

## *Elektrische Messtechnik (E1)*

### *Ziel des Versuches*

Elektrische Messtechnik ist heute unverzichtbar, da im Zeitalter der Sensortechnik auch viele nichtelektrische Größen elektrisch gemessen werden. Im Versuch werden Grundlagen der elektrischen Messtechnik, die für die weiteren Versuche unentbehrlich sind, behandelt. Dazu werden Gesetze der Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen überprüft und es wird untersucht, wann strom- oder spannungsrichtiges Messen sinnvoll ist. Darüber hinaus wird der Innenwiderstand eines Voltmeters ermittelt, charakteristische Größen von Wechselspannungen werden mit Multimeter und Oszilloskop gemessen sowie die Kennlinie einer Leuchtdiode aufgezeichnet.

### *Vorkenntnisse*

Folgende Vorkenntnisse aus der Schule sollten Sie mitbringen bzw. vor dem Versuch unbedingt auffrischen:

- Ohmsches Gesetz
- Gesetzmäßigkeiten für die Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen
- Knotensatz für lineare verzweigte Netzwerke (1. kirchhoffscher Satz): Für die Summe aller Ströme durch einen Knoten gilt  $\sum_j I_j = 0$ , wobei verabredungsgemäß die in einen Knoten einfließenden Ströme ein negatives und die abfließenden Ströme ein positives Vorzeichen besitzen.
- Maschensatz für lineare verzweigte Netzwerke (2. kirchhoffscher Satz): In einer Masche ist die Summe der eingepprägten Spannungen (Spannungsquellen)  $\sum_i U_{0i}$  gleich der Summe der Spannungsabfälle an den Widerständen  $\sum_j I_j R_j$ , es gilt also  $\sum_i U_{0i} = \sum_j I_j R_j$ . Wenn man von einem Knotenpunkt ausgeht und dem Leiter folgt, so kann man, ohne zweimal eine Strecke zu durchlaufen, mindestens auf einem Weg wieder zum Ausgangspunkt gelangen. Einen solchen Weg nennt man eine Masche.
- Grundlegende Schaltzeichen (Leiterverbindungen, Widerstand, Kondensator, Volt- und Amperemeter, Spannungsquellen, Diode, ...)
- Funktionsweise einer Diode (spez. Leuchtdiode (LED))

## Theoretischer Hintergrund

### Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle und Grundstromkreis, Masse und Erde

Eine reale Spannungsquelle liefert eine abgreifbare Klemmenspannung  $U_K$ , die aufgrund ihres Innenwiderstands  $R_i$  und des daran auftretenden Spannungsabfalls abhängig von der Last ist. Zur Beschreibung dieses Verhaltens verwendet man ein sogenanntes Ersatzschaltbild, bei dem die reale Spannungsquelle aus einer idealen (lastunabhängigen) Spannungsquelle mit der Ursprungspannung bzw. Leerlaufspannung  $U_0$  und einem Innenwiderstand  $R_i$  besteht. Die Abb. 1 zeigt das Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle und den Grundstromkreis bestehend aus Spannungsquelle und angeschlossenem Lastwiderstand  $R_L$ . Für die Klemmenspannung gilt nach dem Maschensatz  $U_K = U_0 - IR_i$ . Am Lastwiderstand fällt die Klemmenspannung ab und es gilt  $U_K = IR_L$ . Für den Strom in der Masche folgt daraus  $I = U_0 / (R_i + R_L)$ . Ist kein Verbraucher angeschlossen (Leerlauf,  $R_L = \infty$  und damit  $I = 0$ ), so ist  $U_K = U_0$ . Bei Kurzschluss ( $R_L = 0$ ) fließt der durch den Innenwiderstand begrenzte Maximalstrom, der sogenannte Kurzschlussstrom  $I_k = U_0 / R_i$ .

Man unterscheidet zwischen der physikalischen Stromrichtung (vom Elektronenüberschuss am Minuspol zum Pluspol) und der technischen Stromrichtung, bei der per Definition ein positiver Strom vom Pluspol zum Minuspol gezählt wird. Diese Vereinbarung hat sich in der Praxis bei der Berechnung elektrischer Schaltungen bewährt.

Da es sich bei Spannungen um Potentialdifferenzen handelt, ist es stets eine Verabredung, welches Potential in einer Schaltung als Massepol verwendet wird. Die Masse wird im Regelfall als Potential mit 0 V definiert und stellt das Bezugspotential für alle in der Schaltung verwendeten Betriebs- und Signalspannungen dar. Oft wird der Minuspol der Betriebsspannung als Masse gewählt.<sup>1</sup>

Als Schutzmaßnahme kann der Massepol zusätzlich geerdet werden. Dies geschieht z. B. über den Schutzkontakt einer Steckdose (oft geräteintern) oder über einen sogenannten Erder (eingegrabene leitende Kugel, z. B. beim Blitzschutz). Masse- und Erdungssymbol sind in Abb. 2 dargestellt.

