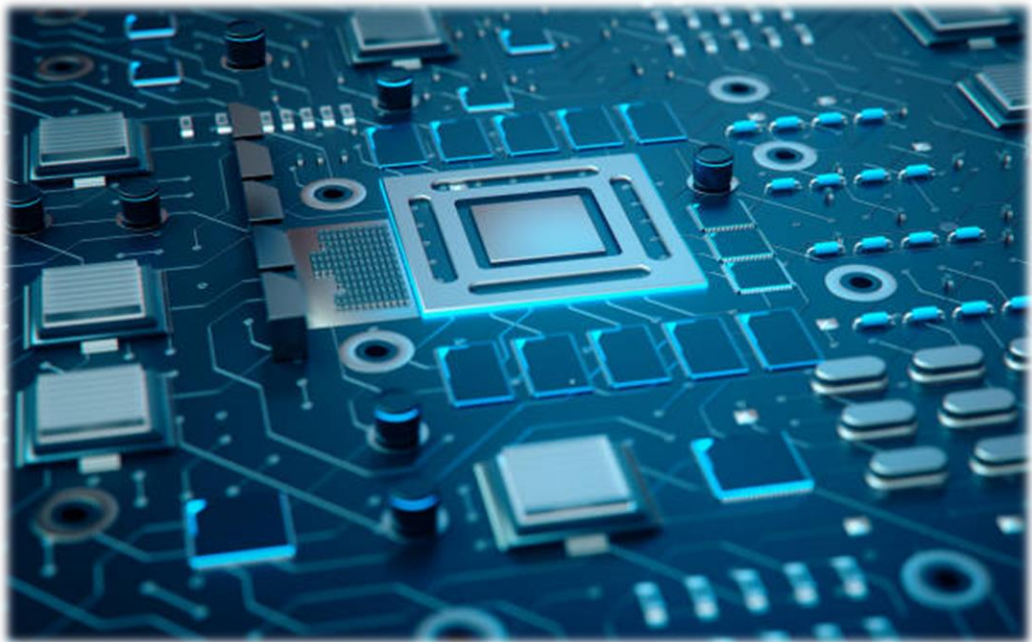


8. MAI 2024



ZWEISTUFIGER TRANSITORVERSTÄRKER

3. PROJEKT

SIMON SALCHNER, PHILIPP DONA
3AHEL/GRUPPE 4
BETREUER: ERICH WALTER
ABGEGEBEN AM 19.6.2024

Inhalt

1. Aufgabenstellung	3
1.1 Überblick.....	
1.2 Elektrische Vorgaben.....	
1.3 Sonstige Vorgaben.....	
2. Schaltung und Schaltungsbeschreibung	4
2.1 Schaltungsbeschreibung	
2.2 Blockschaltbild	
2.3 Gesamt-Schaltplan	5
2.4 Simulations-Schaltung	6
3. Berechnungen	7
3.1 Emitter-Grundsaltung	
3.2 Kollektor-Grundsaltung	11
3.3 Verstärkung	12
4. Simulation	13
4.1 Emitter-Grundsaltung	
4.2 Kollektor-Grundsaltung	14
4.3 Verstärkung	
5. Fertigungsunterlagen.....	16
6. Stückliste.....	20
7. Datenblätter.....	21

1. Aufgabenstellung

1.1 Überblick

Das Ziel dieses Projekts besteht darin, einen zweistufigen Transistorverstärker zu entwerfen. Dieser besteht aus einer spannungsverstärkenden Emitter-Grundschialtung als Stufe 1, und einer stromverstärkenden Kollektor-Grundschialtung als Stufe 2.

1.2 Elektrische Vorgaben

Gruppe	R_{in} [k Ω]	U_B [V]	P_{RL} [mW]	f_u [Hz]
1	1	15	50	50
2	3	12	100	100
3	5	10	150	150
4	1	12	100	150
5	3	10	50	100
6	5	15	150	50
7	1	10	50	100
8	3	15	100	50
9	5	12	150	150
10	1	15	150	50
11	3	10	100	100
12	5	12	50	150

Die Schaltung wird mit 12 Volt betrieben. Wie in der Zeile 4 dargestellt, muss ein R_{in} von 1k Ω verwendet werden. Die Leistung am Ausgang P_{RL} soll 100 mW groß sein und die Frequenz f_u soll 150 Hz betragen. Ebenfalls war die Vorgabe, die V_u möglichst verzerrungsfrei zu maximieren. Alle weiteren Parameter konnten selbst festgelegt werden und mussten im Berechnungsteil dokumentiert werden.

