



KTH Teknik och hälsa

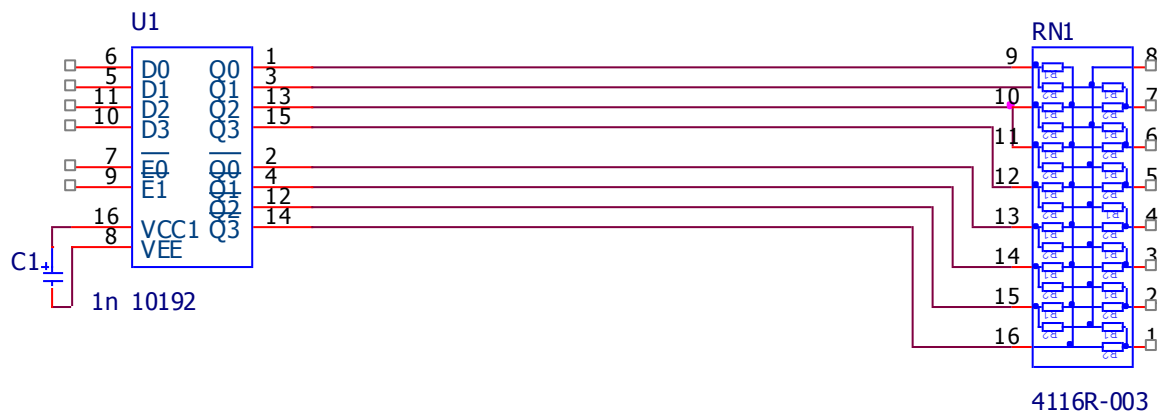
LÖSNINGSFÖRSLAG TILL TENTAMEN

Kurs:	EMC elektronik
Kursnummer:	HE1025
Moment:	RED1:4,5hp
Program:	MT
Åk:	3
Examinator:	Thomas Ryman
Rättande lärare:	Piotr Kolodziejski
Datum:	120312
Tid:	08.00 – 12.00 Flemingsberg
Hjälpmedel:	Räknedosa, formelsamling i tentamen och egen formelsamling på ett A4 ark.
Omfattning och betygsgränser:	Tentamen består av 30 frågor som kan ge maximalt 30 poäng. Svaren ges på tentamens blad och lämnas in till vakten. För att få godkänt betyg E fordras preliminärt 16 poäng, och respektive D – 19, C – 22, B – 25, A – 28. För att kunna komplettera krävs 14 poäng.
Övrig information:	Resultat annonseras i Bilda.

Observera! Svara på frågor genom att skriva in svaren i respektive ruta under frågan. När du är nöjd med svaren lämna hela tentamen till vakten.

1.

På bilden visas ett fragment av kretskort med kopplingen mellan drivare U1 och lasten RN1.



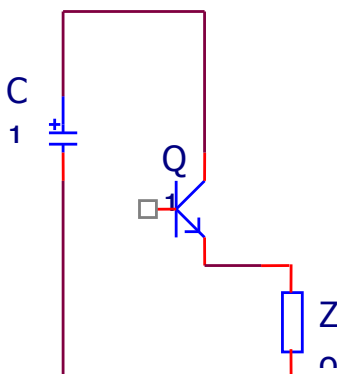
Figur 2-1 Bulkcondensator

Beräkna värde av en avkopplingskondensator C_1 . Strömstyrka som behövs för omslaget av alla 8 st. utgångar samtidigt beräknas till $i_c = 400 \text{ mA}$ och tillåtna variationer i matningsspänningen ($V_{CC} = 3,3 \text{ Volt}$) är $\Delta V_{CC(\text{Max})} = 0,01 \text{ Volt}$. Omslaget sker på 10 nanosekunder.

$C_1 = \dots\dots\dots [\text{F}]$

Lösningförslag:

Man ritat först ett ekvivalentschema:



Figur 2-2 Ekvivalentschema

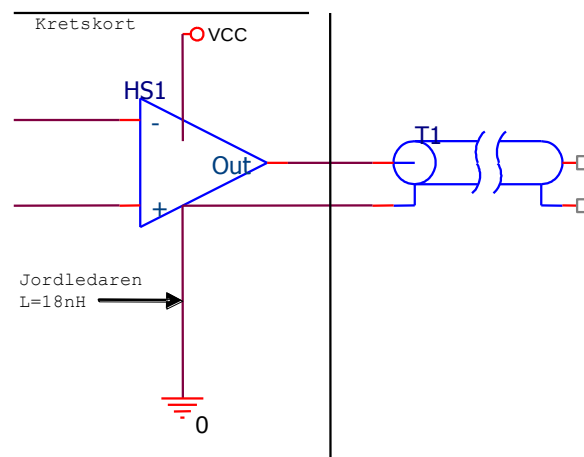
Då strömstyrka i kretsen är: $I_C=0,4$ A.

Detta gör att kondensator måste vara minst på:

$$i_C = C \frac{du}{dt} \Rightarrow C = i_C \frac{\Delta t}{\Delta u} = 0,4 \times \frac{10 \times 10^{-9}}{0,01} = 400 \times 10^{-9} = 0,4 [\mu F]$$

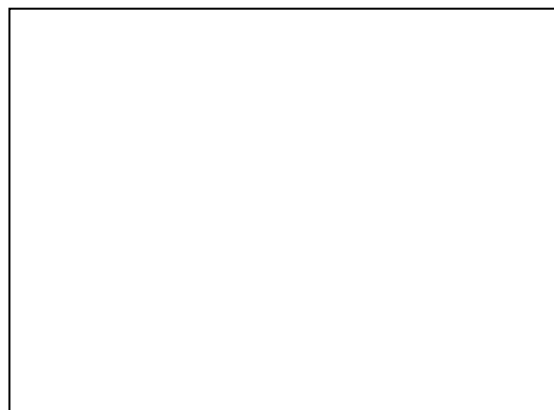
2.

En buffert driver en coaxial - kabel med karakteristiska impedansen $Z_0=75\Omega$. Rita ett ekvivalent-schema för en ström som går från strömkälla (Vcc), genom transmissionslinje T1 till jordningspunkten av bufferten (0). Försumma alla induktanser som strömmen passerar förutom induktansen i jordledare (markerat i bilden med en pil).



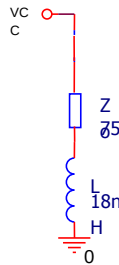
Figur 2-1 Omslag i drivare

Ekvivalentschema:



Lösningsförslag:

Ekvivalent schema blir:



Figur 2-2 Ekvivalentschema

3.

Hur stor är skärmabsorption A om skärmens tjocklek är lika med inträngnings djup?

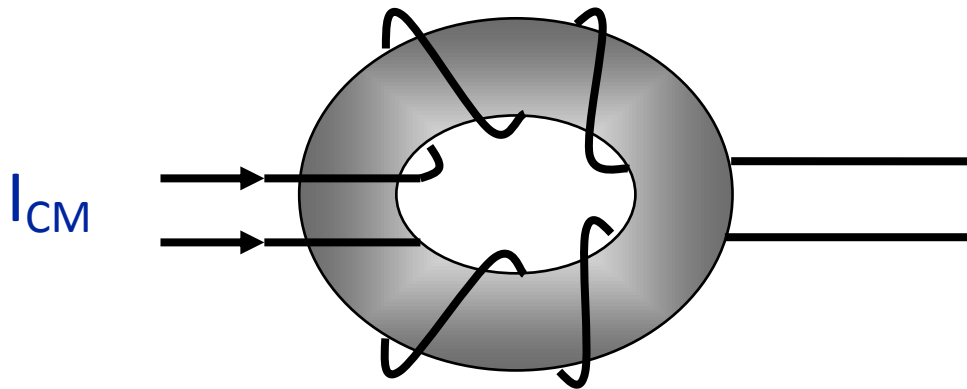
A=..... dB

Lösningsförslag:

Absorptionen är $A_{dB} = 8,69 \frac{T}{\delta} = 8,69 \frac{1}{B}$.

4.

