Physik

Wechselstromkreis

Text noch in Arbeit

Grundlagen
und
Aufgaben

(Lösungen im Originaltext)

Datei-Nr. 94160

Stand: 8.1.2025

Friedrich Buckel

INTERNETBIBLIOTHEK FÜR SCHULMATHEMATIK

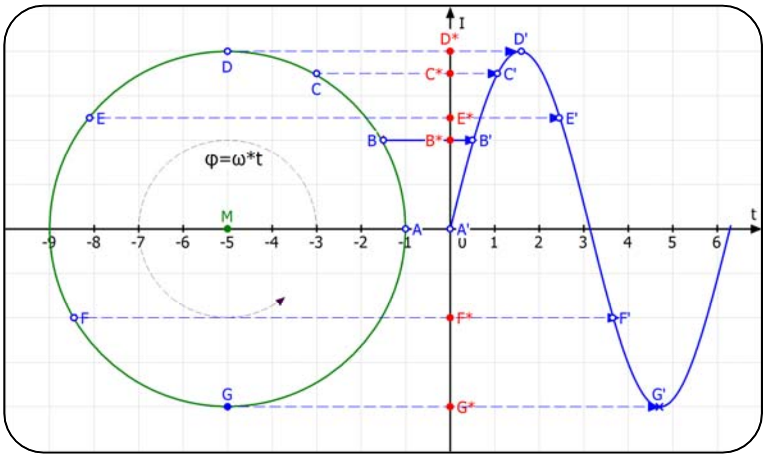
UND STUDIUM

https://mathe-cd.de

1 Sinusfunktionen für Wechselströme.

Ein Strom, dessen Richtung sich periodisch ändert, wird als Wechselstrom bezeichnet. Das wichtigste Modell dazu ist der sinusförmige Stromverlauf. Mit der Stromstärke ändert sich in einem Wechselstromkreis auch die Spannung periodisch.

Wieso der Wechselstrom etwas mit der Sinusfunktion zu tun hat, versteht man gut, wenn man die Projektion einer Kreisbewegung kennt:



Beginnen wir mit einem Umlauf auf Kreis. Bei konstanter Rotations-Geschwindigkeit ω (man nennt sie auch Winkelgeschwindigkeit)

gilt: $\omega = \frac{\varphi}{t} \quad \Rightarrow \quad = \omega \cdot t$

oder auch $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$

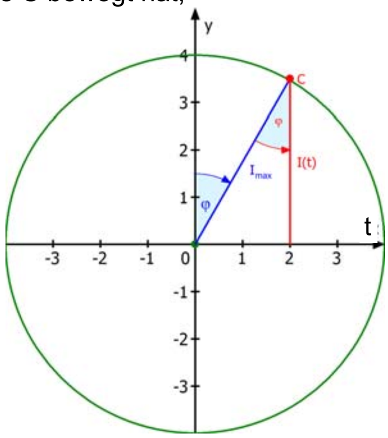
wobei T die Umlaufdauer ist, und

$f = \frac{1}{T}$ die Frequenz ist.

$\varphi = 2\pi$ ist der Vollwinkel im Bogenmaß.

Projiziert man diese Kreisbewegung von A über B, C, D, E und F bis G und weiter nach A auf die y-Achse (z. B. also Stromachse), dann entspricht einem Umlauf die Schwingung A‘ über B*, C*, D*, E*, F* bis G* und weiter nach A* = A‘.

