



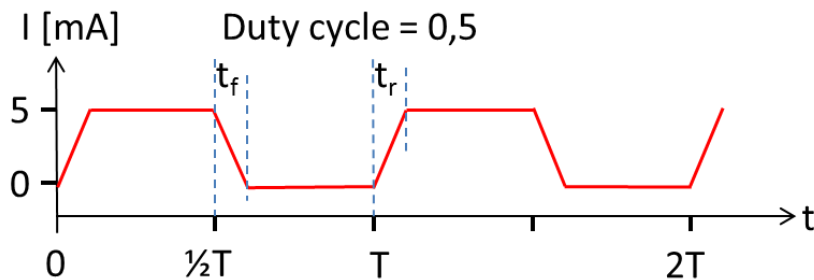
Skolan för teknik och hälsa

Tentamen

Kurs:	EMC elektronik
Kursnummer:	HE1019
Moment:	RED1: 4hp
Program:	MT
Åk:	3 (TIMEL3)
Examinator:	Mats Nilsson
Rättande lärare:	Nils Holmström
Datum:	21 maj 2014
Tid:	9:00 – 13:00
Plats:	CF 5Y
Hjälpmedel:	Räknedosa, formelsamling i tentamen
Omfattning och betygsgränser:	Tentamen består av 20 frågor som kan ge maximalt 25 poäng. Betygsättning: A 23-25 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 skriva in svaren i respektive ruta under frågan. 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. Filter (1p)

En digital signal har grundfrekvensen 100 MHz och stig- respektive falltiden $t_r = t_f = 1$ ns. Under vilken brytfrekvens ligger det mesta av signalens energi?



Lösning:

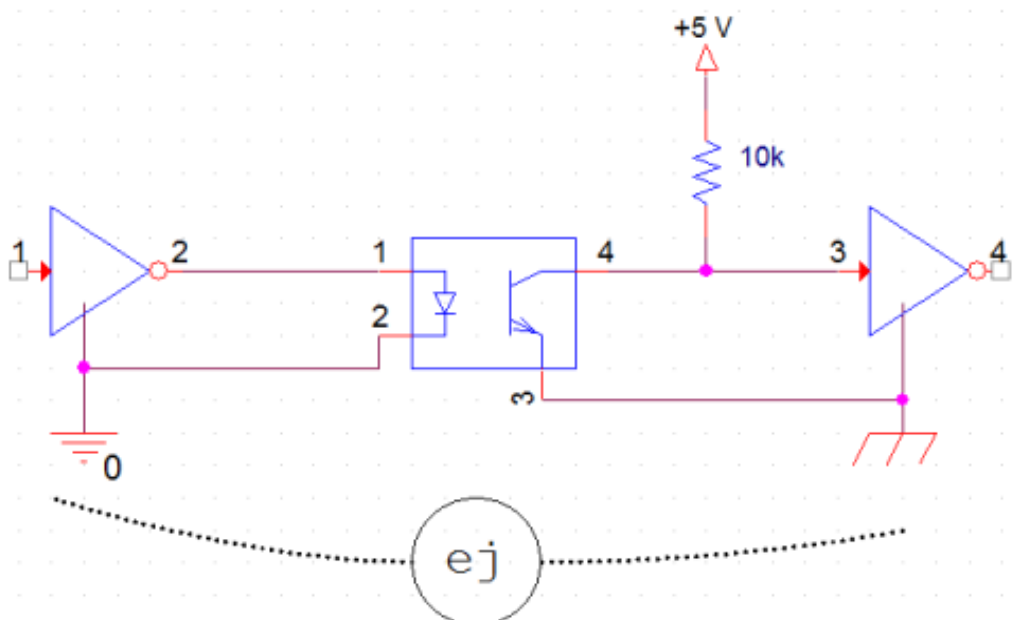
Stig- respektive falltid är $t_r = 1$ ns.

Den brytfrekvens under vilken det mesta av signalens energi finns är

$$f_b = 1/\pi t_r = 318 \text{ MHz}$$

2. Isolering (1p)

En oskärmad optokopplare har $C_L = 0,5$ pF längskapacitans och hälften av denna kapacitans kopplar till fototransistorns bas. Antag att fototransistorns strömförstärkning $\beta = 50$. Inverteraren till höger, som har hög inimpedans, byter värde från logisk nolla till etta då inspänningen understiger 2,5 V. Inspänningen till optokopplaren är 0V vilket betyder att lysdioden är släckt. Vilken positiv transient spänningsförändring du/dt på "ej" krävs för att inverteraren skall byta värde till etta på utgången?



Lösning:

När kollektorströmmen som går genom 10 k Ω motståndet $i_c > 2,5\text{V} / 10 \text{ k}\Omega = 250 \mu\text{A}$ byter inverteraren värde.

Kollektorströmmen i_c beräknas som funktion av spänningsförändringen enligt följande.

Basströmmen $i_b = i_c / \beta$.

$$i_b = \frac{C_L}{2} \cdot \frac{du}{dt}$$

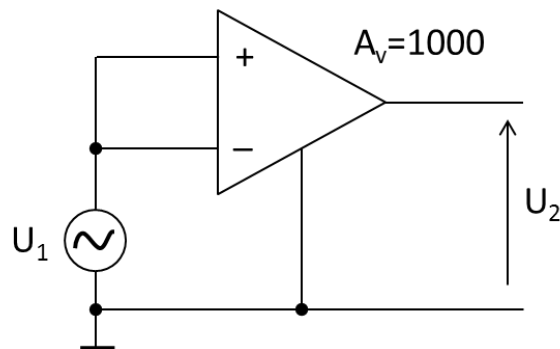
$$i_c = \beta \cdot i_b = \beta \cdot \frac{C_L}{2} \cdot \frac{du}{dt}$$

$$\frac{du}{dt} > \frac{2i_c}{\beta C_L}$$

⇒ Trancienten $du/dt > 20 \text{ V}/\mu\text{s}$

3. CMRR (1p)

En mätförstärkare kopplas enligt figuren. Inspänningen U_1 är 1 V under hela mätningen medan utspänningen U_2 mäts enligt tabellen nedan.



