Versuchsprotokoll
WS 93/94 / Do.1 / Platz 11

Frank Pilhofer, Andreas Friedel
Donnerstag, 21. Oktober 1993
Elektronik - Praktikum / Analog - Teil

Oszillograph, Signalgenerator, Drehspulmeßinstrumente

Versuch 0

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 2

Grundlagen 2

- Aufbau einer Braun'schen Röhre 2
- Aufbau eines Oszillographen 2
- Aufbau eines Drehspulmeßinstruments 3

Einfache Experimente mit dem Oszillographen 4

- Spannungsmessung mit dem Oszillographen 4
- Messung der Periodendauer und Triggern 4
- Oszillograph und Funktionsgenerator 5
- Oszillograph und Frequenzzähler 5
- Lissajous-Figuren 5
- Phasendifferenz zweier Signale 6

Umgang mit Drehspul-Meßinstrumenten 6

- Messen einer Gleichspannung 6
- Messen eines Widerstandes 7
- Stromverzweigung 7
- Spannungsteiler 8
- Erweiterung des Meßbereichs 8
  - Erweiterung des Spannungsmeßbereichs 8
  - Erweiterung des Strommeßbereichs 9

Einleitung

Der erste Versuch ist als Einführung in die Welt der analogen Elektronik zu verstehen. Die wichtigsten Arbeitsgeräte werden vorgestellt; anhand einiger Grundversuche wird die Arbeit mit ihnen geübt. Im einzelnen handelt es sich um Oszillograph, Volt- bzw. Ampèremeter, Frequenzzähler und Signalgenerator.

Grundlagen

Aufbau einer Braun'schen Röhre

Die Kathodenstrahlröhre oder Braun'sche Röhre ist z.B. in Fernsehern und natürlich auch im Oszillographen enthalten. Elektronen werden beschleunigt und auf eine Leuchtschicht geschossen, wo sie einen Lichtpunkt erzeugen. Durch geeignete Ansteuerung können beliebige Muster auf der Leuchtschicht entstehen.

Zunächst werden an einer Glühkathode Elektronen emittiert. Die Glühkathode befindet sich in einem leicht negativ geladenen Wehneltzylinder. Hier werden Elektronen gesammelt und über ein kleines Loch im Zylinder leicht fokussiert. Haben die Elektronen diese Hürde genommen, werden sie von einer starken Spannung (ca. 2000V) beschleunigt und mittels einer Fokussierelektrode weiter gebündelt. An dieser Stelle verlassen die Elektronen den Beschleunigungsbereich der Röhre und kommen in den Ablenkbereich. Der Strahl durchläuft zwei getrennte X- und Y- Ablenkbereiche, die jeweils aus 2 Kondensatorplatten bestehen. Wird an diese Platten eine Spannung angelegt, wird der Strahl entsprechend abgelenkt. Mittels dieser Mechanismen ist jeder Punkt auf dem Schirm zu erreichen.

Die Aufbauskizze einer Braun'schen Röhre befindet sich im Anhang.

Aufbau eines Oszillographen

Der Oszillograph ist im Grunde nichts anderes als eine Braun'sche Röhre mit geeignet beschalteten Eingängen. Das hier verwendete Gerät bietet zwei Eingänge, die einzeln oder gemeinsam dargestellt werden können. In der einfachsten Betriebsart wird ein einzelner Kanal auf dem Schirm dargestellt. Das Eingangssignal wird unter entsprechender Verstärkung an die Y-Platten gelegt, ein (zeitlich wählbarer) Sägezahngenerator liefert die Spannung für die X- Ablenkung. So zeigt der Bildschirm ein mehr oder weniger klares Bild des 1. Kanals. Das weniger klar ergibt sich, wenn der Sägezahngenerator kein vielfaches der Frequenz des Signals liefert. So würde bei jedem neuen Bild der linke Rand bei einer anderen Phase des Eingangssignales beginnen, auf dem Bildschirm wäre nichts sinnvolles mehr abzulesen.

Die nächste sinnvolle Ergänzung ist daher ein sogenannter "Trigger". Dieser Überwacht das Eingangssignal, und läßt den Sägezahngenerator genau dann loslaufen, wenn am Eingang eine

bestimmte Spannung über- bzw. unterschritten wird. Auf diese Weise ergibt sich ein ruhendes Bild auf dem Schirm. Der Vollständigkeit halber kann noch erwähnt werden, daß der Trigger auf beiden Kanälen operieren oder auch über ein externes Signal gesteuert werden kann.

