

## Probeklausur Elektronik (Medientechnik 3, SS 2010)

**Hinweise zur Bearbeitung:**

**Sie haben 120 Minuten Zeit, die Aufgaben zu bearbeiten. Die Aufgaben können auf den Aufgabenblättern oder separaten Blättern bearbeitet werden.**

**Hilfsmittel:**

Als Formelsammlung darf nur jene verwendet werden, die vorher festgelegt wurde, alle anderen sind nicht erlaubt. Für die Berechnungen dürfen nur nicht programmierbare Taschenrechner verwendet werden. Weitere Hilfsmittel sind verboten.

### Aufgabe 1)

In Abb. 1 ist eine Verstärkerschaltung des Transistors 2N3390 zu sehen. Beim Transistor ist von einer Stromverstärkung von 686 auszugehen. Die Eingangskennlinie des Transistors sehen Sie in Abb. 2, das Ausgangskennlinienfeld ist in Abb. 3 zu sehen. Die Schaltung soll in einem Frequenzbereich von über 10Hz betrieben werden.

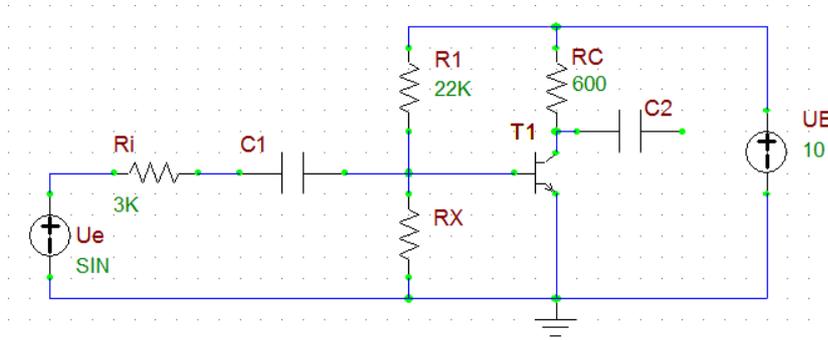


Abb. 1: Verstärkerschaltung mit Transistor 2N3390

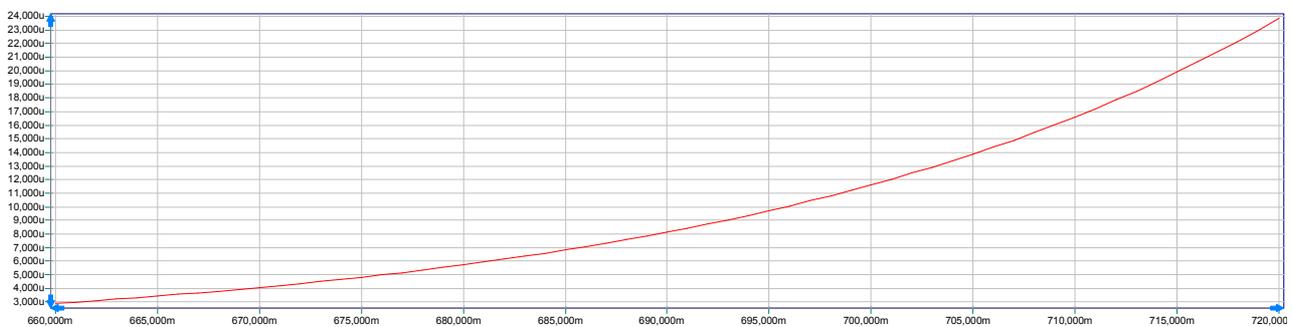
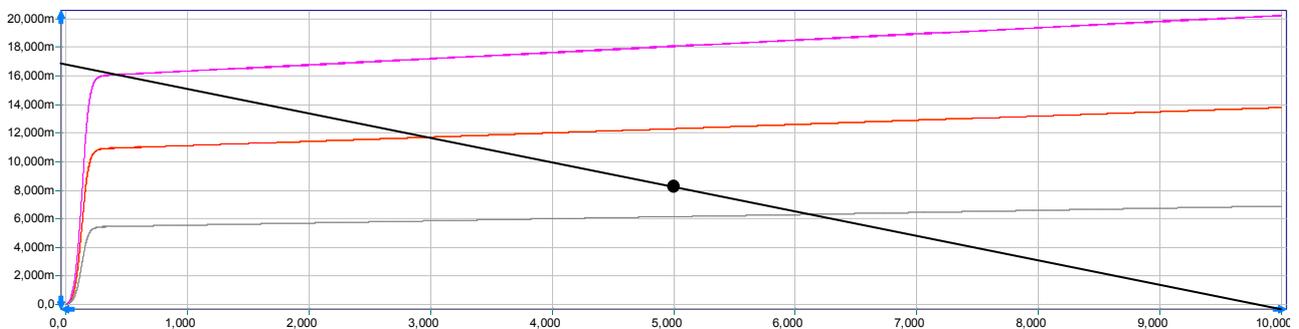


