



Graz University of Technology

Institut für Materialphysik der Technischen Universität Graz

LABORÜBUNGEN: ELEKTRONIK UND COMPUTERUNTERSTÜTZTE MESSTECHNIK

Übungsnummer: 1

Übungstitel: Die Emitterschaltung mit Gleichstromgegenkopplung

Gruppennummer: 7

Name: Maximilian PHILIPP

Name: Michael HINTERLEITNER

Mat. Nr.: 11839611

Mat. Nr.: 12002411

Datum der Übung: 06.04.2022

Sommersemester 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Vorbereitung	5
3	Grundlagen	5
4	Versuchsdurchführung	6
4.1	Elektrometerverstärker	6
4.1.1	Simulation	6
4.1.2	Steckbrett	7
4.2	Integrator	8
4.2.1	Simulation	8
4.2.2	Steckbrett	9
5	Auswertung	10
5.1	Simulation	10
5.2	Steckbrett	10
6	Diskussion und Zusammenfassung	10
6.1	Diskussion	10
6.2	Zusammenfassung	10

Elektronik und computerunterstützte Messtechnik
Labor, SS 2022
PHY.I02UF

Übung 2 - Operationsverstärker

A: Elektrometerverstärker und B: Integrator

**Abgabe der Vorbereitung: bis Freitag, 29. April 2022, 12:00 Uhr im Briefkasten 517,
EG, Petersgasse 16 (Inst. f. Materialphysik)**

Praktikumstermin: KW18 (04.05 bis 06.05.2022) – USB mitnehmen!

A) Nichtinvertierender Verstärker (Elektrometerverstärker)

1) Angaben

Operationsverstärker: $\mu\text{A 741 CN}$

Betriebsspannung: $\pm 15\text{ V}$

Eingangsspannung: $U_e = 125\text{ mV}$

Ausgangsspannung: $U_a = 8\text{ V}$

2) Vorbereitung

- 1) Dimensionieren Sie das Netzwerk: Die Widerstände im Netzwerk sind so zu dimensionieren, dass die über den Gegenkopplungswiderstand fließenden Ströme um etwa einen Faktor 200 größer sind als der Eingangsruhestrom.
- 2) Es sind die Parameter Eingangswiderstand r_e , Ausgangswiderstand r_a , Schleifenverstärkung und Bandbreite der Schaltung zu berechnen. (Datenblatt zu $\mu\text{A 741 CN}$ in VO Unterlagen)
- 3) Um eine Messung des Aussteuerungsbereiches am Steckbrett durchzuführen, muss ein Eingangsspannungsteiler dimensioniert werden, sodass ein Bereich von $\pm 0,5\text{ V}$ eingestellt werden kann. Dimensionieren Sie diesen auf Basis der Betriebsspannung mit **zwei Widerständen**, sowie **Potentiometer** und skizzieren Sie ihn. Dürfen beliebig große Widerstände verwendet werden? Begründen Sie die Antwort.
- 4) Zeichnen Sie einen Schaltplan, inklusive Pin-Bezeichnung (Keine freien Pins am OPV!) und tragen Sie die berechneten Widerstandswerte des Netzwerks ein.

3) Praktische Durchführung

- 5) Die Schaltung ist mit LTspice zu zeichnen und auszudrucken (PDF).
- 6) Der Aussteuerungsbereich ist mit einem „DC SWEEP“ zu bestimmen und plotten.
- 7) Anstatt des $\mu\text{A 741 CN}$, wird in der Simulation das Bauteil LM741 verwendet.
- 8) Der Operationsverstärker ist auf seine Funktionstüchtigkeit mit Hilfe der vorgegebenen Testschaltung (Invertierender Verstärker) zu überprüfen.
- 9) Der Verstärker (bestehend aus OPV, Netzwerk und Spannungsteiler für die Eingangsspannung) ist auf dem Steckboard aufzubauen.
- 10) Es ist der Offsetspannungsabgleich durchzuführen.
- 11) Die gemessene Ausgangsspannung ist mit der zu erwartenden Ausgangsspannung zu vergleichen und das Ergebnis zu protokollieren.
- 12) Es ist der Aussteuerungsbereich des Verstärkers zu messen.
- 13) Die Ergebnisse der Simulation und Messung am Steckboard sind zu diskutieren.

B) Integrator

1) Angaben

Operationsverstärker: $\mu\text{A}741 \text{ CN}$

Betriebsspannung: $\pm 15 \text{ V}$

Bauen Sie einen Umkehrintegrator, sodass 15 Sekunden nach Anlegen einer **positiven** Eingangsspannung U_e von 100 mV die Ausgangsspannung U_a den Wert **-10 V** erreicht. Verwenden Sie dazu einen Kondensator mit einer Kapazität von $6,8 \mu\text{F}$. Erweitern Sie in der Simulation die Schaltung um eine geeignete OPV Verstärkerstufe, so dass bereits nach 10 s eine **positive** Ausgangsspannung von 10 V erreicht wird (dies muss am Steckbrett nicht umgesetzt werden).

