Skolan för teknik och hälsa

Tentamen

Kurs: **Kursnummer:**	**EMC elektronik** **HE1019**
Moment:	**RED1: 4hp**
Program: **Åk:**	**MT** **2 (TIMEL + TITEH METL)**
Examinator:	**Mats Nilsson**
Rättande lärare:	**Nils Holmström**
Datum: **Tid:** **Plats:**	**Torsdag 8 juni, 2017** **9 - 13** **Campus Flemingsberg**
Hjälpmedel:	**Räknedosa, formelsamling i tentamen**
Omfattning och betygsgränser:	**Tentamen består av 20 frågor som kan ge maximalt 27 poäng.** **Betygsättning:** **A 24-27 poäng,** **B 21-23 poäng,** **C 18-20 poäng,** **D 15-17 poäng,** **E 12-14 poäng,** **Fx minst 11 poäng (ger inte godkänt på kursen men ger rätt till komplettering)**
Övrig information:	**Svara på frågorna 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. Kopplingsvägar (1p)

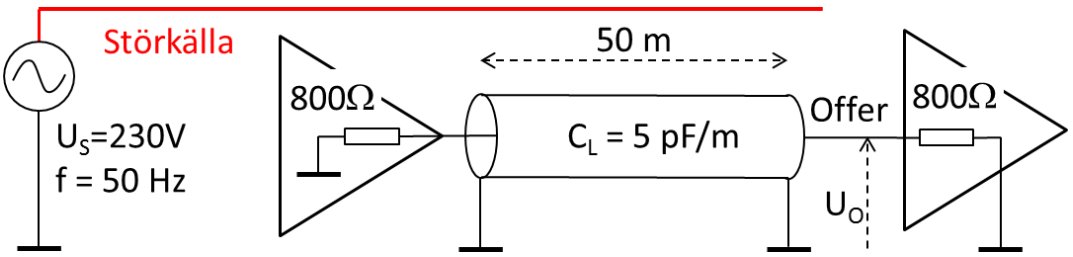
Varje störning har en källa, en kopplingskanal och ett offer. Kopplingskanalen kan både vara luftburen och ledningsburen. Beskriv tre olika sätt den luftburna störningen kan överföras mellan störkällan och offret!

Lösning:

- Kapacitivt, genom elektriskt fält
- Induktivt, genom magnetiskt fält
- Strålat, genom elektromagnetiska vågor

2. Överhörning (2p)

Två ljudutrustningar är kopplade till varandra med en 50 m lång koaxialkabel med läckkapacitansen 5 pF/m. Den är avslutad med 800 Ω till jord i båda ändar. Hela koaxialkabeln ligger i en kabelränna tillsammans med 230 V / 50 Hz nätkablar.



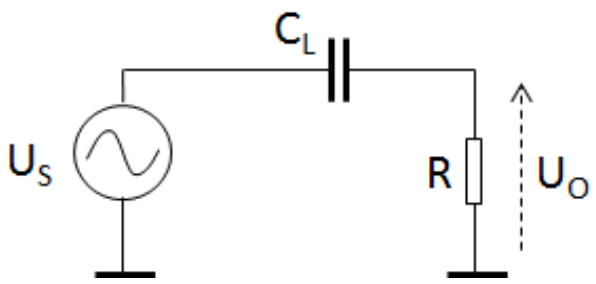
Rita ekvivalentschema för störningssituationen samt beräkna den överförda störningens amplitud U_0!

Lösning:

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

R = 800 Ω parallellt med 800 Ω = 400 Ω

C_L =50 m x 5 pF/m = 250 pF



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

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

Alternativ lösningsmetod:

En sinusformad växelström på 230V / 50 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 x i(t)* vilket ger att

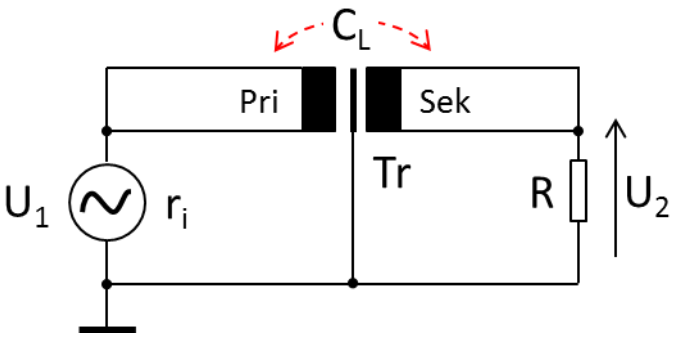
$$u_O(t) = RC_L \frac{du}{dt} = RC_L \omega \hat{U} \cos(\omega t)$$

$$U_O = RC_L \omega U_S = 400 \cdot 250 \cdot 10^{-12} \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 230 = 7{,}2\ mV$$

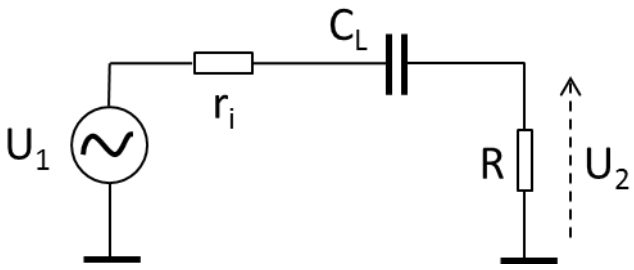
3. Isolering (2p)

Läckkapacitansen i en isolationstransformator Tr skall mätas med nedanstående koppling. Vid mätningen är U_1 = 5 V och U_2 = 1,1 mV vid frekvensen f = 10 kHz. Spänningsgeneratorns inre resistans r_i = 50 Ω och strömmätande motståndet R = 1 kΩ.