Abb. 2: Eingangskennlinie des Transistors 2N3390



a) Welche Schaltungsvariante liegt vor?

Eine Emitterschaltung mit Basisspannungsteiler. Zu erkennen ist dies an den beiden Widerständen  $R_1$  und  $R_X$  (dem Spannungsteiler), sowie am Kollektorwiderstand  $R_C$  (der bei einer Kollektorschaltung nicht vorhanden wäre).

- b) Bestimmen Sie  $I_B$  und  $I_C$  für einen Arbeitspunkt von  $U_{BE} = 700mV$ . Zeichnen Sie die Arbeitsgerade und den Arbeitspunkt in das Ausgangskennlinienfeld ein. (Der zur Verfügung stehende Spannungsbereich soll optimal ausgenutzt werden.)

$$I_B = 11,5\mu A \rightarrow \text{aus Kennlinie abgelesen}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 686 \cdot 11,5\mu A = 7,9mA$$

Aufteilung des Spannungsbereichs beim Arbeitspunkt:

$$U_{CE} = U_{RC} = \frac{U_B}{2} = 5V$$

Berechnung des maximalen Wertes für  $I_C$  (Grenzwert der Arbeitsgerade):

$$\frac{U_B}{R_C} = \frac{10V}{600\Omega} = 16,7mA$$

Die Zeichnung der Arbeitsgerade und des Arbeitspunktes ist in Abb. 3 zu sehen.

- c) Welchen Wert muss der Widerstand  $R_X$  beim vorgegebenen Arbeitspunkt annehmen?

$$U_{R_X} = U_{BE} = 700mV$$

$$U_{R_1} = U_B - U_{BE} = 10V - 700mV = 9,3V$$

$$I_q + I_B = \frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{9,3V}{22k\Omega} = 423\mu A$$

$$I_q = (I_q + I_B) - I_B = 423\mu A - 11,5\mu A = 411,5\mu A$$

$$R_X = \frac{U_{R_X}}{I_q} = \frac{700mV}{411,5\mu A} = 1701\Omega$$

- d) Bestimmen Sie die Ersatzwiderstände  $r_{BE}$  und  $r_{CE}$  sowie  $r_e$  und  $r_a$ .

$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{20mV}{8,5\mu A} = 2353\Omega$$

$$r_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} = \frac{8V}{1,5mA} = 5333\Omega$$

$$r_e = r_{BE} \parallel R_1 \parallel R_X \Rightarrow r_e = 945\Omega$$

$$r_a = r_{CE} \parallel R_C \Rightarrow r_a = 539\Omega$$

e) Welche Spannungsverstärkung weist die Schaltung auf?

$$V_U = -\beta \cdot \frac{r_{CE} \parallel R_C \parallel R_L}{r_{BE}} = -\beta \cdot \frac{r_a \parallel R_L}{r_{BE}}$$

$$V_U = -686 \cdot \left( \frac{539\Omega}{2353\Omega} \right)$$

$$= -157,14$$

f) Berechnen Sie die Größe der erforderlichen Koppelkondensatoren  $C_1$  und  $C_2$ .

