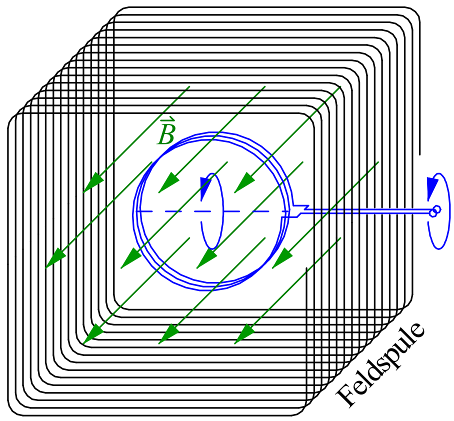
7 BE 1. **Relativitätstheorie**

Berechne, welche Spannung erforderlich ist, um Elektronen im Vakuum auf eine Geschwindigkeit von $0{,}90c$ zu beschleunigen?

2. **Generatorprinzip**

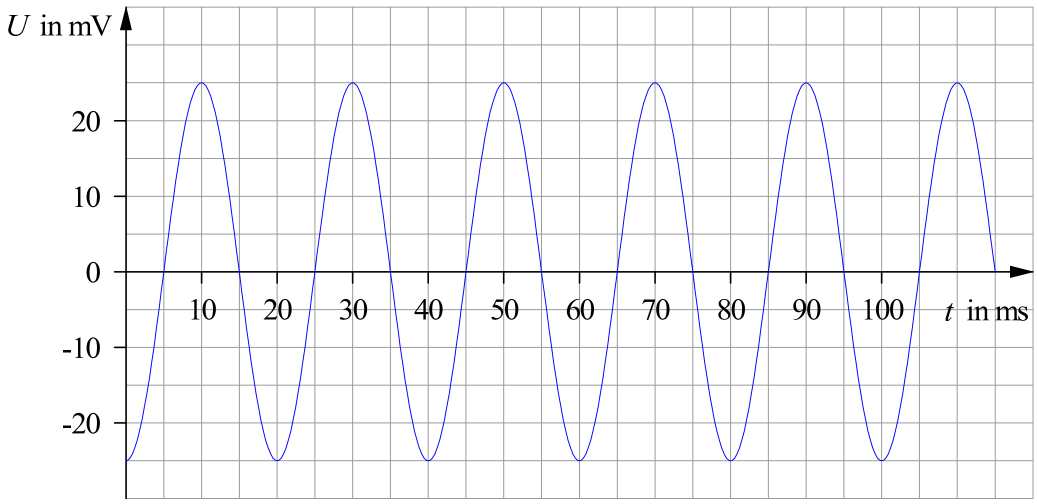
In einer Feldspule von $0{,}80\,\mathrm{m}$ Länge mit $N_\mathrm{F} = 500$ Windungen soll ein magnetisches Feld der Flussdichte $4{,}0\,\mathrm{mT}$ erzeugt werden.



3 BE a) Welcher Strom I muss dazu durch die Feldspule fließen?

Im Inneren der Feldspule rotiert eine flache kreisförmige Induktionsspule um ihren Durchmesser, dessen Länge $5{,}0\,\mathrm{cm}$ beträgt. Die Rotationsachse steht senkrecht zu den Feldlinien des magnetischen Feldes.

Die an den Enden der Induktionsspule induzierte Spannung soll den unten gezeichneten Verlauf haben.



3 BE b) Mit welcher Frequenz muss die Induktionsspule gedreht werden?

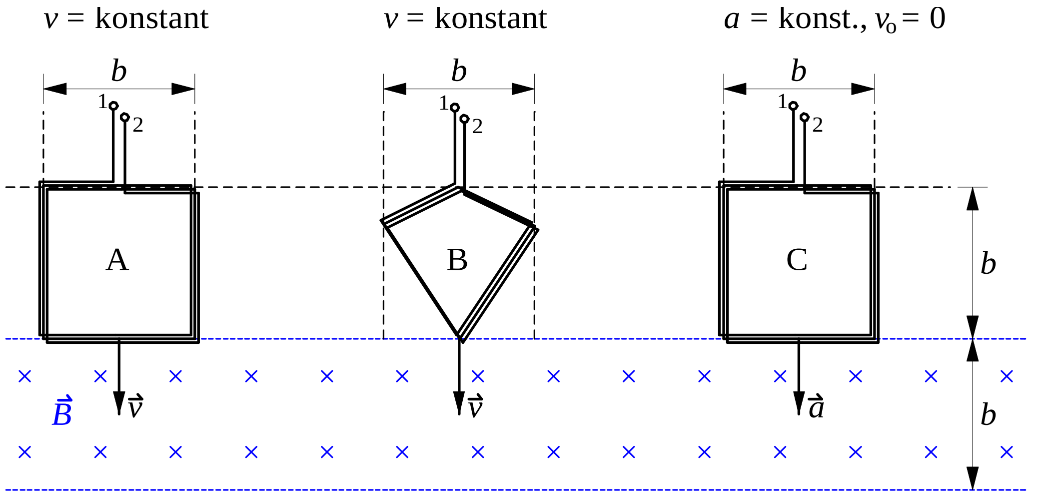
3 BE c) Welche Effektivspannung wird an der Spule abgegriffen?

