

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Unverzweigter Stromkreis</b> . . . . .	7	5.3 Magnetisierungskennlinie . . . . .	52
1.1 Berechnung von Widerständen . . . . .	7	5.4 Magnetische Flussdichte, magnetischer Fluss und Streuung . . . . .	54
1.2 Widerstand und Temperatur . . . . .	8	5.5 Magnetischer Widerstand und das Ohm'sche Gesetz des Magnetismus . . . . .	55
1.3 Stromstärke, Spannung und Widerstand . . .	10	<b>6 Berechnung magnetischer Kreise</b> . . . . .	57
1.4 Grundstromkreis . . . . .	11	6.1 Unverzweigte magnetische Kreise . . . . .	57
1.4.1 Ein äußerer Widerstand an der Span- nungsquelle . . . . .	11	6.1.1 Berechnung der elektrischen Durch- flutung bei gegebener magnetischen Flussdichte . . . . .	57
1.4.2 Mehrere äußere Widerstände an der Spannungsquelle . . . . .	13	6.1.2 Berechnung der magnetischen Fluss- dichte bzw. des magnetischen Flus- ses bei gegebener elektrischer Durch- flutung . . . . .	61
1.5 Vorschaltwiderstand und Spannungsteilung	14	6.2 Verzweigte magnetische Kreise . . . . .	62
1.6 Spannungsverlust und Leitungsquerschnitt .	15	6.3 Berechnung von Spulen . . . . .	63
1.7 Reihenschaltung von Spannungsquellen . . .	16	6.4 Berechnung von Erregerwicklungen . . . . .	65
1.7.1 Spannungsquellen mit gleicher Quel- lenspannung . . . . .	16	<b>7 Induktionsvorgänge</b> . . . . .	67
1.7.2 Spannungsquellen mit ungleicher Quellenspannung . . . . .	16	7.1 Induktionsgesetz . . . . .	67
<b>2 Verzweigter Stromkreis</b> . . . . .	17	7.2 Induktivität bei konstanter Permeabilitäts- zahl . . . . .	70
2.1 Zwei parallele Widerstände . . . . .	17	7.2.1 Induktivität eisenfreier Spulen . . . . .	70
2.2 Messung von Stromstärke und Spannung . .	18	7.2.2 Induktivität bei Anwesenheit von Ei- sen . . . . .	71
2.3 Mehr als zwei parallele Widerstände . . . . .	20	7.3 Induktivität von Leitungen . . . . .	73
2.4 Gemischte Schaltung von Widerständen . . .	21	7.4 Gegeninduktivität und Kopplung von ei- senlosen Spulen . . . . .	74
2.5 Umwandlung einer Dreieckschaltung in ei- ne Sternschaltung und umgekehrt . . . . .	23	7.5 Gegeninduktivität von Freileitungen . . . . .	76
2.6 Ströme und Spannungen in verzweigten Stromkreisen . . . . .	25	7.6 Ein- und Ausschaltvorgänge mit Induktivi- täten . . . . .	77
2.7 Mehrfache Spannungs- und Stromteilung . .	27	<b>8 Kraftwirkungen und Energieverhältnisse des magnetischen Feldes</b> . . . . .	79
2.8 Messung von Widerständen . . . . .	29	8.1 Kraftwirkung auf Stromleiter im Magnet- feld . . . . .	79
2.9 Nichtlineare Widerstände . . . . .	30	8.2 Energie des magnetischen Feldes . . . . .	80
<b>3 Berechnung von Netzwerken</b> . . . . .	33	8.3 Zugkraft von Magneten . . . . .	82
3.1 Einzelne Netzmaschen . . . . .	33	<b>9 Elektrisches Feld</b> . . . . .	84
3.2 Geschlossene Netze . . . . .	34	9.1 Elektrische Feldstärke . . . . .	84
3.2.1 Berechnung nach dem Knotenpunkt- und Maschensatz . . . . .	34	9.2 Elektrische Flussdichte und verschobene Ladung . . . . .	85
3.2.2 Berechnung nach dem Helmholtz'schen Überlagerungssatz . . . . .	36	9.3 Zusammenschaltung von Kapazitäten . . . . .	86
3.2.3 Berechnung nach dem Maschenstrom- verfahren . . . . .	37	9.4 Berechnung der Kapazität von Kondensa- toren . . . . .	88
3.2.4 Berechnung nach dem Satz von der Ersatzspannungsquelle (Zweipol- theorie) . . . . .	38	9.5 Kapazität von Kabeln und Leitungen . . . . .	89
3.3 Spannungsquellen in Gegenreihenschaltung	39	9.6 Kapazitäten im geschichteten Dielektrikum	90
<b>4 Leistung und Arbeit des Gleichstroms</b> . .	42	9.7 Ein- und Ausschaltvorgänge mit Kapazitä- ten . . . . .	91
4.1 Elektrische Leistung . . . . .	42	9.8 Energie und Kräfte im elektrischen Feld . . .	92
4.2 Leistungsverlust auf Leitungen . . . . .	44	<b>Lösungen</b> . . . . .	95
4.3 Elektrische Arbeit . . . . .	45		
4.4 Stromwärme . . . . .	46		
4.5 Leistung in Stromkreisen . . . . .	47		
<b>5 Grundgrößen des magnetischen Feldes</b> .	49		
5.1 Das magnetische Feld in eisenlosen Spulen	49		
5.2 Magnetisches Feld im Innern und in der Umgebung von Leitungen . . . . .	50		

# 1 Unverzweigter Stromkreis

## 1.1 Berechnung von Widerständen

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

$$R = \frac{l}{\kappa A}$$

$$G = \frac{1}{R}$$

$$\kappa = \frac{1}{\rho}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Größe	Zeichen	Einheit
elektrischer Widerstand	$R$	$\Omega$
spezifischer elektrischer Widerstand	$\rho$	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ oder $\Omega \cdot \text{m}$
elektrische Leitfähigkeit	$\kappa$	$\text{S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ oder $\text{S}/\text{m}$
elektrischer Leitwert	$G$	$\text{S} = 1/\Omega$
Länge	$l$	m
Drahtquerschnitt	$A$	$\text{mm}^2$
Durchmesser	$d$	mm

Spezifischer Widerstand von Kupfer bei  $20^\circ\text{C}$   $0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$   
 Spezifischer Widerstand von Aluminium bei  $20^\circ\text{C}$   $0,0286 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

- Welchen Gleichstromwiderstand hat eine Telefonleitung aus Kupfer von 4,5 km Länge und 4 mm Durchmesser?
- Auf einem Schiebewiderstand sind 300 m Konstantendraht ( $\rho = 0,5 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) von 0,4 mm Durchmesser aufgewickelt. Wie groß ist der Widerstand der Wicklung?
- Eine Spule besteht aus 500 Windungen Aluminiumdraht von 0,5 mm Durchmesser. Wie groß ist der Widerstand bei einer mittleren Windungslänge von 4 cm?
- Zu einem Motor führt eine 200 m lange Doppelleitung aus Kupfer von  $1,5 \text{ mm}^2$  Querschnitt. Wie groß ist der Widerstand?
- Ein Stellwiderstand hat 850 Windungen von 5 cm Durchmesser aus 0,3 mm dickem Nickelindraht ( $\rho = 0,43 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ). Wie viel beträgt der Widerstand?
- Der Heizleiter eines elektrischen Kochers besteht aus 10 m Chromnickeldraht von 0,45 mm Durchmesser ( $\rho = 1,1 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ). Wie groß ist der Widerstand?
- Welchen Widerstand hat ein aufgedampfter Dünnsfilm von 10 nm Dicke, 0,15 mm Breite und 0,85 mm Länge in der Längsrichtung mit dem spezifischen Widerstand  $\rho = 5 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ?

- (Bild 1) Die Hülle eines Bleimantelkabels hat den gezeichneten Querschnitt. Welchen Widerstand haben 50 m der Bleiumhüllung ( $\rho = 0,21 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )?

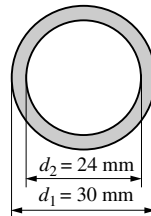


Bild 1: Aufgabe 8

- Der Durchmesser eines Zinkbandmantelkabels ( $\kappa = 16 \text{ S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ ) beträgt 1,5 cm. Welchen Widerstand haben 100 m der 0,3 mm dicken Umhüllung?
- Zwischen den beiden Platten eines Kondensators von  $0,1 \text{ m}^2$  Fläche befindet sich eine 4 mm dicke Glasplatte ( $\rho = 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ ). Welchen Widerstand hat die Platte?
- Zwischen zwei Metallplatten liegt eine 0,1 mm dicke PVC-Folie ( $\rho = 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$ ) von  $12 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ . Wie groß ist deren Widerstand?
- Berechnen Sie die Widerstände eines Quaders aus Piezolan ( $\rho = 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ ) von den Abmessungen  $2 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ , der in den 3 ver-

schiedenen Lagen zwischen 2 Elektroden eingeklemmt wird.

**13.** In einem Glasrog stehen in 3 cm Abstand 2 Kupferplatten von  $5\text{ cm} \times 8\text{ cm}$  in einer 10%igen Lösung von Kupfersulfat ( $\kappa = 3,2\text{ S/m}$ ). Wie groß ist der Widerstand zwischen den Platten?

**14.** Welchen Widerstand hat die Zelle eines Bleiakкумуляtors: Plattengröße  $1\text{ dm}^2$ , Plattenabstand 8 mm? Die 20%ige Säure hat eine Leitfähigkeit von  $65,3\text{ S/m}$ .

**15.** Welche Drahtlänge ist für einen Vorschaltwiderstand von  $500\ \Omega$  aus  $0,4\text{ mm}$  dickem Konstantendraht ( $\rho = 0,5\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) erforderlich?

**16.** Der Konstantendraht ( $\rho = 0,5\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) eines Hitzdrahtstrommessers hat  $0,06\text{ mm}$  Durchmesser. Welche Länge muss er haben, wenn sein Widerstand  $40\ \Omega$  betragen soll?

**17.** Der Gleichstromwiderstand einer Telefonleitung ( $\rho = 0,0178\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) von  $4\text{ mm}$  Durchmesser wird zu  $9,5\ \Omega$  gemessen. Wie lang ist die Leitung?

**18.** Wie viel Meter Kupferdraht enthält eine Spule, die bei  $1\text{ mm}^2$  Drahtquerschnitt einen Widerstand von  $6\ \Omega$  besitzt?

**19.** Wie viel Chromnickeldraht von  $0,6\text{ mm}$  Durchmesser muss der Heizkörper ( $\rho = 1,1\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) eines Kochgerätes enthalten, wenn sein Widerstand  $48,5\ \Omega$  betragen soll?

**20.** Auf den wievielfachen Wert steigt der Widerstand eines  $2\text{ mm}$  dicken Drahtes, wenn er un-

ter Erhaltung der Gesamtmasse auf  $1\text{ mm}$  Durchmesser ausgezogen wird?

**21.** Welchen Durchmesser hat eine  $1000\text{ m}$  lange Freileitung aus Kupfer, deren Widerstand  $1,804\ \Omega$  beträgt?

**22.** Eine kupferne Freileitung besteht aus 19 verdrehten Einzeldrähten und hat je Kilometer einen Widerstand von  $0,194\ \Omega$ . Welchen Durchmesser hat ein Einzeldraht?

**23.** Welchen spezifischen Widerstand hat das Material einer Freileitung, deren Widerstand je Kilometer  $0,194\ \Omega$  beträgt und die aus 37 Einzeldrähten von je  $2,25\text{ mm}$  Durchmesser zusammengedreht ist?

