Zeitschrift: Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen

Herausgeber: Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere

Band: 26 (1953)

Heft: 5

Rubrik: Funk + Draht

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

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

Funk + Draht

Nr. 9 / Mai 1953

Beilage zum «Pionier»
zur fachtechnischen Ausbildung
der Übermittlungstruppen

Nachdruck verboten

Kurs über Elektrotechnik

Physikalische Eigenschaften der Magnete

(Fortsetzung)

4. Das eine bestimmte Schnittfläche durchlaufende Kraftfeld heisst magnetischer Fluss.

Als Abkürzung für den in «Maxwell» ausgedrückten «magnetischen Fluss» wird der griechische Buchstabe Φ (phi) verwendet. Der Fluss ist somit gleich der Feldstärke in Gauss H (sofern es sich um eine Fläche ausserhalb der Spule handelt), oder B für eine Fläche im Innern des metallischen Spulenkerns multipliziert mit der in cm² ausgedrückten Fläche. Somit ist

$$\Phi \text{ (magnetischer Fluss)} = H^{\text{Gauss}} \times S^{\text{cm}^2} \text{ in der Luft}$$

oder $$\Phi \text{ (magnetischer Fluss)} = B^{\text{Gauss}} \times S^{\text{cm}^2} \text{ im Metall}$$

5. Elektromagnetische Induktion. Wir haben im vorhergehenden Kapitel gesehen, wie der Elektromagnetismus beim Durchlaufenlassen des Stromes durch eine Drahtwindung oder -spule erzeugt wird.

Ein englischer Gelehrter, Faraday, ist von dem Gedanken ausgegangen, dass dieser Vorgang umkehrbar ist und hat folgendes Experiment versucht:

Er liess ein veränderliches Kraftfeld auf eine Drahtspule wirken, indem er einen Stabmagneten schnell in die Spule einführte. Ein an den Klemmen der Spule angeschlossenes Instrument schlägt beim Einführen des Stabmagneten aus (Fig. 59).

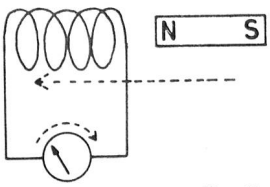

Fig. 59

Wenn wir das Experiment Faradays mit dem nachstehenden vergleichen, wird die Umkehrbarkeit des Vorgangs, d. h. der Zusammenhang zwischen der Herstellung eines Elektromagneten mittels einer Spule (Fig. 56) und der Erzeugung von Strom in dieser Spule mittels einem Magneten besser verständlich (Fig. 59).

Nehmen wir eine Wasserturbine T (deren Schaufelrad den Magneten darstellt), und bringen wir über derselben ein Reservoir A an (Fig. 60).

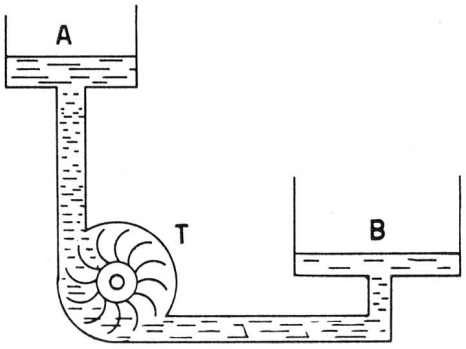

Fig. 60

Das den Strom verkörpernde Wasser dreht bei seinem Abfliessen die Turbine T (das Schaufelrad wird also «magnetisiert») und sammelt sich nachher im Behälter B.

Befindet sich das Wasser in B, und drehen wir die Turbine (was dem Einführen des Magneten in die Spule entspricht), wird das Wasser wieder in den Reservoir A hinaufgetrieben.

Wir haben somit eine Veranschaulichung der Umkehrbarkeit des Elektromagnetismus.

Der auf diese Weise erzeugte Strom heisst: Induktionsstrom.

Der den Strom durch seine Bewegung erzeugende Magnet heisst: Induktor oder Erreger.

Die Windung bzw. Gruppe von Windungen (Spule), in der der Induktionsstrom erzeugt wird, heisst: Induktionsspule.

Wenn wir nach Einführen unseres magnetischen Kerns versuchen, denselben wieder zurückzuziehen, so können wir ein erneutes Ausschlagen des Messinstrumentes feststellen, jedoch in umgekehrter Richtung.

