

ProofCap som skärmande kapsel

Vid all konstruktion av elektriska kretsar och system måste man ta hänsyn till den elektromagnetiska miljön för att kunna erhålla tillförlitliga och funktionella lösningar. Göran Dahlén förklarar i denna artikel de grundläggande principerna som gäller för skärmning och hur just ProofCap kan användas för att skärma elektronik.

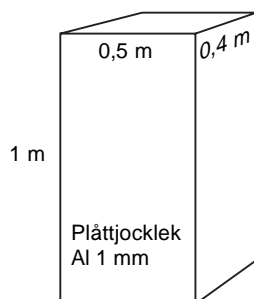
1. Skärmning

Den skärmning som fås av ett material eller en hel apparatlåda kan skilja mycket från fall till fall beroende på olika faktorer som:

- avstånd till störkällan
- frekvens
- tidsförlopp
- skärmstorlek
- skärmtjocklek
- täthet (tex nät)
- materialegenskaper

Praktiskt exempel

Om man tar som exempel ett elektronikskåp enligt bild 1, som är helt tätt, och utsätter det för **sinusformade** elektromagnetiska fält skulle skärmningsegenskaperna ungefär bli som följande.



Frekvens, Hz	50	100	10 kHz	1 MHz
Teoretisk dämpning, dB	9	15	55	155
Dämpning i praktiken, dB	9	< 15	< 55	60-80

Bild 1. Dämpningsvärden för elektronikskåpet ovan.

Författare: Göran Dahlén, 990525

Välkänd EMC-profil med lång erfarenhet av problemlösning inom EMC. Göran har tidigare varit chef för FOA:s EMP institution, ass professor på KTH inom EMC och fiberoptisk kommunikation och är numera fristående EMC-konsult. Som konsult har han arbetat för såväl utländska som svenska företag och är en ofta anlitad föreläsare inom EMC.



Ingenjörfirma Göran Dahlén

Tel & fax: 08-768 04 04, e-mail: goeran.dahlen@telia.com

Trots att aluminiumplåten är relativt tjock och har bra ledningsförmåga så blir skärmningseffektiviteten vid låg frekvens mycket blygsam. Vid 50 Hz blott ca 9 dB och vid 100 Hz ca 15 dB eller lägre. Skärmningen ökar sen först linjärt med ökande frekvens för att sen öka exponentiellt med frekvensen. Även om man hade valt 1 mm järnplåt i stället skulle inte dämpningen ha blivit bättre förrän vid ca 1 kHz. Vid 50 och 100 Hz hade dämpningen varit något sämre än för aluminium.

Vid 10 kHz skulle skärmningseffektiviteten teoretiskt bli ca 55 dB och 155 dB vid 1 MHz. Så höga dämpningsvärden uppnår man dock inte i praktiken. Det kommer alltid att vara öppningar och andra ofullkomligheter som begränsar dämpningen vid högre frekvenser. Vid 1 MHz kanske dämpningen i verkligheten stannar vid 60 - 80 dB, allt beroende på öppningar i form av skruvhål, plåt-skarvar, instrumentfönster, kontaktdon osv.

Skärmningsegenskaperna ovan för **sinusformade fält** beror huvudsakligen på att så kallade virvelströmmar, se nedan, induceras i skärmen och trycker emot det inträngande fältet. Men många störningar, ja kanske de flesta, är av **transient** slag. Beroende på att det i det här fallet tar så lång tid för pulsen att diffundera genom plåt-materialiet kommer en kortvarig transient att slätas ut till ett långvarigt fält med låg amplitud inuti skåpet.

Om skåpet enligt bild 1 ovan utsätts för en transient störning med en varaktighet kortare än 1 μ s får fältet inuti skåpet en stigtid på ca 12 μ s, varaktighet på ca 9 ms och toppvärdet på fältet har dämpats med ca 85 dB. Typiska transienter kan vara från slutning och brytning av strömkretsar, ESD, SMPS (Switch Mode Power Supplies), klockpulser, osv. Även om plåten hade varit mycket tunnare, kanske 0,2 mm, skulle skåpet enligt bild 1 ha inneburit god skärmningseffektivitet.

2. Skärmning vid sluten homogen metallskärm

2.1 Virvelströmsskärmning

För det fall att man har ett växelvärd, det behöver inte vara periodiskt, kommer den så kallade virvelströmsskärmningen att helt svara för skärmningseffektiviteten. Bild 2 visar en sfärisk skärm av metall där det yttre fältet inducerar strömmar i skärmmaterialet som trycker emot det yttre fältet.

