ERKLÄRBÄR

Serie Elektronik · Folge 10 · Advanced

ADVANCED

LEHRERINFO ZUM VIDEO · PROJEKT · GYMNASIUM / MATURA / ABITUR

Projekt: stabilisiertes Netzteil

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium, Sek II	12:39 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- ein lineares Netzteil (Trafo, Brücke, Ladeelko, Referenz, Längstransistor) als Ganzes lesen und jede Stufe dimensionieren,
- Scheitelwert, Diodenverluste und Brummspannung berechnen ($\hat{u} = \sqrt{2} \cdot U_{eff}$, $\Delta U \approx I/(f \cdot C)$),
- die Referenz aus Z-Diode, Siliziumdiode und Vorwiderstand für den Lastbereich prüfen,
- begründen, warum ein Darlington nötig ist, und die Ausgangsspannung bestimmen ($U_{aus} \approx U_{ref} - 2 \cdot 0{,}7\ V$),
- die Verlustleistung des Längstransistors und den nötigen Kühlkörper über Wärmewiderstände berechnen,
- Sicherung, Kontroll-LED, Messungen sowie Grenzen (Wirkungsgrad, Kurzschluss, 7809, Schaltnetzteil) und Sicherheit beurteilen.

02 Voraussetzungen

Die Advanced-Folgen 1–9, besonders Leistung (3), Ladeelko (4/7), Trafo und Effektivwert (5), Diodenkennlinie (6), Z-Diode im Lastbereich (8) sowie Darlington, Emitterfolger und Verlustleistung (9).

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT
0:00	Einstieg	Bauteile des Netzteils · welches wird am heissesten? PAUSE-FRAGE · Längstransistor bis gut 4 W · Ident · ganze Serie
1:04	Der Schaltplan	Steckertrafo 12 V~, Sicherung, Brücke · Ladeelko · Referenz + Längstransistor · Kontroll-LED · Ziel 9,3 V / 0,5 A
1:44	Trafo und Gleichrichter	$\hat{u} = \sqrt{2} \cdot 12\ V \approx 17\ V$ · Brücke 1,5 V → 15,5 V · 1N4001 1 A / 50 V · Trafo ≥ 12 VA
2:31	Der Ladeelko	$\Delta U \approx I/(f \cdot C) = 0{,}5\ A / (100\ Hz \cdot 4700\ \mu F) \approx 1{,}1\ V$ · 14,4 … 15,5 V · Leerlauf 18 V → 25-V-Elko

3:08	Referenz und Darlington	BD139: B ≈ 25 … 40 → Darlington mit BC547 · Z 10 V + Si 0,7 V = 10,7 V → 9,3 V · R_V 330 Ω: 10 … 22 mA · Brumm ÷ 30
4:23	Längstransistor und Kühlkörper	4,35 W · R_{th} in Reihe · ≤ 19,5 K/W gesamt, − 10 − 1 → ≤ 8,5 K/W, gewählt 6 · ohne Kühlkörper > 400 °C · Kurzschluss PAUSE-FRAGE
5:57	Sicherung und Kontroll-LED	1 A träge wegen Einschaltstrom · LED (9,3 − 2) V / 10 mA → 820 Ω · 65 mW
6:43	Messen	9,3 V ohne Last, ≈ 0,1 V weniger bei 0,5 A · Oszilloskop: Sägezahn am Elko, Ausgang glatt · Kühlkörper ≈ 50 °C
7:20	Grenzen	Wirkungsgrad ≈ 62 % · 7809 mit Strombegrenzung und Überhitzungsschutz · Schaltnetzteil > 90 %
8:08	Sicherheit	nie an 230 V · Elko-Polung und Spannungsfestigkeit · heisser Kühlkörper
8:35	Rückblick	Die ganze Advanced-Reihe in drei Teilen
9:07	Zusammenfassung	Das Wichtigste in sechs Punkten
9:46	Quiz	4 Fragen, alle zum Rechnen

04 Typische Prüfungsfallen

- **Effektivwert statt Scheitelwert** eingesetzt, oder die **zwei** Diodenspannungen der Brücke vergessen.
- **Brummspannung mit 50 Hz** statt 100 Hz beim Brückengleichrichter gerechnet.
- **Verlustleistung mit der kleinsten** statt der grössten Eingangsspannung bestimmt.
- **Wärmewiderstände:** R_{thJC} und R_{thCS} nicht vom zulässigen Gesamtwert abgezogen.
- **Darlington:** die zweite Basis-Emitter-Spannung (zusammen ≈ 1,4 V) vergessen.

05 Einsatz im Unterricht

Aufbau: als Projekt in Gruppen, ausschliesslich mit Steckertrafo (keine Arbeit an 230 V). Last: 18 Ω / 10 W.

Messreihe: U_C und U_{aus} bei 0, 0,25 und 0,5 A mit Multimeter und Oszilloskop; Brumm vor und nach der Regelung vergleichen.

Thermik: Kühlkörpertemperatur nach 10 Minuten Volllast messen und mit der Rechnung vergleichen.

Vergleich: denselben Aufbau mit einem 7809 betreiben; Wirkungsgrad, Brumm und Kurzschlussverhalten vergleichen.

