

Induktion Handout

Geschichtlicher Hintergrund

Ausgangspunkt für die Entdeckung der elektromagnetischen Induktion waren Vorstellungen von der Einheit der Naturkräfte und vermutete Zusammenhänge zwischen der Elektrizität und dem Magnetismus. Bereits 1820 bemerkte Oersted durch einen Versuch, dass eine Magnetnadel in der Nähe eines elektrischen Leiters abgelenkt wird (siehe Vortrag zum Magnetismus). Andere Wissenschaftler wie Ampere oder Faraday bauten die Versuche von Oersted nach und erweiterten dieses. Hierbei fand Faraday nach neunjähriger Forschung 1831 die elektromagnetische Induktion. Beim Ein- und Ausschalten des Stroms entdeckte er einen schwachen Strom im Nebenschluss. Innerhalb von drei Monaten entwickelte er die Grundversuche der Induktion und einen Vorreiter des elektrischen Generators.

Doch was ist eigentlich die elektromagnetische Induktion?

Die elektromagnetische Induktion ist die Erscheinung, dass zeitlich veränderliche Magnetfelder elektrische Spannungen erzeugen.

Man kann sich also merken:

Wenn man einen elektrischen Leiter, zum Beispiel eine Leiterschleife, in ein veränderliches Magnetfeld bringt, so wird an ihr eine Spannung abfallen. Diese Spannung wird Induktionsspannung genannt.

Der magnetische Fluss Φ

Der magnetische Fluss kann auch durch eine zeitliche Veränderung der vom Feld durchsetzten Fläche entstehen. Diese zwei Änderungen, die Änderung der vom Feld durchsetzten Fläche oder der magnetischen Feldstärke, können wir in einer Größe zusammenfassen, dem magnetischen Fluss Φ . Φ ist also $B \times A$. Als Einheit für den magnetischen Fluss Φ erhalten wir eine Vs bzw. 1 Wb

Die Anzahl der Feldlinien ist ein Maß für den magnetischen Fluss.

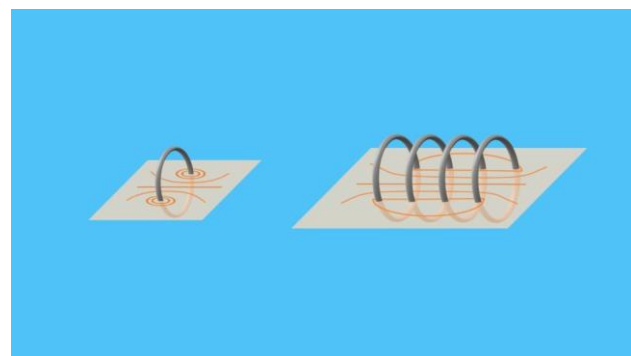
Leiterschleife

In der Abbildung sieht man einen stromdurchflossenen Leiter. An jedem Punkt des Leiters erzeugt der Strom ein Magnetfeld, das kreisförmig um den Leiter verläuft. Das Feld ist dabei auf einer Ebene, die senkrecht zum Leiter liegt. Insgesamt kann man sich also das Magnetfeld wie eine zylindrische Ummantelung des Leiters vorstellen. Durch die rechte Hand Regel kann man nun die Richtung der Feldlinien bestimmen. Sie verlaufen, wie in der Abbildung veranschaulicht, gegen den Uhrzeigersinn.