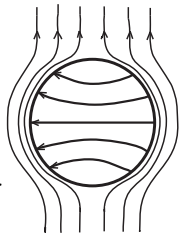


Bild 2. Virvelströmsskärmning i en sfärisk skärm.

Denna virvelströmsskärmning börjar dominera redan vid låg frekvens, under 50 Hz. En fundamental fysikalisk princip som beskrivs av Maxwells ekvationer säger att ett varierande elektriskt fält ger upphov till ett magnetfält och vice versa, se bild 3 nedan.

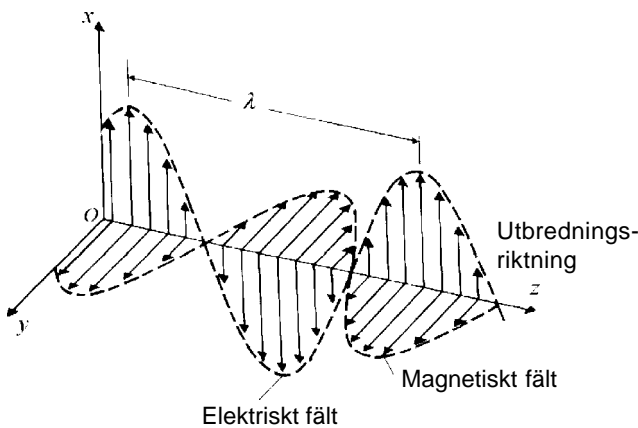


Bild 3. Ett typiskt varierande fält (sinusformat) där det elektriska fältet, det magnetiska fältet och utbredningsriktningen alla tre är vinkelräta mot varandra.

Att såväl elektriskt som magnetiskt fält alltid förekommer samtidigt vid varierande fält innebär att skärmningen inte kan beskrivas som antingen magnetisk eller elektrisk, utan måste förklaras som ett mer komplext elektromagnetiskt fenomen. Den verkliga skärmningsmekanismen är virvelströmmar som induceras i skärmen. Eftersom det är virvelströmbildningen som trycker emot det yttre fältet och ger skärmningseffektiviteten kan det vid låg frekvens många gånger vara bättre med ett material med god ledningsförmåga än ett med ferromagnetiska egenskaper. Vid högre frekvenser blir järn bättre än aluminium med samma tjocklek, se bild 4.

2.2 Skärmning av sinusformade fält

Så gott som alla intressanta skärmkonstruktioner är slutna. Det är då nästan undantagslöst så att det inträngande elektriska fältet kan accepteras om den inträngande magnetiska fältstyrkan är tillräckligt liten. Det räcker därför oftast att beräkna den magnetiska skärmningseffektiviteten.

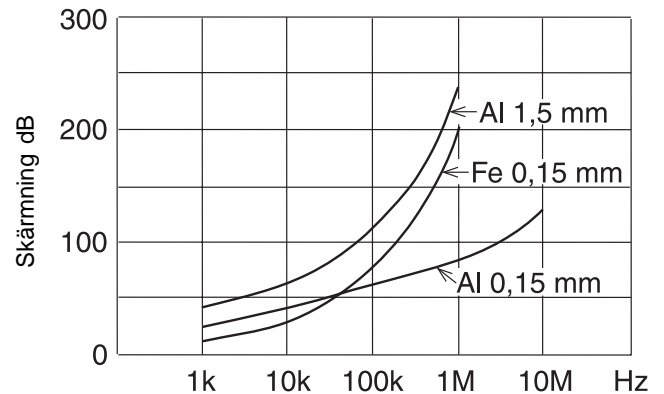


Bild 4. Den magnetiska skärmningseffektiviteten för en sluten sfär (diameter 3m) av Al resp Fe med olika tjocklek.

För en helt tät och sluten metallskärm kommer skärmdämpningen att först öka linjärt med frekvensen. För höga frekvenser ökar dämpningen exponentiellt och blir snart större än 200 dB. Se bild 4.

Så höga skärmdämpningar uppnås dock aldrig i praktiken då det alltid kommer att vara öppningar och andra ofullkomligheter i skärmen som begränsar dämpningen vid högre frekvenser. Ju större hål desto längre ned i frekvens påverkar de dämpningen negativt. Skärmens storlek påverkar också resultatet. En större skärm ger större dämpning än en mindre.

Det framgår vidare av bild 4 om man jämför järn med aluminium att aluminiumplåten skärmar mer effektivt vid låga frekvenser medan järn är bättre vid högre frekvenser.

2.3 Skärmning av transienta elektromagnetiska fält

De vanligaste elektromagnetiska störningarna är av kortvarig transient natur. En tunn skärm ger oftast tillräcklig skärmning om den är tät. När det gäller ett kortvarigt transient förlopp använder man sig av en storhet, kallad diffusionstid τ_d , som är ett mått på den tid det tar för fältet att tränga in (diffundera in, jfr gasers diffusion genom membran) genom metallen.

