



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

264. Unterschied zwischen Schließungs- und Öffnungsstrom

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](#)

Hauptdraht selbst verlaufenden Induktionsströme „Extraströme“; sie wirken, wie man erkennt, stets den Änderungen des ursprünglichen Stromes entgegen.

Diese sogenannte „Selbstinduktion“ wirkt nicht nur in einem zur Rolle gewickelten, sondern auch in jedem gerade gestreckten Draht; denn man kann sich denselben in Längsfasern zerteilt denken, deren jede auf die benachbarten induzierend wirkt. Die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion ist proportional der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Stärke des Hauptstromes ändert. Wie die Induktion einer Spule auf eine andere, so wird auch die Selbstinduktion einer Spule außerordentlich verstärkt, wenn ein Eisenkern in die Spule geschoben wird.

Die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion ist

$$e = L \cdot \frac{J' - J}{\tau},$$

wenn mit L eine nur von der Gestalt des Leiters und der Magnetisierbarkeit des umgebenden Mittels abhängige Größe bezeichnet wird, welche dem gegenseitigen Induktionskoeffizienten M analog ist und Selbstinduktionskoeffizient genannt wird; er wird wie jener nach Henrys (261) gemessen. Entsprechend den obigen Ausführungen (262) kann man auch sagen: Der Selbstinduktionskoeffizient L ist gleich der Zahl der Kraftlinien, die die Spulenfläche durchsetzen, wenn in der Spule der Strom 1 fließt. Für ein langgestrecktes Solenoid, das aus N hintereinander aufgereihten Kreisströmen von der Fläche F besteht, ist die ganze Windungsfläche $= NF$. Der Kraftfluß im Innern einer solchen Spule ist $= 4\pi i \frac{N}{l}$ (244), für den Strom 1 also $= 4\pi \frac{N}{l}$, wenn l die Länge des Solenoids bedeutet. Also ist der Selbstinduktionskoeffizient $L = 4\pi N^2 \frac{F}{l}$.

264. Unterschied zwischen Schließungs- und Öffnungsstrom. Die Selbstinduktion kommt zum Ausdruck in dem zeitlichen Verlauf des Ansteigens oder Abfallens des Stromes bei jeder Veränderung der Stromstärke in einem Leiter, vor allem beim Schließen oder Öffnen des Stromes. Da die beim Schließen induzierte elektromotorische Kraft der Selbstinduktion dem Strom entgegengerichtet ist, so bewirkt sie, daß der Strom nicht plötzlich seine volle Stärke erreicht, sondern allmählich innerhalb einer gewissen, allerdings in der Regel sehr kleinen Zeit bis zu seinem Endwerte ansteigt. Umgekehrt wirkt die beim Sinken der Stromstärke induzierte elektromotorische Kraft der Selbstinduktion in der Richtung des Stromes. Wird der Strom plötzlich durch Auseinanderreißen eines Kontaktes unterbrochen, so entsteht entsprechend der Geschwindigkeit der Stromänderung eine beträchtliche elektromotorische Kraft in dem Leiter, die zu einem Funken an der Unterbrechungsstelle, dem sog. Öffnungsfunken, Veranlassung gibt. Bei einem gerade gestreckten Schließungsdraht einer galvanischen Batterie ist der Funke nur schwach; erhöht man die Selbstinduktion, indem man den Draht zu einer Spirale aufwickelt, so ist der Funke stärker und wird noch

kräftiger, wenn man einen Eisenkern in die Spule steckt. Dieser Funke bildet bei der Stromunterbrechung noch auf kurze Zeit eine leitende Brücke. Daher verschwindet auch bei der Unterbrechung der Strom nicht plötzlich, sondern braucht eine kleine Zeit, um von seiner vollen Stärke bis auf Null harabzusinken, die jedoch von weit kürzerer Dauer ist, als die Zeit, die er braucht, um bei der Schließung von Null auf seine volle Stärke anzusteigen, weil in dem großen Widerstände des Öffnungsfunkens die Energie des Öffnungsstromes schnell verzehrt wird.

Da nun die in einer Nebenrolle induzierten elektromotorischen Kräfte bei gleicher Änderung des Stromes in der Hauptrolle sich umgekehrt verhalten wie die dazu erforderlichen Zeiten, so muß der beim Öffnen der Hauptspirale in der Nebenspirale entstehende Öffnungsstrom eine größere elektromotorische Kraft oder Spannung und deshalb auch eine größere augenblickliche Stromstärke besitzen als der Schließungsstrom. Dagegen ist die in beiden Strömen sich entladende Elektrizitätsmenge (d. i. das Produkt aus Stromstärke und Zeitdauer) die nämliche. Dies erhellt schon daraus, daß die Wechselströme der Nebenspirale, mittels Platinelektroden durch eine Lösung von Kupfersulfat geleitet, auf keiner der Elektroden einen Kupfer-niederschlag erzeugen, was doch geschehen müßte, wenn der eine Strom in der einen Richtung eine größere Elektrizitätsmenge überführte als der andere in der entgegengesetzten Richtung. Auch ein Galvanometer gibt für jeden einzelnen Öffnungs- oder Schließungsstrom gleiche entgegengesetzte Ausschläge; denn da die Dauer beider Induktionsströme weit kürzer ist als die Schwingungsdauer der Magnetnadel, so kommt in beiden Fällen die ganze in jedem Strome sich entladende Elektrizitätsmenge stoßweise zur Wirkung (ballistisches Galvanometer). Bei rascher Aufeinanderfolge der Unterbrechungen bleibt die Nadel in Ruhe, weil die entgegengesetzten Antriebe sich aufheben.

