



Skolan för teknik och hälsa

Tentamen

Kurs:	EMC elektronik
Kursnummer:	HE1019
Moment:	RED1: 4hp
Program:	MT
Åk:	3 (TIMEL3)
Examinator:	Mats Nilsson
Rättande lärare:	Nils Holmström
Datum:	Torsdag 9 juni, 2016
Tid:	9 - 13
Plats:	FL-5Y, Flemingsberg
Hjälpmedel:	Räknedosa, formelsamling i tentamen
Omfattning och betygsgränser:	Tentamen består av 20 frågor som kan ge maximalt 26 poäng. Betygsättning: A 23-26 poäng, B 20-22 poäng, C 17-19 poäng, D 14-16 poäng, E 11-13 poäng, Fx minst 10 poäng (ger inte godkänt på kursen men ger rätt till komplettering)
Övrig information:	Svara på frågorna genom att antingen skriva in svaren i respektive ruta under frågan eller på separata blad. Lämna också in dina uträkningar så finns det chans att du kan få poäng om du tänkt rätt, men gjort ett mindre misstag. Kom ihåg att skriva namn och uppgift på alla inlämnade papper!

1. Störningskällor (1p)

Nämn fyra olika störningskällor i vår omgivning som kan störa eller skada funktionen för elektronisk utrustning. Föreslå också kort hur man kan minska eller eliminera nämnda störningarnas inverkan.

Lösningsförslag:

- Åsknedslag – Överspänningsskydd, partvinning av ledare
- Mobiltelefon – Avlägsna telefonen från närområdet, skärmning av utrustning, filtrering
- Kontaktgnista i brytare – Samma som åsknedslag, om möjligt byt ut brytaren eller filtrera
- Basstation – Skärmning
- Elmotorer – Filtrering
- Spänningsvariationer på elnätet – Spänningsstabilisator, nätfilter
- Jordströmmar pga spänning mellan jordpunkter – Elektrisk isolering

2. Strålning från mobiltelefon (1p)

Svenska telefonoperatörer använder idag 2600 MHz-bandet för 4G kommunikation. Hur långt från en sådan telefon övergår strålningen till ren elektromagnetisk strålning?

Lösningsförslag:

Nära telefonens (inbyggda) antenn består strålningen av ett elektriskt och ett magnetiskt fält. På avståndet d_{krit} övergår fälten gradvis till att bli rent elektromagnetisk.

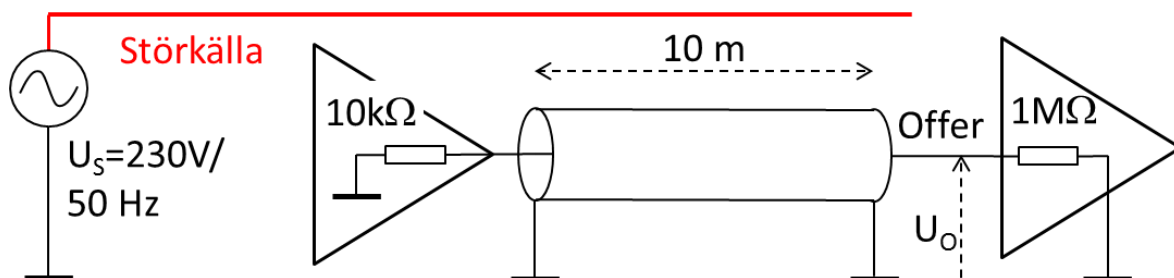
Våglängden vid 2,6 GHz $\lambda = c/f = 3e8/2,6e9 \approx 0,12$ m.

Kritiska avståndet blir då $d_{\text{krit}} = \lambda/2\pi \approx 1,8$ cm

3. Överhörning (2p)

Två ljudutrustningar är kopplade till varandra med en 10 m lång koaxialkabel med läckkapacitansen $C_L = 1$ pF/m till nätkabeln. Utgångsimpedansen från förstärkaren i den ena ändan är $10\text{ k}\Omega$ och ingångsimpedansen i den andra ändan är $1\text{ M}\Omega$. Hela koaxialkabeln ligger i en kabelränna tillsammans med den obelastade 230 V / 50 Hz nätkabeln.

Rita ekvivalentschema för störningssituationen samt beräkna den överförda störningens amplitud!

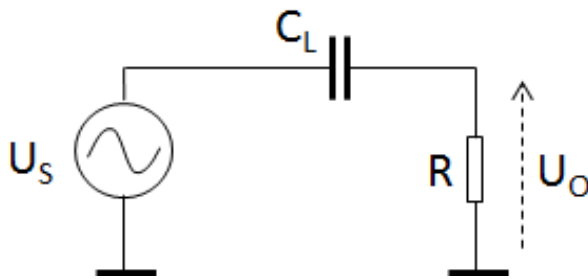


Lösning:

Först kollar man om offret ligger i när- eller fjärrfältet från störkällan. För störningen gäller att frekvensen $f = 50 \text{ Hz}$. Detta ger våglängden $\lambda = c/f = 6 \times 10^8 \text{ m}$. Kritiska avståndet blir då $d_{\text{krit}} = \lambda/2\pi = 955 \text{ km}$ och man kan anta att offret ligger i närfältet av störkällan.

