Universität Stuttgart

ipv
Institut für Photovoltaik
Elektrische Energiespeichersysteme (EES)

Übungsaufgaben

„Einführung in die Elektrotechnik 1“











Inhalt:

Aufgabe	Themengebiet
Aufgabe 1	Ohmsches Gesetz
Aufgabe 2	Ohmsches Gesetz, Widerstandsberechnung, Temperaturabhängigkeit
Aufgabe 3	Ohmsches Gesetz, Spannungsquelle, Stromquelle
Aufgabe 4	Kirchhoffsche Regeln
Aufgabe 5	Netzwerkumformung, Ersatzwiderstände
Aufgabe 6	Netzwerkumformung, Ersatzwiderstände
Aufgabe 7	Ersatzspannungsquelle
Aufgabe 8	Überlagerungssatz
Aufgabe 9	Überlagerungssatz
Aufgabe 10	Sinusförmige Wechselspannung, Liniendiagramm, Zeitfunktion
Aufgabe 11	Zeigerdarstellung von sinusförmigen Wechselgrößen
Aufgabe 12	Zeigerdiagramm
Aufgabe 13	Zeigerdiagramm
Aufgabe 14	Zeigerdiagramm
Aufgabe 15	Komplexe Wechselstromrechnung
Aufgabe 16	Komplexe Wechselstromrechnung
Aufgabe 17	Komplexe Wechselstromrechnung
Aufgabe 18	Komplexe Wechselstromrechnung, Blindstromkompensation
Aufgabe 19	Komplexe Wechselstromrechnung, Schwingkreis
Aufgabe 20	Komplexe Wechselstromrechnung, Brückenschaltung
Aufgabe 21	Ausgleichsvorgänge (Einschwingvorgänge), Kondensator
Aufgabe 22	Ausgleichsvorgänge (Einschwingvorgänge), Spule
	Ergänzende Aufgaben (zur Prüfungsvorbereitung)
Aufgabe 23	Gleichstrom, Netzwerkanalyse, Einschwingvorgang
Aufgabe 24	Zeigerdiagramm, Komplexe Wechselstromrechnung
Aufgabe 25	Gleichstromnetzwerk
Aufgabe 26	Zeigerdiagramm, Komplexe Wechselstromrechnung
Aufgabe 27	Gleichstromnetzwerk
Aufgabe 28	Zeigerdiagramm, Komplexe Wechselstromrechnung

Vorbemerkung: Sie können aus den Übungen nur dann einen Nutzen ziehen, wenn Sie sich vor der Übung mit den Aufgaben beschäftigen und diese versuchen eigenständig zu lösen. Ansonsten könnte es sein, dass Sie während der Vortragsübung den einzelnen Schritten nur schwer oder gar nicht folgen können und für Sie das Tempo zu schnell ist.

Aufgabe 1 Ohmsches Gesetz

Ein ohmscher Verbraucher (Heizung) mit dem Widerstand $R_V = 20\ \Omega$ ist an eine Spannungsquelle mit der Spannung $U = 24\ V$ angeschlossen (siehe Bild 1.1). Die Anschlussleitungen haben einen ohmschen Widerstand von $R_{L1} = R_{L2} = 2\ \Omega$.

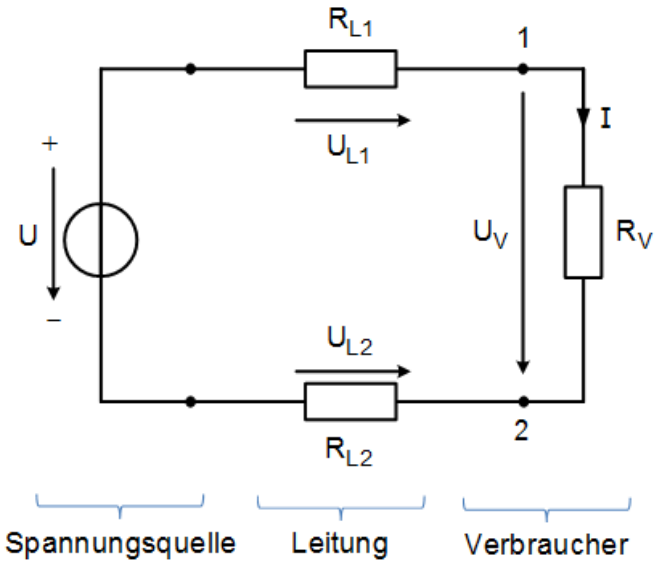


Bild 1.1: Über eine Leitung an eine Spannungsquelle angeschlossener Verbraucher

Fragen:

a) Wie groß ist der Strom I durch den Verbraucher?

b) Welche Spannung U_V liegt am Verbraucher an?

c) Wie groß ist der Spannungsabfall entlang der Leitung?

d) Welche Leistung wird im Verbraucher in Wärme umgesetzt?

e) Wie groß ist der Wirkungsgrad der Heizanlage?

Aufgabe 2 Ohmsches Gesetz, Widerstandsberechnung

An eine Spannungsquelle mit der Quellspannung $U_q = 10\,V$ wird ein Drahtwiderstand angeschlossen. Der Drahtwiderstand besteht aus einem isolierten Kupferdraht mit dem Durchmesser $d_{Cu} = 0{,}5\,mm$, welcher auf einen Kunststoff-Wickelkörper mit kreisförmigem Querschnitt des Durchmessers $D = 10\,mm$ aufgewickelt ist (siehe Bild 2.1). Insgesamt werden 500 Windungen auf einer Länge l einlagig aufgewickelt. Der spezifische Widerstand von Kupfer beträgt bei Raumtemperatur (20°C) $\rho_{Cu,20°C} = 0{,}0179\,\mu\Omega m$. Der Temperaturkoeffizient des Widerstandes beträgt $\alpha_{Cu} = 0{,}00393\,K^{-1}$.

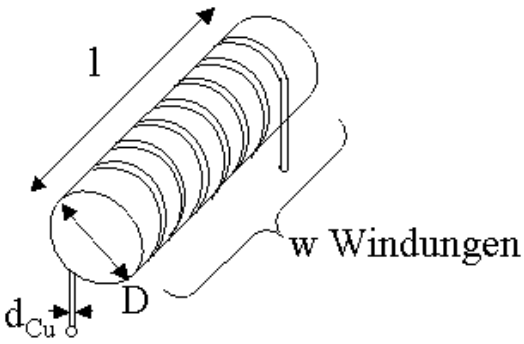


Bild 2.1: Aus Kupferdraht hergestellter Drahtwiderstand

Fragen:

a) Bestimmen Sie den Widerstand $R_{Draht,20}$ des Drahtwiderstandes bei Zimmertemperatur (der Drahtdurchmesser darf gegenüber dem Durchmesser des Wickelkörpers vernachlässigt werden).

b) Wie groß ist der Widerstand $R_{Draht,80}$, wenn die Temperatur auf 80°C steigt?

c) Wie groß wird der Widerstand $R_{Draht,0}$, wenn der Drahtwiderstand auf 0°C abgekühlt wird?

Aufgabe 3 Ohmsches Gesetz, Spannungsquelle, Stromquelle

Um das elektrische Ersatzschaltbild (ESB) einer Batterie zu erhalten, wurden an der Batterie zwei Strom-Spannungs-Messungen durchgeführt (siehe Tabelle 3.1).

Messpunkt	**1**	**2**
Spannung [V]	14	13,5
Strom [A]	0	10

Tabelle 3.1: Messwerte

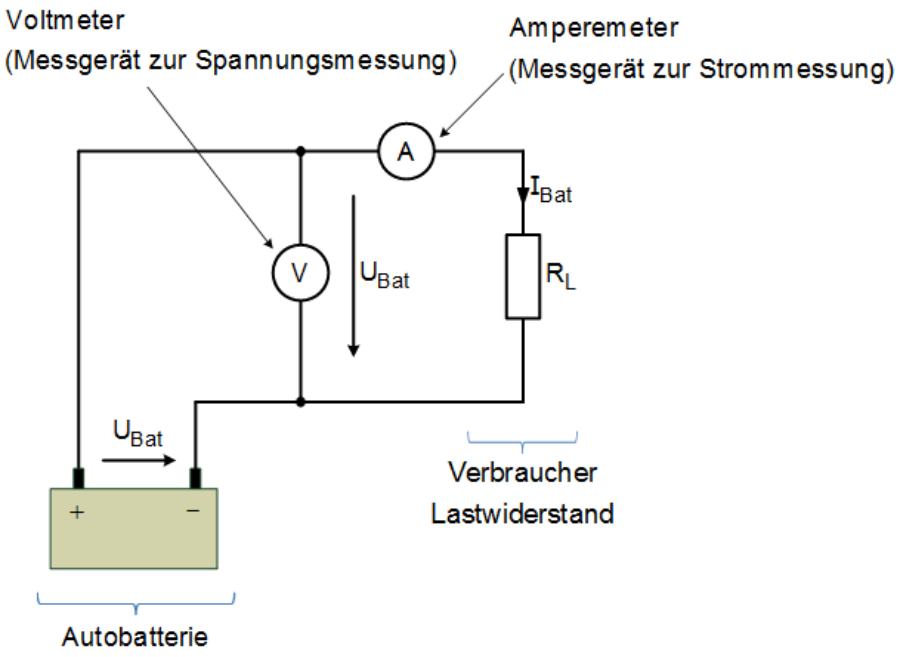


Bild 3.1: Batterie mit angeschlossenem Widerstand und Messgeräten zur Spannungs- und Strommessung

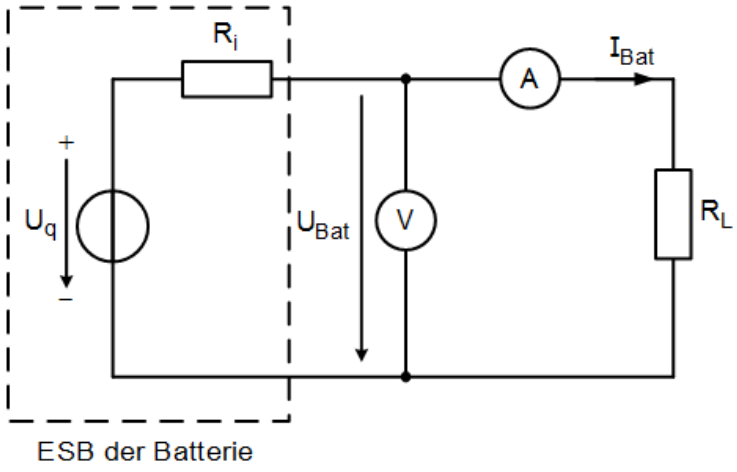


Bild 3.2:

Darstellung der Batterie als Ersatzspannungsquelle (ideale Spannungsquelle mit Innenwiderstand = reale Spannungsquelle) mit angeschlossenem Verbraucher und Messgeräten zur Strom- und Spannungsmessung

Fragen:

a) Ermitteln Sie die Parameter (Quellenspannung U_q und Innenwiderstand R_i) zur Beschreibung der Batterie als Ersatzspannungsquelle (siehe Bild 3.2).

b) Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild, wenn die Batterie als Ersatz**strom**quelle dargestellt werden soll und ermitteln Sie die Parameter (Quellstrom I_q und Innenwiderstand R_i) zur Beschreibung der Batterie als Ersatz**strom**quelle!

