

7 Avstörning av några vanliga störkällor

Inledning

I detta kapitel beskriver vi ett antal apparater, anordningar och naturföreteelser vilka avger eller kan avge för höga EM-störnivåer samt hur man nedbringar dessa störnivåer. De olika objekten är indelade efter de definitioner som anges i kap. 5.

TYP 1

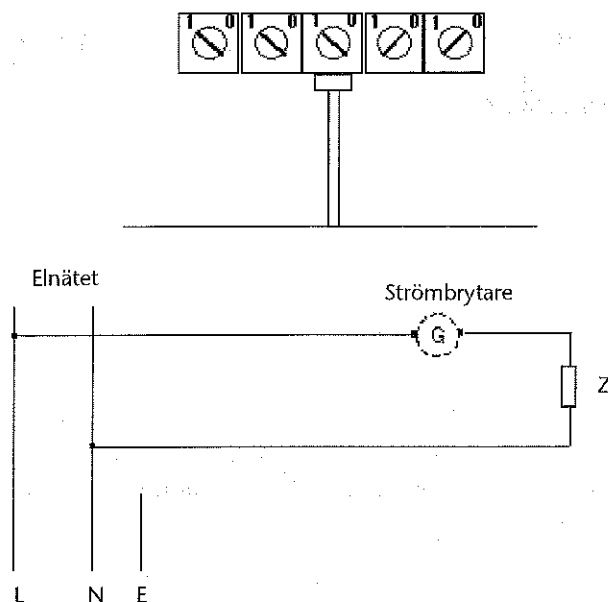
Högfrekvens. MEKANISK STRÖMSTÄLLARE

Konstruktion

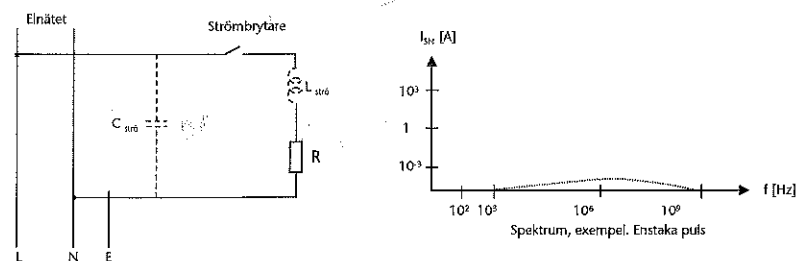
Strömställaren/strömbrytaren är principiellt intressant ur störsynpunkt. Den åstadkommer vanligen en lång "enkel puls". När pulser är långa konvergerar emellertid spektret mot en bandbredd på 0 Hz, med ett avstånd mellan spektrets sk. nollställen (se t.ex. fig. 1.11) som $\rightarrow 0$ Hz.

En strömställare förefaller alltså teoretiskt att ge ett spektrum som mest är av akademiskt intresse. I praktiken förhåller det sig emellertid något annorlunda. Orsaken till detta står att finna i de faktiska förhållanden som råder i de flesta elektriska kretsar. I fig. 7.2 visas hur det finns sk. strökapacitanser och -induktanser även i resistiva kretsar. Detta leder teoretiskt till att strömmens uppgång från 0 till det nominella värdet inte sker ögonblickligt. Ofta har denna uppgång formen av en mer eller mindre uttalad överlagrad dämpad svängning. Denna svängning är dock ibland ersatt av endast en "puckel", fig. 7.3.

En enkel *mekanisk brytare* består vanligen av två fjäderbelastade kontaktningar (eller motsvarande) vilka ligger an mot varandra med en viss kraft. När dessa ytor från öppet läge närmar sig varandra vid tillslag kommer fältstyrkan mellan dem till slut att, på grund av det minskande avståndet, nå ett

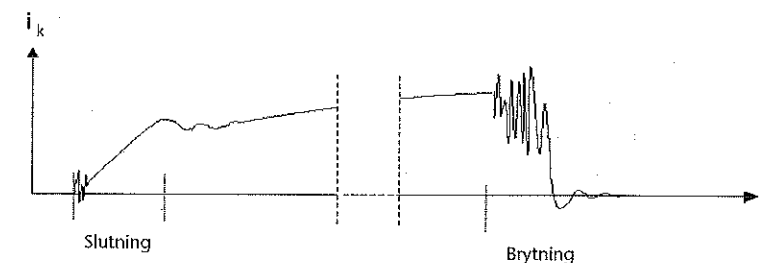


Figur 7.1 Mekanisk strömställare som störkälla.



Figur 7.2 En modell för en krets med resistiv last manövrerad med mekanisk strömställare samt schematiskt exempel på spektrum.

värde där luftens isolation inte blir fullt tillräcklig för att förhindra utbildandet av en ledningsström. Viss men inte fullständig *jonisation* äger rum. Denna kallas *glimning* och är periodisk. Periodiciteten kommer sig av att ett energiutbyte äger rum mellan ströinduktanser och -kapacitanser. Förloppet får dock måttlig intensitet vid tillslag. (En modell som nog beskriver verkliga fysikaliska förhållanden blir komplicerad).



Figur 7.3 Strömmen genom kontakten vid slutning och brytning i kretsen i fig. 7.2.

Vid fränslag får man en annan situation. Den i ströinduktansen lagrade energin kan inte plötsligt försvinna. I stället höjs spänningen över kontaktgapet och strökapacitanser laddas upp till allt högre energinivåer. Förloppet pågår periodiskt, vanligen till dess att spänningsstegringen blir så stor att den förmår tända en ljusbåge mellan kontaktytorna, fig. 7.3

Trots uppkomsten av ett högfrekvent förlopp med ofta relativt starka komponenter i MHz-området är förekomsten som störning av begränsad betydelse. Orsakerna till detta är två:

- Störningen är enstaka.
- Störningen har begränsad tidsutsräkning.

Hur stor störtiden blir beror förutom på den störda apparatens konstruktion också på med vilken bandbredd denna apparat arbetar. Ju mindre bandbredd desto större nominell störtid. Emellertid minskar också störspänningen med minskad bandbredd. Med de bandbredder man normalt har hos apparater störkänsliga för dessa fenomen (företädesvis radiomottagare), samt med de intensiteter som kan bli aktuella, ger denna puls knappt upphov till störning. Undantag finns dock. Ett vardagligt praktiskt exempel är följande.

