

## Experiment ET 04 – Circuits with variable resistors | Stellwiderstände

### 1 Object of the experiment | Versuchsziel

Getting to know the three basic circuits for setting of current and voltage by variable resistors using two-terminal network theory.

Kennen lernen der drei Grundsaltungen zum Einstellen von Strom und Spannung durch veränderliche Widerstände unter Anwendung der Zweipoltheorie.

### 2 Basics | Grundlagen

#### 2.1 Application of variable resistors | Anwendung von Stellwiderständen

In electrical circuits, the electrical voltage or current supplied to the load must often be variable. Since voltage sources with constant voltage are usually present, this task can be solved very easily by inserting additional, variable resistors into the circuit.

In elektrischen Schaltungen muss häufig die einem Verbraucher zugeführte elektrische Spannung oder Stromstärke veränderlich sein. Da meistens Spannungsquellen mit konstanter Spannung vorhanden sind, kann diese Aufgabe sehr leicht durch Einfügen zusätzlicher, veränderlicher Widerstände in den Stromkreis gelöst werden.

The following basic requirements must be satisfied in most cases:

Folgende Grundforderungen sind dabei meistens zu erfüllen:

1. setting range as large as possible,
2. low losses at the variable resistor,
3. linear characteristic curve.

1. Möglichst großer Einstellbereich,
2. geringe Verluste am Stellwiderstand,
3. linearer Verlauf der Kennlinie.

These requirements are partly contradictory and cannot be satisfied at the same time. There exists therefore an optimum circuit for each application and an optimum range for dimensioning the variable resistor.

Diese Forderungen widersprechen einander zum Teil, sie können nicht gleichzeitig erfüllt werden. Es gibt daher für jeden Anwendungsfall eine optimale Schaltung und einen optimalen Bereich für die Bemessung des Stellwiderstandes.

For the theoretical investigation, the circuit is expediently traced back to the fundamental electric circuit according to the two-terminal network theory.

Zur theoretischen Untersuchung führt man die Schaltung zweckmäßigerweise nach der Zweipoltheorie auf den Grundstromkreis zurück.

The curves

$$\frac{I}{I_k} = f\left(\frac{R_a}{R_i}\right) \quad \text{und} \quad \frac{U}{U_1} = f\left(\frac{R_a}{R_i}\right)$$

characterize the achievable voltage and current characteristics for variable resistors (ref. ET 01 „fundamental electric circuit“).

Die Kurven

charakterisieren die erreichbaren Kennlinienverläufe der Stellwiderstände (s. Versuch „Grundstromkreis“).

## 2.2 Basic circuits with variable resistors | Grundsaltungen mit veränderlichen Widerständen

In the following explanations, the part of the variable resistor tapped off by means of a sliding contact is denoted by  $r$ , and the whole resistor is denoted by  $R$ .

In den folgenden Herleitungen wird der mittels Schleifkontakt abgegriffene Teil des Stellwiderstandes mit  $r$ , der gesamte Widerstand als  $R$  bezeichnet.

### 2.2.1 Circuit with series resistor | Schaltung mit Vorwiderstand

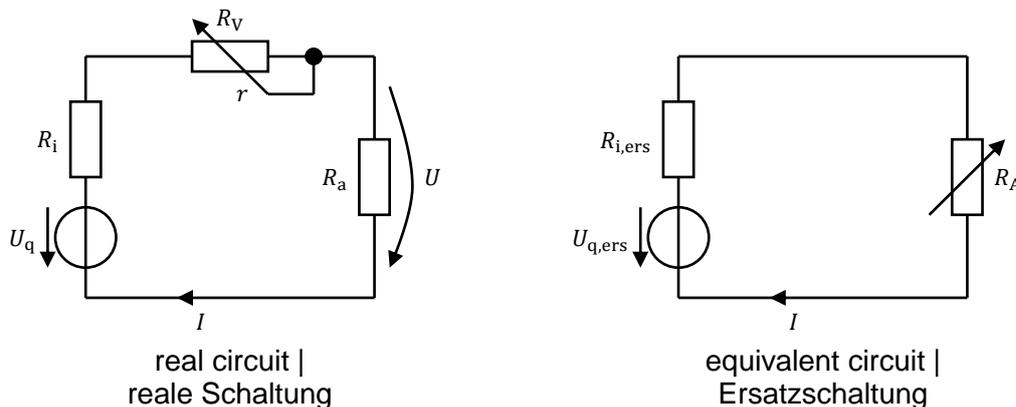


Figure 1: Circuit with series resistor | Schaltung mit Vorwiderstand

Here the parts of the equivalent circuit have the values:

Die Größen der Ersatzschaltung haben dabei die Werte:

$$U_{q,ers} = U_q$$

$$R_{i,ers} = R_i + R_a$$

$$R_A = r \quad (0 \leq r \leq R_V)$$

By introducing equivalent quantities one receives for the current  $I$

Durch Einführen der Ersatzgrößen erhält man für den Strom  $I$

$$I = \frac{U_{q,ers}}{R_{i,ers} + R_A} \quad \text{mit} \quad I_{\max} = I_{k,ers} = \frac{U_{q,ers}}{R_{i,ers}} \quad \text{bei} \quad R_A = 0$$

For the standardized representation, this results in the known relationship of the fundamental electric circuit (Figure 2) in the form:

$$\frac{I}{I_{\max}} = \frac{1}{1 + \frac{R_A}{R_{i,ers}}} = \frac{1}{1 + \frac{r}{R_i + R_a}} \quad (1)$$

Figure 2 shows that for  $R_A > 8 R_{i,ers}$  the current  $I$  only changes insignificantly. For optimum adjustability in accordance with the three basic requirements, it is therefore advisable to select the variable resistor  $R_V$  in the range of

$$R_V = R_{A,\max} = 5 \dots 8(R_i + R_a). \quad (2)$$

If the parameter  $p_V$  is introduced for the ratio  $\frac{R_V}{R_i + R_a}$ ,  $p_V$  defines the range in which the current  $I$  can be set continuously. As a result of the proportionality of current  $I$  and voltage  $U$  at resistance  $R_a$  (Figure 1), the normalized voltage  $\frac{U}{U_{\max}}$  results in the same curve as for current  $\frac{I}{I_{\max}}$ .

