

Analoge Signalverarbeitung Labor

Verfasser: R. Okorn
Datum: 13.11.2017
Datei: Analoge Signalverarbeitung Labor V1.5.doc
Version: 1.5

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Richtlinien	3
1.1	Hausübung	4
1.2	Arbeiten im Labor	4
1.3	Protokoll-Abgabetermin	4
2	Operationsverstärker - Grundsaltungen	6
2.1	Spannungsfolger mit UA741	6
2.2	Nicht invertierender Verstärker mit UA741	8
2.3	Invertierender Verstärker mit UA741	9
2.4	Addierschaltung mit UA741	9
3	Grundsaltungen mit Frequenzgangbeeinflussung	10
3.1	Spannungsfolger mit LM358	10
3.2	Tiefpass erster Ordnung mit LM358	10
3.3	Differenzierer (Hochpass erster Ordnung) mit LM358	11
4	Operationsverstärker - Anwendungen	12
4.1	Präzisionsgleichrichter mit LM358	12
4.2	Synchrone Gleichrichter mit LM358	13
4.3	Single Supply Mikrofonvorverstärker mit LM358 und AD823	14
4.4	Sallen-Key Tiefpassfilter mit AD823	15
5	Instrumentenverstärker	16
5.1	EKG-Verstärker mit AD627	16
5.2	EKG-Verstärker mit INA128 (optional)	17
6	Linear Spannungsregler	18
6.1	Reglerschaltung für positive Spannungsversorgung	18
6.2	Reglerschaltung für einstellbare positive Spannungsversorgung	18
7	Literatur	19

1 Allgemeine Richtlinien

Die Laborübungen aus Analoger Signalverarbeitung haben den Sinn, den in der Vorlesung vermittelten Lehrstoff zu vertiefen, praktische Erfahrung im Umgang mit elektronischen Schaltungen und der damit verbundenen Messtechnik zu bekommen.

Weiters sollen Schaltungsanalyse und Dimensionierung durch Berechnung von Hand in die Übungen einfließen, um eine gewisse Rechenfertigkeit zu erreichen. Ergänzt soll dies schließlich durch die computerunterstützte Simulation der berechneten Schaltungen werden, um einerseits das Simulationsprogramm PSPICE und dessen Leistungsumfang kennen zu lernen, andererseits den Vergleich zwischen Rechnung, Messung und Simulation herstellen zu können.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, findet die Durchführung jeder Laborübung aus Analoger Signalverarbeitung in drei Teilschritten statt.

1. Vorbereitung in Form einer Hausübung mit Schaltungsanalyse (wenn nötig), Dimensionierung und Simulation. Aufbau der Schaltung(en) auf Steckbrett.
2. Messung im Labor mit Messdatenauswertung und Erstellung Rohprotokoll.
3. Fertigstellung des Protokolls als Hausübung.

Zu 1): Die Laborvorbereitung zu Hause umfasst:

1. die Erarbeitung der entsprechenden Grundlagen anhand von Literatur (siehe Literaturangabe),
2. die mathematische Schaltungsanalyse,
3. Schaltungsdimensionierung von Hand,
4. SPICE – Simulation (jedenfalls von allen Bodediagrammen),
5. Aufbau der Schaltung(en) auf einem Steckbrett. Die dafür benötigten Bauteile sind im Labor bzw. beim Vortragenden auszufassen.
6. Überlegungen, wie die gestellten Messaufgaben bewältigt werden können (welche Messgeräte sind nötig und welche zusätzlichen Geräte benötigt man ?), sofern dies nicht explizit angegeben ist. Entsprechende Notizen sind ins Labor mitzunehmen.
7. **Erstellung vorgefertigter Excel-Tabellen** zur Aufnahme der Messwerte (Formeln sollten bereits enthalten sein).
8. **Erstellung eines Protokollentwurfes zum Befüllen während der Laborübung !**

Zu 2): Im Labor erfolgt die messtechnische Verifikation der Schaltung:

1. Inbetriebnahme der vorbereiteten Schaltungen mit gegebenenfalls Fehlersuche und Korrektur.
2. Durchführung der Messungen.
3. Eintragen der Messwerte in vorbereitete Excel-Tabellen.
4. Erstellen von Diagrammen und kopieren der Tabellen und Diagrammen (Beschriftungen nicht vergessen) in das vorbereitete Rohprotokoll.

Zu 3): Zu Hause erfolgt die genaue Messdatenauswertung und Erstellung eines Protokolls (Pro Laborgruppe ist ein Protokoll zu erstellen). Die Berechnung und die Simulationsergebnisse sind ins Protokoll aufzunehmen. Die zu den einzelnen Aufgaben

gestellten Fragen sind im Protokoll zu beantworten, wobei die Antworten stets zu begründen sind ! **Die Richtlinien zur Erstellung von Laborprotokolle sind strikt einzuhalten !**

1.1 Hausübung

Vor Übungsantritt müssen von jedem Studenten als Hausübung folgende Tätigkeiten durchgeführt werden.

- Alle unten genannten Schaltungen sind von Hand zu dimensionieren und mittels PSPICE zu simulieren. Die dafür erforderlichen Daten sind dem jeweiligen OpAmp-Datenblatt zu entnehmen. Die Simulationsergebnisse sollen mit den Messergebnissen verglichen werden. **Simulierte Bode-Diagramme sind mit den gemessenen in einem gemeinsamen Diagramm darzustellen !**
- Die theoretischen Grundlagen des Übungsstoffes sind mit Hilfe des Vorlesungsskriptums und der Fachliteratur zu erarbeiten (siehe Literaturliste).
- Die nachfolgenden OpAmp-Grundsaltungen sind mit einem UA741 bzw. LM358 auf einem Steckbrett aufzubauen. Die Versorgungsspannungen müssen nahe am IC mittels **Stützkondensatoren** wechselstrommäßig kurzgeschlossen werden. Als Stützkondensatoren eignen sich 100nF keramische Kondensatoren, sofern im OpAmp-Datenblatt nicht andere Werte oder Dielektrika vorgegeben sind. Die Stützkondensatoren sind in den Schaltungen nicht eingezeichnet, trotzdem aber **immer** vorzusehen.

