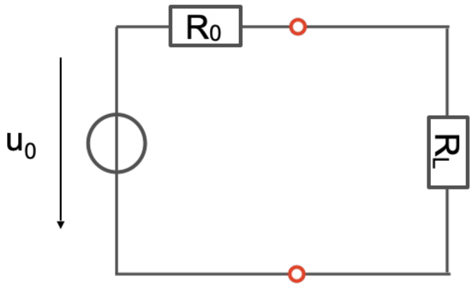
Aufgabe 1: Spannungsquelle

Folgende Abbildung zeigt eine Spannungsquelle mit Leerlaufspannung u_0 und Innenwiderstand R_0 an einer Last R_L.



Frage 1.1: Ergänzen Sie Zählpfeile für alle Spannungen und Ströme. Berechnen Sie Spannungen und Ströme.

Frage 1.2: Wandeln Sie die Spannungsquelle um in eine äquivalente Stromquelle.

Frage 1.3: Leistung: Welche Leistung wird im Lastwiderstand R_L umgesetzt?

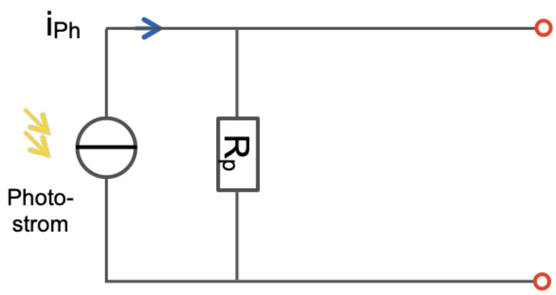
Frage 1.4: Wirkungsgrad. Wie groß ist der Anteil der Nutzleistung an der Gesamtleistung? Wann wird der Wirkungsgrad optimal? Welche Leistung wird dann umgesetzt?

Frage 1.5: Maximale Leistung. Der Lastwiderstand R_L sei variabel. Berechnen Sie die in R_L umgesetzte Leistung $P(R_L)$ in Abhängigkeit vom Lastwiderstand. Wann wird die Leistung maximal? Option: Lösen Sie die Aufgabe mit Hilfe einer Tabellenkalkulation numerisch, indem Sie für R_0 einen Wert annehmen (z.B. R_0 = 50 Ω) und RL in einem Bereich variieren (z.B. 0 bis 100 Ω). Stellen Sie den Kurvenverlauf dar.

Frage 1.6: Fehlanpassung. Der Lastwiderstand sei $R_L = 2\ R_0$ bzw $R_L = R_0 / 2$. Berechnen Sie den Wirkungsgrad und die jeweils umgesetzte Leistung. Wie weit weicht die Leistung vom Maximum ab?

Aufgabe 2: Stromquelle

Eine Photodiode wird durch das in der Abbildung gezeigte Ersatzschaltbild wiedergegeben.



Frage 2.1: Welche Kenngrößen hat das Ersatzschaltbild?

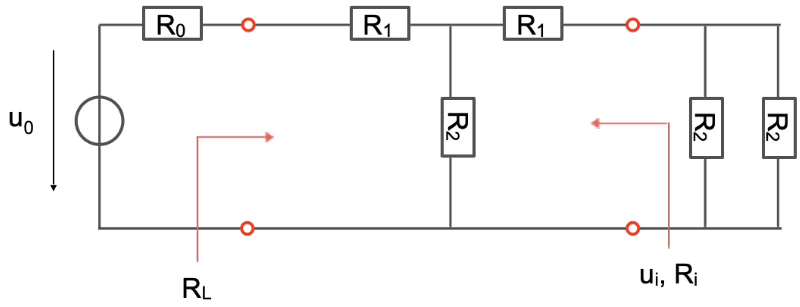
Frage 2.2: Wandeln Sie die Schaltung um in eine äquivalente Spannungsquelle.

Frage 2.3: Serienschaltung. Es werden N Photozellen in Serie (in Reihe) geschaltet. Skizzieren Sie hierfür ein summarisches Ersatzschaltbild.

Frage 2.4: Parallelschaltung. Es werden N Photozellen parallel geschaltet. Skizzieren Sie hierfür ein summarisches Ersatzschaltbild.

