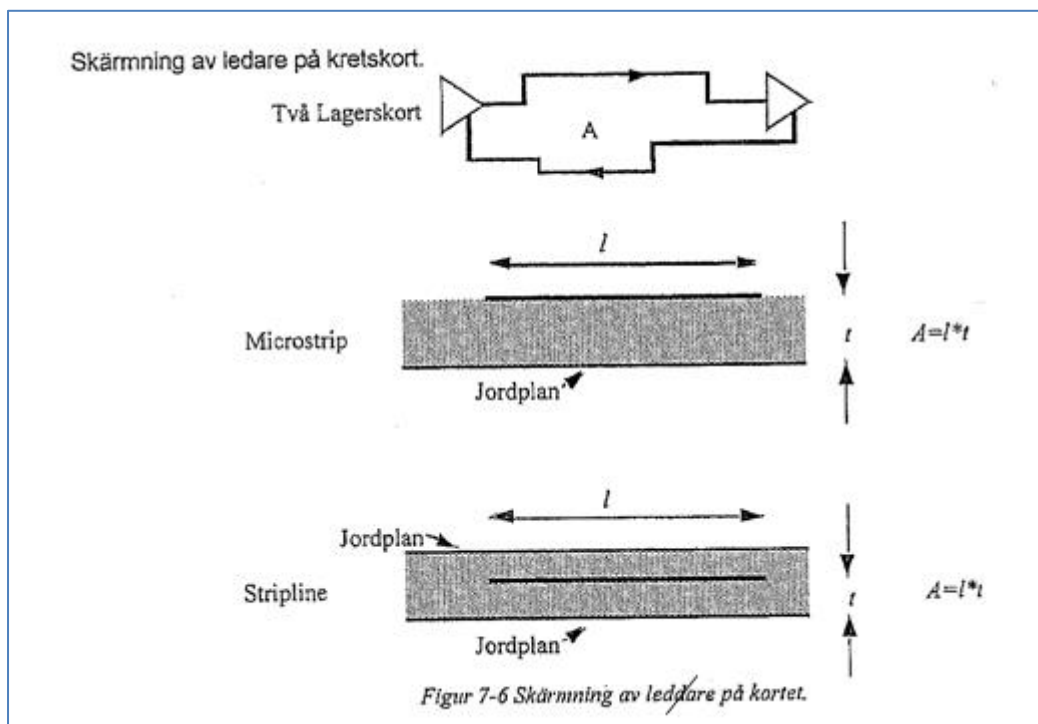
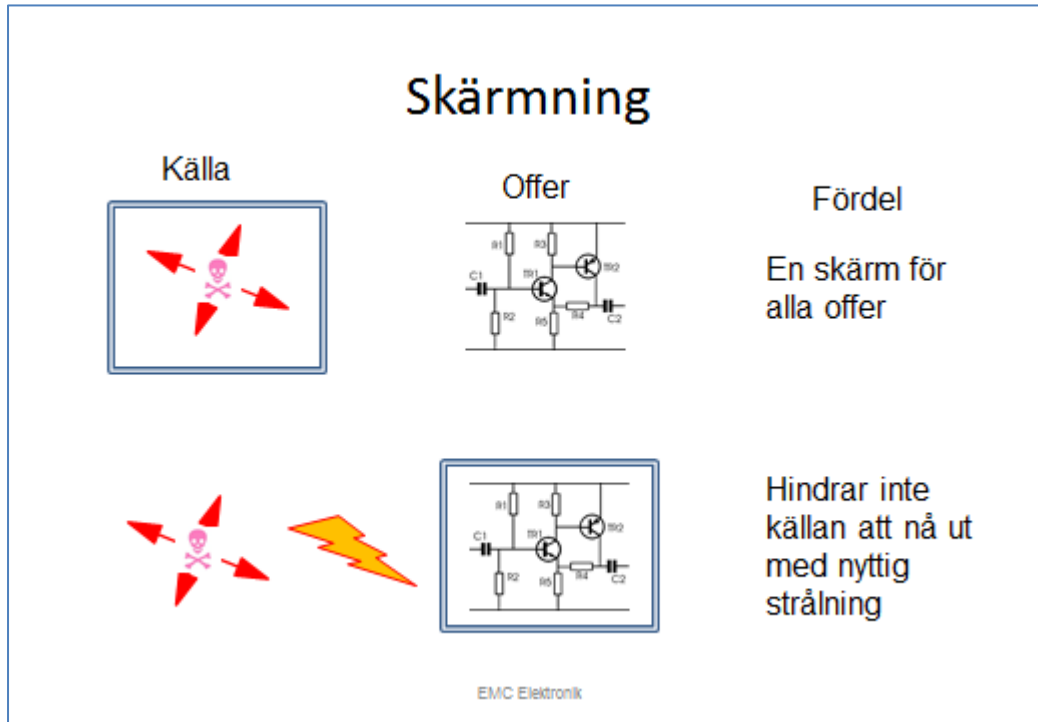