1.2 Arbeiten im Labor

Die fertig aufgebauten Schaltungen sind, sofern nicht anders angegeben, mit $\pm 15V$ zu versorgen und die nachfolgend angeführten Messungen sind auszuführen. Als Eingangsspannung (Signalspannung) dient in der Regel die Spannung des Funktionsgenerators, bei kleineren Signalen auch die des Oszilloskop-Waveform-Generators (auch für DC-Messungen). Die Ausgangsspannung, sowie die Spannungen in der Schaltung sind, sofern nicht anders angegeben, mit dem Oszilloskop zu messen. Fallweise muss aber überlegt werden welches Messinstrument, bzw. welche Signalquelle für eine Messung geeignet ist. Die Signalgeneratoren haben 50 Ohm Innenwiderstand. Für Oszilloskop-Messungen sind grundsätzlich 10:1 Tastköpfe (und nicht Koax-Kabel mit BNC-Stecker) zu verwenden.

Achtung: Die Masseanschlüsse der Tastköpfe sind am Oszilloskop galvanisch miteinander und mit der Netzerde verbunden. Der Masseanschluss des Signalgenerators ist ebenfalls mit Netzerde verbunden.

Achten Sie darauf, während der Messung die Grenzdaten (Absolute maximum ratings) der Operationsverstärker nicht zu überschreiten.

1.3 Protokoll-Abgabetermin

Das Laborprotokoll ist nach Durchführung aller Laborübungen gemäß Abgabefrist in Moodle als pdf-Datei abzugeben.

Nicht abgegebene oder zu spät abgegebene Protokolle werden mit nicht genügend beurteilt !

2 Operationsverstärker - Grundsaltungen

2.1 Spannungsfolger mit UA741

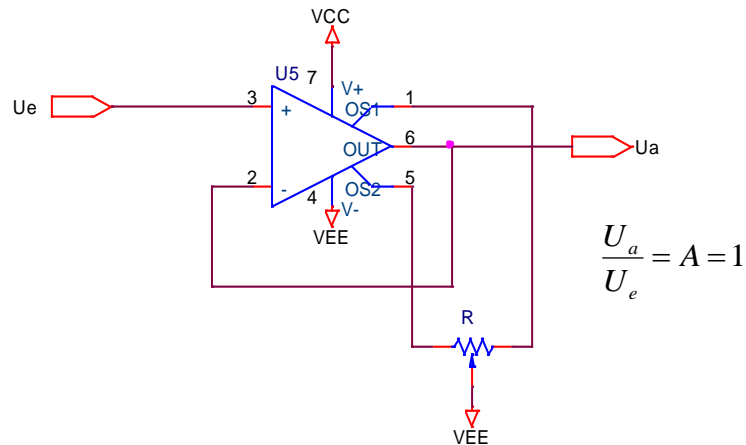


Abbildung 1: Spannungsfolger mit $\mu A741$.

1. Messen Sie die Offsetspannung des UA741 (DC-Messung mit Tischmultimeter, trotzdem immer auch mit Oszilloskop überprüfen ob Verstärker vielleicht schwingt) und führen Sie den Offsetabgleich durch. Dazu legt man an den Eingang 0V an (Kurzschluss gegen Masse) und stellt die Ausgangsspannung mit dem Offsettrimmer auf 0V ein. Der OP muss dabei gegengekoppelt sein (Folgerschaltung).
2. Nach erfolgtem Offsetabgleich, sprühen Sie etwas Kältespray auf das OP – Gehäuse. Bleibt der Abgleich erhalten? Welche Schlüsse ziehen Sie aus dem Ergebnis?
3. Ermitteln Sie die Grenzfrequenz (-3 dB) der Schaltung bei Kleinsignalaussteuerung (Eingangsspannung sinusförmig mit 100 mV (pp)) (Bild 1).
4. Ermitteln Sie den Aussteuerbereich der Schaltung bei Speisung mit einem sinusförmigen Eingangssignal ($f = 1 \text{ kHz}$), indem Sie die Amplitude solange erhöhen, bis eine deutliche Übersteuerung in beiden Halbwellen sichtbar wird. Die Messung soll für Leerlauf am Ausgang und für eine Last von $R = 2 \text{ k}\Omega$ durchgeführt werden. ACHTUNG: Die Versorgungsspannung ist für diesen Zweck auf $\pm 10\text{V}$ zu verringern. P.S: Eine Kurve im Kanal Ref speichern und die zweite darüberlegen (Bild 2).
5. Was geschieht, wenn man bei anliegender Sinusspannung die negative Versorgungsspannung auf -5V verringert? (Bild 3)
6. Legen Sie ein rechteckförmiges Eingangssignal (Großsignalaussteuerung) an und ermitteln Sie die Slew Rate (nur linear ansteigender Teil der Spannung). Wie sieht die Ausgangskurvenform aus, wenn man den Ausgang kapazitiv belastet (100 nF bzw. ~~1~~ μF)? Wie ist das beobachtete Verhalten zu interpretieren? (Bilder 4, 5)

7. Ermitteln Sie rechnerisch die Frequenz der Schaltung bei der eine sinusförmige Eingangsspannung mit maximaler Amplitude (entsprechend Aussteuerbereich) gerade noch unverzerrt übertragen wird (= Großsignalbandbreite infolge Slew Rate). Stellen sie diese maximale Spannung ein und erhöhen Sie die Frequenz bis sie eine deutliche Verzerrung erkennen können (Bild 6). Auf welche Weise wird ein sinusförmiges Signal bei überschreiten dieser Frequenz verzerrt ?
8. Realisieren Sie obige Schaltung mit einem LT1222 (**Achtung andere Beschaltung der Offset-Kompensation**) und legen Sie den Eingang auf Masse. Funktioniert diese Schaltung ? Beobachten Sie die Ausgangsspannung (Bild 7) und begründen Sie deren Verhalten im Protokoll.
9. Weitere im Protokoll zu beantwortende Fragen:
 - Vergleichen Sie die gemessenen Parameter mit den berechneten bzw. den im Datenblatt angegebenen.
 - Wodurch wird der Ausgangs-Aussteuerbereich begrenzt ?
 - Wie groß ist die Gleichtaktaussteuerung bei ihren Messungen und wie groß der Gleichtaktaussteuerbereich in Ihrer Schaltung ?