Aufgabe 3: Ersatzimpedanzen

Folgende Abbildung zeigt eine Quelle mit einem Widerstandsnetzwerk und zwei Lastwiderständen. Es seien $R_0 = R_1 = 10\ \Omega$ und $R_2 = 20\ \Omega$.



Frage 3.1: Berechnen Sie den Ersatzwiderstand R_L, der die Schaltung aus Sicht der Quelle ersetzt.

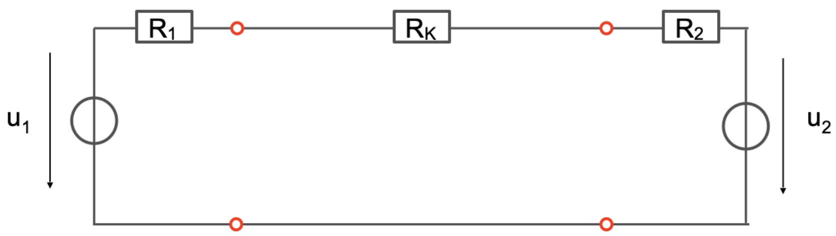
Frage 3.2: Berechnen Sie eine Ersatzquelle mit Leerlaufspannung u_i und Innenwiederstand R_i, die die Schaltung aus Sicht der Last ersetzt.

Frage 3.3: Eingangsspannung und Eingangsstrom. Berechnen Sie die Eingangsspannung und den Eingangsstrom im allgemeinen Fall (R_0, R_1 und R_2 beliebig).

Frage 3.4: Ausgangsspannung und Ausgangsstrom. Berechnen Sie die Ausgangsspannung und den Ausgangsstrom im allgemeinen Fall (R_0, R_1 und R_2 beliebig).

Aufgabe 4: Einspeisung ins Netz

Eine Spannungsquelle u_2 (z.B. eine Photovoltaikanlage) speist in ein Netz ein. Das Netz wird durch eine Ersatzspannungsquelle (u_1, R_1) und eine Kabelimpedanz (R_k) wiedergegeben, wie in folgender Abbildung gezeigt.



Frage 4.1: Ergänzen Sie die Zählpfeile für Ströme und Spannungen. Schreiben Sie die Gleichungen zur Schaltung auf.

Frage 4.2: Lastfluss. Wie groß muss u_2 sein, damit Leistung ins Netz fliesst? Was geschieht, wenn $u_2 < u_1$ ist? Hinweis: Verwenden Sie die Leistung im Verbraucherzählpfeilsystem.

Frage 4.3: Welche Leistung geht auf dem Kabel verloren (wird am Verlustwiderstand R_K in Wärme umgesetzt)?

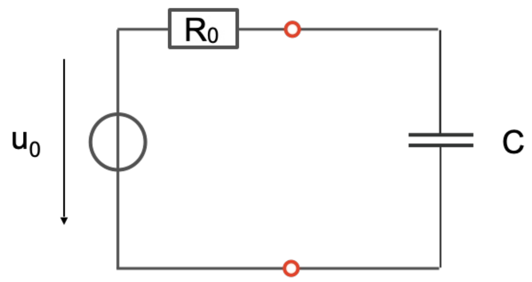
Frage 4.4: Welche Leistung nimmt das Netz auf? Wie lässt sich diese Leistung in der Ersatzschaltung erkennen?

Frage 4.5: Skizzieren Sie den Lastfluss für folgende Spannungen: (1) $u_1 = 24\text{V}$, $u_2 = 20$ V. (2) $U_1 = -24$ V, $u_2 = -20$ V.

Frage 4.6: Welche Probleme ergeben sich durch den Zusammenhang von Spannung und Lastfluss in der Praxis bei der Einspeisung durch erneuerbare Energien?

Aufgabe 5: Kapazitäten.

Folgende Abbildung zeigt eine Kapazität, die an einer Spannungsquelle betrieben wird.



Frage 5.1: Ergänzen Sie die Zählpfeile für Ströme und Spannungen. Erstellen Sie die Systemgleichungen.