Eftersom strömmen i nätkabeln är noll alstras inget magnetfält utan bara ett elektriskt fält som kopplas kapacitivt till offret inuti koaxialkabeln. $R = 10 \text{ k}\Omega$ parallellt med $1 \text{ M}\Omega = 9,9 \text{ k}\Omega$

$$C_L = 10 \text{ m} \times 1 \text{ pF/m} = 10 \text{ pF}$$



Eftersom fasvridningen genom en kondensator är ca 90 grader gäller $U_O = U_S \cdot R / X_C$, där $X_C = 1/2\pi f C_L$ (s. 11)

$$\Rightarrow U_O = U_S \cdot R \cdot 2\pi f C_L = 7,15 \text{ mV}$$

Alternativ lösningsmetod:

En sinusformad växelström på $230\text{V} / 50 \text{ Hz}$ kan beskrivas som $u(t) = \hat{U} \sin(\omega t)$. Detta ger att

$$\frac{du}{dt} = \omega \hat{U} \cos(\omega t)$$

$$i(t) = C_L \frac{du}{dt}$$

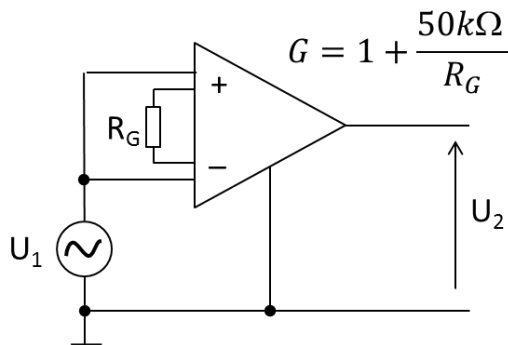
Och $u(t) = R \cdot i(t)$ vilket ger att

$$u_O(t) = R C_L \frac{du}{dt} = R C_L \omega \hat{U} \cos(\omega t)$$

$$U_O = R C_L \omega U_S = 9,9 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-12} \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 230 = 7,15 \text{ mV}$$

4. CMRR (1p)

En instrumentförstärkare kopplas enligt figuren till vänster. $R_G = 100 \Omega$. Amplituden på inspänningen $u_1(t) = 5 \text{ V}$ under hela mätningen. Man mäter upp spänningarna U_2 enligt tabellen till höger.



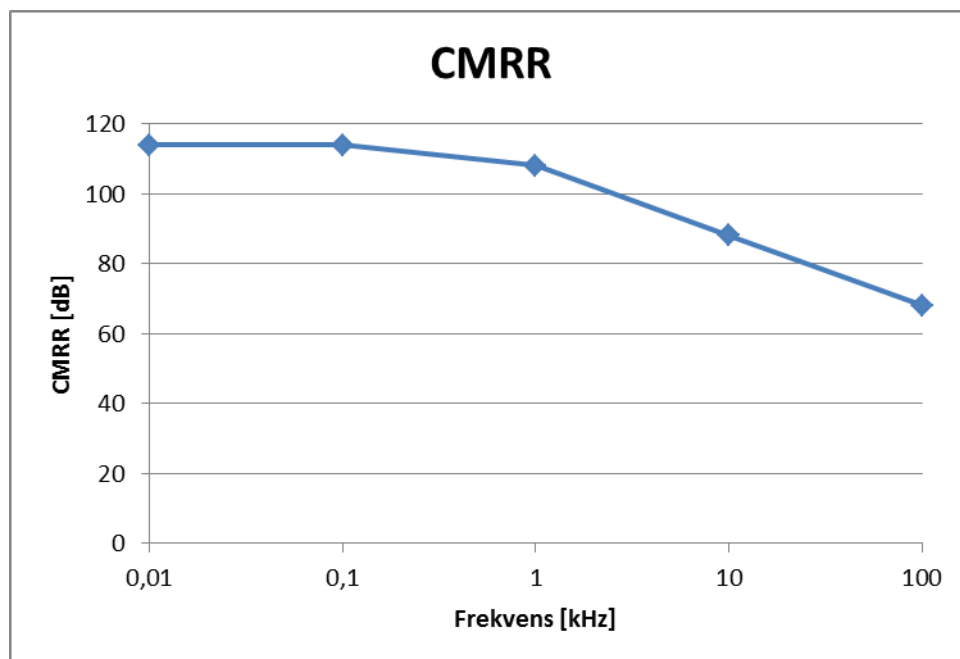
f [kHz]	U_2 [mV]	CMRR [dB]
0,01	5	
0,1	5	
1	10	
10	100	
100	1000	

- Ange formel för att beräkna $CMRR_{dB}$!
- Beräkna $CMRR_{dB}$ vid de fem givna frekvenserna!
- Rita upp $CMRR_{dB}$ som funktion av frekvensen i ett enkelt diagram!

Lösning:

f [kHz]	U_2 [mV]	CMRR [dB]
0,01	5	114
0,1	5	114
1	10	108
10	100	88
100	1000	68

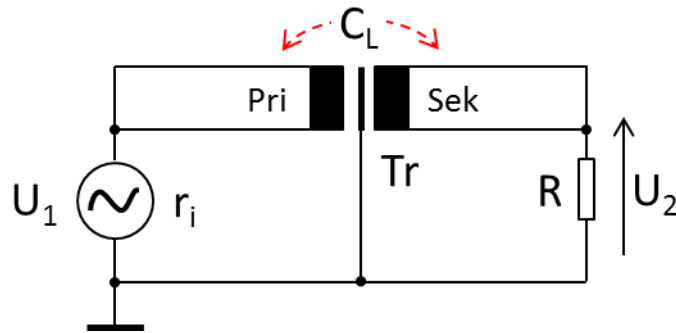
$$CMRR_{dB} = 20 \log \left(A_{DM} \frac{U_{IN}}{U_{UT}} \right)$$



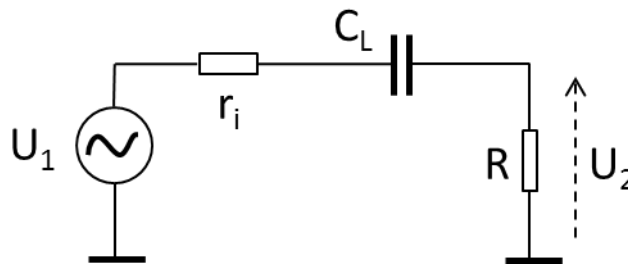
5. Isolering (2p)

Läckkapacitansen i en isolationstransformator Tr skall mätas med nedanstående koppling. Vid mätningen är $U_1 = 10 \text{ V}$ och $U_2 = 1 \text{ mV}$ vid frekvensen $f = 20 \text{ kHz}$. Spänningsgenerators inre resistans $r_i = 50 \Omega$ och strömmätande motståndet $R = 100 \Omega$.