Für die normierte Darstellung ergibt sich daraus der bekannte Zusammenhang des Grundstromkreises (Figure 2) in der Form:

Aus Figure 2 ist ersichtlich, dass sich für  $R_A > 8 R_{i,ers}$  der Strom  $I$  nur noch unbedeutend ändert. Für eine optimale Einstellbarkeit gemäß der drei Grundforderungen wählt man daher zweckmäßigerweise den Stellwiderstand  $R_V$  im Bereich

Wird für das Verhältnis  $\frac{R_V}{R_i + R_a}$  der Parameter  $p_V$  eingeführt, so legt  $p_V$  den Bereich fest, in dem der Strom  $I$  kontinuierlich eingestellt werden kann. Infolge der Proportionalität von Strom  $I$  und Spannung  $U$  am Widerstand  $R_a$  (Figure 1) ergibt sich für die normierte Spannung  $\frac{U}{U_{\max}}$  der gleiche Verlauf wie für den Strom  $\frac{I}{I_{\max}}$ .

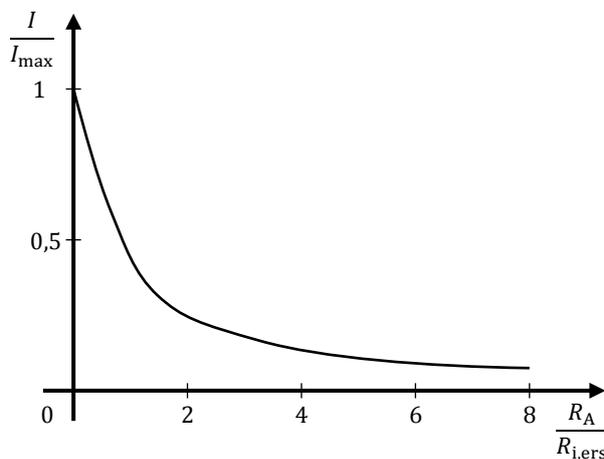


Figure 2: Representation of function | Darstellung der Funktion  $\frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{R_A}{R_{i,ers}}\right)$

#### Disadvantage of the circuit | Nachteil der Schaltung:

A continuous adjustment of the current up to the value  $I = 0$  is not possible!

Eine kontinuierliche Einstellung des Stromes bis zum Wert  $I = 0$  ist nicht möglich!

## 2.2.2 Circuit with parallel resistor | Schaltung mit Parallelstand

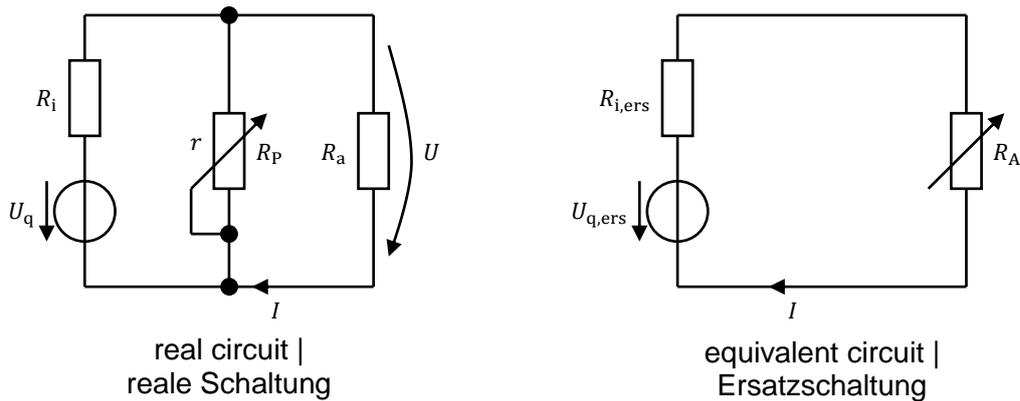


Figure 3: Circuit with parallel resistor | Schaltung mit Parallelwiderstand

The parameters of the equivalent circuit have the following values:

Die Größen der Ersatzschaltung nehmen dabei folgende Werte an:

$$U_{\max} = U_{q,ers} = U_q \frac{R_a}{R_i + R_a} \quad (\text{bei } r = R_A \rightarrow \infty)$$

$$R_{i,ers} = R_i \parallel R_a$$

$$R_A = r \quad (0 \leq r \leq R_p)$$

By introducing the equivalent parameters, one obtains for the normalized voltage  $\frac{U}{U_{\max}}$  at the consumer  $R_a$  the relationship in the form known from the fundamental electric circuit:

Durch Einführen der Ersatzgrößen erhält man für die normierte Spannung  $\frac{U}{U_{\max}}$  am Verbraucher  $R_a$  den vom Grundstromkreis bekannten Zusammenhang in der Form:

$$\frac{U}{U_{\max}} = \frac{1}{1 + \frac{R_{i,ers}}{R_A}} = \frac{1}{1 + \frac{R_i \parallel R_a}{r}} \quad (3)$$

From the representation of the characteristic curve of the parallel resistor

Aus der Darstellung der Kennlinie des Parallelwiderstandes

$$\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{R_A}{R_{i,ers}}\right)$$

it can be seen that the voltage  $U$  for  $R_A > 8 R_{i,ers}$  only changes (Figure 4).

ist zu erkennen, dass sich die Spannung  $U$  für  $R_A > 8 R_{i,ers}$  nur noch geringfügig ändert (Figure 4).