**24.** Welchen spezifischen Widerstand in  $\Omega \cdot \text{m}$  und welche Leitfähigkeit in  $\text{S/m}$  hat eine Flüssigkeit, die zwischen zwei im Abstand von  $6\text{ mm}$  befindlichen Elektroden von  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  einen Widerstand von  $0,02\ \Omega$  aufweist?

**25.** Zwischen den beiden Adern einer in der Erde liegenden Fernsprechleitung von  $0,6\text{ mm}$  Durchmesser und  $150\text{ m}$  Einfachlänge (Kupfer) ist Kurzschluss entstanden. Zur Bestimmung des Fehlerorts wird von der einen Seite der Doppelleitung her der Widerstand  $R_1 = 10,85\ \Omega$  und von der anderen Seite her  $R_2 = 13,02\ \Omega$  gemessen. In welcher Entfernung von der einen Seite befindet sich die Schadenstelle und wie groß ist hier der Übergangswiderstand?

## 1.2 Widerstand und Temperatur

*Formeln:*

Im Temperaturbereich von  $-40 \dots 1000\text{ }^\circ\text{C}$  gilt näherungsweise eine lineare Beziehung zwischen ohmschem Widerstand und der Temperatur (Bild 2):

Anfangstemperatur  $T_A = 293\text{ K}$

$$R_E = R_A [1 + \alpha(T_E - T_A)]$$

Anfangstemperatur  $T_A \neq 293\text{ K}$

$$R_E = R_A \frac{1/\alpha + T_E - 293\text{ K}}{1/\alpha + T_A - 293\text{ K}}$$

Größe	Zeichen	Einheit
ohmscher Widerstand bei Anfangstemperatur $T_A$ Endtemperatur $T_E$	$R_A$ $R_E$	$\Omega$ $\Omega$
Temperaturkoeffizient bei $T = 293\text{ K}$	$\alpha$	$1/\text{K}$
Temperaturkoeffizient bei $T = 293\text{ K}$	$\beta$	$(1/\text{K})^2$
Temperaturdifferenz	$\Delta \vartheta$	$\text{K}$

Für größere Temperaturbereiche ist der quadratische Temperaturkoeffizient  $\beta$  einzubeziehen:

$$R_E = R_A [1 + \alpha(T_E - T_A) + \beta(T_E - T_A)^2]$$

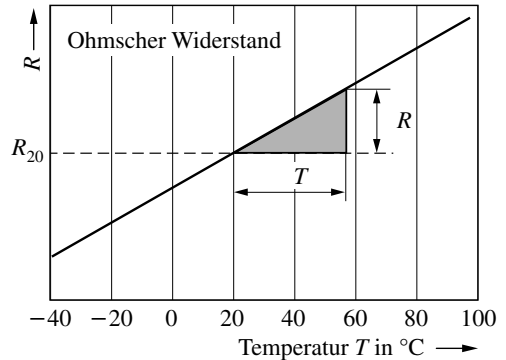


Bild 2: Widerstand und Temperatur

*Hinweis:*

Der Widerstand der meisten metallischen Leiter nimmt mit steigender Temperatur zu. Die angegebenen Formeln gelten nur näherungsweise.

- 26.** Die Feldwicklung eines Elektromotors hat bei  $20^{\circ}\text{C}$  einen Widerstand von  $500\ \Omega$  ( $\alpha = 0,0038\ 1/\text{K}$ ). Welchen Widerstand hat sie im Betrieb bei  $62^{\circ}\text{C}$ ?
- 27.** Berechnen Sie den Widerstand einer Glühlampe mit einem Wolframdraht von  $0,024\ \text{mm}$  Durchmesser und  $30\ \text{cm}$  Länge ( $\rho = 0,055\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) bei Zimmertemperatur ( $20^{\circ}\text{C}$ ) und im glühenden Zustand bei  $2300^{\circ}\text{C}$ .  $\alpha = 0,0041\ 1/\text{K}$ ;  $\beta = 10^{-6}\ 1/\text{K}^2$ .
- 28.** Bei welcher Temperatur verdoppelt sich der Widerstand eines Kupferdrahtes (Vergleichstemperatur  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha = 0,0038\ 1/\text{K}$ )?
- 29.** Ein Vorschaltwiderstand aus Nickeldraht hat bei  $20^{\circ}\text{C}$  den Anfangswert  $350\ \Omega$ . Bei welcher Temperatur erreicht er den Endwert  $450\ \Omega$  ( $\alpha = 0,0041\ 1/\text{K}$ )?
- 30.** Welche Temperatur hat ein Heizkörper, wenn er bei  $20^{\circ}\text{C}$  einen Strom von  $2,9\ \text{A}$  und im Betrieb  $0,5\ \text{A}$  aufnimmt? Betriebsspannung  $230\ \text{V}$  ( $\alpha = 0,0041\ 1/\text{K}$ )?
- 31.** Um wie viel Prozent nimmt der Widerstand eines von  $20^{\circ}\text{C}$  auf  $80^{\circ}\text{C}$  erwärmten Leiters aus Kupfer zu ( $\alpha = 0,0038\ 1/\text{K}$ )?
- 32.** Auf wie viel Prozent vom ursprünglichen Wert sinkt die Stromstärke in der Wicklung eines Motors, wenn die Temperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  auf  $65^{\circ}\text{C}$  zunimmt?
- 33.** Der Widerstand einer Telegrafenteilung ( $\alpha = 0,0038\ 1/\text{K}$ ) ist bei  $8^{\circ}\text{C}$   $1,5\ \Omega$ . Bei welcher Temperatur beträgt dieser  $1,55\ \Omega$ ?
- 34.** Welchen Widerstand hat der Kohlefaden ( $\rho = 39,6\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) einer Glühlampe bei  $20^{\circ}\text{C}$  und bei Weißglut ( $1600^{\circ}\text{C}$ ), wenn der Faden  $18\ \text{cm}$  lang und  $0,6\ \text{mm}$  dick ist ( $\alpha = -0,00041\ 1/\text{K}$ )?
- 35.** Welchen Widerstand hat eine Wolframlampe bei  $20^{\circ}\text{C}$  ( $\alpha = 0,0041\ 1/\text{K}$ ), wenn sie im Betrieb (Fadentemperatur  $2500^{\circ}\text{C}$ ) bei  $230\ \text{V}$  einen Strom von  $0,34\ \text{A}$  aufnimmt ( $\beta = 10^{-6}\ 1/\text{K}^2$ )?
- 36.** Zur Bestimmung des Temperaturkoeffizienten wird ein Draht in einem Ölbad von  $30^{\circ}\text{C}$  auf  $110^{\circ}\text{C}$  erwärmt. Dabei nimmt sein Widerstand um  $5\%$  zu. Welchen Wert hat der Temperaturkoeffizient?
- 37.** Der Wert eines Präzisionswiderstandes mit  $\alpha = 5 \cdot 10^{-5}\ 1/\text{K}$  gilt für  $\vartheta = 20^{\circ}\text{C}$ . In welchem Temperaturbereich lässt er sich einsetzen, wenn sein Widerstand nur um  $0,015\%$  schwanken darf?
- 38.** Auf wie viel Grad Celsius steigt die Temperatur eines Eisendrahtes ( $\alpha = 0,0065\ 1/\text{K}$ ) von anfänglich  $120^{\circ}\text{C}$ , wenn sein Widerstand um  $20\%$  zunimmt?
- 39.** Um wie viel Prozent nimmt der Widerstand eines Bleidrahtes ( $\alpha = 0,0041\ 1/\text{K}$ ) bei Erwärmung von  $80^{\circ}\text{C}$  auf  $125^{\circ}\text{C}$  zu?
- 40.** Der Widerstand der Kupferwicklung ( $\alpha = 0,0038\ 1/\text{K}$ ) eines Elektromotors beträgt bei

10°C im Stillstand 850 Ω. Wie groß ist der Widerstand, wenn sich der Motor im Betrieb auf 62°C erwärmt?

41. Welche Übertemperatur herrscht im Anker eines Motors ( $\alpha = 0,0038 \text{ 1/K}$ ), wenn bei 20°C ein Widerstand von 12 Ω und im erwärmten Zustand von 15 Ω gemessen wurden?

42. Der Gleichstromwiderstand einer Netzdrossel ( $\alpha = 0,0038 \text{ 1/K}$ ) beträgt bei 15°C 85 Ω. Nach längerem Betrieb wurden 105 Ω gemessen. Welche Temperatur hatte die Drosselspule angenommen?

43. Bei 18°C wurde der Gleichstromwiderstand einer Transformatorwicklung ( $\alpha = 0,0038 \text{ 1/K}$ )

zu 153 Ω festgestellt. Nach längerer Betriebsdauer stieg der Widerstand um 34%. Welches war die Betriebstemperatur?

44. An der Feldwicklung ( $\alpha = 0,0038 \text{ 1/K}$ ) eines Lautsprechermagneten liegt eine Spannung von 200 V, während bei 18°C ein Strom von 50 mA fließt. Im Betrieb sinkt die Erregerstromstärke auf 45 mA ab. Welche Betriebstemperatur liegt vor?

45. Je eine Metall- und Kohlefadenlampe gleicher Betriebsstromstärke sind parallel geschaltet. a) Welche von beiden Lampen leuchtet beim Anlegen der Spannung zuerst auf? b) Welche Erscheinung muss auftreten, wenn beide Lampen in Reihe geschaltet sind?

### 1.3 Stromstärke, Spannung und Widerstand

Formeln:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$U = IR$$

Hinweis:

In den folgenden Aufgaben werden die Widerstände  $R$  als konstant angenommen (lineare Widerstände). Daher sind in den angeführten Gleichungen Spannung und Strom einander proportional (Ohm'sches Gesetz).

Größe	Zeichen	Einheit
elektrische Stromstärke	$I$	A
elektrische Spannung	$U$	V
elektrischer Widerstand	$R$	Ω

46. Welcher Strom fließt durch ein elektrisches Bügeleisen von 80 Ω bei einer Spannung von 230 V?

47. Ein Stellwiderstand von 500 Ω liegt an einer Spannung von 4,5 V. Welches ist die kleinstmögliche Stromstärke?

48. Welcher Strom fließt durch den Arbeitswiderstand von 50 MΩ eines Verstärkers, wenn die Spannung 3 V abgegriffen wird?

49. Welcher Strom fließt durch eine Spule mit 300 m Kupferdraht von 0,5 mm Durchmesser bei einer angelegten Spannung von 6 V?

50. Welcher Strom fließt durch einen Widerstand von 10 kΩ bei einer Spannung von 400 V?

51. Welchen Widerstand hat eine Glühlampe, durch die bei 230 V ein Strom von 0,474 A fließt?

52. Welchen Widerstand müssen die an 230 V angeschlossenen Geräte eines Haushalts mindestens haben, wenn die Anlage durch eine 16-A-Sicherung geschützt ist?

53. An einem Widerstand liegen 150 V. Wie groß ist dieser, wenn ein Strom von 2,5 mA fließt?

54. Wie groß ist der Widerstand eines Heißwasserbereiters, wenn bei einer Spannung von 230 V ein Strom von 12 A fließt?

55. Durch einen Fernhörer fließt bei 90 V ein Strom von 0,045 A. Wie groß ist der Widerstand?

56. Welche Spannung liegt an den Enden einer 75 cm langen Quecksilbersäule von 2 mm<sup>2</sup> Querschnitt ( $\rho = 0,96 \text{ Ω} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ), durch die ein Strom von 1,8 A fließt?

57. Der Endausschlag eines Spannungsmessers soll 300 V bei einer Stromstärke von 0,1 A anzeigen. Wie groß muss sein Widerstand sein?

58. Ein unter Umständen schon lebensgefährlicher Strom von 40 mA fließt durch den menschlichen Körper und überwindet dabei einen Widerstand von 1 kΩ. Welche Spannung reicht hierzu aus?

