Fach - Didaktik
Informationstechnologien und Elektrotechnik ETH Zürich 2006

Aktive Bauelemente in der Elektronik – 2

Werkstatt

Fachdidaktik - Kurs am D-ITET im Wintersemester 2003/04

moderiert von Georgios Lekkas und Adolf Hermann Glattfelder

überprüft von Roland Büchi an der Zürcher Hochschule Winterthur

Inhaltsverzeichnis

I Anleitungen **4**

1 Audio Verstärker **6**

1.1 Einleitung 6
1.2 Absicht 6
1.3 Spezifikation für den Audio-Verstärker 7
1.4 Aufgaben 7
1.5 Datenblätter, Bauteilauswahl 7
1.6 Zusatzaufgabe 8

2 Operationsverstärker in einer DMS-Mess-Schaltung **9**

2.1 Einleitung 9
2.2 Absicht 9
2.3 Aufgaben 10
2.4 Lösungsblatt 12

3 Verstärker für ein Thermoelement **13**

3.1 Aufgabenstellung 13
3.2 Verstärkung 13
3.3 Verstärkerbauteil 14
3.4 Beschaltung 14
3.5 Anschlussbelegung 15
3.6 Fragen 15

4 Verstärker zu Pt100 - Sensor **17**

4.1 Einführung 17
4.2 Vorgaben zu den Subsystemen 17
4.3 Weitere Angaben und Spezifikationen 19
4.4 Aufgaben-Blätter 20

II Lösungsvorschläge **22**

1 Zu: Audio Verstärker **23**

2 Zu: Operationsverstärker in einer DMS-Mess-Schaltung **25**

2.1 Dimensionierung 25

2.2 Auswahl des Operationsverstärkers 25

2.3 Zusatzaufgabe 26

3 Zu: Verstärker für ein Thermoelement **27**

4 Zu: Verstärker zu Pt100 - Sensor **28**

Wozu diese Werkstatt?

Diese Werkstatt eignet sich als Unterrichtsblock in der Vorlesung Grundlagen der Elektronik an einer Fachhochschule. Die Studenten wenden das Gelernte in konkreten Schaltungsbeispielen an und repetieren so ihr theoretisches Wissen. Sie lernen verschiedene Bauformen und Auswahlkriterien kennen und üben den Umgang mit Datenblättern.

Als didaktisches Element fördert die Werkstatt das selbständige Arbeiten und Lernen.

Voraussetzungen

Die Werkstatt ist gedacht als Ergänzung des theoretischen Wissens der Studenten und sollte deshalb unmittelbar nach dessen Vermittlung in den Unterricht eingebaut werden.

Zum Zeitpunkt der Durchführung haben die Studenten folgenden Stoff bereits behandelt:

- Funktionsprinzip der aktiven Bauelemente und deren wesentliche Kenngrössen
- Grundschaltungen der Elektronik (z.B. Brückenschaltung, Transistor als Verstärker, . . .)

Noch nicht behandelt wurden:

- Verschiedene Bauformen der aktiven Bauelemente
- Umgang mit Datenblättern und Katalogen

Werkstatt-Arbeitsstationen

In dieser Werkstatt sind folgende vier Arbeitsstationen enthalten:

- Vier Arbeitsstationen zu Operationsverstärkern (Audio, Thermoelemente, Dehnmess-Streifen, Pt100-Temperatur-Messung)

In den beiden weiteren “Werkstätten” sind enthalten:

- – 1: Vier Arbeitsstationen zu “schaltenden” aktiven Bauelementen (Dioden, Thyristoren, Schalt-Transistoren, Optokoppler-Paare)
- – 3: Vier verschiedene Aufgaben (Stecker-Netzteil, Bitstrom-Generator, Neonröhren-Starter, Watchdog)

Damit sollte ausreichend Material für zwei bis drei Durchführungen einer Werkstatt vorhanden sein.

Organisationshinweise für die Lehrperson

Die Auswahl der Arbeitstationen, der Ablauf, die Gruppeneinteilung und der Entscheid, ob der Werkstattstoff auch Prüfungsstoff sein soll, können natürlich individuell gestaltet werden. Das hängt wesentlich von Faktoren wie der Klassengrösse, der zur Verfügung stehenden Zeit, dem bereits behandelten Stoff etc., ab.

Am Anfang der Werkstatt informieren Sie kurz, was zu tun ist. Sie können Sich dabei wirklich kurz halten, denn jeder Student besitzt ein Blatt mit den notwendigen Anweisungen. Ausserdem wird er an jeder Arbeitsstation durch den Versuch geführt.

Möglicher Ablauf

Im Folgenden wird ein Vorschlag gemacht, wie die Werkstatt organisiert werden kann. Dabei gehen wir von folgenden Annahmen aus:

- Gruppengrösse $G = 2$
- Anzahl Werkstatt-Arbeitsstationen $P = 4$

Mit der Klassengrösse Z erhalten wir das Vielfache N jeder Arbeitsstation:

$$N = \frac{Z}{P \cdot G}$$

Mit einer Klassengrösse von 24 Studenten ($Z = 24$) und 4 Werkstatt-Arbeitsstationen ($P = 4$) könnte die Werkstatt folgendermassen in drei Lektionen (135 min.) durchgeführt werden:

Bei beiden Beispielen gilt: $N = 3$, jede Arbeitsstationen muss also 3 mal kopiert werden.

	Zeit
Einführung (Lehrperson)	10 min
1. Arbeitsstation	25 min
Wechsel	3 min
2. Arbeitsstation	25 min
Wechsel	3 min
3. Arbeitsstation	25 min
Wechsel	3 min
4. Arbeitsstation	25 min
Reserve / Korrektur	16 min
Total	135 min

Mit 2 weiteren Arbeitsstationen ($P = 6$) könnte die Werkstatt optimal auf 4 Lektionen (180 min) ausgebaut werden:

	Zeit
Einführung (Lehrperson)	15 min
6 Arbeitsstationen	150 min
Korrektur, Auswertung	15 min
Total	180 min

Hinweis: Die einzelnen Werkstatt-Arbeitsstationen benötigen möglicherweise unterschiedlich viel Zeit.

Planen Sie deshalb eine Zeitreserve ein und/oder sorgen Sie dafür, dass die Studierenden nicht alle zur selben Zeit den Posten wechseln müssen.

