Die gezeigten Rechenaufgaben wurden dem folgenden Werk entnommen:
Alternative Antriebe - E-Mobilität
der Autoren Henning Wagner, Reinhard Meier und Jürgen Schubert.
© Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG, Konstanz

Der Gebrauch dieser Unterlagen im Unterricht ist ausschließlich gestattet in Zuammenhang mit der Verwendung einer Auflage des genannten Lehrbuchs.

ISBN des zugehörigen Druckwerks: 978-3-95863-064-2

3. aktualisierte Auflage 2019

© 2019 by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG, Konstanz

Alle Rechte, einschließlich der Fotokopie, Verfilmung, Wiedergabe durch Bild- und Tonträger jeder Art und des auszugsweisen Nachdrucks, vorbehalten. Nach dem Urheberrechtsgesetz ist die Vervielfältigung urheberrechtlich geschützter Werke oder von Teilen daraus auch für Zwecke von Unterricht und Ausbildung nicht gestattet, außer nach Einwilligung des Verlages und ggf. gegen Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums. Nach dem Urheberrechtsgesetz wird mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder mit Geldstrafe bestraft, „wer in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen ohne Einwilligung des Berechtigten ein Werk vervielfältigt …“

Zu den Autoren

Der Autor **Henning Wagner** hat vor seinem Maschinenbau-Studium zwei Berufe erlernt und in diesen jahrelang als Motorrad-Mechaniker und Werkzeugmacher gearbeitet. Er unterrichtet seit über 20 Jahren Fahrzeugtechnik, insbesondere Fachklassen für Kfz-Elektriker und jetzt Kfz-Mechatroniker im Schwerpunkt Fahrzeug-Kommunikationstechnik sowie in der Meisterschule für das Kraftfahrzeug-Technikerhandwerk.
Als Fachberater für Fahrzeugtechnik ist der Autor im Auftrag seines Regierungspräsidiums und des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg seit vielen Jahren sehr engagiert in der Lehrerfortbildung tätig. Darüber hinaus ist er Mitglied in Lehrplan-Kommissionen, der Umsetzungskommission zur Einführung der Lernfelder und im Landesfachausschuss zur Koordinierung der Abschlussprüfungen der Kfz-Mechatroniker.
Sein besonderes Engagement gilt der Weiterentwicklung des Laborunterrichts in der Berufstheorie des Berufsschulunterrichts, der durch entsprechende Arbeitsblätter auch in diesem Buch integriert ist.
Aufgrund seines Werdegangs legt der Autor sehr häufig selbst Hand an in der Werkstatt, um die Kfz-Technik aus der Sicht des Werkstatt-Personals, d. h. der Auszubildenden, mitzuerleben und seinen Unterricht und damit dieses Buch so praxisnah wie möglich auf dem neuesten Stand der Technik zu gestalten.

- - - - - - -

Der Autor **Reinhard Maier** hat den Beruf Kfz-Elektriker und Mechaniker erlernt. In der weiteren Ausbildung hat er den Abschluss als Elektro-Techniker erworben. Er unterrichtet seit über 30 Jahren Fahrzeugtechnik, insbesondere Fachklassen für Kfz-Elektriker und jetzt Kfz-Mechatroniker im Schwerpunkt Fahrzeug-Kommunikationstechnik.
Als Fachbetreuer für Fahrzeugtechnik ist der Autor im Auftrag seines Regierungspräsidiums und des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg seit vielen Jahren sehr engagiert in der Lehrerfortbildung, der Umsetzungskommission zur Einführung der Lernfelder und im Erstellen von Unterrichtseinheiten für den Werkstatt-Unterricht tätig.
Sein besonderes Engagement gilt der Weiterentwicklung des Werkstattunterrichts in der Berufsschule.

- - - - - - -

Der Autor **Jürgen Schubert** ist gelernter Kraftfahrzeug-Mechaniker und -Meister. Als technischer Lehrer für Fahrzeugtechnik unterrichtet er seit 14 Jahren vor allem Fachpraxis im Werkstattbereich einer beruflichen Schule in Baden-Württemberg. Dabei umfasst sein Tätigkeitsfeld Grundstufen, Fachstufen sowie die Meisterschule für das Kraftfahrzeug-Technikerhandwerk, hier mit dem Schwerpunkt Elektrik/Elektronik.
Als Fachberater für Fahrzeugtechnik und Mitglied einer Kfz-Arbeitsgruppe ist er für sein Regierungspräsidium tätig. Hier besteht seine Aufgabe in der Aufbereitung aktueller Technikthemen und in deren Umsetzung bei entsprechenden regionalen und überregionalen Lehrerfortbildungen.

- - - - - - -

Diese jahrelangen Erfahrungen lassen die drei Autoren, die auch hauptberuflich ein Team bilden, in den vorliegenden Lehrgang einfließen.

Rechenaufgaben zum Ohmschen Gesetz

Aufgabe 1 (Glühlampe Begrenzungslicht)

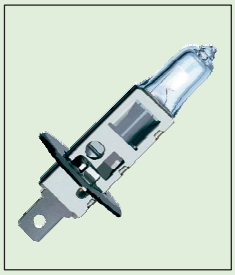
Die Glühlampe eines Begrenzungslichts H6W mit einer Nennspannung von 12 V benötigt einen Strom von 500 mA. Berechnen Sie den Widerstand.

geg.: I = 500 mA = 0,5 A U = 12 V
ges.: R = ?

Lösung: $R = \frac{U}{I} = \frac{12\ \text{V}}{0{,}5\ \text{A}} = \underline{\underline{24\ \Omega}}$

Aufgabe 2 (Glühlampe Nebellicht)

Berechnen Sie für eine H1-Halogen-Glühlampe eines Nebel-Zusatzscheinwerfers die vorgesehene Betriebsspannung. Ihr Widerstand beträgt 8,23 Ω, es fließt ein Strom von 2,916 A.

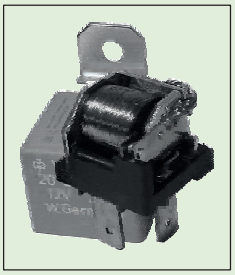


geg.: R = 8,23 Ω I = 2,916 A
ges.: U = ?

Lösung: $U = R \cdot I = 8{,}23\ \Omega \cdot 2{,}916\ \text{A} = \underline{\underline{24\ \text{V}}}$

Aufgabe 3 (Relais Nebellicht)

Berechnen Sie die Stromstärke, die eine Relaisspule mit 200 Ω an 24 V benötigt, um das Nebellicht eines Nfz zu betätigen:



geg.: R = 200 Ω U = 24 V
ges. I = ?

Lösung: $I = \frac{U}{R} = \frac{24\ \text{V}}{200\ \Omega} = 0{,}12\ \text{A} = \underline{\underline{120\ \text{mA}}}$

Aufgabe 4 (Zigaretten-Anzünder)

Ein Zigaretten-Anzünder eines 12-V-Pkw hat einen Widerstand von 4 Ω. Berechnen Sie die Stromstärke:

geg.: R = 4 Ω U = 12 V
ges.: I = ?

Lösung: $I = \frac{U}{R} = \frac{12\ \text{V}}{4\ \Omega} = \underline{\underline{3\ \text{A}}}$

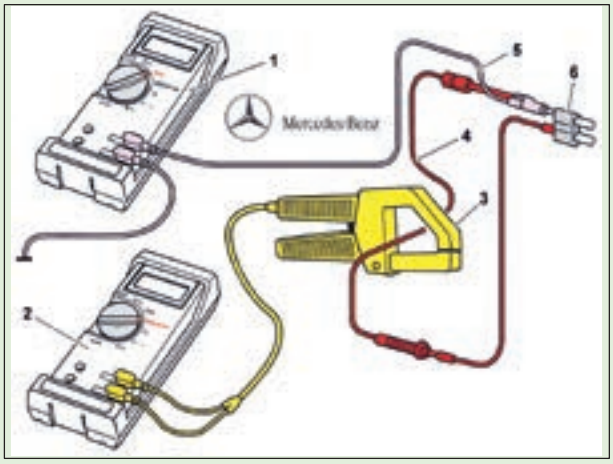
Rechenaufgaben zur elektrischen Leistung

■ Aufgabe 1 (Xenon-Licht)

Ein Mercedes E-Klasse W211 steht in der Werkstatt mit defektem Xenon-Licht auf der Beifahrerseite. Wegen des gleichen Fehlers wurde schon zwei Wochen zuvor die Xenon-Lampe (Brenner) ausgetauscht. Der Werkstattmeister gibt Ihnen den Auftrag, die Lampe erneut zu wechseln und danach beim rechten Scheinwerfer die Leistungsregelung des Xenon-Vorschaltgeräts zu prüfen. Im Werkstatt-Informations-System (WIS) finden Sie die folgende Prüfschaltung mit folgenden Sollwerten und der Anleitung zur Vorgehensweise:

Plusleitung 56b im Bereich des Scheinwerfers an vorhandener Trennstelle unterbrechen und die beiden Enden mit Prüfstecker 6 verbinden. Eine Kabelschleife 4 herstellen und über diese eine Strommess-Zange 3 setzen und an die Spannungsmessbuchsen (Messbereich ca. 300 mV einstellen) des Vielfachmessgeräts 2 anschließen (→ der angezeigte Wert des Messgeräts entspricht der in den Scheinwerfer fließenden Stromstärke in A).

Das andere Vielfachmessgerät 1 als Voltmeter parallel schalten. Messwerte ablesen und nach Rechnung mit Sollwerten vergleichen.



Sollwert: 40 W ± 5 W bei 12 V
Wegen des Vorschaltgeräts muss die Leistung etwas größer als die reine Lampenleistung von 35 W sein!

Wie groß ist der minimale und der maximale Strom, den das Multimeter anzeigen darf, damit die Leistungsregelung innerhalb der Sollwerte arbeitet?

geg.: $P_{min.} = 35\ W$ $P_{max.} = 45\ W$ $U = 12\ V$
ges.: $I_{min.} = ?$ $I_{max.} = ?$

Lösung: $I_{min.} = \frac{P_{min.}}{U} = \frac{35\ W}{12\ V} = \underline{\underline{2{,}92\ A}}$ $I_{max.} = \frac{P_{max.}}{U} = \frac{45\ W}{12\ V} = \underline{\underline{3{,}75\ A}}$

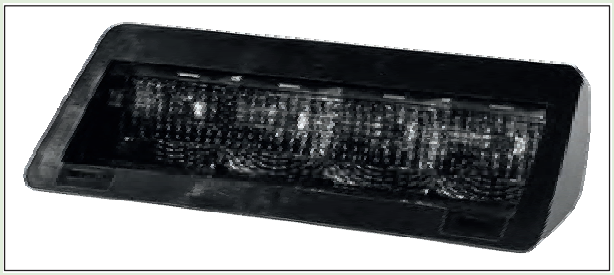
Der gemessene Strom muss zwischen *2,9 A und 3,8 A* bei 12 V liegen. Die Werte *verändern* sich bei höherer oder niedrigerer Spannung als 12 V.

