

## Studentenmitteilung

1. Semester - WS 2006

Abt. Technische Informatik

Gerätebeauftragter

Dr. rer.nat. Hans-Joachim Lieske

Tel.: [49]-0341-97 32213

Zimmer: HG 02-37

e-mail: [lieske@informatik.uni-leipzig.de](mailto:lieske@informatik.uni-leipzig.de)

www: <http://www.informatik.uni-leipzig.de/~lieske>

Sprechstunde: Mi. 14<sup>00</sup> – 15<sup>00</sup>

Montag, 20. November 2006

## Aufgaben zu Übung Grundlagen der Technischen Informatik 1

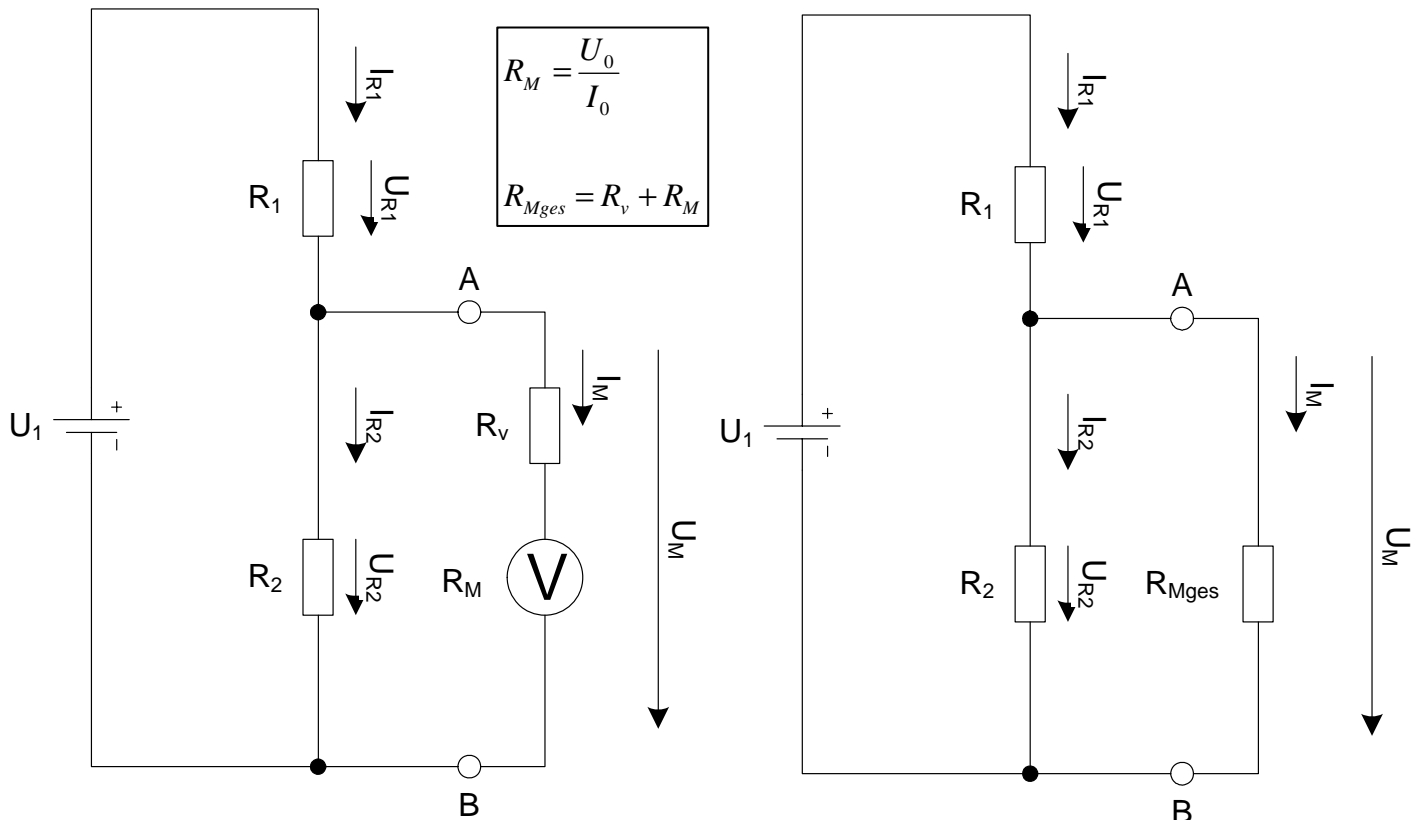
### 3. Aufgabenkomplex

Spannungsmessung am belasteten Spannungsteiler  
Messbereichserweiterung an Strommessgeräten

#### 3. Aufgabenkomplex - 1. Aufgabe

#### Spannungsmessungen am belasteten Spannungsteiler

Gegeben sind folgende Schaltungen.



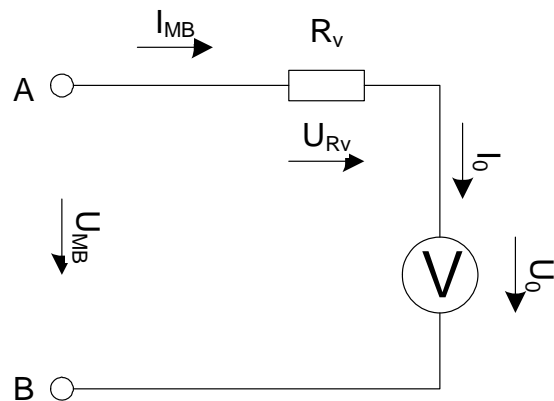
Bei Spannungsmessgeräten mit einem geringen Innenwiderstand kann es durch einen belasteten Spannungsteiler zu Fehlmessungen kommen.

Im Grundzustand hat das Messgerät den Messbereich  $U_0=200\text{mV}$  und  $I_0=100\mu\text{A}$  bei Vollausschlag. In dieser Betriebsart hat das Messgerät keinen Vorwiderstand  $R_V$ .

Aufgabe:

Berechnen Sie die Anzeige des Spannungsmessgerätes für den Leerlauf und die restlichen Messbereiche.

Werte: $U_1 = 40\text{V}$ $R_1 = 300\text{k}\Omega$ $R_2 = 100\text{k}\Omega$  $U_0 = 200\text{mV}$ $I_0 = 100\mu\text{A}$
---



**Gesamtpunktzahl: 20 Punkte**

1. Berechnen Sie den Innenwiderstand  $R_M$  des Messgerätes im Messbereich  $U_0=200\text{mV}$  und  $I_0=100\mu\text{A}$ . **2 Punkte**
2. Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_{V-1}$  für die Messbereichserweiterung auf  $U_{MB-1}=5\text{V}$  **2 Punkte**
3. Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_{V-2}$  für die Messbereichserweiterung auf  $U_{MB-2}=10\text{V}$  **2 Punkte**
4. Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_{V-3}$  für die Messbereichserweiterung auf  $U_{MB-3}=50\text{V}$  **2 Punkte**
5. Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_{V-4}$  für die Messbereichserweiterung auf  $U_{MB-4}=100\text{V}$  **2 Punkte**
6. Berechnen Sie die Ströme  $I_{R_{V-1}}$  bis  $I_{R_{V-4}}$ . **2 Punkte**
7. Berechnen Sie den Messgerätewiderstand  $R_{M_{ges-1}}$  für die Messbereichserweiterung auf  $5\text{V}$  **1 Punkt**
8. Berechnen Sie den Messgerätewiderstand  $R_{M_{ges-2}}$  für die Messbereichserweiterung auf  $10\text{V}$  **1 Punkt**
9. Berechnen Sie den Messgerätewiderstand  $R_{M_{ges-3}}$  für die Messbereichserweiterung auf  $50\text{V}$  **1 Punkt**
10. Berechnen Sie den Messgerätewiderstand  $R_{M_{ges-4}}$  für die Messbereichserweiterung auf  $100\text{V}$  **1 Punkt**

Das Messinstrument soll nun zur Spannungsmessung an dem Spannungsteiler  $R_1/R_2$  genutzt werden. Je nach dem Messbereich hat das Messinstrument einen unterschiedlichen Innenwiderstand  $R_{M_{ges}}=R_V+R_M$  der die Messung beeinflussen kann.

