

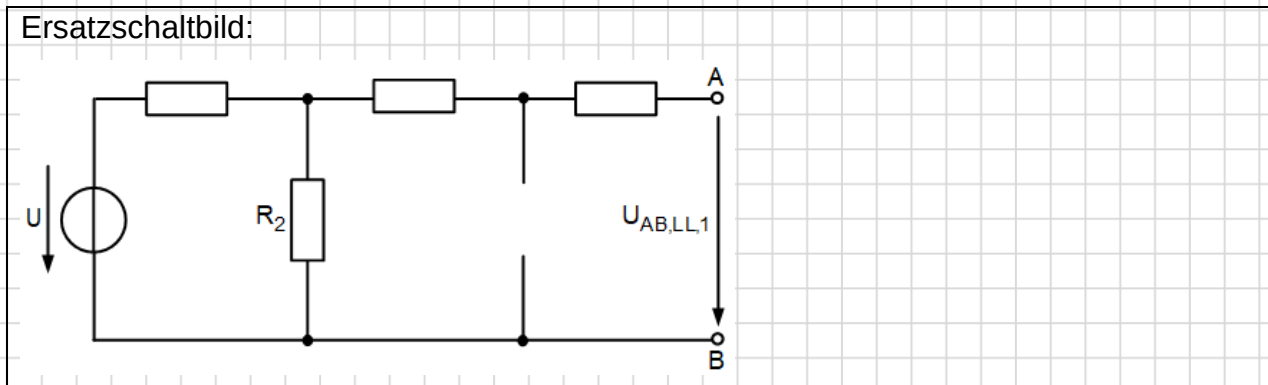
Aufgabe 1 – Gleichstrom**Aufgabe 1.1 – Überlagerungssatz (ÜS)**

- a) Der ÜS darf angewendet werden, weil **das Netzwerk linear ist**.
- b) Ströme und Spannungen dürfen überlagert werden, weil **es lineare Größen sind**.
- c) Leistungen dürfen nicht überlagert werden, weil **es keine linearen Größen sind**.
 $(P = U \cdot I, P_R = R \cdot I^2, P_R = U^2/R)$.
- d) Spannungsquellen werden wirkungslos gemacht, indem man sie durch **einen Kurzschluss ($R = 0 \Omega$)** ersetzt.

Stromquellen werden wirkungslos gemacht, indem man sie durch **einen Leerlauf ($R = \infty \Omega$, bzw. Unterbrechung)** ersetzt.

Aufgabe 1.2 – Ersatzspannungsquelle

- a) Teilspannung $U_{AB,LL,1}$ aus alleiniger Wirkung von U :



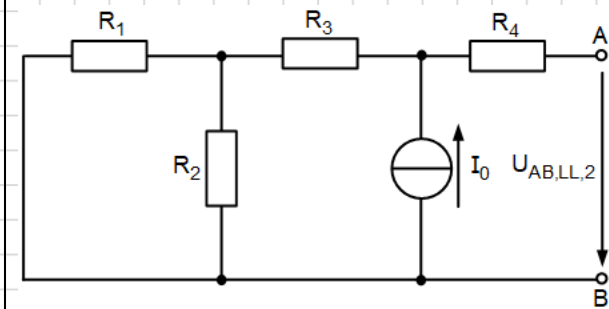
$$U_{R2} = U_{AB,LL,1}$$

Spannungsteiler-Regel:

$$U_{AB,LL,1} = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 30 \text{ V} \cdot \frac{18 \Omega}{12 \Omega + 18 \Omega} = 18 \text{ V}$$

b) Teilspannung $U_{AB,LL,2}$ aus alleiniger Wirkung von I_0 :

Ersatzschaltbild:



$$R_{\text{ers}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{12 \, \Omega \cdot 18 \, \Omega}{12 \, \Omega + 18 \, \Omega} + 2,8 \, \Omega = 10 \, \Omega$$

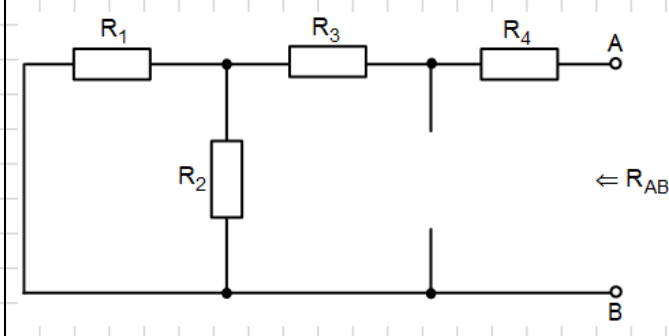
$$U_{AB,LL,2} = R_{\text{ers}} \cdot I_0 = 10 \, \Omega \cdot 1 \, \text{A} = 10 \, \text{V}$$

c) Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$:

$$U_{AB,LL} = U_{AB,LL,1} + U_{AB,LL,2} = 18 \, \text{V} + 10 \, \text{V} = 28 \, \text{V}$$

d) Ersatzwiderstand R_{ers} :