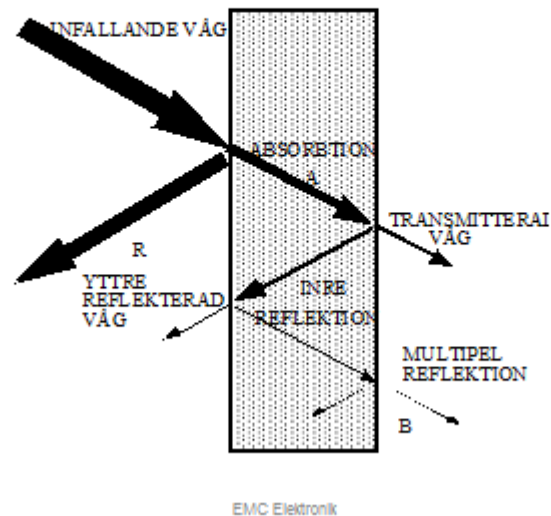
Skärmning

Det bästa sättet att hindra fortplantning av en elektromagnetisk våg från källa till offer är att skärma antingen källan eller offret.



I flerlagermönsterkort brukar man varva signallager med jordplan för att skärma bort oönskade signaler. Skärmen skyddar både för emission och upptag av störningar.

Skärmning



Skärmens verkan på en elektromagnetisk våg i fjärrfältet påminner om hur en vägg påverkar ljudvågor.

Rörelse av luftpartiklar träffar en vägg som har betydligt större densitet. Rörelsen av partiklarna i väggen blir betydligt svagare och avtar snabbare än i luften. Resultatet är att luftpartiklar på andra sidan knapp rör sig alls överhuvudtaget.

Ju högre frekvens desto större dämpning. Effekten för ljud är att basen går nästan obehindrat igenom medan diskanten släcks ut hos grannen. "Dunka – dunka – effekten.

Samma sak händer för en elektromagnetisk våg. Vågen träffar en skärm som har mycket större konduktivitet än luft. Det induceras virvelströmmar i skärmen som orsakar förluster i form av värmeutveckling.

En våg som stöter på en skärmyta kan antingen reflekteras eller transmittas. Om den går in i materialet absorberas vågen till viss del och reflekteras också vid utgången ur materialet. Om vågen blir kvar i materialet sker ofta multipla reflektioner.

Skärmningseffektivitet "SE"

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

R = Reflektion

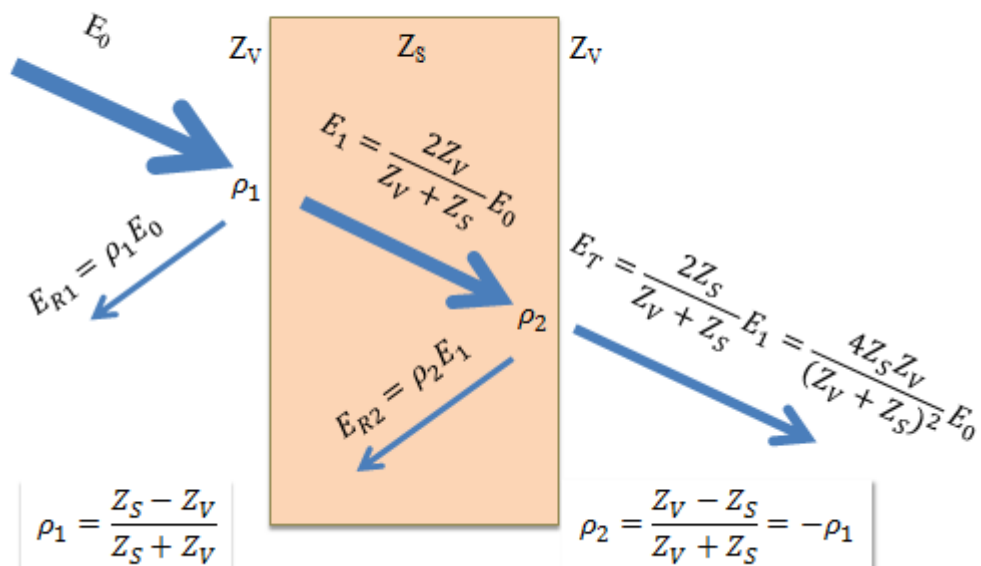
A = Absorption

B = Multipel reflektion (negativ)

Beaktas endast om $A < 10 \text{ dB}$

EMC Elektronik

Reflektionsdämpning



En våg eller fält som träffar ett medium med en annan impedans delas upp i två delar, en reflekterad och en inträngande. Det är förstås den senare som kan ta sig igenom skärmen. Det sker en reflektion både vid inträdet och utträdet ur skärmen.

Man räknar på samma sätt för H-fält som för E-fält.