2.2 Nicht invertierender Verstärker mit UA741

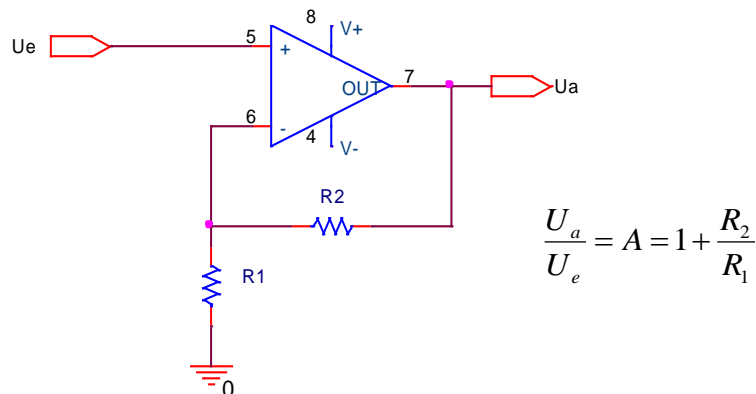


Abbildung 2: Nicht invertierender Verstärker mit $\mu A741$.

1. Stellen Sie Verstärkungen von +10 (z.B. mit 2k, 18k) und +101 ein und ermitteln Sie die Grenzfrequenzen der Schaltung (Eingangssignal = 100 mV (PP) Sinus). Bis zu welcher Eingangsspannung können diese Grenzfrequenzen erreicht werden ohne dass eine Verzerrung infolge Slew Rate auftritt ? (Bild 1,2)
2. Ermitteln Sie messtechnisch die Frequenzgänge ($V=10$, $V=100$) der Schaltung und zeichnen Sie die Bode-Diagramme der Verstärkung. Verwenden Sie dazu 2 OpAmp mit parallel geschalteten nicht invertierenden Eingängen. Stellen Sie dabei die Leerlaufverstärkung und die Verstärkungen des geschlossenen Kreises in einem Diagramm dar (open loop gain aus Datenblatt entnehmen). (Bild 3, für Verstärkungen im Durchlassbereich)
3. Ermitteln Sie die Kurve $U_a = f(U_e)$ mittels Messung im X-Y-Betrieb (Bild 4) für $V_u = 10$. In welche Richtung fließt der Strom am OP – Ausgang bei
 - a) pos. Eingangsspannung
 - b) neg. Eingangsspannung.
7. Wie sieht die Kurvenform der Ausgangsspannung bei rechteckförmigen Eingangssignal aus (bei $U_{inpp} = 100$ mV und 1V) ? (Bild 5)
4. Realisieren Sie diese Schaltung mit einem LT1222 Breitbandoperationsverstärker für $V=10$. Sind Klein- und Großsignalbandbreite messbar (je ein Messwert, Bild 6 für Verstärkung im Durchlassbereich) ?
5. Weitere im Protokoll zu beantwortende Fragen:
 - Wie groß ist der Eingangswiderstand der Schaltung ? Wie könnte ein vorgegebener Eingangswiderstand erreicht werden (z.B. 50 Ω) ?
 - Wie groß ist die tatsächliche, maximale Gleichtaktaussteuerung bei dieser Schaltung ? (so dass der Ausgang nicht übersteuert ist, bitte nicht verwechseln mit Gleichtaktaussteuerbereich !)

- Wie groß ist die Großsignalbandbreite, d.h. welche Frequenz kann noch unverzerrt bei Vollaussteuerung am Ausgang wieder gegeben werden ?

2.3 Invertierender Verstärker mit UA741

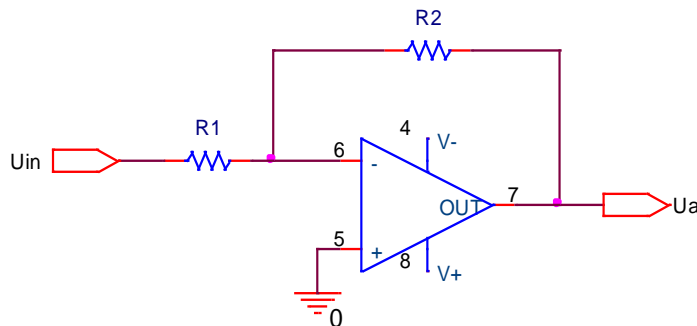


Abbildung 3: Invertierender Verstärker mit $\mu A741$.

Die Verstärkung der Schaltung ist:
$$\frac{U_a}{U_e} = A = -\frac{R_2}{R_1}$$

1. Stellen Sie eine Verstärkung von -10 ein und ermitteln Sie die Grenzfrequenz der Schaltung (Eingangssignal = 100 mV (PP) Sinus). Bis zu welcher Eingangsspannung kann diese Grenzfrequenz erreicht werden ohne dass eine Verzerrung infolge Slew Rate auftritt ? Stimmt die Grenzfrequenz mit der Rechnung überein ? (Bild 1)
2. Was geschieht am virtuellen Nullpunkt bei Übersteuerung des Ausgangs ($f=1\text{kHz}$) ? Mit Oszilloskop darstellen. (Bild 2)
3. In welche Richtung fließt der Strom am OP – Ausgang bei
 - a) pos. Eingangsspannung
 - b) neg. Eingangsspannung. (Bild 3, X-Y)

Wie sieht die Kurvenform der Ausgangsspannung bei rechteckförmigen Eingangssignal aus (bei $U_{\text{inpp}} = 100\text{ mV}$ und 1V)? (Bild 4)

Weitere im Protokoll zu beantwortende Fragen:

- Wie groß ist der Eingangswiderstand der Schaltung ?
- Wie groß ist die Gleichtaktaussteuerung bei dieser Schaltung ?

2.4 Addierschaltung mit UA741

Die Schaltung von Punkt 2.3 ist auf zwei Eingänge zu erweitern. Messen Sie die Ausgangsspannung, wenn an beiden Eingängen

- a) verschiedene Gleichspannungen
- b) eine Gleich- und eine Wechselspannung (Bild 5)
- c) zwei Wechselspannungen anliegen (achten Sie darauf, dass zwei Wechselspannungen gleicher Frequenz von verschiedenen Generatoren nicht phasengleich sein müssen). (Bild 6)

P.S: Verwenden sie den Waveform-Generator des Oszilloskops als 2.Funktionsgenerator.

