



Anleitung zum Praktikum

Technische Grundlagen der Informatik

für Informatiker

Teil 1: Elektrotechnik

Prof. Dr.-Ing. Holger Stahl

Inhalt:

Einleitung.....	ii
Bedienungsanleitungen der Geräte.....	iii
Versuch 1: Messungen in Gleichstromkreisen	1-1
Versuch 2: Halbleiter – Diode & Transistor.....	2-1

Quellen (zur Vorbereitung der Versuche):

- [Böge] W. Böge, W. Pläßmann: *Handbuch Elektrotechnik – Grundlagen und Anwendungen für Elektrotechniker*. Vieweg, Wiesbaden 2013
⇒ **eBook!** Sehr anschaulich und sehr umfangreich. Für das Praktikum sind nur die Teile *Grundlagen der Elektrotechnik*, *Messtechnik* und *Elektronik* interessant.
- [BumilFE] H. Bumiller et. al.: *Fachkunde Elektrotechnik*. Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten, 2016
⇒ Anschauliche Darstellung aller Themengebiete der „Grundlagen Elektrotechnik“, wird auch für die Vorlesung empfohlen. **Empfehlung!**
- [Schneider] H. Schneider-Obermann: *Basiswissen der Elektro-, Digital- und Informationstechnik*. Vieweg, Wiesbaden, 2006
⇒ **eBook!** Für das Praktikum ist im Wesentlichen nur das Kapitel *1 Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik* relevant! **Empfehlung, da kompakt und übersichtlich!**
- [Tietze] U. Tietze, Ch. Schenk: *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer, Berlin, 2002 ⇒ Halbleiter!

Einleitung

Ablauf des Praktikums

Der Praktikumsbetrieb soll allen Beteiligten (auch den Betreuern :-) Spaß machen, damit Ihre und unsere Zeit sinnvoll investiert ist. Die Praktikumszeit ist so bemessen, dass Sie alle Experimente eines Praktikumstermines schaffen, ohne sich abzuheizen – vorausgesetzt, dass Sie schon vorher wissen, wie der entsprechende Praktikumsversuch durchzuführen ist. Dafür ist eine gründliche Vorbereitung des jeweiligen Versuchs nötig: Bitte drucken Sie sich diese Praktikumsanleitung aus und arbeiten Sie den Teil „Grundlagen“ (Unterkapitel * .2 des jeweiligen Versuchs) durch. Jetzt sollten sie in der Lage sein, die Fragen im Teil „Vorbereitungsfragen“ (Unterkapitel * .3 des Versuchs) zu bearbeiten. Je nach Vorkenntnissen sollten Sie dafür typischerweise 1½ -3 Stunden benötigen.

Vor jedem Versuch wird es einen kurzen Test geben, um die Vorbereitung abzuprüfen! Hier können Sie Punkte sammeln, die als zusätzlicher Überhang für die Prüfung gewertet werden.

Regeln:

- Für die Versuche stehen Ihnen funktionstüchtige Geräte zur Verfügung. Falls nicht alles Zubehör am Platz liegt, lassen sie es sich von der Aufsicht führenden Person herausgeben und nehmen Sie es bitte nicht vom Nachbartisch. Verlassen Sie den Arbeitsplatz in einem aufgeräumten Zustand.
- Geben Sie der Aufsicht umgehend bekannt, falls ein Gerät oder ein Zubehörteil defekt ist und stellen Sie es am Ende des Praktikums nicht einfach zurück. Sie helfen damit Ihren nachfolgenden Kollegen. Gehen Sie bitte sorgsam mit den Geräten um. Falls Sie durch grobe Fahrlässigkeit Bauteile oder Geräte zerstören, wird Sie die Hochschule zum Ersatz heranziehen.
- Zum Kennenlernen der Geräte finden Sie ab Seite iii Bedienungsanleitungen und Datenblätter.

Falls Ihnen am Praktikum etwas nicht gefällt, sagen Sie dies bitte Ihrem Betreuer. Für Verbesserungsvorschläge sind wir immer offen und dankbar!

Sicherheitshinweis:

Im Praktikum wird ausschließlich mit sog. *Schutzkleinspannung* gearbeitet, so dass auch bei direkter Berührung leitender Teile des Versuchs keine Stromschlaggefahr besteht. Bei Missachtung der Praktikumsanleitung ist eine Gefährdung der Versuchsteilnehmer jedoch nicht ganz auszuschließen!

Im Notfall (d.h. falls Gefahr durch Strom, Hitze oder mechanische Energie im Verzuge ist) **drücken Sie einen der roten *Not-Aus-Taster*!** Diese Taster sind an zahlreichen Stellen des Labors angebracht, u.a. auch an jedem Labortisch.

Bedienungsanleitungen der Geräte

Hier finden Sie kurze Auszüge aus den Bedienungsanleitungen der verwendeten Geräte. Sie sind zum Nachschlagen während der Versuchsdurchführung gedacht, können aber natürlich auch genutzt werden, um schon bei der Vorbereitung einen groben Überblick über die Gerätebedienung zu geben:

Dreifach-Stromversorgung HAMEG HM 8040-2



(1) Ziffernanzeige (7-Segment LEDs)
Doppelanzeige mit 2mal 3stelliger Anzeige von Ausgangsspannung bzw. Ausgangsstrom. Angezeigt werden auf der linken Seite des Displays Spannungs- und Stromwerte der sich links unten am Gerät befindlichen Anschlußbuchsen. Entsprechendes gilt für die Ziffernanzeige rechts im Display und die zugehörigen Anschlußbuchsen.
Spannungswerte werden mit 0,1V Auflösung angezeigt. Ströme sind nach Umschaltung der Anzeige mit den Tasten **(2)** bzw. **(14)** direkt in mA ablesbar.

(2) V/mA
Taste zur Umschaltung der Anzeige (linke Seite **(2)** / rechte Seite **(14)**) zwischen Spannung und Strom. Bei gedrückter Taste wird der Ausgangsstrom der linken Spannungsquelle mit einer Auflösung von 1mA angezeigt. Bei nicht gedrückter Taste wird die an den Anschlußbuchsen anliegende Spannung mit 0,1V Auflösung angezeigt.

(3)/(12) COARSE
Einstellpoti für die Grobeinstellung der Versorgungsspannung an den linken **(3)** bzw. rechten **(12)** Ausgangsbuchsen. Einstellbereich 0-20V.

(4)/(10) Ausgang 0-20V
Schraubklemmverbinder für 4mm-Bananenstecker oder Kabelanschluß für Versorgungsspannung links **(4)** bzw. rechts **(10)**. Die Ausgangsspannung ist dauerkurzschlußfest.

(5)/(11) I max.
Trimmerpoti für die Einstellung der Strombegrenzung der linken **(5)** bzw. rechten

(11) Spannungsquelle. Die Einstellung erfolgt mittels Schraubendreher. Einstellbereich 10mA-500mA.

(6)/(9) FINE
Einstellpoti für die Feineinstellung der Versorgungsspannung an den linken **(6)** bzw. rechten **(9)** Ausgangsbuchsen. Einstellumfang ca. 1,4V.

(7) Ausgang 5V
Schraubklemmverbinder für 4mm-Bananenstecker oder Kabelanschluß für +5V Versorgungsspannung. Die Ausgangsspannung ist kurzschlußfest. Die Absicherung erfolgt über eine im HM8040-2 eingebaute elektronische Sicherung.
Die Spannung ist mittels Trimpoti (in der Mitte oberhalb der 5V-Ausgangsklemmen) zwischen 4,5V und 5,5V einstellbar.

(8) OUTPUT ON
Drucktaste zur Abschaltung aller 3 Ausgangsspannungen des HM8040-2. Die Anzeige der eingestellten Spannungswerte bleibt erhalten.