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



Lösning:



Spänningen U2 är R*i

$$U_2 = R * i_R$$

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

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

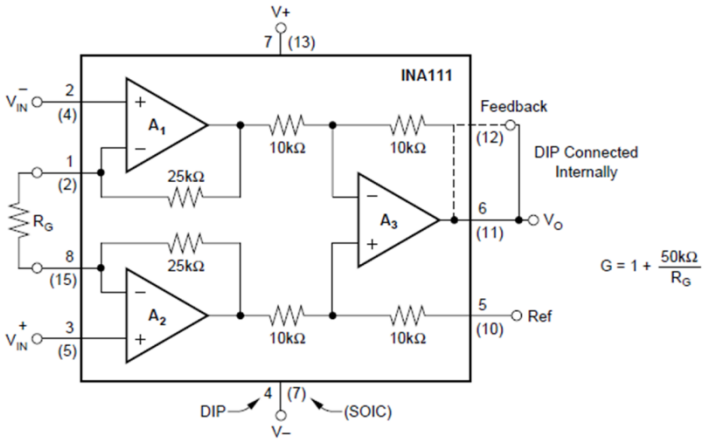
$$j\omega C_L = \frac{1}{R\frac{U_1}{U_2} - R - r_i}$$

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

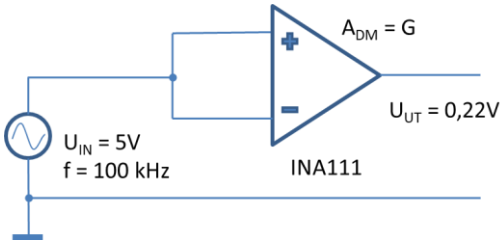
$$C_L = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3\left(1000\left(\frac{5}{1{,}1 \cdot 10^{-3}} - 1\right) - 50\right)} = \mathbf{3{,}5\ pF}$$

4. CMRR (1p)

Instrumentförstärkaren INA111 nedan har ett förstärkningsmotstånd R_G = 505 ohm.



När man kopplar ihop ingångarna och tillför en sinusformad insignal mot jord på 5V, 100kHz, blir utsignalen 0,22V.



- Beräkna förstärkningen A_{DM}
- Ange formel för att beräkna $CMRR_{dB}$
- Beräkna $CMRR_{dB}$ vid 100 kHz

Lösning:

Förstärkningen A_{DM} = G = 1 + 50k/505 = 100 ggr

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

⇨ $CMRR_{dB}$ (100kHz) = 20 log (100 x 5 / 0,22) = **67 dB**

5. Filter (1p)

En digital signal har grundfrekvensen 200 MHz och stigtiden t_r = 2,5 ns och falltiden t_f = 0,5 ns. Eftersom signalen har en överlagrat högfrekvent störning skickas den genom ett LP-filter. Beräkna den brytfrekvens filtret skall ligga över för att grundsignalen skall passera oförvanskad.

Lösning:
Den kortaste av stig- respektive falltid är t_r = 0,5 ns.
Den brytfrekvens under vilken det mesta av signalens energi finns är

$f_b = 1/\pi t_f$ = **637 MHz**

6. Transmission (1p)

Den elektriska ledaren mellan en digital utgång och mottagande krets på ett mönsterkort är 10 cm lång och 0.33 mm bred. Signalströmmen går i en ledare mitt emellan två jordplan på båda sidor av kortet. Kortet är 1,4 mm tjockt och gjort av glasfiberarmerad epoxi, FR4, vilket har ett dielektricitetstal ε_r = 4,0. Tjockleken på kopparlaminatet är 17 µm. Beräkna transmissionstiden T_D mellan kretsarna samt den karaktäristiska impedansen Z_0.

Lösning:

ε_r = 4,0

Formelsamlingen ger för ”Stripline”:

$$T_0 = 3.34\sqrt{\varepsilon_r}$$

Detta ger att T_0 = 6.68 ns/m. Längden på ledaren l = 0.1 m =>

$T_D = l \times T_0$ => $\boldsymbol{T_D}$ **= 0.67 ns**

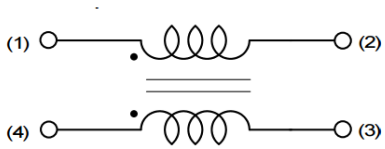
T = 1,4 mm, b = 0.33 mm, t = 17 µm och den karaktäristiska impedansen för ”Stripline” är:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} ln\left(\frac{4T}{0.67\pi(0{,}8b + t)}\right)$$

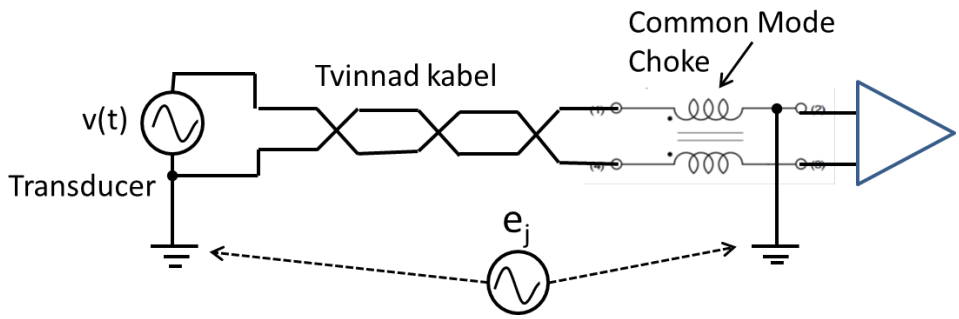
Detta ger att $\mathbf{Z_0 = 67\ \Omega}$.

