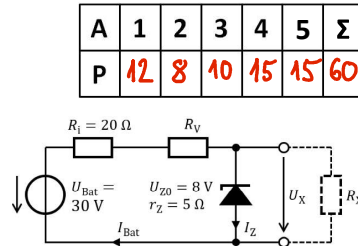


Hochschule München Fakultät 03	Sommersemester 2025 Angewandte Elektronik	Prof. Küpper
Zugelassene Hilfsmittel: alle eigenen, Taschenrechner	Matr.-Nr.: Name, Vorname:	
	Hörsaal: Unterschrift:	

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 durch die Z-Diode der maximal zulässige Strom $I_{Z,\text{max}} = 100 \text{ mA}$ fließt?

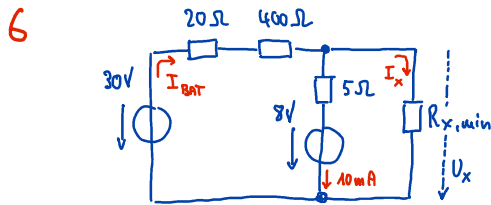
2 $I_{Z,\text{max}} = 0,1 \text{ A} = \frac{(30 - 8) \text{ V}}{(20 + 5) \Omega + R_V} \rightarrow R_V = 195 \Omega$

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

2 Spannung U_X bricht ein; z-Diode sperrt; 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 $I_{Z,\text{min}}$)

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



$U_X = 8 \text{ V} + 5 \Omega \cdot 10 \text{ mA} = 8,05 \text{ V}$
 $I_{\text{Bat}} = \frac{(30 - 8,05) \text{ V}}{(20 + 400) \Omega} = 52,262 \text{ mA}$
 $I_X = I_{\text{Bat}} - 10 \text{ mA} = 42,262 \text{ mA}$
 $R_{X,\text{min}} = \frac{U_X}{I_X} = 190,48 \Omega$

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

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

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: $1 \text{ m}\Omega$)

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

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

2 $R = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{d}{A}$
 $\rightarrow \kappa = \frac{1}{R} \cdot \frac{d}{A} = \frac{1}{0,0008 \Omega} \cdot \frac{0,001 \text{ m}}{0,1 \cdot (0,01 \text{ m})^2} = 125.000 \frac{1}{\Omega \text{m}}$

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

p-HL, Minoritätsträger vernachlässigen!

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

2 $\rightarrow p_0 \approx N_A = \frac{\kappa}{e \cdot \mu_p} = \frac{125.000}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 0,06 \text{ m}^2/\text{Vs}} = 1,3 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3} = 1,3 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

- 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!)

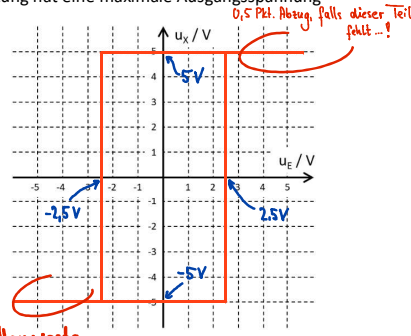
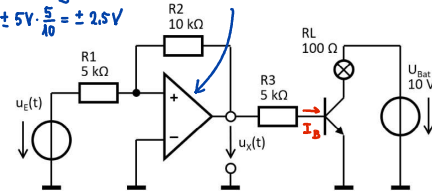
Störstellenerschöpfung
 \rightarrow keine Veränderung

n_i steigt stark an
 HL wird zum Eigenleiter
 \rightarrow 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.

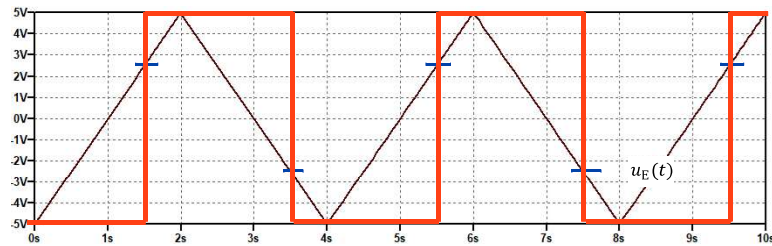
Komp. mit Hysterese, Schwellenwerte
bei $\pm 5V \cdot \frac{5}{10} = \pm 2.5V$



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.