- |  |                |
|--|----------------|
| 11. Welche Spannung $U_{M-0}$ ist am Spannungsteiler ohne das Messgerät (Leerlauf) | <b>1 Punkt</b> |
| 12. Welche Spannung $U_{M-2}$ misst das Messgerät im 10V Messbereich               | <b>1 Punkt</b> |
| 13. Welche Spannung $U_{M-3}$ misst das Messgerät im 50V Messbereich               | <b>1 Punkt</b> |
| 14. Welche Spannung $U_{M-4}$ misst das Messgerät im 100V Messbereich              | <b>1 Punkt</b> |

Je nach Messbereich hat das Messinstrument einen unterschiedlichen Innenwiderstand  $R_{Mges}$ . Somit wird der Spannungsteiler unterschiedlich belastet und das Messinstrument misst unterschiedliche Werte. Das erfolgt durch die Parallelschaltung von  $R_{Mges}$  für den entsprechenden Messbereich und  $R_2$ .

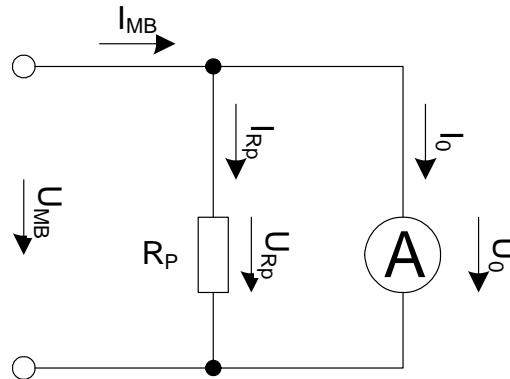
Zur Vereinfachung wird hier weiterhin angenommen, dass das Messgerät in allen Messbereichen mit gleicher Genauigkeit messen kann d.h. zusätzlich zum Zeiger eine 4-stellige Digitalanzeige.

Die Angabe „-2“ (z.B.:  $R_{V-2}$ ) an den Indizes bedeutet, dass es sich hier um den Messbereich „10V“ handelt. Analog bei den anderen Messbereichen. Formelzeichen ohne dieses Indize sind für alle Messbereiche gleich.

### 3. Aufgabenkomplex - 2. Aufgabe

#### Messbereichserweiterung an Strommessgeräten

Werte: $U_0 = 200\text{mV}$ $I_0 = 100\mu\text{A}$
---



Das gleiche Zeigerinstrument soll als Strommessgerät verwendet werden.  
Bestimmen Sie die Parallelwiderstände  $R_p$  für die verschiedenen Strommessbereiche.

**Gesamtpunktzahl: 10 Punkte**

1. Berechnen Sie den Innenwiderstand  $R_M$  des Messgerätes im Messbereich  $U_0=200\text{mV}$  und  $I_0=100\mu\text{A}$ . **1 Punkt**
2. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp1}$  durch  $R_{p1}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB1}=1\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p1}$ . **1 Punkt**
3. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp2}$  durch  $R_{p2}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB2}=5\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p2}$ . **1 Punkt**
4. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp3}$  durch  $R_{p3}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB3}=10\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p3}$ . **1 Punkt**
5. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp4}$  durch  $R_{p4}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB4}=50\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p4}$ . **1 Punkt**
6. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp5}$  durch  $R_{p5}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB5}=100\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p5}$ . **1 Punkt**
7. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp6}$  durch  $R_{p6}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB6}=500\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p6}$ . **1 Punkt**
8. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp7}$  durch  $R_{p7}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB7}=1\text{A}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p7}$ . **1 Punkt**
9. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp8}$  durch  $R_{p8}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB8}=5\text{A}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p8}$ . **0,5 Punkte**
10. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp9}$  durch  $R_{p9}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB9}=20\text{A}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p9}$ . **0,5 Punkte**
11. Berechnen Sie die Spannungen  $U_{Rp1}$  bis  $U_{Rp7}$ . **1 Punkt**

Zur Vereinfachung wird hier angenommen, dass das Messgerät in allen Messbereichen mit gleicher Genauigkeit messen kann d.h. zusätzlich zum Zeiger eine 4-stellige Digitalanzeige.

