ERKLÄRBÄR

Serie Elektronik · Folge 5 · Advanced

ADVANCED

LEHRERINFO ZUM VIDEO · GYMNASIUM / MATURA / ABITUR

Induktion und Wechselstrom – Advanced

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium, Sek II	14:50 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- den magnetischen Fluss $\Phi = B \cdot A$ berechnen und das Induktionsgesetz $U_{ind} = -N \cdot \Delta\Phi/\Delta t$ anwenden,
- die Lenzsche Regel begründen (Energieerhaltung) und an Kupferrohr und Wirbelstrombremse erklären,
- Selbstinduktion mit $U = -L \cdot \Delta I/\Delta t$ berechnen und die Gefahr von Abschaltspitzen beurteilen,
- $u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$ mit $\omega = 2\pi f$ beschreiben und $\hat{u} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$ für einen Generator berechnen,
- den Effektivwert $U_{eff} = \hat{u}/\sqrt{2}$ über die mittlere Leistung herleiten,
- ideale Transformatoren (Spannungs- und Stromübersetzung) und Leitungsverluste $P_V = I^2 \cdot R$ berechnen.

02 Voraussetzungen

Induktion und Trafo qualitativ (Folge 5 Grundlagen), Leistung $P = U \cdot I = U^2/R$ (Folge 3), Sinusfunktion; für die Herleitung des Mittelwerts von $\sin^2$ hilft die Identität $\sin^2 x = \frac{1}{2}(1 - \cos 2x)$.

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT
0:00	Einstieg	Magnet im Kupferrohr PAUSE-FRAGE · induzierte Ringströme bremsen · Ident · Serien-Fahrplan
1:01	Was du brauchst	Strom → Feld · änderndes Feld → Spannung · Trafo $U_1/U_2 = N_1/N_2$
1:27	Der magnetische Fluss	B in Tesla (Erde 50 µT, Neodym 1 T, MRI 1,5–3 T) · $\Phi = B \cdot A$ · 0,2 T · 4 cm² = $8 \cdot 10^{-5}$ Wb
2:21	Das Induktionsgesetz	$U_{ind} = -N \cdot \Delta\Phi/\Delta t$ · drei Arten der Flussänderung · 500 Windungen → 0,8 V PAUSE-FRAGE · Fläche $N \cdot \Delta\Phi$
3:35	Die Lenzsche Regel	Ursache entgegen · Kupferrohr: Abstossung unten, Anziehung oben · Energieerhaltung · Wirbelstrombremse

4:23	Selbstinduktion	$U = -L \cdot \Delta I/\Delta t$ · Relaisspule 0,1 H, 50 mA in 1 µs → 5000 V (rechnerisch) · Freilaufdiode · Zündspule
5:29	Die Sinusspannung	$\Phi \sim \cos$, $u \sim \sin$ · $\omega = 2\pi f \approx 314\ s^{-1}$ · $\hat{u} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \approx 157$ V · Velodynamo
6:30	Der Effektivwert	$p \sim \sin^2$, Mittelwert ½ · $U_{eff} = \hat{u}/\sqrt{2} \cdot 325$ V → 230 V, 12 V → 17 V PAUSE-FRAGE
7:55	Der ideale Transformator	$U_1/U_2 = N_1/N_2$, $I_1/I_2 = N_2/N_1$ · 12 W → 52 mA · Kupfer- und Eisenverluste, Bleche · 21 kV → 380 kV
9:00	Verluste auf der Leitung	100 MW über 5 Ω: 380 kV 0,35 %, 110 kV ≈ 4 %, 20 kV unmöglich · $P_V \sim 1/U^2$
10:10	Projekt-Baustein	Steckertrafo 12 V~ · $\hat{u} \approx 17$ V · −1,4 V → knapp 16 V am Ladeelko · 25/35 V
10:58	Prüfungsfallen	Fünf Prüfungsfallen
11:51	Zusammenfassung	Das Wichtigste in sechs Punkten
12:28	Quiz	4 Fragen, 3 zum Rechnen

04 Typische Prüfungsfallen

- **Effektiv- und Scheitelwert** verwechselt (230 V eff ↔ 325 V Spitze).
- **Stromverhältnis am Trafo** falsch herum: $I_1/I_2 = N_2/N_1$.
- **Konstantes Feld** als Spannungsquelle angesehen – ohne $\Delta\Phi$ keine Induktion.
- **Minuszeichen / Richtung** vergessen – der induzierte Strom wirkt seiner Ursache entgegen.
- **Einheiten:** 1 Wb = 1 V·s, 1 T = 1 Wb/m², ω in s^{-1}, f in Hz.

