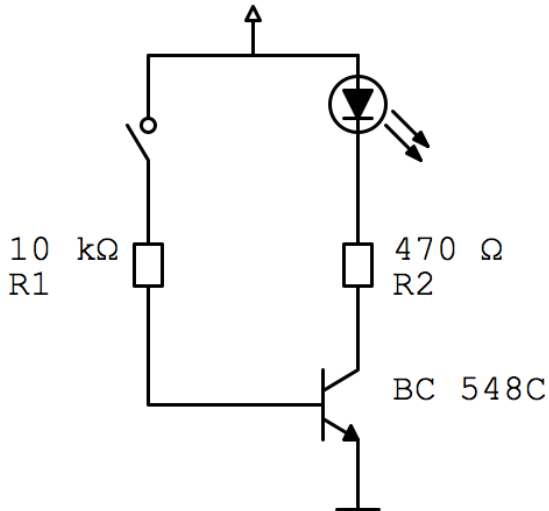
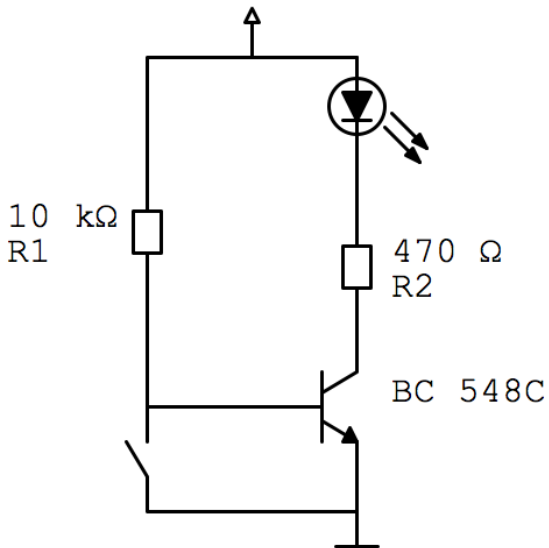


Schaltbild des ersten Aufbaus:



- Transistor hier als Schalter, da Strom nur fließt, wenn $U_{CE} \neq 0$
- Sobald der Schalter in der ersten Schaltung geschlossen ist, liegt an Collector und Emitter eine Spannung an und der Transistor lässt durch \Rightarrow Diode leuchtet

Schaltbild des zweiten Aufbaus:



- Jetzt liegt konstante Spannung an Kollektor und Emitter \Rightarrow Transistor sperrt nicht und Diode leuchtet
- Sobald Schalter geschlossen wird, wird die Basis kurzgeschlossen, also $U_B = 0 \Rightarrow$ Transistor sperrt und Diode leuchtet nicht

Beide Schaltungen sind aber physikalisch äquivalent

Verwendet wurde eine blaue LED

LED sollte nach Aufgabenstellung nur mit einem Strom von max. $20mA$ betrieben werden

Mit "Forward Voltage" $U_F = 3.6V$ aus dem Datenblatt ergibt sich als Vorwiderstand

$$R_{2,min} = \frac{3.6V}{20mA} = 180\Omega \quad (1)$$

Verwendet wurde aber ein 470Ω -Widerstand

Strom durch Basis/Schalter:

$$I_B = \frac{U}{R_1} = \frac{9V}{10k\Omega} = 0.0009A \quad (2)$$

Strom durch LED = Strom durch R_2 :

$$I_C = \frac{U_{R_2}}{R_2} = \frac{6.56V}{470\Omega} = 13.957mA \quad (3)$$

Zur Bestimmung der Arbeitspunktes muss U_{CE} noch ermittelt werden:

$$U_{CC} = U_{LED} + U_R + U_{CE} \Rightarrow U_{CE} = U_{CC} - U_{LED} - U_R \quad (4)$$

$$= 9V - 6.56V - 3.6V = -0.12V \quad (5)$$

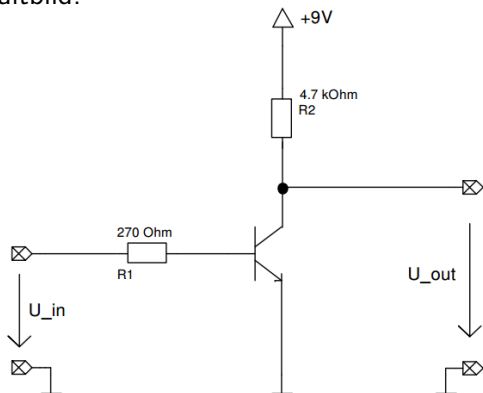
⇒ Schwellenwiderstand der LED muss kleiner sein als 3.6 V

