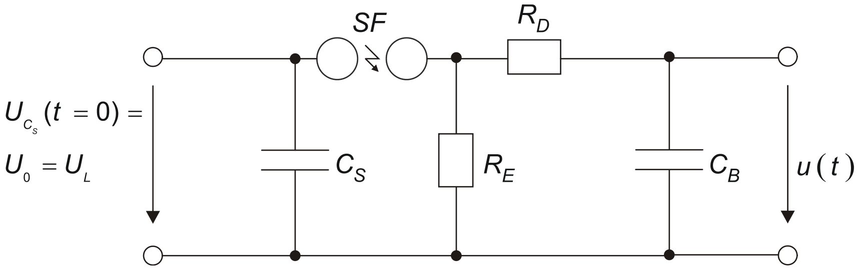
Lösung Aufgabe 1 / Übungsblatt 2

1.1

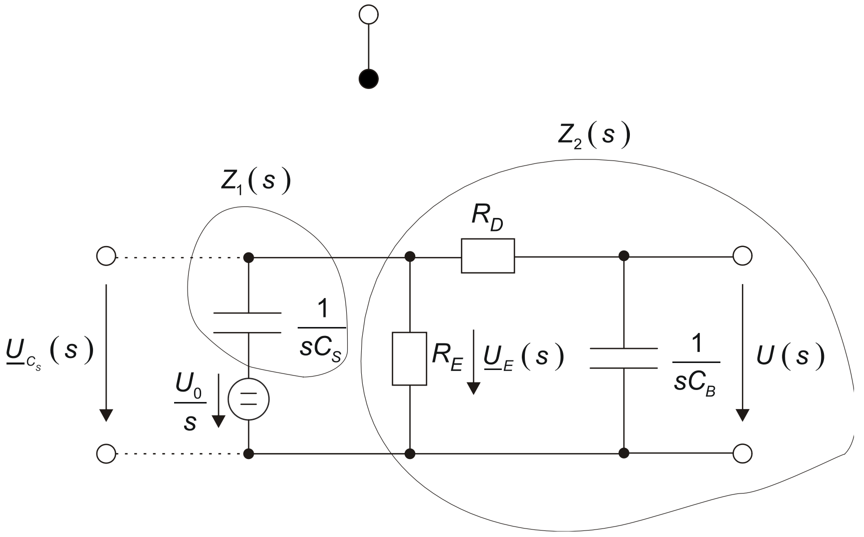


Zeitbereich bzw. Originalraum

Wie kommt es zu $\frac{1}{sC_S}$?

Anwendung Laplace Transformation:

$R = \frac{U}{I} \quad I(s) = sCU(s)$



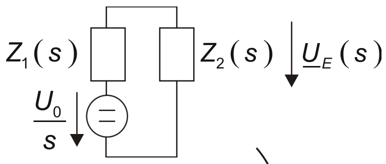
Laplacebereich bzw. Bildraum

Ziel:

1. $U(s)$ in Abhängigkeit von U_0 und der Bauelemente berechnen
2. Rücktransformation → $U(s)$ ●—○ $u(t)$

$$\frac{1}{Z_1(s)} = sC_s; \qquad \frac{1}{Z_2(s)} = \frac{1}{R_E} + \frac{1}{R_D + \frac{1}{sC_B}}$$

$$\frac{U_E(s)}{\frac{U_0}{s}} = \frac{Z_2(s)}{\underline{Z}_1(s) + \underline{Z}_2(s)}$$



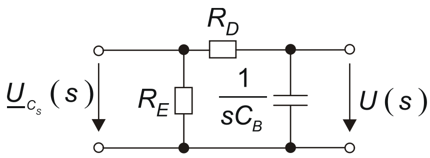
$$\frac{U_E(s)}{\frac{U_0}{s}} = \frac{sC_s}{sC_s + \frac{1}{R_E} + \frac{1}{R_D + \frac{1}{sC_B}}}$$

$Z_1(s);Z_2(s)$ einsetzen

$$= \frac{sC_s}{sC_s + \frac{1}{R_E} + \frac{sC_B}{1+sR_DC_B}}$$

$$= \frac{sR_EC_s}{1+sR_EC_s + \frac{sR_EC_B}{1+sR_DC_B}} \qquad (*)$$

Spannungsteiler $\frac{\underline{U}(s)}{\underline{U}_E(s)}$ betrachten



$$\frac{\underline{U}(s)}{\underline{U}_E(s)} = \frac{\frac{1}{sC_B}}{R_D + \frac{1}{sC_B}} = \frac{1}{1+sR_DC_B} \qquad (**)$$