3 Grundsaltungen mit Frequenzgangbeeinflussung

3.1 Spannungsfolger mit LM358

1. Speisen sie dem Folger eine Sinusspannung ein (z.B. 1kHz), überschreiten sie dabei den negativen Gleichtaktaussteuerbereich und messen sie die Ausgangsspannung. Was ist dabei zu beobachten ? (Bild 1)

3.2 Tiefpass erster Ordnung mit LM358

Die Schaltung ist für eine Verstärkung von -10 und eine Grenzfrequenz von 1 kHz auszulegen. Zu Realisierung soll der zweifach – OpAmp LM358 verwendet werden (Es kann auch der vierfach OP LM324 verwendet werden).

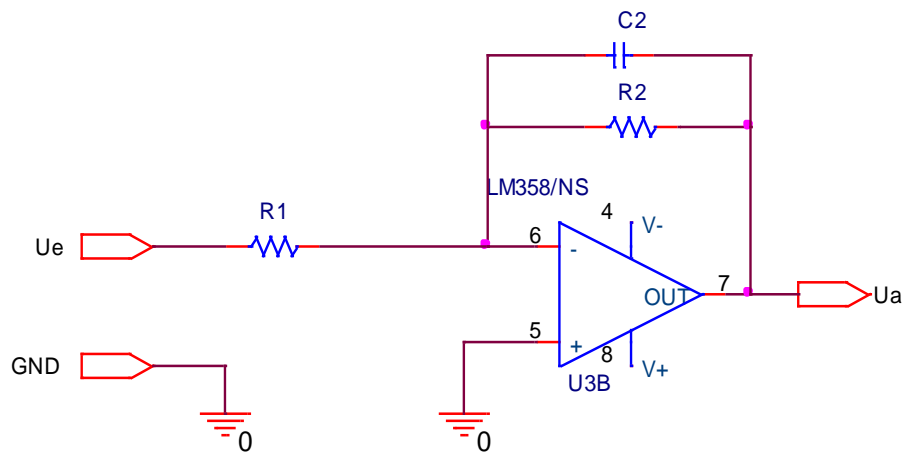


Abbildung 4: Tiefpass 1. Ordnung mit LM358.

$$A = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_2 + \frac{1}{sC_2}}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + sR_2C_2}$$

1. Die Grenzfrequenz der Schaltung in Abbildung 4 und die Verstärkung sind messtechnisch zu überprüfen (Eingangsspannung = 1 V (pp) Sinus). (Bild 2, 3)
2. Es ist die Kurvenform der Ausgangsspannung bei rechteck- und dreieckförmiger Eingangsspannung zu ermitteln (jeweils für ~~Ue = 100mV (pp) und~~ 1V (pp)) für $f > f_g$ und $f < f_g$. Welche Kurvenformen treten jeweils am Ausgang auf ? Welches Verhalten liegt mathematisch gesehen vor ? (Bild 4, 5)
3. Ermitteln Sie das Bode-Diagramm der Schaltung (Hinweis: Nehmen Sie für den Durchlassbereich nur wenige Messpunkte, für den Übergang in den Sperrbereich, also dort wo sich die Kurve ändert, mehr Messpunkte).

Hinweis: die Punkte 2 und 3 können gemeinsam mit jenen der Schaltung 3.3 gemessen werden da 2-fach OpAmp und 4-Kanal Oszilloskop !

4. Was geschieht, wenn man den Widerstand R2 entfernt ? Welche Schaltung liegt dann vor? Kann eine stabile Ausgangsspannung erreicht werden ? (Bild 6)

Weitere im Protokoll zu beantwortende Fragen:

- Wie groß ist der Eingangswiderstand der Schaltung ?
- Kann die Schaltung bezüglich Slew Rate übersteuert werden ?
- Der LM358 ist ein zweifach OP, der keine Eingänge zum Offsetabgleich besitzt. Wie könnte man die Offsetspannung trotzdem kompensieren ?
- Wie groß sind die linearen Aussteuerbereiche (Eingang, Gleichtakt) des LM358 ?
- Wie sind die Unstetigkeiten der Sinuskurve am Ausgang zu erklären und warum erhält man keine stetige Kurve ? (Um diese sichtbar zu machen müssten sie ggf. den Ausgang mit einem Widerstand belasten).

3.3 Differenzierer (Hochpass erster Ordnung) mit LM358

Die Schaltung ist für eine Grenzfrequenz von 1 kHz auszulegen. Die Verstärkung soll im Durchlassbereich –10 betragen.

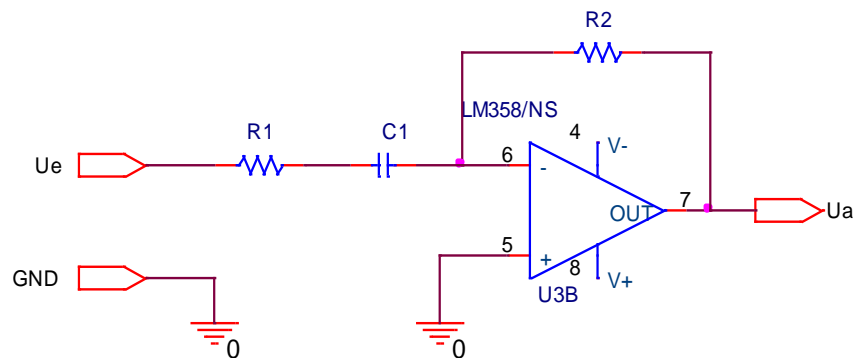


Abbildung 5: Hochpass 1.Ordnung mit LM358.

$$A = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} = -\frac{sR_2C_1}{1 + sR_1C_1}$$

1. Die Grenzfrequenz der Schaltung ist messtechnisch zu überprüfen (Eingangsspannung = 1 V (pp) Sinus). (Bild 7)
2. Der zeitliche Verlauf der Ausgangsspannung bei Speisung mit rechteck- und dreieckförmigen Eingangssignalen ist zu untersuchen (jeweils für $U_e = 100\text{mV (pp)}$ und 1V (pp) für $f < f_g$ und $f > f_g$).
3. Ermitteln Sie das Bode-Diagramm der Schaltung.

