

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 19 (1928)
Heft: 24

Artikel: Anwendung der doppelten Thomson-Brücke für Wechselstrom
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060584>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Anzahl der Abonnemente.

Art der Abonnemente	1919	1922	1925	1927
1. Abonnemente nach Zählertarif . .	530 200	682 900	837 000	927 000
2. Abonnemente nach Pauschaltarif . .	268 900	257 800	265 200	257 500
Total	799 100	940 700	1 102 200	1 184 500

Wir haben in der vorstehenden kurzen Darstellung nur einige der Hauptergebnisse aus der neuen Statistik der Elektrizitätswerke herausgegriffen. Wer sich über die Energieproduktion im Gesamten oder über die speziellen Verhältnisse bei den einzelnen Werken eingehender orientieren will, möge in der Statistik, die das verarbeitete Material in einem Folioband von ca. 120 Seiten vereinigt, selbst nachschlagen ¹⁾).

Anwendung der doppelten Thomson-Brücke für Wechselstrom.

Mitteilung des niederländischen Prüfungsdienstes für elektrotechnische Materialien.

621.374.9

Es wird das von Schering und Schmidt angegebene Vibrationsgalvanometer beschrieben, welches die Anwendung der empfindlichen Brücken- oder Nullmethoden bei Messungen mit Wechselstrom technisch üblicher Frequenzen ermöglicht. Die Anwendung dieser Methoden spielt namentlich bei Kabeluntersuchungen eine grosse Rolle. Es werden einige Schaltungen an der doppelten Thomsonbrücke zur Messung von Impedanzen bei grossen und kleinen Phasenwinkeln mitgeteilt, welche es ermöglichen, mehr als einprozentige Messgenauigkeit zu erreichen.

Wir freuen uns über die Gelegenheit, hiemit einen Aufsatz veröffentlichen zu können, den uns der «Niederländische Prüfungsdienst für elektrotechnische Materialien», die Schwesterinstitution der Technischen Prüfanstalten des S. E. V., in verdankenswerter Weise zur Verfügung gestellt hat.
Die Redaktion.

Cet article donne la description du galvanomètre à vibrations de Schering et Schmidt, qui rend possible l'emploi des méthodes sensibles de ponts ou de zéro, lors de mesures avec courant alternatif de fréquence usuelle. L'application de ces méthodes joue un grand rôle, spécialement dans les mesures de câbles. On indique quelques schémas concernant l'emploi du pont double de Thomson, pour mesurer des impédances avec angles de déphasage grands et petits, schémas qui permettent d'atteindre une précision de plus de 1 %.

Nous sommes heureux de pouvoir publier ici un article obligeamment offert par le «Service néerlandais d'essais de matériaux électrotechniques» qui joue aux Pays-Bas le rôle de nos Institutions de Contrôle de l'A. S. E.

La rédaction.

Sowohl in der Physik wie in der Elektrotechnik sind für genaue Messungen die sog. Nullmethoden, wobei die elektrischen Grössen derartig eingestellt werden, dass ein bestimmtes Instrument keinen Ausschlag zeigt, stets mit Recht bevorzugt worden.

Für Gleichstrom haben diese Nullmethoden in der Technik schon frühzeitig Verwendung gefunden, und die bekanntesten Anwendungen dieser Art sind wohl der Kompensator und die Brückenmethoden von Wheatstone und Thomson. Einer der Gründe, aus welchen man in der Technik früher meist nur Gleichstrommessungen nach Nullmethoden ausführte, liegt wohl darin, dass man für Wechselstrom, wenigstens bei den technisch üblichen Frequenzen, nicht über ein einfaches und empfindliches Nullinstrument verfügte, wie man dies für Gleichstrom in Form des Drehspulengalvanometers besitzt. Ferner ist gewiss auch der Umstand von Wichtigkeit gewesen, dass, der Natur der Sache nach, genaue Messungen mit Wechselstrom viel schwieriger auszuführen sind als mit Gleichstrom, schon mit Rücksicht auf die Form der Wechselstromkurve, sowie auf parasitäre Kopplungen induktiver oder kapazitiver Natur.

