

Inhaltsverzeichnis

1	KONDENSATOR UND SPULE IM WECHSELSTROMKREIS.....	2
1.1	KONDENSATOR IM WECHSELSTROMKREIS.....	2
1.1.1	<i>Der ideale Kondensator</i>	2
1.1.1.1	Spannung und Strom.....	2
1.1.1.2	Widerstand.....	2
1.1.1.3	Leistung.....	2
1.1.2	<i>Der reale Kondensator</i>	2
1.1.2.1	Die Güte Q	2
1.1.2.2	Der Verlustfaktor d	3
1.2	SPULE IM WECHSELSTROMKREIS.....	3
1.2.1	<i>Die ideale Spule</i>	3
1.2.1.1	Spannung und Strom.....	3
1.2.1.2	Widerstand.....	3
1.2.1.3	Leistung.....	3
1.2.2	<i>Die reale Spule</i>	3
1.2.2.1	Die Güte Q	3
1.2.2.2	Der Verlustfaktor d	3
2	KOMPENSATION.....	4
2.1	SERIESCHALTUNG.....	4
2.2	PARALLELSCHALTUNG.....	4
3	IMPULSVERFORMUNG.....	4
3.1	RC-INTEGRIERGLIED.....	4
3.2	CR-DIFFERENZIERGLIED.....	4
4	SIEBSCHALTUNGEN.....	4
4.1	TIEFPASS.....	4
4.1.1	<i>Grenzfrequenz</i>	5
4.2	HOHPASS.....	5
4.3	BANDPASS.....	5
4.4	BANDSPERRE.....	5
5	SCHWINGKREISE.....	5
5.1	SERIESCHWINGKREIS.....	5
5.1.1	<i>Resonanzfrequenz</i>	5
5.1.2	<i>Güte Q</i>	6
5.1.3	<i>Dämpfung d</i>	6
5.1.4	<i>Bandbreite b</i>	6
5.1.5	<i>Einfluss der ohmschen Grösse auf die Güte und die Bandbreite</i>	6
5.2	PARALLELSCHWINGKREIS.....	6
5.2.1	<i>Verluste</i>	6
6	VERSTÄRKUNG UND DÄMPFUNG.....	7
6.1	VERSTÄRKUNGS- UND DÄMPFUNGSFAKTOR.....	7
6.1.1	<i>Beziehung zwischen Verstärkungs- und Dämpfungsfaktor</i>	7
6.2	VERSTÄRKUNGS- UND DÄMPFUNGMASS.....	7
6.2.1	<i>Beziehung zwischen Verstärkungs- und Dämpfungsmass</i>	7
6.3	ABSOLUTER PEGEL.....	7
6.4	DÄMPFUNGSBELAG.....	7

1 Kondensator und Spule im Wechselstromkreis

1.1 Kondensator im Wechselstromkreis

1.1.1 Der ideale Kondensator

1.1.1.1 Spannung und Strom

Für den Betrag des Stromes im Kondensator gilt:

$$I = C \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

Hieraus folgt, dass nur bei einer Änderung der Spannung am Kondensator eine Stromänderung eintritt. Daraus folgert sich, dass bei sinusförmiger Wechselspannung, im Gegensatz zu Gleichspannung, dauernd ein Strom durch den Kondensator fließen muss. Dabei hat der Strom einen mathematischen ähnlichen Verlauf wie die Spannung. Er eilt der Spannung um $\pi/2$ vor.

Um die zeitlich nicht konstanten Werte der Spannung und des Stromes zu berechnen verwenden wir die Formel für die allgemeine Sinusfunktion:

$$y = a \cdot \sin(bx + c)$$

Dabei entspricht y dem Momentanwert, a dem Maximalwert, b der Kreisfrequenz (in unserem Fall $2 \cdot \pi \cdot f$) und c der Phasenverschiebung. Als unabhängige Variable x verwenden wir die Zeit t .

1.1.1.2 Widerstand

Der Widerstand, der der Kondensator dem Strom entgegensetzt, ist frequenzabhängig. Wir sprechen daher nicht von einem Widerstand im herkömmlichen Sinn (Wirkwiderstand), sondern nennen ihn Blindwiderstand. Er berechnet sich:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Je grösser die Kapazität und je höher die Frequenz, desto tiefer der kapazitive Blindwiderstand. Im Widerstands-Frequenz-Diagramm bildet sich eine Hyperbel. Sie ist um so ausgeprägter, je grösser die Kapazität ist.

