

16 **Elektronik und elektronische Datenerfassung mit LabView**

Vorausgesetzte Kenntnisse:

- Halbleiterdioden
- PN-Übergang
- lineare und nichtlineare Widerstände
- allgemeine Stromkreisgesetze (Ohmsches Gesetz, Kirchhoffsche Gesetze)
- Funktionsprinzip von Transistoren und verschiedene Anwendungsmöglichkeiten
- Kennlinien von bipolaren Transistoren

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
1.1	Versuchsablauf	3
2	Messplatz.....	4
2.1	Hardware.....	4
2.2	Software	5
	Funktionsprinzip von LabVIEW.....	5
2.3	Programmierung mit LabVIEW	7
3	Teil A: Vermessung elektronsicher Bauteile mit LabVIEW.....	12
3.1	Ohm'scher Widerstand.....	12
	Theoretische Grundlagen.....	12
	Aufgabenstellung	12
3.2	Spannungsstabilisierung mit Z-Diode.....	13
	Theoretische Grundlagen.....	13
	Aufgabenstellung	14
3.3	Auf- und Entladung eines Kondensators.....	15
	Theoretische Grundlagen.....	15
	Aufgabenstellung	17
3.4	Einweggleichrichtung	18
4	Teil B: Der bipolare Transistor und seine Anwendung.....	19
4.1	Transistor Kennlinien.....	19
	Theoretische Grundlagen.....	19
	Eingangskennlinie	21
	Ausgangskennlinie	22
4.2	Verstärkerschaltung	23
	Theoretische Grundlagen.....	23
	Aufgabenstellung	26
4.3	Schmitt-Trigger.....	26
	Theoretische Grundlagen.....	26
	Aufgabenstellung	29

1 Einleitung

Moderne Messwerterfassung und viele Experimente werden heute mit der Unterstützung des Computers durchgeführt. Teilweise aus rein praktischen Gründen, um eine hohe Anzahl von Messwerten aufzunehmen und zu verarbeiten, andererseits um eine einfache und übersichtliche Steuerung von Experimenten und Versuchsaufbauten zu gewährleisten. Viele Messwerte sind aus zeitlichen Gründen nicht „von Hand“ aufnehmbar, da sie in sehr kurzen Zeitabständen registriert werden müssen oder aber auch bei Langzeitexperimenten nur sehr selten und in langen Zeitabständen aufeinander folgen. Auch bieten Softwareprogramme und Computerlösungen oft eine äußerst flexible und individuelle Lösung für die verschiedensten Anwenderprobleme.

Die ehemals starren Grenzen zwischen reiner Messwerterfassung und Steuerung verschieben sich immer mehr, denn die flexiblen Möglichkeiten der Datenerfassung, der Analyse, der Steuerung und der Visualisierung verschmelzen mehr und mehr zu einer einheitlichen Software-Einheit.

Das ursprünglich in den 80er Jahren von *National Instruments* für die Mess- und Automatisierungstechnik entwickelte Programm LabVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbench) ist mittlerweile immer mehr zu einer effektiven Alternative für herkömmliche Programmiersprachen geworden und zählt heute neben C zu den meist-verwendeten Programmiersprachen für technisch wissenschaftliche Anwendungen.

Um physikalische Experimente zu steuern und durchzuführen, muss der Anwender meist eine textorientierte Programmiersprache wie C, Pascal oder Basic beherrschen. Sehr oft muss man sich mehr mit der Syntax der Sprache auseinandersetzen als mit der eigentlichen Messaufgabe.

LabVIEW bietet hier eine ganz neue Möglichkeit. Statt seitenweise komplizierte Systemprogramme zu schreiben, sind lediglich grafische Elemente auf dem Bildschirm zu platzieren, und wie aus dem Labor bekannt, diese mit Drähten zu verbinden. Bedienungselemente, wie sie aus der Labormesstechnik geläufig sind, bilden die Bedienungsfläche, die der Anwender selbst gestalten kann. Im Idealfall werden Problembeschreibung, Problemlösung und die Dokumentation in einem Arbeitsgang erledigt. Die eigentlich zu lösende Aufgabe rückt mit Hilfe dieser grafischen Programmierung wieder in den Vordergrund und gleichzeitig werden die nicht problembezogenen Aufgaben minimiert sowie die Programmentwicklungszeit erheblich verkürzt.

LabVIEW bietet ebenfalls den entscheidenden Vorteil der Plattformunabhängigkeit und ist somit sehr flexibel einsetzbar.

1.1 Versuchsablauf

Der Versuch „Elektronik und elektronische Datenerfassung mit LabVIEW“ verfolgt zwei Ziele: erstens die Vermittlung von grundlegenden Kenntnissen der Elektronik und zweitens der zunehmend wichtiger werdenden computerunterstützten Messwerterfassung und Steuerung von Experimenten.

Der Praktikumsversuch unterteilt sich thematisch in zwei Teilgebiete:

- Teil A: Vermessung elektronischer Bauteilen mit LabVIEW
- Teil B: Elektronische Schaltungen mit Anwendung des Transistors

In Teil A steht die Programmierung mit LabVIEW im Vordergrund. Es sollen die Funktionsweise von LabVIEW und die Programmierung vermittelt werden. Anhand von einfachen Messaufgaben aus dem Bereich Elektrotechnik/Elektronik sollen LabVIEW-Programme erstellt werden. Der Schwerpunkt liegt in der Erarbeitung der Programme.

Innerhalb von Teil B werden der Bipolartransistor und seine Anwendung behandelt. Teilweise können Programme, die in Teil A entwickelt wurden, hier zur Messwertaufnahme verwendet werden. Die Programmierung tritt in den Hintergrund und das Bauelement Transistor soll untersucht und dessen Anwendungen deutlich gemacht werden.

Bitte bringen Sie am Versuchstag einen USB-Stick mit, da die Praktikumsrechner aus Sicherheitsgründen keinen Netzwerkzugriff haben.

2 Messplatz

2.1 Hardware

Das Programm LabVIEW ist auf einem handelsüblichen Personalcomputer installiert. Die Datenerfassung erfolgt über eine Multifunktionskarte, die als Einsteckkarte in den PC eingebaut ist. Sie bietet die Möglichkeit der analogen sowie der digitalen Ein- und Ausgabe. Diese DAQ-Einsteckkarte (Data Acquisition) verwendet zur Messwerterfassung analoge Eingänge zur Spannungsmessung, analoge Ausgänge (steuerbare Spannungsquellen) sowie digitale Ausgänge (steuerbare Schalter).

Die Meßgenauigkeit wird von der Analog-/Digital-Wandlung der Meßkarte vorgegeben. Diese hat eine 12 (bzw. 16) -bit-Auflösung bei einem Mess- / Einstellbereich der Spannung von ± 10 V.

Die einzelnen Versuche werden auf Steckbrettern aufgebaut. Diese ermöglichen einen schnellen, strukturierten und dadurch übersichtlichen Versuchsaufbau. Es stehen im Praktikumsversuch unterschiedliche Steckbretter zur Verfügung:

- LabVIEW-Steckbrett: Dieses Brett enthält neben verschiedenen Bauteilen, die für den Versuchsteil A „LabVIEW“ benötigt werden, auch eine Verbindung über Flachbandkabel zur DAQ-Einsteckkarte. Damit sind stehen LabVIEW zwei Spannungsmessungen (Gleich- und Wechselspannung) sowie zwei softwaremäßig ansteuerbare Gleichspannungsquellen zur Verfügung.
- Transistor-Steckbrett: Dort sind alle notwendigen elektronischen Bauteile angeordnet, die für den Versuchsteil B „Transistor“ benötigt werden.

Diese Steckbretter sind über Verteilerleisten zusammenschaltbar und so gemeinsam nutzbar.

Am Messplatz stehen weiterhin zur Verfügung:

- ein Digital-Multimeter,
- ein 20 MHz Oszilloskop,
- ein Sinus-Generator mit einem Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 MHz und digitaler Frequenzanzeige,
- ein Dreifach-Netzgerät mit digitaler Anzeige für Strom und Spannung und mit zwei Ausgängen mit 0 V bis 20 V und max. 0,5 A, ein Ausgang 5 V und max. 1 A.

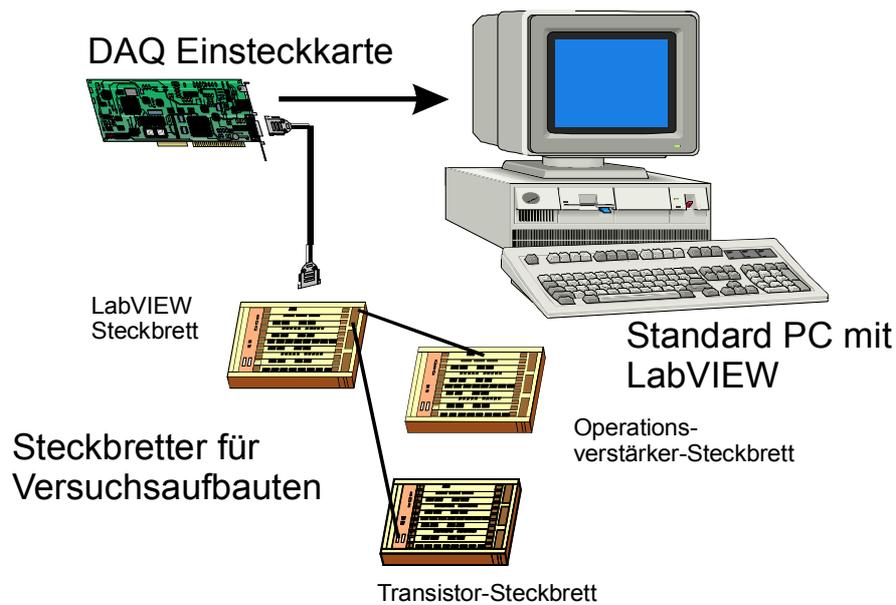


Abbildung 1: Versuchssplatz

2.2 Software

LabVIEW ist eine grafische Programmiersprache, die es erlaubt, schnell und anwendungsorientiert zu programmieren. Bei LabVIEW werden anhand von Grafiken Programme entwickelt. Dies unterscheidet sich erheblich von den traditionellen Programmiersprachen wie C, Pascal oder Basic, die textorientiert programmiert werden. Aufgrund der Verwendung grafischer Symbole und Blockdiagramme kann man sich beim Arbeiten mit LabVIEW auf den Datenfluss in der zu bearbeitenden Anwendung konzentrieren und nicht auf die zum Teil doch recht komplizierte Umsetzung der Problemstellung in die jeweilige Syntax der betreffenden Programmiersprache. Diese grafische Art der Programmierung spart daher viel Zeit, die verwendeten Symbole werden im Sinne eines Signalflusses miteinander verbunden, und man kann durchaus vom „Zeichnen“ eines Programms sprechen.

LabVIEW ist sehr leicht zu erlernen, auch dann, wenn man keine oder nur sehr wenig Programmiererfahrung hat. Mit Hilfe eines einfachen Beispiels wird die Struktur von LabVIEW erläutert und die wichtigsten Zusammenhänge werden verdeutlicht. Im weiteren Verlauf des Praktikums wird man selbst zuerst kleinere und später auch komplexere Programme anhand vorgegebener Versuche erstellen.