Jag (L-OB) har i min bostad en vanlig FM-mottagare (87.5–106 MHz). Denna är placerad alldeles intill en ledning vilken går till en liten 15 W glödlampa manövrerad av en enkel mekanisk strömbrytare. Avståndet mellan radions antenn och ledningen är c:a 3 dm. Vid tillslag av lampan hörs ingen störning i radions högtalare, men däremot vid fränslag. Man hör då ett kortvarigt sprakande. För att detta skall ha kunnat bli så tydligt detekterbart bör varaktigheten uppgå till gissningsvis ett antal ms. Om radion

avlägsnas någon m från elledningen blir fältstyrkan för liten för att störning skall uppkomma även vid frånslag.

I normalfallet vidtar man alltså inte några speciella avstörningsåtgärder på switchar som manövrerar i huvudsak *resistiva* laster.

Högfrekvens. MEKANISK STRÖMSTÄLLARE SOM MANÖVRERAR INDUKTIV LAST.

Konstruktion

I många fall är de laster som manövreras av olika slag av switchar givetvis inte resistiva. Mycket ofta är de i stället induktiva som t.ex. *reläer* och *kontakter*. Det kan också vara olika typer av elektromagneter mm. Brytförloppet blir här betydligt intensivare än som beskrivits ovan. Även vid brytning av relativt små induktanser kan spänningen mellan brytarens kontaktytor uppgå till 200–400 V och förloppet kan nominellt ha en tidsutsträckning på 500 μ s (ref.14).

De *akustiska* störtider som kan bli aktuella, blir på grund av den mekaniska trögheten i de ljudproducerande anordningarna mycket längre än 500 μ s, kanske så lång som 50 ms. En så lång akustisk störning är vanligen klart märkbar.

Låt oss betrakta kretsen i fig. 7.5. Här är E = batterispänning, i = ström i kretsen, R_l = förluster i kretsens spole, L = induktans i denna spole. R_k = resistans i brytarens kontaktgap. Enligt Kirchhoff II kan följande ekvation ställas upp.

$$E = R_l \cdot i + R_k \cdot i + L \frac{di}{dt}$$

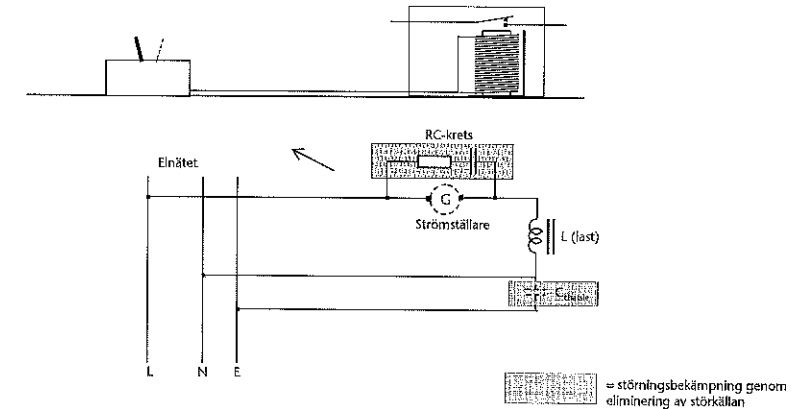
Ekvationens lösning av strömmen i vid brytning blir

$$i = i_0 \cdot e^{-\left(\frac{R_l + R_k}{L}\right)t}$$

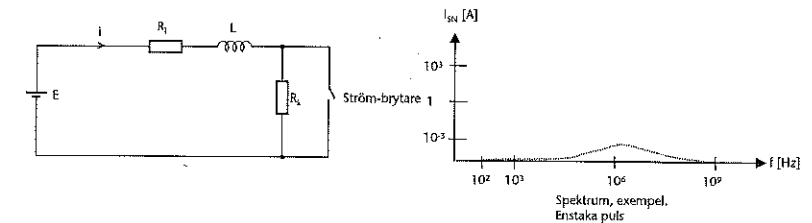
I exponenten är $-1/\frac{R_l + R_k}{L} = \tau_L$ kretsens *tidskonstant*. Av särskilt intresse är storleken på i_0 , vilket kan räknas ut till

$$i_0 = \frac{E}{R_l}$$

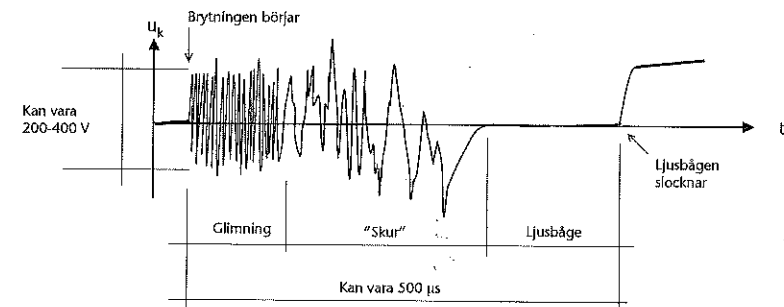
I första ögonblicket är alltså $i = i_0$. Man inser att om $R_k \rightarrow \infty$ måste också spänningen över kontakten $u_{R_k} \rightarrow \infty$. Detta händer givetvis inte i praktiken utan i stället får man ett sådant förlopp som beskrivs ovan och som grafiskt



Figur 7.4 Bekämpning av EM- störningar vid switchning av induktiv last.



Figur 7.5 Modell för en krets med induktans och brytare samt schematiskt exempel på spektrum. Se texten.



Figur 7.6 Hur spänningen över en mekanisk switch kan utvecklas vid brytning av en induktans.

framställs i fig. 7.6. Den första fasen kallas *glimning*, nästa fas "*skur*" (tyska schauer) samt sista fasen *ljusbåge* (ref.14).