Begründen Sie ihre Reparaturempfehlung, wenn der gemessene Wert ca. 5 A beträgt:

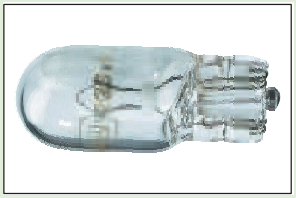
Die Leistungsregelung des Vorschaltgeräts ist defekt, die zu hohe Stromaufnahme ist der Grund für den vorzeitigen Defekt des Xenon-Brenners (normale Lebensdauer beträgt ca. 1500 h). Daher muss auch das Vorschaltgerät getauscht werden.

Aufgabe 2 (Nachrüstung 3. Bremsleuchte)

Sie haben in einen 12-V-Pkw eine dritte Bremsleuchte in Matrix-Bauweise im Innenraum an der Heckscheibe installiert. Nun überprüfen Sie die Sicherung im Sicherungshalter, ob sie für die zusätzliche Belastung ausreichend dimensioniert ist. Der Stromkreis der rechten Bremsleuchte mit einem Widerstand von 5,33 Ω, an den die zusätzliche Bremsleuchte angeschlossen wurde, ist mit einer 3-A-Mini-Flachsicherung abgesichert.



Die 3. Zusatzbremsleuchte ist mit vier Glassockel-Glühlampen, wie abgebildet, bestückt.



Glassockel-Lampe W5W

a) Berechnen Sie zuerst die Leistung der rechten Bremsleuchte.

geg.: $R_B = 5{,}33\ \Omega$ $U = 12\ \text{V}$
ges.: $P_B = ?$

Lösung: $P_B = \frac{U^2}{R_B} = \frac{12^2\ \text{V}^2}{5{,}33\ \Omega} = \frac{144\ \text{V}^2}{5{,}33\ \text{V/A}} = 27\ \text{VA} = \underline{\underline{27\ \text{W}}}$

b) Berechnen Sie die Gesamtleistung der dritten Bremsleuchte.

geg.: $P = 5\ \text{W}$ 4 Lampen
ges.: $P_{3.\ \text{Leuchte}} = ?$

Lösung: $P_{3.\ \text{Leuchte}} = 4 \cdot P = 4 \cdot 5\ \text{W} = \underline{\underline{20\ \text{W}}}$

c) Berechnen Sie die Gesamtleistung der rechten und der zusätzlichen Bremsleuchte.

geg.: $P_{3.\ \text{Leuchte}} = 20\ \text{W}$ $P_B = 27\ \text{W}$
ges.: $P_{ges} = ?$

Lösung: $P_{ges} = P_B + P_{3.\ \text{Leuchte}} = 27\ \text{W} + 20\ \text{W} = \underline{\underline{47\ \text{W}}}$

d) Berechnen Sie den Gesamtstrom für die beiden Bremsleuchten und machen Sie eine Aussage über die Sicherung.

geg.: $P_{ges} = 47\ \text{W}$ $U = 12\ \text{V}$
ges.: $I_{ges} = ?$

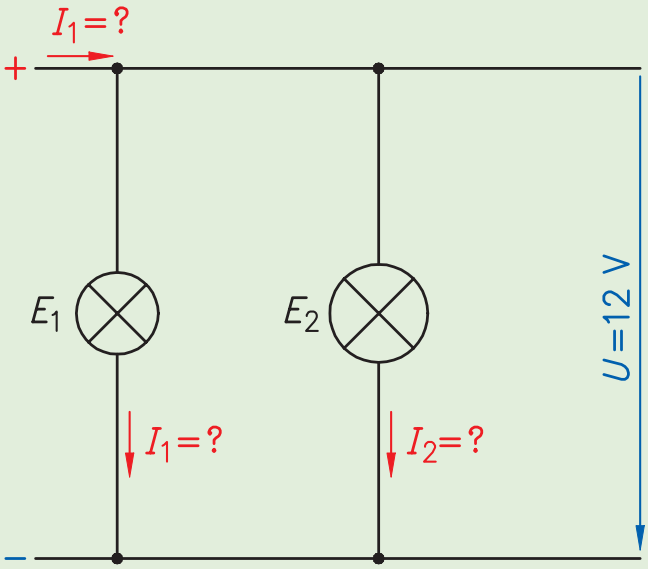
Lösung: $I_{ges} = \frac{P_{ges}}{U} = \frac{47\ \text{W}}{12\ \text{V}} = \underline{\underline{3{,}92\ \text{A}}}$

→ Die 3-A-Sicherung ist nicht ausreichend. Sie muss gegen eine 5-A-Sicherung getauscht werden. (Voraussetzung: Die Leitungen haben den notwendigen Querschnitt!)

Rechenaufgaben zur Parallelschaltung

■ Aufgabe 1 (Glühlampen)

Gegeben sind zwei ungleiche Glühlampen, von denen der Widerstand bekannt ist: E_1 hat einen Widerstand von 6,85 Ω und E_2 von 2,61 Ω.



1. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand der beiden Glühlampen.

   geg.: $R_1 = 6{,}85\ \Omega$ $R_2 = 2{,}61\ \Omega$
   ges.: $R = ?$

   Lösung:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6{,}85\ \Omega \cdot 2{,}61\ \Omega}{6{,}85\ \Omega + 2{,}61\ \Omega} = \underline{\underline{1{,}89\ \Omega}}$$

2. Wie groß sind die beiden Teilströme in den Lampen?

   geg.: $R_1 = 6{,}85\ \Omega$ $R_2 = 2{,}61\ \Omega$ $U = 12$ V
   ges.: $I_1 = ?$ $I_2 = ?$

   Lösung:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12\ \text{V}}{6{,}85\ \Omega} = \underline{\underline{1{,}75\ \text{A}}} \qquad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12\ \text{V}}{2{,}61\ \Omega} = \underline{\underline{4{,}6\ \text{A}}}$$

3. Wie viel Strom fließt in die Gesamtschaltung?

   geg.: $I_1 = 1{,}75$ A $I_2 = 4{,}6$ A
   ges.: $I = ?$

   Lösung: $I = I_1 + I_2 = 1{,}75\ \text{A} + 4{,}6\ \text{A} = \underline{\underline{6{,}35\ \text{A}}}$

4. Machen Sie die Probe, indem Sie den Gesamtwiderstand mit dem Ohmschen Gesetz berechnen.

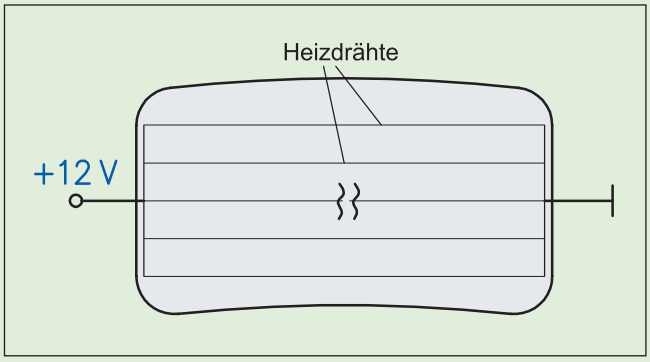
   geg.: $U = 12$ V $I = 6{,}35$ A
   ges.: $R = ?$

   Lösung:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12\ \text{V}}{6{,}35\ \text{A}} = \underline{\underline{1{,}89\ \Omega}}$$

Aufgabe 2 (Heizbare Heckscheibe)

Gegeben ist eine „heizbare Heckscheibe“ in der Heckklappe eines Pkw, deren Heizdrähte auf die Innenseite der Scheibe geklebt sind. Einer der Heizdrähte ist durch einen nicht sichtbaren Kratzer oder „Haarriss“ unterbrochen.



Für mehrere gleiche Widerstände gilt folgende Formel (n = Anzahl der Widerstände):

$$R = \frac{R_1}{n}$$

1. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand aller Heizdrähte, wenn alle Heizdrähte in Ordnung sind und jeweils einen Widerstand von 3 Ω haben.

   geg.: $R_1 = 3\ \Omega$ $\quad n = 5$
   ges.: $R = ?$

   Lösung: $R = \frac{R_1}{n} = \frac{3\ \Omega}{5} = \underline{\underline{0{,}6\ \Omega}}$

2. Wie groß ist der Gesamtwiderstand, wenn der eine Heizdraht unterbrochen ist?

   geg.: $R_1 = 3\ \Omega$ $\quad n = 4$
   ges.: $R = ?$

   Lösung: $R = \frac{R_1}{n} = \frac{3\ \Omega}{4} = \underline{\underline{0{,}75\ \Omega}}$

3. Wie viel Strom fließt durch einen Heizdraht?

   geg.: $R_1 = 3\ \Omega$ $\quad U = 12\ \text{V}$
   ges.: $I_1 = ?$

   Lösung: $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12\ \text{V}}{3\ \Omega} = \underline{\underline{4\ \text{A}}}$

4. Wie groß ist die Spannung in der Mitte eines Heizdrahts (gemessen gegen Masse)?

   geg.: $R_1/2 = 1{,}5\ \Omega$ $\quad I = 4\ \text{A}$
   ges.: $U = ?$

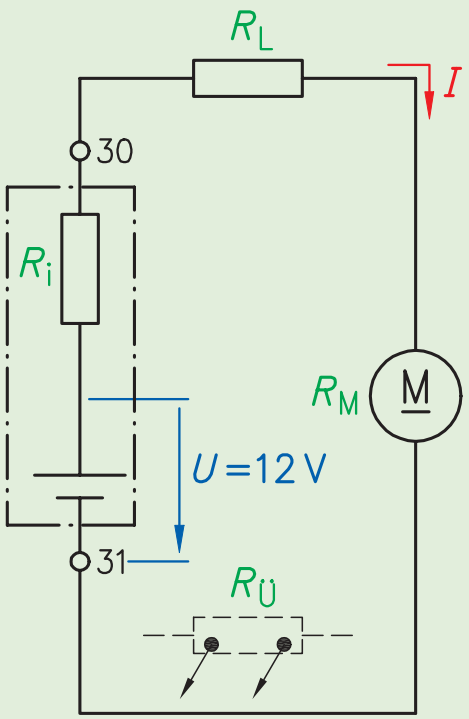
   Lösung: $U = \frac{R_1}{2} \cdot I_1 = 1{,}5\ \Omega \cdot 4\ \text{A} = \underline{\underline{6\ \text{V}}}$

Rechenaufgaben zur Reihenschaltung

■ Aufgabe 1 (Pkw-Startanlage)

Eine Pkw-Startanlage besteht aus:

- einer Starterbatterie (12 V) mit 4 mΩ Innenwiderstand und
- einer Starterhauptleitung mit 2 mΩ Leitungswiderstand und
- einem Starter mit 2400 W Nennleistung bei 12 V.



a) Berechnen Sie den Starterwiderstand aus den Nennwerten:
geg.: $P = 2400\ W$ $U = 12\ V$
ges.: $I = ?$ $R_m = ?$

Lösung: $I = \frac{P}{U} = \frac{2400\ W}{12\ V} = \underline{\underline{200\ A}}$