7. Common Mode Choke (1p)

En Common Mode Choke eller BALUN används ibland på ingången till elektronikkretsar.



I nedanstående exempel är en transducer med relativt låg signalfrekvens kopplad med en tvinnad kabel till en common mode choke på ingången till en instrumentförstärkare. Det är ett långt avstånd mellan transducern och förstärkaren varför jordspänningarna kan skilja sig och det finns också common mode störningar e_j mellan jordarna.



Förklara funktionen i kretsen:

A. På vilket sätt har transducerns spänning v(t) påverkats på ingången till förstärkaren?
B. Vilken inverkan har störspänningen e_j på den förstärkta signalen?
C. Varför har man tvinnat kabeln?

Lösning:
A: Den differentiella spänningen v(t) påverkas inte (mycket litet)
B: Störspänningen e_j dämpas ut av Common Mode Choke (Balun) och inverkar inte på signalen
C: Tvinningen minskar magnetiskt inducerad störning från omgivningen

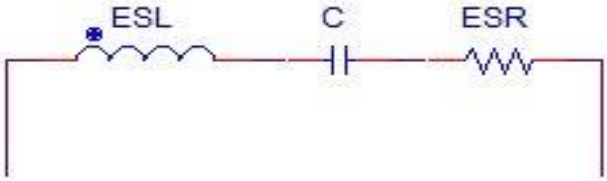
8. Verkliga komponenter (2p)

En kondensator används för att stabilisera spänningen till en krets. De parallella benens längd är 1 cm och avståndet 2,54 mm. Bendiametern är 0.33 mm . Rita upp kondensatorns egentliga schema med strökomponenter samt rita upp impedansen som funktion av frekvensen och beräkna resonansfrekvensen om kapacitansen är 100nF. För beräkningen kan höga frekvenser antas.

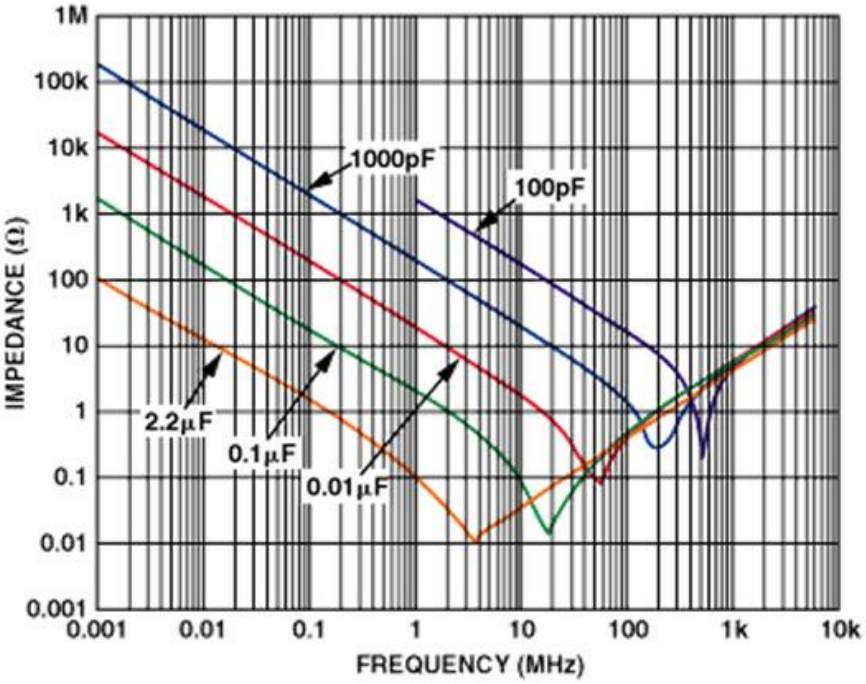
Kondensator 100nF

Lösning:

Det finns alltid en ekvivalent serieresistans ESR och serieinduktans ESL i de ledare som ansluter till kondensatorn. Ett vanligt sätt att avbilda en egentlig kondensator visas i figuren.



Vid låga frekvenser kan man betrakta komponenten som ett kapacitans. Går man upp i frekvens över resonansfrekvensen f_0 börjar de induktiva egenskaperna dominera och impedansen ökar med frekvensen.



Figur. Exempel på kondensatorers impedans Z som funktion av frekvensen.