Aufgabe 4 Unmittelbare Anwendung der Kirchhoffschen Regeln

Gegeben ist die im Bild 4.1 dargestellte Gleichstromschaltung mit den folgende Daten: $R_1 = R_2 = R_3 = 50\ \Omega$ und $U_0 = U_4 = 100V$.

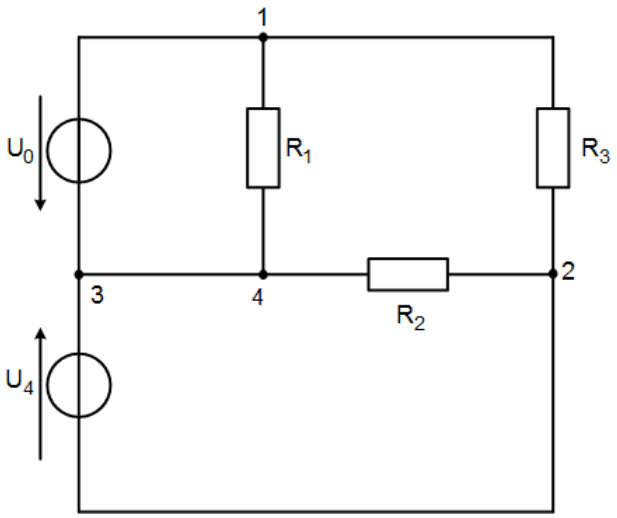


Bild 4.1:

Gleichstromschaltung mit zwei Spannungsquellen und drei Widerständen

Fragen:

a) Wie viele Knoten k und Zweige z enthält das Netzwerk?

b) Wie viele Knoten- und Maschengleichungen sind zur vollständigen Bestimmung aller Zweigströme im Netzwerk erforderlich?

c) Markieren Sie die Knoten und tragen Sie die Zählpfeile und Benennungen für die unbekannten Zweigströme ein.

Legen Sie die zur Aufstellung der Maschengleichungen erforderlichen Maschen fest.

d) Stellen Sie die unabhängigen Knoten- und Maschengleichungen auf.

e) Berechnen Sie die unbekannten Zweigströme.

f) Wie groß sind die Spannungen an den Widerständen?

Aufgabe 5 Netzwerkumformung, Ersatzwiderstände

Im Bild 5.1 ist ein Widerstandsnetzwerk mit den Bauteilwerten $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 6\ \Omega$, $R_3 = 3\ \Omega$ und der Spannung $U_1 = 12$ V gegeben.

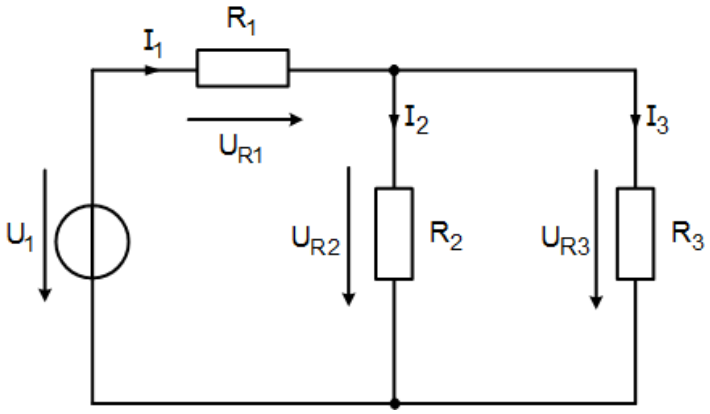


Bild 5.1: Gleichstromnetzwerk

Fragen:

a) Bestimmen Sie den Strom I_1.

b) Welche Spannung fällt an R_1 ab und wie groß sind die Teilspannungen an R_2 und R_3?

c) Berechnen Sie die Ströme I_2 und I_3.

Wie verhalten sie sich zu den entsprechenden Widerständen?

d) Wie verhält sich der Teilstrom I_2 zum Gesamtstrom I_1?

e) Wie verhält sich der Teilstrom I_3 zum Gesamtstrom I_1?

Aufgabe 6 Netzwerkumformung, Ersatzwiderstände

Im Bild 6.1 ist ein Widerstandsnetzwerk mit den Bauteilwerten $R_0 = 25\ \Omega$, $R_1 = 50\ \Omega$, $R_2 = 25\ \Omega$, $R_3 = 35\ \Omega$, $R_4 = 26\ \Omega$, $R_5 = 40\ \Omega$ und der Spannung U = 25 V gegeben.

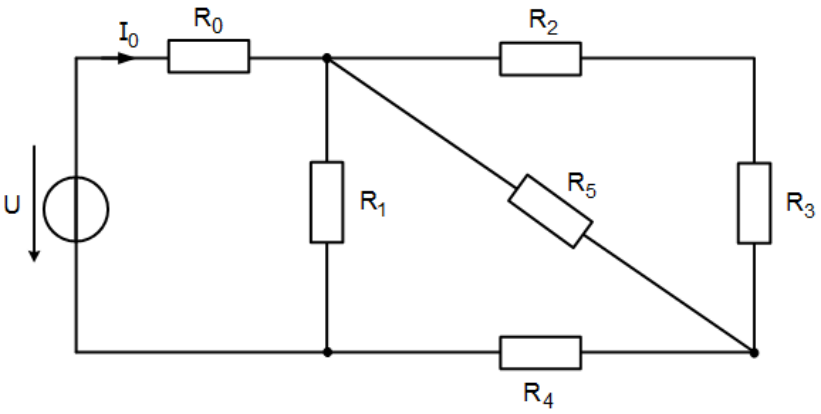


Bild 6.1: Gleichstromnetzwerk

Fragen:

a) Wie groß ist der Strom I_0?

b) Welche Leistung nimmt die Schaltung auf?

Aufgabe 7 Ersatzspannungsquelle

Gegeben ist die im Bild 7.1 dargestellte Schaltung. Von Interesse sei lediglich der Strom I_L durch den Lastwiderstand R_L.

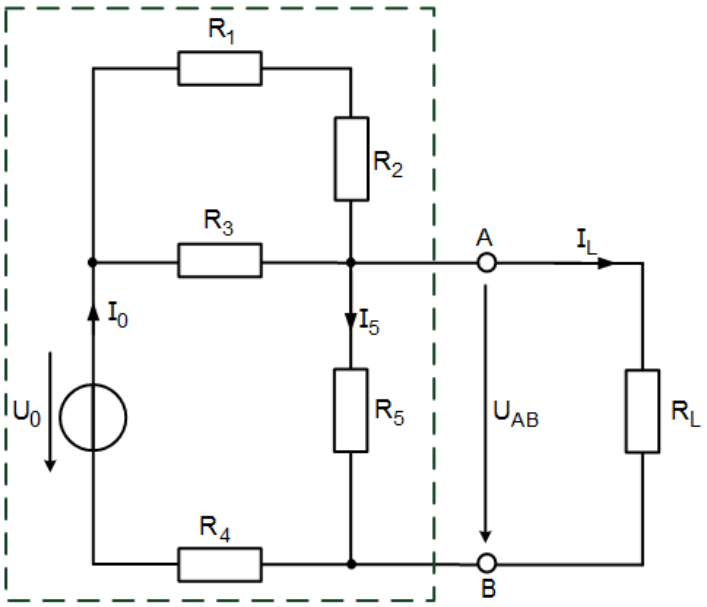


Bild 7.1: Gleichstromnetzwerk

Es sind folgende Werte gegeben:

Ohmsche Widerstände: $R_1 = R_2 = R_4 = R_L = 50\ \Omega$

$R_3 = R_5 = 100\ \Omega$

Spannung: $U_0 = 10\ V$

Fragen:

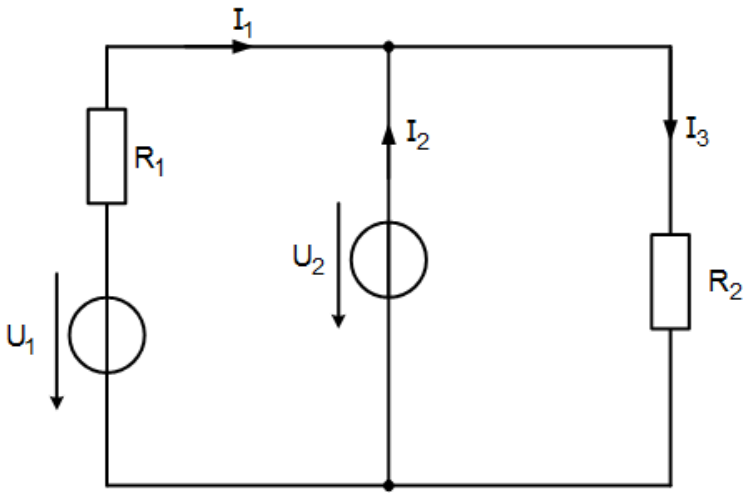
a) Berechnen Sie die Spannung U_q der Ersatzspannungsquelle.

b) Berechnen Sie den Innenwiderstand R_i der Ersatzspannungsquelle auf zwei verschiedene Möglichkeiten.

c) Wie groß ist der Strom I_L durch die Last R_L?

Aufgabe 8 Überlagerungssatz

Bei der in Bild 8.1 dargestellten Schaltung sollen die Zweigströme mit Hilfe des Überlagerungssatzes bestimmt werden.



Es sind folgende Werte gegeben:

$R_1 = 6\ \Omega$

$R_2 = 3\ \Omega$

$U_1 = 12\ V$

$U_2 = 6\ V$

Bild 8.1: Schaltung mit zwei Spannungsquellen

Fragen:

a) Berechnen Sie die von den Spannungsquellen gelieferten Teilströme.

b) Wie groß sind die in der Schaltung eingetragenen Ströme I_1, I_2 und I_3?

c) Wie lassen sich die Ströme I_1, I_2 und I_3 ohne den Überlagerungssatz berechnen?

Aufgabe 9 Überlagerungssatz

Bei der im Bild 9.1 dargestellten Schaltung mit den Widerständen R_1 und R_2 sowie einer Spannungs- und einer Stromquelle soll zur Berechnung der Zweigströme der Überlagerungssatz angewendet werden.

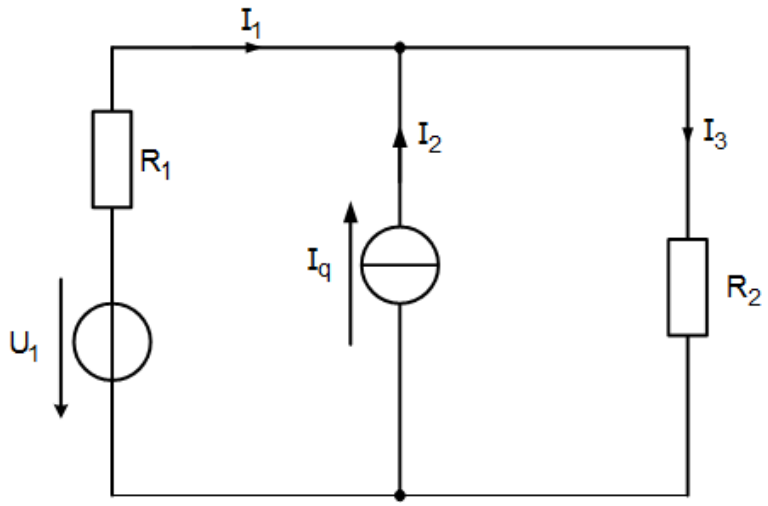


Bild 9.1: Schaltung mit Spannungsquelle und Stromquelle

Es sind folgende Werte gegeben:

Spannung: $U_1 = 18$ V

Ohmsche Widerstände: $R_1 = 6\ \Omega$, $R_2 = 3\ \Omega$

Quellstrom der Stromquelle: $I_q = 3$ A

Fragen:

a) Berechnen Sie die von der Spannungsquelle gelieferten Stromanteile.

b) Berechnen Sie die von der Stromquelle gelieferten Stromanteile.

c) Wie groß sind die Ströme I_1, I_2 und I_3?