$(*)$ und $(**)$

$$\rightarrow \qquad \frac{\underline{U}(s)}{\frac{\underline{U}_0}{s}} = \frac{1}{1+sR_DC_B} \cdot \frac{sR_EC_s}{1+sR_EC_s + \frac{sR_EC_B}{1+sR_DC_B}}$$

2 Brüche zusammenführen

$$= \frac{sR_EC_s}{1+sR_DC_B + sR_EC_s\left(1+sR_DC_B\right) + sR_EC_B}$$

Nach Potenzen von s ordnen

$$\frac{\underline{U}(s)}{\frac{U_0}{s}} = \frac{s R_E C_s}{1+s\left(R_E C_s + R_D C_B + R_E C_B\right)+s^2 R_E C_s R_D C_B}$$

$R_D C_B$ aus-
klammern
$R_E C_S$ kürzen

$$U(s)=\frac{U_0}{R_D C_B}\frac{1}{s^2+\underbrace{\left(\frac{1}{R_D C_B}+\frac{1}{R_E C_s}+\frac{1}{R_D C_s}\right)}_{a}s+\underbrace{\frac{1}{R_E C_s R_D C_B}}_{b}}$$

substituiert

$$U(s)=\frac{U_0}{R_D C_B}\frac{1}{s^2+as+b}$$

<u>Rücktransformation in den Zeitbereich</u>

$\frac{1}{s-\alpha}$, α beliebig $\bullet\!\!-\!\!\!\circ\ e^{\alpha t}$

bzw. $\frac{1}{s+\alpha}=\frac{1}{s-(-\alpha)}$ $\bullet\!\!-\!\!\!\circ\ e^{-\alpha t}$ Transformation

$$\alpha_{1,2}=-\alpha^*_{1,2}$$

$$\begin{aligned} s^2+as+b &= (s-\alpha_1^*)(s-\alpha_2^*)=(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)=(s-(-\alpha_1))(s-(-\alpha_2)) \\ &= s^2-(\alpha_1^*+\alpha_2^*)s+\alpha_1^*\alpha_2^* \end{aligned}$$

$\rightarrow$ $a=-(\alpha_1^*+\alpha_2^*)$; $b=\alpha_1^*\alpha_2^*$ Umstellen, nach α auflösen

$$\alpha^*_{1,2}=-\frac{a}{2}\pm\sqrt{\frac{a^2}{4}-b}$$

$$\alpha_{1,2}=\frac{a}{2}\pm\sqrt{\frac{a^2}{4}-b}$$

$$\frac{1}{s^2+as+b}=\frac{1}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)}=\frac{A}{(s+\alpha_1)}+\frac{B}{(s+\alpha_2)}\overset{(*_1)}{=}\frac{(A+B)s+A\alpha_2+B\alpha_1}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)}$$

mit $A+B=0 \quad\rightarrow\quad B=-A \qquad (\times)$

$$A\alpha_2 + B\alpha_1 \underset{mit\,(\times)}{\overset{!}{=}} A\alpha_2 - A\alpha_1 = A(\alpha_2-\alpha_1) \overset{!}{=} 1$$

$A = \dfrac{1}{\alpha_2-\alpha_1}$ und $B = -\dfrac{1}{\alpha_2-\alpha_1}$

$$(*_1) \rightarrow \quad A\left(\frac{1}{s+\alpha_1} + \frac{B}{A(s+\alpha_2)}\right) = \frac{1}{\alpha_2-\alpha_1}\left(\frac{1}{s+\alpha_1} - \frac{\frac{1}{\alpha_2-\alpha_1}\cdot\frac{\alpha_2-\alpha_1}{1}}{s+\alpha_2}\right)$$

$$\rightarrow \quad \frac{1}{s^2+as+b} = \frac{1}{\alpha_2-\alpha_1}\left(\frac{1}{s+\alpha_1} - \frac{1}{s+\alpha_2}\right) = \frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\left(\frac{1}{s+\alpha_2} - \frac{1}{s+\alpha_1}\right)$$

vorher: $U(s) = \dfrac{U_0}{R_D C_B} \cdot \dfrac{1}{s^2+as+b}$ Transformation

$$\rightarrow \quad U(s) = \frac{U_0}{R_D C_B}\frac{1}{(s+\alpha_1)(s+\alpha_2)} \bullet\!\!-\!\!\circ\; u(t) = \frac{U_0}{R_D C_B}\cdot\frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\left[e^{-\alpha_2 t} - e^{-\alpha_1 t}\right]$$