- Rita upp det ekvivalenta schemat!
- Beräkna transformatorns läckkapacitans C_L !



Lösning:



Spänningen U_2 är

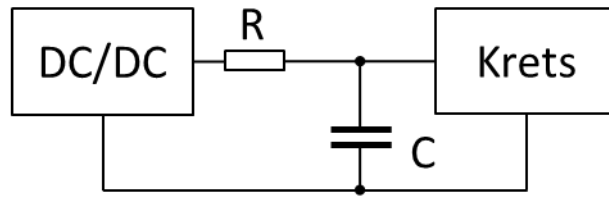
$$U_2 = R \frac{U_1}{R + r_i + \frac{1}{j\omega C_L}}$$

$$C_L = \frac{1}{2\pi f \left(R \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) - r_i \right)}$$

$$C_L = \frac{1}{2\pi \cdot 20 \cdot 10^3 \left(100 \left(\frac{10}{10^{-3}} - 1 \right) - 50 \right)} = 8 \text{ pF}$$

6. Filter (1p)

Ett kretskort matas med en DC/DC-omvandlare som switchas med frekvensen $f = 200 \text{ kHz}$. På kortet finns en krets som är känslig för spänningsvariationer. Beräkna R så att brytfrekvensen för RC-filtret är $1/10$ av omvandlarens frekvens då $C = 1 \text{ nF}$.

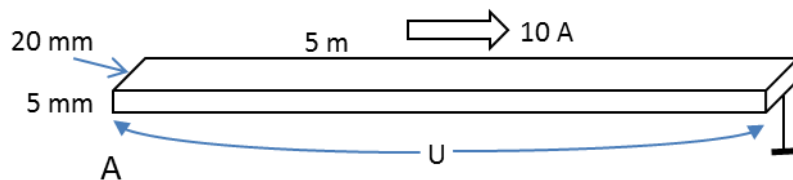


Lösning:

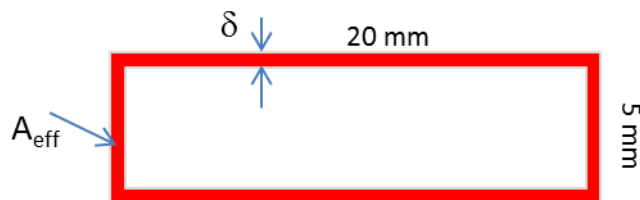
$$R = \frac{10}{2\pi f C} = 8 \text{ k}\Omega$$

7. Skin-effekt (1p)

En stålskena (SAE1045) med bredden 20 mm och tjockleken 5 mm leder en jordström på 10 A / 200 kHz mellan terminaler A och jord i ett ställverk. Vad blir spänningsfallet i stålskenan om den är 5 m lång? Gör en överslagberäkning som beaktar skin-effekten!



Lösning:



Resistansen i skenan vid frekvensen $f = 200 \text{ kHz}$ beräknas som

$$R = \frac{l}{\sigma \cdot A_{eff}}$$

Konduktiviteten $\sigma = \sigma_0 \sigma_r$, där $\sigma_r = 0,1$ för stål.

Skindjupet är $\delta = \frac{66 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{\sigma_r f}} \text{ [m]}$.

Detta ger att δ vid 200 kHz är $\delta = 467 \text{ }\mu\text{m}$

$$A_{eff} \approx \delta(2 \cdot 20\text{mm} + 2 \cdot 5\text{mm}) = 23,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Sålunda kan resistansen vid 200 kHz fås som

$$R = \frac{l}{\sigma A_{eff}} = 36,8 \text{ m}\Omega$$

Spänningsfallet i skenan är enligt ohms lag, $U = R \cdot I$

Detta ger att spänningsfallen $U(200 \text{ kHz}) = 368 \text{ mV}$

8. Verkliga komponenter (2p)

En keramisk kondensator används för att stabilisera spänningen till en krets. De parallella benens längd är 1 cm och avståndet 2,54 mm. Bändiametern är 0.6 mm.

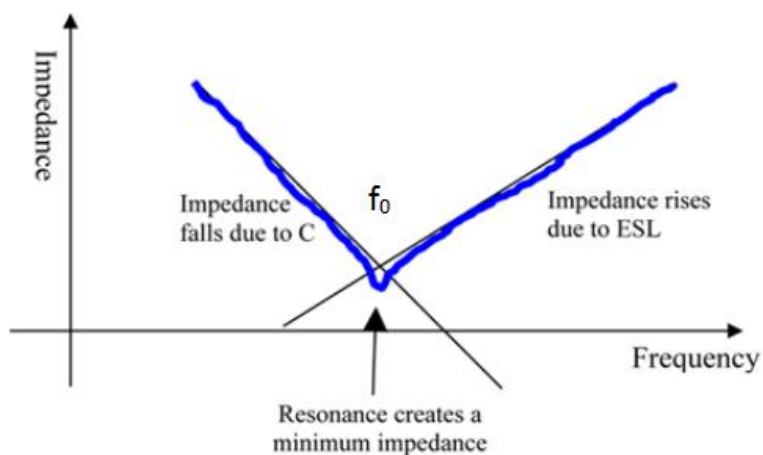
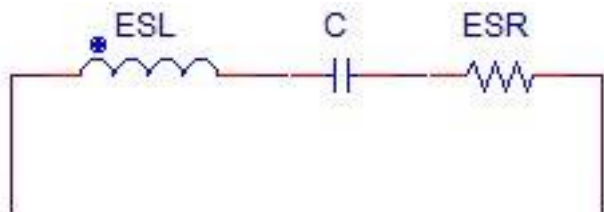
- Rita upp kondensatorns egentliga schema med strökomponenter samt skissera hur impedansen beror av frekvensen.
- Beräkna resonansfrekvensen f_0 om kapacitansen $C = 330 \text{ nF}$. För beräkningen kan höga frekvenser antas.



