

5 EM-störningar och -störkällor samt avstörningsteknik generellt

Inledning

EM-störningar är oönskad energi producerad av EM-störkällor. För att bli en störning måste energin – "störsignalen" – ha en viss intensitet och pågå under viss tid.

Det som avgör om den oönskade energin blir en störning eller inte är den störda utrustningens egenskaper. Benägenheten för att bli störd varierar enormt mellan olika anordningar och apparater. Naturligt nog sätts standarden av de mera lättstörda, typ vanliga radiomottagare. Ljudradiomottagare tål emellertid påverkan under relativt lång tid innan störning kommer till stånd (störning fr.o.m. kanske 10 ms). Andra apparater som t.ex. (många) mikroprocessorer klarar rätt höga störintensiteter (kanske 100 mV) innan en störning utbildas. Däremot svarar de nära nog ögonblickligt på den inkommande energin. Andra apparater och utrustningar reagerar knappast alls vid påverkan av ovidkommande energi av rimlig storlek, även om tiden för påverkan är ganska lång (värmeapparater, belysning mm.).

En EM-störning kan ha så stor intensitet att den inte bara försämrar funktionen hos apparater eller leder till funktionsbortfall utan också skadar dem.

Störningar kan produceras i en apparat och avges från denna, men de kan också avges från till apparaten anslutna ledningar, något som är minst lika vanligt. Störningar produceras av såväl natur- som kulturföreteelser, och kan vara både en biprodukt i den störande apparaten och en högst önskad huvudprodukt. Huvudprodukten från en radiosändare är en "formaterad" elektromagnetisk våg. Denna EM-våg kan bli en störning i vissa andra apparater. Huvudprodukten hos en kollektormotor (universalmotor) är mekanisk kraft. Motorn producerar också som biprodukt högfrekvent elek-

trisk spänning vilken sedan kan vara en svår störning för vissa apparater. Hur man anger störintensiteter behandlas i ett senare kapitel. Störkällor kan klassas efter sitt funktionssätt, Nedan följer en genomgång av de två huvudtyperna.

Oäkta störgenerator

En vanlig krets för distribution av elenergi

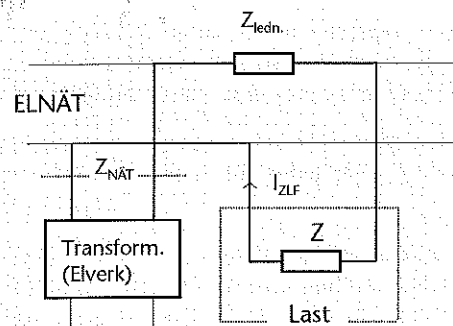
En vanlig enkel krets för energidistribution består av generator, ledning och belastning(förbrukare), fig. 5.1. Generatoren (transformatorn) producerar en växelspanning med frekvensen 50 Hz. Ledningsförlusterna blir i allmänhet små vilket gör att ledningens impedans nära nog kan försummas. Följande enkla formel kan användas för beräkning av kretsens ström om lasten är *resistiv* och ledningsförlusterna också antas vara *resistiva*

$$I_{ZLF} = \frac{U_{gen}}{Z + Z_{ledn}} \quad (5.1)$$

Här är Z lastens impedans och Z_{ledn} ledningens (resistiva) förluster.

Exempel 1:

En apparat vars Z vid 50 Hz är 10Ω är inkopplad på elnätet. Spänningen vid 50 Hz är 230 V. Man beräknar att ledningen mellan lasten och kvarters-



Figur 5.1 En elförsörjningskrets vid LF och last med konstant impedans.

transformatorn har en resistans på 0.3Ω . Hur stor blir spänningen vid lasten och hur stor blir ledningens förlusteffekt?

Lösning:

Man får enl. ekv. (5.1)

$$I_{ZLF} = \frac{230}{10 + 0.3} = 22.3 \text{ [A]}$$

Spänningen vid lasten blir

$$U_{ZLF} = 22.3 \cdot 10 = 223 \text{ [V]}$$

Ledningens effektförlust (värme) kan beräknas till

$$P_{ledn.} = 22.3^2 \cdot 0.3 = 149.2 \text{ [W]}$$

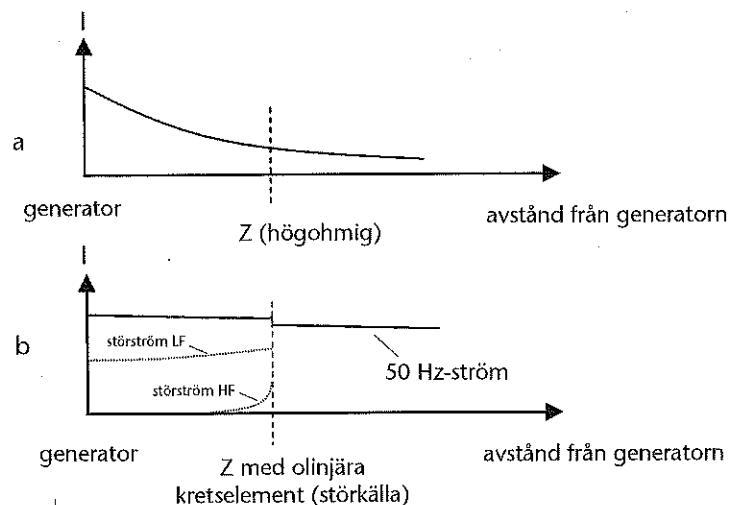
Ledningskretsar i allmänhet

En modell av ovanstående slag använder man vid beräkning av överförd energi eller överförd signalspänning mellan generator och belastning även i andra konstruktioner än elnätets kretsar på det sätt som tidigare visats. Hade man räknat mera noggrant i ovanstående exempel hade man varit tvungen att också ta hänsyn till ledningsimpedansen Z_{kar} , den karakteristiska impedansen. Z_{kar} kan beräknas med formel (4.2). Storleken på Z_{kar} brukar ligga mellan ett par tio-tals Ω till någon k Ω .

