

Räkneövningar

VT2014

Uppgift C15 Skärmningseffektivitet

- En mätning av en apparat visar att fältet vid 10m är 53dB $\mu\text{V}/\text{m}$ vid 120MHz och 56dB $\mu\text{V}/\text{m}$ vid 240MHz. Hur stor skärmningseffektivitet behövs för att klara EN55022 (klass B)?
- Norm:
 - 0-230 MHz max 30 dB $\mu\text{V}/\text{m}$
 - 230-1000 MHz max 37 dB $\mu\text{V}/\text{m}$

Lösning C15

- På 10 m skall apparaten klara $30 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ vid 120 MHz. Den utsänder $53 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, så man behöver en ökad SE på $53-30 = 23 \text{ dB}$
- Vid 240 MHz skall apparaten klara $37 \text{ dB}\mu\text{V/m}$. Den sänder ut $56 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, för detta behövs en ökad SE på $56-37 = 19 \text{ dB}$

Uppgift C16 Kopparplåt

- Beräkna skärmningseffektiviteten SE i fjärrfältet för en 0,5 mm tjock kopparplåt vid 1 MHz!

Uppgift C16 – lösning sid 1

$$SE = R + A + B \text{ [dB]}$$

Vågimpedansen för koppar: $|Z_S| = 3,68 \cdot 10^{-7} \sqrt{f} \text{ } [\Omega]$ (sid 110)

$$\Rightarrow Z_S = 3,68 \times 10^{-4} \Omega$$

$$Z_V = 377 \Omega$$

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{4Z_S Z_V}{(Z_S + Z_V)^2} \approx \frac{4Z_S}{Z_V} \quad Z_V \gg Z_S$$

$$SE = 20 \log \left(\frac{E_0}{E_1} \right) \Rightarrow R = 20 \log \left(\frac{Z_V}{4Z_S} \right)$$

$$\Rightarrow R = 108 \text{ dB (reflektionsdämpning)}$$

Uppgift C16 – lösning sid 2

Inträngningsdjupet $\delta = \frac{66 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{f \sigma_r}} = \frac{66 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{10^6}} = 66 \mu m$ Cu: $\sigma_r=1$

Absorptionsdämpning $\frac{E_1}{E_0} = e^{-\frac{t}{\delta}} = e^{-\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{66 \cdot 10^{-6}}} = 513 \cdot 10^{-6}$

$$SE = 20 \log \left(\frac{E_0}{E_1} \right) \Rightarrow A = 20 \log \left(\frac{1}{513 \cdot 10^{-6}} \right) = 65,8 \text{ dB}$$

$$A > 10 \text{ dB} \Rightarrow B \approx 0$$

$$\Rightarrow SE = R + A = 108 + 66 = 174 \text{ dB}$$

Uppgift C17 Hål i skärm

- En låda har ett fläkthål på 12 x 12 cm. Hur stor är SE för hålet vid 100 MHz?
- Vad blir SE om hålet delas i 144 mindre hål med tunt gods mellan hålen?

Lösning C17

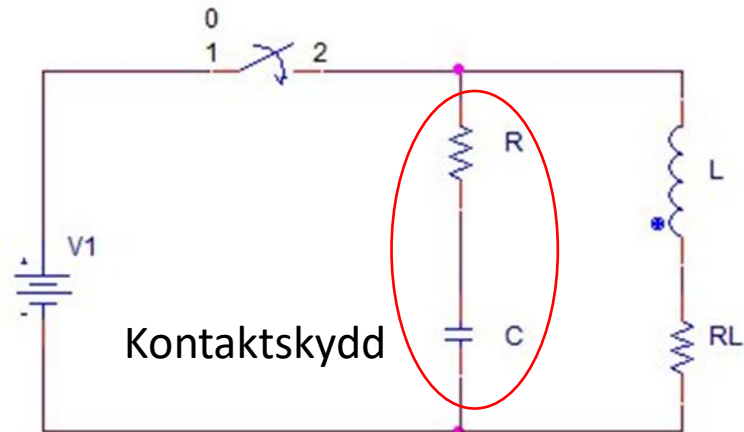
- $f=100\text{MHz}$, $\lambda=c/f \Rightarrow \lambda=3\text{m}$
- $a = 12\text{cm}$, (Ett hål)
- $SE = 20\log\left(\frac{\lambda}{2a}\right)$ (kvadratisk hål) = 21,9 dB
- $a = 1\text{cm}$, (144 hål)
- $SE = 20\log\left(\frac{\lambda}{2a}\right)$ (kvadratisk hål) = 43,5 dB

