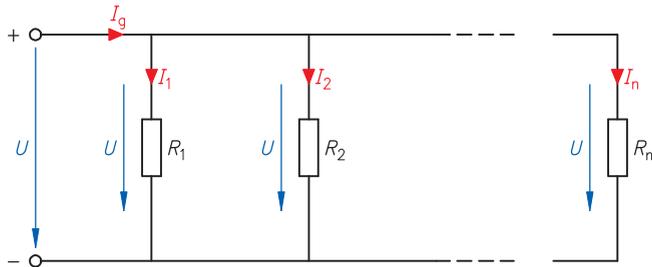


3.2 Parallelschaltung



Alle Widerstände liegen an der gleichen Spannung U .

Gesamtstrom I_g

$$I_g = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

1. Kirchhoffsches Gesetz
 $\sum I = 0 \text{ A}^*)$

Gesamtleitwert G_g

$$G_g = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Die Ströme verhalten sich umgekehrt wie die zugehörigen Widerstände:

$$\text{z. B.: } \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{I_k}{I_l} = \frac{R_l}{R_k}$$

$$\text{z. B.: } \frac{I_g}{I_2} = \frac{R_2}{R_g}$$

Aufgaben

Beispiel: Wie groß ist der Ersatz-(Gesamt-)Widerstand einer Parallelschaltung von

- zwei gleichen Widerständen mit je 56Ω ,
- zwei Widerständen $R_1 = 10 \Omega$ und $R_2 = 45 \Omega$,
- drei Widerständen $R_1 = 33 \Omega$, $R_2 = 47 \Omega$ und $R_3 = 56 \Omega$?

Gegeben:

- $R = 56 \Omega$; $n = 2$
- $R_1 = 10 \Omega$; $R_2 = 45 \Omega$
- $R_1 = 33 \Omega$; $R_2 = 47 \Omega$; $R_3 = 56 \Omega$

Gesucht: R_g

Lösung: a) $\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \quad \hat{=} \quad R_g = \frac{R}{n} \quad \Rightarrow \quad R_g = \frac{R}{2} = \frac{56 \Omega}{2} = \mathbf{28 \Omega}$

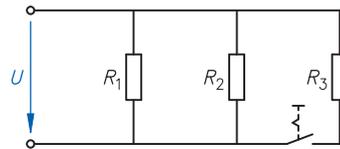
b) $\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \hat{=} \quad R_g = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \Rightarrow \quad R_g = \frac{10 \Omega \cdot 45 \Omega}{10 \Omega + 45 \Omega} = \mathbf{8,18 \Omega}$

c) $\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{33 \Omega} + \frac{1}{47 \Omega} + \frac{1}{56 \Omega} \quad \Rightarrow \quad R_g = \mathbf{14,4 \Omega}$

- Drei parallel geschaltete Glühlampen nehmen einen Strom von je $0,32 \text{ A}$ auf. Wie groß ist der Gesamtstrom?
- In einer Parallelschaltung von drei Widerständen fließt ein Gesamtstrom von $8,3 \text{ A}$. Durch den Widerstand R_1 fließt ein Strom von $2,1 \text{ A}$, durch den Widerstand R_3 fließen $0,9 \text{ A}$. Welcher Strom fließt durch den Widerstand R_2 ?

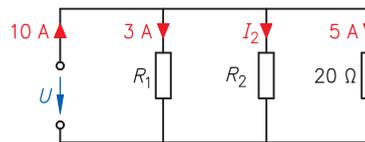
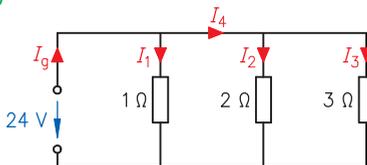
*) In einem Knotenpunkt ist die Summe aller zufließenden und abfließenden Ströme gleich 0 A .

3. Drei Widerstände $R_1 = 500 \Omega$, $R_2 = 1,2 \text{ k}\Omega$ und $R_3 = 3,6 \text{ k}\Omega$ liegen in Parallelschaltung an 220 V. Wie groß ist der Gesamtleitwert der Schaltung?
4. Wie groß ist der Gesamtwiderstand einer Parallelschaltung aus einem 47- Ω -Widerstand und einem 100- Ω -Widerstand?
5. Vier hochohmige parallel geschaltete Widerstände nehmen an 24 V die Ströme 0,8 mA, 4 mA, 3,2 mA und $2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ auf. Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Schaltung?
6. Acht gleiche Glühlampen sind in einer Werkstatt parallel geschaltet. Der Gesamtwiderstand der Lampen beträgt 60,5 Ω . Wie groß ist der Widerstand einer Lampe?
7. Ein Kronleuchter besteht aus 25 parallel geschalteten Glühlampen. Jede hat einen Betriebswiderstand von 420 Ω . Wie groß ist der Gesamtwiderstand?
8. In einem Stromkreis liegt ein Widerstand von 0,2 k Ω . Durch Parallelschalten eines zweiten Widerstandes soll der Gesamtwiderstand auf 120 Ω reduziert werden. Wie groß ist der Parallelwiderstand?
9. In einem Heizofen sind zwei Heizwiderstände von 30 Ω und 50 Ω an 230 V parallel geschaltet. Wie groß
 - a) ist der Gesamtwiderstand der Heizwiderstände,
 - b) sind die Teilströme,
 - c) ist der Strom in der Zuleitung?