Die Stoßspannung $u(t)$ setzt sich aus der Überlagerung zweier Exponentialfunktionen mit den Zeitkonstanten $\tau_1 = \dfrac{1}{\alpha_1}$ bzw. $\tau_2 = \dfrac{1}{\alpha_2}$ zusammen.

$u(t) = \dfrac{U_0}{R_D C_B}\dfrac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\left[e^{-\alpha_2 t} - e^{-\alpha_1 t}\right]$ bzw.

$u(t) = \dfrac{U_0}{R_D C_B}\dfrac{\tau_1\tau_2}{\tau_2-\tau_1}\left[e^{-\frac{t}{\tau_2}} - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right]$; $\quad \underset{langsame\ Entladung}{\tau_2} > \underset{schnelle\ Aufladung}{\tau_1}$

Anschaulich: $\left(+Ae^{-\frac{t}{\tau_2}} \qquad -Ae^{-\frac{t}{\tau_1}} \right)$

Ausnutzungsfaktor $\eta = \frac{U_{\max}}{U_0} = \frac{\hat{U}}{U_0}$ — $\hat{U}$ Scheitelpunkt der Stoßspannung

U_0 Ladespannung

Der Scheitelpunkt $\hat{U}$ der resultierenden Stoßspannung $u(t)$ erreicht <u>nicht</u> den Wert der Ladespannung U_0, weil die in C_s gespeicherte Ladung nach zünden der Funkenstrecke auf C_s und C_B verteilt wird. Der Ausnutzungsgrad $\eta = \frac{\hat{U}}{U_0}$ ist deshalb kleiner 1.

$U_{\max}$ <u>bzw.</u> $\hat{U}$ <u>bestimmen</u> (Extremwert-Aufgabe)

$$\frac{du(t)}{dt} \overset{!}{=} 0 \qquad \frac{d}{dt}\left[\frac{U_0}{R_D C_B}\frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\left(e^{-\alpha_2 t}-e^{-\alpha_1 t}\right)\right]$$

$$\frac{U_0}{R_D C_B}\frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\left[-\alpha_2 e^{\alpha_2 t}+\alpha_1 e^{-\alpha_1 t}\right]$$

$$\rightarrow \qquad \alpha_2 e^{-\alpha_2 t} = \alpha_1 e^{-\alpha_1 t}$$

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{e^{-\alpha_2 t}}{e^{-\alpha_1 t}} = e^{(\alpha_1-\alpha_2)t}$$

$$t_{\max} = \frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\ln\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

$t_{\max} \triangleq$ Zeitpunkt $u(t)$ maximal

$$\rightarrow \qquad U_{\max} = \hat{U} = u(t_{\max}) \quad = \frac{U_0}{R_D C_B}\frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\left[e^{-\frac{\alpha_2}{\alpha_1-\alpha_2}\ln\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} - e^{-\frac{\alpha_1}{\alpha_1-\alpha_2}\ln\frac{\alpha_1}{\alpha_2}}\right]$$

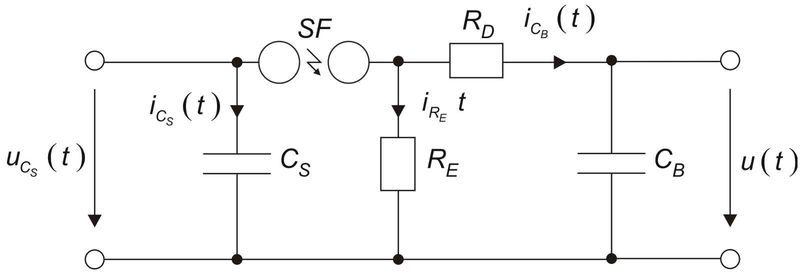
$$\text{mit } a^b = e^{b\ln a} \qquad = \frac{U_0}{R_D C_B}\frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\left[\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^{-\frac{\alpha_2}{\alpha_1-\alpha_2}} - \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^{-\frac{\alpha_1}{\alpha_1-\alpha_2}}\right]$$