Korrektur

Jeder Student erhält einen Lernpass, auf dem alle Arbeitsstationen eingetragen sind. Nach Ablauf der ganzen Werkstatt oder nach Ablauf der Zeit für eine einzelne Arbeitsstation kontrollieren Sie das Lösungsblatt jedes Studenten und bestätigen die korrekte Versuchsdurchführung mit Ihrem Visum auf dem Lernpass des Studenten.

Datenblätter

In dieser Werkstatt werden Datenblätter zu diversen Bauteilen benötigt. Sie entscheiden, ob Sie
- alle Datenblätter selber vorgängig herunterladen und kopieren
- oder den Studenten vor der Durchführung der Werkstatt die Aufgabe geben,
  sich im Netz die entsprechenden Informationen zu beschaffen.

Die Datenblätter können sehr einfach mittels der Suchmaschine Google gefunden werden:

`http://www.google.com`

Suchbefehl:

```
datasheet <Bezeichnung>
```

z.B.

```
datasheet <LM741>
```

Teil I

Anleitungen

Informationen für die Studenten

Sie werden in den nächsten Lektionen eine Werkstatt zum Thema aktive Bauelemente in der Elektronik bearbeiten. Sie arbeiten dabei selbständig während den normalen Unterrichtszeiten. Es gibt 4 Werkstatt-Arbeitsstationen. Diese sind auf Ihrem Lernpass, den Sie bereits erhalten haben, aufgeführt. Sie müssen alle Arbeitsstationen bearbeiten. Bei jeder Station liegt ein Arbeitsauftrag auf. Dort steht genau, welche Arbeiten Sie erledigen sollen. Lesen Sie immer zuerst die Einleitung und beginnen Sie dann mit dem Arbeitsauftrag. Bei den Stationen exisiert ein Lösungsblatt, in welches Sie die Antworten zu den gestellten Fragen eintragen. Die ausgefüllten Lösungsblätter zeigen Sie mir und erhalten dafür, falls die Anforderungen erfüllt sind, auf dem Lernpass meine Unterschrift. Den Lernpass geben Sie mir am Schluss der Werkstatt ab. Alle anderen Blätter können Sie behalten.

Lernziele:

- Funktionsweise der Bauelemente in typischen elektronischen Schaltungen verstehen
- Auswahl der geeigneten aktiven Bauelemente anhand der Datenblätter lernen
- Die wichtigsten Kenngrössen erkennen und die Bauelementauswahl begründen können

Die Aufgaben sind erfüllt, wenn

- die richtigen Bausteine gewählt wurden
- die Auswahl auf dem Lösungsblatt schriftlich begründet wurde

Lernpass

Arbeitsstation	Visum

Kapitel 1

Audio Verstärker

Autoren: Manuel Aschwanden und Stefan Odermatt

1.1 Einleitung

Diese Werkstatt-Arbeitsstation behandelt die Benützung eines Verstärkers für eine Audioanwendung. Dabei sollen anhand einer typischen Audio-Verstärker Schaltung (Abbildung 1.1) einige Berechnungen durchgeführt werden. Anhand von Datenblättern soll der für die gegebene Anwendung beste Verstärker herausgesucht werden.

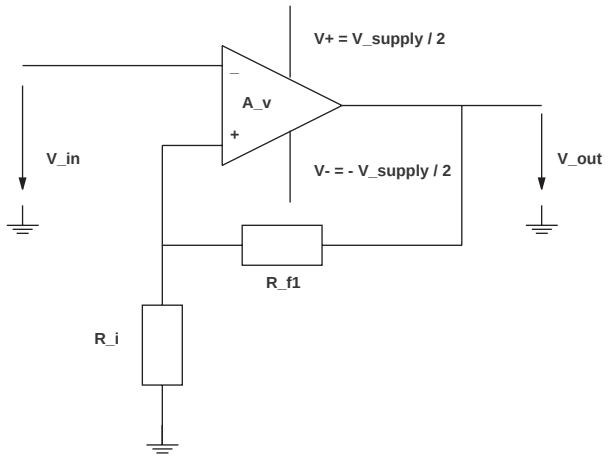


Abbildung 1.1: Audio-Verstärker Schaltung

1.2 Absicht

Das Ziel dieser Arbeitsstation ist, dass Sie sich mit einem Audio-Verstärker auseinandersetzen und die wichtigsten Kenngrössen kennen lernen. Sie sollen in die Lage versetzt werden, selbstständig für eine gegebene Anwendung einen geeigneten Verstärker auszuwählen.

1.3 Spezifikation für den Audio-Verstärker

In dieser Anwendung soll aus drei verschiedenen Audio-Verstärkern derjenige ausgesucht werden, welcher am besten für tragbare Geräte wie Mobiltelefone geeignet ist. Die wichtigsten Kenngrössen, die Sie zur Lösung der Aufgaben brauchen, sind im Folgenden aufgelistet.

Gewünschte Ausgangsleistung	P_L	1 W
Eingangssignal-Level	V_{IN}	$-0.3 \ldots +0.3$ V
Eingangsimpedanz	R_{IN}	20 $k\Omega$
Ausgangsimpedanz	R_L	8 Ω
Maximale Versorgungsspannung	V_{supply}	...
Bandbreite	B	20 Hz - 20 kHz
THD+Noise	THD	< 0.5 %

Die Ausgangsleistung und die Lastimpedanz bestimmen die Anforderungen an die Versorgungsspannung.

1.4 Aufgaben

In der vorgegebenen Zeit sollten Sie die Aufgaben lösen können.

Frage 1 Berechnen Sie die Anforderungen an die maximale Versorgungsspannung. Benützen Sie dabei, dass gilt:

$$P_L = \frac{V_{supply}^2}{2R_L}$$

Frage 2 $R_{f1} = 100k\Omega$, der Verstärker-Gain soll $A_v = 21$ betragen. Berechnen Sie daraus den Wert des Widerstandes R_i, wobei für den Nicht-Invertierenden Verstärker gilt:

$$\frac{R_{f1}}{R_i} = A_v - 1$$

1.5 Datenblätter, Bauteilauswahl

Sie benötigen drei verschiedene Datenblätter der Audio Leistungsverstärker

- NCP2890,
- LM3875, und
- TDA2052

Frage 3 Begründen Sie, welche Verstärker für die gegebene Spezifikation in Frage kommen und welche nicht.

