

**6. Ueber die Bestimmung
von Inductionscoefficienten mit dem Telephon;
von Adolf Heydweiller.**

Die gegenseitige und Selbstinduction von Drahtrollen lässt sich zurückführen auf die Induction von Normalrollen, auf eine Capacität und Widerstände oder auf einen Widerstand und eine Zeit. Die letztere Bestimmung ist im allgemeinen umständlicher und schwieriger, als die beiden ersten auf Vergleichen beruhenden. Die Vergleichung einer Selbstinduction mit der Induction von Normalrollen ist kürzlich von Hrn. Grätz ¹⁾ besprochen worden; in Fällen, wo eine nicht zu kleine, gut bestimmte Capacität zur Verfügung steht, wird man, namentlich für kleinere Inductionen, von der zweiten Bestimmungsweise mit Vortheil Gebrauch machen können. Methoden hierzu sind von Maxwell ²⁾, Roiti ³⁾, G. C. Foster ⁴⁾ unter Verwendung des Galvanometers als Messinstrument angegeben worden. Hr. Max Wien ⁵⁾ ersetzt das Galvanometer durch sein optisches Telephon; beide Instrumente setzen eine feste Aufstellung, und das letztere auch eine nicht ganz leicht auszuführende gute Justirung voraus. An Einfachheit der Handhabung ist ihnen das von Hrn. F. Kohlrausch ⁶⁾ mit so grossem Erfolge in die Messtechnik eingeführte gewöhnliche Telephon überlegen. Es hat bekanntlich keine Schwierigkeit, die Maxwell'sche Methode zur Bestimmung der Selbstinduction durch Capacität und Widerstände in der Wheatstone'schen Brücke mit Wechselströmen und Telephon aus-

1) Grätz, Wied. Ann. **50**. p. 766. 1893.

2) Maxwell, Electr. und Magn., deutsch von Weinstein. **2**. p. 528. 1883.

3) Roiti, N. Cim. (3) **16**. p. 165. 1884.

4) G. C. Foster, Phil. Mag. (5) **23**. p. 121. 1887; vgl. Heydweiller, Hilfsbuch f. d. Ausführung electrischer Messungen. 1892. p. 196 ff.

5) M. Wien, Wied. Ann. **41**. p. 689. 1891.

6) F. Kohlrausch, Wied. Ann. **11**. p. 653. 1880.

zuführen, sofern man nur hinreichend inductions- und capacitätsfreie Widerstände benutzt und gegenseitige Induction der einzelnen Brücken Zweige vermeidet. Dagegen hat Hr. Foster's Versuch bei seiner Methode zur Bestimmung gegenseitiger Induction das Telephon zu verwenden, zu keinem befriedigenden Ergebniss geführt. Die Ursache dieses Misserfolges und die zu einem besseren Ergebniss erforderliche Abänderung der Methode sollen im Folgenden dargelegt, und gleichzeitig die Brauchbarkeit des Telephons zu derartigen Messungen, sowie die damit erreichbare Genauigkeit durch einige sich gegenseitig controllirende Bestimmungen geprüft werden.

Wir gehen aus von der im Schema (Fig. 1) angedeuteten Wheatstone'schen Brückenordnung. Von den beiden Rollen,

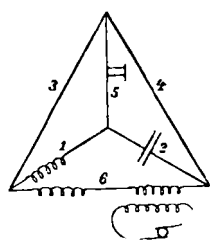


Fig. 1.

in den Hauptzweig 6 mit der periodischen Stromquelle (Inductorium) eingeschaltet, die andere, von grösserer Selbstinduction p_1 in den Seitenzweig 1; Zweig 2 enthalte die Capacität c_2 und den inductionsfreien Widerstand w_2 ; ebensolche, w_3 und w_4 , die Zweige 3 und 4, Zweig 5 das Telephon.

Dann ist die Bedingung für das Gleichgewicht der Brücke (Stromlosigkeit des Brückenzeuges 5) nach Lord Rayleigh¹⁾

$$w'_1 w'_4 = w'_2 w'_3,$$

wenn $w'_1 w'_2 \dots$ die Widerstandsoperatoren (Verhältniss zwischen Spannungsunterschied der Enden und Stromstärke) in den Zweigen 1, 2 ... bedeuten.

Nun ist

$$w'_2 = w_2 - \frac{i}{\omega c_2}, \quad w'_3 = w_3, \quad w'_4 = w_4,$$

sowie

$$w'_1 = w_1 + i\omega \left(p_1 - \frac{p_{16}}{a_1} \right),$$

wenn ω die mit 2π multiplicirte Frequenz des Wechselstromes, a_1 das Verhältniss der Stromamplituden in den Zweigen 1 und 6, und die Stromstärke in 6 gleich $e^{i\omega t}$ ist.²⁾

1) Rayleigh, Proc. R. Soc. Lond. 49. p. 203. 1891.

