

der Meßeinrichtung und die Ermittlung des Meßresultates sehr vereinfacht. In dem Schaltungsschema bzw. am Apparate Fig. 141 u. 142 bezeichnet d den Schleifdraht nebst neun Zusatzwiderständen — je von gleicher Größe wie der Schleifdraht —, W_v einen mehrstufigen Vergleichswiderstand, G das Galvanometer, W_h einen hohen Widerstand (100 000 Ohm) — Vergleichsnormal bei der Isolationsmessung — U einen Umschalter mit drei Kontaktstellungen, U bis S_k den Batterieanschluß, X den unbekanntem Widerstand und W_x bis W_x den Anschluß des unbekanntem Widerstandes. Das Wheatstonesche Viereck besteht aus den Abschnitten des Schleifdrahtes und aus W_h und X . Durch Verstellung des Schleifkontaktes nebst Schaltkurbel für die Zusatzwiderstände wird das Brückengleichgewicht erreicht. Die Ablesung erfolgt in Zehntausendsteln des Schleifdrahtwiderstandes. Aus einer Tabelle kann man direkt das Verhältnis der Brückenarme a und b feststellen, welches mit W_h multipliziert den unbekanntem Widerstand gibt. Der Umschalter U steht bei dieser Messung auf Kontakt W_v .

Die Leitungsfähigkeit bzw. die spezifische Leitungsfähigkeit eines Körpers entspricht dem reziproken Werte des Widerstandes bzw. des spezifischen Widerstandes. Zur Bestimmung der spezifischen Leitungsfähigkeit eines Drahtes ist die Kenntnis von Länge, Querschnitt, Widerstand und Temperaturkoeffizienten des letzteren erforderlich. Die Ermittlung des Querschnittes muß mit besonderer Vorsicht, bei dünnen Drähten am besten durch Rechnung aus dem Gewichte, um Irrtümern bei der Messung zu begegnen, erfolgen. Bezeichnet l die Länge in Metern, q den Querschnitt in Quadratmillimetern, s das spezifische Gewicht des Materiales, g das absolute Gewicht des Drahtstückes in

Grammen, so ist $q = \frac{g}{s \cdot l}$. — Bei der Widerstandsmessung handelt es

sich häufig um kurze Probestücke bzw. kleine Widerstandswerte; es ist eine Methode in Anwendung zu bringen, bei der die in Rechnung kommenden Übergangswiderstände mit berücksichtigt werden. In erster Linie ist die Thomsonsche Doppelbrückenmethode — entsprechende Apparate bauen Hartmann u. Braun, Siemens u. Halske und andere — zu verwenden. Bei derselben können Widerstände bis zu 0,000 001 Ohm herab unabhängig von Übergangswiderständen ermittelt werden. Näheres hierüber findet sich in Apt, Kittler, Uppenborn, Wietz usw.¹⁾ Aus diesen durch Rechnung und Messung ermittelten Werten kann die Leitungsfähigkeit eines Drahtes gefunden werden.

3. Isolationsmessungen.

Ein sehr wichtiger Faktor bei Prüfung eines Kabelnetzes ist der Isolationswiderstand. Entsprechend den Sicherheitsvorschriften des Ver-

¹⁾ Raphael Apt, Isolationsmessungen und Fehlerbestimmungen an elektrischen Starkstromleitungen; — Kittler, Handbuch der Elektrotechnik; — Uppenborn, Kalender für Elektrotechniker.

bandes Deutscher Elektrotechniker galt bis vor kurzem die Bestimmung, daß der Isolationswiderstand des ganzen Leitungsnetzes gegen Erde mindestens $\frac{1\,000\,000}{n}$ Ohm, die Isolation für jede Hauptabzweigung mindestens $10\,000 + \frac{1\,000\,000}{n}$ Ohm (für Niederspannung) betragen müsse, woselbst mit n die Anzahl der Glühlampen bezeichnet wird. Der Isolationswert ist eine Funktion der Spannung und muß somit die Meßspannung stets in der Höhe der Betriebsspannung genommen werden. Aus obiger Formel ist keine Beziehung zwischen Isolationswiderstand und Spannung zu erkennen. In Österreich bedient man sich schon seit jeher — bei Abnahme von Anlagen — der Formel

