ET I – Zusammenfassung

Prof. Biela – Jari Kruth – 2012

1.Grundlagen

1.1 Mathe

1.1.1 Komplexe Zahlen

$Z_1 = |Z_1| \cdot (\cos\theta + j\sin\theta)$ **Euler:** $\cos\theta + j\sin\theta = e^{j\theta}$

Bsp: $V = 2\sphericalangle 60°V \Rightarrow V = 2e^{j\cdot 60°} \Rightarrow |V| = 2V,\ \sphericalangle V = 60°$

Definition:

$Z = \frac{a+jb}{c+jd} = |Z| \measuredangle \arg(Z)$, $Z_1 = a+jb = |Z_1| \measuredangle \arg(Z_1)$, $Z_2 = c+jd = |Z_2| \measuredangle \arg(Z_2)$

Multiplikation:

$Z_1 Z_2 = (a+jb)(c+jd) = (ac-bd) + j(ad+bc) = |Z_1||Z_2| \measuredangle(\arg(Z_1)+\arg(Z_2))$

Division:

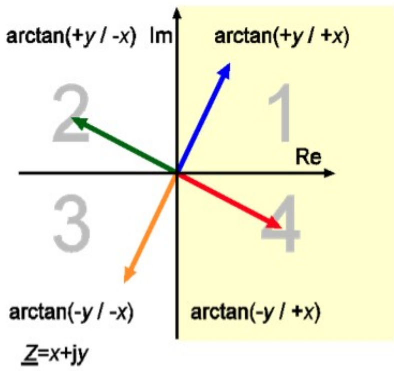
$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{(a+jb)}{(c+jd)} = \frac{(a+jb)(c-jd)}{c^2+d^2} = \frac{(ac+bd)+j(bc-ad)}{c^2+d^2} = \frac{|Z_1|}{|Z_2|} \measuredangle(\arg(Z_1)-\arg(Z_2))$

Betrag: $|Z| = \left|\frac{a+jb}{c+jd}\right| = \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\sqrt{c^2+d^2}}$ **Phase:** $\arg(Z) = \arctan\left(\frac{bc-ad}{ac+bd}\right)$

Achtung bei Phase:

$\sphericalangle(Z_1) = \sphericalangle(a+i\cdot b)$

$$\begin{array}{ll}
\arctan\left(\frac{b}{a}\right) & \text{für } a>0 \\
\arctan\left(\frac{b}{a}\right)+\pi & \text{für } a<0 \text{ und } b\geq 0 \\
\arctan\left(\frac{b}{a}\right)-\pi & \text{für } a<0 \text{ und } b<0 \\
\frac{\pi}{2} & \text{für } a=0 \text{ und } b>0 \\
\frac{-\pi}{2} & \text{für } a=0 \text{ und } b<0 \\
\text{unbestimmt} & \text{für } a=0 \text{ und } b=0
\end{array}$$



Nützliches:

$\arctan(-x) = -\arctan(x)$

$\arctan\left(\frac{1}{x}\right) = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \arctan(x) & \text{für } x>0 \\ -\frac{\pi}{2} - \arctan(x) & \text{für } x<0 \end{cases}$

	0°	30°	45°	60°	90°
$\sin\alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	1
$\cos\alpha$	1	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\tan\alpha$	0	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$	1	$\sqrt{3}$	-
$\cot\alpha$	-	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$	0

1.2 Physikalische Gesetze

1.2.1 Konstanten

I: statischer Strom i: dynamischer Strom

Elementarladung: $e = 1,602\cdot 10^{-19}$ C=As

Permittivität im Vakuum: $\varepsilon_0 = 8,854\cdot 10^{-12}$ $\frac{As}{Vm} = \frac{C}{Vm} = \frac{F}{m} = \frac{C}{N\,m^2}$

Magnetische Feldkonstante: $\mu_0 = \frac{1}{\varepsilon_0 c^2} = 4\pi 10^{-7}$ $\frac{Vs}{Am}$

1.2.2 Physikalische Zusammenhänge

Ohmsches Gesetz: $U = R\,I$ $\left[V = \frac{Nm}{As}\right] \rightarrow I = \frac{V}{R}$ $[A]$

Widerstand eines Leiters: $R = \rho\frac{l}{A}$ $\left[\Omega = \frac{k\,g\,m^2}{A^2 s^3}\right]$

Elektrische Leistung: $P = V\cdot I = I^2 R = \frac{V^2}{R}$ [W]

Coulombsches Gesetz: $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q_1 q_2}{r^2}$ [N]

Kraft in einem elektrischen Feld: $F = q\,E$ [N]

Strom $I = \lim_{\Delta t\to\infty}\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right) = \frac{dQ}{dt}$ [A]

Si-Präfixe

P	Peta-	10^{15}	k	Kilo-	10^{3}	m	Milli-	10^{-3}
T	Tera-	10^{12}	h	Hekto-	10^{2}	µ	Mikro-	10^{-6}
G	Giga-	10^{9}	d	Dezi-	10^{-1}	n	Nano-	10^{-9}
M	Mega-	10^{6}	c	Zenti-	10^{-2}	p	Pico-	10^{-12}

2. Netzwerkanalysis

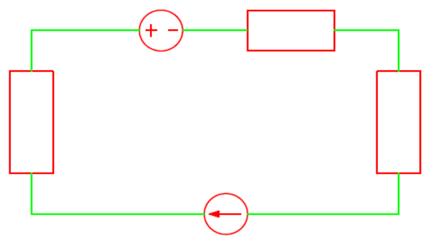
2.1 Definitionen

Knoten:

- Hat ein eindeutiges zugeordnetes Potential.
- Verbindung zweier/mehrere Zweige.
- Beliebig umformbar, solange Potential gleich und mit gleichen Zweigen verbunden

Zweige:

- Verbindung zwischen genau zwei Knoten.
- Wird von einem Strom durchossen.
- Manchmal werden mehrere Komponenten/Zweige zu einem Zweig zusammengefasst, z.B. bei der Serieschaltung zweier Widerstände.



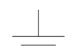
Spannung:

- … ist der Potentialunterschied zwischen 2 Knoten
- Die Spannung fällt von einem Knoten mit höherem zu einem Knoten mit niedrigerem Potential hin ab.
- Spannung ist von ⊕ nach ⊖ positiv.

Strom:

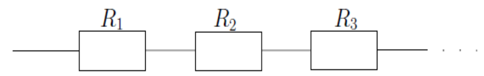
- Der Strom fliesst (ausserhalb einer Quelle) von einem Knoten mit höherem zu einem Knoten mit niedrigerem Potential hin. Achtung über Spannungsquelle umgekehrt -> VZ!!!

Erdung/Erde:

- Wird ein Knoten einer Schaltung geerdet bzw. mit der Erde in Kontakt gesetzt, dann besitzt dieser Knoten das Potential Null.(Erde hat unendliches Potential)
- Symbol: 

2.2 Serieschaltung

Elemente einer Reihenschaltung sind beliebig vertauschbar.

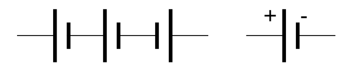


Widerstände: $R = R_1 + R_2 + ... + R_n$

Strom: $I_1 = I_2 = ... = I_n$

Spannung: $V = V_1 + V_2 + ... + V_n$

Achtung Rtg.:



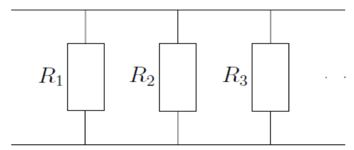
$E_1 + E_2 - E_3 = E$

2.2.1 Spannungsteiler

- Durch den grösseren Widerstand fällt die grössere Spannung ab: $V_i = E\frac{R_i}{R_{tot}}$
- Beispiel: Zwei Widerständen: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2} \rightarrow V_1 = V\frac{R_1}{R_1+R_2}$ mit V=E

2.3 Parallelschaltung

Die Spannung durch parallele Elemente ist gleich. (Tipp: 2 gemeinsame Punkte = Parallel)



Widerstände: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n}$

2 Widerstände: $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

3 Widerstände: $R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$

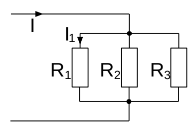
n-identische Widerstände: $R = \frac{R}{n}$

Leitfähigkeit $G = \frac{1}{R}$ [S] für Siemens

Strom: $I = I_1 + I_2 + ... + I_n$

Spannung: $V = V_1 = V_2 = ... = V_n$

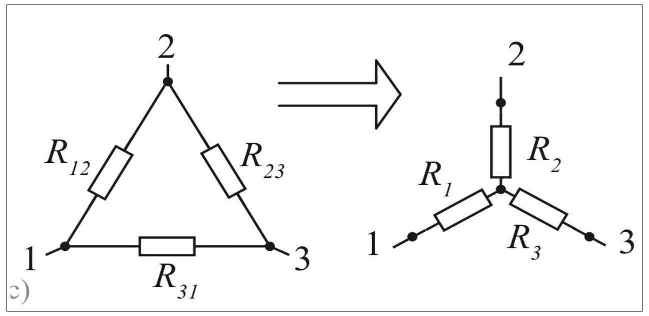
2.3.1 Stromteiler

- Durch den grösseren Widerstand fliesst der kleinere Strom $I_i = \frac{R}{R_i}I$ oder $I_i = \frac{R_{Rest}}{R_i + R_{Rest}}I$
- Beispiel: Zwei Widerständen: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \rightarrow I_1 = I\frac{R_2}{R_1+R_2}$
- Beispiel 2:  $I_1 = \frac{\frac{R_2 R_3}{R_2+R_3}}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2+R_3}} I$

2.4 Stern- Dreiecksschaltung

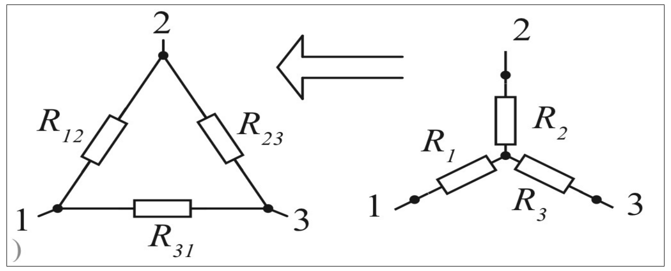
Kann nicht durch Parallel oder Serieschaltung dargestellt werden.

