



Versuch: Differenzverstärker	Parallelgruppe:	Datum:	Antestat:
Teilnehmer:			Abtestat:
(Name)	(Vorname)		

## Einleitung und Versuchsvorbereitung

### Durchführung des Praktikums

Die Vorbereitenden Aufgaben sind vor dem Beginn des Praktikums zu bearbeiten und zu dokumentieren. Um eine saubere Dokumentation zu gewährleisten, sollten Sie nach Möglichkeit ein Textverarbeitungsprogramm wie Word, LibreOffice oder Latex verwenden. Sie werden im Laufe Ihres Studiums noch weitere Protokolle und Ausarbeitungen erstellen müssen, daher empfiehlt es sich, frühzeitig in die gängigen Tools einzuarbeiten. **Die Dokumentation der Vorbereitung ist vorab (mindestens 7 Tage vor dem Versuchstermin) über das Ilias-Portal einzureichen und obligatorisch für die Versuchsteilnahme (Antestat).**

### 1. Versuchsvorbereitung: Differenzverstärker

Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau eines Differenzverstärkers. Die Stromquelle im Emittierzweig wird dabei durch eine ideale Stromquelle mit parasitärem Widerstand  $R_P$  implementiert.

Tipp: Benutzen Sie die Beschreibung der Differenzstufe auf dem zweiten Vorlesungskapitel. Auch wenn in der Vorlesung die Differenzstufe MOSFETs statt Bipolartransistoren verwendet, ist der prinzipielle Weg identisch.

1.1 Definieren Sie die Begriffe Differenzverstärkung und Gleichtaktverstärkung (Formel und Erklärung).

1.2 Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild des in Abbildung 1 dargestellten Differenzverstärkers.

Tipp: Beginnen Sie mit der Ersatzschaltung der Transistoren und fügen Sie die anderen Komponenten anschließend der Schaltung hinzu. Knoten mit konstanten Potential (z.B. 10V Betriebsspannung) werden auf Masse gelegt.

Die Verstärkung der Schaltung ist dabei nur relativ komplex über eine quadratische Formel zu bestimmen, da das Potential am Knoten A unbekannt ist. Über eine separate Betrachtung der Differenz- und Gleichtaktverstärkung ist es möglich, die Lösung deutlich zu vereinfachen (Superposition).

1.3 Zunächst soll die Differenzverstärkung betrachtet werden ( $U_{cm} = 0V$ ). Da es sich im Kleinsignalersatzschaltbild um linearisierte Komponenten handelt, gilt  $i_{E1} = -i_{E2}$ . Damit gilt auch, dass  $i_E = 0$  ist und an  $R_E$  keine Spannung abfällt.

Wie kann das Kleinsignalersatzschaltbild durch die Symmetriebeziehung vereinfacht

werden (Tipp: Knoten mit konstanter Spannung werden im Kleinsignalersatzschaltbild auf Masse gelegt.)? Bestimmen Sie die Differenzverstärkung der Schaltung auf Basis des vereinfachten Ersatzschaltbildes.

