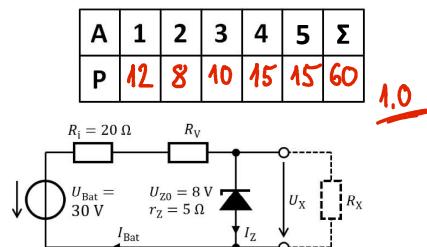


Hochschule München Fakultät 03	Sommersemester 2025 Angewandte Elektronik	Prof. Küpper
Zugelassene Hilfsmittel: alle eigenen, Taschenrechner	Matr.-Nr.: Name, Vorname: Unterschrift:	
Hörsaal:		

Viel Erfolg!!**Aufgabe 1 (Z-Diode, ca. 12 Punkte)**

Die Ausgangsspannung U_X soll mit einer Z-Diode stabilisiert werden. Folgende Daten sind bekannt:

- Reale Spannungsquelle $U_{\text{Bat}} = 30 \text{ V}$ mit Innenwiderstand $R_i = 20 \Omega$.
- Z-Diode mit $U_{Z0} = 8 \text{ V}$ und $r_Z = 5 \Omega$.



- 1.1 Die Schaltung wird zunächst ohne Lastwiderstand R_X betrieben. Wie groß muss R_V sein, damit die Z-Diode der maximal zulässige Strom $I_{Z,\text{max}} = 100 \text{ mA}$ fließt?

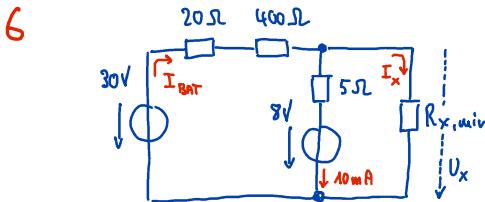
$$I_{Z,\text{max}} = 0,1 \text{ A} = \frac{(30 - 8) \text{ V}}{(20 + 5) \Omega + R_V} \rightarrow R_V = 195 \Omega \quad \checkmark$$

- 1.2 Wie wird sich der Anschluss eines sehr niederohmigen Lastwiderstands R_X auf die Funktion der Schaltung auswirken (kurze Begründung, keine Berechnung!) \checkmark

2 Spannung U_X bricht ein ; Z-Diode sperzt ;
keine stabilisierende Wirkung mehr.

- 1.3 Der Wert des Vorwiderstands ist nun $R_V = 400 \Omega$. Berechnen Sie den minimalen Wert von R_X , bei dem die Ausgangsspannung gerade noch sicher stabilisiert wird. Wie groß sind in diesem Fall U_X und I_{Bat} ? (Tipp: Wählen Sie zunächst einen sinnvollen Wert für $I_{Z,\text{min}}$)

$$I_{Z,\text{min}} \approx 0,1 \cdot I_{Z,\text{max}} = 10 \text{ mA} \quad \checkmark$$



$$U_X = 8V + 5\Omega \cdot 10\text{mA} = 8,05 \text{ V} \quad \checkmark$$

$$I_{\text{BAT}} = \frac{(30 - 8,05) \text{ V}}{(20 + 400) \Omega} = 52,262 \text{ mA} \quad \checkmark$$

$$I_X = I_{\text{BAT}} - 10 \text{ mA} = 42,262 \text{ mA} \quad \checkmark$$

$$R_{X,\text{min}} = \frac{U_X}{I_X} = 190,48 \Omega \quad \checkmark$$

- 1.4 Welche Verlustleistung geht im Unterpunkt 1.3 an der Z-Diode als Wärme verloren?

2 $P_V = 10 \text{ mA} \cdot U_X = 80,5 \text{ mW} \quad \checkmark$

Aufgabe 2: Halbleiter (ca. 8 Punkte)

Ein Halbleiterplättchen aus Silizium mit einer Fläche $A = 0,1 \text{ cm}^2$ und einer Dicke $d = 1 \text{ mm}$ soll bei einer Stromstärke $I = 50 \text{ A}$ eine Verlustleistung von $P = 2 \text{ W}$ aufweisen.