1.3 Sonstige Vorgaben

Beim Erstellen und Aufbau der Schaltung dürfen ausschließlich Bauteile verwendet werden, die im HTL-Bauteilkit enthalten sind.

2. Schaltung und Schaltungsbeschreibung

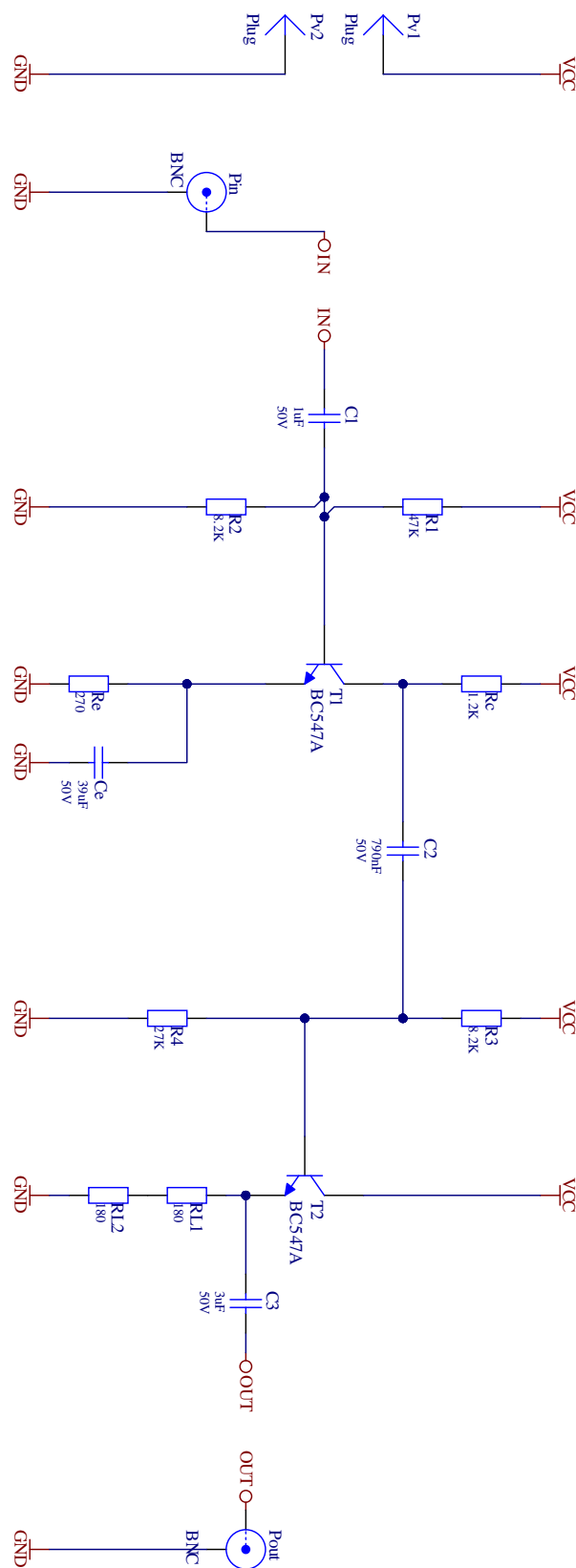
2.1 Schaltungsbeschreibung

Diese Schaltung ist ein zweistufiger Transistorverstärker bestehend aus einer Emitter-Grundschialtung gefolgt von einer Kollektorschaltung. Sie besteht aus zwei NPN-Transistoren (BC547A) mit jeweils einem Spannungsteiler ($R1/R2$ und $R3/R4$) zur Basisvorspannung. Die Koppel-Kondensatoren $C1$ und $C2$ blockieren Gleichstromanteile, während der Bypass-Kondensator C_e die Wechselstromverstärkung erhöht. Jeder Transistor hat einen Kollektorwiderstand (R_c und R_L) und einen Emitterwiderstand (R_e). Das Eingangssignal (IN) wird verstärkt und am Ausgang (OUT) ausgegeben. Die Schaltung wird mit einer Versorgungsspannung (VCC) betrieben und ist über GND verbunden.