För att en kretsmodell där Z_{kar} ingår skall stämma någotsånär krävs det att de inkopplade belastningarna har väsentligt större impedans än värdet på Z_{kar} (tio-tals k Ω eller mera) något som vanligen är fallet hos (gammaldags analoga) teleöverföringar. Figur 5.2, a visar hur strömmen på en teleledning avtar med avståndet till generatoren, dvs. nära nog enligt ledningsteorin. Så är dock inte fallet i det ovan redovisade exemplet där ju belastningen endast hade impedansen 10Ω . Här klarar man sig alltså utmärkt med vanlig kretssolvering.

Elnätet

Eldistributionsanläggningar utgörs bl.a. av ett system av ledningar, ett nät. Vid analys av elnät sätts räkningar där Z_{kar} ingår omedelbart ur spel eftersom de över nätet parallellt inkopplade lasterna får en impedans som vida understiger Z_{kar} . Därmed avtar heller inte strömmen på ledningarna efter e-



Figur 5.2 Hur strömmen avtar i olika ledningskretsar. Se vidare texten.

funktioner som fallet var med den gammaldags teleledningen. Fig. 5.2, b visar hur strömmen på en elnätledning kan avta. Impedansen hos elnätet (i de flesta mätpunkter) går vanligen mot mycket låga värden. Detta gäller dock bara från likspänning och kanske upp till ett par kHz.

För frekvenser däröver blir bilden en annan. Många belastningar har nämligen avsevärd impedans redan vid några kHz, dvs. större impedans än Z_{kar} . Detta innebär att strömmen vid högre frekvenser börjar avta med avståndet från generatorn på ungefär samma sätt som hos en teleledning.

Vilken impedans elnätet har beror sålunda på följande faktorer: Typ av ledningar (Z_{kar}), frekvens, hur stora lasterna är och var de är placerade. Vid frekvenser $< \approx 5$ kHz går i praktiken Z_{NAT} ofta mot mycket låga värden, något som är viktigt att hålla i minnet.

Störningens uppkomst

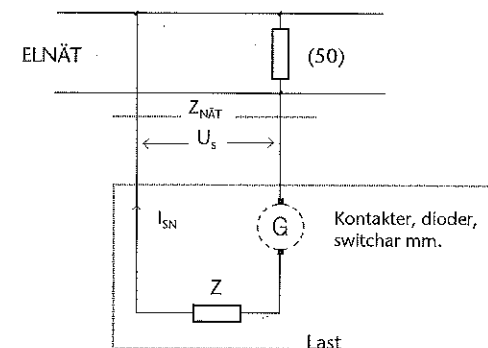
En generator kan naturligtvis producera ström med olika frekvens, allt beroende på generatorns konstruktion. Givetvis kan den även producera en distorderad ström, dvs. en ström som innehåller ett större eller mindre spektrum av övertoner.

Vid elementära räkningar på kretsar med ledningar förutsätter man att alla deltoner naturligen produceras av generatorn. I det fallet går det bra att använda den vanliga enkla kretsmodellen som i fig. 5.1. Man räknar för övrigt ofta på "en ton i taget".

Om emellertid alla deltoner i en ledningskrets *inte* produceras vid generatorn, hur går det då? Detta inträffar t.ex. om en belastning (förbrukare) innehåller dioder eller switchar, vilka "hackar upp" strömmen. Ja, då kommer de deltoner som produceras vid dioden, switchen etc. (vanligen allt över 50 Hz) att bli starkast invid dessa kretselement. En ledning uppför sig nämligen vad gäller utdämpning likadant oberoende av var en ström eller strömförändring produceras. Sålunda kommer, om man t.ex. kopplar in en diod i kretsen, övertonerna att *avta* när man närmar sig generatorn, vilket ju i ett elementärt fall, där allt produceras av generatorn, är orimligt, fig. 5.2, b.

Modell för en HF-störgenerator

Vid räkningar på högfrekventa störströmmar och -spänningar har vi därför funnit det lämpligt att byta modell. Den nya modellen visas i fig. 5.3. En generatorsymbol finns vid det "strömupphackande" kretselementet vilket t.ex. kan vara en switch.



Figur 5.3 Modell för en öakta störgenerator, lämplig att använda när lastens impedans varierar och strömmen genom lasten bildar ett HF-spektrum.

Vi kallar i fortsättningen denna generatormodell för *oäkta störgenerator*. "Oäkta" därför att den ju inte producerar energi och "stör" därför att den upphackade strömmen kan bli störningar hos andra apparater. Störningen uppkommer genom att denna ström läcker förbi andra till elnätet inkopplade apparaters likspänningsaggregat (eller läcker in på annat sätt) samt genom att störande fält och strålning avgår från ledningsavsnitt som innehåller störström.

Storleken på utgående ström och spänning från en oäkta störgenerator

Storleken och spektret hos den högfrekventa strömmen från störgeneratoren – störströmmen I_{SN} – beror på konstruktionen hos de olinjära krets-elementen (switchar, dioder etc.), storleken hos lasten Z och storleken på $Z_{NÄT}$. Om Z förutsätts vara resistiv och $Z_{NÄT}$ antas vara $50\ \Omega$ – som man valt som standardvärde vid normenliga RFI-mätningar – kan I_{SN} beräknas med nedanstående formel. U_{sg} är spänningen hos störgeneratoren.

$$I_{SN} = \frac{U_{sg}}{Z + 50}$$

Störspänningen U_s blir sedan

$$U_s = I_{SN} \cdot 50 \quad (5.2)$$

Exempel 2:

Hos en apparat som i exempel 1 är strömmen switchad så att bl.a. en 100 kHz-komponent bildas. Spänningen U_{sg} har vid denna frekvens kunnat bestämmas till 8 V. Vidare är impedansen vid 100 kHz inte $10\ \Omega$ utan $8\ k\Omega$. Hur stor blir U_s ?