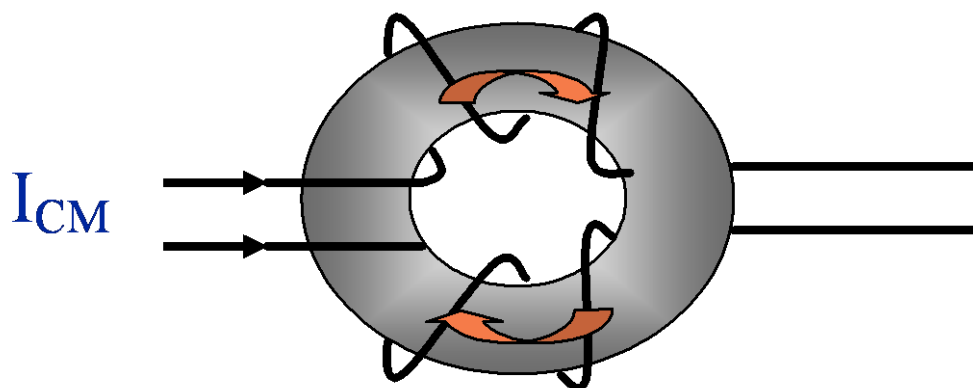
På bilden visas en s.k. balun eller CM choke. Hur fungerar den för längsströmmar I_{CM} (dvs. när båda strömmar går åt samma håll), markera tydligt med två pilar på bilden hur riktas magnetiskfält flöde inuti ferromagnetisk ring (grå fältet). Rita en pil för den övre delen av ringen och en pil för den nedre delen:



Figur 4-1 Balun

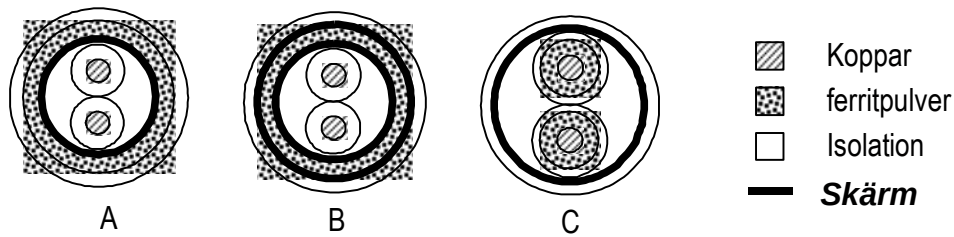
Lösningförslag:

De två magnetiskfält flöde som uppstår i ringen samverkar med varandra och inducerar emk som motverkar längsströmmar så att de tar ut strömmarna helt och hållet och ingen common mode ström når mottagare.



5.

Bilden nedan visar tre typer av kabel där ferritpulver används i stördämpande syfte. Vilket annan störningsdämpande komponent (Obs! inte annan kabel) fungerar på samma sätt som kabel A?



Figur 5-1 Kablar med ferritpulver

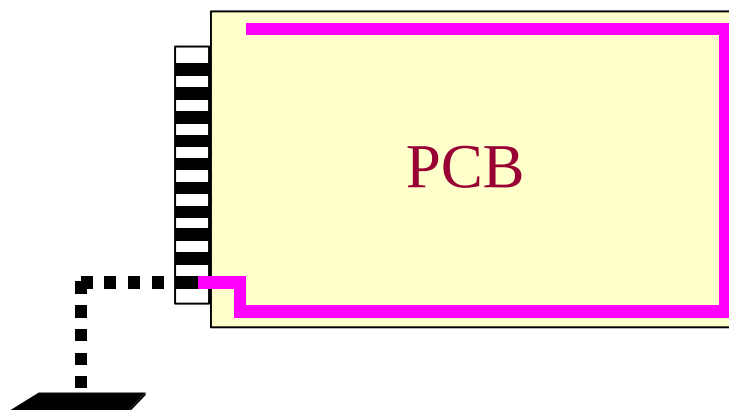
Det är..... som fungerar på samma sätt som kabel A

Lösningsförslag:

Kabel A är en så kallad CMS - kabel där CMS står för "common mode suppression" och kabeln utgör en Balun för att ferritmaterialet omsluter den gemensamma skärmen. Kabel C fungerar som ett lågpass - filter tack vare ferritmaterialet inuti den gemensamma skärmen, den kallas också LP- kabel. Medan kabel B kallas för LTI som står för "low transfer impedance".

6.

Den ledning som löper runt hela kortet (den enda som är ritad på bilden nedan) och är kopplad till "jordpunkten" skall leda bort statisk elektricitet vid beröring av kortet med handen. Hur stor resistans borde kopplas in mellan ledningen och jordningspunkten för att skyddet fungerar bra? Ange storleksordning.



Figur 6-1 Jordning av kretskort

$$R \sim \dots \dots \dots [\Omega]$$

Lösningförslag:

$$R \sim 1 \text{ M}\Omega$$

7.

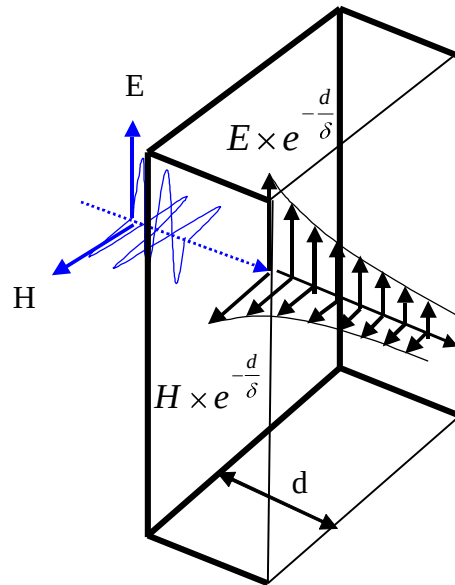
Ett audiosystem har en lång kabel mellan mikrofon och ingången av förstärkare med förstärkningen $A_V=10^2$ i aktuellt frekvensområde. Nyttig signal på ingången av förstärkare är 10 mV, medan "common mode" störning $U_{IN(CM)}=2\text{V}$. Förstärkaren har CMRR=80 dB. Hur stor är förhållande mellan nyttig signal och störning (S/N) på utgången av förstärkare?

Lösningförslag:

Signalen förstärks av förstärkaren enligt $U_{UT} = U_{IN} \times A_V = 100 \times 10 \times 10^{-3} = 1$ medan störning dämpas med 80 dB dvs. 10 000 ggr. Då $U_{UT(N)} = \frac{U_{IN(N)}}{10^4} = \frac{2}{1 \times 10^4} = 2 \times 10^{-4} = 0,2 \text{ mV}$. Förhållande mellan signalen och störning är $S / N_{dB} = 20 \log \frac{1}{2 \times 10^{-4}} = 74 \text{ [dB]}$.

8.

Kopparskärmens tjocklek d är lika med 2mm. Hur stor är skärmens absorption A uttryckt i decibel om den inkommande elektromagnetiska vågen har frekvens 1 MHz?



Figur 8-1 Utbredning av EM - energi i en ledande material



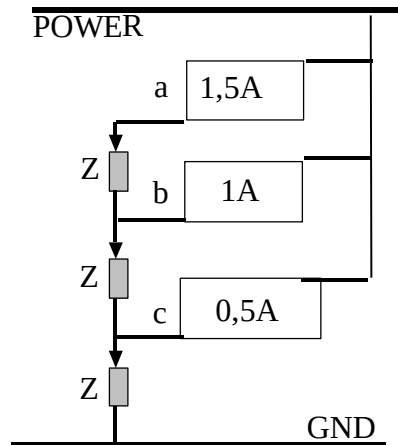
Lösningsförslag:

$$\text{Inträngningsdjupet är } \delta = \frac{66 \times 10^{-3}}{\sqrt{\sigma_{cu} f}} = \frac{66 \times 10^{-3}}{\sqrt{1 \times 10^6}} = 66 \times 10^{-6} \text{ då}$$

$$A_{dB} = -20 \log e^{\frac{d}{\delta}} = 20 \log e^{\frac{2 \times 10^{-3}}{66 \times 10^{-6}}} = 263 [dB].$$

9.

Tre st. kretskort (a, b och c) är placerade i en apparat som på bilden. Kort a drar 1,5A ström från POWER, kort b drar 1A och kort c drar 0,5A. Hur stor är störning i referensnivå för kort a? Hur stor blir störning i referensnivå för kort a om kort a byter plats med kort c? Alla impedansen är lika $Z=2\Omega$.



Figur 9-1 Jordning i flerkortapparat

Placering 1: kort a referenspotentialVolt;

Placering 2: kort a referenspotential Volt;

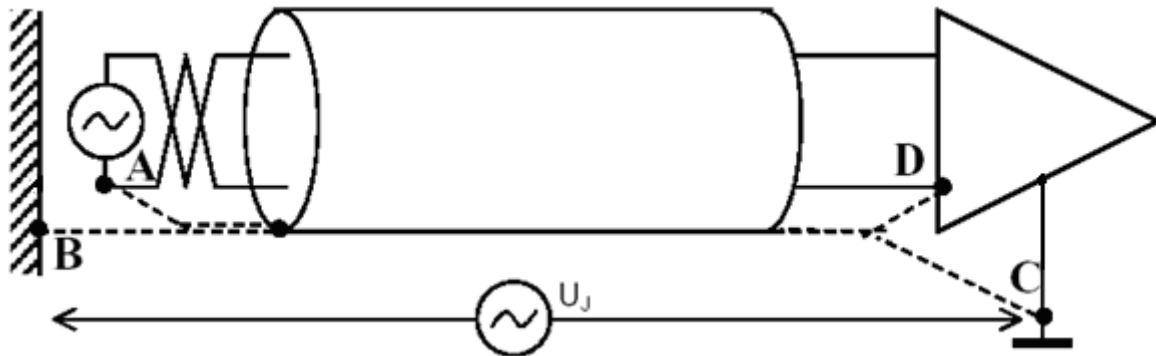
Lösningförslag:

Placering 1: kort a referenspotential ... 14Volt;

Placering 2: kort a referenspotential ... 6Volt;

10.