$$\text{Isolationswiderstand } W_i = \frac{5\,000 \cdot e}{i},$$

worin e den größten Spannungsunterschied in Volt zwischen den betreffenden Leitungen sowohl untereinander wie gegen Erde und i den Höchstwert der Stromstärke bedeutet. In dieser Formel ist die Relation $W_i = f(e)$ zu erkennen. Neuerdings heißt es in unseren Verbandsvorschriften: „Der Isolationszustand einer Anlage soll derart sein, daß der Stromverlust auf jeder Teilstrecke zwischen zwei Sicherungen oder hinter der letzten Sicherung bei der Betriebsspannung ein Milliampere nicht überschreitet. Der Isolationswert einer derartigen Leitungsstrecke muß hiernach wenigstens betragen: 1000 multipliziert mit der Voltzahl der Betriebsspannung (z. B. 220 000 Ohm für 220 Volt Betriebsspannung).“ Diese neue Bestimmung nähert sich den österreichischen Vorschriften; hierüber siehe die Arbeit von F. Röss¹⁾. Immerhin ist jedoch der geforderte Isolationswert nach den österreichischen Vorschriften größer als nach den neuen deutschen Verbandsvorschriften.

Bezüglich des Isolationswertes für Kabel sind die Vertragsbedingungen der „Vereinigung der Elektrizitätswerke“ betr. Lieferung von Kabeln . . . sowie die Normalien für Kabel maßgebend. Die betreffenden Bestimmungen folgen im Anhang des Buches.

Für Freileitungen soll nach den neuen Verbandsvorschriften der Isolationswert mindestens 20 000 Ohm pro Kilometer einfacher Länge bei feuchtem Wetter betragen. Hierbei ist natürlich wieder die Meßspannung in Höhe der Betriebsspannung zu wählen. Die Methode zur Bestimmung des Isolationswiderstandes von Kabeln beruht auf der direkten Ausschlagmessung unter Anwendung eines hochempfindlichen Galvanometers.

Um den Meßbereich des Galvanometers sowohl auf starke als auf schwache Ströme ausdehnen zu können, legt man das Galvanometer in den Nebenschluß einer Reihe Widerstände, welche in einfachen Verhält-

¹⁾ F. Röss, Zeitschrift für Elektrotechnik, Organ des Elektrotechnischen Vereins in Wien, 1901, Heft 49.

nissen zum Galvanometerwiderstande stehen. Hierdurch wird nur ein bestimmter Teil des gesamten Stromes durch das Instrument gesandt.

Die Methode und Schaltung seien durch folgende mathematische Beziehungen und Fig. 143 gegeben.

Es bezeichne g den Galvanometerwiderstand = etwa 6000 Ohm; z Widerstand des Nebenschlusses = $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$ oder $\frac{1}{999}$ des Galvanometerwiderstandes, J Hauptstrom, i_1 Strom im Instrumente, i_2 Nebenschlußstrom, R Normalvergleichswiderstand mit verschiedenen Abstufungen, B Batteriewiderstand und x Isolationswiderstand.

$$J = i_1 + i_2$$

$$i_1 = \frac{i_2}{9},$$

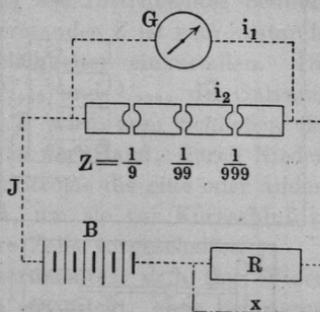
daher

$$J = i_1 + 9 i_1 = 10 i_1$$

und

$$i_1 = \frac{J}{10}.$$

Fig. 143.



Der Gesamtwiderstand W des Stromkreises ist

$$W = R + B + \frac{g \cdot z}{g + z}.$$

Bei Vernachlässigung von $B + \frac{g \cdot z}{g + z}$, welcher Wert im Verhältnis zu R sehr klein ist, bleibt $W = R$. — Vor jeder Messung sehe man zunächst zu, das Galvanometer empfindlich genug zu machen, so daß bei Einschaltung des zu prüfenden Isolationswiderstandes bzw. des Kabels der Ausschlag noch genügend groß wird.

Beispiel.

Es sei $R = 100\,000$ Ohm. War der Ausschlag des Galvanometers beim Shunt $\frac{1}{99}$ von g : $n = 404$ mm Skalenteile, entsprechend einem Strome $J = 100 \cdot i_1$, so würde ohne Shunt ein Ausschlag von $100 \cdot n$ erfolgen. Schaltet man nun statt R das zu prüfende Material, z. B. die Isolation des Kabels, ein (und zwar ebenfalls ohne Shunt), so ist der Ausschlag n' , entsprechend einem Strome $J' = i'_1$. Die Widerstände verhalten sich nun umgekehrt wie die Ströme und die Ausschläge, daher ist:

$$\frac{x}{R} = \frac{100 \cdot i_1}{i'_1} = \frac{100 n}{n'}.$$

n' sei 70 mm Skalenteile, somit ist:

$$x = \frac{R \cdot 100 \cdot n}{n'} = \frac{100\,000 \cdot 100 \cdot 404}{70} = 57\,700\,000 \text{ Ohm} \\ = 57,7 \text{ Megohm.}$$

Die zu diesen Messungen gebräuchlichen Apparate, wie sie von Hartmann u. Braun, Siemens u. Halske und anderen fabriziert werden, seien im folgenden näher beschrieben. Untenstehender Apparat

Fig. 144.

