Auswertung: Operationsverstärker

Christine Dörflinger und Frederik Mayer, Gruppe Do-9 19. Juni 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Emi	mitterschaltung eines Transistors												
	1.1	Schaltung	3											
	1.2	Dreieckspannung	3											
	1.3	Entfernung des Emitterkondensators	3											
	1.4	Frequenzabhängigkeit der Verstärkung	4											
		1.4.1 Stromgegengekoppelte Schaltung	4											
		1.4.2 Gleichstromgegengekoppelte Schaltung	5											
2	Gru	Grundschaltung eines Operationsverstärkers												
	2.1	Nichtinvertierender Verstärker mit zehnfacher Verstärkung	6											
		2.1.1 Eingangswiderstand	$\overline{7}$											
		2.1.2 Ausgangswiderstand	$\overline{7}$											
	2.2	Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz	7											
3	Invertierende Grundschaltung													
	3.1	Invertierender Verstärker mit zehnfacher Verstärkung	8											
	3.2	Addierer	8											
	3.3	Integrierer	9											
	3.4	Differenzierer	9											
4	Komplexere Schaltungen mit Operationsverstärkern													
	4.1	Idealer Einweggleichrichter	10											
	4.2	Generator für Dreieck- und Rechtecksignale	11											
	4.3	Programmierte Differentialgleichung 2. Ordnung	11											
5	Que	llen	12											

1 Emitterschaltung eines Transistors

1.1 Schaltung

Zu Beginn diesses Versuchs sollte der Arbeitspunkt bestimmt werden. Wir maßen die Spannung zwischen Basis und GND: $U_{Arb} = 2.2$ V.

Anmerkung: Für den Aufbau wurden Kondenatoren von 4.7 μ F statt 5 μ F verwendet.

1.2 Dreieckspannung

Hier sollte die Qualität des Verstärkers beurteilt werden. Aus der Vorbereitung berechnen wir im folgenden die Verstärkung über:

$$v_U = \frac{U_A}{U_E} \tag{1}$$

Dazu bestimmten wir zunächst die Verstärkung für folgende Ausgangsamplituden bei f = 1 kHz: Zur

Tabelle 1: Werte 1.2

U_A in V	9,000	3,920
U_E in V	$0,\!0528$	0,0248
Verstärkung $ v_U $	$170,\!455$	$158,\!065$



Abbildung 1: Verstärkung Dreiecksspannung

Qualität: Wir konnten eine leichte Krümmung des Dreieckssignals beobachten, das Signal wird also verfälscht.

1.3 Entfernung des Emitterkondensators

Wie in der Vorbereitung beschrieben erwarten wir eine Verstärkung von:

$$|v_U| = \left|\frac{R_C}{R_E}\right| \longrightarrow v_U = -\frac{R_C}{R_E} = -4.7 \tag{2}$$

Die Messergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 2: W	erte	1.3
--------------	------	-----

U_A in V	0,960	3,040	6,960	9,800
U_E in V	0,208	$0,\!672$	$1,\!560$	$2,\!240$
Verstärkung $ v_U $	$4,\!615$	$4,\!524$	$4,\!462$	$4,\!375$

Für den Mittelwert ergibt sich:

$$\left|\overline{v}_{\text{mess}}\right| = 4.49\tag{3}$$

Damit weicht unsere Messung um ca. 4.5%vom berechneten Wert ab; unsere Erwartungen haben sich somit bestätigt.

1.4 Frequenzabhängigkeit der Verstärkung

Die beiden oben verwendeten Schaltungen wurden nun auf ihre Frequenzabhängigkeit untersucht

1.4.1 Stromgegengekoppelte Schaltung

Wie zu erwarten war ist die Verstärkung bei niedrigen Frequenzen gering (Hochpasswirkung). Für hohe Frequenzen nähert sich die Verstärkung dem Wert aus Aufgabe 1.3 an. Wir erhielten als größte Verstärkung einen Wert von $|v_{\text{mess}}| = 4,44$ was um ca. 5.5% vom berechneten Wert abweicht. Im Bereich zwischen 10 und 500 Hz wird die Verstärkung zwar mit der Frequenz höher, aber die 'Zunahme' (Steigung) wird immer geringer.

Tabelle 3:	1.4:	Strom	gegenge	koppelte	Schaltung
------------	------	-------	---------	----------	-----------

f in Hz	10	25	50	100	500	1000	5000	10000	50000	100000
U_E in V	2,200	2,160	2,120	2,040	2,040	2,040	$2,\!160$	$2,\!160$	2,160	2,160
U_A in V	2,160	4,800	7,040	8,600	9,000	$9,\!400$	$9,\!600$	$9,\!600$	$9,\!600$	$9,\!600$
Verstärkung $ v $	0,982	2,222	3,321	4,216	4,412	4,608	4,444	4,444	4,444	4,444



Abbildung 2: Frequenzabhängigkeit der stromgegengekoppelten Schaltung bis 100 kHz



Abbildung 3: Frequenzabhängigkeit der stromgegengekoppelten Schaltung bis 500 Hz

1.4.2 Gleichstromgegengekoppelte Schaltung

Hier ist ebenfalls die Verstärkung für kleine Frequenzen gering. Unserer Erwartung entspricht auch, dass die Verstärkung mit der Frequenz zunimmt. Das hängt damit zusammen, dass die Impedanz des Emitterkondensators immer mehr abnimmt und somit die Gegenkopplung geringer wird. Im Bereich zwischen 10 und 50 Hz steigt die Verstärkung nahezu linear an.