Hur jordar man kabelskärmen nedan bäst, om kabeln är elektriskt kort dvs. signalfrekvensen är låg för kabeln? Streckade linjer visar några av möjliga jordningar (betecknade A, B, C och D). Dessutom har vi följande möjligheter att välja: "jorda i så många punkter som möjligt" eller "jorda inte alls kabelskärmen".



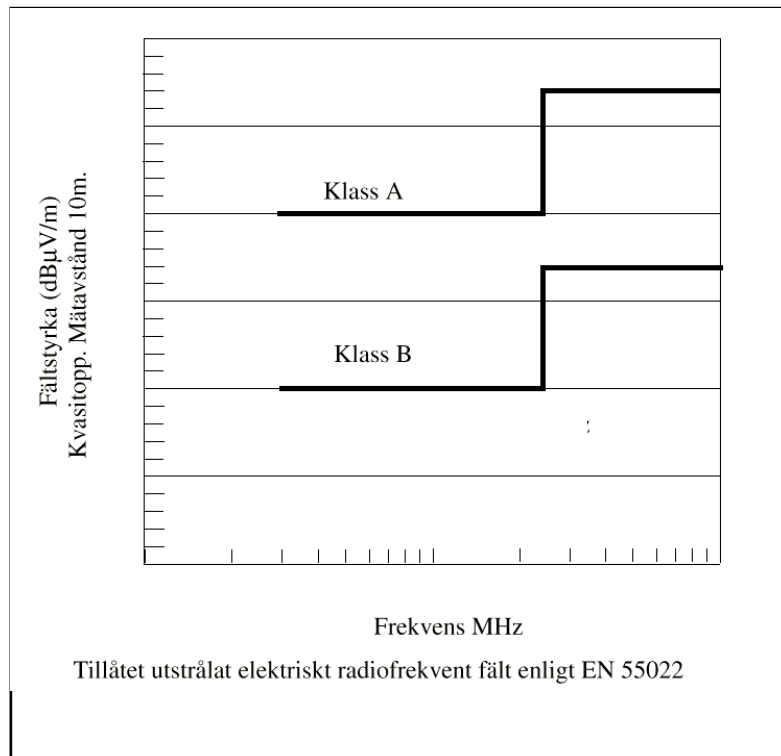
Figur 10-1 Jordning av kabelskärm.

Lösningförslag:

Kabel är elektriskt kort då frekvensen är låg för kabeln, mottagare är jordad då jordar man bäst i punkt D för att leda eventuella skärmströmmar till jordningspunkter utan att bilda strömslingor.

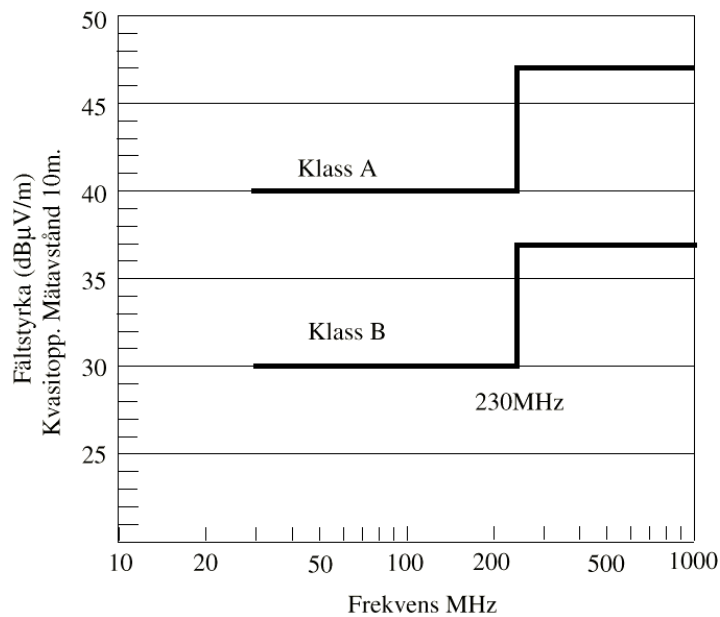
11.

Gränsvärdet för normen EN 55022 är angiven i bilen nedan för klass A och för klass B. I båda fallen gränsvärde ökar med 7dB μ V/m vid en viss frekvens. Ange den frekvensen i MHz



Gränsvärdet höjs vid $f = \dots\dots\dots$ MHz

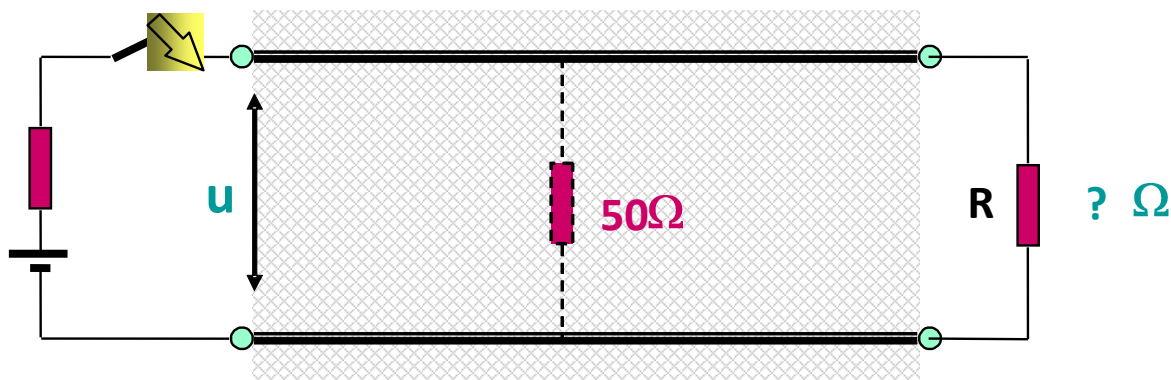
Lösningförslag:



Tillåtet utstrålat elektriskt radiofrekvent fält enligt EN 55022

12.

Hur stor måste lasten R vara för att undvika reflektioner i bilden nedan?



Figur 12-1 Transmissionslinje

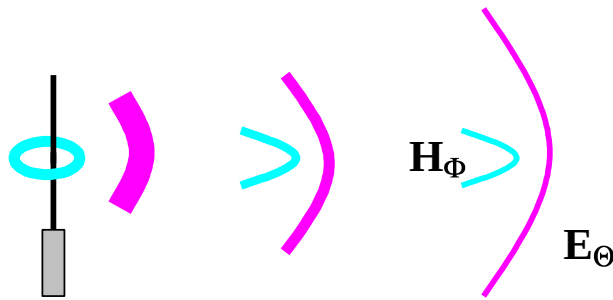
R=

Lösningförslag:

Impedansen av lasten R skall vara lika med den karakteristiska impedansen av linje så $R = 50\Omega$

13.

Man använder sig av en dubbelband mobil (dvs. telefonen sänder antingen på 900 MHz eller 1800 MHz). Vilken av de två frekvenser som används om närfältet slutar på 5,3 cm avstånd från antennen?



Figur 13-1

Figur 13-2 Dipolantenn

f=

Lösningsförslag:

Våglängden är $\lambda_o = \frac{300}{1800} = 0,1666\dots \text{ m}$ och $d_{krit} = \frac{\lambda_o}{2\pi} = \frac{0,17}{6,28} \cong 26 \times 10^{-3} [\text{m}]$ för den ena bandet
 och $\lambda_o = \frac{300}{900} = 0,3333\dots \text{ m}$ $d_{krit} = \frac{\lambda_o}{2\pi} = \frac{0,33}{6,28} \cong 53 \times 10^{-3} [\text{m}]$ i det andra fallet. Det är då 900 MHz som används.

14.

En konstruktör använder klockpuls med 50 MHz frekvens. Stig- och falltid av klockpulsen är 0,1 av klockpulsens period var. Duty cycle är 0,5. Hur stor är den frekvens där asymptotlinje av klockpulsens frekvensspektrum övergår från – 1 lutning till – 2 lutning? (det mesta av klockpulsens energi finns under den frekvensen)

f₀=

Lösningsförslag:

För en fyrkant - våg med "duty cycle" 50 % och samma stigtid som falltid det mesta av signalenergi bärs av övertoner som har frekvensen mindre än brytfrekvensen för övergång från – 1 asymptot till –

2 asymptot dvs. $f_o = \frac{1}{\pi\tau}$ där τ är stig- och falltiden för signalen. Vid frekvensen 50 MHz är pulsens

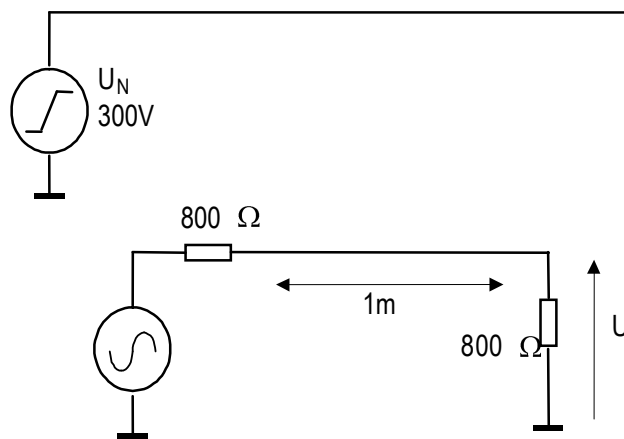
period $T = \frac{1}{f_o} = \frac{1}{50 \times 10^6} = 20 \times 10^{-9}$ och 0,1 av detta ger $\tau = t_r = 2 [\text{ns}]$. Med insatta värden ger

detta $f_o = \frac{1}{3,14 \times 2 \times 10^{-9}} = 159 \times 10^6 \cong 159 [\text{MHz}]$

Eller om man tar $f_b = \frac{0,35}{\tau}$, då $f_b = \frac{0,35}{2 \times 10^{-9}} = 175 \times 10^6 = 175 [MHz]$ Så alla svar att frekvensen ligger mellan 160 och 175 MHz godkänns.