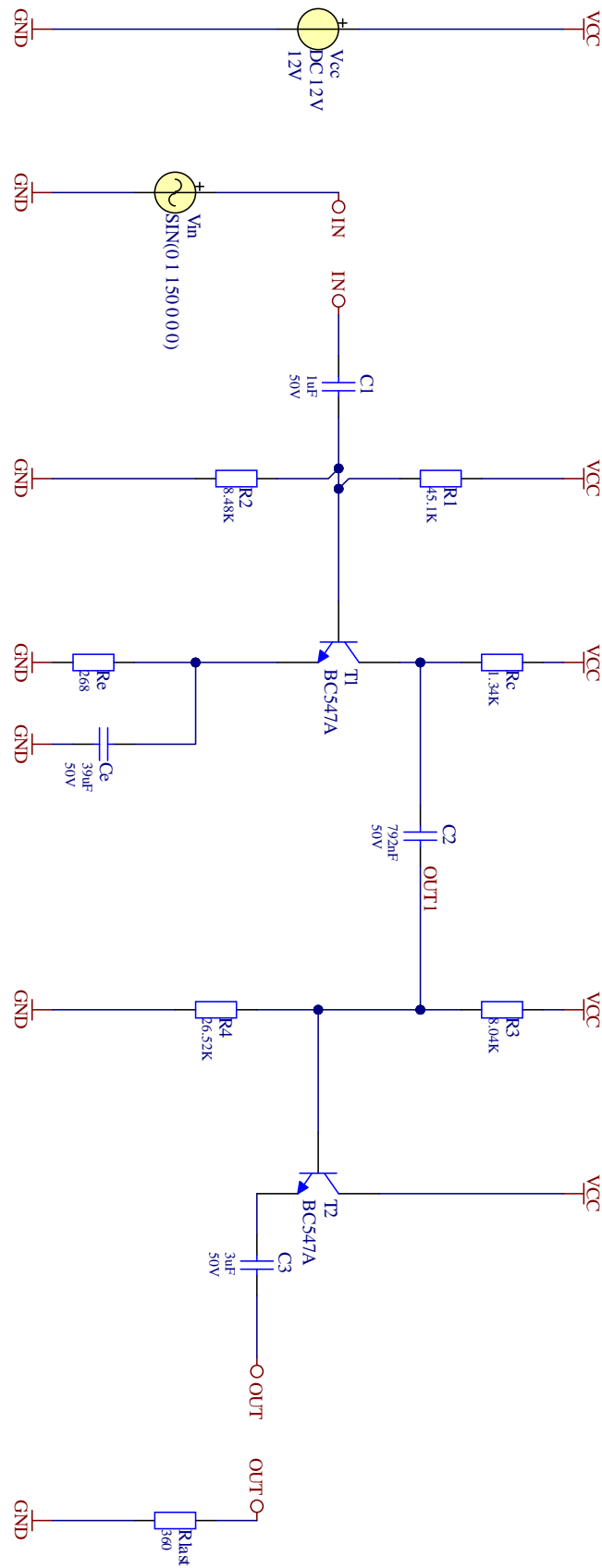
2.2 Blockschaltbild

Der erste Block stellt die Spannungsversorgung dar. Das Eingangssignal kommt zuerst in die Spannungsverstärker-Stufe (Emitter-Grundschialtung) und anschließend in die Stromverstärker-Stufe (Kollektorschaltung).