### Multimeter

In der Messtechnik unterscheidet man die Messung elektrischer und nichtelektrischer Signale. Auch viele nichtelektrische Signale, wie z. B. Kräfte, Lichtintensitäten, PH-Wert oder Gaskonzentrationen, können heute über Sensoren in elektrische Signale umgesetzt und elektrisch gemessen werden. Deshalb spielt die elektrische Messtechnik eine zentrale Rolle. Ein häufig benutztes Messgerät ist das Multimeter (Vielfachmessgerät), mit dem Spannungen und Ströme, aber auch z. B. Widerstände oder die Stromverstärkung von Transistoren gemessen werden können. Man unterscheidet hier zwischen Analog- und Digitalinstrumenten.

Bei einem Drehspulinstrument (Analoginstrument, siehe Abb. 3) wird die magnetische Wirkung des elektrischen Stroms, zur Messung einer Spannung oder eines Stroms, ausgenutzt. Zwischen den halbkreisförmig ausgesparten Polen eines Permanentmagneten befindet sich ein Weicheisenkern um den

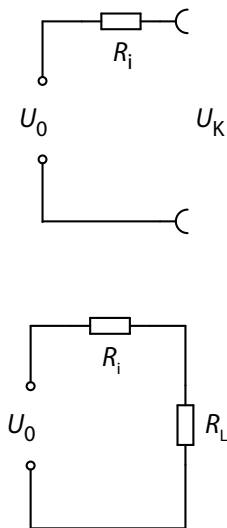


Abbildung 1: Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle und Grundstromkreis

<sup>1</sup> Beim Auto wird die Karosserie als Masse gewählt, da sie sich als leitender Körper über das ganze Fahrzeug erstreckt und als Rückleiter Verwendung findet. Bei deutschen Autos ist der Minuspol der Batterie mit der Karosserie verbunden, sodass die Bordspannung +12 V beträgt. Beim Fahrrad wird der Rahmen als Massepol und Rückleiter verwendet. Der Dynamo erzeugt Wechselspannung, so dass die Bordspannung abwechselnd positiv und negativ wird. Bestimmte elektronische Schaltungen (Operationsverstärker, Versuch E20) benötigen gleichzeitig sowohl positive als auch negative Gleichspannungen als Betriebsspannungen.

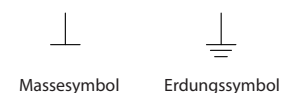


Abbildung 2: Masse- und Erdungssymbol

auf einem rechteckigen Rahmen eine Spule aufgewickelt ist. Wird eine Spannung  $U$  angelegt, so fließt aufgrund des endlichen Innenwiderstands des Messwerkes  $R_{iM}$  ein Strom, dessen magnetische Wirkung zur Auslenkung der Spule im Magnetfeld führt. Kern und Spule sind mit einem Torsionsdraht gehalten, sodass sich je nach Stärke des Stromflusses  $I$  ein Gleichgewichtszustand der Auslenkung des mit dem Kern verbundenen Zeigers einstellt.

Aufgrund des endlichen Innenwiderstands  $R_{iM}$  des Messgerätes wird also elektrische Energie  $P = UI = I^2 R_{iM} = U^2 / R_{iM}$  verbraucht. Der Leistungsverlust ist gering, wenn ein Strommesser (Amperemeter) einen kleinen und der Spannungsmesser (Voltmeter) einen großen Innenwiderstand hat. Für Spannungsmessungen muss also entsprechend dem gewünschten Messbereich intern ein Vorschaltwiderstand (Shunt) in Reihe zum Messwerk geschaltet werden, der gleichzeitig den Strom durch das Messwerk begrenzt. Typische  $R_{iM}$ -Werte bei analogen Spannungsmessungen sind 20 bis 250 k $\Omega$ .

Für Strommessungen werden je nach Messbereich verschiedene sehr kleine Vorwiderstände zum Messwerk parallel geschaltet (Stichwort: Messbereichserweiterung). Zu den Messgerätefehlern bzw. -unsicherheiten lesen Sie im Praktikumsskript Kap. 6.3, Punkt 6. In Abb. 4 sind die Schaltsymbole und die entsprechenden Ersatzschaltbilder gezeigt.

