ERKLÄRBÄR

Serie Elektronik · Folge 7 · Advanced

ADVANCED

LEHRERINFO ZUM VIDEO · GYMNASIUM / MATURA / ABITUR

Gleichrichterschaltungen – Advanced

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium, Sek II	12:24 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- die Spannung am Ladeelko berechnen: $U_C \approx \sqrt{2} \cdot U_{eff} - 2 \cdot U_F$, und Last- und Leerlaufeinflüsse abschätzen,
- die Brummspannung $\Delta U \approx I/(f_P \cdot C)$ aus $\Delta Q = I \cdot \Delta t$ und $\Delta U = \Delta Q/C$ herleiten und anwenden (f_P = 100 Hz Brücke, 50 Hz Einweg),
- einen Ladeelko dimensionieren (Kapazität aus der E3-Reihe, Spannungsfestigkeit mit Reserve) und den Mittelwert der Gleichspannung abschätzen,
- Ladestromspitzen begründen und abschätzen und die Belastung von Dioden und Trafo beurteilen,
- die Sperrspannung der Dioden in Brücken- und Einwegschaltung bestimmen,
- Oszillogramme deuten (DC- und AC-Kopplung) und den Vorteil hoher Pulsfrequenzen im Schaltnetzteil begründen.

02 Voraussetzungen

Einweg, Brücke und Glättung (Folge 7 Grundlagen), Effektiv- und Scheitelwert (Folge 5), Kondensator $Q = C \cdot U$ und $I = \Delta Q/\Delta t$ (Folge 4), Durchlassspannung von Dioden (Folge 6).

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT
0:00	Einstieg	Netzteil 0,5 A, aber Stossstrom 30 A im Datenblatt PAUSE-FRAGE · kurzes Nachladen, Einschalten · Ident · Serien-Fahrplan
1:07	Was du brauchst	Brücke, Ladeelko, Brummspannung · $\hat{u} = \sqrt{2} \cdot U_{eff}$ · $Q = C \cdot U$, $I = \Delta Q/\Delta t$
1:39	Die Spannung am Ladeelko	12 V ~ → 17 V · −2 · 0,7 V → 15,6 V, unter Last ≈ 15 V · Leerlauf: 18 V und mehr
2:28	Die Brummspannung	$\Delta Q = I \cdot \Delta t$, $\Delta U = I \cdot \Delta t/C$, $\Delta t \approx 1/f_P \rightarrow \Delta U \approx I/(f_P \cdot C)$ · 100/50 Hz · 0,5 A, 2200 µF → 2,3 V · Einweg PAUSE-FRAGE

3:51	Den Ladeelko dimensionieren	$C \geq I/(f_P \cdot \Delta U)$ = 2500 µF → 4700 µF (1,1 V) · 25 V · Mittelwert ≈ 14,5 V
4:51	Ladestromspitzen und Sperrspannung	Leitdauer ≈ 1,6 ms, 5 mC → > 3 A · Einschaltstrom · Trafo 1,5- bis 2-fach · Sperrspannung û bzw. 2 û
6:07	Bilder vom Oszilloskop	Sinus, Buckel, Sägezahn · AC-Kopplung 0,5 V/DIV · 4700 µF: halb so hoch
6:52	Ausblick: Schaltnetzteil	$f_P \times 1000 \rightarrow C \div 1000$ (4,7 µF), kleiner Übertrager · aufwendiger, Störungen
7:39	Projekt-Baustein Netzteil	Trafo 12 V ~, 4 × 1N4001, 4700 µF / 25 V · 14 … 15 V, Leerlauf 18 V · Ausblick Z-Diode, Transistor · Aufbau-Tipp
8:32	Prüfungsfallen	Fünf Prüfungsfallen
9:20	Zusammenfassung	Das Wichtigste in sechs Punkten
9:52	Quiz	4 Fragen, 3 zum Rechnen

04 Typische Prüfungsfallen

- **Effektivwert statt Scheitelwert:** Der Elko lädt sich auf $\hat{u} = \sqrt{2} \cdot U_{eff}$ auf.
- **Falsche Pulsfrequenz:** Hinter der Brücke 100 Hz, beim Einweg 50 Hz.
- **Einheiten:** 2200 µF = 0,0022 F; Ergebnis in Farad wieder in µF umrechnen.
- **Diodenspannungen:** In der Brücke liegen immer zwei Dioden im Stromweg.
- **Sperrspannung beim Einweg mit Elko:** fast 2 û, nicht nur û.