2) Vgl. M. Wien, Wied. Ann. 44. p. 698. 1891.

Ferner ist

$$\frac{1}{a_1} = \frac{w'_2 + w'_4}{w'_4} = 1 + \frac{w_2}{w_4} - \frac{i}{\omega c_2 w_4},$$

also

$$w'_1 = w_1 - \frac{p_{16}}{c_2 w_4} + i \omega \left(p_1 - p_{16} \cdot \frac{w_2 + w_4}{w_4} \right).$$

Es ist hierbei angenommen, dass die Wirkungen von Selbstinduction und gegenseitiger Induction im Zweige 1 entgegengesetzt gerichtet sind, was durch geeignete Schaltung der Rollen leicht zu erreichen ist.

Die Bedingung für die Stromlosigkeit im Zweige 5 wird daher:

$$w_1 w_4 - \frac{p_{16}}{c_2} + i \omega (w_4 p_1 - (w_2 + w_4) p_{16}) = w_2 w_3 - \frac{i w_3}{\omega c_2}$$

und zerfällt in die beiden:

$$w_1 w_4 - w_2 w_3 = \frac{p_{16}}{c_2}$$

und

$$p_1 = p_{16} \frac{w_2 + w_4}{w_4} - \frac{w_3}{w_4} \frac{1}{\omega^2 c_2}.$$

Das Gleichgewicht der Brücke ist also im allgemeinen von der Frequenz des Wechselstromes abhängig, und daher ist bei Anwendung von Inductorium und Telephon ein völliges Verstummen des letzteren nicht zu erreichen.

Wohl aber tritt dasselbe ein in dem besonderen Falle $w_3 = 0$, für welchen

$$p_{16} = w_1 w_4 c_2$$

und

$$p_1 = p_{16} \frac{w_2 + w_4}{w_4} = w_1 (w_2 + w_4) c_2$$

wird.

Man bestimmt also gleichzeitig die gegenseitige Induction der beiden Rollen und die Selbstinduction der einen, die letztere allerdings, wie wir sehen werden, mit geringerer Genauigkeit.

Man hat jetzt die Foster'sche Anordnung mit dem allerdings wesentlichen Unterschied, dass der Capacität c_2 noch der Widerstand w_2 zugeschaltet ist. Das Fehlen desselben hat wahrscheinlich Foster's Misserfolg bei Anwendung des Telephons bedingt, da für $w_2 = 0$ die zweite Bedingung für die Stromlosigkeit im Telephonzweig nicht erfüllt ist.

Bei der Ausführung der Methode empfiehlt es sich (ist aber nicht nothwendig) von der Wheatstone'schen Brücke auszugehen und erst bei der Abgleichung den Widerstand w_3 allmählich gleich Null zu machen. Fig. 2 gibt die Anordnung; J ist das Inductorium, T das Telephon, b_1 und b_2 sind zwei Brückendrähte mit Schleifkontakten s_1 und s_2 , I und VI die Inductionsspulen, in die Zweige 1, 2 und 4 sind inductionsfreie Rheostatenwiderstände eingeschaltet. Man gleicht zunächst die letzteren annähernd auf das Stromminimum im Telephonzweig ab, das man durch abwechselndes Verschieben der Schleifcontacte s_1 und s_2 und genaueres Abgleichen von w_2 und w_4 verfeinert, wobei der Schleifcontact s_2 immer mehr nach dem rechten Ende von b_2 hinrückt, bis endlich für $w_3 = 0$ die vollkommene Tonlosigkeit des Telephons erreicht wird.

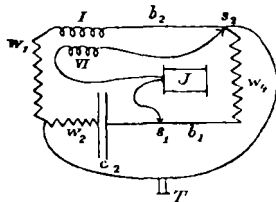


Fig. 2.

Die doppelte Abgleichung, die durch die beiden Bedingsgleichungen erfordert wird, lässt sich in dieser Weise leicht und schnell erreichen, im Gegensatz zu der Anwendung des Galvanometers in der Brücke, bei der

sie ziemlich mühselig und zeitraubend ist. Die genaue Abgleichung von w_2 , von der die Bestimmung von p_1 abhängt ist etwas schwieriger und unsicherer, als die von w_4 .

Als Messobjecte habe ich zwei Galvanometerrollen von etwa 7,5 cm Durchmesser mit je zwei Wicklungen benutzt; die Widerstände sind für Rolle A 0,67 und 1,25 Ohm für Rolle B 0,277 und 0,282 Ohm. b_1 und b_2 sind zwei gespannte 1 m lange Neusilberdrähte von 3,82 und 1,09 Ohm. Sämmtliche Widerstände wurden untereinander verglichen und auf eine gemeinsame Einheit bezogen.

c_2 ist ein Condensator von 0,30 M. F. Capacität, J ein kleines Inductorium nach F. Kohlrausch und T ein Ericsson'sches Telephon.

Es wurden folgende Messungen und Controllbestimmungen ausgeführt, sämmtlich mit Wechselströmen und Telephon:

1. Die Bestimmung der gegenseitigen Induction der beiden Wicklungen jeder Rolle und der grösseren Selbstinduction nach der vorstehenden Methode für verschiedene Widerstände

in den Seitenzweigen. Die Ergebnisse gibt nachstehende Zusammenstellung:

Rolle A.

w_1 Ohm	w_2 Ohm	w_4 Ohm	p_{16} 10 ⁻⁴ Quadrant	p_1 10 ⁻⁴ Quadrant
12,54	96,87	76,30	2,870	6,514
12,54	96,96	76,08	2,862	6,507
22,72	53,00	41,97	2,860	6,473
106,74	11,52	8,95	2,866	6,560
106,74	10,94	8,95	2,866	6,371
			Mittel 2,865	6,485

Rolle B.

11,55	0,87	63,58	2,203	2,233
21,75	0,51	33,77	2,203	2,237

2. Bestimmung der Selbstinductionen p_1 mit dem gleichen Condensator nach Maxwell's Methode¹⁾.

Es ergab sich:

Rolle A: $p_1 = 6,523 \cdot 10^{-4} Q$ (1 Bestimmung)

„ B: $p_1 = 2,246 \cdot 10^{-4} Q$ (2 Bestimmungen).

3. Vergleichung der gegenseitigen und der Selbstinduction nach Maxwell's Methode²⁾

Dieselbe ergab für Rolle A: $p_1/p_{16} = 2,278$ gegen 2,277 nach 1 und 2; für Rolle B: $p_1/p_{16} = 1,012$ gegen 1,019 nach 1 und 2.

4. Vergleichung der Selbstinductionen p_1 für Rolle A und Rolle B nach Maxwell³⁾:

$$\frac{p_1 \text{ Rolle A}}{p_1 \text{ Rolle B}} = 2,891 \text{ gegen } 2,904 \text{ nach 2.}$$

5. Vergleichung der gegenseitigen Inductionen p_{16} für Rolle A und Rolle B nach Maxwell⁴⁾:

$$\frac{p_{16} \text{ Rolle A}}{p_{16} \text{ Rolle B}} = 1,300 \text{ gegen } 1,301 \text{ nach 1.}$$

1) Maxwell, Electr. und Mag., deutsch von Weinstein. 2. p. 528.

2) l. c. 2. p. 497.

3) l. c. 2. p. 499.

4) l. c. 2. p. 495.

Bei dieser Methode ist die völlige Stromlosigkeit des Telephonzweiges an die Bedingung

$$\frac{p_{16} \text{ Rolle } A}{p_{16} \text{ Rolle } B} = \frac{p_1 \text{ Rolle } A}{p_1 \text{ Rolle } B}$$

geknüpft, die im Allgemeinen nicht erfüllt ist; man kann sie durch eine compensirende Selbstinduction in dem einen Zweige erreichen, erhält aber auch ein sehr brauchbares Minimum, wenn man die Widerstände der beiden secundären Zweige ziemlich gross wählt, sodass $\omega^2 p_1^2$ klein gegen das Quadrat des Widerstandes in dem Zweige ist. Bei den übrigen Methoden erhält man ein vollständig scharfes Minimum. Die obigen Messungen zeigen, dass man bei geeigneter Wahl der Widerstände eine befriedigende Genauigkeit (von einigen Tausendsteln) erreichen kann. Mit der gleichen Genauigkeit liess sich auch eine 10mal kleinere gegenseitige Induction mit Hülfe desselben Condensators bestimmen; dagegen kann man mit einer gegebenen Capacität nicht beliebig grosse Inductionscoefficienten vergleichen, vermuthlich, weil die dazu erforderlichen grösseren Rheostatenwiderstände nicht mehr ausreichend capacitätsfrei sind. Zwei Rollen mit Widerständen von etwa 40 Ohm und einer gegenseitigen Induction von $5 \cdot 10^{-3}$ Quadrant ergaben ein zwar noch brauchbares, aber schon nicht mehr scharfes Minimum gegen die Capacität von 0,3 M. F., ein Inductionscoefficient von $2 \cdot 10^{-2}$ Quadrant war damit nur noch annähernd zu bestimmen.

Strassburg, Physik. Inst., Juli 1894.