2.4.1 Dreieckstern Umwandlung



$$R_1=\frac{R_{12}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \quad , \quad R_2=\frac{R_{12}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \quad , \quad R_3=\frac{R_{31}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

2.4.2 Stern-Dreieckumwandlung

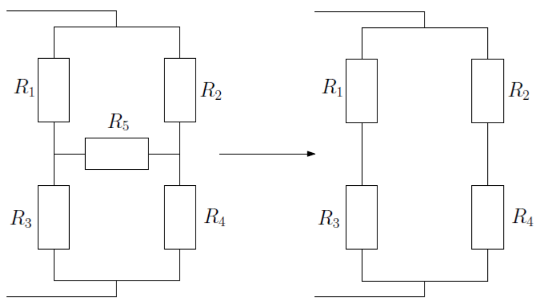


$$R_{12}=R_1+R_2+\frac{R_1R_2}{R_3} \quad , \quad R_{23}=R_2+R_3+\frac{R_2R_3}{R_1} \quad , \quad R_{31}=R_3+R_1+\frac{R_3R_1}{R_2}$$

2.4.3 Andwendungsbereich !!!

<u>**Gleichstrom (DC)**</u>	<u>**Wechselstrom (AC)**</u>
• Umwandlungen gelten <u>NUR</u> für ohmsche Widerstände	• Gelten <u>AUCH</u> für Kapazitäten/Induktivitäten

2.5 Brückenschaltungen



Brücke ist abgeglichen, wenn $\frac{R_1}{R_2}=\frac{R_3}{R_4}$.
Dies gilt, wenn nur R, L oder Z bzw. nur C vorliegt.
-> Falls $R_1 = R_2 = C$ und $R_3 = R_4 = R$, L oder Z: $R_1 \cdot R_2 = R_3 \cdot R_4$

Wenn kein Brückenstrom fliesst, kann die Brücke auch durch irgendein Element (grosser/kleiner Widerstand, Kurzschluss, Unterbruch, Kondensator, Spule, ...) ersetzt werden, ohne dass die Schaltung dadurch beeinflusst wird.

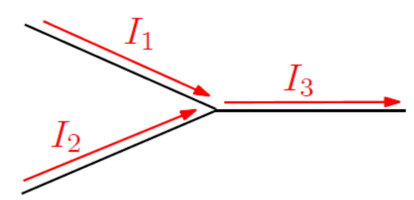
2.6 Kirchhoff'sche Regeln

2.6.1 KCL - Knotenregel

Die Summe aller zufliessenden Ströme in einem Knoten ist Null.

$$\sum_{Knoten} I=0$$

Hier:
$I_1+I_2-I_3=0$

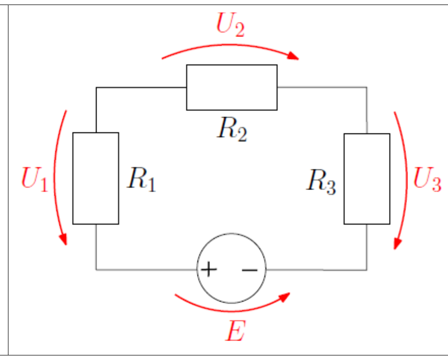


2.6.2 KVL-Maschenregel

Die Summe der Spannungen, die über einen geschlossenen Kreislauf an- und abfallen ist Null.

$$\sum_{Masche} V=0$$

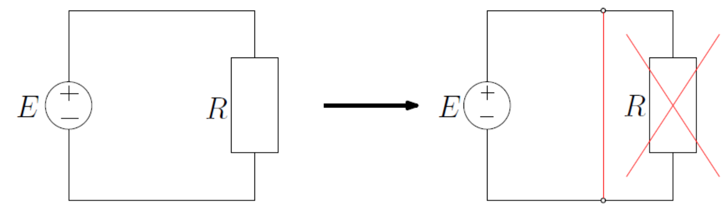
Hier:
$U_1-E-U_2-U_3=0$



2.7 Kurzschluss und Leerlauf

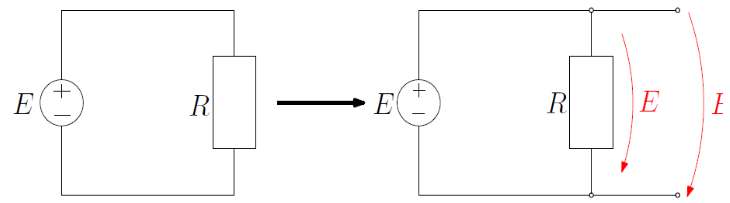
	Kurzschluss	Leerlauf
Strom	Beliebig	0
Spannung	0	Beliebig

2.7.1 Kurzschluss



- Kein Potentialunterschied zwischen den Knoten, da ein Kurzschluss keinen Widerstand in sich trägt
- Es kann Strom fliessen
- Bei Parallelschaltung mit Widerstand fliesst auf Grund von KCL kein Strom über diesen

2.7.2 Leerlauf



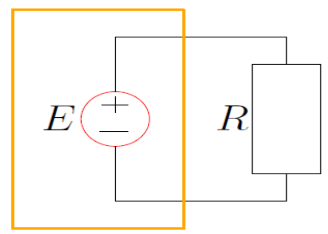
- Es kann kein Strom über einen Leerlauf fliessen, da die Klemmen nicht verbunden sind.
- Durch einen Leerlauf kann eine Spannung abfallen

2.8 Quellen

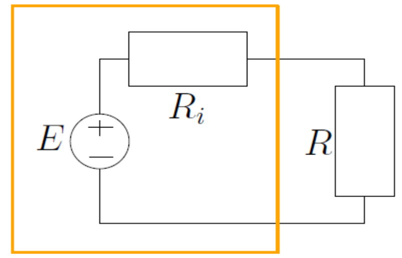
2.8.1 Spannungsquelle

- Die Spannungsquelle fixiert die Spannung (Potentialdifferenz) zwischen den angrenzenden Knoten.
- Die Spannungsquelle liefert KEINE Hinweise über den Stromfluss durch die Quelle. Dieser wird durch die Struktur der restlichen Schaltung bestimmt.
- Seriegeschaltete Spannungsquellen können durch eine einzige Quelle ersetzt werden. Deren Wert ist die Summe der Werte der einzelnen Quellen.
- Nichtidentische Spannungsquellen dürfen NIE parallel geschaltet werden!

<u>**Ideale Spannungsquelle**</u>
Die Klemmenspannung hat immer einen konstanten Wert und zwar den, der Quellenspannung.



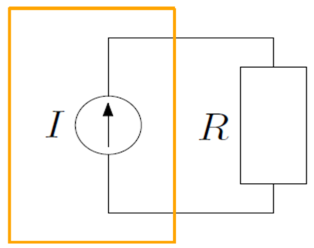
<u>**Reale Spannungsquelle**</u>
Es kann vorkommen, dass die Klemmenspannung höher ist als die Quellenspannung. Damit die Spannungsquelle nicht überlastet wird, wird ein Widerstand in Serie geschaltet.



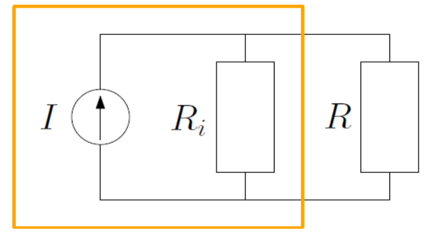
2.8.2 Stromquelle

- Die Stromquelle fixiert den Strom durch den Zweig des Netzwerks.
- Die Stromquelle liefert keine Hinweise über den Spannungsabfall über der Quelle. Dieser Wert wird durch die Struktur der restlichen Schaltung bestimmt.
- Parallelgeschaltete Stromquellen können durch eine einzige Quelle ersetzt werden. Deren Wert ist die Summe der Werte der einzelnen Quellen.
- Nicht identische Stromquellen dürfen NIE in Serie geschaltet werden!

<u>**Ideale Stromquelle**</u>
Strom der durch die Quelle fliesst ist gleich dem Quellenstrom.



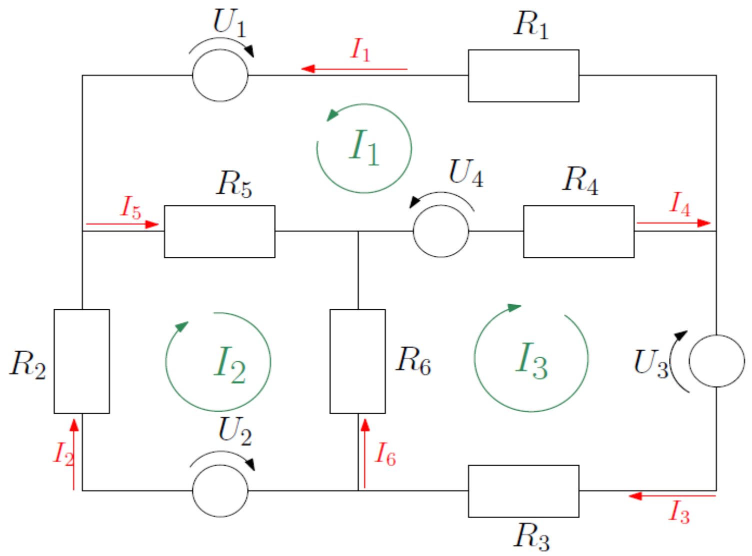
<u>**Reale Stromquelle**</u>
Es kann vorkommen, dass der Strom der durch die Quelle fliesst, grösser ist als der von der Quelle selber. Damit die Stromquelle nicht überlastet wird, wird ein Widerstand parallel zur Quelle geschaltet.