Digitalmultimeter sind elektronische Geräte und haben aufgrund ihrer Eingangsbeschaltung einen sehr hohen Eingangswiderstand (im M $\Omega$ -Bereich). Da das analoge Messsignal digitalisiert wird, ergibt sich ein Digitalisierungsfehler. Zu den Angaben der Messgerätefehler bzw. -unsicherheiten lesen Sie bitte im Praktikumsskript Kap. 6.3, Punkt 8.

Achten Sie bei den Multimetern insbesondere auf die richtige Einstellung des Messbereiches und der Spannungs- bzw. Stromart.<sup>2</sup> Wenn die Größen der Spannung bzw. des Stroms nicht bekannt sind, sollte immer im unempfindlichsten Bereich mit dem Messen begonnen und dann heruntergeschaltet werden, damit das Messgerät nicht zerstört wird.

### Messung von Wechselspannung und Wechselstrom

Eine Wechselspannung  $u = u_0 \sin \omega t$  (Wechselstrom analog dazu) wird charakterisiert durch die Amplitude  $u_0$  und die Kreisfrequenz  $\omega$  (Frequenz  $f = \omega / 2\pi$ ) bzw. die Periodendauer  $T = 2\pi / \omega$ . Das Multimeter zeigt jedoch nur den quadratischen Mittelwert, den sogenannten Effektivwert (RMS)<sup>3</sup> an (Abb. 5).

Der Effektivwert ist definiert als

$$u_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} u_{\text{Ampl}} \quad (1)$$

Um bei Wechselspannungen und -strömen Amplitudenwerte, Spitze-Spitze-Werte oder die Frequenz zu messen, ist ein Oszilloskop notwendig.

### Oszilloskop

Das wichtigste Messgerät zur Beobachtung des zeitlichen Verlaufes von elektrischen Signalen ist das Oszilloskop. In einer evakuierten Röhre (Abb. 6) wird mit Hilfe einer Glühkathode, einer ringförmigen Anode und einer Beschleunigungsspannung ein Elektronenstrahl erzeugt, der auf einen Fluores-



Abbildung 3: Älteres Drehspulmessinstrument

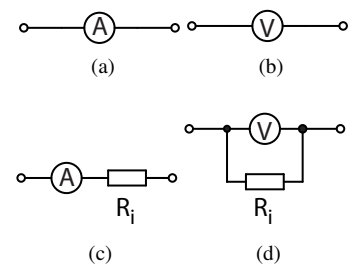


Abbildung 4: Schaltsymbole (4a, 4b) und Ersatzschaltbilder (4c, 4d) von Strom- und Spannungsmessgerät.

Die Ersatzschaltbilder erklären sich wie folgt: Ein in Reihe in den Stromfluss geschaltetes Amperemeter bildet durch seinen Innenwiderstand einen zusätzlichen Widerstand im Stromkreis. Ein parallel zum Messobjekt geschaltetes Voltmeter führt zu einem zusätzlichen Strom über seinen Innenwiderstand.

<sup>2</sup> Wechselspannung bzw. -strom (AC-Betrieb) und Gleichspannung bzw. -strom (DC-Betrieb)  
AC – alternating current  
DC – direct current

<sup>3</sup> RMS -- root mean square

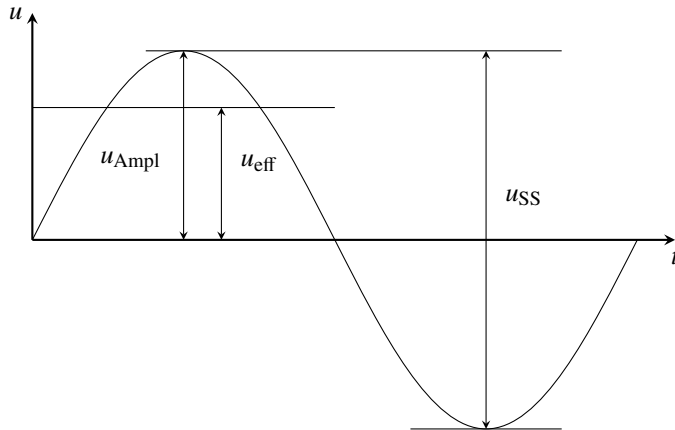


Abbildung 5: Messgrößen bei einer Wechselspannung

zensschirm fokussiert wird und dort einen Leuchtpunkt erzeugt. Der Elektronenstrahl durchläuft zwei senkrecht zueinander angeordnete Plattenkondensatoren (Ablenkplatten). Werden an den Plattenkondensatoren Spannungen angelegt, so kommt es zur Ablenkung des Elektronenstrahls. Da die Ablenkung des Strahls gemäß  $F = -eE$  proportional zur angelegten Spannung ist, lässt sich das System hervorragend zur Messung von Spannungen verwenden. Da diese Ablenkung instantan erfolgt, lassen sich Spannungsänderungen mit dem Oszilloskop in Echtzeit beobachten. Im Gegensatz dazu ist eine Echtzeitbeobachtung von Spannungsänderungen mit Computer-Messwerterfassungssystemen nicht möglich, da dort erst eine Abtastung des Signals und seine Digitalisierung erfolgen müssen.