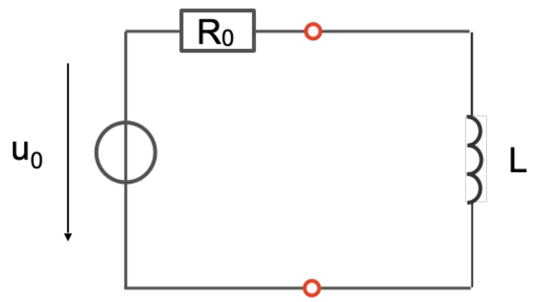
Frage 5.2: Wie berechnet sich u_2 in Abhängigkeit von u_1?

Frage 5.3: Skizzieren Sie das Verhalten der Schaltung beim Einschalten einer Gleichstromquelle (alle Ströme und Spannungen). Hinweis: Verwenden Sie den Zustand vor dem Einschalten und den eingeschwungenen Zustand. Erläutern Sie dann mit Hilfe der Systemgleichungen, wie der eingeschwungene Zustand aus der Ausgangsposition erreicht wird.

Frage 5.4: Erzwungene Schwingung mit Wechselspannung. Die Schaltung sei mit einer Wechselspannungsquelle betrieben, wobei der eingeschwungenen Zustand abgewartet wird. Wie verhalten sich Ströme und Spannungen in Abhängigkeit der Frequenz? Hinweis: Verwenden Sie zur Argumentation die Systemgleichungen.

Aufgabe 6: Induktivitäten.

Folgende Abbildung zeigt eine Induktivität, die an einer Spannungsquelle betrieben wird.



Frage 6.1: Ergänzen Sie die Zählpfeile für Ströme und Spannungen. Erstellen Sie die Systemgleichungen.

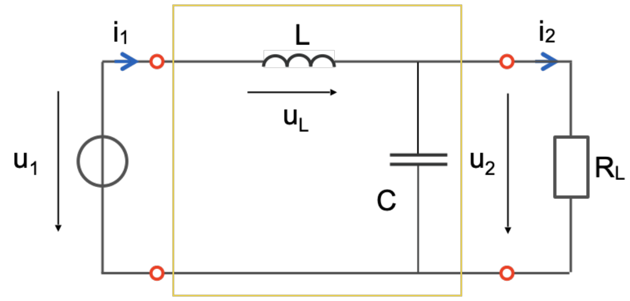
Frage 6.2: Wie berechnet sich u_2 in Abhängigkeit von u_1?

Frage 6.3: Skizzieren Sie das Verhalten der Schaltung beim Einschalten einer Gleichstromquelle (alle Ströme und Spannungen). Hinweis: Verwenden Sie den Zustand vor dem Einschalten und den eingeschwungenen Zustand. Erläutern Sie dann mit Hilfe der Systemgleichungen, wie der eingeschwungene Zustand aus der Ausgangsposition erreicht wird.

Frage 6.4: Erzwungene Schwingung mit Wechselspannung. Die Schaltung sei mit einer Wechselspannungsquelle betrieben, wobei der eingeschwungenen Zustand abgewartet wird. Wie verhalten sich Ströme und Spannungen in Abhängigkeit der Frequenz? Hinweis: Verwenden Sie zur Argumentation die Systemgleichungen.Frage 6.1:

Aufgabe 7: Schaltungen mit RLC.

Folgende Schaltung zeigt ein Zweitor (bestehend aus L und C), das an einer Spannungsquelle und einer Last betrieben wird.



Frage 7.1: Ergänzen Sie die Zählpfeile für Ströme und Spannungen. Erstellen Sie die Systemgleichungen.

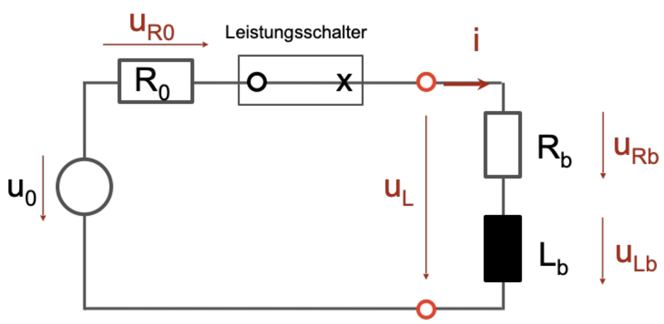
Frage 7.2: Skizzieren Sie das Verhalten der Schaltung beim Einschalten einer Gleichstromquelle (alle Ströme und Spannungen).