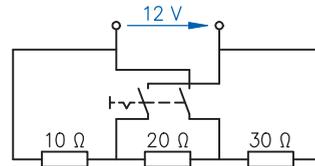
10. In der abgebildeten Schaltung fließt bei geöffnetem Schalter ein Gesamtstrom von 0,4 A, bei geschlossenem Schalter fließen 0,5 A. Wie groß ist der Widerstand R_3 , wenn $R_1 = 10 \Omega$ und $R_2 = 40 \Omega$ sind?

11. Wie groß sind die fehlenden Widerstände, Spannungen und Ströme in den Schaltungen?
 - a)
 - b)



12. In einer Parallelschaltung von zwei Widerständen verhalten sich die Ströme wie 4 : 5. Wie groß ist der zweite Widerstand, wenn $R_1 = 47 \Omega$ ist?

13. Welchen Strom nimmt die Schaltung bei offenem und geschlossenem Schalter auf?



14. In einem Stromkreis liegt ein Widerstand von 120 Ω . Durch Parallelschalten eines Widerstandes soll der Gesamtwiderstand auf 100 Ω reduziert werden.

- a) Wie groß muss der Parallelwiderstand sein?
- b) Wie viel Meter Konstantendraht ($\rho = 0,5 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$) mit 1,5 mm² Querschnitt wird zur Herstellung des Parallelwiderstandes benötigt?

15. Der Gesamtwiderstand zweier Widerstände in Reihenschaltung beträgt 100 Ω . Bei Parallelschaltung der Widerstände sinkt der Gesamtwiderstand um 75 Ω . Wie groß sind die beiden Widerstände?

16. Durch Umschalten gleicher Widerstände von Reihen- auf Parallelschaltung wird der Gesamtwiderstand auf ein Neuntel reduziert. Wie viele Widerstände besitzt die Schaltung?

17. In einer Parallelschaltung mit fünf gleichen Widerständen fließt ein Gesamtstrom von 1,5 A. Wie ändert sich der Gesamtstrom, wenn

- a) ein Widerstand abgeschaltet wird,
- b) zwei Widerstände abgeschaltet werden,
- c) vier Widerstände abgeschaltet werden?

18. Vier gleiche Widerstände sind in Reihe geschaltet. Bei einer Spannung von 12 V fließt ein Gesamtstrom von 30 mA. Um wie viel Prozent ändert sich die Stromaufnahme, wenn die Widerstände parallel geschaltet werden?

19. In einer Kochplatte sind zwei Heizspiralen mit 48 Ω und 144 Ω parallel geschaltet. Durch die 48- Ω -Heizspirale fließen 0,5 A. Wie groß ist der Strom durch die 144- Ω -Heizspirale?

4 Messtechnik

4.1 Mess- und Anzeigefehler von Messgeräten

Analoge Anzeige

Messbereich M

Digitale Anzeige

Zulässige absolute Anzeigefehler F analoger und digitaler Messgeräte nach Herstellerangaben:*)	
<p>Relativer Fehler vom Messbereich M durch Angabe der Genauigkeitsklasse G in Prozent</p> <p>Genauigkeitsklassen: 0,1 0,2 0,5 1 1,5 2,5 5</p>	<p>Relativer Fehler f_A vom Anzeigewert A + Anzahl der Digits D</p> <p>1 Digit = Messbereich/Auflösung (kleinster Messschritt)</p>

der analogen Anzeige

$$F = \pm G \cdot M$$

Absoluter Fehler F der Messung

$$F = A - W$$

der digitalen Anzeige

$$F = \pm(f_A \cdot A + D)$$

Relativer Fehler f der Messung in Prozent

$$f = \frac{F}{W} \cdot 100\%$$

Da der wahre Wert W nie genau bekannt ist, wird bei kleinen Fehlern F der Fehler auf den Anzeigewert A bezogen.

$$f \approx \frac{F}{A} \cdot 100\%$$

*) Hersteller digitaler Messgeräte geben den absoluten Fehler auch mit $F = \pm(f_A \cdot A + f_M \cdot M)$ an.

Aufgaben

Beispiel: Ein Vielfachinstrument mit $3\frac{1}{2}$ -stelliger Anzeige zeigt im 200-V-Messbereich 82.0 an. Der Hersteller gibt den maximal zulässigen Fehler mit $\pm(1,5\%$ vom Anzeigewert +3 Digits) an.

- Zwischen welchen Werten muss der wahre Wert der Messspannung liegen?
- Zwischen welchen Werten liegt der wahre Wert der Messspannung bei einem analogen Messgerät der Genauigkeitsklasse 1,5 bei gleicher Anzeige im günstigen 100-V-Messbereich?
- Wie groß ist jeweils der relative Fehler der Messung?