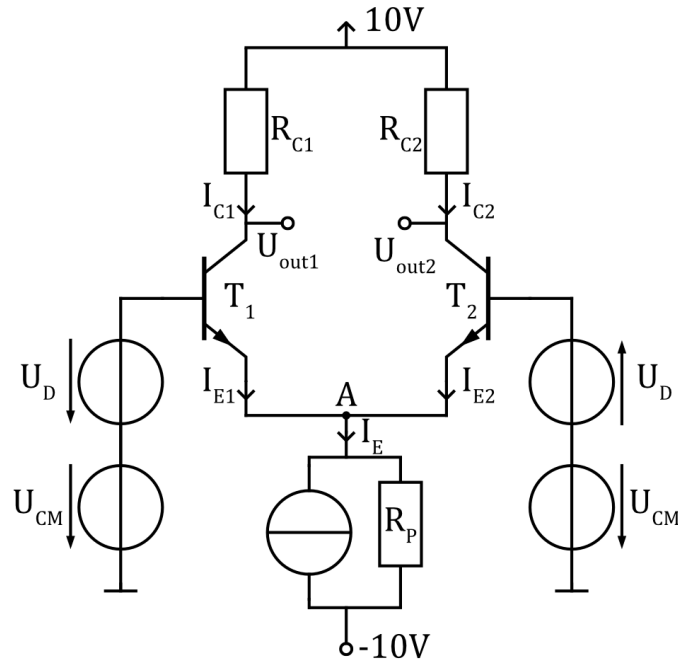
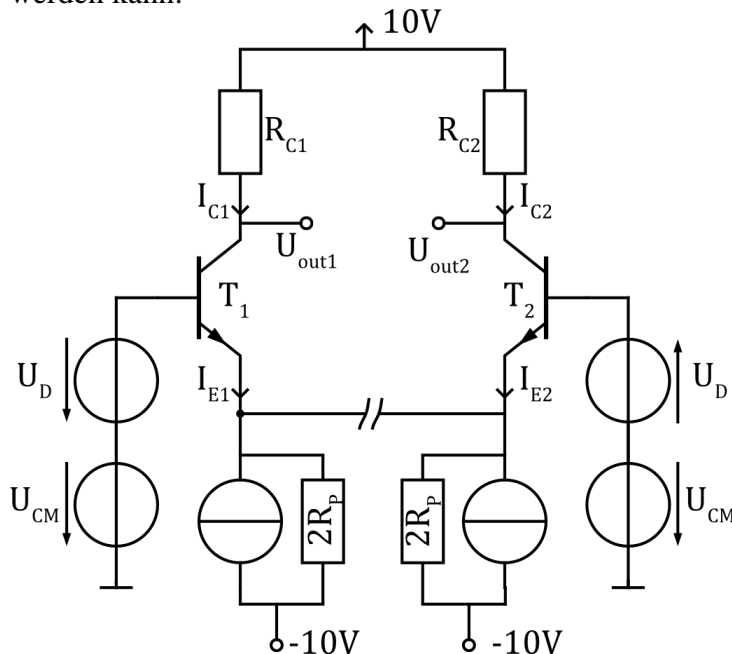


Abbildung 1: Differenzverstärker

1.4 Bei Betrachtung der Gleichtaktverstärkung sind beide Eingangsspannungen gleich. Da beide Transistoren identisch sind, lassen sie gleich viel Strom durch ( $i_{E1} = i_{E2}$ ). Dadurch lässt sich die Stromquelle auftrennen, sodass der rechte und linke Schaltungsteil separiert werden kann:



Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild des linken Schaltungsteils und bestimmen Sie daraus allgemein die Gleichtaktverstärkung der Schaltung (Tipp: Stromquellen werden im Kleinsignalersatzschaltbild zu einer offenen Verbindung.).

## 2. Versuchsvorbereitung: Wechselspannungsverstärker

Folgende Schaltung ist gegeben:

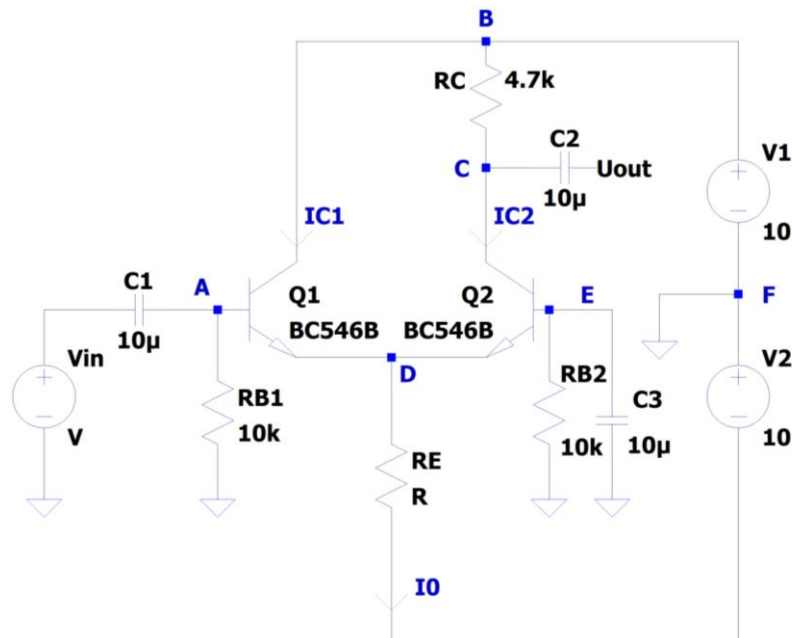


Abbildung 2: Wechselspannungsverstärker

2.1 Wie ist der Emitterwiderstand  $R_E$  zu dimensionieren, damit sich bei mittleren Frequenzen eine Spannungsverstärkung von ca. 40dB ergibt?