Kondensator

Lösning:

Kondensatorns egentliga schema består av främst en ekvivalent serieinduktans (ESL) i serie med kapacitansen C .



Den ekvivalenta serieinduktansen (ESL) kan beräknas (s. 305) som

$$ESL \approx \frac{\mu_0}{\pi} \cdot l \cdot \ln\left(\frac{2h}{d}\right)$$

,där $l = 10^{-2}$ m, $h = 2,54 \times 10^{-3}$ m, $d = 0,6 \times 10^{-3}$ m.

$$\Rightarrow \text{ESL} = 8,5 \text{ nH}$$

Ur formelsamlingen s. 306 fås serieresonansfrekvensen

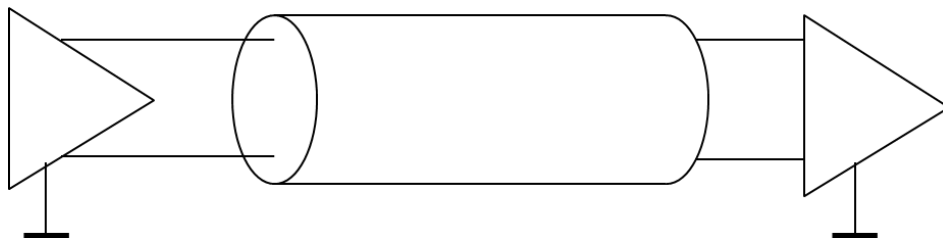
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\Rightarrow \text{Resonansfrekvensen } f_0 = 3 \text{ MHz}$$

9. Jordning av skärm (1p)

Det finns två generella regler när det gäller jordning av skärmen på en kabel. Beskriv hur man bäst jordar skärmen när

- A. Kabeln är mycket kortare än störningens våglängd.
- B. Kabeln är mycket längre än störningens våglängd.

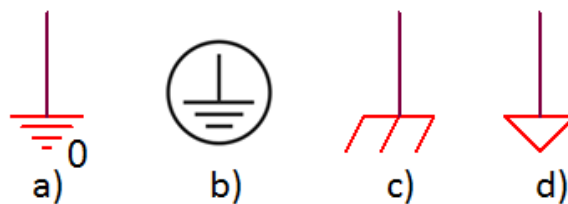


Lösning:

- A. Skärmen kopplas till den punkt som bäst följer innerledarnas potential. Denna punkt måste kunna leda skärmströmmen till jord. Skärmen får inte jordas över isolationssnittet.
- B. Skärmen jordas i båda ändar.

10. Jordning (1p)

De fyra symbolerna nedan betecknar alla jord. Förklara kort vad var och en står för.



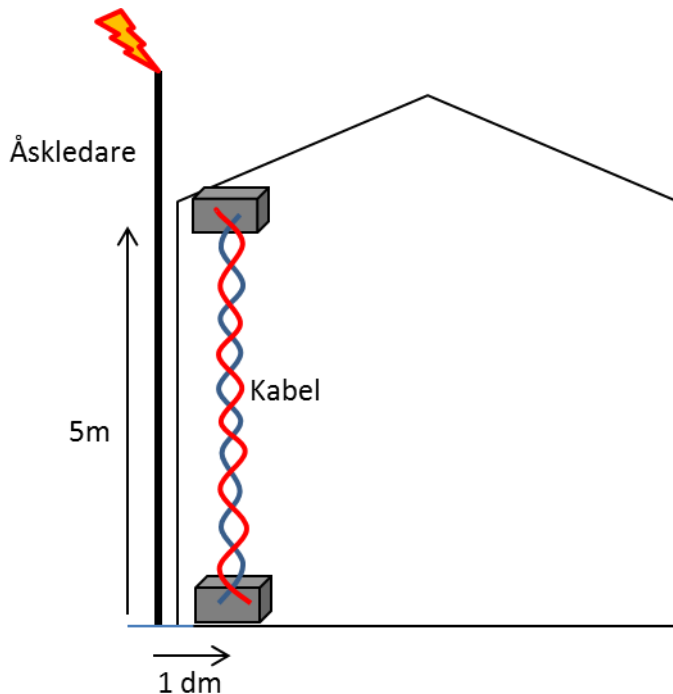
Lösning:

- a) Nollpotential referens jord
- b) Skyddsjord
- c) Chassis anslutning
- d) Digital jord/nolla

11. Kablar (1p)

En tvinnad signalkabel går parallellt med en åskledare på en sträcka av 5 m. Avståndet r mellan kabeln och åskledaren är 1 dm. Koppartråden i signalkablarna har diametern $a = 0,8$ mm och isolationen är 1 mm tjock. Tvinningen är bra, och signalkabelns areaobalans $A_{\text{eff}} = 2$ %.