Frage 7.3: Leistung. Welchen Einfluss hat das Zweitor auf die von der Quelle zur Last übertragene Leistung? Hat das Zweitor Verluste?

Frage 7.4: Erzwungene Schwingung mit Wechselspannung. Wie verhält sich die Ausgangsspannung u_2 im Verhältnis zur Eingangsspannung u_1, wenn man die Schaltung mit einer Wechselspannung betreibt und die Frequenz kontinuierlich erhöht? Es wird jeweils der eingeschwungenen Zustand abgewartet.

Aufgabe 8: Einschalten und Ausschalten.

Ein Antrieb soll durch einen Leistungsschalter eingeschaltet bzw. ausgeschaltet werden, wie in folgender Abbildung gezeigt. Der Antrieb ist durch einen ohmschen Widerstand und eine Wicklungsinduktivität wiedergegeben.



Frage 8.1: Welche Leistung nimmt der Antrieb auf? Welche Bedeutung hat der Lastwiderstand R_b?

Frage 8.2: Einschalten. U_0 sei eine Gleichspannungsquelle. Skizzieren Sie die Ströme und Spannungen beim Einschalten.

Frage 8.3: Ausschalten. Der Antrieb soll nun aus dem eingeschalteten Zustand (Frage 8.2) mit Hilfe des Leistungsschalters ausgeschaltet werden. Worauf ist hierbei zu achten? Welche Spannung entsteht über dem geöffneten Leistungsschalter? Skizzieren Sie die Verläufe der Ströme und Spannungen.

Frage 8.4: Betrieb mit Wechselspannung. Welche Unterschiede ergeben sich, wenn die Last bei gleicher Ersatzschaltung mit Wechselspannung betrieben wird. Welche Unterschiede gibt es speziell beim Einschalten und beim Ausschalten?

Anhang A – Komplexe Zeiger

Phasorenschreibweise

Unter Phasoren bzw. komplexen Zeigern werden komplexe Zahlen verstanden, die bei Wechselstromkreisen mit sinusförmigen Signalen fester Frequenz die Phasenlage der Spannungen, Ströme bzw. Impedanzen oder Admittanzen darstellen. Diese Interpretation vereinfacht die Berechnung von Schaltungen, die mit konstanter Frequenz betrieben werden, im eingeschwungenen Zustand. An dieser Stelle seien die Grundlagen dieser Methode noch einmal zusammengefasst.

Elektrische Schaltungen werden durch Differenzialgleichungen beschrieben. Beim Betrieb mit sinusförmigen Signalen fester Frequenz (harmonische Schwingung, erzwungene Schwingung) ist die Lösung der Differenzialgleichung ebenfalls ein sinusförmiges Signal. Für die Lösung der Differenzialgleichung kann man somit folgende Annahme treffen:

$$u(t) = \hat{u} \cos(\omega t + \phi_u) \tag{A.1}$$

Hierbei bedeuten û die Amplitude des Signals u(t) und ϕ_u den Phasenwinkel des Signals mit Kreisfrequenz ω. Für die Phasorenschreibweise wird das Signal mit Hilfe eines Imaginärteils zu einer komplexen Funktion ergänzt.

$$\underline{u}(t) = \hat{u} \cos(\omega t + \phi_u) + j \hat{u} \sin(\omega t + \phi_u) \tag{A.2}$$

Diese Konstruktion dient der Vereinfachung der Berechnung. Das ursprüngliche Signal u(t) im Zeitbereich erhält man aus dem Realteil der komplexen Funktion, d.h. u(t) = Re{(u(t))}. Die komplexe Schreibweise lässt sich nun mit Hilfe der Eulerschen Beziehung $e^{j\theta} = \cos(\theta) + j \sin(\theta)$ wie folgt umwandeln.

$$\underline{u}(t) = \hat{u}\, e^{j\omega t} e^{j\phi_u} = \hat{u}\, e^{j\phi_u} e^{j\omega t} \tag{A.3}$$