(Abb. 01)

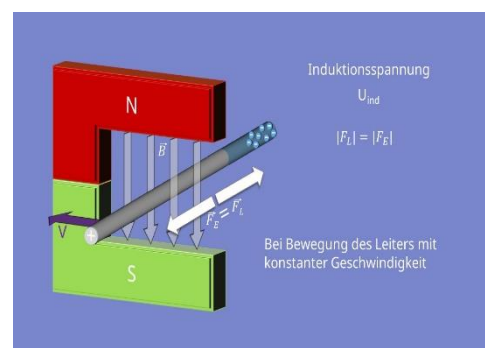
Krümmt man den Leiter nun zu einer Schleife, so krümmt sich auch diese Ummantelung. Ein Querschnitt durch das magnetische Feld sieht dann so, wie in der Abbildung veranschaulicht, aus. Eine übliche Induktionsspule besteht aber nicht nur aus einer einzigen Schleife, sondern aus vielen Windungen. Dies kann man rechts in der Abbildung erkennen



(Abb. 02)

Leiter im Magnetfeld

Der Leiter befindet sich, wie im Bild veranschaulicht, zwischen dem Nord- und Südpol eines Hufeisenmagnets. Bewegt man nun den Leiter senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfeldes, so wirkt auf die Ladung innerhalb des Leiters eine Kraft. Diese Kraft wird als Lorentzkraft bezeichnet. Dadurch werden die Ladungsträger senkrecht zum Magnetfeld und senkrecht zur Bewegungsrichtung des Leiters abgelenkt. Dadurch entsteht ein Elektronenüberschuss am hinteren Ende des Leiters und das vordere Drahtende wird positiv geladen. Die Ladungstrennung bewirkt das Auftreten einer elektrischen Kraft. Sie wirkt entgegengesetzt zur Lorentzkraft. Bei der Bewegung des Leiters halten sich die Lorentzkraft und die elektrische Kraft im Gleichgewicht.



(Abb. 03)

Herleitung der Gleichung zur Berechnung der Induktionsspannung

Da wir wissen, dass sich die Lorentzkraft und die elektrische Kraft in Waage halten, können wir die elektrische Kraft mit der Lorentzkraft gleichsetzen.

$$F_L = F_{el}$$

Wir wissen, dass die Lorentzkraft das Produkt aus der magnetischen Feldstärke B , der Ladung q und der Geschwindigkeit des Leiters ist und die elektrische Kraft das Produkt aus der elektrischen Feldstärke E und der Ladung q ist. Daraus folgt:

$$B \cdot q \cdot v = E \cdot q$$

Nun können wir die Ladung q der Elektronen auf beiden Seiten wegkürzen.

$$B \cdot v = E$$

Wir wissen, dass die elektrische Feldstärke E , die Spannung U durch d ist. U ist in diesem Fall die induzierte Spannung U_{ind} . Nun können wir unsere Gleichung ergänzen.

$$B \cdot v = \frac{U_{ind}}{d}$$

Nun können wir die Gleichung nach U umformen.

$$U_{ind} = B \cdot v \cdot d$$

Die Geschwindigkeit v ist die zeitliche Veränderung der Strecke Δs .

Δs mal d ergibt die Veränderung der vom Feld durchsetzten Fläche ΔA .

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \text{ und } \Delta s \cdot d = \Delta A$$

Nun können wir unsere Gleichung durch die zwei dazugewonnenen Informationen ergänzen.

$$U_{ind} = B \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} \cdot d \text{ für die erste dazugewonnene Information und}$$

$$U_{ind} = B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} \text{ für die zweite dazugewonnene Information.}$$

Induktion kann aber auch durch eine zeitliche Veränderung der magnetischen Feldstärke B entstehen. Demnach kann für die induzierte Spannung auch folgendes gelten:

$$U_{ind} = A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

Induktionsspule und LENZsche Regel

Nun betrachten wir eine Induktionsspule mit n Windungen der Fläche A .

Für unsere hergeleitete Gleichung gilt:

$$U_{ind} = n \cdot B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad \text{oder} \quad U_{ind} = n \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

Nun muss man nur noch eine Kleinigkeit ergänzen.