05 Einsatz im Unterricht

Kupferrohr: Neodym-Magnet durch Kupfer- oder Aluminiumrohr fallen lassen, Fallzeit mit einem gleich grossen Eisenstück vergleichen.

Messung: Magnet durch Spule fallen lassen, Spannung mit Datenlogger aufzeichnen; Flächen unter beiden Pulsen vergleichen ($N \cdot \Delta\Phi$).

Effektivwert: Glühlampe an Kleinspannung AC und DC gleich hell einstellen, Spannungen vergleichen.

Sicherheit: Nur Steckertrafos bzw. Schülerversuchstrafos; Abschaltspitzen an Spulen nur mit Freilaufdiode.

06 Hinweise und Quellen

- Erdmagnetfeld in Mitteleuropa ≈ 48 µT; Oberfläche von Neodym-Magneten etwa 0,5–1,4 T; klinische MRI 1,5–3 T. Generatorspannungen grosser Kraftwerke typischerweise 10–27 kV; Übertragungsnetz Schweiz (Swissgrid) 220 und 380 kV.
- Das Leitungsbeispiel (100 MW, 5 Ω) ist eine vereinfachte Modellrechnung ohne Blindleistung und Dreiphasensystem; die Abhängigkeit $P_V \sim 1/U^2$ gilt aber genauso.

ERKLÄRBÄR

Arbeitsblatt · Folge 5 · Advanced

ADVANCED

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Induktion, Effektivwert, Transformator

1 Induktionsgesetz ●○○

Eine Spule (N = 250, A = 12 cm²) steht senkrecht in einem Feld, das in 0,02 s gleichmässig von 0,4 T auf null sinkt. Berechne den Fluss vor der Änderung und den Betrag der induzierten Spannung.

2 Lenzsche Regel ●●○

Ein Nordpol nähert sich einem leicht beweglichen Aluminiumring. Begründe mit der Lenzschen Regel, wie sich der Ring bewegt und welcher Pol sich auf der Magnetseite des Rings bildet. Erläutere, warum das Gegenteil den Energieerhaltungssatz verletzen würde.

3 Selbstinduktion ●●○

Eine Spule mit L = 0,25 H führt 0,2 A; der Strom wird in 2 ms gleichmässig abgeschaltet. a) Berechne den Betrag der Selbstinduktionsspannung. b) Wie gross wäre er bei 2 µs? c) Begründe den Einsatz einer Freilaufdiode.

4 Generator ●●○

Eine Spule mit 400 Windungen und 50 cm² dreht sich mit 50 Hz in einem Feld von 0,3 T. a) Berechne ω und û. b) Gib u(t) an. c) Wie ändern sich û und f bei doppelter Drehzahl?

5 Effektivwert herleiten ●●●

Leite über die mittlere Leistung an einem ohmschen Widerstand her, dass $U_{eff} = \hat{u}/\sqrt{2}$ gilt, und skizziere p(t). Berechne den Effektivwert für û = 24 V.

6 Idealer Transformator ●●○

$N_1 = 1200$, $N_2 = 60$, $U_1 = 230$ V; am Ausgang hängt eine Lampe mit 23 W. Berechne U_2, I_2, I_1 und P_1.

7 Fernleitung ●●●

Eine Leitung mit R = 8 Ω überträgt 50 MW. Berechne Strom, Verlustleistung und relativen Verlust bei 220 kV und bei 50 kV. Um welchen Faktor unterscheiden sich die Verluste? Begründe ohne Rechnung.

8 Netzteil

●●○

Ein Steckertrafo liefert 15 V~. a) Berechne den Scheitelwert. b) Welche Spannung erreicht der Ladeelko hinter einem Brückengleichrichter (2 × 0,7 V)? c) Ohne Last liefert der Trafo 15 % mehr. Wähle eine Spannungsfestigkeit (16 V, 25 V, 35 V) und begründe.

