

6. Elektrische Messtechnik

ohne Grafiken!

6.1 Messfehler

Jede physikalische und elektrische Messung stellt einen Eingriff in das zu messende System dar, wodurch der Messwert mehr oder weniger verfälscht werden kann. Diese **systematischen Fehler** lassen sich rechnerisch korrigieren. Hinzu kommen **umgebungsbedingte Messfehler**, **Anzeigefehler** (technisch bedingt) und **Ablesefehler** (menschlich bedingt). Im schlimmsten Fall addieren sich all diese Fehler, deshalb möchte man jede Fehlerart möglichst klein halten.
Behandlung von Messfehlern siehe Kapitel 6.6 !

6.2 Messen von Strömen

Ein Strommesser oder **Ampèremeter** wird zum Verbraucher geschaltet.

Da auch ein Strommesser einen gewissen Eigenwiderstand (**Innenwiderstand**) hat, ist der Gesamtwiderstand nach Einfügen eines Ampèremeters grösser, und der gemessene Strom verkleinert sich dadurch etwas. Deshalb:

Ampèremeter müssen einen möglichst **kleinen** Innenwiderstand haben, also möglichst wenig Spannungsabfall erzeugen. So ist die Störung des zu messenden Systems am kleinsten.

6.3 Messen von Spannungen


Ein Spannungsmesser oder **Voltmeter** wird.....zum Verbraucher geschaltet.

Da auch ein Spannungsmesser einen gewissen Eigenwiderstand hat, wird die Quelle durch das Anschliessen eines Voltmeters etwas mehr belastet, und die gemessene Spannung verkleinert sich. Deshalb:


Voltmeter müssen einen möglichst **grossen** Innenwiderstand haben, also eine möglichst schwache Last für die Quelle darstellen. So ist die Störung des zu messenden Systems am kleinsten.

6.5 Häufigste Arten von Messwerken

Dreheisenmessgerät

<u>Funktionsprinzip</u>	<u>Eigenschaften</u>
<p>Eine feststehende Spule wird vom Messstrom durchflossen und erzeugt ein Magnetfeld. Ein Eisenkern an einer Feder wird in das Magnetfeld hineingezogen. Mit dem Eisenkern ist ein Zeiger verbunden. Der Ausschlag des Zeigers ist proportional zur Grösse des Stromes</p>	<ul style="list-style-type: none">• polaritäts<u>un</u>abhängig, das heisst, positiver und negativer Stromfluss führen zum gleichen Zeigerausschlag (in die gleiche Richtung). Somit• für Gleich- und Wechselstrom geeignet• zeigt bei Wechselstrom den Effektivwert• relativ grosser Eigenverbrauch (= rel. kleiner Innenwiderstand bei Spannungsmessern)• kleine elektrische Empfindlichkeit• ziemlich überlastungsfest• Symbol: 

Drehspulmessgerät

<u>Funktionsprinzip</u>	<u>Eigenschaften</u>
<p>Eine drehbar gelagerte Spule wird vom Messstrom durchflossen. Sie dreht sich in einem Magnetfeld eines Dauermagneten. Die stromdurchflossene Spule erzeugt ebenfalls ein Magnetfeld. Dadurch dreht sich die Spule in ihrer Position. Mit der Spule ist ein Zeiger verbunden. Der Ausschlag des Zeigers ist proportional zur Grösse des Stromes</p>	<ul style="list-style-type: none">• polaritäts<u>ab</u>hängig, somit• nur für Gleichstrom/-spannung geeignet• falsche Polarität treibt den Zeiger rückwärts• zeigt bei schwankendem Gleichstrom den Mittelwert an• kleiner Eigenverbrauch (relativ hoher Innenwiderstand bei Spannungsmessern)• grosse elektrische Empfindlichkeit• nicht überlastfest!• wenn es für Wechselstrom benutzt werden soll, muss ein Gleichrichter vorgeschaltet werden (er macht aus Wechselstrom Gleichstrom).• Symbol: 

Oszilloskop (volle (alte) Bezeichnung: Kathodenstrahl-Oszillograph, abgekürzt KO)

<u>Funktionsprinzip</u>	<u>Eigenschaften</u>
<p>Ein Elektronenstrahl trifft auf einen Bildschirm. Er wird von horizontalen und vertikalen Ablenkplatten auf dem Schirm herumgelenkt.</p> <p>Die Horizontalablenkung stellt die Zeit dar: Der Strahl saust im Ruhezustand immer von links nach rechts über den Schirm.</p> <p>Die Vertikalablenkung folgt der Messgrösse.</p> <p>Ein Gleichstrom / Gleichspannung erscheint als horizontale Gerade. Die vertikale Lage des Strahls ist proportional zur Spannung. Ein Wechselstrom erscheint in der entsprechenden Kurvenform.</p>	<ul style="list-style-type: none">• kann positive und negative Spannungen darstellen• für Gleich- und Wechselspannung geeignet• zeigt den zeitlichen Verlauf der Messgrösse an• Die Messgrösse wird verstärkt, deshalb• sehr kleiner Eigenverbrauch (hoher Innenwiderstand)• sehr grosse elektrische Empfindlichkeit• überlastfest

