



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Lehrbuch der Experimentalphysik**

**Lommel, Eugen von**

**Leipzig, 1908**

268. Magnetelektrische Maschine

---

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

Zum Betriebe eines Funkeninduktors bedarf man eines selbsttätigen Unterbrechers. Als solchen verwendet man bei kleineren Induktoren den Wagnerschen Hammer (s. Fig. 236 bei *W*). Bei größeren Induktoren, die zum Betriebe einer höheren Stromstärke bedürfen, genügt aber die Berührung zwischen Platin spitze und Platinplättchen nicht; hier verwendet man zweckmäßiger einen starken, in einen Napf voll Quecksilber eintauchenden Platinstift. Zur Unterbrechung des Stromes wird der Stift entweder durch die Wirkung eines Elektromagneten (wie beim Wagnerschen Hammer) aus dem Quecksilber herausgerissen und dann durch eine Feder wieder zurückgeführt (Foucaultscher Quecksilber-Unterbrecher) (s. Fig. 236 bei *F*), oder er wird durch einen kleinen Elektromotor in eine rasche, hin- und hergehende Bewegung versetzt (Motor-Unterbrecher). Man schwächt dabei den Öffnungsfunkens und schützt das Quecksilber vor Verdampfung, indem man die Quecksilberoberfläche mit einer Schicht Wasser oder Alkohol bedeckt. Einfacher als diese mechanischen Unterbrecher ist der in jüngster Zeit von Wehnelt konstruierte elektrolytische Unterbrecher. Wenn man einen Strom durch eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Zersetzungszelle schickt und die eine Elektrode sehr klein wählt, indem man z. B. einer großen Bleiplatte eine kurze in ein isolierendes Rohr eingesetzte Platin spitze gegenüberstellt, so tritt an dieser Spitze infolge der hohen Stromdichtigkeit eine Erhitzung des Elektrolyten bis zur Verdampfung ein. Durch die Dampfhülle, die die Spitze umgibt, wird der Strom plötzlich unterbrochen. Befindet sich nun eine Drahtspule, z. B. die primäre Spule eines Induktoriums, im Stromkreise, so entsteht bei dieser plötzlichen Stromunterbrechung ein Öffnungsfunkens zwischen Elektrolyt und Platin spitze, der durch seine explosionsartige Wirkung die Dampfhülle zerstört und zu erneutem Stromschluß Veranlassung gibt. Das Spiel wiederholt sich dann. Diese Unterbrechungen folgen sehr rasch aufeinander und sind sehr vollständig, so daß mit diesem Unterbrecher schon kleinere Induktoren sehr kräftige Wirkungen geben. Er funktioniert in der angegebenen Weise aber nur richtig, wenn die Spitze als Anode, die Platte als Kathode benutzt wird. Er verlangt höhere Spannung der treibenden Batterie als die mechanischen Unterbrecher; man kann unmittelbar die Spannungen elektrischer Zentralen benutzen (110 Volt und mehr). Da seine Wirkung auf der Betätigung des Öffnungsfunkens beruht, so muß er ohne Kondensator benutzt werden.

**268. Magnetelektrische Maschine.** Die Induktionserscheinungen gewähren die Möglichkeit, ohne Zuhilfenahme von galvanischen Elementen oder anderen Stromquellen, ausschließlich durch Bewegung von Spulen in einem Magnetfelde elektrische Ströme zu erzeugen. Wir betrachten zunächst die Induktionswirkung in einem einfachen geschlossenen Leiter, etwa dem Drahtviereck *a b c d* (Fig. 237), wenn dasselbe durch ein Magnetfeld senkrecht zu den Kraftlinien in der Richtung *B A* hindurchbewegt wird. Nach der Rechten-Hand-Regel (260) werden dabei in den Seiten *a b* und *c d* elektromotorische Kräfte induziert, die gleich groß sind und sich daher gegenseitig aufheben, wenn *a b* und *c d* in gleicher Zeit gleich viele Kraftlinien schneiden. Schneidet aber *a b* mehr Kraftlinien als *c d*, treten also durch *a b* mehr Kraftlinien in die Fläche des Vierecks ein, als durch *c d* aus ihm austreten, so überwiegt die elektromotorische Kraft in *a b* und es entsteht ein Strom in der Richtung *a b c d b*. Treten aber umgekehrt durch *c d* mehr Kraftlinien aus, als durch *a b* eintreten, so überwiegt die elektromotorische Kraft in *c d* und es entsteht ein Strom in der entgegengesetzten Richtung *a b c d*. Allgemein kann man sagen: In einer Spule entsteht ein Induktionsstrom, sobald sich die Zahl der magnetischen Kraftlinien, die die Spule durchsetzen,

