

Versuchsanleitung

Elektronik-Praktikum

Prof. W. Kuntz
Dr. Cl. Müller
Heiko Abraham

Fakultät für angewandte Wissenschaften
Institut für Mikrosystemtechnik
Albert-Ludwigs-Universität
79110 Freiburg

Heiko Abraham
Freiburg i.Br., 11.Dezember 1997

Diese Praktikum wird für Studierende der Mikrosystemtechnik durchgeführt. Es soll Schwerpunkte aus dem Bereich der Grundlagenelektronik vermitteln.

Eine **kommerzielle Nutzung** der Versuchsanleitung ist in keinem Fall erlaubt! Wenn Sie diese Versuchsanleitung, oder Teile davon in diesem Sinne nutzen wollen, so setzen sie sich bitte mit mir (Email) in Verbindung.

Ich habe mich bemüht weitgehend immer die selbe Form zu wahren. So sind Hinweise in einer anderen Schriftart geschrieben, als der Anweisungstext. Praktische Querbezüge sollten ebenso leicht Einzug halten. Grafiken sind, so hoffe ich verständlich und klar gehalten. Um volles Verständnis zu gewinnen, empfehle ich, zu jeder Auswertungsfrage Fachliteratur zu konsultieren.

Sollten Fragen zu Meßgeräteschaltungen vorhanden sein, so lesen Sie bitte Kapitel 1.0.1 bis 1.0.8 .

Für Anregungen, die das Praktikum bereichern, bin ich gern unter
Email: abraham@informatik.uni-freiburg.de
erreichbar.

Inhaltsverzeichnis:

Das Elektronik-Praktikum - allgemeines	5
Versuch 1 - Grundlagen der elektrischen Meßtechnik	6
1.0 Grundlegendes zu Meßgeräteschaltungen	6
1.0.1 Das Amperemeter (Strommesser)	6
1.0.2 Das Voltmeter (Spannungsmesser)	6
1.0.3 Das Ohmmeter (Widerstandsmesser)	6
1.0.4 Spannungs- oder stromrichtig messen?	7
1.0.5 Das analoge Meßgerät	7
1.0.6 Das digitale Meßgerät	8
1.0.7 Der Oszillograph	9
1.0.8 Verwendete Meßgeräte im Labor	10
1.1 Kennenlernen des DMM	12
1.2 Messen von Spannung und Strom in einem Widerstandsnetzwerk	13
1.3 Wheatstonesche Meßbrücke	13
1.4 Der Frequenzgenerator / Der Oszillograph	14
1.5 Messung von Reaktanzen und Impedanzen	15
Versuch 2 - Halbleiterbauelemente	16
2.1 Kennlinie der Si-Diode, der Schottky-Diode, der Z-Diode	16
2.2 Spannungsstabilisierung mit Z-Diode	17
2.3 Bipolar - Transistor (NPN und PNP)	17
2.4 MOSFET - Transistor (n-Kanal)	18
2.5 Bipolar - Transistor als Schalter	20
Versuch 3 - Operationsverstärker	21
3.1 Nicht invertierender Operationsverstärker	23
3.2 Invertierender Operationsverstärker	23
3.3 Offset-Abgleich am invertierenden OPV	24
3.4 Komparator	24
3.5 Schmitt-Trigger (Komparator mit Hysterese)	25
3.6 Sinus- und Rechteckoszillator	26
3.7 Frequenzgang von Operationsverstärkern (ohne Versuch)	26
Versuch 4 - Aktive und passive analoge Filter	27
4.1 Passiver Tiefpaß (RC-Glied)	27
4.2 Passiver Hochpaß	28
4.3 Bandpaß	28
4.4 Aktiver Bandpaß	29
Versuch 5 - Vierpole	30
5.1 Vierpol-Reihen-Ersatzschaltung (mit Widerständen)	30
5.2 Doppel-T-Schaltung (RC/CR)	31
5.3 Aktiver Vierpol / Emittervertärker mit überbrücktem Emitterwiderstand	31
5.4 Übertrager	32
Versuch 6 - Kombinatorische Grundschaltungen	33
6.1 Dioden-Transistor-Logik	33
6.2 De Morgan'sche Theoreme	34
6.3 Schaltkreise mit Open-Kollektor-Ausgang	34
6.4 Übertragungskennlinie und Störabstand	35
Versuch 7 - Sequentielle Grundschaltungen	36
7.1 RS-FlipFlop	36
7.2 D - Flip-Flop	37
7.3 JK - Flip-Flop	38
7.4 Monostabiles Element	39
Die verwendeten Schaltkreise im Überblick:	39

Versuch 8 - Programmierbare Logikbausteine (PLD)	40
8.1 2-Bit-Vergleicher	40
8.2 Zweistelliger Oktal-Vorwärts-Zähler	40
Kurze Anmerkungen zur PLD-Software	41
Generelle Verbindungsstruktur des Versuchsboards:	45
Versuch 9 - Der Analog-Digital- und Digital-Analog-Umsetzer	48
9.1 Digital-Analog-Umsetzer mit 2R/R - Netzwerk	48
9.2 Analog-Digital-Umsetzer nach dem Single-Slope-Verfahren	49
9.3 Abtasttheorem	50
Versuch 10 - Sensoren und Aktoren	52
10.1 LED (ohne Versuch, siehe Versuch 10.4)	52
10.2 Fotodiode	53
10.3 Fotoelement	54
10.4 Optokoppler mit Fototransistor am Ausgang	55
10.5 Fotowiderstand	55
10.6 HALL-Sensor (Siemens TLE 4905L)	56
Literaturhinweise	57

Das Elektronik-Praktikum - allgemeines

Das Elektronik-Praktikum enthält z.Zt. 10 Versuche. Es wird in Gruppen zu je zwei Studierenden durchgeführt.

Hierzu ist eine **Anmeldung** erforderlich. Termin für das Wintersemester 1997/98 ist der **13. Oktober 1997**.

Anmeldungen sind über das Internet

<http://www.informatik.uni-freiburg.de/~abraham/ET/anmeldung.htm>

möglich.

Sie können sich als Gruppe oder einzeln anmelden. Zum letzteren Fall wird die Gruppeneinteilung durch die Praktikumsmitarbeiter vorgenommen. Die Anmeldungen sind verbindlich! Für das Praktikum wird mindestens ein Schein aus einer E-Technik Vorlesung vorausgesetzt.

Das Praktikum wird voraussichtlich an den folgenden Terminen angeboten:

Ab 21. Oktober 1997,		
jeweils	montags	14-17 Uhr
oder	freitags	14-17 Uhr

Bitte geben Sie bei Ihrer Anmeldung Ihren Wunschtermin an, so daß dieser Berücksichtigung finden kann. Die Zuordnung/Zulassung erfolgt in der Reihenfolge der Anmeldung. Der Termin wird ausgehängt.

Für die Erteilung des Scheines ist die erfolgreiche Durchführung von 9 Versuchen, sowie ein bestandener schriftlicher Abschlußtest erforderlich. Sollten Sie unvorbereitet zum Praktikum erscheinen, so laufen Sie Gefahr, vom Versuch ausgeschlossen zu werden.

Sollten Sie einmal an der Versuchsdurchführung auf triftigem Grund verhindert sein, wird Ihnen, soweit möglich, Gelegenheit zum Nachholen geboten. Bitte setzen Sie sich in einem solchen Fall rechtzeitig mit dem Assistenten in Verbindung.

Wichtig: Bitte behandeln Sie Geräte und Bauelemente sorgfältig. Melden Sie defekte Teile dem Assistenten. Jede Gruppe beendet Ihren Versuch durch die Abgabe einer Versuchsausarbeitung, dem Protokoll. Der Arbeitsplatz wird selbstverständlich aufgeräumt verlassen. Der Software-Transfer von oder auf Rechner im Labor ist strengstens zu unterlassen. Für Demo-Versionen können Sie sich an den Assistenten wenden. Sicherheitsaspekte sind während des Praktikums streng zu erfüllen. Sie werden am ersten Tage eine kurze Einführung zu diesen Thema vom Assistenten erhalten.

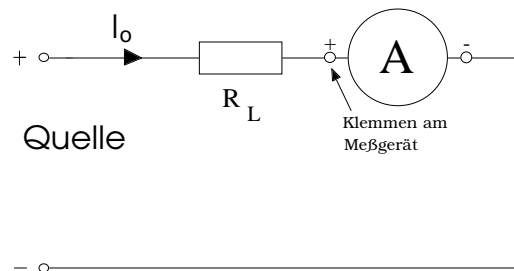
Sollten Sie grob diese allgemeinen Regeln nicht beachten, können Sie von der weiteren Praktikums-Teilnahme ausgeschlossen werden.

Versuch 1 - Grundlagen der elektrischen Meßtechnik

1.0 Grundlegendes zu Meßgeräteschaltungen

Einleitend werden in den Kapiteln 1.0.1 bis 1.0.8 kurz die wichtigsten Meßgerätegrundschaltungen vorgestellt. Im allgemeinen sollte die Kenntnis darüber jedoch voraussetzbar sein.

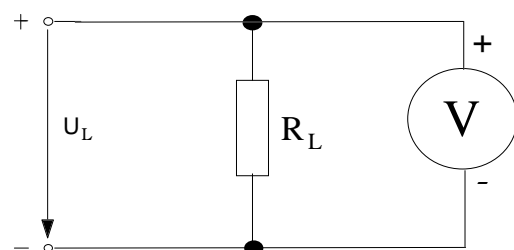
1.0.1 Das Amperemeter (Strommesser)



Um Ströme zu messen, verwendet man ein Amperemeter. Es wird in den Kreis (Reihenschaltung) geschaltet, in welchem man den Strom ermitteln will. Ein Amperemeter besitzt einen kleinen Innenwiderstand. Bei Wechselstrom muß ein Amperemeter mit AC-Meßbereich gewählt werden. Bei Gleichstrom ist die Polarität zu beachten. Bei digitalen Amperemetern wird oft nur der Spannungsabfall über einem Parallelwiderstand gemessen. Allgemein beträgt der Innenwiderstand zwischen $R_i=100\Omega$ bis $R_i=0,1\Omega$. Für

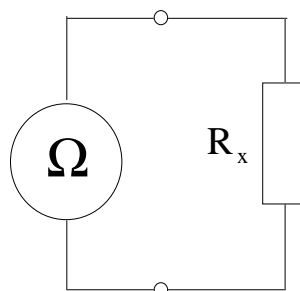
Strommessung im höheren Bereich wird als Parallelwiderstand, ein Shunt, $R_S \approx 0,01\Omega$, verwendet.

1.0.2 Das Voltmeter (Spannungsmesser)



Um eine elektrische Spannung U_L zu messen, verwendet man ein Voltmeter. Es wird an die Klemmen geschaltet, zwischen welchen die Spannung ermittelt werden soll. Ein Voltmeter besitzt einen sehr hohen Innenwiderstand. Bei Wechselspannung ist ein Voltmeter mit AC-Meßbereich zu verwenden. Bei Gleichspannung ist die Polarität zu beachten. (Ein digitales Voltmeter besitzt einen üblichen Innenwiderstand von $R_i=1M\Omega$)

1.0.3 Das Ohmmeter (Widerstandsmesser)



An vielen Multimetern (Dies sind Meßgeräte, die mehrere Meßfunktionen beinhalten) ist ein Ohmmeter vorhanden. Hiermit kann der (ohmsche) Widerstand R_x ermittelt werden. Oft wird dazu der Spannungsabfall über den Widerstand R_x bei konstantem Stromfluß ausgenutzt. Die Messung darf nicht während des Betriebes in einer Schaltung vorgenommen werden (spannungslos messen).

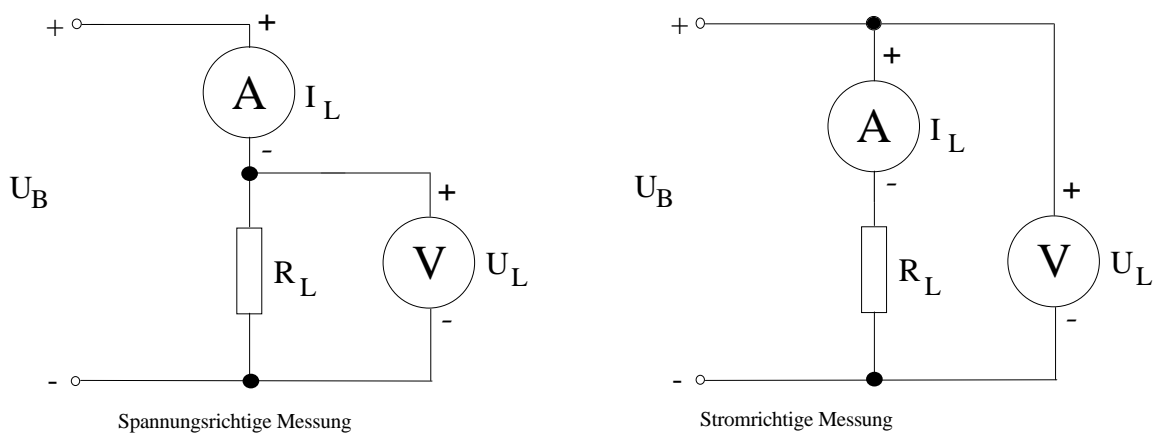
Genauere Werte sind je nach Meßbereich zwischen $R_x=1\Omega$ und $R_x=10M\Omega$ zu erwarten.

1.0.4 Spannungs- oder stromrichtig messen?

Jedes Meßgerät besitzt einen Innenwiderstand, eine Kapazität und eine Induktivität. Dies ist durch den physikalisch realen Aufbau bedingt. Diese Größen können im extremen Fall auf die Schaltung zurückwirken und die Meßwerte beeinflussen. Werden gleichzeitig mehrere Meßwerte gemessen, muß beachtet werden, daß durch die eingebauten Meßgeräte die zu messenden Größen nicht zu stark beeinflusst werden.

Oft sollen gleichzeitig Strom und Spannung gemessen werden. Hierbei muß man beachten, welchen Widerstandswert die Last annehmen kann. Ein Voltmeter besitzt einen hohen Innenwiderstand. Ein Amperemeter besitzt einen geringen Innenwiderstand.

Werden Spannung und Strom an einen Bauelement gleichzeitig gemessen, so unterscheiden wir zwischen folgenden Schaltungen:



Erinnern Sie sich an die Grundgesetze der Elektrotechnik und rechnen Sie die Fehlerwirkung exemplarisch für einen kleinen ($R_L=20\Omega$), bzw. großen Widerstand ($R_L=200k\Omega$) für jede der beiden Schaltungen aus ($U_B=10V$, $R_i \text{ Amperemeter}=1\Omega$, $R_i \text{ Voltmeter}=1M\Omega$).

Erkennen Sie die Zusammenhänge zur Namensgebung?

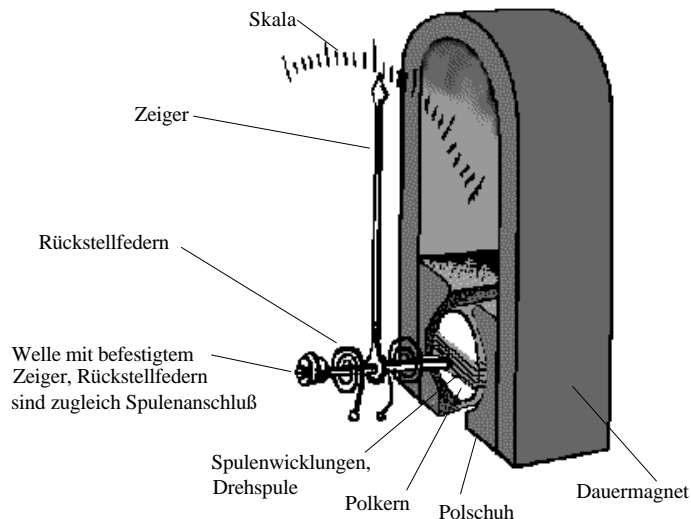
1.0.5 Das analoge Meßgerät

Ein analoges Meßgerät (auch Zeigermeßgerät) ist meist als Drehspul-Meßwerk ausgelegt (siehe Grafik).

Funktion:

Die Spule ist auf einen zylindrischen, beweglich gelagerten, Körper gewickelt. Hierbei sind die Spulendrähte parallel, rechteckig und rahmenförmig auf einen Aluminiumträger aufgebracht. Die Spule befindet sich im radial-homogenen Feld zwischen den Dauermagneten. Die Stromzuführung zur Spule erfolgt über zwei gegensinnig gewickelte Federn, welche gleichzeitig eine Gegenkraft zum Drehmoment entwickeln sollen.

Durch diese Federn wird im stromlosen Zustand die Nullage gehalten. Fließt durch die Spule ein Strom, so entsteht ein Magnetfeld und daraus resultierend ein Drehmoment nach dem motorischen Prinzip. Die Spule verdreht sich so weit, bis sich das Drehmoment aus dem Magnetfeld mit dem Drehmoment der Federn aufhebt. Die Verdrehung der Spule wird über den an ihr befestigten Zeiger zur Anzeige gebracht. Über eine angebrachte Skala kann der Wert abgelesen werden. Die Drehrichtung der Spule ist von der Stromflußrichtung abhängig. Der Winkel der Verdrehung ist dem Effektivwert der wirkenden Kraft proportional. Bei Wechselstrom ist ein Gleichrichter zu verwenden. Ein Stromfluß durch die Spule mit falscher Polarität bzw. Amplitude kann die mechanische oder thermische Zerstörung des Gerätes zur Folge haben.



Da analoge Meßgeräte oft nur eine Richtung des Zeigerausschlages zulassen, ist *unbedingt* die Polarität des Meßgerätes zu beachten.

Meßgeräte werden über vorhandene Steckbuchsen in die Schaltung eingeschaltet und der notwendige Meßbereich gewählt. Dies alles sollte im *spannungsfreien* Zustand der Meßschaltung geschehen! Hierbei wird zu Beginn der größte Meßbereich (also kleinste Auflösung) gewählt, gegebenenfalls kann er später geändert werden. Ein analoges Meßgerät ist in letztem Drittel der Skala (Ausschlag) am genauesten.

Während der Messung ist darauf zu achten, daß das Meßwerk die vorgeschriebene Lage erhält (i.a. waagrecht), sowie daß keine Störgrößen wirken (z.B. Magnetfeld). Der

Meßfehler wird in % vom Skalenendwert angegeben.

Achtung:

Analoge Meßwerke benötigen keine separate Betriebsspannung!

Meßgeräte bzw. Bauteile können beim Messen beschädigt oder zerstört werden, wenn :

- die Polarität vertauscht wird,
- eine falsche Meßschaltung verwendet wird (Parallel/Reiheneinschaltung)
- der eingestellte Meßbereich des Meßgerätes kleiner ist, als die zu messende Größe .

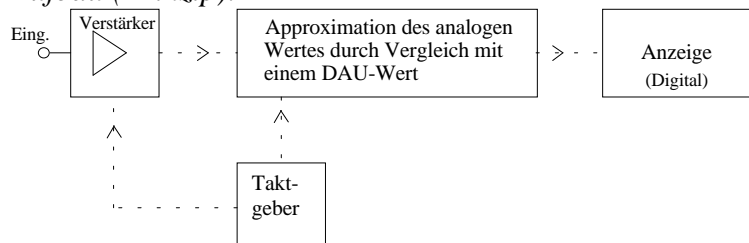
1.0.6 Das digitale Meßgerät

Funktion

Um einen Meßwert digital anzeigen zu können, gibt es viele Möglichkeiten. Hier soll nur eine vorgestellt werden.

Wie in der Skizze zu erkennen ist, existiert am Eingang ein Verstärker. Dieser hat die Aufgabe, den Eingangswiderstand zu erhöhen, sowie die Eingangsgröße für die Zeit der Ermittlung zu halten. Gefolgt wird diese Stufe von einer komplexen Baugruppe. Eine Logik erzeugt kontinuierlich einen Digitalwert. Ein DAU wandelt diesen digitalen Wert in eine analoge Größe, welche mit der Eingangsgröße verglichen wird. Gibt es eine Tendenzänderung, also Vergleichswert größer/kleiner, so wurde die reelle Eingangsgröße gerade überschritten, oder erreicht. Der entsprechende digitale Wert wird zur Anzeige weitergeleitet. Ein Taktgeber stellt die Synchronisation und den Steuerimpuls bereit.

Aufbau (Prinzip):



Digitale Meßgeräte sind sehr praktisch und einfach zu bedienen. Man sollte wissen, daß sie aufgrund der Zeit/Takt-Abhängigkeit bei der Digitalwertbildung Effektivwerte nicht korrekt ermitteln können. Der Umsatzvorgang benötigt eine gewisse Zeit, so daß nur drei Meßwerte je Sekunde ermittelt werden

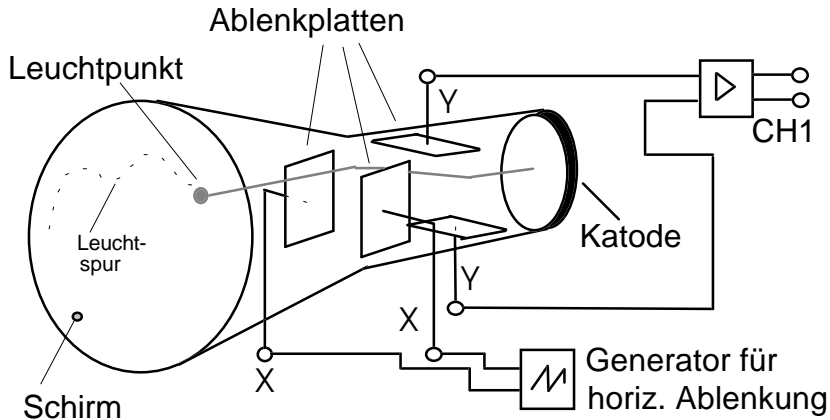
können. Es ist auch immer eine Betriebsspannung (Batterie) notwendig.

Digitale Meßgeräte sind heute für die verschiedensten Größen handelsüblich. Unter den Begriff *Multimeter*, oder *DMM* (digitale Multimeter), werden solche Meßgeräte zusammengefaßt, die mindestens die Größen elektrischen Strom (I), elektrische Spannung (U) und ohmschen Widerstand (R) ermitteln können.

1.0.7 Der Oszillograph

Der Oszillograph, manchmal auch fälschlicherweise Oszilloskop genannt, ist ein grundlegendes Meßgerät der Elektronik, um zeitveränderliche Spannungen in ihrem Graphen auf einem Bildschirm sichtbar zu machen (Signalverlauf- und Form), sowie deren Amplitude in Abhängigkeit zur Zeit messen zu können.

Prinzip, (der einfachste Oszillograph), Funktion:

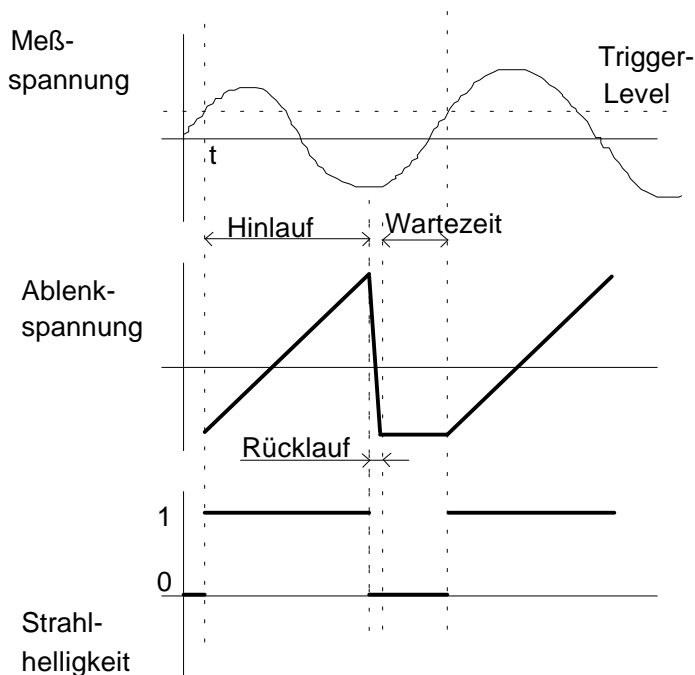


Hauptbestandteil des Oszillographen ist die Elektronenstrahlröhre. Abhängig von einem später erklärten Hell- Dunkel-signal, werden Elektronen aus der Katode ausgelost und in Richtung Schirm beschleunigt. Es entsteht ein gerichteter Elektronenstrahl. Dieser wird nun durch je zwei Kondensatorplatten in horizontaler (X), bzw. vertikaler (Y), Richtung abgelenkt. Die Ablenkung ist Abhängig von der Polarität und

Höhe der Plattenspannung an X und Y. Der auf dem Schirm auftreffende gebündelte Elektronenstrahl erzeugt einen Leuchtpunkt, dessen Farbe und Nachleuchtdauer von der auf der Innenseite des Schirmes aufgetragenen Leuchtschicht abhängt.

Triggerung am Oszillographen:

Bislang können mit dem oben angegebenen Oszillographen nur Signale „stehend“ auf dem Schirm darstellen werden, die einem ganzzahligen Vielfachen der (Ablenk-)Generatorfrequenz entsprechen. Mit einer Triggerung soll nun auch die Darstellung jeder beliebigen Frequenz als „stehendes“ Bild möglich sein, d.h. ein bestimmter Punkt in der Signalkurve an CH1 wird bei jedem neuen Durchlauf der Ablenkspannung an die selbe X-Y-Position geschrieben, es entsteht kein „laufender“ Graph. Ein Oszillograph bietet mehrere Trigger-Modes als Möglichkeit an. Hier soll einer näher beschrieben werden.