Sollen zwei Signale auf dem Bildschirm betrachtet werden, so gibt es 3 Möglichkeiten. Zum einen können beide Signale unter Abklemmung des Sägezahngenerators auf die zwei Achsen gelegt werden (XY- Betrieb), weiterhin gibt es die "alternierende" und die "chopper-" Betriebsart. Im alternierenden Betrieb wird abwechselnd ein Bild beider Signale auf den Schirm geschrieben. Bei einer hohen Bildwiederholfrequenz ist diese Möglichkeit vorzuziehen, da das menschliche Auge die kurzen Unterbrechungen bei den einzelnen Signalen nicht nachvollziehen kann und beide Signale als stehend empfindet. Im chopper-Betrieb werden abwechselnd kurze Stücke beider Signale dargestellt. Dies empfiehlt sich bei kurzer Bildwiederholfrequenz, da hier pro Zeiteinheit nur sehr kurze Stücke geschrieben werden und das Auge die kleinen Leerstellen nicht wahrnimmt.

Eine weitere Besonderheit des Oszillographen wartet am Eingang auf die Signale und ist durch die beiden Betriebsarten "Wechselstrom" und "Gleichstrom" beschrieben. Dies hängt damit zusammen, daß mit einem Oszillographen immer Änderungen in der Eingangsspannung möglichst genau betrachtet werden sollen. Nehmen wir an, irgendwo soll eine Spannung von 10V anliegen; die Schwankungen um diesen Wert herum sollen beobachtet werden. An dieser Stelle setzt die "Wechselstrom"-Betriebsart an. Durch Vorschaltung eines Kondensators werden alle Gleichspannungsanteile des Eingangssignals (eben jene 10V) herausgefiltert, so daß die zu beobachtenden Schwankungen allein betrachtet werden können.

Wiederum findet sich das Blockschaltbild eines Oszillographen im Anhang.

Aufbau eines Drehspulmeßinstruments

Das Herz eines Drehspulmeßinstruments ist ein spiralfedergelagerter, spulenumwickelter Weicheisenzylinder, der sich im Magnetfeld eines Permanentmagneten befindet. Fließt durch die Spule ein Strom, so entsteht eine dem Stromfluß entsprechende tangentiale Kraft auf die Spule, der Weicheisenzylinder beginnt, sich zu drehen. Eine Gegenkraft wird durch die Spiralfeder aufgebaut. Jeweils dem Stromfluß entsprechend werden sich beide Kräfte bei einer bestimmten Auslenkung die Waage halten.

Die nun erreichte Auslenkung wird mittels eines auf dem Zylinder angebrachten Zeigers übertragen und kann auf der Anzeige abgelesen werden.

Ein Drehspulmeßinstrument kann als Strommesser, Spannungsmesser und, ein wenig außer Konkurrenz, als Widerstandsmesser eingesetzt werden. Im ersten Fall wird das Instrument mit möglichst niedrigem Innenwiderstand in Reihe, im zweiten Fall mit möglichst hohem Innenwiderstand parallel zum Verbraucher geschaltet. Bei der Widerstandsmessung wird über eine

Batterie eine bekannte Spannung an den zu messenden Widerstand gelegt. Anhand des fließenden Stroms kann dann der Widerstand entsprechend angezeigt werden.

Eine Skizze des Aufbaus eines Drehspulmeßinstruments befindet sich ebenfalls im Anhang.

Einfache Experimente mit dem Oszillographen

Spannungsmessung mit dem Oszillographen

In diesem ersten Versuch wird zunächst mit einem variablen Netzgerät eine Gleichspannung erzeugt. Diese wird nun am Oszillographen und am Drehspulmeßinstrument abgelesen. Es zeigt sich, daß beide Werte übereinstimmen.