Eigenschaften von Silizium bei $T = 300 \text{ K}$: $W_G = 1,12 \text{ eV}$, $n_i = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_n = 1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p = 600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $E_{\text{Br}} = 300.000 \text{ V/cm}$, $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

- 2.1 Welchen Widerstand R muss das Plättchen haben? (Ersatzwert: $1 \text{ m}\Omega$)

$$P = 2 \text{ W} = I^2 \cdot R \quad \text{mit} \quad I = 50 \text{ A} \rightarrow R = 0,8 \text{ m}\Omega \quad \checkmark$$

- 2.2 Welche elektrische Leitfähigkeit κ muss es aufweisen? (Ersatzwert: $10^5 \frac{1}{\Omega \cdot \text{m}}$)

$$R = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{d}{A} \quad \checkmark$$

$$\rightarrow \kappa = \frac{1}{R} \cdot \frac{d}{A} = \frac{1}{0,0008 \Omega} \cdot \frac{0,001 \text{ m}}{0,1 \cdot (0,01 \text{ m})^2} = 125000 \frac{1}{\Omega \cdot \text{m}} \quad \checkmark$$

- 2.3 Mit welcher Akzeptordichte muss es dotiert werden, damit die geforderte elektrische Leitfähigkeit bei $T = 300 \text{ K}$ erreicht wird?

$$\kappa = e \cdot \mu_p \cdot p_0 \quad \checkmark$$

$$\rightarrow p_0 \approx N_A = \frac{\kappa}{e \cdot \mu_p} = \frac{125000}{8 \Omega \cdot m \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 0,06 \text{ m}^2} = 1,3 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3} = 1,3 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3} \quad \checkmark$$

- 2.4 Bei $T = 300 \text{ K}$ kann davon ausgegangen werden, dass alle Akzeptor-Störstellen ionisiert sind. Wie verändert sich der Widerstand des Halbleiterplättchens qualitativ, wenn die Temperatur darüber hinaus (a) etwas bzw. (b) stark erhöht wird? (Kurze Begründung!)

2 Störstellenverschöpfung
→ keine Veränderung
✓

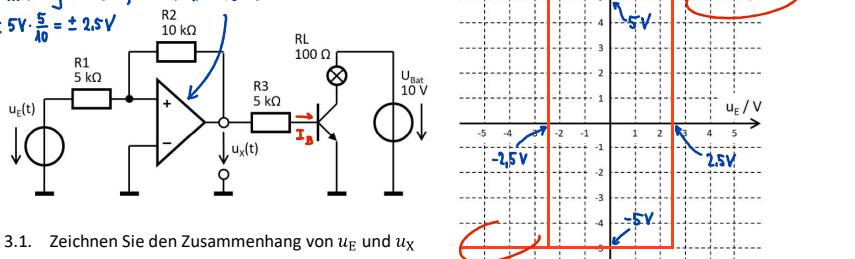
n_i steigt stark an
HL wird zum Eigenleiter
→ Widerstand sinkt
✓

Aufgabe 3: Operationsverstärker, Transistor (ca. 10 Punkte)

Der ideale Operationsverstärker in der abgebildeten Schaltung hat eine maximale Ausgangsspannung von +5 V und eine minimale Ausgangsspannung von -5 V.

Komp. mit Hysterese, Schwellenwerte

bei $\pm 5V \cdot \frac{5}{10} = \pm 2,5V$

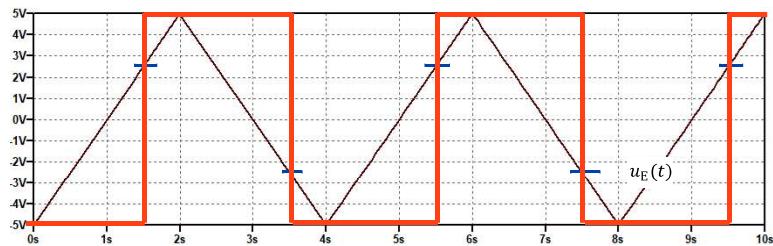


2

- 3.1. Zeichnen Sie den Zusammenhang von u_E und u_X in das vorbereitete Diagramm.