Lösning:

I_{SN} kan om Z dominerar störkretsens impedans skrivas

$$I_{SN} \approx \frac{U_{sg}}{Z}$$

I ovanstående exempel får man

$$I_{SN\ 100k} \approx 8/8000 = 1\ [mA]$$

Störspänningen blir enl. ekv. (5.2)

$$U_{s\ 100k} = 0.001 \cdot 50 = 50\ [mV]$$

Vad mäter man?

Vid avstörningsarbete mäter man upp I_{SN} och U_s med selektiva ampere- och voltmetrar. Vid LF-avstörning är man mest intresserad av I_{SN} eftersom $Z_{NÄT}$ här är lågt. Själva strömmen ställer dock till problem vid elverk och ställverk. Mätningen sker vanligen med *våganalysator*. U_s är man intresserad av vid frekvenser över 5–10 kHz eftersom $Z_{NÄT}$ från och med dessa frekvenser börjar anta ett intressant värde. Mätningen sker med högkänslig *selektiv voltmeter*. Värdet på själva lasten Z kan vara relativt frekvensoberoende men kan också starkt skifta storlek med frekvensen.

Transmission

Störspänningen fortplantas på nätledningen(arna) och kan alltså nå störkänlig apparatur som är kopplad till nätet i fråga. Vid lägre frekvenser kan störningarna nå relativt långt med bibehållen spänning, medan de vid högre frekvenser dör ut snabbt, se ekv. (4.5) och (4.6). Transmission via strålning från ledning behandlas under nästa rubrik.

Äkta störgenerator

Störningens uppkomst

Det som skiljer den oäkta från den äkta störgeneratoren är att den *äkta störgenerator* utgörs av en *oscillator*. I en oscillator ingår en svängningskrets som lokalt alstrar stor spänning och ström. Denna spänning och ström påverkar endast indirekt apparatens strömförsörjning. Oscillatorerna under den här rubriken förutsätts arbeta vid hög frekvens ($> 10\ MHz$).

Till gruppen äkta störgeneratorer har vi också funnit det lämpligt att föra högfrekvensgeneratorer av typen multivibrator etc. Dessa är förvisso inte mera "äkta" än switchtypen, men de höga frekvenser de ofta arbetar med gör att de liksom högfrekvensoscillatorer avger fält och strålning av intressant storlek. Samtidigt gör deras oftast små effekter att de endast i ringa grad påverkar konstruktionernas elnätström.

Vad mäter man?

Det man mäter från apparater med högfrekventa störgeneratorer är E- och H-fält samt EM-strålning. Fält och strålning blir generellt starkare ju högre frekvensen är. Samtidigt dämpas ledningsbundna störningar – störströmmar – ut snabbare på den ledning den går ut på ju högre frekvensen är. Av detta skäl är därför störströmmar på ledningar av mindre intresse vid hög HF (≥ 30 MHz) än vid låg HF. Det är inte störgeneratorernas konstruktion som oftast avgör vad man mäter utan frekvensen.

Mycket ofta är störkällor bredbandiga. Detta gör att man när man arbetar mot norm mäter både U_s och fält/strålning.

Transmission

Fält från enskild ledning

Via läckning inne i apparaten *kan* delar av t.ex. en oscillators effekt komma ut på ex.-vis elnätledningen eller en annan ledning där denna signal inte hör hemma. Vid medelhöga störfrekvenser, säg 10–150 MHz, når emellertid störsignaler från såväl oäkta som äkta störgeneratorer också, som tidigare påpekats, ut ganska långt på ledningar. Någon eller några meter. Ofta med tämligen hög intensitet.

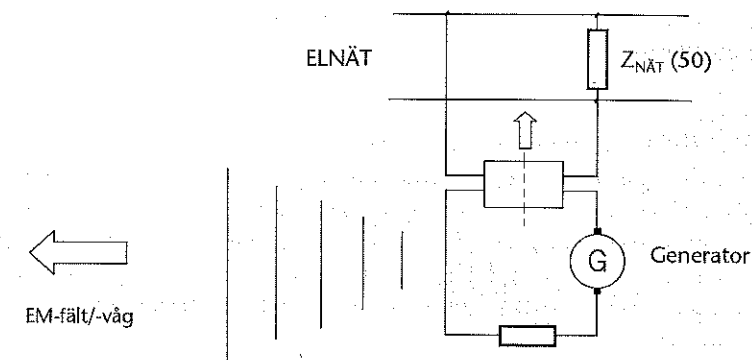
Att beräkna en störspänning från en oäkta störgenerator är svårt (eller nästan omöjligt). Att beräkna fältstyrkan hos en störsignal avgiven från ex.-vis en vanlig elledning är om möjligt ännu svårare. För enstaka frekvenser blir emellertid inte sådana beräkningar oöverstigliga. Man använder lämpligen Maxwells och Schelkunoffs fältekvationer. I fig. 5.5 (ref. 3) visas ett beräkningsexempel. Exemplet är lite speciellt såtillvida att man räknat på endast 1 cm ledningslängd men med hela 1 A ström i ledningen. Med hjälp av diagrammet i fig. 5.5 och nedanstående uttryck kan man sedan få en viss uppfattning om fältstyrkan avgiven av en ledning av denna typ.