15.

En 50 m lång koaxialkabel som förbinder två ljudutrustningar har en läckagekapacitans av 2 pF/m. Den är avslutad med 800 Ω i båda ändar. Koaxialkabeln ligger under större delen av sin längd i en kabelränna som är full med 230 V 50 Hz nätkablar. Rita ett ekvivalentschema för störningssituation.

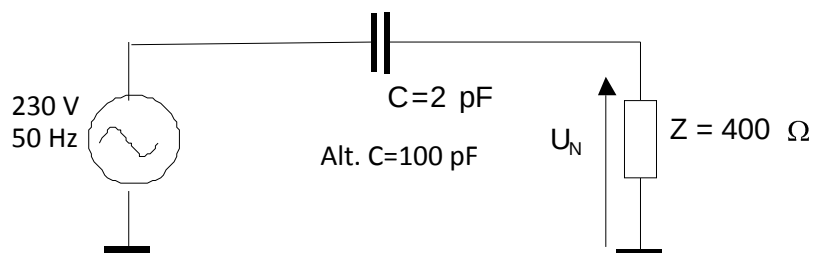


Figur 15-1 Överhörning

Ekvivalentschema:



Lösningförslag:



Figur 15-2 Ekvivalentschema

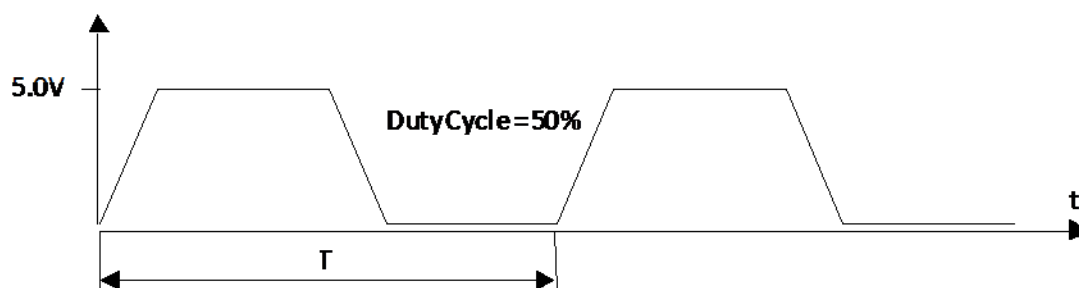
16.

Du har två signaler med utseende som i bilden men olika övriga parametrar.

Den ena har frekvensen **f=10 [MHz]** och stig- och falltiden är **10 %** av periodtiden T .

Den andra har frekvensen **f=1 [MHz]** och stig- och falltiden är **0,1 %** av periodtiden T.

Vilken av de två signaler behöver **större bandbredd** och hur stor den måste vara för att signalen passerar systemet utan större förvrängning?



Figur 16-1 Pulsens stigtid

Det är signalen med frekvens $f = \dots\dots\dots$

som behöver större bandbredd, nämligen ett bandbredd upp

till $f_b = \dots\dots\dots$ minst.

Lösningförslag:

För $f=10$ [MHz] har vi att: $f = \frac{1}{T}$ då $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \times 10^6} = 0,1 \times 10^{-6} = 100 \text{ ns}$ där 10 % ger oss

$t_r=10$ [ns] och $f_b = \frac{0,35}{t_r} = \frac{0,35}{10 \times 10^{-9}} = 3,5 \times 10^7 = 35$ [MHz] eller med den andra formel

$$f_b = \frac{1}{\pi t_r} = \frac{1}{3,14 \times 10 \times 10^{-9}} \cong 31,8 \times 10^6$$
 [Hz].

För $f=1$ [MHz] har vi att: $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1 \times 10^6} = 1 \times 10^{-6} = 1000$ [ns] där 0,1 % ger oss $t_r=1$ [ns] och

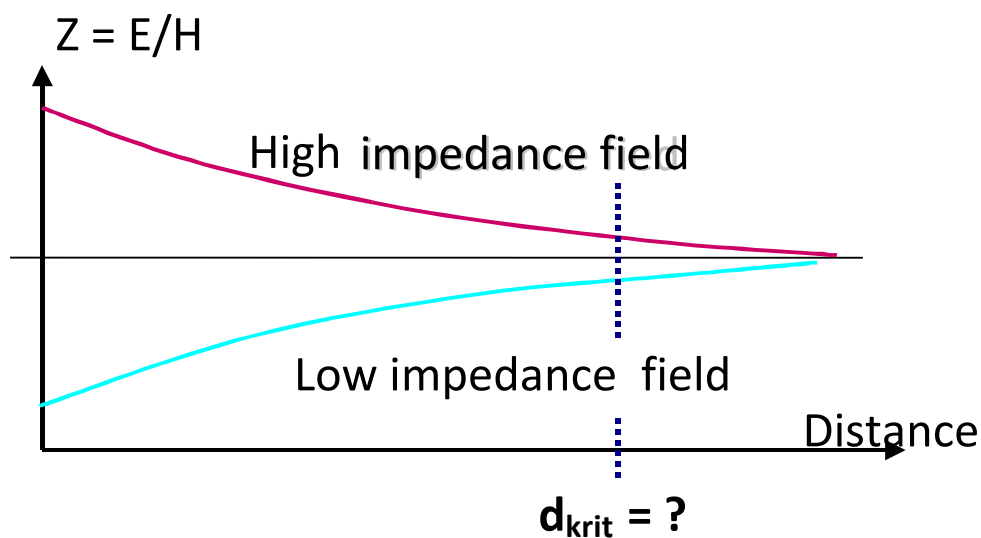
$$f_b = \frac{0,35}{t_r} = \frac{0,35}{1 \times 10^{-9}} = 350 \times 10^6 = 350$$
 [MHz] eller $f_b = \frac{1}{\pi t_r} = \frac{1}{3,14 \times 1 \times 10^{-9}} \cong 318 \times 10^6$ [Hz]

enligt det andra formeln.

Svaret: Det är signalen med $f=1$ [MHz] som behöver större bandbredd, nämligen $f_b=318$ [MHz] minst.

17.

Hur stor är avståndet från strålningskälla markerad med en vertikal prickad linje i mitten av grafen nedan?



Figur 17-1 Vakuumimpedans i fjärfältet

$d_{krit} = \dots\dots\dots$

Lösningsförslag:

$$d_{krit} = \frac{\lambda}{2\pi}$$

18.

Vad är absorptions effektivitet (A_{dB}) för en 0.15 mm tjock aluminiumplåt ($\sigma_r = 0.61$) vid frekvensen 30 MHz i fjärrfältet?

$$A_{dB} = \dots\dots\dots [dB]$$

Lösningsförslag:

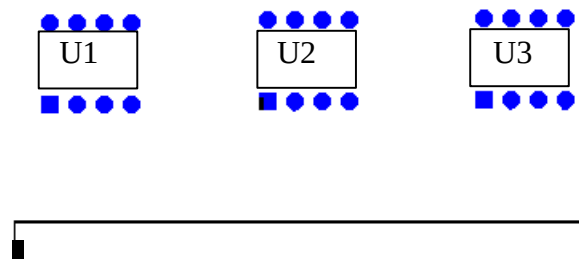
Absorptionsdämpningen är $A = 8,69 \frac{T}{\delta}$ Där T är tjockleken $T = 0,15 \times 10^{-3} [m]$, är inträngningsdjupet

$$\delta = \frac{66 \times 10^{-3}}{\sqrt{\sigma_r \times f}} = \frac{66 \times 10^{-3}}{\sqrt{0,61 \times 30 \times 10^6}} = 15,43 \times 10^{-6} \cong 15 [\mu m] \text{ och då}$$

$$A = 8,69 \frac{0,15 \times 10^{-3}}{15 \times 10^{-6}} = 86,9 [dB]$$

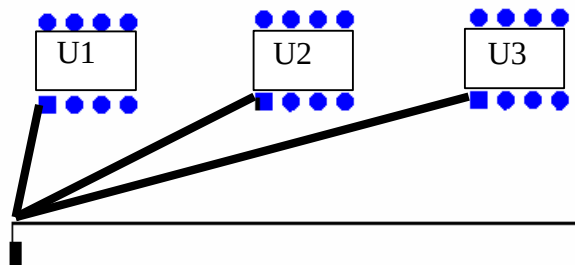
19.

