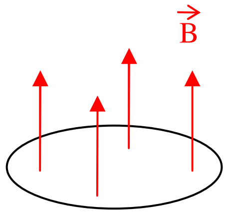
Physik Q11 * Induktionsspannungen und Induktionsgesetz (Teil 2)

Die beiden Gesetzmäßigkeiten für die in einer Spule induzierten Spannung

$\boxed{U_{ind}(t) = N \cdot A \cdot \dot{B}(t) \quad \text{bzw.} \quad U_{ind}(t) = N \cdot B \cdot \dot{A}(t)}$ lassen sich zu einem einzigen Gesetz zusammenfassen, wenn man eine neue physikalische Größe Φ (den magnetischen Fluss) einführt.

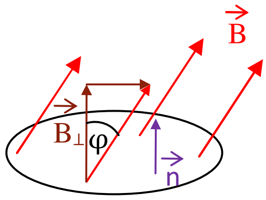
Durchsetzt ein Magnetfeld der Flussdichte B senkrecht eine ebene Leiterschleife mit dem Flächeninhalt A, so nennt man $\Phi = A \cdot B$ den magnetischen Fluss Φ durch diese Leiterschleife.



$\boxed{\mathbf{\Phi = A \cdot B}}$

Durchsetzt das Magnetfeld die Leiterschleife unter einem Winkel φ zur Flächensenkrechten (auch Flächennormale $\vec{n}$ genannt), so wird für den magnetischen Fluss Φ nur die senkrechte Komponente von B verwendet, also

$\boxed{\mathbf{\Phi = A \cdot B \cdot \cos(\varphi)}}$



$$\boxed{\mathbf{\Phi = A \cdot B_\perp = A \cdot B \cdot \cos(\varphi)}}$$

Hinweis: Der magnetische Fluss Φ wird in der Einheit Vs (Voltsekunden) gemessen, denn $[\Phi] = [A \cdot B] = m^2 \cdot T = m^2 \cdot \frac{Vs}{m^2} = Vs$. Nun wird auch der Name „magnetische Flussdichte“ für B verständlich, denn $B = \frac{\Phi}{A}$.

Das Induktionsgesetz kann man nun noch einfacher schreiben:

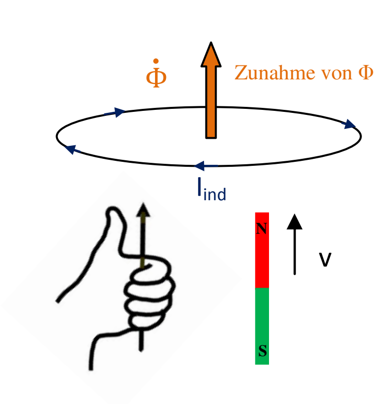
Ändert sich durch eine Leiterschleife der magnetische Fluss $\Phi(t)$, so wird in der Leiterschleife die Spannung $U_{ind}(t) = -\dot{\Phi}(t)$ induziert.
Im Falle einer Spule mit N Windungen folgt damit

$$\boxed{U_{ind}(t) = -N \cdot \dot{\Phi}(t) = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \qquad \textbf{(Induktionsgesetz)}}$$

Das Minuszeichen bringt mathematisch die unten veranschaulichte Linke-Hand-Regel zum Ausdruck. Nähert man einer Leiterschleife z.B. von unten den Stabmagneten, so nimmt B und damit Φ von unten nach oben durch die abgebildete Leiterschleife zu.

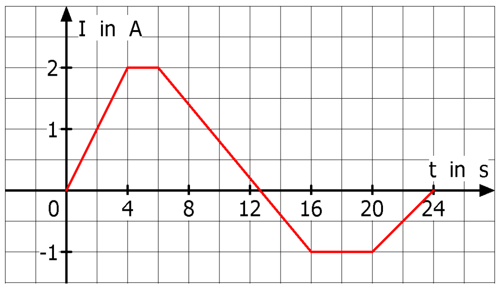
Der Daumen der linken Hand zeigt in Richtung von $\dot{\Phi}$.
Die induzierte Spannung verursacht einen Stromfluss in der durch die Finger der linken Hand festgelegten Richtung.

Das Minuszeichen rührt damit (physikalisch) von der bekannten Lenzschen Regel her, die aus dem Energieerhaltungssatz folgt.



Aufgabe 1

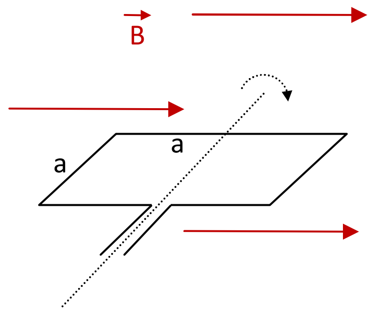
Durch eine Feldspule (800 Windungen, Länge 25cm, Querschnittsfläche $36cm^2$) fließt der im Diagramm dargestellte elektrische Strom.
In der Feldspule befindet sich eine Induktionsspule (200 Windungen, Länge 10cm, Querschnittsfläche $20cm^2$).



a) Bestimmen Sie den von der Feldspule erzeugten magnetischen Fluss $\Phi(t)$ in Abhängigkeit von der Zeit.
b) Berechnen Sie die in der Induktionsspule induzierte Spannung $U(t)$ und skizzieren Sie das zugehörige t - U_{ind} - Diagramm.

Aufgabe 2 (Erzeugung sinusförmiger Wechselspannung)

Eine quadratische Spule (Seitenlänge $a = 8{,}0cm$) wird in einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte 0,240 T mit konstanter Winkelgeschwindigkeit gedreht, wobei eine volle Umdrehung von 360^o gerade 0,25 s dauert.



a) Bestimmen Sie den magnetischen Fluss $\Phi(t)$ durch die die Leiterschleife in Abhängigkeit von der Zeit t.
b) Bestimmen Sie die an den Enden der Leiterschleife auftretende Induktionsspannung $U_{ind}(t)$.
c) Welcher maximaler Spannungswert U_{max} tritt auf? Wie könnte man diesen maximalen Spannungswert vergrößern?

Aufgabe 3 (Effektivwerte von Spannung und Stromstärke)

Betreibt man eine Glühlämpchen (mit Widerstand R) mit Gleichstrom, so gilt für die umgesetzte elektrische Leistung $P = U \cdot I = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2$.
Bei Wechselstrom sind Spannung U und Stromstärke I aber beide sinusförmig, d.h. die umgesetzte Leistung schwankt ständig zwischen 0 Watt und einem maximalen Wert.

a) Zeigen Sie, dass im Wechselstromkreis $P(t) = R \cdot I_{max}^{\;2} \cdot (\sin(\omega t))^2$ gilt.

b) Das Diagramm zeigt U(t), I(t) und P(t). Welchen Mittelwert $\overline{P}$ der Leistung kann man dem Diagramm entnehmen?

c) Für Wechselstromkreise will man die Leistung mit $P = U_{eff} \cdot I_{eff}$ berechnen, wobei $U_{effektiv}$ und $I_{effektiv}$ konstante Werte sein sollen.
Begründen Sie, dass gilt
$I_{max} = \sqrt{2} \cdot I_{eff}$ und $U_{max} = \sqrt{2} \cdot U_{eff}$.