Vågimpedans Z

$$Z_w = E / H \quad \Rightarrow \quad Z = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\varepsilon}} \quad \text{Alla medier}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 377\Omega \quad \text{Vakuum / Luft}$$

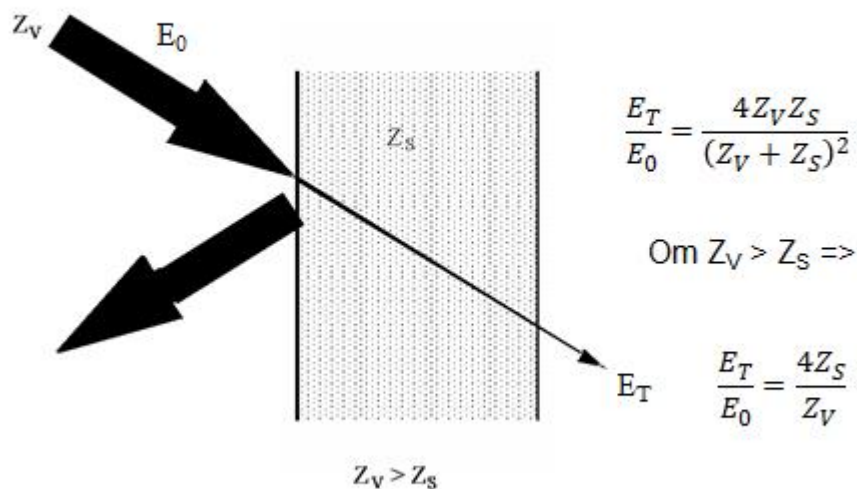
$$|Z_S| = 3,68 \cdot 10^{-7} \sqrt{f} \quad [\Omega] \quad \text{Koppar}$$

$$|Z_S| = 4,71 \cdot 10^{-7} \sqrt{f} \quad [\Omega] \quad \text{Aluminium}$$

$$|Z_S| = 4,71 \cdot 10^{-5} \sqrt{f} \quad [\Omega] \quad \text{Stål}$$

EMC Elektronik

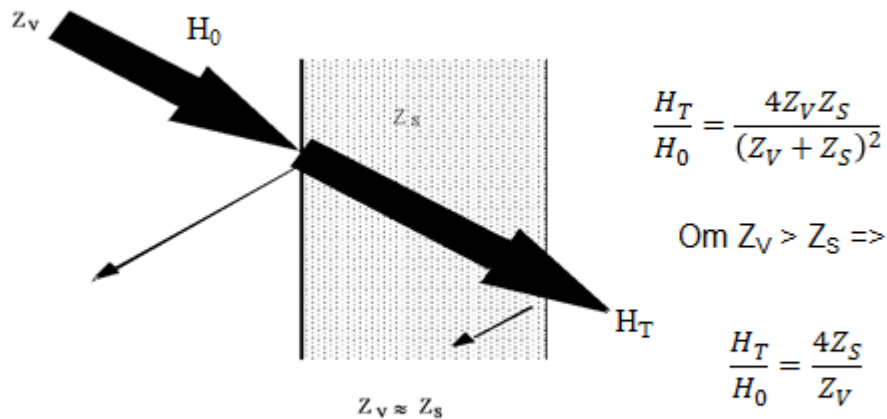
Reflektion – elektriskt fält



EMC Elektronik

Eftersom $Z_V > Z_S$ är reflektionen hög för elektriska fält. Även "hönsnät" ger god reflektion. Reflektionsdämpningen är högre för en elektrisk källa än för en plan våg. Dämpningen ökar ju närmare källan skärmen kommer.

Reflektion – magnetisk fält



EMC Elektronik

Vågimpedansen Z_V för en magnetisk källa är låg. Detta ger en dålig reflektion och en stor del av vågen passerar skärmen. När reflektionsfaktorn är så gott som obefintlig sker all dämpning genom adsorption. Om $Z_V > Z_S$ kan reflektionen förenklas.

För en magnetisk strålkälla är det mycket viktigt att få skärmen lågimpediv i alla skarvar! Hål i skärmen ökar också ytimpedansen och måste göras så små och få som möjligt.

Absorption

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

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \times f \times \mu \times \sigma}} = \frac{66,1}{\sqrt{f \times \mu_r \times \sigma_r}} \text{ [mm]}$$

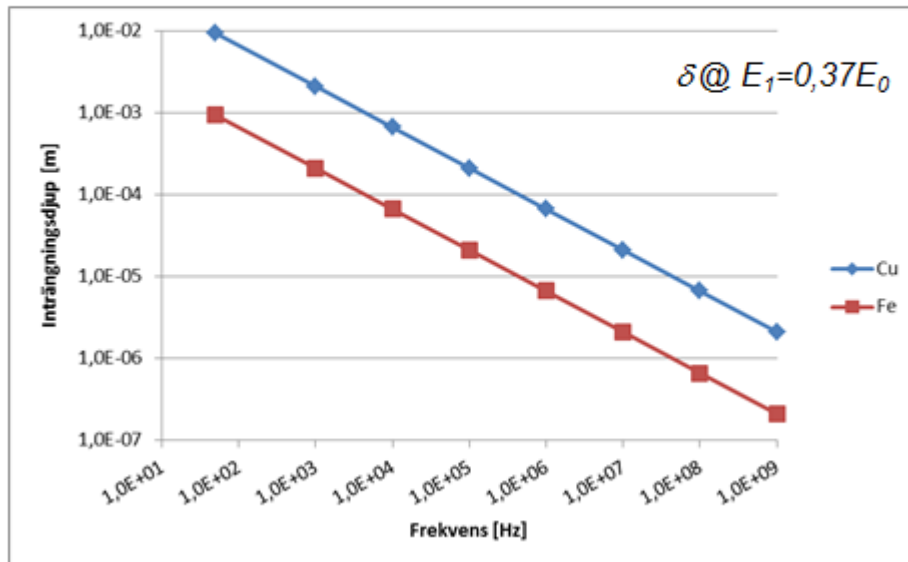
$$A = -20 \log \left(e^{-\frac{T}{\delta}} \right) = 20 \frac{T}{\delta} \log e = 8.69 \frac{T}{\delta} \text{ [dB]}$$

EMC Elektronik

En elektromagnetisk våg som förflyttar sig genom ett medium minskar sin amplitud p.g.a. resistiva förluster i strömmar som induceras i mediet och värme utvecklas (jfr mikrovågsugn).