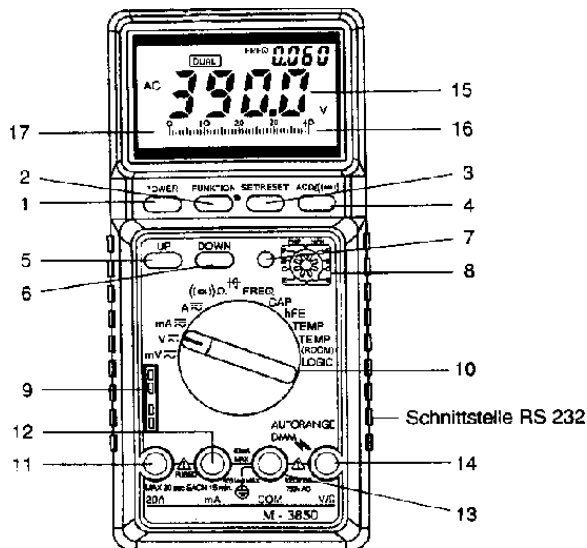


Die Triggerung wird zu einem Zeitpunkt t ausgelöst, wenn das Signal der Meßspannung einen bestimmten Wert (einstellbar) erreicht hat (Trigger-Level). Nun wird der Ablenkgenerator eingeschaltet und der Strahlverlauf proportional der Meßspannung dargestellt. Kommt der Strahl am Ende des Schirmes an, so wird er „dunkel“ geschaltet, zum Anfang des Schirmes zurück bewegt und in „Warte-position“ gesetzt, bis erneut die Meßspannung den Trigger-Level erreicht. Dann beginnt der Vorgang von neuem. Der Elektronenstrahl hat nur (Leucht-)Intensität, wenn auch der Ablenkgenerator eingeschaltet ist, sonst ist er dunkel (Hell-Dunkelschaltung).

Bei dieser Beschreibung wurde noch keine Aussage zur Funktion „slope“ gemacht, welche dann aber im Versuch 1 anhand eines Beispielen untersucht wird.

1.0.8 Verwendete Meßgeräte im Labor

Hier soll nur eine kurze Darstellung der im Labor vorhandenen Meßgeräte angegeben werden. Die ausführliche Dokumentation zu dem jeweiligen Gerät können Sie im Labor oder in der Bibliothek einsehen.

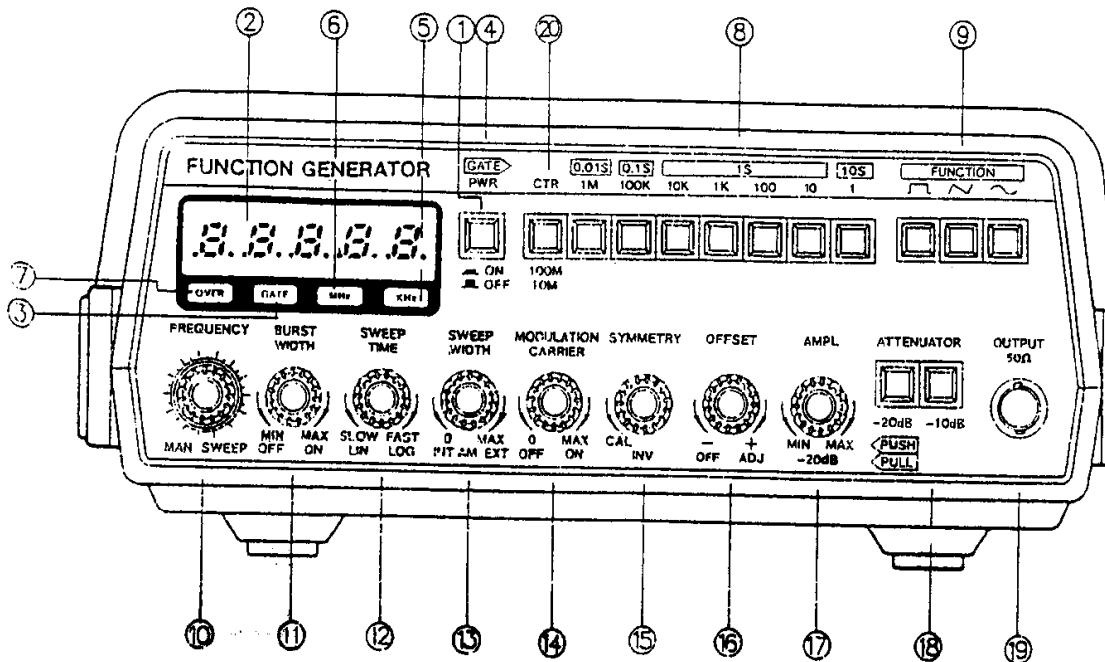


Das LCD-Digital-Multimeter M-3830

- (1) - Gerät ein/aus
- (2) - Drucktaster für Funktion wie Min/Max, REL, DUAL...
- (3) - Set/Reset-Taste (Grundzustand zurücksetzen)
- (4) - Umschaltung zw. Gleich- und Wechselgrößen
- (5) - Taste für manuelle Meßbereichswahl (höher)
- (6) - Taste für manuelle Meßbereichswahl (kleiner)
- (7) - Hintergrundbeleuchtung (braucht Strom!)
- (8) - Transistor-Sockel für h_{FE} -Messung
- (9) - Kapazitäts- bzw. Temperaturmeßsockel
- (10) - Drehschalter für Wahl der versch. Betriebsarten
- (11) - 20 A - Meßeingang (Strommessung)
- (12) - Eingang für Messung des Stromes bis 400mA
- (13) - COM-Eingangsbuchse (GND)
- (14) - Eingangsbuchse Volt / Ohm (max. 750V DC)
- (15) -LCD-Display zur Anzeige der Werte/Betriebsart
- (16) - Analog-Baragraph zur digitalen Anzeige

Anzeige „OL“ im Display bedeutet Bereichsüberschreitung.
Gerät verfügt über automatische Bereichswahl.

Der Frequenzgenerator Modell GFG-8050

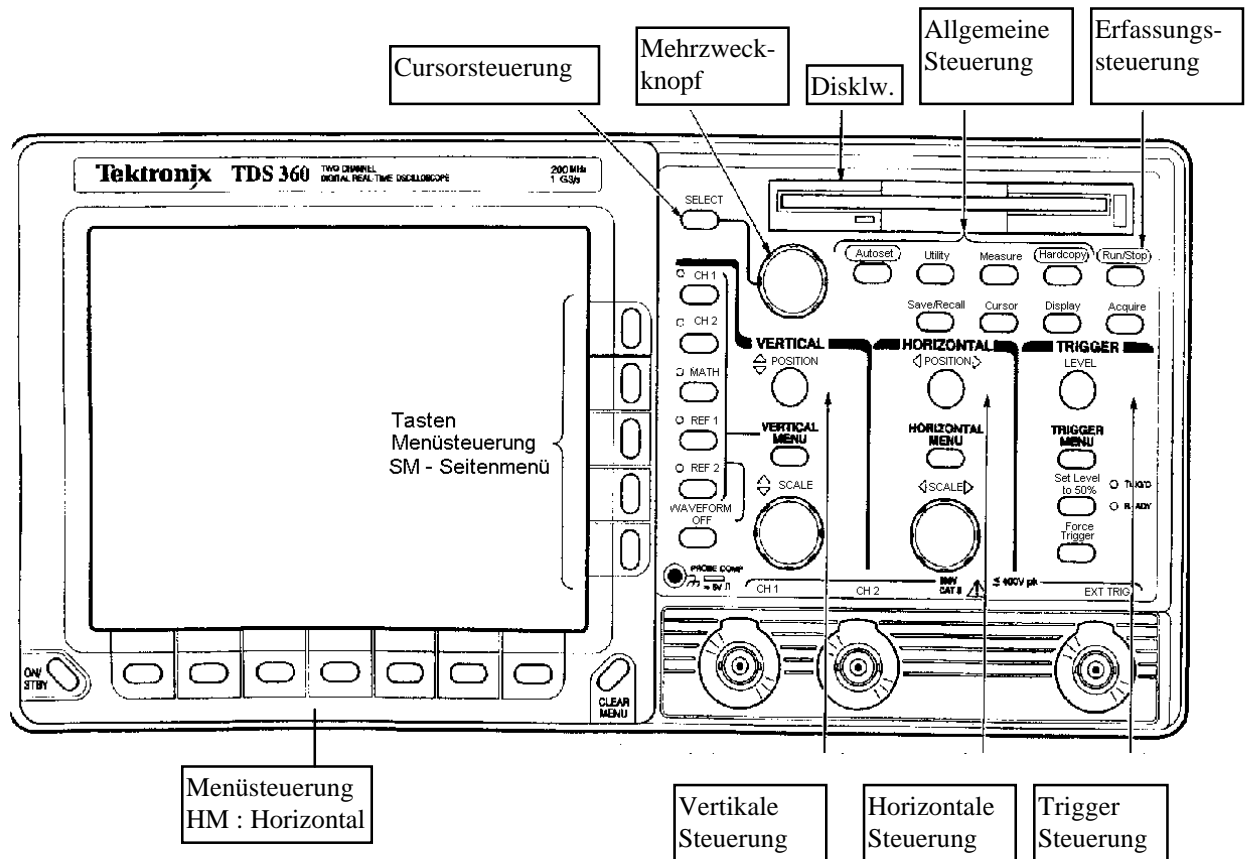


- (1) Netzspannung ein/aus
- (2) Anzeige der Generatorfrequenz
- (3) LED-Anzeige Torzeit
- (4) Einstellung der Torzeit bei externer Frequenzmessung
- (5) LED-Anzeige für kHz - Bereich
- (6) LED-Anzeige für MHz - Bereich
- (7) Leuchtet, wenn Frequenzbereich überschritten
- (8) Grobwahl der Generatorfrequenz
- (9) Einstellung der Signalform - Out
- (10) kontinuierliche Frequenzeinstellung zu (8)
- (11) Burst - Funktion ein/aus - einstellbar
- (12) kontinuierliche Einstellung der Wobbelrate von 2s bis 20ms, lineares/log. Wobblen
- (13) Einstellung Wobbelhub bei Knopf gedrückt
- (14) Einstellung der Modulationsrate 0-100%
- (15) Einstellung der Symmetrie der pos. und neg. Halbwelle, Linksanschlag=CAL
- (16) einstellbarer DC-Offset
- (17) Einstellung der Ausgangsamplitude
- (18) Abschwächung der Ausgangsamplitude um -10/-20dB
- (19) BNC-Ausgangsbuchse (50Ω R_i)
- (20) Frequenzzähler Bereichsumschalter

Auf der Geräterückseite des Frequenzgenerators befinden sich zusätzlich z.B. :

- COUNTER IN externer Frequenzzählereingang
- TTL OUT TTL-Ausgang, z.B. zum Triggern
- GCV OUT Gleichspannungsausgang für die eingestellte Generatorfrequenz, für das Wobbeln = Rampenausgang

Der Oszillograph Tektronix TDS 360:



Versuch 1

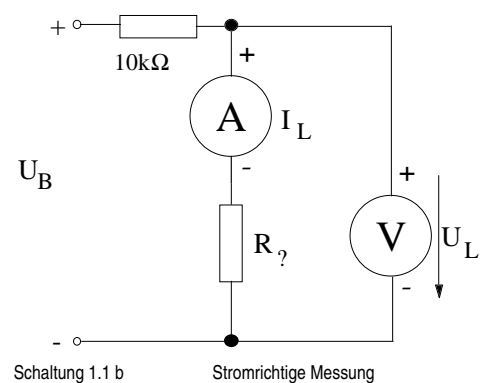
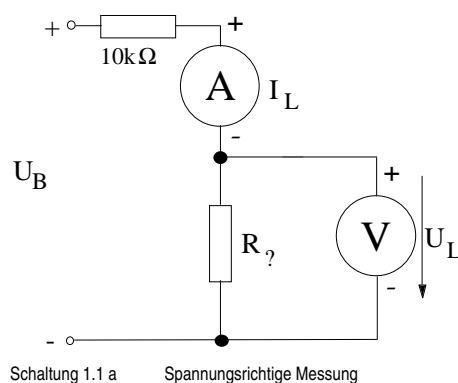
In den folgenden Versuchen wollen wir den Umgang mit elektrischen Meßgeräten näher kennenlernen. Prinzipiell werden das Digital-Multimeter (DMM), sowie der Oszillograph vorgestellt. Da in der Meßtechnik auch immer definierte Signale von Interesse sind, kommt dem Frequenzgenerator als Signalquelle besondere Bedeutung zu.

<u>Verwendete Geräte:</u>	1 Oszillograph	1 Stromversorgungsgerät
	2 DMM	1 PC
	1 Frequenzgenerator	diverse Kabel

1.1 Kennenlernen des DMM

Aufgabe: Es soll der ohmsche Widerstand einer Black-Box ermittelt werden. Weiter sollen die Fehlerinflüsse der Meßschaltung untersucht werden. Es wird die spannungsrichtige bzw. stromrichtige Meßschaltung verwendet.

Schaltung:



Bauen Sie die jeweilige Schaltung auf. Verwenden Sie als Betriebsspannung $U_B = 10V$. Benutzen Sie den eingetragenen Widerstand ($10k\Omega$) als Schutzwiderstand.

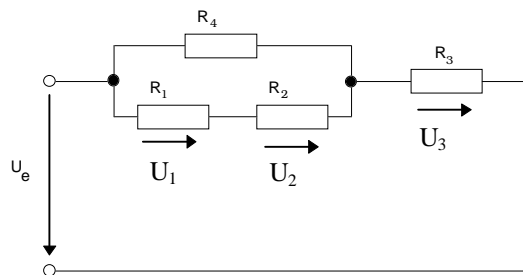
- Notieren Sie die Meßwerte zu der jeweiligen Schaltung
- Messen Sie den Widerstand mit dem DMM nach
- Welche Fehler werden bei der jeweiligen Schaltung gemacht? Berechnen Sie den Fehler in Prozent.
- Wie können die Fehler eliminiert werden?
- Protokollieren Sie Ihren Versuch ausreichend.

- Wie berechnet sich die thermische Verlustleistung im Widerstand R_x ? Welche Werte sind für Widerstände in der Praxis üblich? Welche Bauformen besitzen Widerstände (z.B. Schichtwiderstände)?

1.2 Messen von Spannung und Strom in einem Widerstandsnetzwerk

- Aufgabe:**
- Berechnen Sie die Widerstände für das unten in der Schaltung angegebene Netzwerk, so daß die angegebenen Bedingungen erfüllt werden.
 - Berechnen Sie die Ströme durch jeden einzelnen Widerstand (ideale Widerstände) Achten Sie darauf, daß die Verlustleistung über jeden Widerstand $< \frac{1}{4} \text{ W}$ bleibt!
 - Wählen Sie passende Widerstände, um das Netzwerk aufzubauen. (E24-Reihe)
 - Bauen Sie die Schaltung auf, messen Sie alle Spannungen und Ströme nach. Wenn Abweichungen zu errechneten Werten auftreten, berechnen Sie die Toleranzen.

Schaltung:



Schaltung 1.2

$$R_4 \neq R_1 + R_2$$

$$U_3 = \frac{1}{4} U_e$$

$$U_2 = \frac{1}{2} U_e$$

$$U_1 = \frac{1}{4} U_e$$

U_e frei wählbar zwischen
1-30 Volt

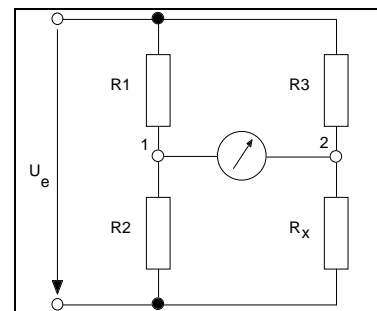
- Geben Sie in Ihrem Protokoll einen Rechenweg zur Bestimmung der Widerstände an.

1.3 Wheatstonesche Meßbrücke

Die *Wheatstonesche Meßbrücke* hatte ursprünglich besonders Bedeutung zur Widerstandsbestimmung. Das Prinzip dieser Schaltung ist in der folgenden kleinen Grafik zu erkennen.

Die Betriebsspannung U_e ist eine Gleichspannung. Die Widerstände R_1 , R_2 , R_3 sind in ihrem Wert sehr genau bekannt. Der Widerstand R_x soll ermittelt werden. Man kann jetzt, durch z.B. Schaltergruppen, die Widerstände R_1 , R_2 , R_3 in ihrem Wert so lange variieren, bis über das Meßgerät kein Stromfluß mehr zu messen ist. Nun sprechen wir von einer abgeglichenen Brücke. Jetzt besitzen Punkt 1 und Punkt 2 das gleiche Potential. Nach den Gesetzen des Spannungsteilers können wir nun R_x berechnen. Die Stromflußrichtung durch das Meßgerät zeigt die momentan eingestellte Tendenz zu R_x an, also Widerstand R_x kleiner/größer als Verhältnis momentan eingestellt.

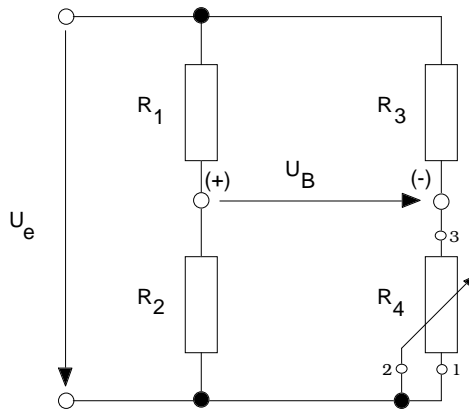
Meßgeräte, die nach diesem Verfahren den Widerstandswert ermitteln, sind oft sehr groß. Die Einstellung der Widerstände R_1 - R_3 erfolgt oft gemischt durch regelbare Widerstände (Potentiometer), oder durch Reihen- Parallelschaltung. Somit scheint dieses Gerät sehr unpraktisch, jedoch können damit Widerstände präzise ermittelt werden, was mit weniger als ein Promille Fehler geschehen kann.



Heute wird diese Schaltung vermehrt etwas abgeändert als *Meßbrücke* verwendet. Aus der Veränderung der Widerstandswerten werden Spannungsdifferenzen (Pkt. 1 - Pkt. 2) gebildet. Man bezeichnet diese Differenz als Brückenspannung. Die Meßbrücke gilt als *abgeglichen*, wenn die Brückenspannung gleich Null ist. Diese Meßbrücken sind (im strengen Sinne) keine Wheatstoneschen Brücken, da sie im allgemeinen nicht abgeglichen werden!

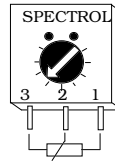
- Aufgabe:**
- Bauen Sie die folgende Schaltung auf.
 - Ermitteln Sie U_B in Abhängigkeit vom Drehwinkel α von R_4 .

Schaltung:



Schaltung 1.3

- $R_1 = R_2 = R_3 = 4,7 \text{ k}\Omega$
 $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ – Potentiometer, linear, 0,5W
 $U_e = 4\text{V}$ (DC)
 Def.: $0^\circ = \text{Linksanschlag} = R_4 \text{ ist max.} = 10 \text{ k}\Omega$



Potentiometer R_4
 Typ: Spectrol 63P,
 270° Drehwinkel
 Teilung allg. 30°,
 erste Teilung 15°

- Erstellen Sie eine Tabelle, in der Sie die Brückenspannung U_B in Abhängigkeit zum Drehwinkel α des Potentiometers darstellen ($\alpha = 0^\circ / 15^\circ / 45^\circ / 75^\circ / 105^\circ / 135^\circ / 165^\circ \dots$).
- Errechnen Sie aus den gegebenen Werten unter der Annahme $I_{UB} = 0 \text{ mA}$ den Widerstand $R_4(\alpha)$
- Skizzieren Sie den Graph $U_B(\alpha)$ und $R_4[\alpha]$.
- Welches Ergebnis für U_B würden Sie erwarten, wenn $R_1(\alpha) = R_4(\alpha)$, veränderlich, wäre?

1.4 Der Frequenzgenerator / Der Oszillograph

Machen Sie sich vor dem Versuch mit den Unterlagen zum Oszillograph vertraut. In dem Handbuch befinden sich viel Grafiken, die den Umgang und die umfangreichen Bildschirmanzeigen darstellen. Die Handbücher zu jedem Meßgerät sind im Labor einzusehen.

- Aufgabe:**
- Es sollen die Signalformen Sinus, Dreieck, Rechteck auf den Oszillograph dargestellt werden und der Spitze-Spitze-Wert der Spannung U_{ss} , Effektivspannung U_{eff} , sowie die Scheitelspannung \hat{u} gemessen werden.

Stellen Sie am Frequenzgenerator ein:

- Kurvenform: Sinus
- Frequenz: 10kHz
- Kein Gleichspannungsanteil (DC-Offset = 0V)
- Amplitude 4 V (muß mit Hilfe des Oszillograph eingestellt werden)

Stellen Sie am Oszillograph ein:

- HM = Tasten des Horizontalmenü an Unterseite des Display, SM = Seitenmenü
 (- gegebenenfalls zuvor mit Taste AUTOSET Grundeinstellung herstellen)
- Spannung des Frequenzgenerators auf CH1 (BNC-Steckverbinder auf CH1 und Taste CH1 → on)
 - Automatische Triggern
 (Taste TRIGGER MENÜ → Auswahl des Kanals, auf dem getriggert werden soll: HM:Source 1, SM:CH1)
 (Automatische Triggereinstellung durch: TRIGGER MENÜ → HM:Mode-Auto, SM:Auto)

Stellen Sie gegebenenfalls nun die Amplitude des Signals auf 4 V nach. Nutzen Sie zur Änderung der Auflösung der Y-Achse am Oszillograph den SCALE-Knopf des vertical - Abschnittes.

Hinweis:

Zum Nachmessen von Werten der X-Achse, bzw. Y-Achse, steht ein Cursormenü zur Verfügung. Es kann mit Taste Cursor eingeschalten werden. (Cursor → HM:H-BARS). Die auf dem Display sichtbare Linie kann mit dem Mehrwegknopf bewegt werden. Mit der Taste Select kann die aktive Linie gewechselt werden, die gestrichelte Linie ist die inaktive Linie. Oben rechts im Display ist dann die Differenz im X- und Y-Teil gegenüber der inaktiven Linie sichtbar.

- Messen Sie den Spitze-Spitze-Wert der Spannung U_{ss} , die Periodendauer T (HM:V-BARS) nach.

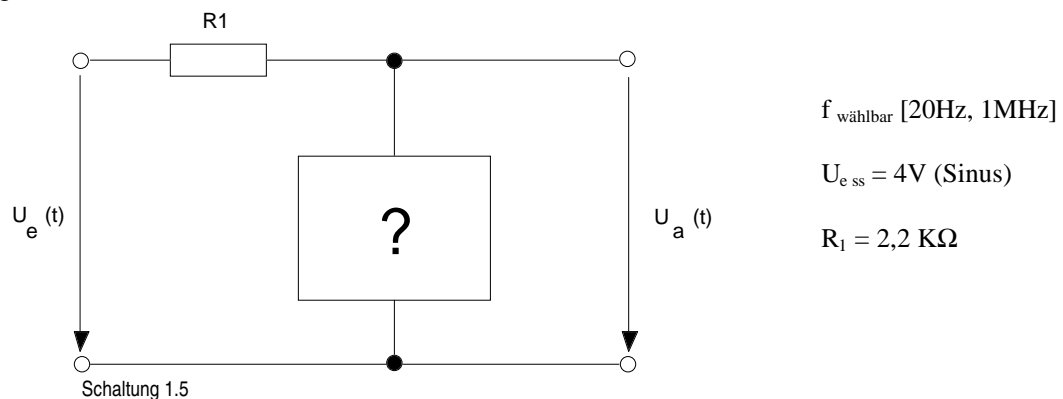
- Berechnen Sie die Frequenz f_s und den Effektivwert $U_{\text{eff},s}$ der Sinusspannung.
 Stellen Sie nun am Frequenzgenerator die Signalform **Rechteck** ein. (U_{ss} Generator 4 V)
 - Verfahren sie analog, wie bisher und messen Sie die Spitzenspannung U_{ss} , die Periodendauer T nach.
 Berechnen Sie die Frequenz f_R und den Effektivwert $U_{\text{eff},r}$ der Dreieckspannung.
 Stellen Sie nun am Frequenzgenerator die Signalform **Dreieck** ein. (U_{ss} Generator 4 V)
 - Verfahren sie analog, wie bisher und messen Sie die Spitzenspannung U_{ss} , die Periodendauer T nach.
 Berechnen Sie die Frequenz f_D und den Effektivwert $U_{\text{eff},d}$ der Dreieckspannung.
 Schalten Sie nun am Oszillograph auf Normal-Triggerung. (TRIGGER MENU \rightarrow HM: Mode Auto, SM: Normal)
 - Welche Auswirkung hat der LEVEL-Regler? Verändern Sie auch die Amplitude am Frequenzgenerator! Welche Auswirkung hat die Slope-Umschaltung im TRIGGER MENU (HM und SM)?
- Stellen Sie die drei Signalformen in einer Tabelle gegenüber. Geben Sie an:
 - Spitzenspannung U_{ss} , Effektivwert der Spannung U_{eff} , Scheitelwert der Spannung \hat{u} , die Graphen.

1.5 Messung von Reaktanzen und Impedanzen

Reaktanzen sind Bauelemente, bei denen die Spannung und der Strom um 90° in der Phasenlage verschoben sind. Beispiele hierfür sind Kondensator und Spule.

- Aufgabe:**
- Sie erhalten eine Black-Box. Ermitteln Sie, ob sich in der Black-Box eine Spule oder ein Kondensator befindet. Berechnen Sie aus ihren Meßwerten dessen Größe (in mH od. μF)
 - Drucken Sie das entstandene Oszillogramm aus.