Jorda (rita in jordledningar) nedanstående förstärkare (U1, U2, U3) på bästa sätt från EMC synvinkel. Det är de fyrkantiga "padsen" som skall jordas. Kretskortet är jordad i vänstra nedre hörn. Linjen under fotavtrycken av förstärkare är en jordledning som löper längs hela mönsterkortet. Frekvenser som förekommer är låga relativt kortet storlek.



Figur 19-1 Jordning på kretskortet

Lösningförslag:



Figur 19-2 Jordning vid högfrekvenser

Eftersom frekvenserna är låga då jordar vi i trädstruktur.

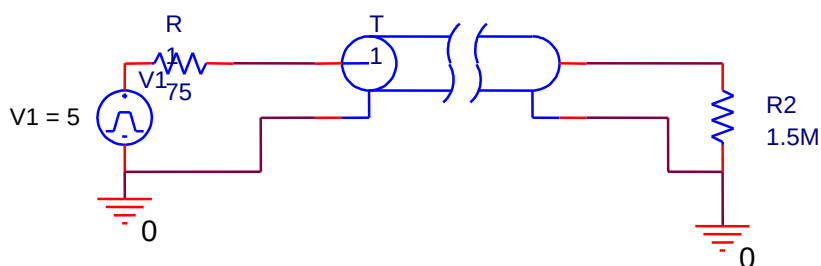
20.

Vid ett laborationstillfälle kopplas det direkt signalgenerators utgång (med en impedans av $R_{out}=75\ \Omega$) med oscilloskopens ingång som har ingångsimpedansen $1,5\ M\Omega$. Kopplingen görs med en koaxialkabel som har vågimpedans $Z_0=75\ \Omega$. Pulsen som matas från generator till oscilloskop har amplituden 5 Volt.

Vad är topp värde av spänning på oscilloskopens skärm?

$U_{t-t} = \dots\dots\dots [V]$

Lösningförslag:



Figur 20-1 Ekvivalentschema

Pulsen som matas in i kabel är $V_0 = V_1 \times \frac{Z_0}{Z_0 + R_1} = 5 \times \frac{75}{75 + 75} = 2,5\ V$

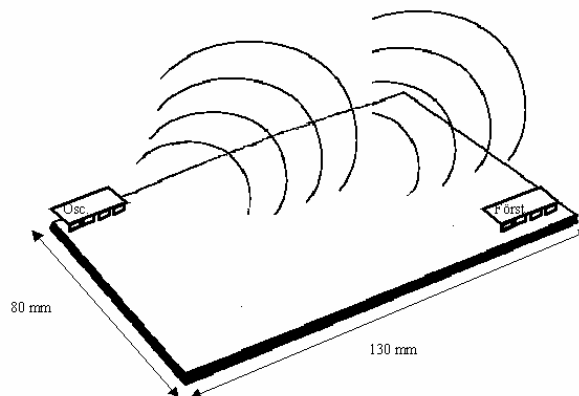
Reflektionsfaktor blir $\rho_T = \frac{1,5 \times 10^6 - 50}{1,5 \times 10^6 + 50} \cong 1$

Vid reflektionen på ingången till oscilloskopet blir reflekterade spänning $V_{r1} = V_0 \times \rho_T = 2,5 \times 1 = 2,5$

Sammanlagt $U_{t-t} = V_0 + V_{r1} = 2,5 + 2,5 = 5 [V]$

21.

På ett kretskort med dimensioner 130X80 mm, har man monterat (i en hörna av kretskortet) en oscil-lator. I den andra hörnan (på diagonalen) har man monterat en förstärkare. För vilken frekvens ligger förstärkare på gränsen av närfältet från oscillatoren?



Figur 21-1 Störningar på kretskort

$f_g = \dots \dots \dots [MHz]$

Lösningsförslag:

$$d = \sqrt{80^2 + 130^2} \cong 153$$

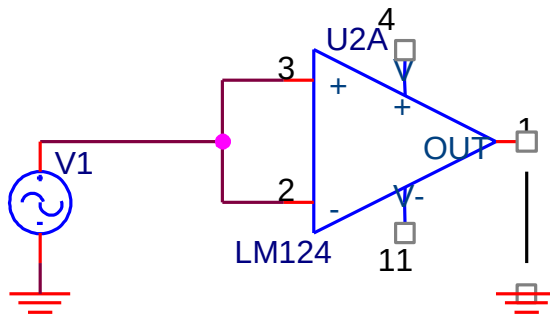
$d_{krit} = 153 \text{ mm}$. Fjärfältet börjar på $d_{krit} = \frac{\lambda}{2\pi}$

$$\text{så } \lambda = d_{krit} \times 2\pi = 153 \times 10^{-3} \times 6,28 = 958,6 \times 10^{-3}$$

$$f_g = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{0,959} \cong 310 [MHz]$$

22.

I kopplingen nedan är förstärkarens förstärkning $A_V=200$ ggr, och $V_1=2,5V$. Man mäter på utgången $V_{OUT}= 5$ mV. Hur stor är CMRR?



Figur 22-1 CMRR

CMRR=.....[dB]

Lösningsförslag:

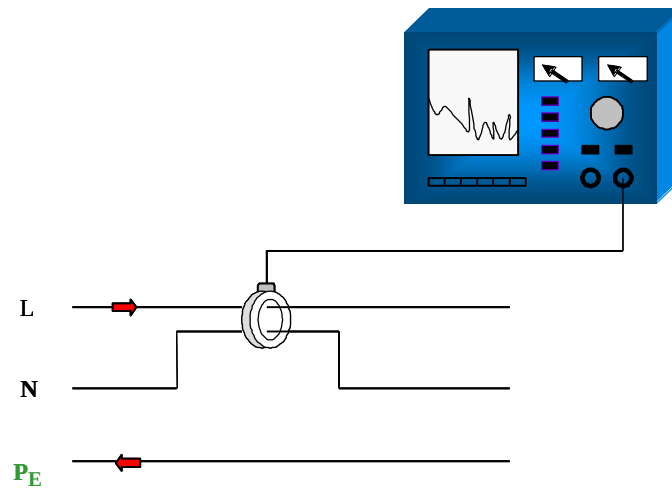
Utspanningen är 5 mili Volt vid förstärkningen 200 ggr så förstärkaren mäter en obalans mellan in-

gångarna till $U_{DM} = \frac{5 \times 10^{-3}}{200} = 2,5 \times 10^{-5}$ Samtidigt $V_1=2,5$ Volt. Så

$$CMRR = \frac{U_{CM}}{U_{DM}} = \frac{2,5}{2,5 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^5 \text{ [ggr]}. \text{ Alltså } CMRR=100 \text{ dB}$$

23.

Bilden nedan föreställer en balun (balanced to unbalanced) som används för att mäta ström i en vanlig (två ledare) nät kabel. Tråd L leder 10 A i riktningen mot mätningpunkten. Hur stor ström styrka visar mätaren om returströmmen går i tråd P (noll ledare)?



Figur 23-1 Tång - amperemätare

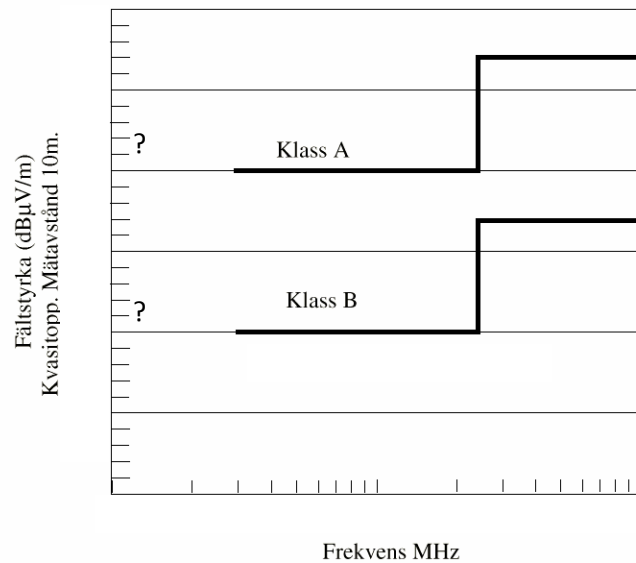
I=.....[A]

Lösningförslag:

I=10 [A] om hela returströmmen går genom P_E ledare.

24.