¹⁾ Diese wird ab Ende Dezember 1928 beim Generalsekretariat des S. E. V. und V. S. E., Seefeldstrasse 301, Zürich 8, zum Preise von Fr. 8.— (für Mitglieder des S. E. V. Fr. 5.—) pro Exemplar bezogen werden können.

Für verhältnismässig hohe Frequenzen wurden die Nullmethoden zuerst in der Schwachstromtechnik in grösserem Masstab verwendet, wobei das Telephon ein verhältnismässig empfindliches Nullinstrument darstellte. Erst in den letzten zehn Jahren ist man dazu übergegangen, auch in der Starkstromtechnik Nullmethoden anzuwenden, was durch die Entwicklung von empfindlichen und doch ziemlich einfachen Wechselstromgalvanometern ermöglicht wurde. Das in der Technik bekannteste Galvanometer dieser Art ist zweifellos das Vibrationsgalvanometer, und zwar in derjenigen Ausführung, wie sie seinerzeit durch Schering und Schmidt angegeben wurde. Bei diesem Galvanometer werden auf elegante Weise die Resonanzerscheinungen verwendet. Ein kleiner Magnet, der an einem gespannten Draht befestigt ist, befindet sich dabei in einem Gleichstromfeld, welches zwischen zwei elektromagnetisch erregten Eisenkernen erzeugt wird. Durch Veränderung des Erregerstromes kann man die Feldstärke regeln und auf diese Weise dem Drehmoment, welches den Magneten in der Richtung des Gleichstromfeldes festzuhalten sucht, einen solchen Wert erteilen, dass die Eigenschwingungszeit des Magneten und des zugehörigen Drahtes mit der Frequenz des zu messenden Wechselstromes übereinstimmt. Dieser Wechselstrom wird nun durch einen Spulensatz geleitet, dessen Feld auf der Richtung des Gleichstromfeldes senkrecht steht; wenn nun die Frequenz des Wechselstromes mit der Eigenschwingungszeit des Magneten übereinstimmt, so wird letzterer in Schwingungen geraten. Auf dem Magneten ist ein kleiner Spiegel angebracht, so dass die Ablesung in der gebräuchlichen Weise mittels einer Lampe und einer Ablese skala stattfinden kann; nur besteht das Lichtbild im allgemeinen nicht aus einem einfachen Streifen, sondern, infolge der schnellen Schwingungen, aus einem ganzen Lichtband, welches erst bei Erreichung des Gleichgewichtszustandes wieder zu einem Streifen zusammenschrumpft.

Was die Empfindlichkeit dieses Galvanometers betrifft, sei bemerkt, dass bei 1 m Skalenabstand das bandförmige Bild, welches durch den Spiegel reflektiert wird, um 1 mm breiter wird, wenn die Stromstärke um etwa 2×10^{-7} A zunimmt. Der innere Widerstand des Instruments beträgt dabei etwa 80 Ohm. Die Empfindlichkeit eines normalen Gleichstrom-Spiegelgalvanometers mit einem inneren Widerstand von etwa 100 Ohm beträgt dagegen bei 1 m Skalenabstand etwa 10^{-8} A pro mm Ausschlag. Obwohl also mit dem Vibrationsgalvanometer schon eine erhebliche Empfindlichkeit erreicht wird, bleibt der Unterschied gegenüber dem Drehspulengalvanometer immerhin noch erheblich.

Eine der ersten Anwendungen des Vibrationsgalvanometers betraf die Eichung von Strom- und Spannungswandlern, wobei man nach einer Kompensatormethode eine möglichst grosse Genauigkeit zu erzielen suchte. Ferner wurde das Instrument auch schon von Anfang an zur Untersuchung von Dielektriken bei sehr hoher Spannung verwendet. Die Technik, und namentlich die Kabeltechnik, bedurfte einer Methode, nach welcher mit grosser Genauigkeit die Phasenverschiebung des Ladestromes infolge der dielektrischen Verluste bestimmt werden konnte. Auch hier war es wieder Prof. Schering, der angab, wie man mit der Wheatstonebrücke unter Verwendung des Vibrationsgalvanometers in einfacher Weise die dielektrischen Verluste bei hoher Spannung messen kann.