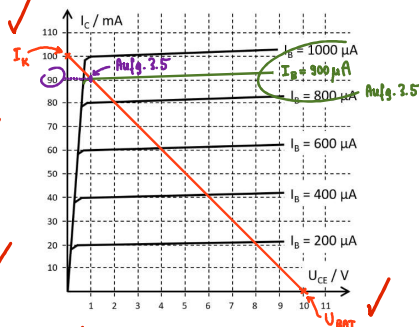
3.3. Zeichnen Sie die Arbeitsgerade, die sich aus dem Widerstand R_L des Lämpchens und der Betriebsspannung U_{Bat} ergibt, in das Ausgangskennlinienfeld des Transistors. $I_K = \frac{10V}{100\Omega} = 0.1A$

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

$$U_{X1} = +5V \rightarrow I_B = (5 - 0.5)V / 5000\Omega = 900\mu A = 0.9mA$$

$U_{X2} < 0V \rightarrow$ BE-Diode sperrt
 \rightarrow Kein Strom!

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.

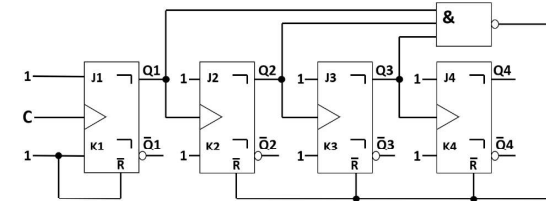


a) $u_{X1} = +5V$, abgelesen: $I_C = I_{Lampe} = 90mA$ (✓)

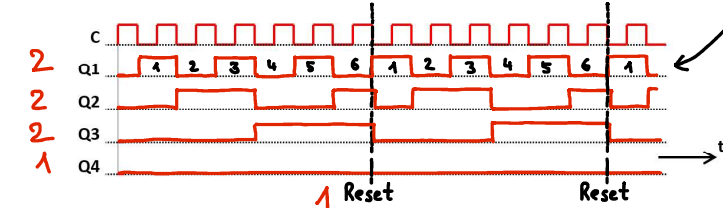
b) $u_{X2} = -5V$, Transistor sperrt: $I_C = I_{Lampe} = 0mA$ (✓)

Aufgabe 4: Digitaltechnik (ca. 15 Punkte)

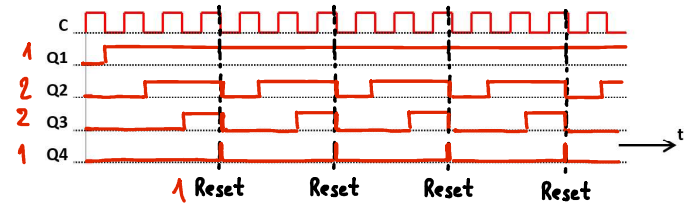
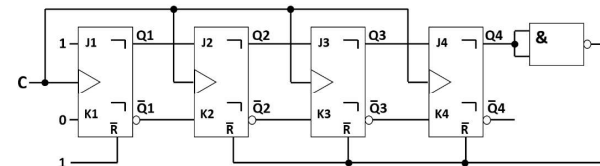
4.1. Gegeben ist die folgende Schaltung aus positiv flankengetriggerten JK-Master-Slave-Flipflops. Zeichnen Sie die zeitlichen Verläufe der Signale Q1, Q2, Q3, Q4 in das vorbereitete Diagramm. (Tipp: Die Reset-Eingänge funktionieren wie im Praktikum: Um einen Reset durchzuführen, müssen sie auf null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



vergl. elektronischer Würfel, Praktikum...



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

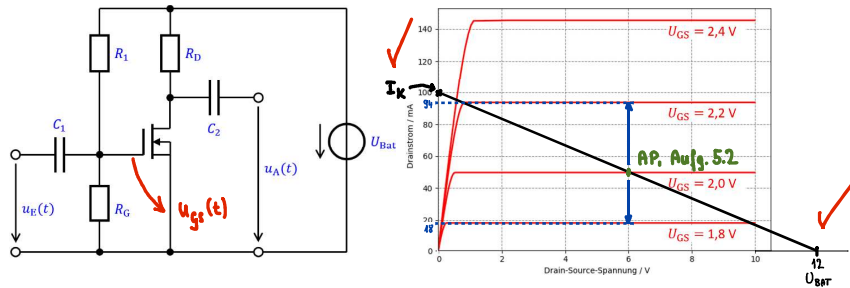


4.3. Markieren Sie in beiden Diagrammen (Unterpunkte 4.1 und 4.2) die Zeitpunkte, wann die Flipflops 2, 3 und 4 zurückgesetzt werden (Eingänge R auf null).

(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.

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

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

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

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

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

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

→ $u_{\text{GS}}(t)$ 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?