Digitalmessgeräte

<u>Funktionsprinzip</u>	<u>Eigenschaften</u>
<p>Die zu messende Spannung wird mit einer internen Referenzspannung in ein Verhältnis gesetzt. Dieses Verhältnis wird in den Messwert umgerechnet. Der Messwert wird dann einer bestimmten Stufe zugeordnet (digitalisiert). Dieser Stufenwert wird dann digital angezeigt.</p> <p>Es gibt Anzeigen mit "halben" Stellen. Eine halbe Stelle bedeutet, dass die vorderste Stelle nur die Werte 1, 0 und -1 annehmen kann. <u>Beispiel:</u> Ein 3,5-stelliges Display hat einen Anzeigebereich von z.B. -1.999V bis +1.999V.</p>	<ul style="list-style-type: none">• kann positive und negative Spannungen anzeigen• nur für Gleichspannung geeignet• nimmt in regelmässigen Zeitabständen eine Probe von der Messgrösse (Sample)• zeigt den Momentanwert der Messgrösse an• Die Messgrösse wird verstärkt, deshalb• extrem kleiner Eigenverbrauch (sehr hoher Innenwiderstand)• extrem grosse elektrische Empfindlichkeit• nicht überlastfest!

WICHTIG:

Digitalmessgeräte sind **nicht generell genauer** als analoge !!!

Häufig wird Genauigkeit nur **vorgetäuscht** bzw. vom Benutzer **vermutet!**

Eine **Auflösung** von beispielsweise 4 Stellen **bedeutet NICHT** eine **GENAUIGKEIT** von 4 Stellen!

Bei Digitalanzeigen wird lediglich der Ablesefehler praktisch ausgeschlossen.

6.5.1 Angaben auf Messinstrumenten

Auf Messwerken oder Vielfachmessgeräten (Multimetern) können folgende Angaben stehen: Einheit der Messgrösse, Toleranz / Genauigkeit, Art des Messwerks, Nennlage, Prüfspannung, Messbereich (entspricht meist dem Skalenwert).

Innenwiderstand:

Bei Multimetern (mit mehreren Messbereichen) wird der Innenwiderstand in Ω/V angegeben. Das heisst, dass der wirksame Innenwiderstand **vom gewählten Messbereich abhängig** ist. Die Voltzahl ist dabei der Wert für den Endausschlag (englisch: full scale) des gewählten Messbereichs.

Wenn also ein Innenwiderstand von $10k\Omega/V$ angegeben ist, so hat das Messgerät z.B. im 3 V Bereich $30 k\Omega$ Innenwiderstand, im 100-V-Bereich $1M\Omega$.

6.6 Fehlerbehandlung, Genauigkeit von Messgeräten

Analoginstrumente (Zeigerinstrumente)

Angabe des Fehlers in Klassen:

Klasse	0,1	1	2	5
Bedeutet: Relativer Fehler	0,1 % des Messbereichs- endwerts (full scale)	1 % des Messbereichs- endwerts	2 % des Messbereichs- endwerts	5 % des Messbereichs- endwerts

Beispiel:

Ein Voltmeter der Klasse 1,5 / Messbereich 200 V

a) **Absoluter** Fehler in Volt? 1,5 % von 200 V = +/- 3V

b) **Relativer** Fehler:

bei +/-3V von 200 V = 1,5 %

bei +/-3V von 50 V: = 6% !

Je kleiner der Messwert, desto grösser der relative Fehler!

Digitalinstrumente

Sie haben Fehler-Angaben in % +/- x **Digits** (x steht für eine Ziffer)

Bedeutung:

Eine Fehler-Angabe z.B.: +/-1% +/- 3 Digits

Bedeutet: +/- 1% des **angezeigten** Werts, zusätzlich:

+/- 3 Einheiten der **hintersten** Stelle

Beispiel:

Ein Messgerät mit der Fehlerangabe

+/- 1%, +/- 3 Digits und der aktuellen, 4-stelligen Anzeige 12.00 V:

Absoluter Fehler:

+/- 1% von 12 V = +/- 120 mV

zusätzlich

+/- 3 Digits: 1 Digit entspricht 10mV, also 3 Digits = 30 mV

+/- 3 Digits = +/- 30 mV

Also im schlimmsten Fall (Fehler addieren sich) : **+ / - 150 mV** (absoluter Fehler)

Relativer Fehler

Bei 12 V Anzeige: = 150mV / 12 V = 0.0125 = 1,25 %

Auch hier: Der relative Fehler ist umso grösser, je kleiner der Messwert ist.

Wenn man z.B. mit dem oben genannten Messgerät nur 200mV statt 12V misst, so heisst das für den Fehler:

+/- 1% = +/- 2mV

+/- 3 Digits = +/- 30 mV

Gesamtfehler absolut = +/- 32 mV

Relativfehler = 32mV von 200mV = 16%!