ändert. Die Größe der induzierten elektromotorischen Kraft ist durch die Zahl der in der Sekunde in die Spule eintretenden oder austretenden Kraftlinien bestimmt; die Richtung aber ist entsprechend dem Lenzschen Gesetze stets so, daß der Induktionsstrom mit seinen magnetischen Kraftlinien der Änderung des Feldes entgegenwirkt. Nimmt die Zahl der Kraftlinien zu, so ist der Induktionsstrom so gerichtet, daß sein Kraftfeld dem erregenden entgegengesetzt gerichtet ist; nimmt jenes ab, so ist das Kraftfeld des Induktionsstromes ihm gleichgerichtet. Diese Fassung des Induktionsgesetzes macht die Wirkungsweise der zur Stromerzeugung dienenden Maschinen leicht verständlich.

Bei den ältesten Maschinen benutzte man zur Erzeugung des magnetischen Feldes Stahlmagnete; man bezeichnet derartige Maschinen als **magnetoelektrische** Maschinen. Einem kräftigen

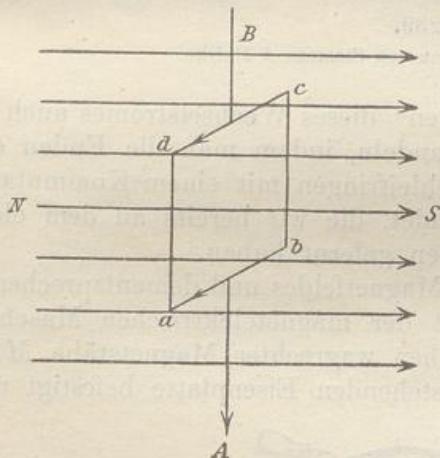


Fig. 237.

Induktion in geschlossenem Leiter bei Bewegung durch ein Magnetfeld.

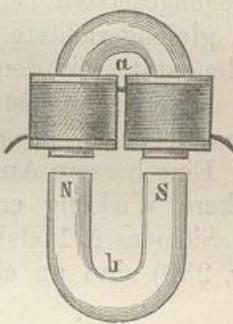


Fig. 238.

Magnetinduktion.

Hufeisenmagneten (Fig. 238) steht ein ebenfalls hufeisenförmiger Eisenkern gegenüber, dessen Schenkel mit Drahtspulen umgeben sind. Entweder der Magnet (Pixii, 1832) oder der Eisenkern mit den Spulen (Clarke, 1836) ist drehbar um die Mittellinie *ab*. In der gezeichneten Stellung gehen die Kraftlinien durch die linke Spule von unten nach oben, durch die rechte von oben nach unten. Wird der bewegliche Teil um  $90^\circ$  gedreht, so verschwinden die Kraftlinien und treten bei weiterer Drehung um  $90^\circ$  in umgekehrter Richtung wieder in die Spulen ein. Während dieser Drehung wird in jeder Spule eine elektromotorische Kraft von bestimmter Richtung induziert; durch passende Verbindung der Spulen können diese Kräfte addiert oder hintereinandergeschaltet werden. Bei weiterer Drehung um  $180^\circ$  aber verschwinden die Kraftlinien wieder aus ihrer umgekehrten Lage und kehren in die ursprüngliche zurück. Während dieser

zweiten Hälfte der Bewegung wird daher eine elektromotorische Kraft von entgegengesetzter Richtung induziert. Verbindet man die freien Enden der Spulen mit zwei isolierten Kupferringen auf der Drehungsachse, so kann man durch Federn, die auf diesen Ringen schleifen, die Spulen mit einem äußeren Stromkreise verbinden. Bei dauernder Drehung zirkuliert in diesem dann ein Strom, der nach jeder halben Umdrehung seine Richtung wechselt, und zwischen diesen Umkehrpunkten in seiner Stärke ansteigt und wieder abfällt. Einen solchen Strom nennt man einen Wechselstrom. Man kann aber die beiden