Nun wird eine Wechselspannung erzeugt und ebenfalls an Drehspulmeßinstrument und Oszillographen abgelesen. Hier zeigt sich ein Unterschied: Während am Meßgerät 6,8V angezeigt werden, wird die Spannungsamplitude am Oszillographen mit 9,4V abgelesen. Diese Diskrepanz erklärt sich über die Definition des Wechselstroms. Hier wird im Meßgerät die Effektivspannung angezeigt. Die Effektivspannung wurde beim Wechselstrom eingeführt, um Leistungsdaten mit Gleichstromspannungen vergleichen zu können. Die Leistung ergibt sich, Wechselstrom oder Gleichstrom, als $P = UI = \frac{U^2}{R}$. Bei Wechselstrom ändert sich die Spannung zeitlich, es muß hier über einen sinnvollen Zeitbereich, z.B. eine halbe Periode summiert werden: $P_{\sim} = \frac{1}{R}\hat{U}^2 \frac{2}{T}\int_0^{T/2} \sin^2 \omega t\, dt = \frac{1}{\pi R}\hat{U}^2 \int_0^{\pi} \sin^2 x\, dx$. Wegen $\int_0^{\pi} \sin^2 x = \int_0^{\pi} \cos^2 x$ und $\int_0^{\pi} \sin^2 x + \int_0^{\pi} \cos^2 x = \int_0^{\pi} 1$ folgt $\int_0^{\pi} \sin^2 x = \frac{\pi}{2}$ und demnach $P_{\sim} = \frac{1}{2R}\hat{U}^2$. Um trotz dieses Unterschiedes dennoch mit der gleichen Formel wie beim Gleichstrom arbeiten zu können, wurde der Begriff der Effektivspannung eingeführt, diese wurde als $U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{U}$ definiert, damit wird, wie beim Gleichstrom, $P_{\sim} = \frac{1}{R}U_{eff}^2$.

Bei dem Wechselspannungsversuch ist es egal, ob der Eingang des Oszillographen auf der Stellung DC oder AC steht. Bei der AC- Stellung wird im Gerät ein Kondensator vorgeschaltet, um evtl. Gleichspannungsanteile herauszufiltern. Da hier jedoch mit einer mehr oder weniger idealen Wechselspannung ohne Gleichspannungsanteil gearbeitet wird, ist die Schalterstellung hier unwichtig.

Messung der Periodendauer und Triggern

Über den Oszillographen soll nun die Dauer einer Schwingungsperiode bestimmt werden, woraus im folgenden die Frequenz des Eingangssignals bestimmt werden kann. Das Signal des Netzgerätes lieferte auf dem Schirm eine Schwingung mit der Länge einer Periode von 9,7cm.

Die Zeitbasis zeigte 2ms/cm, eine Schwingungsperiode hatte also eine Länge von 19,4ms, was einer Frequenz von 51,5Hz entspricht.

Um die Wirkung des Triggers zu erkunden, wurde an dem entsprechenden Drehknopf herumgespielt. Dabei verschob sich das Bild auf dem Schirm: Der Sägezahngenerator wurde genau dann angestoßen, wenn das Eingangssignal einen bestimmten Wert hatte. Über einen weiteren Schalter konnte festgelegt werden, ob dieser Anstoß bei einem ansteigenden oder abfallenden Signal erfolgen sollte.

Es zeigte sich auch, daß der Bildschirm dunkel blieb, wenn auf einen Wert getriggert wurde, der vom Eingangssignal nicht erreicht wurde.

Oszillograph und Funktionsgenerator

In diesem Versuch wird mit dem Drehspulmeßgerät die Effektivspannung verschiedener vom Frequenzgenerator erzeugter Signale gemessen. Die Amplitudenspannung $\hat{U}$ wurde jeweils auf 2V eingestellt. Bei einem Sinussignal zeigte das Meßgerät 1,4V, bei einem Dreiecksignal 1V, bei einer Rechteckspannung 2V. Quantitativ lassen sich die Werte für Dreieck und Rechteck wie oben nachrechnen, es ergibt sich $P_{\wedge} = \frac{1}{4R}\hat{U}^2$, $P_{\neg} = \frac{1}{R}\hat{U}^2$.

Oszillograph und Frequenzzähler

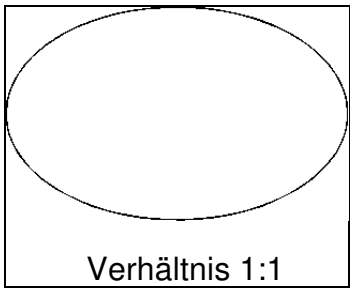
Über den Frequenzgenerator wurde ein Signal zufälliger Frequenz erzeugt. Die Periodendauer und Frequenz wurde zunächst am Oszillographen abgelesen und dann über einen Frequenzzähler kontrolliert.

Das Signal hatte eine Wellenlänge von 3,5cm bei 200µs/cm, was einer Periodendauer von 700µs und einer Frequenz von 1428,5Hz entspricht. Der Frequenzzähler zeigte eine Frequenz von 1,4203kHz bei einer Meßdauer von 10s, bei kürzeren Meßdauern wurden entsprechend weniger Stellen angezeigt. Die Periodendauer ermittelte das Gerät mit 703,8µs.