Vid ett åsknedslag ökar strömmen från noll till 5 kA på 1 μs åskledaren. Beräkna inducerad spänning i signalkabeln!

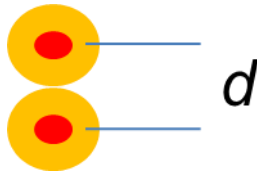


Lösning:

Först beräknas ytan A (projektion) av den tvinnade kabeln. Avståndet mellan kopparledarna $d = 2 \times a/2 + 2 \times 1 \text{ mm} = 2,8 \text{ mm}$. Om man antar att tvinningen är jämn fås arean

$$A = \frac{ld}{\sqrt{2}} = \frac{5 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2}}$$

, vilket ger att $A = 9,9 \times 10^{-3} \text{ m}^2$



Den effektiva arean $A_{eff} = 0,02 \times A = 198 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

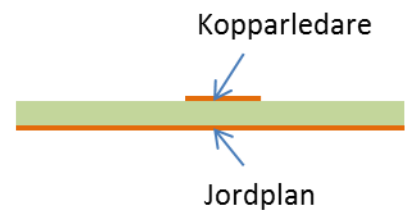
I formelsamlingen sid 305, inducerad emk i slinga

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

=> **E = 1,98 V**

12. Transmission (1p)

Den elektriska ledaren mellan drivkrets och mottagande krets på ett kretskort är 20 cm lång och 0.4 mm bred. Signalströmmen som går i ledaren har sin returström i jordplanet på andra sidan av kortet. Kortet är 1 mm tjockt och gjort av glasfiberarmerad epoxi, FR4, vilket har ett dielektricitetsstal $\epsilon_r = 4,5$. Tjockleken på kopparlaminatet är 17 μm . Beräkna transmissionstiden T_D mellan kretsarna samt den karaktäristiska impedansen Z_0 .



Lösning:

Detta fall benämns "Mikrostrip" i formelsamlingen på sid 308.

$\epsilon_r = 4,5 \Rightarrow$

$$T_0 = 3.34 \sqrt{0.47\epsilon_r + 0.67}$$

Detta ger att $T_0 = 5.57 \text{ ns/m}$. Längden på ledaren $l = 0.2 \text{ m} \Rightarrow$

$T_D = l \times T_0 \Rightarrow T_D = \mathbf{1.1 \text{ ns}}$

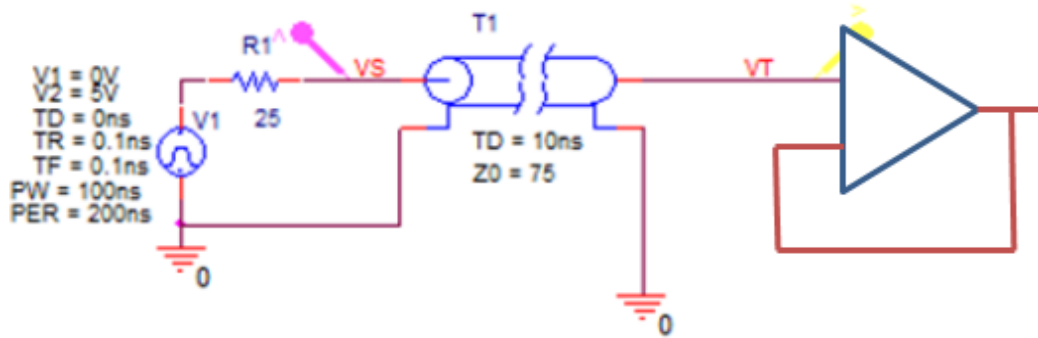
Den karaktäristiska impedansen är:

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln \left(\frac{5.98h}{0.8b + t} \right)$$

Där $h = 1 \text{ mm}$, $b = 0.4 \text{ mm}$, $t = 17 \mu\text{m} \Rightarrow \mathbf{Z_0 = 103 \Omega}$.

13. Terminering (3p)

- a) Utgången på en signalgenerator V1 kopplas direkt till en koaxialkabel med karaktäristiska impedansen $Z_0 = 75 \Omega$ och transmissionstiden från in- till utgång $T_D = 10 \text{ ns}$. Signalgeneratorns utgångsimpedans $R_1 = 25 \Omega$. I andra ändan har man anslutit kabeln till en höghögig förstärkare utan termineringsmotstånd. En puls som matas från generatoren går vid tidpunkten $t = 0$ från 0 till 5 V. Vilka spänningar återfinns på utgången från signalgeneratoren (VS) och ingången till förstärkaren (VT) efter 5, 15 och 25 ns? (2p)



- b) Föreslå hur man skulle kunna undvika reflektioner i denna uppkoppling! (1p)

Lösning:

- a) Beräkna först inspänningen när signalen når T1 första gången: $V_s = 5 \text{ V} \times Z_0 / (R_1 + Z_0) = 3,75 \text{ V}$.

Från $t = 0$ till $t = 2T_D$ är spänningen på ingången till kabeln $V_s = 3,75 \text{ V}$.

Alltså är $V_s(5\text{ns}) = V_s(15\text{ns}) = 3,75 \text{ V}$.

Om man antar att utgångsresistansen R_2 är oändlig blir reflektionskoefficienten vid in- respektive utgång

$$\rho_s = \frac{R_1 - Z_0}{R_1 + Z_0} = \frac{25 - 75}{25 + 75} = -0,5$$

$$\rho_T = \frac{R_2 - Z_0}{R_2 + Z_0} = \frac{\infty - 75}{\infty + 75} = 1$$

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

När spänningen V_s fortplantat sig till transmissionslinjens slut uppstår en totalreflektion och

den reflekterade spänningen $V_{r1} = \rho_T V_{s1} = 1 \times 3,75 = 3,75 \text{ [V]}$.