Avstörning

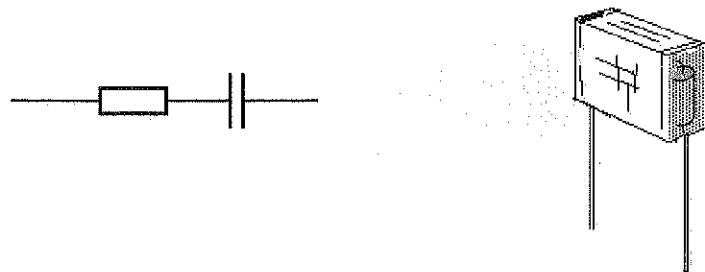
Eliminering

Detta intensiva förlopp kan ge en störning i ex.-vis en radiomottagare. Den avstörningsåtgärd man i första hand tänker sig när det gäller oönskade störgeneratorer är eliminering (eller i varje fall minskning) av det oönskade fenomenet. Detta är emellertid i de flesta fall i praktiken mycket svårt eller omöjligt. I fallet med brytare – speciellt de som manövrerar induktiva laster – kan man dock komma en bit på väg med elimineringsåtgärder. Den metod man använder är följande:

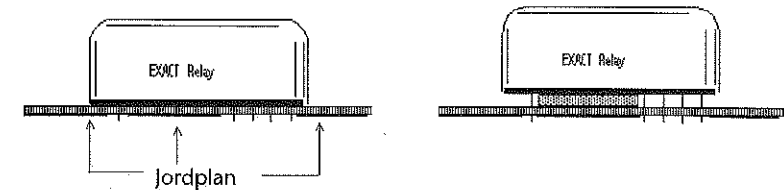
En över brytaren kopplad kondensator kommer att sänka den höga spänningen där, genom att energin från spolen lagras i denna kondensator. Man har

$$W_c = \frac{1}{2} C \cdot u_c^2 \text{ [Ws]}$$

Gör man kondensatorn stor kommer alltså spänningen att bli låg över brytaren. När man nästa gång sluter kontakten kommer man emellertid att få en kraftig strömstöt genom denna (om inte strömmen i kondensatorn har "läckt" bort innan dess). Detta utgör en påfrestning för kontaktmaterialet. Denna ström minskar man genom att koppla ett motstånd i serie med kondensatorn. Motståndets resistans höjer emellertid den spänning som man vill minska över kontaktgapet. Man kompromissar och väljer en lagom stor kondensator seriekopplad med ett motstånd. Den beskrivna kopplingen



Figur 7.7 RC-krets. Schemasympol och fysiskt utseende. Ungefär naturlig storlek (0.1 μF + 220 Ω).



Figur 7.8 Hur man genom att montera ett relä på distanser kan minska $C_{chassie}$. Se texten.

kallas *kontaktskydd* (eller RC-krets), fig. 7.7. Värdet på R och C kan räknas ut med nedanstående uttryck

$$C = I \cdot k [\text{F}] \text{ och } R = R_1 [\Omega] \quad (7.1 \text{ a,b})$$

Här är I = strömmen i kretsen [A], k = en konstant med värdet 10^{-6} [F/A] och R_1 = inre resistansen i kretsen [Ω]. Ibland nöjer man sig med enbart kondensator. Denna ges då ett värde på 22 nF – 0.47 μF .

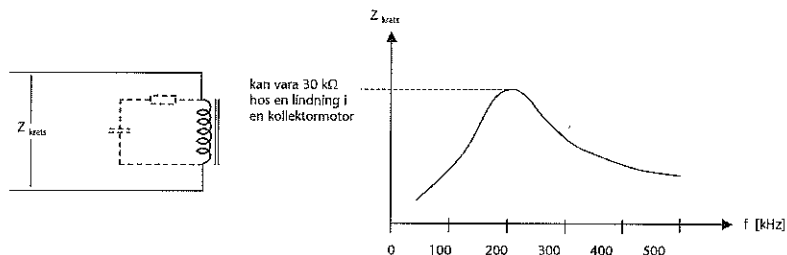
Ett problem som tidigare berörts är den asymmetriska störningen, dvs. störspänningen mellan fas och skyddsjord hos nätdrivna apparater (t.ex. kontaktorer). Störströmmen denna väg är starkt avhängig impedansen mellan fas och jord. Eftersom impedansen här oftast utgörs av en kapacitans kan störströmmen och därmed den asymmetriska störspänningen $U_{s(a)}$ nedbringas genom att man minskar denna kapacitans, t.ex. så som visas i fig. 7.8. Denna metod kan även användas för att minska de asymmetriska störningarna från switchade likspänningsaggregat, tyristorstyrningar mm.

Filter

Det kan hända att ovanstående åtgärder räcker för att nedbringa konstruktionens störnivå till föreskrivet värde. Om så emellertid inte är fallet måste man reducera störnivån med filter. Ett speciellt problem i sammanhanget är att man här har att göra med enstaka pulser. Dessa är vanligen kortvariga och kräver instrument som kan registrera pulser. (Normerade mätmetoder finns för dessa sk. "klickstörningar").

En positiv sak i sammanhanget är att spektrum för störningar av ovanstående slag oftast inte blir alltför bredbandiga. Därmed kan man klara sig med ett filter bestående av en kondensator eller drossel.

Innan man kan påbörja avstörningsarbetet med filter måste följande beaktas: Denna störkälla består inte av en switch samt något slag av resistiv/ "passiv" last.



Figur 7.9 Hur impedansen hos en spole (t.ex. en motorlindning) kan variera med frekvensen. Se texten.

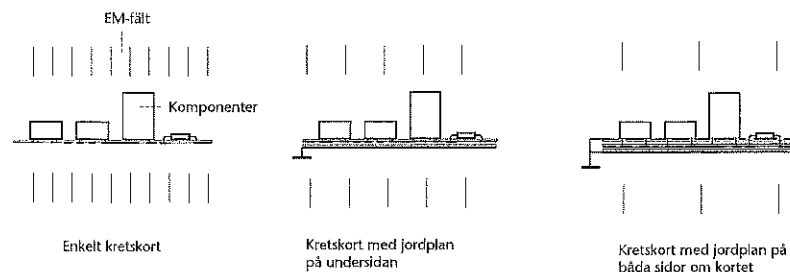
Störmekanismen är något komplicerad. I motsats till vad fallet är när man switchar ideala resistiva laster kan man här få *högre* spänningvärden över switchen än ingående drivspänning. Detta sammanhänger med vad som händer vid brytningen av en krets med induktans (se inledningen).

