

Projektarbeit Schaltungsentwurf

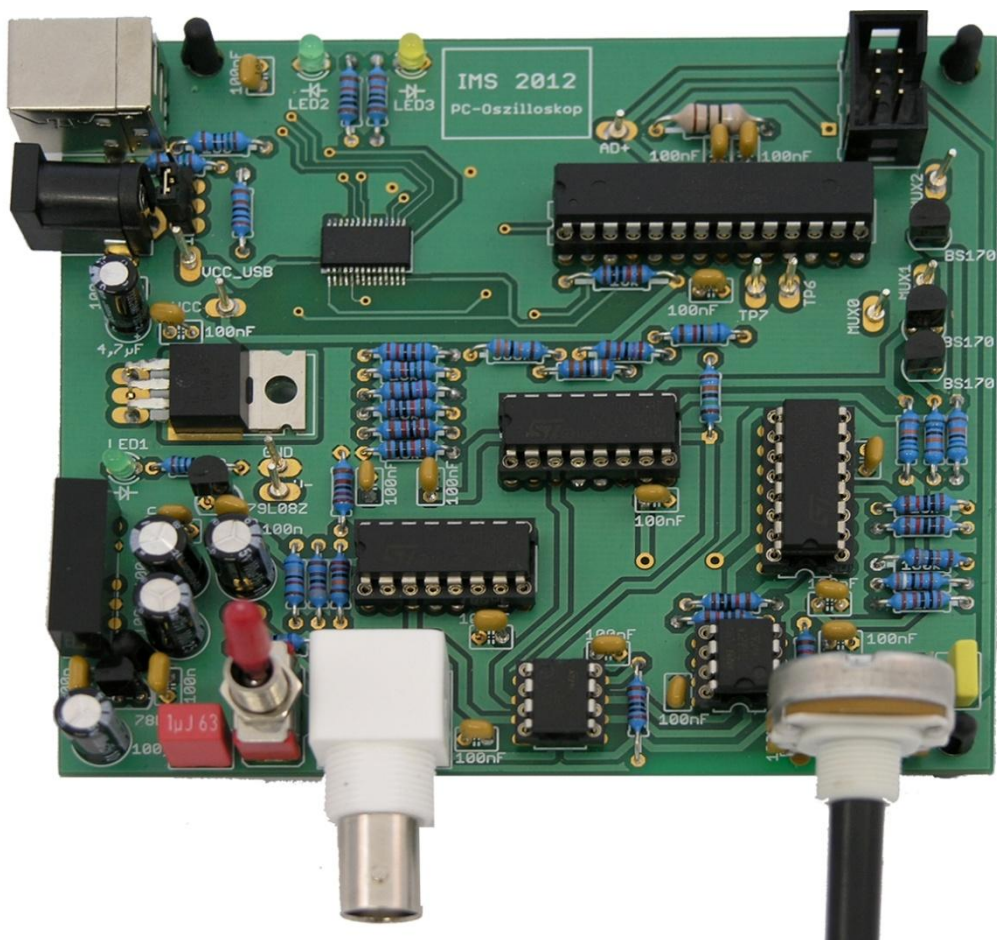
SS 2013

Institut für Mikroelektronische Systeme

Fachgebiet Architekturen und Systeme

Prof. Dr.-Ing. H. Blume

PC-Oszilloskop





IMS

Institut für Mikroelektronische Systeme



Leibniz
Universität
Hannover



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1
2	Grundlagen.....	3
2.1	Filter	3
2.1.1	Übertragungsverhalten	3
2.1.2	Frequenzabhängigkeit des Übertragungsverhaltens und Grenzfrequenz.....	3
2.1.3	Passive Filter.....	4
2.2	Abtasttheorem.....	7
2.3	Operationsverstärkerschaltungen	9
2.3.1	Berechnung von Operationsverstärkerschaltungen.....	11
2.3.2	Beispiel: Der invertierende Verstärker	13
3	Gesamtsystem	15
3.1	Software.....	15
3.2	Kommunikationsschnittstelle	16
3.2.1	Parameter und Datenformat für die Kommunikation mit dem PC	19
4	Digitalschaltung	21
4.1	Komponenten der Digitalschaltung.....	22
4.1.1	Mikrocontroller (ATmega8)	22
4.1.2	A/D-Wandlung mit dem ATmega8	23
4.1.3	Baustein zur Kommunikation mit dem PC (FT232RL).....	24
4.1.4	Spannungsversorgung.....	25
5	Analogschaltung.....	27
5.1	Ein- und Ausgangssignale des Analogen Schaltungsblocks.....	27
5.2	Spezifikation	27
5.3	Struktureller Entwurf und Blockschaltbild	29
5.3.1	Gleichanteilsunterdrückung	29
5.4	Bereichswahl	29
5.5	Offsetanpassung.....	31
5.6	Anti-Aliasing-Filter.....	31
6	Bauelemente	33
6.1	Passive Bauelemente	33
6.2	Operationsverstärker TL 082)	33
6.3	Analogmultiplexer (MOS 4051)	33
7	Aufgaben	37
7.1	Dimensionierung und Simulation der einzelnen Schaltungen	37
	Aufgabe 1: Spannungsteiler.....	37
	Aufgabe 2: Verstärker	37
	Aufgabe 3: Addierer	38



Aufgabe 4: Subtrahierer.....	39
Aufgabe 5: Variable Gleichspannung	39
Aufgabe 6: Tiefpassfilter	41
Aufgabe 7: Hochpassfilter.....	41
Aufgabe 8: Dimensionierung und Simulation der gesamten Schaltung	42
7.2 Aufbau eines Prototypen	42
7.3 Platinenlayout	43
7.4 Bestücken der Platine	44
8 Anhang.....	45
Anhang A: Verfügbare Bauteile	45
Anhang B: Abbildungsverzeichnis.....	47
Anhang C: Tabellenverzeichnis	49

1 Einführung

Diese Projektarbeit stellt eine praktische Einführung in den Entwurf von elektronischen Schaltungen dar. Die zu entwerfende Schaltung besteht dabei aus einer Analog- sowie einer Digitalschaltung. Im Verlauf des Projekts sollen alle wichtigen Schritte des Schaltungsentwurfs von den Studierenden selbst durchgeführt werden:

1. Entwurf der Schaltung anhand einer vorgegebenen Spezifikation
2. Berechnung einzelner Baugruppen
3. Zusammenstellung der Gesamtschaltung aus vorher getrennt untersuchten Baugruppen
4. Simulation der Schaltung mit einem typischen Softwarewerkzeug (QUCS)
5. Aufbau eines Prototypen am Steckbrett zur Verifikation des Entwurfs
6. Design eines Platinenlayouts mit Hilfe einer ECAD-Software (EAGLE)
7. Bestückung der gefertigten Platine
8. Testen und Verifizieren der Schaltungsfunktionalität durch Messung

Im Rahmen dieses Projekts soll die Analogschaltung eines PC-Oszilloskops aufgebaut werden. Geeignete Ansätze sollen ausgewählt und die Größen der einzusetzenden Bauteile bestimmt werden. Die konkrete Realisierung einzelner Baugruppen bleibt dabei den Teilnehmern überlassen. Die einzelnen Module und die gesamte entworfene Schaltung sollen durch Simulationen mit geeigneten Werkzeugen überprüft werden.

Der Umgang mit typischen Entwurfswerkzeugen und Arbeitsschritten soll geübt und erlernt sowie Techniken der analogen Signalverarbeitung unter Berücksichtigung einer vorgegebenen Spezifikation in Hardware zu implementiert werden.

Kapitel 2 vermittelt für die Durchführung und das Verständnis notwendige Grundlagen. Das gesamte zu implementierende System wird in Kapitel 3 dargestellt. Die folgenden Kapitel erläutern die einzelnen Systemteile im Detail, aufgeteilt in die Software, die ein Benutzerinterface für das PC-Oszilloskop bildet, sowie deren Kommunikation mit der zu entwerfenden Platine, den digitalen und den analogen Teil der Schaltung. Die für die Implementierung zur Verfügung stehenden Bauteile werden in Kapitel 6 vorgestellt, in Kapitel 7 finden sich Aufgaben, die durchzuführen sind.

Anhang A enthält eine Auflistung der für den Entwurf verfügbaren passiven Bauteile, in Anhang B findet sich das Abbildungsverzeichnis. Neben diesem Umdruck ist ein weiteres Dokument verfügbar, welches Anleitungen zu den verwendeten Entwurfswerkzeugen und durchzuführenden Arbeitsschritten enthält.



2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden zusätzlich benötigte Grundlagen wie das Abtasttheorem von Shannon und Nyquist sowie Aliasing erläutert. Zusätzlich werden unterschiedliche Filtertypen und die Berechnung dieser Elemente erklärt.

2.1 Filter

Der Tiefpass gehört zu der Gruppe der Filter. Es existieren unterschiedliche Filtertypen, wie Hoch-, Band- oder Tiefpass. Diese werden im Rahmen des zu entwerfenden Oszilloskops an vielen Stellen verwendet. In diesem Abschnitt werden nun ihre Eigenschaften näher erläutert.

2.1.1 Übertragungsverhalten

Ein Filter für elektrische Signale ist eine Schaltung, die aus einem Eingangssignal ein abhängig von seiner Frequenz abgeschwächtes (gedämpftes) Ausgangssignal erzeugt. Die Frequenzbereiche geringer Dämpfung werden als Durchlassbereich, die Bereiche größer Dämpfung als Sperrbereich bezeichnet. Neben der frequenzabhängigen Dämpfung des Eingangssignals wird ein Übertragungssystem noch durch eine, häufig ebenfalls frequenzabhängige, Zeitverzögerung bzw. Phasenverschiebung zwischen Eingangs- und Ausgangssignal charakterisiert. Diese spielt für den Entwurf einfacher Filter eine untergeordnete Rolle und soll hier jedoch betrachtet werden.

Häufig eingesetzte Filter sind Tief- und Hochpassfilter. Tiefpassfilter lassen Signale mit einer Frequenz kleiner gleich einer bestimmten Grenzfrequenz ungedämpft passieren. Ist die Frequenz größer als die Grenzfrequenz, so wird das Signal abgeschwächt. Hochpassfilter schwächen alle Signale mit einer Frequenz kleiner gleich einer charakteristischen Grenzfrequenz ab, während Signale mit höheren Frequenzen das Filter ungehindert passieren können.

2.1.2 Frequenzabhängigkeit des Übertragungsverhaltens und Grenzfrequenz

Viele elektronische Schaltungen besitzen einen frequenzabhängigen Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangssignal. Regt man ein derartiges System mit harmonischen Schwingungen verschiedener Frequenzen an, so lässt sich die Dämpfung D des Ausgangssignals im Vergleich zum Eingangssignal abhängig von der Frequenz auftragen. Dieses Verfahren wird als Frequenz-Sweep bezeichnet und angewendet, um das frequenzabhängige Dämpfungsverhalten eines Systems experimentell zu ermitteln. Für ein Tiefpassfilter ergibt sich bei einem Sweep etwa eine Funktion der Dämpfung über die Frequenz wie in Abbildung 2.1.

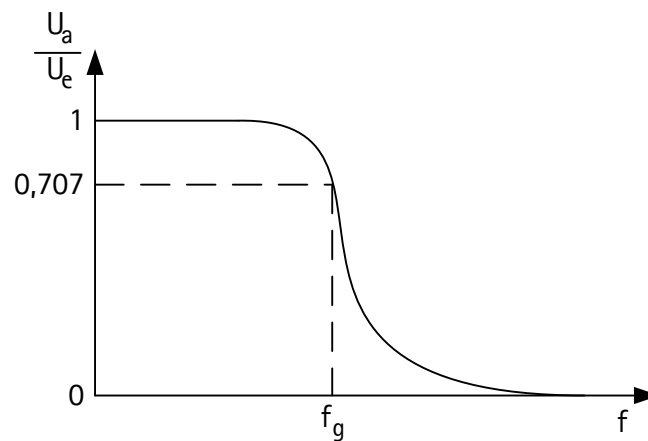


Abbildung 2.1: Frequenzabhängiges Übertragungsverhalten eines Tiefpass

Das Verhältnis zwischen Signalpegeln wird in Dezibel (dB) angegeben. Die Dämpfung D , also das Verhältnis zwischen den Amplituden der Eingangsspannung und der Ausgangsspannung, kann in dB ausgedrückt werden:

$$D = 20 \log \left(\frac{U_a}{U_e} \right) \text{ dB} \quad (2.1)$$

Unter der Grenzfrequenz eines Filters versteht man die Frequenz, bei der die Amplitude des Ausgangssignals gegenüber dem Eingangssignal um 3dB abgefallen ist. In Abbildung 2.1 ist die Grenzfrequenz mit f_g eingezeichnet.

$$D_{\text{grenz}} = 20 \log \left(\frac{U_a}{U_e} \right) \text{ dB} = -3 \text{ dB} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \quad (2.2)$$

Regt man ein Filter mit einer harmonischen Eingangsgröße mit einer Frequenz gleich seiner Grenzfrequenz an, so ist die Amplitude der Ausgangsspannung etwa um den Faktor 0,707 kleiner als die der Eingangsspannung.

2.1.3 Passive Filter

Die einfachste Schaltung, mit der Hochpass- oder Tiefpasseigenschaften realisiert werden können, ist ein RC-Glied erster Ordnung. Die bezeichnet hierbei die Steilheit der Dämpfung des Filters, ein Filter hoher Ordnung hat eine Stärkere Dämpfung als ein Filter niedrigerer Ordnung. Abschnitt 2.1.3 beschreibt ausschließlich Filter erster Ordnung. Die jeweiligen Schaltungen sind in Abbildung 2.2 aufgezeichnet.