Zieht man diese Schwingung zeitlich auseinander in Richtung t-Achse, dann entsteht eine Sinuslinie von A‘ über B‘ usw. Wenn sich beispielsweise der Kreispunkt um 60^{O} bis C bewegt hat,



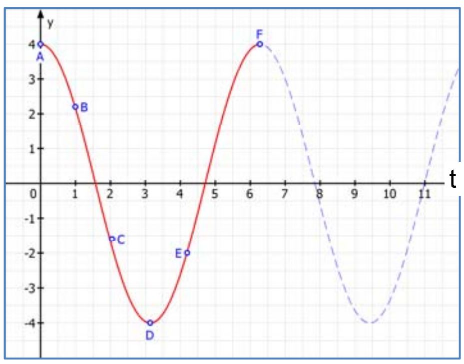
dann sagt uns die Trigonometrie: $\sin\varphi = \frac{I(t)}{I_{max}}$. Daraus folgt

$I(t) = I_{max} \cdot \sin\varphi$. Und wegen $\varphi = \omega \cdot t$ oder $\varphi = 2\pi f \cdot t$

$I(t) = I_{max} \cdot \sin(\omega t)$ oder $I(t) = I_{max} \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$.

Das sind die häufig verwendeten Sinusfunktionen zur Darstellung eines Wechselstroms.

Bei diesen Sinusfunktionen beginnt im Zeitpunkt t = 0 die Stromstärke mit dem Wert $I(0) = 0$.

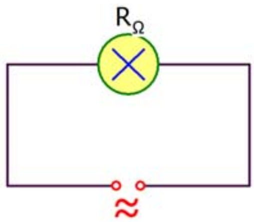


Man kann statt einer Sinusfunktion auch eine Kosinusfunktion verwenden: Dann beginnt zum Zeitpunkt t = 0 die Stromstärke mit dem Maximalwert:

$I(t) = I_{max} \cdot \cos(\omega t)$ oder $I(t) = I_{max} \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$.

2 Einfache Wechselstromkreise.

2.1 Effektivwerte am Ohmschen Widerstand.

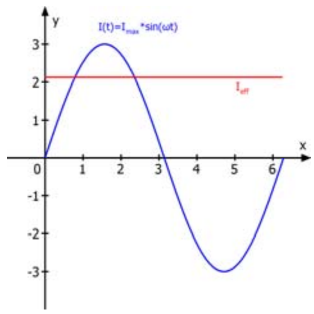


Der Stromkreis braucht eine Spannungsquelle, welche die Elektronen abwechslungsweise in den Stromkreis hineindrückt und dann wieder zurücksaugt. Die Elektronen im Leiter „zucken“ dann also im Rhythmus der Sinusspannung hin und her. Das bringt die Lampe, die hier unseren Ohmschen Widerstand darstellt, zum Leuchten.
Das geschieht im Gleichtakt, denn Strom und Spannung haben hier ihre Maxima und Minima zur gleichen Zeit.

Beispiel: Ein Lämpchen trägt sie Aufschrift „110 V / 100 W“. Das sind seine Kenndaten.
Die **Leistung P** = 100 W hängt mit Stromstärke und Spannung zusammen.

Vom Gleichstrom her kennt man die Formel: $P = U \cdot I$. Doch wir haben hier das Problem: Beides sind keine konstanten Werte. Was nimmt man dann für U und I?

Da die Maximalwerte nur in bestimmten Momenten zur Auswirkung kommen, verwendet man die **effektiven Strom- und Spannungswerte.** Das sind die Werte, die ein Gleichstrom haben müsste, damit er dieselbe Wärmewirkung habt wie der Wechselstrom,



Das Ergebnis lautet: $I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$ und $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$

Für die **Effektivleistung** gilt dann : $P = U_{eff} \cdot I_{eff}$.

Für unser Lämpchen gilt dann: $I_{eff} = \frac{P}{U_{eff}} = \frac{100\text{ W}}{110\text{ V}} \approx 0{,}909\text{ A}$

Dies ist der maximal mögliche Strom durch das Glühlämpchen.

Wenn wir **im Haushalt** eine Wechselstromspannung von **220 Volt** verwenden, ist das ein Effektivwert.

Also gilt: $\frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = 220\text{ V} \quad \Rightarrow \quad U_{max} = 220\text{ V} \cdot \sqrt{2} \approx 311\text{ V}$. Das heißt, dass die angelieferte Spannung zwischen -311 V und +311 V schwankt.