**Bemerkung:**

**Für alle Aufgaben gilt:**

- 1. In allen Formeln mit Zahlen sind die Maßeinheiten mitzuschleifen.**
- 2. Bei den Endergebnissen sind die Maßeinheiten zu verwenden, die, wenn vorhanden, aus einem Buchstaben bestehen. Während der Rechnung können Sie nach eigenem Ermessen verfahren.**
- 3. Bei den Endergebnissen sind die  $10^{\pm 3}$  Präfixe konsequent zu verwenden. Während der Rechnung können Sie nach eigenem Ermessen verfahren.  
Präfixe nur verwenden, wenn eine Maßeinheit dahinter ist.**
- 4. Alle Aufgaben auf insgesamt 4 Stellen genau berechnen, wenn in Aufgabe nicht anders angegeben.**
- 5. Die Aufgaben sind zu nummerieren, auch die Teilaufgaben.**
- 6. Der Rechenweg muß ersichtlich sein. Gegebenenfalls das Schmierblatt anheften.**
- 7. Jedes Blatt ist wie folgt zu nummerieren Seite/Gesamtzahl der Seiten (z.B. Seite 6/8)**

**Nichtbeachtung wird mit Punktabzug geahndet!**

<b>Präfixe zur Kennzeichnung des Vielfachen von gesetzlichen Einheiten (dezimal)</b>		
<b>Zeichen</b>	<b>Faktor</b>	<b>Bezeichnung</b>
Y	$10^{24}$	Yotta
Z	$10^{21}$	Zetta
E	$10^{18}$	Exa
P	$10^{15}$	Peta
T	$10^{12}$	Tera
G	$10^9$	Giga
M	$10^6$	Mega
k	$10^3$	Kilo
m	$10^{-3}$	Milli
$\mu$	$10^{-6}$	Mikro
n	$10^{-9}$	Nano
p	$10^{-12}$	Piko
f	$10^{-15}$	Femto
a	$10^{-18}$	Atto
z	$10^{-21}$	Zepto
y	$10^{-24}$	Yokto
Weniger gebräuchlich nur zu Information		
h	$10^2$	Hekto
da	$10^1$	Deka
d	$10^{-1}$	Dezi
c	$10^{-2}$	Zenti

Umgang mit den Präfixen am Beispiel einer 4 stelligen Genauigkeit:

--- , - Präfix Maßeinheit

-- , -- Präfix Maßeinheit

-, --- Präfix Maßeinheit

Beispiele:

216,4 $\mu$ F; 33,45kHz; 2,456M $\Omega$ ; 7,482A

## Lösung:

### 3. Aufgabenkomplex - 1. Aufgabe

#### Spannungsmessungen am belasteten Spannungsteiler

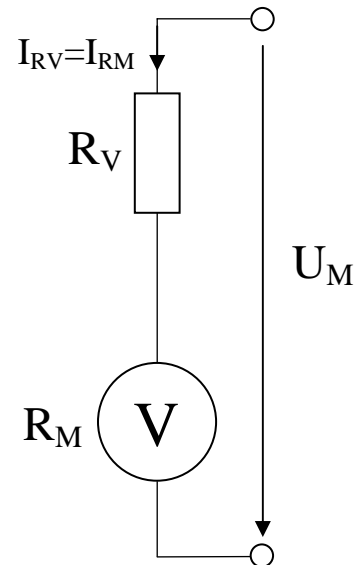
Bei der Messung elektrischer (und auch anderer) Größen ist zu beachten, dass man dem Messwert nicht immer trauen darf.