Beräkna och fyll i CMRR i tabellen samt rita upp CMRR som funktion av frekvensen i ett xy-diagram!

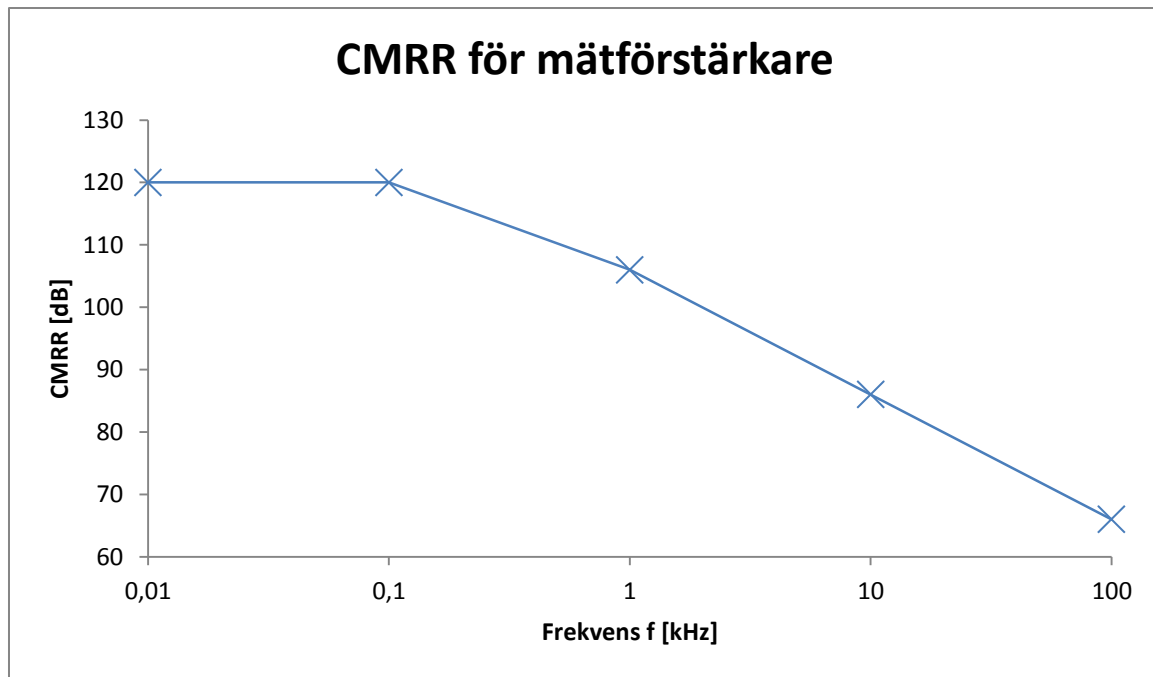
Lösning:

$$\text{CMRR} = 20 \log(A_{DM}/A_{CM})$$

$$A_{DM} = A_v = 1000, A_{CM} = U_2/U_1$$

$$\Rightarrow \text{CMRR} = 20 \log(1000/U_2)$$

f [kHz]	U_2 [mV]	CMRR [dB]
0,01	1	120
0,1	1	120
1	5	106
10	50	86
100	500	66



4. Common Mode Choke (1p)

En Common Mode choke (balun) består av en ferromagnetisk ring omlindad med två kablar enligt figur nedan. Vi betraktar en CM choke i två olika situationer:

1. Längsströmmar I_{CM} (dvs. när båda strömmarna i lindningarna går åt samma håll)
 2. Tvärströmmar I_{DM} (dvs. när strömmarna i lindningarna går åt olika håll)
- a. Markera med två pilar på respektive figur i vilken riktning det magnetiska flödet inuti ringen går. Rita en pil för den övre delen av ringen och en pil för den nedre delen!
 - b. Vad händer med strömmarna genom CM choken i de två fallen?

Lösning:

a.

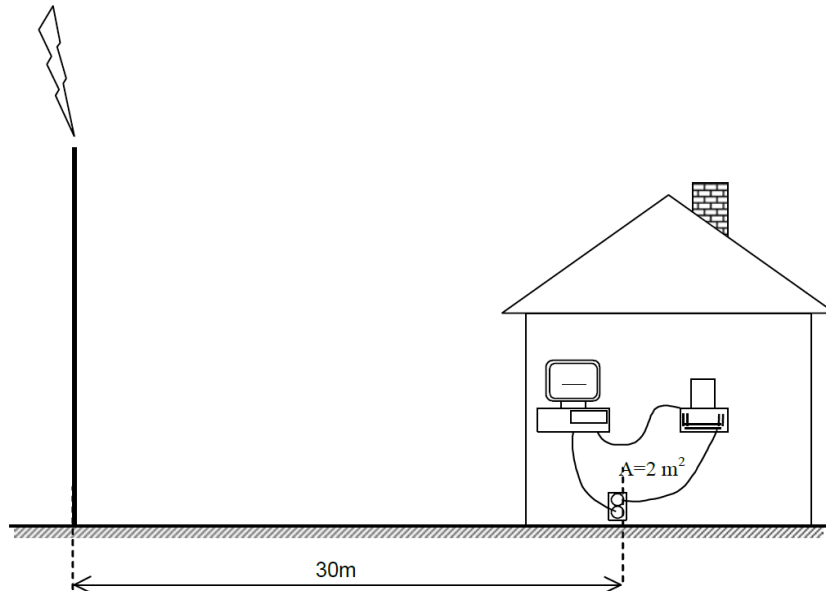


- b. CM: De två magnetiska flöden som uppstår i ringen samverkar med varandra och inducerar en emk som motverkar längsströmmarna så att de tas ut helt och hållet och ingen CM ström når mottagaren.