Aufgabe 10 Sinusförmige Wechselspannung, Liniendiagramm, Zeitfunktion

Im Bild 10.1 sind die zeitlichen Verläufe von drei sinusförmigen Spannungen dargestellt.

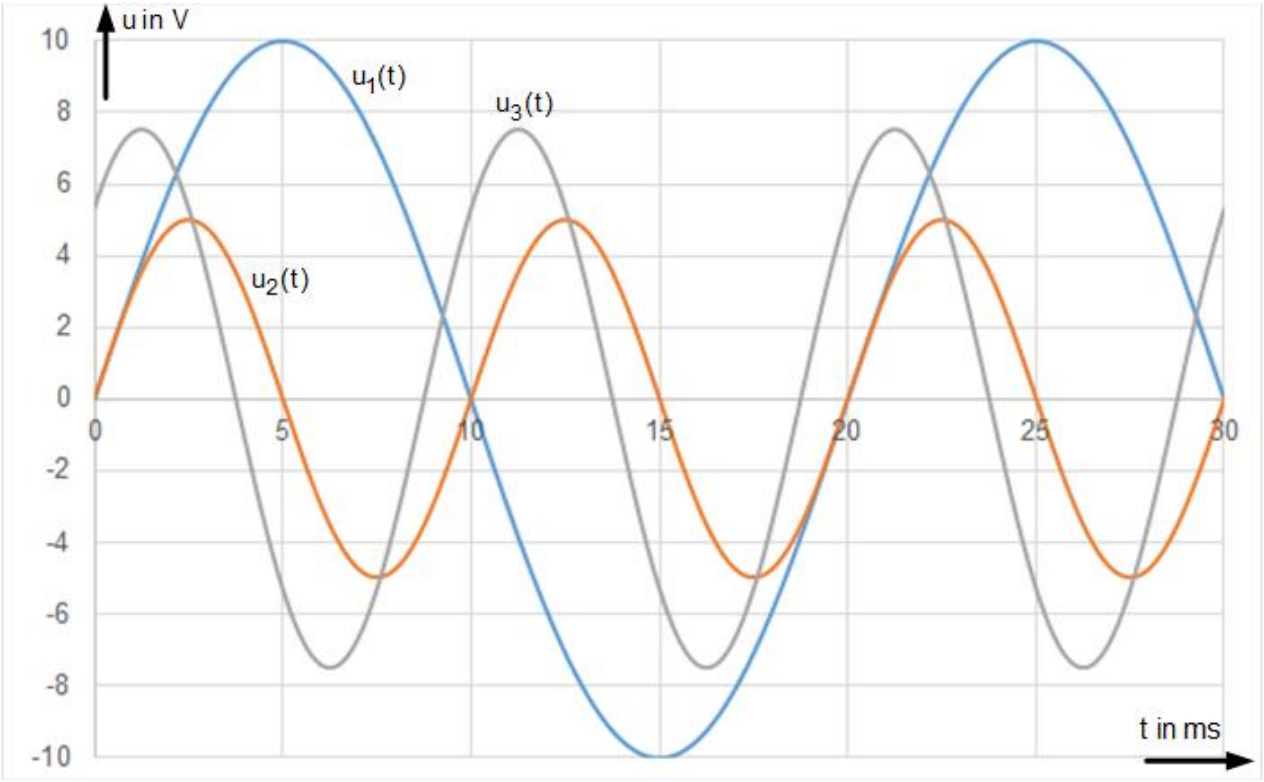


Bild 10.1: Zeitliche Spannungsverläufe (Liniendiagramm)

Fragen:

a) Geben Sie $u_1(t)$ in der Form $u_1(t) = \hat{u}_1 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_1}\right)$ an.

Wie groß ist die Frequenz f_1 und die Kreisfrequenz ω_1?

b) Geben Sie $u_2(t)$ in der Form $u_2(t) = \hat{u}_2 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_2}\right)$ an.

Wie groß ist die Frequenz f_2 und die Kreisfrequenz ω_2?

Wodurch unterscheidet sich $u_2(t)$ von $u_1(t)$?

c) Geben Sie $u_3(t)$ in der Form $u_3(t) = \hat{u}_3 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_3} + \tau_0\right)$ an.

Wodurch unterscheidet sich $u_3(t)$ von $u_2(t)$?

Wie groß ist die Frequenz f_3 und die Kreisfrequenz ω_3?

Aufgabe 11 Zeigerdarstellung von sinusförmigen Wechselgrößen

Gegeben sind die Zeitfunktionen von zwei sinusförmigen Spannungen:

$$u_1(t) = 12\ \text{V} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{20\ \text{ms}} \cdot t\right)$$

$$u_2(t) = 8\ \text{V} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{20\ \text{ms}} \cdot t + \frac{\pi}{3}\right)$$

Fragen:

a) Stellen Sie die Spannungen $u_1(t)$ und $u_2(t)$ als rotierende Amplitudenzeiger $\underline{\hat{u}}_1$ und $\underline{\hat{u}}_2$ dar - zeichnen Sie die Zeiger in das Diagramm auf dem Lösungsblatt ein und geben Sie neben der Zeigerdarstellung auch die Liniendarstellungen der zeitlichen Funktionen an.

b) Bestimmen Sie mithilfe der Zeigerdarstellung (Zeigeraddition) die Amplitude $\hat{u}$ und den Phasenwinkel φ der Summenspannung $u(t) = u_1(t) + u_2(t)$.

c) Geben Sie die Zeitfunktion für u(t) an.

Wie groß ist der Effektivwert U der sinusförmigen Summenspannung u(t)?

Aufgabe 12 Zeigerdiagramm

Im Bild 12.1 ist eine R-L-Reihenschaltung, die an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle mit dem Effektivwert U betrieben wird, abgebildet.

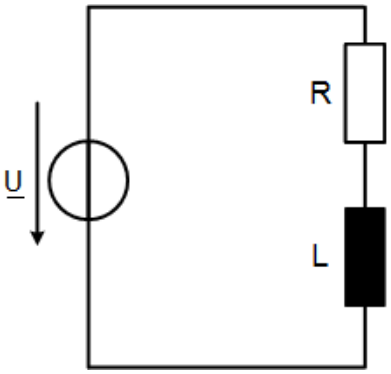


Bild 12.1:

R-L-Reihenschaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Es sind folgende Werte gegeben:

Effektivwert der sinusförmigen Spannung:	U = 100 V
Frequenz der sinusförmigen Spannung:	f = 50 Hz
Ohmscher Widerstand:	R = 10 Ω
Induktivität der Spule:	L = 88 mH

Fragen:

a) Versehen Sie das Ersatzschaltbild (ESB) mit Zählpfeilen und Bezeichner für die unbekannten Ströme und Spannungen.

b) Bestimmen Sie den Blindwiderstand X_L der Induktivität L.

c) Wie groß ist der Betrag Z und der Winkel φ_Z der Gesamtimpedanz $\underline{Z}$ der R-L-Reihenschaltung?

d) Bestimmen Sie den Strom, den die Spannungsquelle liefern muss.

Wie groß sind Effektivwert, Scheitelwert und Frequenz des Stromes?

e) Wie groß sind die Teilspannungen an R und L?

f) Zeichnen Sie ein maßstäbliches Zeigerdiagramm.

g) Um welchen Phasenwinkel $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$ ist der Strom gegenüber der Spannung phasenverschoben?

Aufgabe 13 Zeigerdiagramm

Im Bild 13.1 ist eine R-C-Reihenschaltung, die an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle mit dem Effektivwert U betrieben wird, abgebildet.

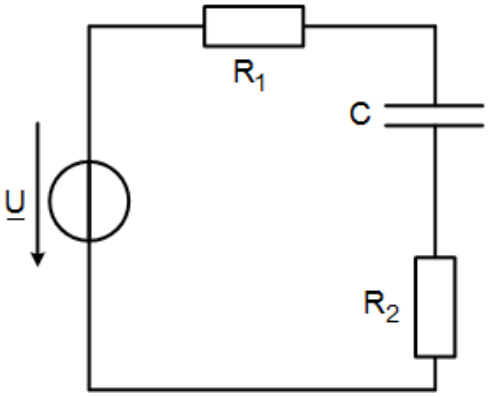


Bild 13.1:

R-C-Reihenschaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Es sind folgende Werte gegeben:

Effektivwert der sinusförmigen Spannung:	U = 100 V
Frequenz der sinusförmigen Spannung:	f = 50 Hz
Ohmsche Widerstände:	R_1 = 100 Ω, R_2 = 150 Ω
Kapazität des Kondensators:	C = 31,8 µF

Fragen:

a) Versehen Sie das ESB mit Zählpfeilen und Bezeichner für die unbekannten Ströme und Spannungen.

b) Bestimmen Sie den Blindwiderstand X_C der Kapazität C.

c) Welchen Betrag Z besitzt die Gesamtimpedanz $\underline{Z}$ der Reihenschaltung?

Wie groß ist der Winkel φ_Z der Impedanz?

d) Bestimmen Sie den Strom, den die Spannungsquelle liefern muss.

Wie groß sind Effektivwert, Scheitelwert und die Frequenz des Stromes?

e) Wie groß sind die Teilspannungen an R_1, R_2 und C (Effektivwerte und Scheitelwerte)?

f) Zeichnen Sie ein maßstäbliches Zeigerdiagramm.

g) Um welchen Phasenwinkel $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$ ist der Strom gegenüber der Spannung phasenverschoben?

Aufgabe 14 Zeigerdiagramm

Im Bild 14.1 ist eine Wechselstromschaltung mit zwei parallelen Zweigen gegeben. Im Folgenden sollen die Strom- und Spannungsverhältnisse sowie die Leistungsaufnahme der Schaltung untersucht werden.

