

# **Grundlagenversuche**

# **Elektrotechnik / Elektronik**

**1. Auflage**





## Vorwort

Das vorliegende Handbuch

**„Grundlagenversuche Elektrotechnik / Elektronik“**

dient zur Durchführung von Versuchen in der Elektrotechnik und Elektronik mit CONATEX Lehr- und Lernsystemen.

Die einzelnen Themen sind wie folgt gegliedert:

- Allgemeines
- Versuchsteil, bestehend aus Aufgabenstellung (Versuch) und Versuchsablauf

Unter dem Abschnitt Allgemeines erfolgt eine kurze Einführung zum Thema des jeweiligen Versuchs. Auf eine ausführliche theoretische Beschreibung wurde hier aufgrund der zum Teil umfangreichen Materie bewusst verzichtet.

Zur Vertiefung der Theorie und als begleitendes Versuchsmaterial wird auf die vom Buchhandel empfohlenen Lehrbücher zu diesen Themengebieten verwiesen.

Zur Erleichterung der Versuchsdurchführung sind die erforderlichen Tabellen und Diagramme bereits vorgegeben.

Am Ende des Buches befindet sich zur Überprüfung und Eigenkontrolle ein ausführlicher Lösungsteil zu den in den Versuchen gestellten Aufgaben und Fragen.

---



## Inhaltsverzeichnis

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Elektrischer Stromkreis</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Ohmsches Gesetz</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Spannungs- und Stromfehlerschaltung</b> .....                                  | <b>11</b> |
| <b>4</b>  | <b>Elektrische Widerstände</b> .....  | <b>13</b> |
| 4.1       | Grundlagen.....   | 13        |
| 4.2       | Linearer Widerstand.....  | 15        |
| 4.3       | NTC-Widerstand (Heißeiter).....   | 17        |
| 4.4       | PTC-Widerstand (Kaltleiter).....  | 19        |
| 4.5       | Fotowiderstand (LDR).....   | 21        |
| 4.6       | Reihenschaltung von Widerständen.....   | 23        |
| 4.7       | Parallelschaltung von Widerständen.....   | 25        |
| 4.8       | Mischung von Reihen- und Parallelschaltung.....                                   | 27        |
| 4.9       | Unbelasteter Spannungsteiler.....   | 30        |
| 4.10      | Belasteter Spannungsteiler.....   | 31        |
| <b>5</b>  | <b>Ersatzspannungsquelle</b> .....  | <b>33</b> |
| <b>6</b>  | <b>Reihenschaltung von Spannungsquellen</b> .....                                 | <b>37</b> |
| <b>7</b>  | <b>Parallelschaltung von Spannungsquellen</b> .....                               | <b>39</b> |
| <b>8</b>  | <b>Elektrische Leistung und Arbeit</b> .....                                      | <b>41</b> |
| <b>9</b>  | <b>Wirkungsgrad der elektrischen Leistung</b> .....                               | <b>46</b> |
| <b>10</b> | <b>Spannungs-, Strom- und Leistungsanpassung</b> .....                            | <b>47</b> |
| <b>11</b> | <b>Ermittlung und Darstellung von Kenngrößen in der Wechselstromtechnik</b> ..... | <b>49</b> |
| 11.1      | Grundlagen.....   | 49        |
| 11.2      | Kenngrößen der Sinusspannung.....   | 49        |
| 11.3      | Wirkleistung bei Sinusspannung.....   | 53        |
| 11.4      | Kenngrößen der Rechteckwechselspannung.....                                       | 57        |
| <b>12</b> | <b>Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)</b> .....                                   | <b>61</b> |
| 12.1      | Grundlagen.....   | 61        |
| 12.2      | Spannungsverlauf bei Drehstromsystemen.....                                       | 63        |
| 12.3      | Verbraucher in Sternschaltung.....  | 67        |
| 12.4      | Verbraucher in Dreieckschaltung.....  | 71        |
| 12.5      | Messungen an fehlerhafter Sternschaltung.....                                     | 75        |
| 12.6      | Messungen an fehlerhafter Dreieckschaltung.....                                   | 79        |
| <b>13</b> | <b>Kondensator im Wechselstromkreis</b> .....                                     | <b>83</b> |
| 13.1      | Grundlagen.....   | 83        |
| 13.2      | Lade- und Entladevorgang eines Kondensators.....                                  | 85        |

---

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 13.3      | Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung am Kondensator .....       | 89         |
| 13.4      | Kapazitiver Blindwiderstand eines Kondensators .....                      | 91         |
| 13.5      | Reihenschaltung von Kondensatoren .....                                   | 93         |
| 13.6      | Parallelschaltung von Kondensatoren.....                                  | 95         |
| 13.7      | Blindleistung eines Kondensators .....                                    | 97         |
| <b>14</b> | <b>Spule im Wechselstromkreis .....</b>                                   | <b>101</b> |
| 14.1      | Grundlagen.....   | 101        |
| 14.2      | Ein- und Ausschaltvorgang an einer Spule .....                            | 103        |
| 14.3      | Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung an einer Spule .....       | 107        |
| 14.4      | Induktiver Blindwiderstand einer Spule .....                              | 109        |
| 14.5      | Reihenschaltung von Spulen.....   | 111        |
| 14.6      | Parallelschaltung von Spulen .....  | 113        |
| 14.7      | Blindleistung einer Spule.....  | 115        |
| <b>15</b> | <b>Zusammenschaltung von Widerstand, Kondensator und Spule .....</b>      | <b>119</b> |
| 15.1      | Grundlagen.....   | 119        |
| 15.2      | Reihenschaltung von Widerstand und Kondensator.....                       | 119        |
| 15.3      | Parallelschaltung von Widerstand und Kondensator .....                    | 123        |
| 15.4      | Reihenschaltung von Widerstand und Spule .....                            | 127        |
| 15.5      | Parallelschaltung von Widerstand und Spule.....                           | 131        |
| 15.6      | Reihenschaltung von Kondensator und Spule .....                           | 135        |
| 15.7      | Parallelschaltung von Kondensator und Spule .....                         | 139        |
| 15.8      | Reihenschaltung von Widerstand, Kondensator und Spule .....               | 143        |
| 15.9      | Parallelschaltung von Widerstand, Kondensator und Spule .....             | 147        |
| 15.10     | Wirk-, Blind- und Scheinleistung .....                                    | 151        |
| <b>16</b> | <b>Transformator, Übertrager .....</b>                                    | <b>155</b> |
| 16.1      | Grundlagen.....   | 155        |
| 16.2      | Kopplungsgrad .....   | 155        |
| 16.3      | Übersetzungsverhältnis.....   | 157        |
| 16.4      | Widerstandstransformation .....   | 159        |
| <b>17</b> | <b>Dioden .....</b>   | <b>161</b> |
| 17.1      | Wirkung des PN-Übergangs bei Dioden .....                                 | 161        |
| 17.2      | Kennliniendarstellung von Dioden verschiedener Halbleiterwerkstoffe ..... | 163        |
| 17.3      | Einpuls-Mittelpunktschaltung M1 .....                                     | 165        |
| 17.4      | Durchlass- und Sperrkennlinie von Z-Dioden .....                          | 169        |
| 17.5      | Gleichspannungsbegrenzung mit Z-Dioden.....                               | 171        |
| 17.6      | Spannungsstabilisierung mit Z-Dioden .....                                | 177        |
| 17.7      | Leuchtdioden .....  | 179        |

---

|                        |   |            |
|------------------------|---|------------|
| <b>18</b>              | <b>Transistoren</b> .....   | <b>183</b> |
| 18.1                   | Prüfen der Schichtung und des Gleichrichterhaltens von bipolaren Transistoren ..... | 183        |
| 18.2                   | Stromverteilung im Transistor und Steuerwirkung des Basisstroms .....               | 187        |
| 18.3                   | Die Kennlinien des Transistors .....  | 191        |
| 18.4                   | Einfluss des Arbeitswiderstandes auf die Transistoreigenschaften .....              | 196        |
| 18.5                   | Verstärkergrundsaltungen mit bipolaren Transistoren .....                           | 201        |
| 18.6                   | Stromregler mit Transistor .....  | 206        |
| 18.7                   | Phasenumkehrstufe mit Transistor .....  | 209        |
| 18.8                   | Sinusgenerator mit RC-Glied .....   | 211        |
| <b>19</b>              | <b>Thyristoren</b> .....  | <b>213</b> |
| 19.1                   | Thyristortriode (Thyristor).....  | 213        |
| 19.2                   | Gleichspannungsschalter mit Thyristoren.....  | 218        |
| <b>20</b>              | <b>Operationsverstärker</b> .....   | <b>221</b> |
| 20.1                   | Operationsverstärker als invertierender Verstärker .....                            | 221        |
| 20.2                   | Operationsverstärker als nichtinvertierender Verstärker .....                       | 225        |
| 20.3                   | Operationsverstärker als Summierer .....  | 228        |
| 20.4                   | Operationsverstärker als Differenzverstärker .....                                  | 233        |
| 20.5                   | Dynamisches Verhalten des Operationsverstärkers .....                               | 237        |
| <br><b>Lösungsteil</b> |   |            |
| 1                      | Elektrischer Stromkreis .....   | L 1        |
| 2                      | Ohmsches Gesetz.....  | L 2        |
| 3                      | Spannungs- und Stromfehlerschaltung .....   | L 4        |
| 4                      | Elektrische Widerstände .....   | L 5        |
| 5                      | Ersatzspannungsquelle.....  | L 17       |
| 6                      | Reihenschaltung von Spannungsquellen .....  | L 18       |
| 7                      | Parallelschaltung von Spannungsquellen.....   | L 19       |
| 8                      | Elektrische Leistung und Arbeit .....   | L 21       |
| 9                      | Wirkungsgrad der elektrischen Leistung.....   | L 23       |
| 10                     | Spannungs-, Strom- und Leistungsanpassung.....                                      | L 24       |
| 11                     | Ermittlung und Darstellung von Kenngrößen in der Wechselstromtechnik .....          | L 27       |
| 12                     | Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) .....  | L 31       |
| 13                     | Kondensator im Wechselstromkreis .....  | L 37       |
| 14                     | Spule im Wechselstromkreis.....   | L 45       |
| 15                     | Zusammenschaltung von Widerstand, Kondensator und Spule.....                        | L 51       |
| 16                     | Transformator, Übertrager .....   | L 61       |
| 17                     | Dioden .....  | L 63       |

---

|    |                           |      |
|----|---------------------------|------|
| 18 | Transistoren.....         | L 73 |
| 19 | Thyristoren.....          | L 91 |
| 20 | Operationsverstärker..... | L 95 |

**Anhang**

|   |     |
|---|-----|
| Verwendete Kurz- und Formelzeichen .....                                      | A 1 |
| Zusammenstellung der steckbaren Bauelemente .....                             | A 5 |
| Technische Angaben zu den im Handbuch verwendeten Mess- und Netzgeräten ..... | A 8 |

---



## 1 Elektrischer Stromkreis

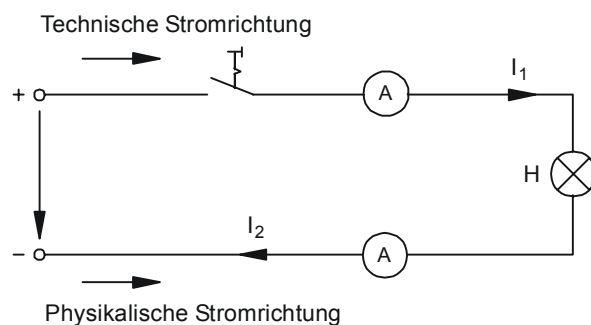
### 1.1 Grundlagen

Ein einfacher elektrischer Stromkreis ist eine Schaltung, die durch eine ununterbrochene Drahtverbindung in sich geschlossen ist. Im Stromkreis muss sich als Antrieb für den Strom eine Spannungsquelle befinden. Das Gerät, in dem die Energie des elektrischen Stroms die gewünschte Nutzwirkung hervorruft, ist der Verbraucher (hier: Glühlampe). Zum Schließen oder Unterbrechen des Stromkreises ist ein Schalter eingebaut.

Elektrischer Strom ist die gerichtete Bewegung von Ladungen (Elektronen) in einem metallischen Leiter. Werden negative und positive Ladungen voneinander getrennt, ist elektrischer Strom möglich.

- **negative** Ladung: Elektronenüberschuss
- **positive** Ladung: Elektronenmangel

Wird an einen Stromkreis eine Spannungsquelle angeschlossen, findet ein Ladungsausgleich statt, d. h., elektrische Spannung ist das Bestreben der Ladungen, sich auszugleichen. Ursache für den elektrischen Strom ist die Spannung.



Die Richtung, in die der Strom durch die Leitungen fließt, wurde als **technische Stromrichtung** vereinbart, d.h., der Strom fließt außerhalb der Spannungsquelle vom Pluspol zum Minuspol.

Als **physikalische Stromrichtung** oder Elektronenstromrichtung bezeichnet man die Flussrichtung der Elektronen durch einen Stromkreis; sie fließen vom Minuspol zum Pluspol.

Abb. 1.1.1 Elektrischer Stromkreis

#### 1.1.1 Elektrische Grundgrößen

- **Stromstärke:** Die elektrische Stromstärke  $I$  ist die Ladungsmenge  $Q$ , die pro Sekunde durch einen Leiterquerschnitt fließt.  
$$I = \frac{Q}{t}$$
- **Spannung:** Wie schon oben erwähnt, werden in einer Spannungsquelle Ladungen getrennt, dabei entsteht die elektrische Spannung  $U$ . Dies wird als elektrischer Energiezustand bezeichnet, da die Ladungen bestrebt sind, sich wieder auszugleichen.  
$$E = Q \cdot U$$
- **Widerstand:** Der elektrische Widerstand ist die Behinderung des Elektronenflusses durch einen Werkstoff.  
$$R = \frac{U}{I}$$

Tab. 1.1.1.1 gibt eine Übersicht über die hier verwendeten vier Grundgrößen des Stromkreises.

| Größe       | Formelzeichen | Einheit              | gebräuchliche Einheiten |
|-------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| Ladung      | Q             | 1 As = 1 C (Coulomb) | mC                      |
| Stromstärke | I             | 1 A = 1 Ampere       | mA, $\mu$ A             |
| Spannung    | U             | 1 V = 1 Volt         | mV, kV                  |
| Widerstand  | R             | 1 $\Omega$ = 1 Ohm   | k $\Omega$ , M $\Omega$ |

Tab. 1.1.1.1

### 1.1.2 Vorbereitungen zum Messen mit einem Multimeter

Zum Messen der drei Grundgrößen I, U und R wird ein Multimeter verwendet. Vor dem Anschluss eines Multimeters sind folgende Einstellungen zu beachten:

- Nullpunkteinstellung (Kalibrierung)
- Strom- / Spannungsart: - / ~ (DC / AC)
- Der Messbereich ist auf das zu erwartende Messergebnis einzustellen.
- Richtige Anschlussbuchsen für Messleitungen
- Richtiger Anschluss am Stromkreis bzw. Bauteil



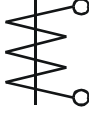









Abb. 1.1.2.1 Digitales Multimeter



Abb. 1.1.2.2 Analoges Multimeter

### 1.1.3 Genormte Symbole auf Messgeräten

- Drehspulmesswerk 
  - Drehspulmesswerk mit Gleichrichter 
  - Dreheisenmesswerk 
  - Gebrauchslage: vertikal 
  - Gebrauchslage: horizontal 
  - Stromart: nur Wechselstrom 
  - Stromart: nur Gleichstrom 
  - Gleich- und Wechselstrom 
  - Gebrauchsanweisung beachten! 
  - Prüfspannung: 2 kV = 2000 V 
-

### 1.1.4 Anschluss von elektrischen Messgeräten:

Anschluss als **Voltmeter** (Abb. 1.1.4.1):

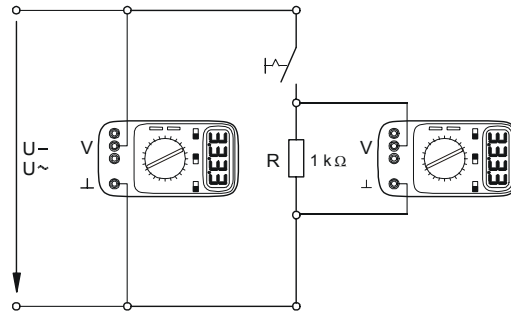


Abb. 1.1.4.1 Voltmeter

Anschluss als **Amperemeter** (Abb. 1.1.4.2):

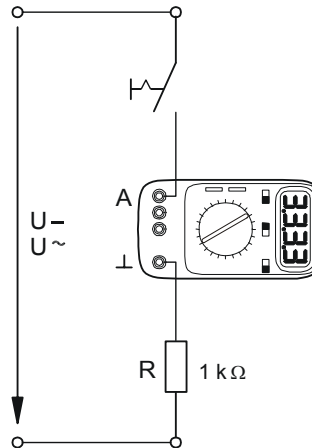


Abb. 1.1.4.2 Amperemeter

Anschluss als **Ohmmeter** (Abb. 1.1.4.3):

Der zu messende Widerstand muss vom Stromkreis getrennt sein!

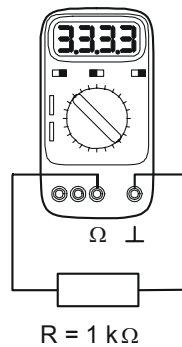


Abb. 1.1.4.3 Ohmmeter

## 1.2 Versuchsteil

### Versuch

Es ist ein einfacher elektrischer Stromkreis gemäß der Schaltung in Abb. 1.2.1 aufzubauen und durch Messen herauszufinden, ob der Strom an allen Stellen des Stromkreises gleich groß ist, wie sich der Strom beim Öffnen des Stromkreises und bei nicht angeschlossener Spannungsquelle verhält.

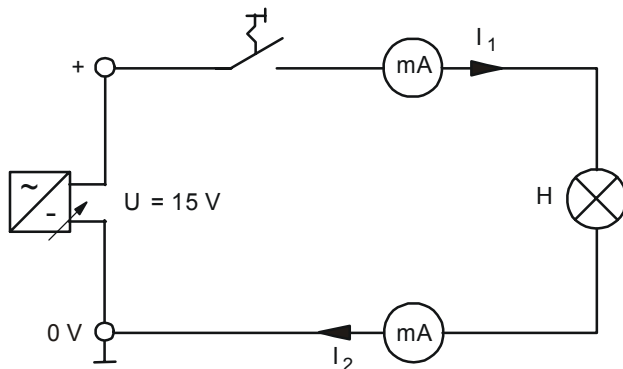


Abb.1.2.1

### Versuchsablauf

- An die Schaltung Abb. 1.2.1 ist eine Gleichspannung von 15 V anzulegen. Bei unterbrochenem Stromkreis (Schalter offen) und bei geschlossenem Stromkreis (Schalter geschlossen) ist zu messen, ob und in welcher Höhe ein Strom fließt und wann die Lampe leuchtet.
- Die ermittelten Stromwerte sowie der jeweilige Zustand der Lampe (ein/aus) sind in die Tab. 1.2.1 einzutragen.
- Anschließend ist zu prüfen, ob bei nicht angeschlossener Spannungsquelle und bei geschlossenem Schalter noch ein Strom fließt.

| Schalter    | $I_1$ [mA] | $I_2$ [mA] | Lampe ein | Lampe aus |
|-------------|------------|------------|-----------|-----------|
| geschlossen |            |            |           |           |
| geöffnet    |            |            |           |           |

Tab. 1.2.1

$I_1 =$

$I_2 =$



## 2 Ohmsches Gesetz

### 2.1 Allgemeines

Durch das Ohmsche Gesetz wird der mathematische Zusammenhang zwischen der elektrischen Spannung  $U$ , dem elektrischen Strom  $I$  und dem Widerstand  $R$  wiedergegeben.

In einem geschlossenen Stromkreis verändert sich bei konstantem Widerstand der Strom proportional zur Spannung. Wird bei konstanter Spannung der Widerstand verändert, verhalten sich Strom und Widerstand umgekehrt proportional zueinander.

$$I = \frac{U}{R} \quad / \quad U = I \cdot R \quad / \quad R = \frac{U}{I}$$

$I$  = Elektrischer Strom, Einheit: Ampere [A]

$U$  = Elektrische Spannung, Einheit: Volt [V]

$R$  = Elektrischer Widerstand, Einheit: Ohm [ $\Omega$ ]

### 2.2 Versuchsteil

#### Versuch

Es sind statisch die Kennlinien  $I = f(U)$  bei konstantem Widerstand  $R$  und  $I = f(R)$  bei konstanter Spannung  $U$  aufzunehmen.

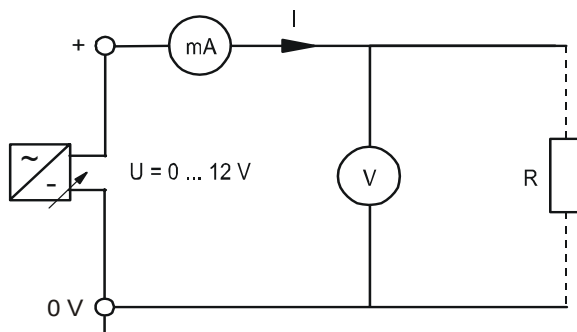


Abb. 2.2.1

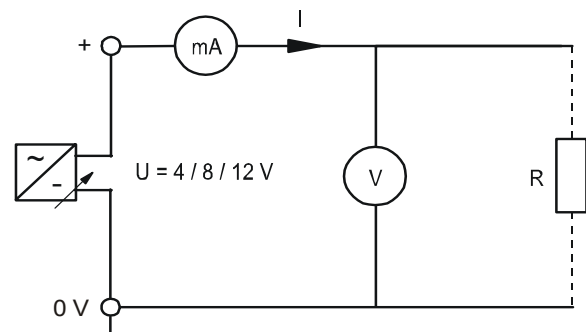


Abb. 2.2.2

#### Versuchsablauf

- Zur Kennlinienaufnahme  $I = f(U)$  ist zuerst die Schaltung nach Abb. 2.2.1 aufzubauen und jeweils bei den in Tabelle 2.2.1 angegebenen Widerständen und Spannungen die zugehörigen Ströme zu messen.
- Die Stromwerte sind in Tabelle 2.2.1 einzutragen.
- Die Kennlinien sind in das Kennlinienfeld Abb. 2.2.3 zu zeichnen.
- Zur Kennlinienaufnahme  $I = f(R)$  ist die Schaltung nach Abb. 2.2.2 aufzubauen und bei den in der Tab. 2.2.2 angegebenen Spannungen und Widerständen der jeweilige Strom zu messen.
- Die Stromwerte sind in Tabelle 2.2.2 einzutragen.
- Die Kennlinien sind in das Kennlinienfeld Abb. 2.2.4 zu zeichnen.

| U [V]                   | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
|-------------------------|---|---|---|---|---|----|----|
| I [mA] bei 100 $\Omega$ |   |   |   |   |   |    |    |
| I [mA] bei 330 $\Omega$ |   |   |   |   |   |    |    |

Tab. 2.2.1

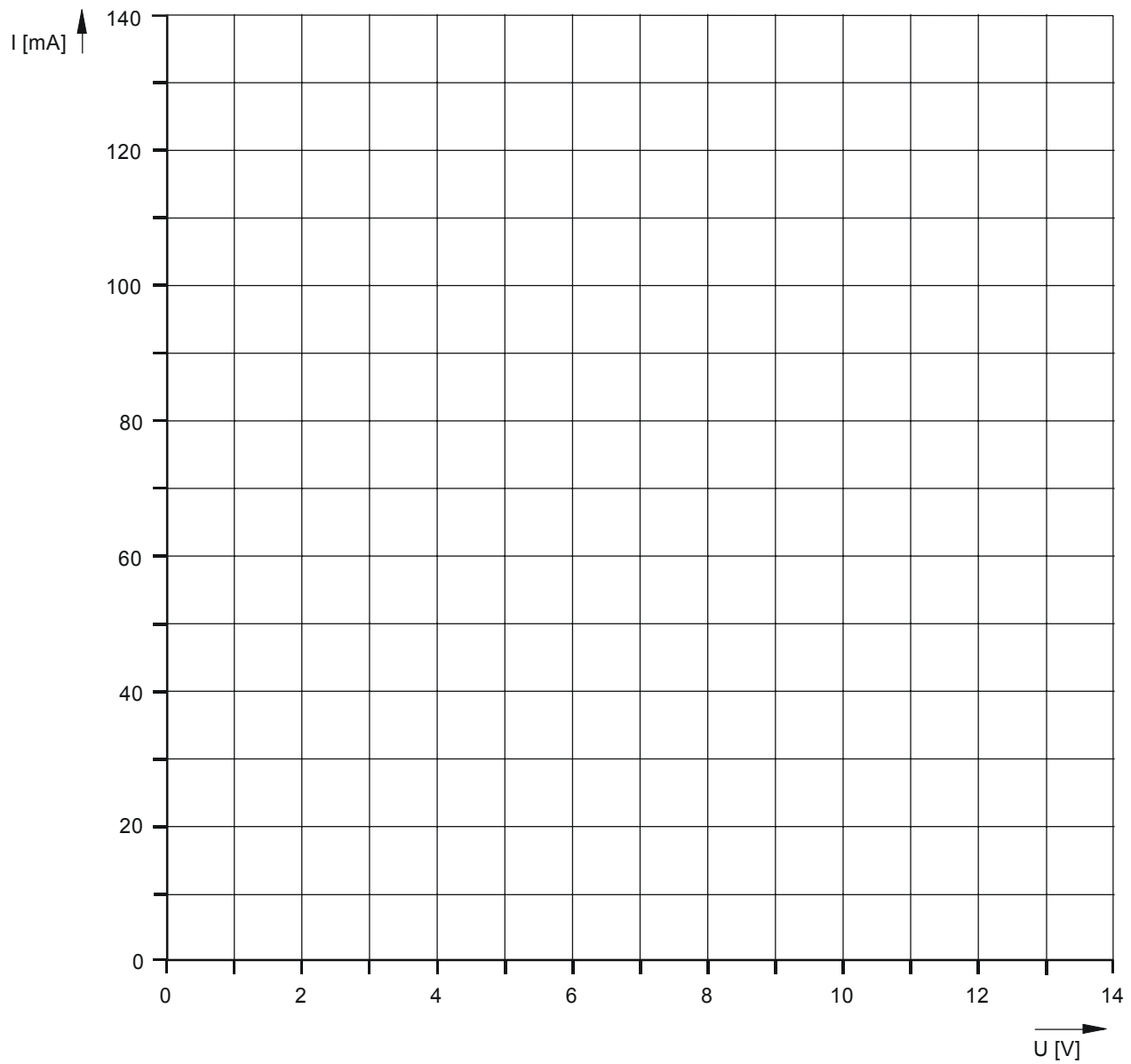


Abb. 2.2.3



| R [ $\Omega$ ]  | 100 | 220 | 330 | 470 | 680 | 1000 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| I [mA] bei 12 V |     |     |     |     |     |      |
| I [mA] bei 8 V  |     |     |     |     |     |      |
| I [mA] bei 4 V  |     |     |     |     |     |      |

Tab. 2.2.2.

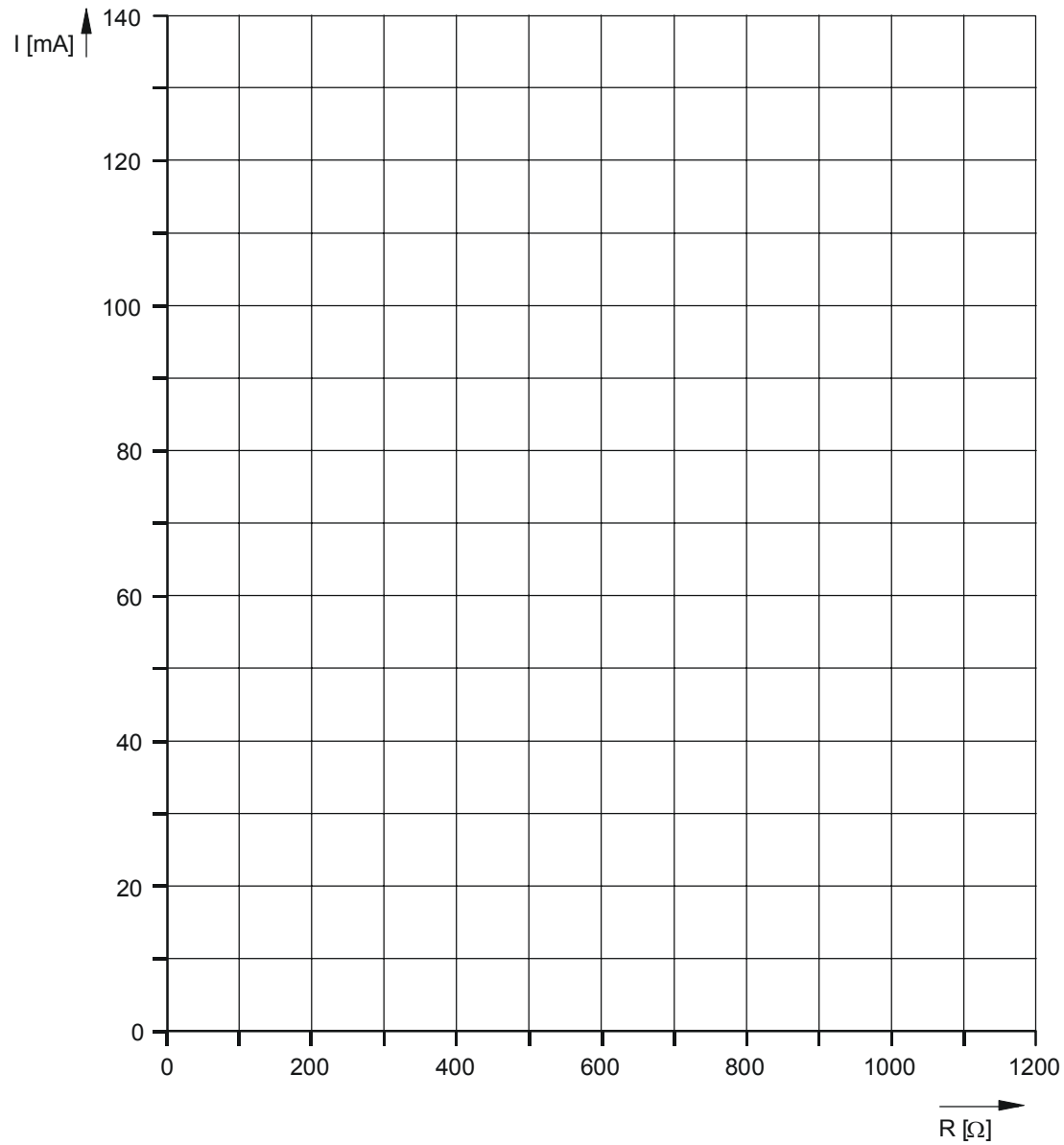


Abb. 2.2.4

**Notizen:**

---

### 3 Spannungs- und Stromfehlerschaltung

#### 3.1 Allgemeines

Zum Messen des Stroms in einer Schaltung wird der Strommesser stets in Reihe zum Verbraucher geschaltet. Spannungsmessungen erfolgen dagegen durch Parallelschalten eines Spannungsmessers zum Verbraucher. Sollen Spannung und Strom gleichzeitig in einer Schaltung gemessen werden, so ist darauf zu achten, dass bei hochohmigen Verbrauchern die Spannungsfehlerschaltung (Abb. 3.2.2) und bei niederohmigen Verbrauchern die Stromfehlerschaltung (Abb. 3.2.1) zur Anwendung kommt.

#### 3.2 Versuchsteil

##### Versuch

Es ist bei einem hochohmigen und niederohmigen Verbraucher durch Strom- und Spannungsmessung der Widerstand zu ermitteln. Hierzu ist einmal die Stromfehlerschaltung und einmal die Spannungsfehlerschaltung anzuwenden.

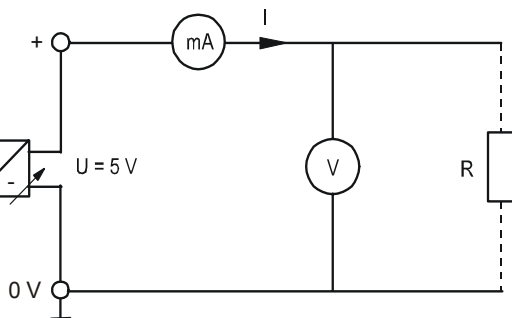


Abb. 3.2.1 Stromfehlerschaltung

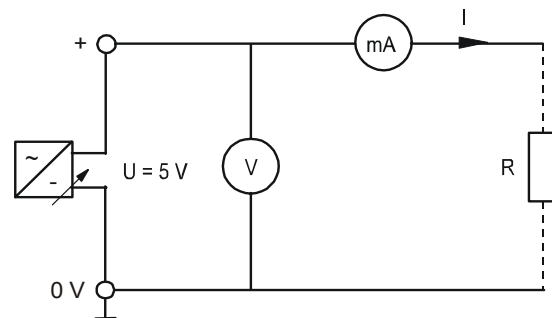


Abb. 3.2.2 Spannungsfehlerschaltung

##### Versuchsablauf

- Zuerst ist der genaue Widerstandswert der vorgegebenen Widerstände ( $22\ \Omega$  und  $10\ \text{k}\Omega$ ) mit dem Multi-Meter zu ermitteln.
- Es ist die Stromfehlerschaltung nach Abb. 3.2.1 aufzubauen und bei einer konstanten Eingangsspannung von  $5\ \text{V}$  jeweils bei den Widerständen  $22\ \Omega$  und  $10\ \text{k}\Omega$  die Spannung und der Strom zu messen.
- Die Messungen sind an der Spannungsfehlerschaltung in Abb. 3.2.2 zu wiederholen.
- Alle gemessenen Werte sowie die zu errechnenden Widerstandswerte sind in die Tabelle 3.2.1 und 3.2.2 einzutragen.