1.6 Zusatzaufgabe

Frage 4 Durch Einfügen einer Niederfrequenz roll-off Kapazität C_i (Abbildung 1.2) kann die Verstärkungsbandbreite der gesamten Audio-Verstärker Schaltung beeinflusst werden.

(a) Berechnen und skizzieren Sie den Amplitudengang der gesamten Audio-Verstärker Schaltung unter der Annahme, dass $A_v = \infty$.

(b) Benützen Sie das gefundene Resultat um den minimal erlaubten Wert für C_i zu berechnen, damit die spezifizierte Bandbreite durch C_i nicht verringert wird.

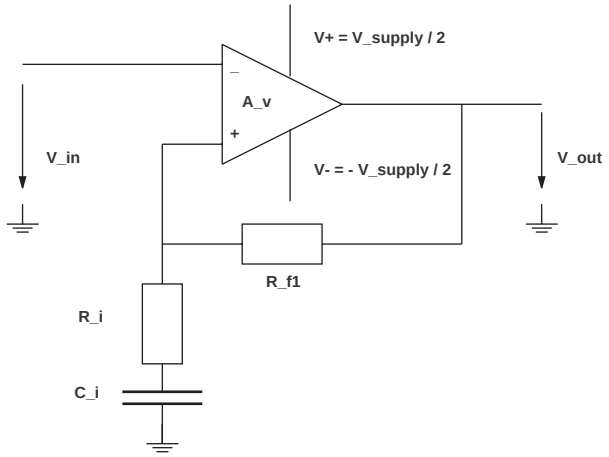


Abbildung 1.2: Audio-Verstärker Schaltung mit Niederfrequenz roll-off Kapazität C_i

Kapitel 2

Operationsverstärker in einer DMS-Mess-Schaltung

Autoren: René Greminger und Jürg Rauchenstein

2.1 Einleitung

Diese Werkstatt-Arbeitsstation behandelt die Anwendung des Operationsverstärkers in einer DMS-Brückenschaltung (DMS=Dehnmessstreifen). Zuerst sollen einige Berechnungen an der gegebenen Verstärkerschaltung durchgeführt werden. Anschliessend kann anhand von Datenblättern ein passender Operationsverstärker für diese Anwendung ausgewählt werden.

Dehnmessstreifen sind dehnbare Widerstände, deren Widerstand sich proportional zur Dehnung verhält. Die DMS werden zum Beispiel zur Kraftmessung eingesetzt. Wir betrachten einen stählernen Biegebalken (Abb. 2.1), der durch eine Kraft F ausgelenkt wird. Elektrisch gesehen werden die DMS in einer Brückenschaltung angeordnet (Abb. 2.2). Wird der Balken gebogen, verändern sich die Widerstandswerte. Dies hat eine Spannungsdifferenz U_d am Brückenabgriff zur Folge, welche anschliessend verstärkt werden muss.

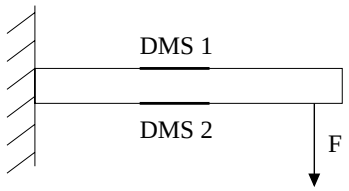


Abbildung 2.1: Biegebalken mit DMS

2.2 Absicht

Das Ziel dieser Arbeitsstation ist, dass Sie mit den Datenblättern der Operationsverstärker zurechtkommen und einen für ihre Anwendung passenden Typ auswählen können.

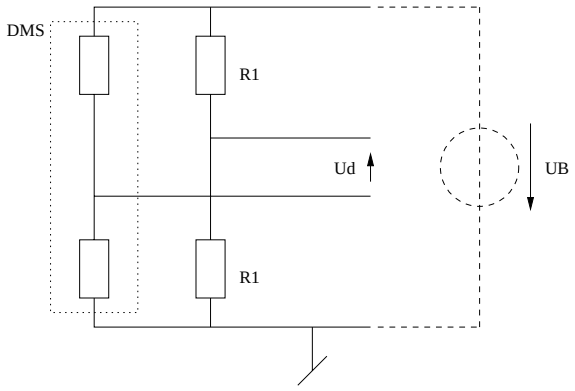


Abbildung 2.2: DMS-Brücke

2.3 Aufgaben

Sie sehen in Abbildung 2.3 den Aufbau einer Messschaltung mit DMS-Widerständen und beschaltetem Operationsverstärker zur Verstärkung des Messsignals. Mit dieser Beschaltung ergibt sich ein sogenannter Differenzverstärker. Der Differenzverstärker hat die Aufgabe, die Spannung U_d auf eine mit einem Voltmeter messbare Spannung linear zu verstärken.

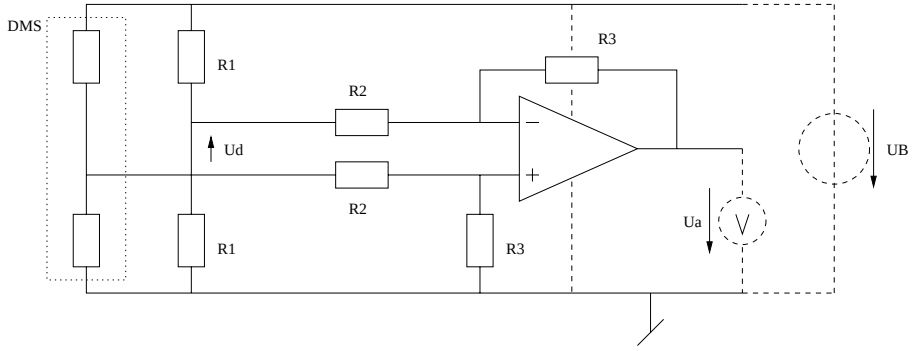


Abbildung 2.3: Messschaltung mit DMS-Widerständen

Die gezeichnete Schaltung wurde gegenüber der Realität in zwei Punkten vereinfacht. Zum Einen ist in Realität zusätzlich ein Abgleich mit einem Potentiometer realisiert, um Widerstandstoleranzen auszugleichen. Zum Andern wird der Verstärker auch mit einer negativen Spannung gespiesen, und nicht an Erde geschlossen. Die gezeichnete Schaltung hat demgegenüber den Vorteil eines klar definierten Bezugspotentials, als Nachteil ist aber in Kauf zu nehmen, dass nur dann eine Spannung verstärkt wird, wenn U_d positiv ist. D.h. der in Abb. 2.3 unten gezeichnete DMS-Widerstand $R_{DMS,unten}$ muss grösser werden. Bei einer positiven Kraft F in Abb. 2.1 entspricht also DMS 1 dem unteren DMS-Widerstand in Abb. 2.3, DMS 2 dem oberen.