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot f_u \cdot (R_i + r_e)} = \frac{1}{2\pi \cdot 10\text{Hz} \cdot 3945\Omega} = 4,03\mu\text{F}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot f_u \cdot (R_L + r_a)} = \frac{1}{2\pi \cdot 10\text{Hz} \cdot 539\Omega} = 29,53\mu\text{F}$$

## Aufgabe 2)

Abb. 4 zeigt den Transistor 2N3390 in Verstärkerschaltung mit Spannungsgegenkopplung. Die gezeigte Schaltung soll im Folgenden ausgelegt werden. Der Arbeitspunkt soll bei  $I_B = 16\mu\text{A}$  liegen. Die Werte der Ersatzwiderstände des Transistors werden mit  $r_{BE} = 1,5\text{k}\Omega$  und  $r_{CE} = 8\text{k}\Omega$  angenommen.

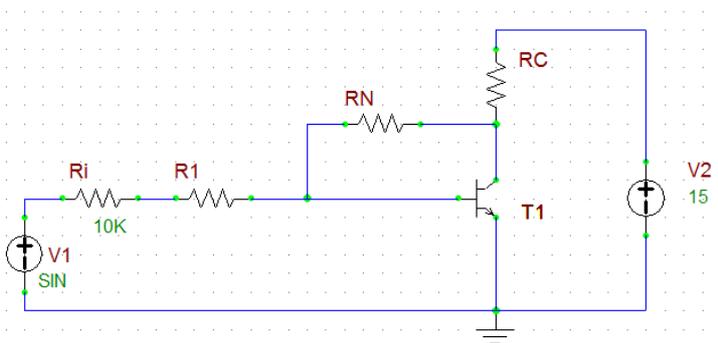


Abb. 4: Transistor 2N3390 in Verstärkerschaltung mit Spannungsgegenkopplung

a) Erklären Sie (kurz) das Prinzip der Stromgegenkopplung.

Steigt durch Temperaturanstieg der Strom  $I_C$  an, steigt auch  $U_{RC}$  an. Damit muss  $U_{CE}$  abfallen.

Wegen  $R_N = \frac{U_{CE} - U_{BE}}{I_N}$  fällt auch  $I_N$  ab. Dies verringert  $I_B$ , was wiederum zu einer Verringerung von  $I_C$  führt. Damit wird der Anstieg des Kollektorstroms ausgeglichen.

b) Berechnen Sie den benötigten Wert für die Widerstände  $R_C$  und  $R_N$ .

$$I_C = \beta \cdot I_B = 686 \cdot 30\mu\text{A} = 11\text{mA}$$

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{7,5\text{V}}{11\text{mA}} = 682\Omega$$

$$U_{BE} \text{ aus Kennlinie ablesen} \rightarrow U_{BE} = 709mV$$

$$R_N = \frac{U_{CE} - U_{BE}}{I_N} = \frac{7,5V - 709mV}{16\mu A} = 424,4k\Omega$$

- c) Legen Sie den Widerstand  $R_1$  aus, damit die Schaltung eine Spannungsverstärkung von  $V_U = -7$  erreicht.

$$-\frac{1}{7} = - \left( \frac{1 + \frac{R_1 + 10k\Omega}{1,5k\Omega}}{\frac{686}{1,5k\Omega} \cdot (8k\Omega \parallel 682\Omega)} + \frac{R_1 + 10k\Omega}{424,4k\Omega} \right)$$

$$\frac{1}{7} = \frac{R_1 + 11,5k\Omega}{287,4 \cdot 1,5k\Omega} + \frac{R_1}{424,4k\Omega} + \frac{10k\Omega}{424,4k\Omega}$$

$$\frac{1}{7} - \frac{11,5k\Omega}{431,1k\Omega} - \frac{10k\Omega}{424,4k\Omega} = R_1 \cdot \left( \frac{1}{431,1k\Omega} + \frac{1}{424,4k\Omega} \right)$$

$$19808\Omega = R_1$$

$$\Rightarrow R_1 = 19,8k\Omega$$

- d) Berechnen Sie den Wechselstrom Eingangs- und Ausgangswiderstand der Schaltung.