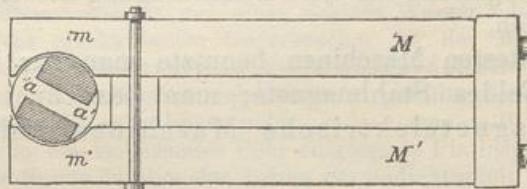


Fig. 239.  
Magnetelektrische Maschine von Siemens & Halske.

entgegengesetzten Teile oder „Phasen“ dieses Wechselstromes auch in zwei gleichgerichtete Phasen verwandeln, indem man die Enden der Spulen statt mit den isolierten Schleifringen mit einem Kommutator von derselben Konstruktion verbindet, die wir bereits an dem elektromagnetischen Motor (251) kennen gelernt haben.

Eine bessere Ausnutzung des Magnetfeldes und dementsprechende stärkere Wirkung erzielt man mit der magnetoelektrischen Maschine von Siemens & Halske. Zwei Reihen wagrechter Magnetstäbe  $M M'$  (Fig. 239) sind an einer lotrecht stehenden Eisenplatte befestigt und

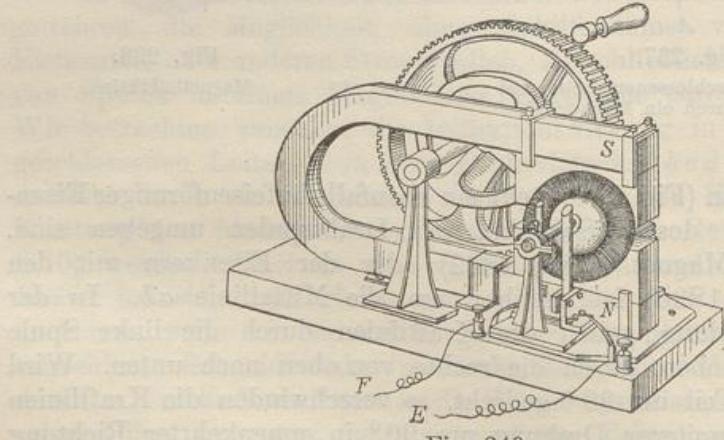


Fig. 240.  
Magnetelektrische Maschine von Gramme.

an ihren vorderen Enden bei  $m m'$  derart ausgedreht, daß die hierdurch gebildete zylindrische Höhlung den „Zylinderinduktor“ aufzunehmen vermag. Dieser besteht aus einem Eisenkern, dessen Gestalt an seinem doppel-T-förmigen Querschnitt  $a a'$  zu erkennen ist; in seine

seitlichen Ausbuchtungen kommen die Drahtwindungen der Länge nach zu liegen; das Ganze ist von einer schützenden Messinghülle umgeben, die oben und unten die Zapfen der Drehungsachse trägt.

Diese Maschinen liefern bei Anwendung eines Kommutators zwar einen stets gleichgerichteten Strom, aber keinen konstanten, sondern einen pulsierenden, in seiner Intensität periodisch auf- und abschwankenden Strom.

Ein wesentlicher Fortschritt im Bau magnetoelektrischer Maschinen wurde durch die Einführung des Pacinottischen (1860) oder Grammeschen (1871) Ringankers erzielt. Bei der Grammeschen Maschine (Fig. 240) dreht sich zwischen den Polen *N* und *S* eines hufeisenförmigen Magnets um eine zur Ebene seiner Schenkel senkrechte Achse ein Ring von weichem Eisen *ABCD* (Fig. 241); auf ihn ist eine Anzahl von Drahtspulen aufgeschoben, von denen jede mit der folgenden in fortlaufender Verbindung steht. Von den Verbindungsstellen je zweier benachbarter Spulen laufen metallische

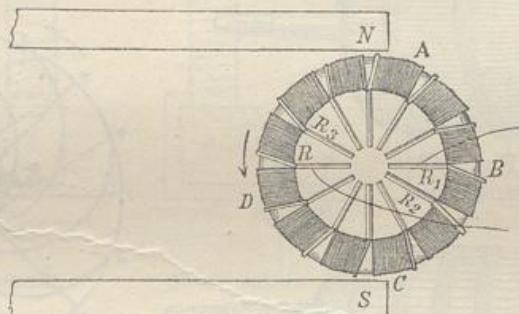


Fig. 241.  
Zur Grammeschen Maschine.