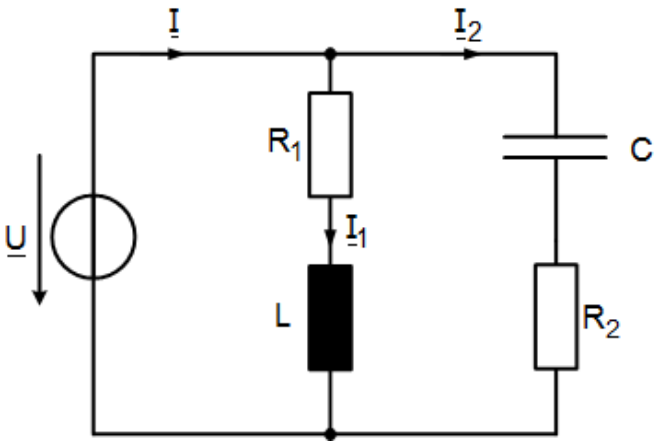


Bild 14.1: Wechselstromschaltung mit zwei parallelen Zweigen

Es sind folgende Werte gegeben:

Effektivwert und Frequenz der sinusförmigen Spannung:	U = 10 V, f = 50 Hz
Ohmsche Widerstände:	R_1 = 10 Ω, R_2 = 20 Ω
Induktivität der Spule:	L = 79,6 mH
Kapazität des Kondensators:	C = 318 µF

Fragen:

a) Bestimmen Sie die Blindwiderstände X_L und X_C.

b) Bestimmen Sie die Beträge I_1 und I_2 der Ströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$.

c) Bestimmen Sie die Beträge sämtlicher Teilspannungen.

d) Zeichnen Sie ein maßstäbliches Zeigerdiagramm.

e) Bestimmen Sie den Betrag I des Stromes $\underline{I}$ sowie den Phasenverschiebungswinkel φ zwischen Strom $\underline{I}$ und Spannung $\underline{U}$.

f) Berechnen Sie die Schein-, Blind- und Wirkleistung.

Aufgabe 15 Komplexe Wechselstromrechnung

Eine reale Spule, deren Ersatzschaltbild im Bild 15.1 durch die Reihenschaltung des Wirkwiderstandes $R = 20\ \Omega$ und der Induktivität $L = 0{,}2\ H$ gegeben ist, liegt an einer sinusförmigen Spannung mit der Frequenz $f = 50\ Hz$ und dem Effektivwert $U = 220\ V$.

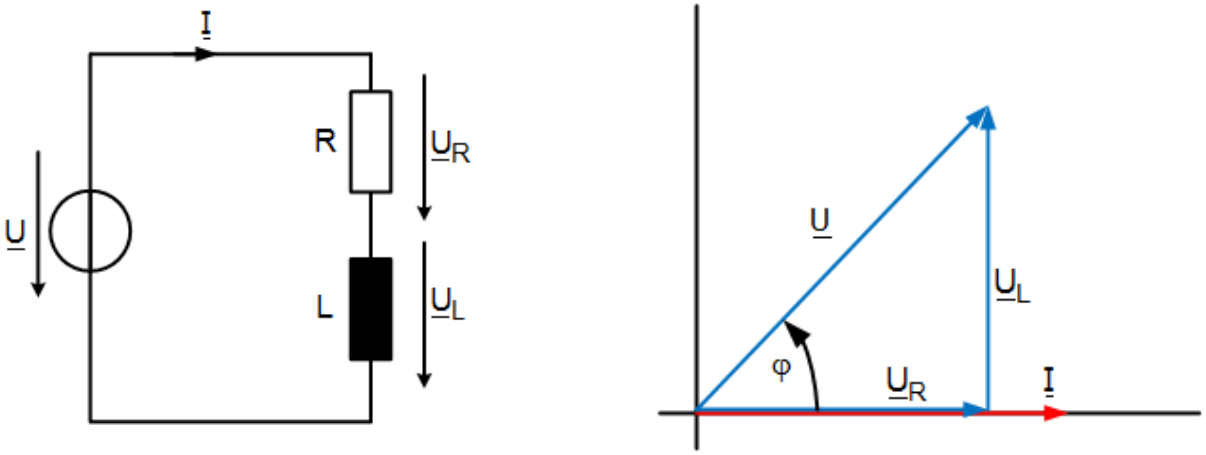


Bild 15.1: R-L-Reihenschaltung und qualitatives Zeigerdiagramm

Fragen:

a) Wie groß ist der Effektivwert I des Stromes $\underline{I}$ und um welchen Winkel ist die Spannung gegenüber dem Strom phasenverschoben?

b) Wie groß sind die Teilspannungen $\underline{U}_R$ und $\underline{U}_L$ nach Betrag und Phase?

c) Berechnen Sie die komplexe Scheinleistung $\underline{S}$ und bestimmen Sie daraus die Wirkleistung P und die Blindleistung Q.

Aufgabe 16 Komplexe Wechselstromrechnung

Im Folgenden soll die im Bild 16.1 dargestellte Schaltung betrachtet werden.

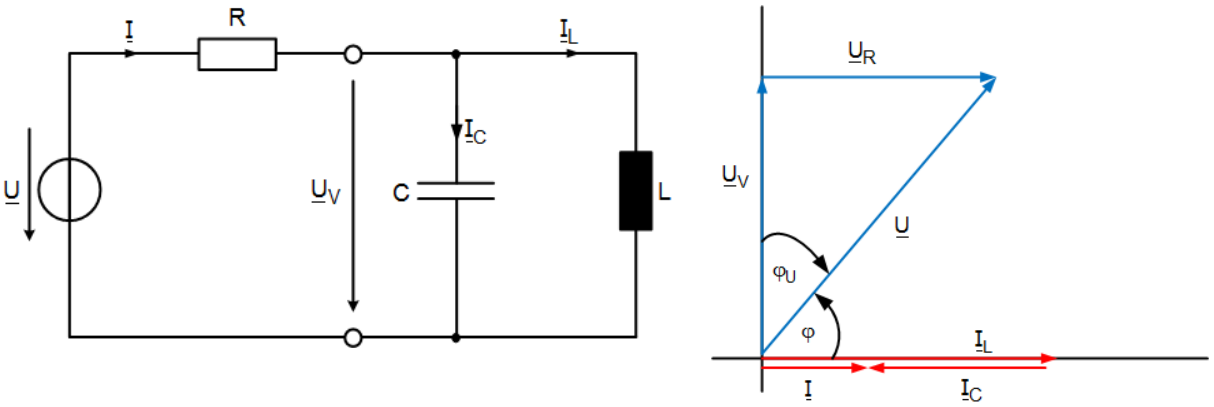


Bild 16.1: Wechselstromschaltung und qualitatives Zeigerdiagramm

Es sind folgende Werte gegeben:

Ohmscher Widerstand:	$R = 40\ \Omega$
Blindwiderstände:	$X_L = 30\ \Omega$ und $X_C = 60\ \Omega$
Frequenz:	$f = 50$ Hz
Effektivwert der sinusförmigen Spannung U_V:	$U_V = 180$ V

Fragen:

a) Berechnen Sie die Ströme $\underline{I}$, $\underline{I}_L$, $\underline{I}_C$ und die Versorgungsspannung $\underline{U}$?

b) Wie groß ist die von der Schaltung aufgenommene komplexe Scheinleistung $\underline{S}$? Berechnen Sie daraus die Wirkleistung P, die Blindleistung Q und den Leistungsfaktor $\lambda = \cos(\varphi)$.

Aufgabe 17 Komplexe Wechselstromrechnung

Im Bild 17.1 ist eine Wechselstromschaltung mit zwei parallelen Zweigen dargestellt. Im Folgenden sollen die Strom- und Spannungsverhältnisse sowie die Leistungsaufnahme der Schaltung untersucht werden.

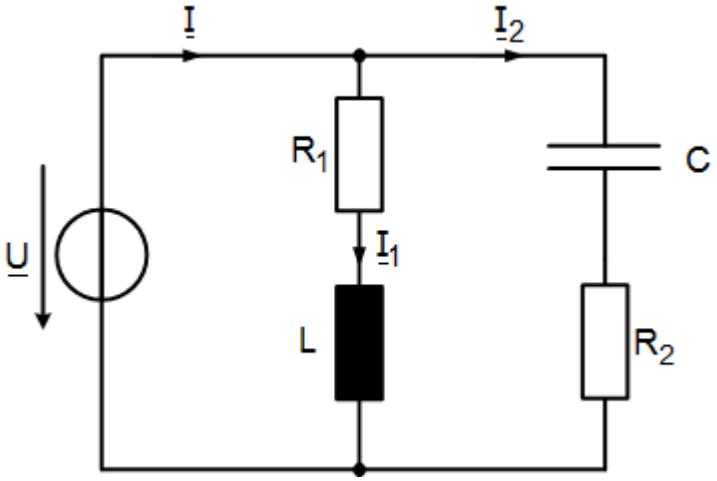


Bild 17.1: Wechselstromschaltung mit zwei parallelen Zweigen

Es sind folgende Werte gegeben:

Effektivwert und Frequenz der sinusförmigen Spannung:	U = 10 V, f = 50 Hz
Ohmsche Widerstände:	R_1 = 10 Ω, R_2 = 20 Ω
Induktivität der Spule:	L = 79,6 mH
Kapazität des Kondensators:	C = 318 µF

Fragen:

a) Bestimmen Sie die komplexen Widerstände $\underline{Z}_1$ und $\underline{Z}_2$ der beiden Zweige.

b) Bestimmen Sie die komplexen Ströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$.

c) Bestimmen Sie die Beträge und Phasenlagen sämtlicher Teilspannungen.

d) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm.

e) Bestimmen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ zwischen dem Gesamtstrom $\underline{I}$ und der Spannung $\underline{U}$.

f) Berechnen Sie die komplexe Scheinleistung $\underline{S}$, die Wirkleistung P und die Blindleistung Q?

Aufgabe 18 Komplexe Wechselstromrechnung, Blindstromkompensation

Im Bild 18.1 ist eine Schaltung, die an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle betrieben wird, dargestellt.

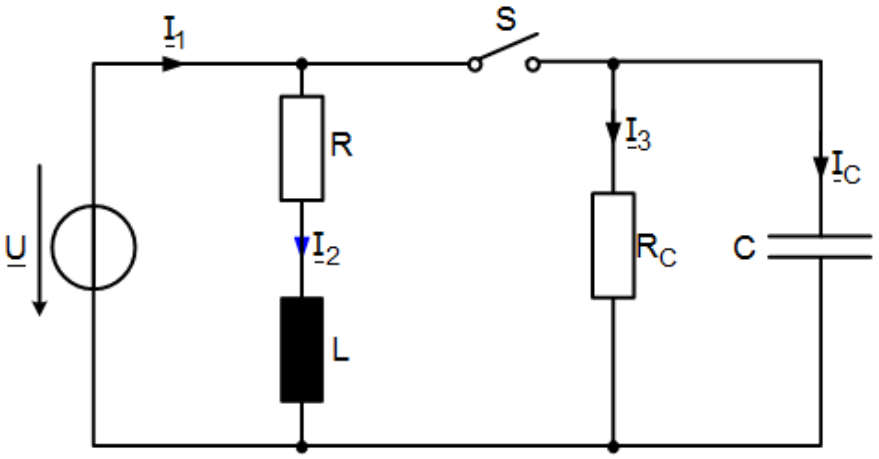


Bild 18.1: R-L-C Wechselstromschaltung

Es sind folgende Werte gegeben:

Effektivwert und Frequenz der sinusförmigen Spannung: U = 230 V, f = 60 Hz

Ohmsche Widerstände: R_L = 13 Ω, R_C = 460 Ω

Blindwiderstand der Spule: X_L = 19 Ω

Fragen:

Der Schalter S sei zunächst offen!

a) Wie groß ist der Strom $\underline{I}_2$ und der Leistungsfaktor cos(φ) der Schaltung?

b) Wie groß sind die von der Schaltung aufgenommene komplexe Scheinleistung $\underline{S}$, die Wirkleistung P und die Blindleistung Q?

