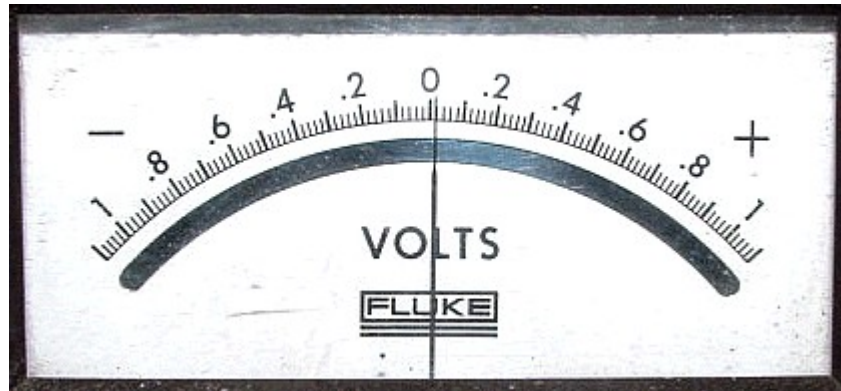


Physikalisches Praktikum



Versuch Nr. 2

- Elektrische Messung an Spannungsquellen -

Aufgabenstellung:

1. Messen Sie die Spannung einer Monozelle und eines alkalischen Sammlers mit einem sehr einfachen Voltmeter, einem Vielfachmessgerät und einem Digitalvoltmeter! Welche Spannungen messen Sie? Diskutieren Sie die Unterschiede!
2. Messen Sie die Urspannung U_e der beiden Gleichspannungsquellen mit Hilfe einer Kompensationsschaltung nach Poggendorff.
3. Bestimmen Sie die von einem alkalischen Sammler (Ni-Cd-Element, Innenwiderstand R_i) abgegebene Leistung P_a als Funktion des Gesamtaußenwiderstandes R_a und fertigen Sie eine grafische Darstellung des Zusammenhangs an. Entnehmen Sie daraus den Innenwiderstand R_i .
4. Stellen Sie die unter 3. gemessenen Strom- und Klemmspannungswerte als Strom-Spannungs-Charakteristik grafisch dar. Bestimmen Sie aus den Geradenparametern die Urspannung U_E , den Kurzschlussstrom I_K und den Innenwiderstand R_i ! Berechnen Sie aus dem Wert der Urspannung und den Strom- und Spannungswerten den Mittelwert für R_i sowie die Standardabweichung! Berechnen Sie die maximale Leistungsabgabe!

Tag der Bearbeitung: 25.04.2006
Betreuer: Prof. Hillrichs
Dr. Wobst

A. Grundlagen

DEFINITIONEN

Elektrischer Strom/ Elektrische Stromstärke

Der elektrische Strom ist die gezielte und gerichtete Bewegung freier Ladungsträger. Die Ladungsträger können Elektronen oder Ionen sein. Der elektrische Strom kann nur fließen, wenn zwischen zwei unterschiedlichen elektrischen Ladungen genügend freie und bewegliche Ladungsträger vorhanden sind. Zum Beispiel in einem leitfähigen Material (Metall, Flüssigkeit, etc.). Je mehr freie Elektronen vorhanden sind, desto größer ist die elektrische Stromstärke durch den Leiter.

Der elektrische Strom entsteht also durch die Bewegung einer elektrischen Ladung (Elektrizitätsmenge) Q (in As bzw. C) in der Zeit t durch einen Leiter oder Halbleiter.

Formelzeichen: I

Einheit: 1 A

Formeln:

1.)
$$i = \frac{dQ}{dt}$$
 wenn $I = \text{konst.}$ gilt:
$$I = \frac{Q}{t}$$

2.)
$$I = \frac{U}{R}$$
 Elektrischer Strom $I = \frac{\text{Elektrische Spannung } U}{\text{Elektrischer Widerstand } R}$

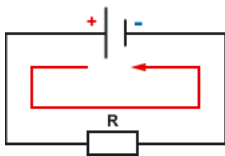
3.)
$$I = \frac{P}{U}$$
 Elektrischer Strom $I = \frac{\text{Elektrische Leistung } P}{\text{Elektrische Spannung } U}$

Das **Ampere** ist die Stärke eines elektrischen Stromes durch 2 parallele Leiter, die einen Abstand von 1m haben und zwischen denen die durch den Strom hervorgerufene Anziehungskraft je 1m Leitungslänge $2 \cdot 10^{-7}$ Newton beträgt.

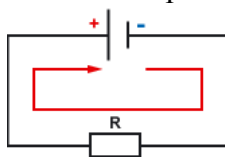
Die **Elektrische Elementarladung** e ($= 1,602 \cdot 10^{-19}$ C) ist die kleinste in der Natur vorkommende elektrische Ladung. Sie besitzt die Elementarteilchen Elektron (negativ) und Proton (positiv). Zu beachten ist, dass jede elektrische Ladung ein ganzzahliges Vielfaches der elektrischen Elementarladung ist.

Die **elektrische Stromrichtung** wird in die Technische Stromrichtung (historische Stromrichtung) und die Physikalische Stromrichtung (Elektronenstromrichtung) unterschieden.