Övningar

KONTAKTSKYDD

Uppgift C8

- Beräkna ett kontaktskydd av RC-typ för ett relä
 - $L = 1 \text{ H}$
 - $R_L = 400 \text{ ohm}$
 - $V_1 = 24 \text{ V}$



Lösning C8

$$I_0 = V_1 / R_L = 24 \text{ V} / 400 \Omega = 60 \text{ mA}$$

Detta är mindre än den ström som krävs för genomslag $I_a > 400 \text{ mA}$

$$C \geq I_0 \cdot 10^{-6} \Rightarrow C > 60 \text{ nF} \text{ för att hålla } du/dt < 1 \text{ V}/\mu\text{s}.$$

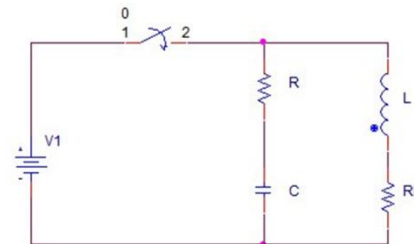
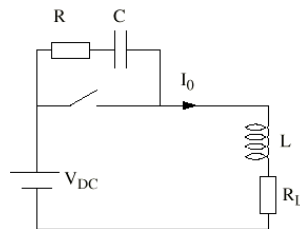
$$C \geq L \left(\frac{I_0}{300} \right)^2 \Rightarrow C > 40 \text{ nF}$$

$$\frac{V_{DC}}{I_a} < R < R_L \Rightarrow 24 \text{ V} / 0,4 \text{ A} = 60 \Omega < R < 400 \Omega$$

=> Ett bra RC-skydd blir $C = 100 \text{ nF}$ i serie med 330Ω placerade antingen över kontakten eller spolen (se fig).

$$\text{Vill man ha ett överdämpat system väljs } C \geq \frac{4L}{(R_L + R)^2}$$

$$R = 330 \Omega \Rightarrow C = 10 \mu\text{F}$$

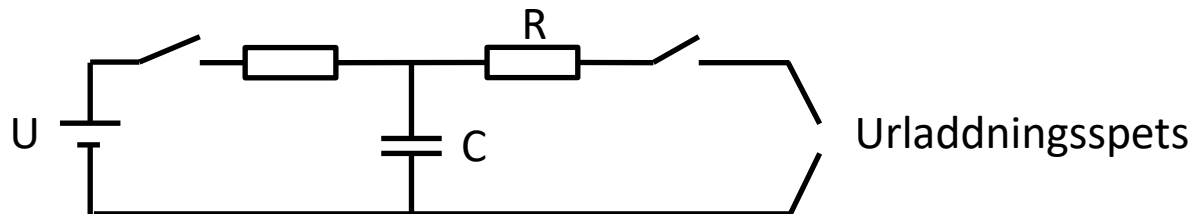


Övningar

ESD

Uppgift E1

- Enligt EN61000-4-2 skall generatoren för ESD-testning se ut som i figuren, där $R=330\text{ohm}$ och $C=150\text{pF}$.
- Beräkna kortslutningsströmmen vid $t=0$, 30ns och 60ns efter brytarens slutning när kondensatorn är uppladdad till $U=4\text{kV}$.