(13) Überlastanzeige
2 LED-Anzeigen zur Warnung bei Überlast. Für jede der einstellbaren Ausgangsspannungen (0-20V) ist eine LED im Display zur Anzeige von Überlastbedingungen vorhanden. Wird der eingestellte oder max. zulässige Strom überschritten, zeigt die zur jeweiligen Ausgangsspannung gehörende LED den Überlastzustand an.

(14) V/mA
Taste zur Umschaltung der Anzeige (rechte Seite). Sonst wie **(2)**.

(15) LED (output on)
Die Led leuchtet bei eingeschalteten Ausgängen.

Digitalmultimeter HAMEG HM 8012

(1) Ziffernanzeige (7-Segment LEDs +LED)

Die digitale Messwertanzeige gibt den Messwert mit einer Auflösung von 4 3/4 Stellen wieder, wobei die Ziffer mit der höchsten Wertigkeit bis „5“ ausgenutzt wird. Der Messwert wird komma-richtig und vorzeichenrichtig angezeigt. Bei der Messung von Gleichgrößen erscheint ein Minuszeichen vor den Ziffern, wenn der positive Pol der Messgröße mit dem COMMON-Eingang (7) verbunden ist. Weiterhin erscheinen verschiedene Warnhinweise.

(2) (LED)

Diese Anzeige ist nur im Ohm-Messbereich wirksam und entspricht dem akustischen Signalgeber. Der Summer ertönt, wenn der Ohmwert kleiner als 0.1% vom Bereichsendwert ist, oder dem Wert 50 entspricht.

(3) BEEP (Drucktaste)

Taste zur An- und Abschaltung des akustischen Signalgebers im Ohm-Messbereich.

(4) A (10A) (Berührungssichere Buchse für Stecker mit 4mm Durchmesser)

Anschluss (High potential) für Gleich- und Wechselstrommessungen im 10A-Bereich in Verbindung mit dem COMMON-Eingang (7) (Low Potential).

Der Eingang ist nicht durch Schmelzsicherungen geschützt. Bei Strömen, größer als 10A (max. 20A), dürfen diese nur für maximal 30 sec. anliegen, ohne die interne Messeinrichtung zu zerstören.

(5) mA/μA (Berührungssichere Buchse für Stecker mit 4mm Durchmesser)

Anschluss (High potential) für Gleich- und Wechselstrommessungen im 500mA-Bereich in Verbindung mit dem COMMON-Eingang (7) (Low Potential). **Der Eingang ist durch Schmelzsicherungen geschützt.** In allen anderen Funktionsbereichen ist dieser Eingang offen (außer μA/mA).

(6) HOLD (LED)

Anzeige, dass der angezeigte Messwert gespeichert ("eingefroren") ist. Mit der Taste HOLD/OFFSET (11) kann die Funktion an- und abgeschaltet werden.

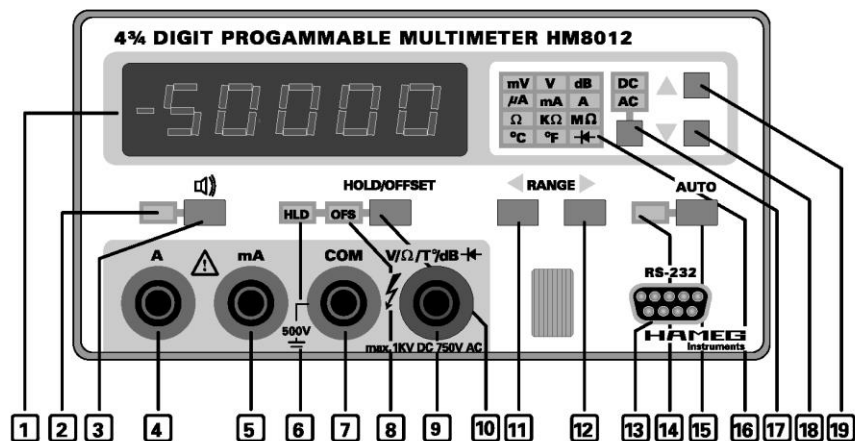
(7) COM (Berührungssichere Buchse für Stecker mit 4mm Durchmesser)

Die Buchse COMMON(Low Potential) ist der gemeinsame Anschluss für alle Messfunktionen, an dem das erdnahe Potential der Messgröße angelegt wird. Dieser Eingang ist mit der Abschirmung im Gerät verbunden.

Achtung! Die Spannung an dieser Buchse gegenüber dem Gehäuse (Schutzleiter, Erde) darf aus Sicherheitsgründen 500V nicht überschreiten.

(8) OFFSET (LED)

Die Anzeige leuchtet bei relativen Messungen. Dabei entspricht der angezeigte Wert dem Eingangswert minus dem Hold-Wert, der mit der HOLD/OFFSET Taste (11) übernommen wurde. Durch zweimaliges Drücken der Taste (11) wird diese Funktion aktiviert.



(9) V/W/T/°dB/ (Berührungssichere Buchse für Stecker mit 4mm Durchmesser)

Anschluss (High potential) für Spannungs-, Widerstands-, Temperatur-, Dezibel- und Diodenübergangsmessungen in Verbindung mit dem COMMON-Eingang (7) (Low Potential).

Achtung! Die Spannung an dieser Buchse gegenüber dem Gehäuse (Schutzleiter, Erde) darf aus Sicherheitsgründen 1000V Spitze nicht überschreiten.

(10) HOLD/OFFSET (Drucktaste)

Drucktaste mit Doppelfunktion für die HOLD oder OFFSET Betriebsart. Beim erstmaligen Drücken von (11) wird der angezeigte Messwert "eingefroren". Die HOLD-LED (6) leuchtet. Die Tasten AUTO, AC-DC, BEEP, ◀ und ▶ sind inaktiv. Beim zweiten Drücken von (11) wird in den OFFSET Modus geschaltet. Der Wert, der im HOLD Modus gespeichert wurde, wird nun von jedem Messergebnis subtrahiert. Die OFFSET-LED (8) leuchtet, die HOLD-LED (6) erlischt. Beim dritten Drücken wird der relative Wert "eingefroren". Die HOLD-LED (6) und OFFSET-LED (8) leuchten. Beim vierten Drücken wird der HOLD und OFFSET Modus abgeschaltet.

Hinweis: Ist der HOLD/OFFSET Modus aktiviert, wird bei Betätigung der ▲ oder ▼ Tasten in den normalen Betriebszustand geschaltet, wobei die eingestellten Werte der HOLD und OFFSET Funktion beibehalten werden.

(11) ◀ (Drucktaste)

Bereichswahltaste zur Umschaltung in den nächst niedrigeren Bereich. Bei jedem Drücken wird der neue Bereich kurzzeitig mit den Kennziffern L1 (kleinster Bereich), L2 (nächst größerer Bereich etc.) angezeigt.

(12) ▶ (Drucktaste)

Bereichswahltaste zur Umschaltung in den nächst höheren Bereich. Bei jedem Drücken wird der neue Bereich kurzzeitig mit den Kennziffern L1 (kleinster Bereich), L2 (nächst größerer Bereich etc.) angezeigt.

(13) RS232 (DB9)

Verbindungsstecker (Buchse) zum Anschluss an einen seriellen PC-Port.

(14) AUTO (LED)

Leuchtet diese LED, ist das Multimeter in der automatischen Bereichswahl. Dadurch sind die Bereichswahltasten (12+13) unwirksam. Werden sie betätigt, ertönt ein Summsignal.

(15) AUTO (Drucktaste)

Funktionstaste zur Auswahl der automatischen oder manuellen Bereichswahl. Der AUTO Modus ist die Standardbetriebsart, wenn von einer Messfunktion zur anderen geschaltet wird (V, mA, Ω, dB). In der manuellen Betriebsart wird mit den Bereichswahltasten (12) und (13) der gewünschte Messbereich ausgewählt.

(16) Maßeinheit- und Messfunktions-Anzeigen (LED)

Dieser Frontplattenbereich zeigt die Maßeinheiten und die Messfunktionen an, die mit den Tasten ▲ (20) oder ▼ (19) gewählt werden.

