

Störare eller störd?

Att en apparat avger kraftiga störningar är givetvis ingen garanti för att apparaten ifråga är störningsökänslig. Gränsen mellan "störare" och "störd" kan ibland vara rätt flytande. Inte sällan är det så att en och samma apparat kan vara både storkälla och störokänsligt objekt. Det kan då hända att t.ex. en skärmningsåtgärd kan verka både som skydd mot fält/strålning och för att förhindra emission av fält/strålning.

9 Exempel på störokänslighetsarbete

A. Reservkraft

För att tillförsäkra enheter och anläggningar avbrottsfri elenergi är det oftast nödvändigt att installera *reservkraftsaggregat*. Dessa utgörs vanligen av en förbränningsmotordriven elgenerator av enfas- eller trefastyp. För effekter upp till c:a 10 kW är kraftkällan vanligen en bensindriven fyrtakts motor. För högre effekter används dieselmotorer.

Det man har att dimensionera aggregaten efter är:

- Erforderlig effekt.
- Erforderlig drifttid.

Drifttiden begränsas primärt av hur stor mängd bränsle man kan bunkra upp i anläggningen. Aggregat av ovanstående typ har en insatstid på mellan någon halvminut upp till kanske fem minuter. Allt beroende på aggregatens storlek och konstruktion.

I de fall sekundschnabbt skifte till reservkraft bör eller måste ske (som t.ex. på sjukhus) får man använda anordningar där kraftkällan är ackumulatorer. Dessa aggregats drifttidskapacitet behöver emellertid inte vara lång, utan kanske endast i storleksordning max. en timma. Under denna tid hinner man starta upp och fasa in de dieseldrivna generatorer som vanligen finns i dessa anläggningar.

Placeringen av de motordrivna aggregaten är viktig. Eftersom de alstrar en hel del ljud bör de ställas upp i ljudisolerat utrymme, alternativt långt från lokaler där människor kan bli störda av ljudet. Aggregaten avger också en hel del spillvärme. Detta måste man noga beakta och se till att utrymmet där aggregaten finns kan kylas tillräckligt effektivt. En viktig detalj här är placering, dragning och värmeisolering av avgasrören. Det finns exempel på reservkraftinstallationer där brand brutit ut på grund av felaktigt installerade avgasrör(-ledningar).

Projektering och installering av reservkraft bör ske i nära samarbete med elinstallationskonsult.

B. Spänningsstabilisatorer

I många fall måste man ha stabil spänning in i enheter eller anläggningar. För att motverka sekundsnabba eller snabbare variationer kan man använda olika typer av *spänningsstabilisatorer*.

En typ av dessa fungerar så att kärnan i en transformator drivs till mättnad, fig 9.1. Korta eller medellånga variationer (maximalt kanske någon sek.) kan då inte uppträda på drivspänningen. Förutom den här passiva konstruktionen finns också aktiva spänningsstabilisatorer.

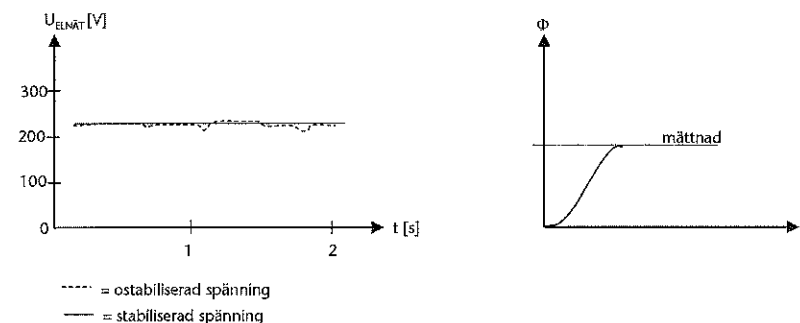
C. Lågfrekventa störströmmar ("övertoner")

Som beskrivits i kap. 5 och kap. 7 så avger många storkällor lågfrekventa störströmmar. I praktiken blir de störspänningar dessa strömmar ger upphov till låga på grund av att elnätimpedansen vid dessa frekvenser är låg eller mycket låg.

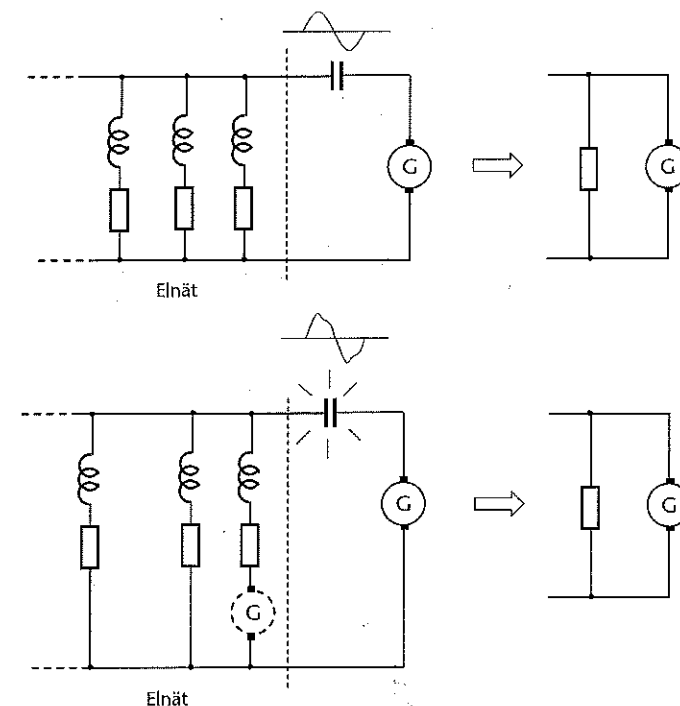
En egenskap hos dessa lågfrekventa strömmar är att de är starka även på långt avstånd från genereringsstället. De kan fortplantas kilometervis eller mera, och når med bibehållen styrka generatorstationer, transformatorstationer och ställverk. Som påpekats i kap. 7 ställer störströmmarna till problem där.

Problemen uppkommer i de faskompenseringskondensatorer som elverk och distributörer kopplar in i serie med nätet, fig. 9.2. Dessa kondensatorer är avsedda att arbeta vid 50 Hz och skadas av för kraftig övertonsrik ström.

Som framgår av fig. 9.2 är det tämligen svårt att tänka sig några skyddsåtgärder. De EMC-åtgärder som måste vidtagas får sättas in på "sändarsidan" så som tidigare beskrivits.



Figur 9.1 T.v: Spänningsstabilisering. T.h: Hur en spänningsstabilisator som arbetar efter "transformatorprincipen" fungerar.



Figur 9.2 Hur faskompenseringskondensatorer riskerar att förstöras vid inkoppling av laster som innehåller ökta störgenerator på elnätet, laster som ofta ger strömmen lågfrekvent och kraftig distorsion ("övertoner").