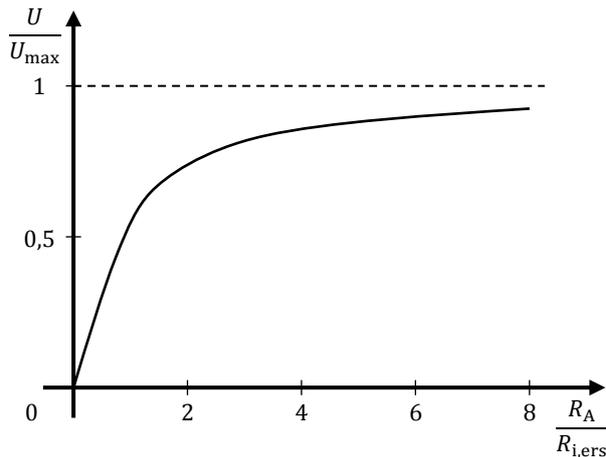


Figure 4: Representation of function | Darstellung der Funktion  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{R_A}{R_{i,\text{ers}}}\right)$

Optimum adjustability according to the three basic requirements is obtained for a variable resistor  $R_P$  in the range of

$$R_P = R_{A,\text{max}} = 5 \dots 8(R_i \parallel R_a). \quad (4)$$

The ratio  $\frac{R_P}{R_i \parallel R_a}$  is defined as parameter  $p_P$  of the circuit and determines the characteristic curve. The voltage  $U$  at the load is always lower than  $U_{q,\text{ers}}$ . In principle, the same curves result for the current curve as for the voltage, because current and voltage are proportional in the load  $R_a$ .

Eine optimale Einstellbarkeit gemäß der drei Grundforderungen erhält man für einen Stellwiderstand  $R_P$  im Bereich

Das Verhältnis  $\frac{R_P}{R_i \parallel R_a}$  wird als Parameter  $p_P$  der Schaltung definiert und bedingt den Verlauf der Kennlinie. Die Spannung  $U$  am Verbraucher ist stets kleiner als  $U_{q,\text{ers}}$ . Für den Stromverlauf ergeben sich prinzipiell die gleichen Kurven wie für die Spannung, da im Verbraucher  $R_a$  Strom und Spannung proportional sind.

### Disadvantage of the circuit | Nachteil der Schaltung:

The voltage source  $U_q$  has to tolerate a short circuit at  $r = 0$ . Therefore, the circuit is not very common in practice.

Die Spannungsquelle  $U_q$  muss bei  $r = 0$  einen Kurzschluss aushalten. Daher ist die Schaltung in der Praxis wenig gebräuchlich.

### 2.2.3 Circuit with voltage divider | Schaltung mit Spannungsteiler

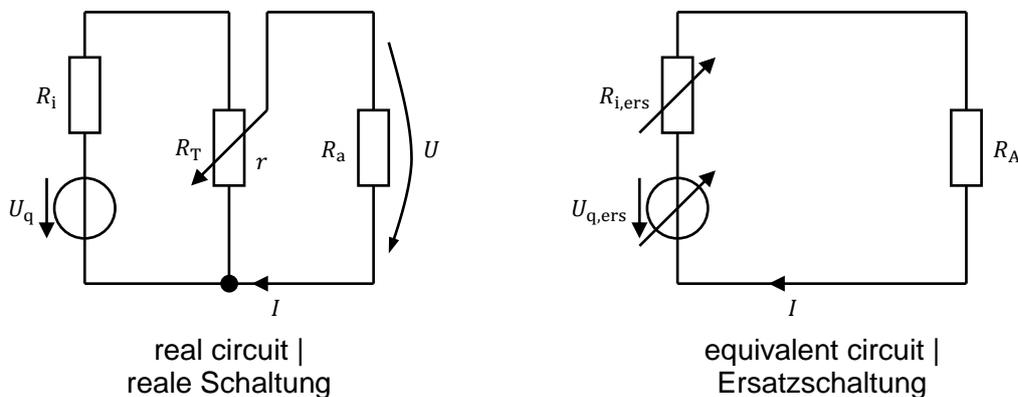


Figure 5: Circuit with voltage divider | Schaltung mit Spannungsteiler

For the dimensions of the equivalent circuit we obtain

$$U_{q,ers} = U_q \frac{r}{R_T + R_i}$$

$$R_{i,ers} = r \parallel (R_T - r + R_i) \quad (0 \leq r \leq R_T)$$

$$R_A = R_a$$

The circuit can therefore only be reduced to such a basic circuit in which both  $U_{q,ers}$  and  $R_{i,ers}$  change with  $r$ . The characteristic curve  $\frac{U}{U_{max}} = f(r)$  therefore no longer matches to the voltage curve on the basic circuit. If the  $R_i$  is negligibly small, the following is obtained for the voltage at the load

$$U = U_q \frac{r}{R_T} \cdot \frac{R_A}{R_A + R_{i,ers}} = U_q \frac{r}{R_T} \cdot \frac{R_A}{R_A + r \parallel (R_T - r)} \quad (5)$$

and by setting the ratio  $r = R_T$  to the maximum voltage

$$U_{max} = U_q \cdot \quad (6)$$

This results in the normalized voltage at the load

$$\frac{U}{U_{max}} = \frac{r}{R_T} \cdot \frac{R_A}{R_A + R_{i,ers}} = \frac{r}{R_T} \cdot \frac{R_A}{R_A + r \parallel (R_T - r)} \quad (7)$$

If a linear characteristic curve is required, the following must be valid

$$\frac{U}{U_{max}} = \frac{r}{R_T}; \quad (8)$$

i.e.  $R_A \gg R_{i,ers}$ . Taking the ratio  $R_i \ll R_T$  into account,  $R_{i,ers}$  assumes its maximum value at  $r = \frac{R_T}{2}$  and reaches the value

$$R_{i,ers,max} = \frac{R_T}{4} \quad (9)$$

$R_A \gg \frac{R_T}{4}$  therefore applies to linear adjustment. As a result, a very low actuating resistance  $R_T$  has to be selected for a given load  $R_A$ , which results in unfavourable power ratios (basic requirement 2).

Für die Größen der Ersatzschaltung erhält man

Die Schaltung kann also nur auf einen solchen Grundstromkreis zurückgeführt werden, bei dem sich sowohl  $U_{q,ers}$  als auch  $R_{i,ers}$  mit  $r$  ändern. Die Kennlinie  $\frac{U}{U_{max}} = f(r)$  entspricht deshalb nicht mehr dem Spannungsverlauf am Grundstromkreis. Bei vernachlässigbar kleinem  $R_i$  erhält man für die Spannung am Verbraucher

und durch Einsetzen der Beziehung  $r = R_T$  die maximale Spannung

Daraus ergibt sich die normierte Spannung am Verbraucher

Wird eine lineare Kennlinie gefordert, so muss gelten

d. h.  $R_A \gg R_{i,ers}$ . Unter Berücksichtigung der Beziehung  $R_i \ll R_T$  nimmt  $R_{i,ers}$  seinen Maximalwert an bei  $r = \frac{R_T}{2}$  und erreicht dabei den Wert

Für lineare Einstellung gilt damit  $R_A \gg \frac{R_T}{4}$ . Infolgedessen muss bei gegebenem Verbraucher  $R_A$  ein sehr kleiner Stellwiderstand  $R_T$  gewählt werden, wodurch sich die Leistungsverhältnisse ungünstig gestalten (Grundforderung 2).