Bei ungünstigen Verhältnissen kommt es zu Verfälschungen des Messergebnisses durch den Eigenverbrauch des Messgerätes. Das hängt damit zusammen, dass das Messgerät selbst Energie verbraucht.

$$U_M = U_{RV} + U_{RM} \quad I_{RV} = I_M = I_{RM} \quad R_V = \frac{U_{RV}}{I_{RV}}$$

$$U_{RV} = U_{RM} - U_M$$

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I_{RV}} = \frac{U_{RM} - U_M}{I_{RM}}$$



1. Berechnen Sie den Innenwiderstand  $R_M$  des Messgerätes im Messbereich  $U_0=200\text{mV}$  und  $I_0=100\mu\text{A}$ .

$$R_M = \frac{U_{RM}}{I_{RM}}$$

$$U_{RM} = U_0 = 200\text{mV}; \quad I_{RM} = I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$R_M = \frac{200\text{mV}}{100\mu\text{A}} = \frac{200\text{mV} \cdot 10^3}{100\text{mA}} = 2,0\text{k}\Omega$$

2. Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_{V-1}$  für die Messbereichserweiterung auf  $U_{MB-1}=5\text{V}$

$$R_{V1} = \frac{U_{RV1}}{I_{RV1}} = \frac{U_{M1} - U_{RM}}{I_{RM}}$$

$$U_{M1} = 5V; \quad U_{RM} = 200mV; \quad I_{RM} = 100\mu A$$

$$R_{V1} = \frac{5V - 200mV}{100\mu A} = \frac{4,8V}{100\mu A} = 48000\Omega = 48,0k\Omega$$

3. Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_{V2}$  für die Messbereichserweiterung auf  $U_{MB-2}=10V$

$$R_{V2} = \frac{U_{RV2}}{I_{RV2}} = \frac{U_{M2} - U_{RM}}{I_{RM}}$$

$$U_{M2} = 10V; \quad U_{RM} = 200mV; \quad I_{RM} = 100\mu A$$

$$R_{V2} = \frac{10V - 200mV}{100\mu A} = \frac{9,8V}{100\mu A} = 98000\Omega = 98,0k\Omega$$

4. Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_{V3}$  für die Messbereichserweiterung auf  $U_{MB-3}=50V$

$$R_{V3} = \frac{U_{RV3}}{I_{RV3}} = \frac{U_{M3} - U_{RM}}{I_{RM}}$$

$$U_{M3} = 50V; \quad U_{RM} = 200mV; \quad I_{RM} = 100\mu A$$

$$R_{V3} = \frac{50V - 200mV}{100\mu A} = \frac{49,8V}{100\mu A} = 0,498M\Omega = 498k\Omega$$

5. Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_{V4}$  für die Messbereichserweiterung auf  $U_{MB-4}=100V$

$$R_{V4} = \frac{U_{RV4}}{I_{RV4}} = \frac{U_{M4} - U_{RM}}{I_{RM}}$$

$$U_{M4} = 100V; \quad U_{RM} = 200mV; \quad I_{RM} = 100\mu A$$

$$R_{V4} = \frac{100V - 200mV}{100\mu A} = \frac{99,8V}{100\mu A} = 0,998M\Omega = 998,0k\Omega$$

6. Berechnen Sie die Ströme  $I_{RV-1}$  bis  $I_{RV-4}$ .

$$I_{Rv-1} = I_{Rv-2} = I_{Rv-3} = I_{Rv-4} = I_0$$

$$I_0 = 100 \mu A$$

$$I_{Rv-1} = I_{Rv-2} = I_{Rv-3} = I_{Rv-4} = 100 \mu A$$



7. Berechnen Sie den Messgerätewiderstand  $R_{Mges-1}$  für die Messbereichserweiterung auf 5V

$$R_{Mges1} = \frac{U_{M1}}{I_{RM}} = R_M + R_{V1}$$

$$U_{M1} = 5V; \quad I_{RM} = 100\mu A; \quad R_M = 2,0k\Omega; \quad R_{V1} = 48k\Omega$$