- 59.** Ein Strommesser hat einen Widerstand von  $0,03 \Omega$  und zeigt im Endausschlag  $6 \text{ A}$  an. Wie groß ist die Klemmenspannung des Instruments?
- 60.** Wie viel Meter Kupferdraht von  $0,1 \text{ mm}$  Durchmesser befinden sich auf einer Spule, durch die bei einer angelegten Spannung von  $10 \text{ V}$  ein Strom von  $0,06 \text{ A}$  fließt?
- 61.** Ein aus Eisendraht ( $\rho = 0,13 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) von  $1,2 \text{ mm}$  Durchmesser gewickelter Vorschaltwiderstand soll bei einem Strom von  $3,5 \text{ A}$  eine gegebene Spannung von  $110 \text{ V}$  auf  $40 \text{ V}$  herabsetzen. Wie viel Windungen muss der zylindrische Wickelkörper von  $6 \text{ cm}$  Durchmesser tragen?
- 62.** Erhöht man die an einem Verbraucher liegende Spannung um  $20 \text{ V}$ , so nimmt die Stromstärke um  $8 \%$  zu. Wie groß ist die ursprüngliche Spannung?
- 63.** Welchen Spannungsabfall verursacht ein Widerstand von  $50 \text{ k}\Omega$  bei einem Strom von  $1,5 \text{ mA}$ ?
- 64.** Ein Widerstand wird um  $289 \Omega$  vergrößert. Dabei sinkt die Stromstärke um  $2 \text{ A}$  bei konstant

- bleibender Spannung von  $230 \text{ V}$ . Wie groß ist der Widerstand?
- 65.** Der Hitzdraht eines Messgerätes hat einen Widerstand von  $1100 \Omega$  und wird von  $50 \text{ mA}$  durchflossen. Welchen Betrag hat die Heizspannung?
- 66.** Um einen Wolframdraht von  $0,1 \text{ mm}$  Durchmesser auf  $3000^\circ \text{C}$  zu erhitzen, ist ein Strom von  $2,072 \text{ A}$  notwendig. Die erforderliche Heizspannung ist  $2,43 \text{ V}$  je  $\text{cm}$  Drahtlänge. Welchen Widerstand haben  $3 \text{ cm}$  des Drahtes?
- 67.** Ein Drehspulinstrument zeigt bei vollem Zeigerausschlag  $60 \text{ mV}$  an und hat einen inneren Widerstand von  $20 \Omega$ . Welcher Stromstärke entspricht dies?
- 68.** An der Fehlerstelle eines Elektroherdes besteht ein Übergangswiderstand von  $15 \Omega$ , der Erdübergangswiderstand beträgt  $30 \Omega$ . Welcher Fehlerstrom fließt bei  $230 \text{ V}$ ?
- 69.** Welche Spannung besteht zwischen zwei  $40 \text{ cm}$  voneinander entfernten Punkten einer Kupferleitung von  $1 \text{ mm}$  Durchmesser, durch die ein Strom von  $6 \text{ A}$  fließt?

## 1.4 Grundstromkreis

### 1.4.1 Ein äußerer Widerstand an der Spannungsquelle

Formeln:

$$U_q = U_i + U_a \quad \sum U = 0$$

$$U_q = I(R_i + R_a)$$

$$R_g = R_i + R_a \quad R_g = \sum R$$

$$I = \frac{U_q}{R_i + R_a} \quad U_K = U_q - U_i$$

$$I_k = \frac{U_q}{R_i} \quad \text{für } R_a = 0$$

$$U_1 = U_q \quad \text{für } R_a = \infty$$

Größe	Zeichen	Einheit
Quellenspannung	$U_q$	V
innerer bzw. äußerer Spannungsabfall	$U_i$ $U_a$	V
innerer bzw. äußerer Widerstand	$R_i$ $R_a$	$\Omega$ $\Omega$
Gesamtwiderstand	$R_g$	$\Omega$
Klemmenspannung	$U_K$	V
Leerlaufspannung	$U_1$	V
Kurzschlussstrom	$I_k$	A

Hinweise:

Die Pfeilrichtung am Schaltzeichen  $U_q$  kennzeichnet die Richtung des Potenzialgefälles innerhalb der Spannungsquelle (Bild 3). Der Verbraucher  $R_a$  bewirkt einen Potenzialausgleich über den Strom  $I$ . In vielen Fällen ist der Innenwiderstand einer Spannungsquelle nicht direkt messbar, wird aber in der Schaltskizze gesondert eingetragen. In den Aufgaben wird er der Einfachheit halber als konstant angenommen.

**70.** Gegeben:  $U_q = 4 \text{ V}$ ;  $R_i = 10 \Omega$ ;  $R_a = 60 \Omega$   
Gesucht:  $I$ ,  $U_i$ ,  $R_g$ ,  $U_K$

**71.** Gegeben:  $U_q = 4 \text{ V}$ ;  $U_K = 3,5 \text{ V}$ ;  $I = 0,5 \text{ A}$   
Gesucht:  $U_i$ ,  $R_i$ ,  $R_a$ ,  $R_g$

**72.** Gegeben  $R_i = 6 \Omega$ ;  $R_a = 50 \Omega$ ;  $U_K = 4,5 \text{ V}$   
Gesucht:  $U_q$ ,  $I$ ,  $U_i$ ,  $R_g$

**73.** Gegeben:  $I = 3 \text{ mA}$ ;  $R_a = 50 \text{ k}\Omega$ ;  $U_i = 2 \text{ V}$   
Gesucht:  $U_K$ ,  $U_q$ ,  $R_i$ ,  $R_g$

**74.** Gegeben:  $U_q = 24 \text{ V}$ ;  $R_a = 10 \Omega$ ;  $I = 1,5 \text{ A}$   
Gesucht:  $R_i$ ,  $U_i$ ,  $U_K$ ,  $R_g$

**75.** Weshalb kann in Aufgabe 74 der äußere Widerstand beispielsweise nicht  $40 \Omega$  betragen, wenn die übrigen Werte unverändert bleiben sollen?

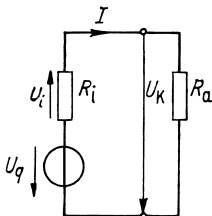


Bild 3:  
Aufgaben 70 bis 79

**76.** Gegeben:  $U_q = 30 \text{ V}$ ;  $U_K = 28 \text{ V}$ ;  $R_a = 15 \Omega$   
Gesucht:  $I$ ,  $R_i$ ,  $R_g$ ,  $U_i$

**77.** Gegeben:  $U_q = 1,5 \text{ V}$ ;  $R_i = 6 \Omega$ ;  $U_i = 0,2 \text{ V}$   
Gesucht:  $I$ ,  $R_a$ ,  $R_g$ ,  $U_K$

**78.** Gegeben:  $U_i = 2,2 \text{ V}$ ;  $U_K = 13,8 \text{ V}$ ;  $I = 2,5 \text{ A}$   
Gesucht:  $U_q$ ,  $R_g$ ,  $R_i$ ,  $R_a$

**79.** Gegeben:  $U_q = 12 \text{ V}$ ;  $U_i = 1 \text{ V}$ ;  $I = 0,5 \text{ A}$   
Gesucht:  $U_K$ ,  $R_i$ ,  $R_a$ ,  $R_g$

**80.** Durch ein Galvanometer von  $0,05 \Omega$  Widerstand mit vorgeschaltetem Widerstand von  $2 \Omega$  fließt ein Strom von  $0,47 \text{ A}$  aus einem Element, dessen Quellenspannung  $1,1 \text{ V}$  beträgt. Wie groß sind der Innenwiderstand des Elementes und die Klemmenspannung?

**81.** Die Quellenspannung eines Bleiakkumulators ist  $1,86 \text{ V}$ , sein Innenwiderstand  $R_i = 5 \text{ m}\Omega$ . 12 Zellen werden in Reihe geschaltet und erzeugen im Verbraucher einen Strom von  $6,55 \text{ A}$ . Wie groß sind die Klemmenspannung und der Widerstand des Verbrauchers?

**82.** Ein verstellbarer Vorschaltwiderstand  $R_v$  soll bei gegebenem Innenwiderstand  $R_i$  der Spannungsquelle und äußerem Widerstand  $R_a$  so bemessen sein, dass sich die Stromstärke bei fester Spannung  $U$  im Verhältnis  $1 : 6$  verändern lässt. Wie groß muss  $R_v$  sein?

**83.** Drei in Reihe geschaltete Monozellen, deren Quellenspannung je  $1,5 \text{ V}$  und deren Innenwiderstand je  $0,4 \Omega$  beträgt, betreiben eine Uhr mit  $12 \Omega$ . Wie groß sind Stromstärke, Klemmenspannung und Gesamtwiderstand?

**84.** Eine Signalanlage von  $25 \Omega$  Widerstand wird von drei in Reihe geschalteten Elementen von je  $1 \text{ V}$  Quellenspannung und je  $4 \Omega$  Innenwiderstand gespeist. Wie groß sind Klemmenspannung, Stromstärke und Gesamtwiderstand?

**85.** Welchen Innenwiderstand hat eine Trockenbatterie, deren Quellenspannung  $4,5 \text{ V}$  beträgt und aus der über einen Widerstand von  $12 \Omega$  ein Strom von  $350 \text{ mA}$  entnommen wird?

**86.** Die Batterie eines Radios hat die Quellenspannung  $16 \text{ V}$ . Wenn ein Strom von  $12 \text{ mA}$  entnommen wird, beträgt die Klemmenspannung  $15,8 \text{ V}$ . Welchen Innenwiderstand haben die Batterie und das Gerät?

**87.** Die Quellenspannung einer Gleichstrommaschine beträgt  $225 \text{ V}$ . Bei Anschluss von 50 parallel geschalteten 230-V/60-W-Lampen wird eine Klemmenspannung von  $218 \text{ V}$  gemessen. Wie groß sind der Innenwiderstand der Maschine, der entnommene Strom und der Gesamtwiderstand der Lampen?

**88.** Der Innenwiderstand eines Gleichstromgenerators beträgt  $3,5 \Omega$  und seine Quellenspannung  $125 \text{ V}$ . Der Gesamtwiderstand des äußeren Stromkreises beträgt  $65 \Omega$ . Wie groß sind Stromstärke und Klemmenspannung?

**89.** Ein galvanisches Element liefert bei einem äußeren Widerstand von  $R_1 = 5 \Omega$  einen Strom von  $I_1 = 257 \text{ mA}$ , dagegen nur  $I_2 = 150 \text{ mA}$  bei einem Widerstand von  $R_2 = 10 \Omega$ . Welchen Innenwiderstand und welche Quellenspannung hat das Element?

**90.** Welchen Innenwiderstand hat eine Gleichstrommaschine, deren Quellenspannung  $60 \text{ V}$  beträgt und deren Klemmenspannung an einem äußeren Widerstand von  $85 \Omega$  zu  $59,5 \text{ V}$  bestimmt wurde?

**91.** Beim Anschluss eines 4,5-V/2-W-Lämpchens beträgt die Klemmenspannung einer Taschenlampenbatterie  $4,3 \text{ V}$ . Welchen Innenwiderstand hat die Batterie bei einer Quellenspannung von  $4,5 \text{ V}$ ?

- 92.** Eine Taschenlampenbatterie (Quellenspannung 4,5 V) liefert bei Kurzschluss einen Strom von 5 A. Wie groß ist der Innenwiderstand?
- 93.** Wie groß sind Betriebsstrom und Innenwiderstand der Batterie eines Radios von 130  $\Omega$ , wenn deren Quellenspannung 7 V bzw. Klemmenspannung 6,5 V betragen?
- 94.** Welchen Strom würde ein Bleiakкумулятор mit der Quellenspannung 4 V und einem Innenwiderstand von 5 m $\Omega$  bei einem vollständigen Kurzschluss liefern?
- 95.** Durch eine Spannungsquelle fließt bei der Klemmenspannung 16,5 V ein Strom von 2,5 A. Bei Kurzschluss fließen 25 A. Wie groß sind Quellenspannung und Innenwiderstand?