Funktionsprinzip von LabVIEW

LabVIEW-Programme werden auch virtuelle Instrumente (VIs) genannt, weil sie realen Messinstrumenten nachempfunden sind. Sie bestehen aus einem Frontpanel und einem meist dem Benutzer verborgenen inneren Aufbau. Als Beispiel stellen Sie sich ein digitales Multimeter zur Messung von Strom, Spannung und ohmschen Widerstand vor. Virtuelle Instrumente sind hierarchisch und modular aufgebaut und können auf diese Weise als Hauptprogramm oder als Unterprogramm verwendet werden.

Ein VI hat im wesentlichen zwei Hauptbestandteile. Schauen Sie sich dazu bitte die Abbildung 2 Beispiel 1 auf der folgenden Seite an:

- Das **Frontpanel** (oben in Abbildung 2 mit grauem Hintergrund) ist die interaktive Benutzeroberfläche des VIs. Dort kann der Anwender offensichtlich die zwei Zahlen a und b eingeben. Das Frontpanel kann die verschiedensten Eingabeobjekte wie Drehknöpfe, Schalter und Eingabetasten enthalten, welche den Benutzer zur Eingabe von Werten oder Texten auffordern. Die Zahlen a und b können in diesem Beispiel direkt durch Anklicken mit der Maus auf die Pfeile neben der Anzeige oder auch über Tastatur im Anzeigenfeld eingegeben werden.

Daneben enthält das Frontpanel auch zwei Ausgaben: das Ergebnis in digitaler und analoger Form. Das Frontpanel ist also in erster Linie eine Kombination aus Eingabe und Anzeige, ähnlich wie bei einem konventionellen Messgerät.

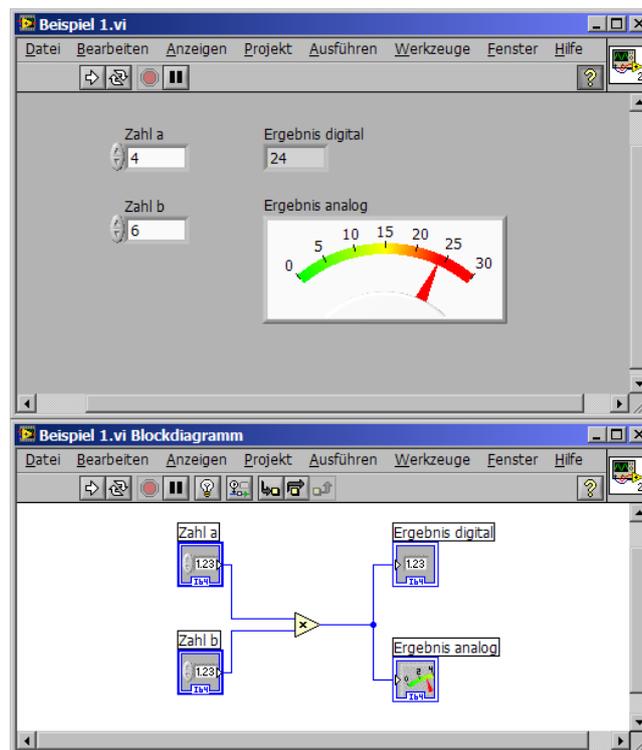


Abbildung 2: LabVIEW-Programm: Beispiel 1

- Das **Blockdiagramm** (unten in Abbildung 2 mit weißem Hintergrund) ist der Quelltext des VI, d. h. der eigentliche Programmcode, entwickelt mit Hilfe der grafischen Programmierung. Es ist das tatsächlich ausführbare Programm. Es entspricht den einzelnen Textzeilen einer herkömmlichen Programmiersprache wie C oder Pascal. Sie können nun erkennen, welche Operationen mit den beiden Zahlen vorgenommen werden: Sie werden multipliziert und dann in analoger und digitaler Form ausgegeben. Die Bestandteile eines Blockschaltendiagramms können z. B. Funktionen, Konstanten, Strukturelemente oder auch selbst entwickelte, untergeordnete Sub-VIs (also Unterprogramme) sein. Um den Datenfluss festzulegen, zeichnet man Leitungen zwischen den einzelnen Objekten. Dieser Datenfluss bestimmt dann den Ablauf des Programms. In dem gewählten Beispiel wird nach der Eingabe der Zahlen a und b die Multiplikation vorgenommen, und anschließend werden diese Daten auf die Anzeige „Ergebnis digital“ und parallel auf „Ergebnis analog“ gegeben.

2.3 Programmierung mit LabVIEW

Nach dem Öffnen des Programms LabVIEW erscheinen die beiden Fenster Frontpanel und Blockdiagramm. Sie programmieren in beiden Fenster parallel. Um die einzelnen Elemente (Anzeigen, Eingaben, Operationen usw.) in dem jeweiligen Fenster auszuwählen und zu platzieren, deren Größe und Erscheinung zu verändern, verwendet man hauptsächlich drei verschiedene Paletten. Diese Werkzeuge dienen der Auswahl bestimmter Bearbeitungs- oder Betriebsfunktionen, ähnlich wie bei einem einfachen Zeichenprogramm.

Die **Bedienelemente**-Palette (Abbildung 3) gehört zum Frontpanel und wird durch Rechtsklicken in das Frontpanel sichtbar. Mit der Bedienelemente-Palette kann man die benötigten Elemente auswählen und entsprechend auf dem Frontpanel platzieren. Sie enthält selbst sogenannte Unterpaletten. Als Beispiel wird für die Eingabe der Zahl a mit der Bedienelemente-Palette unter **Numerisch... Numerische Eingabe** in der ersten Zeile das erste Element ausgewählt (Abbildung 4).

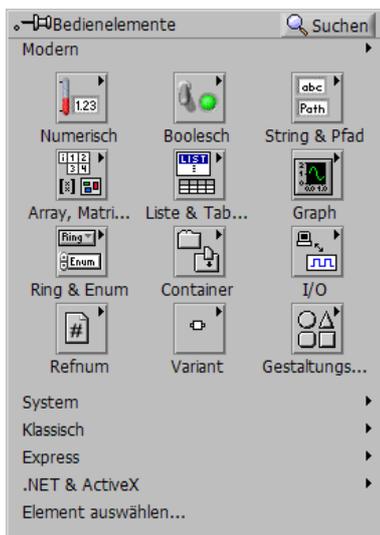


Abbildung 3: Bedienelemente-Palette

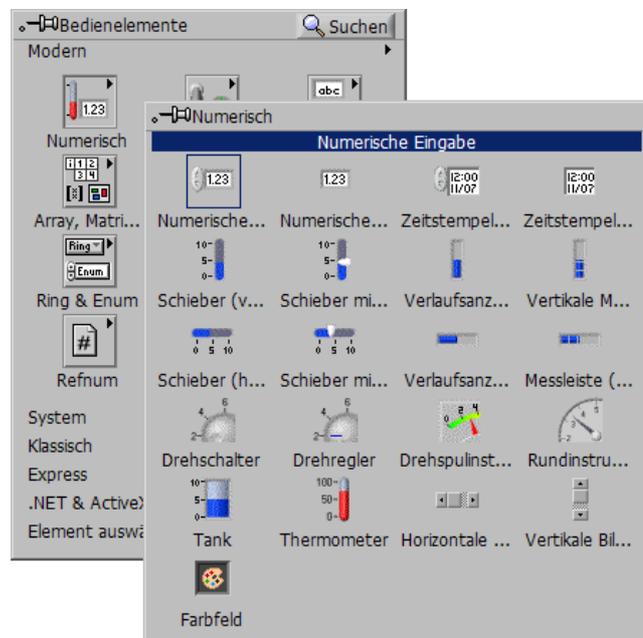


Abbildung 4: Bedienelemente-Palette mit Unterpalette

Wenn man eine Eingabe oder Ausgabe auf dem Frontpanel platziert, so erstellt LabVIEW automatisch einen korrespondierenden Anschluss im Blockdiagramm. Eingabeanschlüsse werden im Blockdiagramm mit dickem Rahmen angezeigt, wohingegen Anzeigeanschlüsse durch dünne Rahmen gekennzeichnet sind.

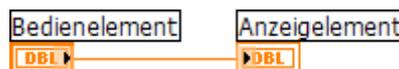


Abbildung 5: Anschlüsse im Blockdiagramm

Man muss sehr deutlich zwischen Eingabe und Anzeige unterscheiden, weil sie nicht funktionsgleich sind:

Eingabe = Eingabe von Werten, Bedienelement (auch als Quelle bezeichnet).

Anzeige = Ausgabe von Werten, Anzeigeelement (auch als Ziel bezeichnet).

Die **Funktionen**-Palette (Abbildung 6) gehört zum Blockdiagramm und ist nach einem Rechtsklick ins Blockdiagramm sichtbar. Hiermit können Sie programmorausführende Elemente, in LabVIEW Knoten genannt, auswählen und im Blockdiagramm platzieren. In unserem Beispiel ist es die Multiplikation der beiden Zahlen. Auch hier kann die Palette selbst wiederum Unterpalletten enthalten.



Abbildung 6: Funktionen-Palette

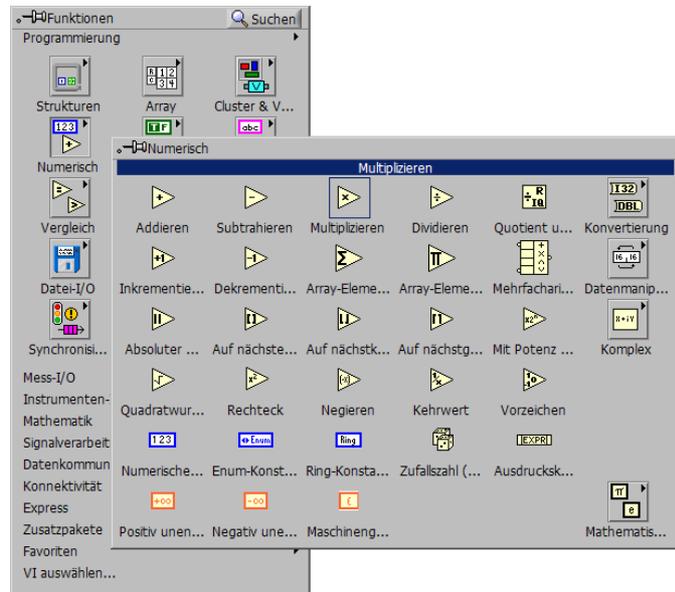


Abbildung 7: Funktionen-Palette mit Unterpalette

Um die einzelnen Elemente im Blockschaltbild durch Leitungen zu verbinden und so den Datenfluss zwischen Quelle und Ziel festzulegen, verwendet man die dritte Palette. Die **Werkzeug**-Palette ist für das Frontpanel und das Blockdiagramm zu verwenden.



Abbildung 8: Werkzeug-Palette

In dieser Palette stehen verschiedene Schaltflächen zur Verfügung, die durch Auswählen mit der Maus aktiviert werden können. Der Mauszeiger wird sich entsprechend des Werkzeuges ändern. Im folgenden sollen nur die wichtigsten und am häufigsten verwendeten Schaltflächen kurz beschrieben werden. Auf die anderen Schaltflächen wird bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt eingegangen.



Automatische Werkzeugwahl, standardmäßig aktiviert. Ein Werkzeug wird automatisch für das passende Objekt unter dem Mauszeiger ausgewählt. Hierdurch wird die Programmerstellung erleichtert, man muss jedoch den Mauszeiger genau positionieren.