Falls wir jedoch den Kern nach Einschieben in die Spule darin belassen, so können wir feststellen, dass der Strom sofort wieder auf Null zurückfällt. Somit wird der Strom durch Veränderung des magnetischen Flusses erzeugt.

Aus diesen Feststellungen lassen sich folgende Regeln ableiten:

1. Regel: Ein Induktionsstrom wird in einer der Einwirkung eines veränderlichen magnetischen Feldes unterworfenen leitenden Windung, bzw. Spule erzeugt.

2. Regel: Der Induktionsstrom ändert seine Richtung, je nachdem die Windung einem sich verstärkenden oder abschwächenden magnetischen Fluss unterworfen ist.

Es gibt verschiedene Arten, eine Spule einem veränderlichen magnetischen Fluss zu unterwerfen:

— Einführen eines Stabmagneten in eine feste Spule.
— Aufschieben einer Spule auf einen festen Stabmagneten.
— Drehen des Stabmagneten in der Nähe der festen Spule (Alternator-Prinzip).
— Drehen der Spule in der Nähe des festen Stabmagneten (Dynamo-Prinzip).
— Beeinflussung der Spule durch den Fluss einer anderen Spule, die ihrerseits unter Strom steht und somit als Magnet dient (Elektromagnet).

Ein praktisches Mittel zur Erzeugung eines veränderlichen Flusses mittels dieser letzteren Methode besteht im rasch aufeinanderfolgenden Öffnen und Schliessen des Stromkreises der Spule P (Fig. 61).

Falls das, die beiden Spulen P und S durchlaufende Feld wesentlich verstärkt werden soll, sind beide Spulen auf demselben Metall (Eisen)-Kern anzubringen. Das Experiment lässt sich jedoch sehr gut ohne diesen Kern durchführen.

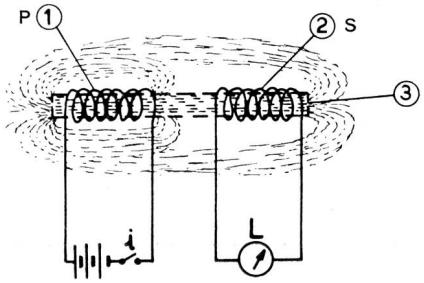

Fig. 61 1. Induktor
2. Induktionspule
3. Eisenkern (evtl.)

Wir stehen hier am Anfang der Entwicklung zweier wichtiger Prinzipien, die wir später wieder treffen werden.

1. **Das Prinzip des Elektrotransformers,** hier in der besonderen Form der «Rumkorff-Spule» dargestellt.

Durch Betätigung des Unterbrechers i des Stromkreises P wird durch Induktion ein elektrischer Strom im Kreis S (Fig. 61) erzeugt (Experiment mit Metallkern).

2. Das für die Radiotechnik wichtige Prinzip! Wir arbeiten hier zum erstenmal mit einer drahtlosen Verbindung, allerdings auf sehr kurze Distanz. — Wenn jedoch jemand den Unterbrecher i im Morsetakt betätigt, kann die Botschaft bei L abgelesen werden (Experiment ohne Metallkern).

Kommen wir jedoch auf die vorstehende 2. Regel zurück.

Wir haben gesehen, dass der Induktionsstrom je nach Verstärkung oder Abschwächung des magnetischen Feldes seine Richtung wechselt. Es handelt sich nun darum, die Umlaufrichtung des induzierten Stromes kennen zu lernen.

Richtung und Stärke des Induktionsstromes. Wenn wir uns den Vergleich des Magnetstabes in Erinnerung rufen, der im Moment des Stromdurchflusses zum flachen Elektromagneten geworden ist und zudem bedenken, dass die Natur jeder Veränderung, die man ihr zufügen will, einen Widerstand entgegen setzt (z. B. der fortwährende Kampf der Holländer gegen die Erosion des Meeres und die ununterbrochene Zerstörung dieser Arbeiten durch das Meer), so können wir die Regeln über die Richtung des Induktionsstromes aufstellen.

Sobald man einer Schlaufe oder einer Spule einen Dauermagneten nähert oder entfernt, werden diese selbst zum Magneten. Dabei entsteht auf der dem eindringenden magnetischen Stab zugekehrten Seite der Schlaufe der gleiche Pol, wie ihn das eingeführte Ende des magnetischen Stabes trägt.