D. Högspända och (vanligen) pulsformiga störspänningar på ledning

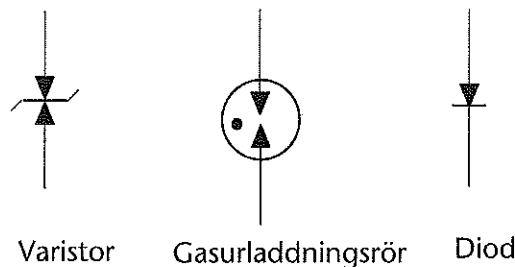
Ibland genereras mycket stora störspänningar på i första hand elnät- och signalledningar. Dessa störningar utgör ett kraftigt hot mot störningsoffren, trots att störningarna i allmänhet är kortvariga (kanske några ms).

Sålunda slår vissa apparater helt enkelt ifrån vid denna typ av påkänning. Om apparaten inte omedelbart därefter återstartar kan situationen bli ytterst allvarlig om utrustningen t.ex. är livsuppehållande.

Emellertid kan mera hända med störningsoffren än att utrustningen slår ifrån. Apparaturen kan nämligen förstöras. Att utrustning slår ifrån vid inkommande kraftiga pulser utgör nämligen ingen garanti för att utrustningen inte också skadas.

För att skydda apparatur från skador förorsakade av dessa ledningsbundna pulser kopplar man in speciella skyddskretsar i form av s.k. *transientskydd* (*transsorb*) på den ledning där pulserna kommer in. Transientskydd finns av nedanstående tre grundläggande typer. Fig. 9.3 visar deras schemasymboler.

- *Varistorer* utgörs av ett motstånd med spänningsberoende resistans. Vid viss storlek på spänningen över komponenten sjunker resistansen i varistor och den störande pulsen kortsluts. Varistorer är smidiga och lätta att applicera och finns med olika kortslutningsspänning.
- *Gasurladdningsrör*. Vid överspänning sker en jonisering inne i röret, varvid störspänningen kortsluts.
- *Dioder*. Dessa har oftast ett knä i sin spänningskurva i backriktningen. Om en pålagd spänning överskrider detta värde sker en kortslutning av strömmen.



Figur 9.3 Schemasymbolen för de tre vanligaste transientskydden.

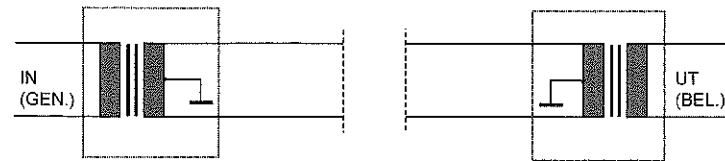
Transientskydd avsedda för elnätgången träder ofta ögonblickligt i funktion, vanligen när spänningen når c:a 300 V. De apparatdelar som ligger efter transientskydden skyddas därmed, inkl. de HF-störfilter (eller andra filter) som kan vara anslutna till apparaten ifråga. HF-störfiltren kan (liksom andra delar hos apparaten) förstöras av de högspända pulserna. Detta är speciellt allvarligt när det gäller HF-störfiltrens s.k. Y-kondensatorer (se fig. 7.15), vilka vid kortslutning kan spänningssätta chassiet hos den apparat där de är inkopplade. Dessa kondensatorer måste därför enligt elsäkerhetsföreskrifter klara spänningar på 5 eller 7 kV med åskpulsens form utan att förlora sin funktion eller isolation (se kap. 12).

Ursprunget till ovannämnda transienter är vanligen åsknedslag på ledning eller eventuellt elektrostatisk urladdning mot ledning. Särskilt besvärliga problem kan uppstå när en högspänd energirik transient uppenbarar sig på en signalledning för låg eller medelhög signalspänning. I detta fall kan transientskyddens kortslutningsspänning vara för hög (se praktiska exempel 7 kapitel 10).

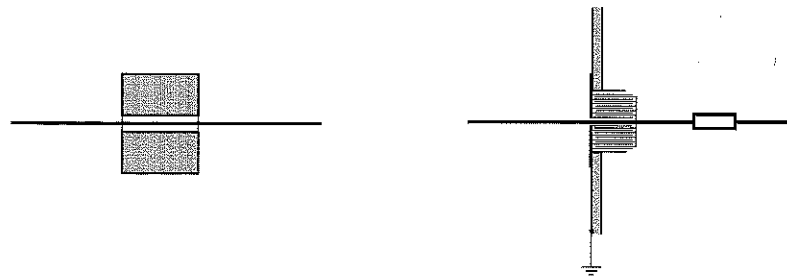
E. Lågspända och högfrekventa störspänningar på signal- och elnätledning

Ledningsbundna ovidkommande signaler kan förorsaka störningar i apparatur även om spänningarna är åtskilliga tio-potenser lägre än störpulserna under D. Sådana lågspända – vanliga – störningar är ofta kontinuerliga och kan därmed vara besvärliga. Störst problem får man när störningarna kommer in på signalledningar och dessutom har ett spektrum som sammanfaller med apparatens frekvensområde. Om en sådan störspänning ligger med olika potential på de båda ledarna i den aktuella signal(par-)ledningen, dvs. precis som nyttosignalen ligger, så kan man i princip inte göra någonting åt störningen.

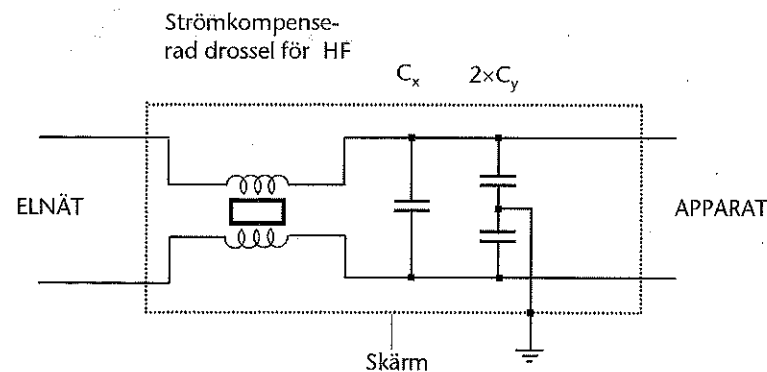
I en del andra fall är det emellertid inte så, utan störspänningar genereras med samma potential i parledningens båda ledare. Mellan ledarna föreligger alltså i princip ingen störspänning. Däremot mellan ledarna och jord. Jorden finns vanligen på en mängd olika punkter inne i den apparat som ledningen är kopplad till. Via kapacitiv läckning kan sedan störströmmar uppträda på olika platser i apparaten.



Figur 9.4 Skyddstransformatorer avsedda att eliminera störspänningar på signalledning vid låg HF/tonfrekvens.



Figur 9.5 HF-filter för signalledning, LP-filter i form av på ledning löst applicerad ferrit (t.v.) samt i form av genomföringskondensator (t.h.).



Figur 9.6 HF-filter mot inkommande störningar på elnätet.