Beräkning av induktansen ESL:

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

l = 1 cm
h = 2,54 mm
d = 0,33 mm => **ESL = 11 nH**

Det uppstår en resonansfrekvens f_0 som kan beräknas om man känner till L och C:

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

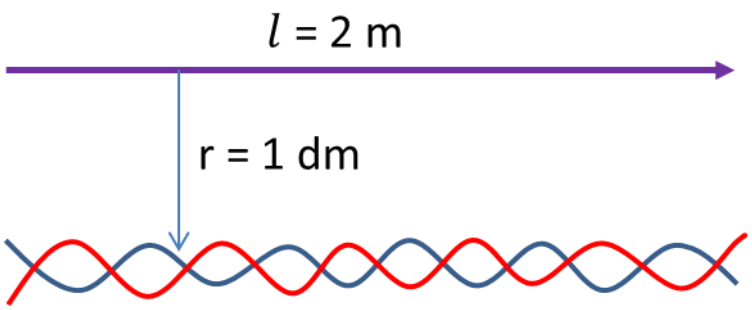
C=100nF, L=11nH => **f_0 = 4,8 MHz**

9. Kablar (2p)

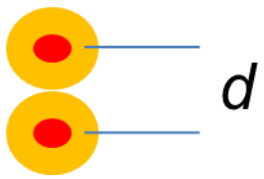
En tvinnad signalkabel går parallellt med en kraftkabel på en sträcka av 2 m. Avståndet r mellan kablarna är 1 dm. Strömderivatan i kraftkabeln, di/dt, har vid ett tillfälle uppmätts till 100 A/µs.

Koppartråden i signalkablarna har diametern a = 0,5 mm och isolationen är 0,5 mm tjock. Tvinningen är 50 slag/m, vilket ger att signalkabelns areaobalans A_{eff} = 2 %.

Beräkna inducerad spänning i signalkabeln!



Lösning:



Först beräknas ytan A (projektionen) av den tvinnade kabeln. Avståndet mellan kopparledarna d = 0,5 + 2 x 0,5 mm = 1,5 mm. Om man antar att tvinningen är jämn fås arean

$$A = \frac{ld}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2}} m^2$$

, vilket ger att A = 2.1 x 10^{-3} m^2

Den effektiva arean A_{eff} = 0,02 x A = 42,4 x 10^{-6} m^2.

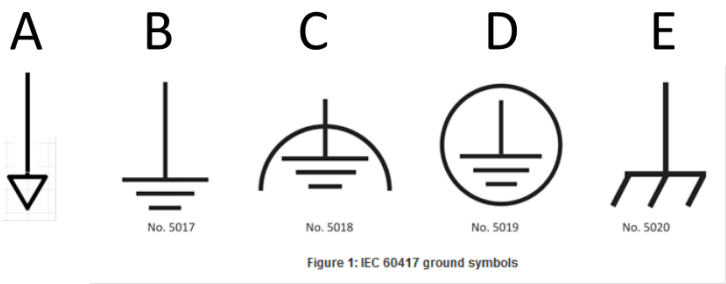
Från formelsamlingen fås att inducerad emk i slinga är

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

=> **E ≈ 8,5 mV**

10. Jordning (1p)

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

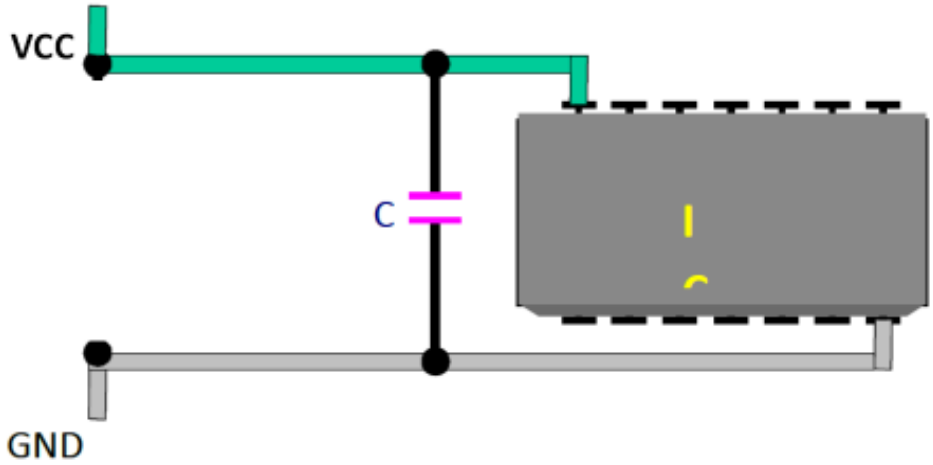


Lösning:

A) Digital jord, Digital nolla
B) Referens jord, ”Earth Ground”, Nollpotential
C) Störningsfri jord, ”Ren jord”
D) Skyddsjord
E) Chassis anslutning

11. Avkoppling (1p)

När en digital krets med matningsspänningen VCC = 3,3 V byter värde på en utgång går det en tvärström på 50 mA i medeltal under 50 ns. Beräkna det minsta värdet en avkopplingskondensator C över matningsspänningen till kretsen måste ha för att spänningen inte skall sjunka mer än 1% på grund av detta omslag.