Das Wert-Einstellen-Werkzeug ermöglicht die Eingabe bzw. die Änderung von Werten auf dem Frontpanel. Man kann mit ihm Drehknöpfe, Schalter und andere Objekte bedienen. Dies ist das einzige Frontpanelwerkzeug, das bei laufendem VI zum Steuern und Ändern zur Verfügung steht.



Das Position/Größe/Auswahl-Werkzeug wählt und verschiebt Objekte, ändert ihre Größe.



Das Verbinden-Werkzeug zieht Leitungen, die für den Datenfluss notwendig sind, zwischen Objekten im Blockdiagramm.



Das Haltepunkt-Werkzeug setzt Haltepunkte in einem VI-Diagramm. Es hält die Ausführung an, damit man erkennen kann, was in einzelnen Programmabschnitten passiert. Es ist sehr nützlich bei der Fehlersuche.

Um eine Palette aufzurufen und sichtbar zu machen, kann man die Menüleiste am oberen Rand eines VI-Fensters verwenden. Die Paletten sind entweder unter **Anzeige...Werkzeugpalette**, **...Elementpalette** oder **...Funktionenpalette** oder durch Betätigen der rechten Maustaste bei entsprechend aktivem Frontpanel oder Blockdiagramm zu finden.

Zur weiteren Programmierung und Steuerung stehen in den VIs noch Popup-Menüs zur Verfügung (Abbildung 9). Fast jedes LabVIEW-Objekt hat ein eigenes Popup-Menü mit durchaus sehr verschiedenen Operationen und Befehlen. Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Objekt und das Menü erscheint, meistens mit weiteren Untermenüs.

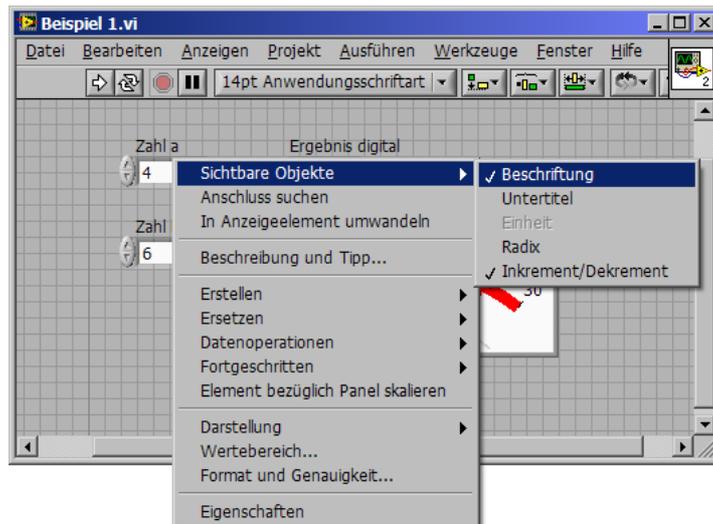


Abbildung 9: Popup-Menü Beschriftung

Wichtig ist unter anderem die Beschriftung-Funktion (siehe Abbildung 9), um eine Beschreibung der verwendeten Objekte zu erreichen. Wie z. B. die Beschriftung „Zahl a“ in dem verwendeten Beispiel. Erscheint ein Haken vor der Beschreibung, so ist die Funktion aktiv. Man sollte die Beschriftung-Funktion als Überschrift über die Eingaben und Anzeigen im Frontpanel verwenden, dies erhöht die Übersichtlichkeit und Bedienbarkeit der VIs.

Bei der Auswahl **In Bedienelement umwandeln** können vorhandene Anzeigen (Ausgabeobjekte) in Eingaben (Eingabeobjekte) umgewandelt werden. **In Anzeigelement umwandeln** erzeugt den umgekehrten Fall. Die Option **Erstellen** bietet die Möglichkeit, eine lokale Variabel für ein Objekt zu erstellen.

Sehr nützlich ist ebenso das Kontexthilfe-Fenster. Es bietet eine Vielzahl von Informationen über Funktionen, Konstanten, Sub-VIs, Eingabe- und Anzeigenschlüsseln. Die Aktivierung erfolgt über die Menüleiste des VI-Fensters unter **Hilfe...Kontexthilfe anzeigen**. Es erscheint das Kontexthilfe-Fenster, was man an eine beliebigen Stelle des Bildschirmes schieben kann. Wenn man nun den Cursor über eine Funktion, ein Objekt oder ein Sub-VI bewegt, werden alle wichtigen Informationen inklusive einer kurzen Beschreibung automatisch angezeigt.

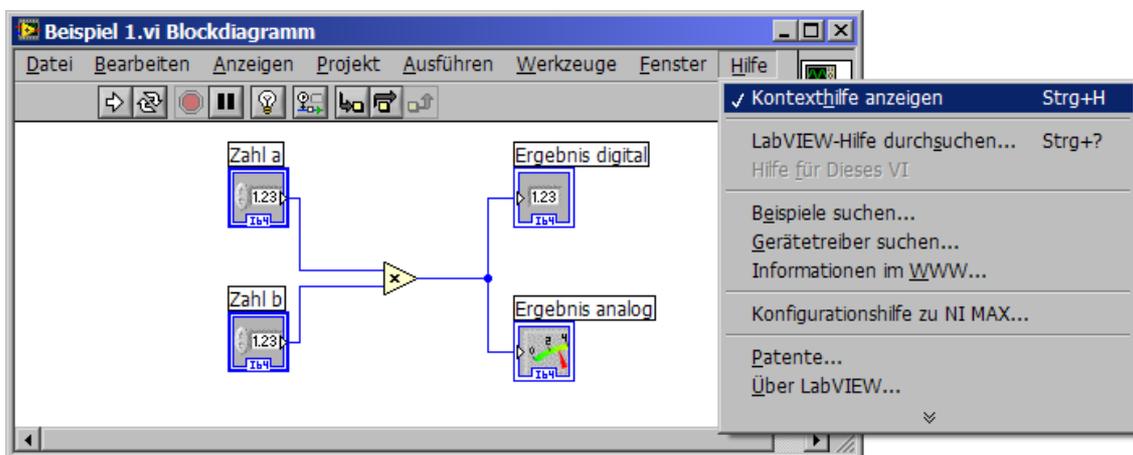


Abbildung 10: Aktivierung der Kontexthilfe



Abbildung 11: Kontexthilfe über die Funktion Multiplizieren

Das oben gezeigte Beispiel dient nur der Veranschaulichung des Programmierablaufs. Eine ausführliche Einführung werden Sie am Versuchstag direkt nach der Vorbesprechung durch Ihren Betreuer erhalten.

3 Teil A: Vermessung elektronischer Bauteile mit LabVIEW

3.1 Ohm'scher Widerstand

Im Folgenden soll der Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung an einem ohmschen Widerstand im Gleichstromkreis untersucht werden.

Grundlagen

Lineare technische Widerstände sind Bauteile, die in einem sehr großen Bereich eine lineare U - I -Kennlinie aufweisen. Durch Temperatureinflüsse und andere physikalische Größen können durchaus Abweichungen auftreten.

Es gibt jedoch je nach benötigtem Einsatzbereich eine Vielzahl von unterschiedlichen Nenngrößen, Bauformen, Abmessungen und Belastungsbereichen.

Lineare Widerstände werden als ohmsche Widerstände bezeichnet. Es gilt das Ohmsche Gesetz:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (4.1)$$

Aufgabenstellung

Nehmen Sie für drei verschiedene Widerstände die U - I -Kennlinie auf. Erstellen Sie ein entsprechendes LabVIEW-Programm (VI). Die Gleichspannung soll zwischen 0 V und 10 V in einer sinnvollen Schrittweite erhöht werden.

Messen Sie den Strom nicht mit einer der Stromsonden auf dem LabVIEW-Steckbrett, sondern über eine Spannungsmessung an einem Referenzwiderstand ihrer (sinnvollen) Wahl. Alle Referenzwiderstände sollen mit dem Multimeter vermessen werden, um die Fertigungstoleranz zu minimieren. Der Fehler auf die Messung mit dem Multimeter ist ein Gleichverteilter Fehler auf die letzte Stelle, sofern diese nicht schwankt.

Protokoll

Beschreiben Sie die Grundidee der Schaltung, das programmierte VI, die Messparameter und warum die aufgenommenen Graphen die gezeigte Form annehmen. In der Auswertung tragen die drei Kennlinien in ein Diagramm ein. Bestimmen Sie die vermessenen Widerstände durch lineare Regression und ermitteln Sie statistische und systematische Fehler.

Erstellen Sie von allen im weiteren Praktikumsversuch angefertigten VIs Bildschirmfotos der Blockdiagramme, da diese Bestandteil ihrer Ausarbeitung sein sollen. Bitte räumen Sie diesen Blockdiagrammen genug Platz ein (z.B. ganzseitig mit Anhang) um sie deutlich erkennen zu können.

3.2 Spannungsstabilisierung mit Z-Diode

Es soll die Stabilisierungswirkung einer Zenerdiode (Z-Diode) untersucht werden.

Grundlagen

Mit Hilfe einer Z-Diode kann man aufgrund der nichtlinearen Kennlinie eine besonders einfache Parallelstabilisierung erreichen (siehe Abbildung 12 und 13). Unter Stabilisierung von Spannung versteht man, dass der vorgegebene Spannungswert während der Funktionsdauer einer Schaltung zeitlich konstant bleiben soll. Als Störeinflüsse treten hauptsächlich schwankende Eingangsspannungen und Belastungsänderungen auf.

Z-Dioden sind Dioden mit einer genau spezifizierten Durchbruchspannung, die für den Dauerbetrieb im Durchbruchbereich ausgelegt sind. Die Spannung wird U_z genannt und beträgt bei handelsüblichen Z-Dioden ca. 3 V bis 300 V (max. Verlustleistung bis 10 W). Kenntnisse über Dioden (P-N-Übergang) werden vorausgesetzt.