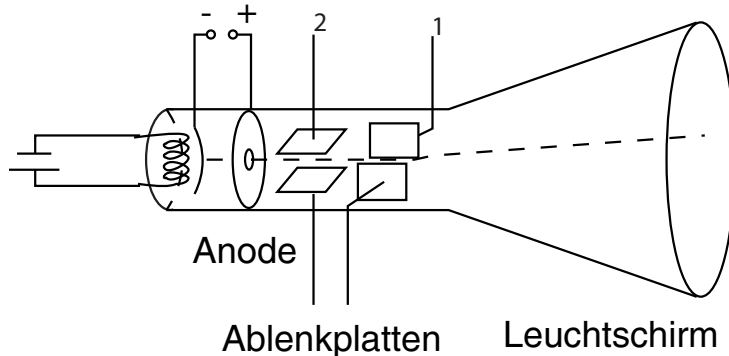


Abbildung 6: Elektronenröhre eines klassischen Kathodenstrahloszilloskops

Im *x-t-Betrieb* wird zur Bildung der Zeitachse an das Plattenpaar 1 (in Abb. 6) eine Sägezahnspannung (Abb. 7) angelegt, die von  $-u_s$  auf  $+u_s$  innerhalb der Zeit  $T_s = 1/f_s$  linear ansteigt und dann instantan wieder auf  $-u_s$  abfällt. Dadurch bewegt sich der Elektronenstrahl bzw. der Leuchtpunkt auf dem Schirm in der Zeit  $T_s$  von links nach rechts, um danach jeweils instantan von rechts nach links zu springen. Der Vorgang der Bewegung des Leuchtflekes von links nach rechts wiederholt sich mit der Frequenz  $f_s$ . Die Frequenz  $f_s$  der Sägezahnspannung ist über die *Zeitbasis*<sup>4</sup> einstellbar.

Wird nun an das Plattenpaar 2 die zu messende Spannung, z. B. eine Sinusspannung, angelegt führt dies zu einer Auslenkung des Elektronenstrahls in senkrechter Richtung. Je nach Einstellung der Zeitbasis der Sägezahnspannung können eine oder mehrere Perioden der zu untersuchenden Sinus-

<sup>4</sup> Die eingestellte Zeitbasis (z. B. 20 ms/cm) gibt die Zeit an, in der der Elektronenstrahl um 1 cm auf dem Schirm in x-Richtung ausgelenkt wird.

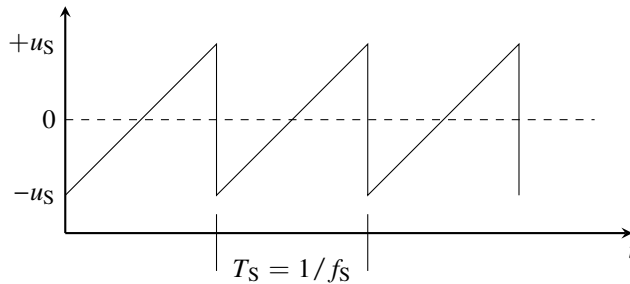


Abbildung 7: Sägezahnspannung zur zeitproportionalen links-rechts Auslenkung des Elektronenstrahls

pannung beobachtet werden. Die Zeitbasis kann beim Oszilloskop jedoch im Regelfall nur stufenweise eingestellt werden.