Schaltung:



- Stellen Sie am Frequenzgenerator eine geeignete Frequenz ein (z.B. 100Hz, 1kHz, 6kHz...).
 - Verwenden Sie als Signalform Sinus.
 - Messen Sie U_e und U_a mit dem Oszillograph zu mindestens zwei verschiedenen Frequenzen.
 - Ermitteln Sie die Phasenverschiebung zwischen $U_e(t)$ und $U_a(t)$.
 - Drucken Sie das entstandene Oszillogramm mit der Software „Oszzi“ (Programmgruppe Oszzi-SW) unter Windows aus.
- Starten Sie dazu den PC, doppelklicken auf das Icon Oszzi in der Programmgruppe Oszzi-SW
- Oszillogramm einlesen mit:
- Menü Bilder \rightarrow Einlesen Bild
 - Das eingelesene Bild kann als TIF-, BMP-, oder PCX-File gespeichert werden
 - Speichern Sie das Bild im Verzeichnis unter `c:\labor\vers1\1_5.bmp`
- Oszillogramm ausdrucken: (Drucken mittels PC über Druckserver)
- Zum Ausdrucken des Bildes öffnen Sie die entsprechende Datei
 - Menü Bilder \rightarrow Öffnen Datei
 - Ausdruck des Bildschirm Inhaltes mit dem Menü Bilder \rightarrow Drucken Bild
- Oszillogramm nur auf dem Monitor anzeigen (gespeichertes Bild) Bilder \rightarrow Anzeiger Bild
- Entscheiden Sie, ob es sich um eine Spule, oder einen Kondensator handelt.
 - Leiten Sie die Formel zur Berechnung her und berechnen Sie die gesuchte Größe (L bzw. C)
 - Erklären Sie eventuell auftretende Toleranzen in der Berechnung.

Versuch 2 - Halbleiterbauelemente

Im Versuch zwei wollen wir uns den grundlegenden Bauelementen der Halbleitertechnik widmen. Es sollen vor allem die Kennlinien der Bauelemente meßtechnisch ermittelt werden. Vereinzelt werden auch an Beispielschaltungen Messungen durchgeführt. In manchen Fällen müssen wir einen Kompromiß bei der Ermittlung genauer Wert eingehen, halten dafür aber den Aufwand an Zeit und Meßtechnik geringer.

<u>Verwendete Geräte:</u>	1 Oszillograph	1 Stromversorgungsgerät
	2 DMM	1 PC
	1 Frequenzgenerator	diverse Kabel

2.1 Kennlinie der Si-Diode, der Schottky-Diode, der Z-Diode

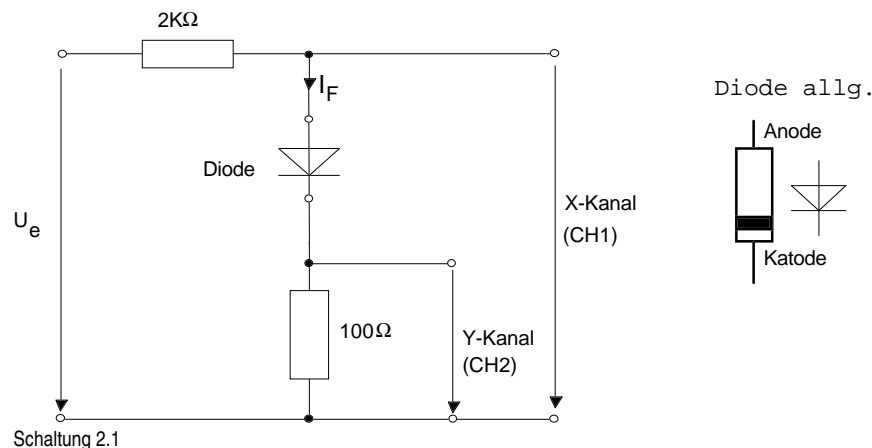
In diesem Versuch wollen wir die Diodenkennlinie verschiedener Dioden aufnehmen. Wenn man eine Schaltung analog zu Versuch 1.1 wählt, ist für Dioden in Durchlaßrichtung die spannungsrichtige, in Sperrbereich die stromrichtige Schaltung zu verwenden. Weiter sind für die Kennlinie genügend viele Meßpunkte aufzunehmen. Wir wollen jedoch ein anderes Meßverfahren anwenden.

Der Oszillograph besitzt horizontale und vertikale Ablenkplatten. Dies wollen wir nutzen, um in X - Richtung die Spannung U_F , in Y - Richtung den Strom I_F durch die Diode anzeigen zu lassen. Wird eine geeignete Betriebsspannung verwendet, so entsteht auf dem Display die Diodenkennlinie.

Aufgabe: - Es soll mit dem Oszillograph die Strom-Spannungskennlinie der folgenden Dioden aufgenommen werden. (Je für den Durchlaß- und Sperrbereich.)

- Si-Universal-Diode 1N4148
- Schottky-Diode BAT41
- Z-Diode ZPD6.2

Schaltung:



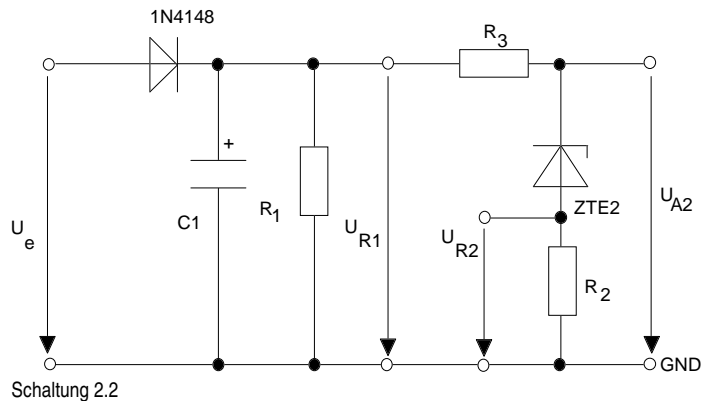
- Verwenden Sie als Betriebsspannung U_e eine Kurvenform des Frequenzgenerators mit der max. Amplitude!
- Welche Kurvenform und Frequenzen eignet sich als Betriebsspannung U_e zur Aufnahme ?
- Der Oszillograph wird mit der Taste `DISPLAY` → `HM`: Format, `SM`: XY - Form wählen auf XY-Darstellung eingestellt.
(Achten Sie darauf, daß beide Kanäle einen vertikalen Offset (POSITION) von Null haben!)
- Nehmen Sie die drei Kennlinien auf, speichern Sie diese mit der Software „Oszi“ unter

- c:\labor\vers2\al_bild1.bmp ... bis al_bild3.bmp ab und drucken Sie diese aus.
 - Entnehmen Sie der Kennlinie die Durchlaßspannung U_F bzw. für c) die Zenerspannung U_Z
 - Charakterisieren Sie alle drei Kennlinien. Gehen Sie dabei auf grundlegendes zu den Aufbau der Dioden ein. Welche Funktion besitzt der Widerstand 100Ω in der Schaltung?

2.2 Spannungsstabilisierung mit Z-Diode

Aufgabe: - Untersuchen Sie die folgende Gleichrichtungs- und Spannungsstabilisierungsschaltung.

Schaltung:



$R_1 = 470 \text{ Ohm}$
 $R_2 = 100 \text{ Ohm}$
 $R_3 = 10 \text{ kOhm}$

$C_1 = 4,7\mu\text{F}$

Bei der Zener-Diode ZTE2 entspricht die Gehäuse-Ringkennzeichnung der Anode.

- Verwenden Sie als Betriebsspannung $U_{e,ss} = 10\text{V}$, Sinus, des Frequenzgenerators, $f = 200\text{Hz}$.
- Stellen Sie U_e (CH1) und U_{R1} (CH2) als Oszillogramm dar. Hierbei sollen jeweils **zwei** Fälle betrachtet werden. **1.** $C_1 = 0 \mu\text{F}$, **2.** $C_1 = 4,7 \mu\text{F}$!! (**Polarität!**) Speichern Sie den Graphen für Fall 1 unter REF1. Drucken Sie die entstanden Oszillogramme für CH1, CH2 (für Fall 2) und REF1 aus. Erklären Sie die Unterschiede. Nutzen Sie zum drucken die Software „Oszi“ unter Windows. Speichern Sie das entstandene Bild unter c:\labor\vers2\ a22_b1.bmp
- Bei Probleme mit der Triggerung, nutzen Sie bitte die externe Triggerung.
- Klemmen Sie nun CH1, CH2 so um, daß Sie die Spannung U_{R1} und U_{A2} messen ($C_1 = 4,7\mu\text{F}$). Speichern Sie CH1 unter REF1 ab und klemmen Sie CH1 so um, daß Sie U_{R2} ermitteln. Drucken Sie nun CH1, CH2, REF1 aus, speichern Sie das Bild unter a22_b2.bmp. Erklären Sie das entstandene Oszillogramm.
- Hinweis:** Mittels U_{R2} wird der Strom durch die Z-Diode dargestellt ($I_Z = U_{R2} / R_2$). Was ändert sich am Bild, wenn $U_{e,ss}$ verändert wird?

2.3 Bipolar - Transistor (NPN und PNP)

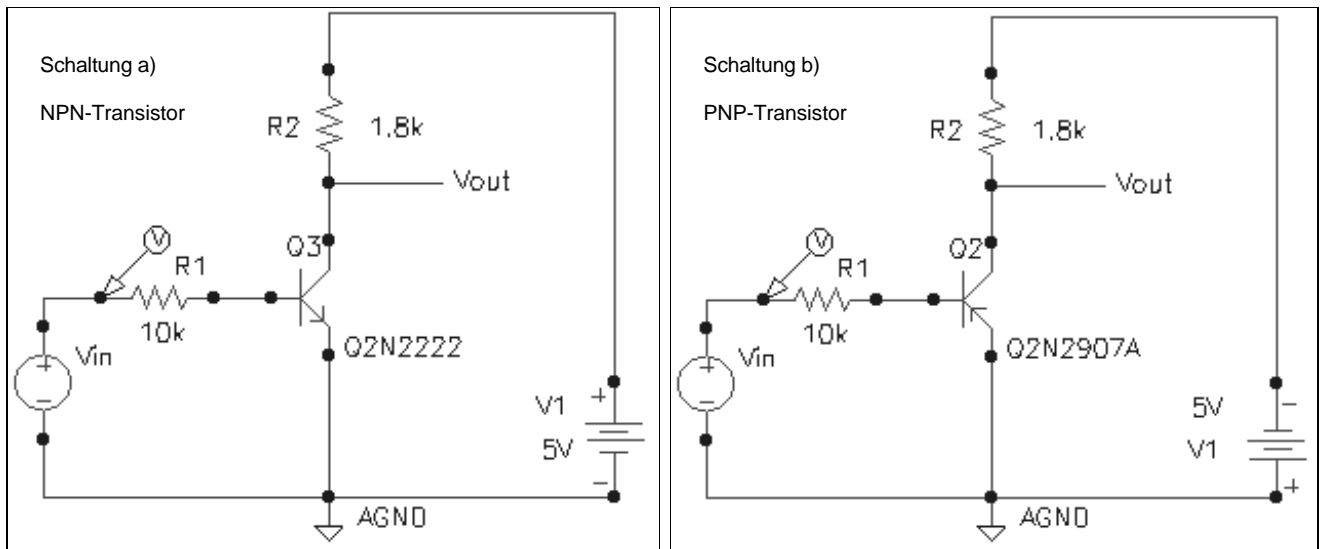
Anmerkung:

In diesem Versuch wollen wir die Vorteile eines Rechners mit entsprechender Software nutzen, um die Schaltung und das Ergebnis einer einfachen Transistorschaltung zu simulieren.

Wir verwenden die Demoversion von MicroSim Design Center 6.2. Diese Version ist unter Windows 3.x mit min. 4MB RAM, CPU386+FPU und ca. 15MB Plattenspeicher lauffähig. Der Kern des Programmes beruht auf dem bekannten PSPICE-Simulator. Die Demoversion ist frei kopierbar. Sie erhalten Sie unter <http://www.informatik.uni-freiburg.de/FREAK/praktika.html>

- Aufgabe:**
- Es soll eine Simulation einer Transistor-Schaltung (PNP und NPN) durchgeführt werden.
 - Verwenden Sie den Schaltplaneditor *Schematics* aus der Programmgruppe *MicroSim Eval 6.2* .
 - Geben sie die nachfolgenden Schaltungen mit Hilfe des Editor ein.
 - Führen Sie ein Gleichstromanalyse für V_{in} von $[-5\text{V}, +5\text{V}]$ durch. Betrachten Sie das Simulationsergebnis für V_{out} (Übertragungskennlinie)

Schaltung:

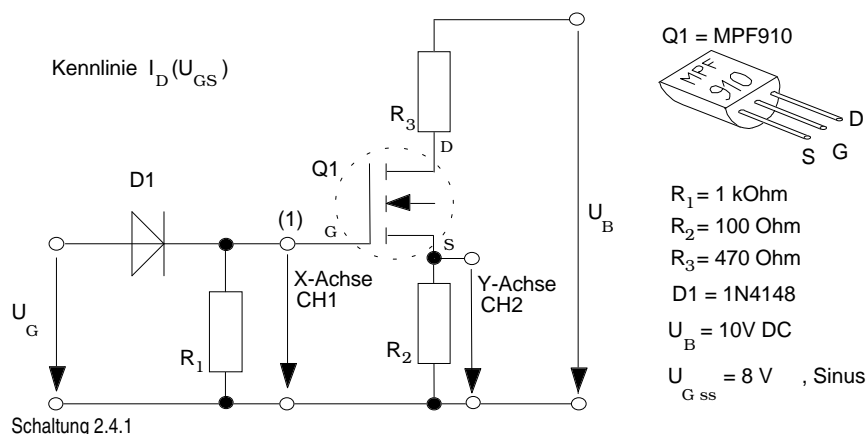


- Der Schaltplan enthält unten rechts einen Kopf. Tragen Sie in diesen bitte Ihren Namen und das Datum, sowie eine Bezeichnung für die Schaltung (z.B. „NPN-Transistor-Schaltung“) ein.
- Drucken Sie jeweils für Schaltung a) und b) die Schaltpläne, wie auch das Simulationsergebnis aus. Erklären Sie das Simulationsergebnis.

2.4 MOSFET - Transistor (n-Kanal)

- Aufgabe:**
- Nehmen Sie die Kennlinie eines n-Kanal - MOSFET - Transistors auf.
 - Bauen Sie dazu nachfolgende Schaltung auf.
 - Nehmen Sie mit der Schaltung 2.4.1 die Kennlinie $I_D (U_{GS})$ auf, bestimmen Sie U_{TO} .
 - Nehmen Sie mit der Schaltung 2.4.2 die Kennlinie $I_D (U_{DS})$ auf.
 - Bestimmen Sie, um welchen Typ es sich handelt (Depletion oder Enhancement).

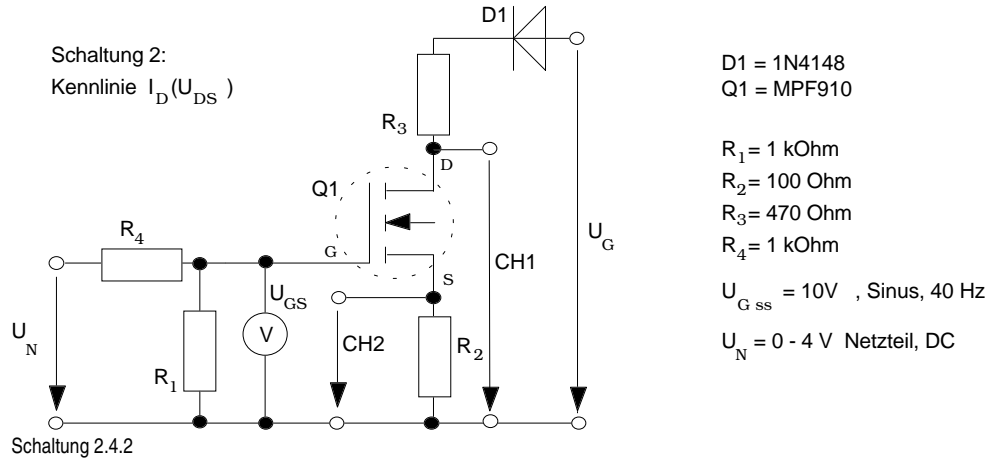
Schaltung1:



- Nutzen Sie als U_G eine sinusförmige Ausgangsspannung des Frequenzgenerators ($f=1\text{kHz}$).
- Für die Betriebsspannung U_B nutzen Sie das Stromversorgungsgerät.
- Benutzen Sie am Oszilloskop die XY-Darstellung (U_{GS} X-Achse, I_D Y-Achse).
- Nehmen Sie die Kennlinie $I_D (U_{GS})$ auf, drucken Sie den Graphen mit der Software „Oszi“ unter Windows aus und speichern Sie das Bild unter `c:\labor\vers2\24_b1.bmp`.

- Schalten Sie nun in den mit (1) gekennzeichneten Punkt im Schaltplan ein Amperemeter ein, um den Strom I_G zu messen. (U_{TO} , Index T = Threshold)
- Entnehmen Sie der Kennlinie die Schwellspannung U_{TO} (Gate-Source-Spannung), bei der kein Drainstrom I_D mehr fließt.

Schaltung 2:



- Bauen Sie die Schaltung 2.4.2 auf.
- Verwenden Sie für die Spannung U_G den Frequenzgenerators.
- Die verschiedenen Gate-Source-Spannungen erstellen Sie mit Hilfe des Stromversorgungsgerätes. Messen Sie die eingestellte Spannung (U_{GS}) mit dem Voltmeter nach. (Hierbei ist U_{GS} natürlich proportional U_N .)
- Benutzen Sie am Oszillograph die XY-Darstellung
X-Achse (CH1) = I_D ,
Y-Achse (CH2) = U_{DS}
- Stellen Sie nun nacheinander die verschiedenen Spannungen U_{GS} ein.
Beispiel: $U_{GS} = 0,5V / 1,65V / 2,15V / 2,55V / 2,7V / 2,75V / 2,8V$

Für jede eingestellte Spannung U_{GS} erhalten Sie eine Kennlinie. Drucken Sie jede Kennlinie aus, um alle in einem gemeinsamen Kennlinienfeld darstellen zu können (per Hand od. PC).

- Welche Aufgabe soll die Diode D1 in der Schaltung erfüllen?
- Welche Funktion erfüllen R_4 , R_1 , bzw. der Widerstand R_2 ?
- Erklären Sie die so entstandene Kennlinie.

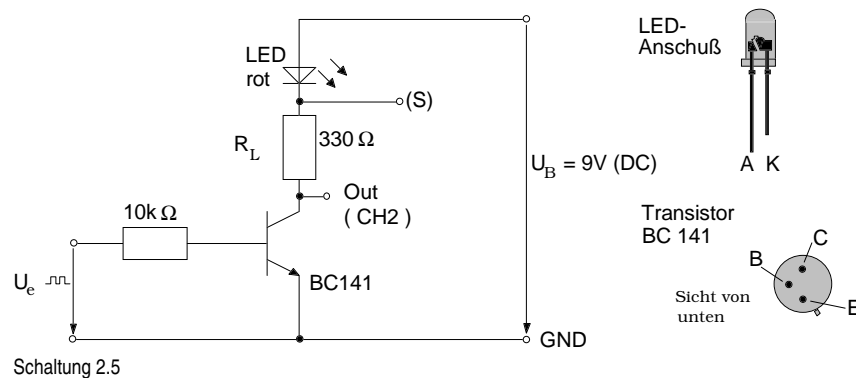
Hinweis: Sollten Probleme bei der Display-Darstellung am Oszillograph auftreten, so stellen Sie bitte folgendes ein: Ablenkung CH1 = 1V CH2 = 200mV
50 kSamples/sec (horz. Scale Drehknopf)

2.5 Bipolar - Transistor als Schalter

In vielen Anwendungsfällen möchte man heute „kontaktlos“ Schaltvorgänge auslösen. Noch vor einigen Jahren war für einen solchen Fall das Relais der Standardanwendungsfall (Schaltfrequenzen von weniger wie 50Hz waren normal!). Heute werden Transistoren benutzt. Hier wollen wir eine einfaches Beispiel praktisch untersuchen. Zu beachten ist, daß der Steuerstrom I_B nur klein, I_C aber sehr groß sein kann!

Aufgabe: - Bauen Sie die folgende Schaltung auf. Untersuchen Sie die Schaltung bezüglich der Signalform (U_{CE}) in Abhängigkeit zur Frequenz. Messen Sie $u_{CE}(t)$ und $i_C(t)$.

Schaltung:

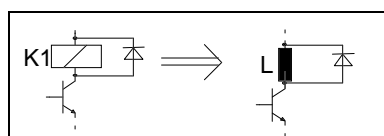


Schaltung 2.5

- Benutzen Sie als Eingangssignal U_e ein rechteckförmiges Signal des Frequenzgenerators mit einer Amplitude von 4Volt, $f \approx 1\text{Hz}$ oder kleiner. (Offset = 0V)
- Stellen Sie U_e auf CH1, die Spannung U_{CE} (Out) auf CH2 mit dem Oszillograph dar. Welcher logischen Schaltung entspricht das Signal von U_{CE} gegenüber U_e ?
- Messen Sie die Spannung U_{CE} für den Fall, LED leuchtet, bzw. LED dunkel. Drucken Sie das entstandene Oszillogramm von U_e und Out aus. Erklären Sie die Funktion der Schaltung anhand des Ausdruck.
- Messen Sie nun den Strom I_C mit dem Oszillograph nach.
Hinweis: Ein Oszillograph kann eigentlich nur Spannungen messen. Nutzen Sie CH1 und den Spannungsabfall über R_L (Schaltungsmeßpunkt (S)). Berechnen Sie aus der Spannungsdifferenz den Stromfluß für LED leuchtet/dunkel.
- Ersetzen Sie nun die LED und den Widerstand R_L nur durch einen Widerstand $R_L=100\Omega$. Stellen Sie mit CH1 wieder U_e dar. Triggern Sie auf CH1. (eventuell TRIGGER EXT)
Erhöhen Sie nun die Frequenz von U_e . (1 kHz/ 10 kHz/ 100 kHz/ 0.5 MHz/1 MHz/ 2 MHz/ 4 MHz)
Was können Sie beobachten? Beschreiben und erklären Sie das entstandene Bild.
- Skizzieren Sie den Verlauf der Ausgangsspannung (Out zu U_e) bei 1 kHz und einer Eingangssignalform von U_e bei Rechteck, Sinus, Dreieck.

Achtung!

- In der Praxis wird es nicht immer sinnvoll sein, als Lastbauelement einen Widerstand R_L zu nutzen. Es wird z.B. ein Relais verwendet.



In dem nebenstehenden Beispiel sehen wir, daß ein Relais eine Induktivität darstellt. Diese besitzt auch die Eigenschaft der Selbstinduktion. Da die Selbst-Induktionsspannung sehr hohe Spitzenwert annehmen kann, schützen wir den Transistor vor dieser Spitzenspannung mit einer Diode (eine sogenannte Freilaufdiode). Sie wird in Sperrichtung betrieben, zum allgemeinen Stromkreis.

Versuch 3 - Operationsverstärker

Was ist ein OPV ?

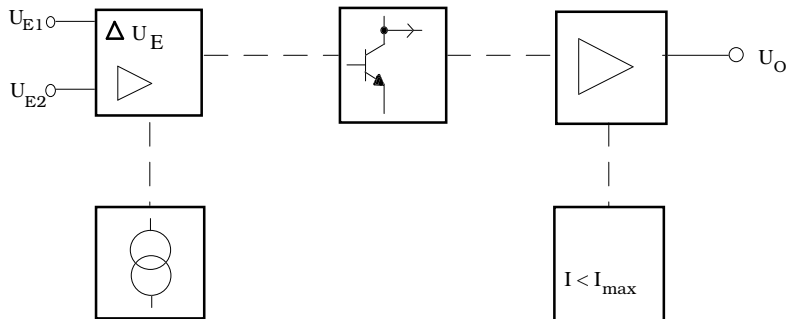
Operationsverstärker wurden für die Durchführung mathematischer Operationen in Analogtechnik entwickelt und werden deshalb auch als Rechenverstärker bezeichnet. Sie sind standardisierte Universalschaltungen, um gewünschte Eingangs- und Ausgangsbeziehungen zu realisieren. Durch eine äußere Beschaltung kann dieser unterschiedliche Übertragungscharakteristik annehmen. Es dominiert hierbei die Ausführung als integrierter Schaltkreis. Gebräuchliche Kurzbezeichnung für den Operationsverstärker sind: OpAmp (operations amplifier), oder nur OP, oder OPV.

Der Operationsverstärker ist eine in sich geschlossene Anordnung von verschiedenen Einzelbaugruppen: einem Differenzverstärker als Eingangsstufe, einer Konstantstromquelle (für die Differenzverstärkerbaugruppe), einem Emitterverstärker mit Gleichtaktunterdrückung von 80dB bis 100dB, der Endstufe und einer Strombegrenzung. Die Schaltung OPV wird als ein Bauelement behandelt.

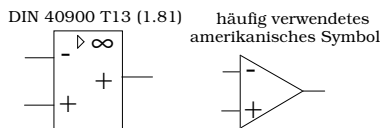
Die Eigenschaften eines reale Operationsverstärker:

Spannungsverstärkung $V_o = 10^4 - 10^5$
 Eingangswiderstand $r_e = 0,2 - 3,0 \text{ M}\Omega$
 Ausgangswiderstand $r_a = < 500 \Omega$
 Offsetspannung $U_{off} = < 15 \text{ mV}$

Grundstruktur:

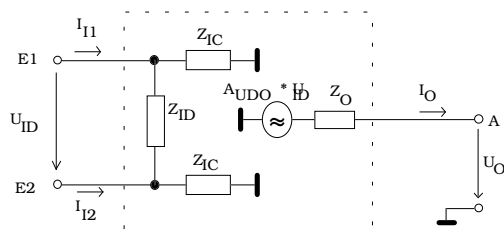


Der OPV als Symbol:



Ersatzschaltung:

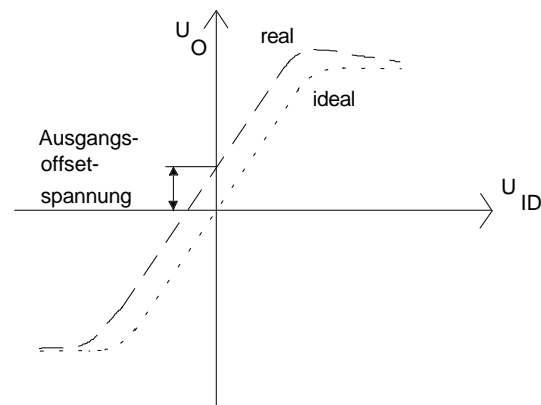
Zur Untersuchung genügt die folgende vereinfachte Ersatzschaltung.



