ERKLÄRBÄR

Serie Elektronik · Folge 9 · Advanced

ADVANCED

LEHRERINFO ZUM VIDEO · GYMNASIUM / MATURA / ABITUR

Der Transistor – Advanced

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium, Sek II	15:10 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- Eingangskennlinie und Ausgangskennlinienfeld lesen und Sperrbereich, aktiven Bereich und Sättigung unterscheiden,
- die Arbeitsgerade $U_b = I_C \cdot R_L + U_{CE}$ einzeichnen und den Arbeitspunkt bestimmen,
- den Basisstrom mit B_{min} und dem Übersteuerungsfaktor ü berechnen und den Basiswiderstand dimensionieren,
- die Verlustleistung $P_V = U_{CE} \cdot I_C$ gesperrt, gesättigt und im Übergang berechnen (Maximum $¼ \cdot U_b \cdot I_{C,max}$),
- Schaltzeiten und Speicherzeit qualitativ erklären sowie Darlington und Logic-Level-MOSFET vergleichen,
- den Emitterfolger als Längsregler berechnen ($U_{aus} \approx U_Z - 0{,}7$ V, Basisstrom, Verlustleistung).

02 Voraussetzungen

Transistor als Schalter (Folge 9 Grundlagen), Diodenkennlinie (Folge 6), Z-Diode und Lastbereich (Folge 8 Advanced), Netzteil mit Ladeelko (Folge 7 Advanced).

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT
0:00	Einstieg	Motor 500 mA, B = 200 → 2,5 mA? · warum heiss? PAUSE-FRAGE · Sättigung statt halb durch · Ident · Serien-Fahrplan
1:09	Was du brauchst	$I_C = B \cdot I_B$, $U_{BE} \approx 0{,}7$ V · Diodenkennlinie · Z-Diode als Referenz
1:35	Die Kennlinien	Eingangskennlinie · Ausgangskennlinienfeld: aktiver Bereich, Sättigung (0,1 … 0,3 V), Sperrbereich
2:47	Arbeitsgerade und Sättigung	12 V = $I_C \cdot R_L + U_{CE}$ · 24 Ω → 500 mA · Arbeitspunkt wandert mit I_B in die Sättigung
3:54	Der Übersteuerungsfaktor	ü = $I_B/I_{B,min} \cdot B_{min}$ = 100 → 5 mA · ü = 3 → 15 mA · R_B 287 Ω → 270 Ω · 2,5 mA bei B = 100 PAUSE-FRAGE

5:27	Verlustleistung	$P_V = U_{CE} \cdot I_C$ · gesättigt 0,1 W, halb durch 1,5 W · Maximum ¼ · $U_b \cdot I_{C,max}$
6:26	Schaltzeiten	einige 10 … 100 ns · Speicherzeit wächst mit ü · Schaltverluste bei PWM · ü als Kompromiss
7:15	Darlington und MOSFET	$B \approx B_1 \cdot B_2 = 10\,000$ · 1,4 V, $U_{CE,sat} \approx 0{,}9$ V · MOSFET: Gate-Spannung, $R_{DS(on)}$, 0,2 W bei 2 A · Logic-Level
8:41	Der Emitterfolger	Last am Emitter · $U_{aus} \approx U_{ein} - 0{,}7$ V · Stromverstärker, Impedanzwandler · Z-Diode an der Basis → Längsregler
9:36	Projekt-Baustein	10-V-Z-Diode, 330 Ω → 9,3 V · $I_B \leq 5$ mA · 4,35 W → Kühlkörper · Z-Diode allein ≈ 10 W
10:47	Prüfungsfallen	Fünf Prüfungsfallen
11:39	Zusammenfassung	Das Wichtigste in sechs Punkten
12:24	Quiz	4 Fragen, 3 zum Rechnen

04 Typische Prüfungsfallen

- **Typische statt kleinste Stromverstärkung:** Für Schalter zählt B_{min} aus dem Datenblatt.
- **$I_C = B \cdot I_B$ in der Sättigung:** Dort bestimmt der Lastkreis den Strom, nicht der Basisstrom.
- **0,7 V beim Emitterfolger vergessen:** $U_{aus} = U_{Basis} - U_{BE}$.
- **P_V des Längstransistors mit $U_{E,min}$:** Der ungünstigste Fall ist die grösste Eingangsspannung bei grösstem Strom.
- **Darlington mit 0,2 V Sättigungsspannung:** Realistisch sind 0,7 … 1 V und mehr.

05 Einsatz im Unterricht

Kennlinienfeld: Kleinsignaltransistor mit fest eingestellten Basisströmen (z. B. 0,1 / 0,2 / 0,3 mA); U_{CE} am Netzgerät variieren und I_C messen.

Arbeitsgerade: 12 V mit 100 Ω im Kollektorkreis; I_B schrittweise erhöhen, U_{CE} messen und den Übergang in die Sättigung beobachten.

Speicherzeit: Rechtecksignal (z. B. 10 kHz) an den Basiswiderstand, Kollektorspannung am Oszilloskop; R_B verkleinern und die wachsende Ausschaltverzögerung zeigen.

Längsregler: Z-Diode und Leistungstransistor an 15 V; Last variieren und U_{aus} messen; Erwärmung des Transistors messen (Vorsicht: heiss).