Gegeben sind die folgenden Grössen:

$$R_{DMS} = 1\,\mathrm{k\Omega} \pm 0.1\,\% \tag{2.1}$$

$$R_1 = 10\,\mathrm{k\Omega} \tag{2.2}$$

$$R_2 = 10\,\mathrm{k\Omega} \tag{2.3}$$

$$U_B = 15\,\mathrm{V} \tag{2.4}$$

Die maximale Änderung des Widerstandswertes R_{DMS} von 0.1 % entspricht dabei der maximal zulässigen Dehnung von Stahl.

Zur Erinnerung sind die aus dem Grundstudium bekannten Formeln für die Brückenschaltung und den Differenzverstärker angegeben:

$$U_d = U_B \cdot \frac{R_{DMS,unten} \cdot R_1 - R_{DMS,oben} \cdot R_1}{(R_{DMS,unten} + R_{DMS,oben}) \cdot (2 \cdot R_1)} \tag{2.5}$$

$$U_a = \frac{R_3}{R_2} \cdot U_d \tag{2.6}$$

2.3.1 Dimensionierung

Als Anforderung an die Messschaltung ist vorgegeben, dass bei maximalem U_d mit dem Spannungsmessgerät eine Spannung von $U_a = 7.5\,V$ gemessen werden soll.

Frage 1 Berechnen Sie die maximal mögliche Differenzspannung U_d, so dass die maximal zulässige Dehnung des Stahls gerade noch eingehalten wird.

Frage 2 Welche Verstärkung muss daher mit dem Differenzverstärker realisiert werden?

Frage 3 Dimensionieren Sie R_3.

2.3.2 Auswahl des Operationsverstärkers

Sie erhalten drei verschiedene Operationsverstärker vorgeschlagen

- AD620,
- AD623, und
- AD628

Ihre Aufgabe ist es nun, den für diese Anwendung passenden auszuwählen. Überlegen Sie zunächst, zu welchen Parametern aus den Datenblättern Anforderungen bekannt sind (Betrachten Sie nur die bereits gegebenen und berechneten Werte).

Frage 4 Tragen Sie die entsprechenden Werte auf dem Lösungsblatt in die Tabelle ein und wählen Sie einen der drei Operationsverstärker aus. Begründen Sie Ihre Antwort.

2.3.3 Zusatzaufgabe

In der oben vorgestellten Anordnung der Messbrücke kann nur dann eine Spannung festgestellt werden, falls nicht beide DMS-Widerstände gleich geändert werden. Falls Sie noch Zeit übrig haben, überlegen Sie sich die folgende Frage zur vertieften Betrachtung der Messbrücke:

Frage 5 Wie müssten die DMS-Widerstände angeordnet sein, um die Auswirkung einer Kraft zu messen, wenn der Balken statt gebogen in eine Richtung ausgedehnt wird? Zeichnen Sie das Schema der Messbrücke mit den entsprechend angeordneten DMS-Widerständen.

2.4 Lösungsblatt

2.4.1 Dimensionierung

1. $R_{DMS,max} =$

   $R_{DMS,min} =$

   $U_{d,max} =$

2. $V =$

3. $R_3 =$

2.4.2 Auswahl des Operationsverstärkers

Operationsverstärker	Parameter 1	Parameter 2
AD623		
AD620		
AD628		

1. Ihre begründete Auswahl:

2.4.3 Zusatzaufgabe

Kapitel 3

Verstärker für ein Thermoelement

Autoren: Gaby Glanzmann und Martin Geidl

3.1 Aufgabenstellung

An diesem Posten wird ein Thermospannungsverstärker betrachtet. Die Ausgangsspannung eines Thermoelementes sollte auf ein brauchbares Niveau verstärkt werden. Die Eckdaten der Messschaltung sind

- Temperaturmessbereich 0 bis 200 °C und
- Ausgangsspannung 0 bis 10 V.

Arbeiten Sie die folgenden Kapitel der Reihe nach durch und versuchen Sie im Anschluss die Fragen zu beantworten. Tragen Sie alle Lösungen in das Lösungsblatt auf Seite 16 ein.

3.2 Verstärkung

Abbildung 3.1 zeigt die Prinzipschaltung des Thermospannungsverstärkers. Das Thermoelement erzeugt eine Spannung proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Messpunkt und Vergleichsstelle:

$$u_{th} = k \cdot (\vartheta_m - \vartheta_v) = k \cdot \Delta\vartheta \tag{3.1}$$

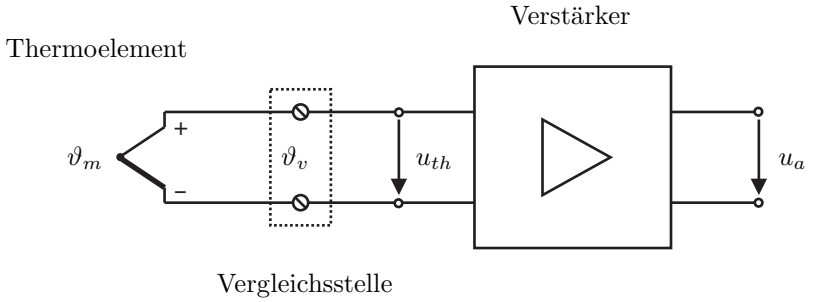


Abbildung 3.1: Prinzipschaltung des Thermospannungsverstärkers.

Je nach verwendeten Materialien steigt die Thermospannung unterschiedlich stark mit der Temperatur. Wir verwenden ein Thermopaar aus Eisen/Kupfer-Nickel (sog. Typ J), es liefert eine Spannung von

$$k = 52.7\ \mu\text{V}/\ ^\circ\text{C} \tag{3.2}$$

an den Eingang des Verstärkers. Diese Spannung ist zu klein um sie weiter verarbeiten zu können, deshalb wollen wir sie verstärken.

Aufgabe 1: Bei einer Temperaturdifferenz von $\Delta\vartheta = 200\ ^\circ\text{C}$ soll die Ausgangsspannung des Verstärkers $u_a = 10$ V betragen. Berechnen Sie die notwendige Verstärkung v und tragen Sie den Wert in das Lösungsblatt ein.