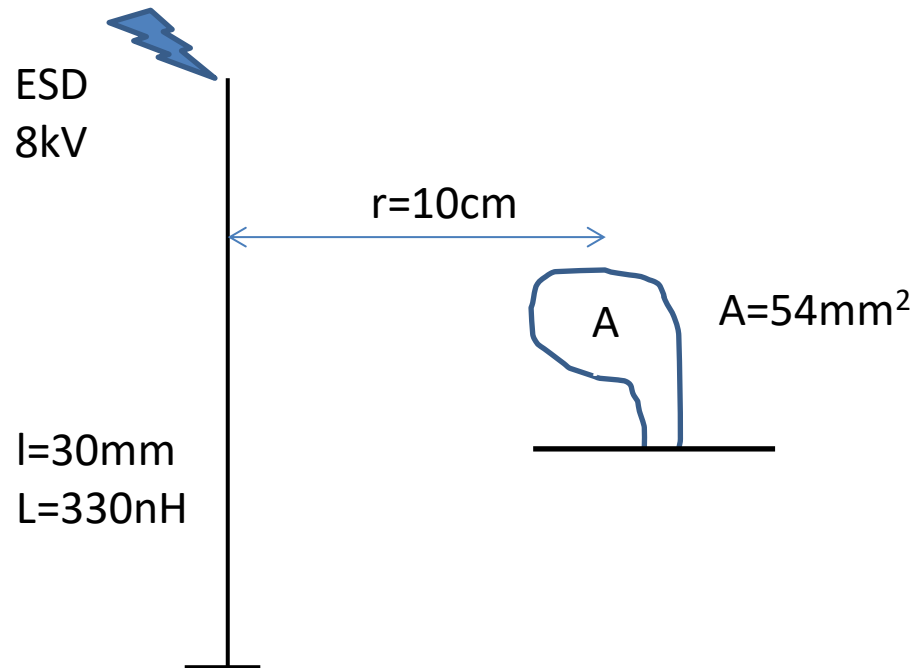
Lösning E1

- Vid $t=0$ är spänningen U_0 över $R = 4\text{kV}$, dvs
 $i(0) = 4\text{kV} / 330\ \Omega = 12,1\ \text{A}$
- Allmänt gäller: $u(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$
- $u(30\text{ns}) = 4 \cdot 10^3 \cdot e^{-\frac{30 \cdot 10^{-9}}{330 \cdot 150 \cdot 10^{-12}}} = 2,18\ \text{kV}$
 $\Rightarrow i(30\text{ns}) = u(30\text{ns})/R = 6,6\text{A}$
- $u(60\text{ns}) = 1,19\text{kV} \Rightarrow i(60\text{ns}) = 3,6\text{A}$

