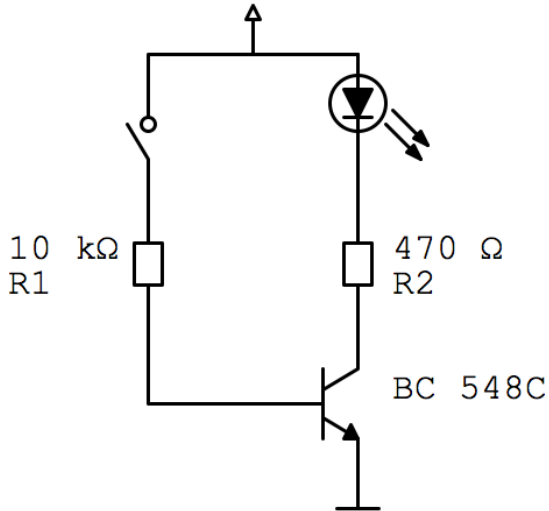


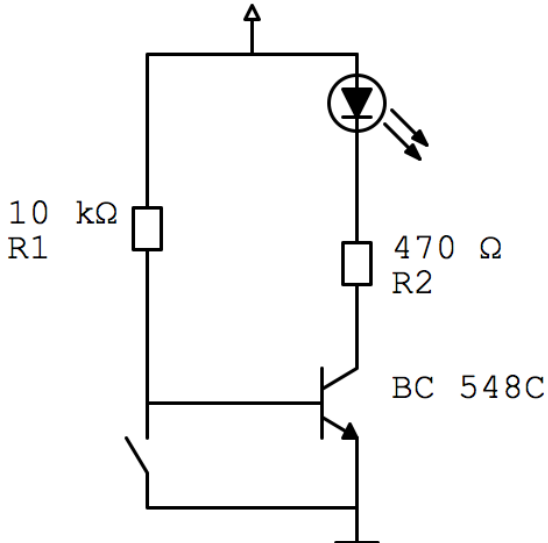


Schaltbild des ersten Aufbaus:



- 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.  
 $20\text{mA}$  betrieben werden  
Mit "Forward Voltage"  $U_F = 3.6\text{V}$  aus dem Datenblatt ergibt sich  
als Vorwiderstand

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

Verwendet wurde aber ein  $470\Omega$ -Widerstand



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

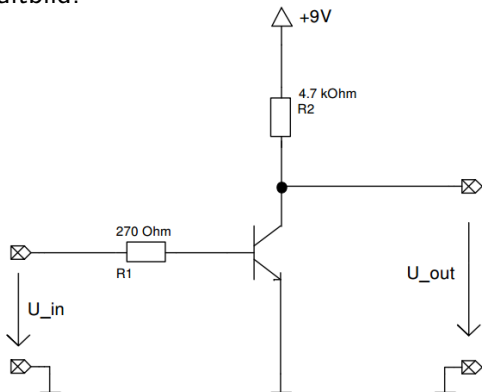
⇒  $U_{CE}$  aber dennoch klein

⇒ Transistor im Sättigungsbereich

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



Schaltbild:



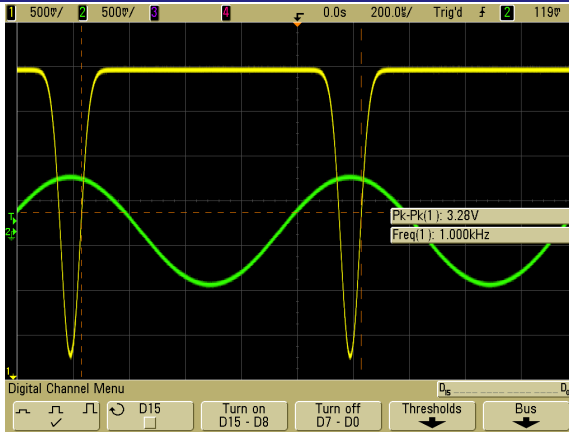
Durchführung:

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

## Common-Emitter



## Beobachtung:

Gemessene Amplitude bei Sinusbergen der Eingangsspannung:

$$U_{out} = 3.28 V$$

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:

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

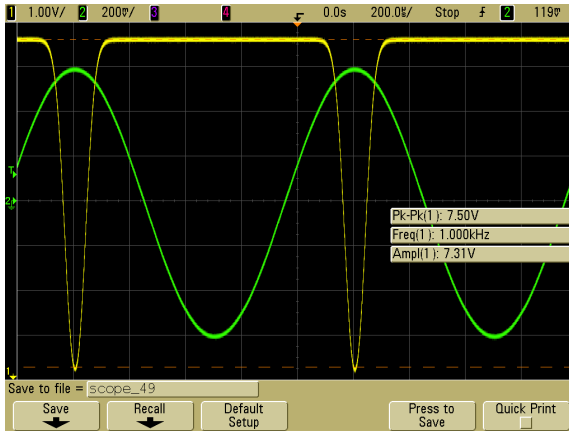
Laut Transistor-Datenblatt liegt  $h_{FE}$  zwischen 420 und 800  
Daher Annahme, dass Transistor nicht unter optimalen  
Bedingungen arbeitet  
Und für den Gain ergibt sich:

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

## 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

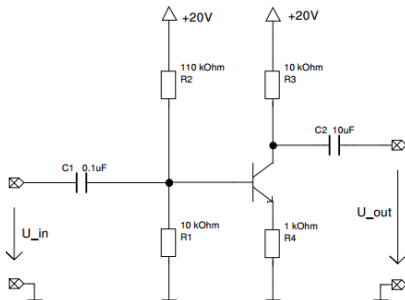




## Eigenschaften der Schaltung:

- 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

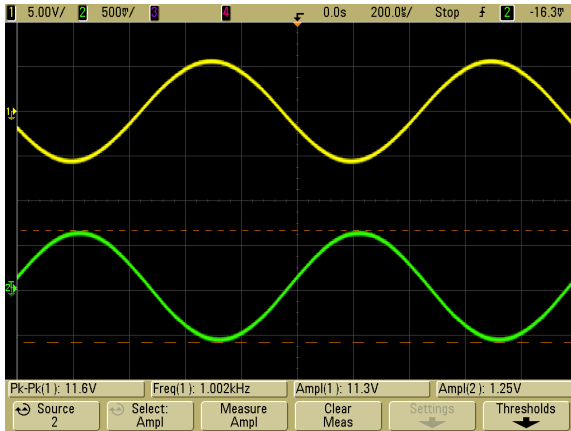
## Schaltbild:



## Durchführung:

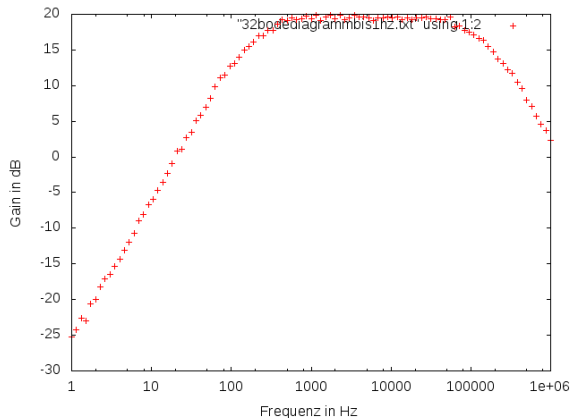
Schaltung wurde einmal mit Sinusspannung  $U_{in,amp} = 1.25V$  betrieben, Ausgangssignal wurde invertiert(siehe nächste Folie), aber sonst nicht wesentlich verändert, mit  $U_{out,amp} = 11.3V \Rightarrow$  Amplitudenverstärkung  $\approx 9$

## Common-Emitter (verbessert)



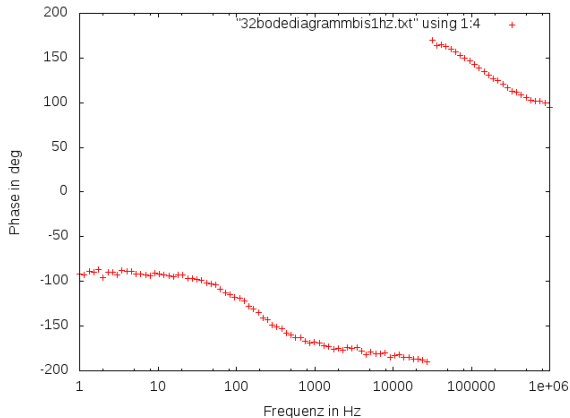
- Arbeitspunkt einer Schaltung ist die Ausgangsspannung, die ohne Eingangssignal gemessen wird
- Ausgangssignal kann nicht mehr abgeschnitten werden

## Common-Emitter (verbessert)



(Gain-)Bodediagramm des verbesserten CE

## Common-Emitter (verbessert)



## Phasen-Teil des Bode-Diagramms

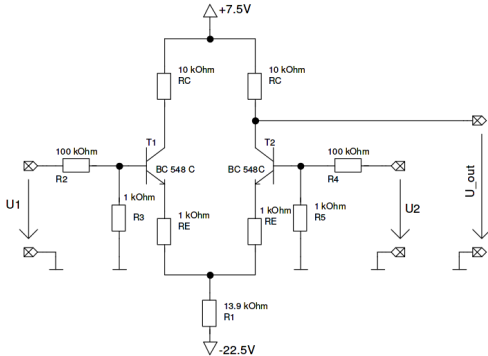
- An Ein- und Ausgang des Verstärkers befinden sich Hochpassfilter - daher der Abstieg bei geringen Frequenzen
- Der Transistor schaltet bei hohen Frequenzen nicht mehr schnell genug (da durch den Spannungsteiler große Widerstände mit der Basis verbunden sind) - daher der Abfall bei hohen Frequenzen