Fragen:

- Wie groß ist der Eingangswiderstand der Schaltung ?
- Kann die Schaltung bezüglich Slew Rate übersteuert werden ?

4 Operationsverstärker - Anwendungen

4.1 Präzisionsgleichrichter mit LM358

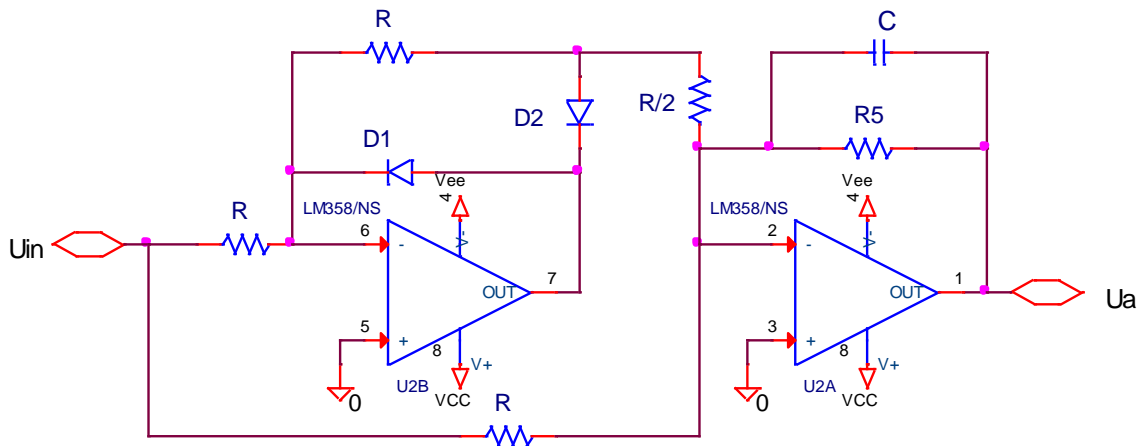


Abbildung 6: Schaltbild des Präzisionsgleichrichters mit LM358.

Obiger Präzisionsgleichrichter ist aufzubauen und abzugleichen (symmetrische Spannungsversorgung $\pm 15\text{ V}$). Der Tiefpass am Ausgang ist so zu dimensionieren, dass Frequenzen von 50 Hz ausreichend geglättet werden (Grenzfrequenz einige Hz).

1. Es ist der zeitliche Verlauf der Ausgangsspannung bei sinusförmiger Eingangsspannung zu ermitteln (mit und ohne C). (Bild 1)
2. Bis zu welcher maximalen Frequenz kann die Schaltung verwendet werden? (Mit C und 1% Fehler) (Bild 2 mit und ohne C).
3. Innerhalb welchen Spannungsbereiches kann die Schaltung verwendet werden?
4. Wie verhält sich die Schaltung bei nicht sinusförmigen Eingangsspannungen (Dreieck, Rechteck)? (Mit und ohne C, Bild 3)

Fragen:

- Ist für die Schaltung ein Offsetabgleich erforderlich?
- Bei eingebautem C erfolgt eine Mittelwertbildung der Ausgangsspannung. Um welchen Mittelwert handelt es sich?

4.2 Synchrongleichrichter mit LM358

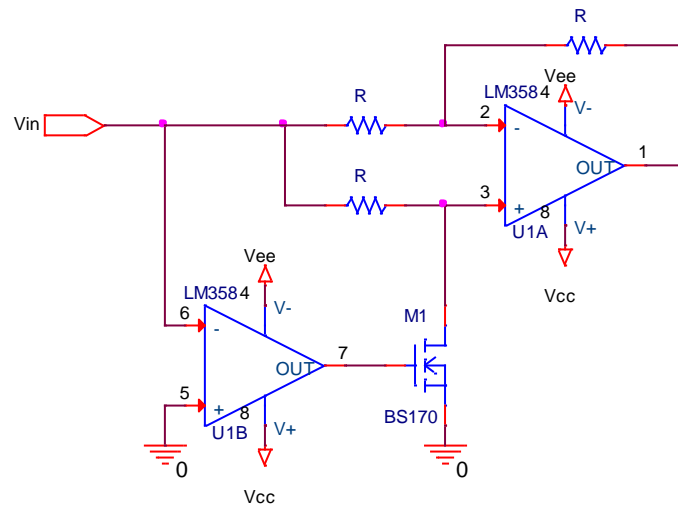


Abbildung 7: Synchrongleichrichter mit LM358.

Obige Schaltung ist mit $\pm 15\text{ V}$ zu versorgen.

1. Es ist der zeitliche Verlauf der Ausgangsspannung bei sinusförmiger Eingangsspannung zu ermitteln. (Bild 1)
2. Bis zu welcher maximalen Frequenz kann die Schaltung verwendet werden ?
3. Tauschen Sie U1B gegen einen echten Komparator des Typs AD790 ($V_{\text{logic}} = 5\text{V}$) aus und ermitteln sie die maximal verwendbare Frequenz. (Bild 2)