Tillsammans med den infallande spänningen blir $V_{T1} = V_s + V_{r1} = 3,75 + 3,75 = 7,5 \text{ [V]}$.

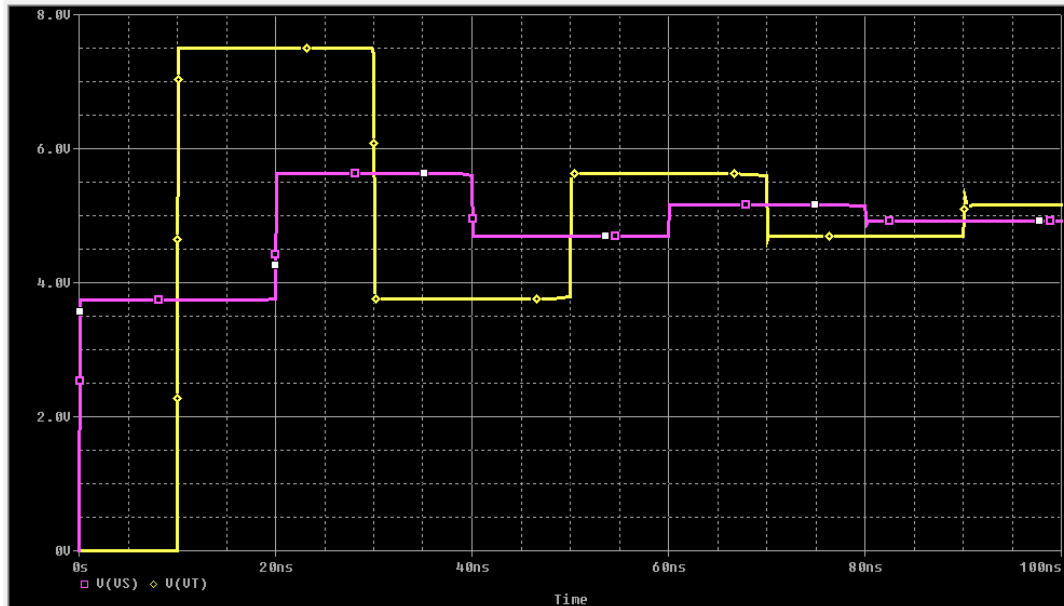
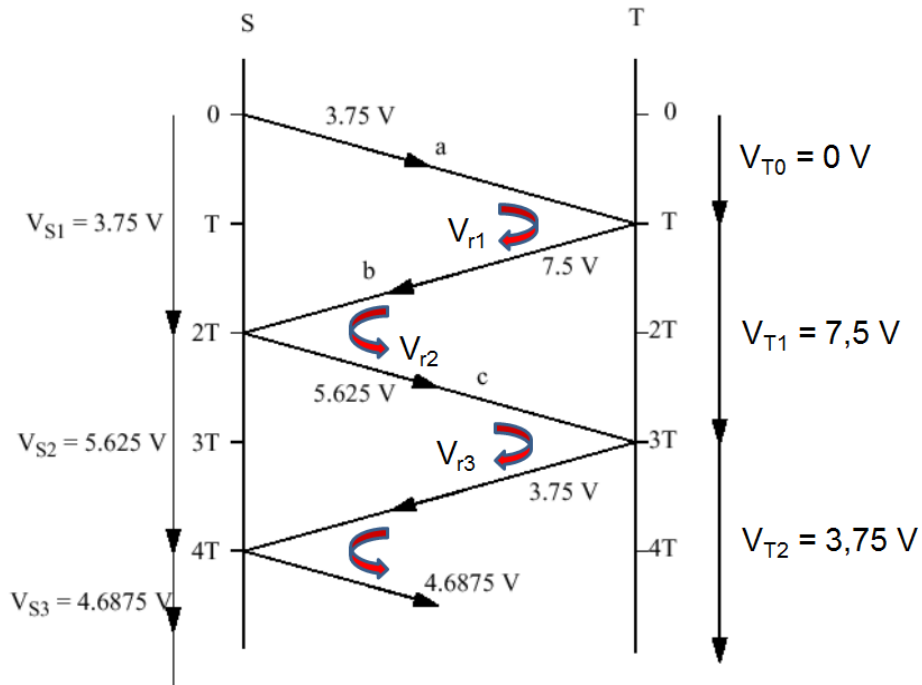
Alltså fås att $V_T(15\text{ns}) = V_T(25\text{ns}) = 7,5 \text{ V}$.

Denna spänning fortsätter nu mot R_1 för att reflekteras där igen eftersom det finns en missanpassning mellan Z_0 och R_1 .

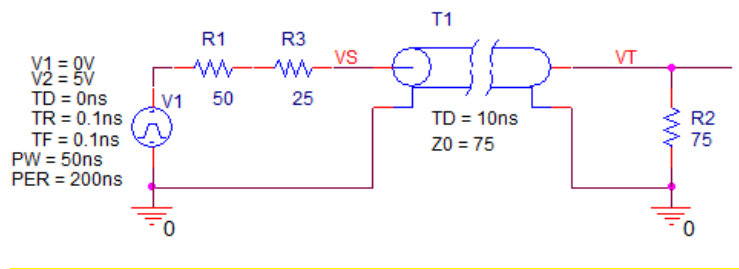
Detta ger en reflektion tillbaka i linjen $V_{r2} = \rho_S V_{r1} = -0,5 \times 3,75 = -1,875$ [V].

Och spänningen på ingången till transmissionslinje blir $V_{S2} = V_{T1} + V_{r2} = 7,5 - 1,875 = 5,625$ [V].

Alltså fås att $V_S(25\text{ns}) = 5,625$ V.