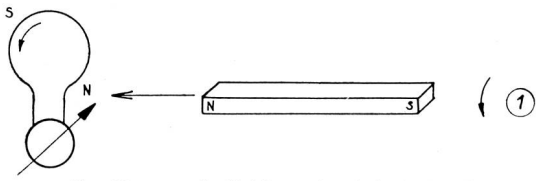

Fig. 62 1. Richtung des induzierten Stromes

Erklärung: Wir kennen die Regel, die aussagt, dass sich zwei gleichnamige Pole abstossen. Weil sich jeder Aktion eine Reaktion entgegenstellt, muss der Induktionsstrom in der Spule so fliessen, dass er einen gleichnamigen Pol erzeugt wie die Seite des Dauermagneten, die der Spule angenähert wird. Die Richtung des Induktionsstromes lässt sich mit Hilfe der bereits bekannten Korkzieher-Regel, (Abb. 50—52) feststellen.

Wenn wir einen Dauermagneten aus einer Spule herausziehen, entsteht am Spulenende ein Pol, welcher dem der Spule zugekehrten Ende des entfernten Dauermagneten entgegengesetzte Polarität aufweist. In diesem Falle wird nach dem oben erwähnten Gesetze (Aktion, Reaktion) versucht werden, dem Herausziehen des Dauermagneten einen Widerstand entgegenzustellen, was durch den Umstand erreicht wird, dass an Spule und dem der Spule zugekehrten Ende des Dauermagneten ungleichnamige Pole erzeugt werden und sich als ungleichnamige Pole anziehen.

Somit haben wir abgeklärt:

1. Das Vorhandensein eines Induktionsstromes in einer Schlaufe, die einem variierenden Magnetfeld ausgesetzt wird.
2. Dass dieser Induktionsstrom in der Schlaufe einen wirkungsvollen Einfluss auf den Strom hatte, der die in Abb. 48 und 49 genannten Windungen durchfloss, d. h. dass er diese Schlaufe zu einem Magneten werden lässt.

Unser Interesse gilt im weiteren noch der elktromotorischen Kraft, die in einer oder mehreren Windungen induziert wird, wenn das umgebende Magnetfeld verändert wird.

Diese elektromotorische Kraft (Strom) wird folgerichtig von der Dichte des Magnetfeldes und auch von der Zeit, die zur Veränderung des Feldes benötigt wird, abhängen.

Regel: Die elektromotorische Kraft ist proportional zur Magnetfeldstärke und umgekehrt proportional zur Zeit, während der die Veränderung des Feldes stattfindet.

Anders ausgedrückt, je stärker das Magnetfeld und je kürzer die Zeit ist, die die Veränderung braucht, um so grösser wird die E.M.K.

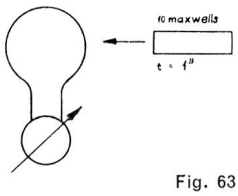

Fig. 63

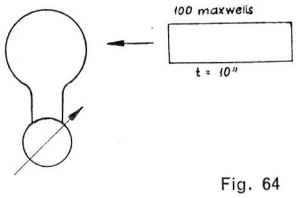

Fig. 64

In Fig. 63 und 64 sehen wir zwei Magnete, die ein Magnetfeld bzw. eine Feldveränderung von 10 und 100 Maxwells erzeugen. Wenn wir nun die E.M.K. berechnen wollen, müs-

sen wir die Zeit berücksichtigen, in der diese Veränderung zustande kommt. Wenn der kleine Magnet für seine Feldveränderung (Fig. 63) 1 Sekunde benötigt, so wird die erzeugte E.M.K. die gleiche sein, die entsteht, wenn der grosse Magnet sein Feld in 10 Sekunden verändert.

Daraus leiten wir folgende Formel ab:

$$E \text{ in Mikrovolt} = \frac{\Delta \Phi}{t'' \cdot 10^2} \text{ oder } \frac{\Delta \Phi}{t'' \cdot 10^8} = E \text{ in Volt.}$$

Diese Formel können wir uns besser einprägen, wenn wir uns folgenden Vergleich vor Augen halten:

Die Aufprallkraft einer von Hand geworfenen Gewehrkugel ist schwach, der Getroffene wird darob lachen; die Fluggeschwindigkeit beträgt nur einige Meter pro Sekunde, während, würde die gleiche Kugel von einem Gewehr abgefeuert, das Lachen auf dem Gesicht des damit Getroffenen verschwinden würde (seine Aufschlagkraft ist sehr gross, die Fluggeschwindigkeit einige 100 Meter pro Sekunde).