Nun werde der Schalter S geschlossen!

c) Wie groß muss die Kapazität C gewählt werden, damit die Blindleistung der Schaltung vollständig kompensiert wird?

d) Berechnen Sie für diesen Fall den Kondensatorstrom $\underline{I}_C$ sowie den Netzstrom $\underline{I}_1$.

e) Zeichnen Sie für den Fall der vollständigen Blindleistungskompensation ein qualitatives Zeigerdiagramm

Aufgabe 19 Komplexe Rechnung, Schwingkreis

Gegeben ist das im Bild 19.1 dargestellte Schaltbild eines R-L-C-Parallelschwingkreises.

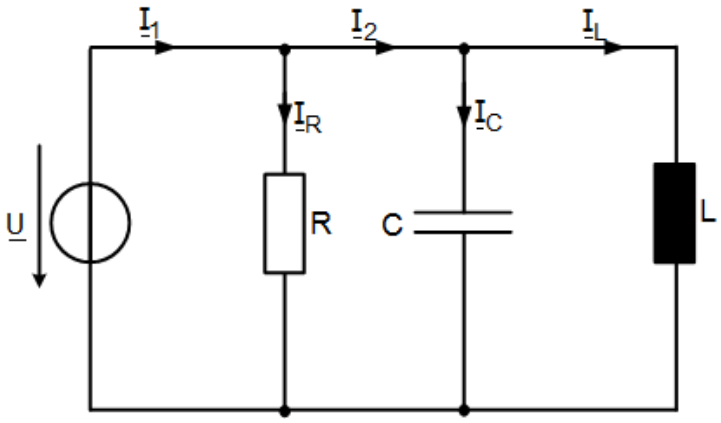


Bild 19.1: R-L-C Parallelschwingkreis

Es sind folgende Werte gegeben:

Effektivwert der sinusförmigen Spannung: U = 100 V

Ohmscher Widerstand: R = 5 Ω

Induktivität der Spule: L = 2,4 mH

Kapazität des Kondensators: C = 16 µF

Fragen:

a) Ermitteln Sie die Resonanzfrequenz f_0.

b) Berechnen Sie die Ströme $\underline{I}_R$, $\underline{I}_C$, $\underline{I}_L$, $\underline{I}_2$ und $\underline{I}_1$ bei $f = f_0$.

c) Bestimmen Sie den Betrag des Eingangsleitwertes und den Phasenwinkel als Funktionen der Frequenz f bzw. der Kreisfrequenz ω.

Im Folgenden werde die Schaltung mit der Frequenz $f_1 = 1$ kHz betrieben.

d) Berechnen Sie die Ströme $\underline{I}_2$ und $\underline{I}_R$.

e) Bestimmen Sie den Strom $\underline{I}_1$.

f) Bestimmen Sie die von der Schaltung aufgenommene komplexe Scheinleistung $\underline{S}$.

Wie wirkt die Schaltung bei der Frequenz f_1?

Aufgabe 20 Komplexe Rechnung, Brückenschaltung

Im Bild 20.1 ist eine an der sinusförmigen Wechselspannung $\underline{U}$ betriebene Schaltung für Messzwecke (Brückenschaltung / Messbrücke) dargestellt.

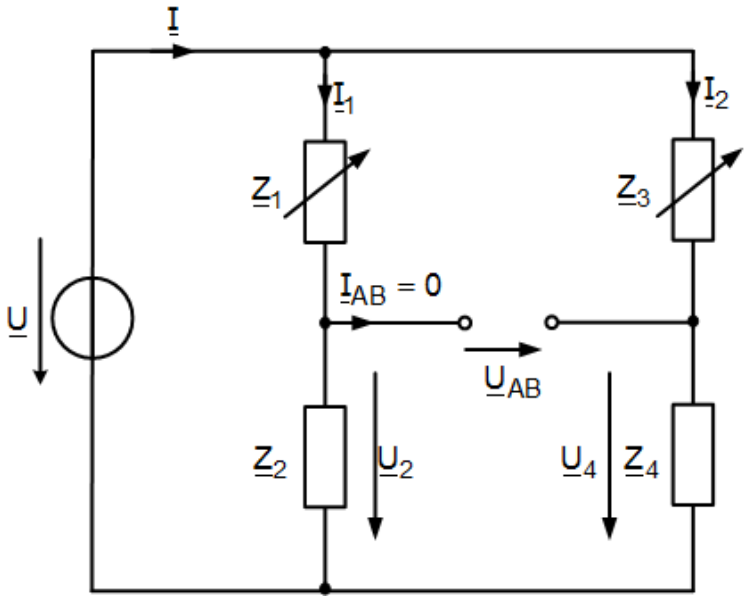


Bild 20.1: Brückenschaltung für Messzwecke

Durch Verändern der im Bild 20.1 dargestellten Impedanzen $\underline{Z}_1$ und $\underline{Z}_3$ kann die unbekannte Impedanz $\underline{Z}_4$ bestimmt werden, indem die Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig A-B zu Null gebracht wird.

Im ersten Schritt soll die Bedingung für $\underline{U}_{AB} = 0$ V (Abgleichbedingung) anhand der Schaltung in Bild 20.1 hergeleitet werden. Im zweiten Schritt soll anhand der Schaltung in Bild 20.2 die Messung eines unbekannten realen (verlustbehafteten) Kondensators (im elektrischen Ersatzschaltbild im Bild 20.2 als Reihenschaltung des Widerstandes R_x und der Kapazität C_x dargestellt) untersucht werden.

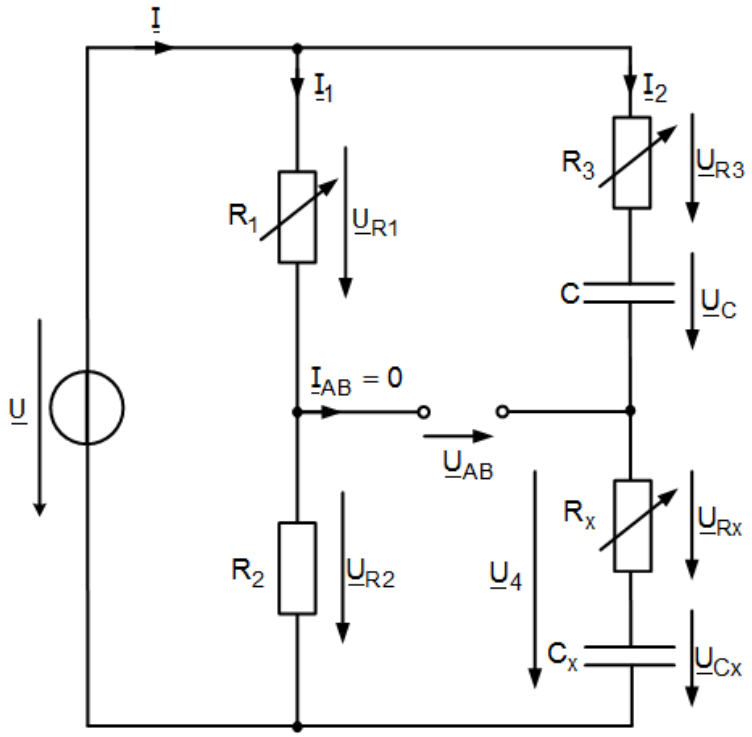


Bild 20.2: Brückenschaltung zur Messung der unbekannten Kapazität C_x und des unbekannten Widerstandes R_x eines realen Kondensators

Es sind folgende Werte gegeben:

Eingangsspannung: $\underline{U} = 25\,\mathrm{V} \cdot e^{j \cdot 0°}$

Frequenz: $f = 50\,\mathrm{Hz}$

Widerstand: $R_2 = 3\,\mathrm{k\Omega}$

Kapazität: $C = 1\,\mu\mathrm{F}$

Im Brückenzweig A-B fließt kein Strom, d.h. es gilt stets $\underline{I}_{AB} = 0\,\mathrm{A}$.

Fragen:

Zunächst wird die Schaltung im Bild 20.1 betrachtet.

a) Ströme, Spannungen, Abgleichbedingung

Berechnen Sie die beiden Zweigströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$, sowie die Spannungen $\underline{U}_2$, $\underline{U}_4$ und $\underline{U}_{AB}$ jeweils allgemein in Abhängigkeit von $\underline{U}$, $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$ und $\underline{Z}_4$.

Geben Sie in Abhängigkeit von $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$ und $\underline{Z}_4$ die Bedingung an, unter der die Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig gleich Null wird (Abgleichbedingung).

Im Folgenden wird die Schaltung im Bild 20.2 betrachtet.

b) Zeigerdiagramm

Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für den Fall der nicht abgeglichenen Brücke, d.h. für $\underline{U}_{AB} \neq 0\,\mathrm{V}$, welches alle im Bild 20.2 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragene Ströme und Spannungen enthält.

c) Bestimmung der Ersatzschaltbildgrößen des unbekannten Kondensators (R_x und C_x)

Bestimmen Sie die beiden Beziehungen, mit welchen der unbekannte Widerstand R_x und die unbekannte Kapazität C_x aus den gegebenen Größen R_1, R_2, R_3 und C berechnet werden können.

Wie groß sind R_x und C_x, wenn die Brücke bei $R_1 = 2\,\mathrm{k\Omega}$ und $R_3 = 1\,\mathrm{k\Omega}$ abgeglichen ist, d.h. $\underline{U}_{AB} = 0\,\mathrm{V}$ beträgt?

d) Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig

Bei den Werten $R_1 = 2\,\mathrm{k\Omega}$, $R_3 = 1\,\mathrm{k\Omega}$, $R_X = 1{,}5\,\mathrm{k\Omega}$ und $C_X = 0{,}5\,\mu\mathrm{F}$ betragen die Ströme $\underline{I}_1 = 5\,\mathrm{mA} \cdot e^{j\cdot 0°}$ und $\underline{I}_2 = 2{,}37\,\mathrm{mA} \cdot e^{j\cdot 64{,}77°}$.

Zeigen Sie, dass die Brücke bei diesen Einstellungen von R_1 und R_3 nicht abgeglichen ist.

Aufgabe 21 Ausgleichsvorgänge (Einschwingvorgänge), Kondensator

Mit der im Bild 21.1 dargestellten Schaltung soll der Lade- und Entladevorgang eines Kondensators untersucht werden.