The ratio  $\frac{R_T}{R_a}$  is called parameter  $p_T$  and is chosen as solution of compromise.

Man bezeichnet das Verhältnis  $\frac{R_T}{R_a}$  als Parameter  $p_T$  und wählt als Kompromisslösung

$$p_T = \frac{R_T}{R_a} = 5 \dots 8. \quad (10)$$

### 2.3 Fine adjustment | Feineinstellung

With a large setting range of the resistor, the small change of resistance  $\Delta r$  belonging to a change in the operating variable  $\Delta U$  resp.  $\Delta I$  is often so great that given values of voltage  $U$  or current  $I$  can no longer be set with the desired accuracy. In this case, a second resistor  $R_F$  with a small setting range is switched on for fine adjustment. For circuits according to 2.2.1 and 2.2.2, the resistor  $R_F$  can be connected in series or parallel to the coarse variable resistor  $R$  for fine adjustment. In the case of parallel connection, it is advisable to connect a fixed resistor  $R_0$  to the fine-tuning resistor  $R_F$  to limit the current. For the circuit in 2.2.3, fine adjustment is achieved by connecting several voltage dividers in series (Figure 6).

Bei großem Stellbereich des Widerstandes ist oft die zu einer kleinen Widerstandsänderung  $\Delta r$  gehörende Änderung der Betriebsgröße  $\Delta U$  bzw.  $\Delta I$  so groß, dass gegebene Werte der Spannung  $U$  oder des Stromes  $I$  nicht mehr mit der gewünschten Genauigkeit eingestellt werden können. In diesem Fall schaltet man einen zweiten Widerstand  $R_F$  mit kleinem Stellbereich zur Feineinstellung ein. Für Schaltungen nach 2.2.1 und 2.2.2 kann der Widerstand  $R_F$  zur Feineinstellung entweder in Reihe oder parallel zum Grobstellwiderstand  $R$  geschaltet werden. Bei der Parallelschaltung wird zweckmäßigerweise dem Feinwiderstand  $R_F$  ein Festwiderstand  $R_0$  zur Strombegrenzung vorgeschaltet. Für die Schaltung in 2.2.3 wird eine Feineinstellung durch Kettenschaltung mehrerer Spannungsteiler erzielt (Figure 6).

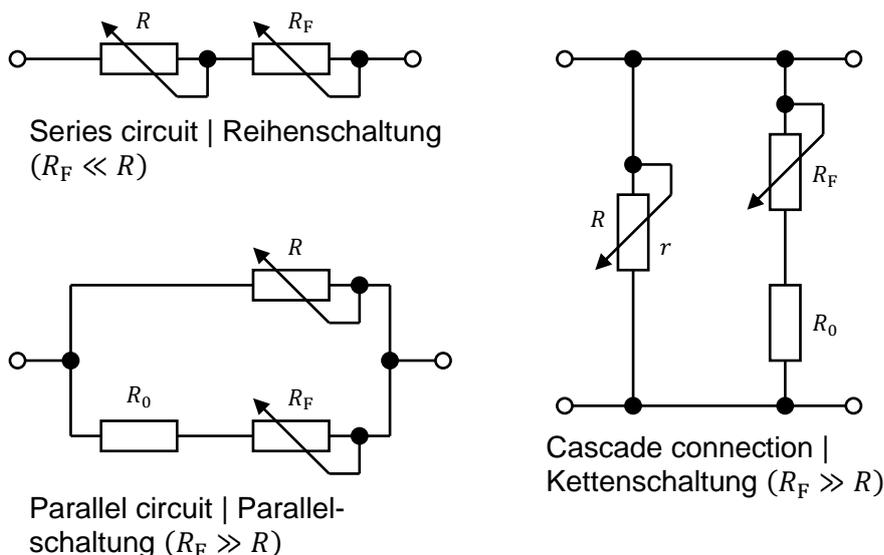


Figure 6: Basic circuits of fine adjustment | Prinzipschaltungen zur Feineinstellung

### 3 Preparation of experiment | Versuchsvorbereitung

#### 3.1

Set up equations of the following functions for the characteristic curves of the variable resistors and draw the curves to scale.

Stellen Sie Gleichungen der folgenden Funktionen für die Kennlinien der Stellwiderstände auf und zeichnen Sie die Kurven maßstabsgerecht.

$$3.1.1 \quad \frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right) \quad \text{mit } p_V = 5$$

$$3.1.2 \quad \frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right) \quad \text{mit } p_P = 5$$

$$3.1.3 \quad \frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_T}\right) \quad \text{mit } p_T = 5$$

#### 3.2

Calculate the power loss  $P_V$  in the variable resistor related to the power  $P_{\text{ges}}$  converted in the total circuit for the three basic circuits as a function of the related variable resistor  $\frac{r}{R}$ .

Berechnen Sie die Verlustleistung  $P_V$  im Stellwiderstand bezogen auf die in der Gesamtschaltung umgesetzte Leistung  $P_{\text{ges}}$  für die drei Grundschaltungen als Funktion des bezogenen Stellwiderstandes  $\frac{r}{R}$ .

Calculate and display to scale:

Berechnen Sie und stellen Sie maßstäblich dar:

$$3.2.1 \quad \frac{P_V}{P_{\text{ges}}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right) \quad \text{mit } p_V = 0,5; 5; 50$$

$$3.2.2 \quad \frac{P_V}{P_{\text{ges}}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right) \quad \text{mit } p_P = 0,5; 5; 50$$

$$3.2.3 \quad \frac{P_V}{P_{\text{ges}}} = f\left(\frac{r}{R_T}\right) \quad \text{mit } p_T = 0,5; 5; 50$$

#### 3.3

The brightness of a 220 V/100 W bulb is to be changed in accordance with the three basic requirements. Suggest the optimum circuit (sketch) and determine the optimum size range as well as the nominal power of the selected variable resistor!