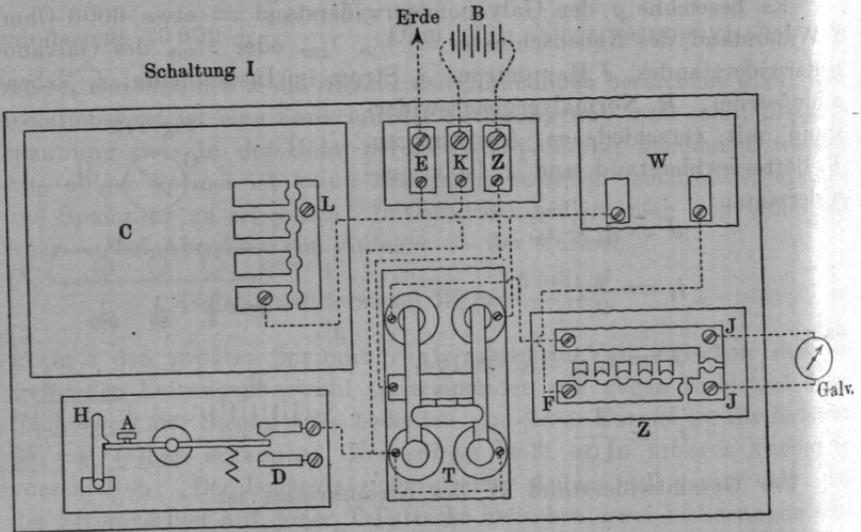
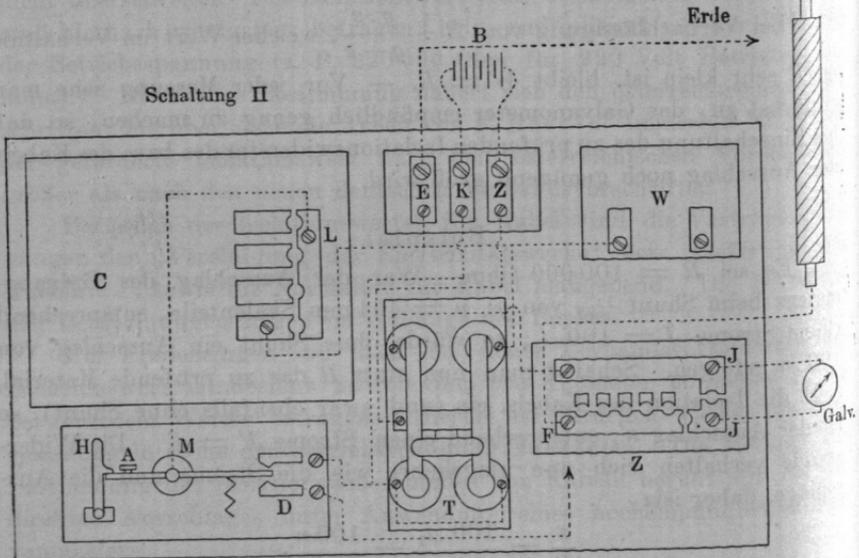


Fig. 145.



(Fig. 144 u. 145) wird von Siemens u. Halske gebaut; er ist hier in der Ausführung skizziert, in der er zugleich zur Messung der Ladungsfähigkeit von Kabeln dient; ich werde später an geeigneter Stelle auf den Apparat zurückkommen, vorderhand interessiert nur derjenige Teil des Apparates, der sich auf die Messung des Isolationswiderstandes bezieht.