DM: De två magnetiska flöden som uppstår i ringen motverkar varandra och påverkar inte tvärströmmen.

5. Blixurladdning (1p)

Åskan slår ned i en åskledare på 30 m avstånd från en dator. Datorn är kopplad till en skrivare med en signalkabel. Både datorn och printern är anslutna till 230 V elnätet på ett sådant sätt att en öppen slinga på 2 m^2 bildas. Under blixurladdningen stiger strömmen i åskledaren från noll till toppströmmen 300 kA på $2 \text{ }\mu\text{s}$. Vilken är den maximala spänningen som induceras i slingan?



Lösning:

Enligt formelsamlingen sid 305 är

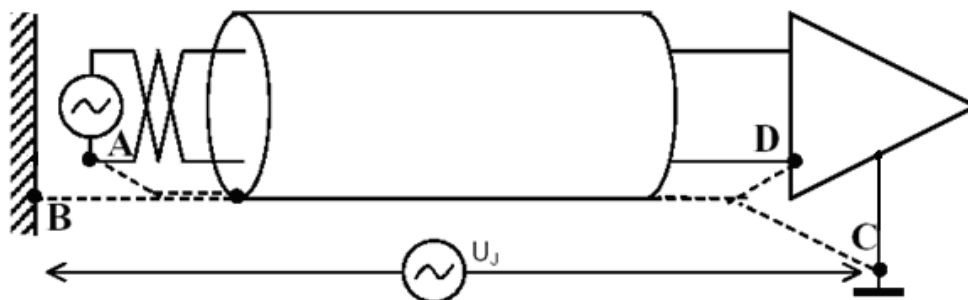
$$E \approx \frac{\mu_0 A}{2\pi r} \frac{di}{dt}$$
$$E \approx \frac{4\pi 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 30} \times \frac{300 \times 10^3}{2 \times 10^{-6}}$$

E = 2 kV

6. Jordning av kablar (1p)

Bilden visar en koppling med en flytande signalkälla till vänster som är förbunden med en förstärkare med en skärmad kabel. Kabeln är elektriskt kort, dvs. mycket kortare än störningens våglängd. De streckade linjerna visar fyra möjliga jordningar (betecknade A, B, C och D). Dessutom har vi möjlighet att välja: E = "jorda i så många punkter som möjligt" eller F = "jorda inte alls kabelskärmen".

Välj det bästa av alternativen och motivera varför!

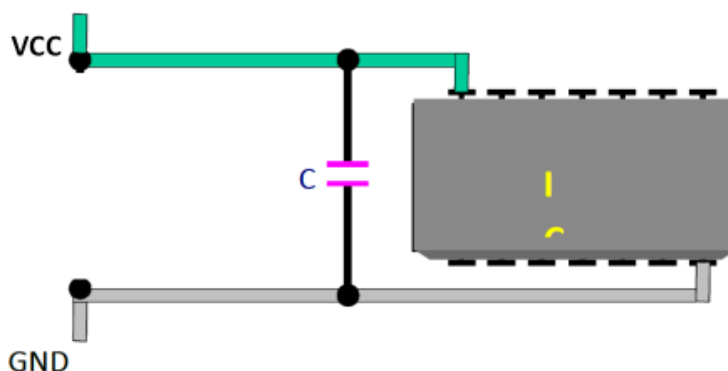


Lösning:

Generellt kopplas skärmen till den punkt som bäst följer innerledarnas potential. Eftersom mottagare är jordad så jordar man bäst i punkt **D** för att leda eventuella skärmströmmar till jordningspunkter utan att bilda strömslingor.

7. Avkoppling (1p)

När en digital krets med matningsspänningen $VCC = 5\text{ V}$ byter värde på en utgång går det en tvärström på 50 mA i medeltal under 10 ns . Kretsen har åtta utgångar så i extremfallet byts alla 8 värden samtidigt. Beräkna det minsta värdet en avkopplingskondensator C över matningsspänningen till kretsen måste ha för att spänningen inte i något fall skall sjunka mer än 100 mV på grund av detta omslag.



Lösning:

Spänningsfallet "du" skall vara mindre än $du = 0,1\text{ V}$. Den största tvärströmmen som uppstår när alla utgångar byter värde samtidigt är $8 \times 50\text{ mA} = 400\text{ mA}$. I formelsamlingen sid 303 fås att $i = C \times du/dt$
 $\Rightarrow C = i \times dt/du = 0,4\text{ [A]} \times 10 \times 10^{-9}\text{ [s]} / 0,1\text{ [V]} = 4 \times 10^{-8}\text{ [s]} = \underline{40\text{ nF}}$

8. Åskskydd (1p)

Bilden visar två typer av åskskydd. Vad kallas dessa och beskriv de karaktäristiska egenskaper som de har. Nämn minst en positiv och en negativ egenskap för båda skydden!