$$E = A + 20 \cdot (\log 10^{(1-i)}) \text{ [dB}\mu\text{V/m]} \quad (5.3)$$

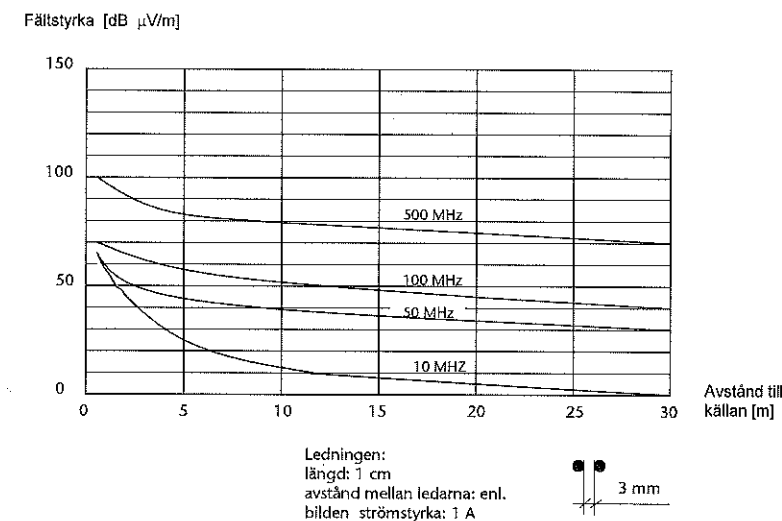
Där A = dB-värde från fig. 5.5, l = längden hos den utstrålade ledningen [cm] samt i = strömmen i ledningen [A].

Exempel 3:

10 m av en nätledning av samma typ som i fig. 5.5 fungerar som oavsiktlig antenn. Störspänningen är vid källan 500 μV och nätimpedansen beräknas till 200 Ω . Hur stor blir fältstyrkan på 1 m håll vid 30 MHz?



Figur 5.4 Hur en äkta störgenerator avger EM-fält/-strålning men också kan läcka störningar till elnätet.



Figur 5.5 Teoretiska värden hos det EM-fält som avges från en ledning enligt figuren.

Lösning:

Strömmen vid källan kan beräknas till $500 \cdot 10^{-6} / 200 = 2.5 \mu\text{A}$. Denna ström avtar med avståndet till källan. Vi antar en "medelström" på 1 μA . Fältstyrkan blir enligt diagram och formel

$$E = 66 + 20 \log(10^{10^3 \cdot 10^{-6}}) = 6 \text{ [dB}\mu\text{V/m]}$$

Detta värde motsvarar en fältstyrka på $2 \mu\text{V/m}$ vilket säkert kan störa en radiomottagare.

Fält och strålning från själva apparaten

Förutom att fält bildas från enskilda ledningar, t.ex. en viss signalledning, så bildas naturligtvis elektriska och magnetiska fält runt ledare och komponenter även inuti apparaten. Intensiteten hos dessa fält avtar snabbt med avståndet till källan. Trots detta kan under ogynnsamma förhållanden fältstyrkan ändå bli av sådan storlek att störningar i närliggande apparatur uppkommer.

Ett större problem än fälten är *EM-strålningen* från olika konstruktions-element (fr.o.m. avståndet ($\lambda/6$ från källan)). Orsaken till detta är att strålningen teoretiskt (plan utstrålning) i motsats till fälten inte undergår någon försvagning vid ökat avstånd till källan. EM-strålningen är därför främst ett bekymmer vid högre frekvenser.

Avstörning, generellt

Typer av störkällor

För att få bättre struktur på ämnet avstörning har vi funnit det lämpligt att dela in störkällorna i olika grupper. Indelningen har skett med avseende på:

- Typ av störgenerator.
- Ledningsbundna eller strålade störningar.
- Störningens frekvensområde.
- Om störningen är en nytto- eller biprodukt.
- Strukturering efter existerande normer.

Typ 1

Beskrivning

Störgeneratoren är nästa utan undantag av den "oäka" typen. Störkällorna ger i huvudsak ledningsbundna störningar. Inte sällan inom ett brett frekvensområde. Från lågfrekvens (100 Hz-10 kHz) till högfrekvens ($> 150 \text{ kHz}$) och med såväl låg som hög störnivå. Störningen är nästan utan undantag en biprodukt.

Exempel:

- Likspänningsaggregat
- Switchade nätaggregat
- Strömbrytare (speciellt sådana som bryter induktanser)
- Kollektormotorer
- Motorstyrningar
- Tändsystem för förbränningsmotorer
- Viss ISM (industriell-medicinsk och vetenskaplig)-apparatur.

Avstörning

LF-AVSTÖRNING

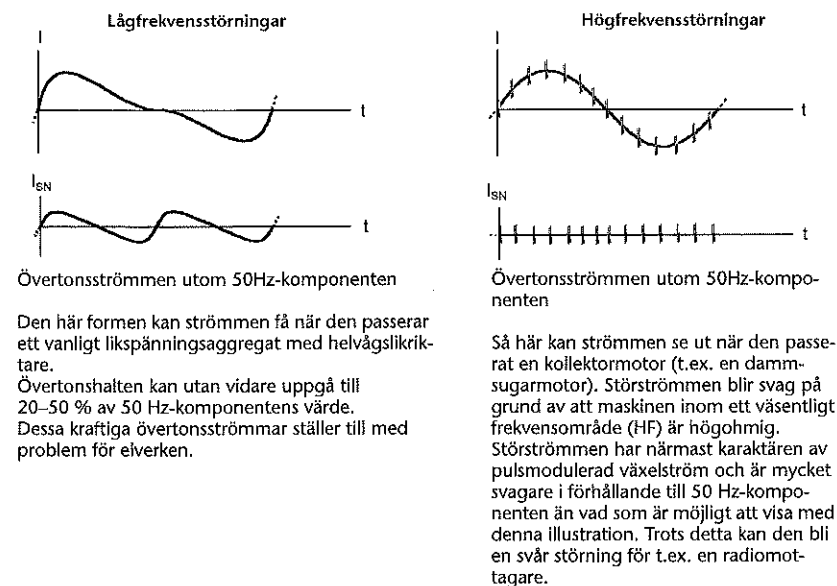
Mot bakgrund av vad som sagts tidigare i kapitlet kan man möjligen tycka att avstörning vid LF är tämligen onödig eftersom $Z_{\text{NÄT}} \rightarrow 0$ och ingen störspänning därmed kan uppkomma. Emellertid vill inte elverken ha distorderad *ström* i sina nät. Denna distorsion måste man alltså göra något åt.