Induktansen fungerar alltså inte passivt som last utan producerar i stället vid brytning en ofta kraftig "extra" ström. Denna ström uppnår initialt värdet I_0 enligt uttrycket ovan. Denna ström fördelar sig vanligen på ett visst antal sinuskomponenter, dvs. den har ett spektrum med viss bredd.

De exakta mekanismerna för hur dessa störgeneratorer fungerar är inte undersökta (av oss). Det förefaller emellertid som om induktanser – förutom att de vid brytning genererar höga spänningar – också ofta inom ett väsentligt frekvensområde uppför sig som en höghmrig belastning av störgeneratoren, något som är av största betydelse ur avstörningsteknisk synpunkt. Vissa rön som gjorts av oss (L-OB) tyder på detta.

Låt oss göra en utblick mot kollektormotorerna. Hos dessa utgör motorlindningarna förstås induktanser. Mycket talar för att den läckkapacitans som ligger över lindningarna "absorberar" en del av den vid brytförloppet producerade störströmmen, speciellt vid systemets resonansfrekvens, då troligen större delen av denna ström pendlar mellan induktansen och kapacitansen, fig. 7.9. Relativt lite ström inom detta frekvensområde kommer då att gå i den yttre kretsen. Resonanskretsen kommer alltså att vara strömbe-gränsande.

En shuntande kondensator ger därmed bästa störningsreduktion. I de låghmriga områdena, t.ex. det höghmriga, måste man utnyttja spänningsfallet över en induktans. Här har en kondensator alldeles för hög impedans för att vara effektiv. Överslagsberäkning av storleken på kondensatorer följer i det avsnitt som handlar om kollektormotorer.



Figur 7.50 Hur kretskort bör utformas om man vill ha små läckfält.

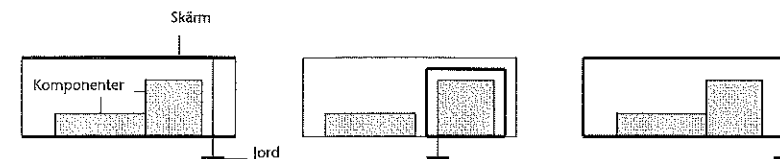
Filter

För störkällor som arbetar med frekvenser > c:a 10 MHz, dvs. där det vi kallar för äkta störgeneratorer ofta finns, är störningsreduktion med *filter* inte särskilt vanlig men förekommer. Orsaken till att filter är ovanliga är att större delen av störningen inte, som hos den oäkta störgeneratoren, finns på och utgår från elnätledningen utan är knuten till t.ex. signalförande ledare. Med filter kan man vanligen inte utan vidare manipulera ström och spänning i dessa.

Alla signaler som produceras i apparater får emellertid inte alltid det utseende som man avsett från början. Ofta blir de försedda med "slagg" och "rippel". (Man kan om man så vill se den tidigare disorderade 50 Hz-strömmen som försedd med "slagg"). Sådan distorsion kan utan vidare störa. Den kan tillsammans med nyttsignalen bilda besvärande blandningsprodukter vid passage av olinjära element, t.ex. transistorer. En bra metod att få bort rippet är att låta strömmen passera en induktans. Induktansen verkar som ett lågpassfilter. Därmed reduceras störströmmarna över en viss frekvens. Ett smidigt sätt att åstadkomma impedans vid HF är att använda lösa ferritkärnor vilka appliceras på ledningarna.

Skärmning

Den kanske viktigaste åtgärden när det gäller avstörning av störkällor typ 2 och 3 är *skärmning*. Principerna för hur skärmning fungerar är behandlat i kap. 5. Vid det praktiska skärningsarbetet inställer sig vissa problem som teorierna inte brukar fånga upp. Det kan t.ex. hända att en skärm endast tycks flytta fältet. Ett annat problem är att skärmning ofta på ett mera påtagligt sätt blir involverad i apparatens konstruktion än vad åtminstone enklare HF-filter blir. Figur 7.51 visar hur skärmar principiellt kan arrangeras.



Figur 7.51 Exempel på skärmning av apparater.

Grundregeln vid skärningsarbete är att man inte skärmar mera (och dyrare) än vad som är nödvändigt. Man börjar alltså med enkla åtgärder som delvis skärmning med tunn, enkel skärm och går successivt mot alltmera heltäckande och solid skärmning. Man kan t.ex. börja med en folie på insidan av ett tillfälligt hölje. I enklare fall kan det räcka med att man applicerar ledande färg på höljets insida. Ju lägre frekvenser apparaten avger desto enklare och mindre heltäckande skärmning behövs i princip.

Man kan beräkna skärmningars effektivitet. Detta kan ske med hjälp av de, tidigare presenterade, uttryck som visas nedan. Vid dessa räkningar kan man få fram vilken teoretisk dämpningen som olika skärmmaterial ger. Reduktionen av E-fältet kan skrivas

$$R_{\text{reflE}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot Z_0} \cdot \frac{\lambda}{2\pi r} \right] \text{ [dB]} \quad (7.10)$$

FJÄRRFÄLTET KORREKTION
FÖR NÄR-FJÄRRFÄLT

Här är λ = våglängden [m], r = avståndet till fältgivaren [m] samt Z_0 = skärmens resistans uttryckt som $[\Omega]$. (Produkten 120π har dimensionen $[\Omega]$. $[\Omega]$ är den resistans man får hos en ledare när dess längd och bredd är lika stora. Detta tal får ett konstant värde för en kropp med viss tjocklek/höjd).

Exempel:

Hur stor teoretisk reduktion av ett E-fält får man av ett metallskikt med resistansen $1 \text{ m}\Omega$ som är placerat 15 mm från en fältgivare? Frekvensen är 10 MHz.

Våglängden blir 30 [m]

$$R_{\text{reflE}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{30}{2\pi \cdot 15 \cdot 10^{-3}} \right] = 149.5 \text{ [dB]}$$

För E-fält och låga frekvenser blir reduktionen med ett metallskikt ytterst god. Bättre ju närmare källan man kommer och ju lägre frekvensen är.