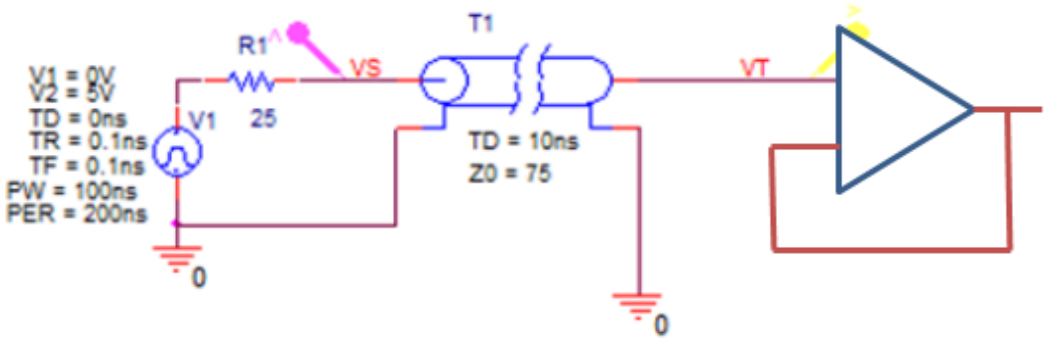


Lösning:

Spänningsfallet skall vara mindre än du = 0,01 x 3,3 V = 0,033 V. I formelsamlingen sid 303 fås att
i = C x du/dt => C = i x dt/du = 50 x 10^{-3} x 50 x 10^{-9} / 0,033 = <u>76 nF</u>

12. Terminering (2p)

a) Vid ett labborationstillfälle kopplas utgången på en digital signalgenerator direkt till en koaxialkabel med karaktäristiska impedansen Z_0 = 75 Ω och transmissionstiden T_D = 10 ns. Signalgeneratorns utgångsimpedans R1 = 25 Ω. I andra ändan har man anslutit kabeln till en högohmig förstärkare utan termineringsmotstånd. En puls som matas från generatorn går vid tidpunkten t = 0 från 0 till 5 V. Vilka spänningar återfinns på utgången från signalgeneratorn (VS) och ingången till förstärkaren (VT) efter 5, 15 och 25 ns? (2p)



Lösning:

a) Beräkna först inspänningen när signalen når T1 första gången: V_S = 5V x Z_0 / (R1 + Z_0) = 3,75 V.

Från t = 0 till t = 2T_D är spänningen på ingången till kabeln V_S = 3,75 V.
Alltså är **V_S(5ns) = V_S(15ns) = 3,75 V.**

Reflektionskoefficienten ρ_S = (R1 – Z0)/(R1 + Z0) = -0,5

Reflektionskoefficienten ρ_T = (R2 – Z0)/(R2 + Z0) = 1

Från t = 0 till t = T_D är spänningen V_T = 0 V. Alltså är **V_T(5ns) = 0 V.**

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

den reflekterade spänningen V_{r1} = $\rho_T V_{S1}$ = 1 x 3,75 = 3,75 [V].

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

Alltså fås att **V_T(15ns) = V_T(25ns) = 7,5 V.**

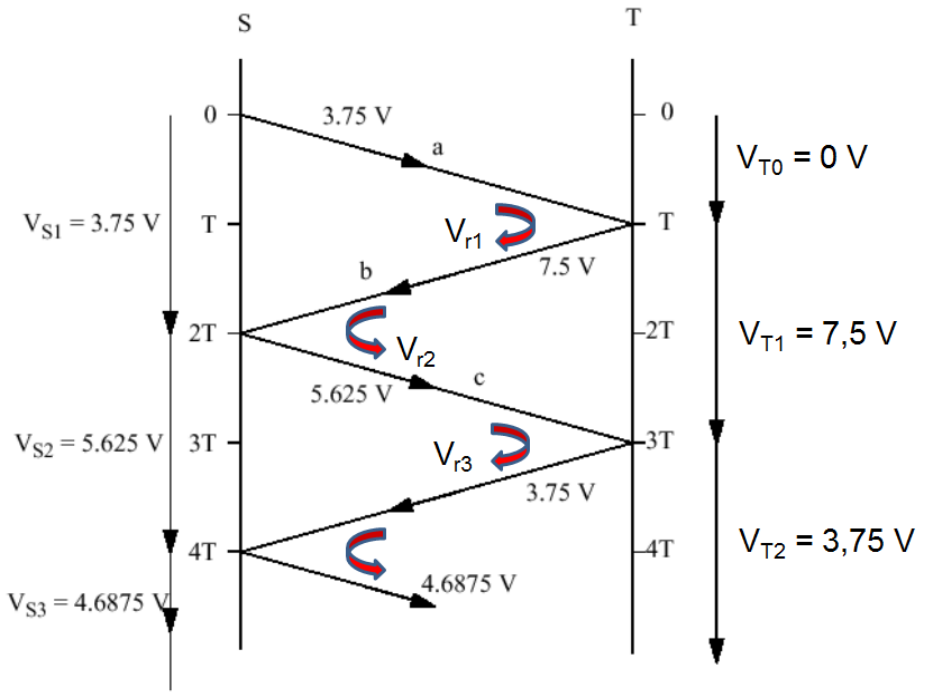
Denna spänning fortsätter nu mot R_1 för att reflekteras där igen eftersom det finns en missanpassning mellan Z_0 och R_1.