Den typ av åtgärder man vidtar går ut på att återställa strömkurvans form (minska distorsionen). Att använda filter med vanlig branthet (= dämpning som funktion av frekvensen) blir här en trubbig metod, dvs. man måste ju lämna 50-Hz komponenten i fred samtidigt som man vill undertrycka 100, 150 etc. så mycket som möjligt. Detta är alltså inte möjligt med enkla 6dB-filter, dvs. enkla drosslar och kondensatorer. I vissa applikationer, framför allt där det gäller att dämpa vissa enskilda – och starka – övertoner, använder man dock branta specialfilter, t.ex. för motorstyrningar som tillhör trefasmotorer. Se vidare kap. 7.

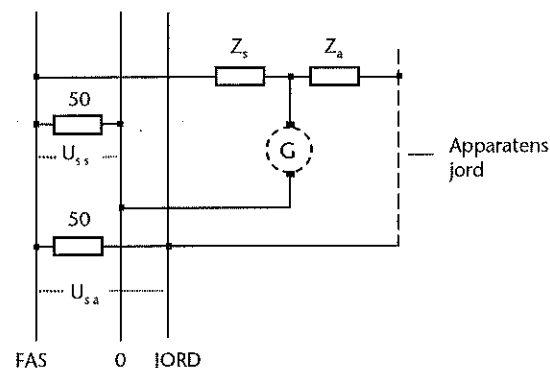
Den metod för reduktion av LF-störningar som man dock vanligen använder är den *elektroniska*. Principen för funktionen hos sådana anordningar är att en avkännande komponent, någonstans i kopplingen, registrerar spänning eller ström. Avvikelser förorsakade av switchar o.dyl. hos denna spänning eller ström resulterar i en reglering av apparatens drivström med en eller flera effektt transistorer så att den genom apparaten gående strömmen ändå får sinusform. Med kopplingar av detta slag kan man mycket effektivt undertrycka alla frekvenser $> 50 \text{ Hz}$. Ytterligare redovisning av LF-avstörning följer i kap. 7.

HF-AVSTÖRNING

HF-avstörning är enklare att åstadkomma än LF-avstörning. De strömmar man här har att hantera är oftast – men inte alltid – av storleksordning μA eller mA . Vidare är kraven på filtrens branthet små eftersom de inte behö-



Figur 5.6 Den skillnad i storlek mellan störströmmen vid lågfrekvens (LF) och högfrekvens (HF) som normalt föreligger.



Figur 5.7 Hur den symmetriska och den asymmetriska störspänningen utbildas.

ver sättas in förrän vid, säg 10 kHz eller ännu högre upp. Vill man undvika störningar av radiofrekvenser räcker 100 kHz gott och väl.

Först måste störspänningen mätas upp. Hos vanliga nätdrivna apparater mäter man denna spänning på elnättingången. Nätimpedansen $Z_{\text{NÄT}}$ är vid normenlig mätning (i de vanligaste normerna) ersatt med en konstbelastning på 50 Ω . Ett filter filtrerar bort 50 Hz komponenten från konstbelastningens (nätefterbildarens) utgång. Man mäter sedan övertonsspänningen inom ett visst valt frekvensområde som funktion av frekvensen.

Efter registreringen av denna störspänning, U_s , analyserar man den störande apparatens konstruktion. Denna kan i princip vara av två slag:

- Lasten sett från nätet kan vara låghög.
- Lasten sett från nätet kan vara höghög.

Vid låghög last lägger man en drossel i apparatens nätingång, fig. 5.8. Över drosseln får man ett spänningsfall vilket därmed reducerar utgående störspänning U_s . Störspänningsreduktionen med drossel blir formellt

$$N_L = \frac{50 + j\omega L}{50} \quad (5.4)$$

om Z kan försummas.

Vid höghög belastning kopplar man en kondensator över nätingången, fig. 5.8. Kondensatorn ökar strömmen genom störgeneratoren varvid ett spänningsfall uppkommer över lasten Z . Formellt blir den störspänningsreduktion man erhåller med kondensator

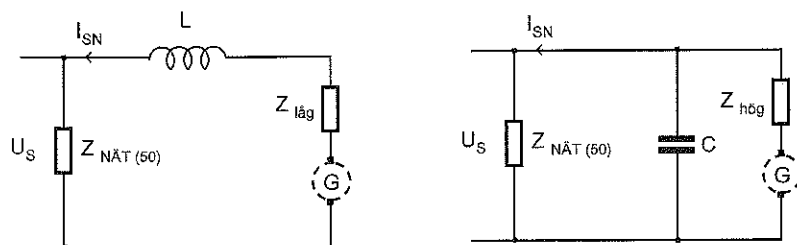
$$N_c = \frac{Z + (-jX_c // 50)}{-jX_c // 50}$$

Om $Z \gg 50 \Omega$, vilket inte sällan är fallet, kan skillnaden mellan störspänning med och utan kondensator skrivas

$$\frac{U_s}{U_{sc}} \approx \frac{50}{X_c} \quad (5.5)$$

Z = lastens impedans (förutsätts här resistiv), L = drosselns induktans och X_c = kondensatorns reaktans ($1/\omega C$). $\omega = 2\pi f$, där f = frekvens.