2) Vorbereitung

- 1) Dimensionierung des Netzwerkes: Bestimmen Sie den für die o.g. Integrationszeit passenden Widerstand R.
- 2) Dimensionieren Sie (auf Basis der Betriebsspannung) für die genannte Eingangsspannung U_e einen genügend belastbaren Spannungsteiler (für den Eingangsstrom des Integrators).
- 3) Zeichnen Sie den Schaltplan, und tragen Sie darin die berechneten Werte und beschalteten Pins in die Schaltskizze ein.
- 4) Erweitern Sie die Schaltung um eine passende OPV Verstärkerstufe (siehe Angabe) - Dimensionieren Sie den hierfür erforderlichen Teil des Netzwerkes.
- 5) Zeichnen Sie den Schaltplan und tragen Sie darin die berechneten Werte sowie beschalteten Pins in die Schaltskizze ein.
- 6) Skizzieren Sie die Ausgangsspannung bei einer Sinus-, Rechteck- und Kippschwingung als Eingangssignal und begründen Sie das Ergebnis.
- 7) Leiten Sie die Impedanz ($X_c = \left| \frac{-j}{\omega C} \right|$) eines Kondensators für eine Wechselspannung her und folgern Sie daraus die frequenzabhängige Verstärkung ($\frac{U_a}{U_e}$) der Schaltung. Skizzieren/Plotten Sie den Verlauf (**Bode-Diagramm**).

3) Praktische Durchführung:

- 1) Der Umkehrintegrator ist mit LTspice zu zeichnen und als Abbildung zu speichern.
- 2) Die Integrationsdauer der Schaltung ist mit einer konstanten Spannungsquelle zu simulieren. Die Ergebnisse sind mit der Vorbereitung zu vergleichen.
- 3) Der OPV ist auf die Funktionstüchtigkeit zu prüfen. (siehe Aufgabe A, Punkt 8)
- 4) Der Umkehrintegrator (bestehend aus OPV, Netzwerk und Spannungsteiler) ist auf dem Steckboard aufzubauen.
- 5) Es ist der Offsetspannungsabgleich durchzuführen.
- 6) Die aufgebaute Schaltung ist in Betrieb zu nehmen und die Integrationszeit zu protokollieren (Stoppuhr). Die Messung ist fünfmal zu wiederholen.
- 7) Die Schaltung (und Simulation) ist mit verschiedenen Spannungsquellen (Sinus, Rechteck, Dreieck) zu testen. Protokollieren und vergleichen Sie die Ergebnisse. Nutzen Sie dazu Oszilloskop und Frequenzgenerator.
- 8) Vergleichen Sie die frequenzabhängige Verstärkung der Schaltung in einem Bereich zwischen 5 und 50 Hz mit der Simulation.
- 9) Die Simulation ist um die genannte Verstärkerstufe zu erweitern. Wiederholen Sie mit der neuen Schaltung Punkt 2 und 7
- 10) Die Ergebnisse aus Messung und Simulation sind zu diskutieren.

2 Vorbereitung

3 Grundlagen

Bipolartransistoren sind Halbleiterbauelemente mit zwei pn-Halbleiterübergängen (entweder npn oder pnp), bei denen gegensätzlich zu den Feldeffekttransistoren beide Arten von Ladungsträgern, Elektronen und Löcher/Defektelektronen, am Stromfluss beteiligt sind. Für Schaltungen mit Bipolartransistoren, die in der Elektronik zur Verstärkung respektive Schaltung verwendet werden, wird zwischen Emitter-, Basis- und Kollektorschaltung differenziert. Die Schaltungsbezeichnungen beruhen auf dem Anschluss, der als Bezug für Eingang und Ausgang dient. Diese Schaltungsarten sind in Emitter des Transistors in die technische Stromrichtung zeigt.

