

Elektronik und computerunterstützte Messtechnik**Labor, SS 2022****PHY.I02UF****Übung 1 Die Emitterschaltung mit Gleichstromgegenkopplung****Abgabe der Vorbereitung bis Freitag, 1. April 2020 12 Uhr****Briefkasten Institut 517 Materialphysik im EG****Praktikumstermine: 6.4 bis 8.4. 2022****Angaben:****Arbeitspunkt:**Kollektorruhepotential im Arbeitspunkt $V_{C,A} = 7,5 \text{ V}$ Kollektorstrom im Arbeitspunkt: $I_{C,A} = 4 \text{ mA}$ Betriebsspannung: 15 V Eingangswechselspannungsquelle: $f = 1 \text{ kHz}$ Untere Grenzfrequenz der Schaltung $f_{\min} = 100 \text{ Hz}$ (siehe Anhang)

Es soll eine Wechselspannungsverstärkung mit Gleichstromgegenkopplung

(ohne Überbrückungskondensator C_E) V_u von 20 erreicht werden.**Widerstände und Bauteile:**Innenwiderstand der Signalspannungsquelle $R_i = 600 \Omega$ Lastwiderstand $R_L = 2,2 \text{ k}\Omega$

Transistor BC 107B (npn)

Zum Aufbau stehen die Widerstände der Normwertreihe E12 zur Verfügung

Vorbereitung**Schaltungsdimensionierung:**

- Lesen Sie alle h-Parameter und ihre Korrekturfaktoren aus dem Datenblatt (siehe Anhang) aus, geben Sie die daraus berechneten Werte und ihre Bedeutung an.
- Berechnen Sie den Kollektorwiderstand R_C für die vorliegende Betriebsspannung.
- Berechnen Sie den Emitterwiderstand R_E für eine Spannungsverstärkung von V_u ohne Überbrückungskondensator C_E und mit einem Lastwiderstand von R_L . Falls Sie dabei eine vereinfachte Formel verwenden überprüfen Sie deren Anwendbarkeit (ist r_{BE} in der gleichen Größenordnung wie R_E ?).
- Ermitteln Sie den Basisstrom $I_{B,A}$ und die Basis-Emitter-Spannung $U_{BE,A}$ im Arbeitspunkt aus den beiden Ausgangskennlinienfeldern für das vorliegende Kollektorruhepotential. Tragen Sie den Arbeitspunkt und die Arbeitsgerade für I_B ein!
- Berechnen Sie das Basisruhepotential $V_{B,A}$ unter Einbeziehung des Emitterwiderstands.
- Wählen Sie einen Querstrom I_q und berechnen Sie den Basisspannungsteiler R_1, R_2 .

Schaltungsparameter:

- Berechnen Sie den Eingangswiderstand r_e des Verstärkers mit Gegenkopplung ohne C_E (siehe Abb.2).
- Berechnen Sie den Ausgangswiderstand r_a des Verstärkers mit Gegenkopplung ohne C_E .
- Berechnen Sie die folgenden Hochpässe: Eingangskondensator C_e , Ausgangskondensator C_a und Überbrückungskondensator C_E (folgen Sie dabei der Anleitung im Anhang)
- Wie groß ist die Spannungsverstärkung V_{u,C_E} mit dem Überbrückungskondensator C_E ?
- Berechnen Sie die maximale Eingangsspannung mit und ohne C_E , sodass der Transistor nicht übersteuert wird.

Skizze:

- Zeichnen Sie einen Schaltplan (mit Lineal), bezeichnen Sie die berechneten Bauteile und Potentiale und tragen Sie auch deren Werte in die Skizze ein.
- Achten Sie dabei bitte auf eine ordentliche Form.