06 Hinweise und Quellen

- Datenblattwerte: BD139 h_{FE} ≥ 25 bei 0,5 A, R_{thJC} ≈ 10 K/W, R_{thJA} ≈ 100 K/W, $T_{j,max}$ 150 °C; BC547 h_{FE} ≥ 110; 1N4001 1 A / 50 V. Der Effektivstrom im Trafo liegt bei Brücke mit Ladeelko typisch beim 1,6- bis 2-Fachen des Gleichstroms; Elko auch auf Rippelstrom prüfen.
- Die Ausgangsspannung hängt von der Temperatur ab (zwei U_{BE} mit je ≈ −2 mV/K, dazu der Temperaturkoeffizient der Z-Diode). Der 7809 braucht ≈ 2 V Spannungsabfall und hat Strombegrenzung und Übertemperaturschutz eingebaut. Die Schaltung im Video ist nicht kurzschlussfest.

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Dimensioniere ein 5-V-Netzteil

Steckertrafo 9 V~, Brücke aus 1N4001 (zusammen 1,5 V), Last bis 0,3 A. Im Leerlauf steigt die Elkospannung bis 13 V.

1 Spitze am Ladeelko ●○○

Wie hoch ist die Spitzenspannung am Ladeelko unter Last?

2 Ladeelko ●●○

Die Brummspannung soll höchstens 1 V betragen. a) Welche Kapazität brauchst du mindestens? Wähle einen Normwert (… 2200 · 3300 · 4700 µF). b) Welche Spannungsfestigkeit wählst du?

3 Referenz ●●○

Mit Siliziumdiode und Darlington soll am Ausgang etwa 5 V herauskommen. Welche Z-Diode (5,1 · 5,6 · 6,2 V) wählst du? Welche Ausgangsspannung ergibt sich?

4 Vorwiderstand der Referenz ●●●

Kleinste Elkospannung unter Last ≈ 10,2 V. Die Z-Diode braucht mindestens 5 mA, der Darlington (B ≥ 1000) höchstens 0,3 mA. a) Wie gross darf R_V höchstens sein? Wähle einen E12-Wert. b) Strom und Leistung der Z-Diode im Leerlauf (13 V)?

5 Kühlkörper ●●●

Rechne mit Reserve: 13 V am Eingang bei 0,3 A. $T_j \leq 125$ °C, Luft 40 °C, $R_{thJC} = 10$ K/W, Paste 1 K/W. a) Verlustleistung? b) Grösster zulässiger Wärmewiderstand des Kühlkörpers? c) Geht es ohne Kühlkörper (100 K/W)?

6 Kontroll-LED und Wirkungsgrad ●●○

a) Vorwiderstand für eine rote LED (2 V, ≈ 5 mA) am Ausgang, nächsthöherer E12-Wert? b) Wirkungsgrad bei ≈ 10,7 V mittlerer Elkospannung?

7 Quiz aus dem Video ●○○

a) 1 A, 100 Hz, 4700 µF. Brummspannung?

- ☐ 2,1 V
- ☐ 0,2 V
- ☐ 21 V

b) 12-V-Z-Diode + Si-Diode + Darlington. Ausgang?

- ☐ 12,7 V
- ☐ 11,3 V
- ☐ 12 V

Lösungen

1 Spitze am Ladeelko

$\hat{u} = \sqrt{2} \cdot 9\ V \approx 12{,}7\ V$, minus 1,5 V → **≈ 11,2 V**.

2 Ladeelko

a) $C \geq 0{,}3\ A / (100\ Hz \cdot 1\ V) = 3000\ \mu F$ → **3300 µF** (Brumm ≈ 0,9 V). b) Leerlauf 13 V → **mindestens 16 V, besser 25 V**.

3 Referenz

5,6 V: $U_{ref} = 5{,}6\ V + 0{,}7\ V = 6{,}3\ V$, $U_{aus} \approx 6{,}3\ V - 1{,}4\ V =$ **4,9 V**.

4 Vorwiderstand der Referenz

a) $R_V \leq (10{,}2\ V - 6{,}3\ V) / 5{,}3\ mA \approx 736\ \Omega$ → **680 Ω**. b) $(13\ V - 6{,}3\ V) / 680\ \Omega \approx$ **9,9 mA**, $P_Z \approx 5{,}6\ V \cdot 9{,}9\ mA \approx$ **55 mW** – unkritisch.

5 Kühlkörper

a) $(13\ V - 4{,}9\ V) \cdot 0{,}3\ A \approx$ **2,4 W**. b) 85 K / 2,4 W ≈ 35 K/W, minus 10 und 1 → **≤ 24 K/W**. c) 100 K/W · 2,4 W = 240 K → **nein**.

6 Kontroll-LED und Wirkungsgrad

a) $(4{,}9\ V - 2\ V) / 5\ mA = 580\ \Omega$ → **680 Ω** (≈ 4,3 mA). b) $\eta \approx 4{,}9\ V / 10{,}7\ V \approx$ **46 %** – ein Schaltnetzteil wäre hier viel effizienter.

7 Quiz

a) **2,1 V** · b) **11,3 V**