Bei der Technischen Stromrichtung fließt der Strom vom positiven Pol zum negativen Pol.



Bei der Physikalischen Stromrichtung werden freie Ladungsträger (Elektronen) vom negativen Pol abgestoßen und vom positiven Pol angezogen.



Beim **Messen des elektrischen Stroms** muss das Strommessgerät (Amperemeter) immer in Reihe zum Verbraucher (z. Bsp. Widerstand) angeschlossen werden.
Der Innenwiderstand des Messgeräts sollte möglichst niederohmig sein, um den Stromkreis nicht zu beeinflussen.

Elektrische Spannung

Damit ein elektrischer Strom fließen kann, muss eine bestimmte Ursache die Ladungsträger in Bewegung setzen und diese aufrecht erhalten. Diese Ursache wird **Quellenspannung** U_q genannt und herrscht zwischen den Polen einer Spannungsquelle. Sie ist also die Ursache des elektrischen Stroms. Ihre Richtung wird der elektrischen Stromrichtung entgegengesetzt festgelegt. Sie ist der Quotient aus der zur Ladungstrennung nötigen zugeführten Energie E_{zu} und der Größe dieser Ladung.

Formelzeichen: U

Einheit: $1\text{ V} (= 1\text{ J/C} = 1\text{ Ws/As} = 1\text{ W/A})$

Formeln:

$$1.) \quad \boxed{U_q = \frac{E_{zu}}{Q}} \quad \text{bzw.} \quad U = \frac{W}{Q}$$

$$2.) \quad U = R \cdot I \quad \text{Spannung} = \text{Widerstand} \cdot \text{Stromstärke}$$

$$3.) \quad U = \frac{P}{I} \quad \text{Spannung} = \frac{\text{Leistung}}{\text{Stromstärke}}$$

Das **Volt** ist die elektrische Spannung zwischen zwei Punkten eines metallischen Leiters, in dem bei einem konstanten Strom von 1 A zwischen den beiden Punkten eine Leistung von 1 W umgesetzt wird.

Als **Spannungsabfall** bezeichnet man die Spannung zwischen zwei beliebigen Punkten eines Stromdurchflossenen Leiters. Sie ist stets kleiner als die Quellenspannung.

Der **Spannungsabfall** U ist der Quotient aus der im Widerstand umgesetzten Energie E_{ab} und der Ladung Q . Die Richtung des Spannungsabfalls ist die gleiche des elektrischen Stromes.

Formel:

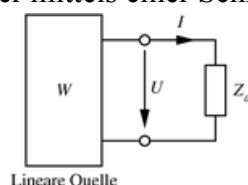
$$\boxed{U = \frac{E_{ab}}{Q}}$$

Beim **Messen der elektrischen Spannung** wird ein Spannungsmessgerät (Voltmeter) immer parallel zum Verbraucher, Bauelement oder zur Spannungsquelle angeschlossen. Bei der Messung an der Spannungsquelle wird der momentane Spannungswert gemessen. Am Verbraucher wird der Spannungsabfall an diesem einen Bauelement gemessen.

Um die zu messende Schaltung nicht zu beeinflussen, sollte der Innenwiderstand des Spannungsmessgeräts möglichst hochohmig sein.

Klemmenspannung

Klemmenspannung (auch Klemmspannung) bezeichnet die elektrische Spannung (Formelzeichen U), die zwischen den zwei Anschlüssen einer Strom- oder Spannungsquelle gemessen werden kann. Die Bezeichnung leitet sich von den Anschlüssen der Stromquellen her, hier werden bei höheren Stromstärken die verbindenden Leiter mittels einer Schraubverbindung festgeklemmt.



Sie ist die Differenz aus Leerlaufspannung (U_0) (historische Bezeichnung: Elektromotorische Kraft EMK) und dem Produkt aus Ausgangswiderstand (im allgemeinen Fall die Impedanz: Z_i) der Spannungsquelle und dem Strom (I) oder einfach Strom mal Eingangswiderstand (Z_a).

$$U = U_0 - I \cdot Z_i \text{ oder einfach } U = I \cdot Z_a$$

Bei Belastung, wenn der Spannungsquelle Strom entnommen wird, sinkt die Klemmenspannung in Abhängigkeit von der Stromstärke, bis sie im Fall eines Kurzschlusses bei Null liegt (Spezialfall der Stromanpassung). Den höchsten Wert hat die Klemmenspannung also, wenn kein Strom fließt (die Klemmen offen sind), sie also im Leerlauf ist (Spezialfall der Spannungsanpassung). Bei Leistungsanpassung ist die Klemmenspannung halb so groß wie die Leerlaufspannung. Mit der Klemmenspannung kann man Rückschlüsse auf die Beschaffenheit, richtige Funktion und Qualität der Quelle ziehen, da sich mit den Formeln (bei bekanntem Lastwiderstand) sowohl die Leerlaufspannung als auch der Ausgangswiderstand der Quelle berechnen lassen.

Leerlaufspannung

Die Leerlaufspannung oder Urspannung U_0 (oder auch Quellenspannung U_Q) ist in der Elektrotechnik die an den Klemmen eines offenen Stromkreises gemessene Spannung. Das heißt die Leerlaufspannung ist die Spannung auf der Ausgangsseite, wenn kein Verbraucher angeschlossen ist. Es fließt kein Strom.