Eine Glühlampe 220 V/100 W soll in ihrer Helligkeit unter Berücksichtigung der drei Grundforderungen verändert werden. Schlagen Sie die optimale Schaltung vor (Skizze) und bestimmen Sie den optimalen Größenbereich sowie die Nennleistung des gewählten Stellwiderstandes!

## 4 Experimental procedure | Versuchsdurchführung

### 4.1 Circuit with series resistor | Schaltung mit Vorwiderstand

#### 4.1.1

Measure the current  $I$  as a function of the related variable resistor  $\frac{r}{R_V}$  at three values of  $R_a$  at the circuit 4.1.1.

Draw the characteristic curve  $\frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right)$  for  $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$  and  $R_{a3}$  in the interval of  $\left(0 \leq \frac{r}{R_V} \leq 1\right)$ ! The maximum currents  $I_{\max}$  will each be reached **at**  $r = 0$  erreicht.

Calculate the parameter  $p_V = \frac{R_V}{R_1 + R_a}$  and mark the recorded curves.

Messen Sie in Schaltung 4.1.1 die Stromstärke  $I$  in Abhängigkeit vom bezogenen Stellwiderstand  $\frac{r}{R_V}$  bei drei Werten von  $R_a$ .

Stellen Sie die Kennlinien  $\frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right)$  für  $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$  und  $R_{a3}$  dar  $\left(0 \leq \frac{r}{R_V} \leq 1\right)$ ! Die Maximalströme  $I_{\max}$  werden jeweils **bei**  $r = 0$  erreicht.

Berechnen Sie die Parameter  $p_V = \frac{R_V}{R_1 + R_a}$  und kennzeichnen Sie damit die aufgenommenen Kurven.

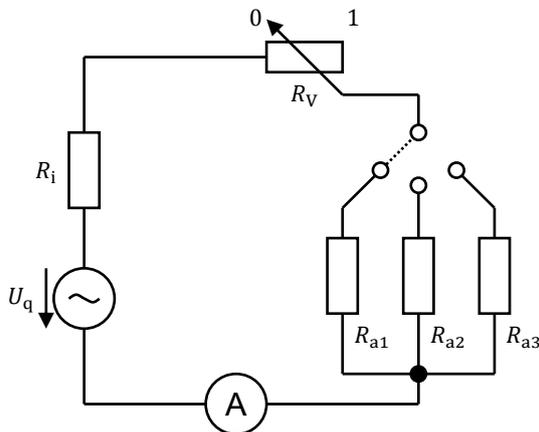


Figure 7: Measuring circuit 4.1.1 | Messschaltung 4.1.1

$$U_q \approx 7 \text{ V}$$

$$R_i = 1 \ \Omega$$

$$R_V = 330 \ \Omega$$

$$R_{a1} = 5 \ \Omega$$

$$R_{a2} = 51 \ \Omega$$

$$R_{a3} = 498 \ \Omega$$

### 4.1.2

Replace the series resistor  $R_V$  of circuit 4.1.1 by the series connection  $R_V + R_F$ . Measure for the load resistor  $R_{a2}$  the characteristic curve  $\frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right)$ ,  $0 \leq \frac{r}{R_V} \leq 1$  at the end position  $\frac{r}{R_F} = 1$  of the fine variable resistor  $R_F$ .

Transfer the characteristic for  $R_{a2}$  measured in task 4.1.1 (corresponds to the characteristic  $\frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right)$  at the end position  $\frac{r}{R_F} = 0$  of the fine variable resistor  $R_F$ ) into the diagram.

Mark the fine adjustment range in your diagram!

#### Hint:

$I_{\max}$  is always the current at  $R_V = R_F = 0$ . This value has already been measured in task 4.1.1.

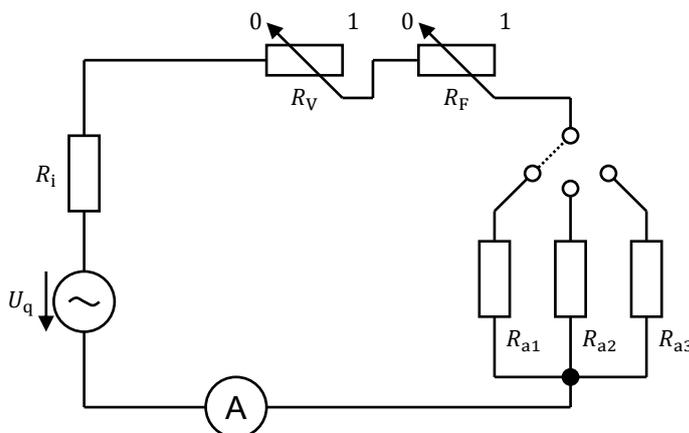
Ersetzen Sie in Schaltung 4.1.1 den Vorwiderstand  $R_V$  durch die Reihenschaltung  $R_V + R_F$ . Messen Sie für den Lastwiderstand  $R_{a2}$  die Kennlinie  $\frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right)$ ,  $0 \leq \frac{r}{R_V} \leq 1$  bei der Endstellung  $\frac{r}{R_F} = 1$  des Feineinstellwiderstandes  $R_F$ .

Übernehmen Sie die in Aufgabe 4.1.1 gemessene Kennlinie für  $R_{a2}$  (entspricht der Kennlinie  $\frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right)$  bei der Endstellung  $\frac{r}{R_F} = 0$  des Feineinstellwiderstandes  $R_F$ ) in das Diagramm.

Kennzeichnen Sie in Ihrem Diagramm den Feineinstellbereich!