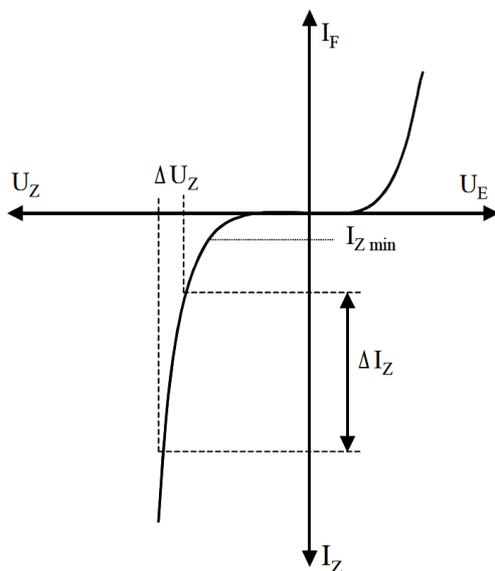


Abbildung 12: Kennlinie einer Z-Diode

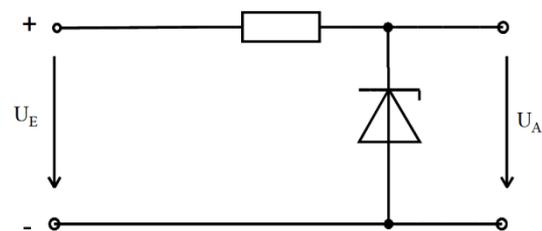


Abbildung 13: Schaltbild Spannungsstabilisierung mit Z-Diode

Die Steigung der Kennlinie wird durch den differentiellen Widerstand

$$r_z = \frac{\Delta U_z}{\Delta I_z} \quad (4.2)$$

beschrieben. Die Erhöhung der unstabilisierten Eingangsspannung um ΔU_E führt zu einer Stromzunahme ΔI_z mit

$$\Delta I_z = \frac{\Delta U_E}{R_V + r_z} \quad (4.3)$$

Die Erhöhung des Zenerstroms verursacht eine Vergrößerung der Ausgangsspannung um

$$U_A = \Delta I_z r_z. \quad (4.4)$$

Als Glättungsfaktor ist definiert (und mit Gl. 4.3 und Gl. 4.4 ergibt sich):

$$G = \frac{\Delta U_E}{\Delta U_A} = \frac{R_V + r_z}{r_z}. \quad (4.5)$$

Sinnvoller als die Angabe der Steigung G der Kennlinie ist der sogenannte relative Glättfaktor, der die reziproke relative Änderung der Ausgangsspannung bei Änderung der Eingangsspannung angibt:

$$S = \frac{\frac{\Delta U_0}{U_0}}{\frac{\Delta U_a}{U_a}} = \frac{\Delta U_0}{\Delta U_a} \frac{U_a}{U_0} = G \cdot \frac{U_a}{U_0} \quad (4.6)$$

Die Stabilisierung wirkt um so besser, je größer das Verhältnis R_V/r_z ist. Es darf aber nicht weniger Strom als $I_{z \min}$ fließen, da sonst die Stabilisierung der Z-Diode aussetzt. Da der Gesamtstrom in der Schaltung konstant ist gilt:

$$I = I_z + I_L. \quad (4.6)$$

Im Leerlauf bei $I_L = 0$ ist daher der Strom und damit auch die Verlustleistung in der Z-Diode am größten. Wird die Schaltung belastet, so sinkt I_z um den Laststrom ab.

Überlegen Sie, für welche Verbraucher diese Art der Spannungsstabilisierung problematisch ist

Aufgabenstellung

Bauen Sie eine Spannungsstabilisierung mit einer Z-Diode auf. Entwickeln Sie dazu ein LabVIEW-Programm, um die Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung im Bereich von 0 V bis 10 V aufzunehmen; $U_A = f(U_E)$. Die Wirkungsweise einer Stabilisierungsschaltung ist am leichtesten zu erkennen, wenn kein Verbraucher angeschlossen ist. Nehmen Sie daher die Leerlaufkennlinie für die drei verschiedenen Vorwiderstände $R_V = 47 \Omega$, 100Ω und $1 \text{ k}\Omega$ auf.

Protokoll

Beschreiben Sie die Grundidee der Schaltung, die Messparameter und warum die aufgenommenen Graphen die gezeigte Form annehmen. Bestimmen sie an einem selbstgewählten Arbeitspunkt den relativen Glättungsfaktor mittels Tangentensteigung und beschreiben Sie den Trend und seine Ursache. Nennen Sie Vor- und Nachteile der Stabilisierung mit einer Z-Diode.

3.3 Auf- und Entladung eines Kondensators

Es soll die Lade- und Entladekurve eines Kondensators bei $U_0 = 10 \text{ V}$ aufgenommen werden.

Grundlagen

Kondensator und Bauformen

Kondensatoren sind Bauteile, die eine Kapazität bestimmter Größe haben. Zwischen zwei Kondensatorplatten befindet sich ein Isolierstoff, das Dielektrikum. Dieses hat eine bestimmte Durchschlagsfestigkeit, die die höchste Spannung vorgibt, die am Kondensator anliegen darf. Da das Dielektrikum keinen unendlich hohen Widerstand hat, entlädt sich der Kondensator mit der Zeit selbst (Selbstentladung).

Für die verschiedensten Anwendungsfälle gibt es eine Vielzahl von Bauarten. An dieser Stelle sollen nur die wichtigsten und in der Praxis am häufigsten vorkommenden Arten genannt werden.

Papier- und Kunststoffkondensatoren werden auch als Folienkondensatoren bezeichnet, da sie aus zwei Metallfolien bestehen. Meistens bestehen sie aus Aluminium und sind durch ein getränktes Papier oder durch eine Kunststofffolie als Dielektrikum getrennt. Die Folien werden aufgewickelt, mit Anschlüssen versehen und in Kunststoffgehäuse gepresst. Sie werden häufig als Sieb- und Entkoppelkondensatoren eingesetzt.

Bei *Metall-Papier-Kondensatoren* (MP-Kondensatoren) wird eine Metallschicht auf das Dielektrikum aufgedampft. Man erzeugt Schichtdicken von bis zu $0,05 \mu\text{m}$. Kommt es bei einem solchen Kondensator aufgrund einer zu hohen Spannung zu einem Durchschlag, so verdampft das Metall an dieser Stelle, wobei das Dielektrikum nicht geschädigt wird. Der Durchschlagspunkt ist nun isoliert. Man spricht hier von Selbstheilung, die den großen Vorteil dieses Kondensatortyps ausmacht. Nach ca. 1000 Ausheilungsprozessen ist die Kapazität um nur 1 % gesunken.

Metall-Kunststoff-Kondensatoren (MK-Kondensatoren) sind genauso wie MP-Kondensatoren aufgebaut, nur mit Kunststoff als Dielektrikum. Die Schichtdicke des aufgedampften Metalls beträgt hier nur $0,02 \mu\text{m}$. Man erhält große Kapazitäten pro Volumeneinheit. Der Selbstheilungseffekt ist ebenfalls möglich.

Keramikkondensatoren verwenden keramische Massen als Dielektrikum. Man kann sehr kleine Kondensatoren mit verhältnismäßig großer Kapazität herstellen. Diesen Typ verwendet man im Hochfrequenzbereich.

Der *Elektrolyt-Kondensator* hat vorzügliche Eigenschaften. Eine große Kapazität bei kleinstem Raumbedarf, geringes Gewicht und vielseitige Anwendungsmöglichkeiten bei niedrigem Preis. Dieser Typ besitzt nur eine metallische Elektrode, auf die das Dielektrikum direkt aufgebracht ist (meist Aluminium). Die Gegenelektrode hingegen ist ein flüssiges Elektrolyt. Die Dielektrikumsschicht ist sehr dünn und meist als Oxidschicht auf der metallischen Elektrode aufgebracht. Durch Aufrauen der Aluminiumfolie wird die Kondensatorfläche nochmals vergrößert. Der zweite Belag verteilt sich aufgrund seiner flüssigen Konsistenz entsprechend der Oberflächenrauigkeit.

Die Oxidschicht zeigt Halbleitereigenschaften, d. h. sie ist nur in einer Richtung als

Dielektrikum wirksam. Wird der Elektrolytkondensator falsch gepolt, so leitet das Dielektrikum und infolgedessen wird die Oxidschicht abgebaut. Der Kondensator erwärmt sich sehr stark, so dass es zur Gasbildung kommt und damit möglicherweise zur Explosion des Kondensators. Eine Falschpolung von ca. 2 V ist unkritisch. Ebenso kann eine Wechselspannung bis zu diesem Betrag angelegt werden. Die Al-Folie ist immer der positive Pol und am Gehäuse entsprechend deutlich gekennzeichnet. Um sehr hohe Durchschlagsspannungen zu erzielen, verwendet man Tantalpentoxid. Man bezeichnet diesen Kondensator dann als *Tantal-Elektrolyt-Kondensator*.

Aufladung des Kondensators

Wird zur Zeit $t = 0$ die Spannung U_0 an den Kondensator gelegt (Abbildung 15), so teilt sich die Spannung auf den Kondensator und den Widerstand auf, so daß gilt:

$$U_0 = u_r(t) + u_c(t) = i(t) \cdot R + u_c(t) \quad (4.7 \text{ und } 4.8)$$

Zu Beginn des Spannungssprungs ($t = 0$) gilt:

$$i(t) = C \cdot \frac{du_c(t)}{dt} \quad (4.9)$$

und man erhält für $t > 0$:

$$U_0 = R \cdot C \cdot \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) \quad (4.10)$$

Dies ist eine Differentialgleichung (DGL) 1. Ordnung, deren Lösung wie folgt lautet:

$$u_c(t) = U_0(1 - e^{-t/\tau}) \quad \text{und} \quad i_c(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-t/\tau}, \quad (4.11 \text{ und } 4.12)$$

wobei RC als Zeitkonstante Tau (τ) definiert ist. Nach einem τ ist der Kondensator zu 63.2 % aufgeladen, und nach 5τ gilt er als vollständig aufgeladen.

Entsprechendes gilt für den Entladevorgang. Hier ergibt die Lösung der aufgestellten DGL folgendes:

$$u_c = U_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad \text{und} \quad i_c = -\frac{U_0}{R} \cdot e^{-t/\tau}. \quad (4.13 \text{ und } 4.1)$$

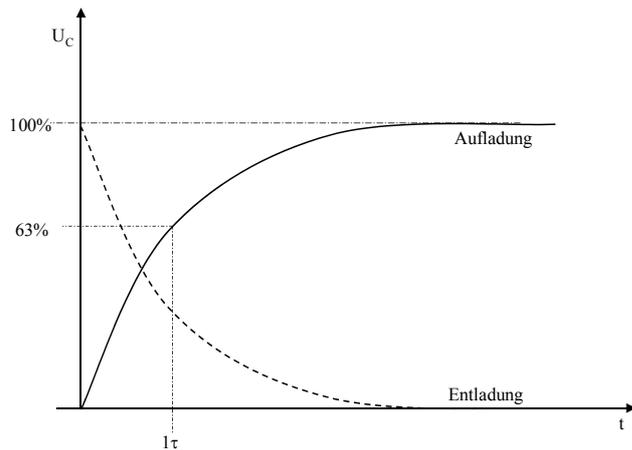


Abbildung 15: Zeitlicher Verlauf der Spannung

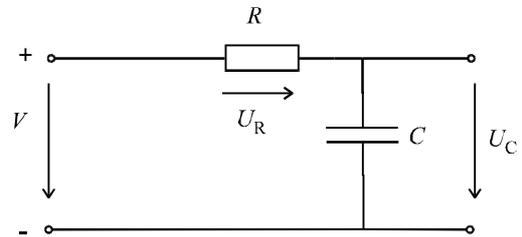


Abbildung 15: Schaltbild Kondensator

Aufgabenstellung

Entwickeln Sie ein VI zur Messung der Spannung an einem Kondensator. Bestimmen Sie die Lade- und Entladekurve (vgl. Abbildung 14). Überlegen Sie sich die benötigte Messzeit.

Protokoll

Beschreiben Sie die Grundidee der Schaltung, das erstellte VI, die Messparameter und warum die aufgenommenen Graphen die gezeigte Form annehmen. In der Auswertung bestimmen Sie die Kapazität des Kondensators mit Fehler durch einen Exponentialfit. Stimmen die experimentell bestimmten Werte von τ mit der Rechnung überein?

3.4 Einweggleichrichtung

Gleichrichterschaltungen haben die Aufgabe, Gleichspannungen und -ströme bestimmter Größe zu liefern. Durch das Gleichrichten einer Wechselspannung entsteht eine Mischspannung, die neben einem Gleichanteil auch einen Wechselanteil enthält (auch als pulsierende Gleichspannung bezeichnet).

Wegen ihres ausgeprägten Durchlass- und Sperrverhaltens sind Dioden zur Gleichrichtung von Wechselspannungen gut geeignet. Schaltet man eine Diode in Reihe mit einem Verbraucher, so kann der Strom immer nur in eine Richtung, der Durchlassrichtung der Diode, fließen. In entgegengesetzter Stromrichtung ist die Diode hochohmig und sperrt. Die Diode wirkt also als Stromventil.