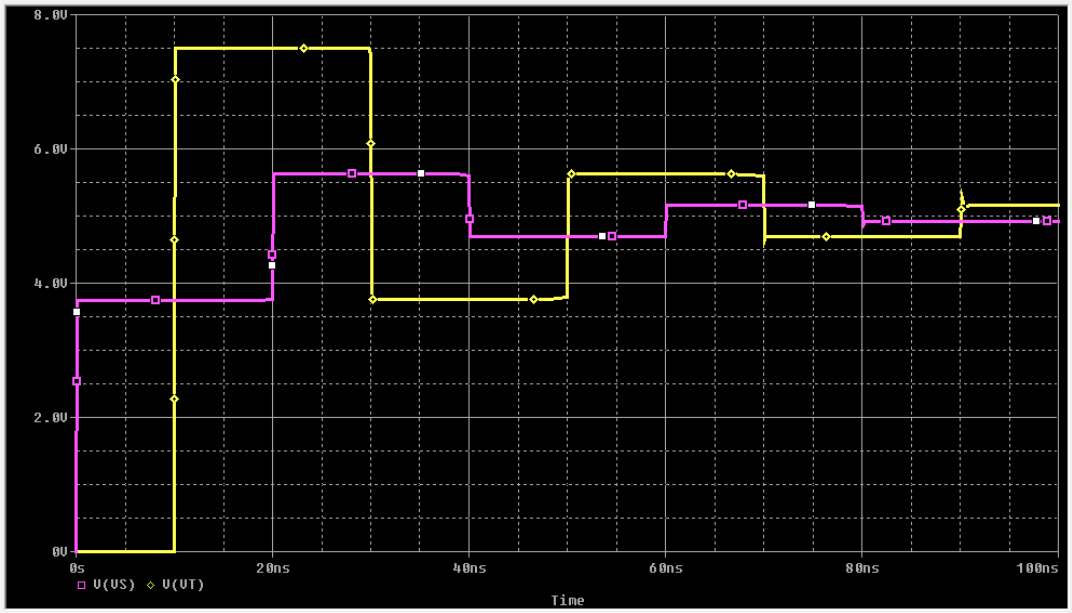
Detta ger en reflektion tillbaka i linjen V_{r2} = $\rho_S V_{r1}$ = -0,5 x 3,75 = -1,875 [V].

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(25ns) = 5,625 V.**

t (ns)	V_S (V)	V_T (V)
5	3,75	0,0
15	3,75	7,5
25	5,625	7,5





13. Skärmning (2p)

Vad är den totala skärmningseffektiviteten SE för en tät apparatlåda omsluten av 1 mm tjock plåt av mjukt aluminium? Lådan befinner sig i luft och störfrekvensen är 8 kHz?

Lösning:

Skärmningseffektiviteten för lådan SE = R + A + B.

Vågimpedans i luft Z_0 = 377 Ω

Vågimpedansen Z_S för mjukt aluminium vid 8 kHz beräknas enligt formel

$$Z_S = \sqrt{\frac{j\omega\mu_r\mu_0}{\sigma + j\omega\varepsilon_r\varepsilon_0}}$$

Enligt formelsamling (sid 309) är σ_r = 0,61 för mjukt aluminium och $\sigma_0 = 5{,}82 \times 10^7$ [1/Ωm].

- ⇨ $\sigma = \sigma_r\sigma_0 = 35{,}5 \times 10^6$ [1/Ωm]

Termen $\omega\varepsilon_r\varepsilon_0 = 2\pi f*1*8{,}854*10^{-12}$ [F/m] = $4{,}45 \times 10^{-7}$ [F/sm]

Eftersom $\sigma >> \omega\varepsilon_0$ och μ_r = 1 för aluminium kan formeln förenklas till

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

- ⇨ $Z_S = 42{,}2 \times 10^{-6}$ Ω
- ⇨ Reflektionsdämpningen $E_1/E_0 = 4\, Z_0\, Z_s / (Z_0 + Z_s)^2 \approx 4\, Z_S / Z_0 = 4{,}5 \times 10^{-7}$

R = $20\log(E_0/E_1) = 20\log(1/3{,}5 \times 10^{-8})$ = **127 dB**

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

Inträngningsdjupet δ i aluminium:

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

- ⇨ $\delta(8\text{ kHz}) = 0{,}945\text{ mm}$

Plåtens tjocklek $t = 1\text{ mm}$ => $E_1/E_0 = e^{-t/\delta} = 0{,}347$

A = $20\log(E_0/E_1) = 20\log(1/0{,}347)$ = **9,2 dB**

Eftersom A < 10 dB måste <u>multipel reflektion</u> beaktas:

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

E1/E0 = 0,88

B = 20log(E_1/E_0)= **-1,1 dB**

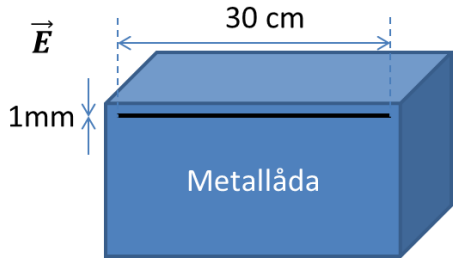
B är alltid negativ!

SE = R + A + B = 127 dB + 9,2 dB – 1,1 dB= **135 dB**

14. Skärmning (2p)

a) Den elektriska fältstyrkan $\vec{E}$ för en 100 MHz störsignal är i ett rum 100 dBµV/m. Vilken fältstyrka motsvarar detta i enheten V/m eller mV/m?

b) I rummet finns en i övrigt tät apparatlåda av metallplåt som har en smal luftspalt med höjden 1 mm och längden 30 cm (se Figur). Vad blir elektriska fältstyrkan inuti lådan i enheten mV/m som orsakas av den yttre störsignalen $\vec{E}$? Antag att inget fält penetrerar genom plåten!