$$r_e = 19,8k\Omega + \left( 1,5k\Omega \parallel \frac{424,4k\Omega}{\frac{686}{1,5k\Omega} \cdot (682\Omega \parallel 8k\Omega)} \right)$$

$$= 19,8k\Omega + 744\Omega$$

$$= 20,54k\Omega$$

$$r_a = 8k\Omega \parallel 682\Omega \parallel \left( \frac{424,4k\Omega}{686} \cdot \left( 1 + \frac{8k\Omega}{34,8k\Omega} \right) \right)$$

$$= 8k\Omega \parallel 682\Omega \parallel 761\Omega$$

$$= 344\Omega$$

- e) An die Schaltung wird ein sinusförmiges Eingangssignal ( $f = 1kHz, U_q = 20mV$ ) gelegt. Berechnen Sie die Ausgangsspannung  $U_a$ .

ACHTUNG: Innenwiderstand der Spannungsquelle beachten!!

$$U_e = U_q \cdot \frac{r_e}{r_e + R_i} = 20mV \cdot \frac{25,54k\Omega}{35,54k\Omega} = 14,37mV$$

$$U_a = |V_U| \cdot U_e = 7 \cdot 14,37mV = 100,6mV$$

### Aufgabe 3)

Der Transistor 2N3390 wird nun als Schalter für eine LED eingesetzt (s. Abb. 5).

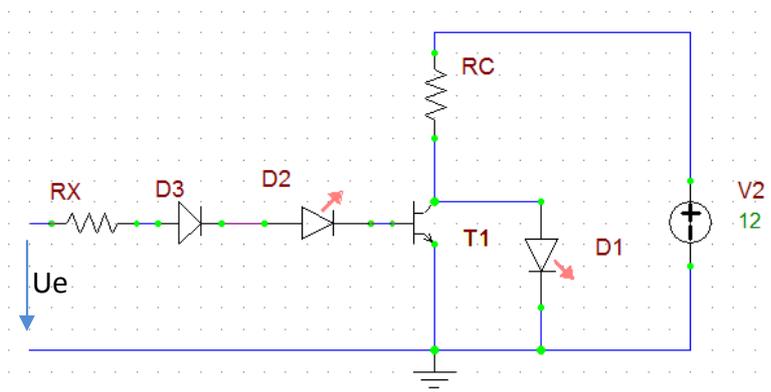


Abb. 5: Transistor 2N3390 als Schalter für eine LED

Für die Diode D1 ergibt sich eine Durchlassrichtung ein Spannungsabfall von  $U_{D1} = 1,7V$ . Die Diode D2 ist baugleich mit D1, für D3 ist von einem Spannungsabfall von  $U_{D3} = 0,8V$  in Durchlassrichtung auszugehen. Die Sättigungsspannung des Transistors beträgt  $U_{CEsat} = 0,5V$ . Die Schaltung wird mit einem Eingangssignal versorgt, welches jede Sekunde zwischen den Spannungen  $1V$  und  $8V$  umschaltet.