$R_M = \frac{U}{I} = \frac{12\ V}{200\ A} = \underline{\underline{0{,}06\ \Omega}}$

b) Berechnen Sie den Gesamtwiderstand im Starterstromkreis.
geg.: $R_i = 4\ m\Omega$ $R_L = 2\ m\Omega$ $R_M = 60\ m\Omega$
ges.: $R = ?$

Lösung: $R = R_i + R_L + R_M = 4\ m\Omega + 2\ m\Omega + 60\ m\Omega = 66\ m\Omega$

c) Wie viel Strom fließt beim Starten tatsächlich?
geg.: $U = 12\ V$ $R = 0{,}066\ \Omega$
ges.: $I = ?$

Lösung: $I = \frac{U}{R} = \frac{12\ V}{0{,}066\ \Omega} = \underline{\underline{181{,}8\ A}}$

d) Wie viel Strom erhält ein Starter, wenn bei einer Reparatur zwischen Masse und dem lackierten Austauschstarter ein zusätzlicher Übergangswiderstand von 20 mΩ entstanden ist, weil die Farbe an der Verschraubung nicht entfernt wurde? Wie wirkt sich das beim Starten aus?
geg.: $R = 0{,}066\ \Omega$ $R_Ü = 20\ m\Omega$
ges.: $R_{neu} = ?$ $I_{neu} = ?$

Lösung: $R_{neu} + R + R_Ü = 66\ m\Omega + 20\ m\Omega = 86\ m\Omega$

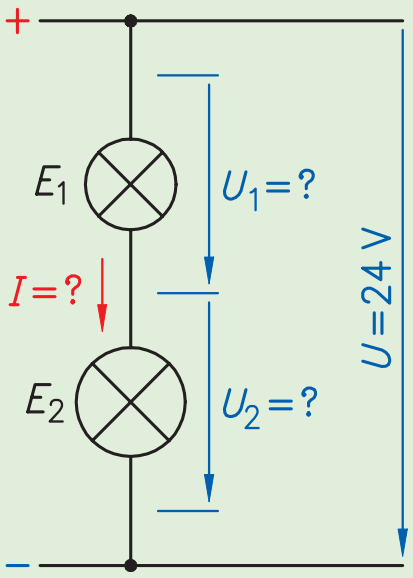
$I_{neu} = \frac{U}{R} = \frac{12\ V}{0{,}086\ \Omega} = \underline{\underline{139{,}5\ A}}$

Der Starter erhält nur noch ca. 140 A anstatt 200 A, für die er ausgelegt ist. → Er dreht langsamer, sodass der Pkw wahrscheinlich nicht mehr anspringt.

Hinweis: Wenn ein Motor langsamer dreht, ändert sich auch sein Innenwiderstand. Daher sind diese Ergebnisse ungenau!

Aufgabe 2 (Beleuchtung)

Zwei ungleiche Glühlampen E1 (12 V/21 W) und E2 (12 V/55 W) liegen in Reihe an 24 V.



a) Berechnen Sie jeweils die Widerstände der Glühlampen aus den Nennwerten.
geg.: $P_1 = 21$ W $P_2 = 55$ W $U = 12$ V
ges.: $R_1 = ?$ $R_2 = ?$

Lösung: $R_1 = \frac{U^2}{P_1} = \frac{12^2\ \text{V}^2}{21\ \text{W}} = \underline{\underline{6{,}85\ \Omega}}$

$R_2 = \frac{U^2}{P_2} = \frac{12^2\ \text{V}^2}{55\ \text{W}} = \underline{\underline{2{,}61\ \Omega}}$

b) Berechnen Sie den Gesamtwiderstand der Schaltung aus den in einer Versuchsschaltung **tatsächlich** ermittelten Widerstandswerten. Warum unterscheiden sich die tatsächlichen Widerstandswerte zu den oben berechneten?
Da die Glühlampen hier nicht unter normalen Bedingungen betrieben werden, herrschen in ihnen andere Temperaturen und damit ändern sich die Widerstandswerte!

geg.: $R_1 = \mathbf{8{,}68\ \Omega}$ $R_2 = \mathbf{1{,}48\ \Omega}$
ges.: $R = ?$

Lösung: $R = R_1 + R_2 = 8{,}68\ \Omega + 1{,}48\ \Omega = 10{,}16\ \Omega$

c) Wie viel Strom fließt durch die beiden Glühlampen **tatsächlich**?
geg.: $U = 24$ V $R = 10{,}16\ \Omega$
ges.: $I = ?$

Lösung: $I = \frac{U}{R} = \frac{24\ \text{V}}{10{,}16\ \Omega} = \underline{\underline{2{,}36\ \text{A}}}$

d) An welchen Teilspannungen liegen die ungleichen Glühlampen **tatsächlich**?
geg.: $R_1 = 8{,}68\ \Omega$ $R_2 = 1{,}48\ \Omega$ $I = 2{,}36$ A
ges.: $U_1 = ?$ $U_2 = ?$

Lösung: $U_1 = R_1 \cdot I = 8{,}68\ \Omega \cdot 2{,}36\ \text{A} = 20{,}5\ \text{V}$ $U_2 = R_2 \cdot I = 1{,}48\ \Omega \cdot 2{,}36\ \text{A} = 3{,}5\ \text{V}$

e) Berechnen Sie die **tatsächlichen** Leistungen (Wärmebelastungen) der Glühlampen in dieser Schaltung. Wie wirkt sich das auf die Lebensdauer der Glühlampen aus?
geg.: $U_1 = 20{,}5$ V $U_2 = 3{,}5$ V $I = 2{,}36$ A
ges.: $P_{1\text{tats.}} = ?$ $P_{2\text{tats.}} = ?$

Lösung: $P_{1\text{tats.}} = U_1 \cdot I = 20{,}5\ \text{V} \cdot 2{,}36\ \text{A} = 48{,}38\ \text{W}$ $P_{2\text{tats.}} = U_2 \cdot I = 3{,}5\ \text{V} \cdot 2{,}36\ \text{A} = 8{,}26\ \text{W}$

Die Glühlampe E1 (21 W) wird viel zu warm bei 48 W und brennt durch, da sie an einer zu hohen Spannung liegt. Die Glühlampe E2 (55 W) erhält zu wenig Leistung mit 8,3 W und leuchtet nur schwach, da sie mit Unterspannung betrieben wird.

Aufgabe 1

Der auf S. 68 abgebildete 4 m hohe Plattenkondensator des Deutschen Museums München besteht aus 12 parallel geschalteten Kondensatoren mit einer Kapazität von je 200 nF. Die Kondensatoren werden auf eine Spannung von 100.000 V aufgeladen. Die Entladezeit der Kondensatoren über einen künstlich erzeugten Blitz wird mit einer 1 µs angenommen. Beim Entladen werden die Kondensatoren kurzzeitig in Reihe geschaltet.

a) Wie groß ist die Gesamtkapazität der 12 Kondensatoren?
geg.: $C_{1-12} = 200\ nF = 0{,}2\ \mu F = 0{,}2 \cdot 10^{-6}\ F$ ges.: $C = ?$
Lösung: $C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots = 0{,}2 \cdot 10^{-6}\ F \cdot 12 = 2{,}4 \cdot 10^{-6}\ F = \underline{2{,}4\ \mu F}$

b) Wie viel Energie ist in dem Kondensator gespeichert, wenn er voll aufgeladen ist?
geg.: $C = 2{,}4\ \mu F$ $U = 100.000\ V$ ges.: $W = ?$

Lösung: $$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 2{,}4\ \mu F \cdot 100000^2\ V^2 = \frac{1}{2} \cdot 2{,}4 \cdot 10^{-6}\ \frac{As}{V} \cdot 100000^2\ V^2$$
$$= 12000\ VAs = \underline{\underline{12000\ Ws}}$$

c) Wie groß ist die Spannung und Stromstärke des künstlichen Blitzes?
geg.: $U_{1-12} = 100.000\ V$ $W = 12.000\ Ws$ $t = 1\ \mu s$ ges.: $U = ?$ $I = ?$
Lösung: $U = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots = 100.000\ V \cdot 12 = 1.200.000\ V = 1{,}2\ MV$

$$I = \frac{W}{U \cdot t} = \frac{12000\ Ws}{1200000\ V \cdot 1\ \mu s} = \frac{12000\ VAs}{1200000\ V \cdot 1 \cdot 10^{-6}\ s} = \underline{\underline{10000\ A}}$$

d) Warum ist der Kondensator so groß? *Damit bei 100.000 V keine Entladungsfunken zwischen den Platten überspringen, muss der Isolator Luft ca. 30 cm dick sein.*

Aufgabe 2

Fahrrad-Rückleuchten mit Standlicht-Funktion verfügen über Kondensatoren: Der Kondensator wird beim Fahren vom Dynamo aufgeladen. Die LED benötigt durchschnittlich 20 mA an 1,7 V.

a) Wie viel Energie muss der Kondensator mindestens speichern können, um die LED 4 min lang im Stand leuchten zu lassen?
geg.: $I = 0{,}02\ A$ $U = 1{,}7\ V$ $t = 4\ min = 240\ s$ ges.: $W = ?$
Lösung: $W = U \cdot I \cdot t = 1{,}7\ V \cdot 0{,}02\ A \cdot 240\ s = \underline{8{,}16\ Ws}$

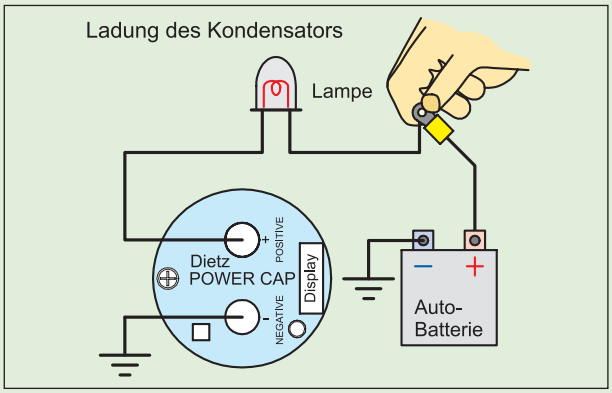
b) Welche Kapazität muss der Kondensator zur Aufnahme dieser Energie mindestens haben, wenn er vom Dynamo mit 5,5 V aufgeladen wird?
geg.: $W = 8{,}16\ Ws$ $U = 5{,}5\ V$ ges.: $C = ?$

Lösung: $$C = \frac{2 \cdot W}{U^2} = \frac{2 \cdot 8{,}16\ Ws}{5{,}5^2\ V^2} = \frac{16{,}32\ VAs}{30{,}25\ V^2} = 0{,}54\ \frac{As}{V} = 0{,}54\ F = \underline{\underline{540000\ \mu F}}$$

Dieses Ergebnis wird im rechten Bild der Innenansicht des Rücklichts mit dem Doppelschicht-Kondensator mit einer Kapazität von 1 F bei 5,5 V bestätigt.