1.1.1.3 Leistung

Wird nach der Formel $U \cdot I$ die Leistung für jeden Zeitpunkt während einer Periode berechnet, so erhalten wir eine Kurve, deren arithmetischer Mittelwert gleich Null ist. Der ideale Kondensator gibt demnach jeweils die gleiche Leistung ab, wie er aufnimmt (Wirkleistung ist Null). Die innerhalb des Kondensators umgesetzte Leistung nennt man Blindleistung. Sie berechnet sich:

$$Q_C = U_C \cdot I_C = \frac{U_C^2}{X_C} = I_C^2 \cdot X_C$$

Ihre Einheit ist [var].

1.1.2 Der reale Kondensator

Bedingt durch ein nicht ideales Dielektrikum, Erwärmungs- und Umpolungsverluste (elektrisches Wechselfeld) lässt sich ein realer Kondensator durch eine Parallelschaltung aus einem idealem Kondensator und einem Widerstand darstellen.

Die Spannung ist an beiden Komponenten dieselbe, während wir den Gesamtstrom aus der geometrischen Addition der Teilströme errechnen. Das gleiche Verfahren wenden wir an, um die Leitwerte (Parallelschaltung) und Leistungen zu ermitteln.

1.1.2.1 Die Güte Q

Die Güte Q ist das Verhältnis der Blindgrösse zur Wirkgrösse. Je kleiner die Wirkgrösse, desto grösser die Güte und desto „besser“ der Kondensator. Da die Güte das Verhältnis der Katheten am Vektordreieck bestimmt, bestimmt sie auch dessen Winkel und damit die Phasenwinkel zwischen Schein-, Wirk- und Blindgrösse.

1.1.2.2 Der Verlustfaktor d

Der Verlustfaktor d ist des Verhältnis der Wirkgrösse zur Blindgrösse. Je grösser die Wirkgrösse, desto grösser der Verlustfaktor und desto „schlechter“ der Kondensator. Der Verlustfaktor d ist die inverse Grösse zur Güte Q.

1.2 Spule im Wechselstromkreis

1.2.1 Die ideale Spule

1.2.1.1 Spannung und Strom

Für den Betrag der Spannung in der Spule gilt:

$$U = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Hieraus folgt, dass nur bei einer Änderung des Stromes in der Spule eine Spannungsänderung eintritt. Dabei hat die Spannung einen mathematisch ähnlichen Verlauf wie der Strom. Sie eilt dem Strom um $\pi/2$ vor.

Um die zeitlich nicht konstanten Werte der Spannung und des Stromes zu berechnen verwenden wir die Formel für die allgemeine Sinusfunktion:

$$y = a \cdot \sin(bx + c)$$

Dabei entspricht y dem Momentanwert, a dem Maximalwert, b der Kreisfrequenz (in unserem Fall $2 \cdot \pi \cdot f$) und c der Phasenverschiebung. Als unabhängige Variable x verwenden wir die Zeit t.

1.2.1.2 Widerstand

Der Widerstand, der die Spule dem Strom entgegensetzt, ist frequenzabhängig. Wir sprechen daher nicht von einem Widerstand im herkömmlichen Sinn (Wirkwiderstand), sondern nennen ihn Blindwiderstand. Er berechnet sich:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Je grösser die Induktivität und je höher die Frequenz, desto grösser der induktive Blindwiderstand. Im Widerstands-Frequenz-Diagramm bildet sich eine Gerade. Sie ist um so steiler, je grösser die Induktivität ist.

1.2.1.3 Leistung

Wird nach der Formel $U \cdot I$ die Leistung für jeden Zeitpunkt während einer Periode berechnet, so erhalten wir eine Kurve, deren arithmetischer Mittelwert gleich Null ist. Die ideale Spule gibt demnach jeweils die gleiche Leistung ab, wie sie aufnimmt (Wirkleistung ist Null). Die innerhalb der Spule umgesetzte Leistung nennt man Blindleistung. Sie berechnet sich:

$$Q_L = U_L \cdot I_L = \frac{U_L^2}{X_L} = I_L^2 \cdot X_L$$

Ihre Einheit ist [var].

1.2.2 Die reale Spule

Bedingt durch Wicklungs-, Wirbelstrom- und Hystereseverluste lässt sich eine reale Spule durch eine Serieschaltung aus idealer Spule und einem Widerstand darstellen.

Der Strom ist in beiden Komponenten der selbe, während wir die Gesamtspannung aus der geometrischen Addition der Teilspannungen errechnen. Das gleiche Verfahren wenden wir an, um die Widerstände und Leistungen zu ermitteln.

1.2.2.1 Die Güte Q

Die Güte Q ist das Verhältnis der Blindgrösse zur Wirkgrösse. Je kleiner die Wirkgrösse, desto grösser die Güte und desto „besser“ der Kondensator. Da die Güte das Verhältnis der Katheten am Vektordreieck bestimmt, bestimmt sie auch dessen Winkel und damit die Phasenwinkel zwischen Schein-, Wirk- und Blindgrösse.