1P. für korrekte „Kurvenform“; 1P. für Schwellenwerte

- 3.2. Die folgende Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung $u_E(t)$. Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung $u_X(t)$ in dasselbe Diagramm.



2

- 3.3. Zeichnen Sie die Arbeitsgerade, die sich aus dem Widerstand R_L des Lämpchens und der Betriebsspannung U_{Bat} ergibt, in das Ausgangskennlinienfeld des Transistors. $I_K = \frac{10V}{100\Omega} = 0,1A$

- 3.4. Welcher Basisstrom fließt bei $u_{X,1} = +5V$ und $u_{X,2} = -5V$ in den Transistor? Die Durchlass-Spannung der „Basis-Emitter-Diode“ ist 0,5 V.

$$U_{X,1} = +5V \rightarrow I_B = \frac{(5-0,5)V}{5000\Omega} = 900\mu A = 0,9mA$$

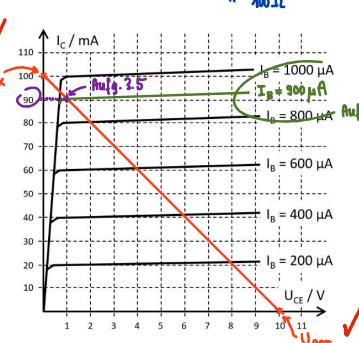
$U_{X,2} < 0V \rightarrow$ BE-Diode sperrt
→ Kein Strom! ✓

2

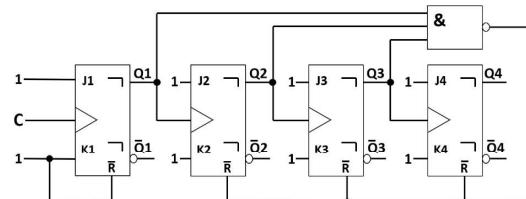
- 3.5. Welcher Strom fließt durch das Lämpchen bei $u_{X,1} = +5V$ und bei $u_{X,2} = -5V$? Hinweis: Ergänzen Sie zuerst die fehlende Kennlinie im Ausgangskennlinienfeld des Transistors.

a) $U_{X,1} = +5V$, abgelesen: $I_c = I_{\text{Lampe}} = 90mA$ ✓

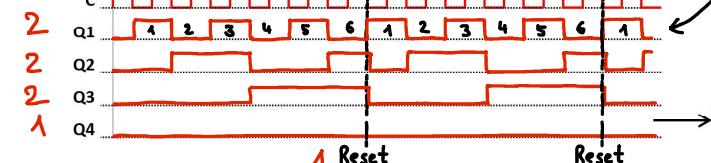
b) $U_{X,2} = -5V$, Transistor sperrt: $I_c = I_{\text{Lampe}} = 0mA$ ✓

**Aufgabe 4: Digitaltechnik (ca. 15 Punkte)**

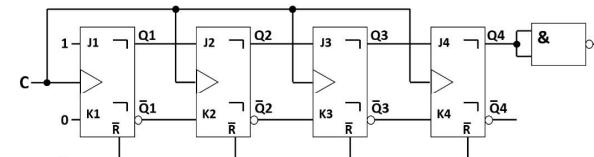
- 4.1. Gegeben ist die folgende Schaltung aus positiv flankengetriggerten JK-Master-Slave-Flipflops. Zeichnen Sie die zeitlichen Verläufe der Signale Q1, Q2, Q3, Q4 in das vorbereitete Diagramm. (Tipp: Die Reset-Eingänge funktionieren wie im Praktikum: Um einen Reset durchzuführen, müssen sie auf null gesetzt werden.)



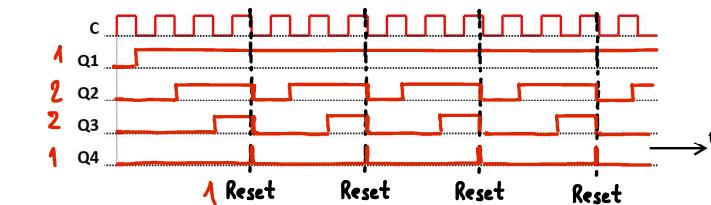
8



- 4.2. Zeichnen Sie auch für die zweite Digitalschaltung die zeitlichen Verläufe der Signale Q1, Q2, Q3, Q4 in das vorbereitete Diagramm.