Gegeben: $M = 100\text{ V}$; $A = 82,00\text{ V}$; $f_A = 1,5\%$; 3 Digits; $G = 1,5\%$

Gesucht: $W_{\min(\text{digital})}$; $W_{\max(\text{digital})}$; $W_{\min(\text{analog})}$; $W_{\max(\text{analog})}$; $f_{(\text{digital})}$; $f_{(\text{analog})}$

Lösung: a) 1 Digit = $200\text{ V} / 2000 = 0,1\text{ V}$ (bei $3\frac{1}{2}$ -stelliger Anzeige sind 2000 Messschritte möglich)

$$F_{(\text{digital})} = \pm(f_A \cdot A + \dots \cdot \text{Digit}) = \pm(0,015 \cdot 82\text{ V} + 3 \cdot 0,1\text{ V}) = \pm 1,53\text{ V}$$

$$W_{\min(\text{digital})} = A - F_{(\text{digital})} = 82\text{ V} - 1,53\text{ V} = \mathbf{80,47\text{ V}}$$

$$W_{\max(\text{digital})} = A + F_{(\text{digital})} = 82\text{ V} + 1,53\text{ V} = \mathbf{83,53\text{ V}}$$

b) $F_{(\text{analog})} = \pm G \cdot M = \pm 0,015 \cdot 100\text{ V} = \pm 1,5\text{ V}$

$$W_{\min(\text{analog})} = A - F_{(\text{analog})} = 82\text{ V} - 1,5\text{ V} = \mathbf{80,5\text{ V}}$$

$$W_{\max(\text{analog})} = A + F_{(\text{analog})} = 82\text{ V} + 1,5 = \mathbf{83,5\text{ V}}$$

c) $f_{(\text{digital})} \approx \frac{F_{(\text{digital})}}{A} \cdot 100\% = \frac{\pm 1,53\text{ V}}{82\text{ V}} \cdot 100\% = \pm 1,86\%$

$$f_{(\text{analog})} \approx \frac{F_{(\text{analog})}}{A} \cdot 100\% = \frac{\pm 1,5\text{ V}}{82\text{ V}} \cdot 100\% = \pm 1,83\%$$

5 Energieumsetzung in Widerständen

5.1 Elektrische Leistung und Arbeit

Jeder elektrische Verbraucher (jedes Bauelement) besitzt eine „Leistungsfähigkeit“.

Elektrische Leistung P (power)

$P = \frac{U^2}{R}$ \Leftarrow mit $I = \frac{U}{R}$ $P = U \cdot I$ mit $U = R \cdot I \Rightarrow$ $P = I^2 \cdot R$

$[P] = \text{V} \cdot \text{A}; \quad 1 \text{ V} \cdot \text{A} = 1 \text{ W (Watt)}$

Wird elektrische Leistung während einer Zeit erbracht, wird Arbeit verrichtet:

Elektrische Arbeit W (work)

$W = P \cdot t$

$[W] = \text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}; \quad \Downarrow \quad 1 \text{ VAs} = 1 \text{ Ws}$

$W = U \cdot I \cdot t$

Aufgaben

Beispiel: Ein Heizwiderstand hat die Bemessungsdaten 230 V/500 W.

Wie groß ist

- der Widerstandswert,
- der Bemessungsstrom,
- die nach zehn Minuten verrichtete elektrische Arbeit,
- die Leistung bei Anschluss an 115 V?

Gegeben: $U_n = 230 \text{ V}; P_n = 500 \text{ W}; t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$

Gesucht: $R; I_n; W; P_{(115 \text{ V})}$

Lösung: a) $P_n = \frac{U_n^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U_n^2}{P_n} = \frac{(230 \text{ V})^2}{500 \text{ W}} = \mathbf{105,8 \Omega}$

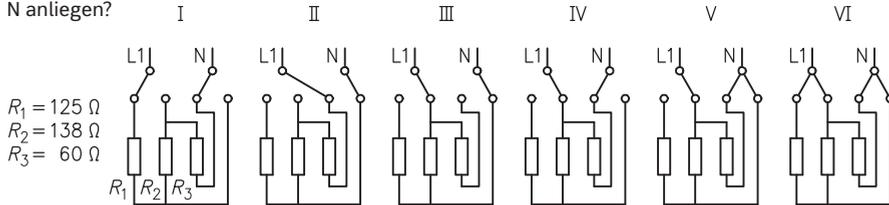
b) $I_n = \frac{U_n}{R_{IA}} = \frac{230 \text{ V}}{105,8 \Omega} = \mathbf{2,17 \text{ A}}$

c) $W = P_n \cdot t = 500 \text{ W} \cdot 600 \text{ s} = 300\,000 \text{ Ws} = \mathbf{0,083 \text{ kWh}}$

d) $P = \frac{U^2}{R} = \frac{(115 \text{ V})^2}{105,8 \Omega} = \mathbf{125 \text{ W}}$

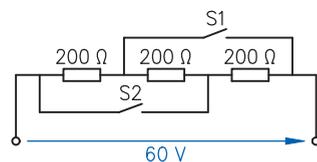
- An 230 V fließen durch eine Glühlampe 261 mA. Wie groß ist die aufgenommene Leistung?
- Wie groß ist der Betriebsstrom eines Heizwiderstandes mit der Aufschrift 230 V/1200 W?
- Welche Leistung nimmt ein 48,4- Ω -Heizwiderstand an 230 V auf?
- An welche Spannung darf ein Widerstand mit der Aufschrift 250 Ω /50 W angeschlossen werden?
- Wie groß ist der Widerstand eines Tauchsieders 230 V/1300 W?