Nachdem nun das Vibrationsgalvanometer sich zu einem technischen Laboratoriumsinstrument entwickelt hat, glauben wir, dass man immer mehr dazu übergehen wird, auch bei Wechselstrommessungen Nullmethoden zu verwenden. Was in dieser Hinsicht erreichbar ist, lehrt die Telephonkabeltechnik, wobei für die Prüfung der Hauptkabelverbindung in grossem Masstab in den Fabriken die Ausführung von ausserordentlich genauen Messungen erforderlich ist, welche fast alle nach der einen oder anderen Brückenmethode erfolgen.

Die Wheatstonesche Brücke, die heutzutage vielfach als Scheringbrücke zur Messung von dielektrischen Verlusten bei hoher Spannung gebraucht wird, ist bei Wechselstrom natürlich auch für zahlreiche andere Zwecke verwendbar. Der niederländische Prüfungsdienst hat auch schon Gelegenheit gehabt, mit dieser Brücke

einige andere Messungen zu verrichten, wie z. B. die Bestimmung der Selbstinduktion eines Kabels, die Messung des Wattverbrauches der Spannungsspulen von Elektrizitätszählern und dergl.

Wenn der zu ermittelnde Widerstand klein ist, so verwendet man bei Gleichstrom stets die doppelte Brücke von Thomson, wobei bekanntlich der Widerstand der Verbindungsleitungen zwischen dem untersuchten Gegenstand und dem Verbrauchswiderstand in geschickter Weise eliminiert wird.

Als wir uns nun vor die Aufgabe gestellt sahen, verhältnismässig kleine Wechselstromwiderstände zu messen, lag es auf der Hand, auch hierfür die doppelte Thomson-Brücke zu gebrauchen und dieselbe dem Wechselstrom anzupassen. Eine

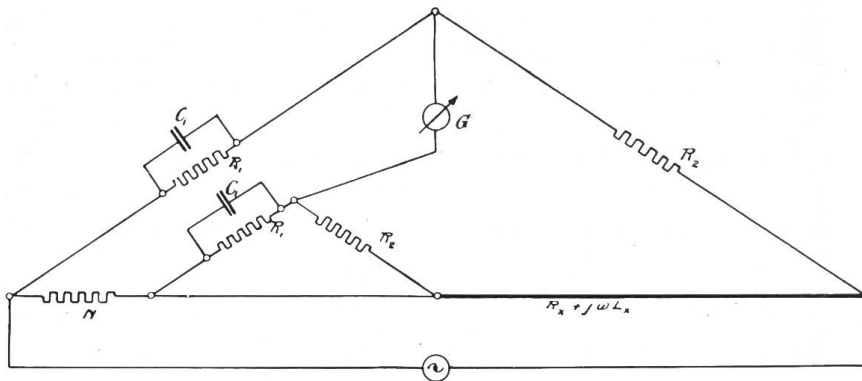


Fig. 1.

Doppelte Thomsonbrücke für Wechselstrom zur Messung von Impedanzen mit kleinen Phasenwinkeln.

solche Verwendung dieser Brücke erfolgte zum ersten Mal für Untersuchungen an Drehstromkabeln und zwar in der Schaltung der Fig. 1.

Während bei Gleichstrommessungen zur Einstellung des Gleichgewichtszustandes nur die Widerstände R_2 geregelt werden müssen, ist bei Wechselstrom noch eine zweite Einstellung nötig, da

dann auch die andere (induktive oder kapazitive) Komponente der Impedanz eine Rolle spielt. In der Schaltung nach Fig. 1, welche, soweit uns bekannt ist, zuerst von Schering verwendet wurde, um die Phasenwinkel von Normalwiderständen zu messen, ist der Galvanometerzweig stromlos, wenn die Beziehungen bestehen:

$$R_x = \frac{N R_2}{R_1} \quad (1)$$

$$\frac{\omega L_x}{R_x} = R_1 \omega C_1 \quad (2)$$

Ein Vorteil dieser Schaltung besteht darin, dass die Einstellungen des Widerstandes und der Kapazität einander nicht beeinflussen, so dass man stets beim gleichen Wert des Widerstandes den kleinsten Galvanometerausschlag finden wird, unabhängig von der Einstellung der Kapazität, und umgekehrt. Als Vergleichswiderstand N verwendet man bei grossen Stromstärken am besten einen mit Wasser gekühlten Normalwiderstand, wie dieselben unter anderen durch die Firmen Hartmann & Braun, sowie Felten & Guilleaume hergestellt werden. Dieser Widerstand muss hinreichend induktionsfrei sein, da man sonst erhebliche Fehler begehen könnte. Bezeichnet man seinen Ohmschen Widerstand mit N und seine Selbstinduktion mit L_N , dann lauten die Beziehungen für die Stromlosigkeit des Galvanometerzweiges:

$$R_x = \frac{N R_2}{R_1} \left(1 - \frac{\omega L_N}{N} R_1 \omega C_1 \right) \quad (3)$$

$$\omega L_x = N R_2 \omega C_1 \left(1 + \frac{\omega L_N}{N} \cdot \frac{1}{R_1 \omega C_1} \right) \quad (4)$$

Aus diesen Gleichungen ergibt sich, dass der prozentuale Fehler bei Ermittlung von R_x und L_x proportional mit dem Verhältnis $\frac{L_N}{N}$ zunimmt. Der Fehler bei Bestimmung von R_x ist ferner auch mit $R_1 \omega C_1$ proportional, also mit der Tangente

des Phasenwinkels derjenigen Impedanz, die durch den Widerstand R_1 und die Kapazität C_1 dargestellt wird. Je grösser das Verhältnis $\frac{\omega L_x}{R_x}$ ist, um so grösser wird der Fehler bei der Energiemessung (Bestimmung von R_1), falls der Normalwiderstand N nicht induktionsfrei ist.

Natürlich müssen die Widerstände R_1 und R_2 ebenfalls kapazitäts- und induktionsfrei sein, aber die Erfüllung dieser Bedingung bietet im allgemeinen keine besonderen Schwierigkeiten.

Die Brückenschaltung nach Fig. 1 ist brauchbar, so lange die Selbstinduktion L_x im Vergleich zu R_x verhältnismässig klein ist. Aus Gleichung 2 ergibt sich, dass man z. B. mit einer grössten Kapazität von 2 Mikrofaraad und einem Höchstwiderstand von 1000 Ohm Messungen an Objekten vornehmen kann, bei welchem die Tangente des Phasenwinkels $\frac{\omega L_x}{R_x}$ bei 50 Per/sec nicht grösser als 0,63 ist.

Für Messungen an kleinen Impedanzen mit verhältnismässig grossem Phasenwinkel muss die Brücke etwas umgestaltet werden. Diese Notwendigkeit ergab sich für uns zum ersten Mal im Sommer 1926 bei einer in der Kabelfabrik von Felten & Guillaume in Köln ausgeführten Untersuchung nach den zusätzlichen Verlusten, die in einem Stromkreis aus drei armierten Einphasenkabeln auftreten.

Bei dieser Untersuchung wurde ein solcher Stromkreis mit Drehstrom belastet, und hierauf wurde in jeder der drei Phasen mit Hilfe der Brücke der Widerstand ermittelt. Hierbei bestimmte man den Quotienten derjenigen Komponente des Spannungsverlustes, die mit dem Strom in Phase war, durch diesen Strom selbst. Aus den auf diese Weise gefundenen Ergebnissen können die Verluste in diesem Stromkreis ermittelt werden. Da in dem betreffenden Falle der Phasenwinkel etwa 45° bis 52°

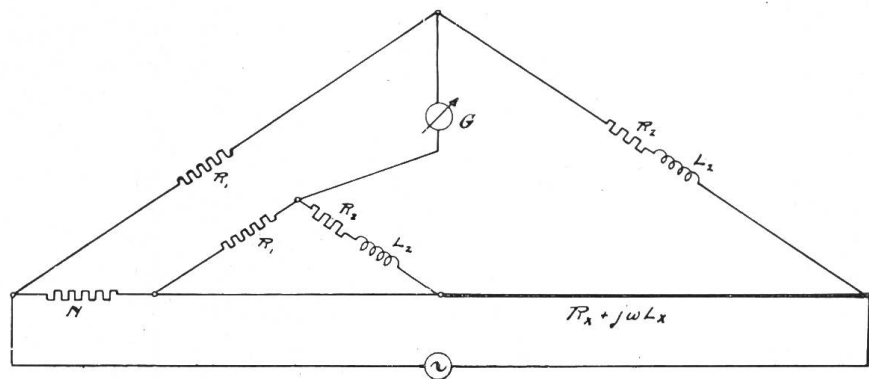


Fig. 2.
Doppelte Thomsonbrücke für Wechselstrom zur Messung von Impedanzen mit grossen Phasenwinkeln.

betrug, war es nicht gut möglich, die Schaltung mit Kondensatoren zu verwenden, sodass nach Rücksprache mit der Firma Felten & Guillaume die Schaltung nach Fig. 2 eingeführt wurde.