Lösning:

a) Den elektriska fältstyrkan från dBµV/m till V/m i rummet utanför lådan beräknas:

$$20log_{10}\left(\frac{E}{1\ [\mu V/m]}\right) = 100$$

$$log_{10}\left(\frac{E}{10^{-6}[V/m]}\right) = 5$$

$$\frac{E}{10^{-6}[V/m]} = 10^5$$

$$E = 10^{-1}\frac{V}{m} = 100\frac{mV}{m}$$

b) Våglängden λ = c/f = 3 m vilket är >> än a = 30 cm, dvs. öppningen är liten relativt våglängden. Skärmningseffektiviteten SE för en spalt där a = 30 cm och b = 1 mm beräknas enligt

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

⇨ SE = 14 dB + 16,5 dB = 30,5 dB

$$30{,}5 = 20log\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$$

$$1{,}525 = log\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$$

$$10^{1{,}525} = \frac{E_1}{E_2}$$

$$E_2 = \frac{E_1}{10^{1,525}} = \frac{0,1}{33,5} \approx 3mV/m$$

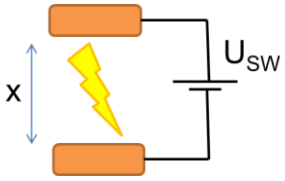
Alternativt: E – SE = 100 – 30,5 = 69,5

$$20log_{10}\left(\frac{E_2}{1\ [\mu V/m]}\right) = 69,5$$

⇨ E2 = 3 mV/m (= 69,5 dBµV/m)

15. Kontaktskydd (1p)

När en omkopplare sluts eller öppnas sker ibland elektriska urladdningar mellan kontaktytorna.



Förklara vid vilken spänning och hur urladdningen sker vid:

1) Glimning

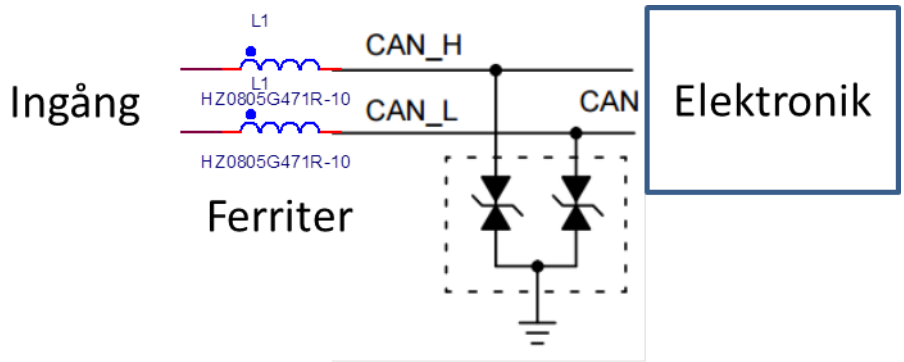
2) Bågurladdning

Lösning:

1. Glimning sker vid 12 – 15 V. Urladdningen förmedlas av fria elektroner som emitteras från metallytorna vid resistiv uppvärmning.
2. Bågurladdning sker vid ca 300 V. Urladdningen sker genom att gasen (luften) mellan elektrodytorna joniseras, vilket gör den ledande ett kort ögonblick. Jmf blixturladdning.

16. ESD/EMI (1p)

Elektrostatiska urladdningar kan lätt förstöra elektronik, speciellt om inte öppna ingångar är ordentligt skyddade. När avsedd kabel inte är ansluten är ingångarna i nedanstående figur exponerade för oavsiktlig ESD och EMI induktion. Vilken funktion har de två ferriterna? Vad kallas skydden som är kopplade mellan ingångarna (CAN_H och CAN_L) och jord och vad är deras funktion?

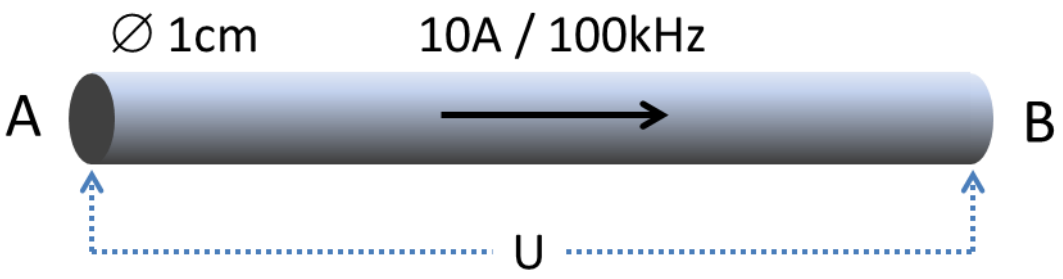


Lösning:

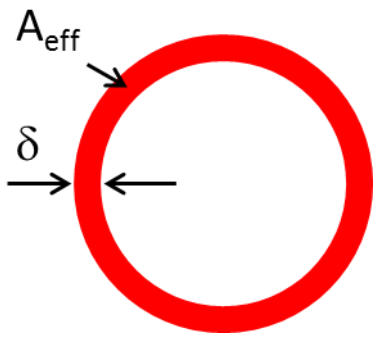
Ferriterna filtrerar bort högfrekventa störningar men släpper igenom lågfrekvent nyttosignal. Kretsarna kallas för TVS (transient voltage suppressor) eller TranZorb. TVS skyddar ingångarna mot snabba ESD pulser med ofta mycket hög spänning genom att kortsluta dessa till jord.