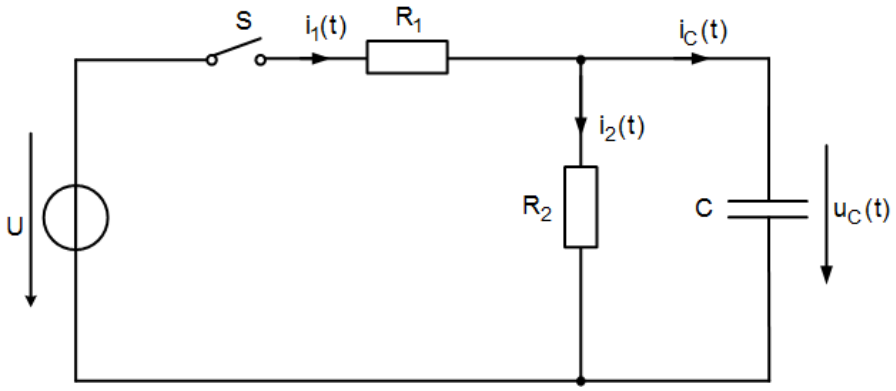


Bild 21.1: Schaltung zum Laden und Entladen eines Kondensators

Es sind folgende Werte gegeben:

Spannung:	U = 12 V
Ohmsche Widerstände:	R_1 = 10 Ω, R_2 = 10 Ω
Kapazität des Kondensators:	C = 1 mF
Ausgangssituation:	Der Schalter S war unendlich lange Zeit geöffnet, sodass der Kondensator vollständig entladen ist (Anfangsbedingung $u_C(t = 0) = 0$ V).

1. Einschwingvorgang, der abläuft, wenn der Schalter S geschlossen wird

Zum Zeitpunkt t = 0 s wird der Schalter S geschlossen.

Fragen:

a) Welche Größe im System ist energiekennzeichnend und kann bzw. darf daher nicht springen?

b) Geben Sie die Grundgesetze für die Bauelemente R_1, R_2 und C im Zeitbereich an.

c) Geben Sie die für den Einschwingvorgang geltende Differentialgleichung (DGL) für $u_c(t)$ an.

d) Berechnen Sie die Zeitfunktion der Spannung $u_c(t)$ sowie die Zeitfunktionen für die Ströme $i_1(t)$ und $i_2(t)$.

e) Welchen Endwert erreicht $u_c(t)$ für $t \to \infty$?
Nach welcher Zeit t_1 werden 99,9% des Endwertes erreicht?

f) Zeichnen Sie die zeitlichen Verläufe von $u_c(t)$, $i_1(t)$ und $i_2(t)$ im Bereich $0 \le t \le 100\,\text{ms}$.

2. Einschwingvorgang, der abläuft, wenn der Schalter S wieder geöffnet wird

Der in den vorigen Teilaufgaben behandelte Einschaltvorgang kann als abgeschlossen und das System folglich als vollständig eingeschwungen betrachtet werden.
Nun wird zum Zeitpunkt t_2 = 40 ms der Schalter S wieder geöffnet.

Fragen:

a) Welche Bauelemente sind für den Ausschaltvorgang nach dem Öffnen des Schalters S relevant?

b) Welche Spannung liegt am Kondensator unmittelbar vor und nach dem Öffnen des Schalters an?

c) Geben Sie die für den Ausschaltvorgang geltende DGL für $u_c(t)$ an.

d) Geben Sie die Zeitfunktion der Spannung $u_c(t)$ und die Zeitfunktion des Strom $i_2(t)$ an und ergänzen Sie das Schaubild für die zeitlichen Verläufe von $u_c(t)$, $i_1(t)$ und $i_2(t)$ für $40\,\text{ms} \le t \le 100\,\text{ms}$.

Aufgabe 22 Ausgleichsvorgang (Einschwingvorgang), Spule

Im Bild 22.1 ist ein Gleichstromnetzwerk gegeben, an dessen Klemmen A-B zum Zeitpunkt t = 0 über den Schalter S ein R-L-Glied zugeschaltet wird.

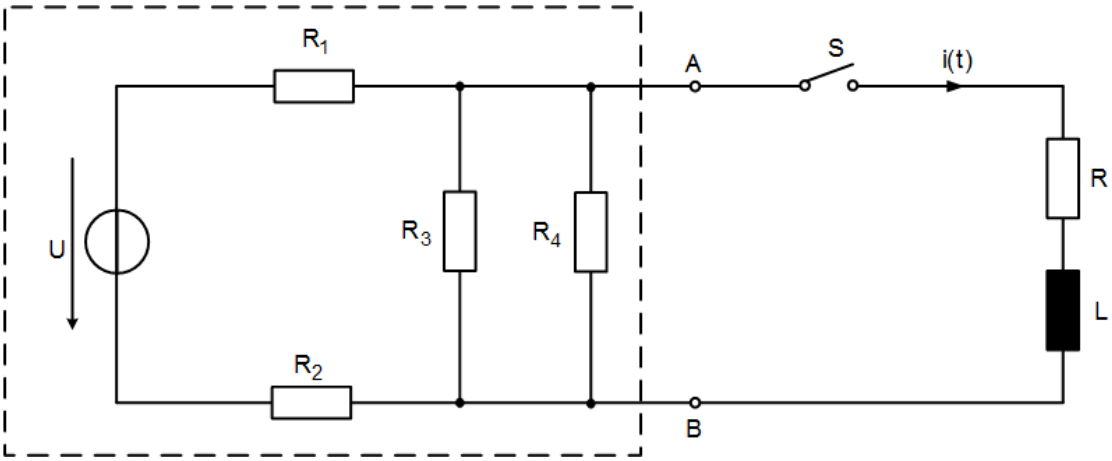


Bild 22.1: Gleichstromnetzwerk mit Zuschaltung eines R-L-Gliedes

Es sind folgende Daten gegeben:

Spannung:	$U = 48\ V$
Ohmsche Widerstände:	$R_1 = 3\ \Omega$, $R_2 = 9\ \Omega$, $R_3 = 15\ \Omega$, $R_4 = 10\ \Omega$, $R = 1\ \Omega$
Induktivität der Spule:	$L = 25\ mH$
Anfangsbedingung:	$i(t \le 0) = i(t = 0_-) = i(t = 0_+) = 0\ A$

Fragen:

a) Geben Sie für den linken Teil der im Bild 22.1 dargestellten Schaltung bezüglich der Klemmen A-B das Ersatzschaltbild der Ersatzspannungsquelle an und bestimmen Sie die Quellspannung U_q und den Innenwiderstand R_i der Ersatzspannungsquelle.

b) Zeichnen Sie die im Bild 22.1 dargestellte Schaltung erneut, indem Sie den links der Klemmen A-B liegenden Teil durch die Ersatzspannungsquelle ersetzen und tragen Sie Zählpfeile für den Strom und die Spannungen ein.

c) Welche Größe im System ist energiekennzeichnend und kann bzw. darf daher nicht springen?

d) Geben Sie die Grundgleichungen für die Elemente R_i, R und L an, stellen Sie die Maschengleichung auf und geben Sie die Differentialgleichung (DGL) für i(t) an.

e) Lösen Sie die DGL und geben Sie die Zeitfunktion von i(t) an.

f) Geben Sie die Zeitfunktionen der Spannungen $u_{Ri}(t)$, $u_R(t)$ und $u_L(t)$ an.

g) Stellen Sie sowohl i(t) als auch $u_{Ri}(t)$, $u_R(t)$ und $u_L(t)$ für $0 \leq t \leq 25\,\text{ms}$ grafisch dar.

Die folgenden Aufgaben können zur Selbstbearbeitung (Prüfungsvorbereitung) verwendet werden.

Aufgabe 23 Gleichstrom, Netzwerkanalyse, Einschwingvorgang

Im Bild 23.1 ist das Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerks mit einer Gleichstromquelle dargestellt. Über einen Schalter S wird zur Zeit t = 0 ein R-L-Glied zugeschaltet. In einem ersten Schritt soll der Schaltungsteil links der Klemmen A-B in eine Ersatzspannungsquelle umgewandelt werden. Anschließend soll der Einschwingvorgang, der nach Zuschalten des R-L-Gliedes abläuft, untersucht werden.

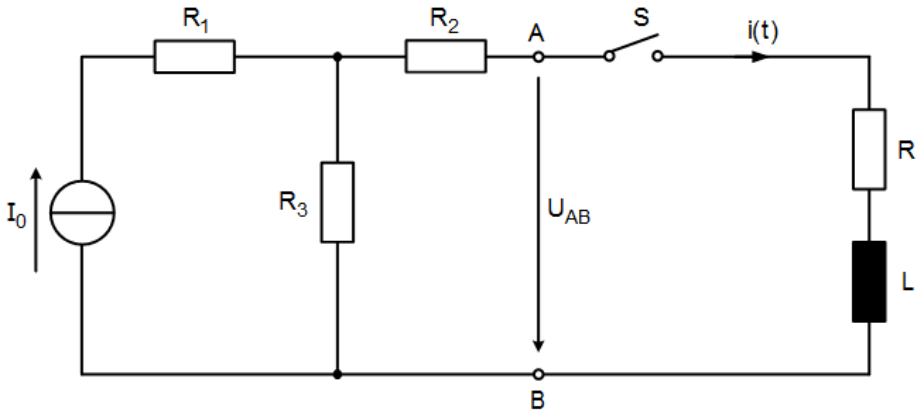


Bild 23.1 Elektrisches Ersatzschaltbild der zu untersuchenden Schaltung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Eingeprägter Strom der Stromquelle:	$I_0 = 2$ A
Widerstände:	$R_1 = R_2 = R_3 = 10\ \Omega$
Widerstand:	$R = 20\ \Omega$
Induktivität:	L = 40 mH
Anfangsbedingung:	i(t = 0+) = i(t = 0-) = 0 A

Fragen:

a) Umwandlung des linken Schaltungsteils in eine Ersatzspannungsquelle

- Zeichnen Sie für den Schaltungsteil links des Klemmenpaares A-B das elektrische Ersatzschaltbild der Ersatzspannungsquelle, bestehend aus der Quellenspannung U_q und dem Innenwiderstand R_i.
- Berechnen Sie die Spannung U_q und den Innenwiderstand R_i.

b) Vereinfachtes Ersatzschaltbild

- Zeichnen Sie die Schaltung aus Bild 23.1 erneut auf und ersetzen Sie den Schaltungsteil links der Klemmen A-B durch die Ersatzspannungsquelle.
- Tragen Sie Zählpfeile für sämtliche elektrischen Spannungen ein und versehen Sie diese mit den Bezeichnungen $u_{Ri}(t)$, $u_R(t)$ und $u_L(t)$.

c) Grundgesetze, Maschengleichung, Differentialgleichung

- Geben Sie die Grundgesetze (im Zeitbereich) für die Zweipole R_i, R und L an.
- Stellen Sie die Maschengleichung auf und geben Sie die Differentialgleichung für den Strom i(t) an.

Die Lösung der Differentialgleichung ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$i(t) = k \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{U_q}{R_i + R}$ mit der Zeitkonstanten $\tau = \frac{L}{R_i + R}$.

d) Einschwingvorgang, Zeitverläufe der Ströme und Spannungen

- Berechnen Sie die Zeitkonstante τ in ms mit der der Einschwingvorgang abläuft.
- Bestimmen Sie mit Hilfe der Anfangsbedingung für den Strom i(t) die noch unbekannte Konstante k in Ampere und geben Sie die vollständige Lösung für den Strom i(t) an (Zahlenwerte einsetzen).
- Geben Sie die Gleichungen für die Spannungen $u_{Ri}(t)$, $u_R(t)$ und $u_L(t)$ an (Zahlenwerte einsetzen).
- Berechnen Sie die Werte aller Spannungen und des Stromes für die beiden Zeitpunkte t = 0+ (also kurz nach dem Schließen des Schalters S) und für $t \to \infty$ (d. h. am Ende des Einschwingvorganges – stationärer Wert).