När störspänningar föreligger i ovannämnda form har man vissa möjligheter att förhindra deras inträngande i störningsoffren. Lösningen heter *skyddstransformatorer*, fig. 9.4. Dessa är konstruerade så att de via ett mittuttag leder de i ledningarna genererade strömmarna till jord. Strömmarna i de båda transformatorhalvorna kommer att gå åt varsitt håll. Detta leder till att störströmmarnas båda magnetflöden i transformatorkärnan tar ut varandra. Någon vidare överföring av störningen kan därmed inte ske. Man säger att systemet är *balanserat*. (Ibland är endast ena sidan balanserad i kretsen. Man har då en *balanced-unbalanced* krets, sk. *balun*-krets). Tekniken med balanserade kopplingar med andra komponenter än transformatorer är välkänd sedan mycket låg tid tillbaka och tillämpas flitigt inom bl.a. audiotekniken.

Lite lättare är det att komma tillrätta med störningar på signalledning som ligger utanför apparatens (eller den aktuella kretsens) arbetsområde. I dessa fall kan nämligen störningen filtreras bort. Som tidigare påpekats så kan det vara viktigt att dämpa även sådana störningar, eftersom nyttosignal och störsignal genom intermodulation kan bilda distorsion i form av blandningsprodukter. Någon eller några av dessa sinus(cosinus)komponenter kan sedan hamna inom apparatens arbetsområde. De filter man använder är vanligen lågpasfilter eftersom störningarna ofta ligger högre än arbetsområdet. De komponenter man använder är kondensatorer och drosslar. Drosslar är vanligast och utgörs ofta av lösa ferriter vilka appliceras på den aktuella ledningen. Om kondensatorer används är de vanligen av genomföringstypen. Hos dessa leds störsignalen ner i den skärm som kondensatorn är monterad i. Fig. 9.5 visar stiliserat en ferrit och en genomföringskondensator. Om man behöver ett högpasfilter kan man montera en kopplingskondensator till den störda ledningen. Vid högre störintensiteter kan filter av "murata-typen" (drossel – parallellkopplad kondensator – drossel) vara effektiva. Dessa filter finns för olika frekvensområden.

Den kanske vanligaste inkörsporten för högfrekventa störningar är elnätet. På elnätet har givetvis inte HF-signaler att göra. HF-signaler som kommer in där kan läcka in i störningsoffret via nättransformatorer (kapacitiv koppling) och likriktare och så småningom nå signalförande kretsar.

I detta fall kan med fördel filter användas. Dessa ingångsfilter konstrueras på samma sätt som filter för apparater som är storkällor. Om apparatens ingångsimpedans är någorlunda högohmig och filtret innehåller X-kondensator blir störningsreduktionen

$$N = \frac{Z_{\text{NÄT}}}{X_c} \quad (9.1)$$

Om nätet just där apparaten används har låg impedans får man komplettera med drosslar (eventuellt både strömkompenenserad drossel och HF-drosslar). Den strömkompenenserade drosseln kan ge god avstörning åt en inkommande asymmetrisk störning. Ofta använder man här också Y-kondensatorer, fig. 9.6.

Ingångsfilter för elnätångar och för högre frekvenser finns av ett antal fabrikat. I datablad kan man få upplysning om lämpliga typer för olika apparater och driftförhållanden.

F. Elektriska fält

Från alla kroppar vilka håller potentialskillnad mot omgivningen utgår elektriska fält. I de modeller man vanligen använder föreställer man sig att en ström, förskjutningsströmmen, följer fältens utbredning. Hur stora förskjutningsströmmarna blir avgörs i väsentlig utsträckning av frekvensen. Om denna är = 0 uppkommer ingen förskjutningsström alls, men ju högre frekvensen är desto större blir denna ström, vilken ibland om den är oönskad, kan bli en störström i apparater och apparatdelar, t.ex. ledare och ledningar.

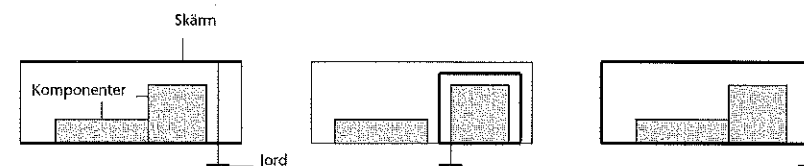
Trots att tämligen hög frekvens vanligen fordras för att man skall få störströmmar av intressant storlek kan 50 Hz räcka om spänningen (och därmed fältstyrkan) är tillräckligt stor samt om störningskretsen är höghögig (se sid. 100).

Är potentialskillnaden mycket stor kan besvärande strömmar genereras även vid låga frekvenser och på långt avstånd från källan, som t.ex. från elkraftledningar.

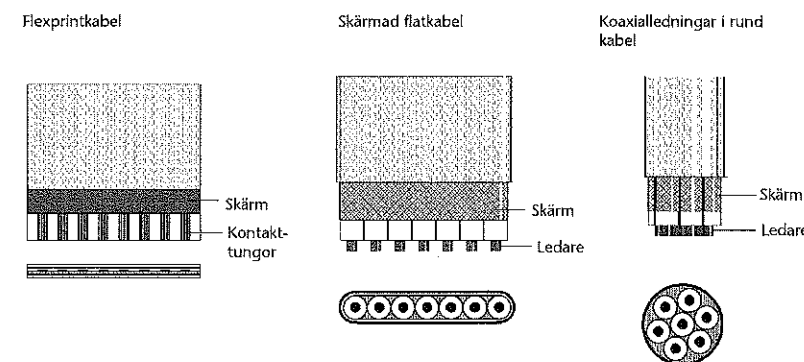
Den metod man använder sig utav när man skall skydda sig mot fält är *skärmning*. Den reduktionstyp som framför allt blir aktuell för E-fält (speciellt vid lägre frekvenser) är *reflexion*. Denna kan beräknas med nedanstående ekvation (ref. 9)

$$R_{\text{reflE}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot Z_0} \cdot \frac{\lambda}{2\pi r} \right] \quad (9.2)$$

Här är λ = våglängden [m], r = avståndet till fältgivaren [m] samt Z_0 = skärmens resistans uttryckt som $[\Omega]$. Produkten 120π har dimensionen $[\Omega]$.



Figur 9.7 Exempel på skärmning av apparater.



Figur 9.8 Exempel på skärmade signalledningar.

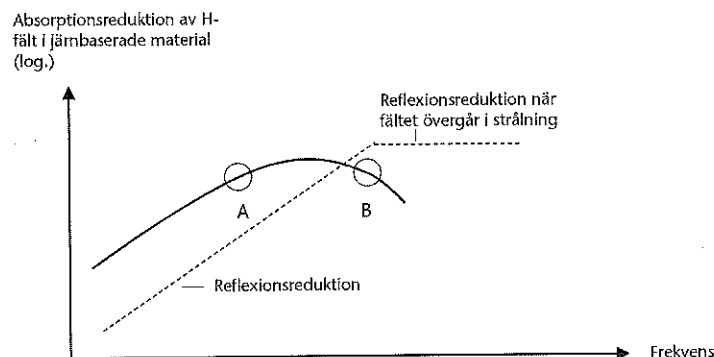
Exempel:

Hur stor fältreduktion genom reflexion får man med en skärm med resistansen $10 \text{ m}\Omega$ och vars avstånd till storkällan är 10 m? Frekvensen är 10 kHz.