Lösning:

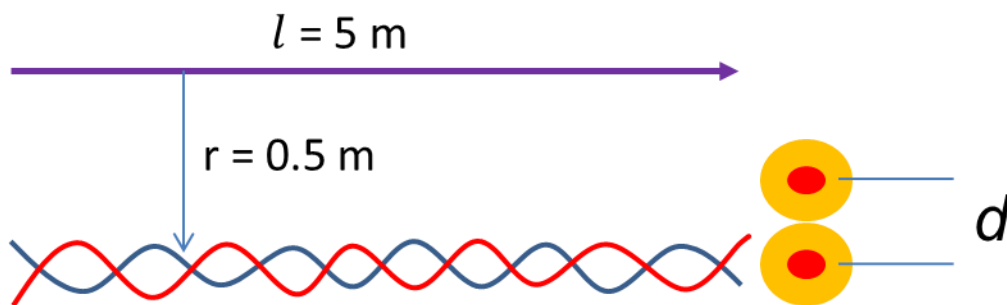
	Gasurladdningsrör: + Tål höga strömmar, högt isolationsmotstånd, låg kapacitans - Relativt lång reaktionstid
	TranZorb (transient voltage suppressor): + Snabb, klarar kortvarigt höga transienter - Hög kapacitans, Tål inte så höga spänningar och strömmar

9. Kablar (1p)

En tvinnad signalkabel går parallellt med en kraftkabel på en sträcka av 5 m. Avståndet r mellan kablarna är 0,5 m. Strömderivatan i kraftkabeln di/dt har vid ett tillfälle uppmätts till $100 \text{ A}/\mu\text{s}$.

Koppartråden i signalkablarna har diametern $a = 1 \text{ mm}$ och isolationen är 1 mm tjock. Tvinningen är välgjord, vilket ger att signalkabelns areaobalans $A_{\text{eff}} = 2 \%$.

Beräkna inducerad spänning i signalkabeln!



Lösning:

Först beräknas ytan A (projektion) av den tvinnade kabeln. Avståndet mellan kopparledningarna $d = 2 \times a/2 + 2 \times 1 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$. Om man antar att tvinningen är jämn fås arean

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

, vilket ger att $A = 10.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Den effektiva arean $A_{\text{eff}} = 0,02 \times A = 212 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

I formelsamlingen sid 305, inducerad emk i slinga

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

=> **E = 8.5 mV**

10. Kontaktskydd (1p)

Bilden visar ett exempel på en omkopplare som styr ett relä. Två komponenter R och C har lagts till för att förhindra överslag så att elektrodytorna inte skall förstöras.

1) V_G är den lägsta spänning som kan ge upphov till glimning, dvs. en gnista mellan elektroderna i en omkopplare. Hur stor är V_G under normala omständigheter? Ange ett av alternativen!

(a) 1-3 V

(b) 12-15 V

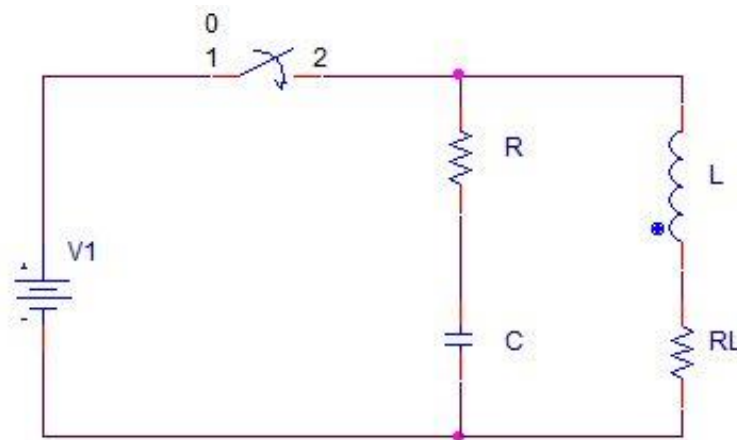
(c) 50-80 V

2) Vilken spänning mellan elektroderna krävs för att överslag skall kunna ske via jonisation av luften? Ange ett av alternativen!

(a) 50 V

(b) 100 V

(c) 300 V

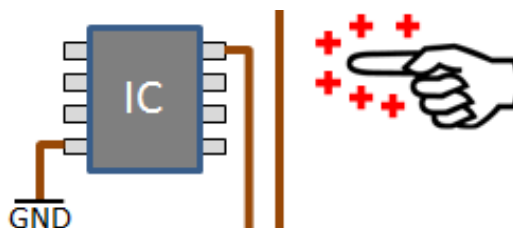


Lösning:

1. 12 – 15 V.
2. 300 V

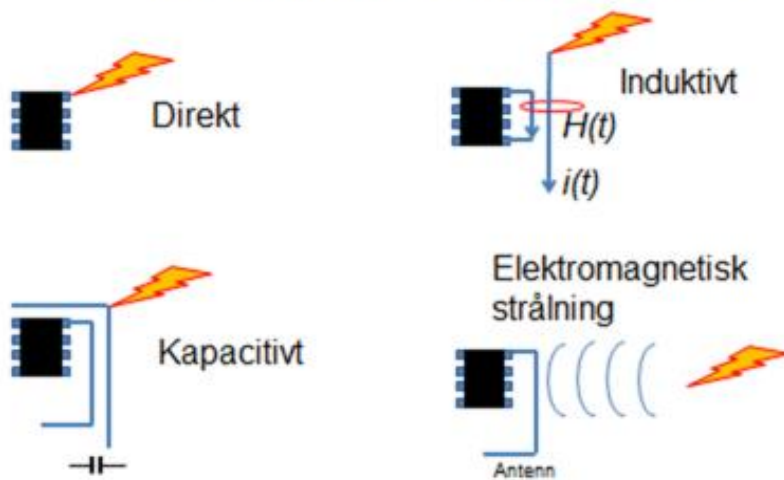
11. ESD (1p)