05 Einsatz im Unterricht

Messung: Kleinspannungstrafo, Brücke, Elkos mit 1000/2200/4700 µF, Lastwiderstand (z. B. 33 Ω, 5 W); Brummspannung mit AC-Kopplung messen und mit $I/(f_P \cdot C)$ vergleichen.

Einweg gegen Brücke: Bei gleichem Elko und Strom die Brummspannung vergleichen – Faktor 2.

Ladestrom sichtbar machen: Shunt (0,1 Ω) in der Trafozuleitung, Spannung am Shunt mit dem Oszilloskop: kurze Stromimpulse.

Sicherheit: Nur Kleinspannung; Elkos gepolt einbauen; Lastwiderstände werden heiss.

06 Hinweise und Quellen

- Die Faustformel $\Delta U \approx I/(f_P \cdot C)$ nimmt an, dass sich der Elko während der ganzen Pulsperiode mit konstantem Strom entlädt. Da ein Teil der Periode zum Nachladen gebraucht wird, liegt sie leicht auf der sicheren Seite; sie gilt für $\Delta U \ll U_C$.
- Diodenspannung der 1N4001 bei 0,5–1 A etwa 0,8–1 V; Datenblattwerte 1N4001: U_{RRM} = 50 V, $I_{F(AV)}$ = 1 A, I_{FSM} = 30 A. Kleintrafos liefern im Leerlauf 10–25 % mehr als die Nennspannung; der Trafo-Effektivstrom liegt bei Brücke mit Ladeelko grob beim 1,5- bis 2-Fachen des Gleichstroms.

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Ladeelko, Brummspannung, Sperrspannung

1 Spannung am Elko ●○○

Ein Trafo liefert 9 V ~, dahinter eine Brücke. a) Berechne den Scheitelwert. b) Welche Spannung erreicht der Elko ohne Last (0,7 V pro Diode)? c) Und unter Last mit 1 V pro Diode?

2 Herleitung ●●○

Leite die Faustformel $\Delta U \approx I/(f_p \cdot C)$ her. Welche Annahme steckt darin, und warum liegt man damit auf der sicheren Seite?

3 Brummspannung ●●○

Ein Netzteil liefert 0,8 A, der Ladeelko hat 3300 µF. Berechne die Brummspannung a) hinter einer Brücke, b) hinter einem Einweggleichrichter.

4 Ladeelko dimensionieren ●●●

Gefordert: 1,2 A, Brummspannung höchstens 1,5 V, Brücke, Trafo 15 V ~ (Leerlauf + 15 %). a) Berechne die Mindestkapazität. b) Wähle einen Wert (… 4700 · 10 000 µF …) und berechne die Brummspannung. c) Wähle die Spannungsfestigkeit (25 V, 35 V, 50 V). d) Schätze den Mittelwert der Gleichspannung unter Last (1 V pro Diode).

5 Ladestromspitzen ●●●

Ein Netzteil mit Brücke liefert 1 A; die Dioden leiten pro Halbwelle nur 1,5 ms. a) Welche Ladung muss pro Halbwelle (10 ms) nachgeladen werden? b) Wie gross ist der Strom während des Nachladens im Mittel? c) Warum werden die Spitzen mit einem grösseren Elko noch höher? d) Warum muss der Trafo mehr als 1 A liefern können?

6 Sperrspannung ●●○

Ein Trafo liefert 24 V ~. a) Welche Sperrspannung muss jede Diode der Brücke aushalten? b) Und die Diode eines Einweggleichrichters mit Ladeelko? c) Reicht jeweils eine 1N4001 (50 V)?

7 Oszillogramm ●●○

AC-Kopplung, 0,5 V/DIV, 5 ms/DIV: Man sieht einen Sägezahn mit 3 DIV Spitze-Spitze, alle 2 DIV wiederholt er sich. a) Wie gross ist die Brummspannung? b) Brücke oder Einweg? c) Der Laststrom beträgt 0,6 A. Wie gross ist der Elko etwa?