2.9 Maschenstromverfahren

1. Unabhängige, geschlossene Maschen wählen und nummerieren.
2. Zählrichtung in jeder Masche einführen.
3. Stromrichtungen (Zweigspannungen) in jedem Leiter definieren.
4. Wende KVL in jeder Masche an. Dabei bekommt man ein lineares Gleichungssystem mit n unbekannten Maschenströmen.
5. Gleichungssystem lösen

2.9.1 Beispiel



<u>Gegeben:</u> Quellenspannungen $U_1 – U_4$, Widerstände $R_1 – R_6$
<u>Gesucht:</u> Alle Zweigströme

1. <u>Masche:</u>
   - $$I_1 R_1 - U_1 + (I_1+I_2) R_5 - U_4 + (I_1+I_3) R_4 = 0$$
2. <u>Masche:</u>
   - $$I_2 R_2 + (I_1+I_2) R_5 + (I_2-I_3) R_6 - U_2 = 0$$
3. <u>Masche:</u>
   - $$I_3 R_3 + (I_3-I_2) R_6 - U_4 + (I_1+I_3) R_4 - U_3 = 0$$

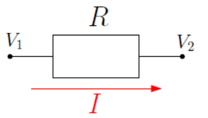
nach unbekannten Strömen sortieren (evtl. Matrixschreibweise zum lösen):

$$I_1(R_1+R_4+R_5)+I_2 R_5+I_3 R_4=U_1+U_4$$
$$I_1 R_5+I_2(R_2+R_5+R_6)-I_3 R_6=U_2$$
$$I_1 R_4-I_2 R_6+I_3(R_3+R_4+R_6)=U_3+U_4$$

2.10 Knotenpotentialverfahren

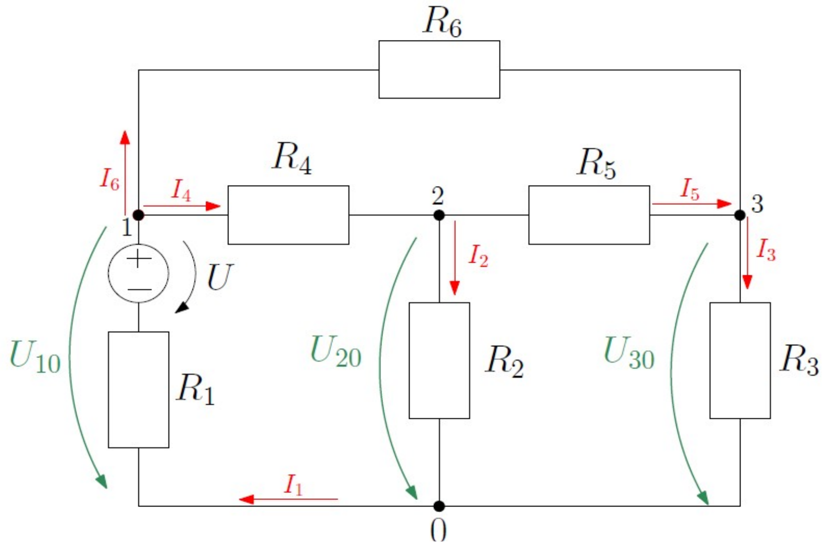
1. Nummeriere alle Knoten
2. Wähle einen Referenzknoten und setzte dessen Potential
3. Stromrichtungen in jedem Leiter definieren. (Kann selbst gewählt werden)
4. KCL an restlichen Knoten V1; V2; V3; … anwenden. Wobei

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R}$$



Dabei bekommt man ein lineares Gleichungssystem mit n unbekannten Potentialen.
5. Gleichungssystem lösen.

2.10.1 Beispiel



<u>Gegeben:</u> Quellenspannung U , Widerstände $R_1 – R_6$, Referenzpotential 0
<u>Gesucht:</u> Potentiale 1-3

1. <u>Knoten:</u>
   - $$I_1 - I_4 - I_6 = -\frac{U_{10}-U}{R_1} - \frac{U_{10}-U_{20}}{R_4} - \frac{U_{10}-U_{30}}{R_6} = 0$$
2. <u>Knoten:</u>
   - $$I_4 - I_2 - I_5 = \frac{U_{10}-U_{20}}{R_4} - \frac{U_{20}}{R_2} - \frac{U_{20}-U_{30}}{R_5} = 0$$
3. <u>Knoten:</u>
   - $$I_5 + I_6 - I_3 = \frac{U_{20}-U_{30}}{R_5} + \frac{U_{10}-U_{30}}{R_6} - \frac{U_{30}}{R_3} = 0$$

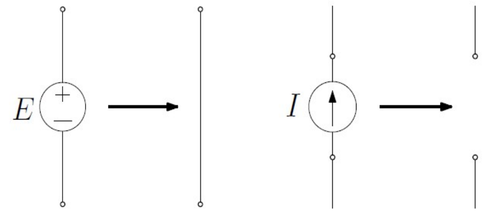
Nach unbekannten Zweigspannungen ordnen:

$$\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_6}\right)U_{10} - \frac{1}{R_4}U_{20} - \frac{1}{R_6}U_{30} = \frac{U}{R_1}$$
$$\frac{-1}{R_4}U_{10} + \left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_5}\right)U_{20} - \frac{1}{R_5}U_{30} = 0$$
$$-\frac{1}{R_6}U_{10} - \frac{1}{R_5}U_{20} + \left(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_5}+\frac{1}{R_6}\right)U_{30} = 0$$

2.11 Superpositionsprinzip

Wenn ein Netzwerk mehrere Quellen beinhaltet, dann werden die verursachten Wirkungen von jeder Strom- und Spannungsquelle einzeln betrachtet, um die Wirkung auf ein einzelnes Element zu erhalten.

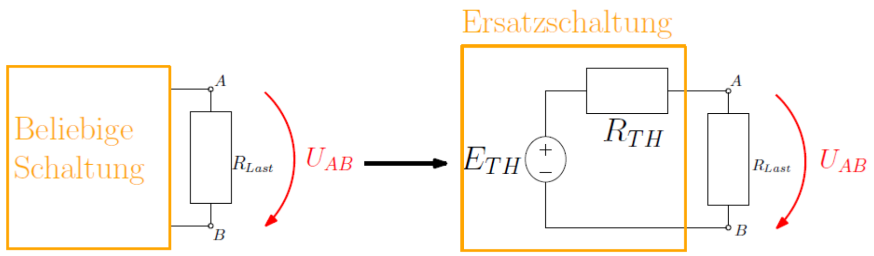
- Die nicht betrachteten Quellen werden dabei wie folgt entfernt:
- Am Ende werden die Einzellösungen superponiert.



Es gilt nur bei Netzwerken mit Komponenten, welche ein lineares Verhalten aufweisen!

2.12 Ersatzquellen

2.12.1 Thévenin - Ersatzspannungsquellen

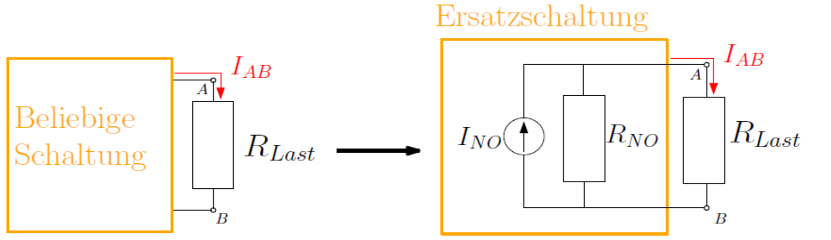


<u>Ziel:</u> Vereinfachung einer beliebigen Schaltung (bezüglich einem Lastwiderstand) zu einer realen Spannungsquelle mit dem Innenwiderstand R_{TH} und Quellenspannung E_{TH}, so dass die Spannung über den Lastwiderstand U_{AB} unverändert bleibt.

<u>Ersatzwiderstand:</u>
- Lastwiderstand entfernen
- Alle Strom- und Spannungsquellen gemäss Superposition entfernen.
- Gesamtwiderstand bezüglich den Klemmen A, B berechnen.

<u>Ersatzspannung:</u>
- Lastwiderstand berechnen
- Spannung über die Klemmen A,B mit Hilfe des Superpositionsprinzips berechnen.

2.12.2 Norton – Ersatzstromquelle



<u>Ziel:</u> Vereinfachung einer beliebigen Schaltung (bezüglich einem Lastwiderstand) zu einer realen Stromquelle mit dem Innenwiderstand R_{NO} und Quellenstrom I_{NO} so dass der Strom über den Lastwiderstand I_{AB} unverändert bleibt.

<u>Ersatzwiderstand:</u>
- Analog wie bei R_{TH}

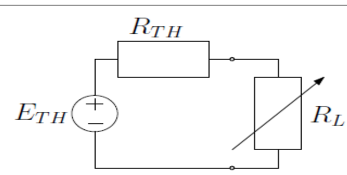
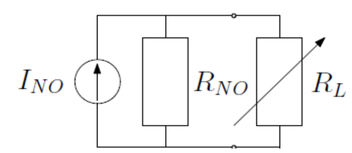
<u>Erstatzstrom:</u>
- Lastwiderstand kurzschliessen
- Strom über den Kurzschluss A-B mit Hilfe des Superpositionsprinzips berechnen.