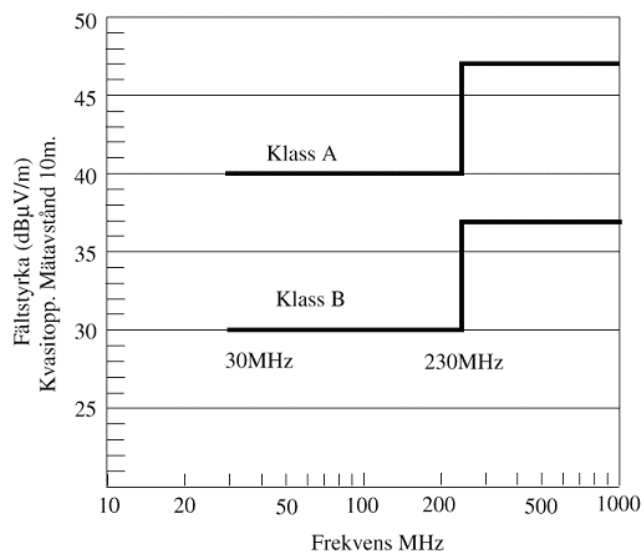
Bilden nedan visar tillåtet utstrålat fält enligt EN 55022. Siffror i fältstyrkans skala är borttagna. Komplettera siffrorna så att det framgår tydligt vilken nivå är tillåten för klass A respektive klass B.



Tillåtet utstrålat elektriskt radiofrekvent fält enligt EN 55022

Figur 24-1 N55022

Lösningförslag:

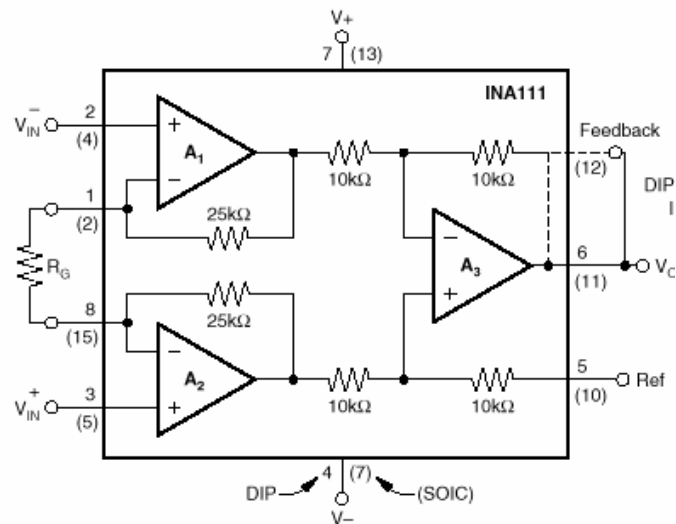


Tillåtet utstrålat elektriskt radiofrekvent fält enligt EN 55022

Figur 24-2 Frekvenser för N55022

25.

Den väl bekanta linjemottagare INA111 har justerbar förstärkning. Hur stor blir förstärkning om $R_G=10\text{ k}\Omega$?



Figur 25-1 Labbförstärkare

$$A_v = \dots\dots\dots [\text{ggr}]$$

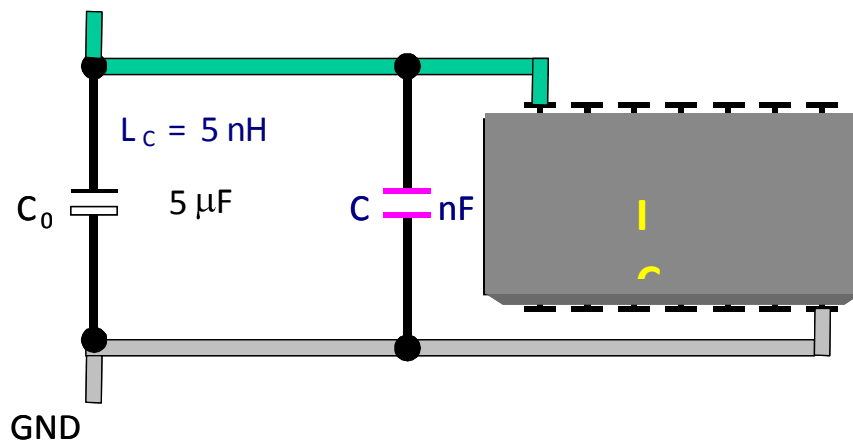
Lösningsförslag:

Förstärkning i en ickeinverterande förstärkare är: $A_v = 1 + \frac{R_F}{R_{IN}}$ Insatta värden ger:

$$A_v = 1 + \frac{50 \times 10^3}{R_G} = 1 + 5 = 6 \text{ [ggr]}$$

26.

Bilden visar en typisk avkoppling för en IC-krets. För högre frekvenser av störningar behövs det en mindre kondensator till för att induktansen ESL (på bilden betecknad L_c) ökar impedansen av kondensator C_0 med ökande frekvens. Anta att den frekvens för vilken reaktans av induktansen i kondensator är lika med reaktans av kapacitansen i kondensator utgör en gränshfrekvens. Vad är det för frekvens?



Figur 26-1 Avkopplingskondensator

$$f_g = \dots\dots\dots [\text{Hz}]$$

Lösningsförslag:

$X_L = \omega L$ medan $X_C = \frac{1}{\omega C}$, när de är lika förekommer att $\omega L = \frac{1}{\omega C}$. Detta leder till att:

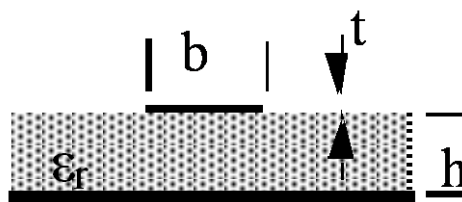
$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \text{ och att: } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ och att } f_g = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6,28 \times \sqrt{5 \times 10^{-9} \times 5 \times 10^{-6}}} = 1,01 \times 10^6 [\text{Hz}]$$

alltså ca 1 [MHz].

27.

Bilden föreställer ett tvärsnitt över en kretskort. Signalströmmen går i en ledningsbana med bredden $b=24$ mils (1 tum = 2,54 cm). Returströmmen går i en jordplan på andra sidan av kortet. Kortet är en FR4 dvs. $\epsilon_r=4,5$. Koppars tjockleken är $t=17 \mu\text{m}$ och isolering mellan signallager och jordplan är $h=0,4$ mm.

Microstrip



Figur 27-1 Microstrip

Hur stor är den karaktäristiska impedansen i ledaren för signalströmmen?

Lösningsförslag:

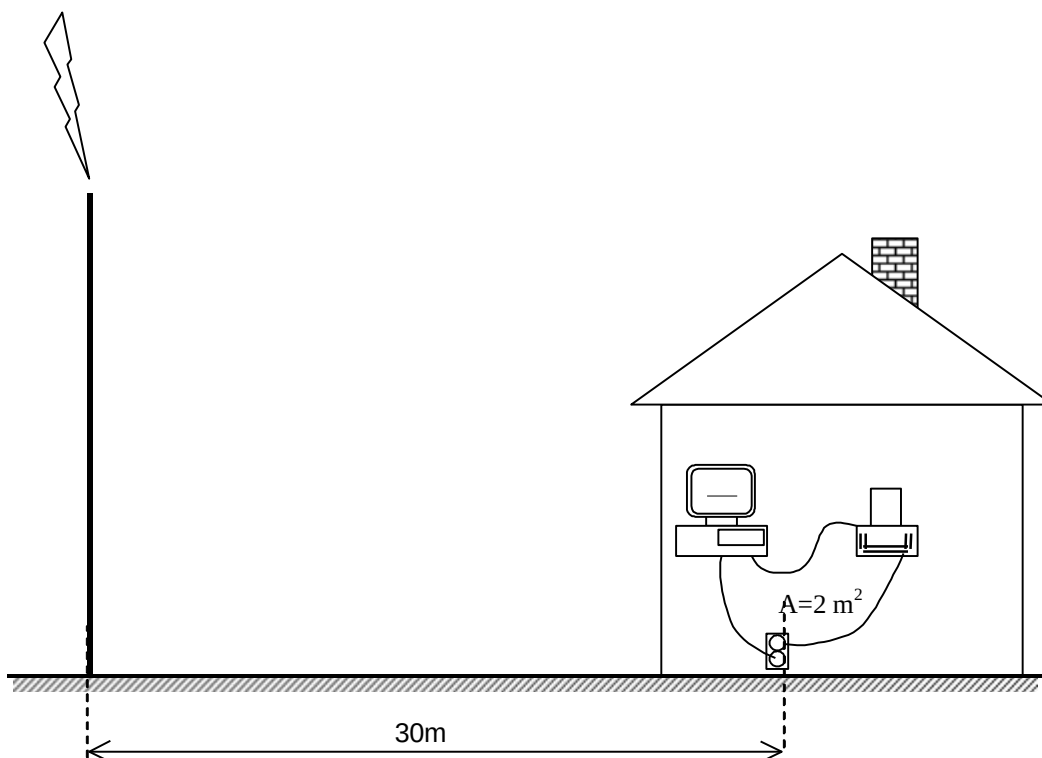
Eftersom signallager ligger över en jordplan då har vi att göra med en s.k. microstrip. För denna tar vi

från formelsamling följande: $Z_o \approx \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \ln\left(\frac{5,98h}{0,8b + t}\right) [\Omega]$ Detta ger:

$$Z_o \approx \frac{87}{\sqrt{4,5 + 1,41}} \ln\left(\frac{5,98 \times 0,4 \times 10^{-3}}{0,8 \times 0,6 \times 10^{-3} + 17 \times 10^{-6}}\right) \approx 56 [\Omega].$$

28.