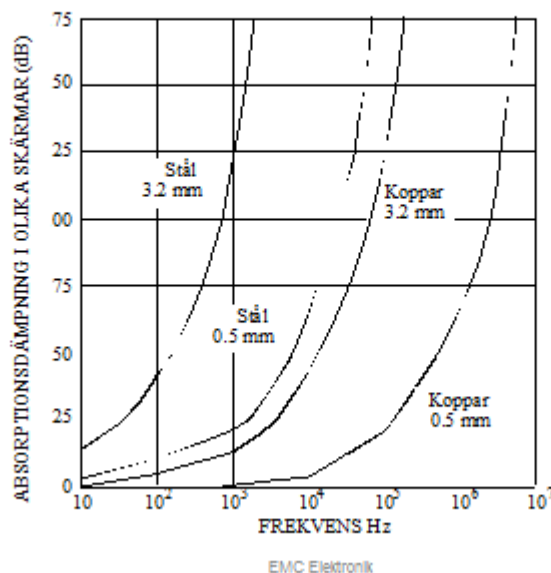
I formlerna ovan är δ skinndjupet och T skärmens tjocklek. Eftersom både μ_r och ϵ_r ingår i formeln är absorptionen starkt beroende av materialet.

Inträngningsdjup δ för järn och koppar



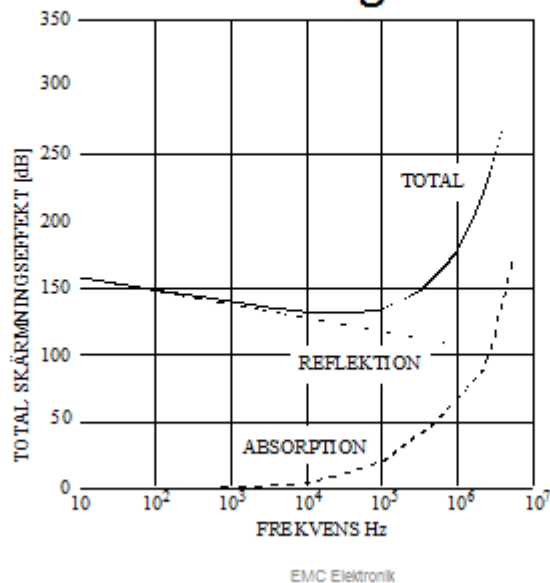
Inträngningsdjupet eller skinndjup är starkt frekvens- och materialberoende. En våg som tränger in i materialet lika långt som skinndjupet förlorar 9 dB i styrka (ca 3 ggr).

Absorption - stål och koppar



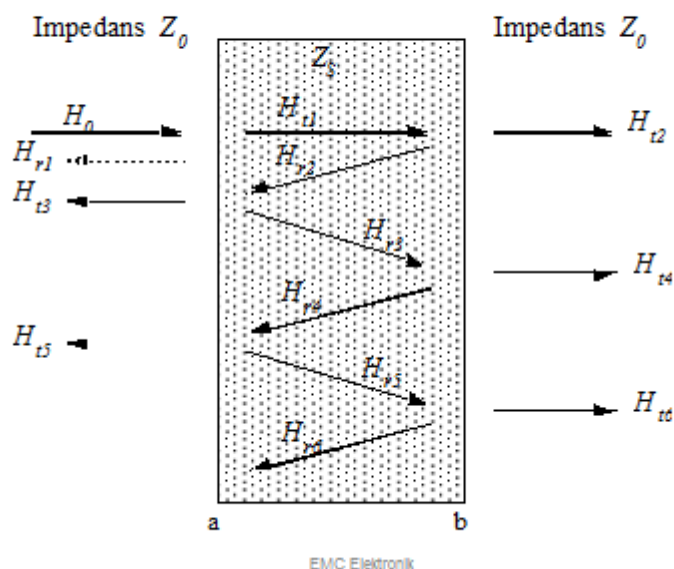
Absorptionen ökar med frekvensen och med skärmens tjocklek. Stål absorberar mer än koppar för samma tjocklek.