Nach der LENZschen Regel ist der Induktionsstrom stets so gerichtet, dass er seiner Ursache entgegenwirkt. Daraus folgt:

$$-F_L = F_{el}$$

Für unsere hergeleitete Induktionsspannung bedeutet das:

$$U_{ind} = -n \cdot B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad \text{oder} \quad U_{ind} = -n \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

Da wir nun wissen, dass der magnetische Fluss Φ das Produkt aus der Fläche A und der Feldstärke B ist, können wir unsere hergeleitete Formel noch ein letztes Mal ergänzen.

$$U_{ind} = -n \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Der THOMSONSche Ringversuch

Zur Versuchsbeschreibung:

Der THOMSONSche Ringversuch gilt als einer der wichtigsten Induktionsversuche, weil er die LENZsche Regel bestätigt. Die Spule, mit Eisenkern, wird mittels einer Schraubzwinge am Tisch fixiert. An den Kondensator wird ein Voltmeter angeschlossen. Der Kondensator ist mit dem Eingang des Netzgerätes verbunden. Am Ausgang des Netzgerätes ist ein Widerstand angeschlossen, der mit dem ersten Kontakt des Schalters verbunden ist. Der Kondensator ist am mittleren Anschluss mit dem Schalter verbunden. Die Spule ist mit dem dritten Anschluss des Kondensators verbunden.

Beobachtung und Erläuterung des Ringversuchs:

Beim Umlegen des Schalters fliegt der Aluminiumring vom Eisenkern hoch. Durch den Stromfluss baut sich im Aluminiumring ein magnetisches Feld auf. Durch das magnetische Feld wird im Ring ein Strom induziert. Durch das Umlegen des Schalters kommt es zu einem Kurzschluss des Kondensators über die Spule. Durch den Kurzschluss des Kondensators kommt es zu einer sehr hohen Änderung des magnetischen Flusses in der Umgebung der Spule. Der induzierte Strom wirkt der Ursache seiner Entstehung (LENZsche Regel) entgegen, weshalb es zur Abstoßung des Rings kommt. Das entstandene Magnetfeld ist dem ursprünglichen Magnetfeld entgegengerichtet.

Aufgabe

Es wird eine Elektronenstrahlröhre betrachtet.

Zwischen den Kondensatorplatten mit dem Abstand 10 cm liegt eine Ablenkspannung von 2000 V an. Bestimme den Betrag der magnetischen Flussdichte B, der beim Eintritt in das Magnetfeld eine gleiche Kraft auf die Elektronen ausübt.

Rechne mit einer Geschwindigkeit von $10.000.000 \frac{m}{s}$

geg: $d = 0,1m$; $U_A = 2000V$; $v = 10.000.000 \frac{m}{s}$

ges: $B = ?$

Herleitung der Gleichung

Damit die Lorentzkraft beim Eintritt in das Magnetfeld eine gleiche Kraft, wie im elektrischen Feld, auf die Elektronen ausübt, muss die Lorentzkraft im Magnetfeld gleich der elektrischen Kraft sein.

$$F_L = F_{el}$$

$$q \cdot v \cdot B = E \cdot q$$

$$v \cdot B = E$$

$$E = \frac{U}{d}$$

$$v \cdot B = \frac{U}{d} \rightarrow B = \frac{U}{d \cdot v}$$

Rechnung

$$B = \frac{2000 \text{ Vs}}{0,1m \cdot 1 \cdot 10^7 \frac{m}{s}}$$

$$B = 2,0 \cdot 10^{-3} T$$

Antwortsatz

Die magnetische Flussdichte B muss 2,0 mT betragen, damit beim Eintritt in das Magnetfeld eine gleiche Kraft auf die Elektronen ausgeübt wird.

Literaturverzeichnis

Abb. 01:

<https://studyflix.de/elektrotechnik/spule-und-induktion-267>, aus dem Internet entnommen am 22.02.2021

Abb. 02:

<https://studyflix.de/elektrotechnik/spule-und-induktion-267>, aus dem Internet entnommen am 22.02.2021

Abb. 03:

<https://studyflix.de/elektrotechnik/spule-und-induktion-267>, aus dem Internet entnommen am 22.02.2021