Unser Lämpchen hat einen Ohmschen Widerstand von $R = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{110\text{ V}}{0{,}909\text{ A}} \approx 121\,\Omega$.

Diesen kann man auch über die Leistung berechnen: $P = U_{eff} \cdot I_{eff}$.

Mit $U_{eff} = R \cdot I_{eff}$ folgt $I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R}$ und damit $P = U_{eff} \cdot \frac{U_{eff}}{R} = \frac{U_{eff}^2}{R}$

Also kann man R aus den gegebenen Werten 110 V / 100 W berechnen:

$$R = \frac{U_{eff}^2}{P} = \frac{110^2}{100}\,\Omega = 121\,\Omega$$

Wichtig ist noch: Die Funktionen für Stromstärke und Spannung sind am Lämpchen in Phase. Das heißt schwingen im gleichen Takt, haben also zu den gleichen Seitpunkten ihre Maxima und Minima usw. Denn wenn man mit einem Schalter den Stromkreis schließt, dann geht mit Lichtgeschwindigkeit das Spannungssignal durch den Leiter und setzt die Elektronen in Bewegung.

Für unser Lämpchen kann man die Schwingungsgleichungen ganz einfach aufstellen:

Wir haben berechnet: $U_{eff} = 110\text{ V} \Rightarrow U_{max} = 311\text{ V}$

$I_{eff} = 0{,}909\text{ A} = 909\text{ mA} \Rightarrow I_{max} = 909\text{ mA} \cdot \sqrt{2} \approx 1{,}30\text{ A}$

Wenn die Frequenz $f = 50\text{ Hz}$ beträgt, dann ist die

Schwingungsdauer $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{ Hz}} = 0{,}02\text{ s}$

und die Kreisfrequenz $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50\text{ s}^{-1} = 100\pi\text{ s}^{-1} \approx 314\text{ s}^{-1}$

Stromstärke-Funktion: $I(t) = 1{,}30\text{ A} \cdot \sin\left(100\pi\text{ s}^{-1} \cdot t\right)$

Spannungsfunktion: $U(t) = 311\text{ V} \cdot \sin\left(100\pi\text{ s}^{-1} \cdot t\right)$

Für die Momentanleistung am Ohmschen Widerstand gilt allgemein

Aus $U(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t)$ und $I(t) = I_{max} \cdot \sin(\omega t)$

folgt $P(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t) \cdot I_{max} \cdot \sin(\omega t) \cdot$

$$\boxed{P(t) = U_{max} I_{max} \cdot \sin^2(\omega t)}$$

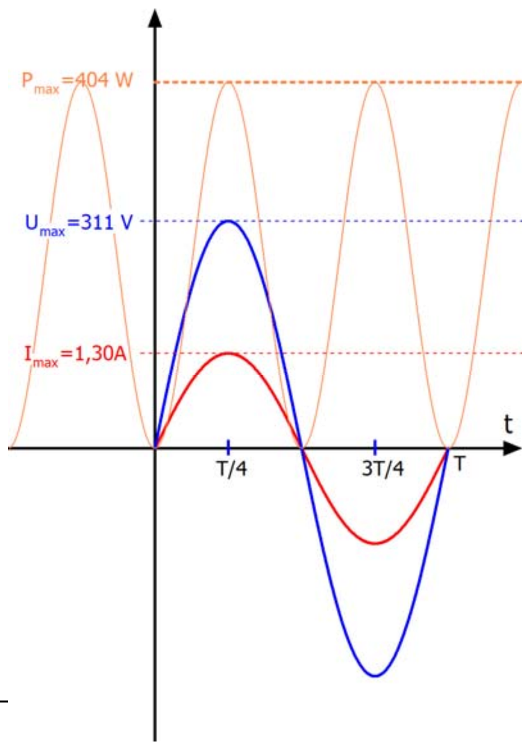
Die Momentanleistung schwankt also zwischen 0 und $U_{max} \cdot I_{max}$.