Detta faktum samverkar på ett fördelaktigt sätt med att genererade spänningar också blir låga vid låga frekvenser. Det är alltså lätt att avstöra lågfrekventa fält med fältreducerande kroppar. När man går upp i frekvens skärps emellertid problemen i och med att reduktionen genom reflexion avtar. Vid E-fält och höga frekvenser får man därför förlita sig på *absorptionsreduktion*. Här har skärm materialets tjocklek betydelse.

Reduktion av H-fält genom reflexion kan beskrivas av ekvationen (ref.9)

$$R_{\text{refH}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4Z_b} \cdot \frac{2\pi f}{\lambda} \right] \text{ [dB]} \quad (7.11)$$

FJÄRRFÄLTET KORREKTION
FÖR NÄR-FJÄRRFÄLT

Exempel:

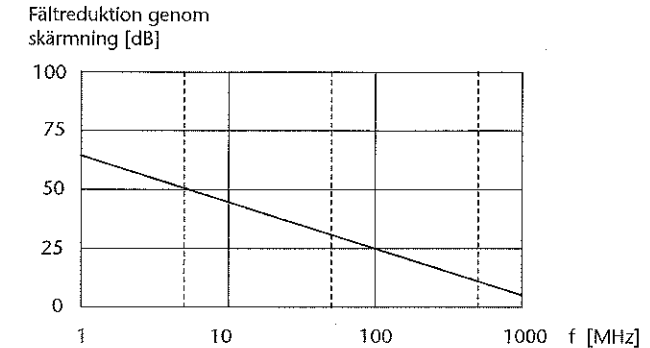
Om fältgivaren i ovanstående exempel i stället alstrat ett magnetfält, hur stor hade fältreduktionen genom reflexion då blivit med samma skärm?

$$R_{\text{refH}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{2\pi \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{30} \right] = 49 \text{ [dB]}$$

Som synes når man teoretiskt god fältreduktion genom reflexion även av H-fält om man använder skärmar med hygglig konduktans. Kraven på konduktivitet hos materialet skärps väsentligt när frekvensen blir lägre och man vill dämpa H-fält. (Vid korta avstånd till fältgivaren och stora strömmar hos denna kan då skärmmaterial med mycket högt λ -värde behöva användas).

För H-fält blir reflexionsreduktionen alltså dålig vid låga frekvenser, även för metaller, och sämre ju närmare källan man kommer. Lyckligtvis avtar de av H-fälten genererade spänningarna med frekvensen. H-fälten skapar därför för det mesta ändå inga större problem ur störsynpunkt. Om störningskänslig apparatur finns i närheten av ledare som för stor ström kan emellertid problem uppstå även vid låga frekvenser. Vid direkt interferens mellan H-fält vid låga frekvenser måste man förlita sig på absorptionsreduktion. Här måste då material med högt μ -värde (vanligen järnhaltiga material) användas. Mera om absorptionsreduktion av H-fält i kap. 9.

Räkningarna ovan förutsätter att omslutningen av fältgivarna är perfekt. I praktiken kan den knappast bli detta. Omslutningar/skärmboxar måste innehålla ledningsgenomföringar, skarvar, luckor, ventilationsöppningar mm. Varje sådan öppning eller spalt medför fältutbredning. Tvärt emot vad man kanske föreställer sig är denna utläckning frekvensberoende. Vid låga frekvenser blir utläckningen mindre än vid höga frekvenser. I fig. 7.52 (ref. 9) visas *minskningen* av en skärmnings reduktion om skärmningen har en



Figur 7.52 Hur en spalt på 10 cm i ett skärmat hölje teoretiskt minskar höljets fältreduktion.

spalt som är 10 cm lång. Bland annat figur 7.52 ger alltså en förklaring till varför praktiska uppmätta fältreduktioner blir så mycket lägre än teoretiskt framräknade, t.ex. som i ovanstående exempel.

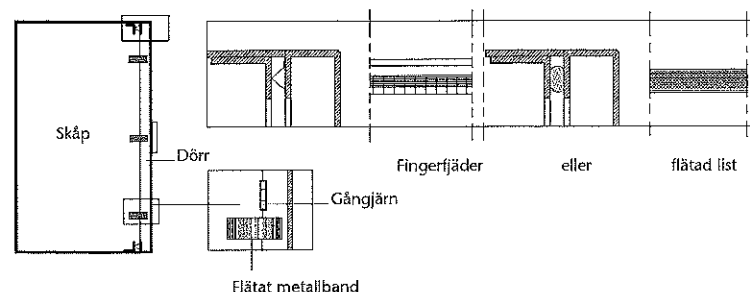
Vi förstår av diagrammet att det är ytterst viktigt att inneslutningarna är täta vid höga frekvenser. Fig. 7.53 visar lämplig utformning av tätningen vid luckor samt anslutningen mellan lucka och box vid gångjärnssidan hos apparathöljen.

Ganska lite skulle vara vunnet ur avstörningssynpunkt om man lät de spänningar och strömmar som via de mekanismer som är beskrivna ovan utvecklas i skärmarna utan åtgärd. Då skulle nämligen skärmarna själv fungera som fältgivare. Vi skulle få en *sekundär* fältalstring.

Detta kan vad E-fälten beträffar förhindras genom att skärmen får så låg potential som möjligt mot omgivningen. Oftast väljer man att lägga skärmen(-arna) på 0- eller jordpotential. En grundregel vid skärmningsarbete är att undvika potentialmässigt friflytande skärmar(-delar).

Uppkomsten av fältgivande induktionsströmmar i skärmarna förorsakade av H-fält förhindras genom att viss elektrisk isolation införs i skärm materialet, dvs. detta består av s.k. ferritmaterial. Sekundära strömmar i skärmar är emellertid vid hög HF ett något mindre problem än spänningsalstringen till följd av att mot-emk:erna ökar med frekvensen.

Det rent praktiska utförandet av skärmningen är givetvis viktig. Ofta är det så att mekaniska justeringar av chassie och kretskort måste göras. Det är t.ex. viktigt, speciellt vid hög HF (> 50 MHz), att ingen *färg* hamnar mellan



Figur 7.53 Hur luckor till skåp etc. bör utformas för att utläckage (och inläckage) av EM-fält skall minimeras.