Nebenbei, wenn der Herr von einem 10mal grösseren Geschoss getroffen würde, wenn auch nur von Hand geworfen, würde ihm wahrscheinlich das Lachen vergehen.

6. Die Foucaultschen Ströme. Wir haben an einer früheren Stelle gesehen, dass die Induktionsströme im Innern einer Schlaufe entstehen, welche einem variierenden Magnetfeld ausgesetzt ist.

Ersetzen wir diese Schlaufe durch irgendeine Metallplatte (Leiter) und unterwerfen wir diese ebenfalls einem veränderlichen Magnetfeld (Fig. 65 und 66), so werden gleichfalls Induktionsströme auftreten.

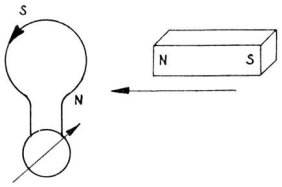

Fig. 65

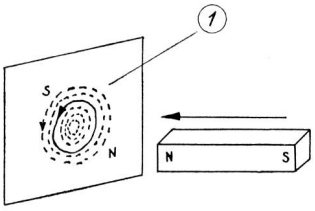

Fig. 66 1. Metallblatt

Somit werden in jedem Metallkörper, der sich in einem variierenden Magnetfeld befindet, Induktionsströme erzeugt, die in diesem speziellen Falle Foucaultsche Ströme genannt werden.

Welches sind ihre Auswirkungen?

In der Regel sind sie unerwünscht, weil:

a) durch die Foucaultschen Ströme, welche in einer Metallmasse fliessen, diese erwärmt wird.

b) diese Erwärmung ziemlich bedeutend werden kann und die Metallmasse an den Berührungsstellen abnützen kann.

c) sie den Vorgang, durch den sie entstanden sind, stets zu hemmen suchen (siehe Anfang dieses Paragraphen). Da sie meist durch die Rotation einer Masse hervorgerufen werden, setzen sie demnach dieser Rotation einen Widerstand entgegen.

Diese drei Fälle bewirken alle einen Energieverlust, den man zu verringern sucht.

Aber wie?

Wenn wir uns daran erinnern, wie der Induktionsstrom in einer Schlaufe entsteht, können wir logischerweise annehmen, dass, wenn der geschlossene Stromkreis der Schlaufe irgendwo unterbrochen wird, der Induktionsstrom zu fliessen aufhört (Fig. 67).

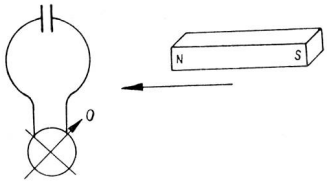

Fig. 67

Da sich unsere Annahme als richtig herausstellt, wird es genügen, wenn wir die Metallmasse anschneiden oder unterteilen, um die Foucaultschen Ströme zu reduzieren (siehe Fig. 57).

In der Industrie werden alle Metallmassen, die einem variierenden Magnetfeld ausgesetzt sind, und in denen man die Foucaultschen Ströme unterdrücken will, entweder eingeschnitten, lamelliert oder unterteilt (Fig. 68—70).

1 Fig. 68
1. eingeschnittene Masse

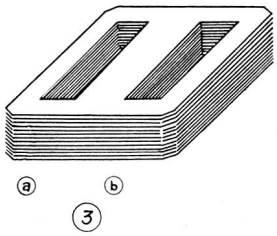

Fig. 70 3. Trafo
a Eisen
b Papier

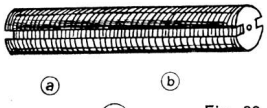

Fig. 69
2. lamellierte Masse
a Eisen
b Papier

Für die moderne Telephon- und Radiotechnik wird von der Industrie eine Art Mischeisen erzeugt; es handelt sich dabei um Eisenpulver, das mit Pulver isolierender Stoffe vermischt wird (Bakelit, Polystirol usw.). Wird diese Mischung kalt, gut miteinander vermengt, so wird jedes Eisenstäubchen von einer kleinen Menge Isoliermasse umgeben. Das Ganze wird darauf warm gepresst und geformt. Man erhält Kerne in Topf- (Fig. 71), in H- (Fig. 72), in Schraubenform (Fig. 73) für die HF-Transformatoren und in Ringform für die NF-Übertrager (Fig. 74).