6. Für welche Stromstärke ist ein 1,5-k Ω -Schiebewiderstand für 2 W maximal zugelassen?
7. Ein Heizwiderstand nimmt bei einer Netzspannung von 230 V eine Leistung von 2000 W auf. Wie groß ist die Leistungsaufnahme, wenn die Spannung auf 235 V steigt?
8. Bei Anschluss an 230 V nimmt ein Widerstand eine Leistung von 2 kW auf.
 - a) Wie groß ist der Widerstand?
 - b) Welche Leistung nimmt der Widerstand bei Anschluss an 400 V auf?
9. Innerhalb welcher Zeit nimmt eine 60-W-Glühlampe eine elektrische Arbeit von 2 kWh auf?
10. Wie groß sind die Heizleistungen der Herdplatte bei den sechs Schaltstufen, wenn 230 V zwischen L1 und N anliegen?

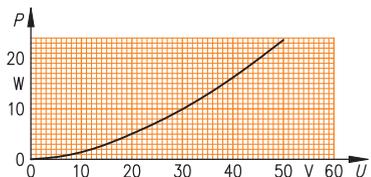


11. Zwei Heizwiderstände mit den Nenndaten 115 V/400 W und 115 V/1000 W sollen in Reihenschaltung an 230 V betrieben werden.
 - a) Wie groß sind die Widerstandswerte?
 - b) Welcher Strom fließt in der Schaltung?
 - c) An welchen Spannungen liegen die Heizwiderstände?
 - d) Um wie viel Prozent wird der eine Widerstand überlastet?
12. Mit welchem Vorwiderstand kann man eine 15-W-Glühlampe für 9 V an 12 V betreiben?
13. Die Leistung eines 150-W-Lötkolbens für 230 V soll in Lötphasen auf 100 W begrenzt werden.
 - a) Wie groß ist der dafür benötigte Vorwiderstand?
 - b) Welche Leistung nimmt der Vorwiderstand auf?
 - c) Welche Energie wird während einer zehnminütigen Lötphase insgesamt eingespart?
14. Eine elektrische Heizung für 230 V enthält zwei Heizwiderstände von je 50 Ω . Wie groß ist die Leistungsaufnahme
 - a) wenn nur ein Widerstand angeschlossen ist,
 - b) bei Parallelschaltung der Widerstände,
 - c) bei Reihenschaltung der Widerstände?
15. Eine Heizspirale bezieht aus dem 230-V-Netz innerhalb 24 Stunden eine elektrische Arbeit von einer Kilowattstunde. Wie groß ist ihr Widerstandswert?

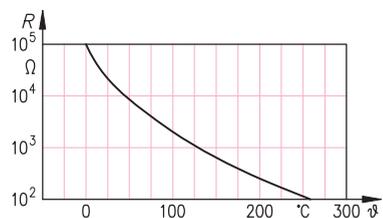
16. Wie groß ist die Gesamtleistung bei folgenden Schalterstellungen:
 - a) beide Schalter geöffnet,
 - b) beide Schalter geschlossen,
 - c) S1 geöffnet, S2 geschlossen,
 - d) S1 geschlossen, S2 geöffnet?



17. Die nebenstehende Kennlinie wurde an einem Heizwiderstand aufgenommen.
 - a) Wie groß ist der Widerstandswert?
 - b) Bei welcher Spannung wurde die Leistung von 20 W aufgenommen?
 - c) Wie groß ist die Spannung bei einer Leistung von 50 W?

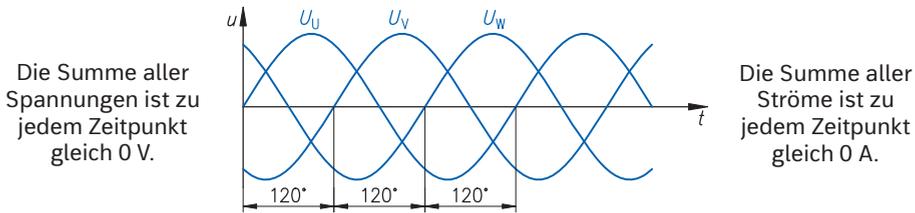


18. Der NTC-Widerstand mit nebenstehender Kennlinie liegt mit einem 100-k Ω -Widerstand in Reihe an 24 V.
 - a) Welche Leistung nimmt der NTC-Widerstand bei 0 $^{\circ}\text{C}$, 50 $^{\circ}\text{C}$, 100 $^{\circ}\text{C}$, 150 $^{\circ}\text{C}$ und 200 $^{\circ}\text{C}$ auf?
 - b) Wie groß ist die Temperatur bei einem Widerstandswert von 10 k Ω , 1 k Ω , 100 k Ω ?