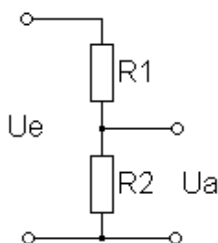
Zur Messung der Leerlaufspannung ist ein Voltmeter erforderlich, dass einen wesentlich höheren Innenwiderstand als die Quelle besitzt.

Spannungsteiler

Der Spannungsteiler ist eine Vorrichtung aus meist gleichartigen elektronischen passiven Bauteilen, die eine eingehende Spannung um einen bestimmten Pegel absenkt.

Für Gleichspannungen werden als Bauteile elektrische Widerstände eingesetzt, bei Wechselspannungen ist eine Realisierung mittels Widerständen, Kondensatoren, Transformatoren und Spulen möglich.

Der Standardaufbau besteht aus einer Reihenschaltung zweier Widerstände R_1 und R_2 .



Die Eingangsspannung U_e wird an die Gesamtschaltung angelegt, die Ausgangsspannung U_a nur an einem der Widerstände, im Bild R_2 , abgegriffen. Dann gilt für den unbelasteten Spannungsteiler (für dieses spezielle Beispiel) die Spannungsteilerformel:

$$U_a = U_e \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Etwas allgemeiner gefasst besagt die Spannungsteilerregel folgendes: In einer Reihenschaltung sind die Spannungsabfälle proportional zu den Widerständen, an denen sie abfallen.

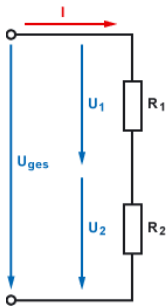
Als einfaches Beispiel, wenn $R_1 = R_2$ ist, dann gilt:

$$U_a = \frac{U_e}{2}$$

Es gibt zwei Arten von Spannungsteilern, den **unbelasteter Spannungsteiler** und den **belasteter Spannungsteiler**

Ein unbelasteter Spannungsteiler besteht aus zwei in Reihe geschalteten Widerständen R_1 und R_2 .

Die Strom- und Spannungsverteilung in unbelasteten Spannungsteilern ist identisch mit der Reihenschaltung. Hier gelten dieselben Formeln und Regeln.

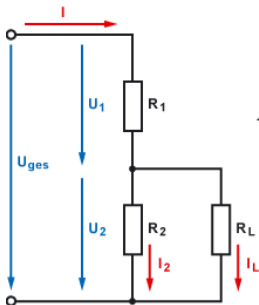


Die folgenden Formeln dienen zur Berechnung der Teilspannungen (Spannungsteilerregeln). Sie gelten aber nur, wenn durch beide Widerstände der selbe Strom fließt, also ein unbelasteter Spannungsteiler vorliegt. In diesem Fall berechnet man die Teilspannung über den Dreisatz aus.

$$U_1 = \frac{U_{ges} \cdot R_1}{R_1 + R_2} \quad U_2 = \frac{U_{ges} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Ein **belasteter Spannungsteiler** besteht aus der Reihenschaltung der Widerstände R1 und R2. Zusätzlich wird einer der beiden Widerstände durch einen Verbraucher, in diesem Fall vom Widerstand RL, belastet.

Die Schaltung wird von einer Reihenschaltung zu einer gemischten Schaltung aus Parallelschaltung ($R_2 \parallel R_L$) und Reihenschaltung ($R_1 + (R_2 + R_L)$).



Die folgende Formel dient zur Berechnung des Parallelwiderstandes im belasteten Spannungsteiler.

$$R_{2L} = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}$$

Wird der Spannungsteiler mit einem Widerstand belastet, so finden in der Schaltung folgende Änderungen statt:

- Der Gesamtwiderstand der Schaltung wird kleiner.
- Aufgrund dessen steigt der Gesamtstrom Iges.
- Der Spannungsabfall U1 am Widerstand R1 wird größer.
- Die Teilspannung U2 am Widerstand R2 wird kleiner.

Veränderliche Verbraucher können durch niederohmige Spannungsteiler mit einer einigermaßen stabilen Spannung versorgt werden. Allerdings darf ein Spannungsteiler nicht durch einen sehr kleinen Widerstand belastet werden. Das führt zu Veränderungen in der Strom- und Spannungsverteilung innerhalb der Schaltung. Dadurch wird der Spannungsteiler unbrauchbar.

Elektrischer Widerstand

Jeder Stoff leitet den elektrischen Strom unterschiedlich. Jeder Körper hat einen elektrischen Widerstand R, der als Quotient aus dem an ihm vorhandenen Spannungsabfall U und der durch ihn fließenden elektrischen Stromstärke I definiert ist.

Formelzeichen: R

Einheit: 1Ω

Formel:

$$R = \frac{U}{I}$$

Der reziproker Wert des elektrischen Widerstandes wird als elektrischer **Leitwert G** bezeichnet.

$$G = \frac{1}{R}$$

Für einen *homogenen* Stoff mit einem *konstanten* Querschnitt kann gezeigt werden, dass der elektrische Widerstand R proportional seiner Länge l und indirekt proportional der Querschnittsfläche A ist. Der Proportionalitätsfaktor ist ein Materialwert. Dieser wird als **spezifischer elektrischer Widerstand** ρ (Resistivität) bezeichnet.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Der reziproke spezifische elektrische Widerstand heißt **elektrische Leitfähigkeit** γ (Konduktivität).