Ist die Periode der zu messenden Spannung kein Vielfaches der Sägezahnperiode  $T_S$ , so kann kein stehendes Bild entstehen. Um das Problem zu lösen, muss man beide Signale synchronisieren. Der Anstieg der Sägezahnspannung muss dazu immer dann eingeleitet werden, wenn bei dem zu messenden Signal ein bestimmtes Ereignis eintritt. Man spricht dabei von einer *Triggerung* der Sägezahnspannung. Das Ereignis, das man zur Triggerung ausnutzt, kann z. B. ein bestimmter Pegel des zu messenden Signals oder eine Flanke (zeitliche Änderung beim Rechtecksignal) im Signal sein. Nutzt man das zu messende Signal zur Triggerung, so spricht man von interner Triggerung. Das *Triggerlevel* ist einstellbar und besagt bei welcher Höhe des zu untersuchenden Signals der Anstieg der Sägezahnspannung bzw. die Auslenkung des Leuchtfleckes von links nach rechts erfolgen sollen.<sup>5</sup>

Bei einem *Zwei-Kanal-Oszilloskop* können zwei zeitliche Spannungsverläufe ( $x(t)$  und  $y(t)$ ) über die zwei Eingangskanäle gleichzeitig gemessen werden. Beide Spannungsverläufe können wahlweise gleichzeitig oder getrennt auf dem Schirm angezeigt werden. Die Messempfindlichkeit beider Kanäle kann getrennt und stufenweise vom V- bis in den mV-Bereich eingestellt werden. Falls mit interner Triggerung gearbeitet wird, erfolgt diese wahlweise entweder über das Signal ( $x(t)$ ) an Kanal 1 oder das Signal ( $y(t)$ ) an Kanal 2.

Im *DC-Betrieb* wird das zu messende Signal direkt an das Plattenpaar gelegt. Somit misst man die Gesamtspannung, die sowohl Gleichspannungs- als auch Wechselspannungsanteile haben kann. Im *AC-Betrieb* wird das zu messende Signal über einen zusätzlichen Eingangskondensator an die Platten gelegt. Damit werden die Gleichspannungsanteile unterdrückt und nur die Wechselspannungsanteile beobachtet. Diese Betriebsform ist wichtig, um z. B. kleine Modulationen (oft das eigentlich interessante Messsignal), die auf einem Gleichspannungssignal liegen, besser beobachten zu können.

Beim *x-y-Betrieb* wird die Sägezahnspannung zur zeitlichen links-rechts-Auslenkung nicht genutzt. Man kann dadurch zwei zu messende Signalformen untersuchen, wobei die eine an das Plattenpaar 2 und die andere an das Plattenpaar 1 gelegt werden (siehe Abb. 6). Legt man z. B. an beide Plattenpaare dieselbe Sinusspannung, so entsteht auf dem Schirm eine Gerade mit dem Anstieg Eins bzw. bei Anlegen einer sinusförmigen und einer kosinusförmigen Spannung ein Kreis. Mit dem *x-y-Betrieb* kann man Frequenzvergleiche oder Messungen von Phasenunterschieden durchführen.

Ein Oszilloskop ist ein Gerät zur Messung von Spannungen. Möchte man

<sup>5</sup> Sie müssen bei der Messung entscheiden, ob Sie intern oder extern triggern und jeweils das Triggerlevel geeignet einstellen.

den zeitlichen Verlauf eines Stroms messen, so muss man über einen ohmschen Widerstand ein stromproportionales Spannungssignal erzeugen.

### Strom- und Spannungsteilerregel

Für die in Abb. 8 gezeigte Parallelschaltung von Widerständen gilt entsprechend der Kirchhoffschen Sätze  $I = I_1 + I_2$  und  $U = I_1 R_1$  (1. Masche) bzw.  $U = I_2 R_2$  (2. Masche). Aus den letzten Gleichungen folgt die Stromteilerregel  $I_1/I_2 = R_2/R_1$ , d. h., durch den kleineren Widerstand fließt der größere Strom.

Für einen unbelasteten Spannungsteiler (Abb. 9) folgt aus dem Maschensatz für den Strom  $I = U/(R_1 + R_2)$ . Aus dem Spannungsabfall  $U_2 = IR_2$  am Widerstand  $R_2$  ergibt sich die Spannungsteilerregel

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} .$$

### Strom- und spannungsrichtige Messung von Widerständen

Will man Widerstände über Strom- und Spannungsmessungen bestimmen, so sind zwei verschiedene Schaltungen möglich. Beide Schaltungen führen zu systematischen Fehlern. Welche Schaltung für welchen Widerstand geeignet ist, hängt vom Widerstandswert und den Innenwiderständen der Messinstrumente ab.

Bei der stromrichtigen Schaltung (Abb. 10) misst man aber mit dem Voltmeter die Spannung  $U_V = IR_{iA} + IR$ , also die Summe der Spannungsabfälle, die am Innenwiderstand des Amperemeters  $R_{iA}$  und am auszumessenden Widerstand  $R$  entstehen. Der systematische Fehler der Spannungsmessung ist  $e_U = IR_{iA}$ . Daraus folgt für den relativen systematischen Fehler

$$\frac{e_U}{U} = \frac{R_{iA}}{R} . \quad (2)$$

Für  $R \gg R_{iA}$  wird dieser Fehler klein.