3.3 Verstärkerbauteil

Als Verstärkerbauteil wählen wir einen sog. *Instrumentierungsverstärker* oder *Präzisionsmessverstärker*. Solche integrierten Verstärkerbauteile sind besonders für die Verstärkung von Thermospannungen geeignet.

Aufgabe 2: In den Unterlagen finden Sie Datenblätter von drei verschiedenen Instrumentierungsverstärkern.

- LT1101
- AMP02
- LF412

Suchen Sie in den Datenblättern die Werte für Temperaturdrift der Offset-Spannung (Offset Voltage Drift), Verstärkung (Gain) und Eingangswiderstand (Input Resistance) und tragen Sie diese in das Lösungsblatt ein. Dann wählen Sie einen geeigneten Verstärker für unsere Schaltung aus.

3.4 Beschaltung

Um die gewünschte Verstärkung v zu erreichen, müssen wir das Verstärkerbauteil mit einem entsprechenden Widerstand beschalten.

Aufgabe 3: Im Datenblatt finden Sie auf der ersten Seite eine Formel für die Verstärkung G des Bauteils. Berechnen Sie daraus R_G so, dass man die oben berechnete, gewünschte Verstärkung v erhält und tragen Sie das Ergebnis ins Lösungsblatt ein.

Die Werte von Widerständen sind in *Widerstandsreihen* genormt. Bei der Auswahl eines Widerstandes hat man nur die Werte dieser Reihen zur Verfügung. Dazwischenliegende Widerstandswerte können durch Serien- oder Parallelschaltung von Normwerten realisiert werden.

Hinweis: Angaben zur E 12 Reihe finden Sie z.B. bei
¡http://www.sengpielaudio.com/Farbcodewiderstaende04.htm¿

3.5 Anschlussbelegung

Der Instrumentierungsverstärker ist in zwei Bauformen erhältlich. Wir wählen die Variante mit acht Anschlüssen (Pins), im Datenblatt "8-Lead PDIP" genannt. Die Anschlüsse des Bausteines müssen mit den anderen Elementen der Schaltung verbunden werden.

Aufgabe 4: Abbildung 3.6 am Lösungsblatt zeigt die Messschaltung mit dem Verstärker als Black Box. Numerieren Sie die Anschlüsse des Verstärkers entsprechend der im Datenblatt angegebenen Pin-Belegung.

3.6 Fragen

Versuchen Sie nun noch, die folgenden Fragen zu beantworten. Arbeiten Sie die Fragen der Reihe nach durch, bis die Zeit um ist.

Frage 1 Durch die Zusammensetzung des Widerstandes R_G aus Normwerten kann der gewünschte (berechnete) Wert nicht exakt erreicht werden. Wie hoch ist nun die tatsächliche Verstärkung der Schaltung und welche relative Messabweichung ergibt sich dadurch?

Frage 2 Unter welchen Bedingungen kann es vorkommen, dass die Temperaturdrift des Verstärkerbauteils den angegebenen Maximalwert überschreitet?

Frage 3 Überlegen Sie sich zwei weitere Anwendungsbereiche von Instrumentierungsverstärkern und notieren Sie diese. Werfen Sie dann einen Blick in die Datenblätter.

Lösungsblatt

Aufgabe 1:

Verstärkung	$v =$

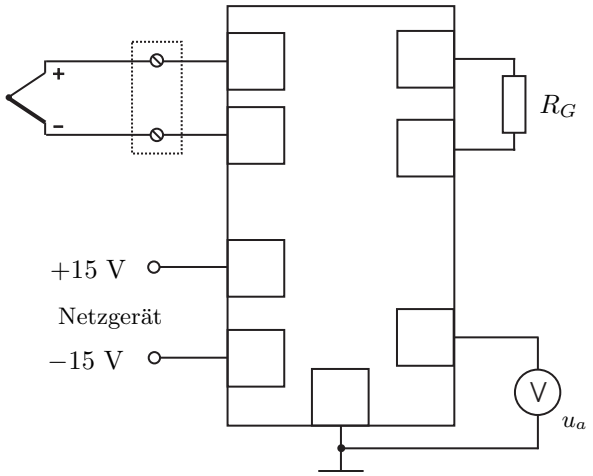
Aufgabe 2: Verstärkerbauteil

Type	Offset Voltage Drift	Gain	Input Resistance	Wahl

Aufgabe 3:

Widerstand	$R_G =$
E12-Werte	

Aufgabe 4: Tragen Sie die Anschlussnummern laut Datenblatt ein.



Frage 1:

Frage 2:

Frage 3:

Kapitel 4

Verstärker zu Pt100 - Sensor

Autoren: A.H. Glattfelder und G. Lekkas

4.1 Einführung

In einem Labor für Klimatechnik soll die Temperatur von feuchter Luft, die in einem typischen Klimakanal strömt, gemessen werden. Dazu muss eine Mess-Einrichtung aufgebaut werden.
Diese Einrichtung besteht aus vier Subsystemen:

a) dem eigentlichen Messfühler im Luftstrom,

b) einer externen Beschaltung dazu, einem Widerstands-Netzwerk

c) dem Operations-Verstärker,

d) der Speisung mit einer vorhandenen Labor-Spannungsquelle ± 15 V.

Im wesentlichen geht es bei diesem Arbeitsplatz um die Auswahl eines geeigneten Operationsverstärkers Subsystem c) aus einer kurzen Liste von Vorschlägen. Dazu kommen noch einige kleine Dimensionierungen der Beschaltung.

4.2 Vorgaben zu den Subsystemen

4.2.1 Messfühler

Der Messfühler wurde bereits vorgängig ausgewählt:
Es ist ein typisches sog. Einsteck-Widerstandsthermometer mit einem Pt-100 Mess-Element,

z.B. von Firma Jumo, Typenblatt 90.2830, Mess-Einsatz 1011, (ab Lager lieferbar), siehe
`http://www.jumo.de/`, → 'Produkte', → 'Messwertgeber,...', → 'Temperatur',
→ 'Widerstandsthermometer', → 'Einsteck', → 'Wasserdampfdicht'

Ebenfalls schon festgelegt ist, dass der Fühler in der Drei-Leiter-Schaltung angeschlossen wird, um den Einfluss der Widerstände R_L der Anschluss-Leitungen zum nächsten Subsystem fernzuhalten.