7

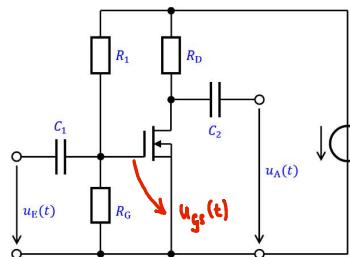


- 4.3. Markieren Sie in beiden Diagrammen (Unterpunkte 4.1 und 4.2) die Zeipunkte, wann die Flipflops 2, 3 und 4 zurückgesetzt werden (Eingänge \bar{R} auf null).

(s.o.)

Aufgabe 5: MOSFET (ca. 15 Punkte)

Gegeben ist der folgende MOSFET-Verstärker für Wechselspannung. Die folgenden Daten sind bekannt: $R_D = 120 \Omega$, $R_1 = 500 \text{ k}\Omega$, $R_G = 100 \text{ k}\Omega$, $U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$.



- 5.1. Zeichnen Sie die Arbeitsgerade (U_{Bat}, R_D) in das Ausgangskennlinienfeld des MOSFETs.

$$I_K = 12 \text{ V} / 120 \Omega = 100 \mu\text{A}$$

- 5.2. Bestimmen Sie die Spannung $U_{GS,AP}$ des MOSFETs im Arbeitspunkt. Zeichnen Sie auch den Arbeitspunkt in das Ausgangskennlinienfeld.

$$U_{GS,AP} = U_{\text{BAT}} \cdot \frac{R_G}{R_G + R_1} = 2 \text{ V}$$

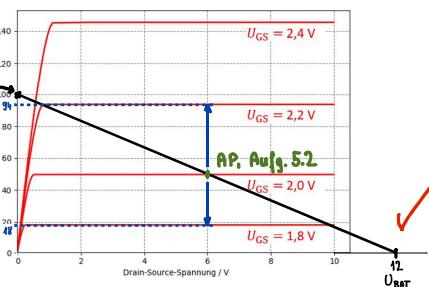
- 5.3. Lesen Sie aus dem Ausgangskennlinienfeld die Steilheit für den gewählten Arbeitspunkt ab.

$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} = \frac{(94-18) \mu\text{A}}{(2,2-1,8) \text{ V}} = 0,19 \frac{1}{\Omega}$$

- 5.4. Berechnen Sie den (Leerlauf-)Verstärkungsfaktor dieses Verstärkers.

$$V = -S \cdot R_D = -0,19 \frac{1}{\Omega} \cdot 120 \Omega = 22,8$$

✓



- 5.5. Welche Aufgabe erfüllt der Kondensator C_1 am Eingang?

C_1 lässt nur den Wechselspannungs-Anteil von $u_E(t)$ zum MOSFET durch.

→ $u_{GS}(t)$ schwingt um den Arbeitspunkt und z.B. nicht um die Null-Linie.

- 5.6. Welche Aufgabe erfüllt der Kondensator C_2 am Ausgang?

U_{DS} schwingt um den Arbeitspunkt, ein Verbraucher soll aber eine reine Wechselspannung $u_A(t)$ „sehen“.

→ C_2 überträgt nur den Wechselspannungs-Anteil zum Ausgang.

- 5.7. Wie ändert sich das Verhalten des Verstärkers, wenn R_D erhöht wird? Nennen Sie zwei Veränderungen und begründen Sie diese.

a) Verstärkungsfaktor $V = -S \cdot R_D$ steigt.

b) Der max. mögliche Ausgangsstrom sinkt ab, denn dieser muss ja durch R_D fließen.

- 5.8. Warum können die Vorwiderstände R_1 und R_G im Vergleich zu Verstärkern mit Bipolartransistoren so hochohmig gewählt werden?

Der MOSFET benötigt lediglich eine Steuerspannung (und z.B. keinen Basisstrom, wie ein Bipolartransistor).

→ Der Spannungsteiler aus R_1 und R_G ist also unbelastet!

✓