

2. Schulaufgabe aus dem Fach Physik (12T)

Lösungshinweise (Nachtermin)

Themen: Magnetischer Fluss, Induktionsgesetz, Lenz'sche Regel, Erzeugung einer Wechselspannung, Selbstinduktion, Energie der Spule

Notenschlüssel (Vorschlag: Prozentgrenzen wie Fachabitur, 40 Bewertungseinheiten):

Note	1+	1	1–	2+	2	2–	3+	3	3–	4+	4	4–	5+	5	5–	6
Notenpunkte	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BE ab	38,5	36,5	34,5	32,5	30,5	28,5	26,5	24,5	22,5	20,5	18,5	16,5	14	11	8	0

BE

- LÖSUNGSHINWEISE ZU INDUKTIONSGESETZ -

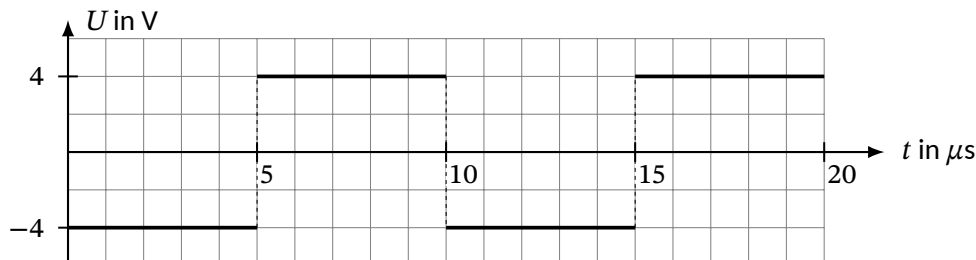
2 **1.1** $\Phi_{\max} = B_{\max} \cdot A = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ Wb} = 0,40 \mu\text{Wb}$

Bewertung: 1 BE Ansatz $\Phi = BA$ mit A in m^2 , 1 BE Ergebnis mit Einheit.

5 **1.2** A konstant: $|U| = NA \frac{\Delta B}{\Delta t}$.

Für $0 < t < 5,0 \mu\text{s}$: $|U| = 50 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \frac{1,0 \cdot 10^{-3} \text{ T}}{5,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 4,0 \text{ V}$;

für $5,0 \mu\text{s} < t < 10 \mu\text{s}$ ebenfalls $|U| = 4,0 \text{ V}$, aber mit umgekehrtem Vorzeichen ($U = -N\dot{\Phi}$: $U = -4,0 \text{ V}$ beim Anstieg, $U = 4,0 \text{ V}$ beim Abfall).



Bewertung: 1 BE Ansatz mit $\Delta B/\Delta t$ aus der Abbildung, 1 BE Ergebnis 4,0 V, 1 BE zweiter Abschnitt gleicher Betrag, 2 BE Skizze (Rechteckspannung, Vorzeichenwechsel bei 5,0 μs , 10 μs , 15 μs).

3 **1.3** Die Aussage ist falsch. Die Induktionsspannung hängt nicht vom Wert der Flussdichte ab, sondern von ihrer zeitlichen Änderung ($U = -N\dot{\Phi}$). Direkt nach $t = 0$ steigt B so schnell wie in der ganzen Anstiegsphase; die Spannung hat dort bereits den Betrag 4,0 V.

Bewertung: 1 BE Urteil, 2 BE Begründung mit der Änderungsrate (Induktionsgesetz) und Bezug zur Abbildung.

2 **1.4** Der Ring ist eine geschlossene Leiterschleife, deren Fluss sich ändert $\Rightarrow$ Induktionsspannung und Induktionsstrom. Für $5,0 \mu\text{s} < t < 10 \mu\text{s}$ nimmt der Fluss ab; nach der Lenz'schen Regel wirkt der Strom der Abnahme entgegen: Sein Magnetfeld ist im Inneren des Rings *gleich gerichtet* wie das Feld der Ladestation.

Bewertung: 1 BE Begründung (Flussänderung im geschlossenen Ring), 1 BE Richtung mit Lenz'scher Regel.

BE	- LÖSUNGSHINWEISE ZU ERZEUGUNG EINER WECHSELSPANNUNG -	
3	2.1	Beim Drehen ändert sich der Winkel $\varphi = \omega t$ zwischen Feldlinien und Flächennormale
		gleichmäßig, die vom Feld senkrecht durchsetzte Fläche ist $A \cos(\omega t)$:
		$\Phi(t) = BA \cos(\omega t)$. Nach dem Induktionsgesetz $U(t) = -N\dot{\Phi}(t) = NBA \omega \sin(\omega t)$ –
		eine sinusförmige Wechselspannung mit dem Scheitelwert $U_0 = NBA\omega$.
		<i>Bewertung:</i> 1 BE Flussänderung durch Drehung ($\Phi = BA \cos \omega t$), 1 BE Induktionsgesetz/Ablei-
		tung, 1 BE Sinusform.
6	2.2	Quotienten $\frac{U_0}{\omega}$ in V s: 0,105; 0,0975; 0,102; 0,099; 0,102 – im Rahmen der Messge-
		nauigkeit konstant, also $U_0 \sim \omega$ (gleichwertig: Ursprungsgerade im ω - U_0 -Diagramm).
		Mittelwert $k = \frac{U_0}{\omega} \approx 0,10 \text{ V s}$.
		Aus $U_0 = NBA\omega$ folgt $B = \frac{k}{NA} = \frac{0,10 \text{ V s}}{250 \cdot 16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \frac{0,10 \text{ V s}}{0,40 \text{ m}^2} = 0,25 \text{ T}$.
		<i>Bewertung:</i> 2 BE Quotienten bzw. Diagramm, 1 BE Schluss auf Proportionalität mit Hinweis auf
		Messgenauigkeit, 1 BE k , 2 BE B mit Einheit.
2	2.3	$U_0 = NBA\omega$: doppelte Flussdichte und halbe Winkelgeschwindigkeit heben sich auf –
		der Scheitelwert bleibt gleich. Die Periodendauer $T = \frac{2\pi}{\omega}$ verdoppelt sich.
		<i>Bewertung:</i> 1 BE Scheitelwert mit Begründung, 1 BE Periodendauer.
2	2.4	$U_0 = k \omega = 0,10 \text{ V s} \cdot 150 \text{ s}^{-1} = 15 \text{ V}$
		(oder $NBA\omega = 250 \cdot 0,25 \text{ T} \cdot 16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 150 \text{ s}^{-1}$)
		<i>Bewertung:</i> 1 BE Ansatz, 1 BE Ergebnis.
13		