Wie aus den beiden Figuren ersichtlich, wird die Batterie an die Klemmen K und Z gelegt und der Punkt E mit der Erde verbunden. Als Meßinstrument dient ein Spiegelgalvanometer nach Deprez-d'Arsonval mit hoher Empfindlichkeit. Es wird an die Klemmen JJ angeschlossen. Das Stöpselloch zwischen JJ dient zur Kurzschließung des Galvanometers während der Stromunterbrechung bzw. Schließung, — um dasselbe gegen zu heftige Ausschläge zu schützen. — W ist der Vergleichswiderstand im Betrage von 100 000 Ohm und wird zur Eichung (Bestimmung der Empfindlichkeit) des Instrumentes benutzt. Mittels des veränderlichen Nebenschlußwiderstandes Z ist man imstande, das Instrument auf verschiedene Empfindlichkeiten einzustellen. Die einstellbaren Widerstände sind $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ und $\frac{1}{9999}$ des Galvanometerwiderstandes. Ein Doppelschlüssel T wird zum Schließen des Stromes benutzt, und zwar hat man es in der Hand, durch Niederdrücken der einen oder anderen Taste dem Strome die eine oder andere Richtung zu geben. Den Elementen sind, um sie vor Kurzschluß zu schützen, Widerstände von je 100 Ohm pro Zelle vorgeschaltet.

Ist z. B. die Empfindlichkeit des Instrumentes, d. h. der Widerstand, der einem Teilstrich auf der Skala entspricht, ohne Benutzung eines Shunts zu bestimmen, und wird eine Batterie von 80 Elementen verwendet, so schließt man den Stromkreis durch den Widerstand $W = 100\,000$ Ohm (Schaltung I) und stöpselt den Nebenschluß $\frac{1}{9999}$. Mit dem Vorschaltwiderstände der Elemente ergibt sich ein Widerstand von 108 000 Ohm. Das Instrument zeige nun einen Ausschlag von 90 Skalenteilen; dann ist die, wie oben definierte, Empfindlichkeit:

$$90 \cdot 10\,000 \cdot 108\,000 = 97\,200 \text{ Megohm.}$$

Zur Isolationsmessung eines Kabels entfernt man die Verbindung des Widerstandes W mit Klemme F und legt diesen Punkt an die Seele des Kabels (Schaltung II). Der Isolationswiderstand wird sodann gefunden, indem man die für die Empfindlichkeit erhaltene Zahl durch die bei der Isolationsmessung erhaltene, auf die Schaltung ohne Shunt reduzierte, Ablenkung dividirt.

Sei z. B. bei der oben ermittelten Empfindlichkeit die Isolationsablenkung 150 Skalenteile beim Nebenschlusse $\frac{1}{9}$ des Galvanometerwiderstandes, so beträgt dieselbe ohne Anwendung eines Shunts $150 \cdot 10 = 1500$, und man erhält als Isolationswiderstand

$$\frac{97\,200}{1500} \text{ Millionen} = 64,8 \text{ Megohm.}$$

Der auf S. 384 beschriebene Apparat von Hartmann u. Braun ist, wie bereits erwähnt, sehr geeignet zur Isolationsmessung. Die innere Schaltung braucht gar nicht verändert zu werden; es ist nur der Umschalter U auf den Knopf 10^5 bzw. E zu stellen, die Batteriespannung zu erhöhen, das zu prüfende Kabel an die Klemme W_x (siehe Schaltungsschema) anzuschließen und Kontakt E zu erden. Steht U

auf E , so werden der Schleifkontakt S_k und die Schaltkurbel der Zusatzwiderstände so lange verschoben, bis das Galvanometer einen entsprechenden, nicht zu kleinen Ausschlag aufweist; sodann wird U auf 10^5 verschoben und wieder reguliert, bis der gleiche Ausschlag wie oben erzielt ist. Der unbekannte Isolationswiderstand ergibt sich zu $x = W_h \cdot \frac{a_x}{a_v}$,

wenn a_x bzw. a_v die Ablesungen der ersten bzw. zweiten Messung bei S_k bedeuten. Die Rechnung wird vereinfacht, wenn man durch eine zweite Einstellung bewirkt, daß a_v eine einfache runde Zahl wird. Bezeichnet J den unverzweigten Gesamtstrom, i den Strom im Galvanometerzweig, a den Schleifdrahtwiderstand vom rechtsseitigen Verzweigungspunkt bis zum Punkt S_k , d den Gesamtschleifdrahtwiderstand mit Zusatzwiderständen, G den Galvanometerwiderstand und e die Meßspannung, so bestehen die Relationen:

$$i = \frac{J \cdot a}{G + d} \quad \text{und} \quad J_{W_h} = \frac{e}{W_h} \quad \text{und} \quad J_x = \frac{e}{x},$$

da im Verhältnis zu den hohen Widerständen W_h und x der kleine veränderliche Widerstand der Stromverzweigung vernachlässigbar ist. Bezeichnen i_{W_h} und i_x bzw. a_{W_h} und a_x die den Gesamtströmen J_{W_h} und J_x entsprechenden Galvanometerströme bzw. Schleifdrahtabschnitte, so bestehen folgende Relationen:

$$\frac{i_{W_h}}{i_x} = \frac{J_{W_h} \cdot a_{W_h}}{J_x \cdot a_x} = \frac{x \cdot a_{W_h}}{W_h \cdot a_x}.$$