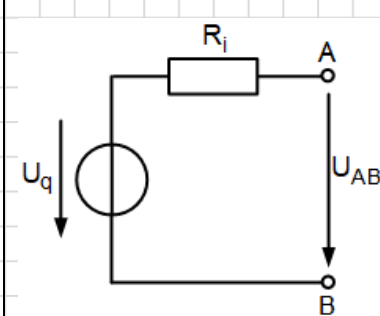
Ersatzschaltbild:



$$R_{\text{ers}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_4 = \frac{12 \, \Omega \cdot 18 \, \Omega}{12 \, \Omega + 18 \, \Omega} + 2,8 \, \Omega + 2 \, \Omega = 12 \, \Omega$$

- e) Ersatzschaltbild der Ersatzspannungsquelle, sowie Leerlaufspannung U_q und Innenwiderstand R_i :

Ersatzschaltbild:



Leerlaufspannung:

$$U_q = U_{AB,LL} = 28 \text{ V}$$

Innenwiderstand:

$$R_i = R_{ers} = 12 \Omega$$

Aufgabe 1.3 – Ströme und Leistungen

- a) Kurzschluss-Strom I_K :

$$I_K = \frac{U_q}{R_i} = \frac{28 \text{ V}}{12 \Omega} = 2,33 \text{ A}$$

- b) Teil-Kurzschluss-Strom $I_{K,2}$ aus der alleinigen Wirkung von I_0 :

$$I_{K,2} = I_K - I_{K,1} = 2,33 \text{ A} - 1,5 \text{ A} = 0,83 \text{ A}$$

- c) Leistung P_L in R_L :

$$P_L = R_L \cdot I_L^2 = R_L \cdot \left(\frac{U_q}{R_i + R_L} \right)^2 = 6 \Omega \cdot \left(\frac{28 \text{ V}}{12 \Omega + 6 \Omega} \right)^2 = 14,52 \text{ W}$$

- d) Maximale Leistung, wenn

$$R_L = R_i = 12 \Omega$$

(Kurze Begründung: Ein Stichwort genügt).

Stichwort: Leistungsanpassung.

- f) Maximale Leistung:

$$P_{L,max} = 12 \Omega \cdot \left(\frac{28 \text{ V}}{12 \Omega + 12 \Omega} \right)^2 = 16,33 \text{ W}$$

Σ A 1

Aufgabe 2 – Schaltvorgänge – Verhalten der Spule

Aufgabe 2.1 – Grundgesetz für die Spule L

a) Im Gegensatz zum Ohmwiderstand ist die Spule ein **Energiespeicher**.

b) Das Grundgesetz für die Spule lautet: $u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$

c) Die Energie kennzeichnende Größe bei der Spule ist **der Spulenstrom $i_L(t)$** .

d) Die Energie kennzeichnende Größe darf nicht **springen**.

Die Energie kennzeichnende Größe muss **stetig** verlaufen.

Aufgabe 2.2 – Schalter S war bzw. ist unendlich lange geöffnet.

a) **Ströme und Spannungen für $t = 0_-$:**

Bitte begründen Sie die Werte kurz!

Größe	Begründung
$i(t = 0_-) = 0 \text{ A}$	Kein geschlossener Stromkreis.
$i_L(t = 0_-) = 0 \text{ A}$	Kein geschlossener Stromkreis (und Spule entladen).
$u_{R2}(t = 0_-) = 0 \text{ V}$	OG mit $i_L = 0 \text{ A} \rightarrow u_{R2} = R_2 i_L = 0 \text{ V}$
$i_3(t = 0_-) = 0 \text{ A}$	Kein geschlossener Stromkreis.
$u_{R3}(t = 0_-) = 0 \text{ V}$	OG mit $i_3 = 0 \text{ A} \rightarrow u_{R3} = R_3 i_3 = 0 \text{ V}$
$u_L(t = 0_-) = 0 \text{ V}$	Aus MR mit OG mit $u_{R2} = u_{R3} = 0 \text{ V} \rightarrow u_L = 0 \text{ V}$
$u_{AB}(t = 0_-) = U$	MR: $u_{AB} = U - R_1 i = U - R_1 \cdot 0 \text{ A} = U$

Aufgabe 2.3 – Schalter S wird zum Zeitpunkt $t = 0$ geschlossen:
a) Ströme und Spannungen kurz nach dem Schließen von S – Zeitpunkt $t = 0_+$:

Bitte ebenfalls jeweils kurze Begründung!