Tabelle 4: 1.4: Gleichstromgegengekoppelte Schaltung

f in Hz	10,000	$25,\!000$	50,000	$100,\!000$	$500,\!000$	1000,000	5000,000	10000,000	50000,000	1(
U_E in V	0,070	0,067	0,066	0,069	0,065	0,064	0,030	0,031	0,030	
U_A in V	$0,\!152$	0,520	$1,\!340$	$3,\!000$	9,200	$10,\!400$	$5,\!680$	5,760	6,200	
Verstärkung $ v $	$2,\!184$	7,738	$20,\!427$	$43,\!605$	$141,\!975$	$162,\!500$	$186,\!842$	$187,\!013$	$203,\!947$	



Abbildung 4: Frequenzabhängigkeit der gleichstromgegengekoppelten Schaltung bis 100 kHz



Abbildung 5: Frequenzabhängigkeit der gleichstromgegengekoppelten Schaltung bis 500 Hz

2 Grundschaltung eines Operationsverstärkers

2.1 Nichtinvertierender Verstärker mit zehnfacher Verstärkung

In diesem Versuch sollte zunächst der nichtinvertierende Verstärker aufgbaut und dann die Funktionsweise überprüft werden.



Abbildung 6: Exemplarisch: Dreiecksspannung mit nichtinvertierendem Verstärker: Die Spitzen der Dreiecke sind an der selben Stelle, daher keine Inversion.

Als Mittelwert für die Verstärkung erhielten wir $\bar{v}_{\text{mess}} = 10.66$ was um 3.1% vom theoretischen Wert v = 11 abweicht. Somit sind die beiden Werte sehr ähnlich. subsectionDemonstration des hohen Eingangs- und des kleinen Ausgangswiderstands

Tabelle 5: Werte 2.1

U_E in V	0,256	0,960	0,600	0,440
U_A in V	$2,\!640$	10,200	$6,\!200$	5,000
Verstärkung $ v_{\rm mess} $	10,313	$10,\!625$	$10,\!333$	$11,\!364$

2.1.1 Eingangswiderstand

Folgende Werte werden zur Berechnung des Widerstands benötigt:

- $R_M = 1 \ \mathrm{M}\Omega$
- $U_{22} = 376 \text{ mV}$
- $U_E = 780 \text{ mV}$
- $U_R M = 0.78 \text{ V} 0.376 \text{ V} = 0.404 \text{ V}$

Der Eingangswiderstand berechnet sich mit:

$$R_E = R_M \left(\frac{U_E}{U_{R_M}} - 1\right) = 930.69k\Omega \tag{4}$$

2.1.2 Ausgangswiderstand

Der Ausgangswiderstand wurde mit dem Potentiometer bestimmt (siehe Vorbereitung). Wir erhielten:

$$R_A = 97.8\Omega\tag{5}$$

Man sieht, dass der Eingangswiderstand etwa um Faktor 9500 größer ist als der Ausgangswiderstand.

2.2 Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz

Anhand des Schaubilds lässt sich wie erwartet erkennen, dass die Verstärkung mit steigender Frequenz zunehmend abfällt. Man erkennt eine Verzerrung, die einem Dreieck ähnlich ist, da man in den Bereich



Abbildung 7: Frequenzabhängigkeit der nichtinvertierenden Schaltung

der Schaltzeiten des Operationsverstärkers kommt.





3 Invertierende Grundschaltung

3.1 Invertierender Verstärker mit zehnfacher Verstärkung

Die Schaltung wurde wie in der Vorbereitung beschrieben aufgebaut. Als Eingangssignal wurde eine Sinusförmige Spannung mit 1kHz angelegt. Dies wurde für verschiedene Eingangsspannungen durchgeführt. Der Verstörkungsfaktor ergibt sich aus dem Verhältnis $u = \frac{U_A}{V}$.

Der Verstärkungsfaktor ergibt sich aus dem Verhältnis $v = \frac{U_A}{U_E}$:

Tabelle 7: Messwerte, berechneter Verstärkungsfaktor

U_E in V	0,448	1	0,72
U_A in V	-4,4	-9,8	-7,2
Verstärkungsfaktor v	-9,82	-9,8	-10

Für den Verstärkungsfaktor ergibt sich also ein Mittelwert von $\bar{v} = 9,87$. Dies stimmt sehr gut mit dem theoretisch erwarteten Wert von v = -10 (siehe Vorbereitung, Berechnung aus Widerständen) überein. Da es sich um einen invertierenden Verstärker handelt, haben Ausgangsspannung und Verstärkung ein negatives Vorzeichen.