Wie aus dieser Figur ersichtlich ist, erfolgt die Kompensierung der Phasenverschiebung im Kabel nunmehr mit Hilfe der Selbstinduktionen L_2 , die mit den Widerständen R_2 in Reihe geschaltet sind. Bei stromlosem Galvanometer gelten dann die folgenden Beziehungen:

$$R_x = \frac{N R_2}{R_1} \tag{5}$$

$$\frac{\omega L_x}{R_x} = \frac{\omega L_2}{R_2} \tag{6}$$

Aus Gleichung 6 ergibt sich, dass es nunmehr möglich ist, auch an Objekten mit recht grossen Phasenwinkeln Messungen auszuführen. Wählt man für L_2 Selbstinduktionsspulen von 0,25 Henry, die in normaler Ausführung einen Kupferwiderstand von 20 Ohm besitzen, dann kann man also bei einer Frequenz von 50 Per/sec einen Phasenwinkel erreichen, dessen Tangente ungefähr gleich 4 ist; dies ist also

ein Winkel von etwa 76° . Weiter kann man in dieser Richtung nicht gehen, weil der Ohmsche Widerstand der Selbstinduktionsspulen es nicht zulässt. Die Einstellung der Brücke geschieht durch Regelung der Widerstände R_1 und R_2 , während L_2 konstant bleibt.

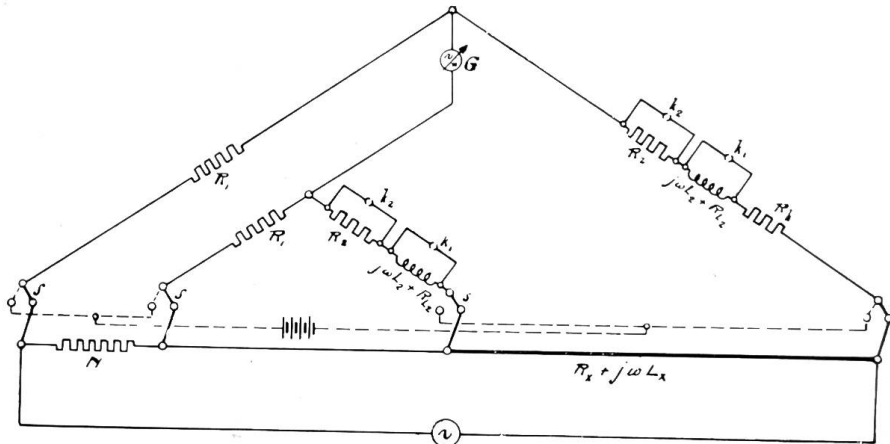


Fig. 3.

Doppelte Thomsonbrücke für Wechselstrom in der Ausführung der Felten & Guillaume Carlswerk A.-G.