Skärmningseffekt



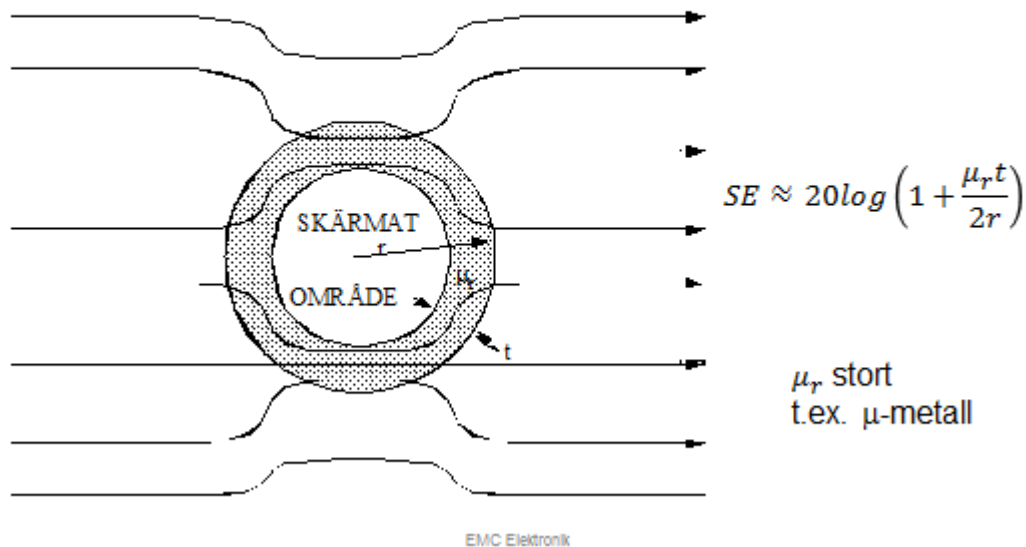
Den totala skärmningseffekten för en plåt domineras i fjärrfältet av reflektion för låga frekvenser och absorption för höga. I närfältet är vågimpedansen beroende av källans natur medan reflektionen beror av vågimpedansen. Reflektionen är låg för en magnetisk källa och den totala skärmningseffekten blir mycket liten vid låga frekvenser.

Multipel reflektion.



Om absorptionen i materialet är liten uppstår flera reflektioner i materialet när vågen går fram och tillbaka. Detta försämrar skärmens effektivitet eftersom det sammanlagda fältet som går genom skärmen ökar ($H_{t2} + H_{t4} + H_{t6} + \dots$). Se kompendiet sid 114-115.

Avledning av magnetiskt fält

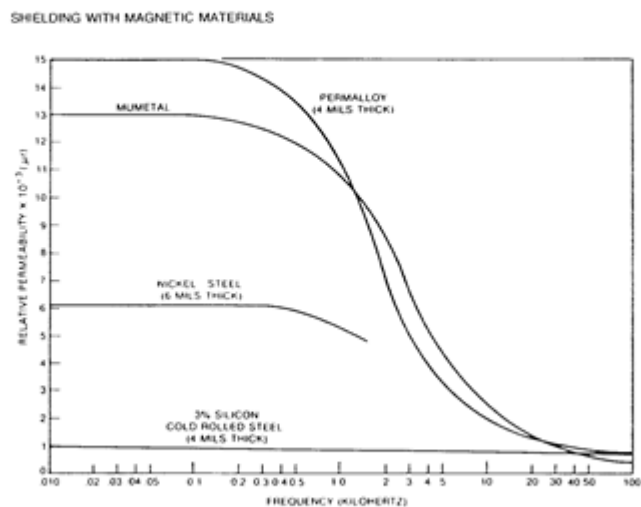


I stället för att avskärma kan man leda bort det magnetiska fältet med ett material som har en hög permeabilitet. Magnetfältet följer då materialet i stället för att gå genom luften i det område man vill skärma.

För ett runt rör gäller approximativt följande:

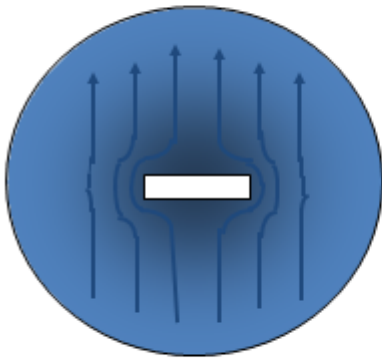
$$SE \approx 20 \log \left(1 + \frac{\mu_r t}{2r} \right)$$

Relativa permeabiliteten.



Den relativa permeabiliteten minskar kraftigt med ökad frekvens. Därför används μ -metall oftast för lågfrekventa störningar som t.ex. nätstörningar. För högfrekventa störningar är stål lika bra eller bättre och mycket billigare.

Blockering vid öppningar



Storleken av ett läckage beror på:

- Maximala linjära öppningen (inte ytan utan längden).
- Vågimpedansen
- Frekvensen hos storkällan

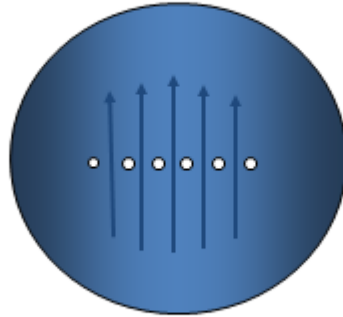
EMC Elektronik

Heltäckande skärm kan lätt uppnå 90 dB effektivitet i teorin, med undantag för lågfrekventa magnetiska fält. I praktiken har man alltid hål i skärmar och den är inte bättre än den är tät. Det mesta läckaget kommer från det magnetiska fältet. Storleken av ett läckage beror på:

1. Maximala linjära öppningen (inte ytan utan längden).
2. Vågimpedansen
3. Frekvensen hos storkällan

Skärmen fungerar så att det infallande fältet inducerar strömmar i skärmmaterialet vilka i sin tur bildar ett eget fält som motverkar det ursprungliga fältet. Om man med en slits eller hål hindrar induceringen av virvelströmmar minskar också skärmens effektivitet.