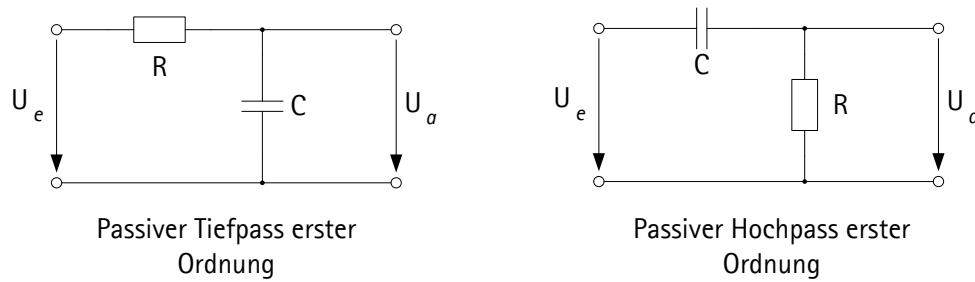


Abbildung 2.2: Filter erster Ordnung

Mit Hilfe der komplexen Wechselstromrechnung lässt sich die frequenzabhängige Dämpfung des Eingangssignals eines passiven Tiefpassfilters erster Ordnung berechnen zu

$$D = \frac{\hat{U}_a}{\hat{U}_e} \quad (2.3)$$

Im Gegensatz zu Formel (2.1) sind hier Effektivwerte der Spannungen in Verhältnis gesetzt. Auf das Herleiten der Formel wird an dieser Stelle verzichtet.

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad (2.4)$$

mit der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$. Aus Gleichung (2.4) lassen sich die Eigenschaften eines Tiefpassfilters erkennen.

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} D = 1 \quad (2.5)$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} D = 0 \quad (2.6)$$

Für die Grenzfrequenz lässt sich mit den Gleichungen (2.5) und (2.6) folgende Formel entwickeln, die zur Dimensionierung passiver Tiefpassfilter erster Ordnung benutzt werden kann:

$$D_{\text{grenz}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_g RC)^2}} \quad (2.7)$$

$$\omega_g = 2\pi f_g \quad (2.8)$$

$$\Rightarrow f_g = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.9)$$

Für ein passives Hochpassfilter erster Ordnung nach Abbildung 2.2 gilt analog:

$$D = \frac{U_a}{U_e} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad (2.10)$$

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} D = 0 \quad (2.11)$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} D = 1 \quad (2.12)$$

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.13)$$

Es ergibt sich ein frequenzabhängiges Übertragungsverhalten entsprechend Abbildung 2.3.

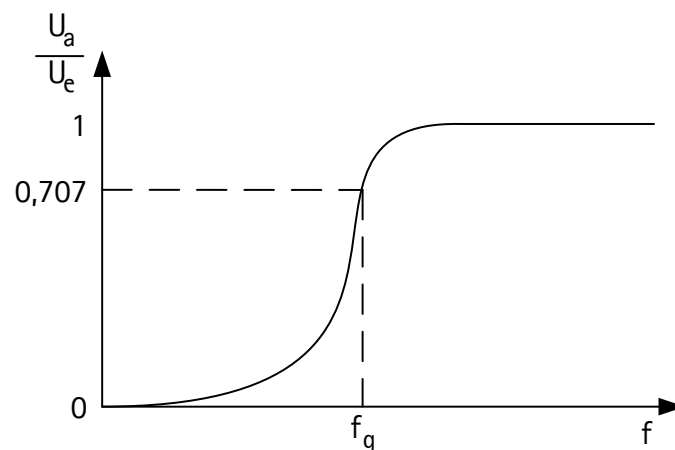


Abbildung 2.3: Frequenzabhängiges Übertragungsverhalten eines Hochpass

Trägt man die frequenzabhängige Dämpfung des Tief-/Hochpassfilters über einer logarithmischen Frequenz auf, so kann man beobachten, dass ab der Frequenz f_g die Dämpfung mit 20 dB pro Dekade steigt/sinkt.

Der Faktor RC wird häufig als die Zeitkonstante τ einer RC -Schaltung bezeichnet und alternativ zur Grenzfrequenz zur Charakterisierung des Übertragungsverhaltens angegeben:

$$\tau = RC \quad (2.14)$$

Die folgenden Abbildungen zeigen das Übertragungsverhalten unterschiedlicher Filter in logarithmischer Darstellung.

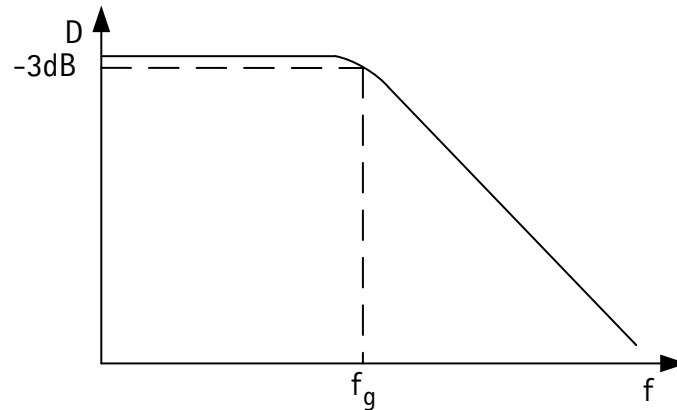


Abbildung 2.4: Dämpfung eines Tiefpassfilter über eine logarithmische Frequenzskala

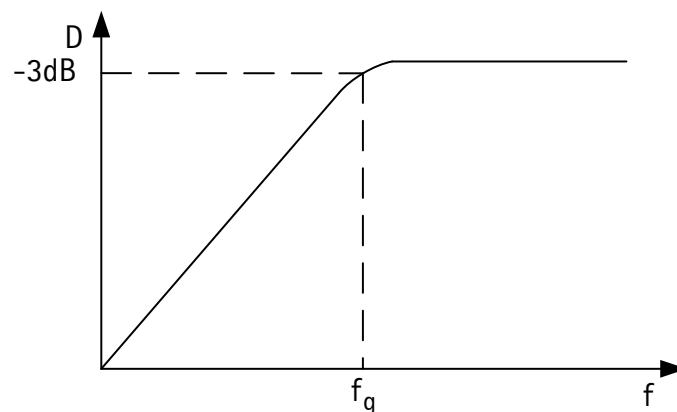


Abbildung 2.5: Dämpfung eines Hochpassfilter über eine logarithmische Frequenzskala

2.2 Abtasttheorem

Das Oszilloskop soll in der Lage sein, den zeitlichen Verlauf einer elektrischen Spannung darzustellen. Die Spannung muss dafür abgetastet werden, das Abtasttheorem nach Shannon und Nyquist muss hierbei beachtet werden. Es besagt, dass eine Abtastfrequenz stets mehr als doppelt so groß wie die abzutastende Frequenz sein muss. Die maximale Abtastfrequenz des Oszilloskops ist ein Maß für die Auflösung eines Oszilloskops.

$$f_{max} < \frac{1}{2} f_a \quad (2.15)$$

Wird das Abtasttheorem verletzt, so kann das abgetastete Signal nicht korrekt rekonstruiert werden. Die Auswirkungen verschiedener Abtastfrequenzen lassen sich am Beispiel der Abtastung einer harmonischen Schwingung verdeutlichen.

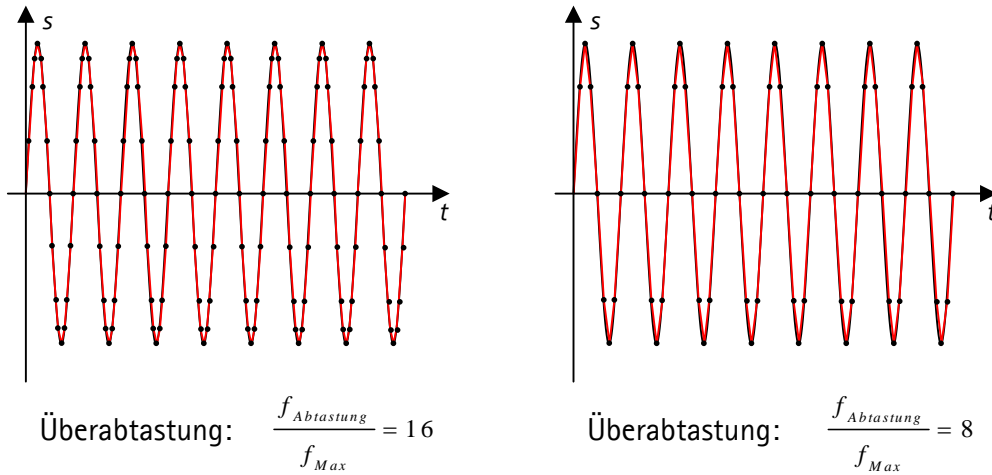


Abbildung 2.6: Überabtastung

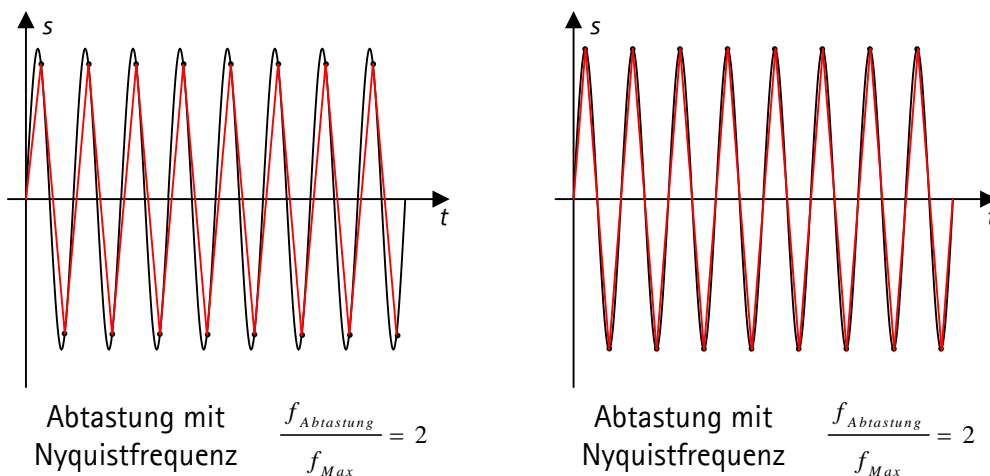


Abbildung 2.7: Abtastung mit der Nyquistfrequenz

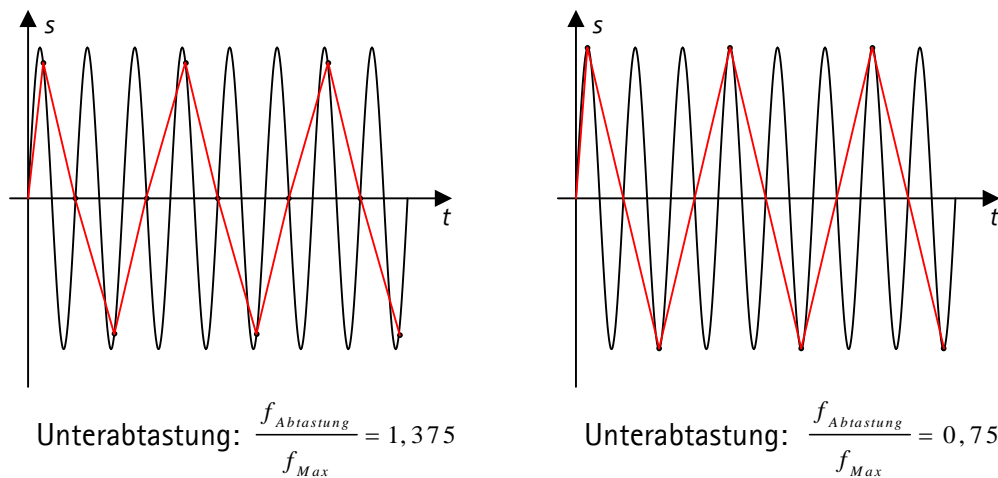


Abbildung 2.8: Unterabtastung

In schwarzer Farbe ist eine harmonische Schwingung dargestellt, in Rot das Resultat der Abtastung. In Abbildung 2.6 ist eine Überabtastung gezeigt, das Verhältnis aus Abtastfrequenz zu messenden Signal ist größer als zwei. Entspricht das Verhältnis exakt zwei, wie in Abbildung 2.7 dargestellt, kann das Signal gerade noch korrekt dargestellt werden. In diesem Fall spricht man von einer Abtastung mit der Nyquistfrequenz. In der linken Grafik ist hierbei eine geringe Abweichung vom tatsächlichen Signal abgebildet, eine nahezu vollständige Deckung im rechten Bild. Abbildung 2.8 zeigt eine Unterabtastung, das Verhältnis zwischen Abtastfrequenz und Signal ist kleiner als zwei, das Signal kann nicht mehr korrekt wiedergegeben werden. Diese fehlerbehaftete Darstellung des Signals heißt Aliasing.

Aliasing kann vermieden werden indem das Abtasttheorem stets erfüllt ist. Ist die Frequenz, des abzutastenden Signals zu hoch, muss eine Frequenzreduktion durchgeführt werden. Dies kann beispielsweise durch einen Tiefpass geschehen.

2.3 Operationsverstärkerschaltungen

Als Operationsverstärker wird ein Bauelement mit zwei Eingängen und einem Ausgang bezeichnet, das die Spannungsdifferenz zwischen seinen beiden Eingängen verstärkt wieder ausgibt. Intern ist ein Operationsverstärker aus einem Netzwerk von Transistoren aufgebaut. Diese Schaltungen werden meist als integrierte Schaltkreise angeboten.