- b) Koppla in ett seriemotstånd R3 på 50Ω på ingången och lägg till ett termineringsmotstånd R2 på 75Ω .



14. Normer (1p)

På baksidan av ett mätinstrument hittar man både ett CE-märke och ett S-märke. Vad innebär dessa märken beträffande

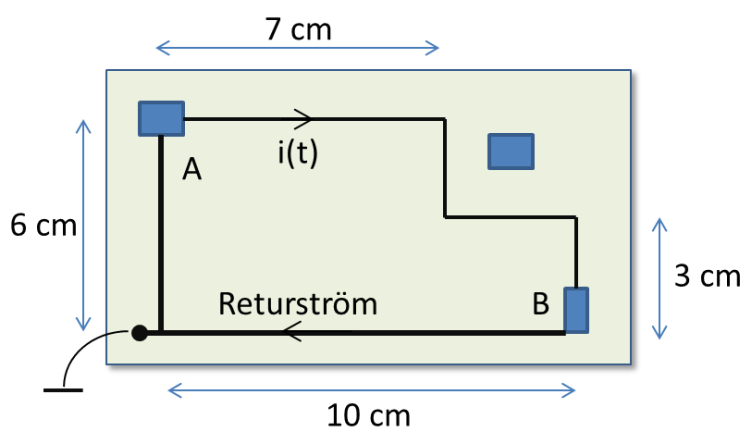
- instrumentets kvalitet och
- marknad där det får säljas?

Lösning:

- CE-märket säger inget om kvaliteten. S-märket visar att instrumentet uppfyller europeiska krav på kvalitet. Symbolen visar att instrumentet är provat och certifierad av en oberoende part, t.ex. Intertek.
- CE-märket innebär förtroende för tillverkaren att få sälja produkten på den Europeiska marknaden. S-märket är frivilligt och påverkar inte vilken marknad man får sälja på.

15. Strålkällor (1p)

Mönsterdragningen på ett kretskort är dragen så att en öppen strömslinga bildas enligt figuren. Strömmen $i(t)$ mellan krets A och krets B är 100 mA med frekvensen 100 MHz. Kortet saknar ledande jordplan. Vilken är den maximala elektriska fältstyrkan på avståndet 10 m från kortet?



Lösning:

Strömmen i slingan genererar ett magnetiskt fält. Först kontrolleras om man befinner sig i när- eller fjärrfältet. $d_{\text{krit}} = \lambda/2\pi = c/2\pi f = 0,48 \text{ m} \ll 10 \text{ m}$, alltså befinner vi oss i fjärrfältet.

Arean på strömslingan är $6 \times 7 \text{ cm}^2 + 3 \times 3 \text{ cm}^2 = 51 \text{ cm}^2 = 5,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

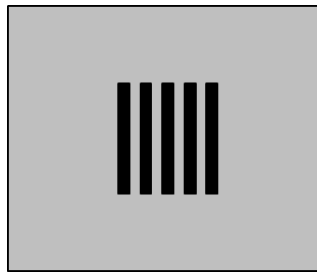
Enligt formelsamlingen s. 307 är elektriska fältstyrkan i fjärrfältet

$$E \leq \frac{132 \cdot 10^{-16} \cdot f^2 A I}{r}$$

$$E < 6,7 \text{ mV/m}$$

16. Skärmning (1p)

Ett ventilationshål som görs på en apparatlåda. Hålet består av fem vertikala täta öppningar med storleken $1 \times 10 \text{ cm}$ enligt figur. Vad blir skärmningseffektiviteten vid 100 MHz för lådan?



Lösning:

$\lambda = c/f = 3 \text{ m}$ vilket är $\gg a = 10 \text{ cm}$, dvs. öppningen är liten relativt våglängden.

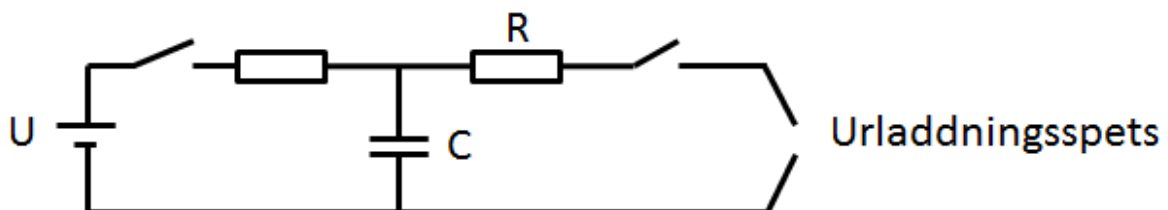
Beräkna skärmningseffektiviteten då $a = 10 \text{ cm}$ och $b = 1 \text{ cm}$. Antalet hål saknar betydelse här utan beräkningen görs på ett hål.

$$SE \approx 20 \log \left(\frac{\lambda}{2a} \right) + 20 \log \left(1 + \ln \left(\frac{a}{b} \right) \right)$$

$$\Rightarrow SE = 23,5 \text{ dB} + 10,4 \text{ dB} = \underline{\underline{33,9 \text{ dB}}}$$

17. ESD (1p)

Enligt EN61000-4-2 skall generatoren för ESD-testning se ut som i figuren, där $R=330\Omega$ och $C=150\text{pF}$.



Beräkna kortslutningsströmmen vid $t=0$, $t=30\text{ns}$ och $t=60\text{ns}$ efter brytarens slutning när kondensatorn C är uppladdad till $U = 4\text{kV}$.