Letzterer Ausdruck $e^{j\omega t}$ beschreibt als Zeitfaktor eine Kreisbewegung mit der Frequenz ω im Einheitskreis (wegen $|e^{j\omega t}| = 1$). Ersterer Ausdruck beschreibt die Amplitude und Phasenlage des Signals, somit den komplexen Zeiger (bzw. Phasor) $\underline{U}$.

$$\underline{u}(t) = \hat{u}\, e^{j\phi_u} e^{j\omega t} = \underline{U}\, e^{j\omega t} \tag{A.4}$$

Der komplexe Zeiger $\underline{U}$ enthält keinerlei Zeitabhängigkeit mehr, sondern beschreibt Amplitude und Phasenlage des Signals als komplexe Amplitude.

$$\underline{U} = \hat{u}\, e^{j\phi_u} \tag{A.5}$$

Setzt man die Schreibweise

$$\underline{u}(t) = \underline{U}\, e^{j\omega t} \tag{A.6}$$

in eine Differenzialgleichung ein, so lässt sich die Zeitabhängigkeit eliminieren, da diese einheitlich der Beziehung $e^{j\omega t}$ entspricht. Die Differenzialgleichung reduziert sich dann auf eine algebraische Gleichung, die sich mit algebraischen Mitteln lösen lässt.

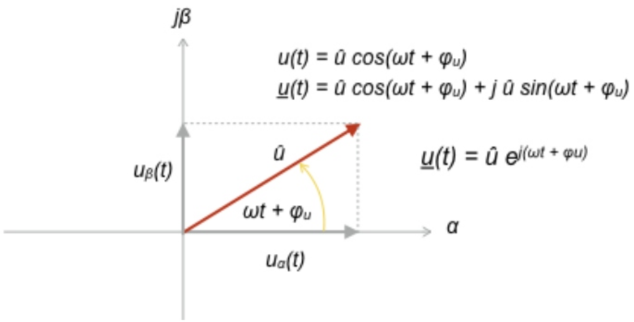
Koordinatensystem αβ der komplexen Erweiterung des Zeitsignals

Ein reelles Zeitsignal wird in Phasorenschreibweise wird das Signal mit Hilfe eines Imaginärteils zu einer komplexen Signal ergänzt (siehe A.1 und A.2):

$$u(t) = \hat{u} \cos(\omega t + \phi_u)$$

$$\underline{u}(t) = \hat{u} \cos(\omega t + \phi_u) + j \hat{u} \sin(\omega t + \phi_u)$$

Realteil und Imaginärteil kann man somit in der Zeigerdarstellung in der komplexen Ebene wie in folgender Abbildung gezeigt darstellen.



Man erhält für den Realteil und den Imaginärteil:

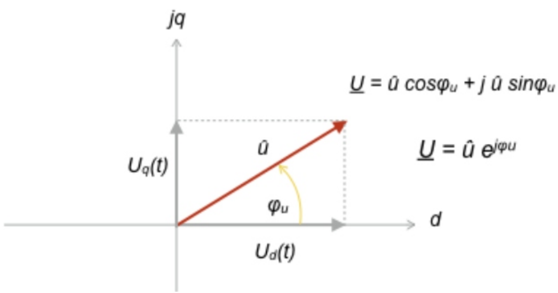
$$u_\alpha(t) = \hat{u}\cos(\omega t + \phi_u)$$

$$u_\beta(t) = \hat{u}\sin(\omega t + \phi_u)$$

Das Koordinatensystem αβ entspricht somit der komplexen Erweiterung des Zeitsignals u(t).

Koordinatensystem dq des komplexen Zeigers

Ist man nur an der Phasenlage des komplexen Zeigers interessiert, ohne die Drehbewegung mit Frequenz ω, nimmt man statt des Zeitsignals u(t) den komplexen Zeiger $\underline{U}$ als Basis, wie in folgender Abbildung gezeigt (siehe A.5).



Man erhält für den Realteil und den Imaginärteil:

$$U_d = \hat{u}\cos(\phi_u)$$

$$U_q(t) = \hat{u}\sin(\phi_u)$$

Wie man sieht, ist dieses Koordinatensystem statisch: es enthält keine Drehbewegung.