Aufgabe 24 Komplexe Wechselstromrechnung

Die im Bild 24.1 dargestellte Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannung $\underline{U}$ mit dem Effektivwert U und der Frequenz f betrieben.

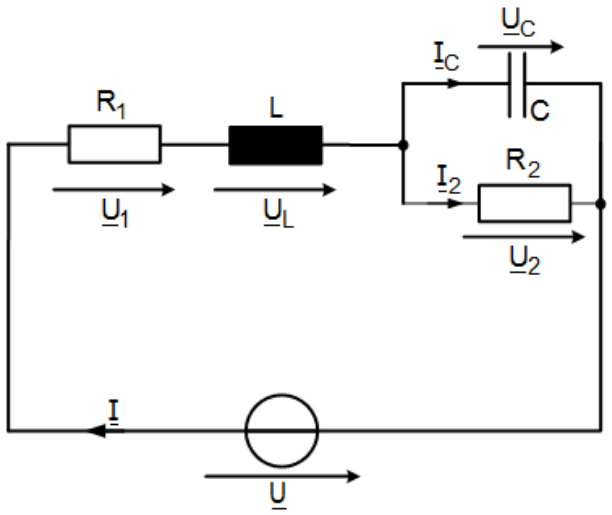


Bild 24.1: Wechselstromschaltung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung am Widerstand R_2: $\underline{U}_2 = U_2 = 48\,\mathrm{V}$

Ohmsche Widerstände: $R_1 = 10\,\Omega,\ R_2 = 16\,\Omega$

Kapazität des Kondensators C: $C = \frac{25}{6 \cdot \pi}\,\mu\mathrm{F}$

Blindwiderstand des Kondensators C: $X_C = 12\,\Omega$

Blindwiderstand der Induktivität L: $X_L = 8\,\Omega$

Fragen:

a) Zeigerdiagramm, Frequenz f und Induktivität L

- Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für sämtliche Spannungen und Ströme, die im Bild 24.1 eingetragen sind.

  Hinweis: Beginnen Sie mit dem Spannungszeiger $\underline{U}_2$ in der horizontalen Lage und setzen Sie die Konstruktion mit den Stromzeigern fort.

- Berechnen Sie die Frequenz f in kHz und die Induktivität L in µH.

b) Ströme

- Berechnen Sie die Ströme $\underline{I}_2$, $\underline{I}_C$ sowie den Gesamtstrom $\underline{I}$ und geben Sie sie sowohl in der Exponentialform als auch in kartesischer Form an.
- Geben Sie die Effektivwerte I_2, I_C und I der Ströme $\underline{I}_2$, $\underline{I}_C$ und $\underline{I}$ an.

c) Spannungen

- Berechnen Sie die Spannung $\underline{U}_1$ am ohmschen Widerstand R_1, die Spannung $\underline{U}_L$ an der Induktivität L sowie die Gesamtspannung $\underline{U}$.
- Geben Sie die Spannungen sowohl in der Exponentialform als auch in kartesischer Form an.
- Um welchen Winkel eilt die Spannung $\underline{U}$ der Spannung $\underline{U}_2$ vor?

d) Schein-, Wirk- und Blindleistung

- Berechnen Sie die von der Schaltung aufgenommene Scheinleistung $\underline{S}$ und geben Sie sie in exponentieller und kartesischer Schreibweise an und bestimmen Sie daraus die Wirkleistung P sowie die Blindleistung Q.
- Wirkt die Schaltung ohmsch-induktiv oder ohmsch-kapazitiv (kurze Begründung)?
- Bestimmen Sie die in der Schaltung umgesetzte Wirkleistung P und die Blindleistung Q aus den Teilleistungen in R_1 und R_2 bzw. X_L und X_C und vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen, die Sie aus der Scheinleistung $\underline{S}$ erhalten hatten.

e) Impedanz und besondere Kreisfrequenzen

- Bestimmen Sie zunächst die Gesamtimpedanz $\underline{Z}_{ges}$ der Schaltung allgemein in Abhängigkeit von R_1, R_2, L, C und der Kreisfrequenz ω und berechnen Sie daraus ebenfalls allgemein in Abhängigkeit von R_1, R_2, L und C die beiden Kreisfrequenzen ω_{01} und ω_{02} bei denen der Imaginärteil der Gesamtimpedanz $\underline{Z}_{ges}$ gleich Null wird.
- Prüfen Sie, ob die Einheiten der von Ihnen soeben berechneten Resonanzkreisfrequenzen stimmen.
- Führen Sie den Grenzübergang für $R_2 \to \infty$ durch und berechnen Sie sowohl $\lim_{R_2 \to \infty} \underline{Z}_{ges}$ als auch $\lim_{R_2 \to \infty} \omega_0$ (ebenfalls in allgemeiner Form, keine Zahlenwerte erforderlich) und interpretieren Sie die Ergebnisse.

Aufgabe 25 Gleichstromnetzwerk

Im Bild 25.1 ist ein Gleichstromnetzwerk aus zwei parallel geschalteten realen Spannungsquellen und zwei dazu ebenfalls parallel geschalteten realen Stromquellen dargestellt.

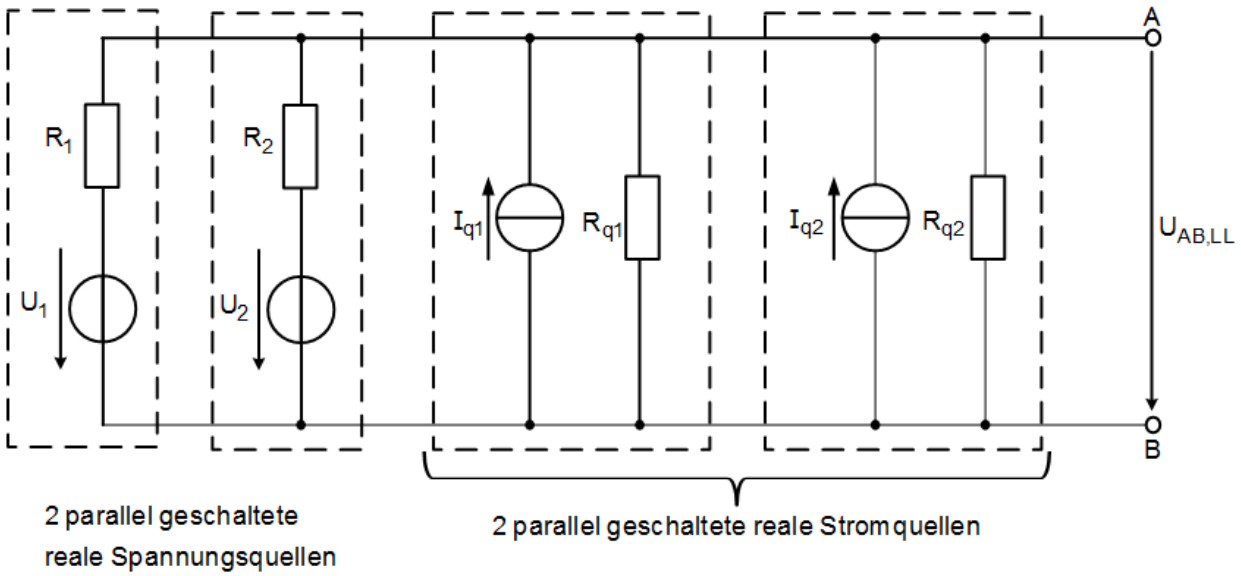


Bild 25.1: Gleichstromnetzwerk aus parallel geschalteten realen Spannungs- und Stromquellen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Quellenspannungen der Spannungsquellen: U_1, U_2

Ohm'sche Widerstände der Spannungsquellen: R_1, R_2

Quellenströme der Stromquellen: I_{q1}, I_{q2}

Ohm'sche Widerstände der Stromquellen: R_{q1}, R_{q2}

Rechnen Sie im Folgenden allgemein (d.h. ohne Zahlenwerte) mit den gegebenen Größen U_1, U_2, R_1, R_2, I_{q1}, I_{q2}, R_{q1} und R_{q2}.

a) Ersatzwiderstand

Zunächst soll der Ersatzwiderstand R_{AB} bezüglich des Klemmenpaares A-B bestimmt werden.

- Was müssen Sie zunächst mit den idealen Spannungsquellen U_1 und U_2 der realen Spannungsquellen und mit den idealen Stromquellen I_{q1} und I_{q2} der realen Stromquellen tun, damit Sie den Ersatzwiderstand R_{AB} bestimmen können?

- Zeichnen Sie die Schaltung aus Bild 25.1 erneut auf, indem Sie die Erkenntnisse der Teilfrage a) einarbeiten.
- Bestimmen Sie den Ersatzwiderstand R_{AB}.

b) Kurzschlussstrom

Die Klemmen A-B werden nun kurzgeschlossen, d.h. mit einer Verbindung von 0 Ω versehen.

Im Folgenden soll der Kurzschlussstrom I_K im Kurzschlusszweig A-B mit Hilfe des Überlagerungssatzes bestimmt werden.

- Beschreiben Sie kurz die Aussage des Überlagerungssatzes und geben Sie an, unter welchen Voraussetzungen der Überlagerungssatz angewendet werden darf.
- Berechnen Sie die Teilkurzschlussströme I_{K1} und I_{K2}, die sich aus der jeweilig alleinigen Wirkung der Spannungsquellen U_1 und U_2 ergeben.
- Berechnen Sie die Teilkurzschlussströme I_{Kq1} und I_{Kq2}, die sich aus der jeweilig alleinigen Wirkung der Stromquellen I_{q1} und I_{q2} ergeben.
- Berechnen Sie den Kurzschlussstrom I_K.

c) Ersatzstromquellendarstellung

Die im Bild 25.1 gegebene Schaltung kann als Ersatzstromquelle (Ersatzstromquelle = reale Stromquelle) mit dem Quellenstrom I_q und dem Innenwiderstand R_i dargestellt werden.

- Zeichnen Sie für die im Bild 25.1 gegebene Schaltung das Ersatzschaltbild als Ersatzstromquelle, bestehend aus Quellenstrom I_q und Innenwiderstand R_i.
- Tragen Sie die Klemmen A-B und die Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$ ein.
- Geben Sie unter Verwendung der Ergebnisse aus den vorausgegangenen Fragen den Quellenstrom I_q und den Innenwiderstand R_i an.
- Berechnen Sie die Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$ zunächst in Abhängigkeit von I_q und R_i.
- Geben Sie nun $U_{AB,LL}$ in Abhängigkeit von U_1, U_2, R_1, R_2, I_{q1}, I_{q2}, R_{q1} und R_{q2} an.

d) Verallgemeinerung der Ergebnisse

Die Berechnung der Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$ für die im Bild 25.1 gegebene Schaltung ergibt folgende Lösungsformel:

$$U_{AB,LL} = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + I_{q1} + I_{q2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{q1}} + \frac{1}{R_{q2}}} = \frac{\sum_{n=1}^{2} \frac{U_n}{R_n} + \sum_{n=1}^{2} I_{qn}}{\sum_{n=1}^{2} \frac{1}{R_n} + \sum_{n=1}^{2} \frac{1}{R_{qn}}} \qquad (1)$$

- Verallgemeinern Sie die obige Gleichung (1) für den Fall einer Schaltung gemäß Bild 25.1 in der k reale Spannungsquellen (U_1, …, U_k mit R_1, .., R_k) und ℓ reale Stromquellen (I_{q1}, …, $I_{q\ell}$ mit R_{q1}, …, $R_{q\ell}$) parallelgeschaltet sind.