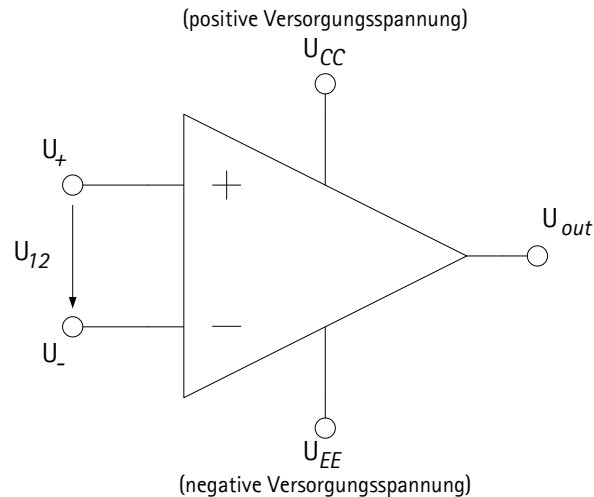


Abbildung 2.9: Operationsverstärker

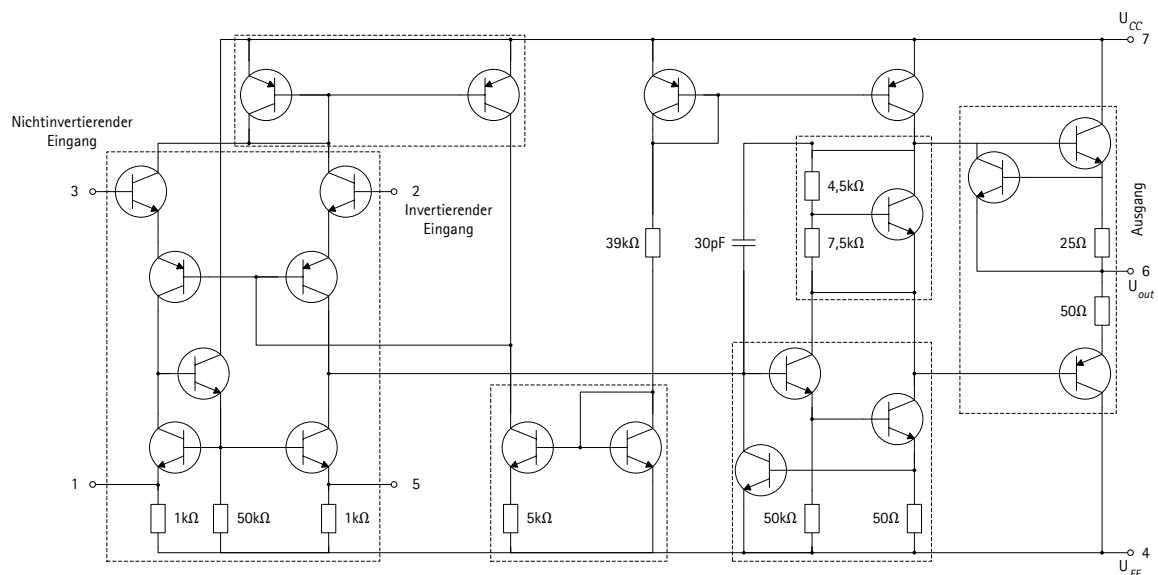


Abbildung 2.10: Innenaufbau Operationsverstärker $\mu A741$

Wie in Abbildung 2.9 und Abbildung 2.10 zu sehen, handelt es sich bei Operationsverstärkern um aktive Bauelemente, die an eine Versorgungsspannung angeschlossen werden müssen. Die Versorgungsspannungsanschlüsse werden beim Aufzeichnen von Operationsverstärker-Schaltungen häufig weggelassen. Der mit „-“ gekennzeichnete Eingang wird als der invertierende, der mit „+“ gekennzeichnete Eingang als der nicht-invertierende Eingang bezeichnet.

Das Verhalten eines Operationsverstärkers kann als ideal angenommen werden. Dadurch ist es möglich, die Eigenschaften einer Operationsverstärkerschaltung zu verstehen ohne seinen inneren Aufbau aus Transistoren zu berücksichtigen. Die Schaltungseigenschaften werden dann nur von der äußeren Beschaltung bestimmt. Die Tatsache, dass mit Hilfe von idealen Operationsverstärkern viele verschiedene

Schaltungstypen nur durch Variation der äußeren Beschaltung mit passiven Bauteilen realisiert werden können, hat zur großen Verbreitung dieses Bauteils in der analogen Schaltungstechnik beigetragen. Typische Schaltungen sind invertierende und nichtinvertierende Verstärkerschaltungen, Addierer-, Subtrahierer-, Logarithmierer-, Exponentialfunktions-, Integrator- und Differenzierschaltungen, Impedanzwandler oder aktive Filter. Im Rahmen des Projekts stehen unterschiedliche Operationsverstärker zur Auswahl. Die genauen Eigenschaften sind den jeweiligen Datenblättern zu entnehmen.

2.3.1 Berechnung von Operationsverstärkerschaltungen

Der nun folgende Abschnitt beschäftigt sich mit der Berechnung von Operationsverstärkerschaltungen.

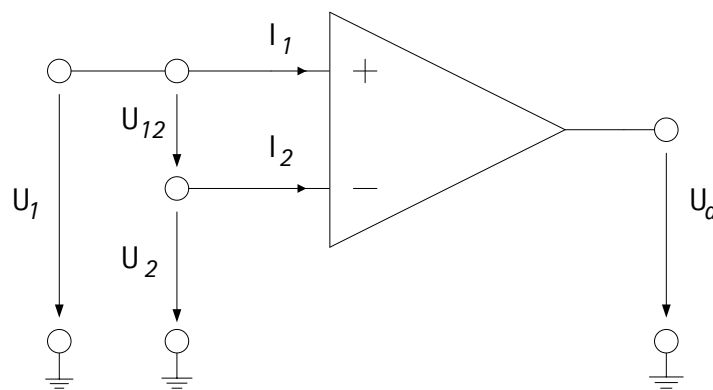


Abbildung 2.11: Operationsverstärker mit eingezeichneten Strömen und Spannungen

Für einen Operationsverstärker kann folgende Gleichung für die Masche auf der Eingangsseite des Operationsverstärkers aufgestellt werden:

$$U_{12} = U_1 - U_2 \quad (2.16)$$

Der Operationsverstärker wird bestimmt durch die Leerlauf- oder Geradeausverstärkung V_0 , mit welcher die Differenzspannung U_{12} verstärkt wird.

$$U_a = V_0 \cdot U_{12} \quad (2.17)$$

Werden die Eigenschaften von realen Operationsverstärkern idealisiert, kann die Berechnung von Operationsverstärkerschaltungen stark vereinfacht werden. Zum einen ist der Eingangswiderstand eines Operationsverstärkers sehr groß, d.h. die Eingangsströme sind sehr klein. Für einen idealen Operationsverstärker können sie daher vernachlässigt werden:

$$I_1 = I_2 = 0 \quad (2.18)$$

Zum anderen ist die Leerlaufverstärkung des Operationsverstärkers sehr groß, üblicherweise $V_0 > 10000$, und kann für den idealen Verstärker als unendlich angenommen werden ($V_0 \rightarrow \infty$). Geringe Unterschiede in den Eingangsspannungen U_1 und U_2 lassen die Ausgangsspannung sehr groß werden, beschränkt durch U_{CC} und U_{EE} . Daher wird ein Operationsverstärker in nahezu allen Grundsaltungen mit einer Beschaltung versehen, die bewirkt, dass ein Teil des Ausgangs auf den Eingang zurückwirkt (Rückkopplung). Die Rückkopplung muss dabei so angelegt werden, dass die Ausgangsspannung ihrer Ursache entgegenwirkt (Gegenkopplung).

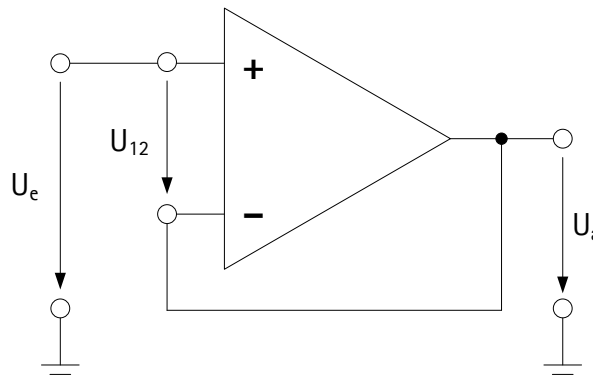


Abbildung 2.12: Operationsverstärker in Gegenkopplung

Das Prinzip der Gegenkopplung sei anhand der Schaltung in Abbildung 2.12 verdeutlicht. Das Potential am Ausgang des Operationsverstärkers wird durch die Rückkopplung auf den invertierenden Eingang gelegt. Daher gilt:

$$U_{12} = U_e - U_a \quad (2.19)$$

Wird die Spannung U_e am Eingang der Schaltung erhöht, so tritt eine positive Differenzspannung U_{12} auf. Diese wird vom Operationsverstärker verstärkt am Ausgang ausgegeben, die Ausgangsspannung wird erhöht bis die Spannung am Ausgang gleich der Spannung am Eingang ist. Die Differenzspannung ist folglich Null und das gegengekoppelte System befindet sich in einem stabilen Zustand. Durch die hohe Verstärkung geschieht dieser Ausgleichsvorgang sehr schnell. Für die Berechnung eines idealen, gegengekoppelten Operationsverstärkers kann daher angenommen werden:

$$U_{12} = 0 \quad (2.20)$$

Die Schaltung aus Abbildung 2.12 wird auch als Spannungsfolger bezeichnet, da die Ausgangsspannung immer gleich der Eingangsspannung ist. Häufig wird diese Schaltung als Impedanzwandler verwendet. Impedanzwandler passen die Impedanz eines Verbrauchers an eine Quelle an. Durch den hohen Eingangswiderstand und den niedrigen Ausgangswiderstand des Operationsverstärkers kann die Schaltung eingesetzt werden, um eine niederohmige Last an eine hochohmige Quelle anzuschließen. Mit Hilfe der

Vereinfachungen aus Gleichung (2.18) und (2.20) können auch die Eigenschaften von komplizierteren Operationsverstärker-Beschaltungen mit Hilfe von einfachen Knoten- und Maschengleichungen bestimmt werden.

2.3.2 Beispiel: Der invertierende Verstärker

Exemplarisch soll die Berechnung einer Operationsverstärkerschaltung im Folgenden für die in Abbildung 2.13 gezeigte Schaltung durchgeführt werden. Die Eigenschaften der Schaltung können mit den Kirchhoff'schen Gesetzen berechnet werden.

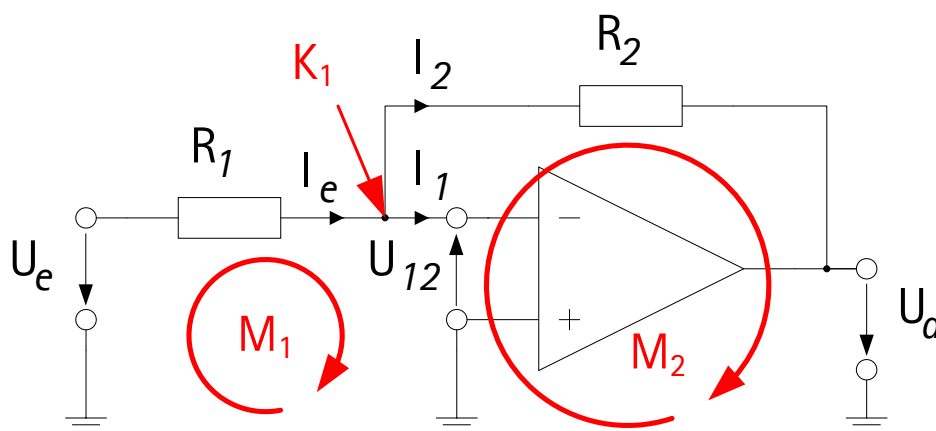


Abbildung 2.13: Invertierender Verstärker

Zuerst stelle man die Knotengleichung am invertierenden Eingang auf:

$$K_1: I_e = I_1 + I_2 \quad (2.21)$$

Der Zusammenhang vereinfacht sich mit der Annahme eines idealen Operationsverstärkers mit unendlich großem Eingangswiderstand (2.18) zu:

$$I_e = I_2 = I \quad (2.22)$$

Die Eingangsmasche M_1 ergibt:

$$M_1: U_e = -U_{12} + I \cdot R_1 \quad (2.23)$$

Die Masche M_2 , welche die Ausgangsspannung mit einbezieht, ergibt die Gleichung:

$$M_2: U_a = -U_{12} - I \cdot R_2 \quad (2.24)$$

Mit Gleichung (2.20) lässt sich U_{12} eliminieren und durch Umformen nach lassen sich die beiden Maschengleichungen zusammenfassen. Das Schaltungsverhalten kann damit mit einer einzigen Gleichung beschrieben werden:

$$U_a = -U_e \frac{R_2}{R_1} \quad (2.25)$$

Die Schaltung multipliziert entsprechend Gleichung (2.25) eine Eingangsspannung mit einem konstanten, negativen Faktor, der ausschließlich durch das Verhältnis der Widerstände bestimmt wird. Daher wird sie als invertierende Verstärkerschaltung bezeichnet.

3 Gesamtsystem

Ein Oszilloskop dient zur Visualisierung von elektrischen Signalen. Insbesondere zeitliche Verläufe von z.B. Audiosignalen lassen sich mit einem Oszilloskop darstellen. Das in diesem Projekt zu realisierende PC-Oszilloskop soll diese Funktionalität unter Verwendung einfacher Mittel gewährleisten. Als Benutzer-Interface wird eine PC-Software eingesetzt. Sie dient zur Darstellung des gemessenen Signals und zur Auswahl des gewünschten Messbereichs. Das Eingangssignal, das mit dem Oszilloskop dargestellt werden soll, ist analog. Zur Verarbeitung am Rechner muss deswegen eine Wandlung in ein digitales Signal erfolgen. Die Wandlung soll außerhalb des PCs, im digitalen Teil der Schaltung erfolgen. Die Kommunikation dieser externen Hardware mit dem PC erfolgt mittels der USB-Schnittstelle. Bevor das digitale Signal per USB an den PC übertragen werden kann, muss eine digitale Signalverarbeitung erfolgen. Alle Funktionen der Digitalschaltung werden in diesem Projekt durch einen Mikrocontroller mit entsprechender Firmware realisiert.