(Indexe bedeuten: O=Output, I=Input, D=Differenz)

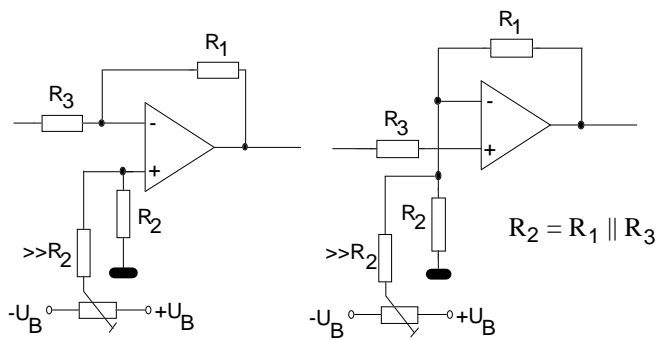
- I_1 = Eingangsstrom
- U_{ID} = Differenz-Eingangsspannung
- Z_{1C} = Gleichtakt-Eingangsimpedanz
- Z_O = Ausgangsimpedanz
- Z_{1D} = Differenz-Eingangsimpedanz
- A_{UDO} = Differenz-Leerlaufspannungsverstärkung
- E1: nicht invertierender Eingang
- E2: invertierender Eingang

Die Eingangsfehlspannung, Offsetspannung, - Offsetkompensation -



Im Idealfall sollte die Übertragungskennlinie des OPV (nicht invertierender Verstärker) durch den Nullpunkt verlaufen. Dies bedeutet, daß bei 0 Volt Eingangsspannung auch 0 Volt Ausgangsspannung zu messen sein sollten. Die Kennlinie sollte linear mit dem Anstieg V_o (Verstärkungsfaktor) verlaufen.

Im Realfall stellt sich aber aufgrund von internen (oder auch externen) Unvollkommenheiten der Schaltung eine Ausgangsspannung ungleich Null ein. Diese Differenz der Ausgangsspannung von Null wird Nullpunktfehler, oder *Offsetspannung* genannt. Diejenige Differenzeingangsspannung, die an den Eingängen angelegt werden muß, damit der Ausgang seinen Nullpunkt (0 Volt) einnimmt, bezeichnet man als *Eingangsfehlspannung* bzw. *Eingangs-Offset-Spannung* U_{IO} . Dieser Fehler kann durch Biasströme, Unsymmetrie der Differenzverstärkerstufen, Temperaturdrift etc. bewirkt werden.



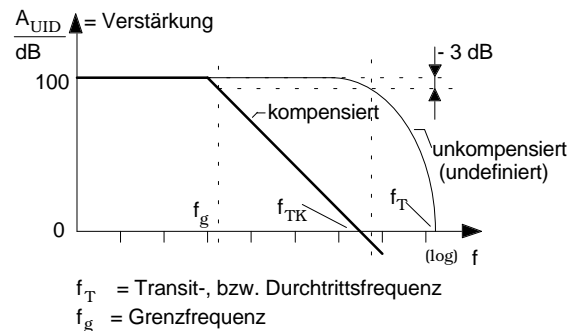
Alle Wege, diesen Fehler zu beheben, werden *Offsetkompensation* genannt.

Hier ein Beispiel der externen Kompensation. Die Offsetspannung wird durch eine Gegenspannung am Eingang kompensiert. Der Widerstand R_2 wirkt dem Biasstrom (Eingangsruhestrom) entgegen. Mit dem Potentiometer kann die Ausgangsoffsetspannung auf Null eingestellt werden. Fast alle ICs, die mehrere OPV in einem Gehäuse unterbringen, sind intern Offset-kompensiert. Ihr Fehler kann aber immer noch einige Millivolt (oft ca. 4 mV) Differenz besitzt.

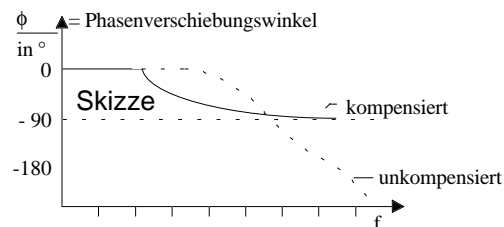
Einige Hersteller ermöglichen den Offsetabgleich über zwei Anschlüsse am IC.

Das Frequenzverhalten

Infolge der internen Schaltungskapazitäten (jeder pn-Übergang bildet auch einen Kondensator) kann sich die Gegenkopplung bei hohen Frequenzen in eine Mitkopplung verwandeln. Die Folge ist ein Schwingen des Verstärkers. Durch schaltungstechnische Maßnahmen kann dem Verstärker ein Leerlaufspannungsfall (ab der 3 dB - Grenzfrequenz) aufgezwungen werden. Dies kann intern oder auch extern vorgenommen werden. Man nennt dies Frequenzkompensation. (Siehe Grafik)

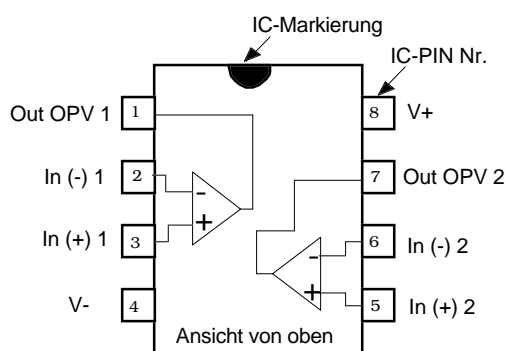


Mit zunehmender Frequenz verändert sich auch die Phasenverschiebung zwischen Eingangssignal und Ausgangssignal. Dies ist auch auf die



Schaltungskapazitäten zurückzuführen. Um zu große Signalverfälschungen zu vermeiden, werden Operationsverstärker frequenzkompensiert (extern oder intern). Hierbei wird der Frequenzgang ab f_g kompensiert und somit definiert gegen $\phi = -90^\circ$ gesteuert. (Siehe Grafik links)

Der verwendete OPV (TL 082)



einige Eigenschaften:

- Temperaturbereich $-10^\circ\text{C} - +70^\circ\text{C}$
- IC rauscharm
- Bandbreite 20Hz - 20kHz (bei $A_v = 10$)
- max. Offset-Fehler $\pm 15\text{mV}$
- Eingangs-Biasstrom max. 4 nA (70°C)
- Eingangswiderstand $10^{12} \Omega$ (J-FET)
- Betriebsspannung $\pm 3\text{V}$ bis $\pm 18\text{V}$
- Differenz-Eingangsspannung max. $\pm 30\text{V}$
- Leerlaufspannungsverstärkung ($f=0$) 10000

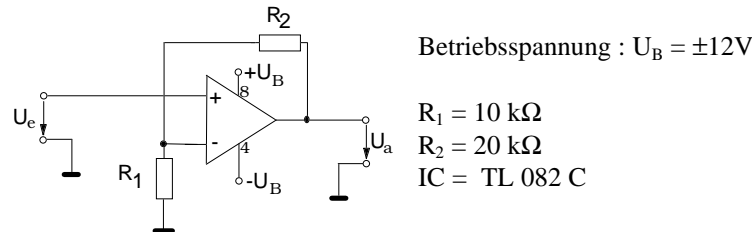
Achtung: Betriebsspannung (PIN 8 und 4) nicht vertauschen!

3.1 Nicht invertierender Operationsverstärker

Diese Schaltung wird auch als Elektrometer-Verstärker bezeichnet. Sie besitzt i.a. einen sehr hohen Eingangswiderstand von $\approx 10^{12} \Omega$ (abhängig vom verwendeten IC).

- Aufgabe:**
- Nehmen Sie die Kennlinie des nicht invertierenden OPV auf, Kennlinie $U_a = f(U_e)$
 - Ändern Sie die Verstärkung auf $A_U = 1,5$ ab.

Schaltung:



Schaltung 3.1

- Wie Sie die Kennlinie in diesem Versuch aufnehmen, überlassen wir Ihnen.
- Der oben in der Schaltung angegebene Verstärker besitzt eine Verstärkung von $A_U = 3$. Ermitteln Sie U_a , wenn U_e in den Bereich von $[-5V, +5V]$ variiert.

Für die Aufnahme der Kennlinie stehen Ihnen zur Verfügung:

- ein Stromversorgungsgerät (zwei unabhängige Spannungen 0-30V, fest +5V),
- ein Oszillograph, wie auch in den vorangegangenen Versuchen,
- ein Frequenzgenerator,
- zwei DMM, sowie ein Potentiometer $R = 10k\Omega$.

Es gibt verschiedene Schaltungen, um die Kennlinie mit einer Auswahl der Geräte aufzunehmen. Geben Sie Ihr Vorgehen und Ihre Schaltung zu Protokoll.

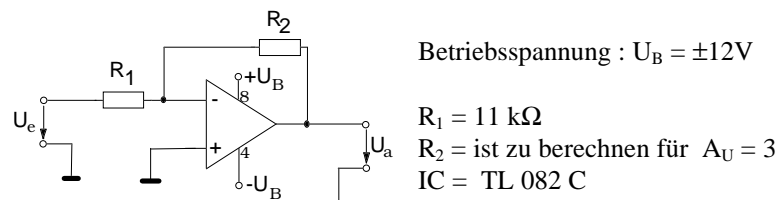
- Stellen Sie die Kennlinie graphisch dar. Erklären Sie deren Verlauf.
- Leiten Sie die Formel für die Berechnung der Ausgangsspannung für diese Schaltung her.
- Was ändern Sie, um die Verstärkung $A_U = 1$ bzw. $A_U = 5$ einzustellen?
- Was ändern Sie, um eine Verstärkung $A_U = 1$ einzustellen? Zeichnen Sie die Schaltung. Welchen besonderen Namen trägt diese Schaltung?

3.2 Invertierender Operationsverstärker

Diese Schaltung besitzt einen einfachen Aufbau, geringe Störanfälligkeit und hohe Stabilität auch im dämpfenden Bereich. ($A_U < 1$ möglich!)

- Aufgabe:**
- Bauen Sie die nachfolgende Schaltung auf und berechnen Sie R_2 für $A_U = 3$.
 - Nehmen Sie die Kennlinie des invertierenden OPV auf, Kennlinie $U_a = f(U_e)$
 - Ändern Sie die Verstärkung später auf eine Verstärkung von $A_U = 5$ bzw. $0,5$ ab.
 - Bauen Sie die Schaltung nicht ab, sondern gehen Sie im Anschluß zu Versuch 3.3 über.

Schaltung:



Schaltung 3.2

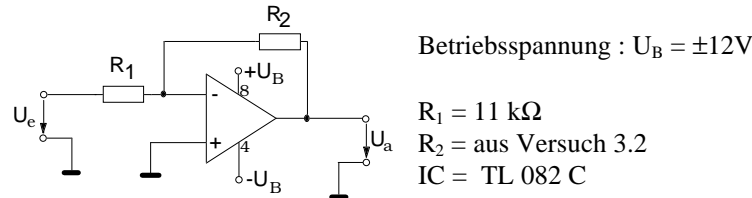
- Nehmen Sie die Kennlinie des angegebenen Verstärkers auf. Verwenden Sie die gleiche Schaltung wie in Versuch 3.1 ! Ermitteln Sie U_a , wenn U_e in den Bereich von $[-5V, +5V]$ variiert
- Stellen Sie die Kennlinie graphisch dar. Erklären Sie deren Verlauf
- Leiten Sie die Formel für die Berechnung der Ausgangsspannung für diese Schaltung her
- Was ändern Sie, um die Verstärkung auf den Faktor $A_U = -5$ bzw. $-0,5$ zu ändern?

3.3 Offset-Abgleich am invertierenden OPV

Dieser Versuch wird im Anschluß zu Versuch 3.2 durchgeführt. Der Offset soll sehr fein (großer Drehbereich) einstellbar sein.

Aufgabe: - Es soll ein Offsetabgleich (geringer 0,2mV) für die Schaltung aus Versuch 3.2 realisiert werden.

Schaltung:



Schaltung 3.3

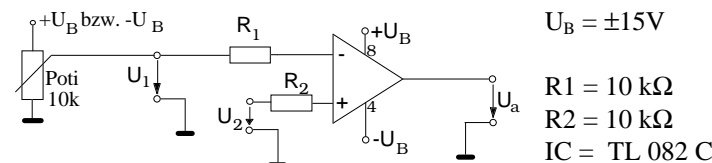
- Notieren Sie, welcher Verstärkungsfaktor in Ihrer Schaltung noch eingestellt ist. (R_1 , R_2)
- Schließen Sie den Eingang kurz, um $U_e = 0V$ herzustellen. Messen Sie jetzt mit einem DMM die Ausgangsspannung U_a nach.
- Sollte die Ausgangsspannung U_a nicht dem gewünschten aus der Aufgabe entsprechen, so nehmen Sie Abänderungen an der Schaltung vor, so daß Sie einen Abgleich vornehmen können. (Sollte $U_a=0V$ sein, tun Sie es auch, um die Funktionweise zu prüfen.) Hierzu können Sie gegebenenfalls zwei Seiten vorblättern und nachlesen. Berechnen Sie im voraus alle neu benötigten Widerstände.
- Hinweis:* Es gibt hier mehr, als eine Lösung. Die Aufgabenlösung hat sehr viel mit der Grundsaltung des Summierer-Subtrahierers zu tun. Es soll eine Lösung gefunden werden, bei der ein „feinfühliges“ Einstellen des Offset möglich ist. (P_v aller Widerstände $< 0,2W!$)
- Geben Sie die Schaltung und Dimensionierung an! Wie groß ist Ihr Einstellbereich?

3.4 Komparator

Jeder OPV kann als Komparator betrieben werden. Es gibt auch speziell auf diese Aufgabe abgestimmte IS. Solche Spannungs-Komparatoren weisen typisch eine kleine Leerlaufspannungsverstärkung und eine sehr große Flankensteilheit ($< 1V/\mu s$) auf. Sie sind intern nicht rückgekoppelt und werden auch extern nicht rückgekoppelt.

Aufgaben: - Nehmen Sie die statische Kennlinie $U_a = f(U_1, U_2)$ auf.
 - Nehmen Sie die dynamische Kennlinie (Oszillogramm) für $U_a = f(U_1)$ auf, $U_2 = 0 / 5V$ DC. Verwenden Sie dazu für U_1 eine Signalform Dreieck des Frequenzgenerators.

Schaltung:



Schaltung 3.4

Statische Kennlinie:

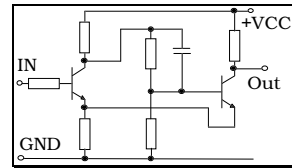
- Die veränderliche Eingangsspannung U_1 erzeugen wir durch Drehen am Potentiometer. Für positive Spannungen U_1 benutzen wir $+U_B$, sonst $-U_B$ am Potentiometer. Für $U_2 = 0V$ mit GND kurzschließen
- Zeichnen Sie die Kennlinie $U_a = f(U_1, U_2)$ in einen Graph. ($U_2 = 0V$ bzw. $U_2 = 5V$ DC).

Dynamische Kennlinie:

- Entfernen Sie das Potentiometer aus der Schaltung. Benutzen Sie nun als Eingangsspannungsgeber den Frequenzgenerator ($f = 1\text{kHz}$, Dreieck, Offset = $0V$).
- Stellen Sie U_a und U_1 mit dem Oszillograph dar. (Je für $U_2 = 0V$ bzw. $U_2 = 5V$.)
Verändern Sie nun die Amplitude und den Offset am Frequenzgenerator. Was ändert sich?
- Drucken Sie ein aussagekräftiges Oszillogramm mit der Software „Oszi“ aus.
Speichern Sie das Bild unter `c:\labor\vers3\3_4.bmp` ab.
- Erklären Sie für alle Fälle die Graphen / Kennlinien.

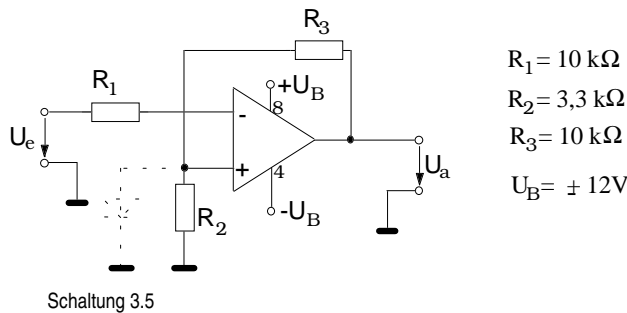
3.5 Schmitt-Trigger (Komparator mit Hysterese)

Die Bezeichnung „Schmitt-Trigger“ ist ursprünglich im Bereich der Transistortechnik zu finden. Nebenstehend eine kleine Transistor - Prinzip - Schaltung angegeben. Eine Transistorschaltung kann (normal) nur innerhalb ihrer positiven Betriebsspannung arbeiten (unipolar, bzw. unsymmetrisch). Die Berechnung und der Aufbau der Schaltung ist aber mit einem OPV um einiges einfacher zu lösen.



- Aufgaben:**
- Untersuchen Sie das dynamische Verhalten des Schmitt-Triggers.
 - Wählen Sie dazu als Eingangsspannung U_e eine dreieckförmige Spannung des Frequenzgenerators ($f \approx 1 \text{ kHz}$).
 - Untersuchen Sie speziell zwei Fälle, einmal ohne Diode, einmal mit ihr.

Schaltung:



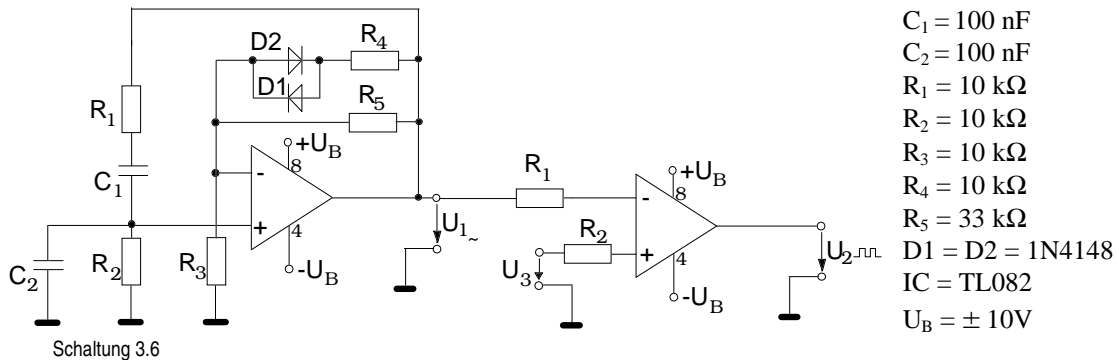
1. Fall: (ohne Diode)
 - Stellen Sie U_e mit CH1 und U_a mit CH2 des Oszillographen dar.
 - Variieren Sie die Spannung U_e zwischen 0V und 5V Amplitude. Was können Sie beobachten?
 - Drucken Sie ein aussagekräftiges, entstandenes, Oszillogramm mit der Software „Oszi“ unter Windows aus. Speichern Sie das Bild unter `c:\labor\vers3\35_b1.bmp`.
2. Fall: (mit Diode)
 - Schalten Sie parallel zu R_2 eine Diode 1N4148, Katode an GND. Was können Sie beobachten. Variieren Sie die Eingangsspannung, beschreiben Sie die Auswirkungen.
 - Können Sie das Oszillogramm für U_a durch eine Formel berechnen?
 - Drucken Sie ein aussagekräftiges, entstandenes, Oszillogramm ebenfalls aus. Verwenden Sie eventuell als gegenübergestelltes Signal $U_a = \text{REF1}$ vom Fall 1 (ohne Diode).

3.6 Sinus- und Rechteckoszillator

In der Elektronik sollen oft bestimmte Signalformen erzeugt werden. Hier wollen wir einen einfachen Oszillator aufbauen. Er kann mit wenigen Bauteilen aufgebaut werden.

- Aufgabe:**
- Bauen Sie die folgende Schaltung auf.
 - Oszillographieren Sie die beiden Spannungen U_1 und U_2 des Oszillators.

Schaltung:



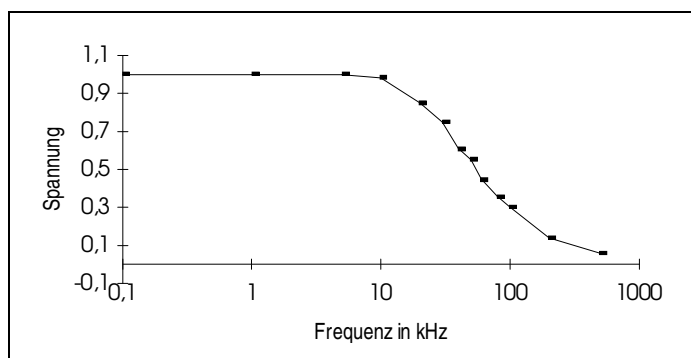
- U_3 soll zunächst 0V betragen (kurzschließen mit GND).
- Drucken Sie das entstandene Oszillogramm für beide Kanäle aus.
Welche Frequenz besitzt der Oszillator (gemessen/berechnet) ?
- Erklären Sie die Funktion des Oszillators.
Hinweis: C_1, C_2, R_1, R_2 bilden eine Wien-Brücke. Die Dioden D_1 und D_2 , sowie der Widerstand R_4 bilden lediglich die Amplitudenstabilisierung.
- Zeigen Sie, daß der Verlauf der Ausgangsspannung eine Sinusform aufzeigt (für $f(j\omega) = f_o$, ohne Beachtung der Dimensionierung).
- Welcher Signalverlauf von U_{1-} ist zu erwarten, wenn R_4 und R_5 mit 20% Toleranz eingesetzt werden würden? Begründen Sie.
- Wie ändert sich der Signalverlauf von U_1 und U_2 , wenn U_3 ungleich Null ist? Verwenden Sie dazu ein Potentiometer $R = 10\text{ k}\Omega$. Nutzen Sie das Potentiometer wie in Schaltung 3.4, um mit dem Spannungsteiler hier die Spannung U_3 zwischen [-0.5, 0.5] einzustellen.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_2 C_1}}$$

3.7 Frequenzgang von Operationsverstärkern (ohne Versuch)

Sollte die Zeit ausreichen, so können Sie den folgenden Versuch durchführen.

Der verwendete IC MC1458P ist zum bisher verwendeten IC voll Pin - kompatibel. Verwenden Sie als Eingangsspannung $U_e = 0.3V$ AC, Sinus, Offset = 0V. Verändern Sie die Frequenz, achten Sie darauf, daß die Eingangsamplitude konstant bleibt. Messen Sie die Amplitude der Ausgangsspannung.



Die nebenstehende Grafik zeigt das Ergebnis einer Messung der Ausgangsspannung. Hierbei lag die Schaltung 3.2 zugrunde. Es wurde als IC der MC1458P verwendet. Die Betriebsspannung war mit $U_B = \pm 6V$ gewählt.

Der OPV ist intern frequenzkompensiert. Ab einer Frequenz von $f = 20\text{ kHz}$ wird die Verstärkung gedämpft und die Ausgangsspannung jetzt mit weiter steigender Frequenz gegen Null gesteuert.

Versuch 4 - Aktive und passive analoge Filter

Filter besitzen in der Elektronik (auch im Bereich der Digitaltechnik) große Bedeutung. Wir wollen hier die analogen Filter näher untersuchen. Generell wird zwischen passiven und aktiven Filtern unterschieden.

passive Filter: Sind nur aus passiven elektrischen Bauelementen (Spule, Kondensator, Widerstand, Überträger) aufgebaut.

aktive Filter: Sie besitzen mindestens auch ein aktives elektronisches Bauelement. Sie wirken i.a. verstärkend.

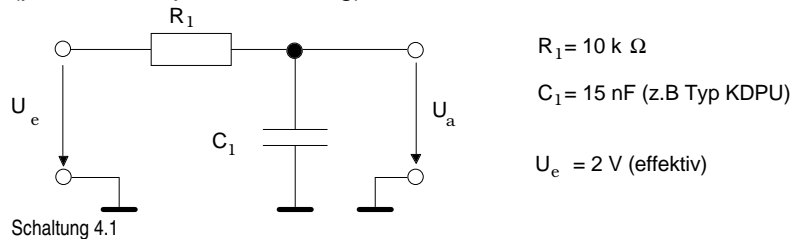
Wir kann weiterhin Filter in Ihrer Flankensteilheit unterscheiden. Ein Filter mit einer Flankensteilheit von 6 dB/Oktave (Faktor 2) wird als Filter 1.Ordnung, ein Filter mit 12 dB/Oktave als Filter 2. Ordnung eingeteilt.

Verwendete Geräte: 1 Oszillograph 1 Stromversorgungsgerät
 1 DMM diverse Kabel
 1 Frequenzgenerator

4.1 Passiver Tiefpaß (RC-Glied)

Aufgabe : - Nehmen Sie die Frequenzkennlinie eines passiven Tiefpasses [50Hz, 40 kHz] auf.
 - Nutzen sie als Eingangssignal eine sinusförmige Wechselspannung (Frequenzgenerator)
 - Messen Sie die Amplitude sowie den Phasenverschiebungswinkel ϕ von U_e und U_a .