1.2.2.2 Der Verlustfaktor d

Der Verlustfaktor d ist des Verhältnis der Wirkgrösse zur Blindgrösse. Je grösser die Wirkgrösse, desto grösser der Verlustfaktor und desto „schlechter“ der Kondensator. Der Verlustfaktor d ist die inverse Grösse zur Güte Q.

2 Kompensation

2.1 Serieschaltung

In einer Serieschaltung eines Widerstandes, einer Spule und eines Kondensators gilt:

- U_L eilt U_R um $\pi/2$ vor oder U_C eilt U_R um $\pi/2$ nach, da der Strom in allen Elementen gleich gross ist. Daraus folgt, dass U_C und U_L um π verschoben sind und daher genau entgegengesetzt liegen. Durch An

Widerstand der Spule und am Ausgangswiderstand fällt keine Spannung mehr ab. Bei niederfrequenten Signalen fällt der Widerstand der Spule kaum mehr ins Gewicht und sie stehen am Ausgangswiderstand zur Verfügung. Mit sich ändernder Frequenz ändern sich auch laufend die Verhältnisse der Katheten am Vektordreieck und damit die Winkel, u.a. der Winkel zwischen der Schein- und der Wirkgrösse. Dieser Winkel stellt den Phasenwinkel dar. Er läuft mit zunehmender Frequenz von 0 gegen $-\pi/2$.

4.1.1 Grenzfrequenz

Sie ist definiert als die Frequenz, wo die Wirkgrösse gleich der Blindgrösse ist:

$$R = X$$

Daraus folgt die Grösse des Phasenwinkels bei Grenzfrequenz:

$$\varphi = |\pi/4|$$

Die Grenzfrequenz berechnet sich wie folgt:

$$\text{RC: } f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R}$$

$$\text{LR: } f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

Die Grenzfrequenz ist ebenfalls die Frequenz, bei das Ausgangssignal um -3dB gegenüber des Höchstwertes abgesunken ist:

$$U_a = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_e$$

4.2 Hochpass

Als passive Hochpässe kommen entweder CR-Glieder oder RL-Glieder in Frage. Im ersten Fall fallen niederfrequente Signale am Kondensator ab. Nur hochfrequente Signale passieren den Kondensator und stehen am Ausgangswiderstand zur Verfügung. Im zweiten Fall werden niederfrequente Signale durch die Spule am Ausgang kurzgeschlossen und nur hochfrequente Signale können an der Spule abfallen.

Mit sich ändernder Frequenz ändern sich auch laufend die Verhältnisse der Katheten am Vektordreieck und damit die Winkel, u.a. der Winkel zwischen der Schein- und der Wirkgrösse. Dieser Winkel stellt den Phasenwinkel dar. Er läuft mit zunehmender Frequenz von $\Pi/2$ gegen 0 .

4.3 Bandpass

Als passive Bandpässe kommen LC- oder RC-Bandpässe in Frage. Sie lassen nur Signale in einem bestimmten Frequenzbereich passieren.

4.4 Bandsperre

Als passive Bandsperren kommen LC-Bandsperren oder Wien-Robinson-Brücken in Frage. Sie unterdrücken Signale in einem bestimmten Frequenzbereich.

5 Schwingkreise

5.1 Serieschwingkreis

Ein Serieschwingkreis besteht aus einer Kapazität, einer Induktivität und einem ohmschen Widerstand. Bei einer ganz bestimmten Frequenz wird der kapazitive Blindwiderstand gleich dem induktiven Blindwiderstand (Wir rechnen mit dem Widerstand, da er proportional zur Spannung ist; der Strom ist in allen Elementen gleich gross). Da sie entgegengesetzt gerichtet sind, heben sie sich gegenseitig auf. Die Impedanz des Schwingkreises wird gleich dem ohmschen Widerstand (reiner Wirkwiderstand). Übers ganze Glied gesehen besteht keine Phasenverschiebung mehr.

Der Serieschwingkreis ist daher eine Filterschaltung, welche nur Frequenzen in einem ganz bestimmten Frequenzbereich passieren lässt (auch Saugkreis genannt).

5.1.1 Resonanzfrequenz

Die Frequenz, bei der dieser Fall eintritt, heisst Resonanzfrequenz. Sie berechnet sich:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Diese Formel ist auch unter dem Begriff Thomson'sche Schwingungsformel bekannt.