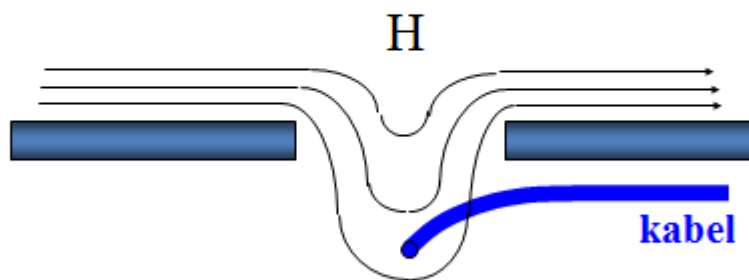
Gör öppningar så små som möjligt!



EMC Elektronik

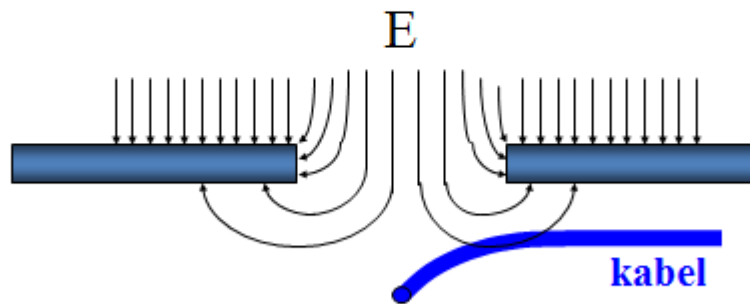
Om samma yta med hål i skärmen delas upp i mindre öppningar så att strömtätheten kan bibehållas försämras inte skärmens effektivitet. Öppningar i skärmen räknas som linjärt stora om $l > \lambda/2$ och $SE = 20 \log(\lambda/2 \cdot l)$.

“Läckage” av H-fält genom öppningar



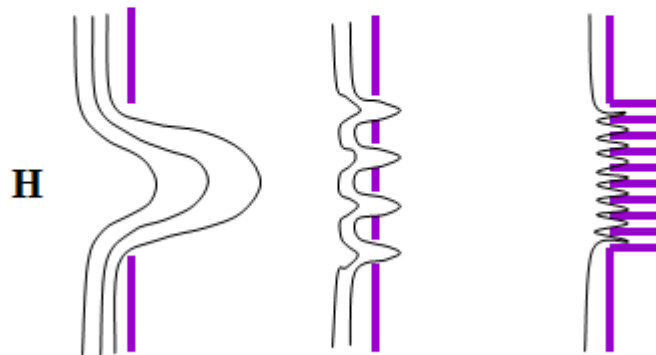
EMC Elektronik

Läckning av E-fält genom öppningar



EMC Elektronik

Multipla små öppningar är att föredra



EMC Elektronik

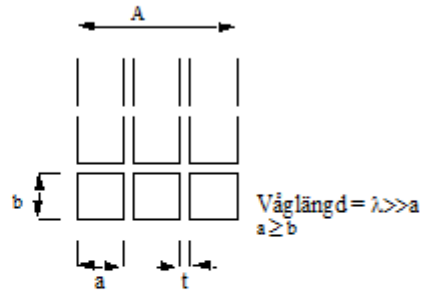
Hål i skärm

En låda har ett fläkthål på 12x12 cm²
hur stor är SE för hålet vid 100 MHz?
Vad blir SE om hålet delas i 144 mindre
hål med tunt gods mellan hålen?

Lösningsförslag

Våglängden är vid 100 MHz 3m.

SE för ett hål är (a=b)



$$SE \approx 20 \log \left(\frac{\lambda}{2a} \right) + 20 \log \left(1 + \ln \left(\frac{a}{b} \right) \right) = 20 \log \left(\frac{3}{2 \times 0,12} \right) + 0 = 20 \log (12,5) = 22 \text{ dB}$$

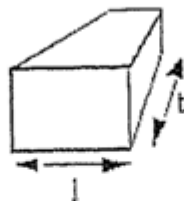
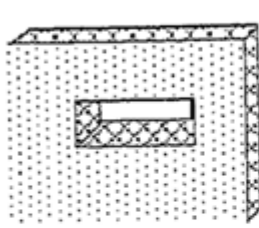
Delas hålet i 144 mindre hål blir $a = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$ ($a=b$)

$$SE \approx 20 \log \left(\frac{\lambda}{2a} \right) + 20 \log \left(1 + \ln \left(\frac{a}{b} \right) \right) = 20 \log \left(\frac{3}{2 \times 0,01} \right) + 0 = 20 \log (150) = 43,5 \text{ dB}$$

EMC Elektronik

Skärmeffekten kan förbättras avsevärt genom att göra flera mindre hål än ett stort.

Dämpning i vågledare – slits



SLITS

l = största slitsöppning.
 t = slitsens djup.