Aufgabe 3

Der auf S. 68 abgebildete 1 F-Power Cap für Sound-Anlagen soll im Fahrzeug an die 12-V-Autobatterie als Energiepuffer angeschlossen werden. In der Einbauanleitung des Herstellers steht folgender Satz: „Um die starke Funkenbildung beim ersten Spannungskontakt zu vermeiden, muss der Kondensator beim Anschlussvorgang über eine 2-W-Lampe zur Strombegrenzung aufgeladen werden."



a) Wie groß ist der Strom, den die Lampe zulässt?
geg.: $P = 2\ W$ $U = 12\ V$ ges.: $I = ?$

Lösung: $I = \frac{P}{U} = \frac{2\ W}{12\ V} = 0{,}167\ A = \underline{\underline{167\ mA}}$

b) Wie viel Energie ist in dem Kondensator gespeichert, wenn er voll aufgeladen ist?
geg.: $C = 1\ F$ $U = 12\ V$ ges.: $W = ?$

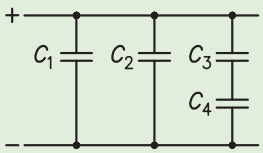
Lösung: $W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 1\ F \cdot 12^2\ V^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \frac{As}{V} \cdot 144\ V^2 = 72\ VAs = \underline{\underline{72\ Ws}}$

c) Wie lange dauert das Aufladen, wenn man zur Vereinfachung davon ausgeht, dass während des gesamten Ladevorgangs der max. Strom fließt, den die Glühlampe zulässt?
geg.: $I = 167\ mA$ $W = 72\ Ws$ $U = 12\ V$ ges.: $t = ?$

Lösung: $t = \frac{W}{U \cdot I} = \frac{72\ Ws}{12\ V \cdot 0{,}167\ A} = \frac{72\ VAs}{12\ V \cdot 0{,}167\ A} = \underline{\underline{36\ s}}$

Aufgabe 4

Auf dem nebenstehenden rechten Bild sieht man das Airbag-Steuergerät (Byteflight-vernetzt) eines BMW. Die großen Kondensatoren dienen als Energie-Reserve, wenn im Fall eines Unfalls die Spannungsversorgung über die Batterie nicht mehr funktioniert und ein Airbag dennoch ausgelöst werden muss. $C_1 = C_2 = 8200\ \mu F$, $C_3 = C_4 = 5600\ \mu F$



a) Welche Gesamtkapazität haben die vier Elektrolyt-Kondensatoren, wenn sie wie gezeigt geschaltet sind?
geg.: s. Skizze ges.: $C = ?$

Lösung: $C_{Reihe} = \frac{C_3 \cdot C_4}{C_3 + C_4} = \frac{5600\ \mu F \cdot 5600\ \mu F}{5600\ \mu F + 5600\ \mu F} = \frac{31.360.000\ \mu F^2}{11.200\ \mu F} = \underline{\underline{2800\ \mu F}}$

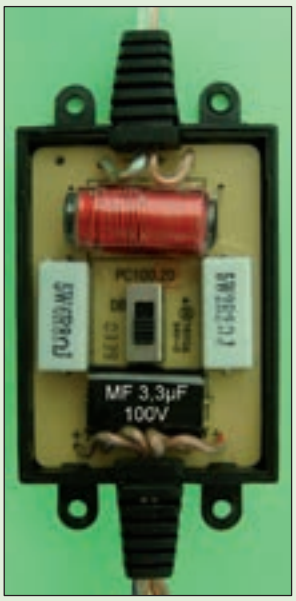
$C_{parallel} = C_1 + C_2 + C_{Reihe} = 8200\ \mu F + 8200\ \mu F + 2800\ \mu F = \underline{\underline{19.200\ \mu F}}$

b) Wie viel Energie können diese vier „Elkos" an einer Bordspannung von 14,4 V speichern?
geg.: $U = 14{,}4\ V$ $C = 19.200\ \mu F$ ges.: $W = ?$
Lösung:

$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 19.200\ \mu F \cdot 14{,}4^2\ V^2 = \frac{1}{2} \cdot 19.200 \cdot 10^{-6} \frac{As}{V} \cdot 207{,}36\ V^2 = \frac{3{,}98}{2}\ VAs = 1{,}99\ Ws \approx \underline{\underline{2\ Ws}}$

c) Warum muss vor Airbag-Werkstattarbeiten die Starterbatterie 30 min abgeklemmt sein?
Damit sich die Kondensatoren im Steuergerät zum Schutz vor Unfällen selbst entladen.

Aufgabe 5



Bei der Fehlersuche in der Sound-Anlage eines Pkw wurde festgestellt, dass in der abgebildeten *Frequenzweiche* der Kondensator mit 3,3 µF defekt ist. Da die Frequenzweiche beim Hersteller vergriffen ist, entschließen Sie sich zu einer Reparatur. Leider stehen Ihnen nur Kondensatoren mit den Kapazitäten von 5 µF, 1,7 µF, 8,3 µF und 9,7 µF zur Verfügung.

a) Mit welcher Schaltungsart können Sie den defekten durch eine Kombination von zwei der oben genannten Kondensatoren ersetzen?
Mit einer Reihenschaltung von zwei Kondensatoren

b) Sie wählen als ersten den mit dem Wert von 5 µF aus. Welchen der anderen drei Kondensatoren müssen Sie dazu schalten, um auf die Gesamtkapazität des defekten Kondensators von 3,3 µF zu kommen?
geg.: $C = 3{,}3\ \mu F$ $C_1 = 5\ \mu F$ ges.: $C_2 = ?$

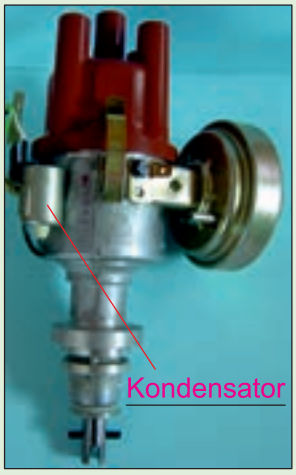
Lösung: Durch Umstellen der Formel $C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$ nach C_2 erhält man für

$$C_2 = \frac{C \cdot C_1}{C_1 - C} = \frac{3{,}3\ \mu F \cdot 5\ \mu F}{5\ \mu F - 3{,}3\ \mu F} = \frac{16{,}5\ \mu F^2}{1{,}7\ \mu F} = \underline{\underline{9{,}7\ \mu F}}$$

c) Machen Sie die Probe, ob mit Hilfe des von Ihnen gewählten Kondensators C_2 wirklich die defekte Kapazität ersetzt werden kann.
geg.: $C_1 = 5\ \mu F$ $C_2 = 9{,}7\ \mu F$ ges.: $C = ?$

Lösung: $C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{5\ \mu F \cdot 9{,}7\ \mu F}{5\ \mu F + 9{,}7\ \mu F} = \frac{48{,}5\ \mu F^2}{14{,}7\ \mu F} = \underline{\underline{3{,}3\ \mu F}}$

Aufgabe 6



Abgebildet ist der Zündverteiler mit *Zündkondensator* eines Oldtimers. Der Kondensator hat die Aufgabe, den Funken am Unterbrecherkontakt zu unterdrücken, wenn dieser den Primärstrom der Zündspule im Zündzeitpunkt unterbricht. Das Magnetfeld der Zündspule stellt in diesem Moment eine Energie von 295 mWs zur Verfügung. Der Zündfunke benötigt 279,2 mWs.

a) Welche Energie nimmt der Kondensator in diesem Moment auf?
geg.: $W_{Spule} = 295\ mWs$ $W_{Funke} = 279{,}2\ mWs$ ges.: $W_{Kond.} = ?$
Lösung: $W_{Kond.} = W_{Spule} - W_{Funke} = 295\ mWs - 279{,}2\ mWs = \underline{\underline{15{,}8\ mWs}}$

b) Welche Kapazität muss der Zündkondensator haben, damit er bei einer Primärspannung von 325 V diese Energie aufnehmen kann?
geg.: $U = 325\ V$ $W_{Kond.} = 15{,}8\ mWs$ ges.: $C = ?$

Lösung: $C = \frac{2\ W}{U^2} = \frac{2 \cdot 15{,}8\ mWs}{325^2\ V^2} = \frac{2 \cdot 0{,}0158\ Ws}{110.625\ V^2} = 0{,}299 \cdot 10^{-6}\ \frac{VAs}{V^2} \approx \underline{\underline{0{,}3\ \mu F}}$

c) Wie wirkt sich ein zu kleiner oder defekter Zündkondensator im Betrieb des Oldtimers aus?
Der Motor bekommt Zündaussetzer.

2.8.12 Berechnung des Vorwiderstands einer Z-Diode

Zusammenhänge und Formeln

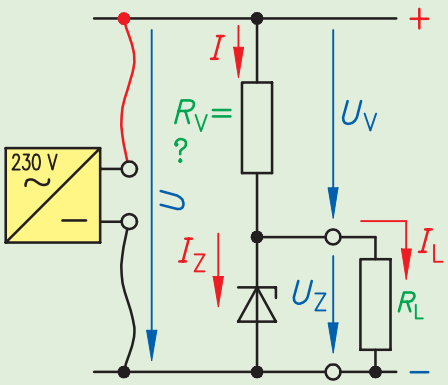
$R_V = \frac{U_V}{I}$ Vorwiderstand in Ω

$U_V = U - U_Z$ Spannungsfall am Vorwiderstand in V
U_Z = Zenerspannung in V
U = Versorgungs-(Batterie-)spannung in V

$I = I_Z + I_L$ Gesamtstrom über Vorwiderstand in A
I_L = Laststrom des zu stabil. Geräts in A
I_Z = Zenerstrom über Z-Diode in A

$R_V = \frac{U - U_Z}{I_Z + I_L}$ Vorwiderstand in Ω, wenn $I_L < I_Z$

$P_V = U_Z \cdot I_Z$ Verlustleistung (Wärme) der Diode in W



Aufgabe 1

Eine Z-Diode BZX 97 C8V2 ist auf eine Verlustleistung von 500 mW ausgelegt. Sie soll bei einer Betriebsspannung von 14,4 V ein Steuergerät mit 8,2 V und 20 mA Verbrauch stabilisieren. Wie groß muss der Vorwiderstand gewählt werden?

geg.: $P_V = 500\ mW$ $U = 14{,}4\ V$ $U_Z = 8{,}2\ V$ $I_L = 20\ mA = 0{,}02\ A$
ges.: $I_Z = ?$ $R_V = ?$

Lös.: $I_Z = \frac{P_V}{U_Z} = \frac{0{,}5\ W}{8{,}2\ V} = \frac{0{,}5\ VA}{8{,}2\ V} = 0{,}061\ A = \underline{\underline{61\ mA}}$

mit $I_L = 20\ mA < I_Z = 61\ mA$ ist die Bedingung *erfüllt*.

$R_V = \frac{U - U_Z}{I_Z + I_L} = \frac{14{,}4\ V - 8{,}2\ V}{0{,}061\ A + 0{,}02\ A} = \frac{6{,}2\ V}{0{,}081\ A} = \underline{\underline{76{,}5\ \Omega}}$

Der Vorwiderstand muss *76,5 Ω* haben.