<u>Ausnutzungsfaktor berechnen</u>

$$\eta = \frac{\hat{U}}{U_0} = \underline{\underline{\frac{1}{R_D C_B}\frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\left[\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^{-\frac{\alpha_2}{\alpha_1-\alpha_2}} - \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^{-\frac{\alpha_1}{\alpha_1-\alpha_2}}\right]}}}$$

1.2

<u>Herleitung des zeitlichen Verlaufs der Stoßspannung $u(t)$ im Zeitbereich</u>



(1) $-i_{C_S} - i_{R_E} - i_{C_B} = 0$

(2) $i_{C_S} = C_S \dfrac{du_{C_S}}{dt}$

(3) $i_{C_B} = C_B \dfrac{du}{dt}$

(4) $u - i_{R_E} R_E + i_{C_B} R_D = 0$

(5) $u - u_{C_S} + i_{C_B} R_D = 0$

aus (1): $i_{R_E} = -i_{C_S} - i_{C_B}$ (6)

(6) in (4): $u + i_{C_S} R_E + i_{C_B} R_E + i_{C_B} R_D = 0$

$$u + i_{C_S} R_E + i_{C_B} (R_E + R_D) = 0 \qquad (7)$$

(2),(3) in (7): $$u + R_E C_S \frac{du_{C_S}}{dt} + (R_E + R_D) C_B \frac{du}{dt} = 0 \qquad (8)$$

(3) in (5): $$u - u_{C_S} + R_D C_B \frac{du}{dt} = 0$$

$$u_{C_S} = u + R_D C_B \frac{du}{dt} \qquad \left| \frac{d}{dt} \right.$$

$$\frac{du_{C_S}}{dt} = \frac{du}{dt} + R_D C_B \frac{d^2u}{dt^2} \qquad (9)$$

(9) in (8): $$u + R_E C_S \frac{du}{dt} + R_E C_S R_D C_B \frac{d^2u}{dt^2} + (R_E + R_D) C_B \frac{du}{dt} = 0$$

$$R_E C_S R_D C_B \frac{d^2u}{dt^2} + (R_E C_B + R_D C_B + R_E C_S) \frac{du}{dt} + u = 0$$

$$\underline{\underline{\frac{d^2u}{dt^2} + \left(\frac{1}{R_D C_S} + \frac{1}{R_D C_B} + \frac{1}{R_E C_S} \right) \frac{du}{dt} + \frac{1}{R_E C_S R_D C_B} \cdot u = 0}}$$

(homogene Differentialgleichung 2. Ordnung)

$$\rightarrow \qquad \frac{d^2u}{dt^2} + a \frac{du}{dt} + b u = 0$$

$$a = \frac{1}{R_D C_S} + \frac{1}{R_D C_B} + \frac{1}{R_E C_S} \quad \text{und} \quad b = \frac{1}{R_E C_S R_D C_B}$$

(vgl. mit Aufgabe 1.1)

<u>Lösung der Differentialgleichung:</u>

$$u(t) = A_0 e^{\alpha_1^* t} + B_0 e^{\alpha_2^* t} \tag{10}$$

mit $\alpha_{1,2}^* = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}$; $\qquad \alpha_{1,2}^* < 0$

aus der charakteristischen Gleichung $\alpha^2 + a\alpha + b = 0$

bzw. $u(t) = A_0 e^{-\alpha_1 t} + B_0 e^{-\alpha_2 t}$ (11)

mit $\alpha_{1,2} = -\left(-\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b} \right) = \frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}$; $\qquad \alpha_{1,2} > 0$

$$\alpha_1 = \frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}; \qquad \alpha_2 = \frac{a}{2} - \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}$$

Anfangswerte:

i. $u(t=0)=0=A_0+B_0;\qquad B_0=-A_0$

(11) $\rightarrow u(t)=A_0\left(e^{-\alpha_1 t}-e^{-\alpha_2 t}\right)$ (12)

ii. $u_{C_S}(t=0)=U_0\overset{!}{=}\underbrace{u(t=0)}_{=0}+R_D C_B \left.\frac{du}{dt}\right|_{t=0}=R_D C_B \left.\frac{du}{dt}\right|_{t=0}$