Für unser Lämpchen folgt: $P(t) = 1{,}30\text{ A} \cdot 311\text{ V} \cdot \sin^2\left(100\pi\text{ s}^{-1} t\right)$

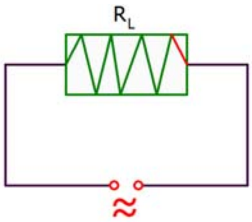
d. h. $P(t) = 404\text{ W} \cdot \sin^2\left(100\pi\text{ s}^{-1} \cdot t\right)$

Dabei ist $P_{max} = 404\text{ W}$ und der Effektivwert ist

$$P_{eff} = U_{eff} \cdot I_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{\mathbf{P_{max}}}{\mathbf{2}}$$



2.2 Mit einer Spule im Stromkreis



Wir wollen eine ideale Spule verwenden, die also einen vernachlässigbaren Ohmschen Widerstand hat. Sie stellt im Wechselstromkreis dennoch einen Widerstand dar. Denn durch die sich ständig ändernde Stromstärke findet in der Spule eine dauernd sich ändernde Selbstinduktion statt. In der einen Phase steigt die Stromstärke (sagen wir) von links nach rechts von 0 auf ihr Maximum an, in der nächsten Phase ändert sich die Stromrichtung und die Stärke geht auf 0 zurück und steigt dann bis zum Maximalwert in entgegengesetzter Richtung an. Nach der Lenzschen Regel entsteht dabei eine Gegenspannung, die als sogenannter induktiver Widerstand die Spannung und damit die Stromstärke ändert.

Dies geschieht aber nicht phasengleich: Die Spannung erreicht ihre Maxima und Minima eine Viertelperiode früher als die Stromstärke. Weil dann die Gegenspannung aufgebaut wird, erreicht die Stromstärke eine Viertelperiode später die Maxima bzw. Minima.

Zwischen U und I gibt es also eine ***Phasenverschiebung***.

Die Große des induktiven Widerstands einer Spule ist $R_L = \omega L = 2\pi f \cdot L = \frac{2\pi}{T} \cdot L$.

Dazu gibt es eine Herleitung:

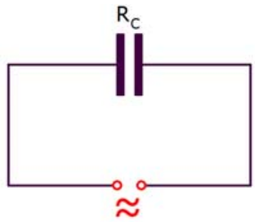
Wenn der Wechselstrom durch die Spule fließt, dann entsteht durch Selbstinduktion die

Induktionsspannung $$u_L(t) = L \cdot \dot{\Phi} = L \cdot \frac{d\Phi}{dt} = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

Mit dem Ansatz $i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t)$ folgt $$u_L = \underbrace{L \cdot \omega}_{=R_L} \cdot I_m \cdot \cos(\omega t) = R_L \cdot I_m \cdot \sin\left(\omega t + \tfrac{\pi}{2}\right),$$

wobei man die 90^O – Phasenverschiebung sieht.

2.3 Mit einem Kondensator im Stromkreis



Ein Kondensator stellt im Gleichstromkreis einen unendlich großen Weiderstand dar, denn dort wird der Stromfluss unterbrochen.

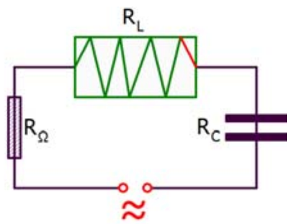
Im Wechselstromkreis fließt im Gegensatz dazu ein Lade- und Entladestrom. Denn der Kondensator wird in schnellem Wechsel auf- und entladen.
Dadurch wirkt ein Kondensator im Wechselstromkreis als endlicher Widerstand.