- 96.** Der äußere Widerstand  $R_a$  verhält sich zum Innenwiderstand  $R_i$  einer Spannungsquelle wie  $n : 1$ . In welchem Verhältnis steht der Strom  $I$  zum Kurzschlussstrom  $I_k$ ?
- 97.** In welchem Verhältnis stehen unter den gleichen Bedingungen Klemmenspannung  $U_K$  und Leerlaufspannung  $U_i$  zueinander?
- 98.** Stellen Sie das Verhältnis  $I/I_k$  sowie  $U_K/U_i$  in Abhängigkeit von dem Verhältnis  $R_a/R_i$  grafisch dar.
- 99.** a) Von welchem Wert  $R_a/R_i$  an etwa ändert sich  $U_K$  nur noch unwesentlich?  
b) Bei welchem Verhältnis  $R_a/R_i$  haben  $I$  und  $U_K$  gerade die Hälfte bzw. ein Drittel ihrer Höchstwerte?

### 1.4.2 Mehrere äußere Widerstände an der Spannungsquelle

- 100.** Gegeben:  $R_1 = 10 \Omega$ ;  $R_2 = 15 \Omega$ ;  $R_i = 5 \Omega$ ;  $U_K = 6 V$ ;  $R_3 = 0 \Omega$   
Gesucht:  $R_g, R_a, I, U_1, U_2$
- 101.** Gegeben:  $U_q = 24 V$ ;  $R_1 = 4 \Omega$ ;  $R_2 = 5 \Omega$ ;  $R_3 = 10 \Omega$ ;  $I = 0,5 A$   
Gesucht:  $R_g, U_1, U_2, U_3, R_i, U_i$
- 102.** Gegeben:  $U_q = 24 V$ ;  $R_1 = 10 \Omega$ ;  $R_2 = 15 \Omega$ ;  $R_3 = 20 \Omega$ ;  $U_K = 23,5 V$   
Gesucht:  $I, U_i, U_1, U_2, U_3, R_i, R_g$
- 103.** Gegeben:  $U_q = 60 V$ ;  $R_1 = 15 \Omega$ ;  $R_2 = 8 \Omega$ ;  $U_3 = 20 V$ ;  $I = 1,1 A$   
Gesucht:  $U_K, U_1, U_2, R_3, R_i, R_g, U_i$

ke  $I_2 = 0,109 A$  gemessen wird? Der durch den Strommesser im Messbereich 0,3 A verursachte Spannungsabfall beträgt  $U_A = 0,6 V$ .

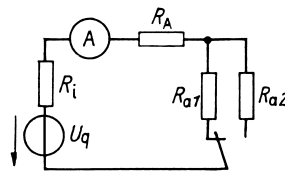


Bild 5:  
Aufgabe 104

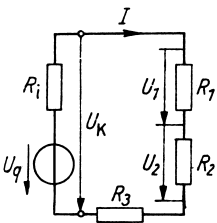


Bild 4:  
Aufgaben 100 bis 103

- 104.** (Bild 5) Wie groß sind der Innenwiderstand  $R_i$  und die Quellenspannung  $U_q$  der Spannungsquelle, wenn mit  $R_{a1} = 20 \Omega$  die Stromstärke  $I_1 = 0,240 A$  und mit  $R_{a2} = 50 \Omega$  der Stromstärke

- 105.** Zwei Spannungsmesser haben den Messbereich von je 150 V; der Widerstand des einen beträgt 2 k $\Omega$ , der des anderen 3 k $\Omega$ . Welche Spannungswerte zeigen die Instrumente an, wenn sie in Reihe an 230 V gelegt werden; und welche Gesamtspannung kann höchstens gemessen werden?
- 106.** Ein Gleichstromgenerator von 1,8  $\Omega$  innerem Widerstand speist 2 in Reihe geschaltete Heizgeräte von 14  $\Omega$  bzw. 18  $\Omega$ . Zum Anschluss dient eine Kupferleitung von 17,5 m Einfachlänge und 1,5 mm Durchmesser. An der Maschine wird eine Klemmenspannung von 215 V gemessen. Gesucht sind die Quellenspannung, die Stromstärke, der Spannungsverlust in der Leitung und die Spannung an den beiden Geräten.

## 1.5 Vorschaltwiderstand und Spannungsteilung

Formeln:

$$U_v = I R_v$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_1 = U \frac{l_1}{l}$$

Größe	Zeichen	Einheit
Spannungsabfall am Vorschaltwiderstand	$U_v$	V
Größe des Vorschaltwiderstandes	$R_v$	$\Omega$
Gesamtspannung	$U$	V
Teilspannungen	$U_1, U_2$	V
Gesamtlänge	$l$	m
Teillängen eines Spannungsteilers	$l_1, l_2$	m

Spannungsteilerregel:

Die Spannungsabfälle an zwei in Reihe geschalteten Widerständen stehen im gleichen Verhältnis zueinander wie die Beträge dieser Widerstände. Das Gleiche gilt für die Teillängen eines in zwei Abschnitte geteilten Leitungsdrahtes.

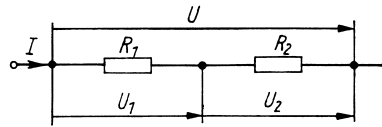


Bild 6: Widerstände in Reihenschaltung

**107.** Die 125-V-Lampe eines Projektionsapparates mit der Stromstärke  $I = 3,5 \text{ A}$  soll an die Spannung 230 V angeschlossen werden. Hierzu ist ein Vorschaltwiderstand aus Konstantandraht ( $\rho = 0,5 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) zu wickeln. Wie viel Draht von 1 mm Durchmesser ist dafür erforderlich?

**108.** (Bild 7) Ein Messinstrument, dessen Zeiger bei 5 mA voll ausschlägt, wenn am System die Spannung  $U_i = 12 \text{ mV}$  liegt, soll als Spannungsmesser für die Messbereiche 15 mV, 150 mV, 1,5 V und 15 V verwendet werden. a) Wie groß ist der Innenwiderstand des Instrumentes? b) Welche Vorschaltwiderstände sind herzurichten? c) Welches sind die jeweiligen Gesamtwiderstände?

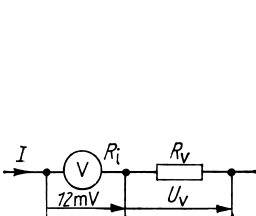


Bild 7: Aufgabe 108

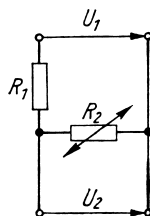


Bild 8: Aufgabe 115

**109.** Wenn man zu einem Spannungsmesser einen Vorschaltwiderstand von  $1,94 \text{ M}\Omega$  schaltet, erhöht sich sein Messbereich von 3 V auf 100 V. Wie groß ist sein Innenwiderstand?

**110.** Ein Lämpchen für 3,8 V und 0,02 A soll an eine Spannung von 6 V angeschlossen werden. Welchen Wert muss der Vorschaltwiderstand haben?

**111.** Eine Lampe von 30 W und 6 V soll an eine Spannung von 110 V angeschlossen werden. Welchen Wert muss der Vorschaltwiderstand haben?

**112.** Ein Drehspulinstrument hat den Messbereich  $U_i = 60 \text{ mV}$  und den Innenwiderstand  $R_i = 20 \Omega$ . Der Messbereich soll auf a) 1,5 V, b) 3 V, c) 15 V, d) 75 V und e) 300 V erweitert werden. Welche Vorschaltwiderstände sind erforderlich?

**113.** Der Spannungsabfall an einer Bogenlampe beträgt 38 V. Sie soll an eine Spannung von 65 V angeschlossen werden. Wie groß muss der Vorschaltwiderstand bei einer Stromstärke von 6 A sein?

**114.** Ein Spannungsteiler von 24 cm bewickelter Länge liegt an einer Spannung von 230 V. An welchen Stellen müssen die Abgriffe für 20 V, 40 V und 150 V angebracht werden?

**115.** (Bild 8) Der an einem Widerstandsthermometer liegende Spannungsabfall soll zwischen den Werten  $U'_2 = 42 \text{ mV}$  und  $U''_2 = 39 \text{ mV}$  schwanken, wenn sein Widerstand infolge von Temperaturänderungen zwischen  $R'_2 = 120 \Omega$  und  $R''_2 = 110 \Omega$  schwankt.

Welche Werte müssen der Festwiderstand  $R_1$  und die Eingangsspannung  $U_1$  aufweisen?

**116.** 4 Widerstände von  $100\ \Omega$ ,  $200\ \Omega$ ,  $300\ \Omega$  und  $400\ \Omega$  sind in Reihe geschaltet an eine Spannung von  $125\ \text{V}$  angeschlossen. Welche 10 verschiedenen Spannungen kann man zwischen je 2 Verbindungsstellen abgreifen?

Zeichnen Sie die Spannungen in ein Schalt-schema ein.

**117.** Ein Potenziometer hat 350 Windungen und liegt an einer Spannung von  $4\ \text{V}$ . Wie viel Windungen müssen jeweils abgegriffen werden, um

die Spannung  $50\ \text{mV}$ ,  $80\ \text{mV}$ ,  $150\ \text{mV}$  sowie  $1,2\ \text{V}$  und  $3\ \text{V}$  abzuzei-gen?

**118.** Ändert man das Teilungsverhältnis eines kalibrierten Brückendrahtes der Länge  $l$  von  $l_1 : l_2 = 2 : 3$  in  $4 : 5$  um, so sinkt die an  $l_2$  abgegriffene Spannung  $U_2$  um  $10\ \text{V}$ . Wie groß ist die Gesamtspannung  $U$  und welchen Betrag hat die Spannung  $U_2$  vor und nach der Änderung?

**119.** Eine Heizwendel mit 500 Windungen liegt an einer Spannung von  $230\ \text{V}$ . Welche Spannung besteht zwischen 2 aufeinanderfolgenden Windungen?

## 1.6 Spannungsverlust und Leitungsquerschnitt

Formel:

$$U_v = \frac{2Il\rho}{A}$$

gültig für eine Doppel-(Hin- und Rück-)Leitung

**120.** Welchen Querschnitt muss die  $35\ \text{m}$  lange Zuleitung ( $\rho = 0,0178\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) zu einem Elektroherd mindestens haben, wenn bei der Stromstärke  $12\ \text{A}$  und der Spannung  $230\ \text{V}$  ein Spannungsverlust von höchstens  $3\%$  auftreten darf?

**121.** In der  $5,75\ \text{km}$  langen kupfernen Speiseleitung einer Straßenbahn entsteht bei Belastung mit  $85\ \text{A}$  ein Spannungsverlust von  $84\ \text{V}$ .

Welchen Querschnitt und Durchmesser hat die Leitung?

**122.** Eine  $1\ 000\ \text{m}$  lange Lichtleitung ist an die Spannung  $230\ \text{V}$  angeschlossen und führt zu einer Baustelle, an der ein Strom von  $15\ \text{A}$  aufgenommen wird. Drahtquerschnitt  $4\ \text{mm}^2$  (Kupfer). a) Welche Spannung steht am Verbrauchsort zur Verfügung? b) Auf welchen Betrag muss die Stromstärke reduziert werden, damit der Verlust nur noch  $40\ \text{V}$  beträgt? c) Welchen Querschnitt müsste die Leitung haben, wenn bei  $15\ \text{A}$  höchstens  $40\ \text{V}$  verloren gehen sollen?