Våglängden blir $3 \cdot 10^8 / 10 \cdot 10^3 = 30\,000 \text{ [m]}$

$$R_{\text{reflE}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot 0.01} \cdot \frac{30 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 10} \right] = 133 \text{ [dB]}$$

Av exemplet ser man att goda metallskärmar vid 10 kHz ger ett utomordentligt gott skydd mot E-fält. Vid högre frekvenser försämrast emellertid denna reflexionsverkan och går mot ett värde på c:a 80 dB i detta räkneexempel (se avsnittet: "EM-våg/-strålning").



Figur 9.9 Figuren visar hur absorptionsreduktionen minskar med frekvensen hos järnbaserade material. Var området A–B ligger är starkt materialberoende, men kan för vissa ferriter ligga mellan 0.05–3 MHz.

Av vad som redovisats ovan ser man alltså att risken för störningar förorsakade av E-fält ökar med frekvensen. Samtidigt blir skyddsmekanismen reflexion allt mindre effektiv ju högre frekvensen är. Vid höga frekvenser kan man därför behöva ta reduktionsmekanismen *absorption* i anspråk. Under nästa rubrik (G) visas en formel för beräkning av absorptionsreduktion.

Viktigt är att skärmningen är omsorgsfullt utförd rent mekaniskt. Detta blir viktigare ju högre frekvensen är. Detta mekaniska utförande skiljer sig i praktiken inte från utförandet av skärmar avsedda för utgående fält. Det bör i sammanhanget påpekas att inte bara apparater utan i hög grad också ledningar ofta behöver skyddas mot E-fält med skärmning. Mera om skärmars mekaniska utförande under rubriken "EM-fält/-strålning".

G. Magnetiska fält

Magnetfält stör på två olika sätt.

- Genom generering av elektrisk spänning i de kroppar fältet når (induktion).
- Genom interferens med andra magnetfält i t.ex. dynamiska mikrofoner, gammaldags teleslingor eller datormonitorer mm.

Störningen blir i det första fallet kraftigare ju högre frekvensen är. Vid frekvensen 0 Hz uppkommer ingen induktion alls.

Den skyddsmetod man har att tillgå är skärmning, och den fältreduktionsmekanism som man vanligen behöver lita till är reflexion. Reflexionsreduktionen ökar med ökande frekvens, något som är bra eftersom induktionsspänningen också ökar i motsvarande takt. Hur stor reflexionsreduktionen blir framgår av nedanstående ekv. (ref. 9)

$$R_{\text{reflH}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot Z_b} \cdot \frac{2\pi \cdot r}{\lambda} \right] \text{ [dB]} \quad (9.3)$$

Här är r = avståndet till fältgivaren [m], Z_b = resistansen i skärmen uttryckt som $[\Omega]$ samt λ = våglängden [m].

Exempel:

Enligt en föreskrift skall en viss apparat tåla ett magnetiskt fält vars fältstyrka är 60 dB över en viss referensnivå. Vid denna fältstyrka fungerar dock inte apparaten men väl vid nivån 40 dB. Man har därför beslutat sig för att förse apparaten med skärmning. Skärmningens resistans är $10 \text{ m}\Omega$ och avståndet till fältgivaren, vars frekvens är 1000 Hz, är 10 m. Är skärmningens resistans tillräckligt låg för att ge 20 dB fältreduktion? Ekv. (9.3) ger störningsreduktionen

$$R_{\text{reflH}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot 0.01} \cdot \frac{2\pi \cdot 10}{3 \cdot 10^5} \right] = 5.9 \text{ [dB]}$$

Svaret på frågan blir alltså att den fältreduktion som skärmen ger inte räcker till teoretiskt. Man kan dock satsa på absorption i stället för reflexion. Uttrycket för absorptionsreduktion av skärmning är (ref. 9)

$$R_{\text{absEH}} = 131 \cdot t \cdot \sqrt{f \cdot \mu_d \cdot \gamma_d} \text{ [dB]} \quad (9.4)$$

Här är t = skärmens tjocklek [mm], f = frekvens [MHz], μ_d = permeabiliteten relativt koppar samt γ_d = konduktansen relativt koppar, de sistnämnda faktorerna alltså [dim.-lös]. Konstanten 131 har dimensionen [dB/(mm $\sqrt{\text{MHz}}$)].

Eftersom järnbaserade material har μ_d -värden som är 300–1000 ggr värdet för koppar kan en skärm av ett järnmateriäl ge god reduktion även vid låga frekvenser. Om skärmen i exemplet ovan har tjockleken 1 mm, γ_d -värdet är 0.4 och μ_d -värdet är 800 får man en teoretisk reduktion på 74 dB, vilket alltså är tillräckligt. Tyvärr sjunker μ -värdet rätt drastiskt hos många järnbaserade material upp emot 1 MHz (eller tidigare, ferriter undantagna).

Vid skärmning mot lågfrekventa magnetiska fält (absorption) bör man se till, dels att slutna sekundära magnetiska kretsar helst inte bildas eftersom förlusterna i dessa kan bli betydande (det kan därför vara bra med t.ex. kisellegerat järn i skärmen). Man bör också vara observant på att man inte "flyttar" magnetfälten till andra platser i elmiljön. Det har visat sig att skärmar av vanlig *durkplåt* är effektiva i dessa fall.

H. EM-våg/-strålning

Från och med avståndet $\lambda/6$ från källan bildar även från början renodlade E- och H-fält en EM-våg. Avståndet $\lambda/6$ är vid 10 MHz 5 m. Från något 10-tal MHz och uppåt kan man alltså räkna med att fältgivande anordningar stör med EM-våg/-strålning.

Detta inverkar i praktiken dock inte på de avstörningsåtgärder man vidtar. Det är alltså skärmning som gäller. Hur stor reflexionsdämpning som skärmar ger teoretiskt framgår av ekv. (9.2) och (9.3), första delen, eller av nedanstående uttryck

$$R_{\text{refEH}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot Z_b} \right] \text{ [dB]} \quad (9.5)$$

Reflexionsreduktionen är alltså frekvensoberoende fr.o.m. $\lambda/6$, eller i det s.k. fjärrområdet. För ett material med $Z_b = 10 \text{ m}\Omega$ blir reduktionen

$$R_{\text{refEH}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot 0.01} \right] = 79.5 \text{ [dB]}$$

Ett sådant reduktionstal kan i förstone verka betryggande. Hyperkänsliga mät- eller styrkretsar kan dock behöva ännu större fältreduktioner. Man kan t.ex. tänka sig att en sådan krets fungerar först om en störande fältstyrka är så låg som $20 \mu\text{V/m}$. Om miljön kring denna apparat har en fältstyrka som ligger på 20 V/m behövs alltså en fältreduktion på hela 500 000 ggr eller 114 dB. Ovanstående metallskärm ger då en reflexionsdämpning på "endast" 79.5 dB. Hur åstadkommer man de resterande 35 dB:en?