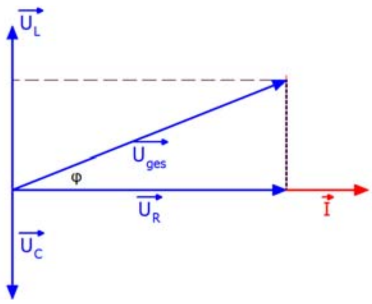
Man kann ihn berechnen durch $$R_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{T}{2\pi \cdot C}$$

Strom und Spannung sind hier auch um 90^O phasenverschoben: Die Spannung erreiche ihre Maxima und Minima eine Viertelperiode später als die Stromstärke.

2.4 Mit einem Ohmschen Widerstand, einer Spule und einem Kondensator in Reihenschaltung im Wechselstromkreis

Mit Hilfe eines Zeigerdiagramms kann man folgende Überlegung aufstellen:
Man beginnt in x-Richtung mit den Zeigern für die Stromstärke I und für den in gleicher Phase schwingende Spannung am Ohmschen Widerstand U_R.
Dann trägt man die am Kondensator liegende Teilspannung U_C nach unten ab (denn diese eilt dem Strom um eine Viertelperiode hinterher) und die Teilspannung, die an der Spule liegt, nach oben (sie eilt dem Strom voraus).





Durch Vektoraddition erhielt man den Pfeil für die Gesamtspannung: Zuerst werden die gegeneinander gerichteten Spannungen U_L und U_C vektoriell addiert, was algebraisch eine Subtraktion ist. Zusammen mit U_R ergibt das dann die Gesamtspannung, die im Beispiel hier gegenüber I um die Phase φ vorauseilt.

Nach Pythagoras erhält man: $U_{ges} = \sqrt{(U_L - U_C)^2 + U_R{}^2}$ und $\tan\varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R}$

2.5 Aufgaben zu den Grundlagen (Lösungen im Originaltext)

Aufgabe 1

Ein Widerstand mit $C = 5\ \mu F$ wird an 220 V Wechselspannung mit f = 50 Hz angeschlossen.

Die Widerstände der Zuleitungen seien vernachlässigbar klein..

Berechne den kapazitiven Widerstand und die effektive und die maximale Stromstärke.
Wie lautet die Gleichungen für die momentane Spannung und Stromstärke?

Aufgabe 2

Bei einem Kondensator soll die Kapazität bestimmt werden. Dazu schaltet man einen einfachen Wechselstromkreis mit 50 Hz und mit nur diesem Kondensator und vernachlässigbaren Zuleitungen. Die Messgeräte zeigen an: U_C = 60 V und $I_C = 80mA$. Bestimme die Kapazität.

Aufgabe 3

Eine Spule mit der Selbstinduktion L = 0,5 H und vernachlässigbarem ohmschen Widerstand wird an eine Wechselspannung (220 V, 50 Hz) angeschlossen.

Wie groß sind dann die Effektiv- und Maximalwerte der Stromstärke und die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung?

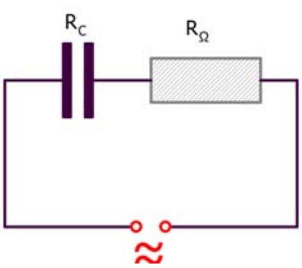
Aufgabe 4

Bei einer Spule soll die Induktivität L bestimmt werden. Dazu schaltet man einen einfachen Wechselstromkreis mit 50 Hz und mit nur diesem Kondensator und vernachlässigbaren Zuleitungen. Die Messgeräte zeigen an: U = 220 V und $I_C = 2\ A$. Bestimme L.

Aufgabe 5

Eine Spule mit dem ohmschen Widerstand $R_\Omega = 2000\ \Omega$ und der Induktivität L = 8 H ist an eine Wechselspannung mit 1000 V und 50 Hz angeschossen.
Bestimme die effektive Stromstärke und die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung.

Aufgabe 6



An einem Wechselstromgenerator mit der Ausgangsspannung 10 V und der Frequenz 160 Hz liegt eine Reihenschaltung bestehend aus einem ohmschen Widerstand mit $R_\Omega = 1\,k\Omega$ und ein Kondensator mit der Kapazität $C = 1\ \mu F$. Bestimme die Teilspannungen und die Phasenverschiebung φ zwischen Gesamtspannung und Stromstärke.