Weiteres dazu siehe z.B.:
`http://www.abmh.de/pt100/`

4.2.2 Externe Beschaltung

Das externe Widerstands-Netzwerk dazu wurde ebenfalls bereits gewählt, Abbildung 4.1:

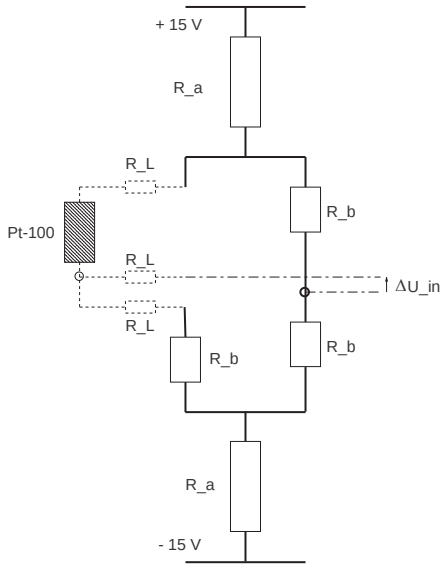


Abbildung 4.1: Das Widerstands-Netzwerk

Versorgt wird das Netzwerk durch die Spannungsquelle Subsystem d)

Die Widerstandswerte sind wie folgt gegeben:
- $R_a = 7.15k\Omega$ (E96-Reihe) und $R_b = 100\Omega$

Damit ist der Strom durch das Pt-100 Element im Nominalpunkt (Widerstand des Pt-100-Elements := 100 Ω bei 0 ° C) ebenfalls bereits festgelegt: I_{nom} := 1.040 mA

4.2.3 Operations-Verstärker

Es stehen drei Operationsverstärker zur Auswahl

- LM741 von National Instruments, als ein typischer 'low cost general purpose OpAmp'
- AD524 von Analog Devices, als typischer 'instrumentation amplifier'
- AD8230 ebenfalls von Analog Devices, als 'zero drift precision instrumentation amplifier'

Die entsprechenden Datenblätter finden Sie am Arbeitsplatz.

4.2.4 Spannungsquelle

Sie liefert ±15 V, und sie vermag genügend Strom zu liefern, um die Messeinrichtung zu versorgen, ohne dass die Versorgungsspannungen um mehr als 0.1 % variieren.

4.3 Weitere Angaben und Spezifikationen

Die temperaturabhängige Widerstandsänderung des Pt-100 Elements ist

$$R(\vartheta) = R_0\,(1 + \alpha \cdot \vartheta) \quad \text{mit} \quad R_0 := 100\Omega \;\; \text{bei} \;\; \vartheta = 0^\circ \text{ C} \quad \text{und} \quad \alpha := 0.00385 \text{ pro } ^\circ\text{C}$$

d.h. bei 50° C ergibt sich eine Widerstands-Vergrösserung um 19.25 Ω

Der Mess-Bereich

$$0 \ldots 50^\circ \text{ C}$$

soll durch entsprechende Verstärkung auf den Bereich

$$0 \text{ V} \ldots + \;\; 10 \text{ V}$$

am Ausgang des Verstärkers abgebildet werden.

Die Umgebungs-Temperatur im Bereich der Subsysteme b) c) und und d) kann variieren im Bereich

$$15 \ldots 35^\circ \text{ C}$$

Die zulässige **Ungenauigkeit** des Ausganges (Spannung am Verstärker-Ausgang) zurückgerechnet auf den Eingang (Temperatur) ist spezifiziert auf

$$\Delta\vartheta_u < \pm 0.40^\circ \text{ C}$$

Davon stammen vom Pt-100 Element bereits:

$$\Delta\vartheta_u < \pm 0.20^\circ \text{ C}$$

4.4 Aufgaben-Blätter

Diese Aufgaben-Blätter dienen für Sie gleichzeitig als Lösungs-Blätter. Tragen Sie deshalb Ihre Antworten in die aufliegenden Kopien ein, und bringen Sie diese am Ende der Arbeit an diesem Posten zur Kontrolle mit.

4.4.1 Zum Widerstands-Netzwerk

Frage 1 Welche typische Spannungs-Änderung
ΔU_{in} pro $^\circ$ C ergibt sich in Abb. 4.1

4.4.2 Zu den Operationsverstärkern

Frage 2 Welcher Verstärkungsfaktor ist nötig,
um den geforderten Anzeige-Bereich zu erhalten ?

Frage 3 Wie beschalten Sie den OpAmp LM741,
um die geforderte Verstärkungsfaktor zu erreichen ? (Skizze)

Frage 4 Welche Werte für die Beschaltungs-Widerstände R_i (im Eingang)
und R_f (in der Rückführung) wählen Sie ?

Frage 5 Welche Auswirkungen hat dies auf ΔU_{in}

Frage 6 Und wie beschalten Sie die Instrumentierungs-Verstärker AD524 und AD8230 ?
(Zwei Skizzen)

4.4.3 Zur Auswahl des Operationsverstärkers

Frage 7 Nennen Sie drei Parameter aus den Datenblättern der Operationsverstärker, die in diesem Zusammenhang die wesentlichsten sind

Frage 8 Welchen der Verstärker wählen Sie nun ?

Frage 9 Begründen Sie Ihre Wahl in drei bis fünf Sätzen

Frage 10 Wie steht es mit der geforderten Anzeige-Genauigkeit?

4.4.4 Zusatzfragen, wenn Sie noch Zeit haben sollten

Frage z1 Welche Toleranzwerte schlagen Sie für die Widerstände R_a und R_b vor?
Wie wirkt sich das aus?
Was tun Sie dagegen?

Frage z2 Welche typischen Widerstandsänderungen pro ° C Änderung der Umgebungstemperatur sind dabei zu erwarten?
Und wie wirkt sich das aus ?
Was tun Sie dagegen?

Frage z4 Der Temperaturbereich $0 \ldots 40°$ C soll nun auf $0 \ldots 4.0$ V abgebildet werden
Wie gehen Sie beim gewählten Operationsverstärker konkret vor?

Frage z5 Wie gross ist der allfällige Zusatz-Widerstand R_G ?
Wie bauen Sie diesen Widerstand aus der E-96er Reihe auf ?