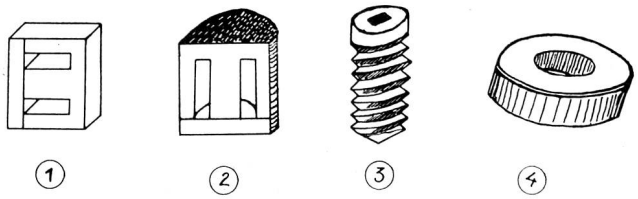

Fig. 72 71 73 74
1. H-Kern 2. Topf-Kern 3. Schrauben-Kern 4. Ring-Kern

7. Selbstinduktion und gegenseitige Induktion. Mit Selbstinduktionsstrom wird ein Induktionsstrom bezeichnet, der in einer Spule oder einem Stromkreis durch eine Stromänderung in derselben Spule oder demselben Stromkreis hervorgerufen wird.

Untersuchen wir einmal näher, um was es sich dabei handelt (Abb. 75).

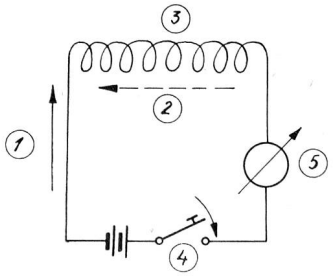

Fig. 75
1. Strom
2. Induktions-Strom
3. a
4. b
5. c

Wenn wir den Unterbrecher b schliessen, wird der Strom in der Spule a anschwellen. Dieser Stromanstieg wird, wie wir wissen, eine Feldveränderung (Anstieg) in der Spule a hervorrufen. Ausserdem wissen wir auch, dass diese Magnetfeldveränderung ihrerseits in der gleichen Spule einen Induktionsstrom erzeugt, der den Vorgang, durch den er entstanden ist, zu hemmen sucht, dies besagt, dass der Induktionsstrom dem Durchfluss des ursprünglichen Stromes einen Widerstand entgegenstellt.

Untersuchen wir mittels eines Experimentes unsere Theorie auf seine Richtigkeit. Wenn wir den Unterbrecher b schliessen, stellen wir fest, dass unser Instrument d den Durchfluss des Stromes erst einen (ganz kurzen) Moment nach dem Einschalten anzeigt. Man nennt diesen Induktionsstrom: Schließstrom. Er fliesst in entgegengesetzter Richtung wie der ursprüngliche Strom und sucht diesen zu schwächen.

Wenn wir hingegen den Unterbrecher b (Fig. 76) öffnen,

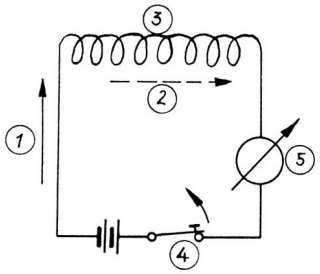

Fig. 76

1. Strom
2. Induktions-Strom
3. a
4. b
5. c

wird diese Abschaltung des Stromes eine Magnetfeldveränderung hervorrufen, welche ihrerseits einen Induktionsstrom erzeugt, der den Vorgang, durch den er entstanden ist, zu hemmen sucht. Somit wird er den ursprünglich fliessenden Strom zu verlängern trachten. Das Instrument zeigt während eines ganz kurzen Momentes nach Öffnen des Unterbrechers noch einen Strom an.

Dieser Induktionsstrom wird Öffnungsstrom genannt; an den Kontaktstellen des Unterbrechers entsteht durch den Öffnungsstrom immer ein Funke.

In diesem Falle werden die Induktionsströme mit Selbstinduktionsströme bezeichnet, die Spule mit Drossel.

Die drei Hauptgesetze der Induktion lauten:

1. Regel: Jede Veränderung eines Magnetfeldes, welches einen geschlossenen Stromkreis durchdringt, ruft in diesem einen Induktionsstrom hervor.