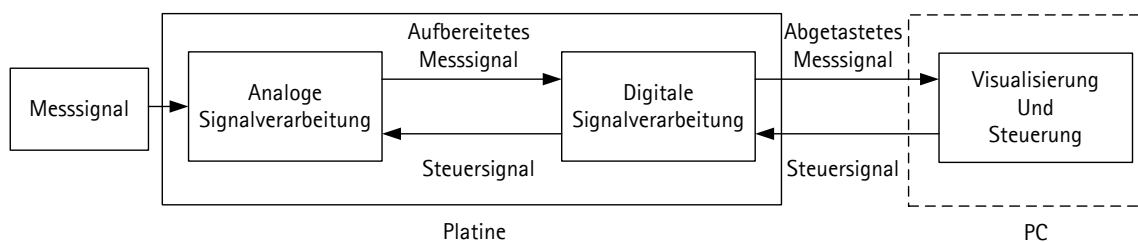


Abbildung 3.1: Blockschaltbild des Gesamtsystems

Vor der Wandlung zum digitalen Signal ist eine analoge Signalvorverarbeitung notwendig, damit das Signal korrekt dargestellt werden kann. Der Entwurf und die Realisierung dieser analogen Signalverarbeitung ist die Hauptaufgabe des Projektes. Abbildung 3.1 zeigt ein Blockschaltbild des Gesamtsystems.

Zur Förderung der Übersichtlichkeit sind die Hauptblöcke, der analoge und der digitale Teil der Schaltung, in separate Kapitel eingegliedert.

3.1 Software

In diesem Kapitel wird näher auf die verwendete Software eingegangen. Abbildung 3.2 zeigt die graphische Oberfläche der Steuerungs- und Visualisierungssoftware. Sie ist einem realen Oszilloskop nachempfunden und bietet entsprechende Bedienmöglichkeiten.

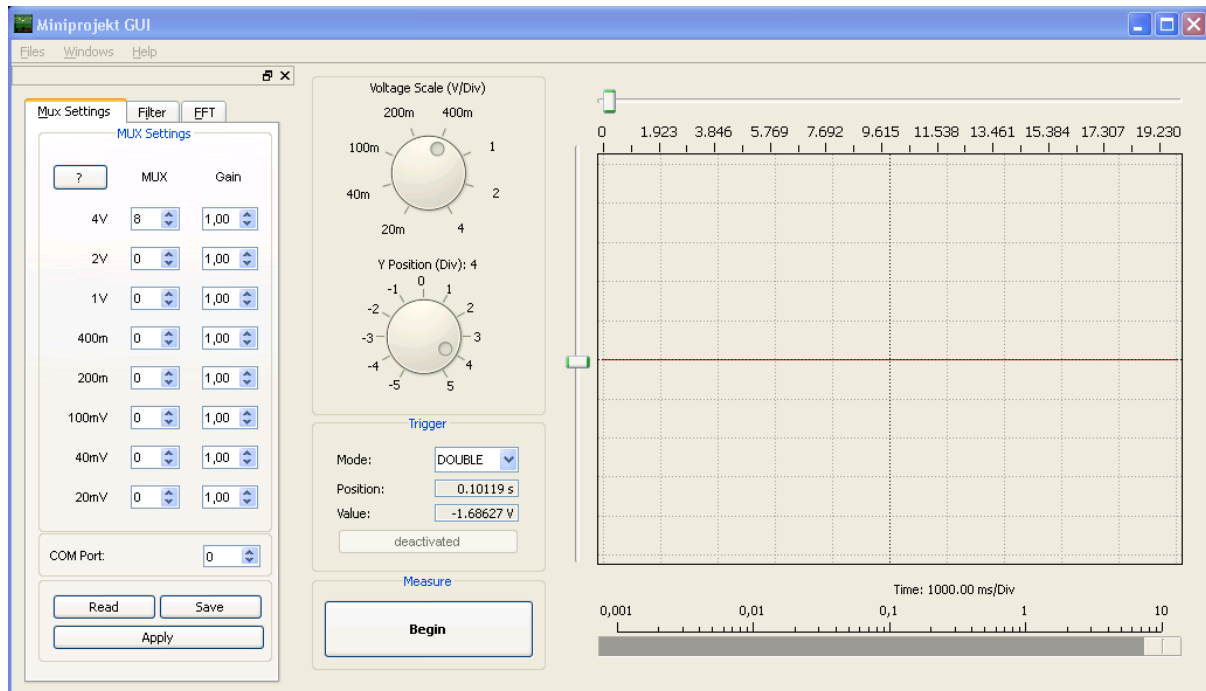


Abbildung 3.2: Graphische Oberfläche unter Windows

Durch Betätigen des Schalters „Measure“ werden die Messdaten auf dem rechten Bereich dargestellt. Die zeitliche Auflösung des Signals wird mit dem Schieberegler „Time/Div“ am unteren Rand der Oberfläche gewählt. Mittels des unteren Drehknopfes wird die Y-Position am Bildschirm bestimmt. Mit dem oberen Drehknopf wird die vertikale Auflösung gewählt. Hier wird bestimmt, wie die das darzustellende Spannungssignal skaliert wird. Durch diese Auswahl legt man den Messbereich fest. Die analoge Signalverarbeitung soll je nach Messbereich unterschiedlich arbeiten, deshalb wird von der Software ein 3-Bit Steuersignal über die USB-Schnittstelle zur Hardware gesendet. Es beeinflusst dort einen Multiplexer. Die Zuordnung der 3-Bit-Codierung zu den Messbereichen kann unter „Mux Settings“ vorgenommen werden. Unter „COM-Port“ kann der vorher im Gerätemanager ermittelte Port der Oszilloskop-Hardware eingetragen werden. Veränderte Einstellungen werden erst nach dem Klicken auf „Apply“ wirksam. Die Einstellungen können gespeichert und wieder eingelesen werden.

3.2 Kommunikationsschnittstelle

Abbildung 4.2 stellt die Anbindung der PC-Software an den digitalen Teil der zu entwerfenden Schaltung dar.

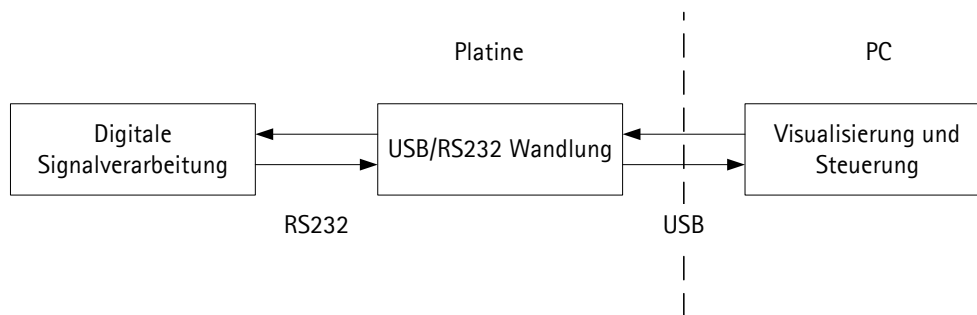


Abbildung 3.3: Blockschaltbild der Kommunikationsschnittstelle

Der PC ist dabei über eine USB-Schnittstelle mit der Platine, auf welcher die digitale Signalverarbeitung mit einem Mikrocontroller durchgeführt wird, verbunden. Das USB-Protokoll kann vom eingesetzten Mikrocontroller nicht direkt verarbeitet werden. Daher ist ein USB/RS232-Wandlerbaustein nötig. Das RS232-Protokoll ist ein verbreiteter, herstellerunabhängiger serieller Kommunikationsstandard. Auf vielen Mikrocontrollern sind bereits Funktionsblöcke zur Unterstützung dieses Protokolls implementiert. Diese werden meist als UART, Universal Asynchronous Serial Receiver and Transmitter, bezeichnet, und nehmen die Umwandlung eines parallelen Datenwortes in eine serielle Bitanordnung vor.

Exkurs: Der RS232 Standard

Der RS232-Standard, heute als EIA-232 bezeichnet, beschreibt die Verbindung zweier Kommunikationsteilnehmer über eine serielle Schnittstelle. Der Standard wurde 1969 entwickelt, um die Verbindung zwischen einem Terminal und einem Modem zu definieren. Er findet in vielen anderen Bereichen Anwendung, in denen eine Datenübertragung ohne kritische Sicherheitsanforderungen aufgebaut werden muss. Der Standard wird von Mikrocontrollern zu Steuerungs- oder Ausgabezwecken verwendet um sich mit einem PC zu verbinden. RS232 definiert für die Übertragung sowohl ein Übertragungsprotokoll als auch zu verwendenden Stecker und Signalpegel auf der Leitung. Es handelt sich um einen seriellen, digitalen Übertragungsstandard, d.h. die einzelnen Bits eines Datenwortes werden hintereinander auf der Leitung übertragen. Längere Nachrichten müssen dabei in einzelne Datenworte aufgeteilt werden, die für die Übertragung mit weiteren Steuerungsinformationen versehen werden. Die Struktur eines Datenwortes ist in Tabelle 4.1 zu sehen.

Startbit (logische Null)	Datenfeld	Parität	Stopbit (logische eins)
1 Bit	5-8 Bit	0-1 Bit	1-2 Bit

Tabelle 3.1: Format eines RS232-Datenworts

Für eine fehlerfreie Übertragung müssen die Parameter der Übertragung beiden Kommunikationsteilnehmern vor der Kommunikation bekannt sein. Dazu gehören:

- Startbit
- Die Länge des Datenfeldes
- Gerade, ungerade oder keine Parität
- Stop Bit
- Die Datenrate der Übertragung. Üblich sind Baudraten von 50 Bits pro Sekunde bis einige Mbps
- Der verwendete Flusskontrolle Modus

RS232 spezifiziert auch mehrere Mechanismen, mit denen ein Empfänger den Sender anweisen kann, die Datenübertragung temporär zu unterbrechen, z.B. wenn er die empfangenen Daten nicht so schnell verarbeiten kann, wie sie gesendet werden. Solche Mechanismen werden in der Nachrichtentechnik als Flusskontrolle bezeichnet.

Für die Flusskontrolle kann zwischen Sender und Empfänger einer von mehreren Mechanismen vereinbart werden:

- Hardware-Handshake: Zur Signalisieren, ob der Empfänger bereit für Daten ist, werden eigene Leitungen benutzt, CTS, Clear to Send, und RTS, Request To Send, genannt. Diese werden auf High-Pegel gesetzt, wenn die Gegenstelle bereit zum Datenempfang ist.
- Software-Handshake: Der Empfänger sendet bestimmte Zeichen an den Sender, um ihm zu signalisieren, dass er bereit für eine Datenübertragung ist.
- Die Flusskontrolle kann alternativ entfallen.

RS232 definiert für eine logische eins einen Spannungspegel von $-3V$ bis $-15V$, für eine logische Null einen Pegel von $+3V$ bis $+15V$. Üblich und von den meisten PCs unterstützt, sind Pegel von $\pm 12V$.

RS232 ermöglicht eine Datenübertragung im Vollduplex-Modus, d.h. jeder Kommunikationsteilnehmer kann gleichzeitig senden und empfangen. Dafür werden verschiedene, physikalisch getrennte Leitungen verwendet. Jedes Endgerät besitzt für die Datenübertragung die Leitungen TxD und RxD sowie im Fall eines Hardware-Handshake die Leitungen RTS und CTS. Für eine erfolgreiche Kommunikation müssen die Kommunikationsteilnehmer asymmetrisch verbunden werden, dies ist in Abbildung 3.4 aufgezeigt.

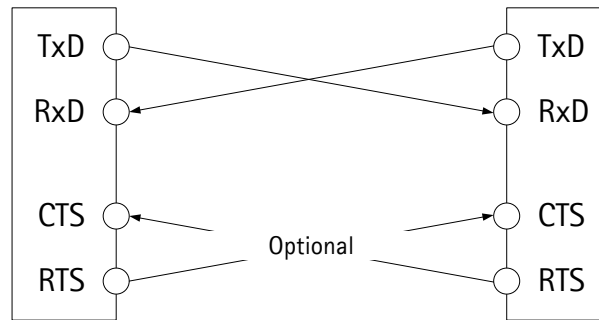


Abbildung 3.4: Asymetrische Verbindung zweier Kommunikationsteilnehmer

Wird auf einer Leitung nicht gesendet, so wird sie vom Sender auf Low-Pegel, logisch 1, gehalten. Zieht der Sender die Leitung für ein Bit auf High-Pegel, logisch 0, dies entspricht dem Start Bit, so signalisiert er dem Empfänger damit, dass anschließend eine Datenübertragung folgt. Die Kodierung von einem Low Pegel als logische eins wird auch negative Logik genannt. Für den Empfang tastet dieser die Leitung entsprechend der vereinbarten Datenrate ab. Die Länge einer zu erwartenden Nachricht lässt sich ebenfalls aus den vorher vereinbarten Kommunikationsparametern ableiten.

3.2.1 Parameter und Datenformat für die Kommunikation mit dem PC

Für die Kommunikation zwischen Mikrocontroller und PC im Rahmen des PC-Oszilloskops werden folgende Datenformate vereinbart:

- Hat der Mikrocontroller einen Messwert Analog zu Digital umgesetzt, so schickt er ihn sofort über seine RS232-Schnittstelle an den PC. Jeder gewandelte Wert wird dabei als vorzeichenloser 8Bit-Wert gesendet. Da die A/D-Wandlung eine Genauigkeit von 10Bit aufweist, sollen die beiden Least Significant Bits des Wandlungsergebnisses ignoriert werden. Daraus ergibt sich ein tolerierbarer Fehler von maximal 0,4%, bzw. 0,02V bei maximaler Aussteuerung des A/D-Wandler-Wertebereichs
- Das Steuersignal für die Bereichswahl ist 3Bit breit. Es wird in der Digitalschaltung pegelgewandelt und steuert in der Analogschaltung einen Multiplexer an. Es wird ebenfalls als 8Bit-Wert gesendet, dessen 5 MSBs, Most Significant Bits, den Wert Null besitzen.