Uppgift E2

Inducerad spänning i slingafrån ESD-puls

- En resetknapp på ett kretskort



Uppgift E2

ESD induktion i slinga bredvid ledare

$$E \approx \frac{\mu_0 A}{2\pi r} \frac{di}{dt}$$

$$U = L \frac{di}{dt}$$

$$E \approx \frac{\mu_0 A}{2\pi r} \frac{U}{L}$$

$$E = 2,6 \text{ V}$$

$$A = 54 \text{ mm}^2$$

$$r = 10 \text{ cm}$$

$$U = 8 \text{ kV}$$

$$L = 330 \text{ nH}$$

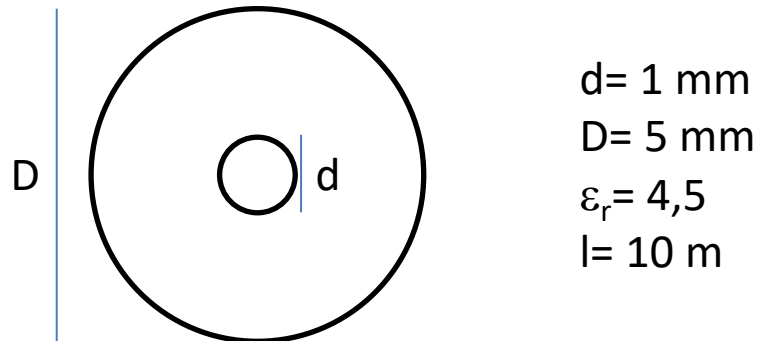
Uppgift E3

Beräkna bandbredden för en ESD-puls

- $f_0 = 1/\pi \cdot t_r$
- Stigtid för ESD genom skruvmejsel $t_r = 0,7 \text{ ns}$
- $\Rightarrow f_0 = 455 \text{ MHz}$
- Stigtiden för ESD genom finger $t_r = 5 \text{ ns}$
- $\Rightarrow f_0 = 63 \text{ MHz}$

Karaktäristisk impedans Z_0 och transmissionstid T_D

- Beräkna Z_0 och T_D för en koaxialkabel



Se formelsamling sid 308 (Koaxialkabel)!

=>

$$Z_0 = 45 \text{ ohm}$$

$$T_0 = 7,1 \text{ ns/m} \Rightarrow T_D = T_0 \times l = 71 \text{ ns}$$

Kompletteringsuppgift 1, Apr 13

- Vad är den totala skärmningseffektiviteten SE för en 17 μm tjock kopparplåt vid störfrekvensen 1 MHz?

Formelsamling s. 307

$$SE = 20\log(E_0/E_1)$$

$$SE = R + A + B \text{ [dB]}$$

Kompletteringsuppgift 1, Apr 13

Reflektionsdämpning

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{4Z_0Z_S}{(Z_0 + Z_S)^2}$$

Vågimpedansen i luft $Z_0 = 377 \Omega$

Vågimpedansen vid 1 MHz för koppar Z_S beräknas enligt följande.

Konduktiviteten $\sigma = \sigma_r \sigma_0$.

Enligt formelsamling (sid 309) är $\sigma_r = 1$ för koppar och $\sigma_0 = 5.82 \times 10^7 \text{ S/m}$.

$$\sigma = \sigma_r \sigma_0 = 5.82 \times 10^7 \text{ S/m}$$

Vågimpedansen i metall $E/H = Z_S =$ (se formel sid 306)

I metall är $\sigma \gg \omega \epsilon_0 = 55.6 \times 10^{-6}$ varför formeln kan förenklas till

$$|Z_S| = \sqrt{\frac{\omega \mu_r \mu_0}{\sigma}}$$

$\mu_r = 1$ för koppar (se tabell sid 309), $\omega = 2\pi f \Rightarrow Z_S = 368 \times 10^{-6} \Omega$

$$E_1/E_0 = 3.9 \times 10^{-6}$$

$$R = 20 \log(1/3.9 \times 10^{-6}) = \underline{108 \text{ dB}}$$

Kompletteringsuppgift 1, Apr 13

Beräkning av A

Enligt formelsamlingen sid 307 är **absorptionsdämpningen** (vid 1 MHz för en 17 µm tjock kopparplåt)

$$\frac{E_1}{E_0} = e^{-\frac{t}{\delta}}$$

Inträngningsdjupet fås ur formelsamlingen sid 306:

$$\delta = \frac{66 \times 10^{-3}}{\sqrt{\sigma_r f}}$$

$$\delta(1 \text{ MHz}) = 66 \text{ µm}$$

$$\text{Absorptionsdämpningen } E_1/E_0 = e^{-t/\delta} = 0.773$$

$$\text{Absorptionen } A = 20\log(E_0/E_1) = \underline{\underline{2.2 \text{ dB}}}$$