**123.** Mit welcher Höchststromstärke darf eine  $75\ \text{m}$  lange Kupferleitung von  $6\ \text{mm}^2$  Querschnitt belastet werden, wenn der Spannungsverlust  $2,5\%$  von  $125\ \text{V}$  nicht überschreiten soll?

Größe	Zeichen	Einheit
Spannungsverlust in der Leitung	$U_v$	V
einfache Länge der Leitung	$l$	m
Drahtquerschnitt	$A$	$\text{mm}^2$

**124.** Ein Gehöft wird an eine  $550\ \text{m}$  entfernte  $230\text{-V}$ -Leitung angeschlossen. Welcher Leitungsquerschnitt ist mindestens zu wählen, wenn bei einer Stromstärke von  $12\ \text{A}$  der Spannungsverlust höchstens  $5\%$  betragen soll a) bei Kupferleitung ( $\rho = 0,0178\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ), b) bei Aluminiumleitung ( $\rho = 0,0286\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )?

**125.** Für rohrverlegte Drähte sind je  $100\ \text{m}$  Streckenlänge folgende Belastbarkeiten in Anwendung:

	a)	b)	c)	d)	e)
Nennquerschnitt in $\text{mm}^2$	2,5	4	6	10	16
Belastbarkeit in A					
Kupfer $\rho = 0,0178\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	21	27	35	48	65
Aluminium $\rho = 0,0286\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	16	21	27	38	51

Welche Spannungsverluste ergeben sich hieraus für Doppelleitungen von je  $100\ \text{m}$  Länge im Fall der Höchstbelastung?

**126.** Wie lang darf eine Cu-Doppelleitung von  $4\ \text{mm}^2$  Querschnitt höchstens sein, wenn von der am Eingang liegenden Spannung  $230\ \text{V}$  nicht mehr als  $10\%$  verloren gehen sollen (bei Höchstbelastung nach Aufgabe 125)?

**127.** Um wie viel Prozent nimmt der Spannungsverlust in einer Leitung zu, wenn bei gleich bleibender Stromstärke die Temperatur um 20 K steigt?

**128.** Aus welchem Material besteht eine 65 m lange und 3 mm dicke Doppelleitung, wenn bei

der Eingangsspannung 120 V und 5 A Belastung 2,19 % der angelegten Spannung verloren gehen?

**129.** Um wie viel Prozent kann eine Leitung bei gleichem Spannungsverlust verlängert werden; wenn man die Strombelastung um 30 % verringert?

## 1.7 Reihenschaltung von Spannungsquellen

### 1.7.1 Spannungsquellen mit gleicher Quellenspannung

Formel:

$$I = \frac{nU_q}{nR_1 + R_a}$$

**130.** Welchen Strom liefern 12 in Reihe geschaltete Monozellen von je  $U_q = 1,5 \text{ V}$  und  $R_1 = 1,8 \Omega$  über einen äußeren Widerstand von  $25 \Omega$ ? Wie groß ist die Klemmenspannung?

**131.** Zehn Elemente liegen in Reihenschaltung an einem äußeren Widerstand von  $25 \Omega$ . Verdoppelt man ihre Anzahl, so nimmt die Stromstärke um 48 % zu. Wie groß ist der Innenwiderstand eines Elementes?

**132.** Wie viel Elemente von je  $1,5 \text{ V}$  und  $0,9 \Omega$  sind in Reihe zu schalten, wenn sie bei einem äußeren Widerstand von  $18 \Omega$  den Strom  $0,52 \text{ A}$  liefern sollen?

**133.** Welcher Strom kann aus einer größeren Anzahl in Reihe geschalteter Elemente von je  $1,1 \text{ V}$  und  $0,6 \Omega$  höchstens entnommen werden?

Größe	Zeichen	Einheit
Anzahl der Elemente	$n$	1
Quellenspannung des Einzelelementes	$U_q$	V

**134.** Welcher Strom kann aus einer Batterie von 100 Elementen zu je  $1,5 \text{ V}$  und  $2,5 \Omega$  im Höchstfall entnommen werden?

**135.** Welcher Strom fließt aus einer Reihenschaltung von 3, 6, 9 bis 30 Elementen von je  $1,5 \text{ V}$  und  $2,2 \Omega$  über einen äußeren Widerstand von  $30 \Omega$ ? Stellen Sie die Stromstärke in Abhängigkeit von der Zahl der Elemente grafisch dar. Welches ist die höchstmögliche Stromstärke?

**136.** Zehn galvanische Elemente liegen in Reihenschaltung an einem äußeren Widerstand von  $40 \Omega$ . Verdoppelt man ihre Anzahl, so nimmt die Stromstärke um  $0,2 \text{ A}$  zu. Wie groß ist der Innenwiderstand eines Elements, wenn die Quellenspannung  $1,5 \text{ V}$  beträgt?

### 1.7.2 Spannungsquellen mit ungleicher Quellenspannung

**137.** Die folgenden 3 galvanischen Elemente liegen in Reihe an dem äußeren Widerstand  $25 \Omega$ :  $U_{q1} = 1,5 \text{ V}$  ( $R_{i1} = 0,3 \Omega$ ),  $U_{q2} = 1,8 \text{ V}$  ( $R_{i2} = 0,25 \Omega$ ),  $U_{q3} = 2,3 \text{ V}$  ( $R_{i3} = 0,6 \Omega$ ).

Berechnen Sie die Stromstärke, die gesamte Klemmenspannung und die der einzelnen Elemente.

**138.** Die folgenden 5 galvanischen Elemente liegen in Reihe an dem äußeren Widerstand  $12 \Omega$ :  $U_{q1} = 2,8 \text{ V}$  ( $R_{i1} = 0,08 \Omega$ );  $U_{q2} = 2,2 \text{ V}$  ( $R_{i2} = 0,2 \Omega$ );  $U_{q3} = 1,8 \text{ V}$  ( $R_{i3} = 0,3 \Omega$ );  $U_{q4} = 1,5 \text{ V}$  ( $R_{i4} = 0,1 \Omega$ );  $U_{q5} = 1,2 \text{ V}$  ( $R_{i5} = 0,05 \Omega$ ).

Wie groß sind Stromstärke und Klemmenspannung?

**139.** Berechnen Sie zu Aufgabe 138 die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke.

**140.** Vier Elemente, davon 2 mit  $U_{q1} = 1,5 \text{ V}$  ( $R_{i1} = 0,8 \Omega$ ) und 2 mit  $U_{q2} = 1,8 \text{ V}$  ( $R_{i2} = 0,4 \Omega$ ), sind in Reihe geschaltet und betreiben einen kleinen Motor, der  $2,4 \text{ W}$  aufnimmt. Welche Werte haben Klemmenspannung, Widerstand und Stromstärke? (2 Lösungen!)

# Lösungen

$$1. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 4500 \text{ m}}{\text{m} \cdot 12,6 \text{ mm}^2} = \underline{6,37 \Omega}$$

$$2. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{0,5 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 300 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,126 \text{ mm}^2} = \underline{1,19 \text{ k}\Omega}$$

$$3. R = \frac{N \rho l}{A} = \frac{0,0286 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 500 \cdot 0,04 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,196 \text{ mm}^2} = \underline{2,91 \Omega}$$

$$4. R = \frac{2 \rho l}{A} = \frac{0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 400 \text{ m}}{\text{m} \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = \underline{4,75 \Omega}$$

$$5. R = \frac{\rho N \pi d}{A} = \frac{0,43 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 850 \cdot \pi \cdot 0,05 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,07 \text{ mm}^2} = \underline{820 \Omega}$$

$$6. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{1,1 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 10 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,159 \text{ mm}^2} = \underline{69,2 \Omega}$$

$$7. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{5 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m} \cdot 8,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}}{1,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2} = \underline{2,833 \text{ k}\Omega}$$

$$8. A = \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4} = 254 \text{ mm}^2;$$

$$R = \underline{0,041 \Omega} = 41 \text{ m}\Omega$$

$$9. A = \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4} = 13,85 \text{ mm}^2;$$

$$R = \frac{l}{\kappa A} = \underline{0,45 \Omega}$$

$$10. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{10^{10} \Omega \cdot \text{m} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,1 \text{ m}^2} = \underline{400 \text{ M}\Omega}$$

$$11. R = \frac{\rho l}{A} = \frac{10^{11} \Omega \cdot \text{m} \cdot 10^{-4} \text{ m}}{180 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{556 \text{ M}\Omega}$$

$$12. R_1 = \frac{10^{10} \Omega \cdot \text{m} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{167 \text{ G}\Omega};$$

$$R_2 = \frac{10^{10} \Omega \cdot \text{m} \cdot 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{375 \text{ G}\Omega};$$

$$R_3 = \frac{10^{10} \Omega \cdot \text{m} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{667 \text{ G}\Omega}$$

$$13. R = \frac{l}{\kappa A} = \frac{3 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{m}}{3,2 \text{ S} \cdot 40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{2,34 \Omega}$$

$$14. R = \frac{l}{\kappa A} = \frac{8 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{m}}{65,3 \text{ S} \cdot 10^{-2} \text{ m}^2} = \underline{12,3 \text{ m}\Omega}$$

$$15. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{500 \Omega \cdot 0,126 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{0,5 \Omega \cdot \text{mm}^2} = \underline{126 \text{ m}}$$

$$16. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{40 \Omega \cdot 0,00283 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{0,5 \Omega \cdot \text{mm}^2} = \underline{22,62 \text{ cm}}$$

$$17. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{9,5 \Omega \cdot 12,6 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2} = \underline{6,72 \text{ km}}$$

$$18. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{6 \Omega \cdot 1 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2} = \underline{337 \text{ m}}$$

$$19. l = \frac{RA}{\rho} = \frac{48,5 \Omega \cdot 0,283 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{1,1 \Omega \cdot \text{mm}^2} = \underline{12,5 \text{ m}}$$

20. Da sich der Querschnitt auf den 4. Teil verringert, erlangt der Draht die 4fache Länge; der Widerstand steigt auf den 16fachen Wert.

$$21. A = \frac{\rho l}{R} = \frac{0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 1000 \text{ m}}{1,804 \Omega \cdot \text{m}} = \underline{9,87 \text{ mm}^2};$$

$$d = 2\sqrt{\frac{9,87 \text{ mm}^2}{\pi}} = \underline{3,54 \text{ mm}}$$

$$22. A = \frac{\rho l}{Rn} = \frac{0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 1000 \text{ m}}{0,194 \Omega \cdot \text{m} \cdot 19} = \underline{4,83 \text{ mm}^2};$$

$$d = \underline{2,48 \text{ mm}}$$

$$23. \rho = \frac{RnA}{l} = \frac{0,194 \Omega \cdot 37 \cdot 3,98 \text{ mm}^2}{1000 \text{ m}} = \underline{0,0286 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}} \quad (\text{Aluminium})$$

$$24. \rho = \frac{RA}{l} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot 36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{6 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = \underline{1,2 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}}; \quad \kappa = \underline{83,3 \text{ S/m}}$$