Schaltung: (passiver Tiefpaß 1.Ordnung)

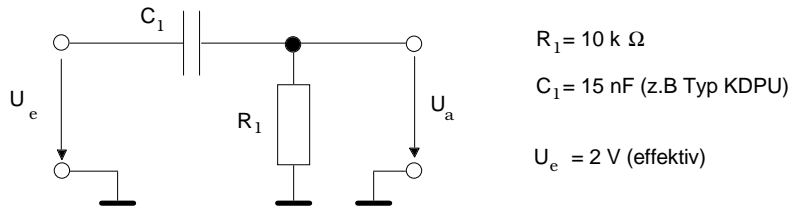


- Erstellen Sie eine Tabelle, in der Sie die Meßwerte für Amplitude U_a und den Phasenverschiebungswinkel ϕ in Abhängigkeit zur Frequenz eintragen. Achten Sie darauf, daß U_e konstant bleibt. Nutzen Sie Meßfunktionen, die der Oszillograph bereitstellt, um die Meßwerte schneller ermitteln zu können (Menü CURSOR, MEASURE)
- Stellen Sie die Ergebnisse der Tabelle graphisch dar. Ermitteln Sie die Grenzfrequenz aus dem Diagramm.
- Berechnen Sie die 3dB - Grenzfrequenz f_g der Schaltung. Tragen Sie diese in das Diagramm ein.
- Berechnen Sie die Dämpfung der Schaltung (in dB) für $f = 150, 1000, 10000 \text{ Hz}$.
- Stellen Sie nun am Frequenzgenerator eine Rechteckspannung ein, $f = 10 \text{ kHz}$, $U_e = 2 \text{ V}$. Welche Ausgangskennlinie u_a können Sie jetzt als Oszillogramm sehen. Welcher mathematischen Funktion entspricht diese Schaltung jetzt?
- Erklären Sie den Verlauf der Kennlinie für die variable Sinusfrequenz.
- Was versteht man unter der Zeitkonstanten τ eines RC-Gliedes?
 Skizzieren Sie den Verlauf der Ausgangsspannung, wenn Sie eine Rechteckspannung als Eingangssignal verwenden. Beschreiben Sie dabei besonders folgenden drei Fälle:
 - $\tau \ll t_i$
 - $\tau \approx t_i$
 - $\tau \gg t_i$ $t_i = \frac{1}{2}$ Periodendauer der Rechteckspannung
- Wie hoch ist die maximale Stromaufnahme der Schaltung, wenn Sie eine Rechteckspannung (Periodendauer = $2 t_i$) als Eingangssignal verwenden, mit $\tau \ll t_i$?

4.2 Passiver Hochpaß

- Aufgabe:**
- Nehmen Sie die Frequenzkennlinie eines passiven Hochpasses [50Hz, 40 kHz] auf.
 - Nutzen sie als Eingangssignal eine sinusförmige Wechselspannung (Frequenzgenerator)
 - Messen Sie die Amplitude sowie den Phasenverschiebungswinkel ϕ von U_e zu U_a .

Schaltung:



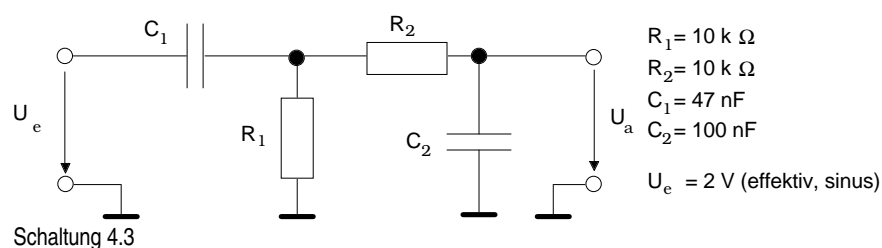
Schaltung 4.2

- Erstellen Sie eine Tabelle, in der Sie die Meßwerte für Amplitude U_a und den Phasenverschiebungswinkel ϕ in Abhängigkeit zur Frequenz eintragen. Achten Sie darauf, daß U_e konstant bleibt.
- Stellen Sie die Ergebnisse der Tabelle graphisch dar. Ermitteln Sie die Grenzfrequenz aus dem Diagramm.
- Berechnen Sie die 3dB - Grenzfrequenz f_g der Schaltung. Tragen Sie diese in das Diagramm ein.
- Berechnen Sie die Dämpfung der Schaltung (in dB) für $f = 150, 1000, 10000 \text{ Hz}$.
- Leiten Sie eine Formel zur Berechnung von U_a her.
- Stellen Sie nun am Frequenzgenerator eine Dreiecksspannung ein, $f = 50 \text{ Hz}$, $U_e = 2 \text{ V}$. Welche Ausgangskennlinie $u_a(t)$ können Sie jetzt als Oszillogramm jetzt sehen. Welcher mathematischen Funktion entspricht diese Kurvenform?
- Was ist unter der Durchschlagsfestigkeit eines Kondensator zu verstehen und wie hoch muß sie in dieser Schaltung mindestens gewählt werden.

4.3 Bandpaß

- Aufgabe:**
- Nehmen Sie die Amplituden- Frequenzkennlinie der Schaltung im Bereich von 40Hz bis 10kHz auf.
 - Analysieren Sie die Schaltung und bestimmen Sie den Betrag von $A(j\omega)$, sowie die Phasenverschiebung $\phi(\omega)$.

Schaltung:



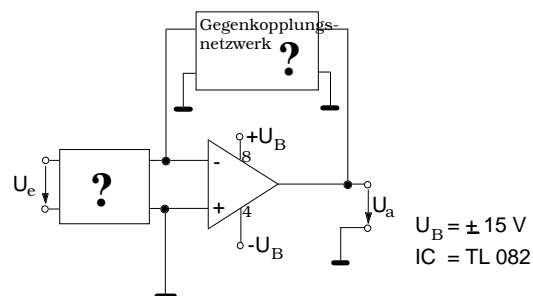
Schaltung 4.3

- Analysieren Sie die Schaltung, indem Sie $A(j\omega)$ rechnerisch bestimmen.
- Vergleichen Sie die Meß- und Analyseergebnisse.
- Erstellen Sie eine Tabelle, in der Sie den Betrag $A(j\omega)$ und den Phasenverschiebungswinkel $\phi(\omega)$ eintragen.
- Stellen Sie die Ergebnisse der Tabelle graphisch dar. Erklären Sie das Frequenzverhalten.

4.4 Aktiver Bandpaß

Aufgabe: - Entwerfen Sie einen aktiven Bandpaß 2. Ordnung mit $f_0 = 10\text{kHz}$, Bandbreite $B = 6\text{kHz}$, Verstärkung $A_U(f_0) \approx -140$.

Schaltung:



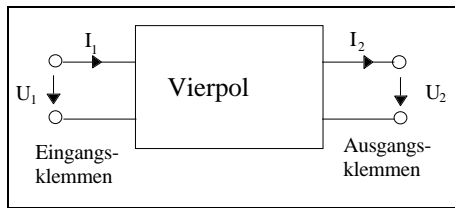
Schaltung 4.4

- Entwerfen Sie das Gegenkopplungsnetzwerk, sowie den Eingangsvierpol. Es stehen Ihnen folgende Bauteile zur Verfügung:
 Widerstände: $1\text{k}\Omega$, $47\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$ (max. je 2 Stück)
 Kondensatoren: 1nF , 47nF , 100nF (max. 5 Stück)
Hinweis: Nutzen Sie Ihre Kenntnisse zum Operationsverstärker. Das Gegenkopplungsnetzwerk kann ein Vierpol mit insgesamt 7 Bauelementen sein.
- Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion $A(j\omega)$ rechnerisch.
- Simulieren Sie die Schaltung mit Pspice im Labor. (Transient- und AC-Analyse)
- Die Pin-Belegung des IC TL 082 entnehmen Sie bitte bei Bedarf dem Versuch 3.
- Nutzen Sie als Eingangsspannung eine Sinusspannung $U_e = 1\text{V}$ des Frequenzgenerators.
- Messen Sie den Betrag $A(j\omega)$ nach. (Frequenzbereich [10Hz; 400kHz])
- Bestimmen Sie die Sprungantwort. Nutzen Sie dazu eine Rechteckspannung des Generators mit niedriger Frequenz.
- Vergleichen Sie Meß- und Analyseergebnisse. Erklären Sie das Verhalten der Schaltung.
- Könnte man die effektive Ein- bzw. Ausgangsspannung (U_e und U_a) auch mit einem DMM messen, wenn man den Phasenverschiebungswinkel ϕ nicht ermitteln wollte?

Versuch 5 - Vierpole

Vierpole sind bereits schon in der Vorlesung E-Technik 2 behandelt wurden. Wir verwenden das Kettenpfeil-System.

Vierpole sind Schaltungsanordnungen zur Übertragung elektrischer Energie, die zwei Pole je als Eingangs- und Ausgangsklemmen besitzen. Sie bilden eine Modellbeschreibung. Vierpole sind z.B. Doppelleitungen (zwei Adern), Transformatoren, Siebglieder, Verstärker. Als Vierpole gelten auch drahtlose Strecken einschließlich der Sende- und Empfängerantenne. Vierpole können aus aktive, oder aus passive Bauelementen aufgebaut sein.



Man untersucht bei Vierpolen lediglich, wie sie sich bezüglich der beiden Eingangs- und Ausgangsgrößen an den Anschlußpolen verhalten, ohne zu berücksichtigen, was im einzelnen im Inneren des Vierpols vorgeht und wie er aufgebaut ist.

Voraussetzung:

Es müssen lineare Verhältnisse vorausgesetzt werden. Vierpole dürfen untereinander (zwei Vierpole) keine Energie in Form von z.B. magnetischer Kopplung austauschen, oder sich sonstig durch äußere Energie beeinflussen.

Beschreibung:

Vierpole werden durch die Größe der Ein- und Ausgangsströme, bzw. Spannungen charakterisiert. Somit können Vierpole mit den sogenannten Vierpol-Gleichungen beschrieben werden. (→ Vierpolparametern)

Es wird i.a. unterschieden zwischen:

Vierpol-Reihen-Ersatzschaltung:
$$\begin{aligned} U_1 &= Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 && \text{(od. a. Impedanzmatrix)} \\ U_2 &= Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

Vierpol-Hybrid-Ersatzschaltung:
$$U_1 = h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot U_2$$
 (od. a. Vierpol-Reihen-Parallel-Ersatzschaltung)

$$I_2 = h_{12} \cdot I_1 + h_{22} \cdot U_2$$

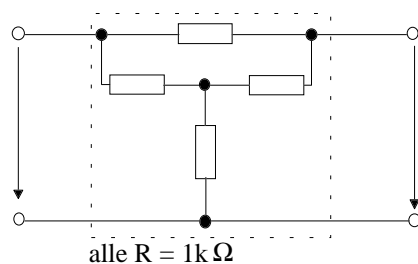
hier Reihenschaltung am Eingang, Parallelschaltung am Ausgang

<u>Verwendete Geräte:</u>	1 Oszillograph	1 Stromversorgungsgerät
	2 DVM	1 PC
	1 Frequenzgenerator	diverse Kabel

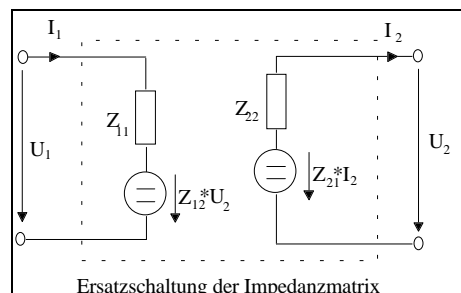
5.1 Vierpol-Reihen-Ersatzschaltung (mit Widerständen)

- Aufgabe:**
- Ermitteln Sie durch Analyse die Vierpolparameter.
 - Ermitteln Sie meßtechnisch die Vierpolparameter. Vergleichen Sie die Ergebnisse.
 - Kehren Sie den Vierpol um (Eingang nun gleich Ausgang) und wiederholen Sie die obigen Schritte. Welche Folgerung erkennen Sie?
 - Ermitteln Sie den Wellenwiderstand des Vierpol.

Schaltung:



Schaltung 5.1

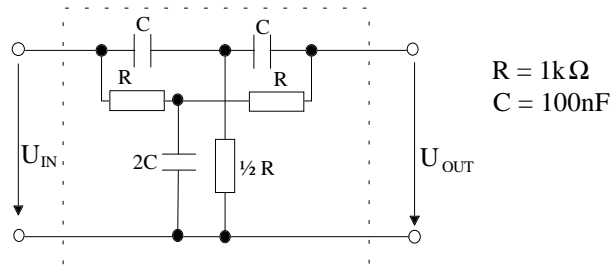


- Kann man bei zunächst unbekannter Innenschaltung eines Vierpols dessen einzelne Elemente und Verbindungsstrukturen bestimmen?

5.2 Doppel-T-Schaltung (RC/CR)

- Aufgabe:**
- Führen Sie eine Netzwerkanalyse durch (Vorbereitung),
 - Analysieren Sie meßtechnisch den Vierpol aus Schaltung 5.2.
 - Bestimmen Sie das Minimum $|A(j\omega)|$ rechnerisch sowie durch Messung.

Schaltung:



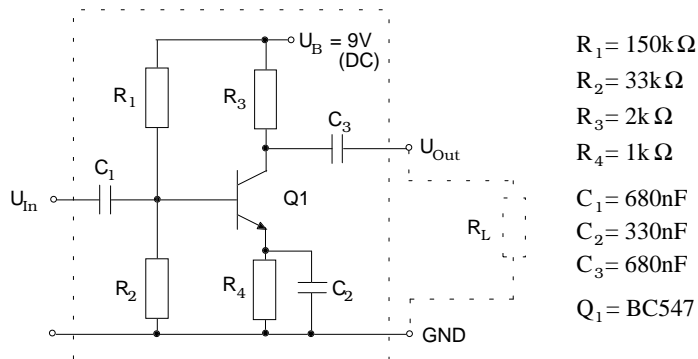
Schaltung 5.2

- Geben Sie Ihr Vorgehen zu Protokoll.

5.3 Aktiver Vierpol / Emittervertärker mit überbrücktem Emitterwiderstand

- Aufgabe:**
- Simulieren Sie die Schaltung mit Pspice (event. Vorbereitung).
 - Messen Sie den Betrag des Amplituden-Frequenzganges des aus Schaltung 5.3 gebildeten Vierpols ($R_L = \infty$).
 - Messen Sie den Eingangswiderstand und den Ausgangswiderstand der Schaltung. Verwenden Sie dazu verschiedene Lastwiderstände.

Schaltung:



Schaltung 5.3

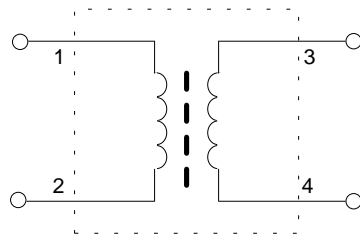
- Dokumentieren Sie Ihr Vorgehen zur Ermittlung der Werte.
- Verwenden Sie für R_L Widerstände der E24-Reihe aus dem Bereich $[10\text{k}\Omega, 330\text{k}\Omega]$. Wählen Sie dazu maximal fünf verschiedene Widerstände aus. Die Frequenz der Signalquelle (Sinus) soll dabei 1kHz betragen.

5.4 Übertrager

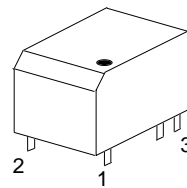
Übertrager sind Transformatoren mit möglichst geradlinigen Frequenzgang zwischen [100Hz; 100kHz], die vorwiegend in der Elektroakustik und Signalübertragung Einsatz finden. Übertrager benötigen i.A. eine richtige Anpassung auf beiden Seiten.

- Aufgabe:**
- Bestimmen Sie nach den bekannten Ersatzschaltbild (E-Technik II) des Übertragers die Parameter R_1 , R_2 , L_1 , L_2 und M .
 - Bestimmen Sie das Windungsverhältnis und den Kopplungsfaktor des Übertragers.

Schaltung:

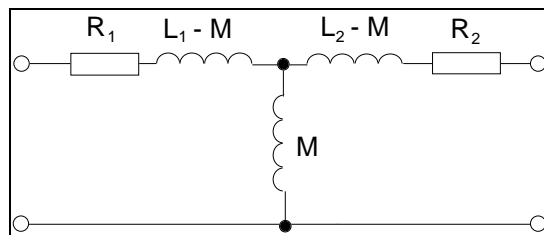


Schaltung 5.4



Übertrager
 Hersteller: VAC
 Typ: ZKB 472/105 - 80H F9

- Zur Erinnerung, hier das Ersatzschaltbild:



- Dokumentieren Sie Ihr Vorgehen ausführlich.
- Für die Ermittlung der Werte verwenden Sie bitte den Sinusgenerator, $DC=0V$.
Hinweis: Zur Ermittlung von L_1 , L_2 , M genügen zwei Messungen im Leerlauf! Sollte Die von Ihnen gewählte Frequenz des Generators über 400Hz liegen, so verwenden Sie zur Strommessung bitte nicht die DMM, sondern einen Shunt (10Ω) und den Oszillograph.

Versuch 6 - Kombinatorische Grundschaltungen

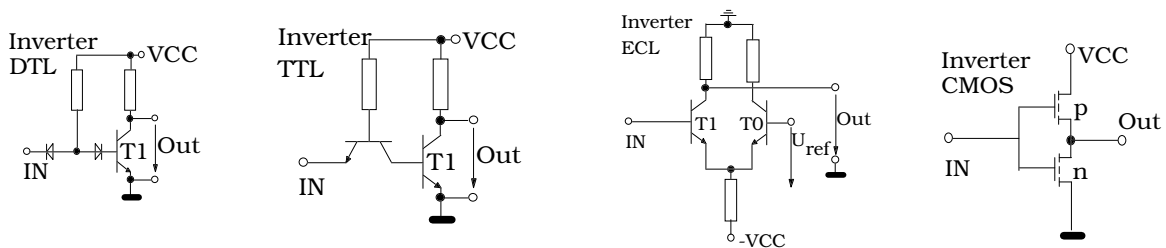
Integrierte Digitalschaltungen lassen sich nach ihrem prinzipiellen (inneren) Aufbau in folgende wichtige Schaltkreisfamilien einordnen.

DTL Dioden- Transistor- Logik. Diese Logik ist heute kaum mehr von Bedeutung in integrierten IS. Zum Erklären für das Verständnis von TTL eignet sie sich aber sehr gut. Der Vorteile der DTL liegen in beliebig großen Eingangsfächerung.

TTL Transistor-Transistor-Logik. Hauptbestandteil sind bipolare Transistoren. Der Eingangstransistor wird oft invers betrieben. Aus Standard-TTL wurden Schottky-TTL und Low Power Schottky-TTL weiterentwickelt. Die TTL-Familie wird am häufigsten angewendet und ist eine Übersteuerungstechnik.

ECL Emitter Coupled Logic. Zum Aufbau werden bipolare Transistoren verwendet. Die Transistorschaltstufen werden aktiv betrieben und sind über Emittierwiderstände gekoppelt. Auf diese Weise erreicht man sehr kurze Schaltzeiten. Von Nachteil sind ein hoher Leistungsbedarf und ein geringer Störabstand. (Amplitude der Übertragungskennlinie beachten!)

MOS Metall Oxid Semiconductor. Hauptbestandteile sind Feldeffekttransistoren. Unterfamilien sind NMOS, PMOS und CMOS. Die bei den anderen Familien vorhandenen Lastwiderstände werden bei CMOS durch den Komplementärtransistor ersetzt, wodurch der Leistungsbedarf stark sinkt.

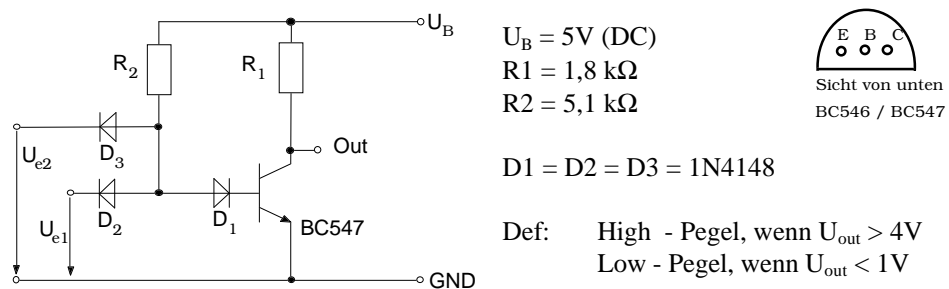


Verwendete Geräte: 3 DMM 1 Stromversorgungsgerät
Schalterbrett

6.1 Dioden-Transistor-Logik

Aufgabe: - Bauen Sie die nachfolgende Schaltung auf und ermitteln Sie deren logische Funktion.

Schaltung:



Schaltung 6.1

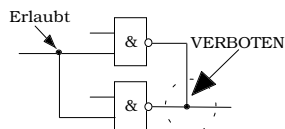
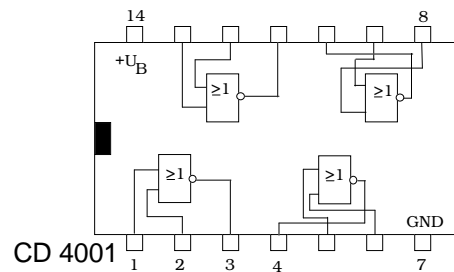
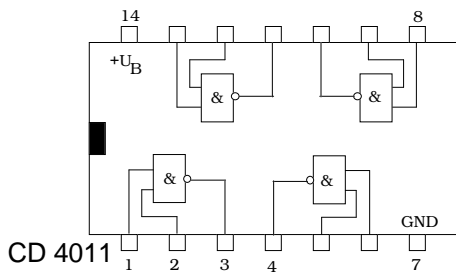
- Verwenden Sie das Schalterbrett, um die Signale U_{e1} und U_{e2} zu erzeugen.
- Nehmen Sie die Wahrheitstabelle dieser Schaltung auf. Um welche logische Funktion handelt es sich?
- Welche Funktion erfüllt die Diode $D1$ in der Schaltung?
- Welcher logische Pegel wird von der Schaltung bei „offenen“ Diodenanschluß (U_{e1}) erkannt?

6.2 De Morgan'sche Theoreme

Bei kombinatorischen Schaltungen ist die Ausgangsgröße nur von den momentanen Zustand der Eingangsgrößen abhängig. Eine Rückführung von Ausgangsgrößen wieder auf davorliegende Eingänge ist nicht möglich. Kombinatorische Schaltungen können in ihrem logischem Verhalten durch Gleichungen (z.B. ODER-Verknüpfung $y = x_1 \vee x_2$) bzw. durch Wahrheitstabellen eindeutig beschrieben werden. Die beschreibenden Gleichungen können, z.B. durch das Verfahren von Karnaugh, minimiert werden.

- Aufgabe:
- Wenden Sie die De Morgan'schen Theoreme an.
 - Bauen Sie dazu jeweils die Schaltung auf und nehmen Sie die Wahrheitstabelle auf.
 - Nutzen Sie das Schalterbrett, um definierte Eingangssignale zu erzeugen.
 - Geben Sie Ihr vorgehen zu Protokoll.
1. Stellen Sie eine ODER-Funktion durch (ausschließlich) NAND-Gattern dar.
 2. Stellen Sie eine XOR-Funktion (exklusiv ODER) mit NAND-Gattern dar.
 3. Stellen Sie Funktion $y = (a \wedge b) \vee (c \wedge b)$ durch je max. 2 Gatter vom Type NAND bzw. NOR dar.

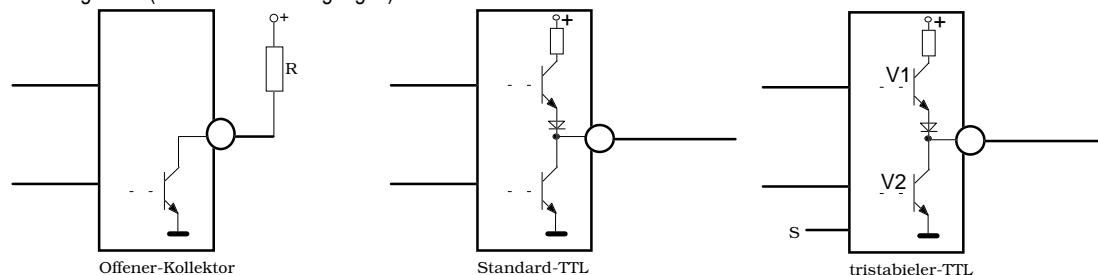
- Verwenden Sie bitte die Schaltkreise aus der CMOS 40xx - Familie.



Mehrere Eingänge dürfen miteinander verbunden werden.
Es dürfen *nicht* mehrere Ausgänge miteinander verbunden werden!

6.3 Schaltkreise mit Open-Kollektor-Ausgang

Bei digitalen Schaltkreisen gibt es grundsätzlich drei wichtige und unterschiedlich Formen des Ausganges. Diese werden nachfolgend kurz vorgestellt (Gatter mit zwei Eingängen).



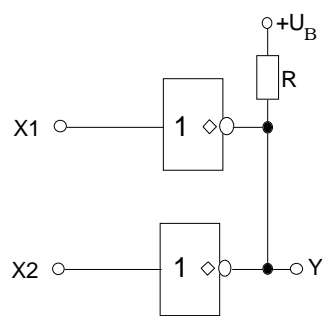
Im Fall 1, Offener Kollektor : Hier wird eine systemfremde Last durch Stromaufnahme angesteuert, wenn die Logik des digitalen Gatters einen „Low“ - Pegel liefern soll. Es können somit Lasten bei höherer Betriebsspannung (entsprechend $U_{ce\ max.}$) geschaltet werden.

Im Fall 2, Std-TTL - Ausgang : Man kann gut den Gegentaktausgang erkennen. Ist immer nur ein Transistor zum jeweiligen Zeitpunkt leitend.

Im Fall 3, tristabiler - Ausgang : Wird am Eingang „S“ ein High - Pegel angelegt, so sind beide Transistoren (V1 und V2) gesperrt, sonst aber (S=Low) ist das Verhalten, wie bei Std-TTL. (Anwendung bei Bus-Logik)

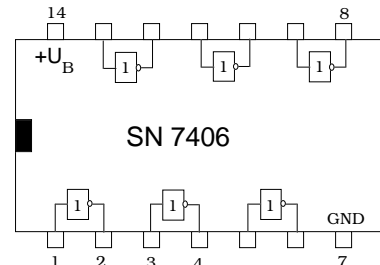
Aufgabe: - Bauen Sie die nachfolgende Schaltung auf. Ermitteln Sie die logische Funktion der Schaltung.

