

Was ist eine Reaktanz

Die Reaktanz (X) ist der Blindwiderstand. Somit ist er der Imaginärteil der Impedanz (Z). Die Reaktanz lässt sich folgendermassen berechnen:

Für Kapazitäten:

$$X = -\frac{1}{\omega C}$$

Für Induktivitäten:

$$X = \omega L$$

Da die Impedanz $Z = jX$ ist folgt:

Für Kapazitäten:

$$Z = jX = -\frac{j}{\omega C} = \frac{1}{j\omega C}$$

Für Induktivitäten:

$$Z = jX = j\omega L$$

Was ist die Güte (einer Reaktanz) und wie ist sie definiert?

Die Güte eines reaktiven Elements ist definiert als das Verhältnis seiner Reaktanz (Imaginärteil der Impedanz) und seiner Resistanz (Realteil der Impedanz):

$$Q = \frac{|\operatorname{Im} Z|}{\operatorname{Re} Z} = \frac{|X|}{R}$$

Grundsätzlich ist ein Bauteil besser je grösser die Güte ist.

Was ist der Verlustfaktor d und was sagt der Winkel δ aus?

Der Verlustfaktor ist der Kehrwert der Güte.

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{\operatorname{Re}}{|\operatorname{Im} Z|} = \tan(\delta)$$

$$\delta = \frac{\pi}{2} - |\varphi|$$

Was ist die Güte einer Induktivität
und einer Kapazität?

Für Induktivitäten:

$$Q_L = \frac{X_L}{R_L} = \frac{\omega L}{R_L} = \omega \tau_L$$

Für Kapazitäten:

$$Q_C = \frac{|X_C|}{R_C} = \frac{1}{\omega R_C C} = \frac{1}{\omega \tau_C}$$

Was ist ein Schwingkreis und welche Betriebsmodus gibt es?

Ein Schwingkreis ist:

- ein Netzwerk aus Ohmschen und Kapazitive Bauteile
- ein resonanzfähiges Netzwerk
- Kann parallel oder seriell geschaltet werden

Es gibt 2 Betriebsmodus:

- Freie Schwingung
- Erzwungene Schwingung (Durch Quelle angeregt)

Welche Frequenzen gibt es in einem Schwingkreis?

Es gibt drei verschiedene Frequenzen in einem Schwingkreis:

- Eigenfrequenz ω_0
(Resonanzfrequenz des verlustlosen Schwingkreis)
- Resonanzfrequenz ω_r
($\operatorname{Im}(Z) = 0$, Reine Reelle Impedanzen und Admitanzen)
- Extremalfrequenz ω_m
(Frequenz bei welcher die Impedanz maximal oder minimal ist)

Wie ist die Bandbreite eines
Schwingkreises definiert?

(absolute) Bandbreite:

$$B = f^+ - f^- = \frac{\omega^+ - \omega^-}{2\pi}$$

Die Bandbreite ist der Frequenzbereich, in welchem die Impedanz bzw. Admittanz des Resonators sich nur um den Faktor $\sqrt{2}$ vom nächsten (lokalen) Minimum ω_m unterscheidet.

Oder Formal ausgedrückt: $|Z(\omega^\pm)| = \sqrt{2} \cdot |Z(\omega_m)|$

relative Bandbreite:

$$B_{rel} = \frac{f^+ - f^-}{f_m} = \frac{\omega^+ - \omega^-}{\omega_m} = \frac{1}{Q_s}$$

Wobei Q_s die Schwingkreisgüte ist.

Was bedeutet Resonanz?

- Aus der Akustik:
Verstärktes Mitschwingen eines schwingfähigen Systems
- Die Resonanzfrequenz ω_r ist die Frequenz bei welcher die elektrische und magnetische Energie gleich gross sind $W_C = W_L$.

Bei der Resonanzfrequenz gilt folglich:

- $|X_C| = |X_L|$
- $Im(Z) = 0$
- $\tan(\varphi) = 0 \quad \rightarrow \quad \varphi = 0$

Was ist der Unterschied zwischen einer herkömmlichen Güte (einer Reaktanz) und einer Kreisgüte?