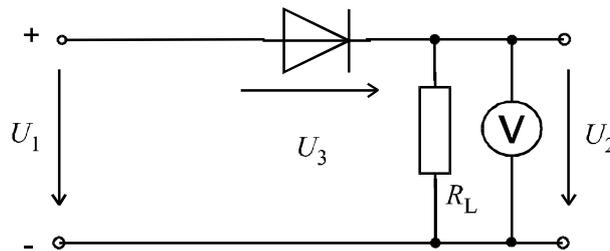


Abbildung 16: Einweggleichrichtung

Aufgabenstellung

Bauen Sie die Einweggleichrichtung auf. Überlegen Sie vorab, welche Ausgangsspannung Sie bei U_2 messen werden, wenn Sie an den Eingang eine Wechselspannung U_1 anlegen.

Stellen Sie mit dem Sinus-Generator eine Eingangsspannung von $U_{SS} = 4 \text{ V}$ (dies bezeichnet den Spitze-Spitze-Wert der Spannung U_1) bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ ein. Kontrollieren Sie die Eingangsspannung mit dem Oszilloskop oder dem VI Speicheroszilloskop. Für den Lastwiderstand R_L wählen sie den Wert 100Ω .

Nehmen Sie den zeitlichen Verlauf der Ein- und Ausgangsspannung mit dem vorgefertigten LabVIEW VI „Speicheroszilloskop“ (auf dem Desktop) auf. Messen Sie mit dem Multimeter den Gleichanteil der Spannung U_2 .

Protokoll

Beschreiben Sie die Grundidee der Schaltung, die Messparameter und warum die aufgenommenen Graphen die gezeigte Form annehmen.

Bestimmen Sie rechnerisch den Effektivwert der Eingangsspannung U_1 . Wieviel Prozent vom Effektivwert der Wechselspannung U_1 beträgt die pulsierende Gleichspannung U_2 (Multimeterwert)?

Wodurch lässt sich die Gleichrichterschaltung verbessern, bzw. der Gleichspannungsanteil erhöhen?

4 Teil B: Der bipolare Transistor und seine Anwendung

4.1 Transistor Kennlinien

In diesem Teil sollen die Funktionsweise sowie verschiedene Anwendungen von Bipolartransistoren untersucht werden. Die Messwerterfassung erfolgt nicht mehr nur mit LabVIEW, sondern auch mit herkömmlicher Technik. Ebenso ist bei manchen Versuchen der Umgang dem mit Sinus-Generator und dem Oszilloskop erforderlich. Verwenden Sie das Transistorsteckbrett und das LabVIEW-Steckbrett.

Theoretische Grundlagen

Aufbau eines Transistors

Ein Transistor mit npn- oder pnp-Schichtfolge wird als bipolarer Transistor bezeichnet. Er besitzt drei Anschlüsse, die als Basis (B), Emitter (E) und Kollektor (C) bezeichnet werden. Die drei aufeinanderfolgenden Halbleiterbereiche werden heute überwiegend aus Silizium hergestellt. Germaniumtransistoren werden wegen ihrer zahlreichen Nachteile nur noch selten eingesetzt. Neuste Entwicklungen tendieren zu Galliumarsenid als Halbleitermaterial für Transistoren.

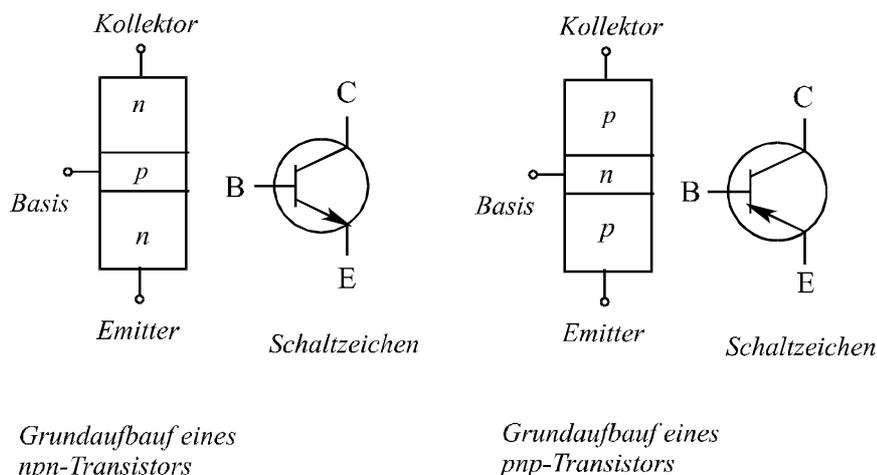


Abbildung 17: Grundaufbau und Schaltzeichen von Transistoren

Der Transistor ist im Allgemeinen unsymmetrisch aufgebaut. Die Basis ist sehr dünn (10 bis 20 μm) und verhältnismäßig schwach dotiert. Grundsätzlich können in einer Schaltung die Anschlüsse für Emitter und Kollektor vertauscht werden (Inversbetrieb). In der Praxis bringt dies eine deutliche Verschlechterung der elektrischen Eigenschaften, da die Dotierung der beiden Zonen nicht gleich ist. Die Dotierung im Emitter ist höher als die im Kollektor. Auch entsteht dabei ein hoher Anteil an Verlustwärme, die dann schlechter abgeführt werden kann. Transistoren sind so gebaut, dass die Kollektorzone besonders gut gekühlt ist.

Sie werden in SMD-Technik (Oberflächenmontage) von 50 mW bis 1,5 W Leistung und in herkömmlicher Technik bis 250 W Leistung hergestellt. Dementsprechend sind viele unterschiedliche Bauformen vorzufinden.

Wirkungsweise des Transistors

Die Wirkungsweise von pnp- und npn-Transistoren ist im Prinzip gleich, lediglich die Ströme

und Spannungen in der Schaltung sind vertauscht. Im Nachfolgenden wird die Wirkungsweise an einem npn-Transistor erläutert, da dieser auch später in den Versuchen verwendet wird. Darüber hinaus findet dieser Typ in der Praxis auch häufiger Anwendung.

Die Spannung U_{BE} , d. h. die Spannung zwischen Basis und Emitter, wird zunächst auf etwa 0,6 V eingestellt. Dies ist die Diffusions- oder auch Schwellenspannung des PN-Übergangs. Zwischen Basis und Kollektor liegt eine Spannung $U_{BC} = 10 \text{ V}$ an, wie in der Abbildung 17 zu erkennen ist.

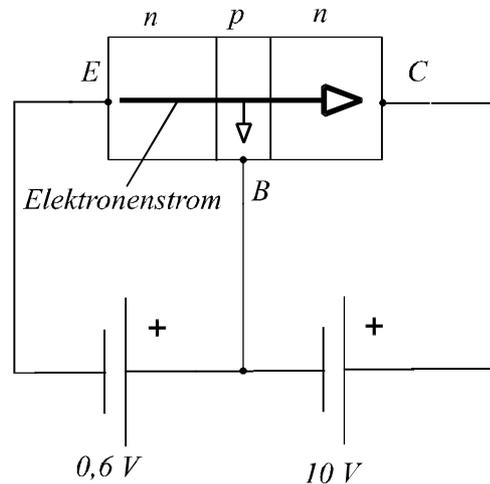


Abbildung 18: Funktionsprinzip eines Transistors

Der PN-Übergang Basis-Emitter wird in Durchlassrichtung betrieben, der PN-Übergang Basis-Kollektor dagegen in Sperrrichtung. Die freien Elektronen der Emitterschicht (hohe Dotierung) dringen so in die Basisschicht ein. Der Emitter sendet gewissermaßen Elektronen aus (aus dem Lateinischen: *emittere* = aussenden). Da die Basis sehr dünn und relativ zum Emitter schwach dotiert ist, rekombiniert nur ein sehr kleiner Anteil der Elektronen in ihr. Der größte Anteil bleibt in der Basis frei beweglich.

Die in die Basis vorgedrungenen Elektronen können nun sowohl zum Pluspol der Basis-Emitter-Spannung als auch zum Pluspol der Basis-Kollektor-Spannung abwandern. Das Pluspotential am Kollektor ist allerdings größer als das an der Basis, so dass die meisten Elektronen zum Kollektor (*collecta* = Sammlung) fließen.

Abschließend kann man sagen, dass infolge der angelegten Spannungen ein großer Elektronenstrom über den Kollektoranschluss fließt. Bei herkömmlichen Transistoren gelangen über 99 % der Elektronen in den Kollektorbereich.

Wird die Spannung U_{BE} auf etwa 0,5 V verringert, so fließen entsprechend weniger Elektronen in die Basisschicht und daher auch weniger Elektronen in den Kollektorbereich. Wird die Spannung so weit verringert, dass sie viel kleiner ist als die Diffusionsspannung des PN-Übergangs zwischen Basis und Emitter, wird der Übergang hochohmig. Somit fließt kein Strom mehr, der Transistor sperrt.

Wird umgekehrt die Spannung U_{BE} erhöht, so gelangen wesentlich mehr Elektronen in den Kollektorbereich. Da es sich um einen PN-Übergang handelt, kann in erster Näherung auch eine Diodenkennlinie angenommen werden. Sobald die angelegte Spannung in Durchlassrichtung größer ist als die Diffusionsspannung, steigt der Strom sehr stark an.

Beim Transistor werden also durch geringe Änderungen der Basis-Emitter-Spannung große

Stromänderungen im Kollektorstromkreis hervorgerufen. Er besitzt folglich eine Verstärkerwirkung, die neben seiner Funktion als Schalter die häufigste technische Anwendung ist. In der Praxis verwendet man nicht zwei Spannungsquellen zur Steuerung, sondern verzichtet auf eine Quelle und teilt die Spannung über einen ohmschen Spannungsteiler entsprechend auf.

Eingangskennlinie

Das Verhalten eines Bipolartransistors lässt sich am einfachsten durch seine Kennlinien beschreiben. Sie zeigen den Zusammenhang zwischen den Strömen und Spannungen am Transistor. Die Kennlinien gelten nur für den statischen Fall, d. h. für Gleichstrom und –spannung, oder für sehr langsame zeitliche Änderungen.

Die Eingangskennlinie stellt die Abhängigkeit des Eingangstroms I_B von der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} dar. Die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} ist dabei konstant und hat auf die Eingangskennlinie nur einen sehr geringen Einfluss.

Überlegen Sie, wie die Schaltung zur Messung der Eingangskennlinie aussieht. Entwickeln Sie ein Programm zur Messung der Eingangskennlinie des Transistors BC 107. Überlegen Sie, in welchem Bereich die Spannung U_{BE} für eine sinnvolle Messung zu variieren ist (Abbildung 18).

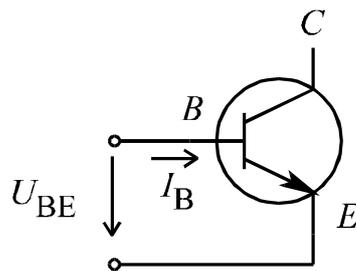


Abbildung 19: Strom und Spannung der Eingangskennlinie des Transistors

Tragen Sie die Eingangskennlinie I_B als Funktion von U_{BE} auf, und erklären Sie kurz die Zusammenhänge aus der gemessenen Kennlinie.