(17) AC-DC (Drucktaste)

Funktionstaste für den Wechsel zwischen DC, TRMS AC oder TRMS AC + DC-Messungen. Die entsprechenden LED-Anzeigen leuchten bei den folgenden Betriebsarten:
DC-LED: Gleichspannungs-/Strommessung (DC)
AC-LED: Echt-Effektivwert Wechselspannungs-/Strommessung (AC)
DC-LED und AC-LED: AC+DC Spannungs-/Strommessung (gleichspannungsüberlagerte Wechselspannungsmessung).

(18) ▼ (Drucktaste)

Drucktaste zur Auswahl der nächsten Funktion.

(19) ▲ (Drucktaste)

Drucktaste zur Auswahl der vorherigen Funktion. Beim Einschalten des Messgerätes wird automatisch in die Gleichspannungs-Messfunktion mit automatischer Bereichswahl (AUTO) geschaltet.

Versuch 1: Messungen in Gleichstromkreisen

Ziel dieses Versuchs ist es, Sie mit den Messgeräten vertraut zu machen, die in einfachen Gleichstromkreisen verwendet werden. Wir werden Spannungs-, Strom-, Widerstands- und Leistungsmessungen mit analogen und digitalen Messgeräten durchführen.

1.1 Geräte und Material

- HAMEG-Messplatz (Stromversorgung, Digitalmultimeter)
- Steckbrett mit Bauteilen

Mitzubringen:

- Taschenrechner

1.2 Grundlagen

Literatur: [Böge] → Teil *Grundlagen der Elektrotechnik*, [BumilFE], [Schneider]

Für die Messung von Strom, Spannung und Widerstandsgrößen stehen zwei Digitalmultimeter zur Verfügung (Beschreibung ab Seite iii).

Generelles zu Spannungs- und Strommessungen

Eine elektrische Spannung ist die Differenz zweier Potentiale. Zum Messen einer Spannung müssen die beiden Anschlüsse des Messgerätes daher auf die zwei Potentiale gelegt werden, deren Differenz gemessen werden soll, s. Bild 1-1 links. Das Spannungsmessgerät ist somit parallel zu schalten.

Um in einem Leiter die Stromstärke zu messen, muss die betreffende Leitung unterbrochen und das Messgerät eingeschleift werden, s. Bild 1-1 rechts. Das Strommessgerät wird also in Reihe geschaltet:

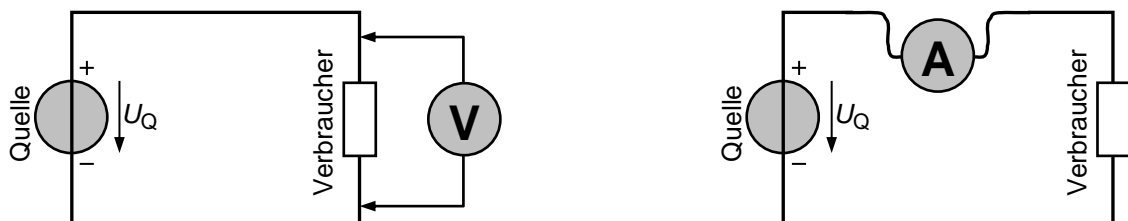


Bild 1-1: Spannungsmessungen erfolgen *parallel*, Strommessungen *in Reihe* mit der Last bzw. der Quelle

Siehe hierzu auch [Schneider] → Abschnitt *Messung von Strom und Spannung*.

Der negative Anschluss der Messgeräte ist grundsätzlich die mit ‚COM‘ beschriftete Buchse. Beim positiven Anschluss wird unterschieden:

- **Spannungen:** Buchse ‚ $V/\Omega/\Gamma/dB \leftarrow$ ‘.
- **Ströme bis 500 mA** (in allen Experimenten zu verwenden, welche mit der HAMEG-Dreifachstromversorgung arbeiten): Buchse ‚mA‘.
- **Ströme bis 10 A** (in allen Experimenten zu verwenden, welche mit der regelbaren Wechselspannungsquelle arbeiten: Buchse ‚A‘.

Eine versehentliche Verpolung der Messgeräte schadet ihnen nicht, sondern wird bei dem Digitalmultimeter durch ein ‚-‘-Zeichen vor dem Messwert angezeigt.

Achten Sie beim Messen von Strömen darauf, dass Sie immer in Reihe messen, d.h. das Gerät muss in den Stromkreis geschaltet werden.

Eine parallele Messung würde einen Kurzschluss bedeuten!



Für die Versuchsdurchführung benötigtes Diagramm (aus Platzgründen hier abgedruckt):



Bild 1-2: U-I-Diagramm

1.3 Vorbereitungsfragen (vor Versuchsbeginn zu beantworten)

- a) Folgendes Schaltbild zeigt einen Stromkreis mit einer Quelle und zwei Lampen:

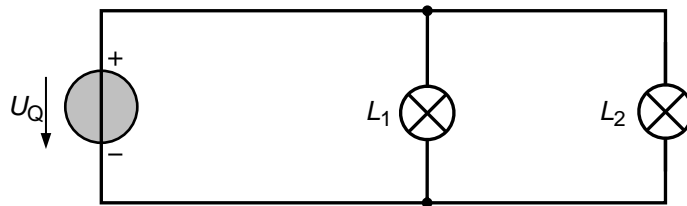


Bild 1-3: Einfacher Stromkreis

- ⇒ Zeichnen Sie die Position von Messgeräten für die Erfassung folgender Größen in das Bild:
- (1) Die Spannung an den beiden Lämpchen L_1 und L_2 .
 - (2) Der Strom I_1 durch die Lampe L_1 .
 - (3) Der Gesamtstrom I , den die Quelle abgibt.

- b) Im Folgenden wird angenommen, dass die Lämpchen im Bild 1-3 die Aufschrift, 20 V / 1 W' tragen und mit Nennleistung betrieben werden.

- ⇒ Wie groß sind die Spannungen U_1 , und U_2 an den beiden Lampen?

$U_1 =$	$U_2 =$
---------	---------

- ⇒ Wie groß ist der Strom I_1 , der durch die Lampe L_1 fließt?

$I_1 =$

- ⇒ Wie groß ist der Gesamtstrom I , den die Quelle abgibt?

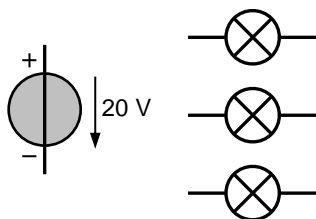
$I =$

- ⇒ Wie groß ist die Leistung P , die die Quelle abgibt?

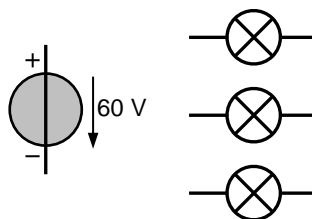
$P =$

- c) Nachfolgendes Bild zeigt jeweils drei Lampen 20 V / 1 W mit verschiedenen Spannungsquellen:

(α) Eine Quelle mit $U_0 = 20\text{ V}$



(β) Eine Quelle mit $U_0 = 60\text{ V}$



(γ) Zwei Quellen mit 6 V und 14 V

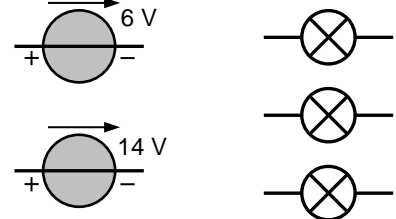


Bild 1-4: Mögliche Verschaltung von drei Lampen, um diese an verschiedenen Spannungen zu betreiben

Ergänzen Sie die Schaltbilder für alle drei Fälle (α), (β) und (γ). Für jeden der drei Fälle sollen alle drei Lampen mit Nennleistung betrieben werden.

