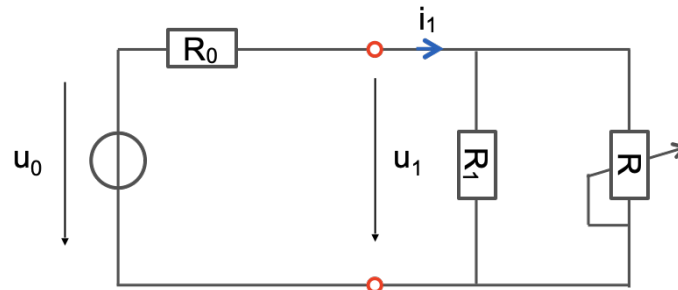


## Aufgabe 1: Widerstandsnetzwerk

Eine Spannungsquelle mit Leerlaufspannung  $u_0$  und Innenwiderstand  $R_0$  ist an zwei Lastwiderstände  $R_1$  und  $R$  angeschlossen, wie in folgender Abbildung gezeigt. Hierbei ist  $R$  variabel.



Frage 1.1: Skizzieren Sie qualitativ  $u_1(R)$  und  $i_1(R)$ , d.h. Klemmenspannung und Klemmenstrom in Abhängigkeit von  $R$ . Variieren Sie hierbei  $R$  im Bereich  $R = 0$  bis  $R \rightarrow \infty$ .

Frage 1.2: Wie groß muss  $R$  gewählt werden, damit die Spannungsquelle ihre maximale Leistung abgibt? Wie groß ist die abgegebene Leistung in diesem Fall? Wie groß ist der Wirkungsgrad?

Frage 1.3: Wie groß muss  $R$  gewählt werden, damit der Wirkungsgrad maximal wird? Wie groß ist die an der Klemme umgesetzte Leistung in diesem Fall?

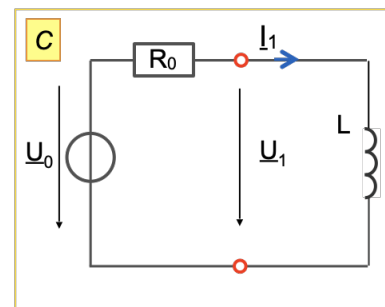
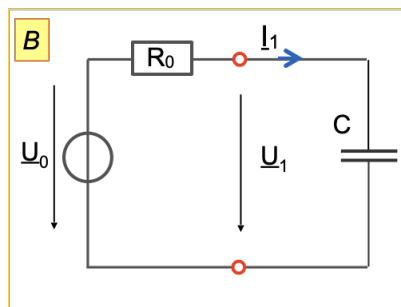
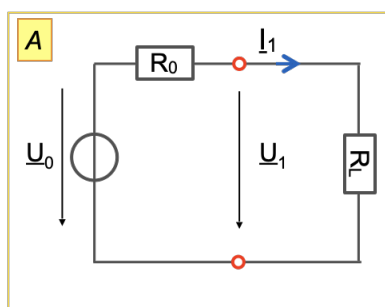
Frage 1.4: Berechnen Sie  $u_1(R)$  und  $i_1(R)$  in Abhängigkeit von  $R$ . Gegeben sind  $u_0$ ,  $R_0$  und  $R_1$ .

Frage 1.5: Berechnen Sie die Leistung an der Anschlussklemme in Abhängigkeit von  $R$ .

Frage 1.6: Berechnen Sie den Wirkungsgrad in Abhängigkeit von  $R$ .

## Aufgabe 2: Komplexe Wechselstromrechnung

Folgende Schaltungen werden mit Wechselspannung der konstanten Frequenz  $\omega = 2\pi f$  betrieben. Die Spannung  $\underline{U}_0$  sowie der Innenwiderstand  $R_0$  sind gegeben. Außerdem sind gegeben:  $R$  (in Schaltung A),  $C$  (in Schaltung B),  $L$  (in Schaltung C).