06 Hinweise und Quellen

- Die Stromverstärkung streut stark und sinkt bei grossen Strömen; Datenblätter geben $U_{CE,sat}$ meist bei $I_C/I_B = 10$ an. Schaltzeiten eines 2N2222A laut Datenblatt: $t_d \approx 10$ ns, $t_r \approx 25$ ns, $t_s \approx 225$ ns, $t_f \approx 60$ ns.
- Darlington: $U_{CE,sat} \approx U_{CE,sat}(T1) + U_{BE}(T2)$; Leistungs-Darlingtons erreichen bei einigen Ampere bis zu 2 V. Logic-Level-MOSFETs haben $R_{DS(on)}$ bei $U_{GS} = 4{,}5$ V oder 2,5 V spezifiziert; die Schwellspannung $U_{GS(th)}$ allein bedeutet noch nicht „voll an“. U_{BE} sinkt um etwa 2 mV/K, U_{aus} des Längsreglers steigt also leicht mit der Temperatur.

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Kennlinien, Sättigung, Längsregler

1 Kennlinienfeld ●○○

a) Benenne die drei Bereiche des Ausgangskennlinienfelds. b) Zwischen welchen Bereichen wechselt ein Schalter? c) In welchem Bereich gilt $I_C = B \cdot I_B$?

2 Arbeitsgerade ●●○

U_b = 9 V, R_L = 45 Ω, B = 120. a) Gib die beiden Endpunkte der Arbeitsgeraden an. b) Wo liegt der Arbeitspunkt bei I_B = 1 mA (I_C, U_{CE})? Aktiv oder gesättigt? c) Ab welchem Basisstrom ist der Transistor rechnerisch gesättigt?

3 Übersteuerung ●●○

Eine Lampe 12 V / 0,3 A wird von einem 5-V-Pin über einen Transistor mit B = 80 … 250 geschaltet, ü = 3. a) Berechne den Basisstrom. b) Berechne R_B und wähle den E12-Wert darunter (… 330 · 390 · 470 Ω …). c) Der Pin darf höchstens 20 mA liefern. Reicht das?

4 Verlustleistung ●●○

Zu Aufgabe 2: a) P_V im Arbeitspunkt aus 2b. b) P_V in der Sättigung mit $U_{CE,sat}$ = 0,2 V. c) Grösstmögliche P_V auf der Arbeitsgeraden.

5 Darlington oder MOSFET ●●○

Darlington mit $B_1 = 100$ und $B_2 = 50$. a) Gesamtverstärkung? b) Basisstrom für 2 A mit ü = 2? c) Verlustleistung bei 2 A mit $U_{CE,sat} = 0{,}9$ V – verglichen mit einem MOSFET mit $R_{DS(on)} = 0{,}03\ \Omega$.

6 Emitterfolger ●○○

Die Basis liegt auf 6 V, am Emitter hängt $R_L = 100\ \Omega$, B = 150. Berechne U_E, den Emitterstrom und den Basisstrom.

7 Längsregler ●●●

$U_E = 15 \ldots 20$ V, Z-Diode 12 V an der Basis, Last 0 … 1 A, $B_{min} = 50$. a) U_{aus}? b) Grösster Basisstrom? c) Verlustleistung des Transistors im ungünstigsten Fall? d) Die Z-Diode braucht mindestens 5 mA. Wie gross darf ihr Vorwiderstand höchstens sein?

8 Quiz aus dem Video ●○○

a) 300 mA schalten, B = 120 … 400, ü = 3. Basisstrom?

☐ 2,25 mA ☐ 7,5 mA ☐ 0,75 mA

b) 24 V, $R_L = 48\ \Omega$. Grösste Verlustleistung im Transistor?

☐ 0,5 W ☐ 3 W ☐ 12 W

c) Emitterfolger mit 6,8-V-Z-Diode an der Basis. U_E?

☐ 6,8 V ☐ 7,5 V ☐ 6,1 V

Lösungen

1 Kennlinienfeld

a) **Sperrbereich, aktiver Bereich, Sättigung**. b) Zwischen **Sperrbereich und Sättigung**. c) Im **aktiven Bereich**.

2 Arbeitsgerade

a) **U_{CE} = 9 V bei I_C = 0** und **I_C = 9 V / 45 Ω = 200 mA bei U_{CE} = 0**. b) I_C = 120 · 1 mA = **120 mA**, U_{CE} = 9 V − 0,12 A · 45 Ω = **3,6 V → aktiv**. c) I_B ≈ 200 mA / 120 ≈ **1,7 mA**.

3 Übersteuerung

a) 300 mA / 80 = 3,75 mA, mal 3 = **11,25 mA**. b) R_B = 4,3 V / 11,25 mA ≈ 382 Ω → **330 Ω** (≈ 13 mA). c) **Ja, knapp**; viele Pins sollten aber deutlich weniger liefern – besser Darlington oder Logic-Level-MOSFET.

4 Verlustleistung

a) 3,6 V · 0,12 A ≈ **0,43 W**. b) 0,2 V · 0,196 A ≈ **0,04 W**. c) ¼ · 9 V · 0,2 A = **0,45 W** (bei 4,5 V und 100 mA).

5 Darlington oder MOSFET

a) B ≈ 100 · 50 = **5000**. b) 2 A / 5000 = 0,4 mA, mal 2 = **0,8 mA**. c) Darlington 0,9 V · 2 A = **1,8 W**; MOSFET $(2\ A)^2$ · 0,03 Ω = **0,12 W**.

6 Emitterfolger

U_E = 6 V − 0,7 V = **5,3 V**, I_E = 5,3 V / 100 Ω = **53 mA**, I_B ≈ 53 mA / 150 ≈ **0,35 mA**.

7 Längsregler

a) 12 V − 0,7 V = **11,3 V**. b) 1 A / 50 = **20 mA**. c) (20 V − 11,3 V) · 1 A = **8,7 W** → Kühlkörper. d) Bei 15 V müssen 20 mA + 5 mA fliessen: (15 V − 12 V) / 25 mA = **120 Ω**.

8 Quiz

a) **7,5 mA** · b) **3 W** · c) **6,1 V**