$\rightarrow \left.\frac{du}{dt}\right|_{t=0}=\frac{U_0}{R_D C_B}$ (13)

Gleichung (12) differenzieren: $\frac{du}{dt}=A_0\left(-\alpha_1 e^{-\alpha_1 t}+\alpha_2 e^{-\alpha_2 t}\right)$

$\rightarrow \left.\frac{du}{dt}\right|_{t=0}=A_0(-\alpha_1+\alpha_2)$ (14)

(13) in (14): $A_0(-\alpha_1+\alpha_2)=\frac{U_0}{R_D C_B};\qquad A_0=\frac{U_0}{R_D C_B}\left(-\frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\right)$ (15)

(15) in (12): $\underline{\underline{u(t)=\frac{U_0}{R_D C_B}\cdot\frac{1}{\alpha_1-\alpha_2}\left(e^{-\alpha_2 t}-e^{-\alpha_1 t}\right)}}$

Lösung Aufgabe 2 / Übungsblatt 2

2.2

$$U_{\max} \overset{!}{=} U_L = n \cdot U_L'; \qquad n = 18$$

$U_L' \triangleq$ Ladespannung auf die ein Kondensator aufgeladen wird
Ladespannung pro Stufe

Da Scheitelwert der Sekundärspannung des Transformators = Ladespannung pro Stufe

$$\hat{U}_2 = U_L' = 200\,kV$$

$$U_{2eff} = \frac{\hat{U}_2}{\sqrt{2}} = 141{,}4\,kV$$

2.3

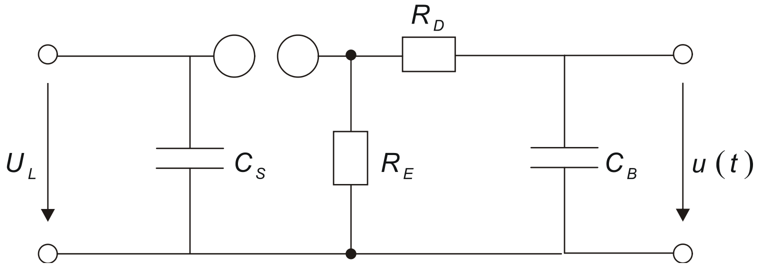
Stoßkapazität aus maximaler Stoßenergie berechnen
- Die maximale Stoßenergie wird in den Stoßkondensatoren des Generators gespeichert

$$W_{el} = \frac{1}{2} C_S U_{\max}^2 \overset{!}{=} 180\,kJ \qquad C_S = \frac{C_S'}{n} \quad \text{(Reihenschaltung aus C)}$$

$$\rightarrow \quad C_S = \frac{2 W_{el}}{U_{\max}^2} = 27{,}78\,nF \quad \text{(wirksame Stoßkapazität)}$$

$$C_S' = n \cdot C_S = 500\,nF \quad \text{(Kapazität pro Stufe / eines Stoßkondensators)}$$

Belastungskapazität aus Ausnutzungsfaktor berechnen (bei gegebener C_S)
- Stoßkreis kann auf die Grundschaltung („Typ I“) zurückgeführt werden:



Für den Ausnutzungsfaktor gilt bei dieser Schaltung folgende Näherung:

$$\eta = \frac{\hat{U}}{U_L} \approx \frac{C_S}{C_S + C_B};$$

$\hat{U}$ Scheitelwert der Stoßspannung

$$\frac{C_S}{C_S + C_B} = \eta = 0{,}98$$

$$C_S = 0{,}98(C_S + C_B)$$

$$0{,}02 C_S = 0{,}98 C_B \quad \rightarrow \quad C_S = 49 C_B$$

$$\Rightarrow C_B = \frac{1}{49} C_S = 566{,}94\,pF$$

(Belastungskapazität (Prüfling + Teilerkapazität))

Kapazität pro Stufe (fiktive Kapazität)

$$C_B' = n \cdot C_B = \underline{\underline{10{,}2\,nF}}$$

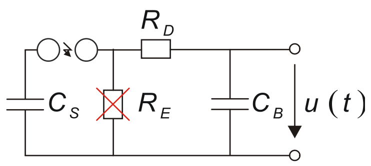
2.4

Die pulsformenden Widerstände R_D und R_E lassen sich bei gegebener Stoßkapazität C_S und Belastungskapazität C_B aus der Stirnzeit T_S bzw. der Rückenhalbwertszeit T_R berechnen.