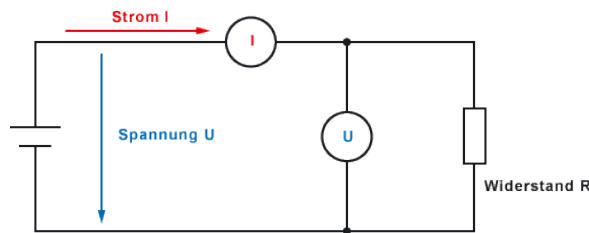
$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

Elektrischer Widerstand und Temperatur

Der spezifische elektrische Widerstand der meisten Stoffe ist mehr oder weniger stark *temperaturabhängig*. Bei Metallen nimmt er im allgemeinen mit steigender Temperatur t zu.

Das Ohmsche Gesetz

Der Physiker Georg Simon Ohm hat den Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und Widerstand festgestellt und nachgewiesen. Nach ihm wurde das Ohmsche Gesetz benannt. Mit Hilfe des ohmschen Gesetzes lassen sich die drei Grundgrößen eines Stromkreises berechnen, wenn mindestens zwei davon bekannt sind. Die drei Grundgrößen sind Spannung, Strom und der Widerstand.



Legt man einen Widerstand R an eine Spannung U und bildet einen geschlossenen Stromkreis, so fließt durch den Widerstand R ein bestimmter Strom I .

Zum Nachweis des Ohmschen Gesetzes gibt es zwei Messungen.

Messung 1

In einer Meßschaltung wird bei gleichbleibendem Widerstand (100Ω) die Spannung erhöht. Wie verhält sich der Strom?

R in Ω	100	100	100
U in V	5	10	15
I in mA	50	100	150

Bei gleichbleibendem Widerstand R und bei gleichmäßiger Erhöhung der Spannung U , steigt der Strom I mit der Spannung U .

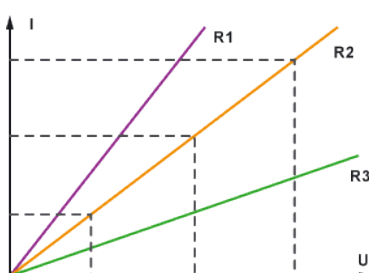
Messung 2

In einer Schaltung wird bei gleichbleibender Spannung (5 Volt) der Widerstand erhöht. Wie verhält sich der Strom?

R in Ω	50	100	150
U in V	5	5	5
I in mA	100	50	30

Bei gleichbleibender Spannung U und bei gleichmäßiger Erhöhung des Widerstandes R , verringert sich der Strom I um $1/R$.

Strom-Spannungskennlinie (Widerstandskennlinie)



Trägt man Spannungen und Ströme eines dazugehörigen Widerstandes in ein Diagramm ein und verbindet die Punkte miteinander, dann bildet sich eine gerade Linie (Gerade). Je steiler die Gerade, desto kleiner ist der Widerstand.

Formeln des Ohmschen Gesetzes

Das Ohmsche Gesetz kennt drei Formeln zur Berechnung von Strom, Widerstand und Spannung. Voraussetzung ist, dass jeweils zwei der Grundgrößen bekannt sind.

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{Liegt an einem Widerstand } R \text{ die Spannung } U, \text{ so fließt durch den Widerstand } R \text{ ein Strom } I.$$

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{Fließt durch einen Widerstand } R \text{ ein Strom } I, \text{ so liegt an ihm eine Spannung } U \text{ an.}$$

$$U = R \cdot I \quad \text{Soll durch einen Widerstand } R \text{ der Strom } I \text{ fließen, so muss die Spannung } U \text{ berechnet werden.}$$

Kirchhoffsche Regeln

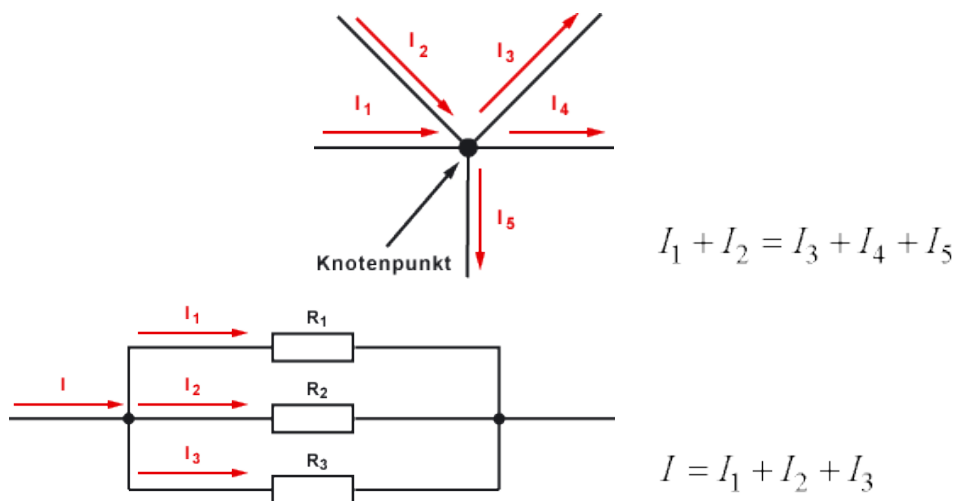
Die Kirchhoffschen Regeln und Formel werden in der Praxis eher nicht angewendet. Sie basieren hauptsächlich auf theoretischen Überlegungen. Stattdessen wird zur Berechnung von Strömen und Spannungen das Ohmsche Gesetz verwendet.