Aufgabe 2

Ein iPod wurde in einem Fahrzeug für dessen max. Betriebsspannung an eine stabilisierte Spannung von ca. 5 V angeschlossen. Zum Laden während der Fahrt ist ein max. Strom, wie bei USB üblich, von 100 mA erlaubt. Dafür wurde eine 5,1-V-Z-Diode mit 5 W max. Leistung und einem max. Zenerstrom von 240 mA verwendet. Der Vorwiderstand hat einen Wert von 67,35 Ω. Welche Betriebsspannung hat das Fahrzeug? Reicht die Wärmebelastbarkeit der Z-Diode aus? Welche Wärmebelastung muss der Vorwiderstand mindestens aushalten?

geg.: $U_Z = 5{,}1\ V$ $I_Z = 240\ mA = 0{,}24\ A$ $I_L = 100\ mA = 0{,}1\ A$ $R_V = 67{,}35\ \Omega$
ges.: $U = ?$ $P_{V(Diode)} = ?$ $P_{V(Widerstand)} = ?$ $U_V = ?$ $I = ?$

Lös.: $U = R_V \cdot (I_Z + I_L) + U_Z = 67{,}35\ \Omega \cdot (0{,}24\ A + 0{,}1\ A) + 5{,}1\ V = \underline{\underline{28\ V}}$

$P_{V(Diode)} = U_Z \cdot I_Z = 5{,}1\ V \cdot 0{,}24\ A = \underline{\underline{1{,}22\ W}}$

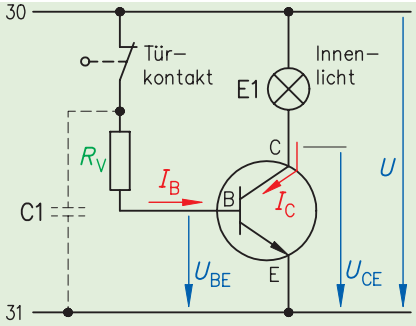
$P_{V(Widerstand)} = U_V \cdot I = 22{,}9\ V \cdot 0{,}24\ A \approx \underline{\underline{7{,}8\ W}}$

$I = I_Z + I_L = 0{,}24\ A + 0{,}1\ A = \underline{\underline{0{,}34\ A}}$

$U_V = U - U_Z = 28\ V - 5{,}1\ V = \underline{\underline{22{,}9\ V}}$

Es handelt sich um ein *Nfz* mit einem *28*-V-Bordnetz. Die Leistung der 5-W-Zenerdiode reicht *vollkommen aus*. Es sollte ein Zement-Widerstand mit einer Leistung von *10 W* gewählt werden, um die auftretende Wärme von *7,8 W* schadlos abführen zu können.

2.8.15 Rechenaufgaben zum (bipolaren) Transistor



Aufgabe 1

Dargestellt ist eine Prinzipschaltung einer Innenlicht-Ausschaltverzögerung (IAV). Laut Datenblatt kann die Schaltung maximal eine **21 W/12 V**-Leuchte schalten. Wenn z. B. die Fahrertür geöffnet wird, geht die Leuchte an und der Kondensator C1 wird aufgeladen. Wird der Türkontakt beim Schließen der Tür geöffnet, hält der Kondensator den Steuerstrom für 15 Sekunden aufrecht, damit das Innenlicht weiter leuchtet.

Der Transistor hat folgende Daten:

$U_{CEmax.} = 30$ V, $I_{Cmax.} = 2{,}5$ A, $B = 50$, im angesteuerten Zustand beträgt $U_{CE} = 0{,}3$ V.

a) Berechnen Sie den Widerstand der Leuchte E1. geg.: $P = 21$ W $U = 12$ V ges.: $R_L = ?$

Lösung: $R_L = \frac{U^2}{P} = \frac{12^2\ \text{V}^2}{21\ \text{W}} = \frac{144\ \text{V}^2}{21\ \text{VA}} = \underline{\underline{6{,}86\ \Omega}}$

b) Wie groß ist der Arbeitsstrom, der durch den Transistor fließt, wenn die Bordspannung 13,5 V beträgt? Beurteilen Sie das Ergebnis unter Berücksichtigung der Transistordaten.
geg.: $U = 13{,}5$ V $U_{CE} = 0{,}3$ V $R_L = 6{,}86\ \Omega$ ges.: $I_C = ?$

Lösung: $I_C = \frac{U - U_{CE}}{R_L} = \frac{13{,}5\ \text{V} - 0{,}3\ \text{V}}{6{,}86\ \Omega} = \frac{13{,}2\ \text{V} \cdot \text{A}}{6{,}86\ \text{V}} = \underline{\underline{1{,}92\ \text{A}}}$

Der Transistor wird mit diesem Arbeitsstrom von *1,92 A nicht überlastet*, da er unter dem Maximalwert von *2,5 A* liegt, für den der Transistor ausgelegt ist.

c) Bestimmen Sie den Steuerstrom, der gerade ausreicht, damit der Transistor durchschaltet.
geg.: $B = 50$ $I_C = 1{,}92$ A ges.: $I_{B(\text{Verstärker})} = ?$

Lösung: $I_{B\ (\text{Verstärker})} = \frac{I_C}{B} = \frac{1{,}92\ \text{A}}{50} = 0{,}038\ \text{A} = \underline{\underline{38\ \text{mA}}}$

d) Wie groß muss der Steuerstrom im Schalterbetrieb sein, wenn zur Sicherheit eine Übersteuerung von 2,5 gewählt wird? geg.: $\kappa = 2{,}5$ $I_{B\ (\text{Verstärker})} = 38$ mA ges.: $I_{B\ (\text{Schalter})} = ?$
Lösung: $I_{B\ (\text{Schalter})} = K \cdot I_{B\ (\text{Verstärker})} = 2{,}5 \cdot 38\ \text{mA} = \underline{\underline{95\ \text{mA}}}$

e) Wie groß muss man den Vorwiderstand bei einer Steuerspannung von 0,7 V dimensionieren?
geg.: $I_{B(\text{Schalter})} = 95$ mA $U_{BE} = 0{,}7$ V $U = 13{,}5$ V ges.: $R_V = ?$

Lösung: $R_V = \frac{U - U_{BE}}{I_{B\ (\text{Schalter})}} = \frac{13{,}5\ \text{V} - 0{,}7\ \text{V}}{0{,}095\ \text{A}} = \frac{12{,}8\ \text{V}}{0{,}095\ \text{A}} \approx \underline{\underline{135\ \Omega}}$

f) Wie warm wird der Transistor, wenn man die Steuerverlustleistung (66 mW) vernachlässigt?
geg.: $U_{CE} = 0{,}3$ V $I_C = 1{,}92$ A ges.: $P_V = ?$
Lösung: $P_V = U_{CE} \cdot I_C = 0{,}3\ \text{V} \cdot 1{,}92\ \text{A} = 0{,}576\ \text{W} \approx \underline{0{,}6\ \text{W}}$ Im Transistor entsteht nur geringe Wärme.

g) Welche Kapazität muss der Kondensator mindestens haben, damit die Leuchte 15 s nachleuchtet und die Spannung am Kondensator nicht unter 4 V absinkt?
geg.: $I_{B(\text{Schalter})} = 95$ mA $\Delta t = 15$ s $\Delta U = 13{,}5 - 4\ \text{V} = 9{,}5$ V ges.: $C = ?$

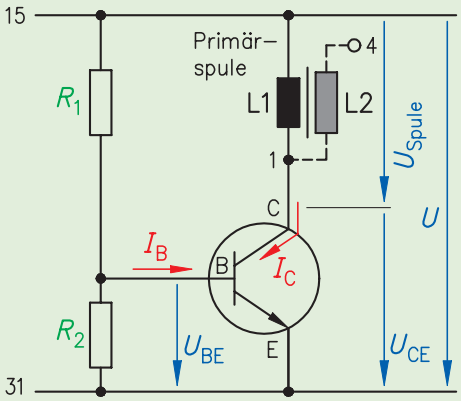
Lös.: $C = \frac{\Delta t \cdot I_{B\ (\text{Schalter})}}{\Delta U} = \frac{15\ \text{s} \cdot 0{,}095\ \text{A}}{9{,}5\ \text{V}} = 0{,}15\frac{\text{As}}{\text{V}} = \underline{\underline{150.000\ \mu\text{F}}}$

Vergleichen Sie diesen Wert mit dem tatsächlich eingebauten Kondensator mit 10 µF aus der Beispielaufgabe S. 69.

Wegen des relativ *großen* Steuerstroms des bipolaren Transistors müsste ein sehr *großer* Kondensator gewählt werden. Daher reichen in der IAV beim Einsatz eines *MOS-FET* 10 µF.

Aufgabe 2

Dargestellt ist die Prinzipschaltung einer Transistor-Zündanlage mit Primärstromregelung. Der Transistor wird vom Steuergerät immer so angesteuert, dass ein Primärstrom von 8 A fließt. Die Primärspule L1 der Zündspule hat einen Widerstand von 0,5 Ω. Die Bordspannung beträgt beim Fahren 14,4 V.



a) Befindet sich der Transistor im Verstärker- oder im Schaltbetrieb? Berechnen Sie dazu U_{CE}.
geg.: $R_{Spule} = 0{,}5\ \Omega$ $U = 14{,}4\ V$ $I_C = 8\ A$
ges.: $U_{Spule} = ?$ $U_{CE} = ?$

Lösung: $U_{Spule} = R_{Spule} \cdot I_C = 0{,}5\ \Omega \cdot 8\ A = \underline{\underline{4{,}4\ V}}$

$U_{CE} = U - U_{Spule} = 14{,}4\ V - 4\ V = \underline{\underline{10{,}4\ V}}$

Der Transistor befindet sich im *Verstärkerbetrieb* und hat nur ein *wenig geöffnet*, um den Strom auf 8 A zu *begrenzen*.

b) Berechnen Sie den dazu benötigten Steuerstrom bei einem Verstärkungsfaktor von 120:
geg.: $I_C = 8\ A$ $B = 120$ ges.: $I_{B(Verstärker)} = ?$

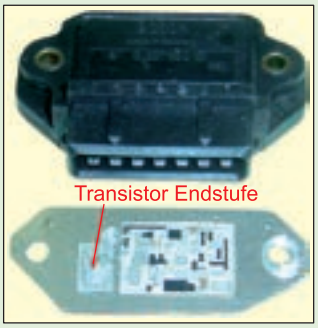
Lösung: $I_{B\ (Verstärker)} = \frac{I_C}{B} = \frac{8\ A}{120} = 0{,}067\ A = \underline{\underline{67\ mA}}$

c) Wie warm wird der Transistor in diesem Betriebspunkt bei einer Steuerspannung von 0,7 V?
geg.: $U_{BE} = 0{,}7\ V$ $U_{CE} = 10{,}4\ V$ $I_B = 0{,}067\ A$ $I_C = 8\ A$
ges.: $P_B = ?$ $P_V = ?$ $P_{tot} = ?$