2.3 Gesamt-Schaltplan

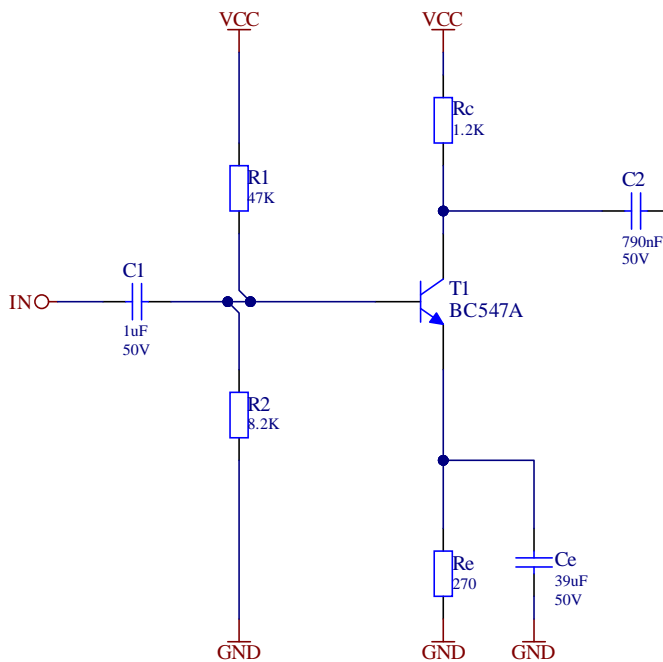


2.4 Simulations-Schaltung



3. Berechnungen

3.1 Emitter-Grundsaltung



Vorgaben:

$$R_{in} = 1k\Omega$$

$$U_a = U_B/2 \text{ (Symmetrischer Arbeitspunkt)}$$

Spannungen:

$$U_B = 12V$$

$$U_{BE} = 0,7V$$

$$U_{Rc} = 6V$$

$$U_{Re} = 0,1 * U_B = 1,2V$$

$$U_{CE} = U_B - U_{Rc} - U_{Re} = 12V - 6V - 1,2V = 4,8V$$

$$U_{R2} = U_{Re} + U_{be} = 1,2V + 0,7V = 1,9V$$

$$U_{R1} = U_B - U_{R2} = 12V - 1,9V = 10,1V$$

Formel für den Eingangswiderstand in Abhängigkeit vom Strom I_c aufstellen. I_c wird berechnet und anschließend die Widerstände.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

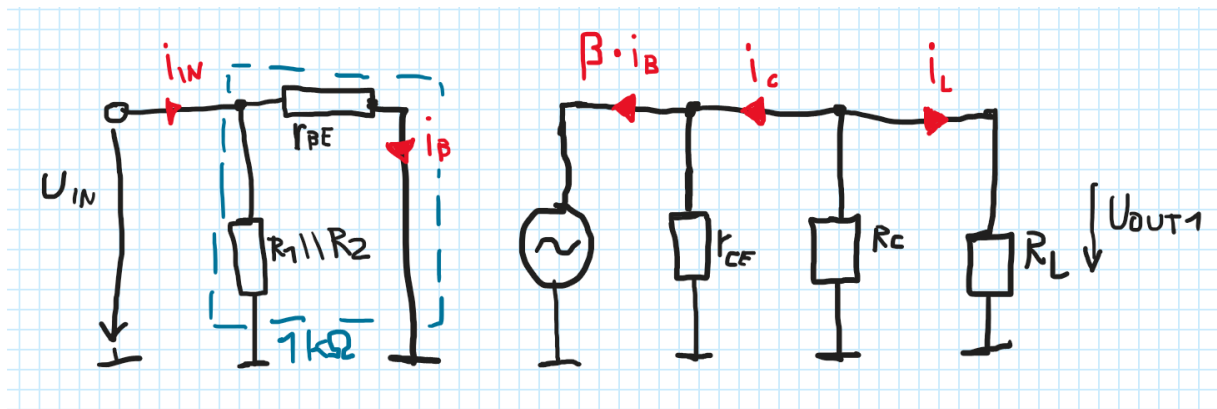
$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{6V}{I_C}$$

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_C} = \frac{1,2V}{I_C}$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{10 \cdot I_B} = \frac{1,9V}{10 \cdot \frac{I_C}{\beta}} = \frac{1,9V \cdot \beta}{10 \cdot I_C}$$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{10 \cdot I_B} = \frac{10,1V}{10 \cdot \frac{I_C}{\beta}} = \frac{10,1V \cdot \beta}{10 \cdot I_C}$$

$$r_{BE} = \frac{26mV}{I_B} = \frac{26mV \cdot \beta}{I_C}$$



Gewählt: $\beta = 200$

$$r_{in} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{BE}}} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{10,1V \cdot \beta}{10 \cdot I_C}} + \frac{1}{\frac{1,9V \cdot \beta}{10 \cdot I_C}} + \frac{1}{\frac{26mV \cdot \beta}{I_C}}}$$