$$R_{Mges1} = \frac{5V}{100\mu A} = 50k\Omega$$

$$R_{Mges1} = 2k\Omega + 48k\Omega = 50k\Omega$$

8. Berechnen Sie den Messgerätewiderstand  $R_{Mges-2}$  für die Messbereichserweiterung auf 10V

$$R_{Mges2} = \frac{U_{M2}}{I_{RM}} = R_M + R_{V2}$$

$$U_{M2} = 10V; \quad I_{RM} = 100\mu A; \quad R_M = 2,0k\Omega; \quad R_{V2} = 98k\Omega$$

$$R_{Mges2} = \frac{10V}{100\mu A} = 100k\Omega$$

$$R_{Mges2} = 2k\Omega + 98k\Omega = 100k\Omega$$

9. Berechnen Sie den Messgerätewiderstand  $R_{Mges3}$  für die Messbereichserweiterung auf 50V

$$R_{Mges3} = \frac{U_{M3}}{I_{RM}} = R_M + R_{V3}$$

$$U_{M3} = 50V; \quad I_{RM} = 100\mu A; \quad R_M = 2,0k\Omega; \quad R_{V3} = 498,0k\Omega$$

$$R_{Mges3} = \frac{50V}{100\mu A} = 500k\Omega$$

$$R_{Mges3} = 2k\Omega + 498k\Omega = 500k\Omega$$

10. Berechnen Sie den Messgerätewiderstand  $R_{Mges-4}$  für die Messbereichserweiterung auf 100V

$$R_{Mges4} = \frac{U_{M4}}{I_{RM}} = R_M + R_{V4}$$

$$U_{M4} = 100V; \quad I_{RM} = 100\mu A; \quad R_M = 2,0k\Omega; \quad R_{V4} = 998k\Omega$$

$$R_{Mges4} = \frac{100V}{100\mu A} = 1M\Omega$$

$$R_{Mges4} = 2k\Omega + 998k\Omega = 1M\Omega$$

11. Welche Spannung  $U_{M-0}$  ist am Spannungsteiler ohne das Messgerät (Leerlauf)

$$U_1 = 40V; \quad R_1 = 300k\Omega; \quad R_2 = 100k\Omega; \quad R_{Mges\ 0} \Rightarrow \infty$$

$$U_{M0} = \frac{R_{2ers0}}{R_1 + R_{2ers0}} \cdot U_1 \quad \text{mit} \quad R_{2ers0} = R_2$$

$$R_{2ers0} = R_2 = 100k\Omega$$

$$U_{M0} = \frac{100k\Omega}{300k\Omega + 100k\Omega} \cdot 40V = \frac{100k\Omega}{400k\Omega} \cdot 40V = 10V$$

12. Welche Spannung  $U_{M-2}$  misst das Messgerät im 10V Messbereich

$$U_1 = 40V; \quad R_1 = 300k\Omega; \quad R_2 = 100k\Omega; \quad R_{Mges\ 2} = 100k\Omega$$

$$U_{M2} = \frac{R_{2ers2}}{R_1 + R_{2ers2}} \cdot U_1 \quad \text{mit} \quad R_{2ers2} = R_2 \parallel R_{Mges\ 2} = \frac{R_2 \cdot R_{Mges\ 2}}{R_2 + R_{Mges\ 2}}$$

$$R_{2ers2} = \frac{100k\Omega \cdot 100k\Omega}{100k\Omega + 100k\Omega} = \frac{100k\Omega \cdot 100k\Omega}{200k\Omega} = \frac{100k\Omega}{2} = 50k\Omega$$

$$U_{M2} = \frac{50k\Omega}{300k\Omega + 50k\Omega} \cdot 40V = \frac{50k\Omega}{350k\Omega} \cdot 40V = 5,714V$$

