, Endverschlüssen, Verteilungsgehäusen, neu verlegten Kabeln und bei der laufenden Unterhaltung. Ein 3adriges Kabel ist wie folgt auszumessen:

1. Aber 1 an Klemme K, Aber 2 und 3, Bleimantel und Erdverbindung an Klemme E;
2. Aber 2 an Klemme K, Aber 1 und 3, Bleimantel und Erde an Klemme E;

3. Aber 3 an Klemme K, Aber 1 und 2, Bleimantel und Erde an Klemme E.

Schaltung des Isolationsprüfers mit Batterie und Klemme für Nebenschluß ist in Abb. 34 unten rechts besonders dargestellt.

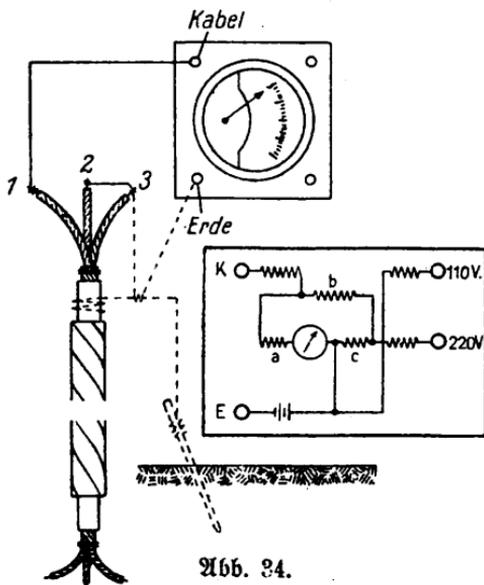


Abb. 34.

Das Drehspul-Beigerinstrument hat eine Megohm-Skala, berechnet für eine Batterie-Messspannung von 11V, und darunter eine 120 Voltstala zur Messung der Batterie- und der Nebspannung. Bei Messung der Batteriespannung sind Klemmen K und E zu verbinden, Ablesungen der Voltstala durch 10 zu teilen. Batterie ist zu erneuern, wenn Spannung unter 10 V.

Messbereich 1 (Anschluß an Klemmen K und E) für Isolationsmessungen bis etwa 2 Megohm ($1 \text{ M } \Omega = 10^6 = 1\,000\,000 \Omega$, siehe § 4) mit 11 V Batteriespannung an stromlosen Leitungen.

Messbereich 2 (Anschluß an Klemmen 110 oder 220 V und K) für Isolationsmessungen bis 10 bzw. 20 M Ω mit 110 und 220 V Nebspannung an stromlosen Leitungen und während des Betriebes. Widerstände a, b und c sind so abgeglichen, daß Ablesung an der Megohm-Skala mit 10 multipliziert sowohl für Messungen mit 110 wie mit 220 V Nebspannung gilt.

Messbereich 3 - Spannungsmessungen bis 120 und 240 V Gleichstrom.

An Stelle der 10 V Messbatterie kann das Instrument auch mit Gleichstrominduktor für 25 bzw. 110 V versehen werden.

Bei Messungen der Speisefabel von Kraftstellwertanlagen zwischen Batterie und Stellwert ist zwischen Netz (+) und Erde eine Glühlampe oder eine schwache Sicherung zu legen. Grund: Es könnte Kurzschluß eintreten, wenn der andere Pol des Netzes (Speisefabels) Erdschluß hätte.

2. Isolationsmessung

an stromlosen Anlagen mittels Gleichstrom-Netzspannung.

a) Messen der Netzspannung E , +Pol an Klemme K , -Pol an 110 bzw. 220 V Klemme, zwischen +Ader und Erde Glühlampe oder schwache Sicherung legen.

b) Ablesung an der Megohm-Stala, wenn Netzspannung von normaler Spannung nicht viel abweicht.

c) Weichen Soll- und gemessene Spannung stark voneinander ab, so kann Isolationswiderstand nach Formel

$$R_i = r \left(\frac{E}{V} - 1 \right) \Omega$$

bestimmt werden. Hierin bedeuten R_i = Isolationswert, r = Instrumentwiderstand (im Instrument verzeichnet), E = Soll-Netzspannung, V = abgelesene Spannung.

3. Isolationsmessung

mittels Netzspannung während des Betriebes.

a) Messen der Netzspannung 110 bzw. 220 V Klemme an -, K an + Leitung. Ablesung E .

b) Messen der Spannung zwischen + Leitung und Erde. Ablesung V_1 .

c) Messen der Spannung zwischen - Leitung und Erde. Ablesung V_2 . Dann sind

$$\text{Isolation der ganzen Anlage } R_i = r \left(\frac{E}{V_1 + V_2} - 1 \right) \Omega,$$

$$\text{" " + Leitung } R_{i(+)} = r \left(\frac{E - V_1}{V_2} - 1 \right) \Omega \text{ und}$$

$$\text{" " - Leitung } R_{i(-)} = r \left(\frac{E - V_2}{V_1} - 1 \right) \Omega.$$

4. Kabel und Erdschluß.

a) Fehlerortsbestimmung nach der Brückenmethode (Widerstandsmessung). Prinzip der Wheatstoneschen Brücke zeigt Abb. 35. Es fließt bei geschlossener Taste S_1 je ein Zweigstrom über a und V bzw. b , C , Kabel, D . Zweig $C-D = R_x =$ gesuchter Widerstand. Im Galvanometerzweig fließt bei gedrückter Taste S_2 kein Strom, wenn

$$a : b = V : R_x \text{ oder } a : V = b : R_x.$$

Dann ist $R_x = \frac{b \cdot V}{a} \Omega$, wenn a , b und V bekannt oder ablesbar sind.