7 BE d) Berechne, wie viele Windungen (N_I) die Induktionsspule aufweisen muss.

bitte wenden! ⟶

3. **Induktionsspulen**

Die drei Induktionsspulen A, B und C untenstehender Skizze werden jeweils durch das gezeichnete scharf begrenzte homogene Magnetfeld hindurchgezogen. Die Windungszahl jeder Spule beträgt N.



Skizziere die an den Kontakten 1 und 2 induzierten Spannungen für die drei Spulen qualitativ in ein gemeinsames t-U-Diagramm.
(Gleiche Zeiten und gleiche Spannungen sind gleich darzustellen.)

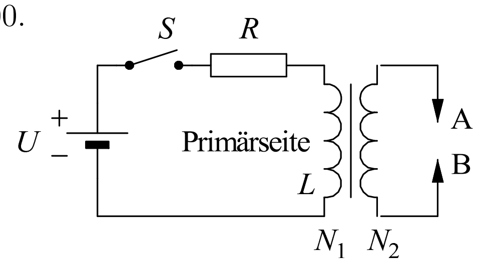
3 BE a) Spule A wird mit konstanter Geschwindigkeit v gezogen.

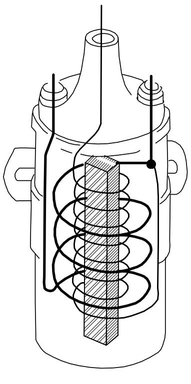
3 BE b) Spule B wird mit konstanter Geschwindigkeit v (wie bei Teilaufgabe a) gezogen.

3 BE c) Spule C bewegt sich mit konstanter Beschleunigung. Die Anfangsgeschwindigkeit zur Zeit $t = 0$ ist Null.

4. **Zündung beim Ottomotor**

Bei einem 4-Zylinder-Ottomotor gibt die Zündspule zweimal pro Umdrehung der Kurbelwelle einen Zündfunken ab. Ein Schema der (vereinfachten) Schaltung gibt untenstehende Zeichnung. Dabei gelte: $U = 12\,\mathrm{V}$, $R = 1{,}0\,\Omega$, $L = 5\,\mathrm{mH}$ (Wirkung an der Primärseite), $N_1 = 100$, $N_2 = 10\,000$.





Zündspule

4 BE a) Erkläre, wann und wodurch zwischen A und B ein Zündfunke entsteht.

4 BE b) Schätze durch eine geeignete Rechnung ab, welche Energie der Zündfunke maximal innehaben könnte.

40 BE

Viel Erfolg! Kink

7 BE 1. geg.: $v = 0,9c$.

Die Spannung erhöht die kinetische Energie:

$$E_{\text{gesamt}} = mc^2$$

$$E_o + E_{\text{kin}} = \frac{m_o c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{E_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - E_o = E_o \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$= 511\,\text{keV} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - 0,9^2}} - 1 \right) = 511\,\text{keV} \cdot 1,294\,2 = 661\,\text{keV}$$

$$U = 661\,\text{kV}$$

2. geg.: $l = 0,80\,\text{m}$, $N_\text{F} = 500$, $B = 4,0\,\text{mT}$.

3 BE a) Magnetische Flussdichte langgestreckter Spulen:

$$B = \mu_0 \frac{I N_\text{F}}{l}$$

$$I = \frac{Bl}{\mu_0 N_\text{F}} = \frac{4,0 \cdot 10^{-3}\,\text{T} \cdot 0,80\,\text{m}}{4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{\text{V s}}{\text{A m}} \cdot 500} = 5,1\,\text{A}$$

geg.: $d = 5,0\,\text{cm} \Rightarrow r = 2,5\,\text{cm}$, $B = 4,0\,\text{mT}$.

3 BE b) Grafik: $T = 20\,\text{ms} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-3}\,\text{s}} = 50\,\text{Hz}$

3 BE c) Aus der Grafik: $U_0 = 25 \cdot 10^{-3}\,\text{V}$

Effektivwert: $U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-2}\,\text{V}}{\sqrt{2}} = 1,8 \cdot 10^{-2}\,\text{V}$

7 BE d) Kreisfrequenz: $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 \frac{1}{\text{s}} = 314 \frac{1}{\text{s}}$

Querschnittsfläche der Induktionsspule:

$$A = r^2 \pi = (0,025\,\text{m})^2 \cdot \pi = 1,96 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^2$$

Magnetischer Fluss durch rotierende Schleife:

$$\Phi(t) = \Phi_\text{m} \cos \omega t = BA \cos \omega t$$

Induktionsgesetz: $U_{\text{ind}}(t) = -N_\text{I} \cdot \dot{\Phi}(t) = N_\text{I} A B \omega \sin \omega t$