Bei Anwendung eines Drehspulgalvanometers mit proportionaler Skala ist $\frac{i_{W_h}}{i_x} = \frac{\alpha_{W_h}}{\alpha_x}$, d. i. gleich dem Verhältnis der Zeigerausschläge, somit

$$x = \frac{W_h \cdot \alpha_x \cdot \alpha_{W_h}}{a_{W_h} \cdot \alpha_x} \quad \text{oder bei } \alpha_{W_h} = \alpha_x \text{ ist } x = W_h \frac{\alpha_x}{a_{W_h}}.$$

Der Apparat besteht aus folgender Einrichtung: Auf einer im Eichenholzkasten eingesetzten Hartgummiplatte befinden sich die Schleifdrahtbrücke mit Zubehörteilen, ein empfindliches Drehspulgalvanometer, die notwendigen Schlüssel für Batterie und Galvanometer mit Umschalter U , die Zusatzwiderstände, fünf Anschlußklemmen und im Kasten- deckel eine Meßbatterie. Anordnung und Schaltung der Zusatzwiderstände und des Schleifdrahtes ergibt sich aus Fig. 141 u. 142, S. 384. Der Schleifdraht befindet sich um eine Hartgummischeibe; auf derselben sind Anschlußklötze für neun Zusatzwiderstände — je gleich dem Schleifdrahtwiderstand — im Kreise angebracht. Hierüber liegt ein drehbares System von zwei Einzel- und neun Doppelfedern, welches auf der unteren Seite einer mit Hartgummiknauf versehenen Hartgummiglocke angebracht ist und die gesamten Zusatzwiderstände dem Schleifdraht auf beiden Seiten in zwei Abteilungen zuschaltet, die sich mit Drehung des Feder-

systems ändern und die Zusatzwiderstände beliebig zu beiden Enden des Schleifdrahtes verteilen. Der Vergleichswiderstand beträgt bei normaler Ausführung 10 oder 100 Ohm, so daß der Meßbereich von etwa 0,01 bis 10 000 oder 0,1 bis 100 000 Ohm besteht. Bei der Brückenmethode ist der Umschalter U auf dem Kontakte W_v und der unbekannte Widerstand ist an den Klemmen W_x bis W_x angebracht. Batterie- und Galvanometerschlüssel ist der Meßbequemlichkeit halber für Momentan- und Dauerkontakt hergestellt. Bei der Isolationsmessung muß Klemme E an Erde und beispielsweise die Seele des Prüfkabels an Klemme K_2 gelegt werden, so daß, wenn U auf E bzw. auf 100 000 Ohm steht, das Prüfkabel bzw. 100 000 Ohm eingeschaltet sind. Bei der Messung kann der Galvanometertaster geschlossen bleiben und die Einstellung des Schleifkontaktes und der Kurbel für die Zusatzwiderstände muß zweimal erfolgen, so daß bei Einschaltung des Vergleichswiderstandes und des Kabels nach Drücken des Batterietasters der gleiche Ausschlag erzielt wird; der unbekannte Widerstand wird sodann nach der oben gegebenen Formel ermittelt. Bei einer 100 Volt-Batterie und bei einem Galvanometerwiderstande von 1000 Ohm geht der Meßbereich bis 10 Megohm.