Bei der spannungsrichtigen Schaltung (Abb. 11) misst man aber mit dem Amperemeter die Summe der Ströme  $I_V + I_R$  durch das Voltmeter und den auszumessenden Widerstand. Nach der Stromteilerregel gilt  $I_V/I_R = R/R_{iV}$ , wobei  $I_V$  der durch den Innenwiderstand des Voltmeters fließende Strom und  $R_{iV}$  der Innenwiderstand des Voltmeters ist. Damit beträgt der systematische Fehler der Strommessung  $e_I = I_V$  und der relative systematische Fehler

$$\frac{e_I}{I} \approx \frac{e_I}{I_R} = \frac{I_V}{I_R} = \frac{R}{R_{iV}} . \quad (3)$$

Bei  $R \ll R_{iV}$  ist dieser Fehler gering.

### Versuchsaufbau und -durchführung

Ihnen stehen ein Spannungsversorgungsgerät für Gleichspannung (auch als Konstanter bezeichnet), ein Steckbrett, Analog- und Digitalmultimeter, ein Zwei-Kanal-Oszilloskop, ein Funktionsgenerator, diverse Widerstände und Laborkabel zur Verfügung.

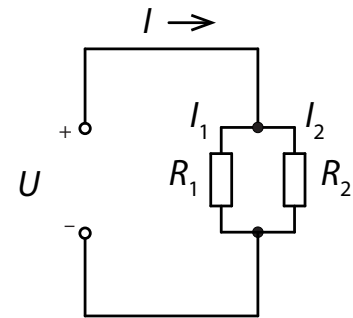


Abbildung 8: zur Erklärung der Stromteilerregel

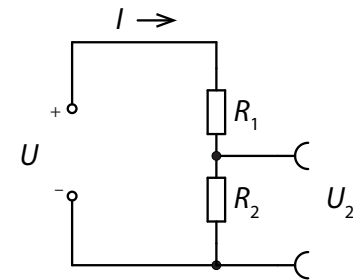


Abbildung 9: unbelasteter Spannungsteiler

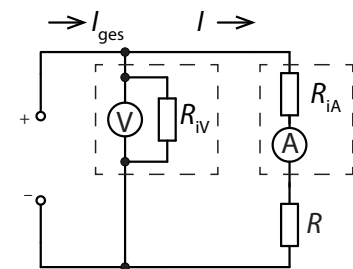


Abbildung 10: Stromrichtige Schaltung. Im gestrichelten Bereich sind die Ersatzschaltbilder Volt- bzw. Amperemeter gezeichnet.

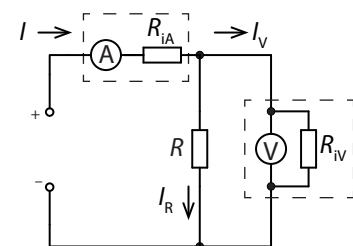


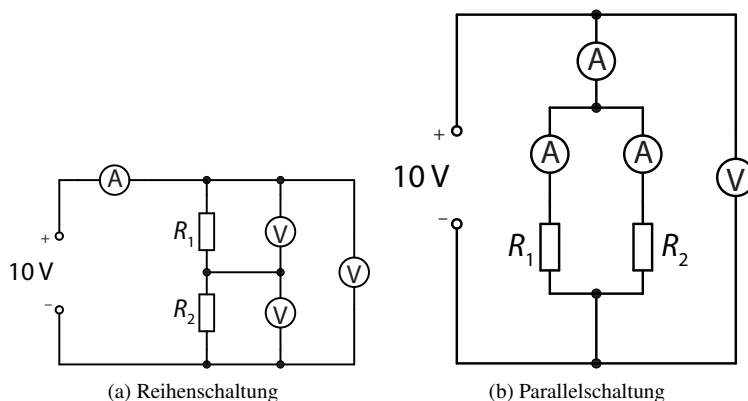
Abbildung 11: Spannungsrichtige Schaltung. Im gestrichelten Bereich sind die Ersatzschaltbilder der Messinstrumente eingezeichnet.