En komplikation vad gäller störningar från elnätdrivna apparater är att störningen inte bara går ut över fas-noll på elnätledningen utan också över fas-(skydds)jord, fig. 5.7. Den försträmda störspänningen kallas för sym-



Figur 5.8 Hur man principiellt reducerar utgående störspänning när lasten är låg- respektive höghögig.

metrisk störspänning (eng. *differential mode*). Den andra störspänningen för *asymmetrisk störspänning* (eng. *common mode*). "Lasten" hos den asymmetriska störgeneratoren utgörs ofta av en kapacitans mellan själva apparaten och dess stomme. Denna last blir alltså mycket höghögig vid lägre frekvenser men minskar lagbundet med frekvensen.

Trots höghögigheten kan man inte använda kondensator mellan fas-jord eftersom man inte kan tillåta någon stor ström i jordledningen. Maximalt tillåtet kapacitansvärde brukar i vanliga elsäkerhetsnormer sättas till ≈ 5 nF. Man måste i stället använda drossel trots dennas mindre gynnsamma avstörningseffekt när impedansen är hög hos lasten. För att få ner dimensionerna använder man oftast den *strömkompenserade* typen. Denna har två lindningar, en i vardera fas- och noll-ledningen. Lindningarna är gjorda så att deras magnetfält tar ut varandra när drivströmmen passerar dem. Därmed sparar man dyrt och skrymmande kärnmaterial.

Typ 2

Beskrivning

De störningar som typ 2-störkällor i huvudsak avger är EM-fält och -strålning. Störningarna är vanligen högfrekventa, dvs. störkällorna avger i motsats till vad typ 1-källor vanligen gör höga nivåer i området 50–1000 MHz.

Störgeneratoren kan vara en oscillator men också t.ex. en multivibrator. Störnsignalen är nästan utan undantag en nyttoprodukt. Normerna tar fasta på att källorna är högfrekventa samt avger alltför starkt fält/strålning. Normerna föreskriver därför mätning av dessa fält och denna strålning inom ett ganska stort frekvensområde. Dessutom måste dessa källor enligt normerna också uppvisa låga nivåer inom ett lägre område.

Exempel:

- Styrutrustning som innehåller processorer
- Datorer
- Mikrovågsugnar

Avstörning

Avstörning av typ 2-störkällor sker med någon av nedanstående metoder, eller oftast med en kombination av dem. Metoderna är.

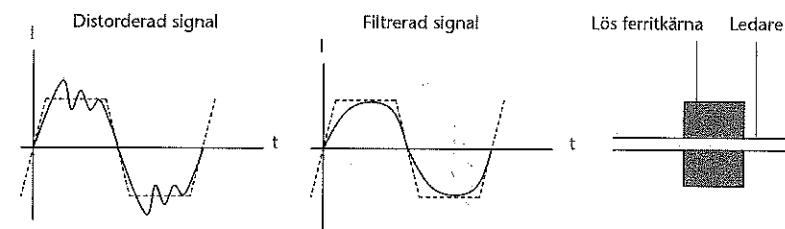
- Filtrering.
- Minska fältens intensitet.
- Låsning av fälten.
- Skärmning

FILTER

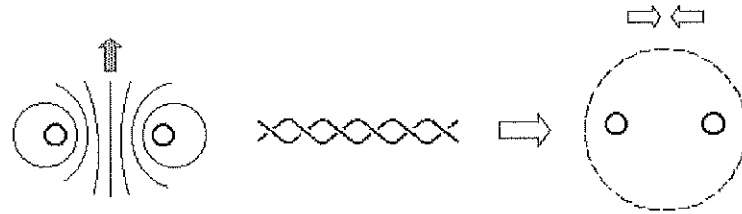
Vid avstörning av typ 2-störkällor kan man ibland behöva applicera filter på signalledningar. Man kan emellertid vanligen inte med filter påverka strömmen i ledningar utan att äventyra apparaternas funktion.

Alla signaler som produceras får dock inte alltid det utseende som man avsett från början. Ofta blir de försedda med "slag" och "rippel", fig. 5.9. (Man kan om man så vill se den tidigare distorderade 50 Hz-strömmen som försedd med "slag"). Sådan distorsion kan utan vidare störa. (Den kan tillsammans med nyttsignalen bilda besvärande blandningsprodukter vid passage av olinjära element, t.ex. transistorer, i störda apparater).

En bra metod att få bort ripplet är att låta strömmen passera en induktans vilken höjer impedansen hos kretsen för dessa frekvenser. Därmed reduceras också dessa störströmmar. Ett smidigt sätt att åstadkomma impedans vid HF är att använda lösa *ferritkärnor* vilka appliceras på ledningarna.



Figur 5.9 Hur "slag" på en signalström kan filtreras bort med en lös ferritkärna.



Figur 5.10 Hur man med hjälp av tvinning av ledarna i en parledning kan minska fältens intensitet.

MINSKA FÄLTENS INTENSITET

Att minska fältens intensitet kan vara svårt eftersom detta möjligen kan äventyra apparatens funktion. En förbättring i nämnda avseende brukar man dock alltid kunna göra. I en parledning går oftast strömmarna åt var sitt håll. Detta resulterar i en fältförstärkning kring ledningen. Om man i stället låter fälten byta riktning så ofta som möjligt tar de i hög grad ut varandra. Detta kan åstadkommas genom att man *tvinnar* ledarna, fig. 5.10.

LÅSNING AV FÄLTEN

Låsning av E-fält innebär att man ser till att dessa fält inte breder ut sig fritt i rummet. Man arrangerar delar med olika potential i apparaten så, att fälten får liten utbredning. Oftast så att fälten låses mellan ex.-vis en ledning eller grupp av ledningar och ett jordplan. Se vidare nedan och kap.7.