⇒ U_{CE} aber dennoch klein

⇒ Transistor im Sättigungsbereich

Transistor als "SSchalter", da die CE-Strecke nur leitet, wenn $I_B \neq 0$

Schaltbild:

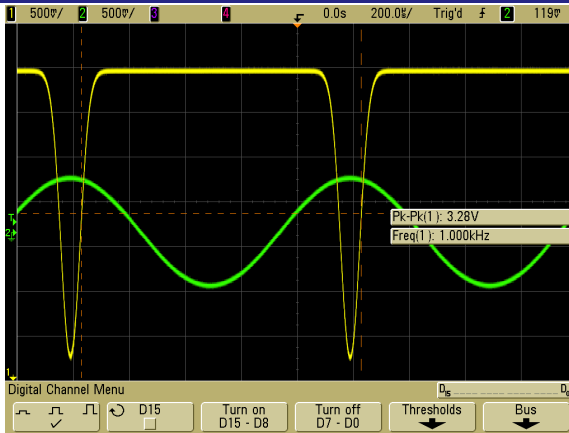


Durchführung:

Schaltung wird bei U_{in} mit einer 1kHz-Spannung betrieben, die Amplitude beträgt 1.2 V. Gemessen wird U_{CE}

Funktionsweise der Schaltung

- Bei positiver Eingangsspannung $> 0.7V$ leitet die Basis-Emitter-Strecke des Transistors
- Je größer die Eingangsspannung, desto größer ist $I_{BE} \Rightarrow U_{CE}$, die abgegriffen wird, wird dementsprechend kleiner \Rightarrow Schaltung invertiert für Positive U_{in}
- Sobald $U_{BE} < 0.7V \Rightarrow$ Transistor sperrt und Ausgangssignal entspricht den $9V$ der Gleichspannung
- Basiswiderstand R_1 bestimmt Arbeitspunkt der Schaltung und kann zu dessen Regulierung verwendet werden



Beobachtung:

Gemessene Amplitude bei Sinusbergen der Eingangsspannung:

$$U_{out} = 3.28V$$

Sonst: $U_{out} = 9V$

Berechnung der Verstärkung:

Nach Vorlesung folgt:

$$U_{out} = U_{cc} - h_{FE} \cdot \frac{R_C}{R_B} \cdot (U_{in} - U_{BE}) \Rightarrow h_{FE} = \frac{(U_{cc} - U_{out})}{(U_{in} - U_{BE}) \cdot \frac{R_C}{R_B}} \quad (6)$$

Einsetzen ergibt, da $U_{in,max} = \frac{U_{pp}}{2} = 0.6V$ und $U_{BE} = 0.7V$ (Konstante für Dioden) einen negativen, betragsmäßig großen Wert $\Rightarrow U_{BE}$ muss effektiv kleiner sein als $0.7V$

Taktik:

- projiziere das Intervall, in dem $U_{out} \neq 9V$ auf das Eingangssignal (nur bei diesen Spannungen ist U_{in} größer als die Durchlassspannung)
- lese dort die Differenz von maximalen Amplitude zu Funktionswert ab

Ablezen ergibt für $\Delta t_{peak,out} = 200\mu s$: $\Delta U = (U_{in} - U_{BE}) \leq 1mV$
Für die Verstärkung ergibt sich mit $0.1V$ also:

$$h_{FE} = \dots = 3.28 \quad (7)$$

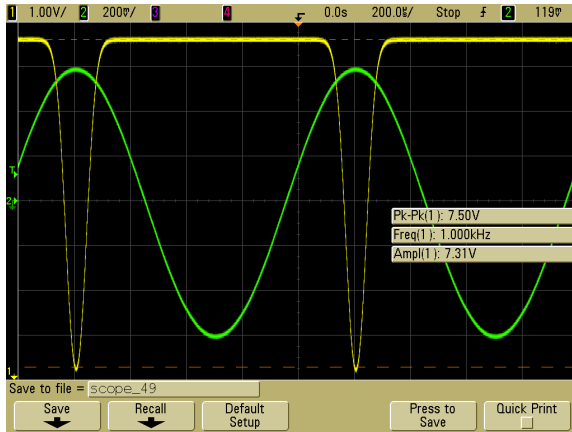
Laut Transistor-Datenblatt liegt h_{FE} zwischen 420 und 800
Daher Annahme, dass Transistor nicht unter optimalen
Bedingungen arbeitet
Und für den Gain ergibt sich:

$$G = -h_{FE} \cdot \frac{R_C}{R_B} = 57.2 \quad (8)$$

Verhalten unter Erwärmung

- Bei Berührung mit dem Finger nur leichter, nicht nennenswerter Anstieg der Amplitude
- Effektiver ist das Hinhalten eines Lötkolben ($T \approx 150^\circ\text{C}$) in die Nähe des Transistors \Rightarrow Amplitude steigt auf bis zu 7.3V an

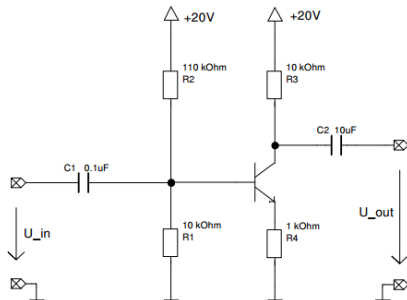
Grund: Leitfähigkeit des Halbleiters verstärkt sich bei höheren Temperaturen



Eigenschaften der Schaltung:

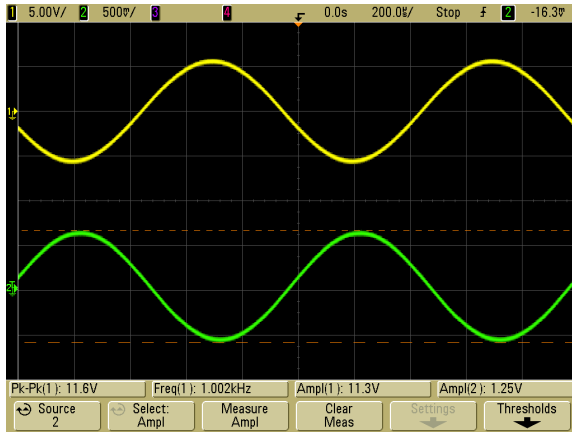
- Nicht Linear
- Spannungen unter $\approx 0.5V$ werden abgeschnitten \Rightarrow DC-Offset in Spannung nötig, um Signal nur zu verstärken und nicht zu verändern
- Arbeitspunktbereich im Verstärkungsbereich, wenn Basis öffnet

Schaltbild:

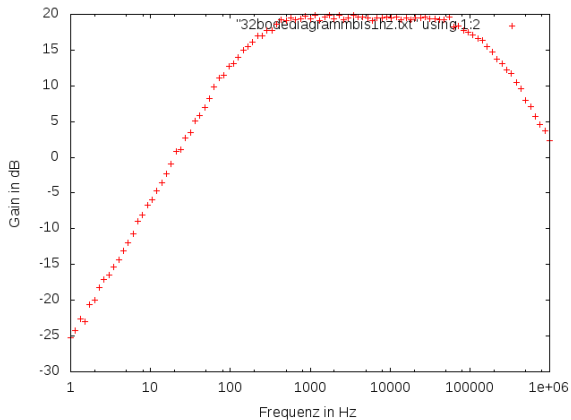


Durchführung:

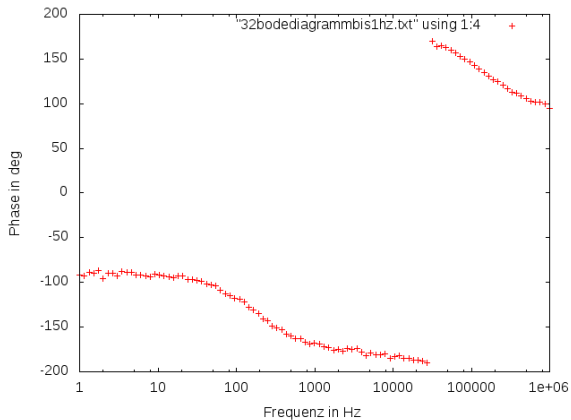
Schaltung wurde einmal mit Sinusspannung $U_{in,amp} = 1.25V$ betrieben, Ausgangssignal wurde invertiert (siehe nächste Folie), aber sonst nicht wesentlich verändert, mit $U_{out,amp} = 11.3V \Rightarrow$ Amplitudenverstärkung ≈ 9