Definitionen:

Für eine Reaktanz:

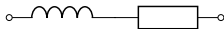
$$Q = \frac{|X|}{R}$$

Kreisgüte:

$$Q = \frac{1}{B_{rel}}$$

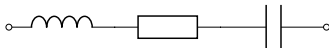
Beispiel Spule:

$$Q_L = \frac{\omega L}{R}$$



Beispiel Serienschwingkreis:

$$Q_s = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_m L}{R}$$



Wenn die Güte für den Kondensator $Q_C \rightarrow \infty$ dann ist die Definition identisch!

Wie ist die Güte über die Einergie und Leistung definiert?

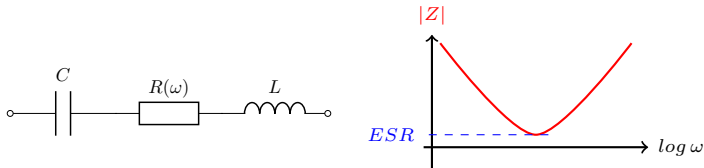
Die Güte ist folgendermassen definiert:

$$Q = \frac{\omega W}{P} = \frac{\text{gespeicherte Energie pro Periode}}{\text{Verlustleistung}}$$

Diese Definition gilt für die herkömmliche Güte so wie auch für die Kreisgüte.

Wie verhält sich ein echter
Kondensator?

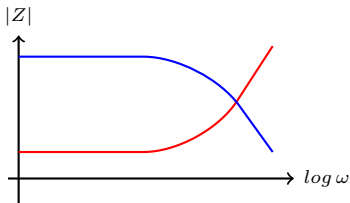
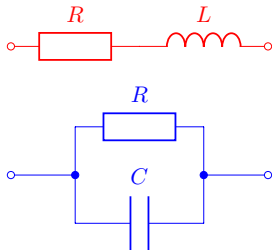
Ein Kondensator ist laut dem Ersatzschaltbild ein Serienschwingkreis und hat dementsprechend folgenden Verlauf:



Das Minimum der Impedanzfunktion ist rein reell und wird ESR (Equivalent Series Resistance) genannt. Es entspricht dem Wert des Seriewiderstands bei der entsprechenden Frequenz.

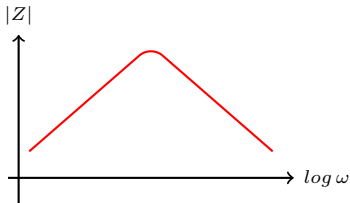
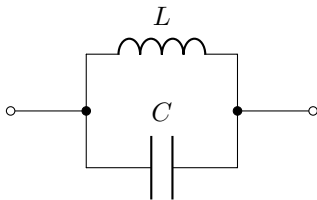
Wie verhält sich ein echten
Widerstand?

Das Ersatzschaltbild eines Widerstands hat entweder eine Spule in Serie (für kleine R) oder einen Kondensator Parallel (für grosse R).



Wie verhält sich eine echte Spule?

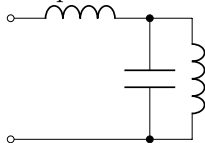
Das Ersatzschaltbild einer Spule ist ein Parallelschwingkreis. Deshalb hat der Impedanzverlauf folgende Eigenschaften.



Was ist ein Reaktanzeintor?

Ein Reaktanzeintor hat zwei Anschlüsse, besteht nur aus Reaktanzen und hat somit keine Wirkwiderstände.

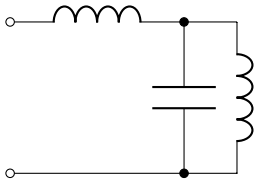
Beispiel:

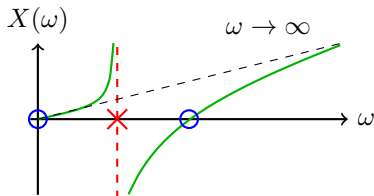


Es wird zwischen minimalen und nicht minimalen Eintoren unterschieden. Nicht minimale Eintore können auf ein minimales Eintor reduziert werden ohne dass die Änderung von aussen bemerkt wird.

Da die RET nur aus L und C bestehen hat das RET bei $\omega = 0$ und bei $\omega \rightarrow \infty$ jeweils eine Pol oder eine Nullstelle.

Wie sieht der Reaktanzverlauf des folgenden RET aus und was für ein Typ hat das RET?