$$\frac{1}{r_{in}} = \frac{1}{\frac{10,1V \cdot \beta}{10 \cdot I_C}} + \frac{1}{\frac{1,9V \cdot \beta}{10 \cdot I_C}} + \frac{1}{\frac{26mV \cdot \beta}{I_C}}$$

$$\frac{1}{r_{in}} = \frac{10 \cdot I_C}{10,1V \cdot \beta} + \frac{10 \cdot I_C}{1,9V \cdot \beta} + \frac{I_C}{26mV \cdot \beta}$$

$$\frac{1}{r_{in}} = I_C \cdot \left(\frac{10}{10,1V \cdot 200} + \frac{10}{1,9V \cdot 200} + \frac{1}{26mV \cdot 200} \right)$$

$$\frac{1}{r_{in}} = I_C \cdot \left(\sim 223,25m \frac{1}{V} \right)$$

$$I_C = \frac{1}{r_{in} \cdot 223,25m \frac{1}{V}} = \frac{1}{1k\Omega \cdot 223,25m \frac{1}{V}} \approx 4,479mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{4,479mA}{200} = 22,395\mu A$$

Widerstandsberechnung:

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{6V}{4,479mA} = 1,34k\Omega$$

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_C} = \frac{1,2V}{4,479mA} = 268\Omega$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{10 \cdot I_B} = \frac{1,9V}{10 \cdot \frac{I_C}{\beta}} = \frac{1,9V \cdot \beta}{10 \cdot I_C} = \frac{1,9V \cdot 200}{10 \cdot 4,479mA} \approx 8,48k\Omega$$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{10 \cdot I_B} = \frac{10,1V}{10 \cdot \frac{I_C}{\beta}} = \frac{10,1V \cdot \beta}{10 \cdot I_C} = \frac{10,1V \cdot 200}{10 \cdot 4,479mA} \approx 45,01k\Omega$$

$$r_{BE} = \frac{26mV}{I_B} = \frac{26mV \cdot \beta}{I_C} = \frac{26mV \cdot 200}{4,479mA} \approx 1,16k\Omega$$

Überprüfen:

$$r_{in} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{BE}}} = \frac{1}{\frac{1}{45,099k\Omega} + \frac{1}{8,484k\Omega} + \frac{1}{1,161k\Omega}} \approx 998,63\Omega \approx 1k\Omega$$

Kondensatoren:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_U \cdot r_{IN}} \approx 1\mu F$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_U \cdot R_C} \Big|_{r_{CE} \gg R_C} \approx 792nF$$

$$C_E = \frac{1}{2\pi f_U \cdot \frac{R_E}{10}} \approx 39\mu F$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f_U \cdot R_L} = 3\mu F$$

Diese Kondensatoren werden verwendet, um die Gleichspannungsanteile herauszufiltern.

Gewählte Widerstände (E12-Reihe):

$$R_C = 1,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 270 \text{ }\Omega$$

$$R_2 = 8,2 \text{ k}\Omega$$

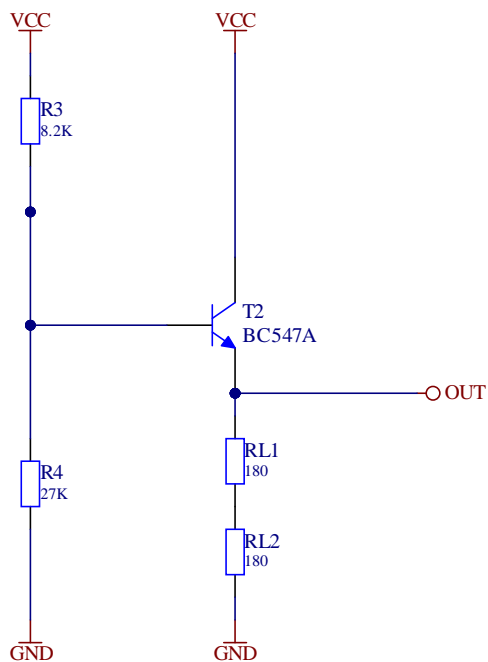
$$R_1 = 47 \text{ k}\Omega$$

Arbeitspunkt:

$$U_{RC} = I_C * R_C = 4,479 \text{ mA} * 1,2 \text{ k}\Omega = 5,375 \text{ V}$$

$$\rightarrow U_{aE} = V_{CC} - U_{RC} = 12 \text{ V} - 5,375 \text{ V} = 6,625 \text{ V}$$