1.4 Durchführung

Experiment 1-1: Stromkreis mit Widerstand (30 min)

Wir messen die Spannung und den Strom in einem Stromkreis mit einem Widerstand als Verbraucher mit je einem Digitalmultimeter. Verwenden Sie für den Aufbau das Steckbrett:

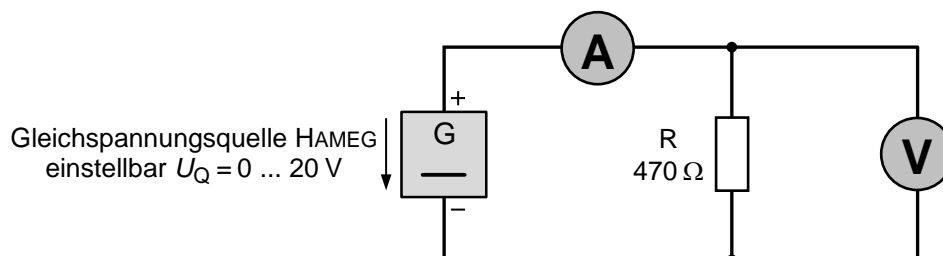


Bild 1-5: Aufzubauender Stromkreis mit Widerstand und zwei Multimetern

- a) Die Spannungsquelle lässt sich maximal auf $U_Q = 20 \text{ V}$ einstellen.

⇒ Berechnen Sie für diesen Fall die maximal auftretende Verlustleistung in dem Widerstand:

$P_{\max} =$

⇒ Ist diese für den verwendeten Widerstand noch zulässig (s. Beschriftung des Widerstandes)?

- b) Messen Sie nun bei 5 verschiedenen Spannungen U_Q aus dem Intervall $0 \dots 20 \text{ V}$ jeweils den Strom durch den Widerstand und tragen Sie diesen in die Tabelle ein:

U_Q	0 V				20 V
I					

⇒ Zeichnen Sie die U - I -Kennlinie des Widerstandes in das Diagramm auf Seite 1-2.

⇒ Welcher exakte Widerstand ergibt sich für den Verbraucher aus den Tabellenwerten?

$R =$

⇒ Messen Sie den Widerstand jetzt direkt mit dem Digitalmultimeter.

$R =$

Hinweis: Bauen Sie die Schaltung jetzt nicht ab, denn im nachfolgenden Experiment 1-2 wird der Widerstand einfach durch eine Lampe ersetzt!

Experiment 1-2: Stromkreis mit Lämpchen (30 min)

- a) Im Gegensatz zu dem Stromkreis aus Bild 1-5 verwenden wir in diesem Experiment eine Lampe als Verbraucher. Zunächst untersuchen wir nur das Lämpchen (20 V / 1 W):

⇒ Messen Sie den Widerstand der Lampe mit dem Digitalmultimeter.

$R_{L0} =$

⇒ Die Lampe verträgt eine maximale Spannung von 20 V. Welche Leistung P würde die Lampe theoretisch bei dieser Spannung und dem oben gemessenen Lampenwiderstand aufnehmen?

$P_{\text{schätz}} =$

- b) Jetzt bauen wir das Lämpchen in einen Stromkreis, und messen wieder Strom und Spannung:

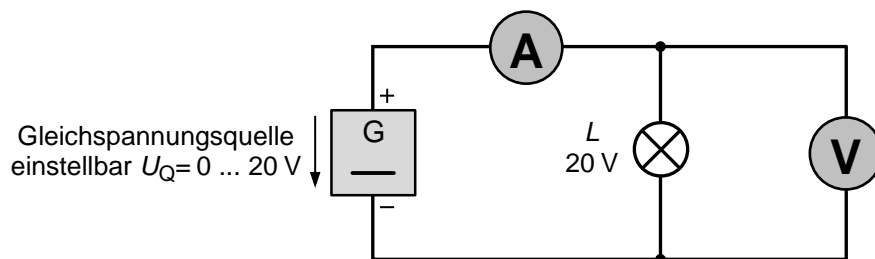


Bild 1-6: Aufzubauender Stromkreis mit Lampe und zwei Multimetern

⇒ Messen Sie den Lampenstrom bei 5 verschiedenen Spannungen aus dem Intervall 0...20 V:

U	0 V				20 V
I					

⇒ Zeichnen Sie die U - I -Kennlinie der Lampe in das Bild 1-2 ein (bitte neue Farbe verwenden).

⇒ Berechnen Sie aus diesen Werten den Lampenwiderstand sowie die Leistung bei 20 V:

$R_{L20} =$

$P_{L20} =$

⇒ Erklären Sie den Unterschied zu den unter a) berechneten Werten R_{L0} und $P_{\text{schätz}}$.

Experiment 1-3: Reihen-, und Parallelschaltung (Strom- und Spannungsteilung) (20 min)

- a) Bauen Sie eine Parallelschaltung von drei Lampen 20 V / 1 W an 20 V auf:

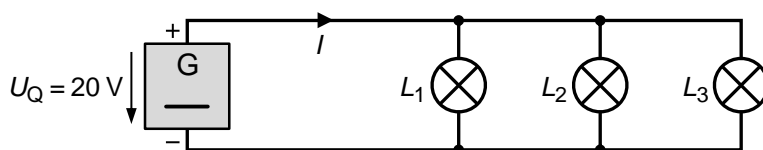


Bild 1-7: Aufzubauende Parallelschaltung dreier Lampen L_1 , L_2 , L_3

- ⇒ Schätzen Sie den erwarteten Strom I aus dem U - I -Diagramm der Lämpchen auf Seite 1-2 ab.

$I_{\text{schätz}} =$

- ⇒ Messen Sie den Gesamtstrom I .

$I_{\text{mess}} =$

- b) Bauen Sie eine Reihenschaltung von drei Lampen 20 V / 1 W an 20 V auf:

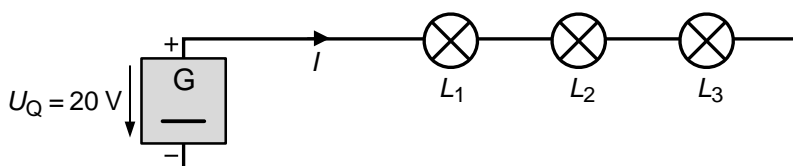


Bild 1-8: Aufzubauende Reihenschaltung dreier Lampen L_1 , L_2 , L_3

- ⇒ Welche Spannung U_L an den einzelnen Lampen erwarten Sie (Begründung!)?

$U_L =$

- ⇒ Messen Sie die drei Lampenspannungen U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} und vergleichen Sie diese mit Ihren Erwartungen:

$U_{L1} =$

$U_{L2} =$

$U_{L3} =$

- ⇒ Schätzen Sie den erwarteten Strom I aus dem U - I -Diagramm der Lämpchen auf Seite 1-2 ab.

$I_{\text{schätz}} =$

- ⇒ Messen Sie den tatsächlichen Strom I_{mess} und vergleichen Sie ihn mit Ihrem Schätzwert – die beiden Ströme sollten in etwa identisch sein!

$I_{\text{mess}} =$

Versuch 2: Halbleiter – *Diode & Transistor*

In diesem Versuch werden wir zwei Widerstände besonderer Art kennen lernen, die sich überhaupt nicht nach dem OHM'schen Gesetz verhalten: Die Gleichrichterdiode und den Bipolartransistor:

- Eine **Gleichrichterdiode** wird zur Gleichrichtung von Wechselspannungen eingesetzt, beispielsweise in Netzteilen für Computer und Handys, oder zur Demodulation von Radiosignalen.
- Mit dem sog. **Bipolartransistor** begann 1948 der stürmische Aufschwung der modernen Elektronik, in deren Verlauf der Transistor schnell die *Vakuumröhre* als verstärkendes und auf vielen Anwendungsgebieten das *Relais* als schaltendes Bauteil verdrängte.