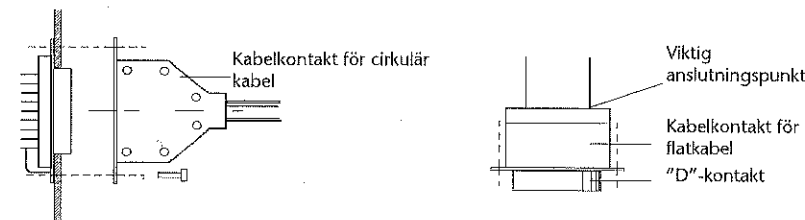
skärmdelarna, att delarna sitter väl ihop med god kontakt, går tillräckligt mycket omlott, utan glipor osv.

För att inte spolia en i övrigt god skärmning måste man använda lämpliga ledningar samt se till att ledningarna i apparaten om möjligt dras nära chassiet. Vidare bör man se till att inte ledningar som för olika strömmar placeras onödigt nära varandra etc. Mycket viktigt är också hur kontaktdonen på såväl kabelsida som apparatsida ser ut. Utanför höljena skall kontakthuset omsluta själva kontaktplinten fullständigt (360°). I fig. 7.54 visas ett par kontakttypen lämpliga för HF.

Lämpliga material i skärmbboxar är i allmänhet metaller med god ledningsförmåga, t.ex. järnplåt (bleckplåt), mässingsplåt, aluminium och givetvis koppar. Det senare materialet är dock dyrt och förekommer endast i mera extrema sammanhang. Ett utmärkt och populärt material är stål. Stål erbjuder förutom god fältreduktion också god mekanisk motståndskraft och är billigt. Stål erbjuder mycket god absorption på grund av materialets höga μ -värde. μ -värdet kompenserar i hög grad för den sämre ledningsförmågan jämfört med t.ex. mässing. Det nu sagda gäller emellertid bara till c:a 1 MHz och gäller inte ferritmaterial vilka har utmärkta absorptionsegenskaper högt upp i frekvens. Materialets μ -värde upprätthålls nämligen även vid höga frekvenser.

Har man gjort en skärmning av en störkälla eller en skärmning av en störkänslig apparat?

En intressant aspekt på skärmning är huruvida den bara gör tjänst som skydd för störda apparater. Ingenting säger nämligen att inte ex.-vis en oscillator som ger störning också kan störas av t.ex. ett utifrån kommande



Figur 7.54 Skärmade kontakter lämpliga för HF.

fält. Erfarenhetsmässigt vet man att en del rätt besvärliga störkällor (eller kretsar kring dessa) faktiskt också är ganska störkänsliga. I dessa fall gör i allmänhet skärmningsåtgärder nytta i båda riktningarna.

Övrigt

Vi vill slutligen lämna några synpunkter på utformningen av ovanstående och liknande apparaters uppbyggnad även om det ligger något vid sidan av ämnet.

Ett problem vid användandet av ett större antal logikkretsar, vilka alltså förbrukar drivströmmen under till-från-operation, är att detta funktionssätt ställer stora krav på strömförsörjningens spänningsstabilitet. Det är lätt hänt att oavsiktlig återkoppling via strömkällan inträffar. Det är därför

Hål- och ytmontering

Traditionellt så har komponenter inom elektronikindustrin sedan c:a 40 år tillbaka monterats på monstern. Ett monstern tillsammans med komponenter utgör ett kretskort. Komponenterna är på dessa kort placerade på ena sidan och deras anslutningsstrådar når via hål i kortet ledningsmönstret på den andra sidan där fastlödning av komponenten sker. Detta är den klassiska *hålmonteringsmetoden*.

Hålmontering ger ett utmärkt och stabilt kretskort men är ur tillverkningsteknisk synpunkt något komplicerad bl.a. för att vissa komponenters anslutningsstrådar måste böjas. Komponenterna blir svårmonterade och tekniken är olämplig för montering med robot.

Sedan 10-15 år tillbaka använder man därför ofta i stället *ytmonteringsmetoden* vilken innebär att såväl komponenter som ledningsmönster befinner sig på samma sida av kretskortet, och med komponenter som är utformade för detta monterings-sätt. Denna teknik har visat sig vara väl lämpad för monteringsautomater och är nu allmän inom elektronikindustrin, speciellt när stora serier produceras.

HISTORIK

Sedan mitten av 80-talet har mobila radiostationer, "telefoner", avsedda att användas tillsammans med det fasta telefonnätet varit i bruk i Sverige. En sådan "telefon" är en komplett kommunikationsradiostation bestående av sändare och mottagare.

Uppfinningen mobiltelefon är annars gammal. Redan i slutet av 40-talet togs mobiltelefonsystem i bruk i USA. Ett automatiskt system lanserades i Sverige i mitten av 50-talet och i mitten av 60-talet i USA. Ett landstäckande system med stor kapacitet, Advanced Mobile Phone System (AMPS) introducerades i USA 1981. Samma system infördes i Norden av de dåvarande nordiska teleförvaltningarna under namnet Nordiska Mobiltelefonsystemet (NMT). Systemet överför – som tidigare nämnts – signalen i analogt format, vilket innebär att trafiken tar relativt stort frekvensutrymme i anspråk. Just detta gör att man för NMT – och andra mobiltelefonsystem – är hänvisad till höga bärvägsfrekvenser.

Ett sätt att öka kanalantalet vid visst tillgängligt frekvensutrymme har alltså varit att övergå till digitalt format. Ett sådant system, GSM, infördes i Sverige 1992 samt också i USA (IS-54). Den använda tekniken medger viss förbättring av prestanda jämfört med smalbandig analog överföring.

Sedan någon tid arbetar man med att i telefonsystemen överföra annat än ljudkommunikation (och enkla textmeddelanden, SMS, short message service) med hjälp av radio, t.ex. ljud och rörliga, även interaktiva, bilder (t.ex. spel) mm. Överföringen sker då framför allt med det s.k. 3 G-systemet. Därvid kommer man i huvudsak att ta också frekvenser > 1 GHz i anspråk.

Tendensen hos utvecklingen av den (delvis) trådlösa teletrafiken är att den datorbaserade ledningsbundna Internettrafiken och ovanstående trafik kommer att sammanmälta alltmera.