Diffusionen genom metallen går mycket långsamt. Den tid det tar för det elektromagnetiska fältet att tränga igenom 1 mm aluminium motsvarar den tid det tar för fältet att fortplanta sig 12 km i luften. Detta fenomen gör att **mycket tunna folier är effektiva skärmar för kortvariga, transienta, fältstyrkor.**

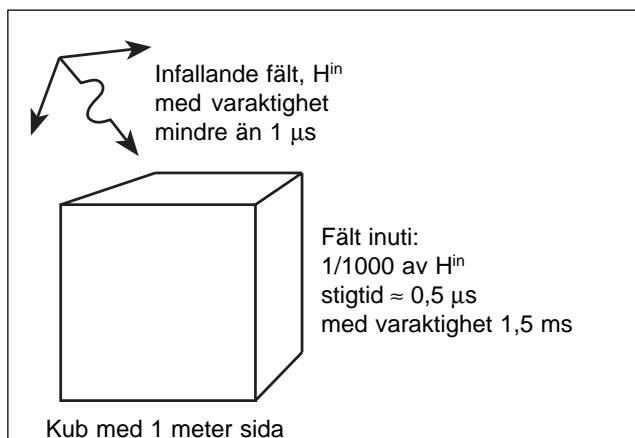


Bild 5. Exempel med en aluminiumkub med mycket tunn godstjocklek.

Energien i den infallande transienten har spritts ut över ett större tidsintervall, vilket också medför att toppvärdet har blivit lägre i motsvarande grad. Permeabiliteten hos materialet har ingen betydelse för varaktigheten och toppvärdet hos det inre fältet. Den viktigaste egenskapen hos skärmen är **god ledningsförmåga.**

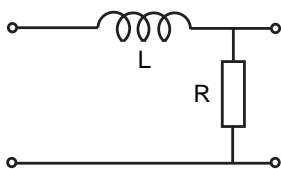


Bild 6. Skärmlådans funktion kan jämföras med ett lågpassfilter.

För en skärmlåda blir induktansen i lågpassfiltret $L = \mu_0 V/A$ där V = skärmlådans volym, A = skärmlådans yta och μ_0 = permeabiliteten för luft $4\pi \cdot 10^{-7}$. Resistansen $R = 1/\sigma d$ där σ = ledningsförmågan hos metallen som skärmlådan är gjord av och d = skärmens tjocklek.

Om infallande fältets pulslängd är kort i förhållande till diffusionstiden kan man i de flesta fall enkelt beräkna det inträngande fältet i en tät skärm, se exempel bild 5. Skärmen fungerar på samma sätt som ett enkelt lågpassfilter bestående av en spole och ett motstånd, se bild 6.

Induktansen L beror enbart på geometrin hos skärmen, materialet har ingen betydelse. Väggresistansen R beror enbart av ledningsförmågan och godstjocklek.

Den långsamma diffusionen medför också att spektral-tätheten för pulsen innanför skalet blir helt annorlunda än utanför, se bild 7.

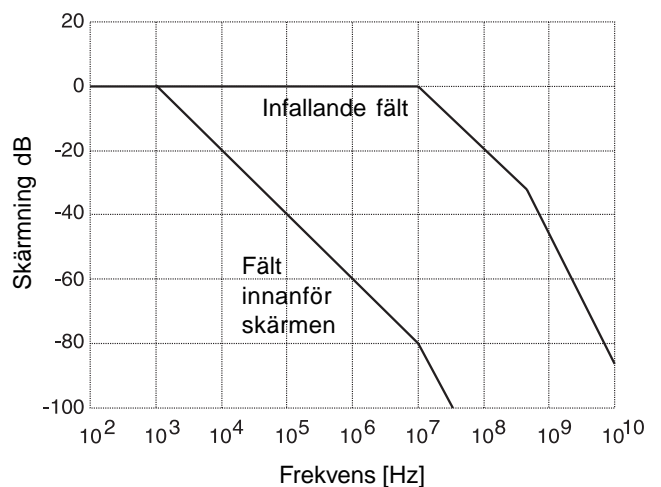


Bild 7. Spektrum för infallande fält och fält innanför skärmen enligt exemplet i bild 6.

Alla höga frekvenser har dämpats avsevärt vilket medför att den resterande pulsen inuti lådan är tämligen harmlös. Det är ju framförallt höga frekvenser som inducerar allvarliga störningar.