2.12.3 Umrechnung Thévenin – Norton

$$E_{TH} = I_{NO} R_N \qquad R_{TH} = R_{NO} \qquad I_{NO} = \frac{E_{TH}}{R_{TH}}$$

2.12.4 Maximale Leistungsübertragung

Wenn Verbraucher- und Innenwiderstand der Quelle gleiche Werte haben: $R_L = R_{th}$ bzw. $R_L = R_N$ $\rightarrow$ Wirkungsgrad nur 50%, weil im Außenwiderstand die gleiche Leistung wie im Innenwiderstand entsteht $P_{max} = \frac{E_{th}^2}{4 R_{th}}$

<u>Spannungsquelle</u>	**<u>Stromquelle</u>**
	
$R_L = R_{TH}$ $E_L = \frac{E_{TH}}{2}$	$R_L = R_{NO}$ $I_{NO} = \frac{I_{NO}}{2}$

3. Magnetische Felder

3.1 Ampere'sche Durchflutungsgesetz

$$\oint_\Gamma \vec{B}\,d\vec{s} = I\mu_o$$

$mit\ \vec{B} = \mu\vec{H}$

$$\Theta = \oint_\Gamma \vec{H}\,d\vec{s} = I$$

- Bewegte Ladungen führen zu einen magnetischen Feld
- Θ bezeichnet man als die *elektrische Durchflutung*
- *Die magnetische Feldstärke (H)* gibt keine Auskunft über die Stärke eines Magnetfeldes, da in der Definition diese Grösse die Materialeigenschaften des betreffenden Raumes nicht enthalten sind. Dafür ist die *magnetische Flussdichte* (B) eingeführt worden.

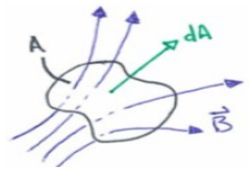
Allgemein

Magnetischer Fluss: $\Phi = \int_A \vec{B}\ \ d\vec{A}$

Induktivität: $LI = \Phi$ [L]

Gespeicherte Energie im Magnetfeld:

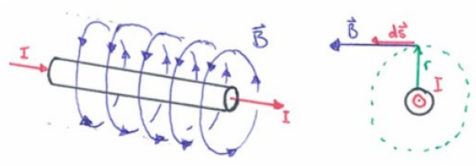
Spule: $U = \frac{1}{2} L I^2$



Draht

Magnetfeld

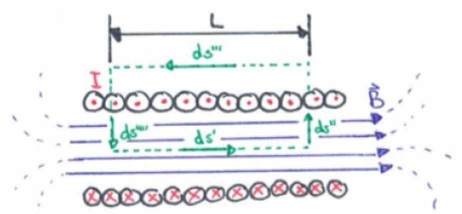
$H\,2\pi r = I \rightarrow H = \frac{I}{2\pi r}$



Spule

Magnetfeld

$H\,L = N\,I \rightarrow H = \frac{N\,I}{L}$ L: Länge



Toroid-Spule

Magnetfeld:

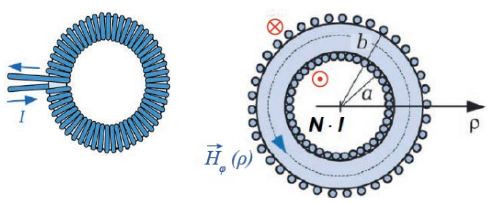
$\Theta = N\,I = \oint_\Gamma \vec{H}\,d\vec{s} = H \oint_\Gamma d\vec{s} = H\,2\pi r$

$H = N\frac{I}{2\pi r}$

- Symmetrie H entlang des Weges ds nahezu konstant
- Feld ausserhalb und innerhalb der Toroidspule H=0

Fluss:

- Durch Ringkernfläche A:
  $\Phi_A = \mu_r\mu_0 \frac{N\,I\,h}{2\pi}\ln\left(\frac{b}{a}\right)$
- Gesamtfluss: $\Phi = N\,\Phi_A$



Induktivität: $L = \frac{\Phi}{I} = \frac{N\,\Phi_A}{I} = \mu_r\mu_0 \frac{N^2 h}{2\pi}\ln\left(\frac{b}{a}\right)$

Magnetischer Widerstand:

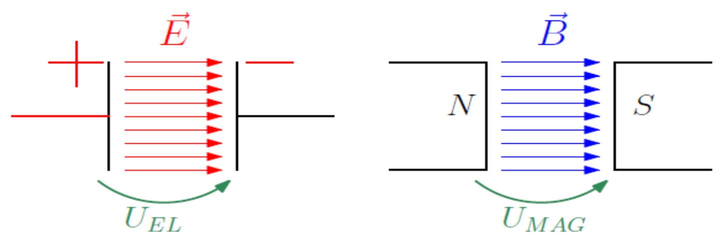
Fluss Φ konstant: $R_m = \frac{l}{\mu_0\mu_r A}$

Magnetischer Kreis (z.B. Spule)

$L = \frac{N^2}{R_m}$

3.2 Ohmsche Gesetz des mag. Kreises

Elektrische Spannung	Magnetische Spannung



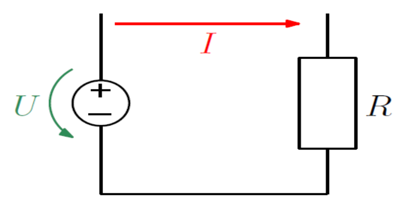
$U_{EL} = \int_1^2 \vec{E}\,d\vec{s} = Ed$	$U_{MAG} = \int_1^2 \vec{H}\,d\vec{s} = Hd$

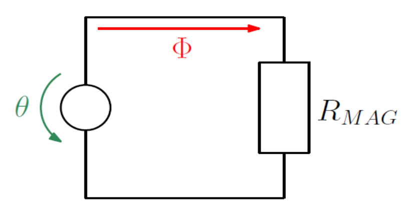
Aus dem Durchflutungsgesetz:

$$\Theta = \oint_\Gamma \vec{H}\,d\vec{s} = \underbrace{\sum_i H_i s_i}_{U_{MAG}} = \sum_i \frac{B_i}{\mu} s_i = \sum_i \Theta_i \underbrace{\frac{l_i}{A_i \mu}}_{R_{MAG}}$$

Ohmsche Gesetz für mag. Kreise: $\Theta = \Phi R_{MAG}$

Elektrischer Kreis			**Magnetischer Kreis**		
Spannungsquelle:	U	[V]	Durchflutung:	Θ	[A]
Strom:	I	[A]	Magnetischer Fluss:	Φ	[V s]
Ohm. Widerstand:	R	[Ω]	Mag. Widerstand:	R_{mag}	[A=V s]
Leitwert:	G=1/R		Leitwert:	$\lambda_m = 1/R_{mag}$	
Maschenregel: $\sum_i U_i = 0$			$\sum_i \Theta = 0$		
Knotenregel: $\sum_i I_i = 0$			$\sum_i \Phi = 0$		



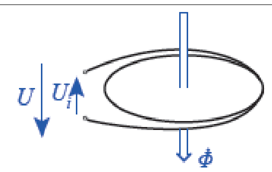


3.3 Induktion

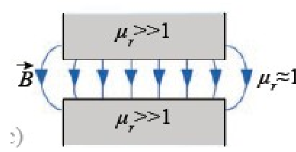
Induzierte Feldstärke: $\vec{E}_i = \vec{v}\,X\,\vec{B}$

Induzierte Spannung: $U = N\frac{d\Phi}{dt}(= -U_i)$

Selbstinduktion: $u = L\frac{di}{dt}$



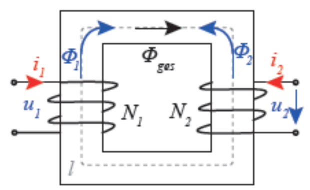
Spule mit Luftspalt (l_L): $L \approx N^2 \frac{\mu_0 A}{l_L}$ oder $L = A_L N^2$ (A_L aus Tabelle)



Magnetische Kopplung:

$u_1 = N_1 \frac{d}{dt}(\Phi_{11} - \Phi_{12}) = L_{11}\frac{di_1}{dt} - L_{12}\frac{di_2}{dt}$

$u_2 = N_2 \frac{d}{dt}(\Phi_{22} - \Phi_{21}) = L_{22}\frac{di_2}{dt} - L_{21}\frac{di_1}{dt}$



Idealer Transformator: $\frac{u_1}{u_2} = -\frac{N_1}{N_2}$ Und $\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$

4.Gleichstrom – DC

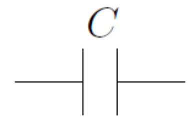
Strom mit konstanter Richtung und Betrag.

Leistung: $P = \frac{du}{dt} = I \cdot V$ $P = I^2 \cdot R$ $P = \frac{V^2}{R}$ [W = J/s]

4.1 Kondensator

Kapazität:

$C_i = \frac{Q_i}{V_i} = \varepsilon_0 \varepsilon_{r,i} \frac{A_i}{d_i}$ $[C] = F$



$v_C = \frac{1}{C}\int i_C\,dt$

Gespeicherte elektrische Energie (speichert Spannung)

$U = \frac{1}{2} Q\,V = \frac{1}{2} C\,V^2 = \frac{Q^2}{2C}$

Serienschaltung

$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$

$Q_{tot} = Q_1 = Q_2 = \ldots = Q_n$ $C_1 V_1 = C_2 V_2 = \ldots$

$E = V_1 + V_2 + \ldots + V_n$

Parallelschaltung

$C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$

$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n$

$E = V_1 = V_2 = \ldots = V_n$

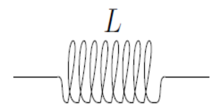
Plattenkondensator $V = E \cdot d$ Mit d als Abstand zwischen den Platten

Kraft zwischen den Platten: $F = E \cdot Q$

4.2 Spulen

Induktivität:

$V_{ab} = L\frac{di}{dt}$ $[L] = H$



Gespeicherte Energie im Magnetfeld: (speichert Strom)

$U = \frac{1}{2} L I^2$

Serienschaltung $L = L_1 + L_2 + \ldots + L_n$

Parallelschaltung $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots + \frac{1}{L_n}$

4.3 Transientenverhalten

- Kondensatoren und Spulen sind reaktive Elemente. Da sie eine gewisse elektrische Trägheit besitzen, zeigt ihr *Lade-/Entladevorgänge [Kondensatoren] //* *Stromzu-/abfluss [Spulen]* kein sprunghaftes Verhalten (=stetig).
- Unstetigkeit in der Lösung der DGL ist immer nur durch einen externen Einfluss entstehen, wie z.B. dem Betätigen eines Schalters

Kapazität	**Induktivität**
$I_C = \frac{dQ}{dt} = C\frac{dV_C}{dt}$	$V_L = L\,d\frac{I_L}{dt}$
$V_C = \frac{1}{C}\int I_C\,dt$	$I_L = \frac{1}{L}\int V_l\,dt$
Impedanz	**Impedanz**
$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$	$Z_L = j\omega L$

*häufig werden für V, I beim transienten Fall Kleinbuchstaben verwendet

Allg. Lösung von DGL 1. Ordnung*:

$$y(t)=A e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} \qquad \tau=\text{Zeitkonstante}$$

$$y(t)=\text{Endwert}-(\text{Endwert}-\text{Anfangswert})*e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} \;**$$

* Schaltungen mit einem oder mehreren Widerständen und einem einzigen reaktiven Element führen zu einer Differentialgleichung erster Ordnung.
**Anstatt einer analytischen Lösung kann die Lösung eines einfachen Ladevorgangs „erraten"werden.