 $i_L(t = 0_+) = 0 \text{ A}$, weil der Strom nicht springen darf. Er muss stetig verlaufen.

 $u_{R2}(t = 0_+) = 0 \text{ V}$, weil kein Strom durch R_2 fließt.

$$i(t = 0_+) = \frac{U}{R_1 + R_3} \quad \text{Es gibt nur eine Masche} \rightarrow \text{MR und OG.}$$

$$i_3(t = 0_+) = i(t = 0_+) = \frac{U}{R_1 + R_3} \quad \text{KR mit } i_L = 0 \text{ A.}$$

$$u_{R3}(t = 0_+) = U \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} \quad \text{Spannungsteiler-Regel, bzw. OG.}$$

$$u_L(t = 0_+) = u_{R3}(t = 0_+) = U \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} \quad \text{MR mit } u_{R2} = 0 \text{ V, da } i_L = 0 \text{ A (OG)}$$

$$u_{AB}(t = 0_+) = u_{R3}(t = 0_+) = U \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} \quad \text{MR.}$$

Aufgabe 2.3 – Schalter S ist unendlich lange geschlossen:
a) S ist unendlich lange geschlossen – Zeitpunkt $t = \infty$:

Bitte ebenfalls jeweils kurze Begründung!

 $u_L(t = \infty) = 0 \text{ V}$, weil Spule stationär bei Gleichstrom $\rightarrow$ Kurzschluss (KS).

$$i(t = \infty) = \frac{U}{R_{\text{ers}}} \quad \text{mit} \quad R_{\text{ers}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} + R_1 \quad \text{L ist stationär wirkungslos (KS).}$$

 R_2 ist somit parallel zu R_3 . R_1 in Reihe.

$$u_{AB}(t = \infty) = u_{R2} = u_{R3} = U \cdot \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}}$$

mit $R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$

Spannungsteiler.

$$u_{R2}(t = \infty) = u_{R3} = U \cdot \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}}$$

MR mit $u_L = 0 \text{ V}$

$$u_{R3}(t = \infty) = u_{R2} = u_{AB} = U \cdot \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}}$$

MR.

$$i_L(t = \infty) = \frac{u_{R2}}{R_2} = U \cdot \frac{R_{23}}{R_2 \cdot (R_1 + R_{23})}$$

OG.

b) Erneutes Öffnen von S:

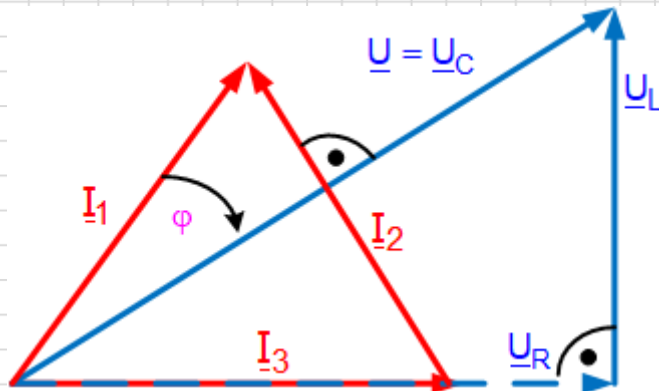
Wenn S nun wieder geöffnet würde, dann würde der Spulenstrom zunächst über die Masche R_3 , R_2 und L weiterfließen und gemäß einer e-Funktion bis auf den Wert null abklingen. Die anfangs in der Spule gespeicherte Energie würde sich während des Ausgleichsvorgangs in R_2 und R_3 in Wärme umwandeln.

Notizen:
 $\Sigma A 2$

Aufgabe 3 – Wechselstrom

Aufgabe 3.1 – Zeigerdiagramm

a) Qualitatives Zeigerdiagramm:



b) Phasenverschiebungswinkel φ in obiges Zeigerdiagramm eintragen.