Statisk elektricitet**Statisk elektricitet som EM-störkälla**

Statisk elektricitet förorsakar störningar av tre slag:

- Momentana EM-fält vid urladdningsström.
- Störningar i apparaters funktion förorsakade av urladdningsström.
- Skador i apparater förorsakade av urladdningsström.

Det sista av dessa störningsfenomen är allvarligast, men givetvis kan även de två första i olyckliga fall förorsaka stora problem.

Något om den statiska elektricitetens natur.

De fullständiga mekanismerna för den statiska elektricitetens uppkomst är komplicerade, men friktion, temperaturskillnader och materialkombinationer tycks vara de viktigaste enskilda faktorerna.

I fig. 7.68 visas en "triboelektrisk" skala vars innebörd är att material på plussidan tar åt sig laddning medan material på minussidan avger laddning. Detta gör att t.ex. bakelit och nylon har stor benägenhet för att bilda stor elektrisk potentialskillnad/spänning mot omgivningen, eftersom sannolikheten för att dessa material har kontakt med material med lägre laddningsbenägenhet är ganska stor. Laddningen blir större när friktion och/eller temperaturdifferenser ökar. (Någon friktion eller temperaturskillnad brukar finnas mellan kroppar).

Stor betydelse för laddningsbenägenheten har också materialens *resistans*. Material med högre $\Omega\Box$ -tal än 10^9 har störst benägenhet för att laddas upp. Ämnen med $\Omega\Box$ -tal mindre än 10^6 behåller inte laddningen så länge eftersom rekombination sker relativt snart. Man kan observera att flera av dessa senare material trots detta närmast kan betraktas som "isolatorer" i många sammanhang.

Hur stor blir då den elektriska potentialen förorsakad av statisk uppladdning? Man har funnit att uppkommen spänning är starkt relaterad till vad man kallar ytuppladdning (eng. *surface charge density*)(ref.9)). Denna uttrycks som

$$\zeta_s = k(\epsilon_{r1} - \epsilon_{r2}) [As/m^2] \quad (7.14)$$

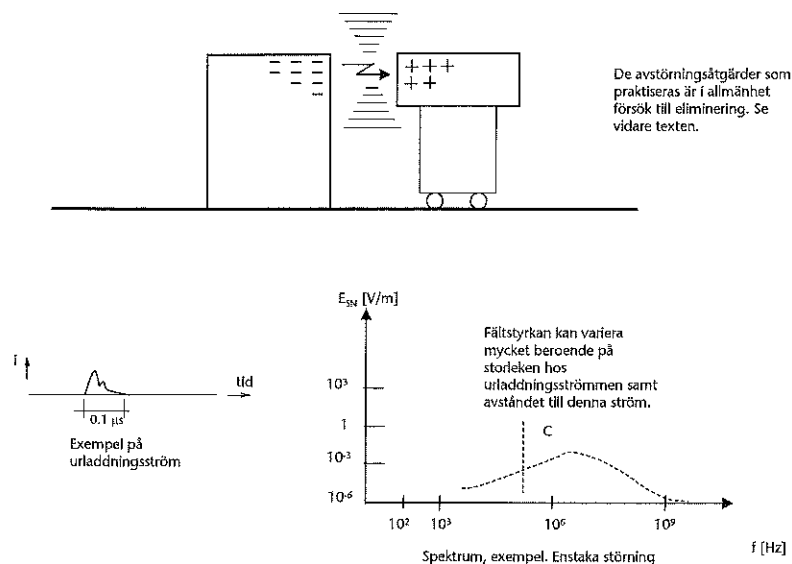
där k = en konstant med värdet $15 \cdot 10^{-6}$ [dim.-lös], ϵ_r = ytuppladdningstal [As/m^2]. Värdet på detta senare tal varierar från ungefär 10 till 1 där t.ex. torr luft har ett högt värde och teflon ett lågt. Ytuppladdningstalet kan uppskattas med hjälp av tabellen i fig.7.68. Materialets placering på listan avgör talets storlek. Storleken på ytuppladdningstalet enligt ovan torde vara relaterat till normala friktionsförhållanden och temperaturdifferenser.

Exempel på beräkning av laddning:

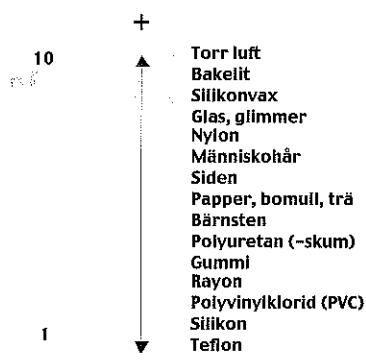
Ett par gummisulor är i beröring med en nylonmatta. Sulornas yta är 250 cm^2 . Hur stor blir laddningen?

Sambandet mellan ζ_s och laddningen Q är

$$Q = \zeta_s \cdot A [As] \quad (7.15)$$



Figur 7.67 Statiskt elektriska urladdningar. Se texten.



Figur 7.68 Den s.k. triboelektriska skalan. Se texten.

där $A = \text{yta [m}^2\text{]}$. I exemplet sätter man skosulans ϵ_r -värde till ≈ 2.5 och nylonmattans ϵ_r -värde till ≈ 5.0 . Man får följande laddning

$$Q = 15 \cdot 10^{-6} (5 - 2.5) \cdot 25 \cdot 10^{-4} = 0.93 \cdot 10^{-6} \text{ [As]}$$

För att kunna beräkna spänningen måste man kunna uppskatta kapacitansen mellan kropparna. Vi antar i detta fall att kapacitansen är 100 pF. Spänningen fås sedan ur sambandet

$$u = \frac{Q}{C} \left[\frac{\text{As}}{\frac{\text{As}}{\text{V}}} = \text{V} \right] \quad (7.16)$$