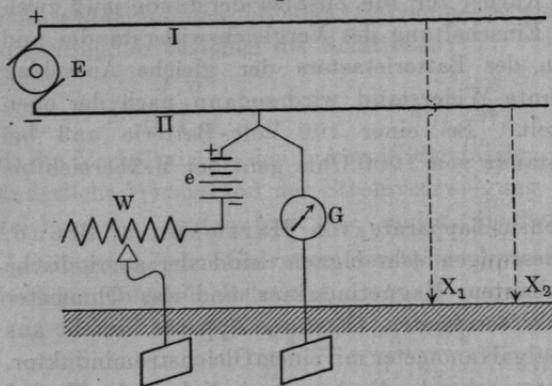
Zwei weitere Isolationsmeßapparate von Hartmann u. Braun, welche sich zu Isolationsmessungen sehr eignen, sind der aperiodische Isolationsprüfer mit eingebautem Magnetinduktor und das Ohmmeter für direkte Ablesung von Widerständen. Ersterer Apparat besteht aus einem aperiodischen Drehspulgalvanometer mit einem Gleichstrominduktor. Der Induktor liefert bei entsprechender Drehgeschwindigkeit der Kurbel eine entsprechende Spannung, d. h. die geforderte Netzspannung, mit welcher die Isolationsmessung erfolgen soll. Das Galvanometer ist für Gleichstrom bestimmt, jedoch kann der Apparat auch für Isolationsmessung von Wechselstromleitungen benutzt werden, wenn die Wechselstromspannung nicht viel höher als die vom Induktor erzeugte elektromotorische Kraft ist. Der Apparat hat den besonderen Vorteil, daß er bei erlangter Normalspannung des Induktors den Zeiger automatisch zur Ablesung des Ausschlages feststellt; mit demselben kann man ferner bei Anbringung einer weiteren Klemme ohne Benutzung des Induktors Isolationsmessungen direkt mit den Gleichstrombetriebsspannungen vornehmen.

Das Ohmmeter ist nach dem Drehspulprinzip durchgebildet, enthält zwei gekreuzte bewegliche Spulen in einem starken Magnetfelde und gibt den unbekanntem Widerstand als Skalenwert direkt in Ohm — unabhängig von der Meßspannung — an. Der Apparat kann z. B. Widerstände von 1000 bis 1 Million Ohm anzeigen bei einer Spannung von 110 Volt; es ist somit der kleinste meßbare Widerstand $\frac{1}{1000}$ des größten. Als Stromquelle für das Ohmmeter dient am besten eine Batterie; bei höheren Meßbereichen verwendet man Magnetinduktoren, die, in kleine Holzkästen eingebaut, sehr leicht zu tragen sind.

Es sei hier noch eine Methode¹⁾ zur Isolationsmessung an im Betriebe befindlichen Gleichstromanlagen angegeben. Sie ist eine Nullmethode, da das verwendete Instrument, ein Galvanometer oder ein empfindlicher Spannungsmesser, bei der Messung auf den Ausschlag Null einspielen, d. h. stromlos sein muß. Das Meßverfahren ist folgendes:

Man legt an die eine Netzhälfte II (s. Fig. 146) den einen Pol einer kleinen Hilfsbatterie derart, daß diese mit dem Generator hintereinandergeschaltet ist; der andere Pol der Batterie ist durch einen regulierbaren Widerstand W mit der Erde verbunden. Das Galvanometer G liegt einerseits an der Hauptleitung II, andererseits an Erde. Mit x_1 und x_2 seien die Isolationswiderstände (Fehlerwiderstände) der beiden Netzhälften I und II, mit E

Fig. 146.



und e die Spannungen des Generators beziehungsweise der Hilfsstromquelle bezeichnet.

Wird der Widerstand W so eingestellt, daß das Instrument G , welches die Potentialdifferenz der Leitung II gegen Erde mißt, stromlos ist, d. h. Leitung II sich auf dem Erdpotential befindet, so ist auch

der Isolationsstrom der Leitung II gleich Null, und der ganze Isolationsstrom I nimmt seinen Weg durch den Widerstand W und die Batterie. Dieser Fehlerstrom habe die Größe i . Alsdann gelten die Beziehungen:

$$E = i \cdot x_1,$$

$$e = i \cdot W,$$

woraus sich ergibt:

$$x_1 = \frac{E}{e} \cdot W.$$

Wird die Hilfsspannung e so gewählt, daß sie z. B. $0,1 E$ beträgt, so drückt sich der Widerstand x_1 in einfacher Weise aus als

$$x_1 = 10 \cdot W.$$

Man kann also dann x_1 direkt an dem regulierbaren Widerstande ablesen.

Um auch den Isolationswiderstand x_2 zu ermitteln, lege man Batterie und Galvanometer an die Netzhälfte I (jedoch unter Vertauschung der Batteriepole) und verfähre analog.

¹⁾ Dr. Th. Brugger, Elektrotechn. Zeitschr. 1902, S 901.

Wie man das beschriebene Verfahren der Isolationsmessung eventuell auch auf Mehrleiteranlagen (jedoch nur solche ohne geerdeten Leiter) anwenden kann, soll hier nicht ausgeführt werden; es möge genügen, auf den schon oben genannten Aufsatz in der Elektrotechnischen Zeitschrift zu verweisen.