2.1 Geräte und Material

- HAMEG-Messplatz (Stromversorgung, Digitalmultimeter, Oszilloskop)
- Steckbrett mit Bauteilen
- BONTEMPI-Fun-Keyboard
- Netztransformator mit 6 V~ Ausgangsspannung

Mitzubringen:

- Taschenrechner

2.2 Grundlagen

Literatur: [Böge]→Teil *Elektronik*, [BumilFE], [Schneider]→*Elektronische Bauelemente*

a) Die Diode

Die Diode ist ein Halbleiterbauelement mit zwei Anschlüssen, die mit *Anode* (A, *Anode*) und *Kathode* (K, *Cathode*) bezeichnet werden:

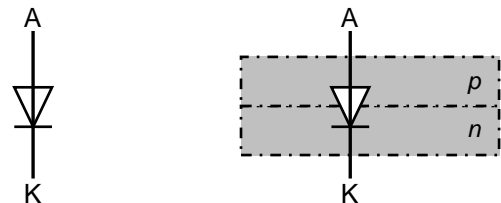


Bild 2-1: Schaltzeichen (links) und physikalischer Aufbau (rechts) einer Diode

Aufbau einer Diode:

Dioden bestehen aus einem *pn*-Übergang zwischen *positiv* und *negativ* dotierten Halbleiterschichten. Bild 2-1 zeigt das Schaltzeichen und den Aufbau einer Diode. Die *p*- und die *n*-Zone besteht im Allgemeinen aus Silizium, vereinzelt findet man noch Typen aus Germanium.

Betriebsbereiche einer Diode:

Eine Diode kann in *drei* verschiedenen Bereichen betrieben werden; diese werden hier genauer betrachtet. Qualitativ lässt sich das Verhalten der Diode als Rückschlagventil auffassen, s. Bild 2-2:

- (1) **Im Durchlassbereich** (Wasser kommt von hinten) öffnet die Klappe ab einem bestimmten Druck:
⇒ Der Strom kann fließen!
- (2) **Im Sperrbereich** (Wasser kommt von vorne) schließt die Klappe:
⇒ der Widerstand der Diode ist extrem hoch und es fließt nur ein ganz geringer Leckstrom.
- (3) **Im Durchbruchbereich** (sehr hoher Wasserdruck von vorne) fließt trotz geschlossener Klappe Wasser über die Klappe.
⇒ ‚Land-Unter‘ – trotz Sperrrichtung fließt jetzt ein Strom!

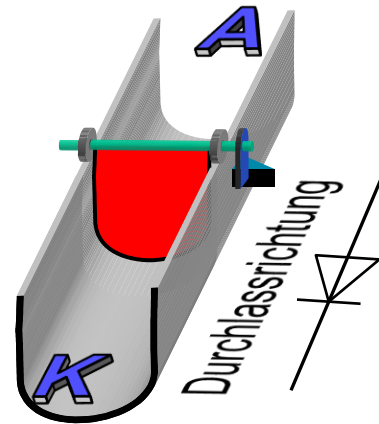


Bild 2-2: Diode als Rückschlagventil

Kennlinie einer Diode:

Die rechts dargestellte sog. *Spannungs-Strom-Kennlinie* beschreibt das statische Verhalten einer Diode. Beachten Sie hier die unterschiedlichen Maßstäbe der Abszisse; der Bereich positiver Spannungen U_D wurde um den Faktor 100 heraus gezoomt:

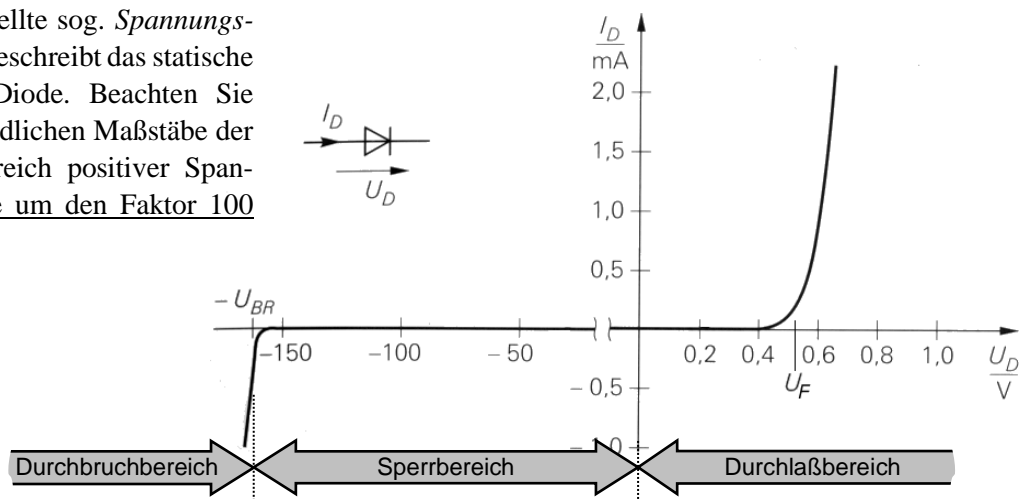


Bild 2-3: Typische U - I -Kennlinie einer Siliziumdiode [Tietze]

Typische Kennwerte der Diode sind

- Die *Flussspannung* U_F (auch *Schwell-* oder *Schleusenspannung* genannt) kennzeichnet den charakteristischen Knick im Durchlassbereich der Kennlinie, d.h. im Prinzip die Spannung, ab der die Diode leitfähig wird. Für die hier betrachteten Siliziumdioden beträgt die Flussspannung $U_F \approx 0,55 \dots 0,75 \text{ V}$; bei Germaniumdioden ist sie deutlich niedriger: $U_F \approx 0,3 \dots 0,4 \text{ V}$.
- Die *Durchbruchspannung* U_{BR} ist die negative Spannung, bei der die Diode von dem Sperr- in den Durchbruchbereich übergeht. Der Betrieb im Durchbruchbereich ist zu vermeiden, denn aufgrund der hohen umgesetzten Leistung führt er meist zur Zerstörung des Bauelementes.

b) Der Transistor

Aufbau eines Bipolartransistors:

Der Bipolartransistor hat drei Anschlüsse, die mit *Basis* (*B*, *Base*), *Emitter* (*E*, *Emitter*) und *Kollektor* (*C*, *Collector*) bezeichnet werden. Je nach Polarität unterscheidet man *npn*-Typen und *pnp*-Typen. Bipolartransistoren bestehen aus zwei antiseriell geschalteten Dioden, die in der Mitte eine gemeinsame *p*- oder

n -Zone besitzen. Bild 2-4 zeigt die Schaltzeichen und die *Dioden-Ersatzschaltbilder* eines *nnp*-Transistors mit gemeinsamer p -Zone (a) und eines *pnp*-Transistors mit gemeinsamer n -Zone (b):

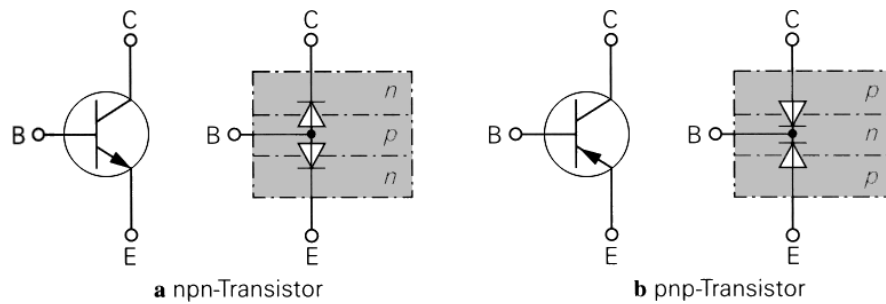


Bild 2-4: Schaltzeichen und Diodenersatzschaltbilder des Bipolartransistors in *nnp*- und *pnp*-Ausführung [Tietze]

Funktion eines Transistors im Normalbetrieb:

Der übliche Betrieb eines Transistors ist der sog. *Normalbetrieb*, bei dem die BE-Diode in Flussrichtung und die BC-Diode in Sperrrichtung betrieben wird. Wir betrachten hier im Folgenden nur den *nnp*-Transistor; beim *pnp*-Transistor haben alle Ströme und Spannungen umgekehrtes Vorzeichen:

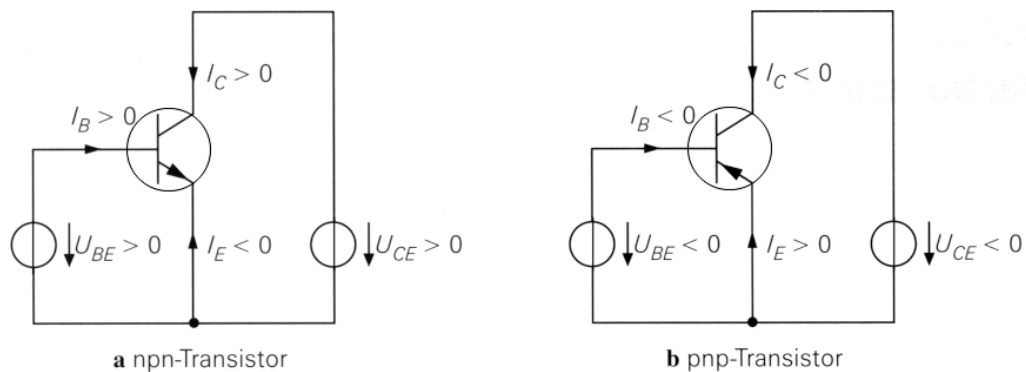


Bild 2-5: Spannungen und Ströme bei Bipolartransistoren im *Normalbetrieb* [Tietze]

Nachfolgendes Anschauungsmodell verdeutlicht die Funktion eines *nnp*-Transistors im Normalbetrieb:

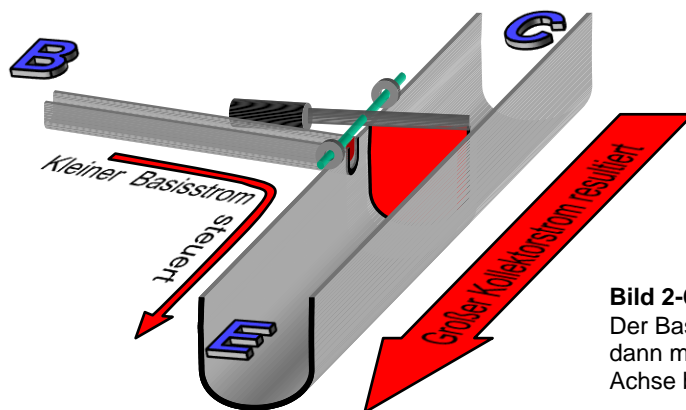


Bild 2-6: ‚Wassermodell‘ eines *nnp*-Transistors: Der Basisstrom drückt gegen die kleine Klappe, welche dann mit Hilfe des Gegengewichtes die auf der gleichen Achse befestigte große Klappe öffnet.

Im Ruhezustand hat die CE(Kollektor-Emitter)-Strecke einen sehr hohen Widerstand – sie sperrt die anliegende Spannung, so dass kein Strom fließt. Fließt zwischen B (*Basis*) und E (*Emitter*) ein Strom, so ‚öffnet‘ das Tor der CE-Strecke und bewirkt, dass hier ein sehr viel größerer Strom fließen kann!

Die Stromstärke am Basisanschluss eines Kleinsignaltransistors beträgt maximal einige Milliampere; die Stromstärke am Kollektor hingegen bis zu einigen Ampere. Dieser Verstärkungseffekt wird mit dem *Stromverstärkungsfaktor* β beschrieben, wir werden ihn am Ende dieses Praktikums untersuchen.

2.3 Vorbereitungsfragen (vor Versuchsbeginn zu beantworten)

a) Polarität von Dioden:

⇒ Ist die rechts gezeigte Diode in *Durchlass-* oder in *Sperrrichtung* gepolt?



b) Bild 2-10 auf Seite 2-6 zeigt einen Versuchsaufbau mit einer **Diode zur sog. Einweggleichrichtung**. Die Eingangsspannung u_e des Gleichrichters hat einen sinusförmigen Verlauf:

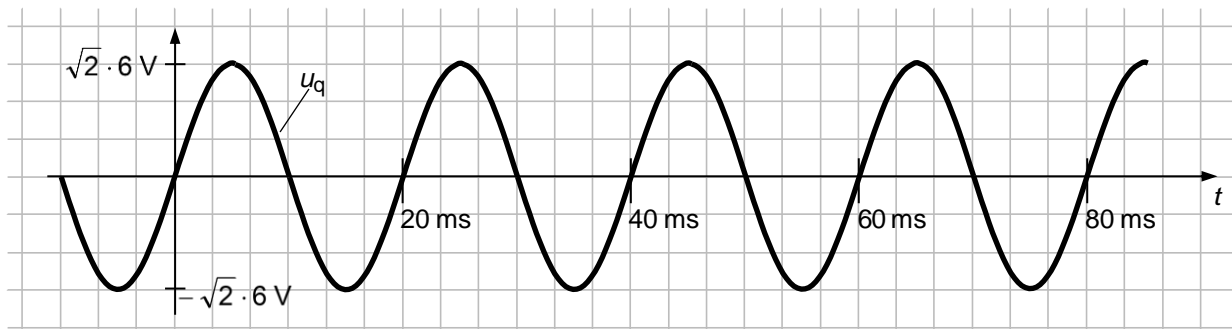
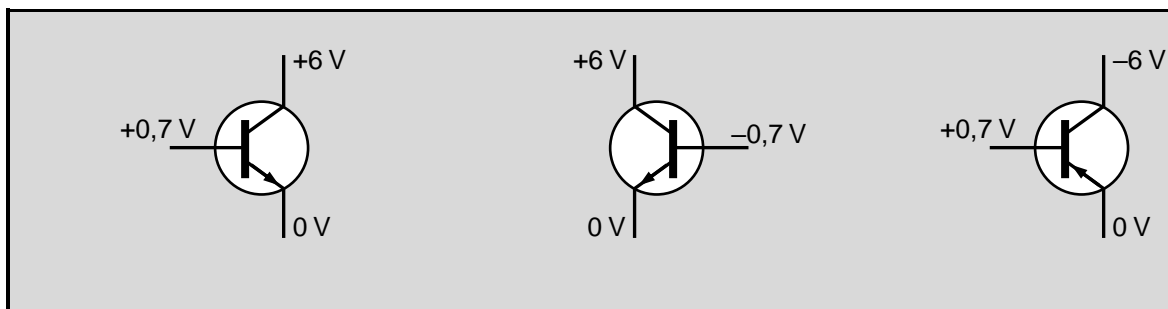


Bild 2-7: Eingangsspannung des Einweggleichrichters aus Experiment 2-2a)

⇒ Zeichnen Sie die Ausgangsspannung u_a in obiges Bild. Bitte verwenden Sie einen Bleistift!

c) Unten dargestellt sind drei **Transistoren** mit *Potential*-Angaben:



⇒ Handelt es sich jeweils um *npn*- oder um *pnp*-Typen? Schreiben Sie den Typ dazu!

⇒ Schreiben Sie bei den Transistoren jeweils die Anschlussbezeichnungen *B*, *C* und *E* dazu.

⇒ Welche der Transistoren sind leitend, d.h. bei welchen der Transistoren fließt ein Strom zwischen *Kollektor* und *Emitter*? Markieren Sie den oder die Transistoren im Bild oben!

d) Betrachten Sie die in Bild 2-13 dargestellte sog. **Darlingtonschaltung eines Transistors**:

⇒ Schreiben Sie bei den Transistoren jeweils die Anschlussbezeichnungen *B*, *C* und *E* dazu.