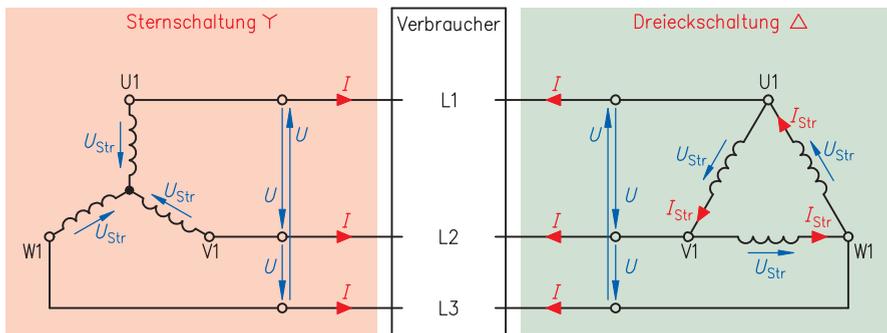
7.3 Die Dreiphasen-Wechselspannung

Werden drei räumlich um je 120° versetzte Spulen (Stränge, Phasen) von einem rotierenden Magnetfeld durchsetzt, werden in ihnen Wechselspannungen gleicher Frequenz und Amplitude induziert, die gegeneinander um 120° phasenverschoben sind:



Bei entsprechender Verschaltung kann auf die Rückleitungen verzichtet werden:

⇓ **Verkettete Schaltungen:** ⇓



U : Leiterspannung

U_{Str} : Strangspannung

I : Leiterstrom

I_{Str} : Strangstrom

$$U = \sqrt{3} \cdot U_{Str} \quad I = I_{Str}$$

Verkettungsfaktor:
 $\sqrt{3} = 1,73$

$$I = \sqrt{3} \cdot I_{Str} \quad U = U_{Str}$$

Aufgaben

Beispiel: In einem Drehstromgenerator, dessen Wicklungen in Dreieckschaltung verschaltet sind, wird in jeder Wicklung eine Spannung von 10,5 kV induziert.

- Welche Spannung liegt an den Klemmen des Generators an?
- Welcher Strom fließt durch die Wicklungen, wenn er 75,6 A liefert?

Gegeben: $U_{Str} = 10,5 \text{ kV}$; $I = 75,6 \text{ A}$

Gesucht: U ; I_{Str}

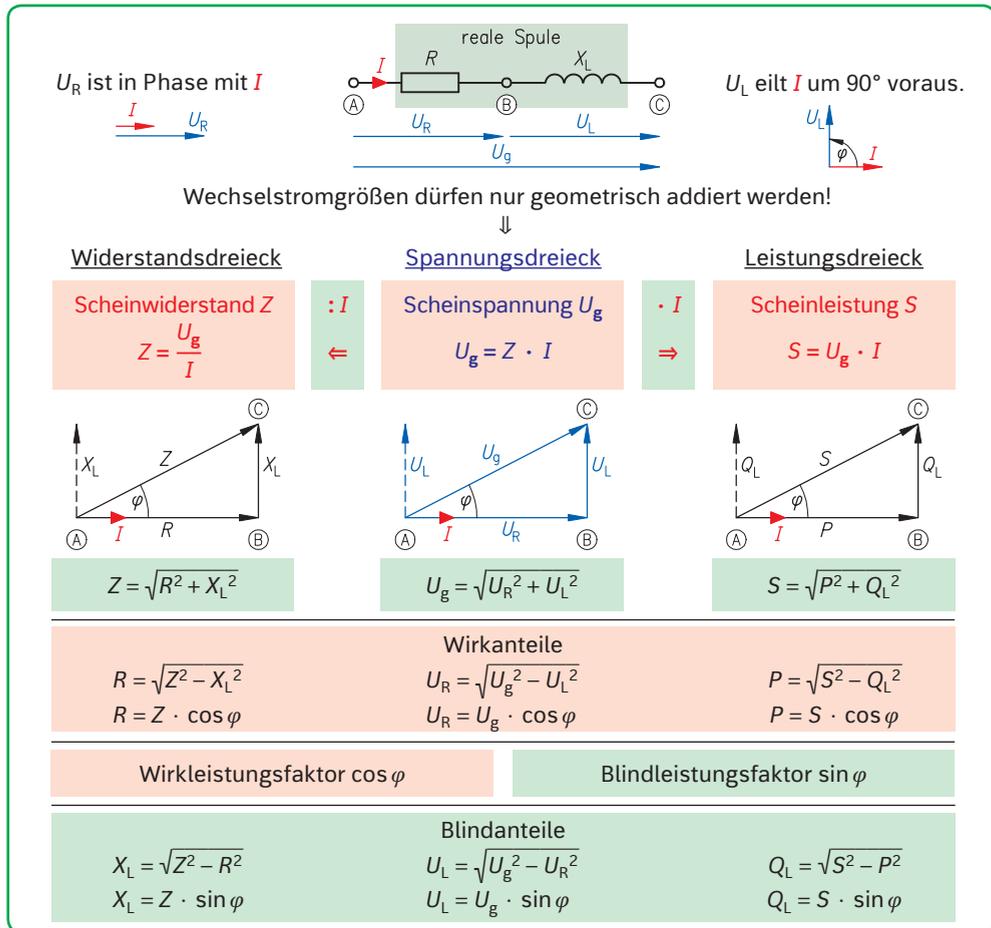
Lösung: a) $U = U_{Str} = 10,5 \text{ kV}$

$$\text{b) } I_{Str} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{75,6 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 43,65 \text{ A}$$

- Die Wicklungen eines 10-kV-Drehstromgenerators sind in Stern verschaltet. Welche Spannung liefert ein Wicklungsstrang?
- Eine Wicklung eines Drehstromgenerators liefert im Nennbetrieb bei 240 V einen Strom von 12,5 A. Wie groß sind Nennspannung und Nennstrom des Generators bei
 - Sternschaltung
 - Dreieckschaltung?