Brytfrekvens f_c

$$f_c = \frac{1,5 \cdot 10^8}{l} \quad [\text{Hz}]$$

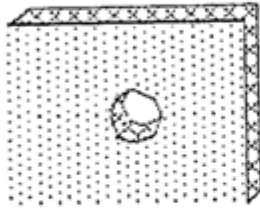
Dämpning i slits

$$S_W = 27,2 \cdot \frac{t}{l} \quad [\text{dB}] \quad f \ll f_c$$

EMC Elektronik

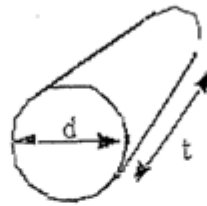
Frekvenser över brytfrekvensen f_c dämpas inte utan passerar obehindrat.

Dämpning i vågledare – runt hål



Brytfrekvens f_c

$$f_c = \frac{1,8 \cdot 10^8}{l} \quad [\text{Hz}]$$



d = håldiameter
HÅL t = hålets djup.

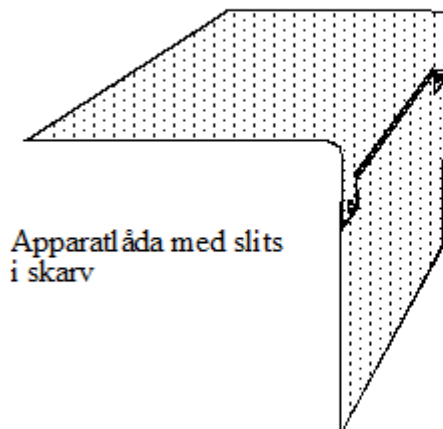
Dämpning i runt hål

$$S_W = 32 \cdot \frac{t}{l} \quad [\text{dB}] \quad f \ll f_c$$

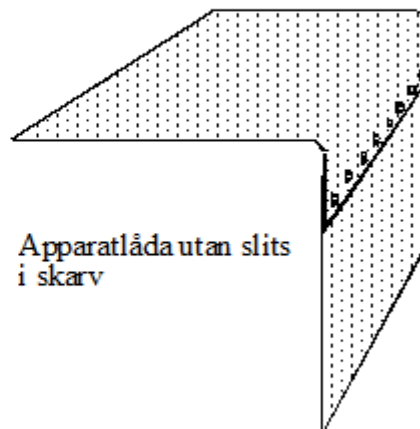
EMC Elektronik

På samma sätt kan dämpningen för frekvenser lägre än brytfrekvensen beräknas för ett runt hål.

Skarvar i låda



Apparatlåda med slits
i skarv

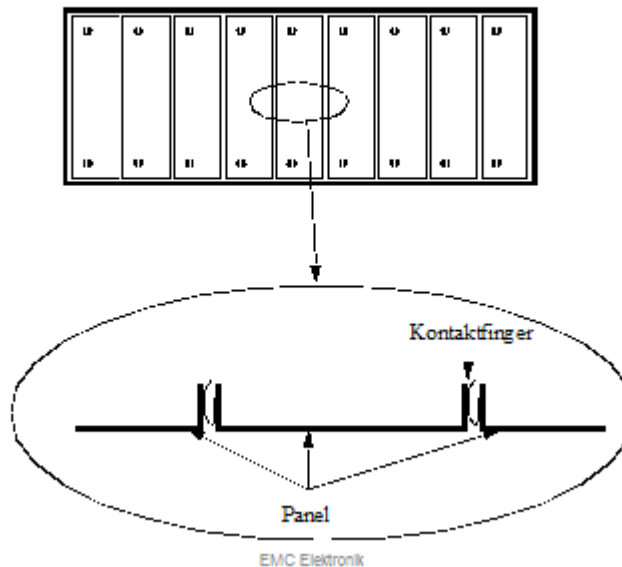


Apparatlåda utan slits
i skarv

EMC Elektronik

För en känslig utrustning är det viktigt att tätta apparathöljet noggrant. Om källan är magnetisk är det mycket svårt att skärma hål och skärmningseffekten är mycket känslig för avståndet mellan källan och skärmen. Håll kretskort med slingor och kablar på stort avstånd från hål i skärmen!

Täta paneler



Tätning av paneler är viktigt. Skruva så tätt som det praktiskt är möjligt, inte glesare än $\lambda/10$ av den högsta frekvensen som skall skärmass. Är lådan målad måste färgen vara ledande, men se också till att den inte bildar oxid.