Erste Kirchhoffsche Regel (Knotenregel)

Bei der Parallelschaltung von Widerständen ergeben sich Verzweigungspunkte, sogenannte Knotenpunkte, des elektrischen Stroms.

Betrachtet man die Ströme um den Knotenpunkt herum, so stellt man fest, dass die Summe der zufließenden Ströme gleich groß ist, wie die Summe der abfließenden Ströme.

Mit Hilfe der Knotenregel können unbekannte Ströme in einem Knotenpunkt berechnet werden.



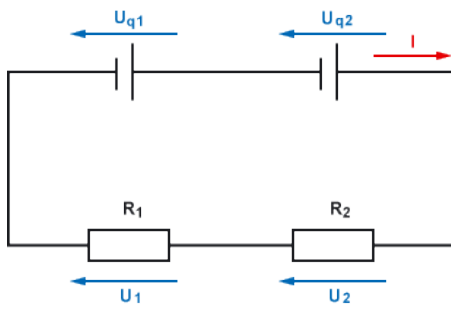
Knotenregel: In jedem Knotenpunkt ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme oder die Summe aller Ströme ist Null.

Zweite Kirchhoffsche Regel (Maschenregel)

In einem geschlossenem Stromkreis (Masche) stellt sich eine bestimmte Spannungsverteilung ein. Die Teilspannungen addieren sich in ihrer Gesamtwirkung.

Betrachtet man die Spannungen in der Schaltung, so teilt sich die Summe der Quellenspannungen U_{q1} und U_{q2} in die Teilspannungen U_1 und U_2 an den Widerständen R_1 und R_2 auf. Der Strom I ist für die Spannungsabfälle an R_1 und R_2 verantwortlich.

Die Maschenregel ermöglicht die Berechnung einer unbekannten Quellenspannung.



$$U_{q1} + U_{q2} = U_1 + U_2$$

$$U_{q1} + U_{q2} = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2$$

Maschenregel: In jedem geschlossenem Stromkreis ist die Summe der Quellenspannungen gleich der Summe aller Spannungsabfälle oder die Summe aller Spannungen ist Null.

Kurzschluss

Als einen elektrischen **Kurzschluss** bezeichnet man eine (meist ungewollte) direkte leitende Verbindung zwischen zwei aktiven elektrischen Polen, zum Beispiel zwischen dem Pluspol und dem Minuspol einer Batterie; zwischen den Außenleitern beziehungsweise einem Außen- und dem Neutraleiter bei Drehstromanlagen. Kurzschlüsse werden meist durch eine schadhaft gewordene Isolation oder durch einen Schaltungsfehler in elektrischen Anlagen bzw. Stromkreisen verursacht. Während die elektrische **Spannung dabei fast gegen Null** geht, erreicht der **elektrische Strom seinen Maximalwert**, den Kurzschluss-Strom. Dieser Strom wird nur durch den in Reihe liegenden Innenwiderstand R_i der Stromquelle begrenzt.

Der Kurzschluss-Strom beträgt daher:

$$I_K = \frac{U}{Z}$$

Ein Kurzschluss kann durch Isolationsmangel (z. B. durch Isolationsbruch, hervorgerufen durch Alterung, Isolationsveränderung durch ständige Beanspruchung der Isolationsmaterialien durch hohes elektrisches Feld, Teilentladungen genannt), erfolgen. Auch durch mechanische Beschädigungen der Isolierung auf Baustellen etc. sowie durch menschliches Versagen (Fehlschaltung in elektrischen Schaltanlagen durch Nichtbeachtung der Sicherheitsregeln) können Kurzschlüsse entstehen.

Es wird zwischen Kurzschluss durch metallische Berührung (satter Kurzschluss) und Kurzschluss über einen Fehlerwiderstand (Wirkwiderstand und Blindwiderstand) unterschieden.

Beim Kurzschluss über einen Fehlerwiderstand kann ein Lichtbogen mit eigener Lichtbogenspannung entstehen. Der Lichtbogen ist stark induktiv, er ist ein Blindwiderstand und verursacht große Phasenverschiebung.

Ein hoher **Kurzschlussstrom** kann nur entstehen, wenn zwischen der Verbindung kein Wirk- oder Blindwiderstand mehr liegt. Beträgt der Widerstand zwischen den spannungsführenden Leitern noch einen sehr geringen Wert, dann spricht man von einem "kurzschlussähnlichen" Vorgang.

Leistungsanpassung

Unter Leistungsanpassung von elektrischen Verbindungen (Schnittstellen) versteht man die optimale Leistungsübertragung von Signalen.