Folgende Parameter sollen für die RS232-Kommunikation verwendet werden:

Flusskontrolle	Rahmenformat	Parität	Baud Rate
Keine Flusskontrolle	8 Datenbits Et 1 Stopbit	Keine	1 Mbps

Tabelle 3.2: Parameter der RS232-Kommunikation



4 Digitalschaltung

Das Eingangssignal, das mit dem Oszilloskop dargestellt werden soll, ist analog, d.h. sowohl zeit- als auch wertekontinuierlich. Zur Verarbeitung am Rechner muss eine Wandlung in ein digitales Signal erfolgen. Dem kontinuierlichen Signal wird dabei eine Folge von Werten endlicher Genauigkeit in äquidistanten Zeitschritten zugeordnet.

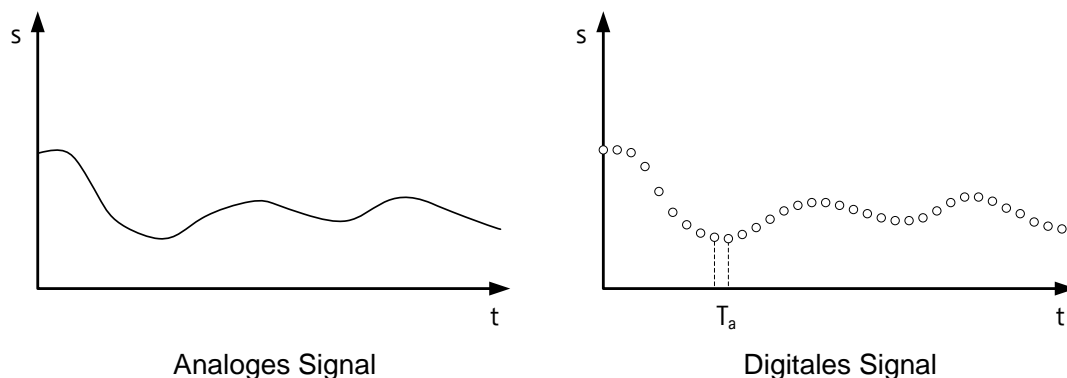


Abbildung 4.1: Diskretisierung analoger Signale

Die Diskretisierung im Zeitbereich, das Messen und Festhalten von Werten des Analogsignals, wird als Abtastung bezeichnet. Dieser Vorgang erfolgt in äquidistanten zeitlichen Abständen T_a . Die Größe $f_a = \frac{1}{T_a}$ wird als Abtastfrequenz bezeichnet.

Die Diskretisierung im Wertebereich, d.h. das Zuordnen der Abtastwerte mit kontinuierlichem Wertebereich zu Werten aus einem gestuften Wertebereich mit endlicher Genauigkeit, wird als Quantisierung bezeichnet. Die Auflösung dieser Zuordnung wird häufig durch die Wortbreite eines Abtastwertes in Bit angegeben. Zusammen mit den absoluten Wertebereichsgrenzen lässt sich ein absoluter Wert für die Auflösung der Quantisierung und damit den maximalen Fehler des Verfahrens angeben.

Wird z.B. ein Signal im Intervall $[0 \text{ V}; 5 \text{ V}]$ mit einer Genauigkeit von 8Bit quantisiert, so wird jedem Abtastwert im Wertebereich ein 8-Bit Wert zugeordnet. Die Auflösung der Quantisierung beträgt somit $\frac{5\text{V}}{2^8} \approx 19,53 \text{ mV}$.

Die Verbindung von Abtastung und Quantisierung eines analogen Signals wird als Analog-Digital-Wandlung (A/D-Wandlung) bezeichnet. In diesem Projekt wird der A/D-Wandler eines Mikrocontrollers benutzt. Dies hat den Vorteil, dass der Mikrocontroller auch weitere Funktionen der Digitalschaltung übernehmen kann.

4.1 Komponenten der Digitalschaltung

In diesem Projekt wird die Digitalschaltung zur Verfügung gestellt und soll in die zu entwerfende Platine integriert werden. Abbildung 4.2 zeigt die einzelnen Bestandteile, von denen die wesentlichen im Folgenden erläutert werden.

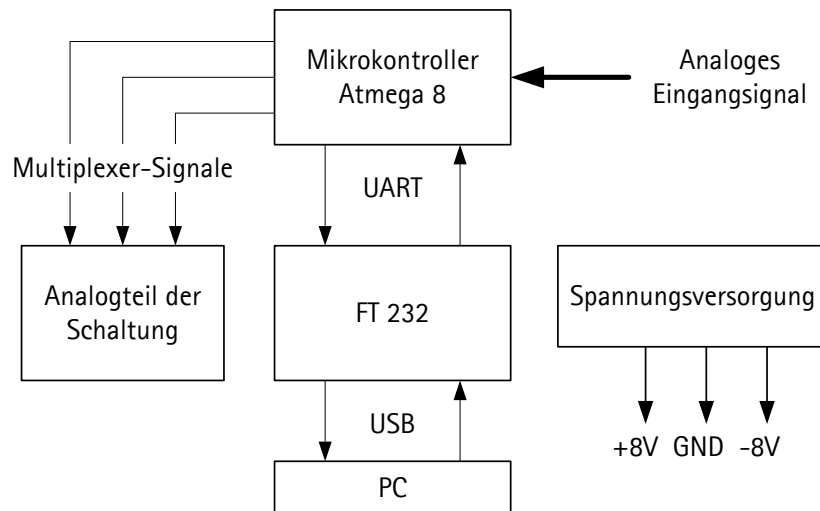


Abbildung 4.2: Blockschaltbild der Digitalschaltung

Die Aufgaben dieses Blocks sind:

- Analog/Digital-Wandlung des analogen Eingangssignals
- Senden der gewandelten Messwerte über die UART-Schnittstelle
- Empfangen der Multiplexer-Einstellungen vom PC über UART
- Bereitstellen der Multiplexer-Signale für den analogen Block
- Bereitstellen der Versorgungsspannung für den analogen Block

4.1.1 Mikrocontroller (ATmega8)

Fast alle zuvor beschriebenen Aufgaben der Digitalschaltung können auf einem Mikrocontroller implementiert werden. Lediglich für das Erzeugen der Versorgungsspannung und für die Kommunikation via USB werden eigene ICs benötigt. Ein Mikrocontroller ist ein Halbleiterchip, der einen Prozessor enthält. Im Gegensatz zu PC Prozessoren sind weitere Komponenten wie Speicher, Analog-Digital-Wandler, Digital-Analog-Wandler usw. integriert. Eine Anwendung kommt auf diese Weise mit wenigen Bauteilen aus. Anschaulich ist ein Mikrocontroller vergleichbar mit einem Ein-Chip-Computersystem.

Die Implementierung der Funktionen der Digitalschaltung kann bei Verwendung eines Mikrocontrollers in Software erfolgen, die auf dem Mikrocontroller ausgeführt wird. Diese wird als Firmware bezeichnet. Der ATmega8 ist ein Mikrocontroller aus der 8-Bit-RISC-Prozessor-Familie der Firma Atmel (AVR-

Controllerfamilie). Dieser Mikrocontroller ist unter anderem als Variante im DIL-Gehäuse (PDIP) verfügbar.

Einige Merkmale des ATmega8:

- Instruktionssatz mit 130 Befehlen
- 8KBytes Flash (Programmspeicher)
- 1KBytes SRAM (flüchtiger Datenspeicher)
- 512Bytes EEPROM (persistenter Datenspeicher)
- maximal 23 I/O Pins
- maximale Taktfrequenz 16MHz (extern), 8MHz (intern)
- Timer/Counter: zwei 8Bit, ein 16Bit
- drei PWM Kanäle
- ein 10Bit ADC mit 6 Kanälen
- Analog-Komparator
- UART-Schnittstelle

Ein Programm, das auf einem Mikrocontroller ausgeführt werden soll, kann in den Programmiersprachen Assembler, BASIC oder C geschrieben werden. Beim Kompilier-Vorgang wird ein Programm in eine Abfolge von prozessorspezifischen Instruktionen umgewandelt, die in den Flash-Speicher des Mikrocontrollers übertragen und von dort vom Prozessor ausgeführt werden können.

4.1.2 A/D-Wandlung mit dem ATmega8

Der ATmega8 ist mit einem 10Bit A/D-Wandler ausgerüstet. Dieser wandelt einen analogen Spannungswert, der an einem der IO-Pins PC0 bis PC5 anliegt, in ein 10Bit breites Datenwort um. Der anliegende Spannungswert U_{in} in der Einheit Volt ergibt sich aus dem Wandlerwert ADC mit der Referenzspannung U_{ref} , die gleichzeitig auch den maximal umwandelbaren Wert festlegt, nach folgender Gleichung:

$$U_{in} = ADC \frac{U_{ref}}{2^{10}} \quad (4.1)$$

Als Referenzspannung kann die am Pin AVCC angelegte oder eine interne 2,56V Spannungsreferenz verwendet werden.

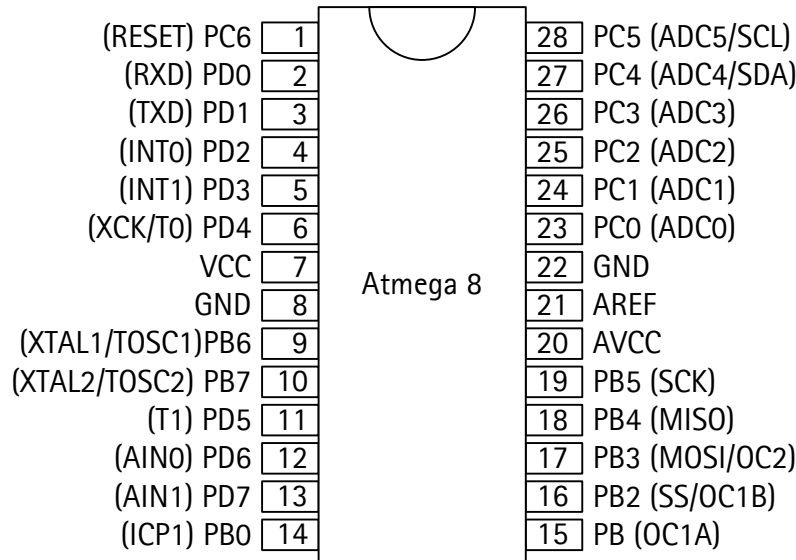


Abbildung 4.3: Pin Layout ATmega8

Der Wandler kann in den Modi „Single Conversion“ oder „Free Running“ betrieben werden. Entsprechend muss jede Wandlung explizit beauftragt werden oder der Wandler führt fortlaufend Wandlungen in einem festen Zeitabstand durch. Die aus diesem Zeitabstand resultierende Abtastfrequenz kann abhängig vom Systemtakt des Mikrocontrollers festgelegt werden.

Aus dem Datenblatt des ATmega8 ist zu entnehmen, dass der A/D-Wandler mit einem Takt von bis zu 200 kHz eine Genauigkeit von 10Bit einhalten kann. Da im Betrieb in der Oszilloskopschaltung jedoch nur die 8 MSBs an den PC weiterübertragen werden und die beiden „least significant bits“ (LSBs) verfallen (siehe Kapitel 3.2.1), kann der Wandler mit einem Takt von 500kHz betrieben werden. Eine Wandlung dauert laut Datenblatt 13 Takte. Dadurch ergibt sich eine mögliche Abtastfrequenz von ca. 38,46kHz für das PC-Oszilloskop. Diese soll beim Design des analogen Schaltungsteils berücksichtigt werden.

Wurde ein neuer Wert A/D-gewandelt, so ist dieser unbedingt zu verarbeiten, bevor ein neuer Wert vorliegt. Daher wird die Verarbeitung durch Nutzung von so genannten Interrupts durchgeführt. Ein Interrupt ist eine kurzfristige Unterbrechung des regulären Programmablaufs. Der ATmega8 lässt sich entsprechend so konfigurieren, dass bei jedem vollständigen Wandlungsvorgang ein Interrupt ausgelöst wird.

4.1.3 Baustein zur Kommunikation mit dem PC (FT232RL)

Der Baustein FT232RL stellt eine vollständige USB-Schnittstelle zur Verfügung, über welche die Kommunikation mit dem PC erfolgen kann.

Rechnerseitig sind entsprechende Treiber vorhanden, so dass die Hardware des Oszilloskops als COM-Port angesprochen wird und so der Datenaustausch mit der Software erfolgen kann.

Mikrocontrollerseitig besitzt der Baustein Ports, die direkt mit den TxD/RxD-Ports der UART-Schnittstelle des Mikrocontrollers verbunden werden können.

Weitere Details zu Ein- und Ausgängen sowie externer Beschaltung des Bauteils können dem Datenblatt entnommen werden. In diesem Projekt ist die Beschaltung des Bausteins bereits vorgegeben.

4.1.4 Spannungsversorgung

Neben dem Datensignal stellt der USB-Stecker auch zwei Leitungen zur Spannungsversorgung von angeschlossenen Geräten mit +5V bereit. Dabei kann die Schnittstelle maximal 500mA Strom liefern.

Die Spannungsversorgung der gesamten Schaltung erfolgt daher in diesem Projekt über den USB-Port. Entsprechende Leitungen sind bereits in der vorgegebenen Schaltung für den digitalen Teil integriert. Aus der Digitalschaltung wird auch die Versorgungsspannung für den Analogteil zur Verfügung gestellt. Während die Digitalschaltung mit den vom USB-Stecker bereitgestellten +5V betrieben werden kann, soll der analoge Teil der Schaltung mit den Gleichspannungen +8V und -8V sowie Massepotential versorgt werden. Diese Spannungen werden über einen DC-DC-Konverter mit zwei nachgeschaltetem Line-arreglern erzeugt. Diese Schaltung ist im vorgegebenen Design bereits enthalten.