- Für die Stirnzeit ist näherungsweise der Dämpfungswiderstand R_D und die Serienschaltung von C_S und C_B wirksam.

  Stirnzeit (Aufladung von C_B):

  $$T_S = K_1 \tau_1 = K_1 R_D \frac{C_S C_B}{C_S + C_B}$$

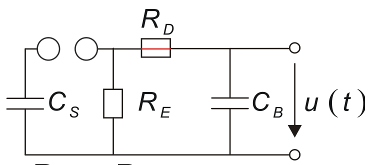


$R_E \gg R_D \rightarrow$ Leerlauf

- Für die Rückenhalbwertszeit ist näherungsweise der Entladewiderstand R_E und die Parallelschaltung von C_B und C_S wirksam.

  Rückenhalbwertszeit (Entladung von C_B):

  $$T_R = K_2 \tau_2 = K_2 R_E (C_S + C_B)$$



$R_D \ll R_E \rightarrow$ KS

Die Konstanten K_1 und K_2 sind von der Stoßspannungform abhängig. Für die Blitzstoßspannung $\frac{1{,}2}{50}\,\mu s$ gilt: $K_1 = 2{,}96$; $K_2 = 0{,}73$

wirksamer Dämpfungswiderstand $$R_D = \frac{T_S}{K_1}\frac{C_S + C_B}{C_S \cdot C_B} = 729{,}67\,\Omega$$

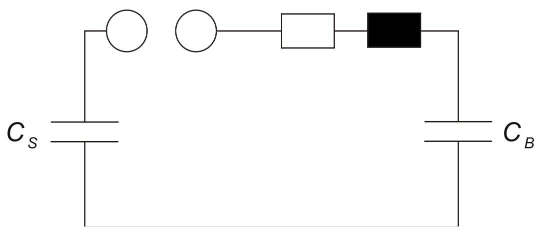
pro Stufe: $$R_D' = \frac{R_D}{n} = 40{,}5\,\Omega$$ (pro Bauelement)

wirksamer Entladewiderstand $$R_E = \frac{T_R}{K_2}\frac{1}{C_S + C_B} = 2416{,}4\,\Omega$$

pro Stufe: $$R_E' = \frac{R_E}{n} = 134{,}2\,\Omega$$ (pro Bauelement)

2.5

Bei räumlich ausgedehnten Stoßkreisen (insbesondere bei mehrstufigen Generatoren) ergeben sich nennenswerte Kreisinduktivitäten / parasitäre Induktivitäten.
Die parasitären Induktivitäten erzeugen Schwingungen, die gedämpft werden müssen.
Die gesamte Induktivität setzt sich aus der inneren Induktivität der Stoßkondensatoren („Kondensatorinduktivität") und der Zuleitungsinduktivität zum Prüfling zusammen. $L_{Kreis} = n \cdot L_S' + L_{zul}$



Schwingkreis zusammenfassen zu einfachem RLC-Reihenschwingkreis:

- Kapazität: Reihenschaltung aus Stoß- und Belastungskapazität
- Dämpfungswiderstand: innerer und äußerer Widerstand
- Kreisinduktivität: siehe oben

Eigenfrequenz eines Serienresonanzkreises

$$\omega_e = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

ω_0 : Resonanz-Kreisfrequenz

ω_e : Eigenschwing-Kreisfrequenz

α : Dämpfungsrate

3 Fälle sind zu unterscheiden:

(1) $\alpha > \omega_0$ / Aperiodischer Fall

(2) $\alpha = \omega_0$ / Aperiodischer Grenzfall

(3) $\alpha < \omega_0$ / Periodischer Fall

über homogene lineare DGL 2. Ordnung des Serienresonanzkreis

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\alpha \frac{di}{dt} + \omega_0^2 \, i = 0 \qquad \underline{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega c}\right)$$

Lösungsansatz: $i(t) = C \exp(pt)$

- Resonanz-Kreisfrequenz

  $\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} \overset{!}{=} 0; \qquad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