17. Skin-effekt (1p)

En rund stålstav (SAE1045) med diameter 1 cm leder en jordström på 10 A / 100 kHz mellan terminalerna A och B. Vad blir spänningsfallet i stålstaven om den är 5 m lång? Gör en överslagberäkning som beaktar skin-effekten!



Lösning:



Resistansen i skenan vid frekvensen *f = 100 kHz* beräknas som

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

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

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

Detta ger att δ vid 100 kHz är δ = 660 µm

$$A_{eff} \approx \delta(\pi d) = 20{,}7 \cdot 10^{-6}\ m^2$$

Sålunda kan resistansen vid 100 kHz fås som

$$R = \frac{l}{\sigma A_{eff}} = 41{,}4\ m\Omega$$

Spänningsfallet i skenan är enligt ohms lag, *U = R·I*

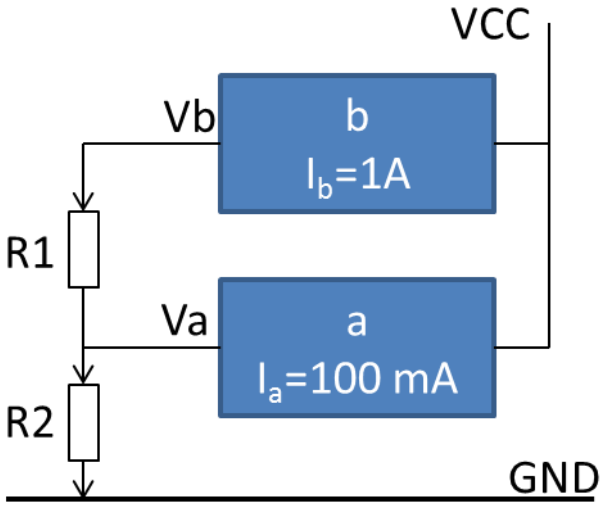
Detta ger att spänningsfallen **U(100 kHz) = 414 mV**

Alternativ lösning:

Enligt FS är $R = \rho \times \frac{l}{2\pi r\delta}$, $\rho = \frac{1}{\sigma}$ => $R = \frac{l}{\sigma 2\pi r\delta}$, $\delta = \frac{66 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{\sigma_r f}} = 660\mu m$ => R=41,4 mΩ => U=0,4V.

18. Jordning (1p)

Två kretskort (a och b) är placerade i en apparat. Kort a drar 100mA ström från matningsspänningen VCC och kort b drar 1A. Hur stor är störningen av noll-referensnivåerna Va och Vb för korten? Båda korten har jordimpedansen R1 = R2 = 0,1 Ω och GND = 0 V.



Lösning:

Enligt Kirschoffs lag går strömmen Ia + Ib genom R2

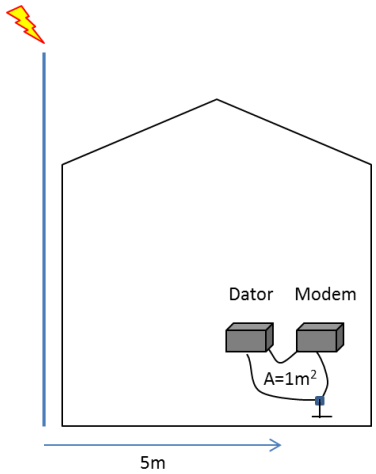
⇨ Va = R2 x (Ia + Ib) = 0,1 Ω x (1A + 0.1A) = **0,11 V**

Genom R1 går bara strömmen Ib

⇨ Vb = Va + R1 x Ib = 0,11V + 0,1 Ω x 1A = **0,21 V**

19. Blixturladdning (1p)

Blixten slår ned i en åskledare som går längs utsidan av en husvägg. Inuti huset finns en dator och ett modem vars elsladdar bildar en slinga med arean 1 m^2 vinkelrätt mot det inducerade magnetfältet. Under blixturladdningen stiger strömmen i åskledaren från noll till toppströmmen 200 kA på 5 µs. Vilken är den maximala spänningen som induceras i slingan?



Lösning:

Enligt formelsamlingen är

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

$$E \approx \frac{4\pi 10^{-7} \times 1}{2\pi \times 5} \times \frac{200 \times 10^3}{5 \times 10^{-6}}$$

E = 1600 V

20. Normer (1p)

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

Lösning:

a) CE-märkning är en produktmärkning inom främst EU men även inom EES. Bokstäverna CE är en förkortning för Conformité Européenne ('i överensstämmelse med EG-direktiven'). En produkt med CE-märkning får säljas i EES-området utan ytterligare krav. Det är tillverkaren som ansvarar för produktens kvalitet och att den följer direktiven.
b) S-märkning innebär att er produkt provats mot valda europeiska produktstandarder för kontroll av elsäkerhet, brandskydd, mekaniska skaderisker och strålningsrisker med mera. För att erhålla S-märket krävs att ett oberoende provningslaboratorium har kontrollerat att produkten uppfyller gällande produktsäkerhetskrav inom EU. S-märket är inte obligatoriskt.