Schaltung:



Achtung: Bei diesem Schaltkreis dürfen die Ausgänge verbunden werden!

$U_B = 5V$ (DC)
 $R = 1\text{ k}\Omega$



Schaltung 6.3

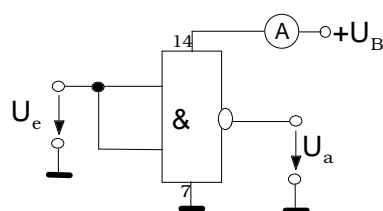
- Nutzen Sie das Schalterbrett, um definierte Eingangssignale zu erzeugen.
- Nehmen Sie die Wahrheitstabelle auf, um welche logische Funktion handelt es sich.
- Erklären Sie das Entstehen der logischen Funktion.
- Können die zuvor beschriebenen Ausgangsarten innerhalb einer Schaltung gemischt verwendet werden? Begründen Sie.

6.4 Übertragungskennlinie und Störabstand

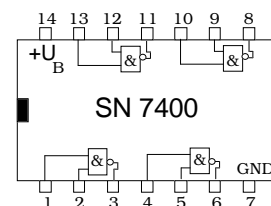
Die Übertragungskennlinie $f = U_a(U_e)$ wird in mancher Literatur auch als Transferkennlinie bezeichnet.

- Aufgaben:**
- Nehmen Sie die Übertragungskennlinie $f = U_a(U_e)$ eines TTL-Gatters (NAND) auf. Messen Sie die Stromaufnahme des Gatters.
 - Wiederholen Sie den Versuch mit einem CMOS-Gatter (NAND).

Schaltung:



TTL = SN 7400
CMOS = CD 4011
 $U_B = 5V$ (Festspannung)
Alle unbenutzten Gattereingänge auf definierten Pegel Low setzen!



Schaltung 6.4

- Belassen Sie Ihren Strommeßbereiche am Meßgerät über die gesamte Messung gleich!
- Sollte U_e sich schlecht einstellen lassen, so können Sie auch einen Spannungsteiler 1:2 verwenden. (Bereich U_e [0V, 5V])
- Tragen Sie beide Ergebnisse (TTL, CMOS) in ein Diagramm.
- Versehen Sie diese Diagramm mit einer zweiten Y-Achse, um auch den Strom eintragen zu können. Verwenden Sie verschiedene Farben.
- Charakterisieren Sie die Übertragungskennlinie für beide Schaltkreisfamilien
- Tragen Sie den Störabstand in das Diagramm ein.
- Digitale Schaltkreise erhalten in Schaltungen immer einen Stützkondensator (oft 100nF) für die Betriebsspannung in direkter Nähe zum IC, warum?

Versuch 7 - Sequentielle Grundschaltungen

Im Gegensatz zu kombinatorischen Schaltungen sind bei sequentielle Schaltungen Rückführungen des Ausganges auf die Eingänge möglich. Somit hängt der Zustand des Ausgangssignales nicht nur von den Eingangszuständen, sondern auch von einen „Inneren Zustand“ ab.

Verwendete Geräte:

1 Oszillograph	1 Stromversorgungsgerät
2 DVM	1 PC
1 Frequenzgenerator	diverse Kabel
Schalterbrett	

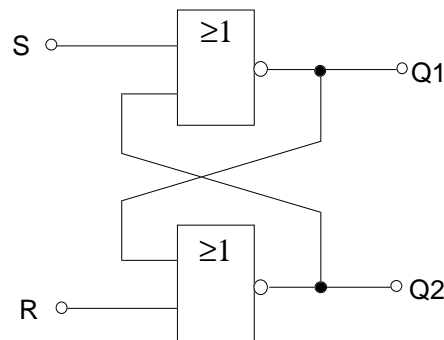
7.1 RS-FlipFlop

Der RS-FF stellt die einfachste Form eines Flip-Flop dar. Er besitzt, wie viele FF zwei zueinander negierte Ausgänge.

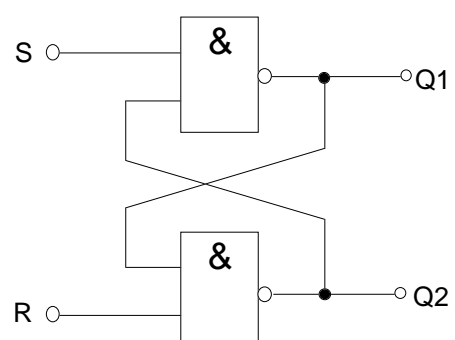
Aufgabe:

- Ermitteln Sie von den beiden unten stehenden Schaltungen 7.1a und 7.1b je die reduzierte Wahrheitstabelle. Geben Sie ein Impulsdiagramm an.
- Welche Bedeutung haben $R = S = \{ 0,1 \}$? Diskutieren Sie die Meßergebnisse.

Schaltung:



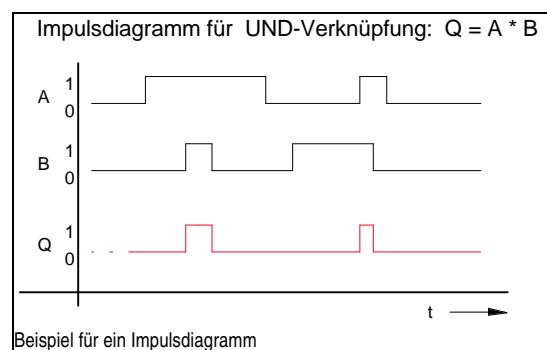
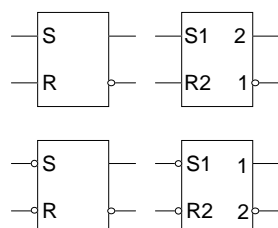
Schaltung 7.1 a - IC = CD 4001



Schaltung 7.1 b - IC = CD4011

- Verwenden Sie zum Aufbau das Schalterbrett für die Eingabe von R und S.
- Den logischen Pegel von Q1 und Q2 können Sie mit je einem DVM messen.
- Bauen Sie zuerst die Schaltung 7.1a auf, dann die Schaltung 7.1b, um mit dieser dann den Versuch 7.2 weiterzuführen.

- Ordnen Sie jeder der Schaltungen 7.1a bzw. 7.1b das entsprechend korrekte Symbole aus:



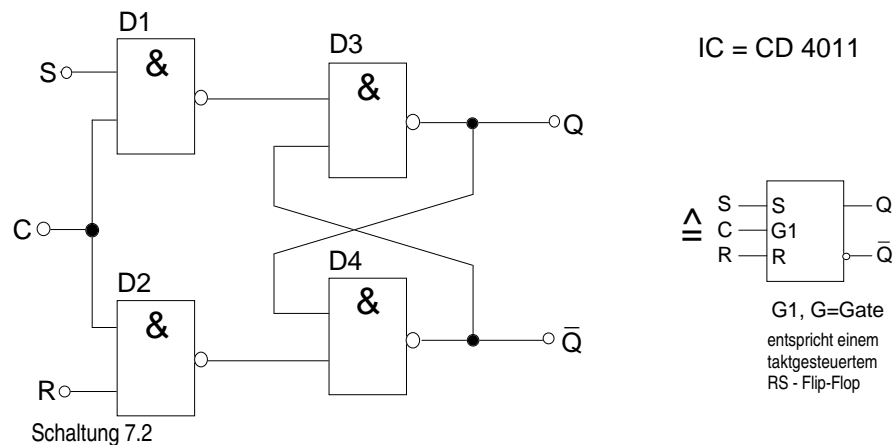
zu. Bezeichnen Sie die Ausgänge Q1 und Q2.

7.2 D - Flip-Flop

Mit D - Flip-Flops (oder auch D-Latch, wenn statisch gesteuert) können Werte (1-Bit) in Abhängigkeit zu einem Taktsignal gespeichert werden. Sie können als 1-Bit Register oder Schreib- Lesespeicher bezeichnet werden.

- Aufgabe:**
1. - Ändern Sie die Schaltung 7.1b gemäß der unten angegebenen Schaltung 7.2 ab. Untersuchen Sie die Schaltung 7.2 und geben Sie dazu das Impulsdigramm an.
 2. - Ändern Sie die Schaltung 7.2 in die Schaltung 7.2b ab, um einen D-FF zu erhalten. Dazu verbinden Sie den bislang als Signaleingang verwendeten Eingang R von D2 mit den Ausgang des NAND D1. (R wird jetzt nicht mehr als Eingang betrachtet!)
 - Ermitteln Sie Wahrheitstabelle und das Impulsdigramm der Schaltung 7.2b.
 - Geben Sie das zugehörige Schaltzeichen, gemäß DIN 40900 an.
 3. - Wiederholen Sie dann den Versuch, wie unten beschrieben mit den IC '74

Schaltung:



- zu 3. - Aus nachfolgenden Bild 7.3 ersehen Sie die symbolische Innenbeschaltung des IC '74 (Doppel D - Flip-Flop). Nehmen Sie die Wahrheitstabelle des Schaltkreis '74 auf. Nutzen Sie dazu eines der beiden vorhandenen Gatter. Als Betriebsspannung wählen Sie 5V DC. Die Eingänge R und S schalten Sie auf logisch *high*.
 - Welcher Wert wird von Q repräsentiert, wenn D später, wie C auf *high* geht? Vergleichen Sie mit der ersten Schaltung aus 7.2.
 Geben Sie das beschreibende Impulsdigramm an, erklären Sie die Schaltung. Was passiert, wenn Sie R oder S auf logisch *low* setzen? Begründen Sie.

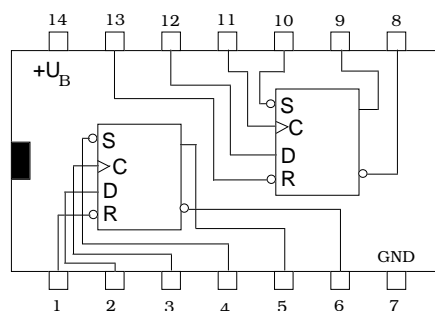


Bild 7.3 - IC SN 74LS74

7.3 JK - Flip-Flop

Wir verwenden in diesem Versuch den Integrierten Schaltkreis SN 7473. Dieser Schaltkreis enthält zwei unabhängige pulsgetriggerten JK - Flip-Flop mit clear (Reset).

- Aufgabe:**
- Untersuchen Sie die dynamisch Funktion des JK - Flip - Flop. Vervollständigen Sie die Tabelle und geben Sie ein Impulsdigramm an.
 - Beschreiben Sie das Verhalten des FF, wenn $J = K = 1$ und die Taktflanke erfolgt im Bezug zum RS - FF. Nutzen Sie zur Beschreibung den Aufbau des FF.

Schaltung:

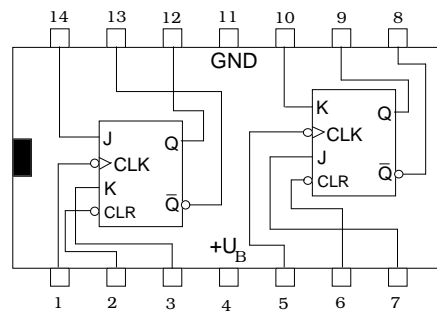


Bild 7.4 - IC SN 7473

- Verwenden Sie als Betriebsspannung 5V (DC) - Beachten Sie die Pin 11 und 4!
- Für die Signaleingabe von J, K, CLR (Reset) verwenden Sie das Schalterbrett.
- Für die Signaleingabe von CLK verwenden Sie den Frequenzgenerator mit kleiner Frequenz, um die beiden Ausgänge mit dem Oszillograph darzustellen. (zwei Messungen, einmal $CLK + Q$, und $CLK + /Q$)

Tabelle 1 (JK - FF)

$/CLR$	$/CLK$	J	K	Q	$/Q$
0	x	x	x	0	1
1	⌋	0	0		
1	⌋	1	0		
1	⌋	0	1		
1	⌋	1	1		
1	⌋	0	0		
1	⌋	1	0		
1	⌋	0	1		
1	⌋	1	1		
1	1	x	x		

mit: 1=high 0=low x=unbedeutend ⌋ = steigende Flanke

Hinweis:

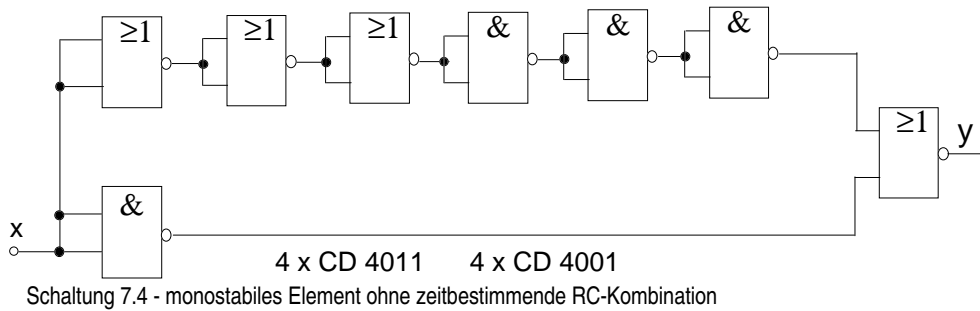
- Beschreiben Sie Ihre Ergebnisse für:
 - $/CLR = 0$ oder 1
 - $J = K = 1 = /CLR$
 - J ungleich K, $/CLR = 1$

7.4 Monostabiles Element

Der folgende Versuch 7.4 wird nicht zum Protokoll gewertet, er dient lediglich dem elementaren Verständnis.

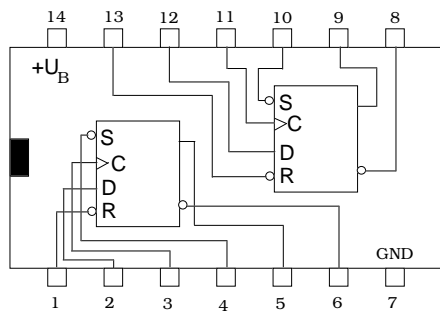
Aufgabe: - Bauen Sie die folgende Schaltung auf und untersuchen Sie diese.

Schaltung:

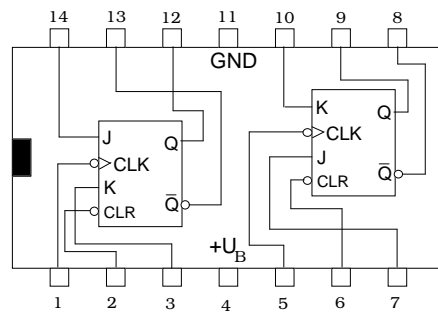


- Als Eingangssignal verwenden Sie ein TTL-Conformes Signal des Frequenzgenerators.
 - Das Ausgangssignal y stellen Sie, wie auch das Eingangssignal x mit dem Oszillographen dar.
 - Beschreiben und begründen Sie Ihre Beobachtungen.
- Hinweis:* Jedes Gatter besitzt eine Durchlaufverzögerungszeit.

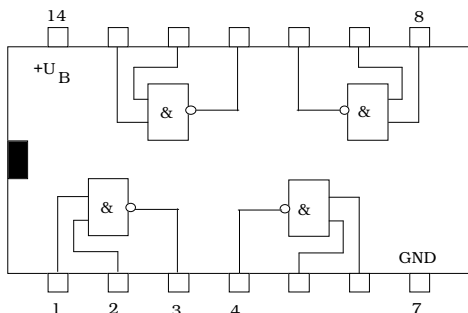
Die verwendeten Schaltkreise im Überblick:



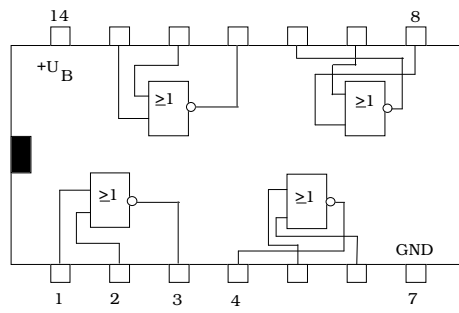
SN 74LS74 - D - FF



SN 7473 - JK - FF



CD 4011 - NAND



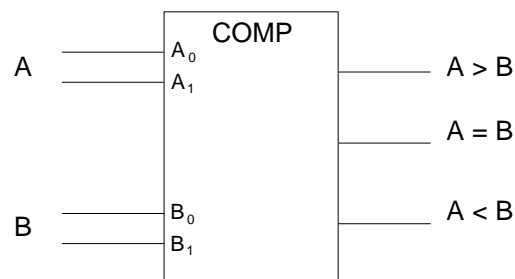
CD 4001 - NOR

Versuch 8 - Programmierbare Logikbausteine (PLD)

<u>Verwendete Geräte:</u>	1 Stromversorgungsgerät	1 PC
	1 Frequenzgenerator	diverse Kabel
	PLD-Versuchsboard	

8.1 2-Bit-Vergleicher

- Aufgabe:**
- Programmieren Sie das PLD-Gatter so, daß es die Funktion eines 2-Bit-Vergleichers erfüllt. Stellen Sie dazu die booleschen Gleichungen auf.
 - Programmieren Sie, indem Sie boolesche Gleichungen in die GLB-Zellen eintragen.
 - Bauen Sie die Schaltung auf, testen Sie Ihr Ergebnis.
 - Für die Eingabe benutzen Sie die DIP-Schalter.
 - Für die Anzeige des Eingabewortes können Sie die roten LED verwenden.
 - Für die Ausgabe benutzen Sie die drei verschiedenfarbigen LED.
 - LED rot für $A = B$
 - LED gelb für $A > B$
 - LED grün für $A < B$ mit A,B = 2-Bit Wort der Eingabe
 - Verbinden Sie die Schalter und die LED mit Ihren den jeweilig verwendeten I/O-Port.
 - Verwenden Sie zur Programmierung nur logische Gatter, keine Makro-GLB's!



Schaltung 8.1 - symbolisch

8.2 Zweistelliger Oktal-Vorwärts-Zähler

- Aufgabe:**
- Programmieren Sie das PLD-Gatter so, daß es die Funktion eines zweistelligen Zählers (Oktal - Zahlensystem) erfüllt.
 - Die Funktionen zählen, Reset (Taster rot), Enable (Taster schw.) sollen synchron gelöst sein.
 - Als Takteingang nutzen Sie ein Rechtecksignal des Frequenzgenerators. (5V DC, TTL)
 - Für die Ausgabe benutzen Sie die roten LED.
 - Verbinden Sie die Taster und die LED mit den verwendeten I/O-Port.
 - Verwenden Sie zur Programmierung nur logische Gatter, keine Makro-GLB's!
 - Bauen Sie die Schaltung auf, testen Sie Ihr Ergebnis.

Kurze Anmerkungen zur PLD-Software

ISP-Chips (in system programmable) sind zu der Familie der PLD zu zählen. Diese programmierbaren Schaltkreise können bis zu 1000 mal neu und innerhalb ihrer Betriebsschaltung (System) programmiert werden. Der von uns verwendete IC verfügen intern über 1000 PLD Gates, 32 Registern und kann über die 32 I/O-Pins mit bis zu 80 MHz maximaler Operationsfrequenz betrieben werden.

Wir verwenden die PLD-Software der Firma Lattice. Mit der Software ist eine übersichtliche Eingabe und Darstellung der Logik-Funktionen möglich. Die Software pDS1101/isp-SK2 benötigt folgende Rechnerausstattung:

IBM - kompatibler PC, CPU min. 80386, MS-Windows 3.1 (oder höher), 8 MB RAM.

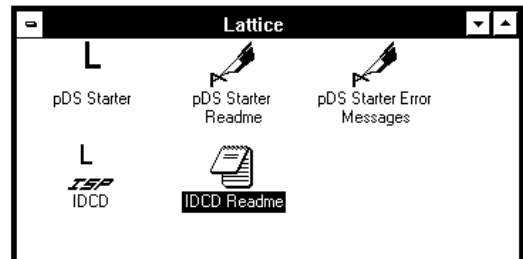
Formen der Logikeingabe zur Erstellung eines Logikdesigns

1. Boolesche Gleichungen
2. Wahrheitstabellen
3. Schematischer Schaltplan
4. Beschreibung in Hochsprachen, wie VHDL
5. Beschreibung durch Makros.

Wir jedoch wollen uns auf die Beschreibung durch boolesche Gleichungen beschränken.

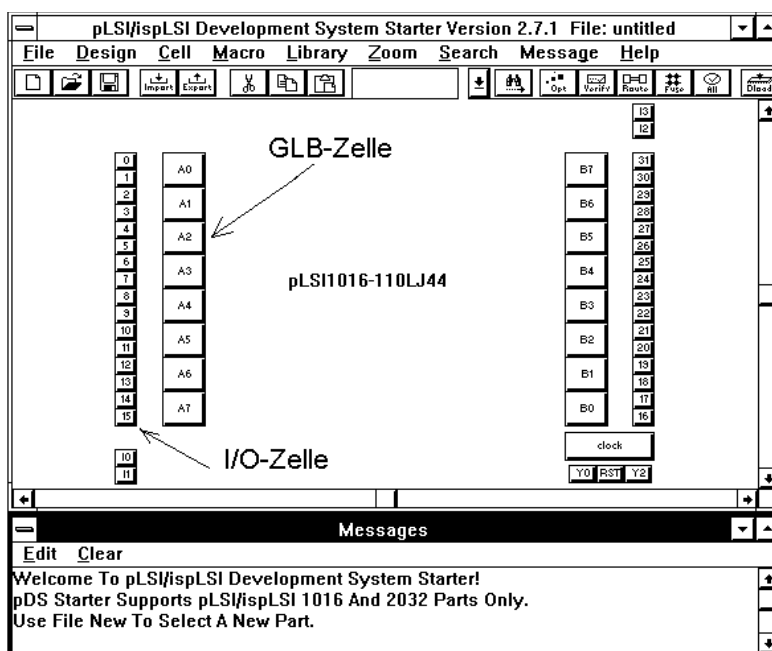
Entwicklungsablauf bei der Eingabe mit booleschen Gleichungen:

1. Auswählen des zu verwendeten Chips,
2. Logikeingabe in die GLB-Zellen,
3. eventuell Verifikation und Minimierung (Diesen Punkt wollen wir nicht näher beachten.)
4. Place and Route (Verbindung der internen Variablen mit physikalischen I/O-Pins)
5. Simulation (Diesen Punkt wollen wir nicht näher beachten.)
6. Download, also das Programmieren in das Zielsystem.



Um mit der Software arbeiten zu können, starten Sie MS-Windows. Rufen Sie das Programm *pDS* aus der Programm-Gruppe *Lattice* auf. Dies ist die PLD-

Entwicklerumgebung. Sie enthält das Design Manager Windows sowie am unteren Rand das Messages Output Windows (Siehe Grafik links).



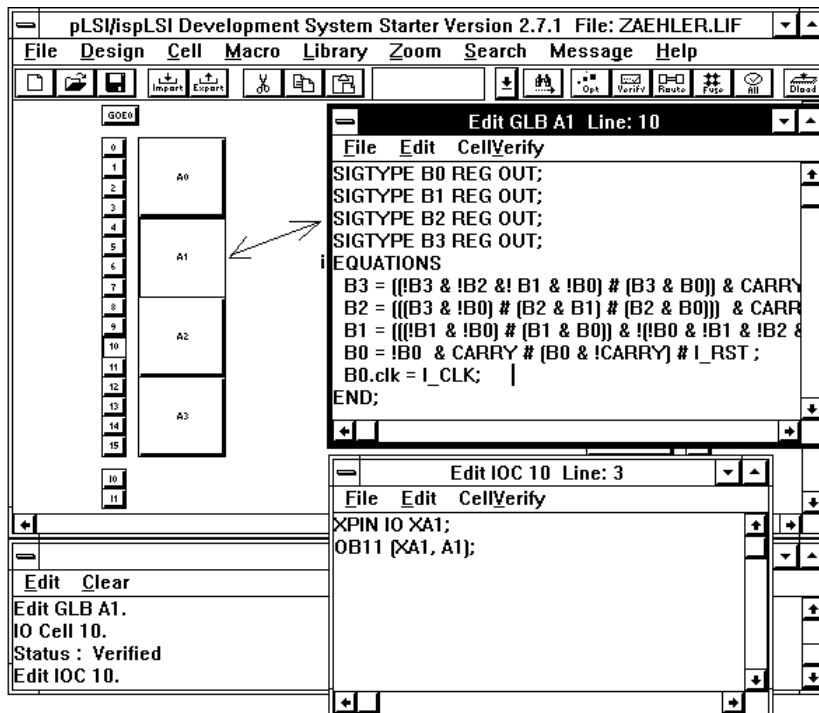
Mit dem Menüpunkt *FILE* können Sie alle unter Windows gewohnten Dateiaktionen ausführen.

Um ein neues Logikdesign zu erstellen, wählen sie aus diesem Menü den Unterpunkt *NEW*.

Aus dem sich nun öffnenden Fenster *Part Selection* wählen Sie den richtigen, von Ihnen verwendeten isp-Chip aus. (Z.B. pLSI2032-80TL100.) Folgen Sie eventuellen weiteren Anweisungen und Fragen, bis Sie wieder bei der PLD-

Entwicklerumgebung angekommen sind.

Nun können Sie die Logik in die GLB-Zellen eingeben. Dazu Doppelklicken Sie eine selektierte GLB, das Eingabefenster öffnet sich. Es sei erwähnt, daß immer nur max. zwei Eingabefenster geöffnet werden können. Diese Logikeingabe kann auch über den Menüpunkt *CELL* mit den Unterpunkten →



EDIT, bzw. → *CLEAR* erfolgen. Nachfolgend ein Beispiel. Das Fenster (links) EditGLB stellt die Funktionen (Menüleiste) Kopieren, Ausschneiden und Einfügen, wie unter Windows üblich zur Verfügung. Wenn Sie Ihre Eingabe beendet haben, so wählen Sie *CellVerify*, um die Eingabe zu beenden. Sollten Fehler aufgetreten sein, so können Sie diese aus dem *Messages Output Windows* ersehen.