3.2 Kollektor-Grundschtaltung



Vorgaben:

$$V_{CC} = 12V$$

$$f_U = 150Hz$$

$$u_{BE} = 0,7V \text{ (Datenblatt)}$$

$$P_L = 100mW$$

$$\beta = 200 \rightarrow dB \text{ (gewählt)}; \beta = \frac{i_{CK}}{i_{BK}} \Rightarrow i_{BK} = \frac{i_{CK}}{\beta}$$

$$U_L = \frac{V_{CC}}{2} = 6V$$

$$P_L = \frac{U_L^2}{R_L}$$

$$\Rightarrow R_L = \frac{U_L^2}{P_L} = 360\Omega$$

$$i_{CK} = \frac{U_L}{R_L} \approx 16,67mA$$

$$i_{BK} = \frac{i_{CK}}{\beta} = 83,35\mu A$$

$$R_3 = \beta * \frac{U_L + u_{BE}}{10 * i_{CK}} \approx 8,04k\Omega$$

$$R_4 = \beta * \frac{V_{CC} - U_L}{10 * i_{CK}} \approx 26,52k\Omega$$

Gewählte Widerstände (E12-Reihe):

$$R_3 = 8,2k\Omega$$

$$R_4 = 27k\Omega$$

$$R_L = 180\Omega + 180\Omega$$

3.3 Verstärkung

$$V_U = \frac{u_L}{u_Q}$$

$$r_{\text{INK}} = R_3 || R_4 || (r_{\text{BE}} + R_L) = \frac{1}{\frac{1}{1,34k\Omega} + \frac{1}{26,52k\Omega} + \frac{1}{1,16k\Omega + 360\Omega}} \approx 649\Omega$$

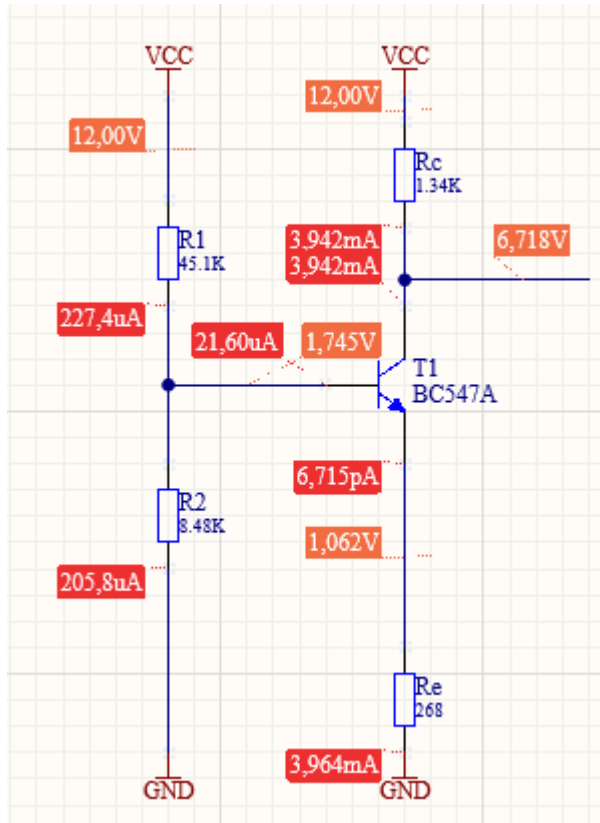
$$u_L = -\beta * i_B * R_C || r_{\text{INK}}$$

$$u_Q = i_B * r_{\text{BE}}$$

$$V_U = \frac{-\beta * i_B * R_C || r_{\text{INK}}}{i_B * r_{\text{BE}}} = -\beta * \frac{R_C || r_{\text{INK}}}{r_{\text{BE}}} = -200 * \frac{1}{1,16k\Omega} * \frac{1}{\frac{1}{1,34k\Omega} + \frac{1}{649\Omega}} \approx -75,39 \rightarrow V$$