SKÄRMNING

Någon fältteori

När ett EM-fält kommer i kontakt med ett annat material än det material som fältet fortlämnas i från början (ofta luft), t.ex. en fast kropp, händer två saker: 1) En spänning genereras i kroppen. 2) Fältet undergår förändringar.

1)

Låt oss först studera hur spänningar genereras eftersom detta har den största betydelse för att störningar uppkommer. Kroppen som spänningen genereras i kan ju t.ex. utgöras av en ledare som tillhör en störningskänslig apparat.

Typen av fält har betydelse för *hur* spänningen genereras. Enligt fältteorin så existerar ett renodlat E-fält strängt taget endast alldeles intill en viss sorts fältgivare. Denna fältgivare måste då vara inrättad så att någon ström inte

existerar i den. En sådan komponent kan svårigen tänkas annat än rent hypotetiskt. Hos fältavgivande kroppar i praktiken finns alltid någon lednings- och/eller förskjutningsström. Det kretselement som kommer den ideala E-fältgivaren närmast är en rak ledare mellan vars ändar en potentialskillnad finns.

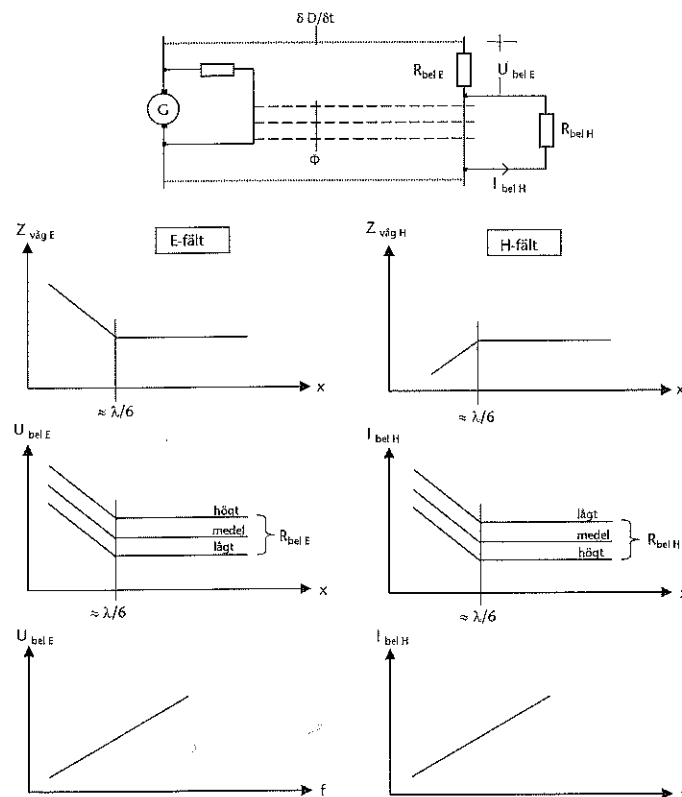
Teorin visar nu att det uppstår en viss förskjutningsström ett stycke bort från ovannämnda fältgivare. Denna ström ger upphov till ett H-fält. Storleken hos detta H-fält ökar fram till avståndet $\lambda/6$. Kvoten mellan E-fält och H-fält, vågimpedansen $Z_{v(E)}$, minskar därmed fram till punkten $\lambda/6$. Därefter blir Z_v konstant. En EM-våg har bildats. Från och med denna punkt har vågimpedansen värdet 377Ω i luft. (En fältgivare som ger såväl "potentialskillnad" som "ström" uppvisar principiellt en med avståndet konstant vågimpedans, se fig. 4.14).

Lika väl som att ett renodlat E-fält enbart kan existera alldeles intill en viss typ av hypotetisk källa, lika väl existerar ett renodlat H-fält alldeles intill en annan typ av hypotetisk källa. I detta fall skall källan bestå av en komponent med enbart ström men utan potentialskillnader. Det kretselement som mest liknar en sådan kropp är en ledningsslinga av högledande material. Utanför fältgivaren uppstår sedan med tilltagande avstånd till källan ökande potentialskillnader. Kvoten mellan E-fält och H-fält, $Z_{v(H)}$, ökar efterhand och stabiliseras vid punkten $\lambda/6$.

En modell, E-fältet

Vi studerar modellen i fig. 5.11. Belastningsökning av fältgivaren sker genom att värdet på motståndet R_{belE} minskas. I ett renodlat "E-fall" leder detta till att spänningen U_{belE} sjunker eftersom strömmen $\delta D/\delta t$ är *fixerad vid varje frekvens* men ökar med frekvensen. (Storleken hos D avgörs av fältstyrkan och ϵ). Det sker en spänningsdelning mellan generatorns "inre impedans" och R_{belE} . Om R_{belE} har ett lågt värde blir spänningen över detta motstånd låg och vice versa. Man kan också se det som att källan/kretsen inte tål belastning.

Den alstrade (*influerade*) spänningen U_{belE} ökar alltså med frekvensen och kan i många praktiska fall skapa problem från någon MHz och uppåt. Vid låga frekvenser (0–100 kHz) ger E-fält normalt sällan störproblem såvida inte R_{belE} är mycket stort eller fältstyrkan mycket stor. Det finns emellertid fall där E-fält stör även vid låga frekvenser.



Figur 5.11 Fältteori. Se texten.

Exempel:

Ett bra exempel på besvärande generering av störspänningar från E-fält vid lågfrekvens är kretsarna hos gamla tiders signalkällor inom audiotekniken (kristallmikrofoner och kristallpick-uper för analoga skivor). Dessa kunde ibland vara mycket höghögsmiga (MΩ-klassen). De var också mycket känsliga för de av elnätspänningen genererade 50-hertziga E-fälten (= starkt "nät-brum"). Redan vid kretsimpedanser kring 50 kΩ var problemen avsevärt mindre.