Teil II

Lösungsvorschläge

Kapitel 1

Zu: Audio Verstärker

Autoren: Manuel Aschwanden und Stefan Odermatt

Frage 1 Die Anforderung an die maximale Versorgungsspannung ist:

$$V_{supply} = \sqrt{2P_L R_L} = \sqrt{2 \cdot 1W \cdot 8\Omega} = 4\ V$$

Frage 2 Unter Benützung der angegebenen Formel erhält man für den invertierenden Eingangswiderstand:

$$R_i = \frac{R_{f1}}{A_v - 1} = \frac{100k\Omega}{20} = 5\ k\Omega$$

Frage 3 Es ist der **NCP2890**, da alle anderen Verstärker viel zu hohe Leistungen haben.

Frage 4 Zusatzaufgabe

(a) Für das Skizzieren des Amplitudengang der gesamten Audio-Verstärker Schaltung wird die Übertragungsfunktion mit Hilfe der Kirchhoffregeln hergeleitet.

Schleife 1:

$$V_{in} = R_i I + \frac{1}{j\omega C_i} I$$

Schleife 2:

$$V_{out} = (R_i + R_{f1})\, I + \frac{1}{j\omega C_i} I$$

Also

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{j\omega C_i\,(R_i + R_{f1}) + 1}{j\omega C_i R_i + 1}$$

Der gesuchte Amplitudengang ist in der folgenden Abbildung 1.1 dargestellt

(b) Man sieht, dass durch das Einfügen einer Niederfrequenz roll-off Kapazität C_i zwei weitere Knickfrequenzen entstehen. Damit die Bandbreite des benützten Audio-Verstärkers nicht beeinflusst wird muss $f_2 < f_{low}$ (die untere Grenze der spezifizierten Bandbreite

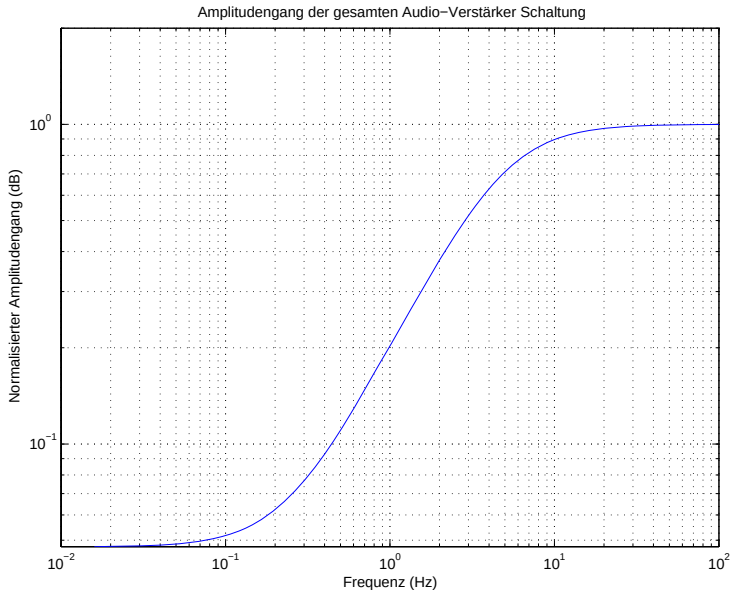


Abbildung 1.1: Amplitudengang der gesamten Audio-Verstärker Schaltung nach Einfügen einer Niederfrequenz roll-off Kapazität C_i

B) sein. Dies rührt daher, dass bei niederen Frequenzen die Verstärkung der Gesamtschaltung durch C_i reduziert wird (Abbildung 1.1). Bei Frequenzen höher als f_2 kann man den Einfluss von C_i als vernachlässigbar betrachten ($Z_{ci} \approx 0\ \Omega$). Daraus folgt, dass für C_i folgende Beziehung gelten muss:

$$C_i \geq \frac{1}{2\pi f_{low} R_i}$$

Um sicher zu gehen, das die Spezifikationen für die Frequenz erfüllt werden, wählt man für

$$f_{low} = 5\ Hz$$

Damit erhält man für den gesuchten Minimalwert von C_i

$$C_{i_{min}} = 6.4\ \mu F$$

Kapitel 2

Zu: Operationsverstärker in einer DMS-Mess-Schaltung

Autoren: René Greminger und Jürg Rauchenstein

2.1 Dimensionierung

Frage 1 $R_{DMS,max} = 1\,\mathrm{k\Omega} + 0.1\,\% = 1001\,\Omega$

$R_{DMS,min} = 1\,\mathrm{k\Omega} - 0.1\,\% = 999\,\Omega$

$U_{d,max} = U_B \cdot \frac{R_{DMS,max} \cdot R_1 - R_{DMS,min} \cdot R_1}{(R_{DMS,max} + R_{DMS,min}) \cdot (2 \cdot R_1)} = 7.5\,\mathrm{mV}$

Frage 2 $V = \frac{U_{a,max,soll}}{U_{d,max}} = \frac{7.5\,\mathrm{V}}{7.5\,\mathrm{mV}} = 1000$

Frage 3 $R_3 = R_2 \cdot V = 10\,\mathrm{k\Omega} \cdot 1000 = 10\,\mathrm{M\Omega}$

2.2 Auswahl des Operationsverstärkers

Operationsverstärker	Speisespannung	Mögliche Verstärkung
AD623	$2.7 - 12\,\mathrm{V}$	$1 - 1000$
AD620	$2.3 - 18\,\mathrm{V}$	$1 - 10000$
AD628	$4.5 - 36\,\mathrm{V}$	$0.01 - 100$

Frage 4 Ihre begründete Auswahl:

Der Operationsverstärker AD623 darf nicht mit einer Speisespannung von 15 V betrieben werden, er kommt somit nicht in Frage.

Mit dem Operationsverstärker AD628 kann die benötigte Verstärkung von 1000 nicht realisiert werden, er scheidet daher ebenfalls aus.

Einzig der Operationsverstärker AD620 erfüllt beide Kriterien.

Wir wählen somit das Bauteil **AD620**.