4.3 Single Supply Mikrofonvorverstärker mit LM358 und AD823

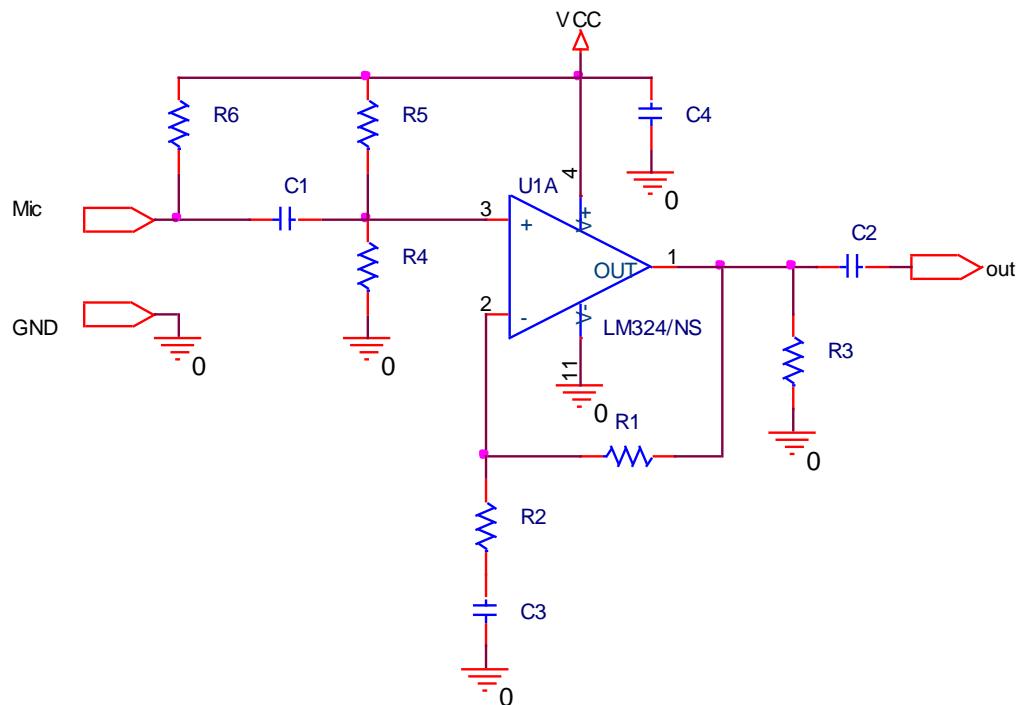


Abbildung 8: Schaltbild des Single Supply Mikrofonverstärkers.

Obige Schaltung soll ab einer Frequenz von 30 Hz eine Verstärkung von +100 aufweisen. Dimensionieren Sie die Schaltung ($V_{cc} = 15V$). Bauen Sie die Schaltung mit dem LM358 auf. Das Elektretmikrofon benötigt zu seinem Betrieb eine Gleichspannung von ca. +4V. **Der Widerstand R6 ist anhand des Innenwiderstandes (DC-Wert) des Mikrofons zu dimensionieren.**

1. Ermitteln Sie den Frequenzgang der Schaltung (nur Amplitudengang).
2. **Schließen Sie an den Ausgang der Schaltung eine Aktivbox an und hören Sie sich ein verstärktes Sprach- oder Musiksinal an. Ist das Klangergebnis akzeptabel ?**
3. **Tauschen Sie den LM358 gegen den Pinkompatiblen AD823 aus und bewerten Sie das Klangergebnis.**
4. Messen Sie den Amplitudengang mit AD823 (Beide Amplitudengänge in einem Diagramm darstellen). (Bild 1, Verstärkungen im Durchlassbereich für beide OpAmp)

Weitere zu beantwortende Fragen:

- Wie groß ist die Gleichspannung am Ausgang des OP ?
- Ist der LM358 für diese Aufgabe geeignet ?
- Ist der AD823 geeignet ?

4.4 Sallen-Key Tiefpassfilter mit AD823

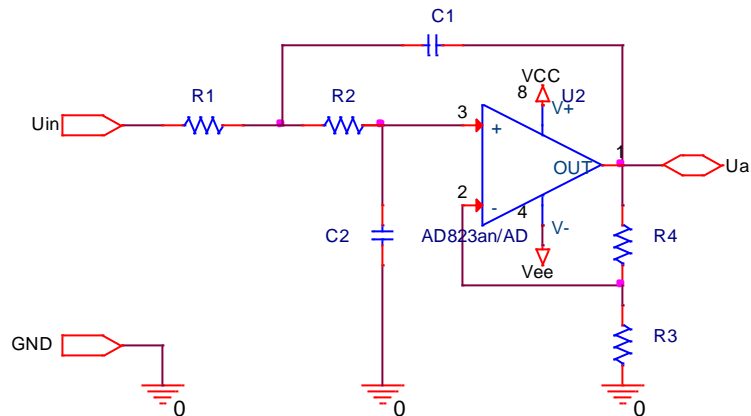


Abbildung 9: Schaltung des aktiven Tiefpassfilters in Sallen-Key Topologie.

Obige Schaltung ist für eine Grenzfrequenz von 2 kHz (Butterworth Charakteristik) und einer Verstärkung von $+10$ zu berechnen (siehe[2] [3]) mit $V_{CC}/V_{EE} = \pm 15\text{V}$. Bauen Sie die Schaltung mit dem AD823 auf.

Hinweis: Verfügbare Kapazitätswerte mit 1% Toleranz sind: 1nF .

1. Ermitteln Sie das Bodediagramm der Schaltung.(Bild 1)
2. Messen sie die Sprungantwort des Filters.(Bild 2)

Weitere zu beantwortende Frage:

- Wie groß ist der Eingangswiderstand bzw. die Eingangsimpedanz des Filters ?

5 Instrumentenverstärker

5.1 EKG-Verstärker mit AD627

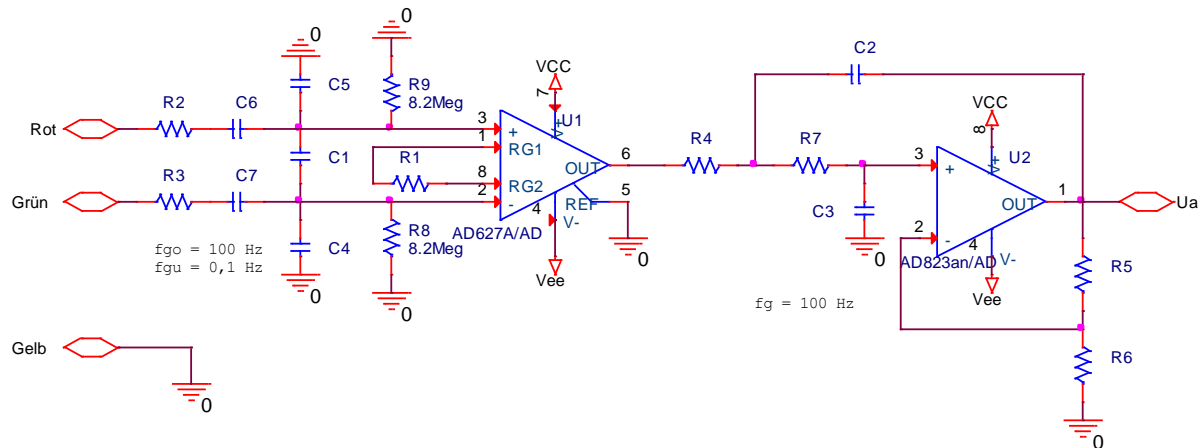


Abbildung 10: Schaltbild eines EKG-Verstärkers mit AD627.