9.2 Betriebsmittel im Wechselstromkreis

9.2.1 R-L-Reihenschaltung (reale Spule)



Aufgaben

Beispiel: Eine Spule mit der Induktivität $0,32 \text{ H}$ und dem Wirkwiderstand 150Ω wird an Wechselspannung $230 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ angeschlossen. Wie groß ist

- der induktive Widerstand,
- der Scheinwiderstand,
- die Stromstärke,
- der Wirkleistungsfaktor $\cos \varphi$?

Gegeben: $U_g = 230 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz} = 50 \text{ s}^{-1}$; $R = 150 \Omega$; $L = 0,32 \text{ H} = 0,32 \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$

Gesucht: X_L ; Z ; I ; φ ; U_R ; Q_L

Lösung: a) $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1} \cdot 0,32 \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = 100,53 \Omega$

b) $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(150 \Omega)^2 + (100,53 \Omega)^2} = 180,57 \Omega$

c) $I = \frac{U_g}{Z} = \frac{230 \text{ V}}{180,57 \Omega} = 1,27 \text{ A}$

d) $\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{150 \Omega}{180,57 \Omega} = 0,83 (\Rightarrow \varphi = 33,83^\circ)$

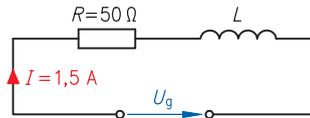
- Eine Spule hat den Wirkwiderstand $150\ \Omega$ und den Blindwiderstand $100\ \Omega$.

 - Wie sieht die zeichnerische Lösung zur Ermittlung des Phasenwinkels und Scheinwiderstandes aus?
 - Welche Lösungen ergeben sich rechnerisch?
- Eine Spule besitzt an der Wechselspannung $220\ \text{V}/50\ \text{Hz}$ die Wirkspannung $180\ \text{V}$.

 - Welchen Phasenverschiebungswinkel und welche Blindspannung ergibt das Spannungsdreieck (Maßstab $40\ \text{V} \triangleq 1\ \text{cm}$)?
 - Wie lauten die rechnerisch ermittelten Lösungen?
- Der Wirkwiderstand $40\ \Omega$ liegt mit dem induktiven Blindwiderstand $30\ \Omega$ in Reihe an Wechselspannung $220\ \text{V}/50\ \text{Hz}$. Wie groß ist

 - die Induktivität,
 - der Scheinwiderstand,
 - der Winkel zwischen dem Strom und der anliegenden Spannung,
 - der Wirkanteil der Spannung?
- Eine Spule hat bei der Frequenz $50\ \text{Hz}$ einen Scheinwiderstand von $1500\ \Omega$. Der Phasenverschiebungswinkel beträgt 38° .

 - Wie groß ist der Wirkwiderstand?
 - Wie groß ist die Induktivität?



- Die nebenstehende reale Spule liegt an der Klemmenspannung $150\ \text{V}/50\ \text{Hz}$.

 - Welche Induktivität hat die Spule?
 - Wie groß ist der Wirkleistungsfaktor?
 - Wie groß ist der Phasenverschiebungswinkel?
- Durch eine Spule an Wechselspannung $230\ \text{V}/50\ \text{Hz}$ fließt ein Strom von $10\ \text{A}$. Der Wirkleistungsfaktor beträgt $0,8$.

 - Wie groß sind die Wechselstromwiderstände?
 - Welche Wirkleistung wird umgesetzt?
 - Wie groß ist der Winkel zwischen dem Strom und der Klemmenspannung?
- Wird eine Spule mit dem Wirkwiderstand $200\ \Omega$ an das $230\text{-V}/50\text{-Hz}$ -Netz angeschlossen, beträgt der Strom $1\ \text{A}$. Wie groß ist

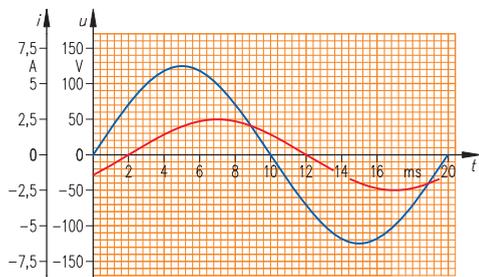
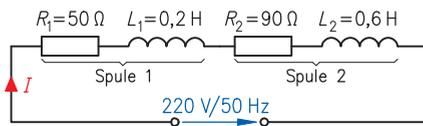
 - der Scheinwiderstand,
 - der Blindanteil der Spannung,
 - der Wirkanteil der Leistung,
 - der Blindanteil der Leistung?
- Durch eine R-L-Reihenschaltung fließt der Strom $1,15\ \text{A}$. Die angelegte Spannung $230\ \text{V}/50\ \text{Hz}$ eilt dem Strom um den Phasenverschiebungswinkel 40° voraus.