4. Simulation

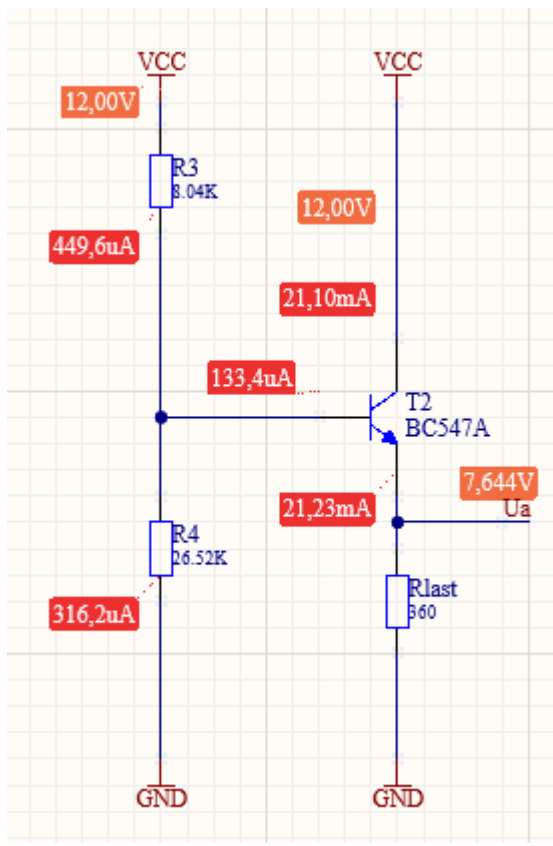
4.1 Emitter-Grundschtung



Bezeichnung	Sollwert	Istwert	Abweichung
Ua	6,625V	6,718	1,4%
Ic	4,479mA	3,942mA	12%
I _B	22,395uA	21,6uA	3,5%
B	200	182,5	8,8%

Diskussion: Geringe Abweichung bei der Spannung, bei den Strömen liegt ein größerer Unterschied vor, weil der Transistor in Altiums Simulationsprogramm ein wenig anders ist als der aus dem Bauteilset, daher stimmen die Simulationswerte nicht genau mit den Datenblattwerten überein.

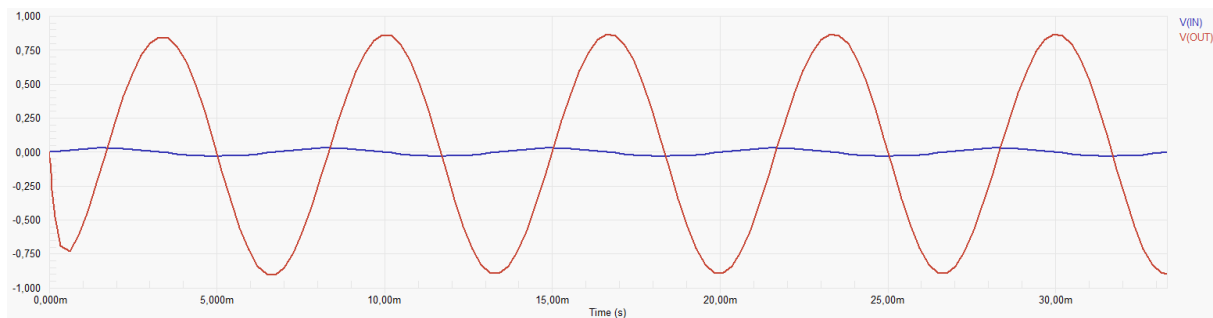
4.2 Kollektor-Grundschtaltung



Bezeichnung	Sollwert	Istwert	Abweichung
Ua	6V	7,644V	21,5%
Ic	16,67mA	21,1mA	21%
Ib	83,35uA	133,4uA	37,5%
B	200	158	21%