Die Schaltung ist für eine untere Grenzfrequenz von ca. 0,1 Hz (C6/C7 mit R8+R9) und eine obere Grenzfrequenz von ca. 30 Hz (Näherungsweise R2+R3 mit C1) auszulegen. Die Gesamtverstärkung soll ca. 200 betragen (für Brustwandableitung nach Nehb). Die erste Stufe soll ein Gain von < 100 haben. Allenfalls ist die Verstärkung (via R1) so anzupassen, dass am Ausgang die R-Zacke ein bis drei Volt beträgt. Die Eingangsspannung (R-Zacke) liegt bei Brustwandableitungen einer erwachsenen Person typischerweise zwischen $U_{pp} = 1\text{mV}$ und 5mV . Versorgungsspannung $\pm 5\text{V}$. Dimensionierung des RF-Eingangsfilters gemäß Datenblatt AD627 (die Common Mode Grenzfrequenz ergibt sich näherungsweise aus R2 mit C5 und R3 mit C4, und soll zumindest 10x die Signalgrenzfrequenz sein). Die nachfolgende Sallen-Key-Stufe auf 30Hz auslegen.



1. Messen sie den Frequenzgang der Schaltung (mit Funktionsgenerator).
2. Messen sie die Herzkurve mittels Cardiac-Signal eines Funktionsgenerators. (Bild 1)
3. Schließen sie die Schaltung via EKG-Elektroden an einen Menschen an und messen sie die Herzkurve. (Bild 2)
4. Messen sie die Herzkurve, wenn der Proband mit einer Hand den Mantel eines Netzkabels umfasst. Werden 50Hz-Störungen ausreichend unterdrückt ? (Bild 3)

5.2 EKG-Verstärker mit INA128 (optional)

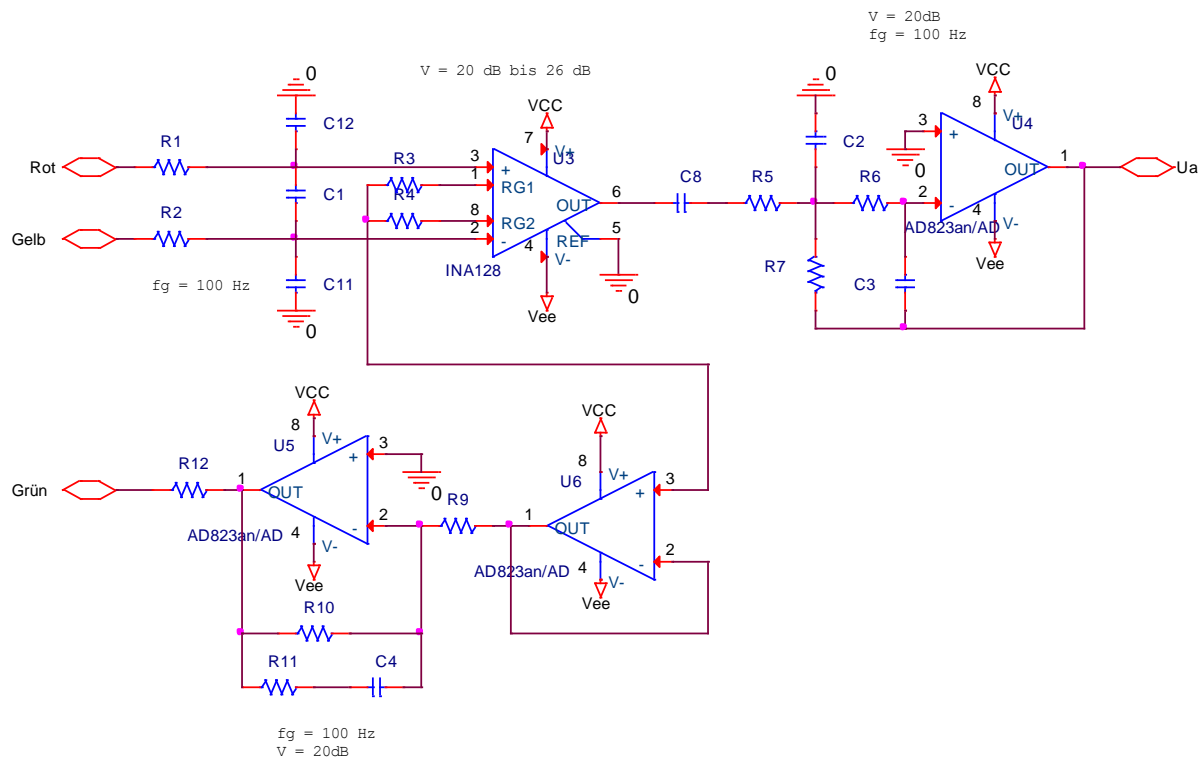


Abbildung 11: EKG-Schaltung mit INA128 und getriebener Elektrode (Right Leg Drive).

Die Schaltung ist für eine obere Grenzfrequenz von ca. 30 Hz auszulegen (C8 mit r_{in2}). Die Gesamtverstärkung soll ca. 200 betragen (für Brustwandableitung nach Nehb). Die erste Stufe soll ein Gain von < 20 haben da es hier infolge DC-Kopplung zu überlagerten, niederfrequenten Spannungen bei Muskelbewegungen des Oberkörpers kommt. Der DC-Anteil wird hier mittels C8 vor der 2. Stufe abgetrennt. Die Verstärkung kann via $R3 = R4$ angepasst werden. Am Ausgang soll die R-Zacke ein bis drei Volt betragen. Die Eingangsspannung (R-Zacke) liegt bei Brustwandableitungen einer erwachsenen Person typischerweise zwischen 1mV (pp) und 5mV (pp).

Die Grüne Elektrode wird hier von einem Verstärker getrieben, der die Common Mode Spannung der beiden Eingänge invertiert und verstärkt (40dB) dem Menschen zuführt. Auf diese Weise wird die Common Mode Unterdrückung um die Verstärkung dieser Stufe erhöht. Diese Stufe muss auch die Biasströme der Eingänge liefern, die hier über den angeschlossenen Menschen fließen. Für höhere Frequenzen muss die Verstärkung dieser Stufe auf $G=1$ reduziert werden (via R11, C4) da es infolge Phasendrehung der Verstärker andernfalls zu einer Mitkopplung und damit zum Schwingen kommt.