Frage 2.1 Berechnen Sie für die gezeigten Schaltungen A, B und C:

1. Den Strom  $I_1$  in Abhängigkeit der Klemmenspannung  $\underline{U}_1$ .
2. Die Impedanz  $\underline{Z}_1 = \underline{U}_1 / I_1$ .
3. Die Klemmenspannung  $\underline{U}_1$  in Abhängigkeit von  $\underline{U}_0$  und  $R_0$ .
4. Den Phasenwinkel zwischen Spannung  $\underline{U}_1$  und Strom  $I_1$ .
5. Den Phasenwinkel zwischen Spannung  $\underline{U}_0$  und Strom  $I_1$ .

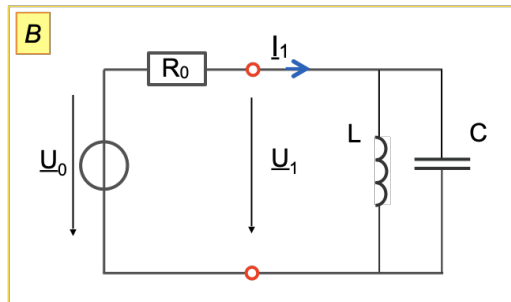
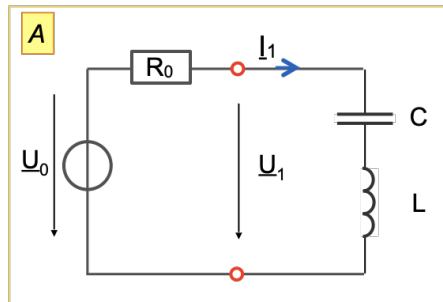
Frage 2.2: Skizzieren Sie die Zeigerdiagramme der Spannungen und Ströme zu den Schaltungen.

Frage 2.3: Leistung. Berechnen Sie Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung an den Klemmen der Schaltungen.

Frage 2.4: Welche Bedeutung hat der Leistungsfaktor  $\cos(\phi)$ ? Welche Unterschiede ergeben sich zwischen den Schaltungen bzgl. des Leistungsfaktors?

### Aufgabe 3: Komplexe Impedanzen

Folgende Schaltungen sind mit Induktivität und Kapazität aufgebaut.



Frage 3.1: Berechnen Sie für die gezeigte Schaltung A:

1. Die Klemmenspannung  $\underline{U}_1$  in Abhängigkeit des Stromes  $\underline{I}_1$ .
2. Die Impedanz  $\underline{Z}_1 = \underline{U}_1 / \underline{I}_1$ .

Frage 3.2: Frequenzabhängigkeit der Impedanz. Es sei angenommen, dass man an die Frequenz  $\omega$  durch einen Drehknopf an der Quelle im Bereich  $\omega = 0$  bis  $\omega \rightarrow \infty$  verändern kann. Welchen Verlauf über der Frequenz hat die Impedanz  $\underline{Z}_1(\omega)$ ? Skizzieren Sie den Verlauf. Welche Bedingung gilt bei der Frequenz  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ ? Gibt es eine plausible physikalische Erklärung hierfür?

Frage 3.3: Leistung. Berechnen Sie Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung an der Klemme. Welche Abhängigkeit von der Frequenz  $\omega$  ergibt sich?

Frage 3.4: Berechnen Sie für die gezeigte Schaltung B:

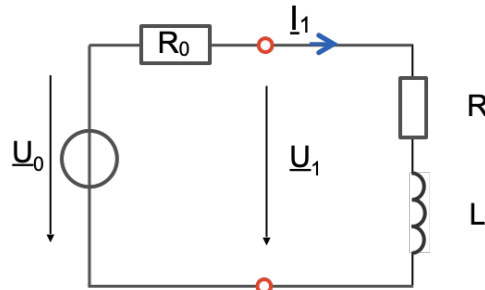
1. Den Strom  $\underline{I}_1$  in Abhängigkeit der Klemmenspannung  $\underline{U}_1$ .
2. Die Admittanz  $\underline{Y}_1 = \underline{I}_1 / \underline{U}_1$  sowie die Impedanz  $\underline{Z}_1 = \underline{U}_1 / \underline{I}_1$ .