25. Widerstand der Leitung  $R_g = 18,88 \Omega$ ;  
Übergangswiderstand

$$R_{\text{ü}} = \frac{R_1 + R_2 - R_g}{2} = \underline{2,5 \Omega};$$

Widerstand bis zur Schadenstelle

$$R'_1 = R_1 - R_{\text{ü}} = 8,35 \Omega;$$

Entfernung

$$l_1 = \frac{R'_1 A}{2\rho} = \underline{66,32 \text{ m}}$$

$$26. R_E = R_A [1 + \alpha(T_E - T_A)] \\ = 500(1 + 0,0038 \cdot 42) \Omega = \underline{580 \Omega}$$

$$27. R_A = \frac{\rho l}{A} = \frac{0,055 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 0,3 \text{ m}}{0,000452 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}} = \underline{36,5 \Omega}$$

$$R_E = 36,5(1 + 0,0041 \cdot 2280 + 10^{-6} \cdot 2280^2) \Omega \\ = \underline{567 \Omega}$$

$$28. 2R_A = R_A [1 + \alpha(T_E - T_A)];$$

$$\Delta \vartheta = \frac{1}{\alpha} = 263 \text{ K}; \quad \vartheta = \underline{283 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$29. \Delta \vartheta = \frac{R_E - R_A}{\alpha R_A} = \frac{(450 - 350) \Omega \cdot \text{K}}{0,004 \cdot 350 \Omega}; \\ = 71,4 \text{ K}$$

$$\vartheta = \underline{91,4 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$30. R_A = \frac{U}{I_1} = \frac{230 \text{ V}}{2,9 \text{ A}} = 79 \Omega;$$

$$R_E = \frac{U}{I_2} = \frac{230 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 460 \Omega;$$

$$\Delta \vartheta = \frac{R_E - R_A}{\alpha R_A} = 1206 \text{ K}; \quad \vartheta = \underline{1226 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$31. xR_A = R_A [1 + \alpha(T_E - T_A)];$$

$$x = 1 + 0,0038 \cdot 60 = 1,228.$$

Die Zunahme beträgt demnach 22,8 %.

$$32. I_\vartheta = \frac{U}{R_E} = \frac{U}{(1 + 0,0038 \cdot 45) R_A} \\ = \frac{I}{1,171} = 0,854 I.$$

Der Strom beträgt im Betrieb nur noch 85,4 %.33. Wegen  $T_A \neq 293 \text{ K}$  ist

$$T_E = \frac{R_E}{R_A} (1/\alpha + T_A - 293 \text{ K}) - 1/\alpha + 293 \text{ K} \\ = \frac{1,55}{1,5} (263,16 + 281 - 293) - 263,16 + 293 \\ = 289,37 \text{ K} = \underline{16,21 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$34. R_A = \frac{\rho l}{A} = \frac{39,6 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 0,18 \text{ m}}{0,283 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}} = \underline{25,2 \Omega};$$

$$R_E = R_A [1 + \alpha(T_E - T_A)] = \underline{9,3 \Omega}$$

$$35. R_E = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{0,34 \text{ A}} = \underline{676 \Omega};$$

$$R_A = \frac{676 \Omega}{1 + 0,0041 \cdot 2480 + 10^{-6} \cdot 2480^2} \\ = \underline{39,0 \Omega}$$

$$36. \alpha = \frac{1 - R_E/R_A}{R_E/R_A(T_A - 293 \text{ K}) - T_E + 293 \text{ K}} \\ = \underline{0,000541/\text{K}}$$

$$37. R + pR = R[1 + \alpha(T_E - T_A)],$$

$$\text{daraus folgt } T_E - T_A = \frac{p}{\alpha} = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-5} 1/\text{K}} = 3 \text{ K},$$

d. h. Temperaturbereich ist

$$\vartheta - (T_E - T_A) = 20 \text{ }^\circ\text{C} - 3 \text{ K} = \underline{17 \text{ }^\circ\text{C}};$$

$$\vartheta - (T_E - T_A) = 20 \text{ }^\circ\text{C} + 3 \text{ K} = \underline{23 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$38. T_E = T_A \frac{R_E}{R_A} - \frac{R_A - R_E}{R_A} (1/\alpha - 293 \text{ K}) \\ = 443,77 \text{ K} = \underline{170,61 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$39. \frac{R_E}{R_A} = \frac{1/\alpha + T_E - 293 \text{ K}}{1/\alpha + T_A - 293 \text{ K}} \\ = \frac{250 \text{ K} + 398 \text{ K} - 293 \text{ K}}{250 \text{ K} + 353 \text{ K} - 293 \text{ K}} = 1,15;$$

Zunahme 15 %

$$40. R_E = R_A (1 + \alpha \Delta \vartheta) \\ = 850(1 + 0,0038 \cdot 52) \Omega = \underline{1,018 \text{ k}\Omega}$$

$$41. T_E - T_U = \frac{R_E - R_A}{\alpha R_A} = \frac{3 \Omega \cdot \text{K}}{0,0038 \cdot 12 \Omega} = \underline{66 \text{ K}}$$

$$42. T_E = T_A \frac{R_E}{R_A} - \frac{R_A - R_E}{R_A} (1/\alpha - 293 \text{ K}) \\ = 355,76 \text{ K} - 7,02 \text{ K} \\ = 348,74 \text{ K} = \underline{75,7 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$43. T_E = 380 \text{ K} = \underline{107 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$44. \text{ Mit } R_A = \frac{U}{I_A} = 4 \text{ k}\Omega \text{ und } R_E = \frac{U}{I_E} = 4,44 \text{ k}\Omega \\ \text{folgt } T_E = 320 \text{ K} = \underline{47 \text{ }^\circ\text{C}}$$

45. a) Die Metallfadenlampe leuchtet zuerst auf. Wegen ihres im kalten Zustand kleineren Widerstandes hat sie die größere Anfangsstromstärke, während umgekehrt die Kohlefadenlampe infolge ihres negativen Temperaturkoeffizienten anfänglich den schwächeren Strom aufnimmt.

b) Die Stromstärke ist in beiden Lampen stets die gleiche. Die Anfangsleistung der Kohlefadenlampe ist wegen des größeren Anfangswiderstandes im Gegensatz zur Metallfadenlampe jedoch größer. Sie leuchtet daher später auf.

46.  $I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{80 \Omega} = \underline{2,88 \text{ A}}$

47.  $I = \frac{U}{R} = \frac{4,5 \text{ V}}{500 \Omega} = \underline{9 \text{ mA}}$

48.  $I = \frac{U}{R} = \frac{3 \text{ V}}{50 \cdot 10^6 \Omega} = \underline{0,06 \mu\text{A}}$

49.  $I = \frac{UA}{\rho l} = \frac{6 \text{ V} \cdot 0,196 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{0,0178 \text{ mm}^2 \cdot 300 \text{ m}} = \underline{0,22 \text{ A}}$

50.  $I = \frac{U}{R} = \frac{400 \text{ V}}{10000 \Omega} = \underline{0,04 \text{ A}}$

51.  $R = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{0,474 \text{ A}} = \underline{485 \Omega}$

52.  $R = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{16 \text{ A}} = \underline{14,4 \Omega}$

53.  $R = \frac{U}{I} = \frac{150 \text{ V}}{0,0025 \text{ A}} = \underline{60 \text{ k}\Omega}$

54.  $R = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{12 \text{ A}} = \underline{19,2 \Omega}$

55.  $R = \frac{U}{I} = \frac{90 \text{ V}}{0,045 \text{ A}} = \underline{2 \text{ k}\Omega}$

56.  $U = IR = \frac{I \rho l}{A}$   
 $= \frac{1,8 \text{ A} \cdot 0,96 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 0,75 \text{ m}}{2 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}} = \underline{0,65 \text{ V}}$

57.  $R = \frac{U}{I} = \frac{300 \text{ V}}{0,1 \text{ A}} = \underline{3 \text{ k}\Omega}$

58.  $U = IR = 0,04 \text{ A} \cdot 1000 \Omega = \underline{40 \text{ V}}$

59.  $U = IR = 6 \text{ A} \cdot 0,03 \Omega = \underline{180 \text{ mV}}$

60.  $l = \frac{UA}{I \rho} = \frac{10 \text{ V} \cdot 0,00785 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{0,06 \text{ A} \cdot 0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2}$   
 $= \underline{73,5 \text{ m}}$

61. Mit  $R = \frac{U}{I} = \frac{\rho l}{A}$  wird

$N = \frac{l}{\pi d} = \frac{UA}{I \rho \pi d}$   
 $= \frac{70 \text{ V} \cdot 1,131 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{3,5 \text{ A} \cdot 0,13 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \pi \cdot 0,06 \text{ m}}$   
 $= \underline{923 \text{ Windungen.}}$

62.  $\frac{U}{I} = \frac{U + 20 \text{ V}}{1,08 I}$ ;  $U = \underline{250 \text{ V}}$

63.  $U = IR = 0,0015 \text{ A} \cdot 50000 \Omega = \underline{75 \text{ V}}$

64. Aus den Gleichungen

$I = \frac{U}{R}$  und  $I - \Delta I = \frac{U}{R + \Delta R}$

folgt nach Einsetzen der ersten in die zweite

$R = -\frac{\Delta R}{2} \pm \sqrt{\frac{U \Delta R}{\Delta I} + \left(\frac{\Delta R}{2}\right)^2} = \underline{88,1 \Omega}$

65.  $U = IR = 0,05 \text{ A} \cdot 1100 \Omega = \underline{55 \text{ V}}$

66.  $R = \frac{U}{I} = \frac{3 \cdot 2,43 \text{ V}}{2,072 \text{ A}} = \underline{3,52 \Omega}$

67.  $I = \frac{U}{R} = \frac{0,06 \text{ V}}{20 \Omega} = \underline{3 \text{ mA}}$

68.  $I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{45 \Omega} = \underline{5,1 \text{ A}}$

69.  $U = IR = \frac{I \rho l}{A}$   
 $= \frac{6 \text{ A} \cdot 0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 0,4 \text{ m}}{0,785 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}$   
 $= \underline{54,4 \text{ mV}}$

70.  $R_g = R_i + R_a = \underline{70 \Omega}$ ;

$I = \frac{U}{R_g} = \frac{4 \text{ V}}{70 \Omega} = \underline{57 \text{ mA}}$ ;

$U_i = IR_i = 0,057 \text{ A} \cdot 10 \Omega = \underline{0,57 \text{ V}}$ ;

$U_K = IR_a = 0,057 \text{ A} \cdot 60 \Omega = \underline{3,42 \text{ V}}$

71.  $U_i = U_q - U_K = \underline{0,5 \text{ V}}$ ;  $R_i = \frac{U_i}{I} = \underline{1 \Omega}$ ;

$R_a = \frac{U_K}{I} = \underline{7 \Omega}$ ;  $R_g = R_i + R_a = \underline{8 \Omega}$

72.  $R_g = R_i + R_a = \underline{56 \Omega}$ ;  $I = \frac{U_K}{R_a} = \underline{0,09 \text{ A}}$ ;

$U_i = IR_i = \underline{0,54 \text{ V}}$ ;  $U_q = U_K + U_i = \underline{5,04 \text{ V}}$

73.  $U_K = IR_a = \underline{150 \text{ V}}$ ;  $U_q = U_K + U_i = \underline{152 \text{ V}}$ ;

$R_i = \frac{U_i}{I} = \underline{667 \Omega}$ ;  $R_g = R_a + R_i = \underline{50,67 \text{ k}\Omega}$

74.  $R_g = \frac{U_q}{I} = \underline{16 \Omega}$ ;  $R_i = R_g - R_a = \underline{6 \Omega}$ ;

$U_i = IR_i = \underline{9 \text{ V}}$ ;  $U_K = IR_a = \underline{15 \text{ V}}$

75. In diesem Fall könnte höchstens ( $R_i = 0$ ) ein Strom von  $I = 24 \text{ V} / 40 \Omega = 0,6 \text{ A}$  fließen, was im Widerspruch zu dem gegebenen Wert von  $I = 1,5 \text{ A}$  steht.