#### Hinweis:

$I_{\max}$  ist immer der Strom **bei**  $R_V = R_F = 0$ . Dieser Wert wurde schon in Aufgabe 4.1.1 gemessen.



$$\begin{aligned}
 U_q &\approx 7 \text{ V} \\
 R_i &= 1 \ \Omega \\
 R_F &= 33 \ \Omega \\
 R_V &= 330 \ \Omega \\
 R_{a2} &= 51 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Figure 8: Measuring circuit 4.1.2 | Messschaltung 4.1.2

### 4.1.3

Replace the series resistor  $R_V$  of circuit 4.1.1 by the parallel connection  $R_V \parallel R_F$ . Measure for the load resistor  $R_{a2}$  the characteristic curve  $\frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right)$ ,  $0 \leq \frac{r}{R_V} \leq 1$  at both end points  $\frac{r}{R_F} = 0$  and  $\frac{r}{R_F} = 1$  of the fine variable resistor  $R_F$ .

Mark the fine adjustment range in your diagram!

Indicate the possible setting range if no fixed resistor  $R_{\text{begr}}$  is connected in series with the resistor  $R_F$ !

#### Hints:

- Measurement of  $I_{\max}$  **at**  $R_V \parallel R_F = 0$ . This value has already been measured in task 4.1.1.
- When inserting  $R_F$  into the circuit, use the pre-assembled structure with built-in fixed resistor  $R_{\text{begr}}$ .

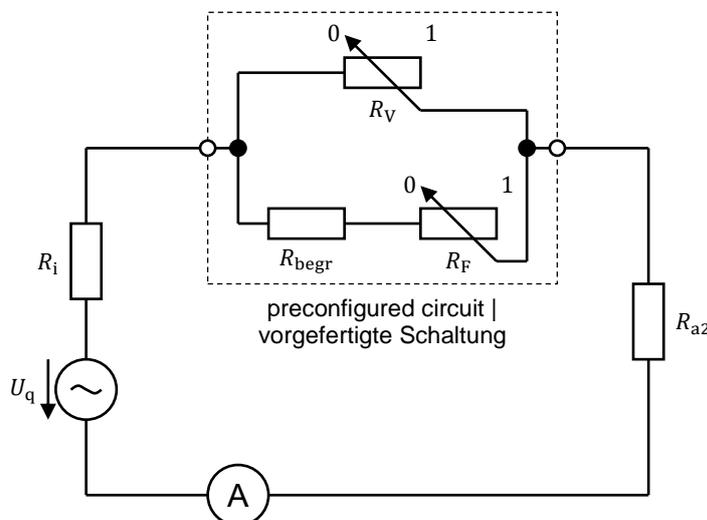
Ersetzen Sie in Schaltung 4.1.1 den Vorwiderstand  $R_V$  durch die Parallelschaltung  $R_V \parallel R_F$ . Messen Sie für den Lastwiderstand  $R_{a2}$  die Kennlinie  $\frac{I}{I_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_V}\right)$ ,  $0 \leq \frac{r}{R_V} \leq 1$  bei den beiden Endstellungen  $\frac{r}{R_F} = 0$  und  $\frac{r}{R_F} = 1$  des Feineinstellwiderstandes  $R_F$ .

Kennzeichnen Sie in Ihrem Diagramm den Feineinstellbereich!

Geben Sie den möglichen Einstellbereich an, wenn dem Widerstand  $R_F$  kein Festwiderstand  $R_{\text{begr}}$  vorgeschaltet ist!

#### Hinweise:

- Messung von  $I_{\max}$  **bei**  $R_V \parallel R_F = 0$ . Dieser Wert wurde schon in Aufgabe 4.1.1 gemessen.
- Benutzen Sie beim Einfügen von  $R_F$  in die Schaltung den vorgefertigten Aufbau mit eingebautem Festwiderstand  $R_{\text{begr}}$ .



$$\begin{aligned}
 U_q &\approx 7 \text{ V} \\
 R_i &= 1 \ \Omega \\
 R_{\text{begr}} &= 244 \ \Omega \\
 R_F &= 3300 \ \Omega \\
 R_V &= 330 \ \Omega \\
 R_{a2} &= 51 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Figure 9: Measuring circuit 4.1.3 | Messschaltung 4.1.3

## 4.2 Circuit with parallel resistor | Schaltung mit Parallelwiderstand

### 4.2.1

Measure in circuit 4.2.1 the voltage  $U$  at the external resistor  $R_a$  as a function of the related variable resistor  $\frac{r}{R_P}$  at three different internal resistor  $R_i$ . Display the characteristic curves  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right)$  for  $R_{i1}$ ,  $R_{i2}$  and  $R_{i3}$  in the interval  $\left(0 \leq \frac{r}{R_P} \leq 1\right)$ ! The maximum voltages  $U_{\max}$  are each at  $r \rightarrow \infty$ , i. e. measure **at disconnected variable resistor  $R_P$** .

Calculate the parameter  $p_P = \frac{R_P}{R_i \parallel R_a}$  and mark recorded curve.

Messen Sie in Schaltung 4.2.1 die Spannung  $U$  am Außenwiderstand  $R_a$  in Abhängigkeit vom bezogenen Stellwiderstand  $\frac{r}{R_P}$  bei drei verschiedenen Innenwiderständen  $R_i$ . Stellen Sie die Kennlinien  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right)$  für  $R_{i1}$ ,  $R_{i2}$  und  $R_{i3}$  dar  $\left(0 \leq \frac{r}{R_P} \leq 1\right)$ ! Die Maximalspannungen  $U_{\max}$  sind jeweils bei  $r \rightarrow \infty$ , d. h. **bei abgetrenntem Stellwiderstand  $R_P$**  zu messen.

Berechnen Sie die Parameter  $p_P = \frac{R_P}{R_i \parallel R_a}$  und kennzeichnen Sie damit die aufgenommenen Kurven.