Vi får nu anledning att beskriva det generella sambandet mellan infallande (I), reflekterad (R), absorberad (A) och transmitterad (T) energi hos en EM-våg när den möter ett annat medium än det som den dittills fortplantats i. Detta samband lyder

$$I = R + A + T$$

I det här sammanhanget vill vi förstås att T skall vara så liten som möjligt. R har vi behandlat tidigare. Återstår absorptionen A. Reduktion av EM-energi genom absorption kan som tidigare visats skrivas

$$R_{\text{absEH}} = 131 \cdot t \sqrt{f \cdot \mu_d \cdot \gamma_d} \text{ [dB]}$$

Här är t = skärmens tjocklek [mm], f = frekvens [MHz], μ_d = permeabiliteten relativt koppar samt γ_d = konduktansen relativt koppar, de sistnämnda faktorerna alltså [dim.-lös]. Konstanten 131 har dimensionen [dB/(mm $\sqrt{\text{MHz}}$)].

Exempel:

Vid 10 kHz har en 0.3 mm tjock kopparplåt en absorptionsreduktion av en EM-våg på

$$R_{\text{absEH}} = 131 \cdot 0.3 \sqrt{0.01 \cdot 1 \cdot 1} = 3.9 \text{ [dB]}$$

Vi ser här alltså skälet till varför absorption tidigare inte medräknats vid lägre frekvenser och för t.ex. koppar. Vid 1 MHz får vi en absorptionsreduktion på 39.3 dB. Om frekvensen i fallet med den känsliga kretsen ovan varit 1 MHz hade alltså en tunn kopparskärm varit tillräcklig som störningsreduktion. I fig. 9.10 visas vilka teoretiska värden på störningsreduktion genom absorption man får för några olika material och materialtjocklekar (ref. 9). De relativt låga värden man får för stål vid högre frekvenser sammanhänger med att μ -värdet är frekvensberoende.

Skärmmaterialets *tjocklek* har alltså stor betydelse för störningsreduktionen. Här kan man notera att fältets inträngning i materialet minskar med ökande frekvens. Förloppet vid inträngningen är sådant att inträngningen sker i "steg" eller "skin". Vid övergången till ett nytt "skin" sker en reflexion. Man kan räkna ut att reduktionen vid varje övergång blir $\approx 8.7 \text{ dB}$. Den energi som inte reflekteras fortplantas vidare eller övergår i värme. Av detta förstår man att ju flera "skikt" och ju tjockare material man har i en skärm

Frekvens (MHz)	KOPPAR			ALUMINIUM			ZINK			STÅL*		
	0.01	0.1	1	0.01	0.1	1	0.01	0.1	1	0.01	0.1	1
30	7	70	700	5.2	52	520	4	40	400	28	28	280
100	13	130	>1000	9.5	95	950	7	72	720	5	50	500
300	22	220	>1000	17	170	>1000	12	125	>1000	9	88	880

Figur 9.10 Teoretisk absorptionsreduktion i dB för några material med olika tjocklek (mm). (*reduktionstalen stiger inte med frekvensen som hos de andra metallerna pga. frekvensberoende μ -värde).

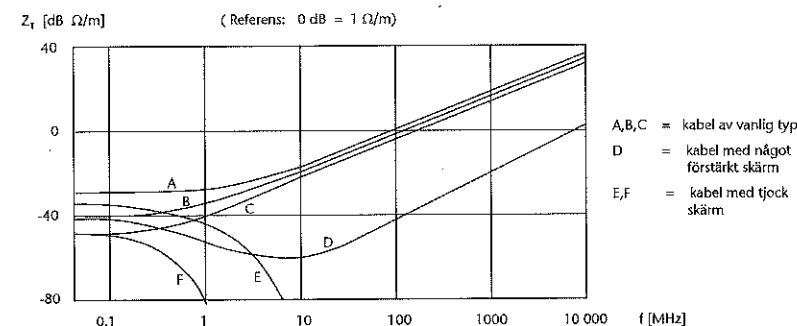
f (MHz)	STÅL	ALUMINIUM	KOPPAR
0.0001	0.66	8.45	6.60
0.001	0.21	2.67	2.09
0.01	0.07	0.84	0.66
0.1	0.021	0.27	0.21
1	0.007	0.084	0.066
10	0.002	0.027	0.021
100	0.0007	0.008	0.007
1000	0.0002	0.003	0.002

Figur 9.11 Teoretisk inträngning (mm) i olika material vid olika frekvenser.

desto större absorptionsreduktion får man. En tunn skärm åstadkommer alltså en större direkt överföring av fältet än vad en tjock skärm gör. Det är strömmen på skärmens *insida* som räknas. Figur 9.11 (ref.20) visar inträngningen i olika material vid olika frekvenser (37% kvarvarande fältstyrka).

Ledningar är ofta en svag länk hos apparater när det gäller störningskänslighet. Även om en störande EM-våg inte når en ledning direkt kan en koppling från ett stort apparathölje ("kapacitiv koppling") lätt ske. Undersökningar har visat att speciellt de ledare som ligger i kanterna hos bandkablar blir känsliga för sådana störfält (ref.9). Kontaktdonen är också en svag punkt vid HF. Figur 9.13 visar exempel på lämplig utformning av kontakter för HF-signaler, analoga eller digitala. Viktigt är att kontakthöljerna omsluter hela kontakten 360° och att förbindelsen mellan apparathöljet och kontakthöljet är bästa tänkbara. Alla glipor riskerar att bilda ettriga fält vilka sedan överförs till ledare eller komponenter. Trådändar mm. hos höljen och ledningar bör undvikas eftersom de kan bilda antennliknande element med stark fältbildning som följd.

Ett problem hos ledningarna och hos höljen överhuvudtaget är var *jordningar* skall anbringas. Grundregeln vid LF är att man gärna jordar en skärm i endast en punkt (ofta vid generatoren). Detta gör man för att förhindra "jordslingor", dvs. oavsiktliga kretsar med låg eller mycket låg impedans och genom vilka magnetflöden kan passera. Även små potentialskillnader i dessa slingor kan ge höga strömmar med störningar som följd. Vid HF (i synnerhet vid hög HF) bör man undvika att jorda i bara en punkt. Skälet är att stora potentialskillnader uppkommer även i skärmmaterial och liknande på grund av den med frekvensen starkt stigande impedansen.