Praktische Durchführung

Simulation:

- 1.1 Bauen Sie die Schaltung mit dem Programm **PSPICE LT** gemäß der berechneten Parameter ohne den Überbrückungskondensator C_E auf.
- 1.2 Stellen Sie eine Eingangs-**Sinusspannung** von 1 kHz mit einer Amplitude innerhalb der Übersteuerungstoleranzen ein, erzeugen Sie ein Simulation Profil (Time Domain) und nehmen Sie jeweils die Eingangsspannung und die Ausgangsspannung in einem Plot über die Zeit auf. Lassen Sie sich auch die Spannungen und Ströme im Schaltbild anzeigen um den Arbeitspunkt diskutieren zu können. Berechnen Sie daraus die simulierte Verstärkung und diskutieren Sie die beiden Diagramme und ihren Zusammenhang.
- 1.3 Testen Sie wie hoch die maximale Eingangsspannung werden darf bis der Transistor in der Simulation übersteuert. Übersteuern Sie ihn anschließend und nehmen Sie wieder die Eingangsspannung sowie die Ausgangsspannung nach der Zeit auf und diskutieren Sie anhand dieses Plots die auftretenden Verzerrungen.
- 1.4 Erstellen Sie einen DC Sweep in Abhängigkeit der Temperatur und zeigen Sie die Änderung des Kollektorpotentials. Diskutieren Sie die Konsequenzen einer Temperaturerhöhung.
- 1.5 Nehmen Sie die Ausgangsspannung über der Zeit für verschiedene Temperaturen in einem Diagramm dar und diskutieren Sie diesen Plot.
- 2.1 Bauen Sie nun den Überbrückungskondensator C_E ein. **Verfahren Sie wie bei 1.2 bis 1.5.**
- 3.1 Auch wenn die Schaltung prinzipiell nicht dafür ausgerichtet ist – bauen Sie R_E und C_E aus und untersuchen Sie die Verstärkung und die Temperaturabhängigkeit des Kollektorpotentials ohne jegliche Rückkopplung. (Beachten Sie, dass der Arbeitspunkt dabei unvorteilhaft verschoben wird.)

Aufbau am Steckboard

- 1.1 Bauen Sie die Schaltung am Steckboard gemäß der berechneten Parameter ohne den Kondensator C_E auf. Nähern Sie sich bei Ihren berechneten Widerstandswerten durch Serienschaltung der vorhandenen Fixwiderstände der Reihe E12 auf ein vernünftiges Maß an. Führen sie den Eingangsspannungsteiler mit einem Fixwiderstand und einem Potentiometer aus um den Arbeitspunkt anpassen zu können. Notieren Sie die tatsächlich verwendeten Widerstandswerte (messen Sie hierfür die Widerstände aus, diese weichen nämlich teilweise erheblich von ihrem nominellen Wert ab).
- 1.2 **(Überprüfen der Schaltung durch einen Betreuer bevor Inbetriebnahme!)**
Verwenden Sie das Netzgerät für eine konstante Versorgungsspannung messen Sie das Kollektorpotential $V_{C,A}$, stellen Sie es wenn nötig mit Hilfe des Potentiometers auf den gewünschten Wert ein. Protokollieren Sie die angepassten Widerstandswerte und die folgenden Größen U_{CE} , U_{BE} , V_C , V_B , I_C , I_B um den Arbeitspunkt evaluieren zu können.
- 1.3 **(Überprüfen der Schaltung durch einen Betreuer bevor Inbetriebnahme!)**
Stellen Sie nun eine sinusförmige Wechselspannung mit Hilfe des Funktionsgenerators von 1kHz ein und benützen Sie dieses Signal als Eingangssignal für Ihre Schaltung. Stellen Sie nun die Eingangsspannung und die Ausgangsspannung mittels Oszilloskop dar und zwar jeweils mit und ohne C_E . Laden Sie die Bilder oder wahlweise die Daten mittels dem Programm **Open Choice Desktop** herunter, diskutieren Sie diese, berechnen Sie die Verstärkungen und vergleichen Sie die Daten mit der Simulation.
- 1.4 Überprüfen Sie die Übersteuerungsgrenze mit und ohne C_E und nehmen Sie auch hier die Eingangsspannung und die Ausgangsspannung im übersteuerten Betrieb mittels Oszilloskop auf.
- 1.5 Variieren Sie nun die Frequenz und zeigen Sie die diesbezüglichen Grenzen der Schaltung. Diskutieren Sie mit Hilfe eines Oszilloskopbildes die Konsequenzen.
- 1.6 Während Sie das Live-Oszilloskopbild betrachten, können Sie mittels Körpertemperatur das Metallgehäuse des Transistors erwärmen. Schauen Sie sich die Folgen genau an und diskutieren Sie diese.
- 1.7 Bauen Sie die Schaltung ab, ordnen Sie die Bauteile wieder in die dafür vorgesehenen Boxen, schalten Sie alle Geräte die Sie verwendet haben aus und verlassen Sie den Platz so wie Sie ihn vorgefunden haben.