Frage 3.5: Frequenzabhängigkeit der Admittanz und Impedanz. Es sei angenommen, dass man an die Frequenz  $\omega$  durch einen Drehknopf an der Quelle im Bereich  $\omega = 0$  bis  $\omega \rightarrow \infty$  verändern kann. Welchen Verlauf über der Frequenz hat die Admittanz  $\underline{Y}_1(\omega)$ ? Welchen Verlauf über der Frequenz hat die Impedanz  $\underline{Z}_1(\omega)$ ? Skizzieren Sie den Verlauf. Welche Bedingung gilt bei der Frequenz  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ ? Gibt es eine plausible physikalische Erklärung hierfür?

Frage 3.6: Leistung. Berechnen Sie Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung an der Klemme. Welche Abhängigkeit von der Frequenz  $\omega$  ergibt sich?

## Aufgabe 4: Ohmsch-induktive Last

Folgende Schaltung zeigt eine Last mit ohmschen Anteil (R) und induktiven Anteil (L) an einer Quelle mit Leerlaufspannung  $\underline{U}_0$  und Innenwiderstand  $R_0$ .



Frage 4.1: Berechnen Sie die Lastimpedanz  $\underline{Z}_1 = \underline{U}_1 / \underline{I}_1$ .

Frage 4.2: Erstellen Sie ein Zeigerdiagramm für  $\underline{U}_1$  und  $\underline{I}_1$ .

Frage 4.3: Erstellen Sie ein Zeigerdiagramm für alle Ströme und Spannungen der Schaltung.

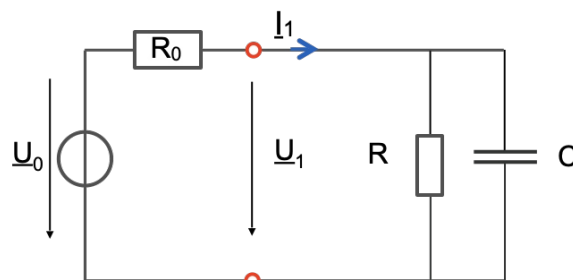
Frage 4.4: Berechnen Sie Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung an der Klemme.

Frage 4.5: Berechnen Sie den Leistungsfaktor  $\cos(\phi)$ .

Frage 4.6: Welchen Einfluss auf die Gesamtleistung hat die Induktivität L? Wenn die Anordnung ein Stromversorgungsnetz repräsentiert, welche Nachteile sind hiermit verbunden?

## Aufgabe 5: Ohmsch-kapazitive Last

Folgende Schaltung zeigt eine Last mit ohmschen Anteil (R) und kapazitivem Anteil (C) an einer Quelle mit Leerlaufspannung  $\underline{U}_0$  und Innenwiderstand  $R_0$ .



Frage 5.1: Berechnen Sie die Admittanz  $\underline{Y}_1 = \underline{I}_1 / \underline{U}_1$ .

Frage 5.2: Erstellen Sie ein Zeigerdiagramm für  $\underline{U}_1$  und  $\underline{I}_1$ .

Frage 5.3: Erstellen Sie ein Zeigerdiagramm für alle Ströme und Spannungen der Schaltung.

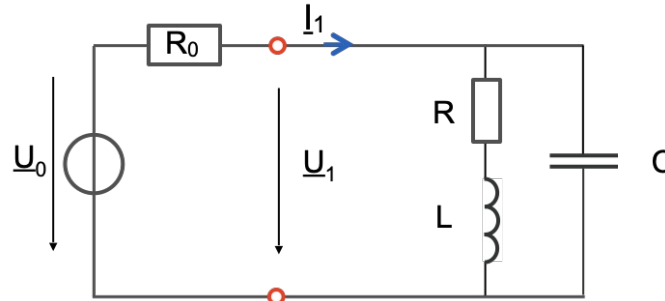
Frage 5.4: Berechnen Sie Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung an der Klemme.