2. Regel: Die Dauer des Fliessens eines Induktionsstromes entspricht derjenigen der Magnetfeldveränderung.

3. Regel: Der Induktionsstrom ist so gerichtet, dass er durch seine elektromagnetische Wirkung den Vorgang, durch den er entstanden ist, hemmt.

Die Selbstinduktionsströme und infolgedavon die in einem Stromkreis eingeschaltene Drossel, können als eine träge Masse betrachtet werden, die sich dem Abschalten wie dem Ausbreiten des ursprünglichen Stromes entgegensetzt.

Wir können diese träge Masse mit einem schweren, beladenen Lastwagen vergleichen, den wir durch Anstossen in Gang bringen wollen. Es wird uns die Aufwendung all unserer Kräfte, Mühe und Schweiss kosten, das Fahrzeug aus seiner Lage wegzustossen.

Aber wenn unser Lastwagen einmal in Fahrt ist, werden wir die grösste Mühe haben, ihn wieder aufzuhalten (vielleicht werden wir uns sogar vor Gericht dafür zu verantworten haben!).

Zu unserer Drossel zurück. Mit «Selbstinduktions-Koeffizient» einer Drosselspule wird der totale Magnetfluss bezeichnet, der diese Spule entwickelt, wenn sie von einem Strom von 10 A durchflossen wird.

Dennoch macht man einen Unterschied zwischen dem Selbstinduktions-Koeffizienten und dem Magnetfluss, der sich in dessen Bezeichnung ausdrückt.

Wir haben bereits gesehen, dass der Magnetfluss in Maxwell angegeben wird und mit Hilfe der Formel

$$\Phi = \frac{1{,}25 \cdot N^2 \cdot I.S.}{l}$$

berechnet wird.

Der Selbstinduktionskoeffizient wird in cm angegeben. Er wird mit L bezeichnet und mittels der Formel

$$L = \frac{1{,}25 \cdot 10 \cdot N^2 \cdot I.S.}{l} = \frac{12{,}5 \cdot N^2 \cdot I.S.}{l}$$

berechnet.

Ferner wird L auch in «Henry» ausgedrückt. (Ein «Henry» entspricht dem Selbstinduktionskoeffizienten einer Spule, welche eine E.M.K. von 1 V erzeugt. Diese E.M.K. von 1 V wird hervorgerufen durch eine Stromstärkeänderung von 1 A in 1 Sekunde, was sich in einer Magnetfeldveränderung auswirkt.)

Es entspricht:

1 H = 1000 mH (Millihenry)

1 H = 10^6 µH (Mikrohenry)

1 H = 10^9 cm

Gegenseitige Induktion. Wenn wir die zwei Spulen auf Fig. 77 betrachten, wird uns ohne weiteres klar sein, dass jede einen ganz bestimmten Selbstinduktionskoeffizienten haben wird.

Um unseren Versuch einfacher zu gestalten, werden wir ausnahmsweise und absichtlich den Selbstinduktions-Koeffizienten an dieser Stelle durch den Magnetfluss ausdrücken.

Nehmen wir also an, dass B_1 einen Magnetfluss von 100 und B_2 einen solchen von 1000 Maxwell erzeugen. Da eine Spule an die andere gereiht ist (in Serie), werden sich selbstverständlich die Kraftlinien der einen und der andern überschneiden.

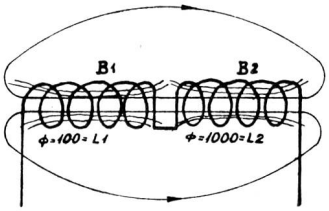

Fig. 77

Man wird ohne Zweifel einsehen, dass der Magnetfluss von B_1 nicht mehr 100 Maxwell betragen wird, sondern 100 + ein Kraftfluss Φ von B_2 herrührend, z. B. 10, total also 110; das gleiche gilt für B_2.

Diese Zunahme des Kraftflusses wird mit gegenseitiger Induktion = m bezeichnet.

Die gegenseitige Induktion hat immer für beide Spulen die gleiche Grösse. Somit beträgt der Induktionskoeffizient für die Spulengruppe B_1, B_2:

$$L \text{ total} = L_1 + m + L_2 + m$$

oder

$$L \text{ total} = L_1 + L_2 + 2\,m$$

Die gegenseitige Induktion ist positiv, sie addiert sich zum Induktionskoeffizienten.

(Fortsetzung folgt.)