6.7 Erweitern des Messbereichs

Irgendwann ist der Zeiger oder die Anzeige bei jedem Messgerät "am Anschlag". Was also, wenn man grössere Grössen messen will? Nun muss man den Messbereich mit Hilfe externer Widerstände erweitern:

<u>Erweitern des Spannungsmessbereichs</u>	<u>Erweitern des Strommessbereichs</u>
<p>Die zu messende Spannung ist für das Messgerät zu gross, sie muss verkleinert werden. Sie wird mit einem Spannungsteiler aufgeteilt auf das Messgerät und einen anderen "Verbraucher". Das bedeutet: Man muss einen Vorwiderstand R_V in Serie schalten.</p>	<p>Der zu messende Strom ist für das Messgerät zu gross, er muss verkleinert werden. Er wird mit einem Stromteiler (Knoten) aufgeteilt auf das Messgerät und einen anderen "Verbraucher". Das bedeutet: Man muss einen Nebenwiderstand R_N parallel schalten. Ein solcher Nebenwiderstand heisst Shunt.</p>
<p>Wenn man die doppelte Spannung der maximalen Spannung für das Messwerk messen will, muss R_V gleich dem Innenwiderstand R_i des Messgeräts sein. So liegt über R_i nur die Hälfte der Spannung. Für die 3-fache Spannung muss $R_V = 2 \cdot R_i$ sein. Für die 4-fache Spannung muss $R_V = 3 \cdot R_i$ sein. Für die 5-fache Spannung muss $R_V = 4 \cdot R_i$ sein. usw.</p>	<p>Wenn man den doppelten Strom messen will, muss R_N gleich dem Innenwiderstand R_i des Messgeräts sein. So fliesst durch R_i nur die Hälfte des Stromes. Für den 3-fachen Strom muss $R_N = R_i / 2$ sein. Für den 4-fachen Strom muss $R_N = R_i / 3$ sein. Für den 5-fachen Strom muss $R_N = R_i / 4$ sein. usw.</p>

6.7.1 Beispiele zur Messbereichserweiterung und zum Messen von Widerständen

Vorbemerkung: Bei im Handel erhältlichen Zeigermessinstrumenten ist der **Maximalstrom**, der für einen Vollausschlag nötig ist, sowie der Innenwiderstand angegeben.

Zu beachten: Meist wird der **Strom** auch dann angegeben, wenn das Messinstrument für **Spannungsmessungen** benutzt wird.

Aufgabe 1:

Man möchte ein 30 μ A-Messwert mit einem Innenwiderstand von 500 Ohm für die Messung von Spannungen von 0 bis 50 Volt benutzen.

Wie muss der Widerstand dazu geschaltet werden und wie gross ist er?

Aufgabe 2:

Ein unbekannter Widerstand wird mit der Stromfehlerschaltung bestimmt.

Das Voltmeter hat einen Innenwiderstand von 500 Ohm und zeigt 27 Volt an. Der Strommesser hat einen Innenwiderstand von 0,2 Ohm und zeigt 450 mA an.

Welcher Wert lässt sich für den Widerstand berechnen?

a) ohne Korrektur (ohne Berücksichtigung des Stromfehlers)

b) mit Korrektur

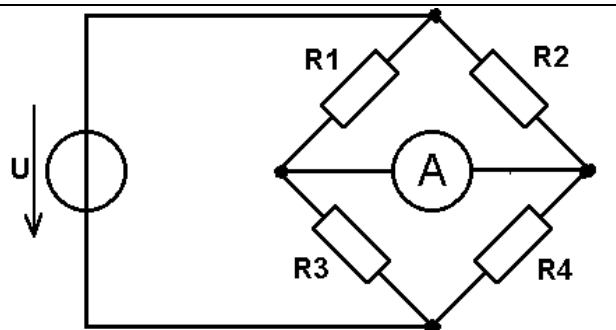
6.8. Die WHEATSTONE-Messbrücke, eine spezielle Messschaltung

6.8.1 Allgemeines

Brückenschaltungen sind ringförmige Schaltungen aus meistens 4 Elementen. Häufig werden Brückenschaltung als auf der Ecke stehendes Viereck gezeichnet. Weitere Elemente sind jeweils an gegenüberliegenden Knoten angeschlossen.

Die gezeichnete Widerstandsbrücke heisst **Wheatstonesche Messbrücke**:

An zwei Aussenpunkten liegt eine Spannungsquelle, an den Mittelanschlüssen liegt ein empfindliches Messgerät (für Strom oder Spannung).
Wenn an den Punkten A und B das **gleiche Potential** herrscht, so misst das Messgerät **null** (keine Spannung, kein Strom). In diesem Zustand spricht man von einer **abgeglichenen Brücke**. Für die Widerstände muss in diesem Zustand gelten:



$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ oder auch } \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

Das heisst, R1 und R2 bilden einen Spannungsteiler mit selben Verhältnissen wie R3 und R4. Oder auch: R1 und R3 bilden einen Spannungsteiler mit selben Verhältnissen wie R2 und R4.

Statt R1/R2 oder R1/R3 oder R3/R4 kann auch ein Potentiometer eingesetzt werden.

Wichtig: Der **Innenwiderstand des Messgeräts** und allfällige **Widerstände in Serie oder parallel zum Messgerät** spielen **keine Rolle!** Denn es wird ja auf null abgeglichen.