Verhalten der reaktive Elemente

RC/RL	Kapazität - C	Induktivität - L
t(0)	Kurzschluss	Leerlauf
t(∞)	Leerlauf	Kurzschluss

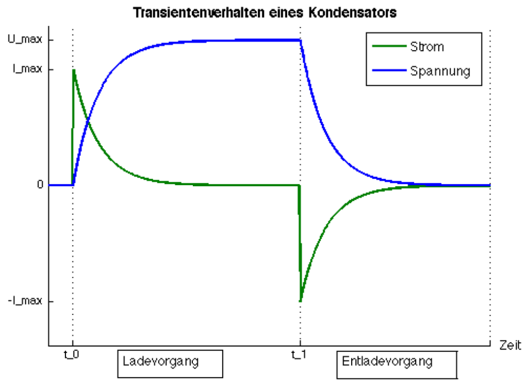
	Kurzschluss	Leerlauf
Strom	Beliebig	0
Spannung	0	Beliebig

- Anfangs- (t0) und Endwert können durch die Anwendung der Formeln, die wir bis jetzt gelernt haben, berechnet werden.

4.3.1 Transiente RC-Schaltung $\tau=C\cdot R_{eff}$

$$V_C(t)=V_C(t\to\infty)-[V_C(t\to\infty)-V_C(t=t_0)]e^{-\frac{t-t_0}{C R_{eff}}}$$

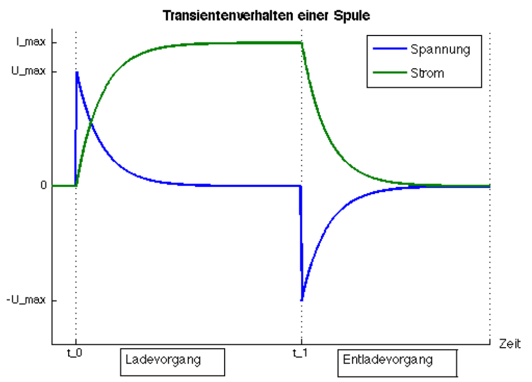
$$I_C(t)=C\frac{dV_C(t)}{dt}=\frac{1}{R_{eff}}[V_C(t\to\infty)-V_C(t=t_0)]e^{-\frac{t-t_0}{C R_{eff}}}$$



4.3.2 Transiente RL-Schaltung $\tau=\frac{L}{R_{eff}}$

$$I_L(t)=I_L(t\to\infty)-[I_L(t\to\infty)-I_L(t=t_0)]e^{-\frac{t-t_0}{L/R_{eff}}}$$

$$V_L(t)=L\frac{dI_L(t)}{dt}=R_{eff}[I_L(t\to\infty)-I_L(t=t_0)]e^{-\frac{t-t_0}{L/R_{eff}}}$$



$R_{eff}=R_{NO}=R_{TH}$ → Kondensator/Spule + Quelle entfernen
→ Klemme über C/L und Kurzschluss/Leerlauf für Quelle
→ (2.11 – 2.12)

5. Wechselstrom – AC

5.1 Grundlagen

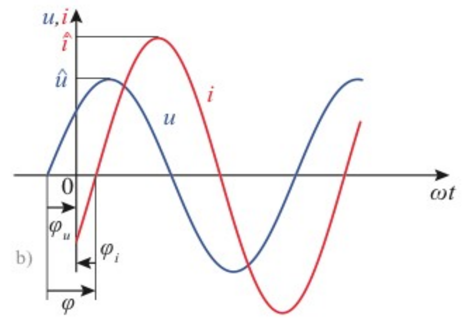
5.1.1 Strom und Spannung

Allgemein:

$i(t)=\hat{i}\sin(\omega t+\varphi_i)$

$u(t)=\hat{u}\sin(\omega t+\varphi_u)$

$\hat{i},\hat{u}$: Scheitelwerte
φ_i,φ_u : Phasenwinkel



Periodendauer: $T=2\pi/\omega$ [s]

Frequenz: $f=1/T$ [Hz = 1/s]

Kreisfrequenz: $\omega=2\pi f=2\pi/T$ [rad/s]

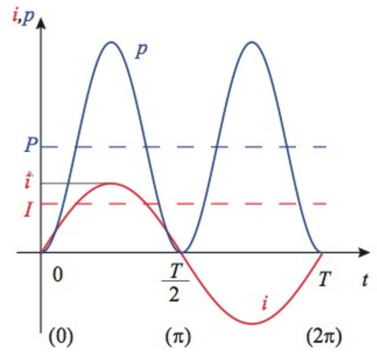
5.1.2 Effektivwert

Eine periodisch schwingende Spannung, die an einen Widerstand im zeitlichen Mittel die gleiche Leistung abgibt wie eine gewisse DC-Spannung, hat als Effektivwert den Wert dieser DC-Spannung.

Definition:

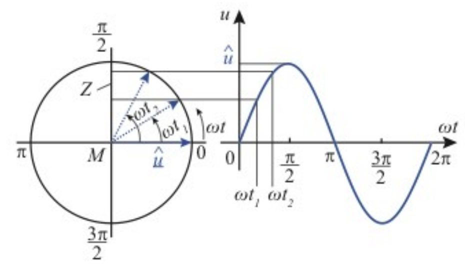
$$I=\sqrt{\left(\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)dt\right)}=\sqrt{\left(\frac{\omega}{2\pi}\int_0^{\frac{2\pi}{\omega}}[\hat{i}\sin(\omega t)]^2 dt\right)}=\frac{\hat{i}}{\sqrt{(2)}}$$

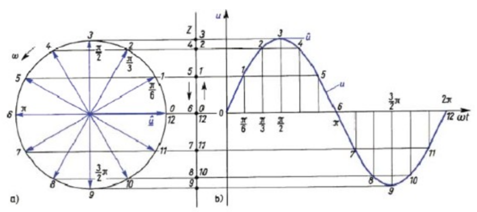
Analog: $U=\frac{\hat{u}}{\sqrt{(2)}}=|u(t)|$



5.1.3 Zeigerdarstellung - Phasoren

- Sinusförmige AC-Signale können als Zeiger aufgefasst werden, die sich mit Winkelgeschwindigkeit ω im komplexen Raum drehen.
- In einem linearen Zeitinvarianten System können keine neue Frequenzen entstehen. Deshalb schwingen alle Signale innerhalb einer Schaltung, die nur von einer einzigen Quelle angeregt werden, mit der gleichen Kreisfrequenz, nämlich der Frequenz der Quelle.
- Alle Zeiger drehen sich gleich schnell. Infolgedessen ist man sehr oft nicht an der zeitlichen Information interessiert, sondern nur am Phasenverschiebungswinkel eines Zeigers





$$i(t)=\hat{i}\sin(\omega t+\varphi_i)\to \underline{I}=I\,e^{j\varphi_i}$$

$$u(t)=\hat{u}\sin(\omega t+\varphi_u)\to \underline{U}=U\,e^{j\varphi_i}$$

- Als Länge des Zeigers verwendet man (Konvention) den Effektivwert anstatt den Scheitelwert. Der Gebrauch des Effektivwerts ist insbesondere deshalb sinnvoll, weil sich dann aus Spannungen und Strömen direkt Leistungen berechnen lassen.

5.1.4 Impedanzen

- Die Impedanz, auch Wechselstromwiderstand, gibt das Verhältnis von elektrischer Spannung an einem Verbraucher zum aufgenommenem Strom an.
- Spannungs- ,Stromteiler,Thevenin- sowie Nortontheorem für Impedanzen gültig

Impedanz:	**Admittanz:**
$Z=\frac{V}{I}$ [Ω]	$Y=\frac{1}{Z}$ [Siemens]
Resistanz + j Reaktanz = Impedanz $R+jX=Z$	Konduktanz + $j\cdot$Suszeptanz = Admittanz $G+j\cdot B=Y$

Reihenschaltung: $Z=Z_1+Z_2+...+Z_n$

Parallelschaltung: $\frac{1}{Z}=\frac{1}{Z_1}+\frac{1}{Z_2}+...+\frac{1}{Z_n}$

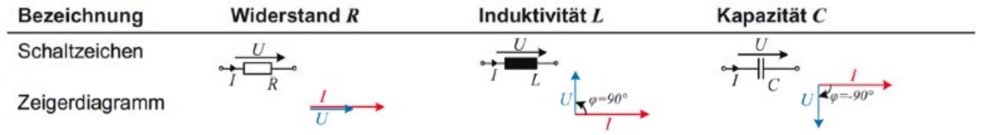
$Y=Y_1+Y_2+...+Y_n$

Elemente

Ohmscher Widerstand $Z_R=R$

Kapazität $Z_C=\frac{1}{j\omega C}$

Induktivität $Z_L=j\omega L$



Frequenzverhalten

Frequenz	Kondensator	Spule
Hochfrequent (f → ∞)	Z_C → 0: Kurzschluss	Z_L → ∞: Leerlauf
Niederfrequent (f → 0 → DC)	Z_C → ∞: Leerlauf	Z_L → 0: Kurzschluss

5.1.5 Komplexe Leistung

Leistung kann sowohl an Widerstände als auch an Reaktive Elemente abgegeben werden.