- Arbeitspunkt einer Schaltung ist die Ausgangsspannung, die ohne Eingangssignal gemessen wird
- Ausgangssignal kann nicht mehr abgeschnitten werden



(Gain-)Bodediagramm des verbesserten CE



Phasen-Teil des Bode-Diagramms

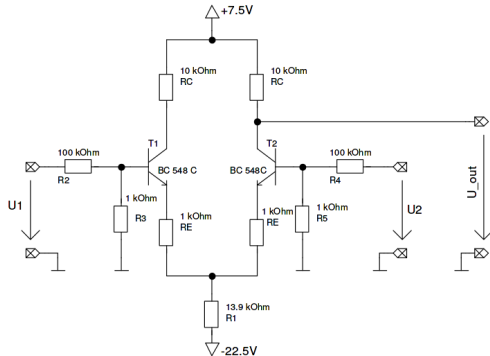
- An Ein- und Ausgang des Verstärkers befinden sich Hochpassfilter - daher der Abstieg bei geringen Frequenzen
- Der Transistor schaltet bei hohen Frequenzen nicht mehr schnell genug (da durch den Spannungsteiler große Widerstände mit der Basis verbunden sind) - daher der Abfall bei hohen Frequenzen

Cutoff-Frequenzen (nach Vorlesung):

$$f_{g,in} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_E \cdot (1 + h_{FE})} \right)^{-1} \approx 2523.9 \text{ Hz} \quad (9)$$

$$f_{g,out} = \quad (10)$$

Schaltbild:



Durchführung:

Schaltung wurde mit verschiedenen Gleich/Gegentaktspannungen betrieben, die Ausgangsspannungen wurden dann gemessen

Begriffe

Gleichtakt: Signale 1 und 2 unterscheiden sich nur um Amplituden

Gegentakt: Signale sind in der Phase versetzt

Eigenschaften und Funktionsweise der Schaltung

- Zwei symmetrisch aufgebaute CE-Schaltungen, über den Emitter-Widerstand verbunden
- Versorgungs-Strom sowie die einzelnen Eingangsspannungen werden auf beide CE-Schaltungen verteilt
- Unterschiede der Eingangs-Spannungen führen zu asymmetrischen Strömen in der Schaltung, die als U_{out} abgegriffen werden

Theorie

Gegentaktverstärkung:

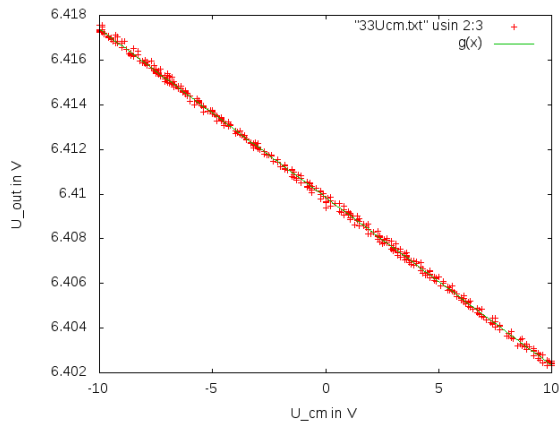
$$G_{diff} = \frac{R_C}{2 \cdot R_E} = 5 \quad (11)$$

Gleichtakt-Verstärkung (sollte nach Vorlesung gleich null sein, zweite Formel aus VL ergibt):