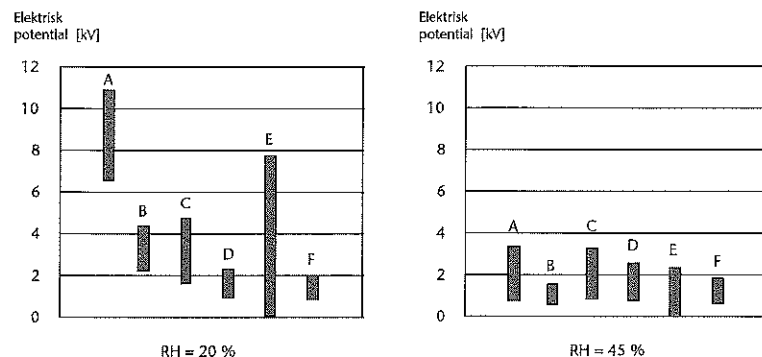
Med siffrorna i exemplet får man

$$u_{\text{ex}} = \frac{0.93 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-12}} = 9.3 \text{ [kV]}$$

De flesta uppkomna elektrostatiska spänningar (inomhus) har en storlek på mellan 0.5–2 kV. Figur 7.69, t.v. (ref.9) visar *grovt* vilka spänningar man kan räkna med uppkommer mellan en människa och föremål och mellan föremål i en relativt ordinär inomhusmiljö. Figuren visar att nylon är ett utomordentligt olämpligt material om man vill undvika statisk uppladdning. Stor betydelse för uppladdningens storlek har luftfuktigheten. I fig. 7.69, t.v. är den endast 20 %. Korona(glimnings-) effekter gör att spänningen knappast kan överstiga ≈ 35 kV i praktiken.

Förutom mellan fasta kroppar utvecklas statiska spänningar även mellan fasta kroppar och vätskor (givetvis mera om vätskorna rör sig). Nedan följer en lista på föremål som brukar bli uppladdade vid normal användning:

- Hjulförsedda kontorstolar och andra rörlig möbler.
- Drivremmar av gummi eller textil.
- Rumsfläktar med fläktblad av t.ex. plast.
- Papper som rör sig i skrivare etc.
- Tryckluftpistoler med vilka man t.ex. rengör föremål.
- Värmeluftverktyg ("pistoler") i arbete (t.ex. vid applicering av krympslang på elektriska ledningar).
- Rengöring med lösningsmedel.
- Bränsleledningar i vilka vätska strömmar.
- Lossning/lastning av granulat (av t.ex. polymermaterial).



Staplarna representerar ämnena:

- A = Vanlig nylon
- B = Nylon som är antistatiskt behandlat
- C = Asbestblandad vinyl (!)
- D = Trä, högtryckslaminerat
- E = Akryl och polyester
- F = En syntetisk golvbeläggning (polymerblandning)

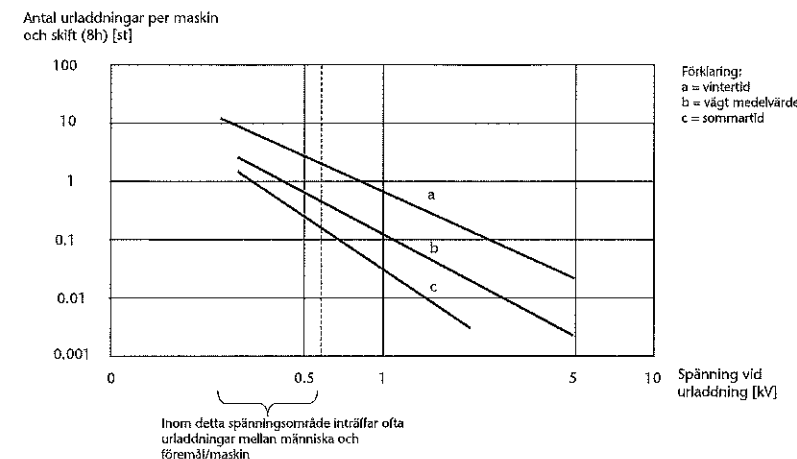
Figur 7.69 Ungefärlig storlek på uppkommen elektrisk potential i en vanlig miljö för några olika ämnen vid två olika värden på den relativa luftfuktigheten (RH). Uppgifter från ref. 9.

Av inte oväsentligt intresse kan statistiska undersökningar av statiska urladdningar vara. Figur 7.70 är hämtad från (ref.9) och visar exempel på urladdningsstatistik. Undersökningen avser förekomst av "överspänning" hos ett antal datorer (11 st.) placerade i 10 olika arbetsrum.

Eftersom statisk spänning i ett fall som detta kan vara allvarligast där maskinerna är som mest sårbara var detekteringsutrustningen (en probe) placerad så att den omslöt en ledning som förde en digital signal. Provningsen pågick under 3360 skift om vardera 8 timmar. Detta innebär en sammanlagd provningstid på $3360 \cdot 8 \text{ h} = 26880 \text{ h}$ (3 år).

I diagrammet ser man hur stora spänningarna var vid de olika urladdningstillfällena samt frekvensen av urladdningarna. Högsta noterade spänning var i denna undersökning 5,4 kV. En så hög spänning inträffade här tämligen sällan eller i genomsnitt 0,008 ggr/skift. En 1 kV-urladdning inträffade ungefär i genomsnitt knappt en gång per vecka.

Diagrammet ger också besked om skillnaden mellan vinter och sommar där vintern naturligtvis är värst med sin låga luftfuktighet. Högst uppladd-



Figur 7.70 Urladdningsstatistik. Uppgifter från ref. 9. Se vidare texten.

ningsspänning tycks föreligga mellan maskin och föremål (t.ex. mellan en möbel med nylontyg och en maskin). Urladdning mellan människa och maskin förekommer, naturligt nog, oftare men då är spänningarna lägre. Urladdningsströmmarna samt deras kurvform behandlas i kap. 9.

Avstörning

Eliminering

Eftersom statisk elektricitet i sin helhet är ett oönskat fenomen är *eliminering* det naturliga sättet för avstörning. Tyvärr är inte eliminering av störkällans störmekanismer så enkel, men något kan man göra. Nedan följer en lista på standardåtgärder.

- Undvika material vilka blir starkt uppladdade och i synnerhet kombinationer av i sammanhanget olämpliga material (t.ex. nylon och polyvinylklorid), fig. 7.68.
- Hålla luftfuktigheten så hög som möjligt, fig. 7.69.
- Avled till jord laddning hos föremål som blir "kontinuerligt" uppladdade, t.ex. hjul och axlar av plastmaterial etc.