Anhang:

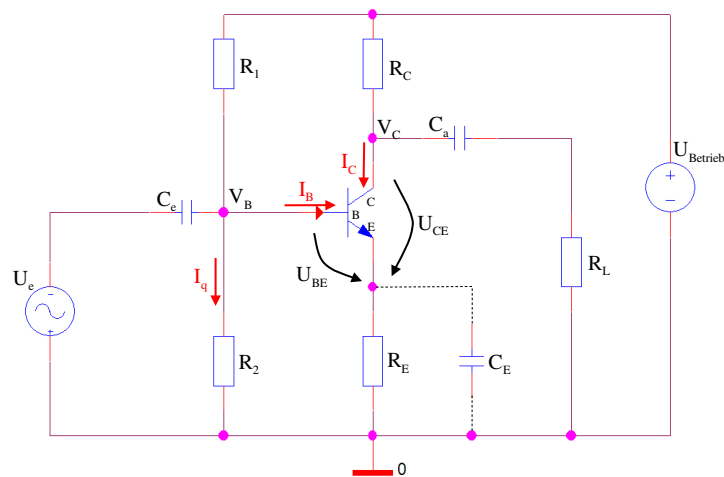


Abb.1: Emitterschaltung mit Gleichstromgegenkopplung

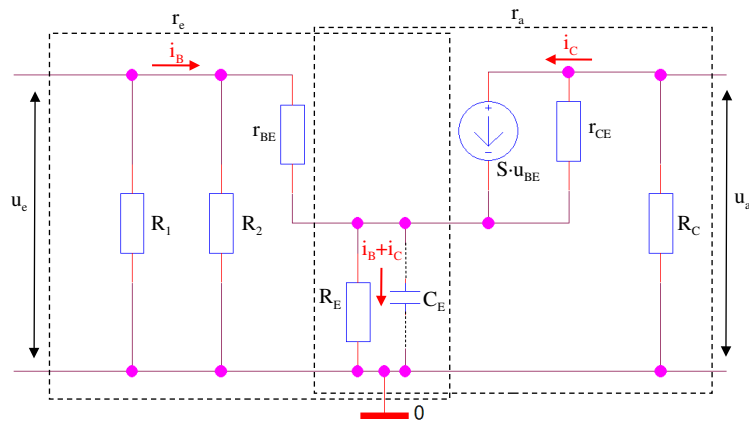


Abb.2: Ersatzschaltung für Eingangs- und Ausgangswiderstand des Verstärkers für das Wechselspannungssignal

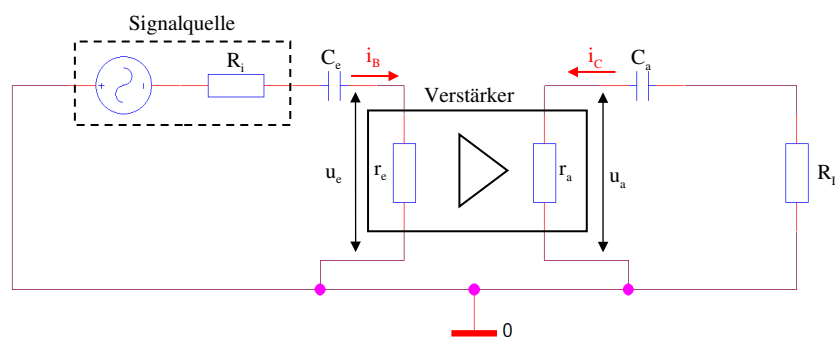


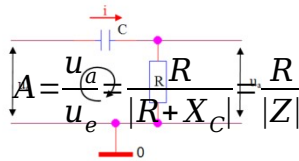
Abb.3: Ersatzschaltbild zur Dimensionierung der Koppel-Kondensatoren

Dimensionierung der Hochpässe in der Emitterschaltung mit Gleichstromgegenkopplung:

Ein Hochpassfilter ist eine Schaltung die Spannungssignale hoher Frequenzen praktisch ungedämpft durchlässt, tiefe Frequenzen aber unterdrückt. Da sich der Kondensator beim Anlegen einer Gleichspannung nur ein Mal lädt und danach keinen weiteren Stromfluss erlaubt bildet er für ein solches Signal einen unendlichen

Widerstand über den die gesamte Gleichspannung abfällt und kein Strom fließen kann. Bei hochfrequenten Wechselspannungen lädt und entlädt sich der Kondensator ständig und Ladungsträger fließen richtungsabwechselnd auf die Kondensatorplatten. Ein solcher Wechselstrom kann also beinahe ungehindert fließen und auch das Wechselspannungssignal bleibt dadurch erhalten.

Da die Durchlässigkeit eine Funktion der Frequenz ist, stellt ein Hochpassfilter praktisch einen Frequenzabhängigen Spannungsteiler dar (vgl. Spannungsteilerformel $R_1/(R_1+R_2)$).



$$|Z| = \sqrt{\underbrace{R^2}_{\text{Re}} + \underbrace{X_C^2}_{\text{Im}}}$$

A: Übertragungsfaktor

u_a, u_e : Aus-, Eingangsspannung

Z: Impedanz

R: Realwiderstand

X_C : Komplexwiderstand von C

Die Übertragungsfunktion eines typischen Hochpasses erreicht eine Durchlässigkeit von $A_{fg} = 1/\sqrt{2}$ also ca. 70% bei der sogenannten Grenzfrequenz f_g (Hier tritt auch eine Phasenverschiebung von 45° auf). Es gilt an diesem Punkt also:

$$A_{fg} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow \text{Re}(Z) = \text{Im}(Z)$$

Berechnen Sie nun X_C indem Sie die Impedanz der Masche in der der Kondensator eingebaut ist angeben und die Bedingung $\text{Re}(Z) = \text{Im}(Z)$ erfüllen. Beachten Sie dass es sich um komplexe Spannungen und Ströme handelt und verwenden Sie deshalb immer den Absolutbetrag des resultierenden Vektors.

(Hier am Beispiel des Eingangskondensators C_e siehe Abb.3).

$$u_e = \sqrt{(u_{R_i} + u_{r_e})^2 + (u_{C_e})^2} = \sqrt{(i_B R_i + i_B r_e)^2 + (i_B X_{C_e})^2} \rightarrow \frac{u_e}{i_B} = Z = \sqrt{(R_i + r_e)^2 + (X_{C_e})^2}$$

Daraus folgt für die Grenzfrequenz die Bedingung $X_{C_e} = r_e + R_i$

Nun kann in die folgende Formel für die Grenzfrequenz eingesetzt werden um C_e zu berechnen:

$$f_g = \frac{1}{2\pi X_{C_e} C}$$

siehe: Tietze Schenk Glg 2.14; S.14

f_g : Grenzfrequenz des Hochpassfilters

X_C : Komplexwiderstand des Kondensators C

mit der Bedingung $|Z| = R_{ges} \cdot \sqrt{2}$

C: Kapazität des Kondensators

Die resultierende Grenzfrequenz für ein Netzwerk mit mehreren Hochpassfiltern mit der gleichen

Grenzfrequenz, wie sie in der Verstärkerschaltung vorgesehen sind, bezeichnen wir als f_{min} . Sie hängt wie folgt mit der Grenzfrequenz der einzelnen Filter zusammen:

$$f_{min} = f_g \sqrt{n}$$

siehe: Tietze Schenk Glg 2.19; S.17

f_{min} : Grenzfrequenz der Reihenschaltung

f_g : Grenzfrequenz der einzelnen Hochpassfilter

n: Anzahl der Hochpassfilter im Netzwerk

Gehen Sie bei der Dimensionierung von C_a wie bei C_e vor. Wenn Sie den Überbrückungskondensator C_E dimensionieren gehen Sie vom Schaltbild 2 aus, beachten Sie dabei, dass über den Kondensator die Ströme $i_B + i_C$ fließen und nehmen Sie die Masche U_e , u_{R_i} , u_{BE} , und u_{CE} zur Berechnung der Impedanz Z.