3.2 Addierer

Der Addierer wurde erneut gemäß Vorbereitung aufgebaut. Es wurden jeweils zwei Eingangssignale der selben Spannung angelegt (aber unterschiedlicher Form oder Frequenz). Die Ausgangsspannung wurde oszilloskopisch beobachtet. Die in der Vorbereitung hergeleitete Addition der Eingangssignale konnte bestätigt werden.

Exemplarisch werden zwei Bilder, die mithilfe des Oszilloskops gespeichert wurden, dargestellt:



Abbildung 10: Addition: Rechteckspannungen mit 1kHz und 5kHz



Abbildung 11: Addition: Rechteckspannung mit 2kHz und Dreieckspannung mit 1kHz

3.3 Integrierer

Der Integrierer wurde wieder gemäß Vorbereitungshilfe aufgebaut. Es wurden unterschiedliche Eingangssignale niedriger Frequenz (zwischen 50 und 100 Hz) angelegt und die Ausgangsspannung oszilloskopisch beobachtet:



Abbildung 12: Es wurde eine Dreieckspannung (100Hz) angelegt. Die Ausgangsspannung ist daher parabelförmig (da $\int x dx = x^2$)



Abbildung 13: Wird eine Rechteckspannung (100Hz) angelegt, so ergibt sich eine lineare Ausgangsspannung

3.4 Differenzierer

Wir bauten den Differenzierer gemäß Vorbereitung auf und beobachteten am Oszilloskop folgende Ausgangssignale:



Abbildung 14: Als Eingangsspannung wurde eine Dreieckspannung gewählt. Die Ausgangsspannung ist daher eine Rechteckspannung, da sich für die zeitliche Ableitung der Dreieckspannung eine Konstante ergibt, die je nach Flanke positiv oder negativ wird



Abbildung 15: Wird eine Rechteckspannung angelegt, ergeben sich Delta-Peaks als Ableitungen, da die Steigung beim 'Umschalten' der Rechteckspannung unendlich wird

Die Funktionsweise der Schaltung wurde wie bei den vorhergehenden Schaltungen bereits in der Vorbereitung erklärt.

4 Komplexere Schaltungen mit Operationsverstärkern

4.1 Idealer Einweggleichrichter

Wie in der Vorbereitung erläutert fällt beim Idealen Einweggleichrichter die Diodenknickspannung nicht ab, wenn der Gleichrichter in Durchlassrichtung gepolt ist.

Der Einweggleichrichter wurde aufgebaut; es wurden unterschiedliche Eingangsspannungen angelegt. Die Ausgangsspannungen wurden oszilloskopisch beobachtet:



Abbildung 16: Es wurde eine Sinusspannung mit 100Hz an den Gleichrichter angelegt. Die beiden Ausgangsspannungen U_{A1} und U_{A2} wurden betrachtet: Einmal wird der positive Teil des Eingangssignals durchgelassen und einmal der negative Teil.



Abbildung 17: Hier wurde eine Dreieckspannung angelegt. Die Beobachtungen sind analog zu denen bei der Sinusspannung.

Durch Addition der Ausgangssignale könnte überprüft werden, ob die Diodenknickspannung tatsächlich nicht abfällt. Dies wurde im Versuch allerdings nicht durchgeführt.

4.2 Generator für Dreieck- und Rechtecksignale

Die Funktionsweise des Generators wurde bereits in der Vorbereitung erklärt. Wir bauten ihn gemäß der dort abgebildeten Skizze auf und beobachteten die beiden Ausgangsspannungen am Oszilloskop:



Abbildung 18: Wie zu sehen ist, gibt der eine Ausgang (Schmitt-Trigger) eine Rechteckspannung aus, und der andere Ausgang (Rechteckspannung integriert) eine Dreieckspannung. Beim Rechtecksignal ist allerdings zu erkennen, dass es leicht abfällt und während einer halben Periode nicht ganz konstant bleibt.

4.3 Programmierte Differentialgleichung 2. Ordnung

Die Schaltung wurde wieder gemäß Vorbereitung aufgebaut.

Der Dämpfungsfaktor des durch diese Schaltung realisierten harmonischen Oszillators konnte über ein Potentiometer eingestellt werden. Die Dämpfung wurde unterschiedlich eingestellt:



Abbildung 19: In dieser Abbildung ist die Zeitablenkung des Oszilloskops so eingestellt, dass keine einzelnen Schwingungen, sondern nur die Einhüllende der Schwingungen zu sehen ist. Die Dämpfung war offensichtlich hier zunächst sehr niedrig eingestellt, sodass die Amplitude der Schwingung kaum abfiel. Dann wurde die Dämpfung erhöht, was zu einem sehr deutlich erkennbaren exponentiellen Abfall der Amplitude mit der Zeit führte.

Bei der Durchführung des Versuches konnten wir außerdem beobachten, dass die Amplitude wieder anstieg, wenn man den Dämpfungsfaktor erniedrigte, nachdem man ihn erhöht hatte. Da wir mit unserem Oszilloskop wie bereits erwähnt leider keine Bilder selbst speichern konnten, ist davon leider kein schönes Bild vorhanden.

5 Quellen

• Alle mit dem Oszilloskop abgespeicherten Bilder stammen von Georg Winner und Volodymyr Gumenchuk