Bei Rundfunk- und Telefonverbindungen müssen bei sehr langen Leitungen die Impedanzen leistungsangepasst werden (Widerstandsanpassung), um Reflexionen des Signals an den Verbindungen der Leitung zu verhindern, die störende Echos verursachen.

In der Nachrichten- und Hochfrequenztechnik wird die Leistungsanpassung als Matching bezeichnet. Dabei werden die Ein- und Ausgangsimpedanzen von elektronischen Bauteilen, wie Filter, Verstärker, usw., auf die normierten 50Ω angepasst.

In der Tontechnik und im HiFi-Bereich gibt es bei der üblichen Verbindung von Geräten anstatt der Leistungsanpassung allein die dort vorteilhafte Spannungsanpassung, die mit Bridging bezeichnet wird. Bei jeder Schnittstelle egal ob digital oder analog bildet der Ausgangswiderstand der Quelle mit dem Eingangswiderstand der Last eine Anpassungsdämpfung. Besonders ist hier der

Dämpfungsfaktor für die Spannungsanpassung bei der Schnittstelle vom Endverstärker zum Lautsprecher zu beachten. Bei digitalen Schnittstellen ist Leistungsanpassung üblich.

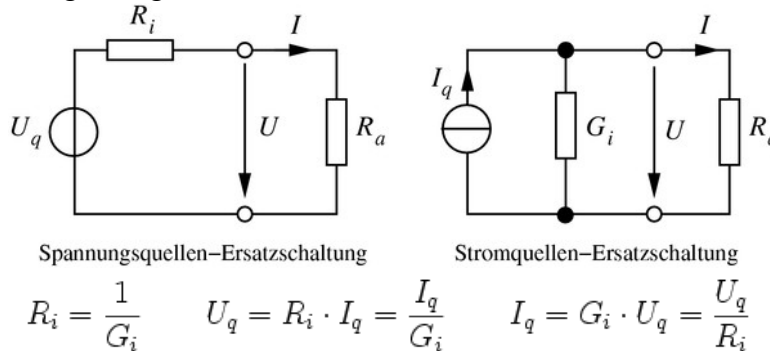
Leistungsanpassung von elektrischen Geräte-Verbindungen

Reflexionen und Leistungsverluste können bei Fehlanpassung auch bei Koaxialleitungen zwischen Antennen und Empfängern wie beispielsweise Fernseher, Satellitenempfänger oder Radio auftreten. Auch in breitbandigen Kabel-Datennetzen und Kabelverbindungen für steile Impulse treten bei Fehlanpassung Reflexionen und verformte Flanken auf, was zu Fehlern führt.

Daher muss darauf geachtet werden, dass alle Komponenten die Kabel mit der korrekten Impedanz (50...75 Ohm bei Koaxialkabeln, 100...150 Ohm bei Zweidrahtleitungen / twisted pair) abschließen. Bei der analogen Telefontechnik ist 600 Ohm bei der Schnittstelle als Ausgangswiderstand und Eingangswiderstand üblich.

Leistungsanpassung von elektrischen Generatoren - Signalgeneratoren

Ein Schaltkreis wird als "leistungsangepasst" bezeichnet, wenn der Außenwiderstand R_a und der Innenwiderstand R_i gleich groß sind, also $R_i = R_a$ ist.



Wenn $R_i \gg R_a$ dann bricht die Klemmenspannung U nahezu zusammen, die Leistung ist also klein.

Wenn $R_i \ll R_a$ ist der Strom sehr klein, was ebenfalls zu einer geringen Leistung führt,

Erinnerung: $P = U \cdot I$. Der Wert der maximalen Leistungsabgabe liegt bei $R_i = R_a$, daraus folgt.

$$P = P_{max} = \frac{U_q^2}{4R_i}$$

Bei einer ohm'schen Quellimpedanz kann genau dann maximale Leistung auf den Verbraucher übertragen werden, wenn die Ausgangsspannung 50% der Leerlaufspannung beträgt.

Bei Stromversorgungsgeräten und Generatoren gilt dieser Zusammenhang auch, jedoch würden diese dadurch überlastet. Sie arbeiten nahezu in Spannungsanpassung, d.h. die Ausgangsspannung sollte bei Nennbelastung nur wenig absinken.

Poggendorfschen Kompensationsschaltung

Bei einer Poggendorfschen Kompensationsschaltung handelt es sich um eine elektrische Schaltung zur stromlosen Spannungsmessung. Dabei wird ein variabler Widerstand so eingestellt, dass kein Strom mehr fließt. Die Spannung am variablen Widerstand ist dann gleich der unbekannten Spannung. Mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes kann nun die Spannung berechnet werden. Zur Strommessung wird meist ein Galvanometer oder Amperemeter verwendet.

B. Versuchsdurchführung

- zu 1. Benutzen Sie zur Messung der Klemmspannung folgende Meßinstrumente: ein einfaches Drehspulmeßgerät (Meßbereich 2,5 V, Innenwiderstand $10^4 \Omega/V$), ein Vielfachmeßgerät/Typ UNI 10 (Meßbereich 2,5 V, Innenwiderstand $10^5 \Omega/V$), und ein Digitalvoltmeter (Innenwiderstand $>10^6 \Omega/V$).