76.  $I = \frac{U_K}{R_a} = \underline{1,87 \text{ A}}$ ;  $U_i = U_q - U_K = \underline{2 \text{ V}}$ ;

$R_i = \frac{U_i}{I} = \underline{1,07 \Omega}$ ;  $R_g = R_i + R_a = \underline{16,07 \Omega}$

$$77. I = \frac{U_i}{R_i} = \underline{0,033 \text{ A}}; \quad R_g = \frac{U_q}{I} = \underline{45 \Omega};$$

$$R_a = R_g - R_i = \underline{39 \Omega}; \quad U_K = IR_a = \underline{1,3 \text{ V}}$$

$$78. U_q = U_i + U_K = \underline{16 \text{ V}}; \quad R_g = \frac{U_q}{I} = \underline{6,4 \Omega};$$

$$R_i = \frac{U_i}{I} = \underline{0,88 \Omega}; \quad R_a = \frac{U_K}{I} = \underline{5,52 \Omega}$$

$$79. U_K = U_q - U_i = \underline{11 \text{ V}}; \quad R_a = \frac{U_K}{I} = \underline{22 \Omega};$$

$$R_i = \frac{U_i}{I} = \underline{2 \Omega}; \quad R_g = R_i + R_a = \underline{24 \Omega}$$

$$80. R_i = \frac{U_q}{I} - R_a = \underline{0,29 \Omega};$$

$$U_K = IR_a = \underline{0,96 \text{ V}}$$

$$81. U_{qg} = 12U_q; \quad R_{ig} = 12R_i;$$

$$R_g = \frac{U_{qg}}{I} = \underline{3,4 \Omega}; \quad R_a = R_g - R_{ig} = \underline{3,34 \Omega};$$

$$U_K = IR_a = \underline{21,88 \text{ V}}$$

$$82. \frac{U}{R_i + R_a} = \frac{6U}{R_i + R_a + R_v};$$

$$R_v = \underline{5(R_i + R_a)}$$

$$83. R_g = R_i + R_a = \underline{13,2 \Omega};$$

$$I = \frac{U_q}{R_g} = \underline{0,34 \text{ A}}; \quad U_K = IR_a = \underline{4,08 \text{ V}}$$

$$84. R_g = R_i + R_a = \underline{37 \Omega};$$

$$I = \frac{U_q}{R_g} = \underline{0,081 \text{ A}}; \quad U_K = IR_a = \underline{2,025 \text{ V}}$$

$$85. R_i = \frac{U_q}{I} - R_a = \underline{0,86 \Omega}$$

$$86. R_i = \frac{U_q - U_K}{I} = \underline{16,7 \Omega};$$

$$R_a = \frac{U_K}{I} = \underline{1,317 \text{ k}\Omega}$$

$$87. R_L = \frac{U_K^2}{P} = \underline{15,84 \Omega}; \quad I = \frac{U_K}{R_L} = \underline{13,8 \text{ A}};$$

$$R_i = \frac{U_q - U_K}{I} = \underline{0,51 \Omega}$$

$$88. I = \frac{U_q}{R_i + R_a} = \underline{1,825 \text{ A}};$$

$$U_K = IR_a = \underline{118,6 \text{ V}}$$

$$89. I_1 = \frac{U_q}{R_i + R_1}; \quad I_2 = \frac{U_q}{R_i + R_2}$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich

$$R_1 = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} = \underline{2 \Omega}; \quad U_q = \underline{1,8 \text{ V}}.$$

$$90. R_i = \frac{U_q - U_K}{I} = \frac{(U_q - U_K)R_a}{U_K} = \underline{0,71 \Omega}$$

91. Widerstand der Lampe

$$R_L = \frac{4,5^2 \text{ V}^2}{2 \text{ W}} = \underline{10,13 \Omega};$$

$$R_i = \frac{U_q - U_K}{I} = \frac{(U_q - U_K)R_L}{U_K} = \underline{0,47 \Omega}$$

$$92. R_i = \frac{U_q}{I_k} = \frac{4,5 \text{ V}}{5 \text{ A}} = \underline{0,9 \Omega}$$

$$93. I = \frac{U_K}{R_a} = \underline{50 \text{ mA}}; \quad R_i = \frac{U_q - U_K}{I} = \underline{10 \Omega}$$

$$94. I_k = \frac{U_q}{R_1} = \frac{4 \text{ V}}{0,005 \Omega} = \underline{800 \text{ A}}$$

$$95. I = \frac{U_q}{R_i + R_a} = \frac{U_q}{\frac{U_q}{I_k} + \frac{U_q}{I}};$$

$$U_q = \frac{I_k U_K}{I_k - I} = \underline{18,33 \text{ V}}; \quad R_i = \frac{U_q}{I_k} = \underline{0,733 \Omega}$$

$$96. \text{ Wegen } R_a = nR_i; \quad I = \frac{U_q}{R_i + nR_i}$$

$$\text{und } I_k = \frac{U_q}{R_i} \text{ wird } \frac{I}{I_k} = \frac{1}{1+n}$$

$$97. U_K = IR_a = InR_i = \frac{U_q n R_i}{R_i(1+n)} = \frac{nU_q}{1+n};$$

$$U_1 = U_q; \quad \frac{U_K}{U_1} = \frac{n}{1+n}$$

98. (Bild 236)

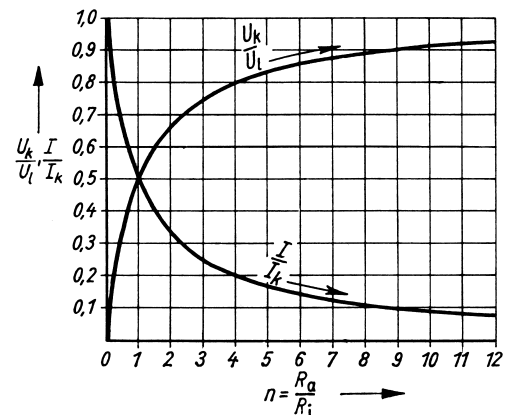


Bild 236: Aufgabe 98

**99.** a) Von etwa  $R_a = 8R_i$  an ändert sich  $U_K$  nur noch wenig.

b) Die Hälfte der Höchstwerte liegt bei  $R_a = R_i$  vor. Der Strom ist ein Drittel des Kurzschlussstromes bei  $R_a = 2R_i$ . Die Klemmenspannung ist ein Drittel der Leerlaufspannung bei  $R_a = R_i/2$ .

**100.**  $R_g = R_i + R_1 + R_2 = \underline{30\ \Omega}; \quad R_a = \underline{25\ \Omega};$

$I = \frac{U_K}{R_a} = \underline{0,24\ \text{A}}; \quad U_q = IR_g = \underline{7,2\ \text{V}};$

$U_1 = IR_1 = \underline{2,4\ \text{V}}; \quad U_2 = IR_2 = \underline{3,6\ \text{V}};$

$U_i = IR_i = \underline{1,2\ \text{V}}$

**101.**  $R_g = \frac{U_q}{I} = \underline{48\ \Omega}; \quad U_1 = IR_1 = \underline{2\ \text{V}};$

$U_2 = IR_2 = \underline{2,5\ \text{V}}; \quad U_3 = IR_3 = \underline{5\ \text{V}};$

$U_k = U_1 + U_2 + U_3 = \underline{9,5\ \text{V}};$

$U_i = U_q - U_k = \underline{14,5\ \text{V}}; \quad R_i = \frac{U_i}{I} = \underline{29\ \Omega}$

**102.**  $I = \frac{U_K}{R_a} = \underline{0,522\ \text{A}}; \quad U_1 = IR_1 = \underline{5,22\ \text{V}};$

$U_2 = IR_2 = \underline{7,83\ \text{V}}; \quad U_3 = IR_3 = \underline{10,44\ \text{V}};$

$U_i = U_q - U_k = \underline{0,5\ \text{V}}; \quad R_i = \frac{U_i}{I} = \underline{0,96\ \Omega};$

$R_g = R_i + R_1 + R_2 + R_3 = \underline{45,96\ \Omega}$

**103.**  $R_g = \frac{U_q}{I} = \underline{54,55\ \Omega}; \quad R_3 = \frac{U_3}{I} = \underline{18,18\ \Omega};$

$R_i = R_g - (R_1 + R_2 + R_3) = \underline{13,36\ \Omega};$

$U_1 = IR_1 = \underline{16,5\ \text{V}}; \quad U_2 = IR_2 = \underline{8,8\ \text{V}};$

$U_K = I(R_1 + R_2 + R_3) = \underline{45,3\ \text{V}};$

$U_i = IR_i = \underline{14,7\ \text{V}}$

**104.**  $I_1 = \frac{U_q}{R_i + R_{a1} + R_A};$

$I_2 = \frac{U_q}{R_i + R_{a2} + R_A};$

Widerstand des Strommessers

$R_A = \frac{0,6\ \text{V}}{0,3\ \text{A}} = \underline{2\ \Omega};$

Auflösen nach  $U_g$  und Gleichsetzen ergibt

$R_i = \frac{I_2(R_{a2} + R_A) - I_1(R_{a1} + R_A)}{I_1 - I_2} = \underline{3\ \Omega};$

$U_q = I_1(R_i + R_{a1} + R_A) = \underline{6\ \text{V}}$

**105.**  $R_g = R_1 + R_2 = 5\ 000\ \Omega; \quad I = \frac{U}{R_1 + R_2};$

$U_1 = IR_1 = \frac{UR_1}{R_1 + R_2} = \underline{92\ \text{V}}; \quad U_2 = \underline{138\ \text{V}};$

da  $U_2$  höchstens 150 V betragen kann, ist der Höchststrom

$I_{\text{max}} = \frac{150\ \text{V}}{3\ 000\ \Omega} = 0,05\ \text{A};$

$U_{1\text{max}} = I_{\text{max}}R_1 = 100\ \text{V}; \quad U_{\text{max}} = \underline{250\ \text{V}}$

**106.** Leitungswiderstand  $R_L = \frac{\rho l}{A} = \underline{0,353\ \Omega};$

$R_g = 34,15\ \Omega; \quad I = \frac{U_K}{R_a} = \underline{6,65\ \text{A}};$

$U_q = IR_g = \underline{227\ \text{V}}; \quad U_v = IR_L = \underline{2,35\ \text{V}};$

$U_1 = IR_1 = \underline{93\ \text{V}}; \quad U_2 = IR_2 = \underline{119,7\ \text{V}}$

**107.**  $R_v = \frac{\Delta U}{I} = \underline{30\ \Omega};$

$l = \frac{R_v A}{\rho} = \underline{47\ \text{m}}$

**108.** a)  $R_i = \frac{U_i}{I} = \underline{2,4\ \Omega}$

b)  $R_{v1} = \frac{U - U_i}{I} = \underline{0,6\ \Omega}; \quad R_{v2} = \underline{27,6\ \Omega};$

$R_{v3} = \underline{297,6\ \Omega}; \quad R_{v4} = \underline{2\ 997,6\ \Omega}$

c)  $R_{g1} = R_i + R_{v1} = \underline{3\ \Omega}; \quad R_{g2} = \underline{30\ \Omega};$

$R_{g3} = \underline{300\ \Omega}; \quad R_{g4} = \underline{3\ 000\ \Omega}$

**109.**  $\frac{U_i}{U - U_i} = \frac{R_i}{R_v};$

$R_i = \frac{R_v U_i}{U - U_i} = \underline{60\ \text{k}\Omega}$

**110.**  $R_v = \frac{\Delta U}{I} = \underline{110\ \Omega}$

**111.**  $I = \frac{P}{U_L} = 5\ \text{A}; \quad R_v = \frac{U - U_L}{I} = \underline{20,8\ \Omega}$

**112.**  $\frac{U_i}{U - U_i} = \frac{R_i}{R_v}; \quad R_v = \frac{R_i(U - U_i)}{U_i}$

a)  $\underline{0,48\ \text{k}\Omega}$    b)  $\underline{0,98\ \text{k}\Omega}$    c)  $\underline{4,98\ \text{k}\Omega}$

d)  $\underline{24,98\ \text{k}\Omega}$    e)  $\underline{99,98\ \text{k}\Omega}$