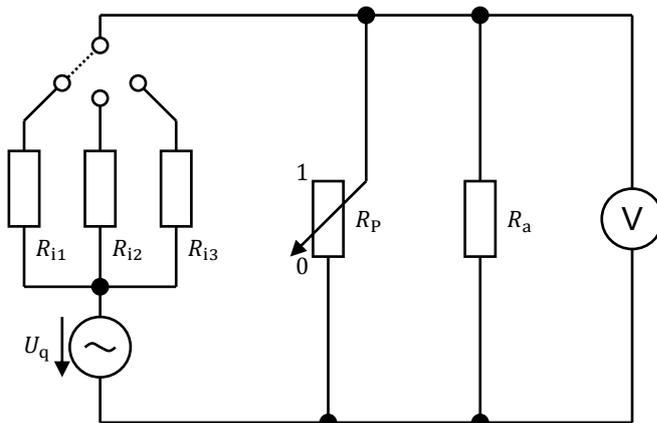


Figure 10: Measuring circuit 4.2.1 | Messschaltung 4.2.1

$$\begin{aligned}
 U_q &\approx 7 \text{ V} \\
 R_{i1} &= 805 \ \Omega \\
 R_{i2} &= 50 \ \Omega \\
 R_{i3} &= 12 \ \Omega \\
 R_P &= 330 \ \Omega \\
 R_a &= 804 \ \Omega
 \end{aligned}$$

### 4.2.2

Replace the parallel resistor  $R_P$  of circuit 4.2.1 by the series connection  $R_P + R_F$ . Measure the characteristic curve  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right)$ ,  $0 \leq \frac{r}{R_P} \leq 1$  of the internal resistor  $R_{i2}$  at the final position  $\frac{r}{R_F} = 1$  of the fine variable resistor  $R_F$ .

Take the characteristic curve  $R_{i2}$  measured in task 4.2.1, which is equivalent to the curve  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right)$  at the final position  $\frac{r}{R_F} = 0$  of the fine variable resistor  $R_F$ , into the diagram.

Mark the fine adjustment range in the diagram!

#### Hint:

$U_{\max}$  is always the voltage at the **disconnected parallel resistor  $R_P$** . This value has already been measured in task 4.2.1.

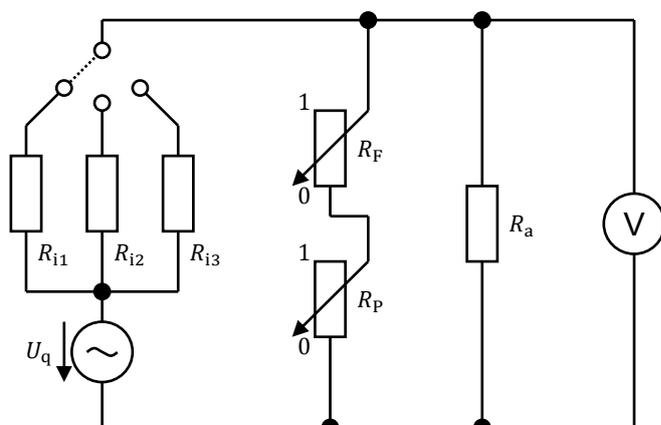
Ersetzen Sie in Schaltung 4.2.1 den Parallelwiderstand  $R_P$  durch die Reihenschaltung  $R_P + R_F$ . Messen Sie für den Innenwiderstand  $R_{i2}$  die Kennlinie  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right)$ ,  $0 \leq \frac{r}{R_P} \leq 1$  bei der Endstellung  $\frac{r}{R_F} = 1$  des Feineinstellwiderstandes  $R_F$ .

Übernehmen Sie die in Aufgabe 4.2.1 gemessene Kennlinie für  $R_{i2}$  (entspricht der Kennlinie  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right)$  bei der Endstellung  $\frac{r}{R_F} = 0$  des Feineinstellwiderstandes  $R_F$ ) in das Diagramm.

Kennzeichnen Sie in Ihrem Diagramm den Feineinstellbereich!

#### Hinweis:

$U_{\max}$  ist immer die Spannung **bei abgetrenntem Parallelwiderstand  $R_P$** . Dieser Wert wurde schon in Aufgabe 4.2.1 gemessen.



$$\begin{aligned}
 U_q &\approx 7 \text{ V} \\
 R_{i2} &= 50 \, \Omega \\
 R_F &= 33 \, \Omega \\
 R_P &= 330 \, \Omega \\
 R_a &= 804 \, \Omega
 \end{aligned}$$

Figure 11: Measuring circuit 4.2.2 | Messschaltung 4.2.2

### 4.2.3

Replace the parallel resistor  $R_P$  of circuit 4.2.1 by the parallel connection  $R_P \parallel R_F$ . Measure the characteristic curve  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right)$ ,  $0 \leq \frac{r}{R_P} \leq 1$  of the internal resistor  $R_{i2}$  at both end points  $\frac{r}{R_F} = 0$  and  $\frac{r}{R_F} = 1$  of the fine variable resistor  $R_F$ .

Mark the fine variable range in your diagram!

Indicate the possible variable range, if there would be no fixed series resistor  $R_{\text{begr}}$  upstream of resistor  $R_F$ !

#### Hints:

- $U_{\max}$  is the voltage at the disconnected variable resistors  $R_P$  and  $R_F$ . This value has already been measured in task 4.2.1.
- When inserting  $R_F$  into the circuit, use the pre-assembled structure with built-in fixed resistor  $R_{\text{begr}}$ .

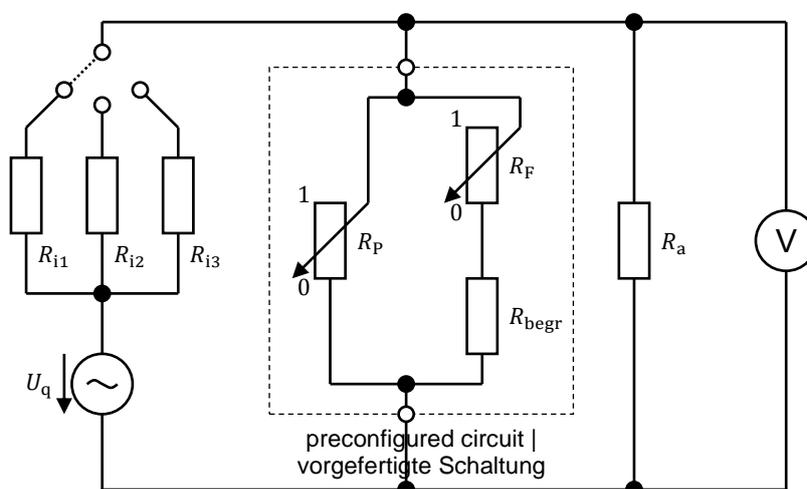
Ersetzen Sie in Schaltung 4.2.1 den Parallelwiderstand  $R_P$  durch die Parallelschaltung  $R_P \parallel R_F$ . Messen Sie für den Innenwiderstand  $R_{i2}$  die Kennlinie  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_P}\right)$ ,  $0 \leq \frac{r}{R_P} \leq 1$  bei den beiden Endstellungen  $\frac{r}{R_F} = 0$  und  $\frac{r}{R_F} = 1$  des Feineinstellwiderstandes  $R_F$ .