5 Analogschaltung

Im Folgenden werden zuerst Schnittstellen und Spezifikationen festgelegt, welche für die analoge Schaltung gelten müssen. Anschließend wird die Struktur der Schaltung als Blockschaltbild beschrieben. Der Entwurf der einzelnen Baugruppen aus diskreten Bauteilen kann Schritt für Schritt anhand der Aufgaben in Kapitel 7 durchgeführt werden.

5.1 Ein- und Ausgangssignale des Analogen Schaltungsblocks

Abbildung 5.1 zeigt schematisch die Ein- und Ausgangssignale der zu entwerfenden Analogschaltung. Das Eingangssignal ist die zu untersuchende Spannung, die gegen Masse abgegriffen wird. Die Steuerung des Messbereichs erfolgt über drei Datenleitungen, an denen logische Signalpegel (High=8V und Low=0V) anliegen.

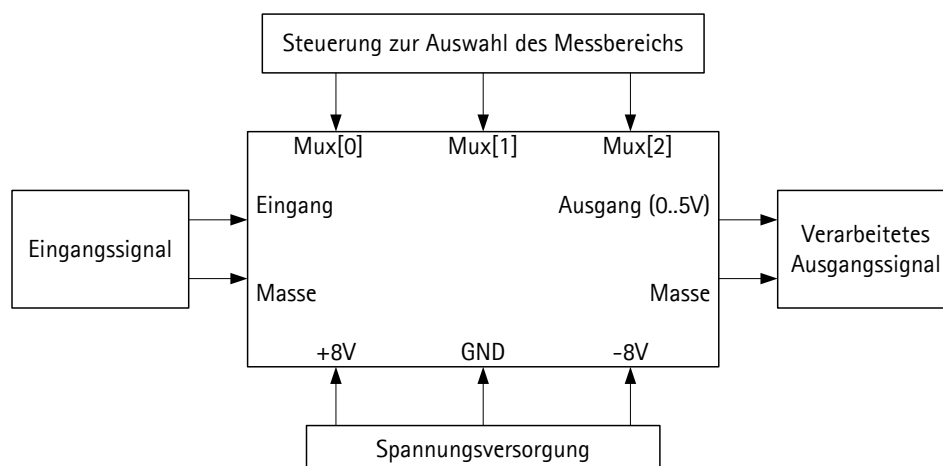


Abbildung 5.1: Ein- und Ausgangssignale der Analogschaltung

5.2 Spezifikation

Die folgenden Anforderungen werden an die zu entwerfende analoge Signalvorverarbeitung gestellt:

- Der analoge Teil soll die Möglichkeit bieten, den Gleichanteil eines Signals zu unterdrücken. Ein Schalter soll die Auswahl ermöglichen, ob ein Signal mit oder ohne Gleichanteil verarbeitet wird.
- Die Messbereiche des Oszilloskops lassen sich in der Software vorgeben. Das 3-Bit-Steuersignal muss entsprechend den Messbereichen umgesetzt werden.
- Das Ausgangssignal der Analogschaltung ist das Eingangssignal des A/D-Wandlers der nachfolgenden Stufe. Der Wandler hat einen Eingangsbereich von 0 – 5V. Für eine optimale Darstellung

sollte das größte Signal eines Messbereichs den Wandler möglichst gut aussteuern. Die Signalamplitude für das verarbeitete größte Signal in einem Messbereich muss also ca. 2,5V betragen. In Abstimmung mit der Oszilloskop-Software kann die Schaltung jedoch so entworfen werden, dass die maximale Signalamplitude in einem Messbereich 2V beträgt. Die Messbereiche des PC-Oszilloskops sind in Tabelle 5.1 angegeben. Die aktiven Bauelemente verfügen über eine maximale Spannung an Eingängen und Versorgung, welche bei der Bereichswahl berücksichtigt werden muss.

20V	10V	5V	2V
1V	500mV	200mV	100mV

Tabelle 5.1: In der Oszilloskop-Software einstellbare Messbereiche

- Für Signale muss eine Verschiebung auf der Y-Achse (Offset-Anpassung) erfolgen können, um das Signal ggf. in den Anzeigebereich zu verschieben. Da der Betrag der Verschiebung von der Amplitude des zu untersuchenden Signals abhängt und auch Signale mit Gleichanteil verarbeitet werden, muss die Verschiebung von Hand einstellbar sein.
- Damit bei der Wandlung kein Aliasing auftritt, muss das Signal am Wandler tiefpassbegrenzt sein. Die Grenzfrequenz des Tiefpass ergibt sich aus der Abtastfrequenz des A/D-Wandlers von ca. 38kHz nach dem Abtasttheorem (siehe Abschnitt 2.2)
- Das Signal am Wandler soll „formgetreu“ sein, d.h. es darf nicht das invertierte Eingangssignal anliegen.
- Der Eingangswiderstand der Messschaltung soll mindestens 1M Ω betragen, da die meisten Oszilloskop-Tastköpfe auf 1M Ω ausgelegt sind.
- Die Zeitkonstante am Eingang der Schaltung soll höchstens 1 Sekunde betragen.
- Die Digitalschaltung erzeugt die Versorgungsspannung der Anlogschaltung und kann einen maximalen Ausgangstrom von ca. 80mA liefern. Die Anlogschaltung muss unter Berücksichtigung dieses maximalen Ausgangsstromes entworfen werden. Kalkulieren sie für die aktiven Bauteile in etwa Stromaufnahmen entsprechend Tabelle 5.2.

Aktives Bauteil	I _{cc}
Operationsverstärker TL 082	6mA
Multiplexer MOS 4051	2mA

Tabelle 5.2: Stromaufnahmen der aktiven Bauteile des Anlogschaltung

5.3 Struktureller Entwurf und Blockschaltbild

Aus den oben genannten Spezifikationen lässt sich zunächst ein struktureller Entwurf erstellen. Die geforderte Funktionalität lässt sich auf einzelne Blöcke aufteilen. Abbildung 5.2 zeigt das resultierende Blockschaltbild und den Signalfluss für den Analogblock.

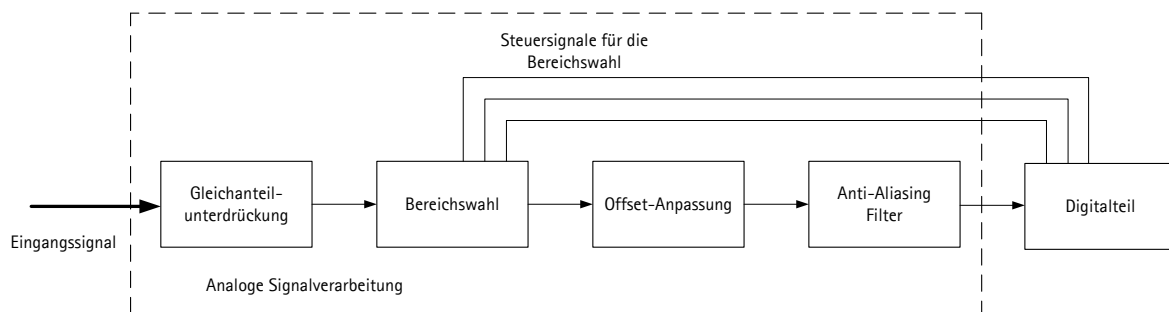


Abbildung 5.2: Blockschaltbild der Anlogschaltung

5.3.1 Gleichanteilunterdrückung

Im ersten Block soll der Gleichanteil des zu messenden Signals herausgefiltert werden.

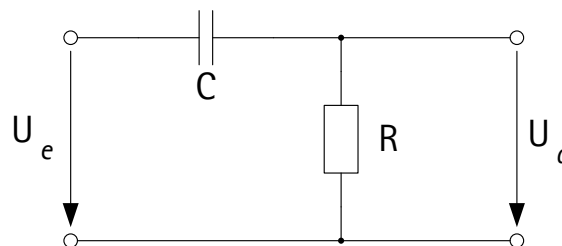


Abbildung 5.3: Passiver Hochpass 1. Ordnung

Der Oszilloskop-Betriebsmodus mit unterdrücktem Gleichanteil wird auch als AC-Coupling bezeichnet. Wird der Gleichanteil nicht unterdrückt und folglich im Oszilloskop visualisiert, so spricht man von DC-Coupling. Der Modus soll durch einen Hardware-Schalter ausgewählt werden können. Dieser Funktionsblock lässt sich durch eine Hochpassschaltung realisieren, wie in Abbildung 5.3 gezeigt. Erläuterungen zum Filterentwurf finden sich in Kapitel 2.1, Teilaufgaben zum Entwurf von Hochpassschaltungen in Abschnitt Aufgabe 7:.

5.4 Bereichswahl

Im Block Bereichswahl wird der gewählte Messbereich eingestellt. Je nach gewähltem Bereich in der Steuerungssoftware, siehe Kapitel 3.1, muss hier eine Signalabschwächung oder -verstärkung stattfinden. Der gewählte Bereich wird dem Block über ein 3Bit breites Steuersignal übergeben, das an den

Steuereingang eines Analogmultiplexers angelegt wird, siehe Kapitel 6.3. Am Ausgang dieses Blocks soll die Amplitude des Signals nicht größer als 2V, dem maximalen Wert für den Wandler, sein. Deshalb müssen Signale mit größeren Amplituden abgeschwächt werden. Das kann mit einem Spannungsteiler erfolgen. Durch die Verwendung mehrerer Widerstände im Spannungsteiler kann die Signalamplitude durch unterschiedliche Faktoren geteilt werden. Abhängig vom gewählten Bereich liegt am Ausgang des Multiplexers dann das ursprüngliche oder in der Amplitude um den gewünschten Wert verringerte Spannungssignal an.

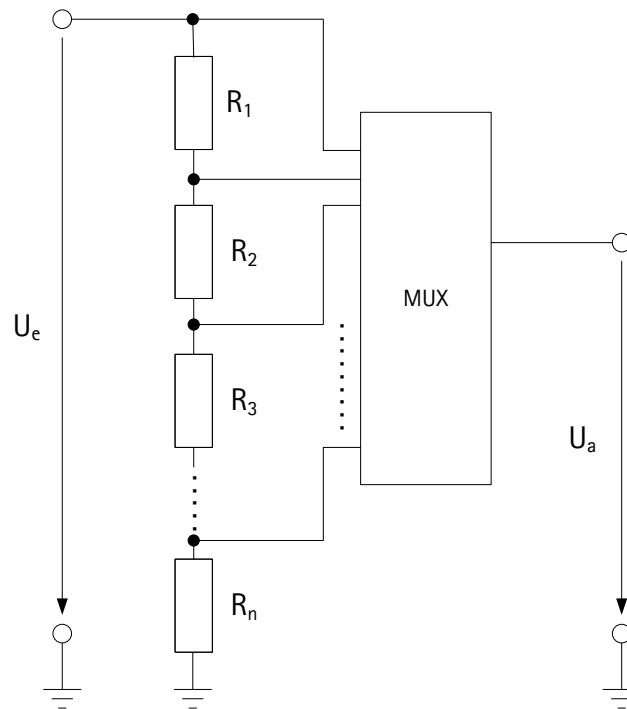


Abbildung 5.4: Variabler Spannungsteiler am Multiplexer

Abbildung 5.4 zeigt einen Spannungsteiler, dessen Abgriffe durch einen Multiplexer geschaltet werden. Signale mit einer Amplitude kleiner als 1V müssen verstärkt werden. Das kann mit einer einfachen Verstärkerschaltung realisiert werden, die einen Operationsverstärker enthält. Durch die Verwendung eines Multiplexers können unterschiedliche Widerstände geschaltet werden und somit die Verstärkung in Abhängigkeit des Messbereichs festgelegt werden. Die Berechnung von Schaltungen mit Operationsverstärkern wird in Abschnitt 2.3 erläutert. Mögliche Verstärkerschaltungen werden in Unterkapitel 2.3.1 sowie im Aufgabenteil, in Kapitel 7, vorgestellt. Hilfreiche Teilaufgaben zum Entwurf von Spannungsteiler- und Verstärkerschaltungen finden sich ebenfalls im Aufgabenteil. Beim Entwurf von Schaltungen mit dem Analogmultiplexer ist zu beachten, dass dieser einen Innenwiderstand von bis zu 175Ω besitzt. Die äußere Beschaltung sollte so gewählt werden, dass dieser Innenwiderstand im Vergleich vernachlässigbar klein ist. Sie sollte sich daher in der Größenordnung von ca. $200k\Omega$ bewegen.

5.5 Offsetanpassung

Im folgenden Block erfolgt die Erläuterung der Offsetanpassung. Das Signal wird um einen einstellbaren Wert verschoben, so dass es hinter diesem Block im geeigneten Bereich zwischen 0V und 4V liegt und der AD-Wandler im richtigen Bereich angesteuert wird.

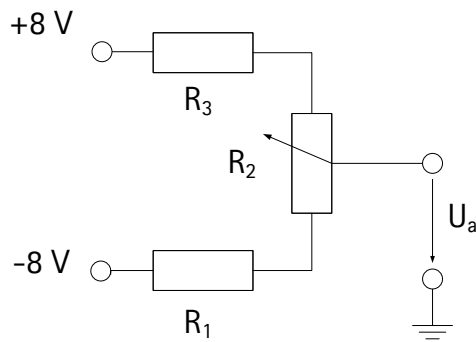


Abbildung 5.5: Einstellbare Spannung

Zum Signal muss dafür eine Gleichspannung addiert werden. Der Betrag der hinzuzufügenden Spannung hängt dabei von der Amplitude des gemessenen Signals ab. Deshalb soll die zu addierende Offsetspannung variabel einzustellen sein. Das Zusammenführen von Spannungssignalen kann mit einer Subtrahierer- oder einer Addiererschaltung, die beide im Rahmen der Aufgaben in Kapitel 7 eingeführt werden, realisiert werden. Eine einstellbare Gleichspannung lässt sich durch einen variablen Spannungsteiler erzeugen. Die Ausgangsspannung ergibt sich je nach Einstellung des Potentiometers. Die Schaltung ist in Abbildung 5.5 gezeigt.