Bei modernen Spannungsversorgungsgeräten können Sie neben der Spannung auch eine Strombegrenzung einstellen. Mit der Strombegrenzung verändern Sie auf elektronischem Wege den Innenwiderstand  $R_i$  Ihrer Spannungsquelle und damit den maximal möglichen Kurzschlussstrom, den die Spannungsquelle bei der von Ihnen gewählten Ausgangsspannung liefern kann.<sup>6</sup>

Die Innenwiderstände der Multimeter finden Sie im Datenblatt (Praktikumswebsite oder z. T. auf der Rückseite der Instrumente). Bauen Sie Ihre Schaltungen möglichst systematisch auf.<sup>7</sup>

Der Frequenzgenerator ist eine Wechselspannungsquelle (geringer Leistung), bei der sie die Frequenz  $f$ , die Amplitude  $u_{\text{Ampl}}$  bzw. den Spitze-Spitze-Wert  $u_{\text{SS}}$  der Wechselspannung einstellen können. Sie können Sinus-, Rechteck- oder Dreieckspannung wählen. Zusätzlich können Sie bei Bedarf einen Gleichspannungs-Offset einstellen. Der am meisten belastbare Ausgang des Frequenzgenerators ist der mit dem kleinsten Innenwiderstand (Warum?).

## Aufgabenstellung



1. Bauen Sie entsprechend der Abb. (12) jeweils zwei Reihenschaltungen und zwei Parallelschaltungen von Widerständen auf und messen Sie mit Multimetern jeweils die Gesamtspannung, die Teilspannungen, den Gesamtstrom und die Teilströme. Verwenden Sie folgende Widerstandswerte (für  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  und für  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$  bzw.  $10 \text{ k}\Omega$ ).<sup>8</sup> Geben Sie die jeweiligen Messunsicherheiten an und interpretieren Sie Ihre Ergebnisse.
2. Bestimmen Sie die genauen Widerstandswerte von Widerständen, deren Nennwerte bereits grob mit  $0,7 - 1,5 \Omega$ ,  $100 \Omega$ ,  $100 \text{ k}\Omega$ ,  $20 \text{ M}\Omega$  gegeben sind, mit Hilfe des ohmschen Gesetzes über Strom- und Spannungsmessungen jeweils sowohl mit der spannungsrichtigen als auch mit der stromrichtigen Schaltung. Verwenden Sie dazu eine Betriebsspannung  $10 \text{ V}$  und stellen Sie die Strombegrenzung des Spannungsversorgungsgerätes auf  $100 \text{ mA}$  ein.

Die Widerstandsberechnung erfolgt gemäß  $R = U/I$ . Berechnen Sie die relativen systematischen Fehler Ihrer Messungen gemäß ((2) und (3)) und tragen Sie für beide Messverfahren die relativen Abweichungen der Widerstandswerte vom Nennwert gegen den Nennwert auf.<sup>9</sup> Aus Darstel-

<sup>6</sup> Eine  $12 \text{ V}/24 \text{ W}$  Glühlampe benötigt zum Leuchten  $2 \text{ A}$ . Wenn die Strombegrenzung auf kleinere Stromwerte eingestellt ist, leuchtet die Lampe beim Anlegen von  $12 \text{ V}$  nicht mit voller Leistung.

<sup>7</sup> Orientieren Sie sich dabei an der Geometrie der in der Anleitung angegebenen Schaltskizze.

Abbildung 12: Messaufbau zur Reihenschaltung und Parallelschaltung von Widerständen

<sup>8</sup> Seitens der Industrie sind nur bestimmte Widerstandsreihen verfügbar, d. h. nur bestimmte Widerstandswerte mit festgelegten Toleranzen werden produziert. Alle anderen Widerstandswerte müssen aus Kombinationen von Widerständen realisiert werden. So sind in der sogenannte Reihe E24 (Toleranz 5%) nur Zahlenwerte von z. B. .../ 3,9 / 4,3 / 4,7 / 5,1 ... verfügbar. Die Kennzeichnung auf den Widerständen erfolgt durch Codierung mit Farbringen oder durch Aufdruck, z. B. 4R7, 4K7 und 4M7 ( $4,7 \Omega$ ,  $4,7 \text{ k}\Omega$  bzw.  $4,7 \text{ M}\Omega$ ). Siehe auch Wikipedia-Seite „E-Reihe“.

<sup>9</sup>  $R_{iA}$  liegt zwischen  $0,1$  und  $0,01 \Omega$ .

lungsgründen sollte für den Nennwert eine logarithmische Skale verwendet werden.