Kennzeichnen Sie in Ihrem Diagramm den Feineinstellbereich!

Geben Sie den möglichen Einstellbereich an, wenn dem Widerstand  $R_F$  kein Festwiderstand  $R_{\text{begr}}$  vorgeschaltet ist!

#### Hinweise:

- $U_{\max}$  ist die Spannung bei abgetrennten Stellwiderständen  $R_P$  und  $R_F$ . Dieser Wert wurde schon in Aufgabe 4.2.1 gemessen.
- Benutzen Sie beim Einfügen von  $R_F$  in die Schaltung den vorgefertigten Aufbau mit eingebautem Festwiderstand  $R_{\text{begr}}$ .



$$\begin{aligned}
 U_q &\approx 7 \text{ V} \\
 R_{i2} &= 50 \ \Omega \\
 R_{\text{begr}} &= 244 \ \Omega \\
 R_F &= 3300 \ \Omega \\
 R_P &= 330 \ \Omega \\
 R_a &= 804 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Figure 12: Measuring circuit 4.2.3 | Messschaltung 4.2.3

### 4.3 Circuit with voltage divider | Schaltung mit Spannungsteiler

Measure the voltage  $U$  of the circuit 4.3 according to the variable resistor  $\frac{r}{R_T}$  at three different external resistors  $R_a$ .

Show the characteristic curve  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_T}\right)$  for  $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$  and  $R_{a3}$  ( $0 \leq \frac{r}{R_T} \leq 1$ )! The maximum voltages  $U_{\max}$  are reached each at  $r = R_T$ .

Calculate the parameter  $p_T = \frac{R_T}{R_a}$  and mark with it the recorded curves.

Messen Sie in Schaltung 4.3 die die abgegriffene Spannung  $U$  in Abhängigkeit vom bezogenen Stellwiderstand  $\frac{r}{R_T}$  bei drei verschiedenen Außenwiderständen  $R_a$ . Stellen Sie die Kennlinien  $\frac{U}{U_{\max}} = f\left(\frac{r}{R_T}\right)$  für  $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$  und  $R_{a3}$  dar ( $0 \leq \frac{r}{R_T} \leq 1$ )! Die Maximalspannungen  $U_{\max}$  werden jeweils **bei**  $r = R_T$  erreicht.

Berechnen Sie die Parameter  $p_T = \frac{R_T}{R_a}$  und kennzeichnen Sie damit die aufgenommenen Kurven.

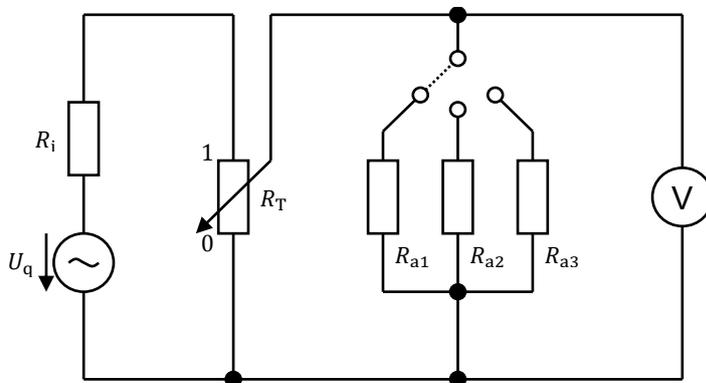


Figure 13: Measuring circuit 4.3 | Messschaltung 4.3

$$U_q \approx 7 \text{ V}$$

$$R_i = 1 \text{ } \Omega$$

$$R_T = 330 \text{ } \Omega$$

$$R_{a1} = 13 \text{ } \Omega$$

$$R_{a2} = 49 \text{ } \Omega$$

$$R_{a3} = 509 \text{ } \Omega$$

## 5 Literature | Literatur

- [1] S. Altmann, D. Schlayer, Lehr- und Übungsbuch Elektrotechnik, Fachbuchverlag Leipzig - Köln, 1995.
- [2] W.-E. Büttner, Grundlagen der Elektrotechnik 1, Oldenbourg Verlag München - Wien, 2004.
- [3] T. Harriehausen, D. Schwarzenau, Moeller Grundlagen der Elektrotechnik, Springer Vieweg – Wiesbaden, 2013.

## 6 Attachment | Anhang

### 6.1 Equipment list | Geräteliste

<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Power supply 6 V~/50 Hz, 4 A</li> <li>1 Digital multimeter (Fluke 75 III)</li> <li>1 slide resistor 0 - 33 <math>\Omega</math>, 3,1 A</li> <li>1 slide resistor 0 - 330 <math>\Omega</math>, 1,4 A</li> <li>1 slide resistor 0 - 3300 <math>\Omega</math>, 0,91 A</li> <li>4 prepared circuits:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Circuit "Series resistor"</li> <li>– Circuit "Fine adjustment"</li> <li>– Circuit „Parallel resistor“</li> <li>– Circuit „Voltage divider“</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Netzgerät 6 V~/50 Hz, 4 A</li> <li>1 Digital-Multimeter (Fluke 75 III)</li> <li>1 Stellwiderstand 0 - 33 <math>\Omega</math>, 3,1 A</li> <li>1 Stellwiderstand 0 - 330 <math>\Omega</math>, 1,4 A</li> <li>1 Stellwiderstand 0 - 3300 <math>\Omega</math>, 0,91 A</li> <li>4 vorgefertigte Schaltungen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Schaltung „Vorwiderstand“</li> <li>– Schaltung „Feineinstellung“</li> <li>– Schaltung „Parallelwiderstand“</li> <li>– Schaltung „Spannungsteiler“</li> </ul> </li> </ul>
---	--