Fortsätze  $R R_1 R_2 R_3$  zur Achse des Ringes, wo sie rechtwinklig umgebogen und isoliert voneinander auf der Achse parallel zu ihr befestigt sind. Zwei Drahtbündel oder Bürsten (in der Figur 241 angedeutet durch von  $R$  und  $R_1$  auslaufende Drähte) schleifen federnd beiderseits auf diesem Teil der Achse, den man den Kollektor nennt, und nehmen die während der Umdrehung in den Spulen erregten Induktionsströme auf. Unter dem Einfluß des Magneten wird nämlich der Ring selbst magnetisch, und zwar so, daß er gleichsam aus zwei halbkreisförmigen Magneten  $ABC$  und  $ADC$  besteht, welche in *A* und *C* mit gleichnamigen Polen zusammenstoßen und in *B* und *D* ihre neutralen Stellen haben. Die Lage dieser Pole ändert sich während der Umdrehung des Ringes nicht, da ja das weiche Eisen seine Magnetisierung nicht festhält; die Wirkung ist somit die nämliche, als ob der Eisenring mit einem Südpol bei *A* und einem Nordpol bei *C* unbeweglich stehen bliebe und bloß die Drahtspulen längs desselben dahinglitten. Dabei schwankt die Zahl der Kraftlinien in den Spulen periodisch auf und ab. Sie ist am größten in den Punkten *B* und *D*, gleich Null in den Punkten *A* und *C*,

in denen die Richtung der Kraftlinien in Beziehung zur Spulenachse sich bei der Bewegung der Spulen umkehrt. Daher hat die induzierte elektromotorische Kraft in allen Spulen der unteren Hälfte die eine, in allen der oberen Hälfte die entgegengesetzte Richtung. Die Spulen jeder Hälfte verhalten sich wie hintereinander geschaltete galvanische Elemente, sie addieren ihre elektromotorischen Kräfte. Die beiden Hälften aber halten sich mit ihren entgegengesetzten Kräften in sich das Gleichgewicht und wirken auf den äußeren Stromkreis wie zwei parallel geschaltete Reihen von Elementen, von denen jede die Hälfte des äußeren Stromes liefert. Fig. 242 zeigt die Ausführung eines derartigen Ringankers mit dem Kollektor.

Beim Grammeschen Ring schneiden nur die an der Außenseite des Ringes befindlichen Teile der Drahtwindungen die Kraftlinien.

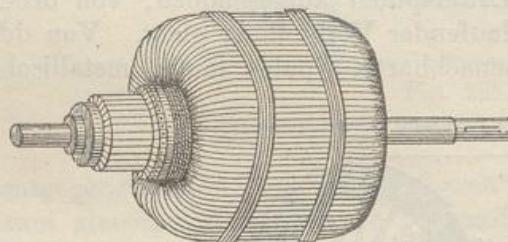


Fig. 242.  
Ringanker.

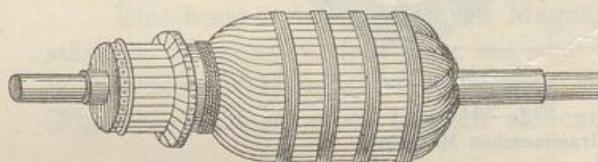


Fig. 243.  
Trommelanker.

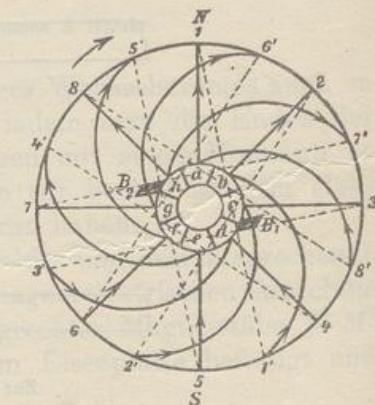


Fig. 244.  
Wickelungsschema eines Trommelankers.