Je nach Dimensionierung des Kreises, können an den Blindelementen Spannungen abfallen, die weitaus höher als die am Eingang des Kreises angelegte Spannung sind (Spannungsüberhöhung).

5.1.2 Güte Q

Das Verhältnis der Katheten am Vektordreieck (Blindgrösse zu Wirkgrösse) nennt man die Güte Q eines Kreises. Sie gibt an, wie viel mal grösser die Spannung bei Resonanz an der Induktivität und dem Kondensator ist.

5.1.3 Dämpfung d

Die Dämpfung d ist die inverse Grösse zur Güte Q. Sie drückt das Verhältnis von Wirkgrösse zur Blindgrösse aus.

5.1.4 Bandbreite b

Sie gibt die Breite des Frequenzbandes zwischen der unteren und der oberen Grenzfrequenz an.

$$b = \frac{f_0}{Q} = f_0 \cdot d$$

Aus den Formeln für die Güte erhalten wir:

$$b = \frac{f_0}{Q} = \frac{f_0 \cdot R}{X_L} = \frac{f_0 \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot L} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

5.1.5 Einfluss der ohmschen Grösse auf die Güte und die Bandbreite

Wird ein grosser ohmscher Widerstand gewählt, ist die Güte des Kreises klein, während dafür die Bandbreite gross ist. Wird dagegen der ohmsche Widerstand verkleinert, nimmt die Güte zu; die Bandbreite wird jedoch kleiner.

5.2 Parallelschwingkreis

Ein Parallelschwingkreis besteht aus einer Kapazität, einer Induktivität und einem ohmschen Widerstand. Bei einer ganz bestimmten Frequenz wird der kapazitive Blindleitwert gleich dem induktiven Blindleitwert (Wir rechnen mit dem Leitwert, da er proportional zum Strom ist; die Spannung ist an allen Elementen gleich gross). Da sie entgegengesetzt gerichtet sind, heben sie sich gegenseitig auf. Die Admitanz des Schwingkreises wird gleich dem ohmschen Leitwert (reiner Wirkleitwert). Übers ganze Glied gesehen besteht keine Phasenverschiebung mehr.

Der Parallelschwingkreis ist daher eine Filterschaltung, welche Frequenzen in einem ganz bestimmten Frequenzbereich herausfiltert (auch Sperrkreis genannt).

Zur Berechnung der Resonanzfrequenz gilt die Thomson'sche Schwingungsformel.

Je nach Dimensionierung des Kreises, können an den Blindelementen Ströme auftreten, die weitaus höher

6 Verstärkung und Dämpfung

6.1 Verstärkungs- und Dämpfungsfaktor

Elektrische Schaltungen können allgemein als Vierpol dargestellt werden. Aus den Verhältnissen von Ausgangsgrösse zu Eingangsgrösse erhalten wir die Verstärkungsfaktoren V . Aus den Verhältnissen von Eingangsgrösse zu Ausgangsgrösse erhalten wir die Dämpfungsfaktoren D .

Beispiel Leistungsverstärkungsfaktor:

$$V_p = \frac{P_a}{P_e} = \frac{1}{D_p}$$

6.1.1 Beziehung zwischen Verstärkungs- und Dämpfungsfaktor

Es gilt der Zusammenhang:

$$V_x = \frac{1}{D_x}$$

6.2 Verstärkungs- und Dämpfungsmass

Eine alternative Darstellungsform bietet die Umrechnung der Faktoren in Masse. Das Mass ist der Logarithmus mit der Basis 10 des Faktors. Um jedoch etwas grössere Zahlen zu erhalten, multiplizieren wir noch mit dem Wert 20 (beim Leistungsverstärkungsmass nur mit 10). Die Einheit des Masses ist Dezibel. Als Formelzeichen verwenden wir die Kleinbuchstaben v und a .

Beispiel Stromdämpfungsmass:

$$a_I = 20 \cdot \log\left(\frac{I_e}{I_a}\right)$$

6.2.1 Beziehung zwischen Verstärkungs- und Dämpfungsmass

Es gilt der Zusammenhang:

$$v_x = -a_x$$

6.3 Absoluter Pegel

Für die Hochfrequenz- und die Fernmeldetechnik wurde eine feste Bezugsgrösse definiert:

- Hochfrequenztechnik: $U_0=1\text{E-}6\text{V}$
- Fernmeldetechnik: $U_0=0,775\text{V}$

$$a_u = 20 \cdot \log\left(\frac{U}{U_0}\right)$$

6.4 Dämpfungselag

Der Dämpfungselag gibt an, wie gross die Dämpfung in jeder Streckeneinheit ist:

$$a' = \frac{a}{s}$$

Als Einheit drängt sich [dB/m] auf.