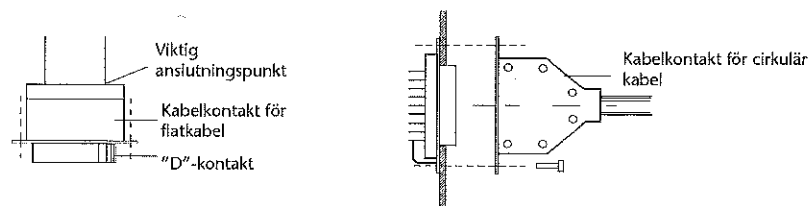
Figur 9.12 Z_T som funktion av frekvensen. Se texten:

Två grundregler bör tillämpas vid störningsreduktion av högfrekventa fält. (1) försök få skärm materialet så solitt – täthet och tjocklek – som möjligt (= är ekonomiskt möjligt). (2) försök undvika potentialskillnader. Även skärmmaterial uppvisar betydande impedans vid hög HF. Det är därför ofta fördelaktigt med flera jordpunkter. Några problem med jordslingor uppstår vanligen inte på grund av de höga impedanserna.

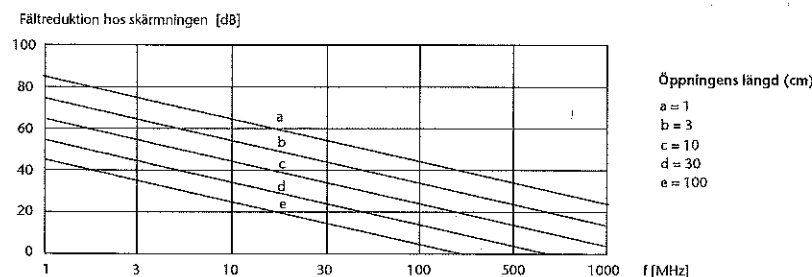
Figur 9.12 (ref.9) är intressant. Den visar impedansen som funktion av frekvensen hos ledningshöljen/skärmar. Impedansen är uttryckt som $Z_T = V_i/I_{sh}$, där V_i är spänningen på *insidan* av några typer av koaxialledningar och I_{sh} den totala strömmen i skärmen. Som väntat uppför sig mindre solida skärmar ungefär som vanliga ledare. När tjockleken ökar minskar strömmen på skärmens insida, vilket får till följd att praktiskt taget inga potentialskillnadsbildande strömmar kan bildas där hos de tjockare skärmarna (typerna E och F). Man ser här att impedansen *avtar* med frekvensen.

Ju tjockare och tätare skärm desto bättre (man talar ibland om den optiska tätheten). Även små glipor försämrar vid höga frekvenser skärmarnas fältreduktion. Detta står i stark kontrast till nödvändigheten av *öppningar* i många apparathöljen. Många komponenter utvecklar nämligen så stor värme att viss kylning är nödvändig. I annat fall fördärvas komponenten eller så förändras komponentens parametrar till oönskade värden. Förhöjda temperaturer påskyndar också åldringen hos material.

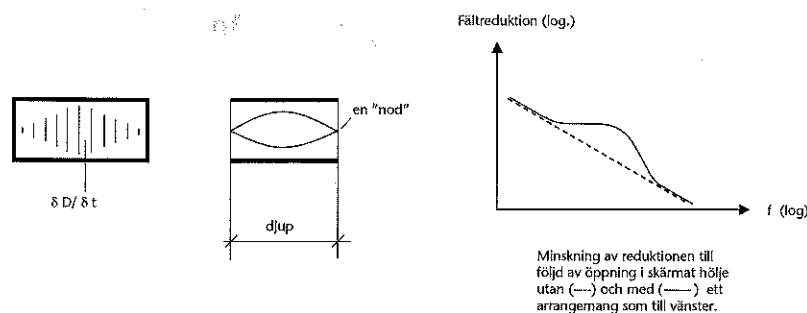
Öppningar för spontan eller forcerad kylning är alltså hos många apparater nödvändiga. Öppningar i höljen tillåter inte bara delar av fält att få kontakt med konstruktionens komponenter. De kan i vissa fall också ge förstärkta fält. Höljet i sin helhet kan nämligen vid vissa frekvenser fungera



Figur 9.13 Exempel på kontakter som ger god reduktion av fält och EM-strålning även vid hög HF.



Figur 9.14 Hur öppningar i skärmande höljen minskar fältreduktionen.



Figur 9.15 Principen för hur en stående våg kan bildas i en öppning och hur detta kan utnyttjas vid anordnandet av ventilationsöppningar i höljen.

som en öppen kvartsvågsledning eller halvvågsantenn. Där ledningens ändar möts får man då förstås ett förtäckt E-fält (jämför med slitsantenn). Figur 9.14 (ref.9) visar hur mycket spalter av olika längder försämrar ett höljes skärmande effekt. Här ser man att även en springa med 1 cm (!) längd kan *sänka* skärmningens reduktion med 60 dB vid 1 GHz jämfört med reduktionen vid 1 MHz.

En lösning på detta problem är följande. Vi vet från ledningsteorin att energin hos kortslutna ledningar pendlar mellan ett spänningsmaximum i mitten av ledningen till ett strömmaximum i änden på ledningen och att dessa strömmar och spänningar kan bli stora om förlusterna är små. Detta innebär att tillförseln av ny energi blockeras vid dessa frekvenser. (Det hela påminner lite om förhållandena hos en vanlig parallellresonanskrets).

Om man inför en tvärställd kortsluten "ledning" av denna typ i ett slutet hölje får man alltså en ventilationsöppning samtidigt som man kan bibehålla en viss störningsreduktion upp till den frekvens där "ledningen" svänger. Man kan alltså i viss mån styra höljets övre gränsfrekvens, fig. 9.15. Djupet hos "kretsen" har betydelse. Storleken hos detta djup sammanhänger med att en nod måste kunna utbildas i transmissionsriktningen (jämför med fig. 4.17 och våglängden λ_p).

Man kan sedan av ett antal element av denna typ skapa en nödvändig ventilationsöppning. En vanlig typ är bl.a. "bikakemodellen" fig. 9.16. Storlek och reduktion hos varje del kan beräknas med nedanstående uttryck (ref.20). Gränsfrekvens för ett rektangulärt element

$$f_{r\text{"rekt"}} = \frac{c}{2 \cdot d_1} \text{ [Hz]} \quad (9.6 \text{ a})$$

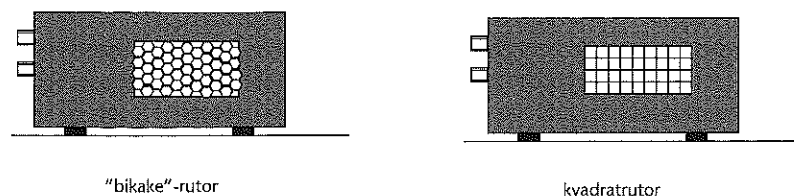
och för cirkulärt element

$$f_{r\text{"rund"}} = \frac{c}{2 \cdot d_d} \text{ [Hz]} \quad (9.6 \text{ b})$$

Här är c = EM-vågens utbredningshastighet [m/s], d_1 = sidan hos elementet (längsta) [m], d_d = diametern hos elementet [m]. Maximal reduktion kan man få ur

$$S_{r\text{"rekt"}} = 27.2 \frac{1}{d_1} \text{ [dB]} \text{ respektive } S_{r\text{"rund"}} = 32 \frac{1}{d_d} \text{ [dB]} \quad (9.7 \text{ a,b})$$

l = djupet hos elementet [m].