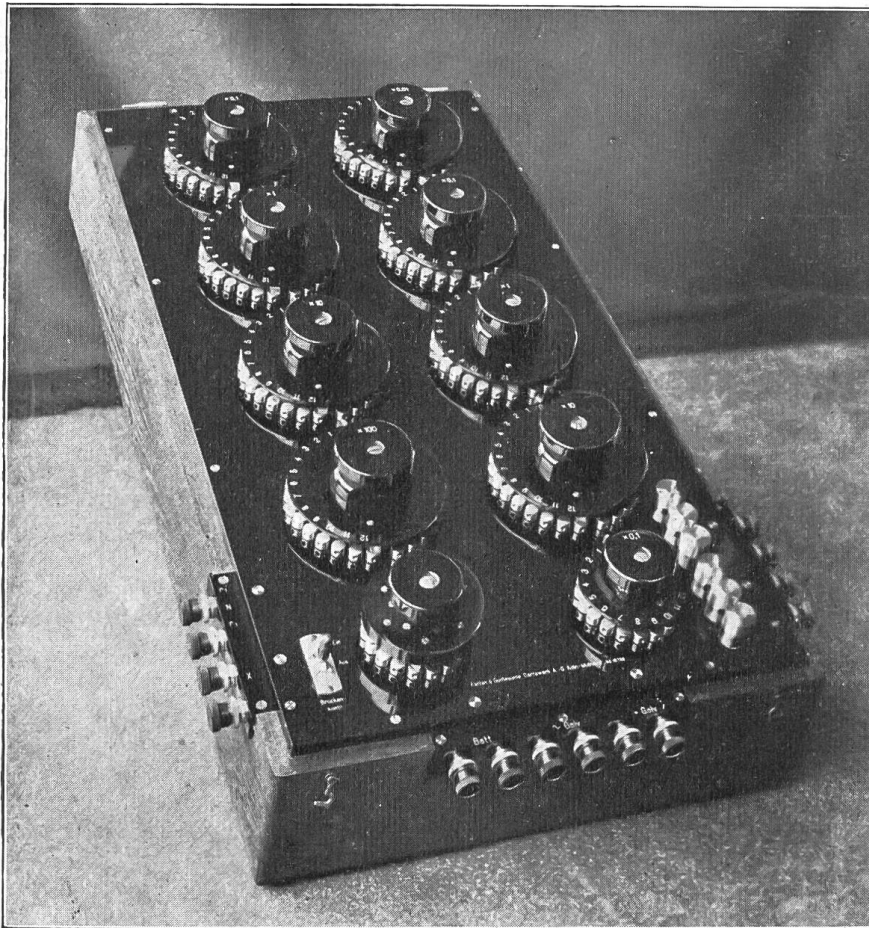


Fig. 4.

Ansicht der doppelten Thomsonbrücke für Wechselstrom in der Ausführung der Felten & Guillaume Carlswerk A.-G.

Die genaue Einstellung ist hier nicht so leicht wie beim Schema nach Fig. 1, und zwar weil diesmal die beiden Einstellungen einander wohl beeinflussen. Man muss also abwechselnd R_1 und R_2 regeln, um die richtige Einstellung zu finden, was jedoch bei einiger Uebung keinerlei Schwierigkeiten verursacht.

Auf Grund der erzielten Erfolge bei Anwendung der Brückenmethode auf die Verlustmessungen in Einphasenkabeln beschloss die Firma Felten & Guillaume, eine doppelte Thomsonbrücke für Wechselstrommessungen zu bauen, deren Schaltbild in Fig. 3 dargestellt ist, während Fig. 4 eine Ansicht dieser Brücke gibt.

Die Widerstände R_1 bestehen aus vier Sätzen von je zwölf Widerständen und können, unter Verwendung von doppelten Gleitkontakten, in Stufen von je 0,01 Ohm zwischen 0,01 und 133,32 Ohm eingestellt werden. Diese Widerstände befinden

sich im linken Teil des in Fig. 4 dargestellten Kastens. Im rechten Teil desselben sind die Widerstände R_2 angebracht, welche in Stufen von je 0,1 Ohm geregelt werden können und zwar von 0,1 bis 1333,2 Ohm. Die Selbstinduktions-

spulen müssen gesondert angeschlossen werden und können auf Wunsch durch die in Fig. 3 angegebenen Stöpsel k_1 überbrückt werden. Ferner ist die Brücke so eingerichtet, dass man durch eine einfache Umschaltung das Wechselstromgalvanometer im Diagonalzweig durch ein Gleichstromgalvanometer ersetzen kann, was für vergleichende Messungen von Wechselstrom- und Gleichstromverlusten in einem bestimmten Stromkreis sehr zweckmässig ist. Bei genauen Messungen spielt nämlich die Leitertemperatur des zu untersuchenden Objektes häufig eine wichtige Rolle, so dass es erwünscht ist, die Messungen rasch aufeinander folgen zu lassen.