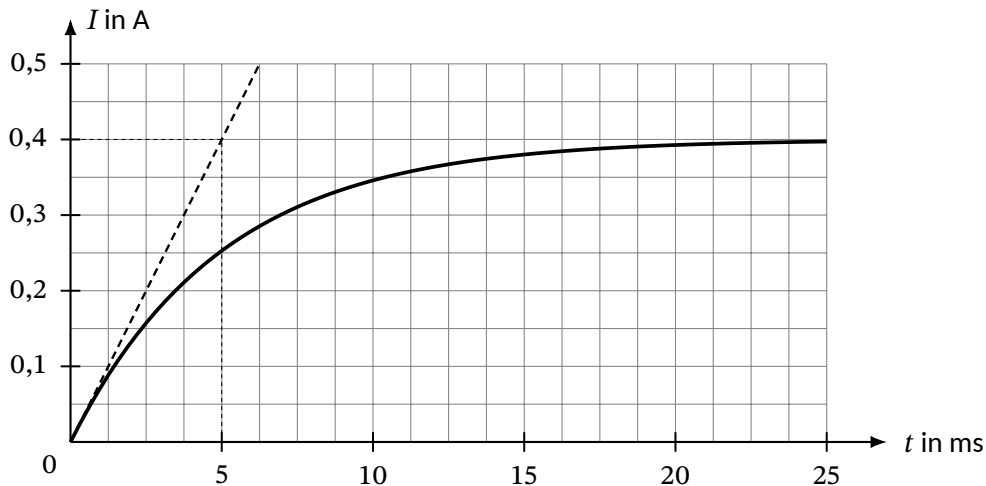
BE

- LÖSUNGSHINWEISE ZU SELBSTINDUKTION -

- 3 **3.1** Die Stromstärke steigt zunächst steil, dann immer flacher an und nähert sich dem Endwert 0,40 A. Der zunehmende Strom ändert den Fluss in der Spule; dadurch wird eine Selbstinduktionsspannung erzeugt, die nach Lenz der angelegten Spannung entgegenwirkt und den Anstieg bremst.

Bewertung: 1 BE Verlauf, 2 BE Erklärung mit Selbstinduktion und Lenz'scher Regel.

- 4 **3.2**



Tangente in $t = 0$ erreicht 0,40 A bei 5,0 ms: $\dot{I}(0) = \frac{0,40 \text{ A}}{5,0 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 80 \text{ A/s}$. Zu Beginn ist

$I = 0$, also fällt an R keine Spannung ab: $U_0 = L \dot{I}(0)$

$$\Rightarrow L = \frac{24 \text{ V}}{80 \text{ A/s}} = 0,30 \text{ H}.$$

Bewertung: 1 BE Tangente, 1 BE Steigung, 1 BE Ansatz $U_0 = L \dot{I}$ (Begründung $I = 0$), 1 BE Ergebnis. Ablesetoleranz $\pm 0,5 \text{ ms}$.

- 2 **3.3** Am Ende ist $\dot{I} = 0$: $R = \frac{U_0}{I_{\text{end}}} = \frac{24 \text{ V}}{0,40 \text{ A}} = 60 \Omega$

Bewertung: 1 BE Ansatz mit Endstromstärke, 1 BE Ergebnis.

- 2 **3.4** $W = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,30 \text{ H} \cdot (0,40 \text{ A})^2 = 24 \cdot 10^{-3} \text{ J} = 24 \text{ mJ}$

Bewertung: 1 BE Formel, 1 BE Ergebnis.

- 4 **3.5** $|U| = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 0,30 \text{ H} \cdot \frac{0,40 \text{ A}}{0,10 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ V} = 1,2 \text{ kV}.$

Folgen: Die Abschaltspannung ist etwa fünfzigmal so groß wie die Betriebsspannung. Am Schaltkontakt entsteht ein Funke, in dem die gespeicherte Energie von 24 mJ bei jedem Abschalten frei wird – der Kontakt brennt mit der Zeit ab. Die Steuerelektronik ist für 24 V ausgelegt und kann durch die hohe Spannung zerstört werden. Abhilfe: Schutzwiderstand (oder Schutzbauteil) parallel zur Spule, über den der Strom langsam abklingt.

Bewertung: 1 BE Ansatz, 1 BE Ergebnis, 2 BE begründetes Urteil mit Spannung und Energie (Kontaktabbbrand, Gefährdung der Elektronik).

15