Wirkleistung (P): [W] - (An R abgegeben)
- Die Leistung, die an einen Wirkwiderstand abgegeben wird, nennt man *Wirkleistung* (P).
- **P** kann ausschliesslich in einem Wirkwiderstand verbraucht werden.

$$P=u\cdot i=\hat{u}\sin(\omega t+\theta)\cdot\hat{i}\sin(\omega t)=\frac{\hat{i}\hat{u}}{2}\cos(\theta)=U\,I\cos(\theta)=S\cos(\theta)=\frac{U^2}{R_{tot}}$$

- Strom und Spannung sind dort in Phase.

Blindleistung (Q): - (An C/L abgegeben)
- Die Leistung an einer Spule bzw. an einem Kondensator heisst *Blindleistung* (Q).
- **Q** wird nur an reaktive Elemente (C und L) abgegeben, wo I und U um 90 phasenverschoben sind.

$Q=U\,I\sin(\theta)=S\sin(\theta)$ [Q] = var
(var =Volt-Ampere-reaktiv)

- **Q** wird parallel zur imaginären Achse im komplexen Raum dargestellt.

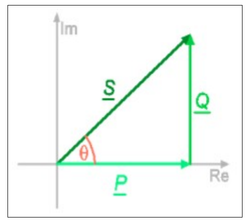
Scheinleistung:
- Die vektorielle Summe von Wirk- und Blindleistung heisst *Scheinleistung* (S).

$S=U\cdot I$ [VA]

$$S=\frac{\hat{i}\cdot\hat{u}}{2}=\frac{\hat{u}^2}{2\cdot|Z|}=\frac{\hat{i}^2\cdot|Z|}{2}$$

Leistungsfaktor $F_P=\cos(\theta)=\frac{P}{S}$

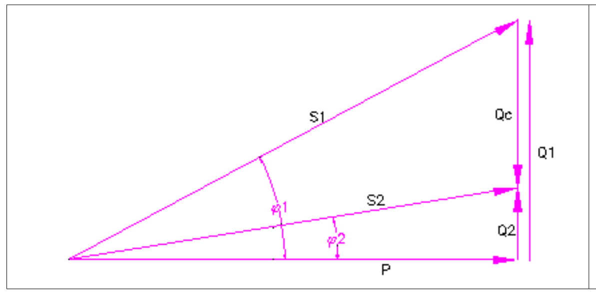
Der Kosinus des Winkels zwischen *Wirk- und Scheinleistung* heisst *Leistungsfaktor* (F_P). Ein F_P = 1 bedeutet, dass die Last einen rein ohmschen Charakter hat (reiner P-Widerstand)



$\theta=\sphericalangle(\underline{U})-\sphericalangle(\underline{I})$

5.2 Blindleistungskompensation

- Manche Verbraucher (z.B. Elektromotoren) haben eine ohmisch-induktive Charakteristik.
- Eine solche nicht rein ohmsche Last hat die (im Normalfall unerwünschte) Eigenschaft, dass andauernd Energie zwischen Last und Quelle ausgetauscht wird
  - Im Wirkwiderstand (R) wird dabei elektrische Energie umgewandelt.
  - Im reaktiven Teil der Last wird ein magnetisches/elektrisches Feld auf- und abgebaut
- Deshalb versucht man, ohmisch-induktive Verbraucher so zu kompensieren, dass ihr Leistungsfaktor möglichst nahe bei 1 zu liegen kommt.
- Eine solche Kompensation ist z.B. mit einem parallel zur Last geschalteten Kondensator möglich



φ In der Zeichnung ist θ aus 5.1.5

$Q=\tan(\theta)\cdot P$

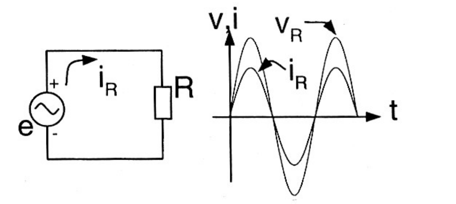
$Q_C=Q_1-Q_2$

5.3 Beziehungen der Schaltkreiselemente

5.3.1 Widerstände

$e=u(t)=\hat{u}\sin(\omega t+\theta)$

$i_R(t)=\frac{\hat{u}}{R}\sin(\omega t+\theta)$

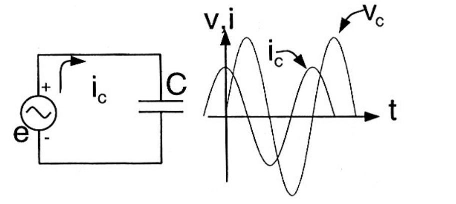


5.3.2 Kondensatoren

$e=u(t)=\hat{u}\sin(\omega t+\theta)$

$i_C(t)=C\,d\frac{u_C}{dt}=\omega C\hat{u}\sin(\omega t+\theta+\frac{\pi}{2})$

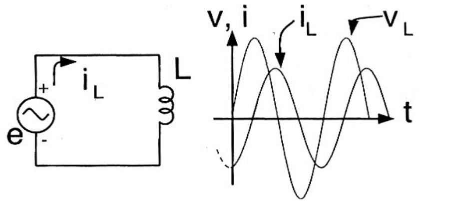
$=\omega C\hat{u}\cos(\omega t+\theta)$



5.3.3 Spulen

$v_L=u_L(t)=L\frac{di_L}{dt}$

$i_L(t)=\int\frac{u(t)}{L}dt=\frac{\hat{u}}{\omega C}\sin(\omega t+\theta-\frac{\pi}{2})$



5.3.4 Überlagerung zweier Signale

$u(t)=\hat{u}_1\cos(\omega t+\theta_1)+\hat{u}_2\cos(\omega t+\theta_2)=\hat{u}_3\cos(\omega t+\theta_3)$

$\hat{u}_3=\sqrt{\hat{u}_1^{\,2}+\hat{u}_2^{\,2}+2\hat{u}_1\hat{u}_2\cos(\theta_1-\theta_2)}$ $\qquad\theta_3=\arctan\left(\frac{\hat{u}_1\sin\theta_1+\hat{u}_2\sin\theta_2}{\hat{u}_1\cos\theta_1+\hat{u}_2\cos\theta_2}\right)$

5.4 Schwingkreise

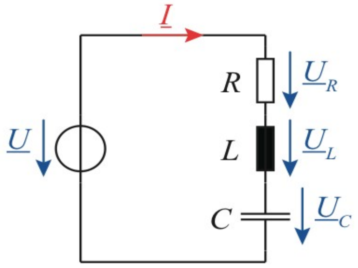
5.4.1 Serienschwingkreis

Impedanz: $Z=R+j\omega L-\frac{j}{\omega C}$

Resonanzfreq.: $f_S=\frac{\omega_S}{2\pi}=\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{1}{\sqrt{LC}}$ [Hz]

mit $\omega_s\to\mathrm{Im}(Z(\omega_s))=0$

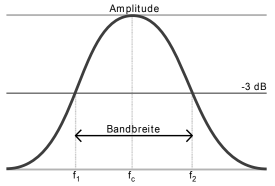
- Resonanz: Impedanz wird rein resitiv: $\mathrm{Im}(I)=0$ -> $F_P=0\to\theta=0°$



Güte: $Q=\frac{1}{R_S}\cdot\sqrt{\frac{L}{C}}=\frac{1}{R_S\cdot\omega_S\cdot C}=\frac{\omega_S L}{R_S}\approx\frac{U_C}{U}=\frac{U_L}{U}$ *

Bandbreite: $BW_{-3dB}=\frac{R_S}{L}=\frac{\omega_S}{Q}$ $\left[\frac{rad}{s}\right]$

Falls BW in Hz: $Q=\frac{f_s}{BW}$ Vorsicht: Hz ↔ rad!



Ergänzungen:

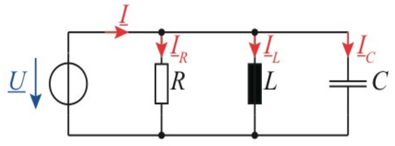
Güte: $Q=\frac{\text{max. Blindleistung}}{\text{Wirkleistung}}$ Bei Resonanz gilt: $I=\frac{E}{R_S}$ $F_P=\frac{P}{P_S}=1$

5.4.2 Parallelschwingkreis

Impedanz: $Z=\frac{j\omega LR}{R(1-\omega^2 LC)+j\omega L}$

Resonanzfreq.: $f_p=\frac{\omega_p}{2\pi}=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

- Resonanz: Betragsmaximum der Impedanz -> $\mathrm{Im}(Y(\omega_P))=0$



mit $\omega_p=\frac{1}{\sqrt{LC}}$

Güte: $Q=R_p\sqrt{\left(\frac{C}{L}\right)}=\frac{R_p}{\omega_p L}=R_p\cdot\omega_p\cdot C\approx\frac{I_L}{I}=\frac{I_C}{I}$

Bandbreite: $BW_{-3dB}=\frac{1}{C\cdot R_p}=\frac{\omega_p}{Q}$ $\left[\frac{rad}{s}\right]$

Falls BW in Hz: $Q=\frac{f_p}{BW}$ Aufpassen mit Hz ↔ rad!

5.4.3 Güte/Spulengüte

Ideale Spulen (Induktivitäten) haben eine rein imaginäre Impedanz ($Z_L=j\omega L$). Die Impedanz realer Spulen hingegen besteht neben dem Imaginärteil immer auch noch aus einem (vorzugsweise kleinen) Realteil, d.h. $Z_L=R_L+j\omega L$.
Das Verh altnis zwischen dem Imaginärteil (Reaktanz) und dem Realteil (Resistanz) der Impedanz einer Spule nennt man **Güte** <u>oder</u> **Spulengüte**, engl. quality factor.