Steuerkennlinien

Man kann für einen Transistor zwei Steuerkennlinien aufnehmen:

- die Abhängigkeit des Kollektorstroms von der Basis-Emitter-Spannung, $I_C = f(U_{BE})$. Dies nennt man die Spannungssteuerkennlinie;
- die Abhängigkeit des Kollektorstroms vom Basisstrom, $I_C = f(I_B)$. Dies bezeichnet man als Stromsteuerkennlinie.

Überlegen Sie, wie die Schaltung zur Messung der Stromsteuerkennlinie aussieht. Nehmen Sie eine Stromsteuerkennlinie für den Transistor BC 107 auf. Die Spannung U_{CE} ist konstant zu halten. Aus der Steigung der Steuerkennlinie lässt sich der Gleichstromverstärkungsfaktor des Transistors ermitteln.

Dieser ist wie folgt definiert:

$$B = \frac{I_C}{I_B} \quad (5.1)$$

Stellen Sie den Kollektorstrom I_C in Abhängigkeit vom Basisstrom I_B grafisch dar und bestimmen Sie den Gleichstromverstärkungsfaktor B (siehe Abbildung 19):

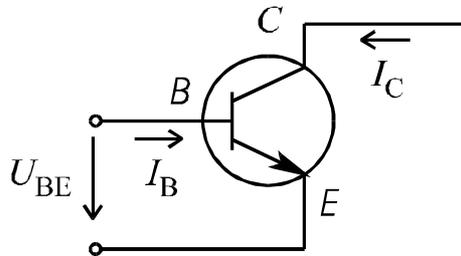


Abbildung 20: Ströme der Steuerkennlinie des Transistors

Ausgangskennlinie

Die Ausgangsgrößen des Transistors sind zum einen der Kollektorstrom I_C und zum anderen die Spannung U_{CE} . Da der Kollektorstrom vom Basisstrom abhängt, nimmt man mehrere solcher I_C - U_{CE} -Kurven auf, wobei zu jeder Kennlinie ein ganz bestimmter Basisstrom gehört.

Überlegen Sie, wie die Schaltung zur Messung der Ausgangskennlinie aussieht.

Entwickeln Sie ein Programm zur Messung der Ausgangskennlinie des Transistors BC 107. Stellen Sie die Abhängigkeit I_C von U_{CE} für mindestens drei verschiedene Basisströme I_B grafisch dar, und erläutern Sie die Kurven kurz (siehe Abbildung 20).

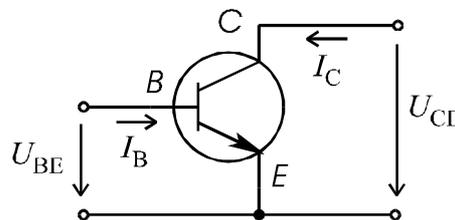


Abbildung 21: Ströme und Spannungen der Ausgangskennlinie des Transistors

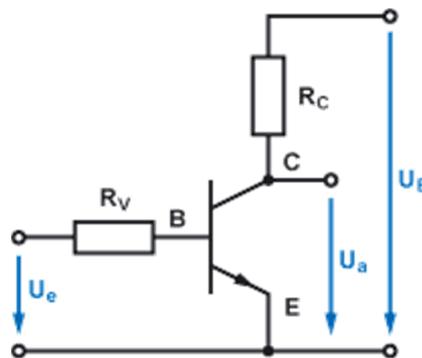
4.2 Verstärkerschaltung

Theoretische Grundlagen

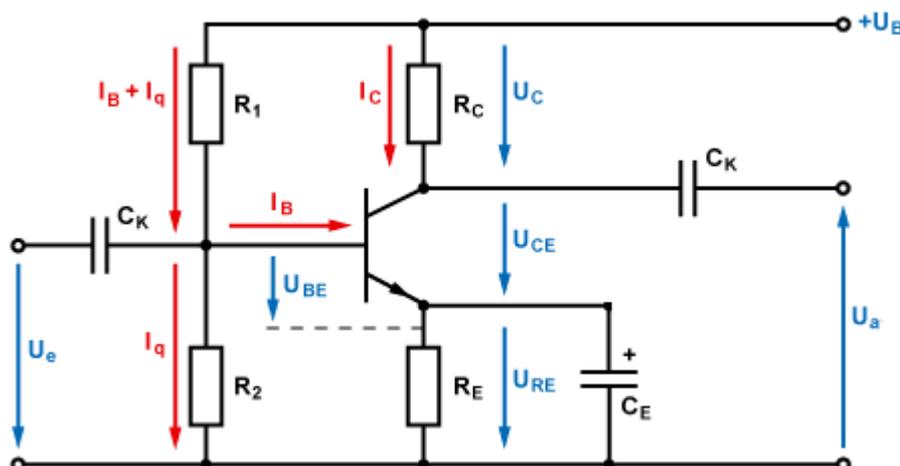
Quelle:

- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0204302.htm>
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0204134.htm>
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/1506301.htm>

Die Emitterschaltung ist eine Universal-Verstärkerschaltung, die im niederfrequenten Bereich (NF) zur Erzeugung sehr hoher Spannungsverstärkungen genutzt wird. Weil der Transistor temperaturabhängig ist und sich der Arbeitspunkt mit der Temperatur verändert, wird die Emitterschaltung mit Arbeitspunktstabilisierung durch Stromgegenkopplung betrieben.



Die Emitterschaltung besteht im wesentlichen aus einem Transistor, dem Kollektorwiderstand R_C , der Eingangssignalquelle U_e mit dem Basis-Vorwiderstand R_V oder einem Spannungsteiler (R_1 und R_2) und der Betriebsspannung $+U_B$. Der Kollektoranschluss des Transistors ist der Ausgang für die Ausgangsspannung U_a . Der Emittteranschluss ist der gemeinsame Bezugspunkt von Eingangs- und Ausgangsspannung. Deshalb wird diese Schaltung Emitterschaltung genannt.



Strom- und Spannungsverteilung

Die Wechselspannung U_e wird über den Koppelkondensator C_K angelegt. Über den Spannungsteiler R_1 und R_2 wird der Arbeitspunkt eingestellt. Der Widerstand R_C ist massgeblich an der maximalen Spannungsverstärkung beteiligt. Und er begrenzt den Kollektorstrom I_C für den Transistor. Die Koppelkondensatoren C_K trennen das

Wechselstromsignal von der Gleichspannung. Das verstärkte Signal wird über einen weiteren Koppelkondensator C_K als Wechselspannung U_a ausgegeben. Dabei muss man beachten, dass Eingangs- und Ausgangsspannung proportional zueinander invertiert sind. Wichtig: Eingangs- und Ausgangsspannung sind nicht phasenverschoben, wie es in anderer Literatur zur Emitterschaltung geschrieben steht. Bei dieser Phasenverdrehung von 180° handelt es sich nur um eine Inversion. Der Emitterwiderstand R_E sorgt für eine Stabilisierung des Arbeitspunkts. Der Emitterkondensator C_E sorgt für eine Verstärkung der hohen Frequenzen.

Funktion der Koppelkondensatoren C_K

Wird Wechselspannung verstärkt, so muss die Schaltung über die Koppelkondensatoren C_K mit der Signalquelle und der Last verbunden werden. Über die Koppelkondensatoren fließt kein Gleichstrom. Damit hat die Signalquelle bzw. Last keinen Einfluss auf den Arbeitspunkt. Die Spannungen des Arbeitspunktes lassen sich so unabhängig von den Gleichspannungen der Signalquelle und Last wählen. Der Koppelkondensator C_K am Ausgang bildet mit dem nachfolgendem Lastwiderstand einen Hochpass. Der Koppelkondensator C_K am Eingang bildet mit dem Eingangswiderstand der Verstärkerschaltung, der sich zur Hauptsache aus dem Parallelwiderstandswert aus R_1 und R_2 ergibt, einen Hochpass. Die Koppelkondensatoren müssen so dimensioniert werden, dass die kleinste Frequenz des zu übertragenden Signals noch durch den Hochpass hindurch kommt. Gleichspannungen (0 Hz) gelangen nicht hindurch.

Arbeitspunktstabilisierung mit Basis-Spannungsteiler

Damit die Emitterschaltung richtig funktioniert, müssen Spannungs- und Stromwerte richtig eingestellt werden. Dabei müssen die Kollektor- und Basisstromwerte des Transistors beachtet werden. Ein Spannungsteiler an der Basis des Transistors ist eine Möglichkeit der Arbeitspunkteinstellung.

Bei der Arbeitspunkteinstellung mit Spannungsteiler wird vor dem Transistor ein Spannungsteiler aus mindestens 2 Widerständen vorgeschaltet. Der Spannungsteiler aus R_1 und R_2 muss so dimensioniert werden, dass am Widerstand R_2 die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} je nach Transistor von 0,3 V (Germanium) oder 0,6 V (Silizium) anliegt. Der Basis-Spannungsteiler senkt den Eingangswiderstand r_e der Schaltung, was nicht gewünscht ist. Im Regelfall ist ein hoher Eingangswiderstand bei einer Verstärker-Schaltung von Vorteil. Deshalb bestehen Verstärkerschaltungen häufig aus mehreren Stufen. Alle Transistorwerte sind temperaturabhängig. Das bedeutet, auch der Arbeitspunkt des Transistors ist temperaturabhängig. Je nach Anwendung des Transistors und Ort des Betriebs, kann die Temperatur auf die Emitterschaltung einwirken und den Arbeitspunkt verschieben. Das Verschieben des Arbeitspunktes führt am Ausgang der Emitterschaltung zu nichtlineare Verzerrungen.

Stromgegenkopplung zur Stabilisierung des Arbeitspunkts

Erhöht sich die Temperatur im Transistor, führt das zu einem Anstieg des Kollektorstroms I_C . Dabei verschiebt sich der Arbeitspunkt, den man vorher sauber berechnet und eingestellt hat. Und auf einmal stimmt in der Schaltung nichts mehr. Man löst das Problem dadurch, dass man bei steigender Temperatur die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} verkleinert und so den Anstieg des Kollektorstroms I_C verhindert. Mit Hilfe eines Widerstandes zwischen Emitter und Masse (0V) wird die Arbeitspunktstabilisierung hergestellt. Dieser Widerstand wird als Emitterwiderstand R_E bezeichnet.

Wird die Emitterschaltung mit dem Emitterwiderstand R_E betrieben, spricht man von Gleichstromgegenkopplung. Bei der Stromgegenkopplung geht es darum, dem Anstieg des Kollektorstroms bei ansteigender Temperatur des Transistors entgegenzuwirken.

Der Emitterwiderstand R_E ist maßgeblich an einem wesentlich höheren Eingangswiderstand zwischen Basis und GND beteiligt. Er befindet sich funktionell in Reihe zum Basis-Emitter-Widerstand r_{BE} . Die Erwärmung des Transistors führt zu einem Anstieg des Basisstroms I_B . Das hat den Anstieg des Kollektorstroms I_C zur Folge. Dabei erhöht sich auch der Emitterstrom I_E . Das heißt, durch den Emitterwiderstand R_E fließt ein größerer Strom I_E . Nach dem Ohmschen Gesetz fällt dort eine größere Spannung U_{RE} ab. Dadurch wird die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} kleiner. Dadurch wird auch der Basisstrom I_B kleiner. Wodurch sich auch der Kollektorstrom I_C und der Emitterstrom I_E verringern. Am Emitterwiderstand R_E fällt eine kleinere Spannung U_{RE} ab. Die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} wird dadurch wieder etwas größer. Dem Kollektorstromanstieg wird also entgegengewirkt. Dadurch bleibt der Kollektorstrom weitgehend konstant und der Arbeitspunkt des Transistors stabil. Diese automatische Regelung tritt bei jeder Stromänderung im Transistor auf. Dieser Regelkreis arbeitet selbständig und wird als Stromgegenkopplung bezeichnet. Der Emitterwiderstand R_E bestimmt die Güte der Stabilisierung. Je größer der Emitterwiderstand R_E , desto stabiler ist der Arbeitspunkt. Die üblichen Werte für den Emitterwiderstand R_E liegen zwischen 10 Ohm und 1 kOhm.