Tipp: Benutzen Sie die Zusammenfassung der Emitterstufe aus der Elektronik I Vorlesung, um zunächst die Steilheit und daraus den Kollektorstrom im Arbeitspunkt zu bestimmen. Wirkt die Eingangsspannung als Gleichaktspannung oder als Differenzspannung?

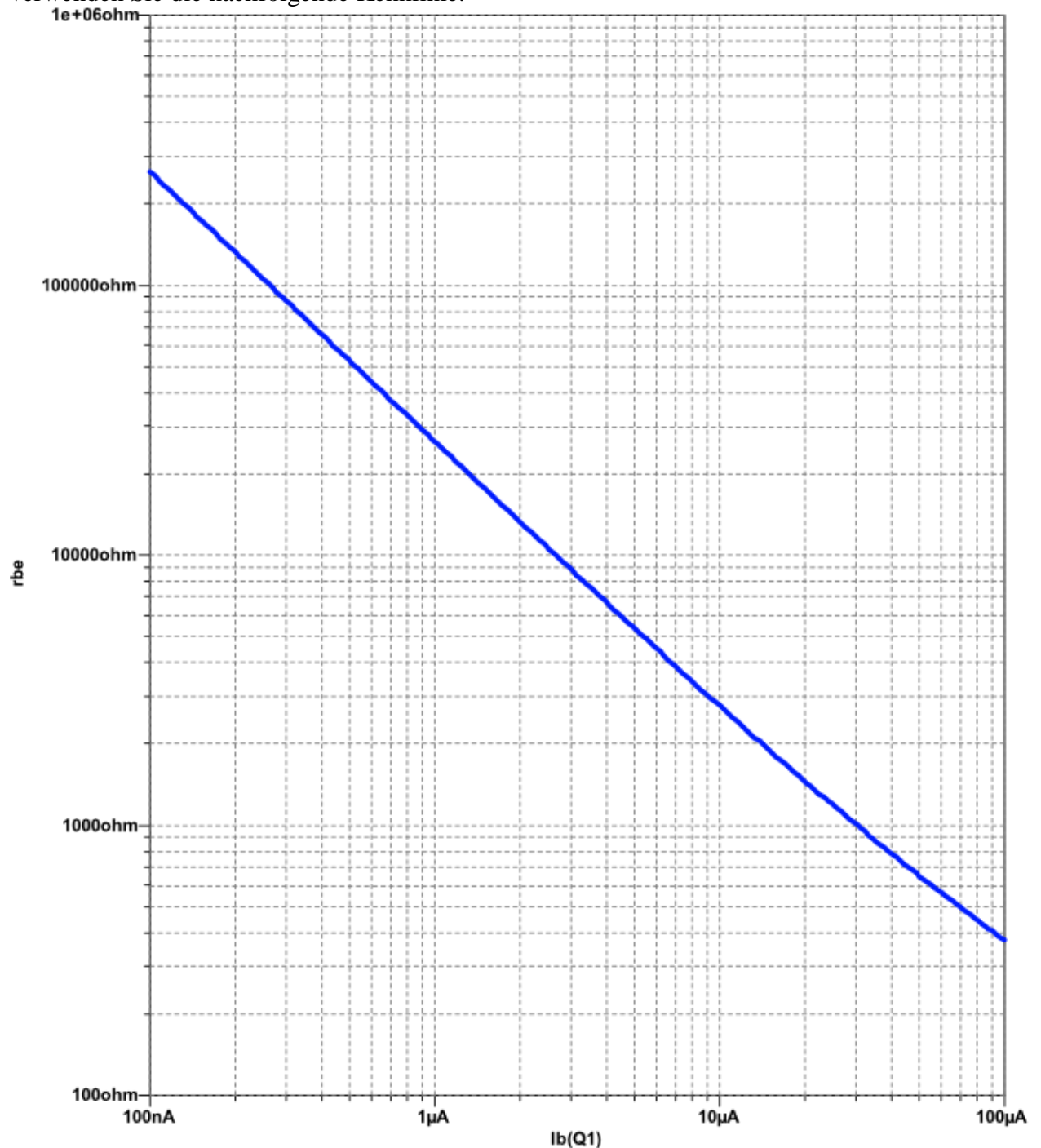
2.2 Wenn  $U_{in}$  kurzgeschlossen ist, ergeben sich an den markierten Messpunkten A...F folgende Gleichspannungspotentiale:

Messpunkt	Spannung
A	-40 mV
B	10,2 V
C	4,6 V
D	-0,65 V
E	-36 mV
F	0,0 V

Bestimmen Sie hieraus die Basis- und Kollektorströme der beiden Transistoren und ihre

Stromverstärkungen. Beginnen Sie dazu mit dem rechten Zweig und gehen davon aus, dass der Strom durch  $R_E = 2 \cdot I_{C2}$  beträgt.

