

Elektrotechnische Rundschau

— Polytechnische Rundschau —
Zeitschrift für die Gesamt-Interessen der elektrischen Industrie.

Verlag von:

G. L. DAUBE & Co., Frankfurt a. M.

Expedition: Frankfurt a. M., Kaiserstrasse 10.

Fernsprechstelle No. 596.

Redaktion: Fr. Liebetanz, Düsseldorf, Herderstr. 10.

Erscheint am 1. und 15. jeden Monats.

Inserate

nehmen ausser der Expedition in Frankfurt a. M. sämtliche Annoncen-Expeditionen und Buchhandlungen entgegen.

Insertions-Preis:

pro 4-gespaltene Petitzeile 30 \mathfrak{M} .
Berechnung für $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{8}$ Seite nach Spezialtarif.

Abonnements

werden von allen Buchhandlungen und Postanstalten zum Preise von Mk. 4.— halbjährl., Mk. 8.— ganzjährl., angenommen.

XXI. Jahrgang.

Frankfurt a. M., den 15. Mai 1904.

Heft 16

Alle für die Redaktion bestimmten Zuschriften werden erbeten unter der Adresse: Redaktion der „Elektrotechnischen Rundschau“, Düsseldorf, Herderstr. 10. Beiträge für den elektrotechnischen und polytechnischen Teil sind willkommen und werden gut honoriert.

Messeinrichtung zur Bestimmung der Induktionskonstanten und des Energieverlustes von Wechselstromapparaten.

Von Dr. F. Dolezalek in Berlin.

Die zunehmende Verwendung von Wechselströmen höherer Frequenz zur Kraftübertragung, zu telegraphischen Zwecken u. dgl., hat das Bedürfnis nach einem handlichen Meßapparat erzeugt, welcher die für den Verlauf von Wechselströmen maßgebenden Konstanten, d. h. die Konstanten der Selbstinduktion, gegenseitigen Induktion, Kapazität, sowie den Energieverlust durch Wirbelströme und Hysteresis möglichst genau zu messen erlaubt.

Da diese Größen im allgemeinen von der Periodenzahl des Wechselstromes abhängig sind, so müssen die Messungen, um richtige Resultate zu geben, mit dem betreffenden Wechselstrom selbst ausgeführt werden. Die meist immer noch gebräuchlichen Methoden mittels des ballistischen Galvanometers geben nur in seltenen Fällen die für den Verlauf von Wechselströmen maßgebenden Größen; die letzteren weichen oft um 100 pCt. und mehr davon ab.

Diese Lücke auszufüllen, ist der Zweck der nachstehenden Apparate, welche jetzt neben den bisher üblichen von der Siemens u. Halske Aktiengesellschaft in Berlin hergestellt werden. Die theoretische Grundlage der neuen Apparate bilden die klassischen Untersuchungen über die Wheatstonesche Brücke mit Wechselströmen von Maxwell, F. Kohlrausch, Oberbeck, Rayleigh, sowie besonders die zahlreichen wertvollen Arbeiten von M. Wien.¹⁾

Das Prinzip der Messungsmethode ist folgendes. Durch einen Wechselapparat fließe ein Wechselstrom von der Periodenzahl n . Die effektive Klemmenspannung an dem Apparat betrage K . Besitzt die Spule keine Selbstinduktion oder Kapazität, so gilt für die effektive Stromstärke J das Ohmsche Gesetz

$$J = \frac{K}{R} \quad \dots \quad 1)$$

wenn R den Widerstand der Spule bedeutet. Besitzt die Spule außer Widerstand auch Selbstinduktion L , so addiert sich zu dem Ohmschen Widerstand der induktive Widerstand der Selbstinduktion und für die effektive Stromstärke gilt dann die Gleichung

$$J = \frac{K}{\sqrt{R^2 + (2\pi n L)^2}} \quad \dots \quad 2)$$

Der Energieverlust durch Stromwärme ist jedoch in beiden Fällen der gleiche und beträgt in der Zeit t

$$J^2 R t \text{ Watt-Sek.}$$

Dieses gilt jedoch nur, solange sich in der Spule kein Eisenkern befindet und dieselbe nicht auf Metallmassen oder eine andere Spule induzierend einwirkt. Enthält die Spule Eisen oder gibt sie durch Induktion nach außen Energie ab, so bewirkt der induzierte Strom (Wirbelstrom) eine Verschiebung der Phase des Magnetfeldes gegen den Erregerstrom und verkleinert dadurch die Selbstinduktion L auf einen geringeren Betrag L' .