Funktion des Emitterkondensators C_E

Üblicherweise wird die Emitterschaltung immer mit Stromgegenkopplung betrieben und dabei ein Kondensator parallel zum Emitterwiderstand R_E geschaltet. Der Grund: Wenn der Emitterwiderstand R_E einer Kollektorstromänderung durch thermische Einflüsse entgegenwirkt, wirkt er natürlich auch einer Kollektorstromänderung durch das Eingangssignal U_e entgegen. Der Emitterkondensator C_E führt zu dem Effekt, dass er alle Wechsellspannungen kurzschließt, die das Eingangssignal U_e am Emitter erzeugen würde. Der Emitterkondensator C_E ist als Wechselstromwiderstand (kapazitiver Blindwiderstand X_C) zu verstehen, der parallel zum Emitterwiderstand R_E liegt. Bei einer Parallelschaltung von zwei Widerständen ist der Gesamtwiderstand kleiner als der kleinste Teilwiderstand. Da der Kondensator frequenzabhängig ist, heißt das, je höher die Frequenz, desto niedriger ist sein Widerstand (kapazitiver Blindwiderstand X_C). Durch den kleineren Widerstandswert des Emitterkondensators C_E (X_C) wird der Emitterwiderstand R_E wechselstrommäßig kurzgeschlossen. Anders ausgedrückt, für den Wechselstrom ist der Emitterwiderstand R_E bzw. der Widerstand durch die Parallelschaltung aus Emitterwiderstand R_E und Emitterkondensator C_E sehr klein. Die Verstärkung steigt an. Vereinfacht ausgedrückt führt der Kondensator C_E zu einem wechselstrommäßigen Kurzschluss am Widerstand R_E , der den Ausgangswiderstand auf wenige Ohm verringert. Dabei erfolgt eine Verstärkung um ein Vielfaches. Vorausgesetzt die Frequenz ist nicht so hoch, dass die Schaltung selbst frequenzbegrenzend (Millereffekt) wirkt. Mit dem Emitterkondensator C_E ist das Signal am Ausgang größer (lauter) als ohne. Trotz dieser Wirkungsweise hat der Emitterkondensator C_E keinen Einfluss auf die Arbeitspunkteinstellung. Der Nachteil des Emitterkondensators, bei sehr tiefen Frequenzen sind sehr große Kapazitäten notwendig. Deshalb ist der Emitterkondensator C_E ein Elektrolytkondensator. Sein Wert liegt zwischen 10 μ F und 1000 μ F. Die Spannung, die anliegt beträgt nur wenige Volt.

Aufgabenstellung

Bauen Sie die Schaltung nach Abbildung 22 auf:

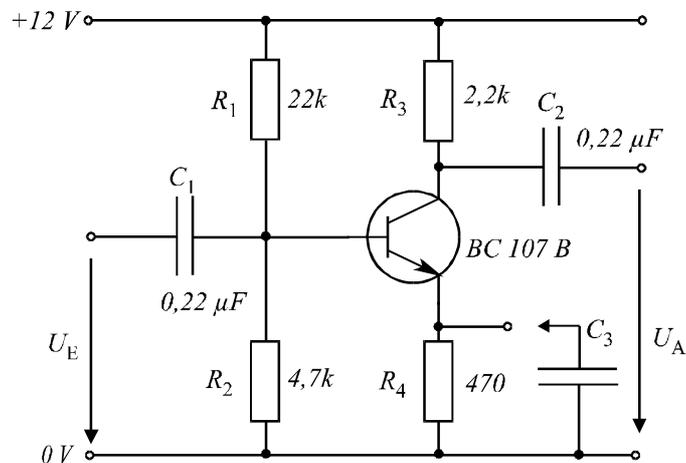


Abbildung 22: Stromlaufplan für Verstärkerschaltung

Legen Sie am Eingang eine sinusförmige Wechselspannung $U_{\text{ESS}} = 1 \text{ V}$, $f = 1 \text{ kHz}$ an (dies bezeichnet den Spitzenwert der Eingangsspannung U_E). Der Kondensator C_3 ist nicht angeschlossen! Messen Sie mit dem Programm Speicheroszilloskop die Ein- und Ausgangsspannung, und ermitteln Sie die Verstärkung.

Stellen Sie nun eine Eingangsspannung von $U_{\text{ESS}} = 40 \text{ mV}$, $f = 1 \text{ kHz}$ ein. Schalten Sie $C_3 = 47 \mu\text{F}$ parallel zu R_4 . Messen Sie mit dem Programm Speicheroszilloskop die Ein- und Ausgangsspannung, und ermitteln Sie die Verstärkung.

Protokoll

Beschreiben Sie die Grundidee der Schaltung, die Messparameter und warum die aufgenommenen Graphen die gezeigte Form annehmen. Welchen Einfluss hat der Kondensator C_3 auf die Verstärkung?

4.3 Schmitt-Trigger

Theoretische Grundlagen

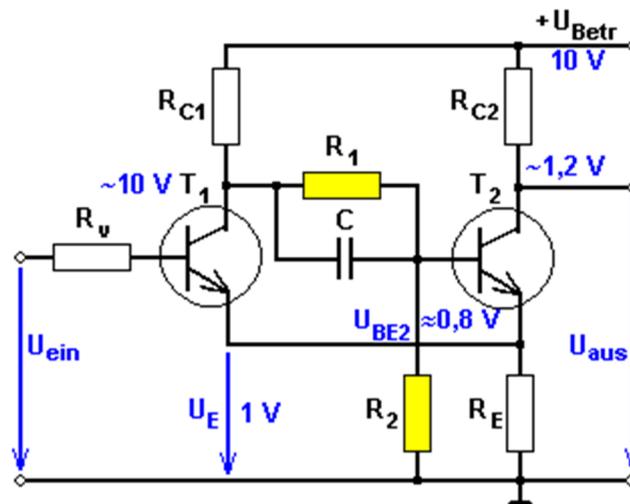
Quelle: <http://www.elektroniktutor.de/analog/schmitt.html>

Im Folgenden wird die Funktionsweise einer Schmitt-Trigger Schaltung anhand einer Beispielschaltung erläutert. Bitte übertragen Sie diese Kenntnisse auf die von uns verwendete Schaltung im nachfolgenden Kapitel.

Mit zwei Transistoren kann man eine einfache Komparator-Schaltung aufbauen. Die Transistoren arbeiten dabei nicht, wie in Verstärkerschaltungen gewohnt, im linearen Arbeitsbereich, sondern als prellfreie elektronische Schalter. Eine besonders dimensionierte Ansteuerung der Basis-Emitterstrecke lässt den Transistor entweder total leitend oder gesperrt werden.

Ein Schmitt-Trigger schaltet bei einer bestimmten Eingangsspannung aus dem Ruhezustand in seinen Arbeitszustand. Unterschreitet die Eingangsgröße einen weiteren festen Wert, so

kippt die Schaltung in den Ruhezustand zurück. Die Schaltung arbeitet folglich wie ein Komparator mit Hysterese und wird auch als Schwellwertschalter bezeichnet. Zwei Transistorschalterstufen stehen über einen gemeinsamen Emittterwiderstand miteinander in Verbindung. Die Schaltung ist so berechnet, dass der eine Transistor leitet und dadurch den anderen gesperrt hält. Erst nach dem Überschreiten einer festgelegten Eingangsspannung wird der gesperrte Transistor leitend, wobei der schnelle Spannungsanstieg am gemeinsamen Emittterwiderstand den zuvor leitenden Transistor plötzlich sperrt. Am folgenden Bild, das die Grundsaltung eines Schmitt-Triggers zeigt, wird anschließend die Arbeitsweise ausführlicher erklärt.

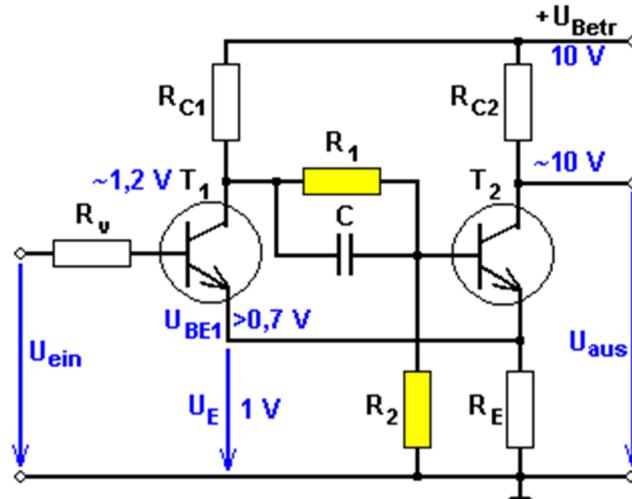


Schmitt-Trigger Schaltung

Spannungen im Ruhezustand
T1 ist gesperrt und T2 leitend

Der Transistor T1 hat in dieser Schaltung keine Basisvorspannung. Liegt ein sehr kleines oder kein Eingangssignal an, so bleibt T1 gesperrt und sein Kollektorpotenzial entspricht ungefähr der Betriebsspannung. Der Basisspannungsteiler R_1 und R_2 ist am Kollektor von T1 angeschlossen und so zu berechnen, dass der Transistor T2 in den Sättigungszustand gelangt. Seine Basis-Emitterspannung muss dazu deutlich über 0,7 V liegen. Im maximal leitenden Zustand wird die Kollektor-Emittterstrecke von T2 so niederohmig, dass an ihr die kleine Sättigungsspannung von 0,2 ... 0,5 V übrig bleibt. Der Kollektorstrom fließt als Emittterstrom durch den Emittterwiderstand R_E ab und erzeugt die angenommene positive Emittterspannung von 1 V. Diese Spannung hält den Transistor T1 sicher gesperrt, da nunmehr seine Basis um diesen Wert zusätzlich positiver werden muss. T1 könnte erst ab einer Basisspannung über 1,7 V leitend werden. Der Schmitt-Trigger befindet sich im stabilen Ruhezustand.

Um in den Arbeitszustand zu gelangen, wird die Spannung U_{ein} in positive Richtung erhöht. Im dargestellten Beispiel beginnt der Transistor T1 ab einer Basisspannung von 1,6 V zu leiten, wodurch sein Kollektorpotenzial abnimmt. Über diese Spannung und dem Spannungsteiler R_1 und R_2 bezieht der Transistor T2 seinen Basisstrom, der nun ebenfalls kleiner wird. Da sich T2 im übersteuerten Zustand befindet, hat die Verringerung des Basisstroms noch keine Auswirkung.