Wenn der Widerstand R_1 klein ist, so wird der Widerstand R_{L_2} der Selbstinduktionsspule, sowie der Widerstand der Zuleitungen nach dieser Spule, eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen; dann ist es also nötig, den Ohmschen Widerstand der Selbstinduktionsspulen und Zuleitungen stets rasch messen zu können. Zu diesem Zweck ist noch ein Umschalter S in die Brücke aufgenommen worden; dreht man denselben in die in Fig. 3 gestrichelte Stellung, so kann man, unter Verwendung einer kleinen Batterie, den Ohmschen Widerstand der Selbstinduktionsspulen nebst Zuleitungen bestimmen.

Ausserdem wurde noch ein gesonderter Widerstand R_L in die Brücke aufgenommen, um einen etwaigen Unterschied der Ohmschen Widerstände der Selbstinduktionsspulen zu kompensieren. Die Grössenverhältnisse zwischen den Widerständen der Brücke sind so gewählt worden, dass dieselben für die meisten vorkommenden Fälle geeignet sind; doch ist es natürlich auch ohne weiteres möglich, zusätzliche Widerstände in Reihe mit R_1 oder R_2 einzuschalten und hierdurch den Verwendungsbereich der Brücke noch zu erweitern.

Die Erfahrungen, welche bisher mit der Brücke für Wechselstrommessungen erzielt wurden, haben gezeigt, dass, wie es übrigens zu erwarten war, zur Bestimmung von Verlusten die Brückenmethode stets gegenüber Ausschlagmethoden (z. B. mit dem Wattmeter) oder thermischen Methoden den Vorzug verdient; sie ermöglicht es mit Leichtigkeit, eine mehr als einprozentige Genauigkeit zu erreichen.

Die Brücke ist für alle Untersuchungen an verhältnismässig kleinen Impedanzen besonders geeignet, so z. B. zur Bestimmung der Verluste in kurzen Stücken von Drehstrom- oder Einphasenkabeln, für Messungen über Hautwirkung (Skin-Effekt) und die Verluste in Stromspulen u. dergl.

Leistungsbeanspruchung durch Kochherde, Heisswasserapparate und Heizöfen mit oder ohne Speicher.

Erwiderungen zum Aufsatz O. Hasler im Bull. S. E. V. 1928, No. 22, S. 736.

643.36: 621.311 (004)

Nachdem wir zu diesem Thema im Bulletin S. E. V. 1928, No. 22, eine Aeusserung des Hrn. Ing. O. Hasler, Zürich, veröffentlicht haben, in welcher wir in einer einleitenden redaktionellen Bemerkung darauf hinwiesen, dass es unserer Ansicht nach unrichtig wäre, die Schlussfolgerungen des Hrn. Hasler zu verallgemeinern, veröffentlichen wir im nachstehenden Aeusserungen der HH. Prof. Dr. Wyssling-Wädenswil und Ing. Seehaus-Mitlödi, die an Hand weiterer Ausführungen beide zu einem Schlusse kommen, der z. T. demjenigen des Hrn. Hasler gegenübersteht.

Wir möchten damit die Diskussion über das Thema «pro und contra» elektrischen Speicherkochherd für so lange schliessen, bis der Speicherkochherd auf dem Markte erschienen sein wird und zuverlässigere Unterlagen für die Beurteilung seiner Vorteile zur Verfügung stehen werden, als dies heute der Fall ist.

Die Redaktion.

A propos de la communication parue dans le Bulletin A. S. E. 1928, No. 22, où M. Hasler parle de l'influence des fourneaux potagers et des chauffe-eau sur la charge des centrales d'électricité, nous avons fait remarquer qu'il nous semble prématuré de généraliser les conclusions de l'auteur. Nous publions ci-après l'opinion de M. le prof. Dr. Wyssling-Wädenswil et de M. Seehaus, ing., à Mitlödi, sur le même sujet; ces deux auteurs arrivent, en se basant sur de nouvelles considérations, à une conclusion en partie opposée à celle de M. Hasler.

Nous aimerions clore ainsi, pour le moment, la discussion pour ou contre la vulgarisation du fourneau-potager à accumulation, jusqu'à ce que ce dernier soit entré sur le marché et qu'un jugement impartial puisse s'établir sur des données plus précises que celles dont nous disposons à l'heure actuelle.

La rédaction.