3. ProofCap som skärmande kapsling

Som framgår av bild 8 kan ProofCap bestå av en över- och en underdel som omsluter själva kretskortet. För att god galvanisk förbindning skall erhållas mellan de bägge delarna lägger man in en spiraliserad metalltråd med rektangulärt tvärsnitt i kanten mellan över- och underdel. Lock och botten varmpressas sen ihop i kanten under tryck. Metalltråden skär då in i respektive mässingsfolie och ger god kontaktering.

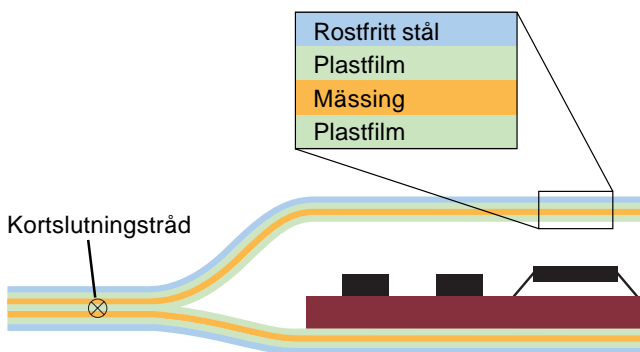


Bild 8. Tvärsnitt av ProofCap laminat.

Det torde ha framgått av det ovanstående såväl i sinus- som i transientfallet hur viktigt det är att en skärm är tät. Det är därför viktigt att förslutningen mellan över- och underdel eller kretskort av ProofCap kåporna utförs så att det bildas god galvanisk förbindning. Den använda metoden enligt beskrivningen ovan med en vriden metalltråd ger intermittenta långsgående inskränningar i mässingsfolierna. Mot bakgrund av alla erfarenheter kan denna förslutningsmetod anses vara fullt tillfredsställande.

I praktiken har det i en del fall visat sig att en rent kapacitiv koppling av ProofCap skärmen till kretskortet kan vara tillräcklig vid medelhöga frekvenser. Förslutningen mellan skärm och kretskort är då inte galvanisk utan kapacitiv. Det är då viktigt att kapacitansen blir stor dvs att skärmens anliggningsyta mot kretskortskopparn är stor och med så litet gap som möjligt.

ProofCap konstruktionen medger ju också möjligheten till lokala skärmvolymer på kretskortet. Det är då också nödvändigt att god kontaktering utförs runt om sådana kaviteter mot kretskortsfolien.

Skärmens relativa litenhet är givetvis till nackdel men det gäller ju alla små skärmkonstruktioner, inte bara ProofCap.

När det gäller sinusformade fält är naturligtvis den relativt tunna godstjockleken till nackdel, se bild 4 kurvan för Al 0,15 mm. I gengäld har skärmen relativt god ledningsförmåga vilket är av betydelse i synnerhet vid lägre frekvenser. Trots detta blir skärmdämpningen vid mycket låga frekvenser liten som visats i exemplen ovan.

Skärmmningseffektiviteten för kortvariga transienta fält är mycket god trots den tunna godstjockleken. I detta fall spelar det heller ingen roll att materialet inte har ferromagnetiska egenskaper eftersom dämpningen enbart beror på ledningsförmågan hos materialet. Med kortvarig transient menas kortare än 1 μ s. Ju kortvarigare transienten är desto bättre blir skärmdämpningen. För ESD-pulser (Electro-Static-Discharge) som ju kan vara kortare än en ns (nanosekund) blir därför skyddseffekten mycket stor med ProofCap.

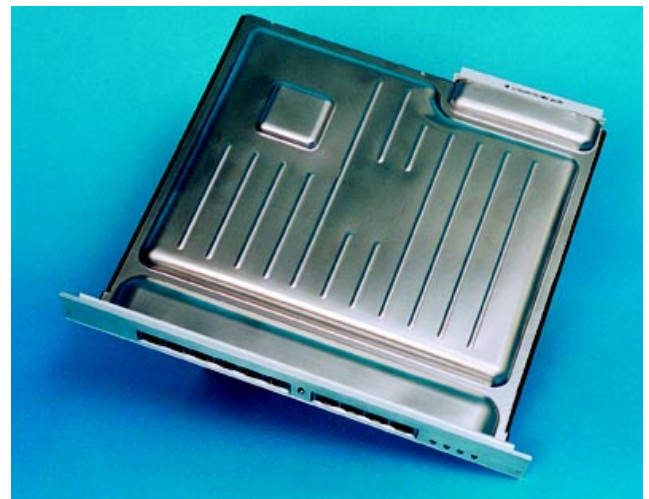


Bild 9. ProofCap applicerat på kort i ERICSSON mikrobassstation.