13. Welche Spannung  $U_{M-3}$  misst das Messgerät im 50V Messbereich

$$U_1 = 40V; \quad R_1 = 300k\Omega; \quad R_2 = 100k\Omega; \quad R_{Mges\ 3} = 500k\Omega$$

$$U_{M3} = \frac{R_{2ers3}}{R_1 + R_{2ers3}} \cdot U_1 \quad \text{mit} \quad R_{2ers3} = R_2 \parallel R_{Mges\ 3} = \frac{R_2 \cdot R_{Mges\ 3}}{R_2 + R_{Mges\ 3}}$$

$$R_{2ers3} = \frac{100k\Omega \cdot 500k\Omega}{100k\Omega + 500k\Omega} = \frac{100k\Omega \cdot 500k\Omega}{600k\Omega} = 83,33k\Omega$$

$$U_{M3} = \frac{83,33k\Omega}{300k\Omega + 83,33k\Omega} \cdot 40V = \frac{83,33k\Omega}{383,33k\Omega} \cdot 40V = 8,695V$$

14. Welche Spannung  $U_{M4}$  misst das Messgerät im 100V Messbereich

$$U_1 = 40V; \quad R_1 = 300k\Omega; \quad R_2 = 100k\Omega; \quad R_{Mges4} = 1M\Omega$$

$$U_{M4} = \frac{R_{2ers4}}{R_1 + R_{2ers4}} \cdot U_1 \quad \text{mit} \quad R_{2ers4} = R_2 \parallel R_{Mges4} = \frac{R_2 \cdot R_{Mges4}}{R_2 + R_{Mges4}}$$

$$R_{2ers4} = \frac{100k\Omega \cdot 1M\Omega}{100k\Omega + 1M\Omega} = \frac{100k\Omega \cdot 1M\Omega}{1,1M\Omega} = 90,91k\Omega$$

$$U_{M4} = \frac{90,91k\Omega}{300k\Omega + 90,91k\Omega} \cdot 40V = \frac{90,91k\Omega}{390,91k\Omega} \cdot 40V = 9,302V$$

## Lösung:

### 3. Aufgabenkomplex - 2. Aufgabe

#### Messbereichserweiterung an Strommessgeräten

1. Berechnen Sie den Innenwiderstand  $R_M$  des Messgerätes im Messbereich  $U_0=200\text{mV}$  und  $I_0=100\mu\text{A}$ .

$$R_M = \frac{U_{RM}}{I_{RM}}$$

$$U_{RM} = U_0 = 200\text{mV}; \quad I_{RM} = I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$R_M = \frac{200\text{mV}}{100\mu\text{A}} = \frac{200\text{mV} \cdot 10^3}{100\text{mA}} = 2,0\text{k}\Omega$$

2. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp1}$  durch  $R_{p1}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB1}=1\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p1}$ .
3. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp2}$  durch  $R_{p2}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB2}=5\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p2}$ .
4. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp3}$  durch  $R_{p3}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB3}=10\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p3}$ .
5. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp4}$  durch  $R_{p4}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB4}=50\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p4}$ .
6. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp5}$  durch  $R_{p5}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB5}=100\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p5}$ .
7. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp6}$  durch  $R_{p6}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB6}=500\text{mA}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p6}$ .
8. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp7}$  durch  $R_{p7}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB7}=1\text{A}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p7}$ .
9. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp8}$  durch  $R_{p8}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB8}=5\text{A}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p8}$ .
10. Berechnen Sie den Strom  $I_{Rp9}$  durch  $R_{p9}$  für die Messbereichserweiterung  $I_{MB9}=20\text{A}$ .  
Berechnen Sie den Widerstand  $R_{p9}$ .

$$I_p = I_{MB} - I_0, \quad R_p = \frac{U_p}{I_p} = \frac{U_0}{I_{MB} - I_0}$$

$$I_{MB1} = 1\text{mA}; \quad U_0 = 200\text{mV}; \quad I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$I_{Rp1} = 1\text{mA} - 100\mu\text{A} = 900\mu\text{A}; \quad R_{p1} = \frac{200\text{mV}}{900\mu\text{A}} = \frac{200 \cdot 10^{-3}\text{V}}{900 \cdot 10^{-6}\text{A}} = 0,2222 \cdot 10^3 \Omega = 222,2\Omega$$