9 Quiz aus dem Video

●○○

a) 200 Windungen, Φ fällt in 0,1 s von 0,002 Wb auf null. U_{ind}?

- ☐ 0,4 V
- ☐ 4 V
- ☐ 40 V

b) Trafo 12 V effektiv. Scheitelwert?

- ☐ 8,5 V
- ☐ 12 V
- ☐ 17 V

c) Idealer Trafo 230 V → 23 V, Ausgang 2 A. Eingangsstrom?

- ☐ 0,2 A
- ☐ 2 A
- ☐ 20 A

Lösungen

1 Induktionsgesetz

$\Phi = 0{,}4\ \text{T} \cdot 12{\cdot}10^{-4}\ \text{m}^2 =$ **$4{,}8{\cdot}10^{-4}$ Wb**; $|U_{ind}| = 250 \cdot 4{,}8{\cdot}10^{-4}\ \text{Wb} / 0{,}02\ \text{s} =$ **6 V**.

2 Lenzsche Regel

Der Fluss durch den Ring nimmt zu; der induzierte Strom erzeugt ein Gegenfeld, die Ringseite zum Magneten wird zum **Nordpol** – **Abstossung, der Ring weicht aus**. Würde der Ring angezogen, beschleunigten sich Magnet und Ring ohne Energiezufuhr – Widerspruch zur **Energieerhaltung**.

3 Selbstinduktion

a) $|U| = L{\cdot}\Delta I/\Delta t = 0{,}25\ \text{H} \cdot 0{,}2\ \text{A} / 0{,}002\ \text{s} =$ **25 V**. b) bei 2 µs: **25 000 V** (rechnerisch). c) Die Freilaufdiode übernimmt den Spulenstrom beim Abschalten und begrenzt die Spannung auf etwa 0,7 V über der Versorgung – Schalter und Transistor bleiben heil.

4 Generator

a) $\omega = 2\pi \cdot 50\ \text{Hz} \approx$ **$314\ \text{s}^{-1}$**; $\hat{u} = N{\cdot}B{\cdot}A{\cdot}\omega = 400 \cdot 0{,}3\ \text{T} \cdot 0{,}005\ \text{m}^2 \cdot 314\ \text{s}^{-1} \approx$ **188 V**. b) **$u(t) = 188\ \text{V} \cdot \sin(314\ \text{s}^{-1} \cdot t)$**. c) Beide **verdoppeln sich** (ω steckt in û).

5 Effektivwert

$p(t) = u^2/R = (\hat{u}^2/R){\cdot}\sin^2(\omega t)$; Mittelwert von $\sin^2$ ist ½ ($\sin^2 = ½(1 - \cos 2\omega t)$) ⇒ $\bar{P} = \hat{u}^2/(2R)$. Gleichspannung gleicher Leistung: $U_{eff}^2/R = \hat{u}^2/(2R) \Rightarrow$ **$U_{eff} = \hat{u}/\sqrt{2}$**. Für û = 24 V: **≈ 17 V**.

6 Idealer Transformator

$U_2 = 230\ \text{V} \cdot 60/1200 =$ **11,5 V**; $I_2 = 23\ \text{W} / 11{,}5\ \text{V} =$ **2 A**; $I_1 = 2\ \text{A} \cdot 60/1200 =$ **0,1 A**; $P_1 = 230\ \text{V} \cdot 0{,}1\ \text{A} =$ **23 W** = P_2.

7 Fernleitung

220 kV: $I \approx$ **227 A**, $P_V = I^2R \approx$ **0,41 MW** (**0,83 %**). 50 kV: I = **1000 A**, $P_V =$ **8 MW** (**16 %**). Faktor $(220/50)^2 \approx$ **19**, weil $P_V \sim I^2 \sim 1/U^2$.

8 Netzteil

a) $\hat{u} = 15\ \text{V} \cdot \sqrt{2} \approx$ **21,2 V**. b) 21,2 V − 1,4 V ≈ **19,8 V**. c) Leerlauf: 21,2 V · 1,15 − 1,4 V ≈ 23 V – 25 V wäre sehr knapp, also **35 V**.

9 Quiz

a) **4 V** · b) **17 V** · c) **0,2 A**