Die Schaltung nimmt **kapazitive** Blindleistung auf, weil $\varphi < 0^\circ$ ist.

Aufgabe 3.2 – Impedanzen

a) Impedanzen in kartesischer Form:

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} = -j \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = -j \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ s}^{-1} \cdot 40 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = -j \cdot 79,58 \, \Omega$$

$$\underline{Z}_L = j \cdot \omega \cdot L = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ s}^{-1} \cdot 200 \cdot 10^{-3} \text{ H} = j \cdot 62,83 \, \Omega$$

$$\underline{Z}_{RL} = R + \underline{Z}_L = 100 \, \Omega + j \cdot 62,83 \, \Omega = (100 + j \cdot 62,83) \, \Omega$$

Aufgabe 3.3 – Ströme und Spannungen

a) Ströme und Spannungen in kartesischer Form:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_C} = \frac{200 \text{ V}}{-j \cdot 79,58 \, \Omega} = j \cdot 2,51 \text{ A}$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{RL}} = \frac{200 \text{ V}}{(100 + j \cdot 62,83) \Omega} \cdot \frac{(100 - j \cdot 62,83) \Omega}{(100 - j \cdot 62,83) \Omega} = \frac{200 \text{ V}}{(100 \Omega)^2 + (62,83)^2} \cdot (100 - j \cdot 62,83) \Omega$$

$$\underline{I}_3 = \frac{200 \text{ V}}{13.947,6 \Omega^2} \cdot (100 - j \cdot 62,83) \Omega = (1,43 - j \cdot 0,9) \text{ A}$$

$$I_3 = |\underline{I}_3| = \sqrt{(1,43 \text{ A})^2 + (0,9 \text{ A})^2} = 1,69 \text{ A}$$

$$\underline{U}_L = \underline{Z}_L \cdot \underline{I}_3 = j \cdot 62,83 \Omega \cdot (1,43 - j \cdot 0,9) \text{ A} = (56,55 + j \cdot 89,85) \text{ V}$$

$$U_L = \sqrt{(56,55 \text{ V})^2 + (89,85 \text{ V})^2} = 106,16 \text{ V}$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = j \cdot 2,51 \text{ A} + (1,43 - j \cdot 0,9) \text{ A} = (1,43 + j \cdot 1,61) \text{ A}$$

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}_1} = \frac{200 \text{ V}}{(1,43 + j \cdot 1,61) \text{ A}} \cdot \frac{(1,43 - j \cdot 1,61) \text{ A}}{(1,43 - j \cdot 1,61) \text{ A}} = \frac{200 \text{ V}}{(1,43 \text{ A})^2 + (1,61 \text{ A})^2} \cdot (1,43 - j \cdot 1,61) \text{ A}$$

$$\underline{Z} = \frac{200 \text{ V}}{4,367 \text{ A}^2} \cdot (1,43 - j \cdot 1,61) \text{ A}$$

$$\underline{Z} = (61,68 - j \cdot 69,44) \Omega$$

Oder aus der Parallelschaltung von $\underline{Z}_C$ und $\underline{Z}_{RL}$.

Aufgabe 3.4 – Leistungen

a) Scheinleistung $\underline{S}$, Wirkleistung P und Blindleistung Q :

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}_1^* = 200 \text{ V} \cdot (1,43 - j \cdot 1,61) \text{ A} = (286 - j \cdot 322) \text{ VA}$$

$$P = \operatorname{Re}(\underline{S}) = 286 \text{ W}$$

$$Q = \operatorname{Im}(\underline{S}) = -322 \text{ var}$$

Es handelt sich um **kapazitive** Blindleistung, weil **Q negativ ist**.