⇒ Markieren Sie mit Pfeilen die Richtung der **Basis**ströme der beiden Transistoren, und – mit einer anderen Farbe – die Richtung der **Kollektor**- und **Emitter**ströme der beiden Transistoren!

⇒ Der Emitterstrom des linken Transistors ist identisch mit dem Laststrom des rechten Transistors? Was genau bewirkt dies, wenn durch den Finger ein sehr kleiner Strom fließt?



⇒ Auf welchen Wert begrenzt der Vorwiderstand R_B den Basisstrom des linken Transistors?



2.4 Durchführung

Experiment 2-1: Kennlinie einer Diode (20 min)

- a) Zunächst bauen wir folgenden Stromkreis mit der Gleichrichterdiode *1N4001* auf. Zur Strombegrenzung im Durchlassbereich verwenden wir drei parallel geschaltete Lämpchen (jeweils 20V/1 W) als Vorwiderstand. Gemessen werden Strom I_D und Spannung U_D an der Diode:

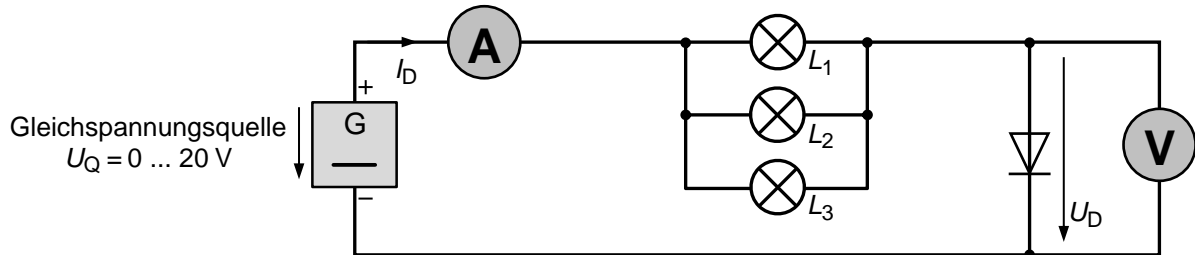


Bild 2-8: Aufzubauender Stromkreis zur Vermessung einer Diode. Verwenden Sie *Digitalmultimeter*.

- ⇒ Vervollständigen Sie die Spannungs-/Strom-Tabelle für den Durchlass- (links) und den Sperrbereich (ganz rechts in der Tabelle, hierzu das Bauelement einfach umpolen!) der Diode:

U_D	0 V						-20 V
I_D	0 mA	100 μ A	3 mA	30 mA	120 mA		

- ⇒ Zeichnen Sie die U - I -Kennlinie in das vorbereitete Diagramm auf der folgenden Seite.
- ⇒ Wie groß ist die Flussspannung der Diode? Ist die Diode aus Germanium oder Silizium?

$U_F =$

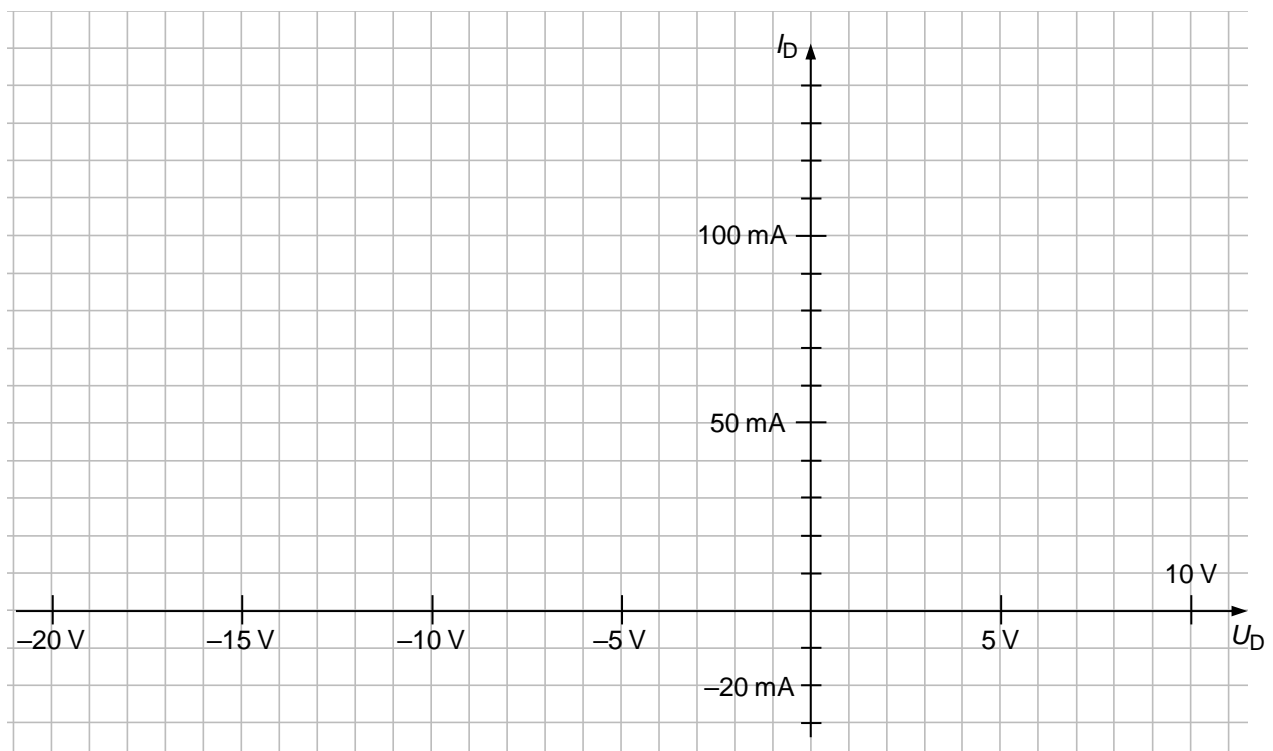


Bild 2-9: U - I -Diagramm zur Aufnahme von Diodenkennlinien

Experiment 2-2: Gleichrichterschaltungen (35 min)

- a) Die einfachste Anwendung eines Gleichrichters ist die sog. *Einweggleichrichtung* einer Wechselspannung. Hierzu ist die folgende Schaltung aufzubauen, bei der wir die Spannung u_q vor dem Gleichrichter und die Spannung u_a nach dem Gleichrichter mit dem Oszilloskop analysieren:

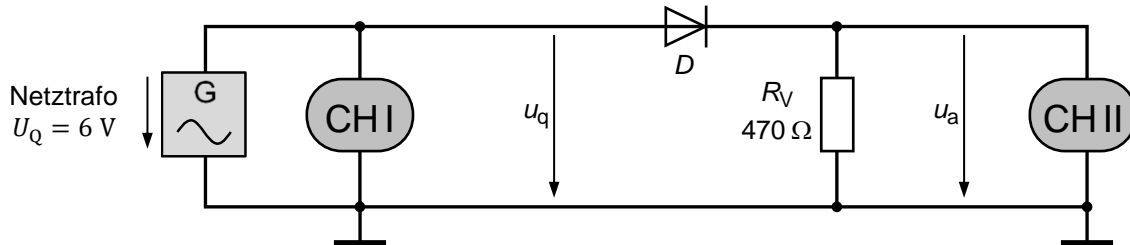


Bild 2-10: Versuchsaufbau zur Einweggleichrichtung

- ⇒ Stellen Sie das Oszilloskop so ein, dass beide Spannungen u_q und u_a zu sehen sind (Tasten DUAL und ADD).
- ⇒ Wählen Sie am Netztrafo (= *Transformator*) die mit **6 VAC** beschrifteten Ausgangsbuchsen!
- ⇒ Vergleichen Sie den gemessenen Verlauf der Spannung u_a mit Ihrer Vorbereitung (Frage 2.3b). Korrigieren Sie die Skizze auf Seite 2-4, falls Abweichungen vorhanden sind!
- ⇒ Wie groß ist die Differenz der beiden Scheitelspannungen $\hat{U}_Q - \hat{U}_a$?