Lösung: $P_B = U_{BE} \cdot I_B = 0{,}7\ V \cdot 0{,}067\ A = \underline{\underline{0{,}047\ W}}$

$P_V = U_{CE} \cdot I_C = 10{,}4\ V \cdot 8\ A = \underline{\underline{83{,}2\ W}}$

$P_{tot} = P_B + P_V = 0{,}047\ W + 83{,}2\ W = 83{,}247\ W \approx \underline{\underline{83\ W}}$



Die Steuerleistung P_B ist im Vergleich mit der Kollektorverlustleistung P_V vernachlässigbar klein.
Im Vergleich zum Schalttransistor in Aufgabe 1 wird dieser Transistor *sehr heiß*, da er im Verstärkerbetrieb nur wenig öffnet und damit ein *sehr großes* U_{CE} hat. Zur besseren *Kühlung* wird das Zündsteuergerät (s. Bild) auf der Rückseite mit *Wärmeleitpaste* bestrichen und an die Karosserie geschraubt, die die Wärme abführt.

d) Berechnen Sie die Widerstände des Spannungsteilers, wenn der Querstrom durch den Widerstand R_2 fünfmal so groß ist wie der Steuerstrom.
geg.: $I_B = 0{,}067\ A$ $U_{BE} = 0{,}7\ V$ $U = 14{,}4\ V$ $I_2 = 5 \cdot I_B = 5 \cdot 0{,}067\ A = 0{,}335\ A$
ges.: $R_1 = ?$ $R_2 = ?$

Lösung: $R_1 = \frac{U - U_{BE}}{I_B + I_2} = \frac{14{,}4\ V - 0{,}7\ V}{0{,}067\ A + 0{,}335\ A} = \frac{13{,}7\ V}{0{,}402\ A} = 34{,}08\ \Omega = \underline{\underline{34\ \Omega}}$

$R_2 = \frac{U_{BE}}{I_2} = \frac{0{,}7\ V}{0{,}335\ A} = 2{,}09\ \Omega = \underline{\underline{2\ \Omega}}$

3.1.12 Berechnung von Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad und Riementrieb beim Generator

Formeln

Drehmoment in Nm $M = F \cdot r$ mit F = Kraft in N, r = Radius in mm

Leistung in kW $P = \frac{M \cdot n}{9550}$ Übersetzungsverhältnis $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2}$

Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$ Umfangsgeschwindigkeit $v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}$ in m/s

Gesamt-Wirkungsgrad $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \ldots$ mit d = Durchmesser in m, n = Drehzahl in 1/min

Aufgabe 1

Ein Drehstrom-Generator wird bei 3000 1/min über einen Flachriemen mit einer Zugkraft von 80 N bei einem wirksamen Durchmesser der Riemenscheibe von 80 mm angetrieben. Bei einer Generatorspannung von 14 V und einer Belastung mit 50 A tritt an den Plus- und Minusdioden je ein Spannungsfall von 0,8 V auf. Der Erregerstrom von 2,5 A verursacht an den Erreger-Dioden einen Spannungsfall von 0,7 V. Berechnen Sie:

a) die zugeführte (mechanische) Leistung in W.

geg.: $F = 80\ N$ $d = 80\ mm$ $n = 30001/min$ ges.: $M = ?$ $P_{zu} = ?$

Lös.: $M = F \cdot r = 80\ N \cdot 0{,}04\ m = 3{,}2\ Nm$ $P_{zu} = \frac{M \cdot n}{9550} = \frac{3{,}2 \cdot 3000}{9550} = 1{,}0052\ kW = \underline{\underline{1005{,}2\ W}}$

b) die abgeführte (elektr.) Leistung in W: geg.: $U = 14\ V$ $I = 50\ A$ ges.: $P_{ab} = ?$

Lös.: $P_{ab} = U \cdot I = 14\ V \cdot 50\ A = \underline{\underline{700\ W}}$

c) den Wirkungsgrad: geg.: $P_{ab} = 700\ W$ $P_{zu} = 1005{,}2\ W$ ges.: $\eta = ?$

Lös.: $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{700\ W}{1005{,}2\ W} = 0{,}696 = \underline{\underline{69{,}6\%}}$

d) den Leistungsverlust an den Leistungsdioden: geg.: $U_D = 0{,}8\ V$ $I = 50\ A$ ges.: $P_{VD} = ?$

Lös.: $P_{VD} = 2 \cdot U_D \cdot I = 2 \cdot 0{,}8\ V \cdot 50\ A = \underline{\underline{80\ W}}$

e) den Leistungsverlust im Erreger-Stromkreis:

geg.: $U_E = 0{,}7\ V$ $U_D = 0{,}8\ V$ $I_E = 2{,}5\ A$ ges.: $P_{VE} = ?$

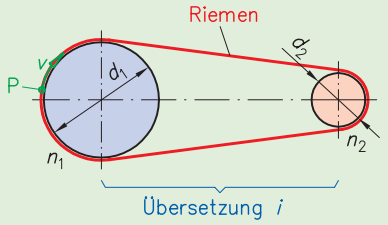
Lös.: $P_{VE} = (U_E + U_D) \cdot I_E = (0{,}7\ V + 0{,}8\ V) \cdot 2{,}5\ A = \underline{\underline{3{,}75\ W}}$

Aufgabe 2

Die Höchstdrehzahl eines Kompakt-Generators sei 20.000 1/min. Die maximale Drehzahl des Verbrennungsmotors liegt bei 6000 1/min. Der Durchmesser der Schleifringe beträgt 20 mm. Das Typenschild gibt beim Typ KK-14V eine Stromabgabe von 40/90 A bei 1800/6000 1/min an.

a) Welches Übersetzungsverhältnis muss der Riementrieb besitzen? geg.: $n_1 = 6.000\ 1/min$ $n_2 = 20.000\ 1/min$ ges.: $i = ?$

Lösung: $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{6000\ min^{-1}}{20.000\ min^{-1}} = \underline{\underline{0{,}3}}$

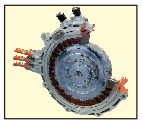


$i < 1$: Übersetzung ins Schnelle
$i = 1$: keine Übersetzung
$i > 1$: Übersetzung ins Langsame

Index ungerade: treibend
Index gerade: getrieben

n = Drehzahl in 1/min
d = Durchmesser in mm
v = Umfangsgeschwindigkeit des Punktes P in m/s

$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$



b) Welchen Durchmesser muss die Riemenscheibe am Generator haben, wenn der Riemenscheibendurchmesser am Motor 130 mm beträgt? geg.: $d_1 = 130\ mm,\ i = 0{,}3$ ges.: $d_2 = ?$

Lös.: $d_2 = i \cdot d_1 = 0{,}3 \cdot 130\ \text{mm} = \underline{\underline{39\ \text{mm}}}$

c) Kann der Generator bereits bei Leerlaufdrehzahl 750 1/min des Ottomotors laden?

geg.: $n_1 = 750\ 1/min$ $d_1 = 130\ mm$ $d_2 = 39\ mm$ ges.: $n_2 = ?$

Lös.: $n_2 = \frac{n_1 \cdot d_1}{d_2} = \frac{750\ \text{min}^{-1} \cdot 130\ \text{mm}}{39\ \text{mm}} = \underline{\underline{2500\ \text{min}^{-1}}}$

Der Generator kann bereits über *40 A* abgeben, da er mit *2500* min⁻¹ *über* den geforderten *1800* min⁻¹ liegt.

d) Wie groß ist die maximale Gleitgeschwindigkeit der Kohlebürsten auf den Schleifringen?

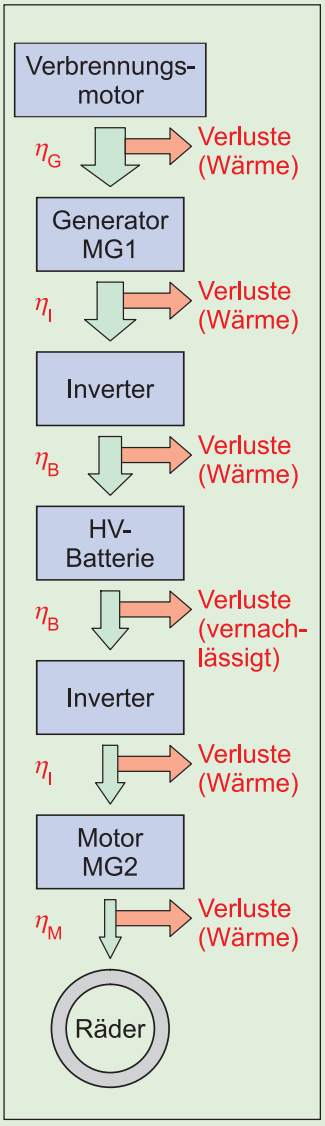
geg.: $d_S = 20\ mm = 0{,}02\ m$ $n = 20.000\ 1/min$ ges.: $v = ?$

Lös.: $v = \frac{\pi \cdot d_S \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0{,}02 \cdot 20.000}{60} = \underline{\underline{20{,}94\ \text{m/s}}}$

Bei dieser Formel d in m, n in 1/min und v in m/s einsetzen!

■ Aufgabe 3

Der Toyota Prius II hat zwei E-Maschinen. Die kleinere MG1 arbeitet hauptsächlich als Generator und lädt die leere Batterie auf 201,6 V und 6,5 Ah mit einer Leistung von 30 kW. (Zur Vereinfachung wird davon ausgegangen, dass die gesamte Energiemenge zum Verbrauch zur Verfügung steht.)



a) Wie viel Energie ist in der HV-Batterie gespeichert, wenn sie entsprechend der Nenndaten voll geladen ist?

geg.: $U = 201{,}6\ V$ $K = 6{,}5\ Ah$ ges.: $W = ?$

Lös.: $W = U \cdot I \cdot t = U \cdot K = 201{,}6\ \text{V} \cdot 6{,}5\ \text{Ah} = 1310\ \text{Wh} = \underline{\underline{1{,}31\ \text{kWh}}}$

b) Wie viel Energie muss der Generator MG1 liefern, wenn der Inverter mit einem Wirkungsgrad von 92 % und die Batterie die Energie zu 80 % aufnimmt? Alle Bauteile brauchen Kühlung!

geg.: $\eta_I = 0{,}92$ $\eta_B = 0{,}8$ $W_{ab} = 1{,}31\ kWh$

ges.: $\eta = ?$ $W_{zu} = ?$

Lös.: $\eta = \eta_I \cdot \eta_B = 0{,}92 \cdot 0{,}8 = 0{,}736 = \underline{\underline{73{,}6\ \%}}$

$$W_{zu} = \frac{W_{ab}}{\eta} = \frac{1{,}31\ \text{kWh}}{0{,}736} = \underline{\underline{1{,}78\ \text{kWh}}}$$

c) Wie lange muss der Generator laufen, damit die HV-Batterie wieder „voll“ ist? geg.: $W_{zu} = 1{,}78\ kWh$ $P = 30\ kW$ ges.: $t = ?$

Lös.: $t = \frac{W_{zu}}{P} = \frac{1{,}78\ \text{kWh}}{30\ \text{kW}} = 0{,}0593\ \text{h} = \underline{\underline{3{,}56\ \text{min}}}$

d) Wie lange kann der Prius mit dieser Energiemenge elektrisch fahren, wenn der 50 kW-Motor MG2 durchschnittlich nur 20 kW bei einem Wirkungsgrad von 90 % abgibt, der Inverter den gleichen Wirkungsgrad wie beim Laden hat und die Batterieverluste vernachlässigt werden?

geg.: $W_{zu} = 1{,}31\ kWh$ $\eta_I = 0{,}92$ $\eta_M = 0{,}90$ $P = 20\ kW$

ges.: $W_{ab} = ?$ $t = ?$

Lös.: $W_{ab} = \eta_I \cdot \eta_G \cdot W_{zu} = 0{,}92 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}31\ \text{kWh} = \underline{\underline{1{,}085\ \text{kWh}}}$

$$t = \frac{W_{ab}}{P} = \frac{1{,}085\ \text{kWh}}{20\ \text{kW}} = 0{,}0543\ \text{h} = \underline{\underline{3{,}26\ \text{min}}}$$

Das entspricht ca. *2–3* km Fahrstrecke.