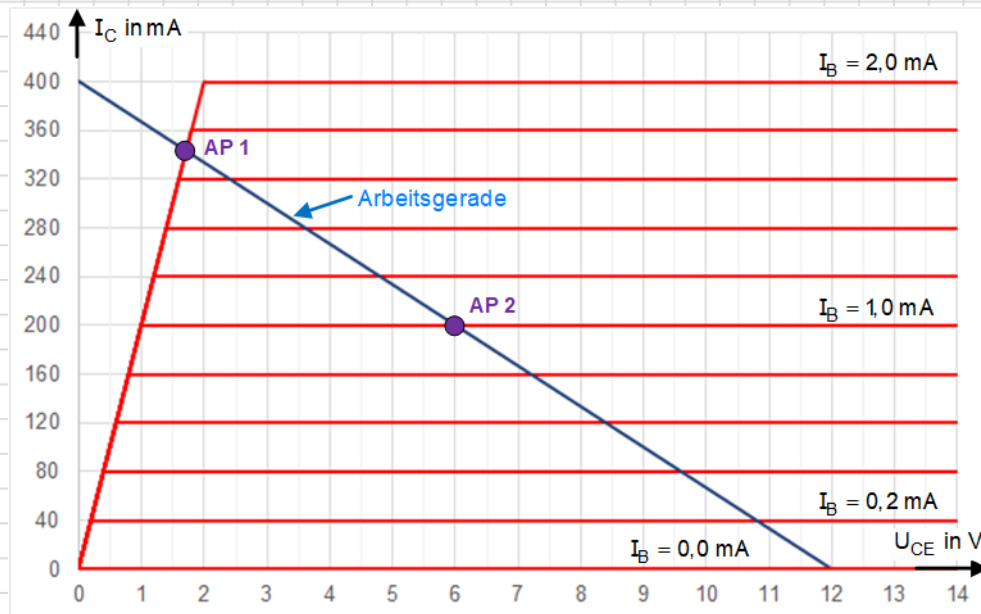
b) Leistung P_R :

$$P_R = R \cdot I_3^2 = 100 \Omega \cdot (1,69 \text{ A})^2 = 285,61 \text{ W}$$

Es gilt $P_R \approx P = 286 \text{ W} \rightarrow$ Die kleine Abweichung ist rundungsbedingt!!

Notizen:

$\Sigma A 3$

Aufgabe 4 – Transistorschaltung**Aufgabe 4.1 – Daten aus dem Kennlinienfeld****a) Spannung U_{Bat} , Gleichstromverstärkung B , Kollektor-Emitter-Widerstand R_{CE} :**

$$U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$$

Begründung: Entspricht dem U_{CE} -Achsenabschnitt der AG.

$$B = \frac{I_{\text{C0}}}{I_{\text{B}}} = \frac{400 \text{ mA}}{2,0 \text{ mA}} = 200$$

Werte aus oberstem Kennlinienast.

$$R_{\text{CE}} = \infty \Omega$$

Begründung: Steigung der Kennlinien (im ungesättigten Bereich) ist null.

b) Lastwiderstand R_{L} für die oben gegebene Arbeitsgerade:

$$R_{\text{L}} = \frac{U_{\text{Bat}}}{I_{\text{C,Achs}}} = \frac{12 \text{ V}}{400 \text{ mA}} = 30 \Omega$$

Aufgabe 4.2 – Arbeitspunkte**a) Arbeitspunkt, sodass $I_{\text{C}} = I_{\text{C,max}}$ durch R_{L} fließt.**

$$I_{\text{C,max}} \approx 340 \text{ mA}$$

Diesen AP 1 in obiges Diagramm eintragen!

$$I_{\text{B,min}} = 1,7 \text{ mA}$$

(Abgelesen oder mit 340 mA und Verstärkung B berechnet).

Abgelesen: $U_{CE,AP1} \approx 1,7 \text{ V}$

$$U_{L,AP1} = U_{\text{Bat}} - U_{CE,AP1} = 12 \text{ V} - 1,7 \text{ V} = 10,3 \text{ V}$$

b) AP 2 bei $U_{CE} = 0,5 \cdot U_{\text{Bat}} = 6 \text{ V}$:

$$I_{C,AP2} = 200 \text{ mA} \quad \text{Aus Diagramm abgelesen.}$$

$$I_{B,AP2} = 1,0 \text{ mA} \quad \text{Aus Diagramm abgelesen.}$$

$$U_{BE,AP2} = U_{BE0} + R_{BE} \cdot I_{B,AP2} = 0,62 \text{ V} + 100 \, \Omega \cdot 1,0 \text{ mA} = 0,72 \text{ V}$$

$$U_{R1,AP2} = U_{\text{Bat}} - U_{BE,AP2} = 12 \text{ V} - 0,72 \text{ V} = 11,28 \text{ V}$$

$$I_{1,AP2} = \frac{U_{R1,AP2}}{R_1} = \frac{11,28 \text{ V}}{1.000 \, \Omega} = 11,28 \text{ mA}$$

$$I_{2,AP2} = I_{1,AP2} - I_{B,AP2} = 11,28 \text{ mA} - 1,0 \text{ mA} = 10,28 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{U_{R2,AP2}}{I_{2,AP2}} = \frac{U_{BE,AP2}}{I_{2,AP2}} = \frac{0,72 \text{ V}}{10,28 \text{ mA}} \approx 70 \, \Omega$$

$$P_{L,AP2} = R_L \cdot I_{C,AP2}^2 = 30 \, \Omega \cdot (200 \text{ mA})^2 = 1,2 \text{ W}$$

c) Besonderheit am AP 2:

Beim AP 2 handelt es sich um den Arbeitspunkt, in dem **im Transistor die maximale Verlust-Leistung umgesetzt wird bzw. entsteht.**

ΣA 4

Aufgabe 5 – Operationsverstärkerschaltung

Aufgabe 5.1 – Grundlagen

a) Eigenschaften des idealen OP:

1. Unendlich großer Eingangswiderstand.
2. Ausgangswiderstand null, d. h. Ausgang = gesteuerte ideale Spannungsquelle.
3. Leerlaufverstärkung ist unendlich groß.

b) Rück-Kopplung:

Unter Rück-Kopplung versteht man die Rückführung eines Teils der Ausgangsspannung des OP auf einen der beiden Eingänge (mittels eines Rückkoppelnetzwerks).

Es gibt die Mitkopplung und die Gegenkopplung.

c) Art der Rück-Kopplung im Schaltungsteil 1:

Im Schaltungsteil 1 wird die Gegenkopplung angewandt.

Man erkennt dies an der Rückführung eines Teils der Ausgangsspannung über den Widerstand R_3 auf den invertierenden OP-Eingang.

d) Differenzspannung $u_d = 0$ V:

Die Differenzspannung darf zu null Volt angenommen werden, weil sie durch die Gegen-Kopplung zu null erzwungen wird, damit die Ausgangs-Spannung endliche Werte annehmen kann.

e) Begrenzung.

Unter Begrenzung versteht man die Eigenschaft, dass die Ausgangsspannung des OP minimal nur $-U_V$ und maximal nur $+U_V$ annehmen kann.

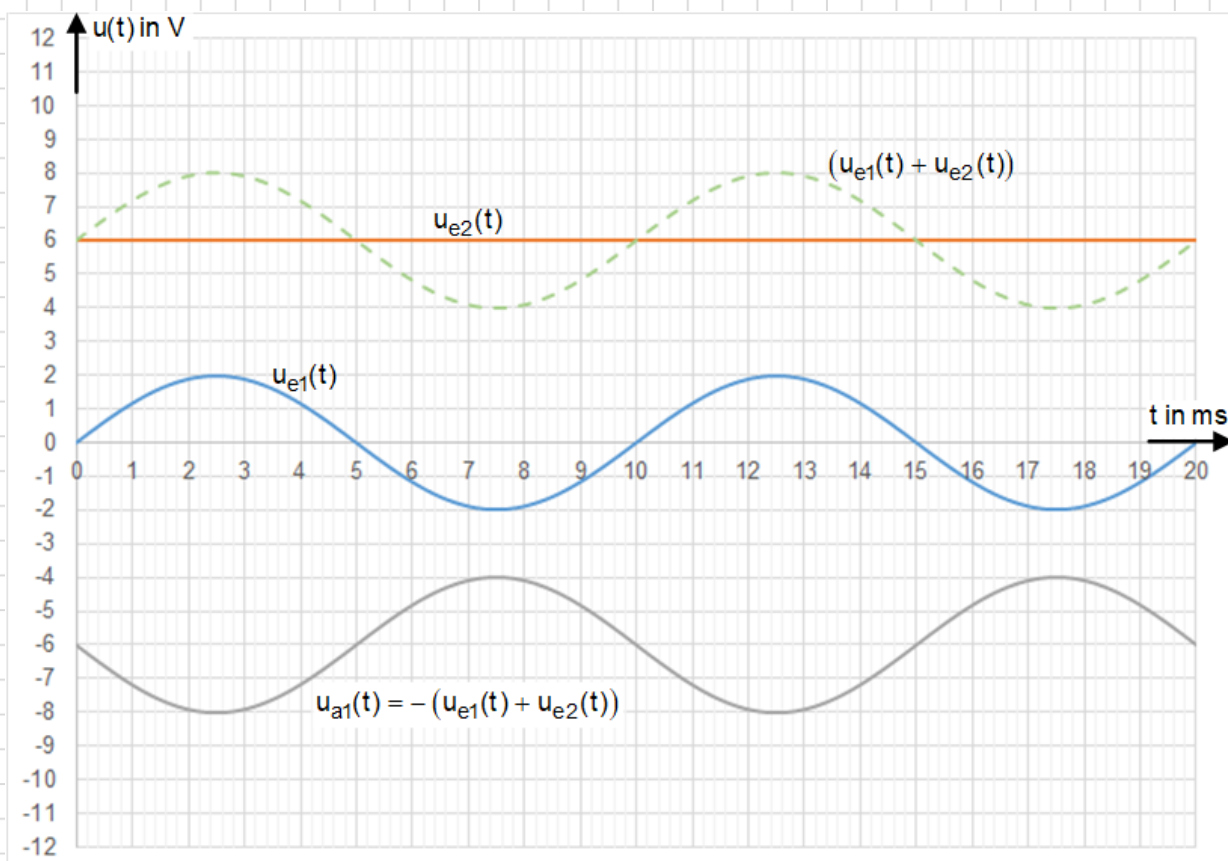
Aufgabe 5.2 – OP-Schaltungsteil 1 (Addierer)**a) Erklären der gegebenen Beziehung zwischen $u_{e1}(t)$, $u_{e2}(t)$ und $u_a(t)$:**