ACHTUNG: Für ein Anwendungsteil des Typs CF (Betrieb am offenen Herzen) dürfen über einen Menschen laut EN60601 im Normalbetrieb maximal 10 μ A DC oder 10 μ A AC fließen, beim ersten Fehler maximal 50 μ A \Rightarrow R1, R2 = Versorgungsspannung / 50 μ A.

Versorgungsspannung $\pm 5V$.

1. Schließen sie die Schaltung via EKG-Elektroden an einen Menschen an und messen sie die Herzkurve. (Bild 1)
2. Messen sie die Herzkurve, wenn der Proband mit einer Hand den Mantel eines Netzkabels umfasst. Werden 50Hz-Störungen ausreichend unterdrückt ? (Bild 2)

6 Linear Spannungsregler

6.1 Reglerschaltung für positive Spannungsversorgung

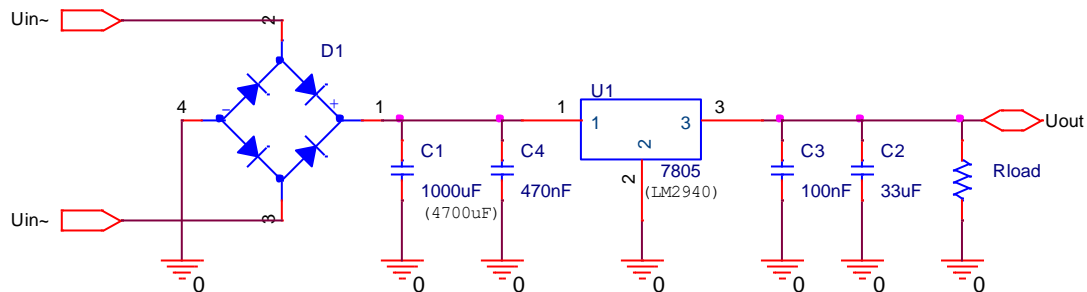


Abbildung 12: Schaltbild einer Stromversorgung mit linearem Spannungsregler.

Obige Schaltung ist auf einem LM7805 Experimentierboard aufgebaut. Sie kann wahlweise auch mit einem LM2940 bestückt werden. Sie ist mittels Stelltrafo zu versorgen. Dimensionieren Sie R_{load} für einen Laststrom von 1A (Achtung auf Verlustleistung).

1. Messen Sie die Spannung an $C1$ und am Ausgang für $C1 = 1000\mu F$ und $4700\mu F$. (Bild 1)
2. Messen Sie die Spannungsripple an $C1$ und am Ausgang. (Bild 2)
3. Messen Sie die minimal mögliche Eingangsspannung für beide Regler mit beiden Kapazitäten (Spannung mittels Stelltrafo soweit reduzieren, dass Regler gerade noch regelt). Und ermitteln Sie die Verlustleistungen an der Last und am Regler. (Bild 3)
4. Wie groß sind die Wirkungsgrade der Schaltung für beide Regler und beide $C1$ bei minimaler Eingangsspannung?
5. Stellen Sie die Ergebnisse in einer Tabelle gegenüber.

6.2 Reglerschaltung für einstellbare positive Spannungsversorgung

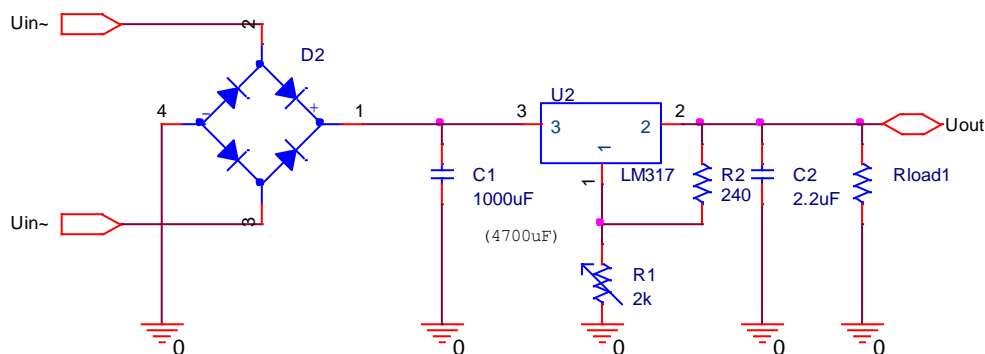


Abbildung 13: Schaltbild einer einstellbaren Stromversorgung mit LM317.

Obige Schaltung ist auf einem LM317 Experimentierboard aufgebaut. Sie ist mittels Stelltrafo zu versorgen. Dimensionieren Sie R_{load} für einen Laststrom von 1A (Achtung auf Verlustleistung).

1. Stellen Sie eine Ausgangsspannung von 5V ein und Messen Sie die Spannungen an $C1$ und am Ausgang für $C1 = 1000\mu F$ und $4700\mu F$. (Bild 1)
2. Messen Sie die Spannungsripple an $C1$ und am Ausgang. (Bild 2)
3. Messen Sie die minimal mögliche Eingangsspannung für den Regler mit beiden Kapazitäten. Und ermitteln Sie die Verlustleistungen an der Last und am Regler. (Bild 3)

Im Protokoll zu beantwortende Fragen:

- Stellen sie die Ergebnisse in einer Tabelle gegenüber.
- Wie groß ist der Einstellbereich der Ausgangsspannung bei dieser Schaltung ?
- Wie groß ist die maximale Eingangsspannung dieser Schaltung ?
- Wie groß sind die Wirkungsgrade der Schaltung für beide C1 ?
- Wovon hängt der Wirkungsgrad ab ?

7 Literatur

[1] Okorn, R.:

Vorlesungsskriptum

Analoge Signalverarbeitung
SS2016

[2] Mancini, R.:

Op Amps for Everyone

Second Edition
Texas Instruments, Elsevier Science, 2003
ISBN 0-7506-7701-5

[3] Tietze, U., Ch. Schenk:

Halbleiterschaltungstechnik

15.Auflage
Springer Verlag, 2016.
ISBN 978-3662483541