- 2.3 Bestimmen Sie die theoretischen Werte des Ein- und des Ausgangswiderstands. Beim Eingangswiderstand ist mit der mittleren Stromverstärkung zu rechnen und  $R_{B1}$  zu berücksichtigen! Zur Bestimmung der erforderlichen Transistorparameter im Arbeitspunkt verwenden Sie die nachfolgende Kennlinie.



## Versuchsdurchführung

Die Praktikumsdurchführung findet in diesem Versuch digital in der Schaltungssimulationssoftware LtSpice statt. Eine Einführung in die Software finden Sie im Ilias-Portal.

### 1. Differenz- und Gleichtaktverstärkung

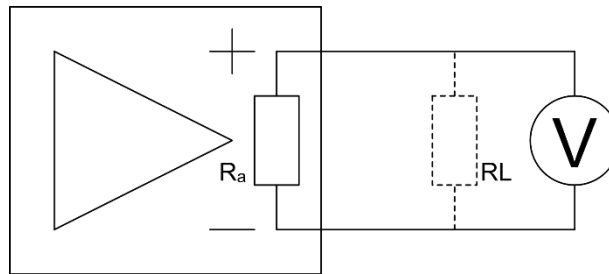
Bauen Sie die Schaltung aus Abbildung 1 mit der Schaltungssimulationssoftware LtSpice nach. Verwenden Sie dabei das Transistormodell BC546b für T1 und T2. Die Kollektorwiderstände haben einen Wert von 1kOhm. Der Parallelwiderstand der Stromquelle hat einen Widerstand von 100 kOhm. Der Strom der Stromquelle ist so zu wählen, dass im Emitterpfad (Stromquelle + Widerstand) ein Gesamtstrom von 2 mA fließt.

- 1.1 Steilheiten: Führen Sie eine DC-Simulation durch, in der die Spannung  $U_D$  zwischen -0,15 V und +0,15 V variiert wird ( $U_{CM} = 0$  V). Um den linken und den rechten Zweig gleichzeitig mit nur einer Spannungsquelle anzusteuern, nutzen Sie jeweils Spannungsgesteuerte Spannungsquellen (E). Stellen Sie anschließend die beiden Kollektorströme dar, speichern Sie diese ab. Bestimmen Sie außerdem mit Hilfe der Cursor-Funktion die Steilheiten bei einer Differenzspannung von 0V.
- 1.2 Differenzverstärkung: Führen Sie eine transiente Simulation der Schaltung mit einer Sinus-Wechselspannung  $U_{D,ss} = 60$  mV (Amplitude = 30 mV) und  $f = 1$  kHz als Eingangssignal durch ( $U_{CM} = 0$ ). Stellen Sie anschließend die den Wechselanteil der beiden Kollektorspannungen in einem Plot dar, indem Sie den die Ausgänge jeweils mittels eines 1 nF Kondensators entkoppeln. Speichern Sie den Plot und die Schaltung ab und berechnen Sie daraus die jeweiligen Differenzverstärkungen.
- 1.3 Gleichtaktverstärkung: Führen Sie mit der gleichen Schaltung eine transiente Simulation durch, in der die Spannung  $U_{CM}$  als Sinuswelle ( $f = 1$  kHz) zwischen -1,0 V und +1,0 V variiert wird ( $U_D = 0$  V). Stellen Sie anschließend die beiden Kollektorspannungen dar, speichern Sie diese ab und berechnen Sie daraus die jeweiligen Gleichtaktverstärkungen.
- 1.4 **Auswertung:** Vergleichen Sie die Ergebnisse der Differenz- und Gleichtaktverstärkungen mit den theoretischen Werten aus der Vorbereitung und berechnen Sie die Gleichtaktunterdrückungen.
- 1.5 Ersetzen Sie die Stromquelle mit Parallelwiderstand durch einen Widerstand mit dem Wert  $R_E = 4,7$  k $\Omega$  und führen Sie folgende Aufgaben durch.:
  - a) Führen Sie eine transiente Simulation der Schaltung mit einer Sinus-Wechselspannung  $U_{D,ss} = 60$  mV (Amplitude = 30 mV) und  $f = 1$  kHz als Eingangssignal durch ( $U_{CM} = 0$ ). Stellen Sie anschließend die den Wechselanteil der beiden Kollektorspannungen in einem Plot dar, indem Sie den die Ausgänge jeweils mittels eines 1 nF Kondensators entkoppeln. Speichern Sie den Plot und die Schaltung ab und berechnen Sie daraus die jeweiligen Differenzverstärkungen.
  - b) Gleichtaktverstärkung: Führen Sie mit der gleichen Schaltung eine transiente Simulation durch, in der die Spannung  $U_{CM}$  als Sinuswelle zwischen -1,0 V und +1,0 V variiert wird ( $U_D = 0$  V). Stellen Sie anschließend die beiden Kollektorspannungen dar, speichern Sie diese ab und berechnen Sie daraus die jeweiligen Gleichtaktverstärkungen.
  - c) **Auswertung:** Vergleichen Sie die Ergebnisse der Differenz- und Gleichtaktverstärkungen mit den theoretischen Werten aus der Vorbereitung und berechnen Sie die Gleichtaktunterdrückungen.