Öffnungs- und Schließungsstrom in der Nebenrolle unterscheiden sich also dadurch voneinander, daß die Entladung derselben Elektrizitätsmenge bei jenem auf eine äußerst kurze Zeit zusammengedrängt bei diesem dagegen auf eine vergleichsweise längere Dauer ausge dehnt ist.

Bezeichnen wir mit E die elektromotorische Kraft einer galvanischen Batterie, mit W den gesamten Widerstand des Schließungskreises, so ist der Endwert, den der Strom nach Schluß des Stromkreises erreicht, $J = E / W$. Die im Stromkreis in der Zeiteinheit entwickelte Wärme ist dann $J^2 W$ und ist gleich der von der Batterie in der Zeiteinheit geleisteten elektrischen Arbeit $E \cdot J$. Solange der Strom den Endwert noch nicht erreicht hat, sondern noch einen kleineren Wert i besitzt, ist die in der kleinen Zeit τ geleistete elektrische Arbeit der Batterie, $Ei\tau$, größer als die in derselben Zeit von dem Strom i entwickelte Joulesche Wärme: $i^2 W\tau$; denn es ist $Ei\tau - i^2 W\tau = (J - i) i W\tau$. Dieser Mehrbetrag an Energie, den die Batterie während des Ansteigens des Stromes liefert, und der nicht in Wärme verwandelt wird, erscheint als potentielle Energie im magnetischen Felde, das der Strom erzeugt und unterhält, gewissermaßen aufgespeichert. Er ist von der Selbstinduktion der Spule für

die Magnetisierung beansprucht, bleibt so lange erhalten, wie das magnetische Feld besteht, und tritt, wenn der Strom unterbrochen wird, und mit ihm das Feld verschwindet, als Öffnungsextrastrom in den Stromleiter zurück, um nun erst in ihm in Wärme verwandelt zu werden.

265. Messung des galvanischen Widerstandes in Elektrolyten. Wie soeben erwähnt wurde, bewirken die rasch aufeinanderfolgenden Wechselströme einer Induktionsrolle beim Durchgang durch eine Flüssigkeit keine chemische Zersetzung und deshalb auch keine Polarisation. Wollte man nach dem früher (230) beschriebenen Brückenverfahren unter Anwendung eines gewöhnlichen galvanischen Stromes (eines „Gleichstromes“) den Widerstand einer Flüssigkeit bestimmen, so würde die Stromstärke nicht nur durch den Widerstand der Flüssigkeit selbst, sondern auch noch durch die Gegenkraft der Polarisation geschwächt und der gesuchte Widerstand zu groß gefunden werden. Dieser störende Einfluß der Polarisation wird vermieden, wenn man statt des Gleichstromes die alternierenden Induktionsströme (F. Kohlrausch, 1868) benutzt. Dann muß aber in die Brücke statt eines Galvanometers, welches ja bei Wechselströmen keinen Ausschlag gibt, ein Elektrodynamometer (256) eingeschaltet werden; da nämlich im Solenoid und im Multiplikator die Ströme sich gleichzeitig umkehren, so erfolgt die Ablenkung stets nach derselben Richtung (s. u. 277).

Bei dieser Anwendung der Wechselströme erhebt sich jedoch eine neue Schwierigkeit. In den Drahtrollen der zur Messung verwendeten Widerstandsätze (225) wirkt nämlich die elektromotorische Kraft des Extrastromes der ursprünglich vorhandenen elektromotorischen Kraft entgegen; die Stromstärke wird dadurch verringert und der Widerstand der Rolle scheinbar vergrößert. Um diese störende Wirkung der Selbstinduktion zu vermeiden, windet man den Draht so auf, daß je zwei benachbarte Windungen in entgegengesetzter Richtung laufen, indem man den Draht in der Mitte umbiegt und doppelt aufwickelt. Dadurch ist die magnetische Wirkung der Rolle natürlich aufgehoben. Ebenso heben sich die Extrastrome in je zwei benachbarten Windungen gegenseitig auf. Man sagt, die Rolle sei bifilar oder induktionsfrei gewickelt.

266. Physiologische Wirkung der Induktionsströme. Zum Nachweis der Induktionsströme bedarf man des Galvanometers nicht; wir sind imstande, sie vermöge ihrer starken Wirkung auf unsere Nerven unmittelbar zu empfinden.

Faßt man die beiden Pole einer galvanischen Batterie von nicht zu kleiner elektromotorischer Kraft je mit einer Hand an, um den Strom durch den eigenen Körper zu leiten, so empfindet man eine Zuckung im Augenblick der Schließung des Stromes; der nunmehr mit unveränderter Stärke durch unseren Körper fließende Strom bringt im allgemeinen nur eine geringfügige Empfindung hervor; eine erneute Zuckung tritt aber ein, sobald man den einen oder beide Poldrähte losläßt und dadurch den Strom unterbricht. Auf unsere Nerven wirkt also in erster Linie nicht der unveränderte Strom erregend ein, sondern sein Beginnen oder Aufhören, oder überhaupt die Veränderung der Stromstärke ist es, worauf die Bewegungsnerven mit Zuckung antworten, und zwar ist die Wirkung um so beträchtlicher, je jüher diese Veränderung eintritt. Hieraus erklärt es sich, warum der Entladungsschlag einer Leidener Flasche so heftig empfunden wird; die an sich sehr geringe in der Flasche zu hoher Spannung angesammelte Elektrizitätsmenge entlädt sich nämlich in äußerst kurzer Zeit und stellt sonach einen elektrischen Strom dar, welcher mit großer