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:

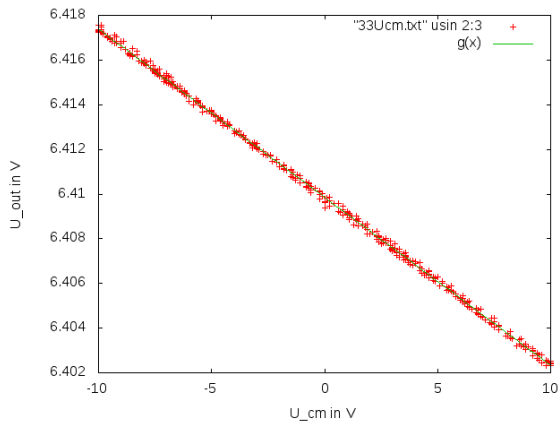
$$G_{diff} = \frac{R_C}{2 \cdot R_E} = 5 \quad (11)$$

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

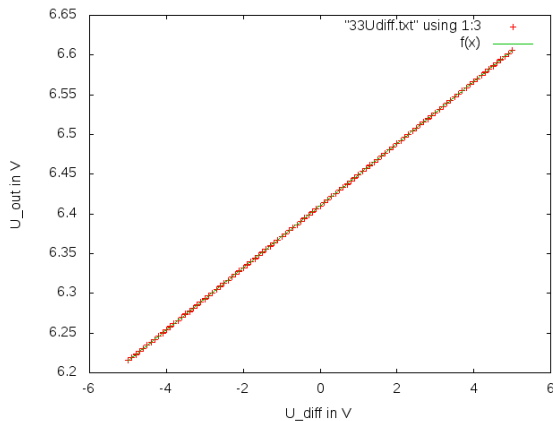
$$G_{CM} = \frac{R_C}{2 \cdot R_1 + R_E} \approx 0.6 \quad (12)$$

Gleichtaktunterdrückung (nach VL gegen unendlich)

Messung ergibt für Gleichtaktbetrieb:



und für Gegentaktbetrieb:



Werte der Verstärkung  $\approx$  Steigung der Regressionsgeraden:

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

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

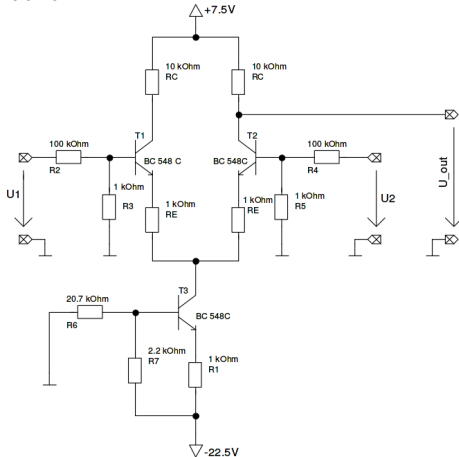
$$CMRR = \left| \frac{G_{diff}}{G_{CM}} \right| = 51.901 \quad (15)$$

Folgerung:

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

## Differenzverstärker mit Konstantstromquelle

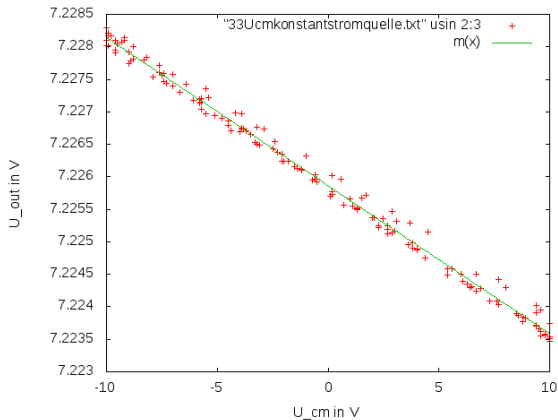
Schaltbild:



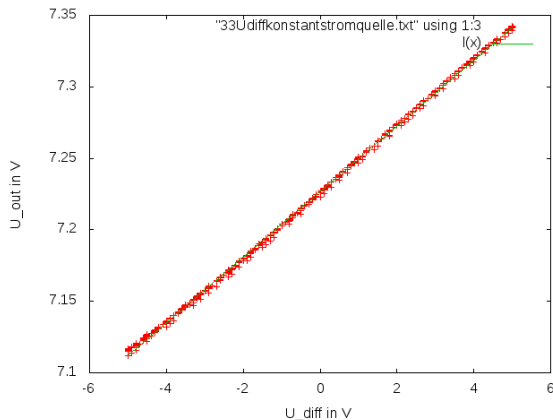
Durchführung genau wie bei vorheriger Schaltung



Messung ergibt für Gleichaktbetrieb:



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