Die Induktionswirkung beschränkt sich daher auf diese Teile, und die auf der Innenseite befindlichen Stücke der Drahtwindungen dienen nur zur Rückleitung. In dieser Beziehung zweckmäßiger und außerdem leichter herzustellen ist der Trommelanker von Hefner-Alteneck (Fig. 243). Er ist gewissermaßen aus dem Doppel-T-Anker von Siemens & Halske (Fig. 239) hervorgegangen, indem er auch aus einem zylindrischen Eisenkern besteht, der der Länge nach mit Draht umwickelt ist; doch trägt er nicht eine Spule, sondern eine größere Anzahl von Spulen, deren Windungsebenen um gleiche Winkel gegeneinander gedreht sind, und die genau wie die Spulen des Grammeschen Ringes mit Hilfe eines Kollektors in zwei Reihen hintereinander geschaltet sind, so daß auch hier die Ströme beider Hälften an den neutralen Punkten des Kollektors durch Schleifbüren abgenommen werden können. Fig. 244 stellt schematisch diese Art der Bewickelung für einen Trommelanker mit 8 Spulen dar;  $a b c \dots h$  sind die Lamellen des Kollektors;  $B_1 B_2$  sind

die Schleifbürsten. Diese Art der Bewickelung ist die heutzutage übliche.

**269. Dynamoelektrische Maschinen.** Ring- und Trommelwickelung sind zuerst an magnetoelektrischen Maschinen eingeführt worden. Natürlich erhält man wesentlich stärkere Wirkungen, wenn man statt der Stahlmagnete Elektromagnete benutzt. Es ist nun offenbar möglich, den im rotierenden Anker erzeugten Strom um diese Elektromagnete herumzuleiten, und zwar in solcher Richtung, daß die Erregung der Elektromagnete dadurch verstärkt wird. Dabei fand W. Siemens (1862), daß eine anfängliche Erregung dieser Elektromagnete durch eine besondere Stromquelle ganz entbehrlich ist. Der schwache auch im weichsten Eisen zurückbleibende

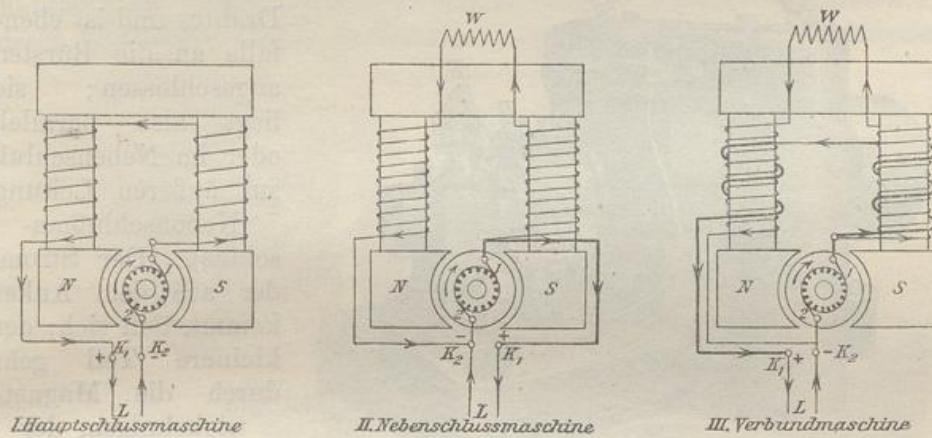


Fig. 245.  
Typen der Dynamomaschinen.

Magnetismus der Elektromagnete reicht vielmehr hin, um beim Drehen des Ankers in diesem einen zunächst schwachen Induktionsstrom zu erregen, welcher den Magnetismus der Elektromagnete bei richtiger Zuleitung steigert und dadurch wiederum die Induktion verstärkt. Bei fortgesetzter Drehung wird nach diesem Prinzip die Stromstärke im Schließungskreis bis zu einer Grenze gesteigert, welche durch die Sättigung der Magnete und andere Umstände bedingt ist. Die Aufstellung dieses dynamoelektrischen Prinzips durch W. Siemens bildete die Grundlage für die Entwicklung der modernen Elektrotechnik. Nach diesem Prinzip sind die dynamoelektrischen Maschinen (Dynamo-maschinen oder auch bloß Dynamos) gebaut, die heutzutage oft in gewaltigen Dimensionen zur Erzeugung elektrischer Ströme benutzt werden. Dabei liegt eine dreifache Möglichkeit der Anwendung des dynamoelektrischen Prinzipes vor und man unterscheidet demgemäß drei verschiedene Typen von Dynamomaschinen, die durch die drei Schemata der Fig. 245 erläutert werden mögen. Man kann erstens den Strom, der aus dem rotierenden Anker bei Bürste 1 herauskommt, zunächst um die Feldmagnete herumleiten, von da zur positiven Polklemme  $K_1$  der Maschine, von der aus er in die Gebrauchsleitung strömt, um von ihr zur negativen Polklemme  $K_2$  und der