## 2. Wechselspannungsverstärker

Bauen Sie die in Abbildung 2 dargestellte Schaltung in LtSpice nach. Der Emitterwiderstand  $R_E$  ist so zu dimensionieren, dass sich bei mittleren Frequenzen eine Spannungsverstärkung von ca. 40dB ergibt (siehe Vorbereitung Aufgabe 2.1).

- 2.1 Schließen Sie  $U_{in}$  kurz ( $U_{in} = 0$  V) und überprüfen Sie die Berechnung der Kollektorströme und Stromverstärkungen aus der Vorbereitungsaufgabe 2.2. Führen Sie dazu eine transiente Simulation durch und messen anschließend die Kollektor- und Basiströme der beiden Transistoren **innerhalb der Schaltung**. Speichern Sie die Schaltung inklusive Anzeige der Strom und Spannungswerte für Ihre Dokumentation ab.
- 2.2 Bestimmen Sie die Ein- und Ausgangswiderstände. Regen Sie dazu die Schaltung mit einem Sinuseingangssignal ( $U_{D,ss} = 60$  mV,  $f = 1$  kHz) an. Für die Bestimmung des Eingangswiderstands setzen Sie die Ausgangsspannung des Spannungsquelle ( $U_{in}$ ) und deren Quellenstrom ins Verhältnis. Plotten Sie dazu zunächst die Eingangsspannung und fügen dem Ausdruck, der geplottet wird eine Division durch den Quellstrom hinzu. Aufgrund der Division von Werten nahe bei 0 gibt es ein paar Ausreiser. Zoomen Sie in einen Bereich ohne Ausreiser und speichern Sie die Schaltung und Kennlinie mit Anzeige des Mittelwertes in diesem Bereich für die Dokumentation ab.  
Für die Bestimmung des Ausgangswiderstands können Sie die Halbspannungsmethode



verwenden. Dabei wird die Verstärkerschaltung als Signalquelle betrachtet deren Innenwiderstand dem Ausgangswiderstand  $R_a$  entspricht. Wird ein Lastwiderstand am Ausgang angeschlossen, führt dies zu einer Verkleinerung der Ausgangsspannung. Der Lastwiderstand wird nun verkleinert bis der Lastwiderstand genau dem Ausgangswiderstand entspricht. Dieser Punkt ist erreicht, wenn die gemessene Ausgangsspannung um die Hälfte gesunken ist (Spannungsteiler). Speichern Sie die Schaltung und Kennlinie für die Dokumentation ab.

- 2.3 Messen Sie den Frequenzgang der Verstärkung für einen Bereich  $f = 10\text{Hz} \dots 10\text{MHz}$  und stellen Sie das Ergebnis grafisch in der Form  $v_U = f(f)$  dar mit  $v_U(\text{in dB}) = 20 \cdot \log\left(\frac{u_{out}}{u_{in}}\right)$  und logarithmisch geteilter Frequenzachse. Führen Sie dazu eine AC-Simulation durch. Speichern Sie die Schaltung und Kennlinie für die Dokumentation ab. Warum werden sehr niedrige Frequenzen gedämpft? Warum werden sehr hohe Frequenzen gedämpft?
- 2.4 **Auswertung:** Vergleichen Sie die Ergebnisse von 2.2 und 2.3 mit den berechneten Werten für die Wechselspannungsverstärkung und die Ein- und Ausgangswiderstände aus der Vorbereitung