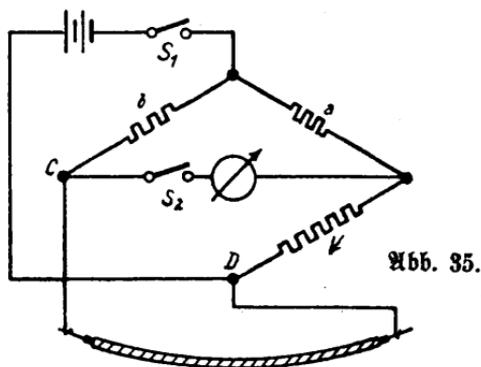


Abb. 35.

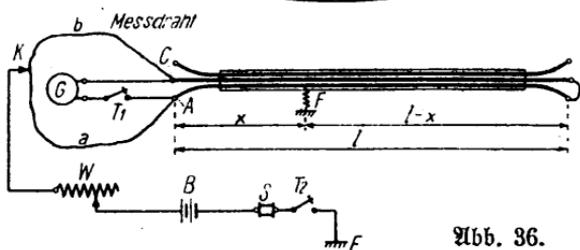


Abb. 36.

Schaltung für die Fehlerortsbestimmung nach der Brückenmethode zeigt Abb. 36. Erdschluß ist durch F dargestellt. B = Meßbatterie, W = Vorschaltwiderstand, T₂ = Batterie-, T₁ = Galvanometertaster, K = Gleitkontakt, A und C = Anschlußstellen 2er als Schleife geschalteter Kabeladern, a/b = Meßdraht. Es verhält sich $x : 2l = a : (a + b)$, d. h.

$$\frac{x}{2l} = \frac{a}{a + b} \text{ oder}$$

$x : (a + b) = 2l : a$. Dann ist

$$x = 2l \cdot \frac{a}{a + b}$$

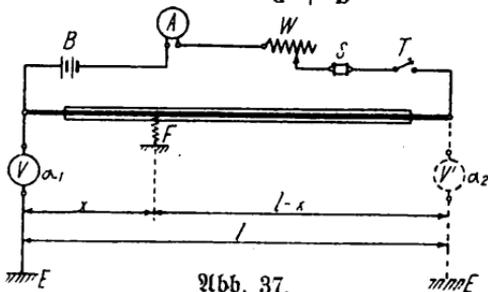


Abb. 37.

b) Fehlerortsbestimmung nach der Spannungsabfallmethode (Abb. 37). Batterie=Strommesser A, Vorschaltwiderstand, Sicherung S, Taste T und Kabelader sind hintereinander geschaltet. Erdschluß bei F. Spannung V und V_1 zwischen Kabelenden und Erde messen (Ausschläge a_1 und a_2). Da sich $x:l = a:(a+b)$ verhält (Formeln zu Abb. 36), so ist auch $x:l = a_1:(a_1+a_2)$, mithin

$$x = l \cdot \frac{a_1}{a_1 + a_2}$$

5. Kabel hat Aderschluß.

a) Fehlerortsbestimmung nach der Brückenmethode. Besteht Aderschluß nach Abb. 36 zwischen der oberen und mittleren Ader bei F, so hebt man Verbindung E auf (Erdsverbindung F besteht nicht, da Aderschluß angenommen ist) und lege sie an die obere Ader bei C. Es besteht dann dieselbe Beziehung wie zu 4a nach Formel

$$x = 2l \cdot \frac{a}{a+b}$$

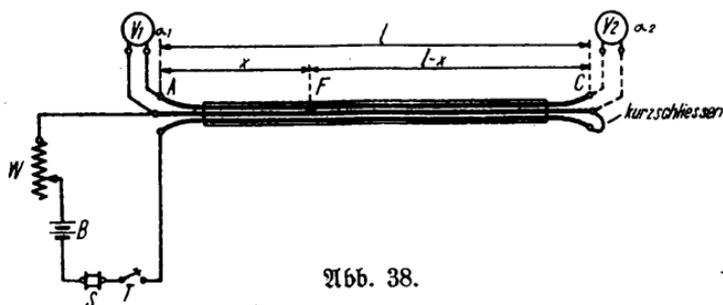


Abb. 38.

b) Fehlerortsbestimmung nach der Spannungsabfallmethode (Fehlerstelle = F.) Schaltung nach Abb. 38. Messe Spannungsabfälle zwischen A und F und C und F. Es ist wie zu 4b auch hier

$$x = l \cdot \frac{a_1}{a_1 + a_2}$$

6. Präzisionsmessungen.

Genauere Messungen und Fehlerortsbestimmungen mittels tragbarer Kabelmeßeinrichtungen der Telegraphen-Werfstätten oder Sigb. und durch diese ausführen lassen. Die tragbare Kabelmeßeinrichtung von S. u. D. enthält in 2 Transportkästen mehrere Meßbatterien, ein empfindliches Zeiger- oder Spiegelgalvanometer als Strom- und Spannungsmesser, einen Widerstandskasten mit 10 verschieden schaltbaren Klemmen, 2 Tasten,

Umschalter und 3 Latten (als Füße an den Transportkästen zu stecken). Besondere Umschaltungen und Klemmenverbindungen gestatten das Messen von Widerständen über 50Ω , $0,1$ bis 50Ω , $0,05$ bis $0,1 \Omega$, hochwertige Isolationsmessungen mit Spiegelgalvanometer, Kapazitätsmessungen und Fehlerortsbestimmungen an Kabeln aller Bauarten.