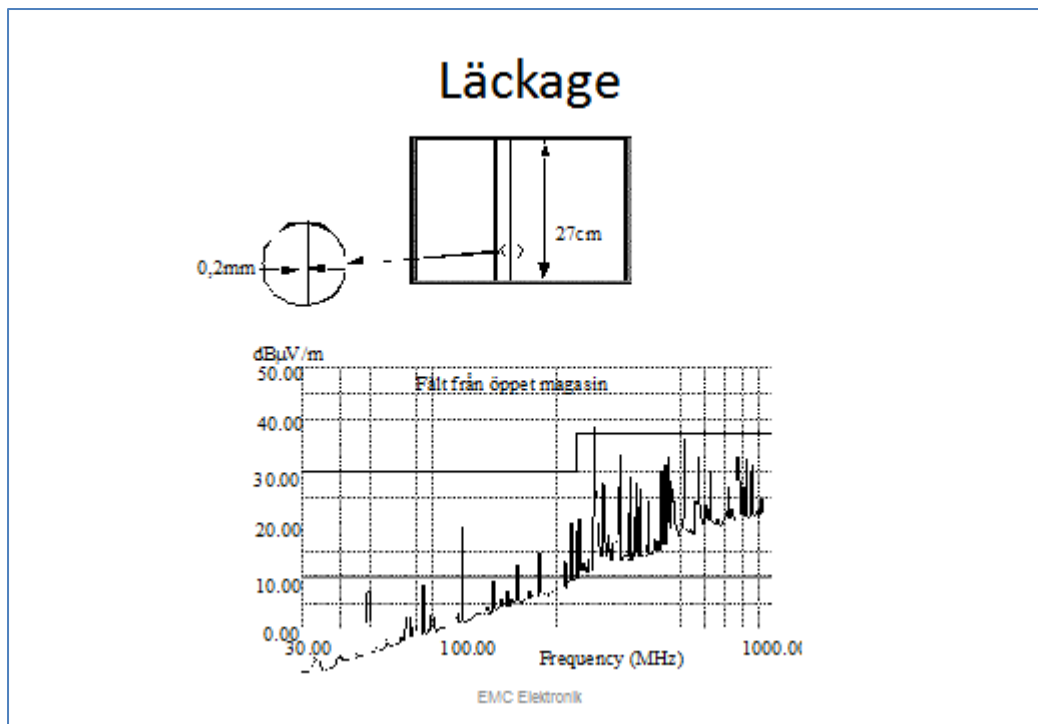
Skruvarna måste ha god kontakt med godset och hjälper till att trycka plåtytorna mot varandra.

[Visa upp en basstation för mobiltelefon]

- Tätade paneler,
- Inga fönster (display mm.)
- Jordning av skärmar

En ideal skärm skulle inte behöva jordas. Jordning görs för att... Diskutera detta i grupper!

- Hindra kapacitiv koppling till komponenter (se kompendiet).
- Låta HF-strömmar flyta till jord.
- Hindrar att skåpet elektrifieras statiskt.
- Säkrar returströmmars väg till källan för att undvika risken för elchock.



I denna bild visas frekvensspektrat för elektriskt fält som passerar en springa på 0,2 mm. Som synes ökar styrkan med ökande frekvens.

Sammanfattningsvis

- Alla kablar som passerar en skärm borde filtreras.
- Skärmade kablar borde ha skärmar kopplade till apparatens skärm.
- Reflektionsförluster är stora för elektriska fält och plana vågor.
- Reflektionsförluster är små för lågfrekventa magnetiska fält.
- Skärmeffekten på skindjupet δ ger ca 9 dB dämpning.
- Magnetiska fält är det svårare att skydda sig mot.
- Använd bra ledare som skärm mot elektriska fält, plana vågor och högfrekventa magnetiska fält!
- Absorption i skärmen beror på permeabiliteten μ och konduktiviteten σ för skärmmaterialet.
- Reflektionen beror av kvoten mellan konduktivitet och permeabilitet för skärmmaterialet.
- Skärmens effektivitet minskar med kvadratroten för antal hål och linjärt med längden av hålet.
- Över 10 MHz dominerar absorptionen och en heltäckande skärm utan hål (!) är tillräcklig för de flesta applikationer.
- Skärmeffekten beror i praktiken oftast på hur litet läckage man kan åstadkomma.
- Det är den största dimensionen och inte den sammanlagda ytan för hålen i skärmen som bestämmer läckagets storlek.
- Ett stort antal hål är bättre än ett stort hål med samma yta.

Tentatal 3 vågimpedans

- Beräkna vågimpedansen vid 50 MHz i koppar. Konduktiviteten $\sigma = \sigma_r \sigma_0$.

EMC Elektronik

Svar: 2,6 mohm

Tentatal 4 reflektionsdämpning

- Vilken reflektionsdämpning i dB fås när en elektromagnetisk våg passerar genom en 0,1 mm tjock guldplåt vid 50 MHz? Vågimpedansen i guld är $|Z_S| = 4.4 \times 10^{-7} \sqrt{f}$

EMC Elektronik

Svar: 90 dB

Tentatal 5 absorptionsdämpning

- Vad är absorptionsdämpningen i dB för en 50 MHz elektromagnetisk våg när den passerar genom en 0.1 mm tjock guldplåt?

EMC Elektronik

Svar: 78 dB

Tentatal 6 skärmningseffektivitet SE

- Vad blir den totala skärmningseffektiviteten SE för en metallplåt som har reflektionsdämpningen 85 dB och absorptionsdämpningen 59 dB?

EMC Elektronik

Svar: 144 dB

Tentatal 7



- a) En apparatlåda har en ventilationsöppning som är 6 cm bred och 2 cm hög.
- Hur mycket bättre blir skärmningseffektiviteten för EM störningar av frekvensen 10 MHz om man täcker öppningen med ett 5 mm metallnät?



Svar: SE (a) = 54 dB, SE (b) = 69 dB. => Metallnätet ger ca 15 dB bättre dämpning vid 10 MHz.