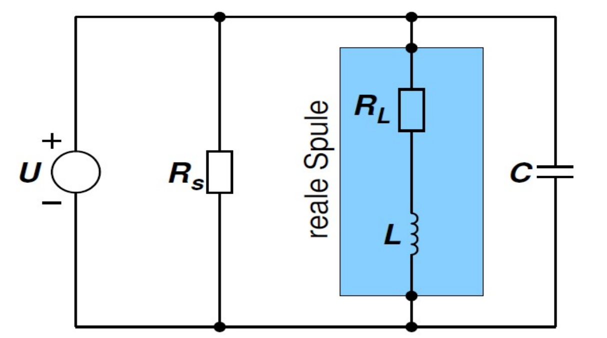
* $Q = 2\pi\frac{\text{Maximale in einer Periode gespeicherte Energie}}{\text{In einer Periode verbrauchte Energie}}=2\pi\frac{|E_L|}{|E_R|}$ || $Q_L(\omega)=\frac{\omega L}{R_L}$

Definition

Die **Güte** eines *Schwingkreises* (Q) bezeichnet das Verhältnis der in den reaktiven Elementen im *Schwingkreis* gespeicherten Energie zu der in einer Schwingungsperiode verbrauchten Energie, wenn der *Schwingkreis* mit seiner Resonanzfrequenz angeregt wird. Die **Güte** ist der Kehrwert der *Dämpfung*.

5.4.4 Parallelschwingkreis – Reale Spule

Reale Spule - Vor der Umwandlung



Herleitung

1. **Reale Spule**

$Z=R_L+j\omega L$

$Y=\frac{1}{R_L+j\omega L}$

->

$Y=\frac{R_L}{R_L^2+(\omega L)^2}-j\frac{\omega L}{R_L^2+(\omega L)^2}$

2. **Gleichsetzen**

$R_s'=\frac{R_L^2+(\omega L)^2}{R_L}$ mit

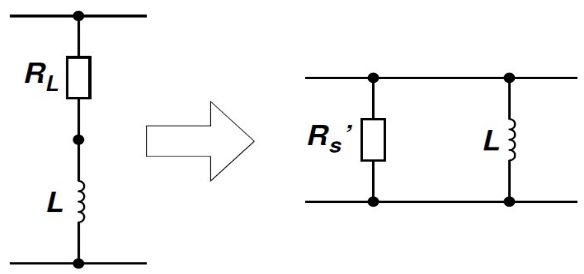
$Q_L=\frac{\omega_p L}{R_L}$

$R_s=R_L(1+Q_L^2)$

$j\cdot X=j\frac{R_L^2+(\omega L)^2}{\omega L}$ führt zu

$j\cdot X=j\frac{R_L^2}{\omega L}+j\omega L$

Umwandlung:



Widerstand:

$R_S=R_L(1+Q_L^2)$

Wenn $Q_L\gg 1$

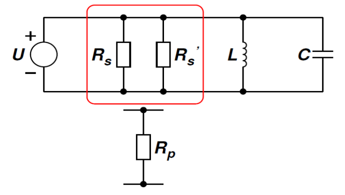
$R_S\approx R_L Q_L^2$

Reaktanz L:

$j\cdot X=j\frac{R_L^2}{\omega L}+j\omega L$

für $\omega L\gg R_L$ [gilt für z.b. Res.Freq.]:

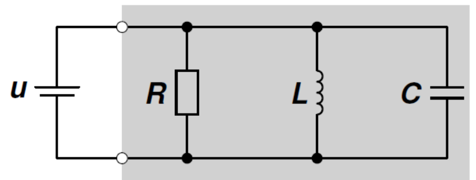
$j\cdot X\approx j\omega L$



$R_P=R_S'\|R_S$

$\frac{1}{R_s}=\frac{1}{R_p}-\frac{1}{R_s'}$

5.4.5 Parallelschwingkreis – Leistung (bei Resonanz)



<u>Leistung die in jedes Element hineinfliesst:</u>

$p_L=\frac{-U^2}{2\omega L}\sin(2\omega t)$ mit $u(t)=U\sin(\omega t)$

$p_C=\frac{U^2\omega C}{2}\sin(2\omega t)$

$p_R=\frac{U^2}{R}\sin^2(\omega t)$

Mittelere Leistung (die im Widerstand R verbraucht wird:

$P_R=\frac{1}{2}\frac{U^2}{R}$

Energie, die während einer Periode T=1/f im Widerstand umgesetzt wird:

$E_R=\frac{P_r}{f}=\frac{1}{2}\frac{U^2 2\pi}{R\omega}$

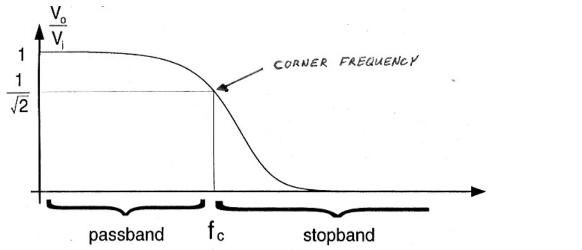
Kondensator und Spule tauschen nur Energie aus, d.h. die Summe der Energie die in beiden gespeichert ist bleibt konstant. Die Energie wird 2 mal pro Periode ausgetauscht.

Integrationdauer -> 0 bis T/4 -> $E_L=\frac{-1}{2}\frac{U^2}{\omega_p^2 L}$

5.5 Frequenzfilter

$\mathrm{dB}=20\log_{10}(x)$ $x=10^{\frac{\mathrm{dB}}{20}}$ **1=0 dB** Tipp: Evtl über KCL lösen.

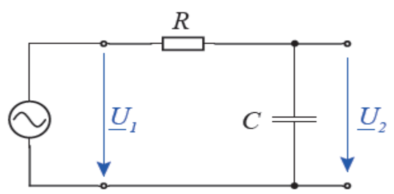
5.5.1 Tiefpassfilter



- -20 dB / dek
- -90° Phase

Wissenswertes:
Die Spannungsfälle verhalten sich proportional zu ihren Widerständen

Aktiv:

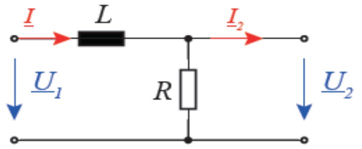


$H(j\omega)=\frac{1}{1+j\omega RC}$ rtg Formeln???

$|H(j\omega)|=\frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$ ‖ $f_c=\frac{1}{2\pi RC}$

$\sphericalangle H(j\omega)=-\arctan(\omega RC)$

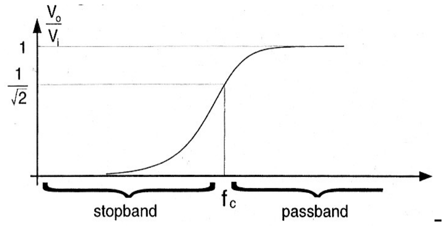
Passiv:



$H(j\omega)=\frac{U_2}{U_1}=\frac{R}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}$ Korrekt!

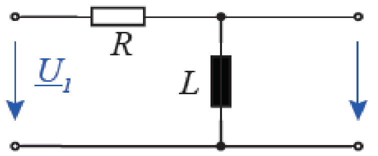
$\sphericalangle H(j\omega)=-\arctan(\omega\frac{L}{R})$

5.5.2 Hochpassfilter



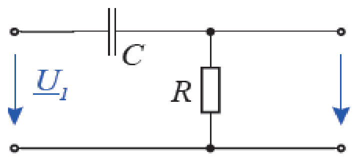
- 20 dB / dek
- 90° Phase

Wissenswertes:
Die Spannungsfälle verhalten sich proportional zu ihren Widerständen



$H(j\omega)=\frac{U_2}{U_1}=\frac{\omega L}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}$

$\sphericalangle H(j\omega)=90°-\arctan(\omega\frac{L}{R})$



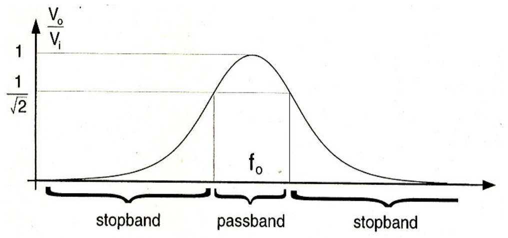
$H(j\omega)=\frac{j\omega RC}{1+j\omega RC}$????

$|H(j\omega)|=\frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$ ‖

$f_c=\frac{1}{2\pi RC}$

$\sphericalangle H(j\omega)=90°-\arctan(\omega RC)$

5.5.3 Bandpass(/stop)-Filter

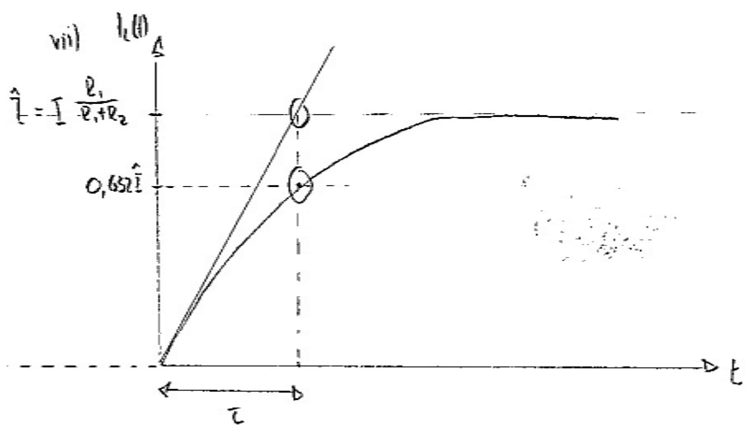


Tief- und Hochpassfilter in Reihe. (Gegenteil des Bandpass-Filters)

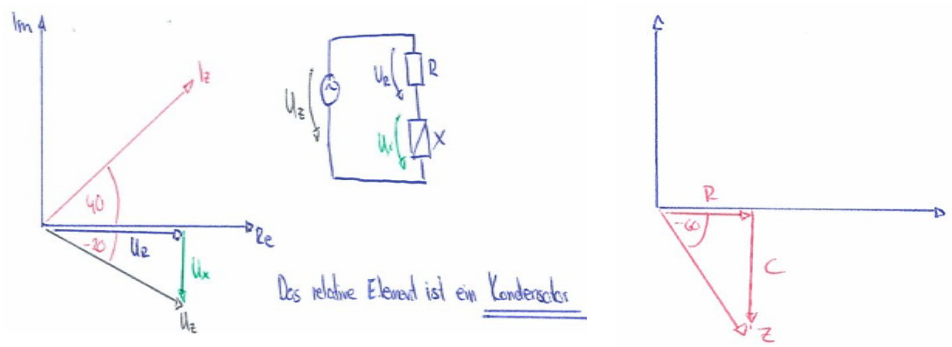
Aktiv: ... mit eigen. Spannungsquelle
Passiv: ...werden sie genannt, weil sie nicht über eine eigene Spannungsversorgung aktiv das Signal verändern.