1. Die Spannung $u_{e1}(t)$ wird mit dem **Faktor R_3/R_1 multipliziert**.
2. Die Spannung $u_{e2}(t)$ wird mit dem **Faktor R_3/R_2 multipliziert**.
3. Die mit R_3/R_1 bzw. R_3/R_2 gewichteten **Eingangsspannungen $u_{e1}(t)$ und $u_{e2}(t)$ werden addiert und das Ergebnis wird mit dem Faktor (-1) multipliziert, d. h. invertiert.**

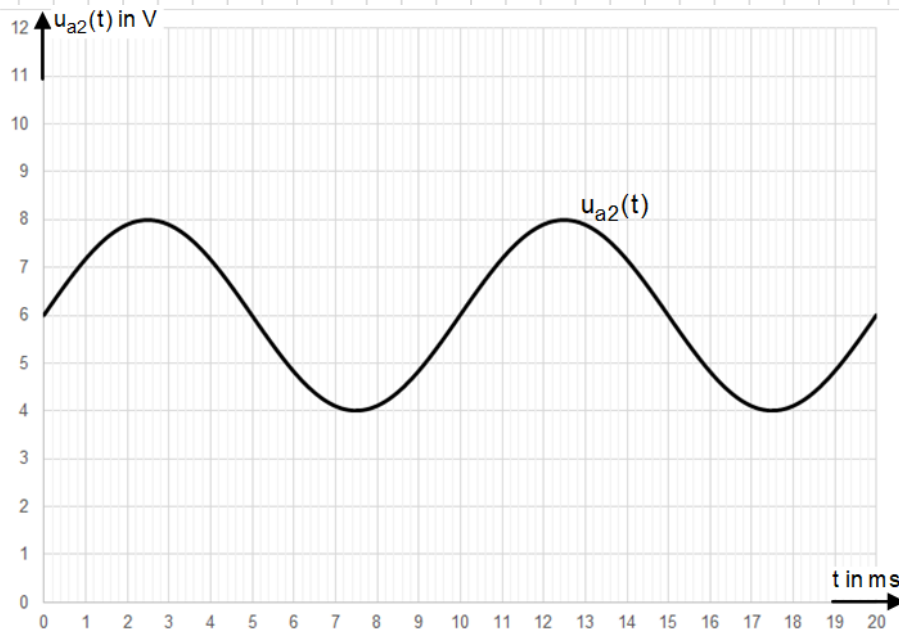
Für den Sonderfall $R_1 = R_2 = R_3$ ergibt sich $u_a(t)$ **aus der mit dem Faktor (-1) multiplizierten Summe der Eingangsspannungen $u_{e1}(t)$ und $u_{e2}(t)$.**

b) Spannung $u_{e1}(t)$:

$\hat{u}_{e1} = \mathbf{2\ V}$ $T_1 = \mathbf{10\ ms}$ (Aus der Zeitfunktion abgelesen).

c) Liniendiagramme der Spannungen:Bitte die Spannungsverläufe eindeutig kennzeichnen!

d) Schaltung in Schaltungsteil 2, sodass die gewünschte Spannung $u_{a2}(t)$ entsteht:



Gewünschte
Ausgangsspannung
 $u_{a2}(t)$.

Die Schaltung im Schaltungsteil 2 muss ein invertierender Verstärker mit der Verstärkung $v_U = -1$ sein, da das gewünschte $u_{a2}(t)$ das mit (-1) multiplizierte, d. h. invertierte Spannungssignal zu $u_{a1}(t)$ darstellt.