Kompletteringsuppgift 1, Apr 13

Beräkning av B

Eftersom $A < 10$ dB måste multipl reflektion beaktas:

$$\frac{E_1}{E_0} = 1 - e^{-2\frac{t}{\delta}}$$

$$E_1/E_0 = 0.403$$

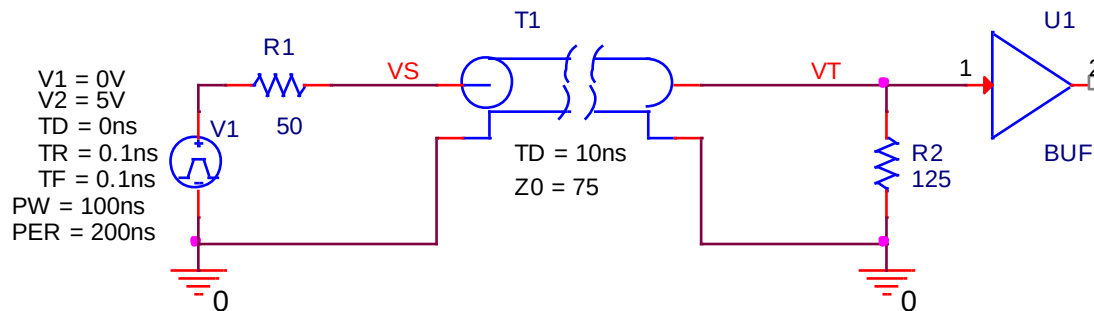
$$B = 20\log(E_0/E_1) = \underline{7.9 \text{ dB}}$$

B är alltid negativ!

$$SE = R + A - B = 108 \text{ dB} + 2 \text{ dB} - 8 \text{ dB} = \underline{102 \text{ dB}}$$

Kompletteringsuppgift 2, Apr 13

Vid ett laborationstillfälle kopplas signalgeneratorns utgång direkt till en BNC koaxialkabel med karakteristiska impedansen $Z_0 = 75 \Omega$ och transmissionstiden $T_D = 10 \text{ ns}$. Signalgeneratorns utgångsimpedans $R_1 = 50 \Omega$. I andra ändan har man terminerat kabeln med ett motstånd $R_2 = 125 \Omega$ till jord. Pulsen som matas från generatorn går vid tidpunkten $t = 0$ från 0 till 5 V, men vilken amplitud har signalen på ingången (VS) och utgången (VT) till koaxialkabeln efter 5, 15 och 25 ns?



Lösning

Beräkna först inspänningen när signalen når T1 första gången:

$$V_S = V_0 \times Z_0 / (R1 + Z_0) = 3 \text{ V.}$$

$$\text{Reflektionskoefficienten } \rho_S = (R1 - Z_0)/(R1 + Z_0) = -0.2$$

$$\text{Reflektionskoefficienten } \rho_T = (R2 - Z_0)/(R2 + Z_0) = +0.25$$

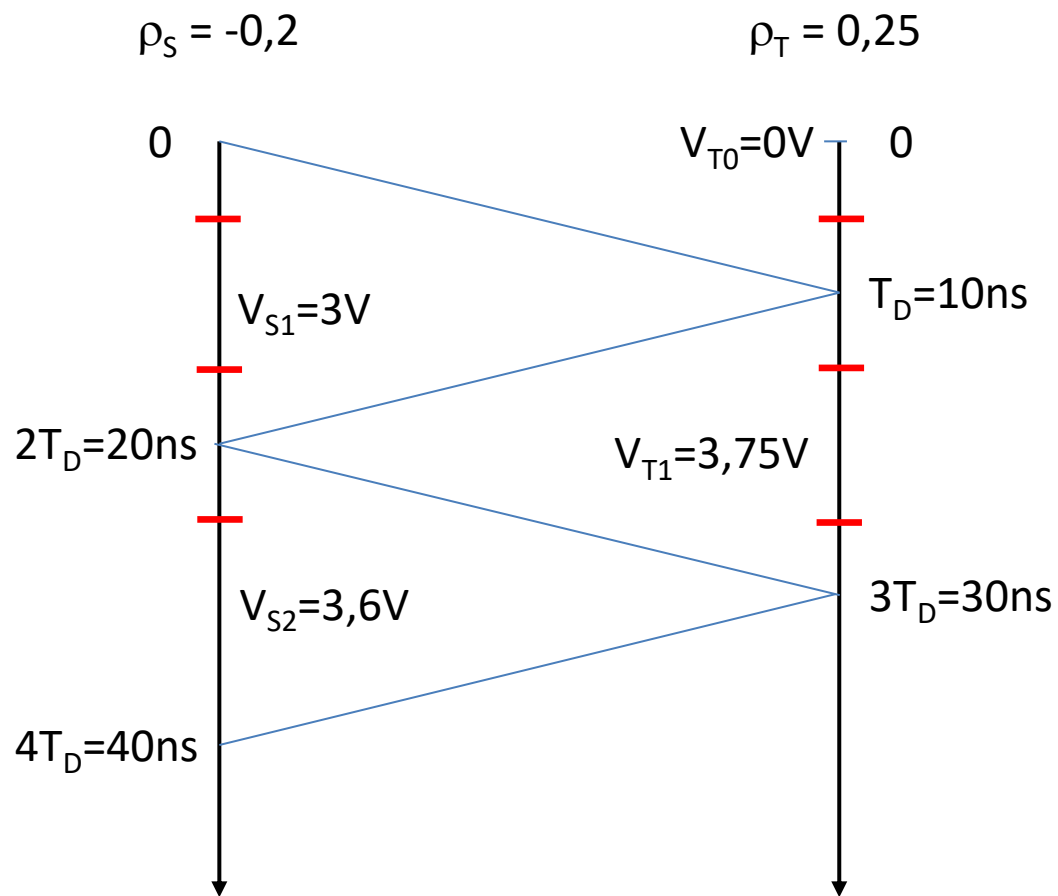
Från $t = 0$ till $t = 2T_D$ är spänningen på ingången till kabeln

$$V_S = 3 \text{ V. Alltså är } \mathbf{VS(5ns) = VS(15ns) = 3 \text{ V.}}$$

Från $t = 0$ till $t = T_D$ är spänningen $V_T = 0 \text{ V. Dvs. } \mathbf{VT(5ns) = 0 \text{ V.}}$

Lösning

- Efter första reflektionen ($T_D < t < 3T_D$) reflekteras $V_{r1} = \rho_T V_S = 0.25 \times 3 \text{ V} = 0.75 \text{ V}$
- $V_{T1} = V_S + V_{r1} = 3\text{V} + 0.75\text{V} = 3.75 \text{ V}$. Alltså fås att **$VT(15\text{ns}) = VT(25\text{ns}) = 3.75 \text{ V}$**
- Efter andra reflektionen ($2T_D < t < 4T_D$) reflekteras $V_{r2} = \rho_S V_{r1} = -0.2 \times 0.75 \text{ V} = -0.15 \text{ V}$
- Från $t = 2T_D$ till $t = 4T_D$ är $VS = V_{T1} + V_{r2} = 3.75 \text{ V} - 0.15 \text{ V} = 3.6 \text{ V}$
Alltså är **$VS(25\text{ns}) = 3.6 \text{ V}$**



Kompletteringsuppgift 3, Apr 13

På vilket avstånd från en störningskälla överförs huvuddelen av störningen kapacitivt eller induktivt. Diskutera skillnaden mellan kapacitiv och induktiv kopplingsväg. Vilka formler (samband) brukar man använda för att beräkna amplituden av den uppkomna störningen i de två fallen? Hur tar man reda på kapacitansen och/eller induktansen mellan störkällan och offret?

Lösningsförslag

- Om avståndet mellan källan och offret är mindre än $\lambda/2\pi$ överförs störningen inte genom strålning utan kapacitivt eller induktivt.
- Vid kapacitiv överföring blir strömmen
$$i = C \times du/dt$$
- Vid induktion överförs spänningen som
$$U = L \times di/dt$$
- Kapacitans och induktans brukar approximeras med hjälp av geometriska likheter till givna samband i t.ex. formelsamlingen. Ofta får man göra förenklade approximationer.