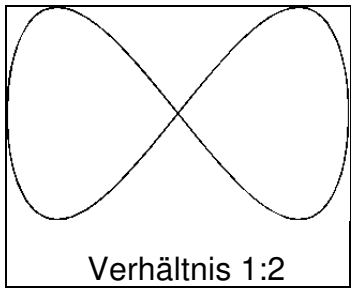
Lissajous-Figuren

An den 1. Kanal des Oszillographen wurde der Frequenzgenerator, an den 2. Kanal ein 50Hz Netztrafo angeschlossen und in den XY- Betrieb umgeschaltet. Bei festen Frequenzverhältnissen beider Signale entstand auf dem Bildschirm ein stehendes Bild, eine Lissajous-Figur. Hier ein paar der Figuren:

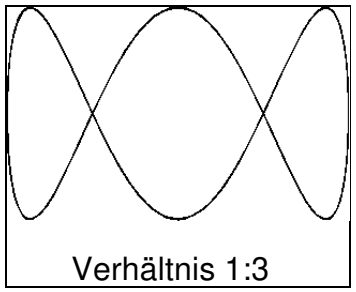
(Anmerkung: Da es ziemlich unübersichtlich wäre, auf dem beigelegten Zettel mehrere Figuren in ein Diagramm zu zeichnen, werden die Grafiken gleich hier abgedruckt.)



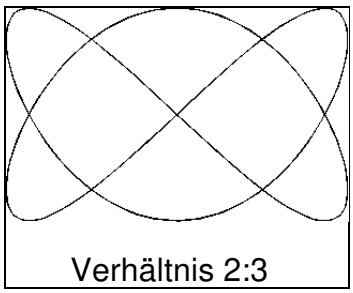
Verhältnis 1:1



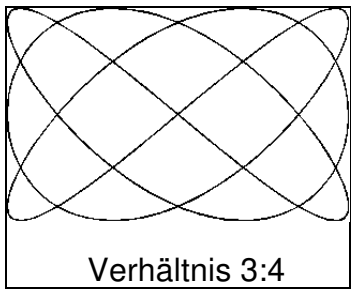
Verhältnis 1:2



Verhältnis 1:3

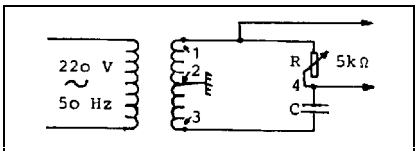


Verhältnis 2:3



Verhältnis 3:4

Phasendifferenz zweier Signale



Schaltung zur Phasenverschiebung

Ein Signal des Transformators wurde nun direkt an einen Kanal des Oszillographen gelegt, ein zweites wurde über die nebenstehende Schaltung in der Phase verschoben. Auf dem Bild eilt nun das zweite Signal dem ersten voraus. Die Verschiebung kann am Oszillographen leicht abgelesen werden. Wurde die Periodendauer auf 9cm eingestellt, so errechnet sich die Verschiebung aus $\alpha = 2d$, wobei d der Abstand der Nulldurchgänge des zweiten vom gleichen Nulldurchgang des ersten Signals ist.

In der in der Skizze (im Anhang) dargestellten Messung ergab sich mit einem Kondensator von $1\mu F$ und einem Widerstand von $15,3k\Omega$ eine Verschiebung von $d = 7,9cm$, was einer Phasenverschiebung von 160° entspricht.

Umgang mit Drehspul-Meßinstrumenten

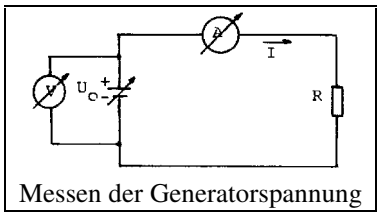
Messen einer Gleichspannung

Die Spannungen der Einbau-Netzgeräte wurden mit beiden Meßinstrumenten kontrolliert.

Steht das Instrument auf einem Strom-Meßbereich, so besitzt es nur einen (möglichst vernachlässigbar) kleinen Innenwiderstand. Wird es nun wie zur Spannungsmessung parallel zum Verbraucher geschaltet, entsteht ein Kurzschluß; der Strom im Meßinstrument steigt auf astronomische Werte und zerstört im günstigsten Fall nur ein paar Sicherungen, wenn nicht das komplette Gerät.

Messen eines Widerstandes

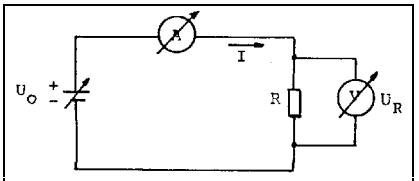
In diesem Versuch soll ein unbekannter Widerstand auf 3 Weisen gemessen werden: zum einen über die Generatorspannung, zweitens über die Verbraucherspannung und drittens mit einem geeigneten Meßinstrument.



Messen der Generatorspannung

Im ersten Teil wird also die Generatorspannung über die nebenstehende Schaltung bestimmt. Bei einer Spannung von 15V floß ein Strom von 0,9mA, wonach sich der Widerstand als 16,7kΩ berechnet.

Im zweiten Teil wird die Verbraucherspannung wie in der rechten Schaltung gemessen. Bei einer Spannung von 13,6V wurde ein Stromfluß von 1,54mA gemessen, was einem Widerstand von 8,83kΩ entspricht.



Messen der Verbraucherspannung

Zwischen beiden Meßwerten klafft also eine riesige Differenz, so daß nach der Aussagekraft beider Messungen gefragt werden muß.

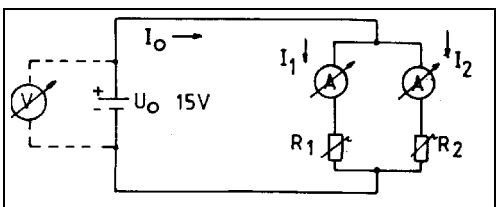
Bei der ersten Messung wird genau der durch den Widerstand fließende Strom, jedoch die über Verbraucher und Strommesser abfallende Spannung gemessen. Im Idealfall sollte der Innenwiderstand des Strommessers 0 sein, doch ist dies nicht möglich. Bei der Spannungsmessung wird das Ergebnis also verfälscht. Zu vernachlässigen ist die über den Strommesser abfallende Spannung erst, wenn der Verbraucherwiderstand recht groß ist.

Bei der zweiten Messung wird genau die am Widerstand abfallende Spannung, jedoch der durch Spannungsmesser und Verbraucher fließende Strom gemessen. Da auch hier der Spannungsmesser nicht den idealen Innenwiderstand von unendlich hat, entstehen hier ebenfalls Fehler, die nur zu vernachlässigen sind, wenn der Verbrauchswiderstand klein ist und so nur dementsprechend wenig Strom über das Meßgerät fließt.

Da der hier ausgemessene Widerstand im Kiloohm-Bereich liegt, sollte der ersten Messung "mehr" Glauben geschenkt werden, was auch durch die dritte Messung mit dem Meßgerät bestätigt wird; laut diesem handelt es sich bei dem unbekannten Widerstand um 15kΩ.

Stromverzweigung

Mit der rechts dargestellten Schaltung sollte das Kirchhoff'sche Gesetz nachgeprüft werden. Im ersten Fall wurde $R_1 = R_2 = 10k\Omega$ gesetzt. Gemessen wurden die Ströme $I_1 = 1,38mA$ und $I_2 = 1,5mA$. Theoretisch sollten beide Ströme gleich sein; der Unterschied dürfte also aus unterschiedlichen Innenwiderständen der



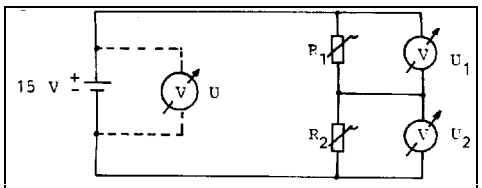
Stromteilerschaltung

Meßgeräte oder nicht exakt gleicher Widerstände herrühren. Der Unterschied zum Kirchhoff'schen Gesetz ist 4%.

Auch in zwei folgenden Meßreihen sollte das Kirchhoff'sche Gesetz überprüft werden. In der einen wurden die zwei 10-Kiloohm-Widerstände durch jeweils 1 Kiloohm. Nun flossen Ströme von $I_1 = 13,8mA$ und $I_2 = 14,5mA$. Drittens wurden verschiedene Widerstände eingesetzt, einer zu $1k\Omega$ und einer zu 500Ω, wodurch die Ströme $I_1 = 13,8mA$ und $I_2 = 30mA$ flossen. Bei den kleineren Widerständen werden die Unterschiede zum Gesetzestext immer deutlicher. In der zweiten Messung beträgt die Abweichung 6%, in der dritten ebenfalls 3%. Hier machen sich zum einen Meßfehler und die Innenwiderstände der Meßgeräte immer stärker bemerkbar. Mit der zweiten Messung als Referenzmessung ergeben sich Innenwiderstände im Metravo von $15V = 13,8mA \cdot (10k\Omega + R_{Met}) \Leftrightarrow R_{Met} \approx 87\Omega$ und analog $R_{Mult} = 34,5\Omega$.

Spannungsteiler

Die nebenstehende Schaltung wurde mit der Aufgabe im Auge aufgebaut, die gegebene Spannung von 15V aus dem Netzgerät in zwei Stufen von 13,5V und 1,5V zu teilen. Laut Aufgabenstellung soll die Gesamtbelastung $P = UI = \frac{1}{R}U^2$ der Widerstandsdekade von 2,5W nicht überschritten werden, so daß ein Mindestwiderstand von $R_{Min} = 90\Omega$ eingeschaltet werden muß.

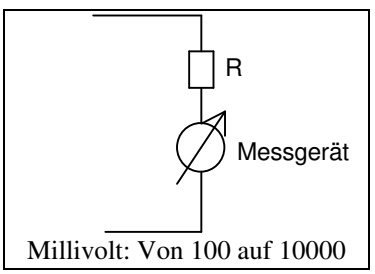


Spannungsteilerschaltung

Für den Spannungsteiler gilt $U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U$. Geeignete Widerstände, die natürlich auch groß genug sind, um die einzelnen Widerstände der Dekade nicht zu gefährden, haben die Widerstände $R_1 = 900k\Omega$ und $R_2 = 100k\Omega$. Dennoch haben diese hohen Widerstandswerte einen Nachteil: Die Innenwiderstände der Meßgeräte fallen hier wieder ins Gewicht. Obwohl die theoretische Beziehung erfüllt ist, teilt sich die Spannung nicht exakt wie gewünscht auf, sondern $U_1 = 13,6V$ und $U_2 = 1,3V$.

Erweiterung des Meßbereichs

Erweiterung des Spannungsmeßbereichs

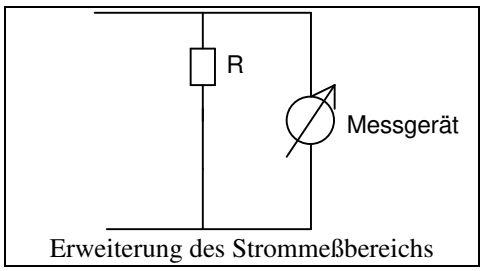


Millivolt: Von 100 auf 10000

Hier wird die Spannungsteilerschaltung verwendet. Wenn das Meßgerät in der Grundausstattung Vollausschlag anzeigt, so fließen 1mA durch einen Widerstand von 100Ω; hierzu ist eine Spannung von 100mV nötig. Der neue Meßbereich muß also von 10V auf 100mV heruntergeteilt werden. Hierzu ist nach der oben angegebenen Formel für einen Spannungsteiler ein Vorwider-

stand von R=9900Ω nötig. Um diesen aus 0,01mm Konstantan herzustellen, werden $l = \frac{\pi d^2}{4\rho} R$, also $l = 1,6m$ Draht benötigt. Wird stattdessen ein Draht von 1mm Dicke verwendet, verlängert sich die lange Leitung auf $l = 16km$

Erweiterung des Strommeßbereichs



Erweiterung des Strommeßbereichs

Die Erweiterung des Ampèrebereichs erfolgt logischerweise mit einer Stromteilerschaltung. Bei einer Vollauslastung mit 1mA liegt an dem 100Ω Widerstand des Meßgerätes eine Spannung von 100mV an. In der Formel für den Spannungsteiler, $I_{ges} = I_W + I_M$, mit $I_{ges} = 1A$, unserem erweiterten Bereich. Der maximal durch das Gerät fließende Strom ist $I_M = 1mA$. Daher ist $I_w = \frac{100mV}{R} = 0,999A$, weshalb $R \approx 0,1\Omega$ ist. Damit läßt sich natürlich auch wieder die Länge des nötigen Konstantan-Drahtes berechnen, welcher nach obiger Formel für 1mm Dicke $l = 64cm$, für 0,01mm jedoch der Kürze halber $l = 64\mu m$ ist.