Es gilt also: $u_{a2}(t) = -1 \cdot u_{a1}(t)$

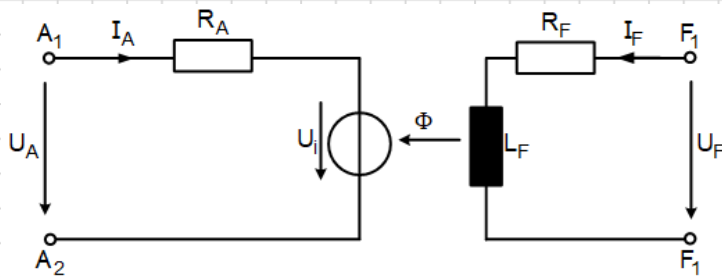
Notizen:

ΣA 5

Aufgabe 6 – Fremderregte Gleichstrommaschine

Aufgabe 6.1 – Allgemeines

a) Elektrisches Ersatzschaltbild der fremderregten GSM:



Aufgabe 6.2 – Weitere Daten der GSM

a) Weitere Daten im Nennbetrieb:

$$P_{VF,N} = \frac{U_{F,N}^2}{R_F} = \frac{(220 \text{ V})^2}{40 \Omega} = 1.210 \text{ W}$$

$$P_{VA,N} = R_A \cdot I_{A,N}^2 = 60 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot (200 \text{ A})^2 = 2.400 \text{ W}$$

$$P_{VGSM,N} = P_{VA,N} + P_{VF,N} = 2.400 \text{ W} + 1.210 \text{ W} = 3.610 \text{ W}$$

$$P_{A,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} = 220 \text{ V} \cdot 200 \text{ A} = 44.000 \text{ W} = 44 \text{ kW}$$

$$P_{\text{mech},N} = P_{A,N} - P_{VA,N} = 44.000 \text{ W} - 2.400 \text{ W} = 41.600 \text{ W} = 41,6 \text{ kW}$$

$$U_{i,N} = \frac{P_{\text{mech},N}}{I_{A,N}} = \frac{41.600 \text{ W}}{200 \text{ A}} = 208 \text{ V}$$

$$(c \cdot \Phi)_N = \frac{U_{i,N}}{\Omega_N} = \frac{U_{i,N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{208 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{3.000 \cdot 1 \text{ min}}{\text{min}} \cdot \frac{1}{60 \text{ s}}} = 0,6621 \text{ Vs}$$

$$\eta_{\text{GSM},N} = \frac{P_{\text{mech},N}}{P_{\text{mech},N} + P_{\text{VGSM},N}} = \frac{41.600 \text{ W}}{41.600 \text{ W} + 3.610 \text{ W}} \approx 92 \%$$

b) Ideale Leerlaufdrehzahl $n_{0,N}$ (abgekoppelte GSM):

$$n_{0,N} = \frac{U_{A,N}}{2 \cdot \pi \cdot (C \cdot \Phi)_N} = \frac{220 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot 0,6621 \text{ Vs}} = 52,883 \text{ s}^{-1}$$

$$n_{0,N} = 52,883 \frac{1}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 3.173 \text{ min}^{-1}$$

Aufgabe 6.3 – Wirkungsgrad des Fördersystems
a) Arbeit und Wirkungsgrad:

$$W_{\text{mech},N} = P_{\text{mech},N} \cdot T = 41,6 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 41,6 \text{ kWh}$$

$$W_{\text{Hub},N} = m \cdot g \cdot h = 610 \text{ t} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{t}} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20 \text{ m} = 122 \cdot 10^6 \text{ Nm} = 122 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$W_{\text{Hub},N} = 122 \cdot 10^6 \text{ J} = 122 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3.600 \text{ J}} = \frac{122}{3,6} \text{ kWh} = 33,89 \text{ kWh}$$

$$\eta_{\text{mech},N} = \frac{P_{\text{Hub},N}}{P_{\text{mech},N}} = \frac{W_{\text{Hub},N}}{W_{\text{mech},N}} = \frac{33,89 \text{ kWh}}{41,6 \text{ kWh}} \approx 81,5 \%$$

$$\eta_{\text{ges},N} = \eta_{\text{GSM},N} \cdot \eta_{\text{mech},N} = 0,92 \cdot 0,815 = 0,7498 \approx 75 \%$$

Σ A 6