Åskan slår ned i en åskledare på 30 m avstånd från en dator. Datorn är kopplad till en skrivare och båda är anslutna till nätet på ett sådant sätt att en slinga bildas.



Figur 28-1 Störning från åskledare

Antag att blixstens toppström är 240 kA med stigtiden 1 μs . Vilken spänning induceras i 2 m^2 slinga som bildas mellan signalkabel och nät - kablar av dator och skrivare om det inte finns något över-spänningsskydd i systemet?

$$U_{\text{emk}} = \dots\dots\dots [\text{V}]$$

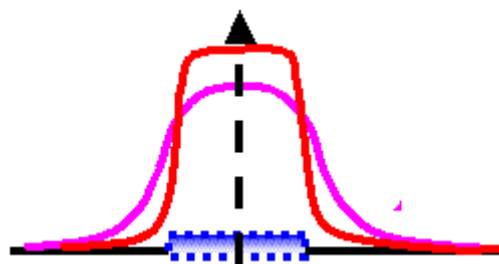
Lösningförslag:

$$|\hat{u}| = \frac{\mu_0 \cdot A}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \frac{di}{dt} \text{ där } A=2\text{m}^2, a=30 \text{ m. Då}$$

$$|\hat{u}| = \frac{\mu_0 \cdot A}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \frac{di}{dt} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2 \times 3,14 \times 30} \times \frac{240 \times 10^3}{1 \times 10^{-6}} = 3,2 \times 10^3 \cong 3 [\text{kV}]$$

29.

Bilden visar strömtäthetskurvor av retorströmmar i jordplan från två signaler med olika frekvenser vid två olika tillfällen. För vilken frekvens, högre eller lägre frekvens blir strömtäthetskurva mera fyrkantigt och högre?



Figur 29-1 Returströmmens koncentration

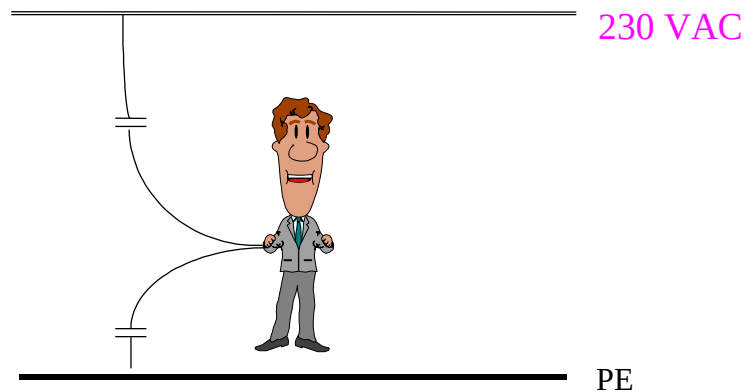
Den högre och mera fyrkantig bild av strömtätheten uppstår vid frekvens.

Lösningförslag:

På grund att impedansen i jordplan är mindre ju större frekvens av signalen uppstår den mera fyrkantiga strömtäthetskurva för HÖGRE frekvens av signalen.

30.

Hur stor är kapacitansen mellan kropp och jordpotentialen i snitt? Ange storleksordning.



Figur 30-1 Kroppens kapacitans

Kapacitansen är ca:.....

Lösningförslag:

Ca 150 pF eller mellan 50 och 200 pF.

31.

En konstruktör använder klockpuls med 50 MHz frekvens. Stig- och falltid av klockpulsens är 0,1 av klockpulsens period var. Duty cycle är 0,5. Hur stor är den frekvens där asymptotlinje av klockpulsens frekvensspektrum övergår från – 1 lutning till – 2 lutning? (det mesta av klockpulsens energi finns under den frekvensen)

$f_0 =$

Lösningförslag:

För en fyrkant - våg med "duty cycle" 50 % och samma stigtid som falltid det mesta av signalenergi bärs av övertoner som har frekvensen mindre än brytfrekvensen för övergång från – 1 asymptot till –

2 asymptot dvs. $f_0 = \frac{1}{\pi\tau}$ där τ är stig- och falltiden för signalen. Vid frekvensen 50 MHz är pulsens

period $T = \frac{1}{f_0} = \frac{1}{50 \times 10^6} = 20 \times 10^{-9}$ och 0,1 av detta ger $\tau = t_r = 2[ns]$. Med insatta värden ger

detta $f_0 = \frac{1}{3,14 \times 2 \times 10^{-9}} = 159 \times 10^6 \approx 159[MHz]$

Eller om man tar $f_b = \frac{0,35}{\tau}$, då $f_b = \frac{0,35}{2 \times 10^{-9}} = 175 \times 10^6 = 175 [MHz]$ Så alla svar att frekvensen ligger mellan 160 och 175 MHz godkänns.

Bilaga 1 Formlersamling**Konstanter.**

$$\begin{aligned}\mu_0 &= 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \\ \epsilon_0 &\approx 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \\ c &\approx 2.997925 \times 10^8 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Resistans.

Ledningsresistans

$$R = \rho \times \frac{l}{A} \quad \begin{array}{l} \rho = \text{resistivitet (Koppar, } \rho = 17,2 \text{ m}\Omega\text{mm}^2, \\ l = \text{ledarlängd} \\ A = \text{ledararea} = \pi r^2. \end{array}$$

Påverkan av inträngningsdjupet $R = \rho \times \frac{l}{2\pi r \delta} \quad \delta = \text{inträngningsdjupet}$
(Cirkulär ledare)

Konduktivitet

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Kapacitans.

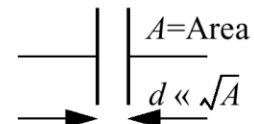
Kapacitans.

$$C = \frac{Q}{U} \quad \begin{array}{l} Q = \text{laddning} \\ U = \text{spänning.} \end{array}$$

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

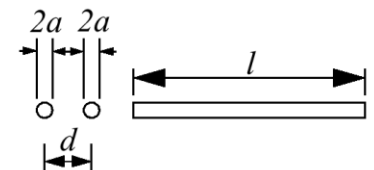
Plattkondensator

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



Parallella ledningar

$$C = \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{d + \sqrt{d^2 - 4a^2}}{2a}\right)}$$

När $a \ll d$

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

Magnetism

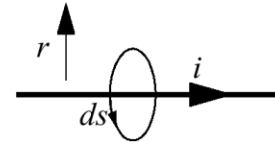
$$B = \mu_r \mu_0 H$$

Amperes lag

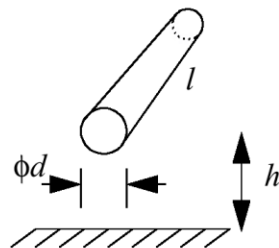
$$\oint H ds = i$$

För lång rak ledare

$$H(r) = \frac{i}{2\pi r}$$



Induktans

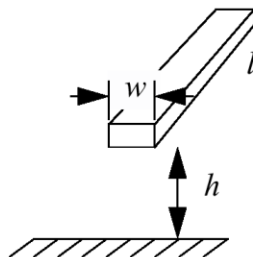


För låga frekvenser.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln\left(4\frac{h}{d}\right) \right) [H]$$

För höga frekvenser, $d \gg$ inträngningsdjupet.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \ln\left(4\frac{h}{d}\right) [H]$$

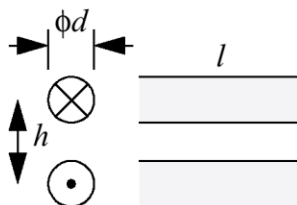


För låga frekvenser.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln\left(\frac{2\pi h}{w}\right) \right) [H]$$

För höga frekvenser, $w \gg$ inträngningsdjupet.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \ln\left(\frac{2\pi h}{w}\right) [H]$$



För låga frekvenser.

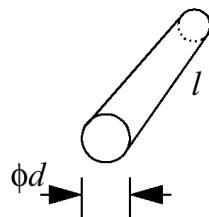
$$L \approx \frac{\mu_0}{\pi} \times l \times \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln\left(2\frac{h}{d}\right) \right) [H]$$

För höga frekvenser, $d \gg$ inträngningsdjupet.

$$L \approx \frac{\mu_0}{\pi} \times l \times \ln\left(2\frac{h}{d}\right) [H]$$

Ömsesidiga induktansen

$$M = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(l \times \ln \frac{(\sqrt{l^2 + h^2} + l)}{d} - (\sqrt{l^2 + h^2} + l) \right) [H]$$

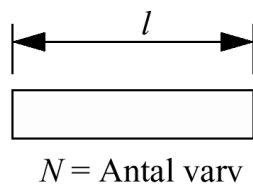


För låga frekvenser.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln\left(4\frac{l}{d}\right) - 1 \right) [H]$$

För höga frekvenser, $d \gg$ inträngningsdjupet.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \left(\ln\left(4\frac{l}{d}\right) - 1 \right) [H]$$

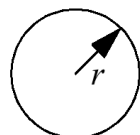


$$l \gg \sqrt{A}$$

$$L \approx \mu_0 \times \frac{AN^2}{l} [H]$$

○ $A = \text{Arean}$

För låga frekvenser.