Abbildung 1: Darstellung der 3 Schaltungsarten mit Bipolartransistor [1]

In dieser Laborübung sind ausschließlich Emitterschaltungen von Relevanz, insbesondere jene mit Stromgegenkopplung, wodurch die Temperaturabhängigkeit der Schaltung kompensiert wird. Dies ist deswegen von hoher Relevanz, da Transistorschaltungen stets um einen bestimmten Arbeitspunkt betrieben werden (sollten). Dieser Arbeitspunkt wird über den Kollektorstrom I_C , Basisstrom I_B , der Kollektor-Emitterspannung U_{CE} beziehungsweise Basis-Emitterspannung U_{BE} festgelegt. Ein Anstieg der Temperatur würde diesen wiederum, aufgrund der Temperaturabhängigkeit von Halbleitern (pn-Übergang), verschieben. Dadurch wird eine Zunahme des Basisstroms I_B und infolge des Kollektorstroms I_C sowie eine Abnahme des Kollektorpotentials V_C bedingt. Um dies zu kompensieren, wird im Rahmen der Stromgegenkopplung ein Emitterwiderstands R_E implementiert. Dieser führt aufgrund des nun höheren Emitterstroms I_E , der sich gemäß der Kirchhoff'schen Knotenregel aus der Summe der Teilströme I_C und I_B (der allerdings vernachlässigt werden kann) ergibt, zu einer größeren Spannung U_{RE} , die am Emitterwiderstand abfällt. Dadurch nimmt die Basis-Emitterspannung U_{BE} ab und der Basisstrom wird geringer, genauso wie folglich der Kollektor- und Emitterstrom, was der ursprünglichen Erhöhung entgegenwirkt. [1]

Zur Berechnung der Ströme am Steckbrett (Kapitel Auswertung), des Basis- I_B und Kollektorstroms I_C , nachdem die an den Vorwiderständen R_1 und R_2 abfallenden Spannungen U_{R1} respektive U_{R2} gemessen wurden, wird das Ohmsche Gesetz Gleichung 1 verwendet. Dabei bezeichnet wie gewohnt U die Spannung, I den Strom

und R den Widerstand als die Proportionalitätskonstante beziehungsweise für einen nicht-linearen Verlauf r den differentiellen Widerstand an einem Arbeitspunkt. [1]

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

$$r = \left. \frac{dU}{dI} \right|_{\text{Arbeitspunkt}} \quad (2)$$

Die (Spannungs-)Verstärkung V der Schaltung ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen Ausgangsspannung und Eingangsspannung gemäß Gleichung 3.

$$V = \frac{U_a}{U_e} \quad (3)$$

4 Versuchsdurchführung

4.1 Elektrometerverstärker

4.1.1 Simulation

Zur Simulation des Elektrometerverstärkers wird das Programm *LTSPICE* verwendet. Der Aufbau erfolgt analog zum skizzierten Schaltplan Abbildung 2. Hier wurde das gleiche Bauteil wie im Kapitel Aufgabenstellung verwendet der $\mu A741$.

Abbildung 2: Dies ist die Elektrometerverstärkerschaltung aufgebaut in *LTSPICE*

Abbildung 3: Die Schaltung aus Abbildung 2 wurde auf den Aussteuerungsbereich untersucht in dem ein DC-Sweep gemacht wurde. Die Simulation SPICE-Directive ist `.dc Ue -200m 200m 10`

Untersuchung des Aussteuerungsbereichs

4.1.2 Steckbrett

Testschaltung Zur Untersuchung der Funktionstüchtigkeit des OPVs wurde die im Lab vorhandene Testschaltung, siehe Abbildung 4, verwendet.

Abbildung 4: Das vorhandene Testbrett. Invertierender Verstärker

Diese Schaltung wurde verwendet um zu überprüfen ob der OPVs noch immer die gewünschten Eigenschaften für positive und negative Verstärkung aufweist. Dies wurde durch das Variieren des Potentiometers (und somit das Variieren der Eingangsspannung) und dem Messen der Ausgangsspannung überprüft.

Abbildung 5: Elektrometerverstärker Aufbau am Steckbrett der Schaltung von Abbildung 2

Aufbau

Offsetabgleich Um den Offsetspannungableich durchführen zu können ist zuerst mal ein Impdanzwandel aufgebaut worden, wodurch das Abgleichen sich zum Abstimmen der Eingangsspannung zur Ausgangsspannung vereinfachte. Dies wurde durch einen extern Beschalteten Potentiometer bewerkstelligt, welcher die Rolle eines Spannungteilers spielte. Der Offsetabgleich wurde bei einer Spannung von 125,4 mV gemacht.