Lösning:

Vid $t=0$ är spänningen över C och R: $U_0 = 4\text{kV}$, och strömmen

$$i(0) = U_0 / R = 4\text{kV} / 330\Omega = \underline{12,1\text{ A}}$$

Allmänt gäller vid urladdning: $u(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

$$u(30\text{ns}) = 4 \cdot 10^3 \cdot e^{-\frac{30 \cdot 10^{-9}}{330 \cdot 150 \cdot 10^{-12}}} = 2,18\text{ kV}$$

$$\Rightarrow i(30\text{ns}) = u(30\text{ns})/R = \underline{6,6\text{ A}}$$

$$u(60\text{ns}) = 1,19\text{kV} \Rightarrow i(60\text{ns}) = \underline{3,6\text{ A}}$$

18. Skärmning (2p)

Hur många decibel dämpas en elektromagnetisk störning på 100 MHz när den passerar genom en 0,1 mm tunn mjuk aluminiumfolie i luft?

Lösning:

Skärmningseffektiviteten SE för aluminiumlådan = $R + A + B$

Vågimpedans i luft $Z_0 = 377\Omega$ (s. 306)

Vågimpedansen Z_s för aluminium vid 1 MHz kan beräknas enligt formel (s. 306)

$$Z_s = \sqrt{\frac{j\omega\mu_r\mu_0}{\sigma + j\omega\epsilon_r\epsilon_0}}$$

Enligt formelsamling (sid 309) är $\sigma_r = 0,61$ för mjukt aluminium och $\sigma_0 = 5.82 \times 10^7 [1/\Omega\text{m}]$.

$$\Rightarrow \sigma = \sigma_r\sigma_0 = 35,5 \times 10^6 [1/\Omega\text{m}]$$

Termen $\omega\epsilon_r\epsilon_0 = 2\pi f \cdot 1 \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} [\text{F/m}] = 5,56 \times 10^{-3} [\text{F/sm}]$

Eftersom $\sigma \gg \omega\epsilon_0$ och $\mu_r = 1$ för aluminium kan formeln förenklas till

$$Z_s = \sqrt{\frac{2\pi f \mu_0}{\sigma}}$$

$$\Rightarrow Z_s = 4,72 \times 10^{-3} \Omega$$

Reflektionsdämpningen $E_1/E_0 = 4 Z_0 Z_s / (Z_0 + Z_s)^2 \approx 4Z_s/Z_0$ (s. 307)

$$\Rightarrow \text{Reflektionsdämpningen } E_1/E_0 \approx 50 \times 10^{-6}$$

$$R = 20\log(E_0/E_1) = \mathbf{86\text{ dB}}$$

Inträngningsdjupet i mjuk aluminium δ

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

$$\Rightarrow \delta(100 \text{ MHz}) = 8,45 \text{ } \mu\text{m}$$

Foliens tjocklek $t = 0,1 \text{ mm} \Rightarrow$

$$\text{Absorptionsdämpningen } E_1/E_0 = e^{-t/\delta} = 7,26 \times 10^{-6}$$

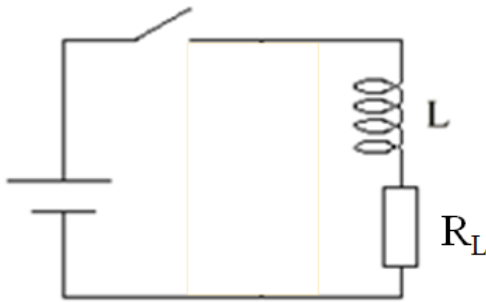
$$A = 20\log(E_0/E_1) = 103 \text{ dB}$$

Multipla reflektioner B behöver inte beaktas eftersom $A > 10 \text{ dB}$ (regel sid108).

$\Rightarrow$ Totala skärmningseffektiviteten utan hål $SE = R + A = 86 + 103 \text{ [dB]} = 189 \text{ dB}$

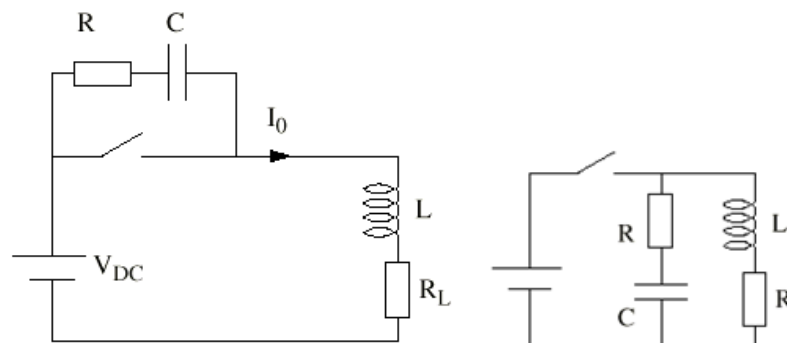
19. Kontaktskydd (1p)

Ett vanligt sätt att skydda en kontakt som skall bryta en induktiv last är att använda ett RC-skyddsnät. Reläspolen i bilden har resistansen R_L och induktansen L . Rita in i bilden två sätt hur ett RC-nät kan kopplas!



Lösning:

Man kan antingen lägga RC-skyddet över kontakten eller över spolen.



20. Årsskydd (1p)

Tre vanliga typer av överspänningsskydd vid t.ex. åska är

A. TranZorb
(transient voltage suppressor)



B. Gasurladdningsrör



C. MOV (metal oxide varistor)



Ange i de tomma rutorna i tabellen vilket skydd som passar in på angivna data!

Komponent	?	?	?
Klippspänning	200V – 2 kV	10V – 1 kV	5 – 200 V
Toppström	20 – 200 kA	1 – 10 kA	200 A
Reaktionstid	1 – 200 μ s	1 – 100 ns	10 ns
Kapacitans, typisk	3 pF	1 nF	5 nF

Lösning:

B C A