Aufgabe 26 Wechselstromrechnung

Im Bild 26.1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule, einem Kondensator und einem ohmschen Widerstand gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle betrieben.

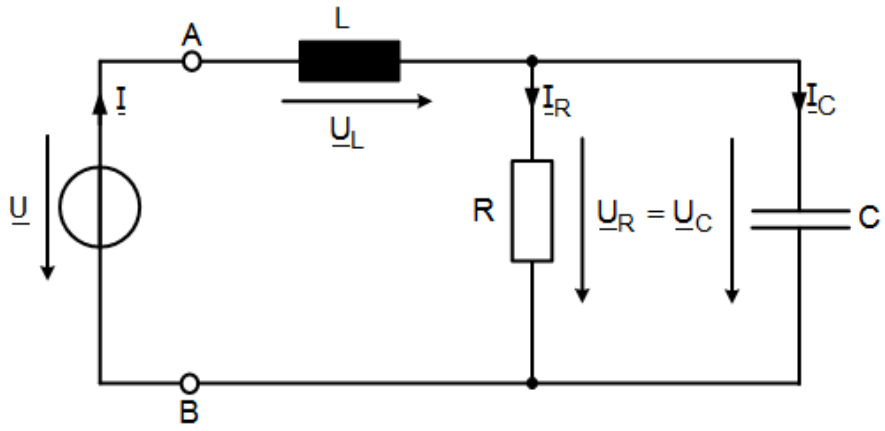


Bild 26.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungseffektivwert:	U
Kreisfrequenz der sinusförmigen Spannung:	ω
Ohm'scher Widerstand:	R
Kapazität des Kondensators:	C
Induktivität der Spule:	L

Rechnen Sie im Folgenden zunächst allgemein (d.h. ohne Zahlenwerte) mit den gegebenen Größen U, ω, R, L und C.

a) Zeigerdiagramm

- Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm, welches alle die in Abbildung 2-1 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Ströme und Spannungen enthält.
- Zeichnen Sie in das Zeigerdiagramm den Phasenverschiebungswinkel φ zwischen Strom $\underline{I}$ und Spannung $\underline{U}$ ein und geben Sie an, ob die Schaltung gemäß dem von Ihnen gezeichneten Zeigerdiagramm ohmsch, ohmsch-induktiv, ohmsch-kapazitiv, induktiv oder kapazitiv wirkt (kurze Begründung).

b) Komplexe Widerstände - Impedanzen

- Berechnen Sie die Ersatzimpedanz $\underline{Z}_{RC}$ der Parallelschaltung von R und C und geben Sie das Ergebnis in kartesischer Form an.
- Berechnen Sie die Gesamtimpedanz $\underline{Z}$ der Schaltung (Ersatzimpedanz bezüglich der Klemmen A-B) und geben Sie das Ergebnis in kartesischer Form an.
- Wie groß muss L in Abhängigkeit von ω, R und C gewählt werden, damit die Impedanz $\underline{Z}$ rein reell wird (d.h. $\underline{Z} = Z$)?
- Geben Sie $\underline{Z} = Z$ in Abhängigkeit von ω, R und C an.

c) Rechnen mit Zahlenwerten

$U = 10$ V, $R = 10\ \Omega$, $\omega = 314\ s^{-1}$ und $C = 318\ \mu F$

und berechnen Sie (unter obiger Voraussetzung $\underline{Z} = Z$):

- L in mH (Millihenry)
- Z in Ω (Ohm)
- Den Effektivwert I des Stromes $\underline{I}$ in A (Ampere)
- Den Betrag S der Scheinleistung $\underline{S}$ in VA (Volt-Ampere)
- Die Wirkleistung P in W (Watt)
- Den Effektivwert I_R des Stromes $\underline{I}_R$ in A (Ampere)
- Den Effektivwert U_C der Spannung $\underline{U}_C$ in V (Volt)

Aufgabe 27 Gleichstrom

Im Bild 27.1 ist ein Gleichstromnetzwerk, bestehend aus ohmschen Widerständen R, R_V und einer Stromquelle mit dem Quellenstrom I_q gegeben. Der Widerstand R_V kann über den Schalter S zu- bzw. abgeschaltet werden.

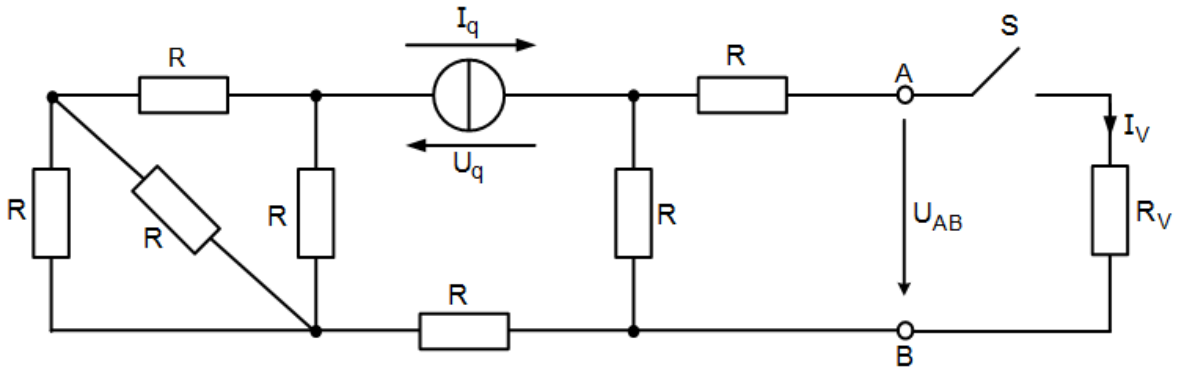


Bild 27.1: Gleichstromnetzwerk mit einer **Stromquelle**

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Quellenstrom der Stromquelle: $I_q = 5\ A$

Ohm'sche Widerstände: $R = 12\ \Omega$, $R_V = 6\ \Omega$

Zunächst sei der Schalter S **offen** (Leerlauf).

a) Ersatzwiderstand, Leerlaufspannung

- Bestimmen Sie den Ersatzwiderstand R_{AB} bezüglich der Klemmen A-B.
- Bestimmen Sie die Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$.
- Zeichnen Sie die obige Schaltung aus Bild 27.1 in der Darstellung als Ersatzspannungsquelle (ESP) und geben Sie die Quellenspannung $U_{q,ESP}$ und den Innenwiderstand $R_{i,ESP}$ an.

Im Folgenden soll weiter mit der Schaltung im Bild 27.1 gerechnet werden!
S ist weiterhin **offen**!

b) Leistungen

- Fassen Sie die vier Widerstände links von der Stromquelle zu einem Ersatzwiderstand $R_{ers,1}$ zusammen.
- Berechnen Sie die Spannung U_q.
- Berechnen Sie die von der gesamten Schaltung (S ist offen!!) in Wärme umgewandelte Leistung $P_{ges,1}$.
- Prüfen Sie Ihr Ergebnis anhand einer Leistungsbilanz.

Nun sei der Schalter S **geschlossen**.

c) Leistung in R_V

- Bestimmen Sie den Strom I_V, die Spannung U_{AB} und die Leistung P_V, die in R_V in Wärme umgesetzt wird.

Aufgabe 28 Wechselstrom

Im Bild 28.1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule, einem Kondensator und zwei ohmschen Widerständen gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle betrieben.

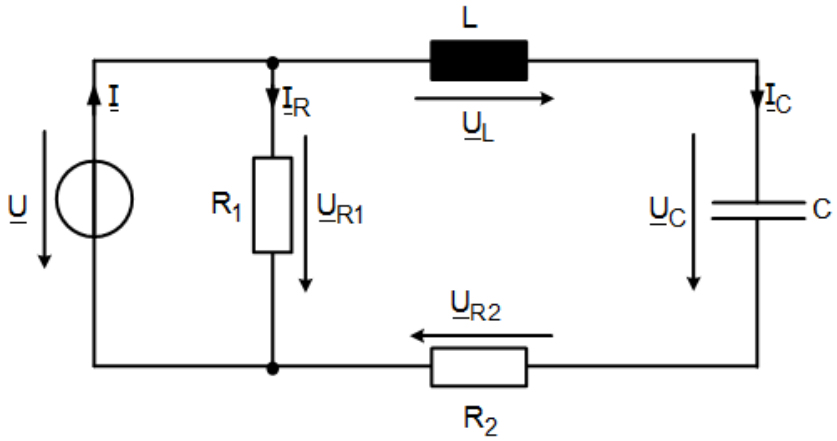


Bild 28.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungseffektivwert: $U = 10\ V$

Nullphasenwinkel der Spannung: $\varphi_U = 0°$

Frequenz der sinusförmigen Spannung: $f = 50\ Hz$

Ohm'sche Widerstände: $R_1 = 5\ \Omega,\ R_2 = 3\ \Omega$

Blindwiderstand der Spule: $X_L = 12\ \Omega$

Blindwiderstand des Kondensators: $X_C = 8\ \Omega$

a) Zeigerdiagramm

- Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm in dem Sie $X_C < X_L$ berücksichtigen und welches alle die in Abbildung 2-1 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Ströme und Spannungen enthält.

- Zeichnen Sie in das Zeigerdiagramm den Phasenverschiebungswinkel zwischen Strom I und Spannung U ein und geben Sie an, ob die Schaltung ohmsch, ohmsch-induktiv, ohmsch-kapazitiv, induktiv oder kapazitiv wirkt (kurze Begründung!).

b) Impedanz und Ströme

- Berechnen Sie die Ersatzimpedanz $\underline{Z}_{LCR}$ der Reihenschaltung von L, C und R_2 und geben Sie das Ergebnis in Exponentialform an.
- Berechnen Sie die Ströme (komplex in kartesischer Form):
  - $\underline{I}_R$ und dessen Effektivwert I_R.
  - $\underline{I}_C$ und dessen Effektivwert I_C.
  - $\underline{I}$ und dessen Effektivwert I.
- Berechnen Sie die Scheinleistung S und daraus die Wirkleistung P sowie die Blindleistung Q und geben Sie an, ob es sich um induktive oder kapazitive Blindleistung handelt (kurze Begründung!).
- Berechnen Sie die Wirkleistung P und die Blindleistung Q unter Verwendung der Effektivwerte der Ströme aus Frageteil b) und vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen aus Frageteil c).

c) Kompensation der Blindleistung

- Durch welchen zusätzlichen Zweipol (R, L oder C) können Sie die oben berechnete Blindleistung kompensieren und wo fügen Sie diesen Zweipol zweckmäßig in die Schaltung gemäß Abbildung 2-1 ein?
- Berechnen Sie den Wert des Zweipols (in Ω, mH oder µF – je nachdem ob Sie ein R, L oder C verwenden müssen), sodass die Blindleistung vollständig kompensiert wird.