Beschaltung als Elektrometerverstärker Nun wurde die Rückkopplung wie in ??, statt dem Kurzschluss vom Ausgang zum invertierenden Eingang eingebaut. Zunächst gab es Probleme mit dem Aufnehmen der Verstärkung, da der Ground einen Wackelkontakt bekommen hat, welcher durch leichtes drehen des Anschlusses repariert werden konnte. Nun konnte die U_a und U_e des Elektrometerverstärker gemessen werden.

$$U_a = 8,03 \text{ V} \quad @ U_e = 125,0 \text{ mV} \quad (4)$$

Tabelle 1: Gemessene Ausgangs- und Eingangsspannungen der Elektrometerschaltung zur Untersuchung des Aussteuerungsbereich

$U_a \dots$ Ausgangsspannung

$U_e \dots$ Eingangsspannung

U_e / mV	U_a / V
0,0	0,0365
63,2	4,082
121,5	7,81
180,7	11,6
200,4	12,86
225,2	13,98
244,8	13,98
-62,8	-3,987
-117,8	-7,46
-176,2	-11,24
-233,6	-13,00
-290,6	-13,35
-298,6	-13,40
-340,1	-13,49

Untersuchung des Aussteuerungsbereichs

4.2 Integrator

4.2.1 Simulation

Zur Simulation des Elektrometerverstärkers wird das Programm *LTSPICE* verwendet. Der Aufbau erfolgt analog zum skizzierten Schaltplan Abbildung 6.

Abbildung 6: Dies ist die Integratorschaltung aufgebaut in *LTSPICE*

Integrationszeit Um die Integrationszeit zu bestimmen wurde eine Transiente-Analyse durchgeführt.

Tabelle 2: Messungen der Integrationszeit der realen Schaltung aus Abbildung 6, wobei T die Ladezeit bis am Ausgang 10 V anliegt. Bei einer Ladespannung 91,8 mV, einem Widerstand von 21,9 k Ω und einer Kapazität von 6,8 μ F

T / s
17,20
16,42
16,90
16,89
17,32
17,21

Abbildung 7: Die Schaltung aus Abbildung 6 wurde auf die Integrationszeit untersucht in dem eine Transiente-Analyse vom Ladevorgang gemacht wurde. Die Simulation SPICE-Directive ist `.tran 0 20` bei einer Eingangsspannung U_e von 100 mV.

4.2.2 Steckbrett

Wie in ?? nochmals mit der Impedanzwandlerschaltung überprüft. Ebenfalls wurde gleich die Offsetabgleich nochmals überprüft. Jedoch musste dies nicht angepasst werden.

Integrationszeit

Untersuchung Verschiedene Eingangssignale Nun wurde die Integrationsfähigkeit der Schaltung durch Einspeisen verschiedener Eingangssignale qualitativ untersucht.

Abbildung 8

Abbildung 9

Abbildung 10

Abbildung 11

Abbildung 12

Abbildung 13

Untersuchung der frequenzabhängigen Verstärkung

Simulation Untersuchung der frequenzabhängigen Verstärkung

5 Auswertung

5.1 Simulation

5.2 Steckbrett

6 Diskussion und Zusammenfassung

6.1 Diskussion

6.2 Zusammenfassung

Literaturverzeichnis

- [1] Ulrich Tietze, Christoph Schenk und Eberhard Gamm. *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer-Verlag GmbH, 5. Juli 2019. ISBN: 3662485532. URL: https://www.ebook.de/de/product/37063433/ulrich_tietze_christoph_schenk_eberhard_gamm_halbleiter_schaltungstechnik.html.

Abbildungsverzeichnis

1	Darstellung der 3 Schaltungsarten mit Bipolartransistor [1]	5
2	Dies ist die Elektrometerversärkerschaltung aufgebaut in <i>LTSPICE</i> .	6
3	Die Schaltung aus Abbildung 2 wurde auf den Aussteuerungsbereich untersucht in dem ein DC-Sweep gemacht wurde. Die Simulation SPICE-Directive ist <code>.dc U_e -200m 200m 10</code>	6
4	Das vorhandene Testbrett. Invertierender Verstärker	7
5	Elektrometerversärker Aufbau am Steckbrett der Schaltung von Abbildung 2	7
6	Dies ist die Integratorschaltung aufgebaut in <i>LTSPICE</i>	8
7	Die Schaltung aus Abbildung 6 wurde auf die Integrationszeit untersucht in dem eine Transiente-Analyse vom Ladevorgang gemacht wurde. Die Simulation SPICE-Directive ist <code>.tran 0 20</code> bei einer Eingangsspannung U_e von 100 mV.	9
8	. . . . .	9
9	. . . . .	9
10	. . . . .	10
11	. . . . .	10
12	. . . . .	10
13	. . . . .	10

Tabellenverzeichnis

1	Gemessene Ausgangs- und Eingangsspannungen der Elektrometerschaltung zur Untersuchung des Aussteuerungsbereich U_a . . . Ausgangsspannung U_e . . . Eingangsspannung	8
2	Messungen der Integrationszeit der realen Schaltung aus Abbildung 6, wobei T die Ladezeit bis am Ausgang 10 V anliegt. Bei einem Ladespannung 91,8 mV, einem Widerstand von 21,9 k Ω und einer Kapazität von 6,8 μ F	9