- Erzeugen Sie mit dem Frequenzgenerator sinusförmige Wechselspannungen mit  $u_{SS} \approx 5 \text{ V}$  und ohne DC-Offset im Frequenzbereich von 1 Hz bis 20 kHz und schließen Sie ein Multimeter und ein Oszilloskop an (Abb. 13). Bestimmen Sie mit dem Oszilloskop den Spitze-Spitze-Wert, die Amplitude, den Effektivwert (RMS), die Periodendauer und die Frequenz.<sup>10</sup> Führen Sie diese Messungen für insgesamt fünf Frequenzen im Frequenzbereich zwischen 1 Hz und 20 kHz durch. Bei welchen Frequenzen zeigt das Multimeter den richtigen Effektivwert an?
- Erzeugen Sie mit dem Frequenzgenerator eine Wechselspannung mit einer Frequenz von ca. 65 Hz, einem Spitze-Spitze-Wert  $u_{SS} \approx 5 \text{ V}$  und einem DC-Offset von ca. 4 V. Messen Sie diese Spannung mit dem Multimeter und dem Oszilloskop jeweils sowohl im AC- als auch im DC-Betrieb. Interpretieren Sie Ihre Ergebnisse.
- Bauen Sie eine Reihenschaltung aus Leuchtdiode (LED) und einem  $1 \text{ k}\Omega$ -Widerstand auf und betreiben Sie diese Schaltung mit einer Wechselspannung von etwa  $f=5 \text{ Hz}$ ,  $u_{SS} \approx 10 \text{ V}$ , DC-Offset=0 (Abb. 14).

Beobachten Sie mit dem Zwei-Kanal-Oszilloskop den zeitlichen Verlauf der Spannung und des Stroms.<sup>11</sup> Die Wechselspannung des Frequenzgenerators kann direkt am Kanal 2 des Oszilloskops angeschlossen werden. Um den Strom durch die Diode zu messen, muss über den  $1 \text{ k}\Omega$ -Widerstand ein stromproportionales Spannungssignal erzeugt werden, das am Kanal 1 des Oszilloskops beobachtet werden kann. Verwenden Sie dafür die Taste DUAL und CHOP. am Oszilloskop und beschreiben Sie die Änderung der Darstellung der Signalverläufe je nach Schalterstellung.

Aus dem am Kanal 1 beobachteten zeitlichen Spannungsverlauf kann dann sofort der zeitliche Stromverlauf berechnet werden.

Erhöhen Sie die Frequenz auf ca. 50 Hz und skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung und des Stroms durch die LED und interpretieren Sie ihr Ergebnis. Wie ändert sich der Stromverlauf, wenn Sie die Polarität der LED vertauschen?<sup>12</sup>

- Wechseln Sie bei der Reihenschaltung einer LED und eines Widerstands am Oszilloskop vom  $x-t$  (Kanal 1) und  $y-t$  (Kanal 2) -Betrieb in den  $x-y$ -Betrieb. Man erhält nun die Kennlinie der LED, da die senkrechte Auslenkung die Größe des stromproportionalen Spannungssignals und die waagerechte Auslenkung die Größe der angelegten Generatorspannung wiedergibt. Skizzieren Sie das Ergebnis und versehen Sie die Achsen mit entsprechenden Strom- bzw. Spannungswerten. Ab welcher Spannung beginnt die LED zu leuchten?

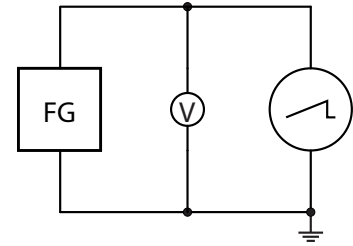


Abbildung 13: Messen der Ausgangswechselspannung eines Frequenzgenerators (FG) mit Digitalvoltmeter und Oszilloskop.

<sup>10</sup> Nutzen Sie dafür (falls vorhanden) die Cursor-Messung.

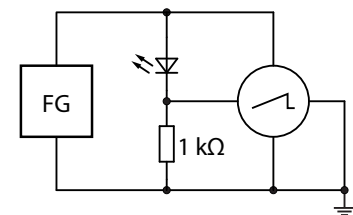


Abbildung 14: Reihenschaltung einer LED und eines Widerstands. Messung von Strom- und Spannungsverläufen mit dem Oszilloskop.

<sup>11</sup> Überlegen Sie ob diese Messung im DC- oder AC-Modus des Oszilloskops erfolgen muss, und warum.

<sup>12</sup> Da die Außenmängel der BNC-Buchsen des Oszilloskops gerätebedingt auf Massepotential (und über Schutzkontakt auf Erdpotential) liegen, kann die Spannung über der LED bei gleichzeitiger Strommessung (Spannungsmessung am Widerstand) nicht direkt gemessen werden. Es kann also nur die Gesamtspannung (Spannungsabfall an der LED plus Spannungsabfall am Widerstand) messtechnisch erfasst werden.