$$I_{MB2} = 5\text{mA}; \quad U_0 = 200\text{mV}; \quad I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$I_{Rp2} = 5\text{mA} - 100\mu\text{A} = 4,9\text{mA}; \quad R_{p2} = \frac{200\text{mV}}{4,9\text{mA}} = \frac{200 \cdot 10^{-3}\text{V}}{4,9 \cdot 10^{-3}\text{A}} = 40,82\Omega$$

$$I_{MB3} = 10\text{mA}; \quad U_0 = 200\text{mV}; \quad I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$I_{Rp3} = 10\text{mA} - 100\mu\text{A} = 9,9\text{mA}; \quad R_{p3} = \frac{200\text{mV}}{9,9\text{mA}} = \frac{200 \cdot 10^{-3}\text{V}}{9,9 \cdot 10^{-3}\text{A}} = 20,20\Omega$$

$$I_{MB4} = 50\text{mA}; \quad U_0 = 200\text{mV}; \quad I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$I_{Rp4} = 50\text{mA} - 100\mu\text{A} = 49,9\text{mA}; \quad R_{p4} = \frac{200\text{mV}}{49,9\text{mA}} = \frac{200 \cdot 10^{-3}\text{V}}{49,9 \cdot 10^{-3}\text{A}} = 4,008\Omega$$

$$I_p = I_{MB} - I_0, \quad R_p = \frac{U_p}{I_p} = \frac{U_0}{I_{MB} - I_0}$$

$$I_{MB5} = 100\text{mA}; \quad U_0 = 200\text{mV}; \quad I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$I_{Rp5} = 100\text{mA} - 100\mu\text{A} = 99,9\text{mA}; \quad R_{p5} = \frac{200\text{mV}}{99,9\text{mA}} = \frac{200 \cdot 10^{-3}\text{V}}{99,9 \cdot 10^{-3}\text{A}} = 2,002\Omega$$

$$I_{MB6} = 500\text{mA}; \quad U_0 = 200\text{mV}; \quad I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$I_{Rp6} = 500\text{mA} - 100\mu\text{A} = 499,9\text{mA}; \quad R_{p6} = \frac{200\text{mV}}{499,9\text{mA}} = \frac{200 \cdot 10^{-3}\text{V}}{499,9 \cdot 10^{-3}\text{A}} = 0,4\Omega = 400\text{m}\Omega$$

$$I_{MB7} = 1\text{A}; \quad U_0 = 200\text{mV}; \quad I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$I_{Rp7} = 1\text{A} - 100\mu\text{A} = 0,9999\text{A}; \quad R_{p7} = \frac{200\text{mV}}{0,9999\text{A}} = 200\text{m}\Omega$$

$$I_{MB8} = 5\text{A}; \quad U_0 = 200\text{mV}; \quad I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$I_{Rp8} = 5\text{A} - 100\mu\text{A} = 4,9999\text{A} \approx 4,999\text{A}; \quad R_{p8} = \frac{200\text{mV}}{4,999\text{A}} = 40\text{m}\Omega$$

$$I_{MB9} = 20\text{A}; \quad U_0 = 200\text{mV}; \quad I_0 = 100\mu\text{A}$$

$$I_{Rp9} = 20\text{A} - 100\mu\text{A} = 19,9999\text{A} \approx 19,99\text{A}; \quad R_{p9} = \frac{200\text{mV}}{19,99\text{A}} = 10,01\text{m}\Omega$$

11. Berechnen Sie die Spannungen  $U_{Rp1}$  bis  $U_{Rp7}$ .

$$U_{Rp1} = U_{Rp2} = U_{Rp3} = U_{Rp4} = U_{Rp5} = U_{Rp6} = U_{Rp7} = U_{Rp8} = U_{Rp9} = U_0$$

$$U_0 = 200\text{mV}$$

$$U_{Rp1} = U_{Rp2} = U_{Rp3} = U_{Rp4} = U_{Rp5} = U_{Rp6} = U_{Rp7} = U_{Rp8} = U_{Rp9} = 200\text{mV}$$