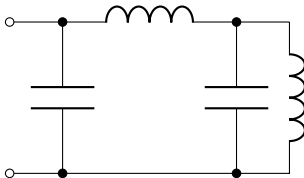


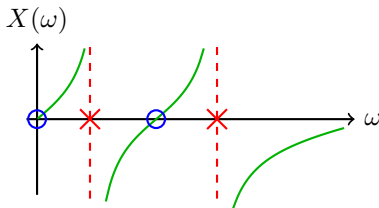
Bei diesem Beispiel handelt sich um ein L-Typ

Als erstes wird das Verhalten des RET bei DC und bei sehr grossen Frequenzen analysiert. Für DC leiten beide Induktivitäten also ist dort eine NS. Für hohe Frequenzen sperrt die Erste Spule also ist dort eine PS.

Da es bei dieser Schaltung um ein minimales RET handelt und aus drei Bauteilen besteht, hat der Reaktanzverlauf drei Pol/Null stellen. Diese treten abwechselnd auf.

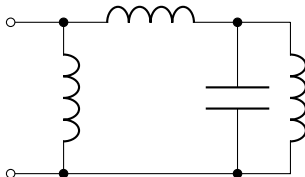
Wie sieht der Reaktanzverlauf des folgenden RET aus?



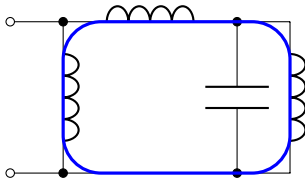


Als erstes wird das Verhalten des RET bei DC und bei sehr grossen Frequenzen analysiert. Für DC leiten beide Induktivitäten also ist dort eine NS. Für hohe Frequenzen leiten Beide Kapazitäten also ist dort ebenfalls NS. Da es bei dieser Schaltung um ein minimales RET handelt und aus vier Bauteilen besteht, hat der Reaktanzverlauf vier Pol/Null stellen. Diese treten abwechselnd auf.

Ist folgendes RET ein minimales
Eintor?



Nein! Denn es hat ein Ring aus Induktivitäten. In diesem Ring kann ein Strom fließen. Dieser Strom ist von aussen nicht sichtbar. Eine Induktivität kann ersatzlos gestrichen werden, wenn dementsprechend die anderen Induktivitäten angepasst werden. Danach ist von aussen kein Unterschied feststellbar.

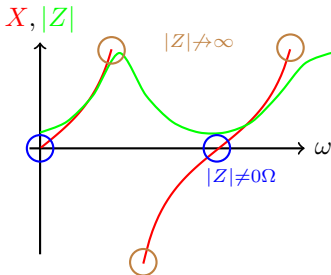


Welche Eigenschaften eines RET sind in der Praxis am unwahrscheinlichsten?

Es gibt zwei Probleme:

- Impedanz wird nie 0 erreichen
- Die Impedanz kann nicht unendlich gross werden.

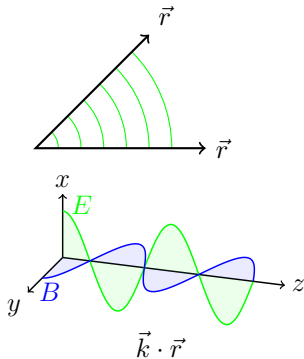
Allerdings wird die Impedanz sich nicht komplett anders verhalten als die Reaktanz.



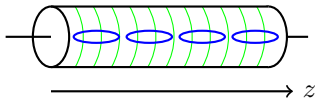
Was ist eine Leitung?

Für uns ist eine Leitung eine Wellenführung.

Ungeführte Welle:



Geführte Welle:

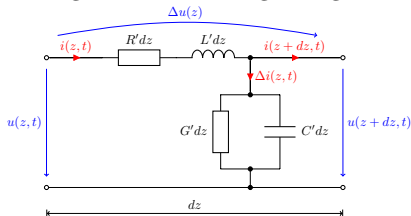


$$k \cdot z = \beta z \quad \Rightarrow \quad k = \beta$$

Im Beispiel ist ein Koaxialleiter zu sehen. Das B -Feld ist Orthogonal zum E -Feld. Die gesamte Anordnung ist Symmetrisch.

Wie Sieht das Schema des
Leitungsmodells aus?