Figur 9.16 Sammansättning av öppningar enligt ovan till nät/galler.

Det är givetvis ingen fördel att ha stora totala öppningsytor. Det som avgör hur stora dessa skall vara är dels hur stor fältreduktion man behöver, dels hur stor temperaturhöjning man kan acceptera. När ett antal element samverkar (fig. 9.16) kan reduktionen teoretiskt beräknas med

$$A = 27 \log \frac{1}{d} - 20 \log N \text{ [dB]} \quad (9.8)$$

Här är N = antalet element. I övrigt är beteckningarna som i uttrycken ovan.

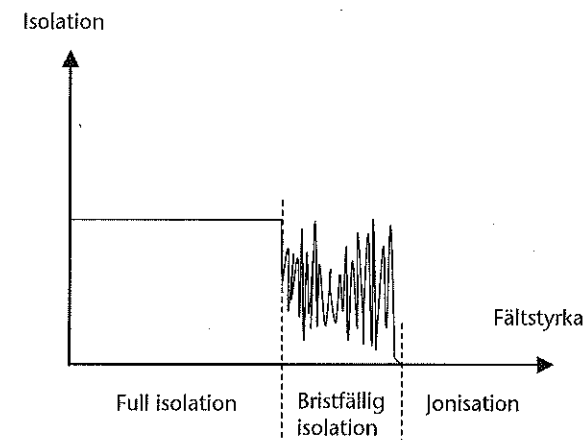
En billigare typ utgörs av en plåt i vilken ett antal öppningar är stansade. (Se under "Mikrovågsugnar").

I. Strömpåverkan genom jonisation ("urladdning") i isolerande material

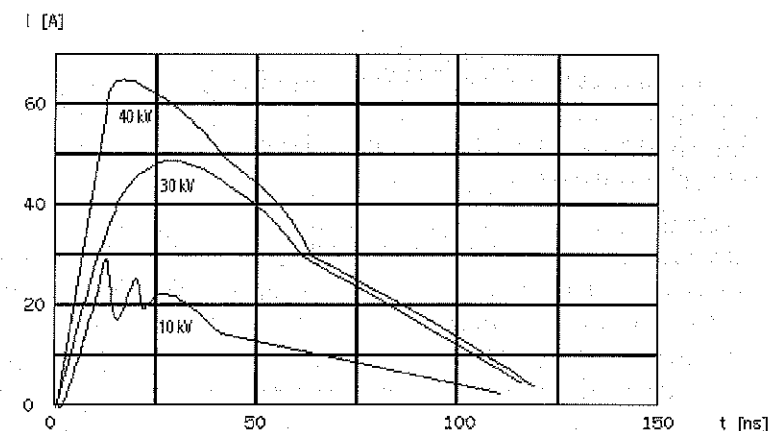
Överslag i allmänhet. Statisk elektricitet.

När den elektriska fältstyrkan mellan två punkter blir tillräckligt hög sker en förändring i det mellanliggande materialet. Ett från början isolerande material blir till slut genom *jonisation* elektriskt ledande. Jonisationsförloppet kan se ut på lite olika sätt. Fig. 9.17 visar hur isolationen kan variera vid slutningen av t.ex. en kontaktor.

Källan till jonisationsström är ofta statiskt uppladdade föremål. Mekaniserna för hur urladdningen sker torde vara tämligen komplicerade i detalj, men urladdningsförloppen får ungefär samma karaktär som kortvariga strömstötter i vanliga kretsar, dvs. man har att ta hänsyn till resistans, induktans och kapacitans och kan ställa upp vanliga kretsmodeller för dem. I fig. 9.18 visas utseendet hos strömmen hos en artificiell person (elek-



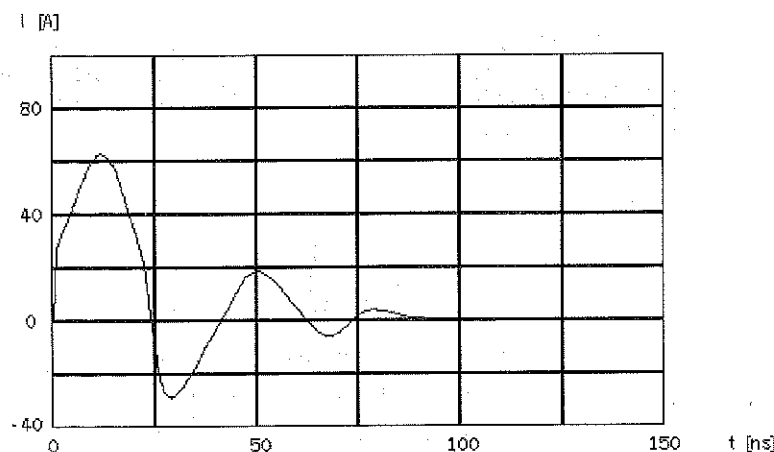
Figur 9.17 Hur isolationen hos luft bryts ner vid slutning av t.ex. en kontaktor.



Figur 9.18 Strömmen som funktion av tiden vid urladdning av en "artificiell person". Spänningen före urladdning är parameter.

trisk modell) som urladdas vid olika spänningar. I fig. 9.19 visas exempel på uppmätt ström vid urladdning från möbler och föremål.

De mycket stora men kortvariga strömmar som uppkommer är i allmänhet ofarliga för människor på grund av sin kortvarighet och vår skapnad, men kan i många fall störa, skada eller förstöra apparater, inte minst sådana som



Figur 9.19 Exempel på ström som funktion av tiden vid urladdning av möbler.

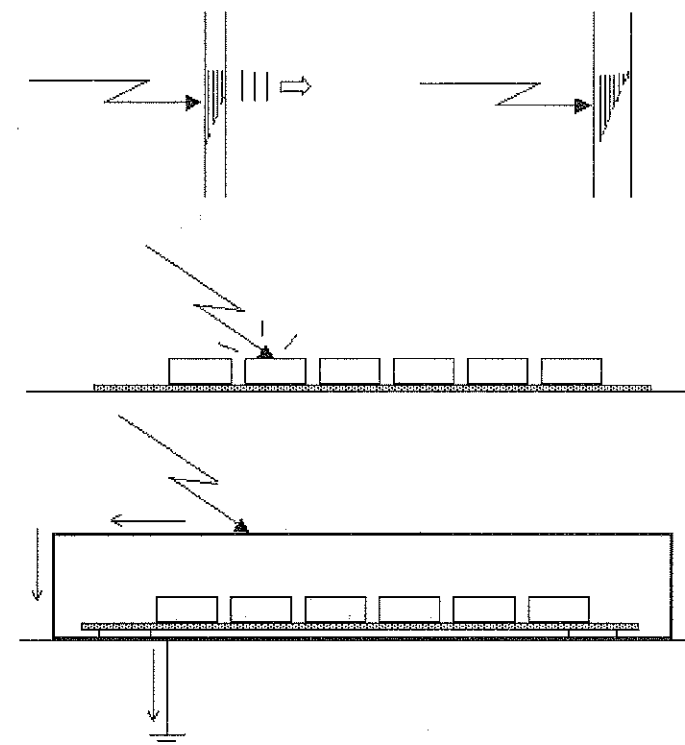
innehåller ömtåliga halvledare. Vid direkt urladdning mot en apparat uppstår förstås en urladdningsström i apparatens koppling. En ström som mycket väl kan ge – om inte mekaniska skador på komponenterna – så ändå "inre" skador i dem, kanske allvarliga.