Aufgabe 7

Ein Wechselstromkreis enthält einen Sinusgenerator der 220 V bei 50 Hz liefert. In Reihe geschaltet sind eine Ohmscher Widerstand mit 60 Ω ,eine Spule mit L = 0,5 H und ein Kondensator mit $10\ \mu F$.

Berechne

a) die effektive und die maximale Stromstärke,

b) die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung,

c) die Effektivspannungen an den drei Geräten.

Aufgabe 8

An ein unbekanntes Bauteil wird eine Wechselspannung mit dem konstanten Effektivwert U_{eff} = 12 V angelegt. Die Frequenz der Wechselspannung kann verändert werden. Die Tabelle zeigt die gemessene Stromstärke I_{eff} in Abhängigkeit von der Frequenz f.

f in Hz	100	150	200	250
I_{eff} in mA	32	21	16	13

Berechne zu diesen Frequenzen jeweils den Wechselstromwiderstand Z.
Kann es sich bei diesem Bauteil um einen ohmschen Widerstand, oder um eine Spule oder um einen Kondensator handeln?

Aufgabe 9

a) Eine Glühlampe (12 V / 40 W) wird an eine Quelle mit sinusförmiger Wechselspannung (U_{eff} = 12,0 V; f = 50,0 Hz) angeschlossen.
Welchen Wert kann die Momentanstromstärke maximal annehmen?

Zur Zeit t = 0 s beträgt die Spannung 0 V und steigt an.
Berechnen Sie den Zeitpunkt, zu dem die Stromstärke erstmals den Wert 2,50 A erreicht.
Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der in der Lampe umgesetzten elektrischen Leistung P(t) im Intervall $0\ s \le t \le 20\ ms$ grafisch dar (t-Achse: 1 cm ≙ 2 ms; P-Achse: 1 cm ≙ 20 W).

b) Eine andere Glühlampe (110 V / 250 mA) soll mithilfe einer geeignet zu wählenden Spule mit vernachlässigbarem ohmschem Widerstand an der Netzsteckdose (U_{eff} = 230 V; f = 50,0 Hz) betrieben werden.
Skizzieren Sie die dafür erforderliche Schaltung.
Berechnen Sie den Scheinwiderstand der gesamten Anordnung, die Eigeninduktivität L der benötigten Spule sowie die an der Spule anliegende Effektivspannung $U_{L,eff}$.
Berechnen Sie die Phasenverschiebung zwischen U(t) und I(t).
Welchen Vorteil bietet die Spule gegenüber der Verwendung eines ohmschen Vorwiderstandes?

3 Umfangreichere Aufgaben

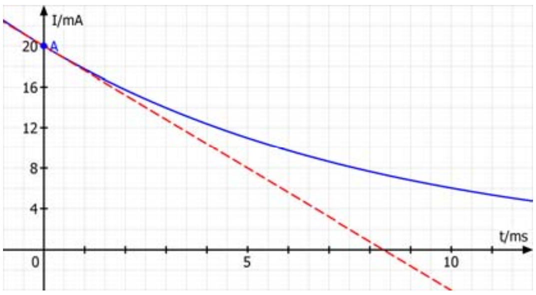
Aufgabe 10

a) Eine Glühlampe hat die Betriebsdaten 110 V/100 W. Sie soll durch Vorschalten eines
(1) Ohmschen Widerstandes oder
(2) eines Kondensators oder
(3) einer Spule
an eine sinusförmige Wechselspannung mit U_{eff} = 220 V und f = 50 Hz angeschlossen werden.

Für welche Werte R, C bzw. L werden die Betriebsdaten eingehalten?

Der Ohmsche Widerstand der Spulen ist zu vernachlässigen.

Aufgabe 11



a) Ein Kondensator wird bis auf eine Spannung von 10 V aufgeladen und anschließend über einen Widerstand R = 500 Ω entladen.