När olika material gnids mot varandra kan statisk elektricitet uppstå på ytorna. Detta kallas ibland för triboelektrisk effekt. När en uppladdad yta, t.ex. ett finger, närmar sig en komponent på ett kretskort kan en urladdning ske, vilket kan skada den eller dess funktion allvarligt. Nämn fyra olika sätt på vilka en elektrostatisk urladdning (ESD) kan överföras till kretsen!



Lösning:

ESD påverkan på en krets



EMC Elektronik

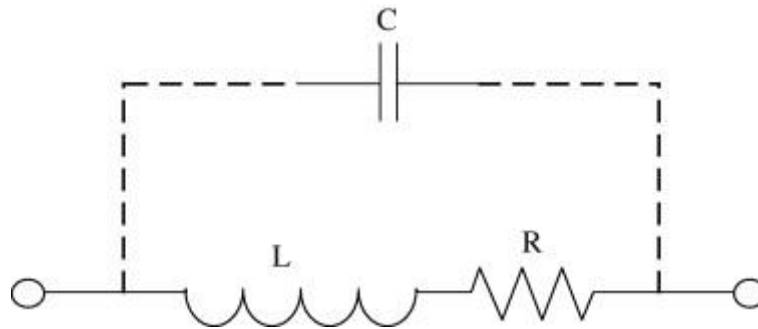
12. Verkliga komponenter (1p)

Teori och verklighet är inte alltid överensstämmande i komponenternas värld. Exempelvis har både motstånd och kondensatorer inte bara resistiva respektive kapacitiva egenskaper utan det förekommer oftast parasiter som beror av t.ex. geometri och materialval. Nedan visas en induktor med induktansen L . Rita ett schema för den verkliga komponenten med ingående parasitkomponenter samt skissera hur impedansen beror av frekvensen!

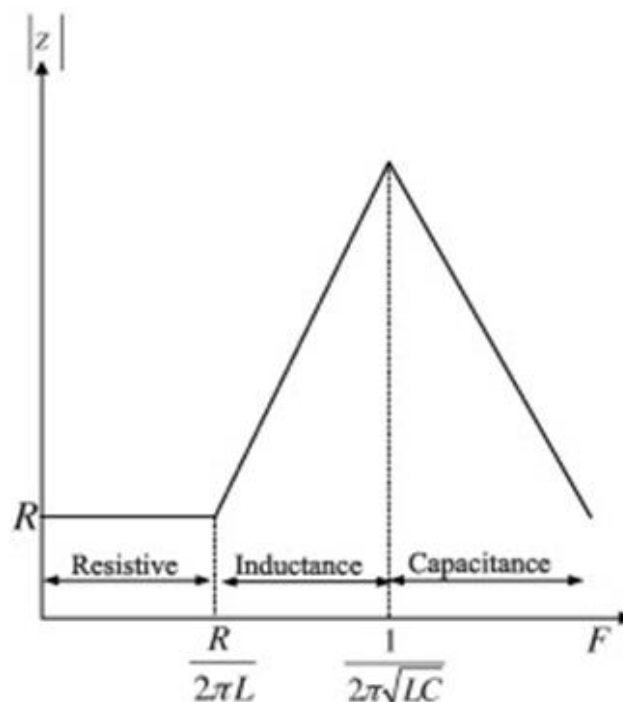


Lösning:

Det finns alltid en serieresistans R i den ledare som bildar induktorn (spolen). Mellan lindningarna förekommer en parallellkapacitans C (figur).



Vid låga frekvenser kan man betrakta komponenten som ett (lågohmigt) motstånd. Går man upp i frekvens börjar de induktiva egenskaperna dominera och impedansen stiger med frekvensen. Vid riktigt höga frekvenser är däremot de kapacitiva egenskaperna dominerande. Spolen är egentligen induktiv bara i intervallet i mitten av grafen nedan.



13. Transmission (1p)

Den elektriska ledaren mellan drivkrets och mottagande krets på ett mönsterkort är 10 cm lång och 0.25 mm bred. Signalströmmen som går i ledaren har sin returström i jordplanet på andra sidan av kortet. Kortet är 0,7 mm tjockt och gjort av glasfiberarmerad epoxi, 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:

$$\epsilon_r = 4,5$$

Formelsamlingen sid 308:

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

Detta ger att $T_0 = 5.57$ ns/m. Längden på ledaren $l = 0.1$ m =>

$$T_D = l \times T_0 \Rightarrow T_D = 0,56 \text{ ns}$$

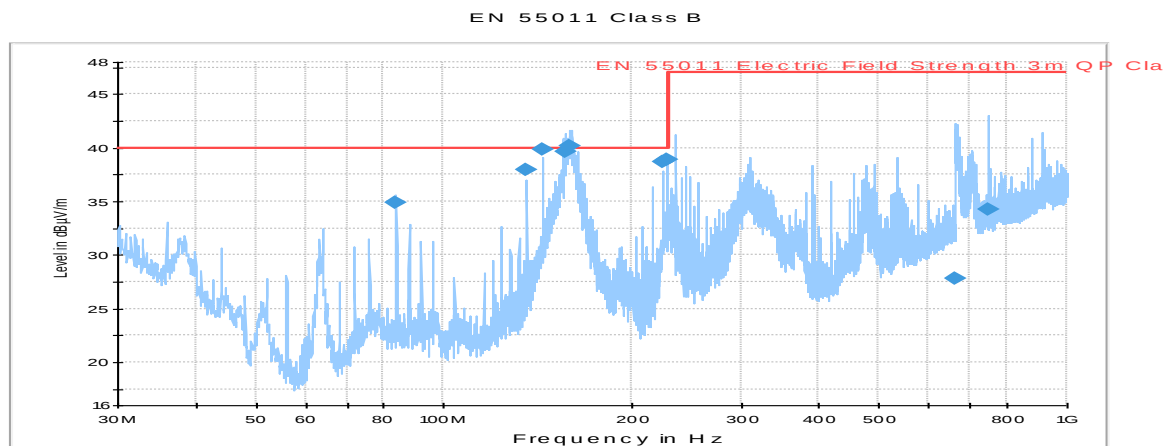
$h = 0,7$ mm, $b = 0.25$ mm, $t = 17$ μ m och den karaktäristiska impedansen för "Microstrip" är:

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

Detta ger att $Z_0 = 106 \Omega$.

14. Normer (1p)

Bilden visar den emitterade strålningen från en elektronikapparat vid olika frekvenser. Den röda linjen visar vilken maximal fältstyrka som tillåts. Som synes överskrider emissionen den tillåtna gränsen i mitten av det uppmätta frekvensbandet.



Föreslå ett par åtgärder som kan tillämpas för att minska elektromagnetiska emissionen från apparaten

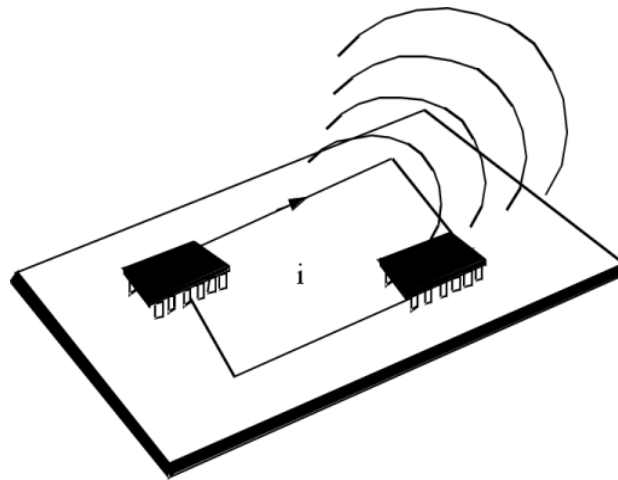
Lösningsförslag:

1. Förbättra skärmningen av apparaten.
 - a. Infoga metallfolie på insidan av plastchassi.
 - b. Minska glipor i skärmen av elektroniken.
2. Se över ledningsdragningen i elektronikkonstruktionen. Eliminera oönskade antenner.
3. Förbättra spänningsmatningen till kretsar genom att byta ut avkopplingskondensatorer mm.
4. Inför eller förbättra avstörningsfilter på anslutningskablar.
5. Bygg om från början med tanke på EMC!

15. Strålkällor (1p)

Mönsterdragningen på ett kretskort är dragen olyckligt så att en öppen strömslinga bildas. Den area som strömslingan bildar på kortet är $A = 40 \text{ cm}^2$. Strömmen i slingan är 100 mA vid frekvensen 100

MHz. Kortet saknar ledande jordplan. Vilken är den maximala elektriska fältsyrkan på avståndet 10 m från kortet?



Lösning:

Strömmen i slingan genererar ett magnetsiskt fält. Först kontrolleras om man befinner sig i när- eller fjärrfältet. $d_{\text{krit}} = \lambda/2\pi = c/2\pi f = 0,5 \text{ m}$, alltså befinner vi oss i fjärrfältet. Enligt formelsamlingen s. 307 är elektriska fältsyrkan i fjärrfältet

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

$$\leq \frac{132 \cdot 10^{-16} \cdot (10^8)^2 \cdot 40 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1}{10}$$

$$\Rightarrow E < 5,3 \text{ mV/m}$$

16. Kretskort (1p)

Man bör välja olika typer av jordning av elektronikkretsar beroende på de frekvenser som används i en kretslösning. Skriv in i tabellen vilken typ av jordning som är lämplig vid de olika frekvensintervallen!

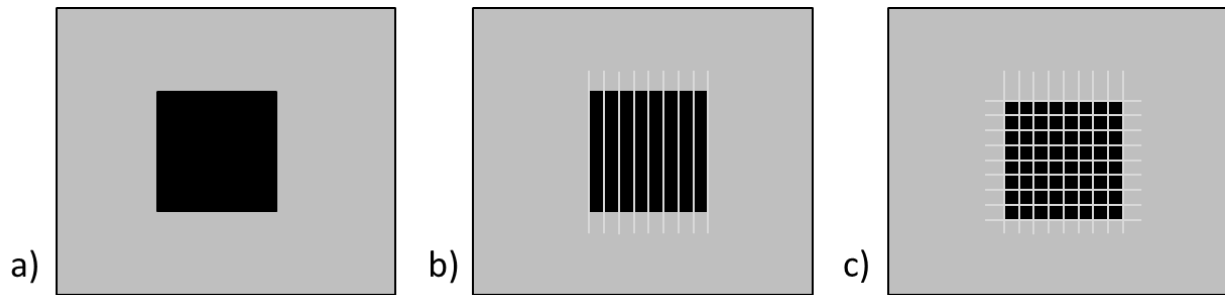
Lösning:

Frekvens f	Jordning
$f < 1 \text{ MHz}$	Hoppande jord
$1 < f < 10 \text{ MHz}$	Trädstruktur, stjärnjordning
$f > 10 \text{ MHz}$	Jordplan

17. Skärmning (2p)

En ventilationsöppning på en datorlåda av metall är $10 \times 10 \text{ cm}$ (Figur a). Vad blir skärmningseffektiviteten (SE) vid $f = 100 \text{ MHz}$? Vad blir SE om man delar upp öppningen med

metalltrådar i flera vertikala täta öppningar med storleken 1 x 10 cm enligt figur b? Vad blir SE om man i stället gör ett rutnät (Figur c) där varje ruta är 1 x 1 cm?



Lösning:

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

a) Beräkna skärmningseffektiviteten då $a = b = 10 \text{ cm}$. (s. 307)

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

$\Rightarrow SE = 23,5 \text{ dB}$

b) När öppningen delas upp i flera smala spalter med storleken 1 x 10 cm kan SE beräknas.

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

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

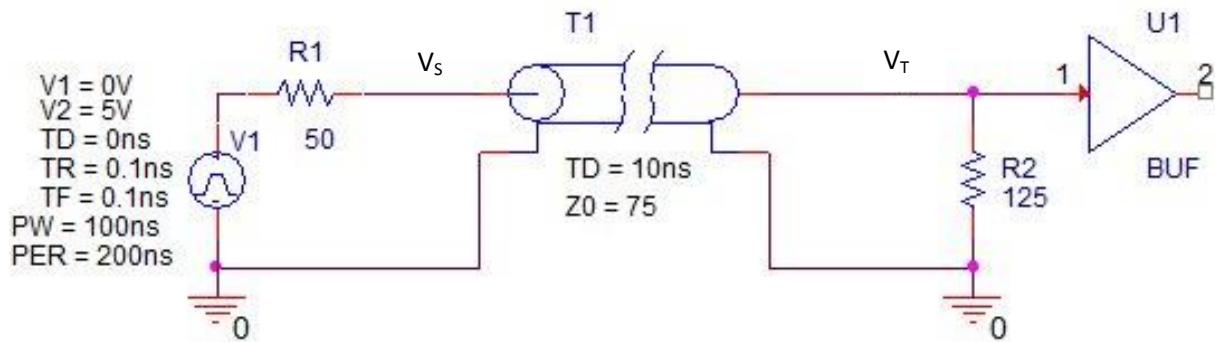
c) Med ett rutnät fås $a = b = 1 \text{ cm}$

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

$\Rightarrow SE = 40,5 \text{ dB}$

18. Reflektion (2p)

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 signalerna på ingången (V_S) och utgången (V_T) på transmissionsledningen efter 5 ns, 15 ns och 25 ns?



Lösning:

Beräkna först inspänningen när signalen når T1 första gången: $V_S = V_0 \times Z_0 / (R_1 + Z_0) = 3 \text{ V}$. Denna spänning V_S finns på ingången från $t=0$ till $t=2T_D$. **$V_S(5 \text{ ns}) = V_S(15 \text{ ns}) = 3 \text{ V}$** .

Reflektionskoefficienten $\rho_S = (R_1 - Z_0) / (R_1 + Z_0) = -0.2$

Reflektionskoefficienten $\rho_T = (R_2 - Z_0) / (R_2 + Z_0) = +0.25$

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

Efter första reflektionen reflekteras $V_{r1} = \rho_T V_S = 0.75 \text{ V}$

$V_{T1} = V_S + V_{r1} = 3 \text{ V} + 0.75 \text{ V} = 3.75 \text{ V}$

Från $t = T_D$ till $t = 3T_D$ är $V_T = 3.75 \text{ V}$. Alltså är **$V_T(15 \text{ ns}) = V_T(25 \text{ ns}) = 3.75 \text{ V}$** .

Efter andra reflektionen ($2T_D < t < 4T_D$) reflekteras $V_{r2} = \rho_S V_{r1} = -0.2 \times 0.75 \text{ V} = -0.15 \text{ V}$.

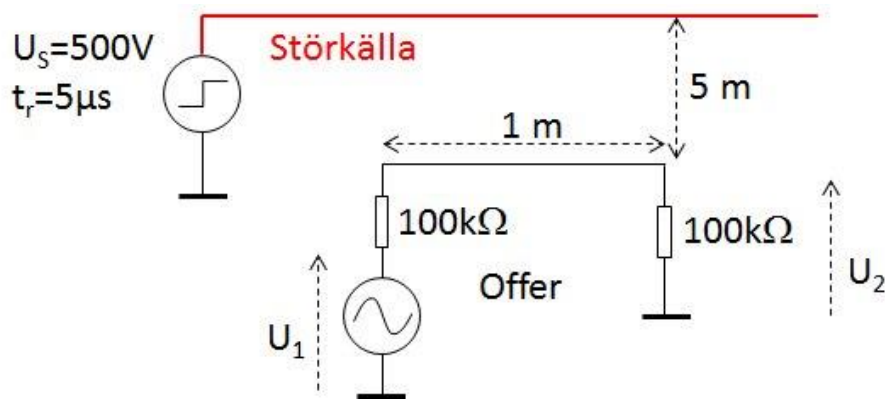
Från $t = 2T_D$ till $t = 4T_D$ är $V_S = V_{T1} + V_{r2} = 3.75 - 0.15 \text{ V} = 3.6 \text{ V}$. **$V_S(25 \text{ ns}) = 3.6 \text{ V}$**

t (ns)	V_S (V)	V_T (V)
5	3	0
15	3	3,75
25	3,6	3,75

19. Överhörning (2p)

En kraftledning ligger på 5 m avstånd från ett störningsupptagande offer. En transient på kraftledningen med diametern 2 mm har amplituden 500 V och stigtiden 5 μs .