 - Wie groß ist die Wirkspannung?
 - Welche Induktivität besitzt die Spule?
 - Wie groß ist die Blindleistung?
 - Welcher Phasenverschiebungswinkel ergibt sich bei der Frequenz $60\ \text{Hz}$?

- Liegt eine Spule an $12\ \text{V}$ Gleichspannung, fließt der Strom $1\ \text{A}$. Die Spule wird an Wechselspannung $230\ \text{V}/50\ \text{Hz}$ von dem Strom $2\ \text{A}$ durchflossen. Wie groß ist

 - der induktive Widerstand,
 - der Blindanteil der Spannung,
 - der Phasenverschiebungswinkel,
 - die umgesetzte Wirkleistung?
- Wie groß ist in der Schaltung

 - die Wirkspannung,
 - der Phasenverschiebungswinkel der Spulen und der Schaltung,
 - die aufgenommene Blindleistung,
 - das Widerstandsdreieck ($30\ \Omega \triangleq 1\ \text{cm}$)?

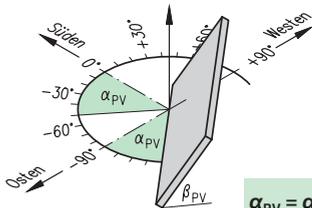


- Wie groß ist für den dargestellten Strom- und Spannungsverlauf einer R-L-Reihenschaltung

 - der Phasenverschiebungswinkel,
 - der Scheinwiderstand,
 - der Wirkanteil der Spannung,
 - der Blindanteil der Leistung?

10.4.2 Photovoltaik-Anlagen

In der Photovoltaik wird der Azimutwinkel α_{PV} als Abweichung vom Süden gemessen!



$$\alpha_{PV} = \alpha - 180^\circ$$

Die nutzbare Einstrahlung einer PV-Anlage wird von direkter und diffuser Strahlung und durch die Ausrichtung der Solarmodule beeinflusst.

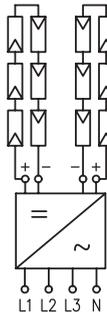
$$E = E_0 \cdot \eta_{PV}$$

Da der erzeugte Strom bei relativ konstanter Spannung proportional steigt, gilt auch:

$$I \approx I_0 \cdot \eta_{PV}$$

$$P \approx P_0 \cdot \eta_{PV}$$

Zur Spannungserhöhung werden Solarmodule in Reihe geschaltet (String).



*) Der MPP-Tracker stellt den Wechselrichter so ein, dass er immer im MPP-Betrieb arbeitet.

η_{PV} in %	südliche Ausrichtung $\pm \alpha_{PV}$									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Dachneigung β_{PV}	0°	87	87	87	87	87	87	87	87	87
10°	93	93	93	92	92	91	90	89	88	86
20°	97	97	97	96	95	93	91	89	87	85
30°	100	99	99	97	96	94	91	88	85	82
40°	100	99	99	97	95	93	90	86	83	79
50°	98	97	96	93	93	90	87	83	79	75
60°	94	93	92	91	88	85	85	78	74	70
70°	88	87	86	85	82	79	76	72	68	70
80°	80	79	78	77	75	72	68	65	61	56
90°	69	69	68	67	65	63	60	56	53	48

Solarmodul	SM265	SM280
Länge l (mm)	1660	1660
Breite b (mm)	990	990
Nennleistung P_{MPP} (W)	265	280
Nennspannung U_{MPP} (V)	31,4	31,6
Nennstrom I_{MPP} (A)	8,44	8,85
Leerlaufspannung U_{OC} (V)	38,3	38,5
Kurzschlussstrom I_{SC} (A)	8,91	9,34
Wirkungsgrad η	0,16	0,17
Temperaturkoeffizient für Spannungen γ (1/K)	-0,003	-0,003

Bei erhöhter Zelltemperatur verringert sich die erzeugte Spannung.

$$U_{MPP} = U_{MPP25} \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

Wechselrichter mit MPP-Tracker	WR3	WR5
Max. DC-Leistung (W)	3200	7500
Startspannung (V)	120	160
MPP-Spannungsbereich (V)	80-550	180-850
Max. Eingangsspannung (V)	600	1000
Anzahl der MPP-Eingänge	2	2
Max. Eingangsstrom (A)	11	12,5
Max. Kurzschlussstrom (A)	13,8	15,6
AC-Leistung (W)	3000	5000
AC-Spannung (V)	230	400
Wirkungsgrad η	0,97	0,97

Aufgaben

Beispiel: Acht Solarmodule (SM280) sind in einem String am Wechselrichter (WR3) angeschlossen. Sie sind auf einem Dach mit 60° Neigung montiert, das nach 140° (Azimut) ausgerichtet ist.