Schmitt-Trigger Schaltung

Spannungen im Arbeitszustand
T1 leitet und T2 ist gesperrt

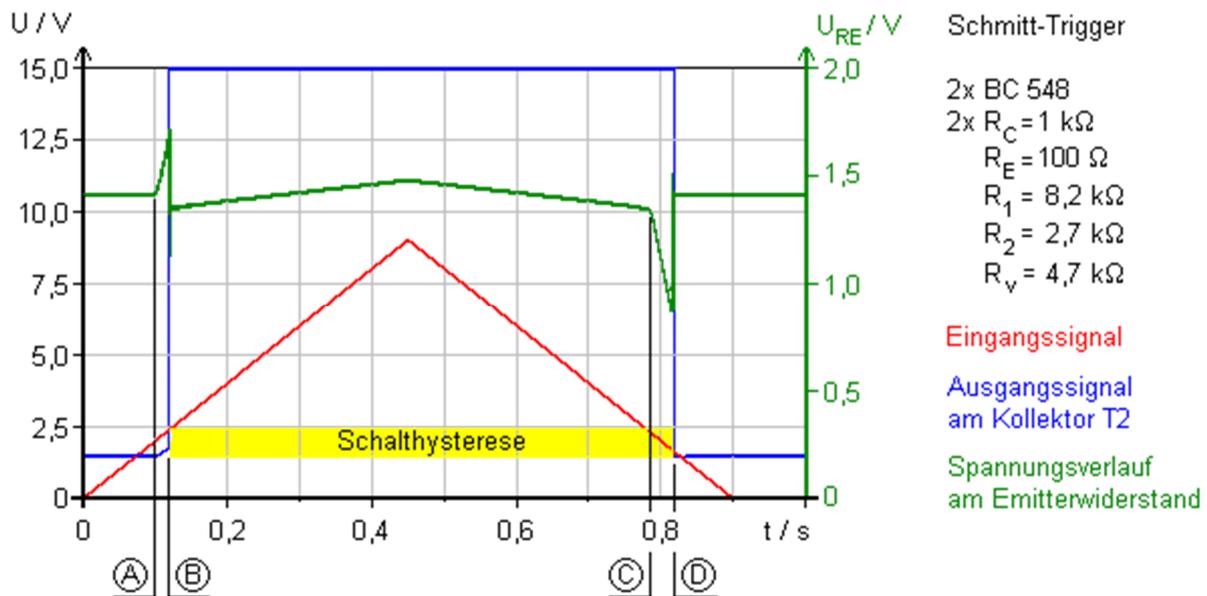
Durch den leitend werdenden Transistor T1 fließt ein zunehmender Emittterstrom und erhöht die Spannung am Emittterwiderstand R_E . Je positiver das Emittterpotenzial von T2 bei sich gleichzeitig verringerndem Basisstrom wird, desto schneller gerät T2 in den Sperrzustand. Sein Kollektor- und Emittterstrom nimmt schnell ab, wodurch die Spannung am Emittterwiderstand geringer wird.

Ein abnehmendes Emittterpotenzial bei gleich bleibender oder noch zunehmender Eingangsspannung vergrößert das Basis-Emittterpotenzial von T1. Der Eingangstransistor wird in den übersteuerten Zustand gezogen. Sein Kollektorpotenzial sinkt auf die kleine Kollektor-Emittter-Sättigungsspannung von 0,2 ... 0,5 V. Dem Transistor T2 fehlt nunmehr der Basisstrom. T2 wird sicher gesperrt und sein Kollektorpotenzial nimmt den Wert der Betriebsspannung an. Beide Transistoren steuern sich gegenseitig über diesen Mitkoppeleffekt in den zweiten stabilen Arbeitszustand.

Das Zurückschalten in den Ruhezustand wird mit dem Verringern der Eingangsspannung eingeleitet. Sinkt die Basisspannung des Transistors T1 auf den Wert 1,6 V und nimmt weiter ab, so verringert sich sein Basisstrom. Erst wenn sein Sättigungswert unterschritten wird, beginnt T1 zu sperren. Sein Kollektorstrom und ebenso der Emittterstrom nehmen ab. Damit verringert sich Spannung am Emittterwiderstand. Die Basis-Emittterspannung an T1 wird größer und verzögert den Sperrvorgang des Transistors.

Mit abnehmendem Kollektorstrom nimmt das Kollektorpotenzial von T1 zu. Der Transistor T2 erhält über den Spannungsteiler R_1 und R_2 wieder Basisstrom und beginnt seinerseits zu leiten. Der Kollektor- und Emittterstrom von T2 nimmt schnell zu. Die Spannung am Emittterwiderstand wird positiver und bringt den Transistor T1 schneller in den Sperrzustand. Der Mitkoppeleffekt unterstützt somit das gegenseitige Umschalten der Transistoren in den anfänglichen Ruhezustand.

Die Eingangsspannungen für das Umschalten sind nicht gleich. Die Spannung zum Erreichen des Ruhezustandes ist kleiner als die zum Kippen in den Arbeitszustand. Der Schmitt-Trigger besitzt eine Schalthysterese, die besonders groß ist, je weiter die Transistoren in den Übersteuerungszustand geraten können. Ein besonders schnelles Umschalten wird mit kleinen Kollektorwiderstandswerten und einem nicht zu kleinen Emitterwiderstandswert erreicht. Ein zu groß dimensionierter Emitterwiderstand wirkt sich nachteilig auf die Schalthysterese aus, die dadurch ebenfalls größer wird.



Das Diagramm zeigt das Schaltverhalten einer Schmitt-Trigger Schaltung, die mit den angegebenen Bauteilen per Schaltungssimulation untersucht wurde. Aus dem Ruhezustand heraus beginnt zum Zeitpunkt (A) der Eingangstransistor T1 zu leiten. Sein Kollektorstrom nimmt zu und führt als Emitterstrom zum Spannungsanstieg am Emitterwiderstand. Bis zum Zeitpunkt (B) bleibt aber der Ruhezustand erhalten. Jetzt ist die Eingangsspannung so weit gestiegen, dass T1 voll durchgesteuert ist. Zum Zeitpunkt (B) wurden am T1 als Basis-Emitterspannung 720 mV gemessen. Sein Kollektorpotenzial ist von 13,6 V auf 1,4 V gefallen. Mit dieser Spannung kann über den Basisspannungsteiler der Ausgangstransistor T2 nicht mehr in den leitenden Zustand gesteuert werden. Die Schaltung kippt in den Arbeitszustand mit gesperrtem T2 und hohem Ausgangspotenzial an seinem Kollektor. Ab dem Zeitpunkt (C) sinkt die Eingangsspannung unter 2,5 V und der Eingangstransistor T1 wird immer weniger leitend. Mit abnehmendem Kollektor- und Emitterstrom verringert sich die Spannung am Emitterwiderstand. Dadurch bleibt T1 noch leitend, wobei aber sein Kollektorpotenzial steigt. Der Ausgangstransistor T2 erhält wieder Basisstrom und wird leitend. Zum Zeitpunkt (D) hat der Emitterstrom von T2 die Spannung am Emitterwiderstand so weit erhöht, dass T1 schlagartig gesperrt und T2 vollkommen leitend wird. Der Ruhezustand ist wiederhergestellt.

Aufgabenstellung

Die Schaltung eines Schmitt-Triggers besteht aus zwei Transistoren und einem gemeinsamen Emitterwiderstand R_E . Die Schaltung hat zwei stabile Zustände, einen Ruhezustand und einen gekippten Zustand, der auch Arbeitszustand genannt wird. Während beim Ruhezustand der Transistor T_1 gesperrt ist und der Transistor T_2 durchgeschaltet ist, ist hingegen beim Arbeitszustand der Transistor T_1 durchgeschaltet und der Transistor T_2 gesperrt.

Die Schaltung kippt bei Erreichen eines bestimmten Eingangsspannungswertes U_E vom Ruhezustand in den Arbeitszustand um. Der Ruhezustand kippt erst dann wieder zurück, wenn die Eingangsspannung U_E eines im Arbeitszustand befindlichen Schmitt-Triggers einen bestimmten Wert unterschritten hat. Das Kippen von dem einen in den anderen Zustand erfolgt nicht bei den gleichen Spannungswerten, d. h. es ergibt sich eine sogenannte Hysterese. Die Spannung, bei der der Schmitt-Trigger in den Arbeitszustand kippt, nennt man U_{Ein} . Die Spannung die den Rücksprung auslöst heißt U_{Aus} .

Bauen Sie die Schaltung nach Abbildung 23 auf:

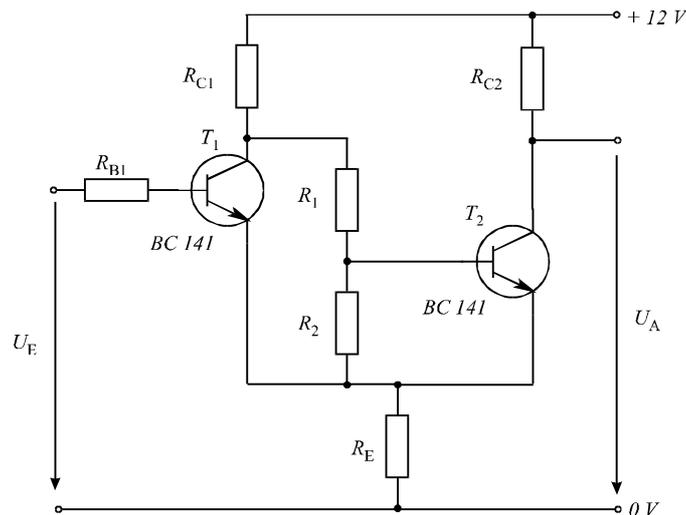


Abbildung 23: Stromlaufplan für Schmitt-Trigger

Dabei sind $R_1 = 5,6 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$, $R_{B1} = 1 \text{ k}\Omega$, $R_{C1} = 1 \text{ k}\Omega$, $R_{C2} = 750 \Omega$ und $R_E = 100 \Omega$.

Legen Sie eine Wechselfspannung von $U_{ESS} = 6 \text{ V}$, $f = 200 \text{ Hz}$ an den Eingang der Schaltung. Nehmen Sie mit dem Programm Speicheroszilloskop die Ausgangsspannung U_A auf.

Zur Aufnahme der Hysterese legen Sie eine Gleichspannung von $U_E = 0 \text{ V}$ bis $4,5 \text{ V}$ an den Eingang der Schaltung. Messen Sie dann die Ausgangsspannung U_A mit einem geeigneten LabView-Programm.

Protokoll

Beschreiben Sie die Grundidee der Schaltung und die Messparameter.

Plotten Sie die Schalthysterese und beschreiben Sie ihre Ursache. Vergleichen Sie in der Auswertung die gemessenen Spannungen mit den berechneten Werten.

Nennen Sie verschiedene Anwendungen für den Schmitt-Trigger.

5 Anhang - LabVIEW Tastenkombinationen

Objektoperationen

Strg + U Ordnet automatisch alle Verbindungen und Objekte im Blockdiagramm übersichtlich an.

Strg + B Entfernt alle ungültigen Verbindungen.

Doppelklick Setzt die Verbindung ab, ohne sie anzuschließen.

Leertaste Schaltet das automatische Verbinden während des Verschiebens von Objekten ein oder aus.

Oberfläche

Strg + E Zeigt das Frontpanel oder Blockdiagramm an.

Strg + T Zeigt das Frontpanel und das Blockdiagramm nebeneinander an.

Strg + H Zeigt die Kontexthilfe an.

Ausführung

Strg + R Startet das VI.

Strg + . Beendet das VI