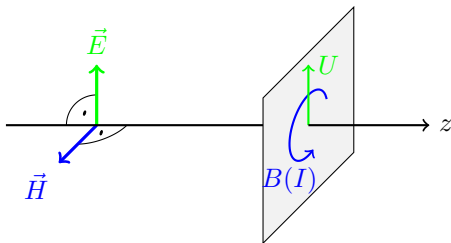
Das Leitungsmodell bezieht sich auf einen kurzen Leitungsausschnitt. Dadurch erhalten wir längenunabhängige Kenngrößen die sogenannten Leitungsbeläge.



$R' = \frac{dR}{dz}$	Widerstandsbelag in Ω/m
$L' = \frac{dL}{dz}$	Induktivitätsbelag in H/m
$G' = \frac{dG}{dz}$	Isolationsbelag in S/m
$C' = \frac{dC}{dz}$	Kapazitätsbelag in F/m

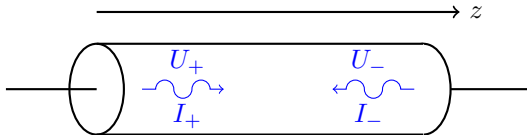
Was ist eine TEM-Welle?

TEM steht für transversalelektromagnetisch. Eine TEM-Welle hat nur Komponenten, welche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung sind. Im Bild ist z die Ausbreitungsrichtung der Welle und steht senkrecht zu \vec{E} und \vec{H} .



Was bedeutet der Begriff
Wellenimpedanz?

Die Wellenimpedanz ist das Verhältnis zwischen Spannung und Strom der Welle. Achtung: Dies ist nicht gleich der gemessenen Spannung und Strom an einem gewissen Punkt z in der Leitung!



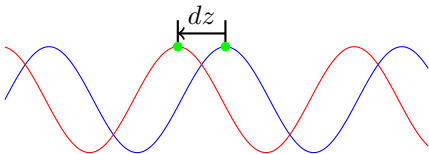
$$\begin{aligned} \rightarrow Z_0 &= \frac{U_+}{I_+} = \frac{U_-}{I_-} \neq \frac{U(z)}{I(z)} \\ &= \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} = Z(\omega) \quad \text{gemäss Leitungsmodell} \end{aligned}$$

Was bezeichnet man als
Ausbreitungsgeschwindigkeit?

Für uns ist meistens mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit die Phasengeschwindigkeit gemeint.

$$v = \frac{dz}{dt} = v_{ph}$$

Am einfachsten wird geschaut wie sich der Peak der Welle fortbewegt.



Was ist die Ausbreitungskonstante?

Die Ausbreitungskonstante γ ist eine komplexe Grösse und hat die Einheit $Np/m + jrad/m$. Np/m ist (Neper/Meter).

$$\begin{array}{lll} \gamma & \Rightarrow & \text{Ausbreitungskonstante} \\ \gamma = \alpha + j\beta & \alpha & \Rightarrow \text{Dämpfungskonstante} \\ & \beta & \Rightarrow \text{Phasenkonstante} \end{array}$$

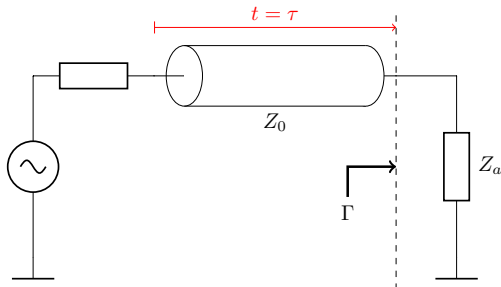
Eine Welle kann mittels der Ausbreitungskonstante definiert werden:

$$U_+ e^{-\gamma z}$$

Wobei $U_+ e^{-\gamma z}$ eine Welle in die Positive z Richtung ist mit der komplexen Amplitude $U_+ = |U_+| e^{j\varphi_+}$

Wie entstehen durch Leitungen
Verzerrungen und wie können diese
verhindert werden?

Eine Möglichkeit ist die **Dispersion**. Dies ist dann der Fall wenn $\beta(\omega)$, $\gamma(\omega)$, $Z(\omega)$, $v(\omega)$ Frequenzabhängig sind.
Eine andere Möglichkeit für Verzerrungen sind Reflexionen. Die Reflexionen treten immer Zeitverzögert auf (τ).



Frage

26

Antwort

Antwort

Frage

27

Antwort

antwort