Frage 5.5: Berechnen Sie den Leistungsfaktor  $\cos(\phi)$ .

Frage 5.6: Welchen Einfluss auf die Gesamtleistung hat die Kapazität C? Vergleichen Sie den Beitrag von C zur Leistung mit dem Beitrag von L aus Aufgabe 4. Welche Unterschiede ergeben sich?

## Aufgabe 6: Kompensation

Folgende Schaltung zeigt eine Last mit ohmschen Anteil ( $R$ ) und induktiven Anteil ( $L$ ) an einer Quelle mit Leerlaufspannung  $\underline{U}_0$  und Innenwiderstand  $R_0$ .



Frage 6.1: Da  $\{R, L\}$  und  $C$  in parallelen Zweigen zur Klemmenspannung angeordnet sind, ist eine getrennte Berechnung möglich: Berechnen Sie die Admittanz des RL-Zweiges.

Frage 6.2: Berechnen Sie die Admittanz des C-Zweiges.

Frage 6.3: Berechnen Sie die gesamte Admittanz  $\underline{Y}_1 = \underline{I}_1 / \underline{U}_1$ .

Frage 6.4: Wie müsste  $C$  gewählt werden, damit die Admittanz  $\underline{Y}_1$  ihren Imaginärteil verliert?

Frage 6.5: Kompensation. Die in Frage 6.4 berechnete Antwort wird auch als Kompensation bezeichnet. Erklären Sie diesem Begriff. Welchen Zweck verfolgt die Kompensation? Hinweis: Verwenden Sie die Begriffe Wirkleistung und Blindleistung. Verwenden Sie ein Zeigerdiagramm für Ströme und Spannungen an der Klemme.

Frage 6.6: Physikalische Erklärung. Gibt es eine plausible physikalische Erklärung für den in Frage 6.5 beschriebenen Zusammenhang, ohne dass man die komplexe Wechselstromrechnung bemühen muss?

## Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current, Wechselstrom
DC	Direct Current, Gleichstrom
$T = 1/f$	Schwingungsdauer, Periodendauer [s]
$f = 1/T$	Frequenz, Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit [1/s]
$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$	Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit der Kreisbewegung [1/s]
E	Energie [Joule, J, N m, W s, kg m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ] potentielle Energie $E_p = \frac{1}{2} k y^2$ , kinetische Energie, Translation $E_k = \frac{1}{2} m v^2$ , kinetische Energie, Rotation $E_r = \frac{1}{2} J \omega^2$ , Energie elektrisches Feld $E_C = \frac{1}{2} C U^2$ , Energie magnetisches Feld $E_L = \frac{1}{2} L I^2$
RMS	Root mean square (Effektivwert)
$\underline{Z}$	komplexer Widerstand (Impedanz, impedance)
R	Wirkwiderstand (resistance)
X	Blindwiderstand (Reaktanz, reactance)
$\underline{Y}$	komplexer Leitwert (Admittanz, admittance)
G	Wirkleitwert (conductance)
B	Blindleitwert (susceptance)
$\underline{S}$	Scheinleistung (apparent power, in VA = Volt Ampere)
P	Wirkleistung (power, in Watt)
Q	Blindleistung (reactive power, in Var = Volt ampere reactive)
A	Ampere
deg	degrees (Phasenwinkel in Grad)
kV	Kilo Volt (1000V)
kVA	Kilo Volt Ampere (Scheinleistung S, im Unterschied zu kW = Wirkleistung)
kVar	Kilo Volt Ampere reactive (Blindleistung, Q)
W	Watt (Wirkleistung, P)