- Dämpfungsrate

  $\alpha = \frac{R}{2L}$

charakteristische Gleichung: $p^2 + 2\alpha p + \omega_0^2 = 0$

$$p_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} = -\alpha \pm j\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = -\alpha \pm j\,\omega_e$$

Lösung: $i(t) = C_1 \exp(p_1 t) + C_2 \exp(p_2 t)$

<u>1. Fall</u> $\alpha > \omega_0$ / Aperiodischer Fall

$$p_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \qquad \text{reell,} \quad < 0 \qquad \left(\omega_e = j\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}\right)$$

Die Lösung ist nicht oszillatorisch, sondern aperiodisch, da p_1, p_2 reell und < 0 sind.

2. Fall $\alpha = \omega_0$ / Aperiodischer Grenzfall

$p_1 = p_2 = p = -\alpha$ reell, < 0 $(\omega_e = 0)$

(Lösungsansatz: $i(t) = (C_1 + C_2\,t)\exp(p\,t)$ mit $C_1 = 0$ da $i(t=0) = 0$)

3. Fall $\alpha < \omega_0$ / Periodischer Fall

$p_{1,2} = -\alpha \pm j\sqrt{\omega_0{}^2 - \alpha^2}$ $\left(\omega_e = \sqrt{\omega_0{}^2 - \alpha^2}\right)$

Die Lösung ist oszillatorisch $(\exp(\pm j\,\omega_e\,t))$ und gedämpft $(\exp(-\alpha))$.

Kreisinduktivitäten können in erster Näherung vernachlässigt werden, wenn mindestens eine kritische Kreisdämpfung vorliegt.

kritische Kreisdämpfung $\rightarrow$ aperiodischer Grenzfall
überkritische Kreisdämpfung $\rightarrow$ aperiodischer Fall

Dämpfungsbedingung für einen einfachen RLC-Schwingkreis

$$\alpha \geq \omega_0$$

$$\frac{R_D}{2L_{Kreis}} \geq \frac{1}{\sqrt{L_{Kreis}\,C_{Kreis}}}$$

$$\frac{R_D^2}{4L_{Kreis}^2} \geq \frac{1}{L_{Kreis}\,C_{Kreis}}$$

$$R_D \geq 2\frac{\sqrt{L_{Kreis}}}{\sqrt{C_{Kreis}}} = \boxed{2\sqrt{\frac{L_{Kreis}}{C_{Kreis}}}}$$

2.5

$$R_D \geq 2\sqrt{\frac{L_{Kreis}}{C_{Kreis}}}$$

$$L_{Kreis} \quad = n \cdot L'_S + L_{zul} \quad = 115{,}4\,\mu H$$

$$C_{Kreis} \quad = \frac{C_S \cdot C_B}{C_S + C_B} \quad = 0{,}3943\,nF \qquad C_S = \frac{C'_S}{n} = 27{,}78\,nF \qquad C_B = \frac{C'_B}{n} = 0{,}4\,nF$$

$$\rightarrow \qquad R_D \geq 2\sqrt{\frac{L_{Kreis}}{C_{Kreis}}} = 1081{,}95\,\Omega$$

– ohne externen Dämpfungswiderstand:

$R_D = n \cdot R'_D = 288\,\Omega$ ist kleiner $1081{,}95\,\Omega$

– mit externem Dämpfungswiderstand:

$$R_D = n \cdot R'_D + R_{ex}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow R_{ex} &= 1081{,}95\,\Omega - 288\,\Omega \\ &= \underline{\underline{793{,}95\,\Omega}} \end{aligned}$$

2.6

Stirnzeit

$$T_S = K_1 R_D \frac{C_S C_B}{C_S + C_B} = 1{,}26\,\mu s$$

Toleranz: $1{,}2\,\mu s \pm 30\% = 0{,}84\,\mu s ... 1{,}56\,\mu s$

⚠ $R_D = n R'_D + R_{ex}$

Rückenhalbwertszeit

$$T_R = K_2 R_E (C_S + C_B) = 48{,}13\,\mu s$$

Toleranz: $50\,\mu s \pm 20\% = 40\,\mu s ... 60\,\mu s$

Ausnutzungsgrad

$$\eta = \frac{C_S}{C_S + C_B} = 0{,}986 = 98{,}6\%$$