- b) Wir untersuchen nun einen sog. *Brückengleichrichter*:

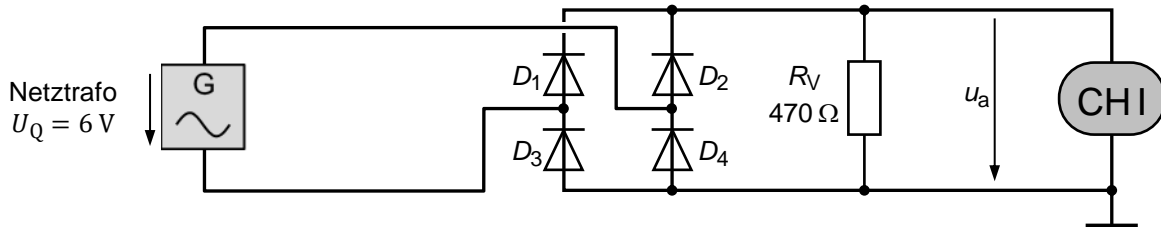


Bild 2-11: Versuchsaufbau mit Brückengleichrichter, bestehend aus vier Einzeldioden

Prüfen Sie bitte vor dem Einschalten des Transformators noch einmal, ob alle vier Dioden **in der korrekten Richtung** eingebaut sind. Falls auch nur eine der Dioden vertauscht ist, gibt es einen Kurzschluss, der zur Zerstörung von jeweils einem Diodenpaar führt!

- ⇒ Betrachten Sie die Ausgangsspannung am Oszilloskop.
- ⇒ Die Differenz der Scheitelspannungen $\hat{U}_Q - \hat{U}_a$ beträgt exakt das Doppelte, wie bei der Einweggleichrichtung im vorhergehenden Experiment a). **Warum ist das so?**

Grund für den doppelten Spannungsabfall:

- ⇒ Welchen Vorteil hat der *Brückengleichrichter* im Vergleich zum *Einweggleichrichter*?

Vorteil des Brückengleichrichters:

Die typische Anwendung einer Gleichrichterschaltung ist die Umwandlung einer Wechselspannung in eine Gleichspannung zur Versorgung elektronischer Geräte. Praktisch alle Geräte, die irgendwie aus dem Stromversorgungsnetz gespeist werden, enthalten entweder Einweg- und/oder Brückengleichrichter, z.B. PC-Netzteile, Handy-Ladegeräte, Eisenbahntrafos, und Steckernetzteile jeglicher Art.

- c) Für viele elektronische Geräte stellt die nach dem Gleichrichter vorhandene Welligkeit der Versorgungsgleichspannung (*Netzbrumm*) ein Problem dar. Ein einfaches Mittel, um die Welligkeit zu reduzieren, ist ein Siebkondensator C_S , den wir parallel zur Last schalten:

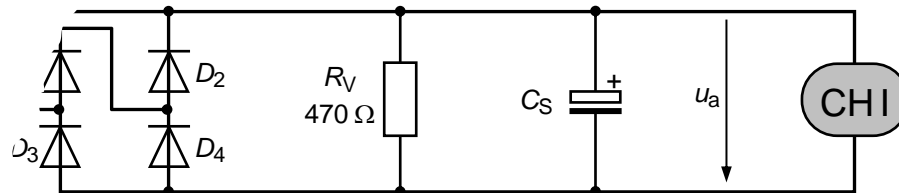


Bild 2-12: Ergänzung des Brückengleichrichter-Versuchsaufbaus um einen Siebkondensator C_S

Durch seine Fähigkeit, Ladung zu speichern und abzugeben, werden die Spannungs-Täler geglättet.

- ⇒ Schalten Sie abwechselnd zwei Siebkapazitäten $C_S = 100\ \mu\text{F}$ und $470\ \mu\text{F}$ parallel zum Lastwiderstand R_V und beobachten Sie qualitativ die Welligkeit der Spannung am Lastwiderstand.

Hinweis: Beachten Sie die Polarität des $470\ \mu\text{F}$ -Elektrolytkondensators!

- d) Nutzen Sie jetzt den aufgebauten Brückengleichrichter mit Siebkondensator als ‚Netzteil‘ für ein ‚Fun-Keybord‘ – an Stelle der originalen Stromversorgung mit Batterien ($4 \times 1,5\ \text{V} = 6\ \text{V}$):

Um das Keyboard nicht zu zerstören, ist unbedingt auf eine korrekte Polarität der angelegten Spannung: **rot** = (+), **blau** = (–) zu achten.

- ⇒ Experimentieren Sie mit verschiedenen Siebkondensator-Größen!
 ⇒ Welchen Unterschied hören Sie ohne Siebung, und mit den beiden Siebkapazitäten?

Ohne Siebung:	Mit $C_S = 100\ \mu\text{F}$:	Mit $C_S = 470\ \mu\text{F}$:

Experiment 2-3: Stromverstärkung eines Bipolartransistors (25 min)

- a) **Wir bauen einen Berührungssensor auf**, bei dem der Strom, der durch den Körperwiderstand des Fingers fließt, ein Lämpchen einschaltet! Um die dazu nötige Stromverstärkung zu erzielen, werden zwei hintereinander geschaltete Transistoren eingesetzt – eine sog. *Darlington-Schaltung*:

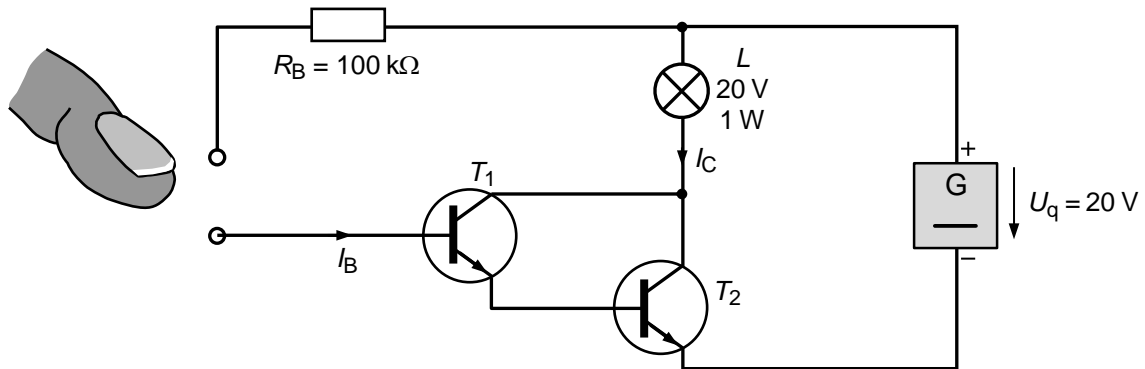


Bild 2-13: Aufzubauender Berührungssensor mit zwei Transistoren in Darlingtonschaltung

- ⇒ Probieren Sie die Schaltung aus!
- ⇒ Reicht auch ein Stromfluss durch die in Reihe geschalteten Körper mehrerer Personen aus, um die Lampe zum Leuchten zu bringen?

b) Stromverstärkung der Darlington-Schaltung

Der durch den menschlichen Körper fließende Strom beträgt in der oben gezeigten Anwendung nur etwa $I_B \approx 1 \mu\text{A}$ (zum Vergleich: Gesundheitsschädigung tritt erst bei Strömen $\gtrsim 100 \text{ mA}$ auf!).

- ⇒ Schätzen Sie die Gesamtstromverstärkung β_{Darl} dieser *Darlington*-Schaltung ab, unter der Annahme, dass das Lämpchen hell leuchtet?

$\beta_{\text{Darl}} =$

- ⇒ Die Stromverstärkung eines einzelnen Transistors liegt bei $\beta \approx 500$. Erklären Sie kurz, wie die extrem große Verstärkung $\beta_{\text{Darl}} \gg \beta$ bei der Darlingtonschaltung zustande kommt: