

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XXIII. Jahrgang 1893.



München.

Verlag der K. Akademie.

1894.

In Commission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

Eine neue Methode zur Messung von Selbstpotentialen und Induktionscoefficienten.

Von L. Graetz.

(Eingelaufen 8. Juli.)

Für die jetzt im Vordergrund des Interesses stehenden elektrischen Oscillationen, sowie für die praktisch immer häufiger angewendeten elektrischen Wechselströme spielt das Selbstpotential von Drähten und Rollen eine ebenso wichtige Rolle wie für Gleichströme der Widerstand. Und doch ist die Messung und Vergleichung von Selbstpotentialen bisher noch eine recht schwierige Aufgabe der messenden Physik. Die von Maxwell herrührenden Methoden für diese Messungen setzen ein äusserst empfindliches Galvanometer und günstige äussere Umstände voraus und liefern auch dann nur durch recht mühsame doppelte Abgleichung ein Resultat, wenn es sich um ziemlich grosse Werthe des Selbstpotentials handelt; bei kleinen Werthen desselben versagen sie ganz. Die Methode von Oberbeck,¹⁾ bei welcher die beiden Rollen eines Elektrodynamometers von Wechselströmen mit der Phasendifferenz $\frac{\pi}{2}$ durchflossen werden, erfordert zwar diese doppelten Abgleichungen nicht;

1) Oberbeck Wied. Ann. 17. 816. 1040. 1882.

dagegen ist bei ihr die Anwendung reiner Sinusschwingungen nothwendig und sowohl die Erzeugung derselben, wie insbesondere auch die für die Messung nothwendige genaue Bestimmung der Periode dieser Schwingungen macht diese Methode nicht weniger mühsam, als die vorher erwähnten. Bei sorgfältiger Behandlung ergab sie allerdings in den Händen von Oberbeck selbst, dann von Puluj¹⁾ und Troje²⁾ gut brauchbare Resultate. Dieselbe Schwierigkeit der genauen Zeitmessung haftet auch der Methode von Wien³⁾ an, welcher das optische Telephon für diese Messungen benutzte.

Einfachere Verhältnisse lassen sich herstellen, wenn man das zuerst von Hughes eingeführte, aber allerdings von ihm ganz incorrekt behandelte Hilfsmittel benützt, dass man in eine Stromverzweigung, welche das zu messende Selbstpotential enthält, noch eine variable Induktion einführt, sei es wieder eine Selbstinduktion oder eine gegenseitige Induktion. Die Irrthümer in der Hughes'schen Interpretation seiner Messungen sind von Heaviside,⁴⁾ Rayleigh⁵⁾ und H. F. Weber⁶⁾ aufgedeckt worden. Sie bestehen darin, dass Hughes annahm, dass bei der Abgleichung in der Wheatstone'schen Brücke, bei welcher ein Telephon nicht bloss ein Minimum des Tones giebt, sondern vollständig verstummt, nicht bloss die Widerstände zu beiden Seiten der Brücke, sondern auch die Induktionen sich jede für sich gegenseitig compensiren, während in Wirklichkeit dann im allgemeinen eine complicirte Beziehung zwischen den Induktionen und den Widerständen stattfindet, die auch noch von der Schwingungszahl der Wechselsröme abhängt. Indess lässt sich der Gedanke

1) Puluj, *Elektrotechn. Zeitschrift* 12 S. 346. 1891.

2) Troje, *Wied. Ann.* 47 p. 501. 1892.

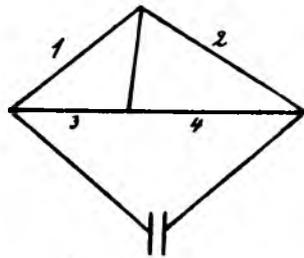
3) Wien, *Wied. Ann.* 44 p. 689. 1891.

4) Heaviside, *Phil. Mag* (5) 22 1886.

5) Rayleigh, *Journ. Tel. Eng.* 15 p. 54. 1886.

6) H. F. Weber, *Rep. Phys.* 22 p. 290. 1886.

von Hughes, wie zuerst Lord Rayleigh¹⁾ zeigte, durch andere Schaltung verwirklichen. Rayleigh selbst wendete nach manchen anderen Versuchen folgende Schaltung an. In der



Wheatstone'schen Brücke wurden die Zweige 3 und 4 aus gleichen Widerständen von je $\frac{1}{2}$ Ohm gebildet. Zwischen den Zweigen 1 und 2 befand sich ein ausgespannter Draht mit verschiebbarem Contact. In den

Zweig 1 wurde eine Rolle von passender Selbstinduktion und ein Rheostat (ohne Selbstinduktion) gebracht, in den Zweig 2 die zu messende Selbstinduktion und eine variable Selbstinduktion, bestehend aus zwei hinter einander geschalteten in einander drehbaren Rollen, für die das variable Selbstpotential für jede Lage bestimmt war. In die Brücke kam ein Telephon. Konnte man durch Aenderung des Widerstandes und der Induktion das Telephon zum Schweigen bringen, so mussten sich die beiden Zweige 1 und 2 sowohl in Bezug auf Widerstand, wie in Bezug auf Induktion gleich verhalten. Die Methode ist sehr gut, wenn die variable Selbstinduktion genügend verschiedene Werthe derselben giebt, um in weiten Grenzen die Compensation hervorzubringen. Das ist nur dann möglich, wenn der Widerstand derselben auch ziemlich erheblich ist, wodurch die Methode in der Anwendbarkeit doch recht beschränkt erscheint. Ayrton und Perry²⁾ haben auf Grund dieser Methode jüngst ein von ihnen „Secohmmeter“ und ein „Standard of Selfinduction“ genanntes Instrument construirt, welche solche Messungen für technische Zwecke gestatten sollen. Ihre Standardrolle, die das Inter-

1) Rayleigh, Phil. Mag (5) 22 p. 469. 1886.

2) Ayrton und Perry. Lum. él. 24 p. 401. 1887.

vall von $8 \cdot 10^6$ bis $40 \cdot 10^6$ cm umfasst, hat schon 12 Ohm Widerstand.

Einfacher und in der Anwendung umfassender erschien es, die Schaltung so einzurichten, dass in der Wirkung auf das Telephon ein Theil der Induktion durch den Widerstand compensirt wird und nur der übrig bleibende Theil durch eine variable Induktion. Man konnte dadurch zunächst mit kleineren Apparaten arbeiten. Ferner erschien es vortheilhaft, variable Kontakte vollständig in den Brückenweig zu verlegen, in welchem sie keine Unsicherheit hervorbringen können.

Es wurde daher folgende Methode ausgearbeitet:

Hat man in den Zweigen 1 und 2 der Wheatstone'schen Combination beliebige Selbstpotentiale L_1 und L_2 und ausserdem beliebige gegenseitige Induktionen M_1 und M_2 , so schaltet man zunächst die inducirten Rollen alle in den Telephonweig und zwar so, dass der Strom in allen dieselbe Richtung hat in Bezug auf den sie inducirenden Strom. Die Zweige 2 und 3 bestehen aus einem ausgespannten Draht, dessen Selbstinduktion beliebig klein gemacht und daher vernachlässigt werden kann. Die Stromquelle des Wechselstroms kann beliebig sein. Es wurden dieselben Resultate gefunden mit einer Wechselstrommaschine, einem durch Stimmgabelunterbrecher und einem durch gewöhnlichen Hammer getriebenen Induktionsapparat. Die Gleichungen des Systemes lassen sich dann — unter Berücksichtigung aller Induktionen — leicht aufstellen und ergeben als Bedingung für die Ruhe des Telephons:

$$w_1 w_4 - w_2 w_3 = 0$$

$$w_4 L_1 - (w_3 + w_4) (M_1 + M_2) = w_3 L_2.$$

Bei dieser Anordnung ist es nun möglich, die Messung von Selbstpotentialen und von gegenseitigen Induktionscoefficienten in ganz derselben Weise einzurichten, wie es

bei Widerstandsmessungen sich schon lange als vortheilhaft bewährt hat, nämlich durch Construction eines Induktionskastens, ganz entsprechend den Widerstandskästen. Man muss dazu nur ein bekanntes Selbstpotential und eine bekannte gegenseitige Induktion haben. Durch passende Wickelung zweier Rollen von bekannten Dimensionen liessen diese sich herstellen und ihre Coefficienten durch Rechnung finden. Dabei sind die von Maxwell herrührenden Formeln für die gegenseitige Induktion mit Sicherheit zu benutzen. Die Formeln für die Selbstinduktion sind von Rayleigh, Stefan, Weinstein etwas verschieden angegeben und es liefern die verschiedenen Berechnungen nur Werthe, die bis auf 1—2% übereinstimmen. Auch die Beobachtung nach der Rayleigh-Dorn'schen Methode giebt keine genaueren Werthe, so dass dies vorläufig die Grenze für die Genauigkeit der Bestimmungen ist. Ist S das bekannte Selbstpotential, G das bekannte gegenseitige Potential, so bringt man zunächst in den Zweig 1 und 2 je einen Induktor mit variabler Induktion. Am bequemsten bestehen dieselben aus einer kreisförmigen festen Rolle und einer in dieser drehbaren beweglichen Rolle, welche in den Telephonkreis eingeschaltet wird. Der Drehungswinkel wird an einem getheilten Kreis durch Zeiger bis auf 0,1 Grad abgelesen. Bei der senkrechten Stellung dieser Rollen ist ihre gegenseitige Induktion 0, bei paralleler ein Maximum oder Minimum. Man kann die den verschiedenen Winkeln entsprechenden Induktionen relativ finden, da man nach der obigen Formel irgend eine Drehung des einen Induktors beliebig auf beide Induktoren vertheilen kann und so die Abweichungen der Induktion von der Proportionalität mit der Winkeldrehung gradweise bestimmen kann. Ist α die gegenseitige Induktion, welche einem Grad der Induktoren entspricht, sind ferner P_1 und P_2 die Selbstpotentiale der beiden Induktoren, so macht man drei Messungen, indem man 1) in 1 und 2 nur je einen In-

duktor, 2) in 2 etwa noch S und 3) in 2 S und G einschaltet. Sind n_1, n_2, n_3 die Summen der Winkeldrehungen der Induktoren und wird das Verhältniss $\frac{w_2}{w_4}$ in den drei Fällen mit $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ bezeichnet, wobei $\gamma_3 = \gamma_2$ ist, so hat man folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} P_1 - (1 + \gamma_1) n_1 \alpha &= \gamma_1 P_2 \\ P_1 - (1 + \gamma_2) n_2 \alpha &= \gamma_2 (P_2 + S) \\ P_1 - (1 + \gamma_2) (n_3 \alpha + G) &= \gamma_2 (P_2 + S) \end{aligned}$$

aus welchen P_1, P_2 und α ein für allemal absolut ermittelt werden. Es sind das die Constanten des Apparates. Die Messung irgend eines anderen Selbstpotentials x ergibt sich dann sofort, indem man in den Zweig 1 etwa einen Induktor, in den Zweig 2 den anderen Induktor und x einschaltet.

Ist γ das Widerstandsverhältniss $\frac{w_2}{w_4}$, n die Winkeldrehung der Induktoren, so ist

$$P_1 - (1 + \gamma) \alpha n = \gamma (P_2 + x).$$

Ebenso wird eine gegenseitige Induktion y gemessen durch

$$P_1 - (1 + \gamma) (\alpha n + y) = \gamma (P_2 + x).$$

So kann man von Rollen jeder Art durch einfache Messungen die Induktionscoefficienten in Centimetern oder Erdquadranten bestimmen und hat so die Möglichkeit, Rollen von abgemessenen Selbstpotential herzustellen und sie in derselben Weise anzuordnen, wie die Widerstandsrollen eines Widerstandskastens. Ein solcher Induktionskasten wird am besten so construiert, dass zwei Rollen von gleichem Widerstand immer nebeneinander stehen, von denen die eine bifilar gewickelt ist und geringe, die andere unifilar gewickelt ist und grosse Selbstinduktion besitzt. Durch gleichzeitiges Einschalten der einen Rolle auf die eine Seite, der anderen auf die andere Seite der Brücke kann man die Selbstinduktion

bedeutend ändern, ohne das Widerstandsverhältniss wesentlich zu alteriren und so stets die grösste Empfindlichkeit der Einstellungen erzielen. Vorausgesetzt ist dabei, dass die bifilar gewickelten Rollen keine merkbare Capacität besitzen. Das ist bei kleineren Rollen an sich der Fall, bei grösseren tritt zweckmässig die Chaperon'sche Wickelung ein, welche nach F. Kohlrausch vorzügliche Resultate giebt. Die Herstellung solcher Induktionskasten ist im physikalischen Institut der Universität im Gange. Darüber, wie über die Construction der von Dr. Edelmann ausgeführten Induktoren wird an anderer Stelle berichtet werden.

München, Physik. Inst. d. Universität,
Juli 1893.