Der zeitliche Verlauf des Entladestroms ist aus der Abbildung ersichtlich.

Zeige, dass für den Entladungsvorgang gilt: $I(t) = -R \cdot C \cdot \dot{I}(t)$.

Ermittle damit und mit Hilfe der Abbildung die Kapazität C_1 des Kondensators.

b) Ein Kondensator der Kapazität C_2 und ein Widerstand R = 500 Ω werden in Reihe geschaltet und an eine sinusförmige Wechselspannung mit U_{eff} = 10 V und veränderlicher Frequenz f angeschlossen.

f in Hz	10	15	20	30	50
I_{eff} in mA	8,52	11,54	13,72	16,33	18,41

Zeichne ein Schaubild für $1/I_{eff}^2$ in Abhängigkeit von $1/f^2$

Bestimme die Kapazität C_2 des Kondensators.

Aufgabe 12

Eine Spule mit dem Ohmschen Widerstand R_{Sp} und der Eigeninduktivität L, ein Ohmscher Widerstand mit $R_o = 10\ \Omega$ und ein Kondensator mit der Kapazität C werden in Reihe geschaltet und an einen Sinusgenerator der Spannung U(t) angeschlossen.

Bei der Bestimmung des Scheinwiderstands Z in Abhängigkeit von der Frequenz f ergibt sich folgende

Tabelle:

f in Hz	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Z in Ω	512	228	123	69	50	64	89	116	142	168

a) Stelle die Messergebnisse in einem Z-f-Diagramm dar
(f-Achse: 1 cm $\hat{=}$ 10 Hz, Z-Achse: 1 cm $\hat{=}$ 50 Ω).
Begründe den Kurvenverlauf für große und kleine Werte der Frequenz sowie das Auftreten des Minimums.

b) Berechne den Ohmschen Widerstand R_{Sp} der Spule und die Kapazität C des Kondensators, wenn die Eigeninduktivität der Spule den Wert L = 0,34 H besitzt.

c) In der Anordnung wird der Kondensator durch einen anderen mit veränderlicher Kapazität ersetzt. R_{Sp} beträgt 40 Ω .
Für welchen Wert der Frequenz f und der Kapazität C ist bei Resonanz die Spannung $U_{C,eff}$ am Kondensator doppelt so groß wie die angelegte Gesamtspannung U_{eff} des Sinusgenerators?

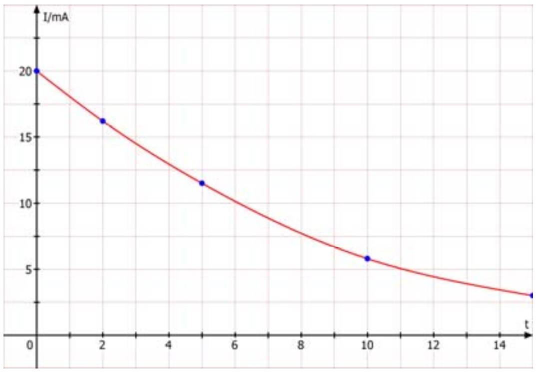
d) Ein Ohmscher Widerstand R, ein induktiver Widerstand R_L und ein kapazitiver Widerstand R_C sind in Reihe geschaltet und an einen Sinusgenerator mit variabler Frequenz f angeschlossen. Der Phasenwinkel zwischen der angelegten Generatorspannung U(t) und der Stromstärke I(t) ist φ .
Leite eine Gleichung zur Berechnung des Phasenwinkels φ her.
In der Anordnung der Teilaufgabe a ändert sich die Frequenz f im Bereich 10 Hz $\leq$ f $\leq$ 100 Hz.
Berechne φ für die Frequenzen 10 Hz und 100 Hz.
Skizziere damit den Verlauf des φ -f-Diagramms für den angegebenen Bereich.
Wie ändert sich der Verlauf, wenn der Ohmsche Widerstand verkleinert wird?