Alle Eingaben in diesem Fenster (GLB) haben einer bestimmten Syntax zu folgen. Zu Beginn werden die Arten der definierten Ausgänge festgelegt. Danach folgen die

booleschen Gleichungen, welche gesamt mit einem Start- und Endbefehl gekapselt sind.

Um die Boolesche Gleichung zu beschreiben, stehen die definierten Variablen, sowie die logischen Grundfunktionen

durch folgende Zeichen zur Benutzung frei:

&	= logische UND-Verknüpfung
#	= logische ODER-Verknüpfung
!	= Invertierung
\$	= logische XOR-Verknüpfung

Kurz dazu ein Beispiel. Um der Variablen A den Wert einer logischen XOR-Verknüpfung, gebildet aus UND, ODER und NEG-Verknüpfung von Variable C und B zu beschreiben gilt:

$A = (C \& !B) \# (B \& !C);$

äquivalent dazu ist $A = C\$B;$

Bedeutung der Sprachelemente für GLB:

SIGTYPE	Art des Ausganges mit den Optionen
... OUT	Variable als kombinatorischer Ausgang
... REG OUT	Variable als Register-Ausgang (RS-FF)
EQUATIONS	Start der Logikbeschreibung
END	Ende der Logikbeschreibung
Jeder Ausdruck ist durch ein Semikolon abzuschließen	

Als nächstes ist nun die Verbindung der verwendeten, bzw. neu definierten Variablen zum I/O Port zu realisieren. Hierzu stehen uns die vielseitig konfigurierbaren I/O Zellen (IOC) zur Verfügung. Die Funktion dieser aus Buffer zu betrachtenden Zellen wird durch die im nachfolgenden Kasten zu ersiehenden IO-Makro-Befehle festgelegt.

Makroname	Funktion
IB11(out, in)	Input-Buffer nicht invertierend
IB21(out, in)	Input-Buffer invertierend
OB11(out, in)	Output-Buffer nicht invertierend
OB21(out, in)	Output-Buffer invertierend
XPIN IO out LOCK N	fest Variable out an I/O-Port N verbinden
XPIN CLK out LOCK N	fest Variable out an Clock-Port N verbinden

Symbolisch:

IB11(ZO, XIO) mit verwendbarer Variable ZO in GLB's

BEMERKUNG:

Variablenamen sind frei wählbar und können mehrstellig sein.

Clock-Eingänge können nur von den Y-Pins des IC aus beschalten werden.

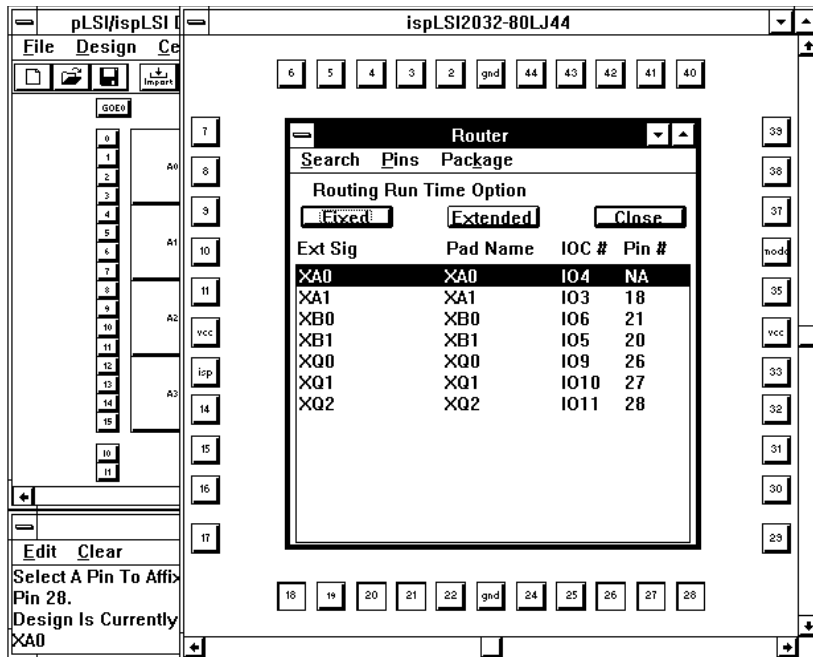
Variablen-Ausgänge können innerhalb des GLB auch als Eingänge genutzt (zurückgeführt) werden.

Register können global mit Clock, Enable und ClearDirect gesteuert werden.

Z.B.

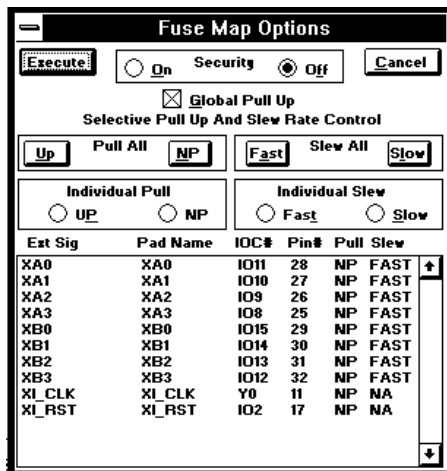
```
SIGTYPE A REG OUT;           Definition
EQUATIONS                    Start
    A.CLK = B;                Clock
    A.EN = C;                 Enable
    A.CD = D;                 Clear
    A = E & F;                Logik/Data
END;                           Ende
```

Mit der Funktion ROUTING (aus dem Menüpunkt *Design*) können die internen Verbindungen der IOC per Mausclick festgelegt werden, also die Verbindungen vom In/Out-Buffer zum realen Pin. Natürlich



können Sie diese Festlegung auch mit dem Befehl der IOC XIN IO ... LOCK definieren, oder aber mit der grafischen Oberfläche (*Routing*) der Entwicklungsumgebung. Hierzu starten Sie die Router-Funktion, Menüpunkte *Design* → *Routing...* → *Package*. Selektieren Sie dann die in Ihren GLB verwendeten und hier in der Router-Liste aufgeführte Variable, die zur IOC verbunden werden soll. Die Zeile der Tabelle wird durch einen farbigen Hintergrund als markiert angezeigt, wählen Sie dann mit der Maus, per Klick, die zu verbindende IOC aus, fertig. Hinweis, alle grau eingefärbten IOC stehen noch zur Auswahl.

Um die Verbindungsstrukturen vor dem DownLoad nochmals überprüfen zu können, bzw. nur anzeigen zu lassen, steht Ihnen die *FUSE MAP* zur Verfügung. Hier werden alle spezifizierte Variablen (Ext Sig), die I/O-Zelle (IOC#) und ihre PIN-Nr. (#PIN#) in einer Tabelle zusammengefaßt. Weiter können auch noch Pull up, bzw. Pull down - Widerstände für die Eingänge definiert werden. Unter Pull up, bzw. Pull down, Widerständen versteht man Widerstände, die den Eingang fest gegen ein definiertes Signal (up/down) steuern, also bei Pull down ein Festwiderstand gegen GND.

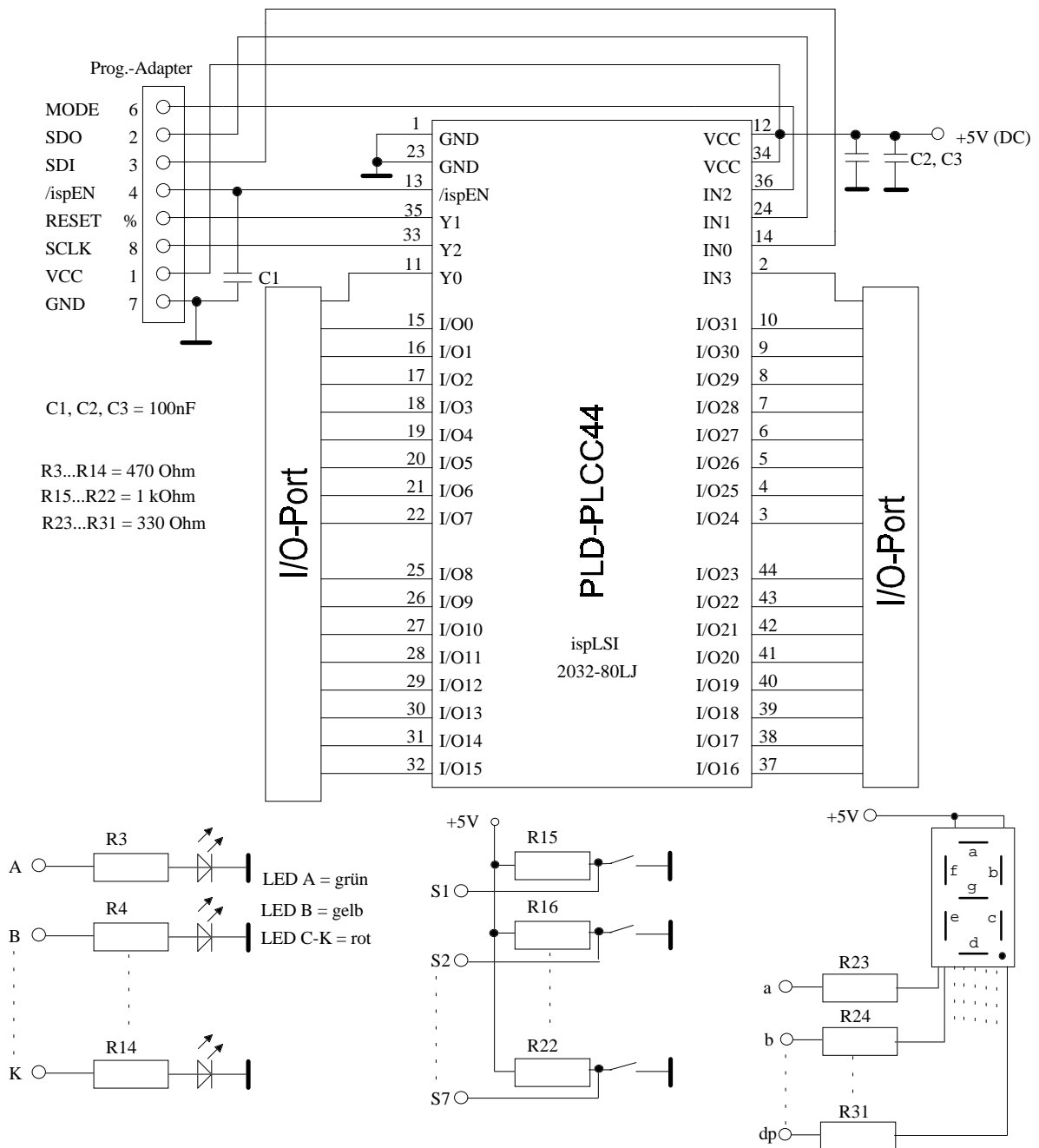


Wenn Sie die Logik-Eingabe beendet haben und alle notwendigen IOC belegt sind, kann die Übertragung in das IC erfolgen. Im Menüpunkt *Design* finden Sie den Unterpunkt *DownLoad*, welcher die Übertragung veranlassen kann. Die weitere Menükontext ist selbst erklärend.

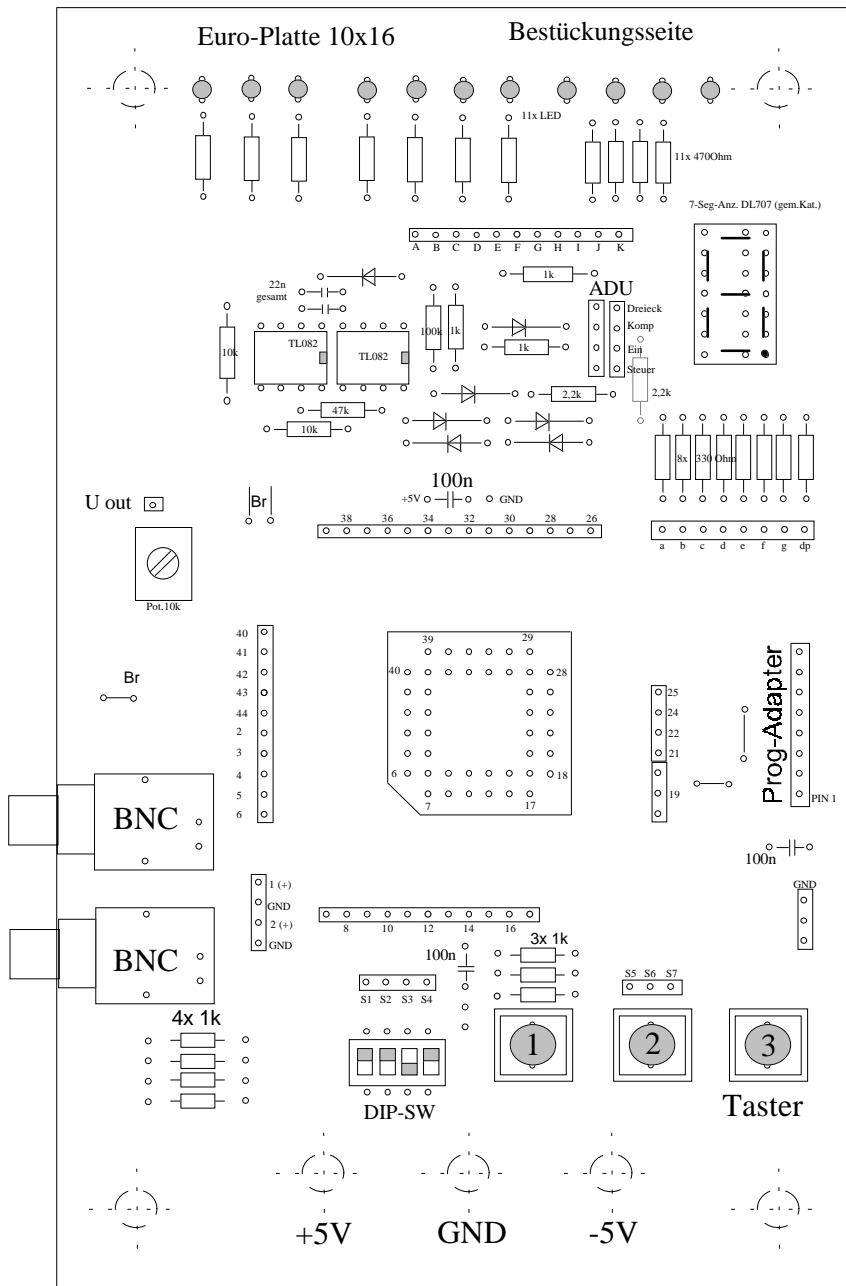
Die Entwicklungsumgebung ist im allgemeinen einfach zu bedienen und selbst erklärend. Zum Verständnis für die GAL/PLD sei folgender Literaturhinweis:

1. Dieter Bitterle: GAL's
2. Joachim Blank: Logikbausteine, Grundlagen...

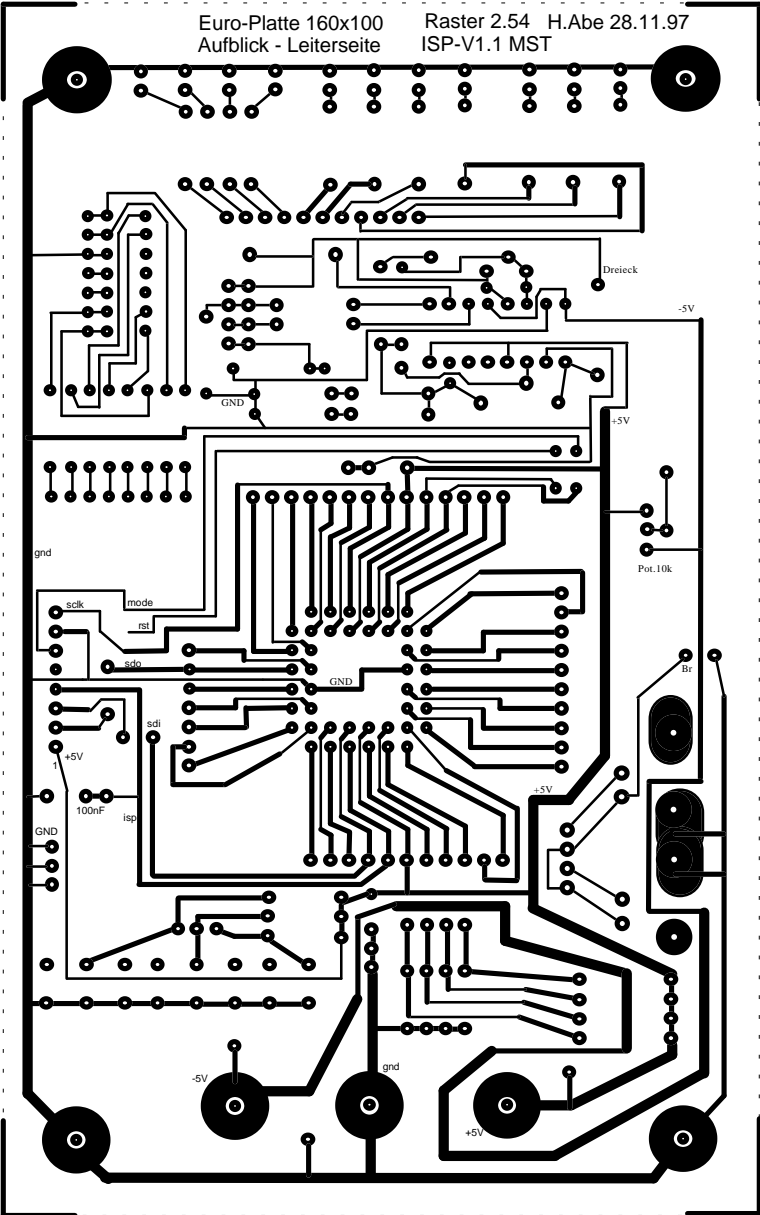
Generelle Verbindungsstruktur des Versuchsboards:



Das PLD-Versuchsboard, Bestückungsseite:



Die Leiterseite (Blick auf die Leiterbahnen) der einseitigen Platte



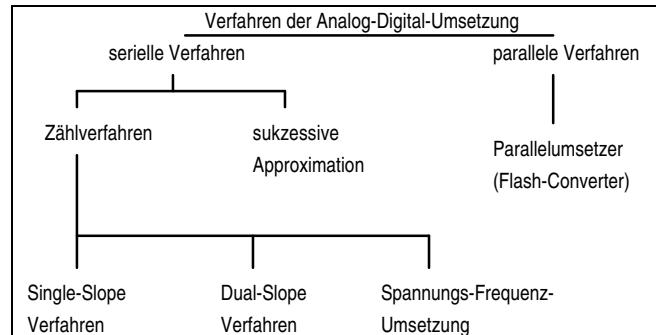
Versuch 9 - Der Analog-Digital- und Digital-Analog-Umsetzer

In der Informationsverarbeitung, in der Informationsübertragung, wie auch in der Meßtechnik wird heute zunehmend Digitaltechnik zur Verarbeitung und Steuerung eingesetzt. Ein- und Ausgangsgrößen sind jedoch nicht selten von analoger Natur. Aus diesem Grund kommt der Umsetzung analoger in digitale Signale (bzw. umgekehrt) besondere Bedeutung zu. Man unterscheidet nach der Umsetzrichtung, sowie nach dem Prinzip der Umsetzung.

Digital-Analog-Umsetzer (DAU) können mit paralleler, bzw. serieller Eingabe arbeiten. Oft wird ein Widerstandsnetzwerk zur Wandlung genutzt.

Analog-Digital-Umsetzer (ADU) unterscheiden sich deutlich in ihren Eigenschaften: Umsetzrate, Anforderungen an Bauelemente, Auflösung. (siehe auch nebenstehende Grafik)

Die analoge Größe wird durch Quantisierung approximiert. Die Quantisierungsstufen entsprechen der Auflösung (in Bit). Es treten bei der Umsetzung Quantisierungsfehler auf, durch z.B. Offsetfehler, oder Unlinearität. Die Eingangswerte eines ADU sind während der Umsetzung konstant zu halten (Sample and hold).



Verwendete Geräte:

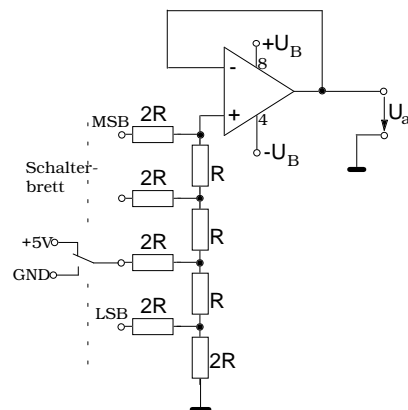
- 1 Oszillograph
- 2 DMM
- 1 Frequenzgenerator
- Schalterbrett

- 1 Stromversorgungsgerät
- 1 PC
- diverse Kabel
- Versuchsbrett ISP

9.1 Digital-Analog-Umsetzer mit $2R/R$ - Netzwerk

Aufgabe: - Bauen Sie die Schaltung des DAU auf. Nehmen Sie seine Übertragungskennlinie auf.

Schaltung:



$U_B = \pm 10V$
 $U_{REF} = +5V$ (an Schalterbrett)
 IC = TL 082

Widerstände:

$R = 1k\Omega$

Widerstände, die mit $2R$ bezeichnet sind, werden durch Reihenschaltung von zwei Widerständen a $1k\Omega$ erzeugt!

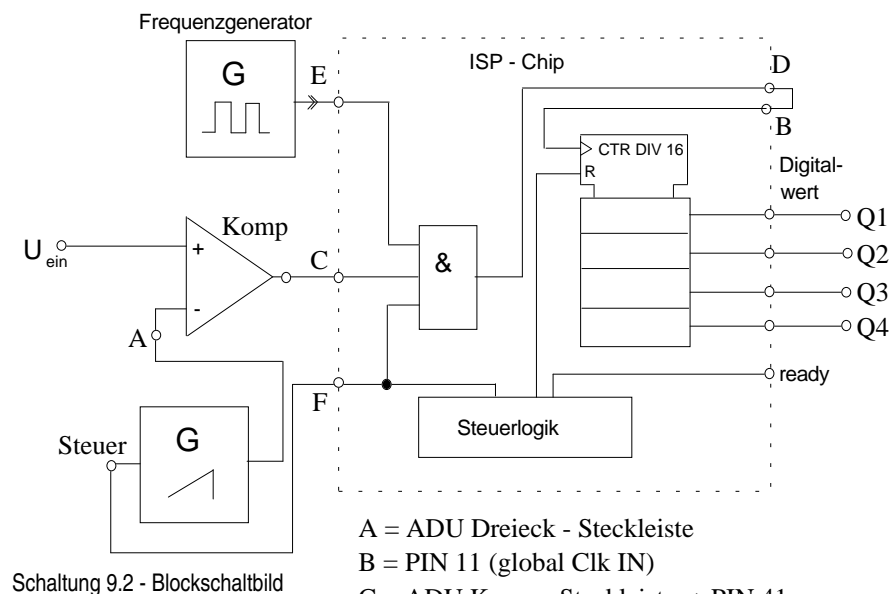
Schaltung 9.1

- Verwenden Sie das Schalterbrett für die definierte Eingabe der Bits 0..3 (LSB..MSB)!
- Messen Sie die Ausgangsspannung U_a .
- Zeichnen Sie die Übertragungskennlinie $f = U_a(\text{Bit}_{in})$ und kennzeichnen Sie eventuelle Quantisierungsfehler!
- Geben Sie ein Ersatzschaltbild des Widerstandsnetzwerkes für die Bit-Eingabe (1100) an, berechnen Sie die resultierende Ausgangsspannung U_a für $U_{REF} = 5V$.
- Wie groß ist der theoretische Fehler für diesen Umsetzer vom Endwert?

9.2 Analog-Digital-Umsetzer nach dem Single-Slope-Verfahren

- Aufgabe:**
- Verwenden Sie das PLD-Versuchsboard. Der ISP - Chip ist neu programmiert. (Programm test.lif)
 - Untersuchen Sie die Funktion der Schaltung, indem Sie das Ablaufdiagramm $U_x = f(t)$ aufnehmen, für die Meßpunkte $x = \{ A, E, C, D, \text{Ready}, Q1...Q4 \}$ nach Schaltung.
 - Die Eingangsspannung U_{ein} erzeugen Sie mittels des Potentiometers und dem Steckpunkt U_{out} . Belassen Sie diesen statisch.

Schaltung:



Schaltung 9.2 - Blockschaltbild

A = ADU Dreieck - Steckleiste

B = PIN 11 (global Clk IN)

C = ADU Komp - Steckleiste + PIN 41

D = PIN 39

E = PIN 40 (TTL - Taktsignal, 18-fache Frequenz von Dreiecktakt)

F = PIN 42 = ADU Steuer - Steckleiste -

Q1 = PIN 25

Q2 = PIN 26

Q3 = PIN 27

Q4 = PIN 28

ready = RST (CNT) = F = PIN42,

ready gilt nur bei steigender Flanke

- Verbinden Sie alle notwendigen Strukturen:

- B mit D

- Taktgenerator mit E

- U_{out} (Potentiometer) mit Voltmeter und U_{ein}

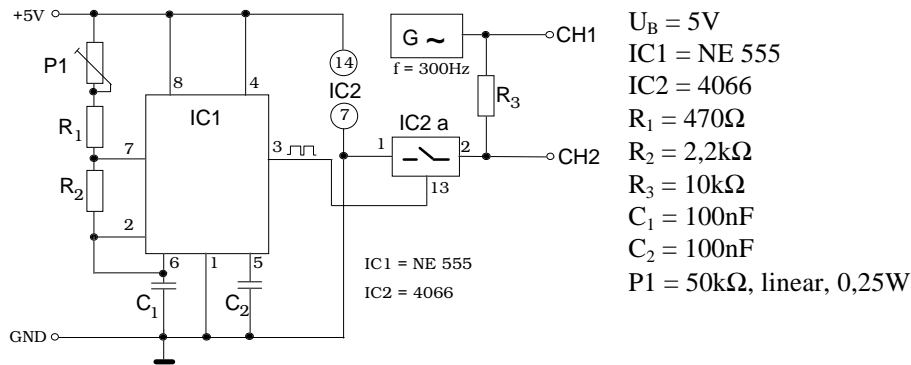
- Komp mit C

- Beschreiben Sie die Funktion des Wandelverfahrens, welche Fehler werden gemacht?