Die Temperaturkoeffizienten verschiedener Isoliermassen sind nur mit annähernder Genauigkeit festzustellen, da für jede Sorte von Material ein anderer Koeffizient besteht und derselbe von der Elektrisierungsdauer und der Veränderlichkeit der Isoliermaterialien durch hohe Temperaturdifferenzen abhängig ist.

Die von Fröhlich angegebene Beziehung bei Guttaperchakabeln lautet:

$$c = \frac{r_{15}}{r_t} = 0,87604^{15-t}.$$

Nach dieser Formel hat Fröhlich nachstehende Tabelle aufgestellt, woraus für jede Temperatur t der Wert für c zu entnehmen ist; der

t	c	$\log c$	t	c	$\log c$
25,0	3,7570	0,57 479	12,0	0,6723	9,82 756
24,5	3,5160	0,54 605	11,5	0,6292	9,79 882
24,0	3,2910	0,51 731	11,0	0,5890	9,77 008
23,5	3,0800	0,48 857	10,5	0,5512	9,74 135
23,0	2,8830	0,45 983	10,0	0,5159	9,71 261
22,5	2,6980	0,43 109	9,5	0,4829	9,68 387
22,0	2,5260	0,40 235	9,0	0,4520	9,65 513
21,5	2,3640	0,37 361	8,5	0,4230	9,62 639
21,0	2,2120	0,34 487	8,0	0,3960	9,59 765
20,5	2,0710	0,31 613	7,5	0,3706	9,56 891
20,0	1,9380	0,28 739	7,0	0,3469	9,54 017
19,5	1,8140	0,25 865	6,5	0,3247	9,51 143
19,0	1,6980	0,22 992	6,0	0,3039	9,48 269
18,5	1,5890	0,20 118	5,5	0,2844	9,45 395
18,0	1,4870	0,17 244	5,0	0,2662	9,42 521
17,5	1,3920	0,14 370	4,5	0,2492	9,39 647
17,0	1,3030	0,11 496	4,0	0,2332	9,36 773
16,5	1,2200	0,08 622	3,5	0,2183	9,33 899
16,0	1,1420	0,05 748	3,0	0,2043	9,31 025
15,5	1,0680	0,02 874	2,5	0,1912	9,28 151
15,0	1,0000	0,00 000	2,0	0,1790	9,25 278
14,5	0,9360	9,97 126	1,5	0,1675	9,22 404
14,0	0,8760	9,94 252	1,0	0,1568	9,19 530
13,5	0,8199	9,91 378	0,5	0,1467	9,16 656
13,0	0,7674	9,88 508	0,0	0,1373	9,13 782
12,5	0,7183	9,85 630			

bei der Temperatur t gemessene Guttaperchawiderstand (r_t) ist mit dem Koeffizienten c zu multiplizieren, um den Isolationswert (r_{15}) bei 15°C

zu ermitteln. Die Temperatur t ist gleich $\frac{t_1 + t_2}{2}$, woselbst t_1 die Temperatur der Kupferseele des Kabels (durch Kupferwiderstandsmessung ermittelt) und t_2 die — durch Eingraben von Thermometern in die Tiefe der Kabel ermittelte — Temperatur der äußeren Guttaperchaschichten bedeuten.

Die Isolationsmessungen sollen nicht nur in der Fabrik vor dem Versande der Kabel, sondern auch während der Verlegung an den bereits liegenden Kabelstücken und an den vorhandenen Lötstellen gewissenhaft vollführt werden. Über die letztere Messung siehe Methode von Constable, Uppenborns Kalender für Elektrotechnik.

Die Hauptmessung erfolgt am fertig verlegten Kabelnetze inkl. aller Hausanschlüsse bei Einsetzung sämtlicher Sicherungen in Kabelkasten und Hausanschlußkasten bis zu den Zählern.

Zur Erläuterung gebe ich kurz eine von mir vorgenommene Prüfung eines Kabelnetzes von 36 km einfacher Länge und bei etwa 3000 angeschlossenen Glühlampen. Die Messung erfolgte mit dem allein zur Verfügung stehenden Apparate von Hartmann u. Braun nach dem Prinzip des direkten Ausschlages.