De skyddsåtgärder man kan vidta är att omsluta apparaterna med *jordade* metallhöljen (dvs. i princip samma anordningar som de tidigare beskrivna skärmarna). Gör man detta så kommer avståndet mellan de uppladdade föremålen och skärmen vanligen att vara mindre än mellan dessa föremål och apparatens innandöme. En eventuell urladdning kommer därmed att ske mot apparathöljet i stället för mot komponenterna.

För att inte en onödigt kraftig momentan störning av apparaten ändå skall ske (strömmen i skärmen bildar ju ett magnetfält) är det bra om det omslutande metallhöljet (skärmen) inte är alltför tunt, fig. 9.20.

Man får i detta sammanhang inte glömma att statiska urladdningar mellan kroppar också kan ge en kraftig EM-våg, som givetvis kan störa andra apparater än dem som (eventuellt) är inblandade i urladdningsförloppet. Det är därför – även indirekt – viktigt att se till att apparater och annat inte blir statiskt uppladdat.

I miljöer där statisk elektricitet lätt uppkommer måste alltså apparater förses med skydd av ovanstående typ, dvs. samma sorts skydd som mot EM-



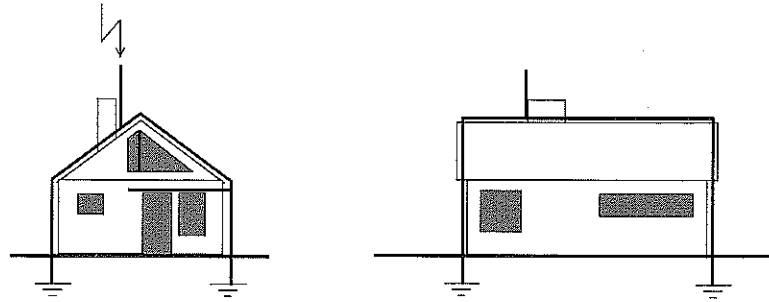
Figur 9.20 Överst: Betydelsen av en skärms tjocklek vid direkt urladdning mot skärmen. I mitten och underst: Det är viktigt att urladdning inte sker direkt mot komponenterna.

fält/-strålning bara med den skillnaden att skärmningen ofta kan behöva vara mera solid.

Blixurladdning. Åska.

De problem som uppstår vid statiska urladdningar är små jämfört med de skador som kan uppstå vid *blixurladdningar/åska*. Vid dessa urladdningar blir strömmarna flera tiopotenser högre än vid urladdningar förorsakade av statisk elektricitet.

Trots relativ kortvarighet blir skadorna på både människor och materiel stora. Hos människor riskerar både nervbanor och vävnad att fördärvas, på grund av strömmens storlek. När det gäller materiel så ger dessa stora strömmar upphov till stark uppvärmning hos material med små specifika



Figur 9.21 Exempel på hur åskledare kan arrangeras.

värmetal. Höga temperaturer leder till risk för brand hos material med låg antändningstemperatur. Gasutveckling kan också ske vid uppvärmningen. Allt detta leder oftast till mekanisk förstörelse och/eller brand.

Även som skydd mot blixtnedslag är skärmning bästa skyddsmetoden. Eftersom man emellertid sällan kan göra hela byggnader av metall föredrar man ett enkelt "nät" av grov koppartråd avslutat med en punkt, "antenn", så högt från marken som möjligt, fig. 9.21.

Funktionen bygger på förhållandet, att den ena polen (= luftmassan) är utbredd och/eller rörlig samt att urladdning sker där fältstyrkan är störst, dvs. där avståndet är minst mellan polerna. Vidare vill man att urladdningsströmmen skall nå jord under minsta möjliga effektutveckling varav följer att man skall använda grov koppartråd i de ledare som utgör åskskyddet.

Biografi

Hur angelägen en immunitetsåtgärd är beror förstås i hög grad på hur stor skada störningen förorsakar. Några av de värsta problem man kan tänka sig uppstår vid blixtnedslag. Därför torde man också mycket tidigt ha varit angelägen om att kunna skydda sig mot detta naturfenomen.

En av de verkliga pionjärerna på elektrofysikens område var amerikanen *Benjamin Franklin* (1706–90). Franklin var förutom fysiker också politiker och debattör. Vida berömda är hans experiment med "åskuppfångare". Franklin bekräftade med dessa experiment sin hypotes att blixten var en elektrisk urladdning.

Att han lyckades få acceptans för denna teori och upptäckt är rätt anmärkningsvärt eftersom han levde i en tid då även tämligen upplysta människor gärna gav olika fenomen och upplevelser övernaturliga förklaringar. Främst tack vare Franklins insatser utvecklades sålunda tidigt den mycket viktiga skyddsanordningen åskledare.

10 Praktiskt EMC-arbete

Inledning

Allt EMC-arbete går i princip ut på att se till att de apparater och anordningar som finns i en viss elmiljö fungerar på avsett sätt även när samtliga enheter är i drift. När så inte är fallet är orsaken generellt:

- A) En eller flera enheter har för hög störnivå.
- B) En eller flera enheter är för störningskänsliga.
- C) Installationen är olämpligt utformad/konstruerad.

I det här kapitlet kommer vi att med exempel visa hur man kommer tillrätta med olika EMC-problem. Exempelen är så när som på tre stycken hämtade från praktiken. Vi kommer också att gå igenom vilka komponenter och vilket material som används vid de olika avstörnings- och immunitetslösningarna. Under punkt C) – installationer – tas inte några exempel upp, utan framställningen har här i stället karaktären av praktiska råd vid utformningen av installationerna.

Enheter, avstörning

Mätningar av störnivåer

Strängt betraktat behövs ingen uppmätning av störspanningar och störande fält om det enda målet med EMC-arbetet är att apparaterna och maskinerna i en viss elmiljö skall fungera vid samtidig drift. Emellertid är det oftast ändå en stor fördel om man här koll på störnivåerna. Det kan ju nämligen lätt hända att en apparat flyttas till en annan och känsligare miljö och där blir en störkälla.

Som *mycket grov* tumregel kan man säga att en HF-störkälla är "störningsfri" om den ledningsbundna störspanningen ligger under 0.5–1 mV, respektive