9.3 Abtasttheorem

- Aufgabe:**
- Bauen Sie folgende Schaltung auf. Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen der Abtastfrequenz und der somit ermittelten Sinusfrequenz.
 - Hinweis: Besonderheiten der Signalform (Anforderungen) bleiben unbeachtet.

Schaltung:



Schaltung 9.3

- Stellen Sie am Frequenzgenerator folgendes ein:
 Signalform: Sinus
 Ausgangsspannung: $U_{ss} = 0,6V$
 Offset: 0V DC
 Frequenz: 300Hz
- Oszillographieren Sie mit CH1 die Sinusspannung. Triggern Sie auf CH1.
- Stellen Sie den Widerstand des Potentiometers P1 zunächst auf Minimum. Erhöhen Sie nun langsam den Widerstand von P1 bis auf Maximum. Was können Sie auf dem Oszillograph sehen? Begründen Sie die entstehenden Besonderheiten.
- Drucken Sie je ein Oszillogramm für P1 = Minimum, bzw. für eine „Besonderheit“ aus. Bestimmen Sie jeweils die Frequenz der Sinusschwingung.
- *Hinweis:* Mit IC1 und der Außenbeschaltung generieren wir einen Abtastgenerator. IC2 ist dann die eigentliche Abtastschaltung.
 Einstellungen am Oszillograph:
 Trigger: CH1
 X-Ablenkung: 2,5ms/DIV, bzw. 5ms/DIV
 Y-Ablenkung: 0,2V/DIV
 ACQUIRE: Sample Mode
- Welche Beobachtungen können Sie machen, wenn Sie statt der Sinusspannung eine andere Signalform wählen?

9.4 Analog-Digital-Umsetzer nach dem Flash - Prinzip

Aufgabe: - Bauen Sie die nachfolgende Schaltung auf. Für U_{ref} verwenden wir 5V DC.

1. Fall:

Untersuchen Sie zum einem den statischen Fall mit $U_{in} = [0..4V]$ für Y1, Y2, Y3 und Q1, Q2.

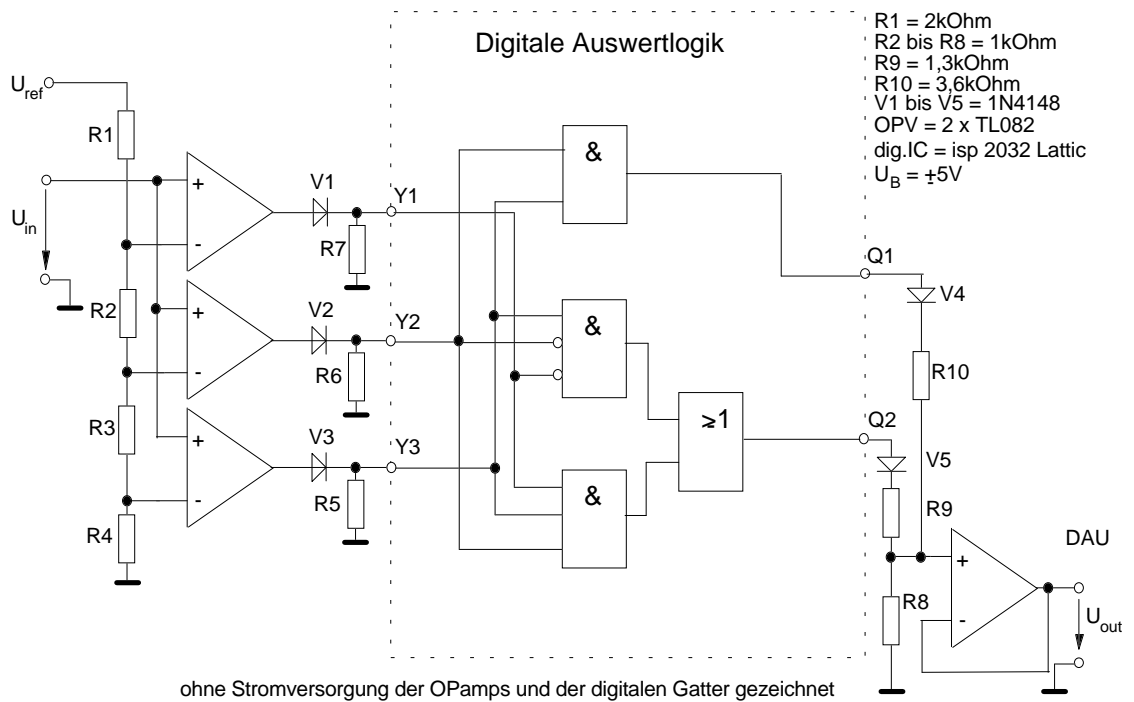
2. Fall:

Verwenden Sie als Eingangssignal eine (dynamische) Dreiecksspannung ($U = 4V$) Stellen Sie mit dem Oszillograph Q1, Q2, sowie U_{in} gemeinsam dar.

3. Fall:

In der Schaltung können Sie nach den digitalen Ausgängen einen einfachen DAU erkennen. Untersuchen Sie den dynamischen Fall, in dem ein Dreieckeingangssignal am Eingang zuerst digitalisiert und anschließend wieder analogisiert wird. Stellen Sie beide Signale gegenüber.

Schaltung:



Schaltung 9.3

Achten Sie dabei auf richtige Triggerung.

- Verwenden Sie als digitale Auswertlogik einen Programmierbaren Schaltkreis.
- Programmieren Sie diesen gemäß obiger Schaltung um den Versuch durchführen zu können.
- Wie würde ein ADU - Wandler nach diesem Prinzip für 4 Bit aussehen?
- Welche Wandelgeschwindigkeiten können erwartet werden?

Versuch 10 - Sensoren und Aktoren

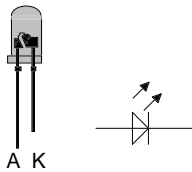
In dem nachfolgenden Versuchen werden Sie einige Aktoren und Sensoren praktisch kennenlernen. Soweit es sich um optoelektronische Bauelemente handelt, achten Sie bitte darauf, daß die Lichtintensität im Bereich Ihrer Versuchsschaltung während dem Versuch konstant bleibt. Leuchten Sie die Bauelemente bitte nicht unkontrolliert zusätzlich an, verdunkeln Sie nicht den Raum ... während Sie die Meßwerte aufnehmen. Die Raumlichtintensität sollte konstant bleiben.

<u>Verwendete Geräte:</u>	1 Oszillograph	1 Stromversorgungsgerät
	2 DMM	1 PC
	1 Frequenzgenerator	diverse Kabel
	Versuchsbrett LED/BPW 43	Versuchsbrett Fotoelement/Solarzelle

10.1 LED (ohne Versuch, siehe Versuch 10.4)

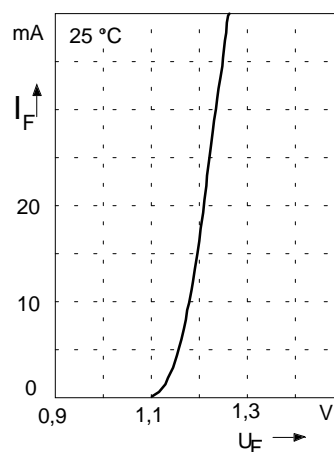
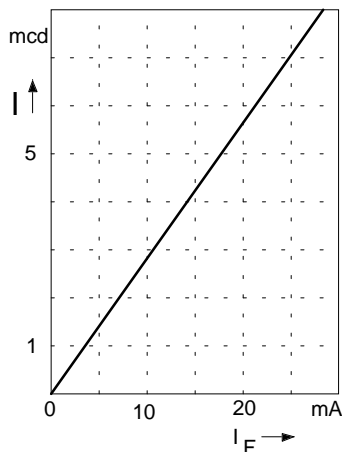
Lumineszenzdiodes, oder Light-Emitting-Diodes (LED), sind, wie der Name aussagt, Halbleiter. Sie werden in Flußrichtung betrieben. Sie senden eine Strahlung aus, die bei der Rekombination von Elektronen und Defektelektronen entsteht. Durch die Wahl des Halbleitermaterials und dessen Dotierung lassen sich die Wellenlänge der emittierten Strahlung (fast monochromatisch) bestimmen. Die Strahlungsbereiche erstrecken sich von ca. 450nm (blau) bis 950nm (infrarot). Die Lebensdauer einer LED ist mit 10^5 Stunden (≈ 12 Jahre) sehr lang.

Anschluß und Schaltzeichen:



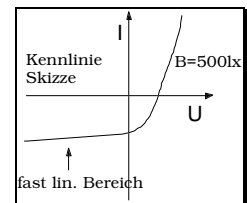
typische Werte:	I_F max. 20mA (bzw. Vergleichswert)
	U_F infrarot 1.3V
	rot 1.7V
	gelb 2.5V
	grün 2.4 V
	Helligkeit: von 0,3 mcd bis 6500mcd
	Wirkungsgrad, ca. 1% bis 10%

Die Lichtstärke hängt annähernd vom Strom I_F ab. Deshalb betreibt man die LED oft mit eingepprägtem Strom, z.B. über einen Vorwiderstand.



10.2 Fotodiode

Fotodioden entsprechen in ihrem Aufbau sehr kleinflächigen Fotoelementen. Fotodioden werden als aktive Zweipole betrachtet. Die Fotodiode kann entweder in Durchlaßrichtung betrieben werden. Da wirkt sie als Stromquelle, abhängig von der Beleuchtungsstärke (siehe übliches Ersatzschaltbild, od. Fotoelement). Fotodioden werden in Sperrichtung betrieben, wie auch in unserem nachfolgenden Versuch (Schaltung 10.2, R_4 , Diode, R_3).



Fotodioden besitzen, wie andere Dioden, einen pn-Übergang. Dieser wird durch eine äußere Spannung (Sperrichtung) vorgespannt. Die Funktion beruht darauf, daß durch Addition der äußeren Spannung und der Diffusionsspannung bei einfallender optischer Strahlung die zusätzlich frei werdenden Elektronen und Defektelektronen in die jeweiligen p/n-Zonen getrieben werden. Der Sperrstrom steigt mit Lichteinfall. (Lichtwellenspektrum beachten!)

Fotodioden besitzen im allgemeinen eine geringere Fotoempfindlichkeit gegenüber Fotoelementen. Je nach verwendeten Typ und der jeweiligen Beschaltung sind mit Fotodioden Schaltfrequenzen bis 50 MHz möglich.

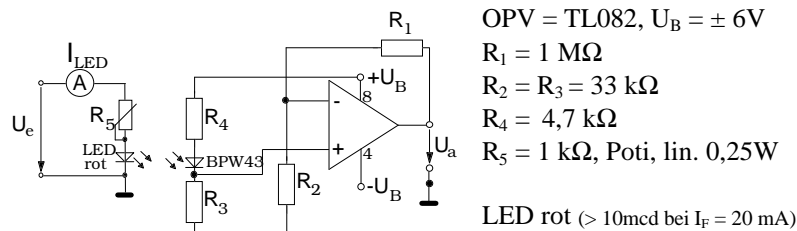
Die von uns verwendete Fotodiode: BPW 43

Empfindlichkeit: $15\mu\text{A/lx}$
max. Sperrspannung: 32V

Pinanschluß wie normale LED

Aufgabe: - Nehmen Sie die Übertragungskennlinie der Fotodiode in Abhängigkeit zum LED-Strom auf.
- Untersuchen Sie weiter, wie sich die Fotodiode verhält.

Schaltung:



Schaltung 10.2

- Die LED strahlt die Fotodiode direkt an! Nutzen Sie das gegebene Versuchsbrett.
- ACHTUNG:** Das Potentiometer R_5 muß zu Beginn auf maximalen Wert eingestellt werden!
- Stellen Sie über R_5 den Strom I_{LED} ein. (Bereich [1mA, 20mA])
Verwenden Sie dazu als Eingangsspannung $U_e = 5\text{V}$, DC (fest). Messen Sie U_a .
Zeichnen Sie die Übertragungskennlinie $U_a = f(U_e)$.
(Hierbei soll gelten: U_e proportional der Beleuchtungsstärke.)

Dynamisches Verhalten:

- Tauschen Sie das Potentiometer R_5 gegen einen Festwiderstand $R = 100\Omega$ aus.
Verwenden Sie nun als Eingangsspannung U_e eine Rechteckspannung des Frequenzgenerators (Offset = 3V, Amplitude = 1V).
- Stellen Sie mit CH1 die Eingangsspannung U_e , mit CH2 die Ausgangsspannung U_a dar.
- Variieren Sie die Frequenz f in Bereichen von 10 Hz bis 40 kHz.
Beschreiben Sie ihre Beobachtungen.
Drucken Sie zwei aussagekräftige Oszillogramme aus.

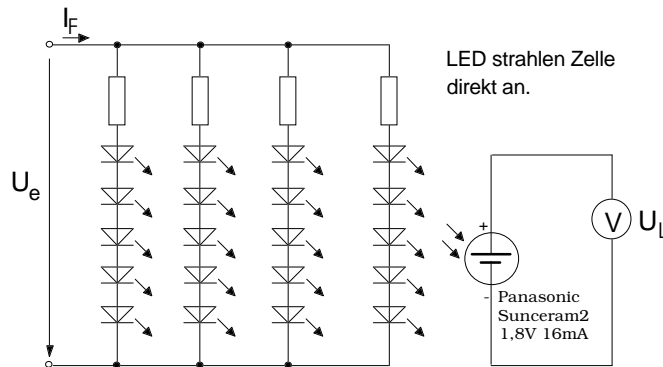
10.3 Fotoelement

Fotoelemente (Solarzellen) wandeln die absorbierte optische Strahlung in elektrische Energie um. Solarzellen sind großflächige Fotoelemente. Fotoelemente enthalten eine p-Zone und eine n-Zone mit (u.U.) einer dazwischen liegenden Grenzschicht. Wird das Bauelement beleuchtet, so werden zusätzliche Elektronen beweglich. Durch den Einfluß der Diffusionsspannung sammeln sich die Elektronen in der p-Zone und die Defektelektronen in der n-Zone. Es entsteht eine, von außen meßbare Potentialdifferenz, die Fotospannung genannt wird. Bei Solarzellen beträgt die abnehmbare Leistung ca. 10mW/cm^2 bestrahlter Fläche. Wirkungsgrade liegen derzeit zwischen 8 bis 18%.

Aufgabe: - Nehmen Sie die U/I-Kennlinie in Abhängigkeit zur Beleuchtungsstärke auf.
Nutzen Sie dazu das verfügbare Testboard.

Schaltung:

- Bei der folgenden Schaltung werden einige Annahmen getroffen.
1. Die Intensität des Umgebungslichtes bleibt konstant und ist nicht größer 100W/m^2 (Fläche Solarzelle).
 2. Die LEDs strahlen gleichmäßig die Solarzelle an.
 3. Die abgegebene Lichtleistung der LEDs ist proportional dem Strom I_F , keine interne Wärmeverlust.
 4. Auf der Oberfläche der Solarzelle wird kein Licht reflektiert, Licht trifft senkrecht auf.



Schaltung 10.3

- Messen Sie für jede Beleuchtungsstärke jeweils die Leerlaufspannung U_L sowie den Kurzschlußstrom I_K der Solarzelle. Stellen Sie dazu einen Diodenstrom I_F ein.
Hinweis: Da bei einer LED die Lichtabgabe proportional dem Strom I_F ist, stellen Sie nur einen jeweiligen Strom anstelle der Beleuchtungsstärke B ein. Exemplarisch eine Tabelle.

Beleuchtungsstärke	5mA	15mA	...	60mA	120mA
Strom I_F							
Leerlaufspannung U_L							
Kurzschlußstrom I_K							

- Stellen Sie die Ergebnisse der Messung in einem Diagramm gemeinsam dar.
Fragen Sie nach dem verwendeten LED-Typ, um die X-Achse in Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke gestalten zu können.

- CQX 25 N = 6,3mcd bei $I_F = 15\text{mA}$
- CQX 42 N = 15mcd bei $I_F = 15\text{mA}$
- L 52 SRD/A = 60mcd bei $I_F = 20\text{mA}$
- GL 5 R = 200mcd bei $I_F = 20\text{mA}$

- Wie können Sie einem Fotoelement die max. Leistung entnehmen?

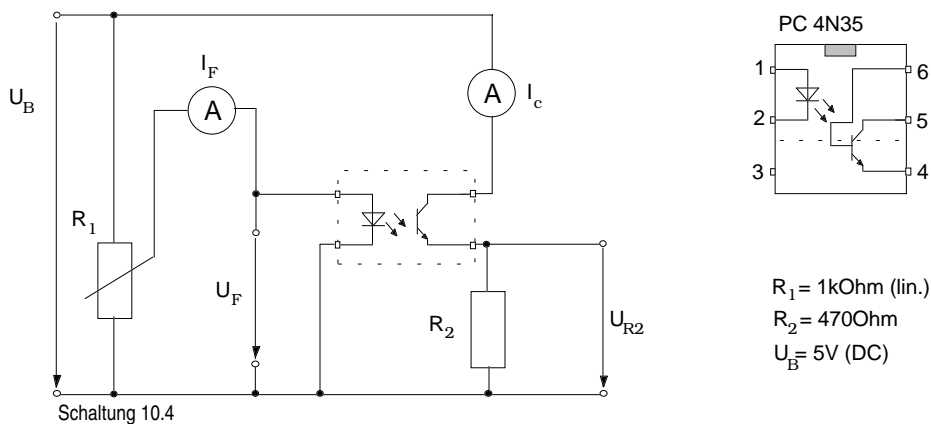
10.4 Optokoppler mit Fototransistor am Ausgang

Optoelektronische Koppler, kurz Optokoppler genannt, übertragen elektrische Signale durch Umwandlung der elektrischen Signale am Eingang in ein optisches Signal, das dann mit galvanischer Trennung in einem zweiten fotoelektrischen Bauelement wieder in ein elektrisches Signal umgeformt wird. Zwischen den beiden Bauelementen, die Isolationsstrecke, kann Luft, Glas, Kunststoff oder ein Lichtleiter eingebracht werden. Optokoppler sind üblich in den Bauformen als IS, Gabellichtschranke oder Reflexlichtschranke.

Galvanische Trennung von elektronischen Signalen ist sehr bedeutend. In der Elektrotechnik sind Schutzklassen definiert. Hierin sind unter anderem auch Richtlinien enthalten, wie hoch die zulässige Betriebsspannung von Geräten unter bestimmten Bedingungen sein darf (Spielzeug, Medizintechnik ...). Einige Aktoren bzw. Sensoren, benötigen aber nicht selten höhere Betriebsspannungen. Um nun eine sichere Trennung zu gewährleisten aber doch auch elektrische Signale, Steuerung, übertragen zu können, finden z.B. Optokoppler Einsatz.

Aufgabe: - Untersuchen Sie den Optokoppler PC4N35 bezüglich der Übertragungskennlinie $I_C = I_C(I_F)$.

Schaltung:

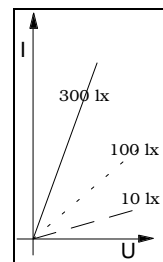


- Verwenden Sie zum Messen der Ströme I_F und I_C die digitalen Meßgeräte. Zum Messen der Spannungen U_F und U_{R2} verwenden Sie, wenn vorhanden, ebenfalls DMM oder den Oszillographen. Errechnen Sie die Spannung U_{CE} aus U_B und U_{R2} zu jedem Meßpunkt.
- Errechnen Sie das Stromübertragungsverhältnis CTR in Prozent (Durchschnitt aller Werte).
- Geben Sie die Kennlinien $I_F = f(U_F)$, $I_C = f(I_F)$, sowie $I_C = f(U_{CE})$ Kennzeichnen Sie den linearen Bereich.

Achtung: $I_F < 30\text{mA}$, $I_C < 30\text{mA}$ einhalten!

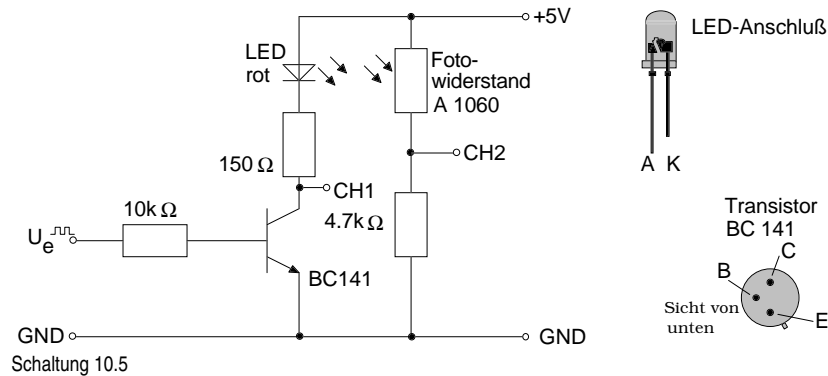
10.5 Fotowiderstand

Das optoelektronische Bauelement Fotowiderstand verhält sich bezüglich der I-U-Kennlinie bei konstanter Beleuchtungsstärke wie ein ohmscher Widerstand. Die Steilheit ist abhängig von der Beleuchtungsstärke. Fotowiderstände zeichnen sich durch die höchste Lichtempfindlichkeit unter den fotoelektrischen Halbleitern aus. Ihre Kennlinie verläuft fast linear zur Beleuchtungsstärke. Ihr Widerstand kann in Bereichen von $10^2 \Omega$ bis $10^8 \Omega$ variieren. Nachteilig ist jedoch die relative Trägheit der Widerstandsänderung bei Helligkeitsänderung. Die maximal zulässige Temperatur ist mit 70°C gering. Die Verlustleistung darf bei 40°C Umgebungstemperatur 50mW nicht überschreiten. Die maximale Betriebsspannung kann je nach Typ jedoch sogar 350V betragen. Der Stromfluß durch das Bauelement kann in beide Richtungen erfolgen.



Aufgabe: - Untersuchen Sie die Zeitverhalten der Widerstandsänderung an einem Fotowiderstand in Abhängigkeit zur Lichtänderung. Verwenden Sie als Quelle von $U_e = 5V$, Rechteck, $f \approx 5Hz$ den Frequenzgenerator.

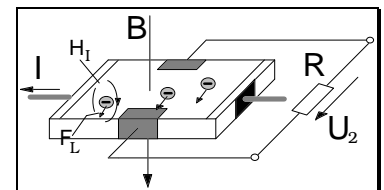
Schaltung:



- Bei dieser Schaltung achten Sie bitte darauf, daß die LED den Fotowiderstand direkt bestrahlt! (Es soll keine weiter, äußere, Lichtänderung aus der Umgebung wirken.)
- Oszillographieren Sie den Spannungsverlauf der Steuerspannung und des Fotowiderstandes.
- Drucken Sie ein entstandenes aussagekräftiges Oszillogamm mit der Software „Osz“ aus.
- Beschreiben und erklären Sie den Verlauf der beiden Spannungskurven.

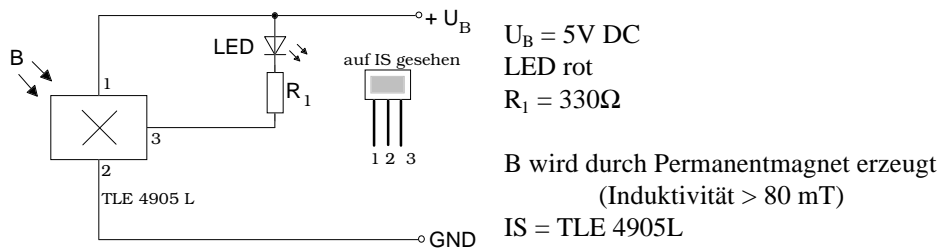
10.6 HALL-Sensor (Siemens TLE 4905L)

Der Hall-Effekt: Wird ein langgestrecktes, dünnes, Plättchen von einem Strom I in Längsrichtung durchflossen und wirkt senkrecht zur Fläche des Plättchens ein Magnetfeld B , welches dieses Plättchen durchsetzt, so kann zwischen den Anschlüssen an den seitlichen Fläche eine Hall-Spannung U_2 (je nach Material zwischen 85mV bis 1V bei $B = 1T$) gemessen werden. (In der nebenstehenden Skizze eingetragen sind: Feldstärke H_1 als Folge des Stromfluß I , die resultierende Kraft F_L , also die Bewegung des Ladungsträgers infolge des Magnetfeld B)



Aufgabe: - Untersuchen Sie den Schaltkreis TLE 4905L im statischen Verhalten.

Schaltung:



Schaltung 10.6

- Untersuchen Sie den gegebenen IC bezüglich der Empfindlichkeit gegen ein Magnetfeld. Unter welchen Bedingungen leuchtet die LED? Gibt es Zustände, mit verschiedener Helligkeiten für die LED? Ist eine Hysterese bemerkbar? In welcher Richtung ist der IC bezüglich des Magnetfeldes empfindlich, erkennt er beide Polungen (Nord / Süd) ?
- Geben Sie eine Konstruktionsskizze an. Es sollen mittels des IC Drehimpulse einer Scheibe (Scheibe als Zahnrad, Material Eisen) erkannt werden. Auf der Scheibe dürfen keine Magnete angebracht werden (Unwucht).

Literaturhinweise

1. Dietmar Benda, Franzis' : Wie mißt man mit dem Oszilloskop?
2. Franz Peter Zantis, elektor : Kursus Meßtechnik in Analog- und Digitalschaltungen
3. Friedrich, DÜMMLERbuch, Tabellenbuch Elektrotechnik Elektronik
4. Tietz, Schenk, Springer-Verlag : Halbleiterschaltungstechnik
5. Rumpf, Verlag Technik, Bauelemente der Elektronik
6. Rentsch, Franzis', Begriffe der Elektronik
7. Möschwitzer, Lunze, Verlag Technik: Halbleiterelektronik
8. Funke, Liebscher, Verlag Technik: Grundsaltungen der Elektronik