Die Trockenbatterie lieferte maximal nur etwa 50 Volt, und ein Vorversuch zeigte, daß der Apparat für die Messung mit der direkten Betriebsspannung von 220 Volt Gleichstrom bei einem Vergleichswiderstande von 100 000 Ohm nicht geeignet war. Zunächst wurden sämtliche $+$ - und $-$ -Leitungen (der Dreileiteranlage von 2×220 Volt Gleichstrom mit blankem Mittelleiter) untereinander verbunden und an eine Klemme des Galvanometers und der Mittelleiter an die andere Klemme desselben angeschlossen. Bei der Meßspannung = Betriebsspannung = 220 Volt war bei Einschaltung des Kabelnetzes der Ausschlag $n = 45$ Skalenteile, bei der Meßspannung 50 Volt in demselben Falle $n_1 = 10$ Skalenteile, während bei Abschaltung des Kabelnetzes und Einschaltung des Vergleichswiderstandes von 100 000 Ohm der Ausschlag bei 50 Volt Meßspannung $n_2 = 181$ Skalenteile betrug; daraus folgt ein Isolationswiderstand des Netzes pro Kilometer von

$$x = \frac{181}{10} \cdot 100\,000 \cdot 36 = 65,2 \text{ Megohm.}$$

$t = \frac{t_1 + t_2}{2}$ berechnete sich zu 12°C ; daraus $c = 0,87604^3 = 0,67231$.

Demnach ist der Isolationswert des Kabelnetzes bei 15°C pro Kilometer

$$65,2 \cdot 0,672 = 44 \text{ Megohm.}$$

Garantiert waren, entsprechend den Vorschriften, 15 Megohm pro Kilometer bei 15°C .

Zur Kontrolle, ob alle Sicherungen eingesetzt seien, wurden mehrere Monteure damit beauftragt, an sämtlichen Hausinstallationen eine direkte

Verbindung zwischen $+$ - bzw. $-$ und Null-Leiter momentan herzustellen, wobei an Stelle des Apparates in der Zentrale ein gewöhnliches Galvanoskop eingeschaltet war; es mußte bei jeder derartigen Verbindung in der Hausinstallation ein direkter Ausschlag am Galvanoskop erfolgen, was auch eintrat. Vor dem Rundgange der Monteure wurden nach den Plänen die Häuser genau festgelegt, an welchen und zu welcher Zeit die Verbindung hergestellt werden sollte, somit erzielte man eine genaue Kontrolle, ob keine Sicherung fehlte.

4. Kapazitätsmessungen.

Die bei isolierten Leitungen oder Kabelnetzen auftretende Kapazität zu kennen ist bei alternierenden Strömen in vielen Fällen wertvoll. Die Kapazität C ist definiert durch das Verhältnis

$$C = \frac{\text{Elektrizitätsmenge } Q}{\text{Spannung } E}.$$

Die Messungen der Kapazität an Kabeln werden wie die Isolationsmessungen nach der Methode des direkten Ausschlages vorgenommen; hierzu eignet sich der vorhin beschriebene Apparat von Siemens und Halske (s. Fig. 145). Die Schaltung bleibt dieselbe wie vorhin, jedoch ist der Stöpsel zwischen JJ zu entfernen, so daß der Ladungsstrom, bzw. der Entladungsstrom das Galvanometer durchfließen kann. Beim Drücken einer Taste des Doppelschlüssels T erfolgt ein Ausschlag des Instrumentes, der durch geeignete Wahl des Nebenschlusses auf eine passende Größe gebracht werden muß. Als Vergleichsgröße dient ein Kondensator von bekannter Größe der Kapazität. Zu diesem Behufe nimmt man die Verbindung des Kabels mit Klemme F ab, stellt eine Verbindung zwischen F und dem Punkte L des Kondensators her und drückt die Taste von T nieder. Der Ladungsausschlag entspricht dem Werte des Kondensators.

Beim Kabel beobachtet man zweckmäßig den Entladungsausschlag, da der Ladungsausschlag durch einen niedrigen Wert der Isolation beeinflusst werden kann. Man verbindet F mit D nach Schaltung II, legt das Kabel an Klemme M und drückt sodann die Taste des Entladungsschlüssels bei A nieder. Hierbei darf keine Verbindung zwischen M und L sein. Das Kabel ladet sich jetzt. Löst man darauf A durch Zurücklegen des Hebels H , so daß bei D Kontakt eintritt, so erfolgt die Entladung und zwar über M, D, F , das Galvanometer und den Doppelschlüssel T zur Erde. Verbindet man den Punkt M statt mit dem Kabel mit Punkt L des Kondensators, so kann man in ähnlicher Weise die Entladung dieses letzteren messen (s. Schaltung II).

Da die Spannung der Batterie in beiden Fällen gleich ist, so verhalten sich die Kapazitäten wie die Elektrizitätsmengen der Entladungen, d. h. wie die Ausschläge α und α' am Instrument:

$$\frac{C}{C'} = \frac{Q}{Q'} = \frac{\alpha}{\alpha'},$$