Offret har en 1 m lång oskärmad ledning av 2 mm tjock koppartråd som drivs av en signalkälla med impedansen 100 k Ω . Ledningen termineras med 100 k Ω last. Hur stor blir störningsspänningen U_2 ?



Lösning:

Först kollar man om offret ligger i när- eller fjärrfältet från störkällan. För störningen gäller att gränsfrekvensen $f_b = 1/\pi t_r = 64 \text{ kHz}$. Detta ger våglängden $\lambda = c/f_b = 4.7 \text{ km}$. Kritiska avståndet blir då $d_{\text{krit}} = \lambda/2\pi = 750 \text{ m}$ och man kan anta att offret ligger i närfältet av störkällan. Då gäller att störningen överförs kapacitivt eller induktivt. I beskrivningen saknas uppgift om strömstyrka i störkällan mm så vi får anta kapacitiv störningsväg.

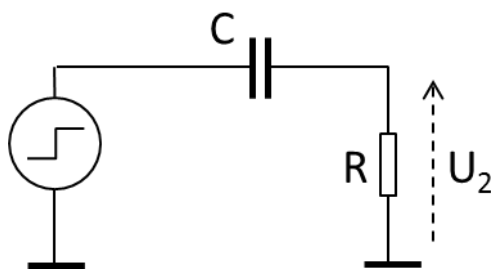
Formelsamlingen sid 303 ger att kapacitansen mellan ledarna när $a \ll d$ är

$$C \approx \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)}$$

$\epsilon_r = 1$ (luft), $l = 1 \text{ m}$, $d = 5 \text{ m}$, $a = 1 \text{ mm} \Rightarrow C = 3,27 \text{ pF}$

$R = 100 \text{ k}\Omega$ parallellt med $100 \text{ k}\Omega = 50 \text{ k}\Omega$

Om man ritat ekvivalent schema (approximation) för situationen fås följande:



För en flank gäller (formelsamling sid 303) att

$$i = C \frac{du}{dt}$$

Och $U_2 = R \times i$ vilket ger att

$$U_2 = RC \frac{du}{dt} = 50 \times 10^3 \times 3,27 \times 10^{-12} \frac{500}{5 \times 10^{-6}} = 16,3 \text{ V}$$

20. Skärmning (3p)

Vad är den totala skärmningseffektiviteten för en plastlåda vars yta är förkromad med ett 10 µm tunt krom-skikt? Lådan befinner sig i luft och störfrekvensen är 50 MHz.

Lösning:

Denna generella formel som approximerar SE är tagen ur annan litteratur:

$$SE = 20\log \frac{Z_0}{4Z_S} + 20\log e^{t/\delta} + 20\log \left| 1 - e^{-\frac{2t}{\delta}} \right|$$

Lösning med hjälp av formelsamlingen: Skärmningseffektiviteten $SE = R + A + B$

Beräkna först reflektionsdämpningen (s. 307)

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

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

Vågimpedansen Z_S för krom vid 50 MHz 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 $\sigma_r = 0,66$ för krom och $\sigma_0 = 5.82 \times 10^7 [1/\Omega\text{m}]$.

$$\Rightarrow \sigma = \sigma_r\sigma_0 = 38,4 \times 10^6 [1/\Omega\text{m}]$$

Termen $\omega\epsilon_r\epsilon_0 = 2\pi f \times 1 \times 8.854 \times 10^{-12} [\text{F/m}] = 556 \times 10^{-6} [\text{F/sm}]$

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

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

$$\Rightarrow Z_S = 3,21 \times 10^{-3} \Omega$$

$$\Rightarrow \text{Reflektionsdämpningen } E_1/E_0 \approx 4 Z_S / Z_0 = 34 \times 10^{-6}$$

$$R = 20\log(E_0/E_1) = 20\log(1/(34 \times 10^{-6})) = \mathbf{89,4 \text{ dB}}$$

Beräkna sedan absorptionsdämpningen $E_1/E_0 = e^{-t/\delta}$ (s. 307)

Inträngningsdjupet δ i krom

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

$$\Rightarrow \delta(50 \text{ MHz}) = 11.5 \mu\text{m}$$

$$\text{Kromskiktets tjocklek } t = 10 \mu\text{m} \Rightarrow E_1/E_0 = e^{-t/\delta} = 0,419$$

$$\mathbf{A} = 20\log(E_0/E_1) = 20\log(1/0,419) = \mathbf{7,6 \text{ dB}}$$

Multipla reflektioner B måste beaktas eftersom $A < 10 \text{ dB}$ (regel på sid108).

$$\text{Multipel reflektion } E_1/E_0 = 1 - e^{-2t/\delta} = 0,824 \quad (\text{s. 307})$$

$$\Rightarrow \mathbf{B} = 20\log(E_1/E_0) = 20\log(0,852) = \mathbf{-1,7 \text{ dB}}$$
 (B är alltid negativt)

$$\Rightarrow \text{Totala skärmningseffektiviteten } \mathbf{SE = R + A + B = 89,4 + 7,6 - 1,7 \text{ [dB]} = \underline{\underline{95,3 \text{ dB}}}}$$