Aufgabe 13

a) Ein Kondensator wird bis auf eine Spannung von 10 V aufgeladen und anschließend über einen Widerstand R = 500 Ω entladen.
Der zeitliche Verlauf des Entladestroms ist aus der Abbildung ersichtlich. Zeige, dass für den Entladungsvorgang gilt: $I(t) = -R \cdot C$.

Auf der t-Achse ist die Einheit $10^{-3}\,\text{s}$.

Ermittle damit und mit Hilfe der Abbildung die Kapazität C_1 des Kondensators.



b) Ein Kondensator der Kapazität C_2 und ein Widerstand R = 500 Ω werden in Reihe geschaltet und an eine sinusförmige Wechselspannung mit U_{eff} = 10 V und veränderlicher Frequenz f angeschlossen.

f in Hz	10	15	20	30	50
I_{eff} in mA	8,52	11,54	13,72	16,33	18,41

Zeichne ein Schaubild für $1/I_{eff}^2$ in Abhängigkeit von $1/f^2$.

$\left(10^{-3}\,\text{s}^2 \,\hat{=}\, 1\,\text{cm};\quad 2\cdot 10^3\,\text{A}^{-2} \,\hat{=}\, 1\,\text{cm}\right)$

Zeige rechnerisch, dass sich als Schaubild eine Gerade ergibt.
Bestimme die Kapazität C_2 des Kondensators.

c) Eine Glühlampe hat die Betriebsdaten 110 V/100 W. Sie soll durch Vorschalten eines Ohmschen Widerstandes oder eines Kondensators oder einer Spule an eine sinusförmige Wechselspannung mit U_{eff} = 220 V und f = 50 Hz angeschlossen werden.
Für welche Werte R, C bzw. L werden die Betriebsdaten eingehalten?

d) Die Glühlampe aus Teilaufgabe c, eine Spule mit L = 0,667 H und ein Kondensator mit C = 15 µF werden in Reihe geschaltet und an eine Spannungsquelle mit U_{eff} = 220 V und veränderlicher Frequenz angeschlossen.
Bei welchen beiden Frequenzen leuchtet die Glühlampe gemäß ihren Betriebsdaten?

Der Ohmsche Widerstand der Spulen ist zu vernachlässigen.

Aufgabe 14

a) Ein ohmscher Widerstand $R_1 = 10{,}0\ \Omega$ und eine Spule der Eigeninduktivität $L = 2{,}10$ mH mit zu vernachlässigendem ohmschem Widerstand werden in Reihe geschaltet und an einen Sinusgenerator der Spannung $U_{eff} = 4{,}25$ V und der Frequenz $f = 1{,}33$ kHz angeschlossen.
Berechnen Sie die Stromstärke I_{eff} und die Phasenverschiebung φ zwischen U(t) und I(t).
Wie groß ist der Scheitelwert $U_{m,R}$ der Spannung am ohmschen Widerstand?

b) Der ohmsche Widerstand aus Teilaufgabe a wird durch ein Glühlämpchen mit den Betriebsdaten 4,0 V / 0,30 A ersetzt. Bei der Generatorspannung $U_{eff} = 4{,}25$ V und der Frequenz $f = 1{,}33$ kHz leuchtet das Lämpchen schwach.
Berechnen Sie den Lampenwiderstand und den induktiven Widerstand der Spule aus Teilaufgabe a.
Jetzt werden nacheinander Kondensatoren verschiedener Kapazität zu Spule und Lämpchen in Reihe geschaltet. Bei welcher Kapazität C_1 nimmt die Phasenverschiebung zwischen U(t) und $I(t)$ den Wert Null an?
Was lässt sich dann über die Helligkeit des Lämpchens aussagen?
Bei welchen Werten für die Kapazität leuchtet das Lämpchen gemäß seinen Betriebsdaten?

Das Glühlämpchen ist überlastbar; sein Widerstand soll als konstant angesehen werden.