**113.**  $R_v = \frac{\Delta U}{I} = \frac{(65 - 38)\ \text{V}}{6\ \text{A}} = \underline{4,5\ \Omega}$

**114.**  $l_1 = \frac{IU_1}{U} = \frac{24\ \text{cm} \cdot 20\ \text{V}}{230\ \text{V}} = \underline{2,09\ \text{cm}};$

$l_2 = \frac{24\ \text{cm} \cdot 40\ \text{V}}{230\ \text{V}} = \underline{4,17\ \text{cm}}; \quad l_3 = \underline{15,7\ \text{cm}}$

**115.** Aus  $U_1 = U_2' \frac{R_2' + R_1}{R_2'}$  und  $U_1 = U_2'' \frac{R_2'' + R_1}{R_2''}$

ergibt sich durch Gleichsetzen und Auflösen

$$R_1 = \frac{R_2' R_2'' (U_2' - U_2'')}{U_2'' R_2' - U_2' R_2''} = \underline{660 \Omega};$$

$$U_1 = 42 \text{ mV} \frac{(120 + 660) \Omega}{120 \Omega} = \underline{273 \text{ mV}}$$

$$116. U_1 = \frac{U R_1}{R_g} = \frac{125 \text{ V} \cdot 100 \Omega}{1000 \Omega} = \underline{12,5 \text{ V}};$$

$$U_2 = \frac{125 \text{ V} \cdot 200 \Omega}{1000 \Omega} = \underline{25 \text{ V}} \text{ usw. (Bild 237)}$$

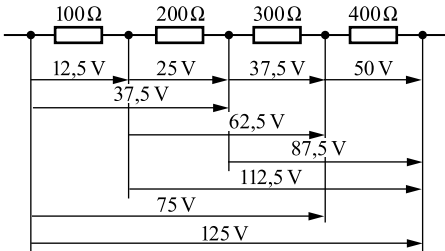


Bild 237: Aufgabe 116

$$117. N_1 = \frac{N U_1}{U} = \frac{350 \cdot 0,05 \text{ V}}{4 \text{ V}} = \underline{4,4 \text{ Windungen}}; \text{ ferner}$$

$$N_2 = \underline{7}; \quad N_3 = \underline{13,1}; \quad N_4 = \underline{105}; \quad N_5 = \underline{263}$$

$$118. \frac{\frac{3}{5}l - \frac{5}{9}l}{l} = \frac{10 \text{ V}}{U}; \quad U = \underline{225 \text{ V}};$$

$$\text{vorher: } U_2 = \frac{3U}{5} = \underline{135 \text{ V}};$$

$$\text{nachher: } U_2 = \underline{125 \text{ V}}$$

$$119. U_1 = \frac{U}{500} = \underline{0,46 \text{ V}}$$

$$120. U_v = 0,03U = 6,9 \text{ V};$$

$$A = \frac{2Il\varrho}{U_v} = \underline{2,17 \text{ mm}^2}$$

(nächster Normquerschnitt  $2,5 \text{ mm}^2$ )

$$121. A = \frac{Il\varrho}{U_v} = \underline{103,6 \text{ mm}^2}; \quad d = \underline{11,5 \text{ mm}}$$

$$122. \text{ a) } U_v = \frac{2Il\varrho}{A} = \underline{133,5 \text{ V}};$$

zur Verfügung steht die Spannung

$$U - U_v = \underline{96,5 \text{ V}}$$

$$\text{b) } I_1 : I_2 = U_{v1} : U_{v2};$$

$$I_2 = \frac{I_1 U_{v2}}{U_{v1}} = \underline{4,5 \text{ A}}$$

$$\text{c) } A = \frac{2Il\varrho}{U_v} = \underline{13,4 \text{ mm}^2}$$

(nächster Normquerschnitt  $16 \text{ mm}^2$ )

$$123. I = \frac{U_v A}{2Il\varrho} = \underline{7,02 \text{ A}}$$

$$124. \text{ a) } A = \frac{2Il\varrho}{U_v} = \underline{20,4 \text{ mm}^2}$$

(nächster Normquerschnitt  $25 \text{ mm}^2$ )

$$\text{b) } A = \underline{32,8 \text{ mm}^2}$$

(nächster Normquerschnitt  $35 \text{ mm}^2$ )

125. a) Für Kupfer ist

$$U_v = \frac{2Il\varrho}{A} = \frac{2 \cdot 21 \text{ A} \cdot 100 \text{ m} \cdot 0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2}{2,5 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}} = \underline{29,9 \text{ V}};$$

für Aluminium ist  $U_v = \underline{36,6 \text{ V}}$

$$\text{b) } 24,0 \text{ V}; \quad 30,0 \text{ V} \quad \text{c) } 20,8 \text{ V}; \quad 25,7 \text{ V}$$

$$\text{d) } 17,1 \text{ V}; \quad 21,7 \text{ V} \quad \text{e) } 14,5 \text{ V}; \quad 18,2 \text{ V}$$

$$126. l = \frac{U_v A}{2I\varrho} = \frac{23 \text{ V} \cdot 4 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}}{2 \cdot 27 \text{ A} \cdot 0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2} = \underline{95,7 \text{ m}}$$

127. Der Spannungsverlust ist proportional dem spezifischen Widerstand. Dieser beträgt bei einer Temperaturzunahme um 20 K das 1,076fache, da  $(1 + 0,0038 \cdot 20) = 1,076$  ist. Die Zunahme beträgt daher 7,6%.

$$128. U_v = 0,0219 U = 2,63 \text{ V};$$

$$\varrho = \frac{U_v A}{2Il} = \underline{0,0286 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}} \text{ (Aluminium)}$$

$$129. \frac{2 \cdot 0,7I\varrho l'}{A} = \frac{2I\varrho l}{A};$$

$l' = 1,43l$ ; die Leitung kann um 43% verlängert werden.

$$130. I = \frac{nU_q}{R_a + nR_i} = \frac{12 \cdot 1,5 \text{ V}}{(25 + 12 \cdot 1,8) \Omega} = \underline{0,386 \text{ A}};$$

$$U_k = IR_a = 0,386 \text{ A} \cdot 25 \Omega = \underline{9,65 \text{ V}}$$

131. Man dividiert die Gleichungen

$$I = \frac{nU_q}{R_a + nR_i} \quad \text{und} \quad 1,48I = \frac{2nU_q}{R_a + 2nR_i}$$

und erhält nach Umstellen

$$1,48R_a + 2,96nR_i = 2R_a + 2nR_i; \quad R_i = \underline{1,35 \Omega}$$

**132.**  $I(R_a + nR_i) = nU_q$ ;  
 $n = \frac{IR_a}{U_q - IR_i} = \underline{9 \text{ Elemente}}$

**133.** Bei sehr großem  $n$  ist  $nR_i \gg R_a$ .

Günstigstenfalls fließt ein Strom von

$$I = \frac{nU_q}{nR_i} = \frac{1,1 \text{ V}}{0,6 \Omega} = \underline{1,833 \text{ A}} \text{ (Kurzschlussstrom)}$$

**134.** Wegen  $R_a = 0$  wird  $I = \frac{100U}{100R_i} = \underline{0,6 \text{ A}}$

**135.**  $I_1 = \frac{3 \cdot 1,5 \text{ V}}{(30 + 3 \cdot 2,2) \Omega} = \underline{0,123 \text{ A}}$ ;

usw. (Bild 238)

Bei sehr großen Werten von  $n$  wird unter Vernachlässigung von  $R_a$  der Strom

$$I_{\max} = \frac{U_q}{R_i} = \frac{1,5 \text{ V}}{2,2 \Omega} = \underline{0,682 \text{ A}}$$

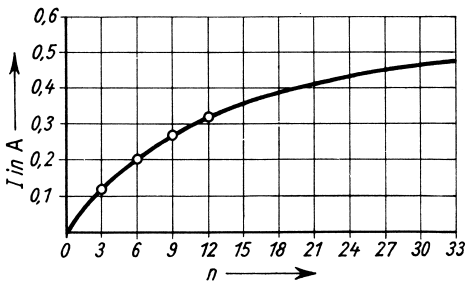


Bild 238: Aufgabe 135

**136.** Aus dem Ansatz

$$\Delta I = \frac{2nU_q}{R_a + 2nR_i} - \frac{nU_q}{R_a + nR_i}$$

ergibt sich die quadratische Gleichung

$$2n^2R_i^2 + 3nR_aR_i + R_a^2 = \frac{nU_qR_a}{\Delta I}$$

mit dem Ergebnis  $R_i = \underline{1 \Omega}$  (die 2. Lösung ist nicht real).

**137.**  $I = \frac{U_{q1} + U_{q2} + U_{q3}}{R_{i1} + R_{i2} + R_{i3} + R_a} = \underline{0,214 \text{ A}}$ ;

$$U_K = IR_a = \underline{5,35 \text{ V}}$$
;

$$U_1 = U - IR_{i1} = \underline{1,44 \text{ V}}; \quad U_2 = \underline{1,75 \text{ V}}$$
;

$$U_3 = \underline{2,17 \text{ V}}$$

**138.**  $I = \frac{\sum U_q}{R_a + \sum R_i} = \frac{9,5 \text{ V}}{12,73 \Omega} = \underline{0,746 \text{ A}}$ ;

$$U_K = IR_a = \underline{8,95 \text{ V}}$$

**139.**  $U_1 = \sum U_q = \underline{9,5 \text{ V}}$ ;  $I_k = \frac{\sum U_q}{\sum R_i} = \underline{13 \text{ A}}$

**140.** Die Beziehungen  $R_a = \frac{P}{I^2}$ ;  $I = \frac{\sum U_q}{\sum R_i + \frac{P}{I^2}}$

ergeben die quadratische Gleichung

$$I^2 \sum R_i - I \sum U_q = -P \text{ mit den beiden Lösungen } I_1 = \underline{2,32 \text{ A}} \text{ und } I_2 = \underline{0,43 \text{ A}}$$
;

$$R_{a1} = \frac{P}{I_1^2} = \underline{0,45 \Omega}; \quad R_{a2} = \frac{P}{I_2^2} = \underline{13 \Omega}$$
;

$$U_{k1} = I_1 R_{a1} = \underline{1,04 \text{ V}}; \quad U_{k2} = I_2 R_{a2} = \underline{5,6 \text{ V}}$$

**141.**  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{3,08 \Omega}$ ;

$$I = \frac{U}{R} = \underline{3,25 \text{ A}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{2 \text{ A}}$$
;

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{1,25 \text{ A}}$$

**142.**  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{0,375 \text{ M}\Omega}$ ;

$$I = \frac{U}{R} = \underline{0,32 \text{ mA}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{0,24 \text{ mA}}$$
;

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{0,08 \text{ mA}}$$

**143.**  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{11,25 \Omega}$ ;

$$U = IR = \underline{56,25 \text{ V}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{3,75 \text{ A}}$$
;

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{1,25 \text{ A}}$$

**144.**  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{210 \Omega}$ ;

$$U = IR = \underline{2,1 \text{ V}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{7 \text{ mA}}$$
;

$$I_2 = I - I_1 = \underline{3 \text{ mA}}$$

**145.**  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \underline{1,54 \Omega}$ ;

$$U = IR = \underline{37,9 \text{ V}}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \underline{20,48 \text{ A}}$$
;

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \underline{4,14 \text{ A}}$$

**146.**  $I_1 : I_2 = 18 : 5 = 3,6 : 1$

**147.**  $R = \frac{U}{I} = \underline{5 \Omega}$ ;

$$R_2 = \frac{R_1 R}{R_1 - R} = \underline{13,33 \Omega}$$
;