Erfassen Sie die Meßwerte für die Spannungen in tabellarischer Form und diskutieren Sie die Unterschiede. Beachten Sie die Genauigkeitsklassen der verwendeten Meßgeräte.

- zu 2. Bauen Sie die vorgegebene Kompensationsschaltung nach POGGENDORFF **ohne Anschluß der Spannungsquellen** auf und lassen Sie diese vom Dozenten kontrollieren.

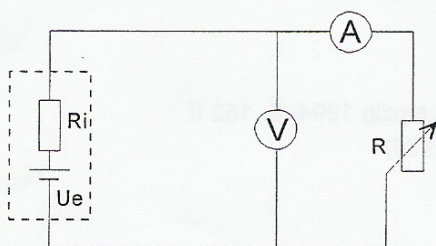
Beachten Sie, daß die Summe $R_1 + R_2$ stets 10.000Ω betragen soll, damit die Belastung der Hilfsspannungsquelle konstant bleibt. Wenn also R_1 um einen Betrag ΔR erhöht wird, ist R_2 um denselben Betrag zu verringern oder umgekehrt. Den Grobabgleich beginnt man mit der kleinsten Galvanometerempfindlichkeit (0,001).

Zuerst wird die Spannung des Normalelements U_N angeschlossen. Der temperaturabhängige Wert kann der am Normalelement befestigten Tabelle entnommen werden. Bei kurzzeitigem Drücken des Schalters wird der Galvanometerausgang beobachtet und die Spannungskompensation durch Variation von R_1 und R_2 angestrebt. Wenn das Galvanometer *annähernd* stromlos ist, wird die Empfindlichkeit des Galvanometers erhöht und der Feinabgleich durchgeführt.

Analog verfährt man bei der Kompensation der unbekannten Spannung U_x . Aus den entsprechenden Widerständen und der Spannung des Normalelements kann U_x ermittelt werden.

ACHTUNG! Normalelemente dürfen nur gering belastet werden! Bei allen Kompensationsmessungen ist auf die richtige Polung zu achten!

- zu 3. Messen Sie nach Aufbau der Schaltung für R von 1Ω bis 100Ω in 5Ω -Schritten die Strom- und Klemmspannungswertepaare an einem alkalischen Sammler. Im Bereich der maximalen Leistungsaufnahme sind die Meßwerte noch dichter zu legen. Berechnen Sie den gesamten Außenwiderstand R_a ($R + R_i$ -Amperemeter!) aus U und I . Bestimmen Sie aus der grafischen Darstellung $P_a = f(R_a)$ den Innenwiderstand des alkalischen Sammlers.



- zu 4. Stellen Sie die Strom- und Klemmspannungswerte (U_k über I) grafisch dar (Lastkennlinie). Aus der Geradengleichung können die gesuchten Werte U_E , I_K und R_i bestimmt werden.

C. Auswertung

1.) Messung an verschiedenen Spannungsquellen:

	Voltmeter	Vielfachmeßgerät	Digitalvoltmeter
U Akku	1,3 V	1,31 V	1,32 V
U Batterie	1,5 V	1,52 V	1,54 V

Die Unterschiede aus den Messwerten stammen aus den unterschiedlichen Innenwiderständen der Messgeräte. Je genauer man die Urspannung der Spannungsquelle messen möchte, desto höher muss auch der Innenwiderstand dieses sein.

Die Spannungsquelle selbst besitzt einen gewissen Innenwiderstand, an den somit eine bestimmte Spannung abfällt.

Um so größer der Widerstand des Messgerätes ist desto mehr Spannung fällt an diesem ab. Dies ist die hier im Experiment gemessene Spannung.

ERGO:

Hat man eine Spannungsquelle mit hohem Innenwiderstand, braucht man ein Messgerät mit einem viel höheren Innenwiderstand um die Urspannung so genau als möglich zu messen.

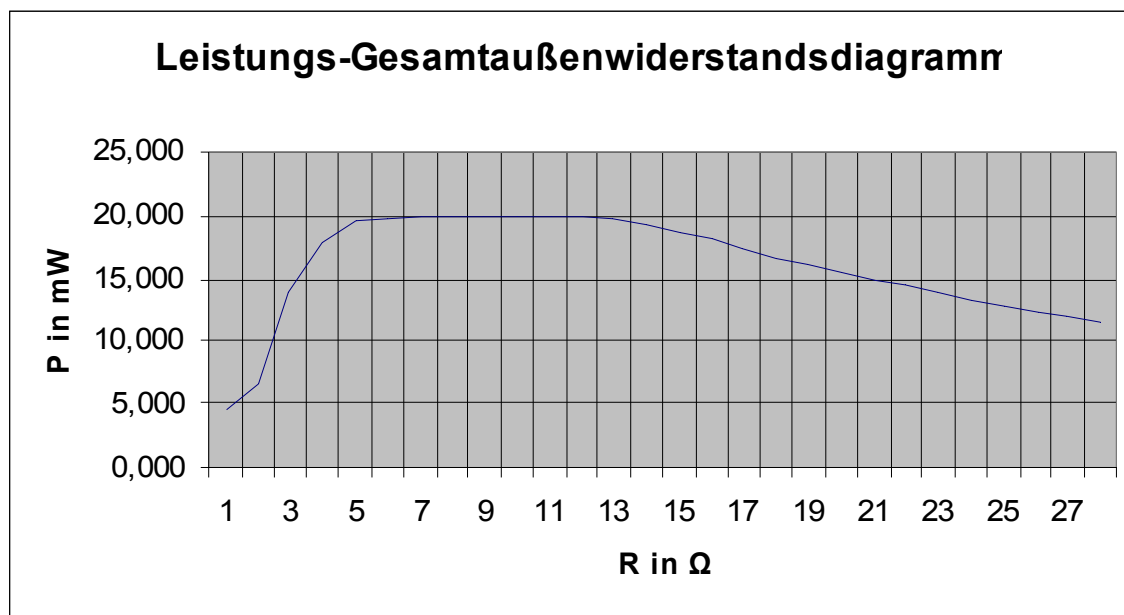
3.) Strom- und Klemmspannungswertepaare + Leistung:

R in W	U _K in V	I in A	R _a in W	P in mW
0	0,082	0,056	1,464	4,592
1	0,123	0,055	2,245	6,740
5	0,293	0,047	6,234	13,771
10	0,449	0,040	11,253	17,915
15	0,563	0,035	16,225	19,536
17	0,601	0,033	18,267	19,773
18	0,619	0,032	19,283	19,870
19	0,635	0,031	20,223	19,939
20	0,652	0,031	21,307	19,951
21	0,667	0,030	22,308	19,943
22	0,681	0,029	23,242	19,953
23	0,695	0,029	24,301	19,877
25	0,721	0,027	26,314	19,755
30	0,778	0,025	31,371	19,294
35	0,825	0,023	36,344	18,728
40	0,864	0,021	41,340	18,058
45	0,898	0,019	46,289	17,421
50	0,927	0,018	51,500	16,686
55	0,952	0,017	56,331	16,089
60	0,975	0,016	61,321	15,503
65	0,994	0,015	66,267	14,910
70	1,012	0,014	71,268	14,370

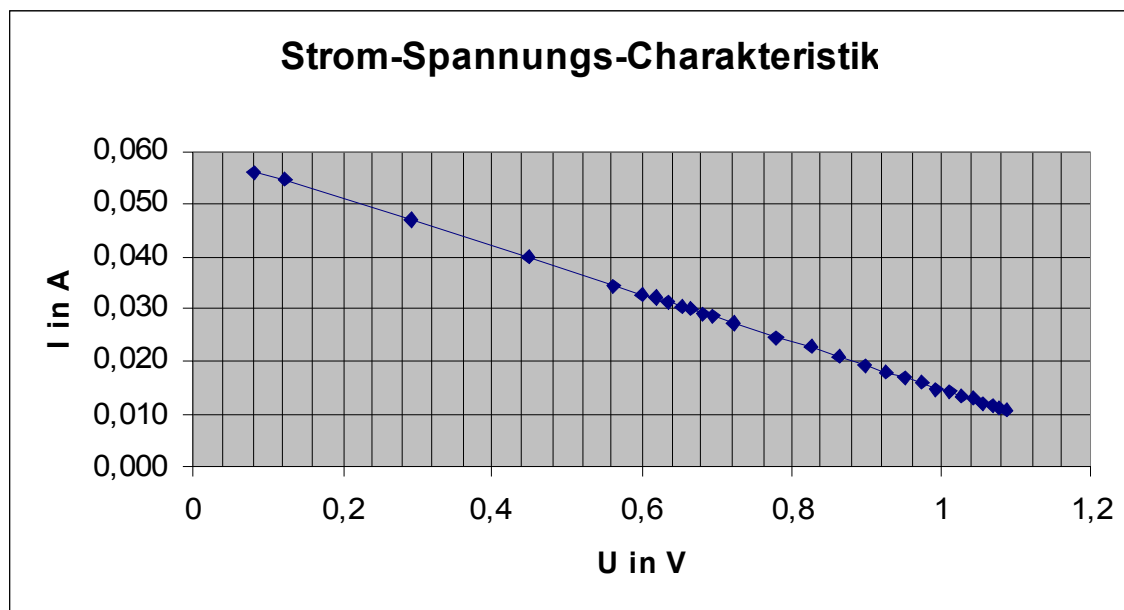
75	1,028	0,013	76,716	13,775
80	1,042	0,013	81,406	13,338
85	1,055	0,012	86,475	12,871
90	1,067	0,012	91,983	12,377
95	1,078	0,011	97,117	11,966
100	1,088	0,011	101,682	11,642

Bei maximaler Leistungsabgabe ist $R_a = R_i$.

Daraus folgt bei $P_{\max} = 19,953 \text{ mW}$ ist $R_a = R_i = 23,342 \Omega$



4.)



Aus der Trendlinie lassen sich folgende Werte entnehmen:

Urspannung: 1,3579 V

Kurzschlussstrom: 0,0258 A

Innenwiderstand: 23,342 Ω

Mittelwert für R_i : $\frac{1}{n} * \sum \left(\frac{(U - U)}{(-I)} \right) = 23,675 \, \Omega$

Standardabweichung für R_i : $0,124 \, \Omega$

Maximale Leistungsaufnahme: max. Rechteck unter der Trendlinie

$P_{\max} = 19,748 \, \text{mW}$