- Wie groß ist die wirksame Strahlungsintensität?
- Wie groß ist der Eingangsstrom und die Eingangsspannung des Wechselrichters?
- Auf welchen Wert sinkt die MPP-Spannung, wenn sich die Solarmodule auf 70°C erwärmen?

Gegeben: $n = 8$; $\beta_{PV} = 60^\circ$; $\alpha = 140^\circ$; $E_0 = 1000 \text{ W/m}^2$

Gesucht: E ; I_{MPP} ; U_{MPP} ; U_{MPP70}

Lösung:

a) $\alpha_{PV} = \alpha - 180^\circ = 140^\circ - 180^\circ = -40^\circ$

$E = E_0 \cdot \eta_{PV} = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot 0,88 = 880 \text{ W/m}^2$

b) $I_{MPP} = I_{MPP0} \cdot \eta_{PV} = 8,85 \text{ A} \cdot 0,88 = 7,79 \text{ A}$

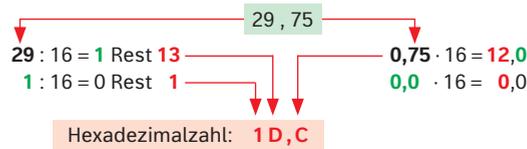
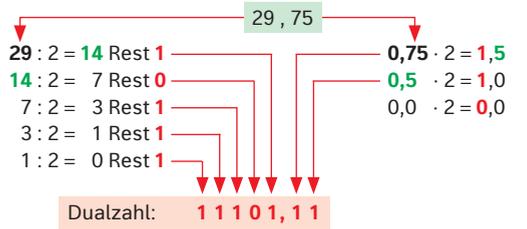
$U_{MPP} = U_{MPP0} \cdot n = 31,6 \text{ V} \cdot 8 = 252,8 \text{ V}$

c) $U_{MPP70} = U_{MPP25} \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T) = 252,8 \text{ V} \cdot [1 - 0,003 \text{ K}^{-1} \cdot (70^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})] = 218,7 \text{ V}$

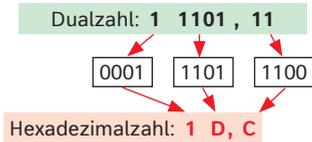
13.1.2 Umwandlung von Dezimalzahlen

Mit dem Restverfahren lassen sich Dezimalzahlen in andere Zahlensysteme umwandeln.

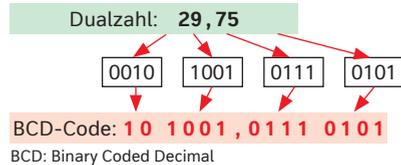
Rest von (ganzer Zahl : Basis) **Ganze Zahl** von (Nachkommazahl · Basis)



Aufteilung in Viererblöcke
Dualzahlen in Hexadezimalziffern



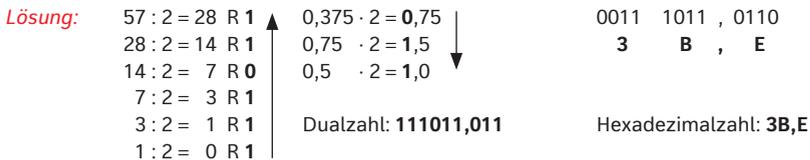
Dezimalziffern in Dualzahlen
BCD-Code



Ziffervorrat der Zahlensysteme		
Basis		
10	16	2
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111
8	8	1000
9	9	1001
10	A	1010
11	B	1011
12	C	1100
13	D	1101
14	E	1110
15	F	1111

Aufgaben

Beispiel: Welche Dualzahl und welche Hexadezimalzahl entsprechen der Dezimalzahl 57,325?



1. Welche Dualzahlen, Hexadezimalzahlen und BCD-Codes ergeben sich für die Dezimalwerte?

- a) 24 c) 89 e) 247 g) 10,5 i) 56,625 k) 3,5 m) 8,5 o) 30,5 q) 13,5
b) 67 d) 134 f) 305 h) 11,25 j) 251,5 l) 3,6 n) 3,4 p) 2,1 r) 1,6

2. Welche Hexadezimalzahlen ergeben sich aus den Dualzahlen?

- a) 1001 c) 101110 e) 10101010 g) 1010,01 i) 1011,011 k) 111010,01
b) 1111 d) 111101 f) 11110100 h) 1111,11 j) 1111,111 l) 1111111,111

3. Welche Dualzahlen ergeben sich aus den Hexadezimalzahlen?

- a) D3 c) AB e) D8F g) A,B i) CA,2 k) 2,AB m) D,28 o) 1,34 q) 2,37
b) 3D d) F2 f) 1D3 h) E,3 j) E3,7 l) A,B6 n) D2,8 p) 2,B6 r) F,B6

4. Welche Dezimalzahlen ergeben sich aus den Hexadezimalzahlen?

- a) 1,19 b) 2,3 c) 3,4C d) 4,6 e) 6,9 f) 7,B3 g) 8,C h) 9,E6

*) Zur Unterscheidung der verschiedenen Zahlensysteme können die Zahlen mit einem Index versehen werden: 2 oder B für dual, 10 oder D für dezimal, 8 oder o für oktal, 16 oder H für hexadezimal und 8-4-2-1 oder BCD für den BCD-Code.