5.6 Anti-Aliasing-Filter

Das Messsignal vor dem Wandler darf nur Frequenzen bis zu einer bestimmten Grenze enthalten. Enthält es dagegen hochfrequente Anteile, so wird die Signalwandlung durch Aliasing beeinträchtigt.

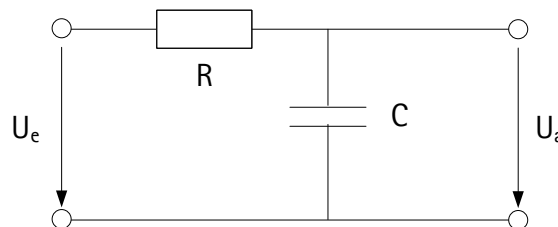


Abbildung 5.6: Passiver Tiefpass erster Ordnung

Daher müssen hochfrequente Signalanteile vor der A/D-Wandlung herausgefiltert werden. Das auf diese Weise im Analogteil verarbeitete Signal wird dann an den A/D-Wandler-Eingang des Mikrocontrollers



geleitet. Für diesen Zweck lässt sich ein Tiefpassfilter verwenden. Dieses lässt sich durch ein RC-Glied realisieren. Abbildung 5.6 zeigt einen RC-Tiefpass. Erläuterungen zum Filterentwurf finden sich in Abschnitt 2.1.

6 Bauelemente

Für die Realisierung der Schaltung stehen unterschiedliche Bauelemente zur Verfügung. Sie sind im Folgenden kurz vorgestellt.

6.1 Passive Bauelemente

Widerstände und Kondensatoren stehen als diskrete Bauteile zur Verfügung. Insbesondere ist bei den Widerständen darauf zu achten, dass aufgrund der zur Verfügung stehenden Baureihen nur bestimmte Werte verwendet werden können. Anhang B enthält eine Auflistung der während des Projekts zur Verfügung stehenden Widerstände und Kondensatoren. Außerdem stehen Potentiometer, einstellbare Widerstände, mit einem Gesamtwiderstand von $100\text{k}\Omega$ zur Verfügung. Sie eignen sich insbesondere, um die Beeinflussung bestimmter Schaltungseigenschaften von Hand zu ermöglichen.

6.2 Operationsverstärker (TL 082)

Operationsverstärker stehen in diesem Projekt als integrierte Schaltkreise vom Typ TL 082 zur Verfügung. Daraus können verschiedene Baugruppen, die in der Analogschaltung des PC-Oszilloskops benötigt werden, durch Variation der äußeren Beschaltung realisiert werden. Regeln zur Berechnung von Operationsverstärkerschaltungen finden sich in Kapitel 2.3.1. Das Pin-Layout des verwendeten ICs, der zwei Operationsverstärker auf einem Chip integriert, ist in Abbildung 6.1 dargestellt.

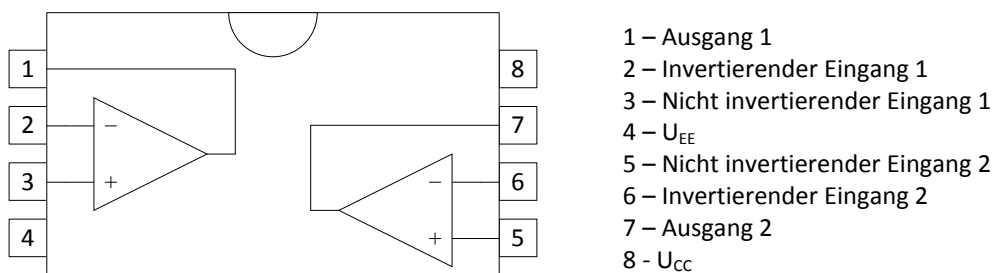


Abbildung 6.1: Pin-Layout TL 082

6.3 Analogmultiplexer (MOS 4051)

Für die Umschaltung von Signalbereichen steht ein Analogmultiplexer zur Verfügung. Es handelt sich hierbei um einen so genannten 8:1-Multiplexer, d.h. er besitzt acht Eingangskanäle, von denen einer direkt zum Ausgang durchgeschaltet werden kann.

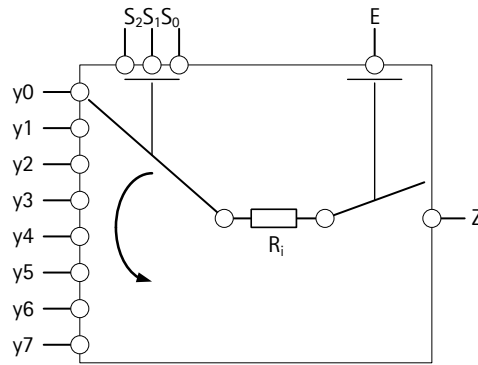


Abbildung 6.2: Schematische Darstellung des Multiplexers

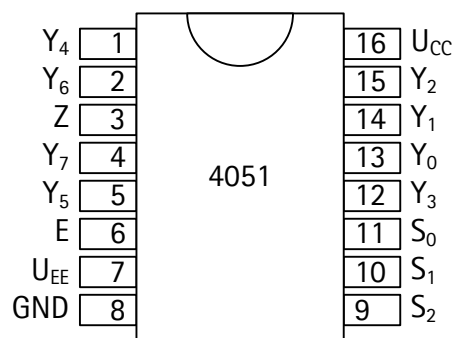


Abbildung 6.3: Pin-Layout MOS 4051

Die Steuerung des Multiplexers erfolgt durch ein digitales Steuersignal. Die Eingangsspannungen können maximal $\pm 8V$ betragen. In Tabelle 6.1 ist die Wahrheitstabelle des Multiplexers dargestellt. Ein „H“ steht für „High“ Pegel, „L“ für „Low“ Pegel und „X“ für „Don't care“. Je nach Wert des Steuersignals wird der entsprechende Kanal des Multiplexers geschaltet. U_{cc} bezeichnet den Eingang für die positive, U_{EE} für die negative Versorgungsspannung. Welcher Dateneingang mit dem Ausgang verbunden ist, entscheidet die Kombination der Select-Bits S_2, S_1, S_0 . Diese Select-Bits können durch das Steuersignal der Digitalschaltung angesteuert werden. Das 3-Bit-Steuersignal entspricht der Zahl, die in der Software für den ausgewählten Bereich eingetragen ist. Beim Entwurf von Schaltungen mit dem MOS 4051 ist zu beachten, dass dieser einen Innenwiderstand von bis zu 175Ω besitzt.

Enable	Steuersignale			Ausgang
E	S ₂	S ₁	S ₀	Z
H	X	X	X	Keiner
L	L	L	L	Y ₀
L	L	L	H	Y ₁
L	L	H	L	Y ₂
L	L	H	H	Y ₃
L	H	L	L	Y ₄
L	H	L	H	Y ₅
L	H	H	L	Y ₆
L	H	H	H	Y ₇

Tabelle 6.1: Wahrheitstabelle MOS 4051



7 Aufgaben

7.1 Dimensionierung und Simulation der einzelnen Schaltungen

Aufgabe 1: Spannungsteiler

Gegeben sei die Schaltung in Abbildung 7.1.

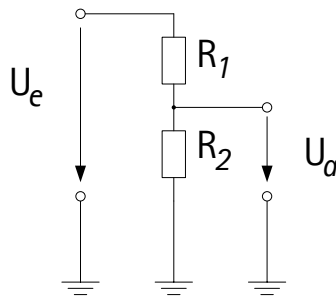


Abbildung 7.1: Spannungsteiler

- Berechnen Sie die Schaltungseigenschaften in der Form $U_a = f(U_e)$ in Abhängigkeit von den gegebenen Größen.
- Machen Sie sich mit der Software Qucs vertraut. Simulieren Sie anschließend die Schaltung mit einer DC-Simulation und überprüfen Sie Ihre Berechnungen.
- Simulieren Sie die Wirkung der Schaltung auf eine harmonische Eingangsgröße mit einer Transienten-Simulation.

Aufgabe 2: Verstärker

Gegeben sei die Schaltung in Abbildung 7.2.

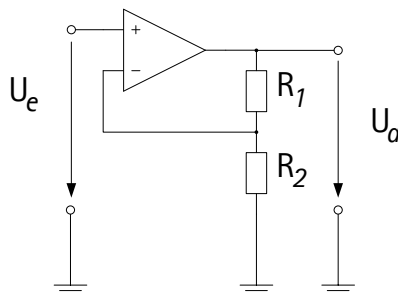


Abbildung 7.2: Verstärker

- Berechnen Sie die Schaltungseigenschaften in der Form $U_a = f(U_e)$ in Abhängigkeit von den gegebenen Größen.
- Simulieren Sie die Schaltung mit einer DC-Simulation und überprüfen Sie Ihre Berechnungen.
- Simulieren Sie die Wirkung der Schaltung auf eine harmonische Eingangsgröße mit einer Transienten-Simulation.

Aufgabe 3: Addierer

Gegeben sei die Schaltung in Abbildung 7.3.

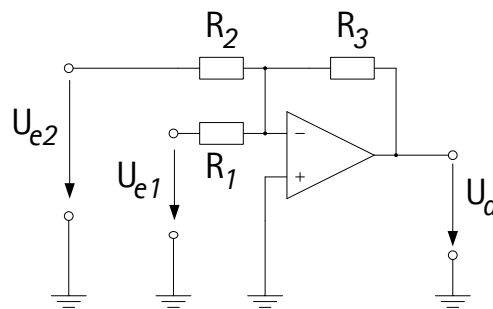


Abbildung 7.3: Addierer

- Berechnen Sie die Schaltungseigenschaften in der Form $U_a = f(U_{e1}, U_{e2})$ in Abhängigkeit von den gegebenen Größen.
- Wie vereinfacht sich $U_a = f(U_{e1}, U_{e2})$, wenn die Beschaltung des Operationsverstärkers so dimensioniert wird, dass gilt $R_1 = R_2 = R_3$?
- Simulieren Sie die Schaltung mit einer DC-Simulation und überprüfen Sie Ihre Berechnungen.
- Simulieren Sie die Wirkung der Schaltung auf eine harmonische Eingangsgröße mit einer Transienten-Simulation.

Aufgabe 4: Subtrahierer

Gegeben sei die Schaltung in Abbildung 7.4.

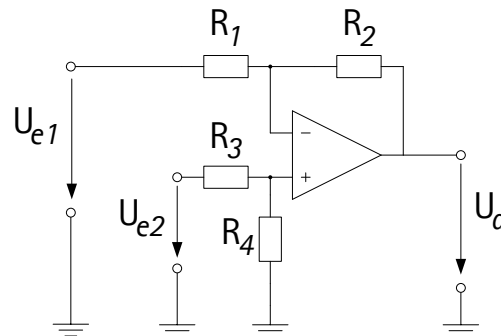


Abbildung 7.4: Subtrahierer

- Berechnen Sie die Schaltungseigenschaften in der Form $U_a = f(U_{e1}, U_{e2})$ in Abhängigkeit von den gegebenen Größen.
- Wie vereinfacht sich $U_a = f(U_{e1}, U_{e2})$, wenn die Beschaltung des Operationsverstärkers so dimensioniert wird, dass gilt: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$?
- Simulieren Sie die Schaltung mit einer DC-Simulation und überprüfen Sie Ihre Berechnungen.
- Simulieren Sie die Wirkung der Schaltung auf eine harmonische Eingangsgröße mit einer Transienten-Simulation.

Aufgabe 5: Variable Gleichspannung

Um mit Hilfe einer Addierer- oder Subtrahiererschaltung eine Offsetanpassung durchführen zu können, wird eine variable Gleichspannung benötigt, siehe auch Abschnitt 5.5. Diese lässt sich aus den Potentialen $U_+ = 8V$ und $U_- = 8V$, die von der Digitalschaltung zur Verfügung gestellt werden, mittels eines Potentiometers und eines Spannungsteilers erzeugen. Die entsprechende Schaltung ist in Abbildung 7.5 zu sehen. Die somit erzeugte, einstellbare Gleichspannung lässt sich vom Messsignal abziehen, indem einer der beiden Eingänge einer Addierer- oder Subtrahiererschaltung mit U_a verbunden wird. Um den Spannungsteiler nicht zu stark zu belasten und damit das Teilungsverhältnis zu ändern, muss der Ausgangsstrom I_a der variablen Spannungsteilerschaltung bei niederohmiger Last begrenzt werden. Für diesen Zweck bietet sich ein nachgeschalteter Impedanzwandler an. Die Schaltung kann mit einem Operationsverstärker, der als Spannungsfolger beschaltet ist (Abbildung 7.7), realisiert werden. Beachten Sie dabei jedoch, dass die Eingänge des Operationsverstärkers nicht mit U_+ und U_- beschaltet werden sollten. Die maximal zulässige Spannung an den Eingängen des Verstärkers können dem Datenblatt entnommen werden.

Daraus ergibt sich folgende Bedingung für U_{Var} :

$$-5V \leq U_{Var} \leq 8V \quad (7.1)$$

- Berechnen Sie einen Ausdruck für U_{Var} in Abhängigkeit der Widerstände R_1, R_2, R_3 und α .
- Dimensionieren Sie die Widerstände R_1, R_3 und das Potentiometer R_2 so, dass diese Bedingung eingehalten wird.
- Simulieren Sie die Schaltung mit einer DC-Simulation und überprüfen Sie Ihre Berechnungen.