Außerdem entsteht in der sekundären Strombahn ein gewisser Betrag an Stromwärme, welche natürlich auch von dem primären Strom geliefert werden muß, sodaß der Energie verzehrende Widerstand R der Spule vergrößert erscheint. Aus Widerstand und Selbstinduktion der sekundären Strombahn, ihrem Induktionskoeffizienten gegen den primären Kreis und aus der Periodenzahl des Wechselstromes läßt sich die Rückwirkung auf den primären Stromkreis berechnen. Maxwell, der diese Berechnung zuerst ausführte, fand, daß sich auch in diesem Fall die Stromgleichung in der Form darstellen läßt

$$J = \frac{K}{\sqrt{R'^2 + (2\pi n L')^2}} \quad \dots \quad 3)$$

¹⁾ Ganz besonders sei auf die beiden grundlegenden Arbeiten von M. Wien: „Messung der Induktionskonstanten“, Wied. Ann. 44. S. 689, 1891 und „Magnetisierung durch Wechselstrom“, Wied. Ann. 66. S. 870, 1898 verwiesen.

worin L' die durch den Induktionsstrom (Wirbelstrom) modifizierte (verkleinerte) Selbstinduktion und R' den modifizierten (vergrößerten) Widerstand der Spule darstellt. Während in der wirbelstromfreien Spule der Energieverlust

$$J^2 R t \text{ Watt-Sek.} \quad \dots \quad 4)$$

betrag, ist er in der Spule mit sekundären Strömen auf den Betrag $J^2 R' t$ gestiegen; der durch den Wirbelstrom verursachte Energieverlust beträgt daher

$$J^2 (R' - R) t \text{ Watt-Sek.} \quad \dots \quad 5)$$

Ebenso wie ein Wirbelstrom bewirken auch die übrigen Verlustquellen in Wechselstromapparaten, wie Hysteresis magnetischer oder dielektrischer Materialien oder das bei stärkeren Leitern stattfindende Auseinanderdrängen der Stromlinien, eine Erhöhung des effektiven Widerstandes, sodaß der gesamte durch Wirbelstrom, Hysteresis u. s. w. bewirkte Energieverlust des Wechselstromes durch den Unterschied zwischen dem Wechselstromwiderstand R' und dem Gleichstromwiderstand R gemessen werden kann. Natürlich ist dieser Verlustwiderstand $R' - R$ eine Funktion der Periodenzahl und zwar steigt er mit letzterer rasch an. Falls ein merklicher Betrag an Hysteresisverlusten vorhanden ist, so ist $R' - R$ auch eine Funktion der Stärke des Meßstromes.

Die Bestimmung von L' , R' und $R' - R$ in der Wechselstrombrücke gestaltet sich folgendermaßen. In Figur 1 bedente AB einen Meßdraht mit Schleifkontakt aus Manganin, wie er auch zu Gleichstrommessungen verwandt wird. In dem Brückenarm AC befindet sich der Apparat, dessen Selbstinduktion L_x und dessen Verlustwiderstand $R_x - R_x$ zu bestimmen sei. Außerdem befindet sich in diesem Arm ein gewöhnlicher induktionsfreier Widerstandskasten w . Der Brückenarm BC enthalte eine von den genannten Verlusten freie Spule mit bekannter

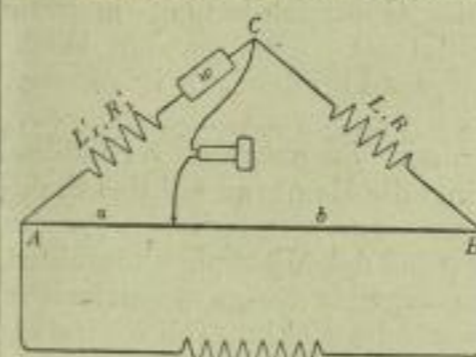


Fig. 1.

Selbstinduktion L und dem Widerstande R . In die Verzweigungspunkte A und B werde ein sinusförmiger Wechselstrom von bekannter Periode gesandt; als Nullinstrument diene ein gewöhnliches Telephon. Der Brückenstrom verschwindet und das Telephon schweigt, wenn sowohl die Widerstände wie die Selbstinduktion der beiden Brückenarme sich verhalten wie die Abschnitte a und b des Meßdrahtes. Diese Einstellung geschieht in bekannter Weise dadurch, daß man durch abwechselndes Verstellen des Schleifkontaktes und Stöpseln im Widerstandskasten das Minimum scharf macht. Enthält der zu messende Apparat keine Energieverluste außer den durch den Widerstand der Wicklung bedingten, so gelten bei der Nullstellung der Brücke die Gleichungen

$$\frac{R_x + w}{R} = \frac{a}{b} \quad \frac{L_x}{L} = \frac{a}{b}$$

Die erste Gleichung ist identisch mit der Nullbedingung für die Gleichstrombrücke. Sind in dem Wechselstromapparat Wirbelstrom- oder Hysteresisverluste vorhanden, so gelten bei Nullstellung der Brücke die Beziehungen

$$\frac{R'_x + w}{R} = \frac{a}{b} \quad \dots \quad 6)$$

$$\frac{L'_x}{L} = \frac{a}{b} \quad \dots \quad 7)$$

Das Widerstandsverhältnis

$$(R'_x + w) | R$$

ist jetzt nicht mehr identisch mit der Gleichstrombedingung. Schickt man daher nach der Wechselstrom-einstellung des Minimums einen Gleichstrom in die Brücke und ersetzt das Telephon durch ein Galvanoskop, so zeigt das letztere einen Strom in der Brücke an. Durch Ziehen im Widerstandskasten w kann man den Gleichstrom auch zum Verschwinden bringen. Dieser zuletzt gezogene Widerstand