- a) Legen Sie die Widerstände  $R_C$  und  $R_X$  für eine zweifache Übersteuerung aus.

$$U_{CE} = U_{CEsat} = 0,5V$$

$$I_C \text{ aus Kennlinie ablesen} \rightarrow I_C = 16mA$$

$$R_C = \frac{U_B}{I_C} = \frac{12V}{16mA} = 750\Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{16mA}{686} = 23\mu A$$

$$I_B^* = \ddot{u} \cdot I_B = 2 \cdot 23\mu A = 46\mu A$$

$$U_{BE} = 0,8V (\rightarrow \ddot{u} > 1)$$

$$U_{RX} = U_e - U_{D2} - U_{D3} - U_{BE} \\ = 8V - 1,7V - 0,8V - 0,8V = 4,7V$$

$$R_X = \frac{U_{RX}}{I_B^*} = \frac{4,7V}{46\mu A} = 102,17k\Omega$$

- b) Beschreiben Sie den Verlauf der Spannung über der Diode D1 (gegen GND) für die ersten 5 Sekunden. Gehen Sie davon aus, dass die Schaltung mit dem Zustand  $U_e = 1V$  startet.

Die Spannung springt immer zwischen den Werten von  $U_{D1} = 1,7V$  (bei  $U_e = 1V$ ) und  $U_{D1} = U_{CEsat} = 0,5V$  (bei  $U_e = 8V$ ) hin und her.

- c) Welchen Zustand (Ein/Aus) hat die Leuchtdiode D2, wenn die Diode D1 leuchtet? Begründen Sie Ihre Antwort kurz mit Hilfe Ihrer Ergebnisse aus den anderen Aufgabenteilen.

Die LED ist aus, weil D1 nur dann leuchtet, wenn  $U_e = 1V$  anliegt. Diese Spannung reicht nicht aus, um D2 zum Leuchten zu bringen.

#### Aufgabe 4)

Gegeben ist die OP-Schaltung in Abb. 6. Die Aussteuerungen des OP werden mit  $\pm 20V$  angenommen.

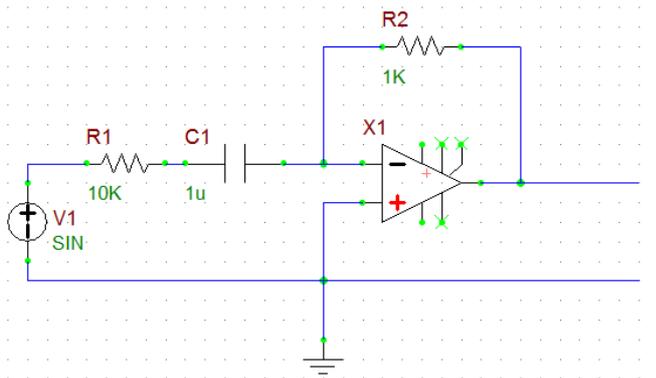


Abb. 6: OP-Schaltung mit Wechselstrom-Eingangssignal

- a) Geben Sie die Übertragungsfunktion  $H(j\omega)$  der Schaltung an.

$$H(j\omega) = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} = -\frac{1k\Omega}{10k\Omega + \frac{1}{j\omega \cdot 1\mu F}}$$

- b) Welche Verstärkung (in dB) erreicht die Schaltung bei einer Frequenz von  $f = 200Hz$  ?

$$|H(j\omega)| = \frac{1k\Omega}{\sqrt{(10k\Omega)^2 + \left(\frac{1}{2\pi \cdot 200Hz \cdot 1\mu F}\right)^2}} = \frac{1k\Omega}{10031\Omega} = 0,0996 \hat{=} -20,03dB$$

- c) Welches Ausgangssignal würde anliegen, wenn man den Widerstand  $R_2$  entfernt?

Wenn  $R_2$  entfernt wird, ist die Gegenkopplung außer Kraft gesetzt, der OP verstärkt daher mit  $V_{D0}$ , was im Bereich  $10^3 - 10^5$  angenommen werden kann. Dieser Spannungsraum wird begrenzt durch die Aussteuerungsgrenzen, an die der OP fährt.

Daher ist  $U_a = -20V$ .

- d) Welches Ausgangssignal würde anliegen, wenn man den Widerstand  $R_2$  durch eine Drahtbrücke ersetzen würde?

Die Überbrückung würde sich der Zähler der Übertragungsfunktion zu 0 verändern, daher ist die Verstärkung immer gleich 0.

Es gilt daher  $U_a = 0V$ .