$d = \text{trådradie}$
 $N = 1.$

$$L \approx \mu_0 r \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln\left(8\frac{r}{d}\right) - 2 \right) [H]$$

För höga frekvenser, $d \gg$ inträngningsdjupet.

$$L \approx \mu_0 r \left(\ln\left(8\frac{r}{d}\right) - 2 \right) [H]$$

Induktion

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$N = \text{antal varv}$

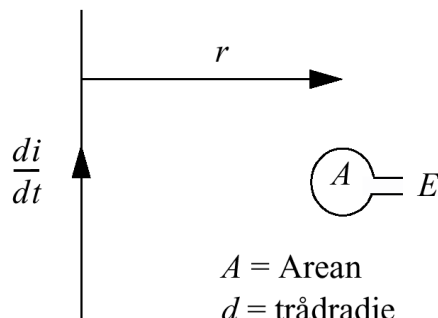
$\Phi = \text{flödet genom slingan}$

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

$L = \text{induktans}$

$i = \text{ström genom induktans.}$

Inducerad EMK i slinga



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

$A = \text{Arean}$

$d = \text{trådradie}$

$N = 1.$

Resonanskretsar

Resonansfrekvens $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

Serieresonans $Q_{serie} = \frac{1}{\omega_0 CR} = \frac{\omega_0 L}{R}$

Parallellresonans $Q_{parallel} = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 CR$

Spektra

Fourier serie $x(t_1 + t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(2\pi n \frac{t}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(2\pi n \frac{t}{T}\right)$

Där koefficienterna är $a_0 = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} x(t) dt$ $T = \text{periodtid}$
 $n = \text{tonnummer}$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} x(t) \cos\left(2\pi n \frac{t}{T}\right) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} x(t) \sin\left(2\pi n \frac{t}{T}\right) dt$$

Gränslinje för grundton och övertoner $U_n = 2Ud \times \frac{\sin(n\pi d)}{n\pi d} \times \frac{\sin\left(n\pi \times \frac{t_r}{T}\right)}{n\pi \times \frac{t_r}{T}}$ $d = \text{puls/paus förhållande}$

Elektromagnetism

Utbredningshastighet $v = f \times \lambda = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \mu_0 \epsilon_r \epsilon_0}}$ $v = \text{utbredningshastighet}$
 $f = \text{frekvens}$
 $\lambda = \text{våglängd}$

Inträngningsdjupet $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \mu_r \sigma}} [m]$ $\delta = \frac{66 \times 10^{-3}}{\sqrt{\sigma_r f}} [m]$

Vågimpedans i metall $\frac{E}{H} = Z = \sqrt{\frac{j\omega \mu_r \mu_0}{\sigma + j\omega \epsilon_r \epsilon_0}} [\Omega]$

Vågimpedans i luft

$$Z_0 = 377 [\Omega]$$

$$\begin{aligned} \mu_r &= 1 \\ \epsilon_r &= 1 \\ \sigma &= 0 \end{aligned}$$

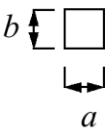
Skärmning

Reflektionsdämpning $\frac{E_1}{E_0} = \frac{4Z_0Z_S}{(Z_0 + Z_S)^2}$ Z_0 = Infallande vågens impedans
 Z_S = Skärmens impedans

Absorptionsdämpning $\frac{E_1}{E_0} = e^{-t/\delta}$ t = skärmens tjocklek

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

Skärmningseffektivitet $SE = 20\log\left(\frac{E_0}{E_1}\right) = 20\log\left(\frac{H_0}{H_1}\right)$

Skärmningseffektivitet täta hål $SE \approx 20\log\left(\frac{\lambda}{2a}\right) + 20\log\left(1 + \ln\left(\frac{a}{b}\right)\right) [dB]$  $a \geq b$
 Våglängd = $\lambda \gg a$

Strålat fält

Magnetisk dipol i fri rymd. $E \leq \frac{132 \times 10^{-16} \times f^2 AI}{r} [V/m]$ f = frekvens
 A = Area

Elektrisk dipol i fri rymd. $E \leq \frac{2\pi \times 10^{-7} \times fIl}{r} [V/m]$ I = ström
 l = dipollängd
 r = avstånd till källan

Resonant dipol, $l \geq 1/2\lambda$, dipol i fri rymd. $E \leq \frac{60 \times I}{r} [V/m]$

$1/2\lambda$, dipol i fri rymd. $E \approx \frac{7\sqrt{P}}{r}$ P = Matad effekt

Mottagarantenn

Monopol i fri rymd. $U = \int_0^h E dx \Rightarrow \left[h = \frac{\lambda}{4} \right] = \frac{E \times \lambda}{2\pi}$ h = antenn längd

Signaltransmission

Karakteristisk impedans $Z_0 = \frac{V}{I} = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}}$ R_0 = Ledningsresistans / l
 L_0 = Induktans / l
 C_0 = Kapacitans / l
 G_0 = Läckningskonduktans / l
 $Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ $R_0 = G_0 = 0$, förlustfri ledning

Våghastighet

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{(R_0 + j\omega L_0) \times (G_0 + j\omega C_0)}}$$

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} \quad R_0 = G_0 = 0, \text{ förlustfri ledning}$$

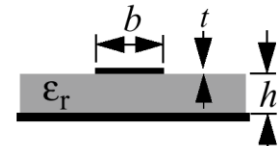
Utbredningskonstant

$$T_0 = \frac{1}{v_0}$$

Microstrip

$$Z_0 \approx \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \ln\left(\frac{5,98h}{0,8b + t}\right) [\Omega]$$

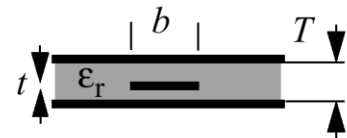
$$T_0 \approx 3,34 \sqrt{\epsilon_{eff}} \approx 3,34 \sqrt{0,47\epsilon_r + 0,67} [ns/m]$$



Stripline

$$Z_0 \approx \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{4T}{0,67\pi(0,8b + t)}\right) [\Omega]$$

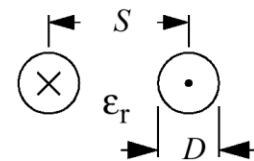
$$T_0 = 3,34 \sqrt{\epsilon_r} [ns/m]$$



Parallella ledare

$$Z_0 = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{S}{D} + \sqrt{\left(\frac{S}{D}\right)^2 - 1}\right) [\Omega]$$

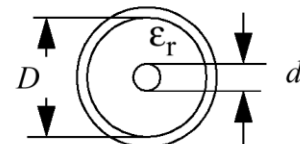
$$T_0 = 3,34 \sqrt{\epsilon_r} [ns/m]$$



Koaxialkabel

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{D}{d}\right) [\Omega]$$

$$T_0 = 3,34 \sqrt{\epsilon_r} [ns/m]$$



Karakteristisk kapacitans

$$C_0 = \frac{\sqrt{\epsilon_{eff}}}{Z_0 \times c} \quad \epsilon_{eff} = \text{effektiva dielektrisitetskonstanten}$$

$c = \text{ljushastighet}$

Karakteristisk induktans

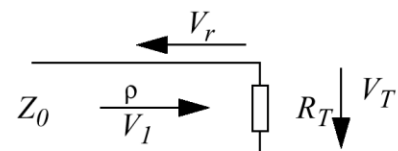
$$L_0 = \frac{Z_0 \times \sqrt{\epsilon_{eff}}}{c}$$

Reflektionskoefficient

$$\rho_T = \frac{R_T - Z_0}{R_T + Z_0}$$

$$V_r = \rho_T V_1$$

$$V_T = V_1 (1 + \rho_T)$$



Materialdata**Relativ ledningsförmåga och relativ permeabilitet.**

Material	σ_r	μ_r
Silver	1.05	1
Koppar (glödgad)	1.00	1
Guld	0.70	1
Krom	0.66	1
Aluminium (mjuk)	0.61	1
Aluminium	0.40	1
Zink	0.32	1
Beryllium	0.28	1
Mässing	0.26	1
Kadmium	0.23	1
Nickel	0.20	100
Brons	0.18	1
Platina	0.18	1
Tenn	0.15	1
Stål (SAE 1045)	0.10	1000
Bly	0.08	1
Rostfritt stål (430)	0.02	500

$$\sigma_0 \approx 5.82 \times 10^7 \Omega^{-1}\text{m}^{-1} \text{ (koppar).}$$