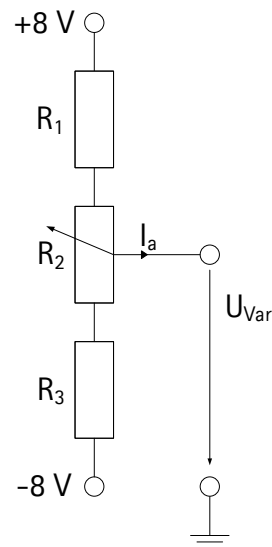


Abbildung 7.5: Erzeugung einer variablen Gleichspannung

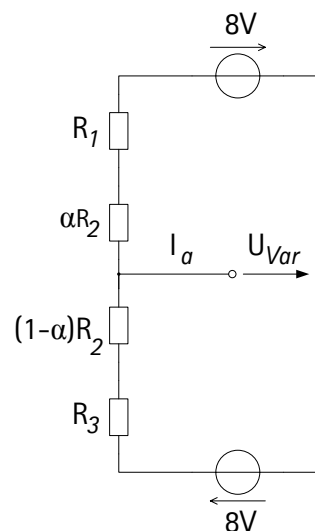


Abbildung 7.6: Ersatzschaltbild zur Dimensionierung der Widerstände

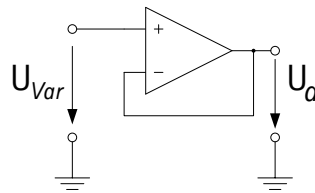


Abbildung 7.7: Impedanzwandler

Aufgabe 6: Tiefpassfilter

Entwerfen Sie ein Tiefpassfilter erster Ordnung.

- Berechnen Sie die Schaltungseigenschaften in der Form $U_a = f(U_e)$ in Abhängigkeit von R, C und ω .
- Dimensionieren Sie das Filter für eine Grenzfrequenz von 1kHz.
- Simulieren Sie das Filter mit einer AC-Simulation und überprüfen Sie Ihre Berechnungen.
- Regen Sie das Filter mit einer Eingangsgröße an, die folgender Überlagerung von harmonischen Funktionen entspricht (siehe Abbildung 7.8) und führen Sie eine Transienten-Simulation durch:

$$u_e(t) = \sin(2\pi \cdot 100\text{Hz} \cdot t) V + \sin(2\pi \cdot 10000\text{Hz} \cdot t) V \quad (7.2)$$

- Vergleichen Sie die Auswirkungen des Filters auf das Ausgangssignal bei einem Lastwiderstand von $5\text{M}\Omega$ mit einem Lastwiderstand von 50Ω .
- Was fällt Ihnen auf? Durch welche Schaltung könnten Sie das auftretende Problem beheben?

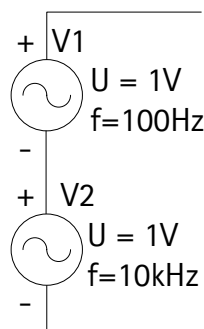


Abbildung 7.8: Quelle Tiefpassfilter

Aufgabe 7: Hochpassfilter

Entwerfen Sie ein Hochpassfilter erster Ordnung

- Berechnen Sie die Schaltungseigenschaften in der Form $U_a = f(U_e)$ in Abhängigkeit von R, C und ω .

- Dimensionieren Sie das Filter für eine Zeitkonstante von $\tau = 1s$.
- Simulieren Sie das Filter mit einer AC-Simulation und überprüfen Sie Ihre Berechnungen.
- Regen Sie das Filter mit einer Eingangsgröße an, die folgender Überlagerung von harmonischen Funktionen entspricht (siehe Abbildung 7.9) und führen Sie eine Transienten-Simulation durch:

$$U_E(T) = 3V + \sin(2\pi \cdot 300Hz \cdot t)V \quad (7.3)$$

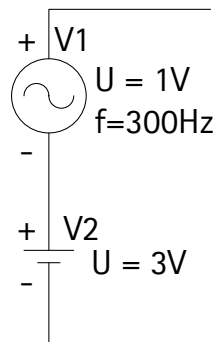


Abbildung 7.9: Quelle Hochpassfilter

Aufgabe 8: Dimensionierung und Simulation der gesamten Schaltung

Entwerfen Sie aus den in Aufgabenteil 7.1 einzeln untersuchten Baugruppen eine Schaltung für die analoge Signalvorverarbeitung des PC-Oszilloskops entsprechend Blockdiagramm Abbildung 5.2. Aus den in diesem Umdruck vorgestellten Operationsverstärker-Grundsaltungen ergeben sich dafür mehrere verschiedene Realisierungsmöglichkeiten.

- Beachten Sie dabei die Anforderungen, denen die analoge Signalvorverarbeitung nach Kapitel 5.2 genügen muss.
- Beachten Sie außerdem die Liste der zur Verfügung stehenden Bauteile.
- Dimensionieren Sie die einzelnen Baugruppen.
- Simulieren Sie die gesamte Schaltung und überprüfen Sie ihr Verhalten durch das Anregen mit verschiedenen Eingangssignalen.

Anmerkung:

- Ein Modell für den Analogmultiplexer steht in der Simulationssoftware nicht zur Verfügung und muss dort mit Schaltern o.ä. nachgebildet werden.

7.2 Aufbau eines Prototypen

Bauen Sie einen Prototyp der von Ihnen simulierten Schaltung am Steckbrett auf.

- a) Regen Sie die Schaltung mit verschiedenen Eingangssignalen an und messen Sie die Resultate der unterschiedlichen Signalverarbeitungsstufen.

Anmerkungen:

- Dokumentieren Sie eventuelle Änderungen Ihres Schaltungsentwurfs sauber nach.
- Der Aufbau am Steckbrett wird schnell unübersichtlich! Verwenden Sie daher für die Versorgungspotentiale bitte ausschließlich folgende Farben, um die Fehlersuche zu erleichtern:

Bezeichnung	Farbe	Potential
V+	Rot	+8V
V-	Blau	-8V
GND	Grau	0V

Abbildung 7.10: Kabelfärbung für die Versorgungspotentiale

Anmerkung:

- Der Stecker vom Digitalboard ist folgendermaßen belegt:

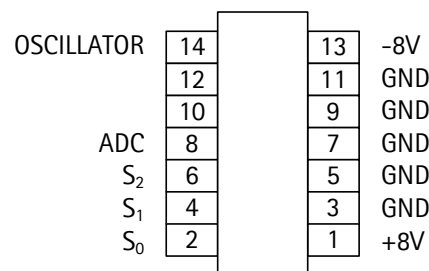


Abbildung 7.11: Pinlayout des Steckers zum Digitalboard

7.3 Platinenlayout

Entwickeln Sie ein Platinenlayout für Ihre Schaltung mit der Software EAGLE.

- Entwerfen Sie einen Schaltplan („Schematic“) Ihrer Schaltung. Verwenden Sie dabei nur Bauteile, die im entsprechenden Package zur Verfügung stehen.
- Öffnen Sie das Schematic für den digitalen Teilentwurf der Schaltung. Integrieren Sie Ihren Schematic für den analogen Teil in den bestehenden Schematic.
- Öffnen Sie das Board-Layout der Schaltung. Entwickeln Sie ein Layout für die Analogschaltung und integrieren Sie es in das bestehende Layout der Digitalschaltung.

Anmerkungen:

- Beachten Sie die Design Rules des IMS für den Platinenentwurf. Zur Überprüfung in EAGLE steht eine *.dru-Datei zur Verfügung. Es ist empfehlenswert, diese Prüfung im Verlauf des Layout-Prozesses immer wieder durchzuführen.
- Es kann eine zweilagige Platine gefertigt werden.
- Die Anfertigung von Leitungsflächen ist möglich und zu empfehlen.

7.4 Bestücken der Platine

Bestücken Sie die gefertigte Platine. Regen Sie die Schaltung wiederum mit verschiedenen Eingangssignalen an und messen Sie die Resultate der unterschiedlichen Signalverarbeitungsstufen.

8 Anhang

Anhang A: Verfügbare Bauteile

Es folgt eine Liste der verfügbaren Bauelemente. Die Packagebezeichnung ist eine Hilfestellung für den Schaltungsentwurf in EAGLE.

10 Ω	220 Ω	47 Ω	330 Ω	100 Ω
470 Ω	150 Ω	1k Ω	1,5k Ω	2,2k Ω
4,7k Ω	10k Ω	22k Ω	27k Ω	33k Ω
47k Ω	100k Ω	220k Ω	470k Ω	1M Ω

Tabelle 8.1: Metallfilm-Widerstandssortiment 390 ST Conrad Package: R-EU_2070

100 Ω	120 Ω	150 Ω	180 Ω	220 Ω
270 Ω	330 Ω	390 Ω	470 Ω	560 Ω
680 Ω	820 Ω	1k Ω	1,2k Ω	1,5k Ω
1,8k Ω	2,2k Ω	2,7k Ω	3,3k Ω	3,9k Ω
4,7k Ω	5,6k Ω	6,8k Ω	8,2k Ω	10k Ω
12k Ω	15k Ω	18k Ω	22k Ω	27k Ω
33k Ω	39k Ω	47k Ω	56k Ω	68k Ω
82k Ω	100k Ω	120k Ω	150k Ω	180k Ω
220k Ω	270k Ω	330k Ω	390k Ω	470k Ω
560k Ω	680k Ω	820k Ω	1M Ω	1,5M Ω

Tabelle 8.2: Metallfilm-Widerstandssortiment E12 Package: R-EU_2070

680pF	1nF	100nF	1 μ F
-------	-----	-------	-----------

Tabelle 8.3: Kondensatoren Package: C-EU025-030X050 oder C-EU050-050X075

Bauteil	Package	Bezeichnung
Analogmultiplexer	DIL16	4051N
Operationsverstärker	DIL08	TL082P

Tabelle 8.4: IC

Bauteil	Package	Beschreibung
Schalter	APEM_5236	Ein Stecker vom Typ 1-polig Ein/Ein steht zur Verfügung. Er besitzt einen Abstand von 4,83mm zwischen seinen 3 in einer Reihe angeordneten Pins
Stecker	CON_COAX	Zum Anschluss eines Tastkopfes kann eine BNC-Print-Einbaubuchse verwendet werden.
Potentiometer	POT	Es stehen Potis mit einem Gesamtwiderstand von 100kΩ zur Verfügung
ATmega8 FT232RL USB-Buchse	Entfällt	Alle weiteren benötigten Bauteile sind in das bereits fertiggestellte Design des Digitalteils integriert und können direkt übernommen werden

Tabelle 8.5: Weitere Bauelemente

Anhang B: Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Frequenzabhängiges Übertragungsverhalten eines Tiefpass	4
Abbildung 2.2: Filter erster Ordnung	5
Abbildung 2.3: Frequenzabhängiges Übertragungsverhalten eines Hochpass.....	6
Abbildung 2.4: Dämpfung eines Tiefpassfilter über eine logarithmische Frequenzskala	7
Abbildung 2.5: Dämpfung eines Hochpassfilter über eine logarithmische Frequenzskala	7
Abbildung 2.6: Überabtastung	8
Abbildung 2.7: Abtastung mit der Nyquistfrequenz.....	8
Abbildung 2.8: Unterabtastung.....	9
Abbildung 2.9: Operationsverstärker	10
Abbildung 2.10: Innenaufbau Operationsverstärker $\mu A741$	10
Abbildung 2.11: Operationsverstärker mit eingezeichneten Strömen und Spannungen	11
Abbildung 2.12: Operationsverstärker in Gegenkopplung.....	12
Abbildung 2.13: Invertierender Verstärker	13
Abbildung 3.1: Blockschaltbild des Gesamtsystems.....	15
Abbildung 3.2: Graphische Oberfläche unter Windows.....	16
Abbildung 3.3: Blockschaltbild der Kommunikationsschnittstelle.....	17
Abbildung 3.4: Asymetrische Verbindung zweier Kommunikationsteilnehmer	19
Abbildung 4.1: Diskretisierung analoger Signale.....	21
Abbildung 4.2: Blockschaltbild der Digitalschaltung.....	22
Abbildung 4.3: Pin Layout ATmega8.....	24
Abbildung 5.1: Ein- und Ausgangssignale der Analogschaltung.....	27
Abbildung 5.2: Blockschaltbild der Analogschaltung.....	29
Abbildung 5.3: Passiver Hochpass 1. Ordnung.....	29
Abbildung 5.4: Variabler Spannungsteiler am Multiplexer.....	30
Abbildung 5.5: Einstellbare Spannung	31
Abbildung 5.6: Passiver Tiefpass erster Ordnung.....	31
Abbildung 6.1: Pin-Layout TL 082	33
Abbildung 6.2: Schematische Darstellung des Multiplexers	34
Abbildung 6.3: Pin-Layout MOS 4051.....	34
Abbildung 7.1: Spannungsteiler.....	37
Abbildung 7.2: Verstärker	37
Abbildung 7.3: Addierer	38
Abbildung 7.4: Subtrahierer	39



Abbildung 7.5: Erzeugung einer variablen Gleichspannung	40
Abbildung 7.6: Ersatzschaltbild zur Dimensionierung der Widerstände	40
Abbildung 7.7: Impedanzwandler	41
Abbildung 7.8: Quelle Tiefpassfilter	41
Abbildung 7.9: Quelle Hochpassfilter	42
Abbildung 7.10: Kabelfärbung für die Versorgungspotentiale	43
Abbildung 7.11: Pinlayout des Steckers zum Digitalboard	43



Anhang C: Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Format eines RS232-Datenworts.....	17
Tabelle 3.2: Parameter der RS232-Kommunikation.....	19
Tabelle 5.1: In der Oszilloskop-Software einstellbare Messbereiche.....	28
Tabelle 5.2: Stromaufnahmen der aktiven Bauteile des Analogschaltung	28
Tabelle 6.1: Wahrheitstabelle MOS 4051	35
Tabelle 8.1: Metallfilm-Widerstandssortiment 390 ST Conrad Package: R-EU_2070.....	45
Tabelle 8.2: Metallfilm-Widerstandssortiment E12 Package: R-EU_2070	45
Tabelle 8.3: Kondensatoren Package: C-EU025-030X050 oder C-EU050-050X075.....	45
Tabelle 8.4: IC	46
Tabelle 8.5: Weitere Bauelemente.....	46