2.3 Zusatzaufgabe

Frage 4

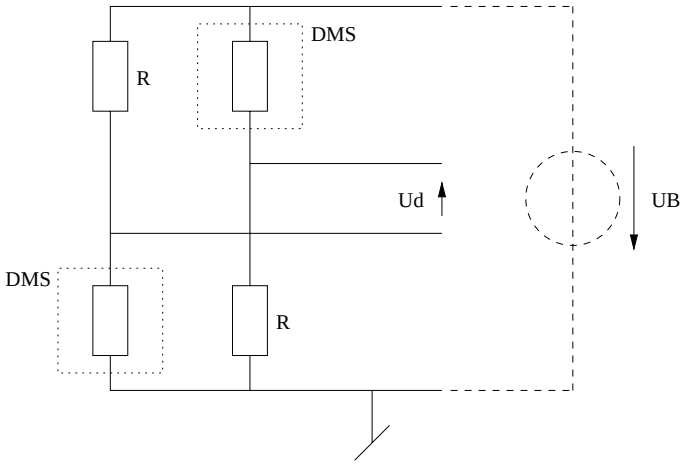


Abbildung 2.1: Messbrücke zur Feststellung eines Zuges parallel zu den Dehnmessstreifen

Kapitel 3

Zu: Verstärker für ein Thermoelement

Autoren: Gaby Glanzmann und Martin Geidl

Aufgabe 1:

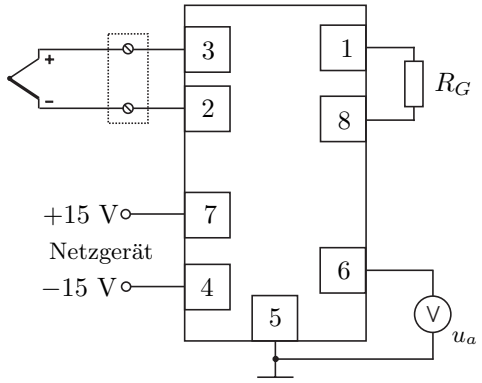
Verstärkung	$v = 948.77$

Aufgabe 2: Verstärkerbauteil

Type	Offset Voltage Drift	Gain	Input Resistance	Wahl
LT1101	0.4 μV/ °C	10 oder 100	7 GΩ	
AMP02	2.0 μV/ °C	beliebig	10 GΩ	✓
LF412	10.0 μV/ °C	beliebig	1000 GΩ	

Aufgabe 3: $R_G := 52.76\Omega \quad \rightarrow \quad$ E 12 Werte: $47 + 5.6 + 0.15\Omega = 52.75\Omega$

Aufgabe 4: Zu: "Tragen Sie die Anschlussnummern laut Datenblatt ein"



Frage 1: $v' = \left(50 \cdot 10^3/52.75\right) + 1 = 948.87$
$\varepsilon_r = (948.87 - 948.77)/948.77 \cdot 100\% = 0.011\%$

Frage 2: z.B. Versorgungsspannung weicht von ± 15 V ab,
oder Aussentemperatur T_A ausserhalb des Bereichs -40 bis $+85$ °C

Frage 3: z.B. Verstärker für Messbrücken mit Dehnmessstreifen (Strain Gauges), Piezoelemente und andere Messumformer

Kapitel 4

Zu: Verstärker zu Pt100 - Sensor

Autoren: A.H. Glattfelder und G. Lekkas

4.0.1 Zum Widerstands-Netzwerk

Frage 1 Welche typische Spannungs-Änderung ΔU_{in} pro ° C ergibt sich in Abb. 4.1

$\Delta U_{0...1°C}$ = 0.2003 mV (ca. fünf mal mehr als bei einem Thermoelement)

ergibt bei linearer Extrapolation auf 50 °C $\Delta U_{0...50°C}$ = 10.015 mV

Berücksichtigt man jedoch die Rückwirkung der Widerstandserhöhung von 100 Ω *auf* 119.25 Ω *auf die Brückenspannung, dann ergibt sich $\Delta U_{0...50°C}$ = 9.5657 mV*

4.0.2 Zu den Operationsverstärkern

Frage 2 Welcher Verstärkungsfaktor ist nötig,
um den geforderten Anzeige-Bereich zu erhalten ?

gain = 1'000

Frage 3 Wie beschalten Sie den OpAmp LM741,
um die geforderte Verstärkungsfaktor zu erreichen ? (Skizze)

Es gibt verschiedene Lösungen.
Primär sehen wir eine Differenzverstärker-Schaltung

Frage 4 Welche Werte für Eingangs-Widerstände R_i
und Rückführ-Widerstände R_f wählen Sie ?

$R_i = 1k\Omega \quad R_f = 1M\Omega$

Frage 5 Welche Auswirkungen hat dies auf ΔU_{in}

Belastungs-Fehler durch R_i als Widerstand zur 'virtuellen Erde'

Frage 6 Wie beschalten Sie die Instrumentierungs-Verstärker AD524 und AD8230 ? (Zwei Skizzen)

Der erforderliche gain-Wert ist pin-programmierbar

4.0.3 Zur Auswahl des Operationsverstärkers

Frage 7 Nennen Sie drei Parameter aus den Datenblättern der Operationsverstärker, die in diesem Zusammenhang die wesentlichsten sind

- *Versorgungsspannung ($\pm 15V$)*

- *Temperatur-Koeffizient der Offsetspannung eingangsseitig*

- *eingangsseitige Offset-Spannung (Nullpunkt, ist abzutrimmen)*

Frage 8 Welchen der Verstärker wählen Sie nun ?

- *AD 524 A*

Frage 9 Begründen Sie Ihre Wahl in drei bis fünf Sätzen:

- *LM741: hat viel zu hohen TK der Offsetspannung, nicht brauchbar*

- *AD524: brauchbar, aber die (konstante) Offset-Spannung muss abgetrimmt werden*

- *AD8320: Versorgungsspannung ist nur $\pm 8V$, nicht brauchbar*

Frage 10 Wie steht es mit der geforderten Ungenauigkeit?

wird mit AD 524 erreicht. .....

4.0.4 Zusatzfragen

Frage z1 Welche Toleranzwerte schlagen Sie für die Widerstände vor?
Wie wirkt sich das aus?
Was tun Sie dagegen?

Frage z2 Welche typischen Widerstandsänderungen pro ° C sind dabei zu erwarten?
Und wie wirkt sich das aus ?
Was tun Sie dagegen?

Frage z4 Der Temperaturbereich $0 \ldots 40°$ C soll nun auf $0 \ldots 4.0$ V abgebildet werden
Wie gehen Sie beim gewählten Operationsverstärker konkret vor?

Frage z5 Wie gross ist der allfällige Zusatz-Widerstand R_G ?
Wie bauen Sie ihn aus der E96er-Reihe auf ?