3.2.3 Rechenaufgaben zum Trafo-Prinzip

■ Aufgabe 1 – Zündtrafo für Xenon-Licht

Eine Xenon-Gasentladungslampe hat eine Leistung von 35 W.

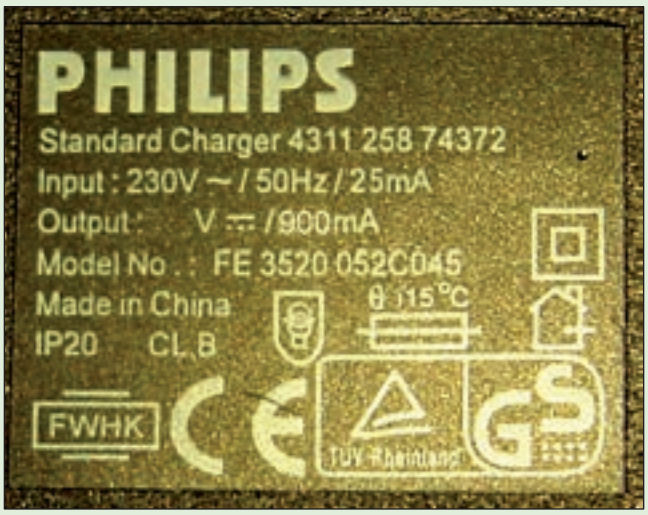
a) Welcher Strom fließt über den Lichtbogen in der Lampe, wenn sie bei 85 V Wechselspannung betrieben wird?

geg.: $P_2 = 35\ W$ $U_2 = 85\ V$
ges.: $I_2 = ?$

Lösung: $I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{35\ W}{85\ V} = \underline{\underline{0{,}412\ A}}$

b) Welcher Strom fließt auf der 12-V-Seite in die Zündspule hinein?
Hinweis: $P_1 \approx P_2$
geg.: $P_2 = 35\ W$ $U_1 = 12\ V$
ges.: $I_1 = ?$

Lösung: $I_1 = \frac{P_2}{U_1} = \frac{35\ W}{12\ V} = \underline{\underline{2{,}92\ A}}$



■ Aufgabe 2 – Handy-Netzteil

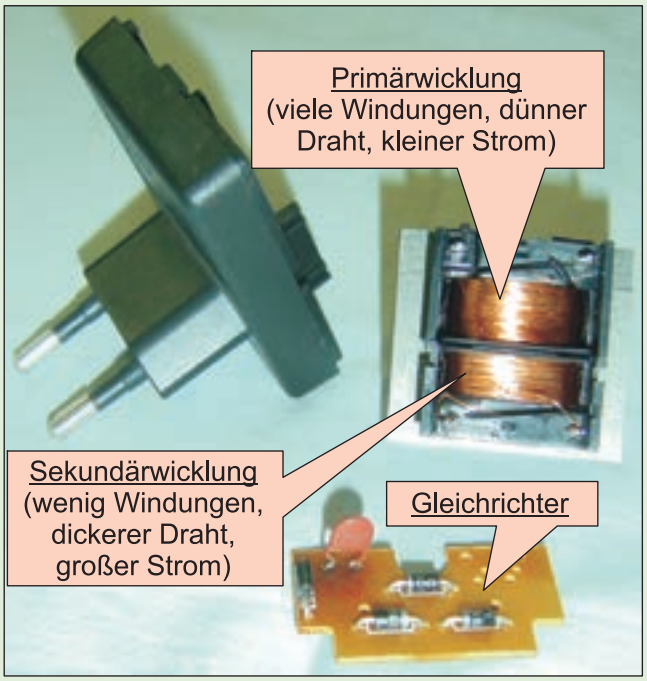
Bei dem abgebildeten Handy-Netzteil ist auf dem Typenschild die Angabe der Sekundärspannung nicht mehr lesbar. Berechnen Sie diese unter Berücksichtigung, dass für die Gleichrichtung 1,4 V benötigt werden.

geg.: $U_1 = 230\ V$ $I_1 = 0{,}025\ A$ $I_2 = 0{,}9\ A$
ges.: $U_2 = ?$

Lösung: $U_2 = U_1 \frac{I_1}{I_2} = 230\ V \cdot \frac{0{,}025\ A}{0{,}9\ A} = \underline{\underline{6{,}4\ V}}$

$U_{Output} = U_2 - U_{Gleichrichter} = 6{,}4\ V - 1{,}4\ V = \underline{\underline{5\ V}}$

Ergebnis: Vor dem Gleichrichter gibt der Trafo *6,4 V* Spannung ab. Um die tatsächliche Ausgangsspannung zu erhalten, muss der Spannungsverlust am Gleichrichter noch *abgezogen* werden. D. h. das Netzteil ist für ein Handy mit *5 V Ladespannung* ausgelegt.



■ Aufgabe 3 – Zündspule für Verteiler-Zündanlagen

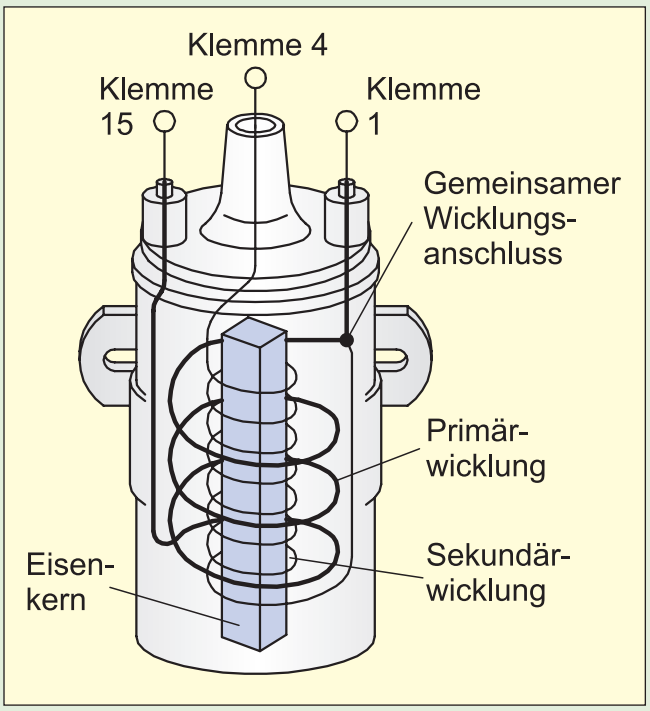
Die abgebildete Zündspule älterer Bauart hat 320 Windungen auf der Primär- und 20.000 Windungen auf der Sekundärseite. Die Zündspannung beträgt 25 kV. Wie groß ist die Primärspannung im Zündzeitpunkt?

geg.: $N_1 = 320$ $N_2 = 20\,000$ $U_2 = 25\,000\ V$

ges.: $U_1 = ?$

Lösung:

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{N_1}{N_2} = 25.000\ \text{V} \cdot \frac{320}{20.000} = \underline{\underline{400\ \text{V}}}$$



■ Aufgabe 4 – Schweißtrafo

Das Bild zeigt ein umschaltbares 230-V-/400-V- WIG-Schweißgerät, das gerade auf 80 A Schweißstrom eingestellt ist.

a) Das Schweißgerät arbeitet sekundärseitig mit einer Schutz-Kleinspannung von 20 V und primärseitig an 230 V. Kann das Gerät an einer Steckdose betrieben werden, die mit 16 A abgesichert ist?

geg.: $U_1 = 230\ V$ $U_2 = 20\ V$ $I_2 = 80\ A$

ges.: $I_1 = ?$

Lösung:

$$I_1 = I_2 \frac{U_2}{U_1} = 80\ \text{A} \cdot \frac{20\ \text{V}}{230\ \text{V}} = \underline{\underline{7\ \text{A}}}$$

Ergebnis: Die 16 A-Sicherung *reicht* bei dieser Schweißstromstärke vollkommen *aus*.

b) Mit welcher Stromstärke kann bei gleicher Primärstromaufnahme geschweißt werden, wenn das Gerät am Drehstrom-Netz mit 400 V betrieben wird?

geg.: $U_1 = 400\ V$ $U_2 = 20\ V$ $I_1 = 7\ A$

ges.: $I_1 = ?$

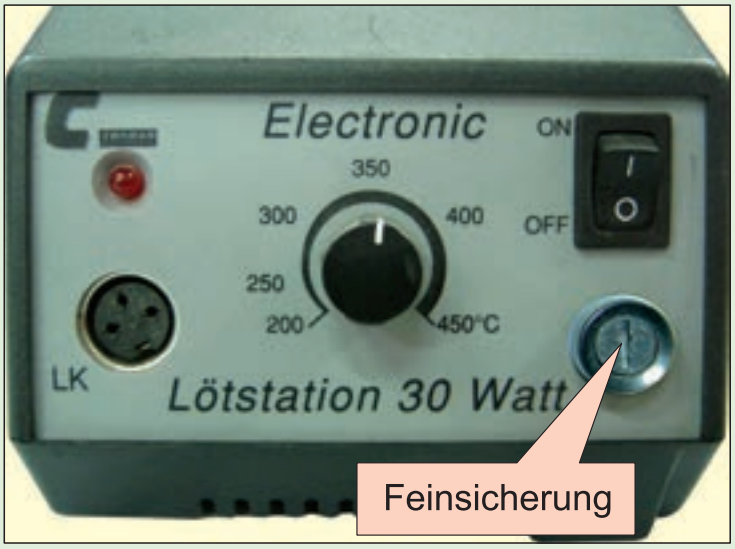
Lösung:

$$I_2 = I_1 \frac{U_1}{U_2} = 7\ \text{A} \cdot \frac{400\ \text{V}}{20\ \text{V}} = \underline{\underline{140\ \text{A}}}$$

Ergebnis: Bei gleicher Stromaufnahme kann am Drehstrom-Netz mit *140 A* geschweißt werden.