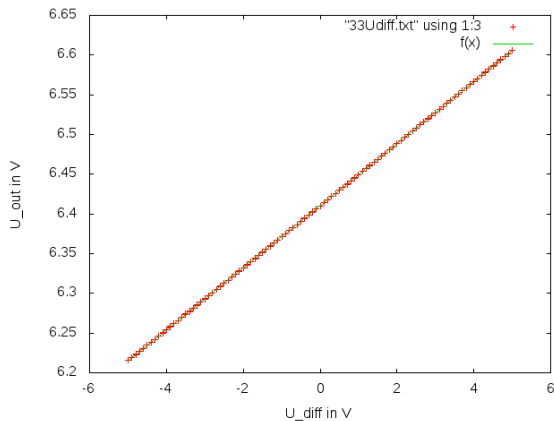
$$G_{CM} = \frac{R_C}{2 \cdot R_1 + R_E} \approx 0.6 \quad (12)$$

Gleichtaktunterdrückung (nach VL gegen unendlich)

Messung ergibt für Gleichtaktbetrieb:



und für Gegentaktbetrieb:



Werte der Verstärkung \approx Steigung der Regressionsgeraden:

$$G_{CM} = -0.000752511 \quad (13)$$

$$G_{diff} = 0.0390561 \quad (14)$$

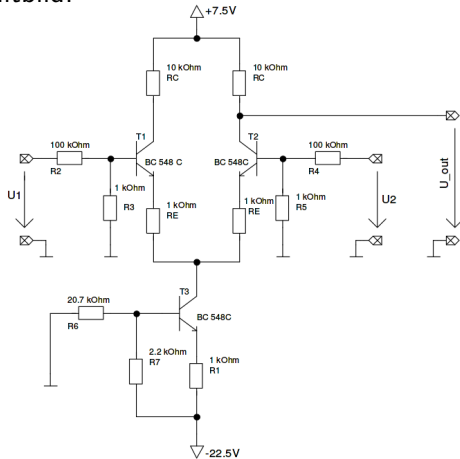
$$CMRR = \left| \frac{G_{diff}}{G_{CM}} \right| = 51.901 \quad (15)$$

Folgerung:

- Linearer Verlauf (ziemlich genau)
- Widerstände dämpfen und verursachen Abweichungen

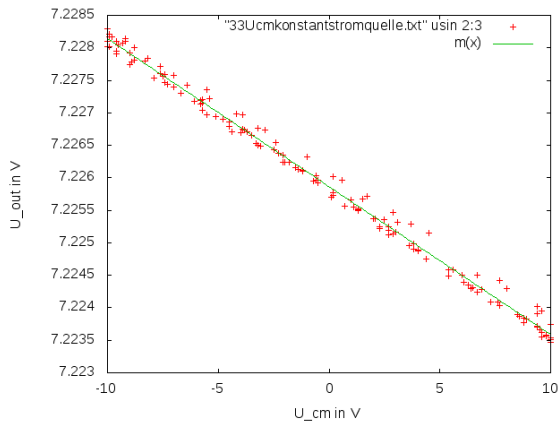
Arbeitspunkt ist im Kennlinienfeld durch I_C und U_{CE} bei $U_1, U_2 = 0$ festgelegt, I_C wurde aber nicht gemessen

Schaltbild:

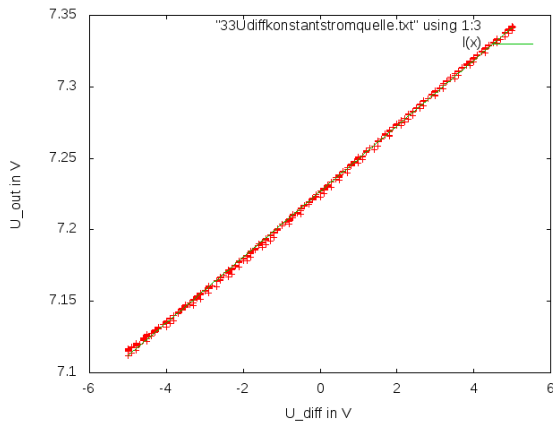


Durchführung genau wie bei vorheriger Schaltung

Messung ergibt für Gleichtaktbetrieb:



und für Gegentaktbetrieb:



$$G_{CM} = -0.000227725 \quad (16)$$

$$G_{diff} = 0.022943 \quad (17)$$

$$CMRR = \left| \frac{G_{diff}}{G_{CM}} \right| = 100.75 \quad (18)$$

Konstantstromquelle verbessert Gleichtaktverstärkung