6. Sonstiges

6.1.1 Zeitkonstante einzeichnen



6.1.2 R und C trennen, wenn I,U,Z_{tot} gegeben



$Z_{tot}=R+Z_x$ $R=\cos(60)|Z_{tot}|$ $Z_C=\sin(60)|Z_{tot}|$

6.1.3 Zweipoleigenschaften

Nach dem Klemmenverhalten bei sinusförmiger Wechselspannung unterteilt man Zweipole:

- **resistiv:** Der Strom ist der Spannung proportional, Strom und Spannung sind stets in Phase.
- **induktiv:** Die Spannung ist der zeitlichen Änderung des Stroms proportional, die Spannung eilt dem Strom voraus
- **kapazitiv:** Der Strom ist der zeitlichen Änderung der Spannung proportional, der Strom eilt der Spannung voraus

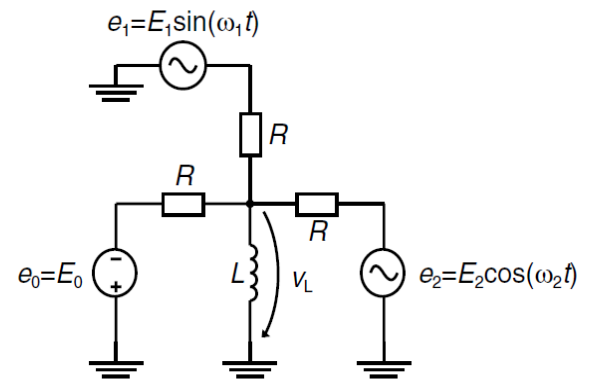
Es gibt Mischformen aus den oben genannten Kategorien: resistiv-induktiv, resistiv-kapazitiv. Ein Beispiel für einen resistiv-induktiven Zweipol ist ein Elektromotor. Ein Schwingkreis kann frequenzabhängig alle drei Verhalten zeigen. Ein Schwingkreis wird häufig durch seine Resonanzkurve normiert über die Verstimmung, statt durch ein U-I-Diagramm dargestellt.
Neben diesen drei Kategorien lassen sich weitere Eigenschaften eines Zweipols bestimmen:

- **passiv:** Der Zweipol gibt (im zeitlichen Mittel) in keinem Betriebszustand elektrische Leistung über die Klemmen ab.
- **aktiv:** Es gibt mindestens einen Betriebszustand in dem der Zweipol (im zeitlichen Mittel) Leistung über die Klemmen abgibt.
- **linear:** Für den Zusammenhang zwischen Klemmenstrom und Klemmenspannung gilt der Überlagerungssatz.
- **zeitinvariant:** Das Verhalten des Zweipols ist nicht explizit von der Zeit abhängig.

Quelle: Wikipedia

6.2 Beispiele

6.2.1 Übertragungsfunktion



$H(j\omega)=\frac{v_L}{e_i}=\frac{j\omega L\|R/2}{Z_{tot}}=$

$=\frac{j\omega L/R}{1+3j\omega L/R}$

$|H(j\omega)|=\frac{\omega L/R}{\sqrt{1+(3\omega L/R)^2}}$

$\sphericalangle H(j\omega)=\arctan(\frac{\omega L/R}{3(\omega L/R)^2})$

$v_L=0+E_1|H(j\omega_1)|\sin(\omega_1 t+\sphericalangle H(j\omega_1))+E_2|H(j\omega_2)|\sin(\omega_2 t+\sphericalangle H(j\omega_2))$

7. Multiple – Choice

Frage	Antwort/Aussagen
Temperaturabhängigkeit des **elektr.Widerstandes** einer Leiteranordnung.	• Der Widerstand eines Kupferplättchens wird kleiner, wenn sich das Plättchen abkühlt. • Der Widerstand eines Halbleiterplättchens wird grösser, wenn es sich abkühlt. • Der Widerstand eines Kupferplättchens wird grösser, wenn sich das Plättchen erhitzt.
Spannungs- und **Stromquellen**	• Kurzschlussstrom einer idealen Spannungsquelle ist unbegrenzt • Die Leerlaufspannung einer realen Stromquelle ist unabhängig von der Last. • Der Kurzschlussstrom einer realen Spannungsquelle kann nicht unendlich hoch sein • Reale Spannungs- und Stromquellen weisen gleiches Klemmenverhalten auf
Äquivalente Quellen	• Eine Ersatzspannungsquelle besitzt den gleichen Innenwiderstand wie die äquivalente Ersatzstromquelle. • ... besitzen das gleiche Klemmenverhalten. • Eine Ersatzspannungsquelle kann dieselbe maximale Leistung abgeben wie die äquivalente Ersatzstromquelle.
Aktiver 2-Pol (Als einen **Zweipol** (auch **Eintor/ Oneport**) bezeichnet man allgemein ein Bauelement oder eine Schaltung mit zwei „Anschlüssen“ (Klemmen))	• Bei Leistungsanpassung beträgt der Wirkungsgrad 50% (mit Lastwid. R_L) • Wirkungsgrad ist nie grösser als 1 • Wirkungsgrad kann bei gegebenem Widerstand R_L mit Hilfe der u-i-Kennlinie des Zweipols berechnet werden. • Aktive Zweipole können ausschliesslich mit Stromquellen modelliert werden. • Aktive Zweipole können nur Leistung abgeben. • Mehrere in Serie geschaltete aktive Zweipole können NICHT zu einem äquivalenten aktiven Zweipol zusammengefasst werden. •
Elektrisches Feld:	• Die elektrische Feldstärke hat immer eine eindeutige Richtung • Je enger die Feldlinien an einer Stelle beieinander liegen, desto grösser ist dort die Feldstärke. • Die Feldlinien weisen die Richtung von der pos. Ladung zur neg. Ladung auf
Magnetische Feld:	• Die Feldlinien sind immer in sich geschlossen • ... lässt sich durch Vektoren beschreiben (Vektorfeld). • Magnetische Pole können nicht zwangsläufig getrennt werden, so dass jeweils ein Nord- und ein Südpol entstehen • Ursache für mag. Felder ist die Bewegung elektr. Ladungen

Kondensator	• Bei Serienschaltung ist der Kehrwert der Ersatzkapazität gleich der Summe der Kehrwerte aller Kapazitäten • Bei Parallelschaltung ist die gesamte Kapazität gleich der Summe aller Kapazitäten. • Durch Parallelschaltung erhöht sich sowohl die Gesamtkapazität als auch die Strombelastbarkeit der Schaltung
Plattenkondensator	• ... ohne Dielektrikum verbunden mit einer Spannungsquelle U ist für homogene Feldapproximation der elektrische Fluss proportional zur Fläche A der Platten • ... ist die gespeicherte Ladung abhängig von dem Abstand der beiden Platten. • ...ist das elektrische Feld zwischen beiden Platten unter Berücksichtigung der Randeffekte inhomogen.
Spule	• Verhalten einer Induktivität wird mit Hilfe einer Differentialgleichung beschrieben • Der Stromverlauf muss stetig sein • Reale Spulen mit ferromagnetischem Kern können nicht von einem beliebig grossen Strom durchflossen werden, ohne dass sich die Induktivität ändert
Toroidspule (N-Windungen)	• Magnetfeld innerhalb des Kerns nimmt mit zunehmender magnetischer Länge des Ringkerns ab. • Durchflutungsgesetz gilt
Transformator (ideal)	• Es fliesst immer gleich viel Leistung aus der Sekundärwicklung hinaus wie in die Primärwicklung hinein • Ströme verhalten sich umgekehrt proportional zu den jeweiligen Windungszahlen • Ein idealer Transformator kann keine Energie speichern. • Spannungsübersetzungsverhältnis ist abhängig von den Windungszahlen
Mischgrössen	• Eine Mischspannung ist eine Überlagerung aus einer Gleichspannung und einer Wechselspannung • Wenn der Mittelwert eines periodischen Signals (endlicher Periodendauer) sei ungleich Null -> Mischgrösse
Reaktanz - Frequenzverhalten	• Reaktanz einer Kapazität steigt mit sinkender Frequenz • ... einer Induktivität steigt mit steigender Frequenz

Lastarten:	• **Ohmsch:** Impedanz Z ausschließlich aus einem ohmschen Widerstand R, so besteht zwischen der Spannung u(t) und dem Strom i(t) keine Phasenverschiebung • **Induktiv:** Besteht Impedanz Z ausschließlich aus einer Induktivität L, so eilt der Strom der Spannung um 90° nach -> Rechtsverschiebung der Stromkurve -> $Q > 0$ da $\theta > 0$ • **Kapazitiv:** Besteht Impedanz Z ausschließlich aus einer Kapazität C, so eilt der Strom der Spannung um 90° vor -> Linksverschiebung der Stromkurve -> $Q < 0$ da $\theta < 0$ -> • **Ohmsch-induktiv** Strom eilt der Spannung um einen Phasenwinkel von $-90^\circ < \theta \leq 0^\circ$ nach