8 Schaltnetzteil

●●○

Ein Schaltnetzteil liefert 2 A bei höchstens 50 mV Brumm; die Pulsfrequenz am Ausgang beträgt 200 kHz. Welche Kapazität ist nötig? Vergleiche mit einem 100-Hz-Netzteil.

9 Quiz aus dem Video

●○○

a) 0,5 A, 2200 µF, Brücke. Brummspannung?

- ☐ 1,1 V
- ☐ 2,3 V
- ☐ 4,5 V

b) Dieselbe Schaltung als Einweggleichrichter. Brummspannung …

- ☐ halbiert sich
- ☐ bleibt gleich
- ☐ verdoppelt sich

c) 1 A, höchstens 1 V Brumm, Brücke. Elko?

- ☐ 1000 µF
- ☐ 4700 µF
- ☐ 10 000 µF

d) 15 V ~ an einer Brücke, 0,7 V pro Diode. Spannung am Elko?

- ☐ 13,6 V
- ☐ 19,8 V
- ☐ 21,2 V

Lösungen

1 Spannung am Elko

a) $\hat{u} = \sqrt{2} \cdot 9\ V \approx$ **12,7 V**. b) 12,7 V − 1,4 V ≈ **11,3 V**. c) 12,7 V − 2 V ≈ **10,7 V**.

2 Herleitung

Zwischen den Nachladungen liefert der Elko den Laststrom: $\Delta Q = I \cdot \Delta t$, $\Delta U = \Delta Q/C = I \cdot \Delta t/C$. Mit **$\Delta t \approx T_P = 1/f_P$** folgt $\Delta U \approx I/(f_P \cdot C)$. Annahme: Entladung mit **konstantem Strom über die ganze Pulsperiode**. Tatsächlich wird ein Teil der Periode nachgeladen, die Entladezeit ist kürzer – die wahre Brummspannung ist **etwas kleiner**.

3 Brummspannung

a) 0,8 A / (100 Hz · 0,0033 F) ≈ **2,4 V**. b) 0,8 A / (50 Hz · 0,0033 F) ≈ **4,8 V**.

4 Ladeelko dimensionieren

a) C ≥ 1,2 A / (100 Hz · 1,5 V) = **8000 µF**. b) **10 000 µF**, ΔU ≈ 1,2 A / (100 Hz · 0,01 F) = **1,2 V**. c) Leerlauf: 15 V · 1,15 · √2 − 1,4 V ≈ 23 V – 25 V ist zu knapp, also **35 V**. d) û unter Last ≈ 21,2 V − 2 V = 19,2 V; Mittelwert ≈ 19,2 V − 0,6 V ≈ **18,6 V**.

5 Ladestromspitzen

a) Q = 1 A · 10 ms = **10 mC**. b) 10 mC / 1,5 ms ≈ **6,7 A**. c) Kleinere Brummspannung → **kürzere Nachladezeit** → dieselbe Ladung in kürzerer Zeit. d) Der Effektivwert der kurzen Stromimpulse ist viel grösser als ihr Mittelwert; die Erwärmung wächst mit I^2 – der Trafo muss etwa das **1,5- bis 2-Fache** liefern.

6 Sperrspannung

a) $\hat{u} = \sqrt{2} \cdot 24\ V \approx$ **34 V**. b) ≈ 2 û ≈ **68 V**. c) Brücke: **ja** (Reserve ≈ 30 %); Einweg: **nein** – z. B. 1N4002 mit 100 V.

7 Oszillogramm

a) 3 DIV · 0,5 V/DIV = **1,5 V**. b) Periode 2 · 5 ms = 10 ms → 100 Hz → **Brücke**. c) C ≈ 0,6 A / (100 Hz · 1,5 V) = **4000 µF**, vermutlich ein 4700-µF-Elko.

8 Schaltnetzteil

C = 2 A / (200 000 Hz · 0,05 V) = **200 µF**. Bei 100 Hz: 2 A / (100 Hz · 0,05 V) = 0,4 F = 400 000 µF – **2000-mal mehr**.

9 Quiz

a) **2,3 V** · b) **verdoppelt sich** · c) **10 000 µF** · d) **19,8 V**