Scheitelwert: $U_0 = N_\text{I} A B \omega$

$$N_\text{I} = \frac{U_0}{AB\omega}$$

$$= \frac{25 \cdot 10^{-3}\,\text{V}}{1,96 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^2 \cdot 4,0 \cdot 10^{-3}\,\text{T} \cdot 314 \frac{1}{\text{s}}} = 10$$

3 BE 3. a) Zeit zum Ein- und Ausfahren jeweils gleich.

$$t_1 = t_2 = t_{\text{A}}$$

Induktionsspannung

$$U = \left|-N\dot{\Phi}\right| = \left|-NB\dot{A}\right| = NBbv = \text{ konstant } = U_A$$

3 BE b) Zeit zum Ein- und Ausfahren jeweils gleich t_{A}.

Der Flächenzuwachs unter dem Grafen nimmt anfangs proportional zur Zeit zu und erreicht maximal den Wert von Spule A.

3 BE c) Zeit zum Einfahren:

$$b = \frac{a}{2}t_1^2$$

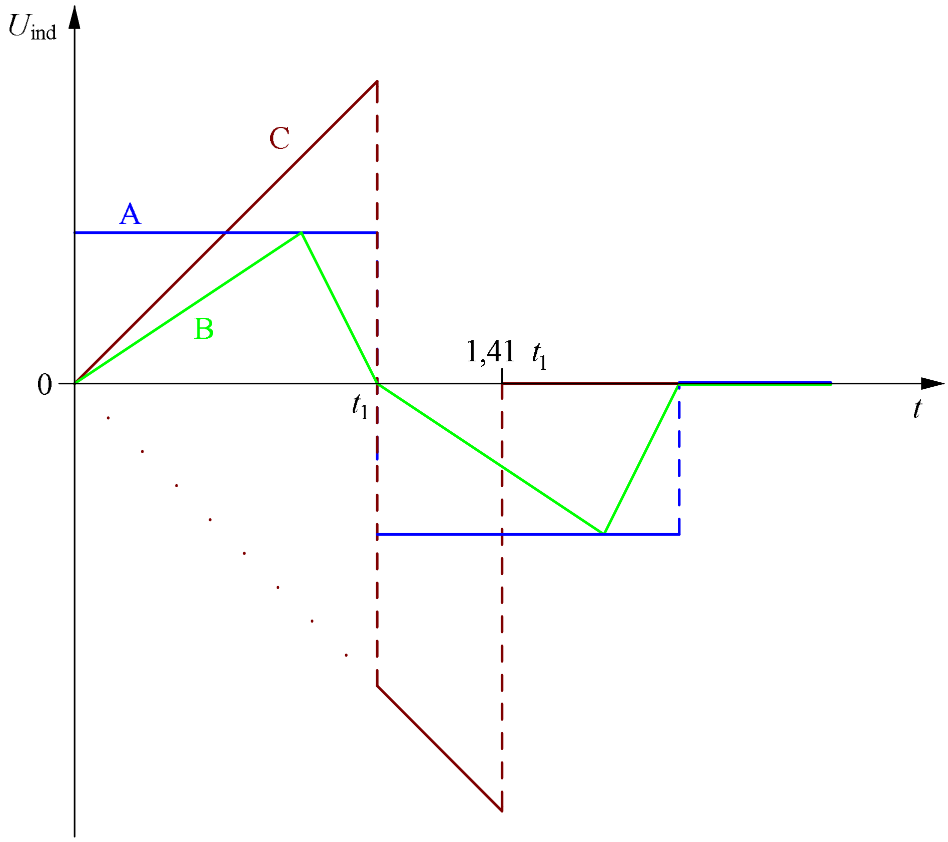
$$t_1 = \sqrt{\frac{2b}{a}}$$

Induktionsspannung: $U = NBbv = NBba \cdot t$

Zeitpunkt des Verlassens:

$$2b = \frac{a}{2}t_2^2$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{4b}{a}} = \sqrt{2} \cdot t_1 \approx 1,41 \cdot t_1$$



(Alternativ: alle Graphen an der t-Achse gespiegelt.)

4. geg: $U = 12\,\mathrm{V}$, $R = 1,0\,\Omega$, $L = 5\,\mathrm{mH}$, $N_1 = 100$, $N_2 = 10\,000$

4 BE a) Wird der Schalter geöffnet, so bricht der Strom in der linken Spule zusammen. Die Starke Abnahme des Stromes führt nach dem Induktionsgesetz zu einer großen Induktionsspannung in Spule (1). Die rechte Spule (2) wirkt wie ein Transformator. Durch die 100-fache Windungszahl wird eine hundert mal so große Spannung in ihr induziert. Sie führt zur Ausbildung des Funkens zwischen A und B.

4 BE b) Maximale Stromstärke:

$$I_o = \frac{U}{R} = \frac{12\,\mathrm{V}}{1,0\,\Omega} = 12\,\mathrm{A}$$

Maximale Eneregie des Funken:

$$W = \frac{1}{2} L I_o^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,005\,\mathrm{H} \cdot (12\,\mathrm{A})^2 = 0,36\,\mathrm{J}$$

40 BE