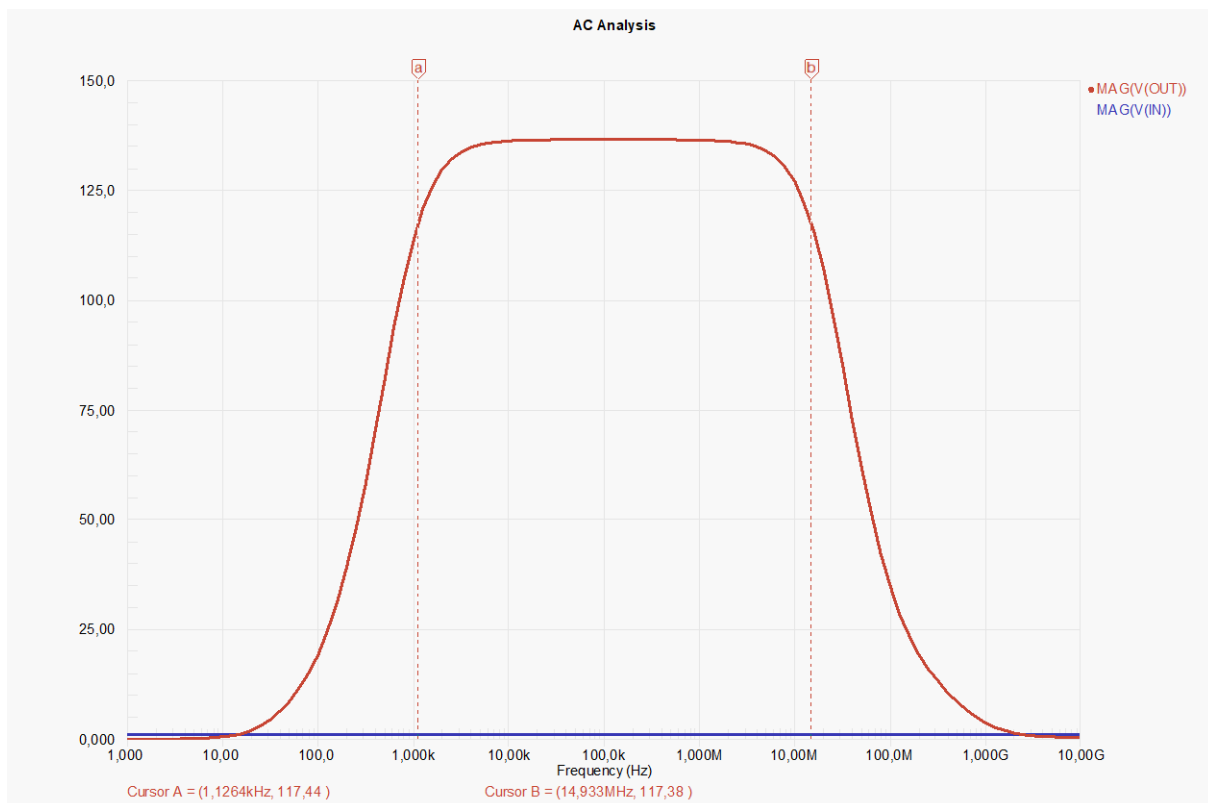
Diskussion: Hier wirkt sich neben dem I_c auch der I_b direkt auf die Ausgangsspannung aus, weshalb die Werte von U_a stark abweichen. Dies liegt auch daran, dass die Spannungsverstärkung von Kollektorgrundschtaltungen sehr klein ist.

4.3 Verstärkung



$$V_U = \frac{U_{OUT}}{U_{IN}} = \frac{-850mV}{10mV} = -85 \rightarrow V$$

Diskussion: Die Abweichung zur berechneten Verstärkung entsteht aufgrund der bereits beschriebenen Abweichung der Ströme.



Grenzfrequenzen: 1kHz und 14,9MHz

5. Fertigungsunterlagen

Serviceplan

Bestückung

Verdrahtung

6. Stückliste

#	Designator	Bezeichnung	Wert	Stückzahl	Händlerlink	Artikel-nummer
IC						
1	IC1	LM324	-	1	Bauteilbox	-
Kondensatoren						
2	C1	Kondensator	10 nF/ 50V	1	Bauteilbox	-
Widerstände						
3	2xR1, R2, 2xR3	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/ ¼ W	5	Bauteilbox	-
4	R_PWM1,2	Kohleschichtwiderstand	3,3 kΩ/ ¼ W	2	Bauteilbox	-
5	R_PWM2	Kohleschichtwiderstand	3,9 kΩ/ ¼ W	1	Bauteilbox	-
6	Rver+, Rver-	Kohleschichtwiderstand	10 kΩ/ ¼ W	2	Bauteilbox	-
Potentiometer						
7	P1	Potentiometer	10 kΩ/ 0,25 W	1	Bauteilbox	-
Buchsen						
8	+9V	Header 2	-	1	Bauteilbox	-
	Br, Bd, Bp	BNC	-	3	-	-

7. Datenblätter