Aufgabe 5 – Lötstation

Der Lötkolben der abgebildeten Lötstation arbeitet laut Typenschild mit 12 V Wechselspannung.



a) Wie groß ist der Strom, der in den Lötkolben fließt bei maximaler Temperatur?

geg.: $U_2 = 12\ V$ $P_2 = 30\ W$
ges.: $I_2 = ?$

Lösung: $I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{30\ W}{12\ V} = \underline{\underline{2{,}5\ A}}$

b) Sie wollen die durchgebrannte Feinsicherung auf der Primärseite ersetzen, haben aber nur eine 230-V-/100-mA-Sicherung vorrätig. Ist diese ausreichend?

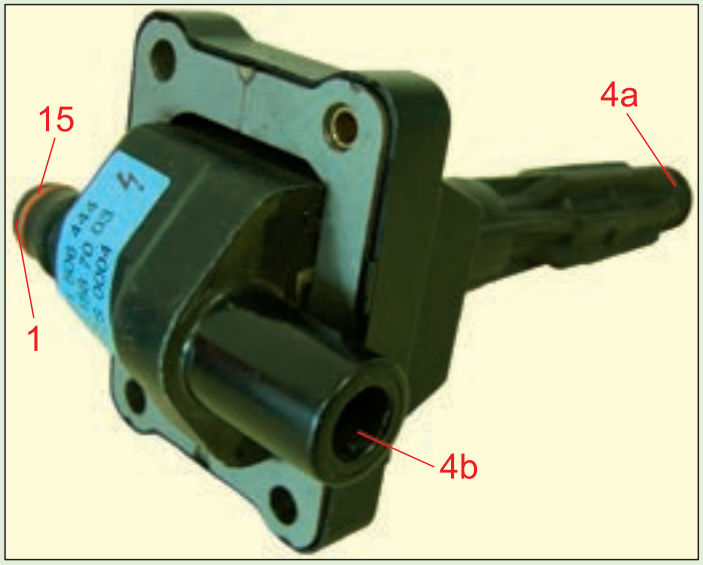
geg.: $U_2 = 230\ V$ $U_2 = 12\ V$ $I_2 = 2{,}5\ A$
ges.: $I_1 = ?$

Lösung: $I_1 = I_2 \frac{U_2}{U_1} = 2{,}5\ A \cdot \frac{12\ V}{230\ V} \approx \underline{\underline{0{,}130\ A}} = 130\ mA$

Ergebnis: Die Sicherung ist *zu schwach.*

Aufgabe 6 – Doppelfunken-Zündspule

Beim Berühren einer Zündspule im laufenden Fahrzeug erhalten Sie einen elektrischen Schlag. Wie groß ist der maximale Zündstrom im Zündzeitpunkt bei einem Primärstrom von 8 A und einem Windungsverhältnis von $N_2 \approx 100 \cdot N_1$



geg.: $I_1 = 8\ A$ $N_2 \approx 100 \cdot N_1$
ges.: $I_2 = ?$

Lösung:

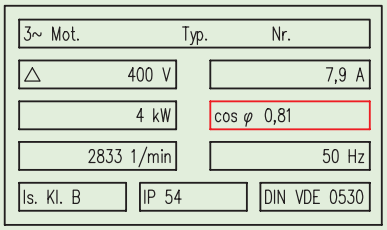
$$I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} = 8\ A \cdot \frac{N_1}{100 \cdot N_1} \approx 0{,}08\ A = 80\ mA$$

Ergebnis: Dieser Sekundärstrom von ca. *80 mA* kann beim Menschen in dieser Stärke nicht wirksam werden, da der Mensch selbst auch einen Innenwiderstand besitzt, der den Strom reduziert.

3.3.8 Rechenaufgaben zu Drehstrommotoren

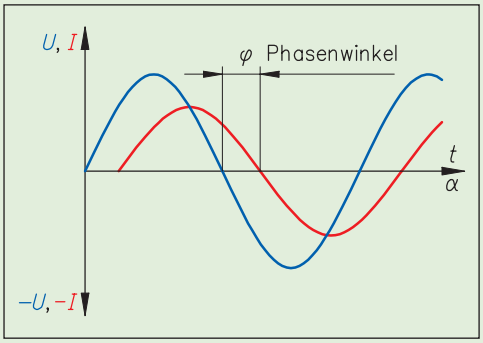
Berechnen Sie für einen Drehstrommotor mit rechts dargestelltem Typenschild die Wirkleistung mit folgender Formel:

geg.: U = 400 V I = 7,9 A cos φ = 0,81 ges.: P_Δ = ?



$$P_\Delta = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 400\ \text{V} \cdot 7{,}9\ \text{A} \cdot 0{,}81 = \underline{\underline{4433\ \text{W}}}$$

Woher kommt dieser Faktor „cos φ“ in der Formel? Betrachtet man das Diagramm, so sieht man, dass Spannung und Strom bei Motoren, d. h. bei *allen* Induktivitäten *nicht* phasengleich wirksam sind. Durch die Gegeninduktionsspannung von Spulen läuft der Strom der Spannung immer um einen bestimmten *Phasenwinkel* hinterher. Durch diesen zeitlichen Versatz wird *nicht* die gesamte zur Verfügung gestellte Leistung an dem Motor wirksam, sondern nur ein bestimmter Prozentsatz, hier 81 %. Dieser Wert wird auf Typenschildern oder Datenblättern aller Dreh- und Wechselstrom-



Motoren als sogenannter *Leistungsfaktor* cos φ angegeben. Je höher dieser Wert gegen „1“ = 100 % geht, desto *kleiner* ist der Phasenwinkel und desto *größer* wird die aufgenommene Leistung des Motors. Ist $\varphi = 0°$, wird der cos $\varphi = 1$, was einem rein ohmschen Verbraucher entspricht; ist $\varphi = 90°$, wird der cos $\varphi = 0$, d. h. der Motor nimmt *keine* Wirkleistung, sondern nur Blindleistung auf.
Die Definition des cos φ = Wirkleistung P/Scheinleistung S: $\cos\varphi = \frac{P}{S}$

Warum stimmen die berechnete Wirkleistung und die angegebene Leistung auf dem Typenschild nicht überein? Auf dem Typenschild wird die mechanisch *abgegebene* Leistung (hier 4 kW) angegeben. Sie ist um den *Wirkungsgrad* η kleiner als die aufgenommene *Wirk***leistung**.

- Berechnen Sie den Wirkungsgrad für diesen Motor.
  geg.: P_{zu} = 4,433 kW P_{ab} = 4 kW ges.: η = ?

  Lösung: $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{mech.}}{P_{el}} = \frac{4\text{ kW}}{4{,}433\text{ kW}} \approx 0{,}90 = \underline{\underline{90\,\%}}$

- Berechnen Sie die Scheinleistung des Motors.
  geg.: U = 400 V I = 7,9 A ges.: S = ?
  Lösung:

  $S_\Delta = \sqrt{3}\cdot U\cdot I = \sqrt{3}\cdot 400\text{ V}\cdot 7{,}9\text{ A} = 5473\text{ W} = \underline{\underline{5{,}476\text{ kW}}}$

- Berechnen Sie den Strangstrom bei Δ-Schaltung:
  geg.: I_Δ = 7,9 A ges.: I_{Str} = ?

  Lösung: $I_{Str} = \frac{I_\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{7{,}9\text{ A}}{\sqrt{3}} = 4{,}56\text{ A}$

- Berechnen Sie den (induktiven Blind-)Widerstand X_L der Stränge bei Δ-Schaltung:
  geg.: $U_{Str_\Delta} = U_\Delta$ = 400 V I_{Str_Δ} = 4,56 A ges.: X_{LStr_Δ} = ?

  Lösung: $X_{LStr\,\Delta} = \frac{U_\Delta}{I_{Str\,\Delta}} = \frac{400\text{ V}}{4{,}56\text{ A}} = \underline{\underline{87{,}72\,\Omega}} = X_{LStr\,Y}$

- Bestimmen Sie die Strangspannung bei Y-Schaltung:
  geg.: $U_Y = U_\Delta$ = 400 V ges.: U_{StrY} = ?

  Lösung: $U_{Str\,Y} = \frac{U_Y}{\sqrt{3}} = \frac{400\text{ V}}{\sqrt{3}} \approx \underline{\underline{230\text{ V}}}$

- Bestimmen Sie die Stromstärke bei Y-Schaltung:
  geg.: U_{StrY} = 230 V X_{LStrY} = 87,72 Ω ges.: $I_{StrY} = I_Y$?

  Lösung: $I_{Str\,Y} = \frac{U_{Str\,Y}}{X_{LStr\,Y}} = \frac{230\text{ V}}{87{,}72\,\Omega} \approx \underline{\underline{2{,}62\text{ A}}} = I_Y$

- Berechnen Sie die aufgenommene Wirkleistung bei Y-Schaltung: geg.: U_Y = 400 V I_Y = 2,62 A ges.: $P_{StrY} = P_Y$?

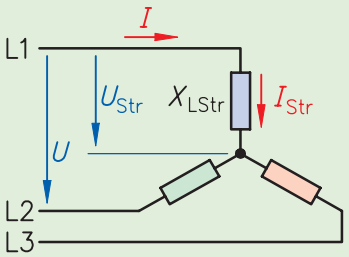
  Lösung: $P_Y = \sqrt{3}\cdot U_Y\cdot I_Y\cdot\cos\varphi = \sqrt{3}\cdot 400\text{ V}\cdot 2{,}62\text{ A}\cdot 0{,}81 \approx 1470\text{ W} = \underline{\underline{1{,}47\text{ kW}}}$

Erklären Sie an diesem Ergebnis den Sinn einer **Stern-Dreieck-Anlassung** eines Drehstrommotors. Setzt man P_Δ und P_Y oder I_Δ und I_Y zueinander ins Verhältnis, erhält man

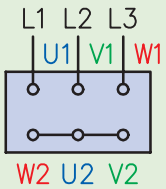
$\frac{P_\Delta}{P_Y} = \frac{4433\text{ W}}{1470\text{ W}} \approx \underline{\underline{3}}$ oder $\frac{I_\Delta}{I_Y} = \frac{7{,}9\text{ A}}{2{,}62\text{ A}} \approx \underline{\underline{3}}$

Wird der Motor in Sternschaltung gestartet, braucht er nur *1/3* des Stroms der Dreieckschaltung, er hat aber auch nur *1/3* der Leistung.

Sternschaltung Y

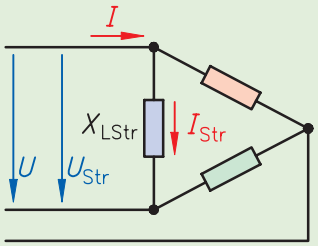


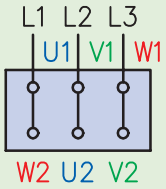
Schaltung an den Anschlussklemmen



Bei der Verwendung des induktiven Blindwiderstands X_L als Wicklungswiderstand wird der kleine ohm'sche Widerstand vernachlässigt.

Dreieckschaltung Δ





Schaltung an den Anschlussklemmen