Att beräkna de genererade spänningarna i de av fälten träffade kropparna är svårt. Även fältstyrkorna enbart är rätt svåra att beräkna. I Appendix i slutet av boken finns dock fältekvationer för ett par renodlade fall. Om man inte

beaktar alla de ovan relaterade faktorerna vid spänningsgenereringen kan emellertid uttrycken för denna generering förenklas högst avsevärt. Man likställer då fältet med en (eller flera) kondensatorer, och talar om *kapacitiv överföring*. Storleken på den vid influeringen uppkomna strömmen kan skrivas

$$i = c \frac{du}{dt}$$

H-fältet

Det renodlade H-fältets belastbarhet är i motsats till E-fältets mycket god eftersom ingen strömbegränsande faktor är för handen i fältöverföringen (fig. 5.11). Ett renodlat H-fält får man nära en H-fältgivare. Den genererade (inducerade) spänningen: $e = -d\Phi/dt$, är *fixerad* vid varje frekvens och flödesstorlek. Flödesstorleken avgörs elementärt av strömmen i fältgivaren, medan strömmen i den inducerade kretsen avgörs av R_{belH} . Räkningar på H-fält är komplicerade, men sådana räkningar är en förutsättning för att man skall kunna räkna fram inducerade spänningar.

Denna matematik kan förenklas avsevärt om man gissar på magnetfältens storlek och sedan på vanligt sätt beräknar induktionsspänningarna. För att dessa operationer skall bli enkla är det lämpligt att man förutsätter sinusformiga spänningar och strömmar.

Exempel:

Hur stor blir den inducerade spänningen i en kropp placerad 3 dm från en ledare i vilken strömstyrkan är 1 A? Frekvensen är 1000 Hz och magnetfältet verkar över en yta av storleken 0.4 m². Storleken hos fältvektorn (magnetflödets "motor") kan skrivas om ledaren är oändligt lång

$$H = \frac{I}{2\pi a} [\text{A/m}]$$

där I = strömmen i ledaren [A] och a = avståndet till ledaren [m]. Vi får

$$H = \frac{1}{2\pi \cdot 0.3} = 0.53 [\text{A/m}]$$

Vi vet att μ för luft är $\approx \mu_0$, dvs. $4\pi \cdot 10^{-7} [\text{Vs/Am}]$. Vi har

$$B = \mu \cdot H = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0.53 = 6.67 \cdot 10^{-7} [\text{Vs/m}^2] = 66.7 [\mu\text{T (tesla)}]$$

Vi har också att

$$\Phi = B \cdot A [\text{Vs}]$$

Om vi i ovanstående fall antar att den yta som omfattar ledaren i vilken induktion sker alltså är $0.4 \text{ [m}^2\text{]}$ får vi flödet

$$\phi = 6.67 \cdot 10^{-7} \cdot 0.4 = 2.67 \cdot 10^{-7} \text{ [Vs]}$$

Vi betraktar detta som ett toppvärde. Induktionslagen säger att

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \left[\frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{s}} \right]$$

Om flödet har funktionen $\phi = \hat{\phi} \sin \omega t$ blir dess derivata $\hat{\phi} \cos \omega t \cdot \omega$. Vi sätter in flödets effektivvärde i stället för uttrycket $\hat{\phi} \cos \omega t$ och kan därmed teckna den inducerade spänningens effektivvärde. Detta blir vid 1000 [Hz]

$$e = \frac{2.67 \cdot 10^{-7}}{\sqrt{2}} \cdot 2\pi \cdot 1000 = 1.19 \text{ [mV]}$$

Spänningen i ovanstående exempel hade ökat till 1.19 V om frekvensen varit 1 MHz .

(Detta räkneexempel "bevisar" att det inte var H-fält som störde den höghögsmiga audiokretsen ovan. Denna arbetade nämligen med signalspänningar av storleksordning 1 V).

2)

Allmänt

Vad som händer med fältens energi när fälten träffar en kropp är minst lika intressant som genereringen av spänning i denna kropp. När fältet träffar kroppen *reflekteras* en del, en del *absorberas* och resten *transmitteras* genom kroppen. Om den sista delen blir liten har man fått en ur avstörningssynpunkt värdefull *reduktion* av fältet.

Fältreduktion

E-FÄLT

För E-fält och låga frekvenser blir reduktionen genom reflexion mot ett metallskikt ytterst god och 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.

Med följande ekvation (ref.9) kan man beräkna den fältreduktion genom reflexion av E-fältet som kroppar mellan fältgivare och omgivningen åstadkommer. Reduktionen kan skrivas

$$R_{\text{refE}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4 \cdot Z_0} \cdot \frac{\lambda}{2\pi r} \right] \text{ [dB]} \quad (5.6)$$

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).

Av uttrycket framgår tydligt att den teoretiska reflexionsreduktionen blir synnerligen god när våglängden är lång, dvs. vid låga frekvenser. Beräkningsexempel redovisas i kap. 7.

Vid riktigt höga frekvenser ($> 100 \text{ MHz}$) kan en skärmnings reduktion genom absorption vara viktig även vid korta avstånd till fältgivaren. Ekvationer för absorptionsreduktion presenteras i kap. 7 och 9.

H-FÄLT

För H-fält blir reflexionsreduktionen 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. (När svåra problem uppstår är det vanligen fråga om direkt interferens mellan magnetfält).

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

$$R_{\text{refH}} = 20 \log \left[\frac{120\pi}{4Z_0} \cdot \frac{2\pi r}{\lambda} \right] \text{ [dB]} \quad (5.7)$$

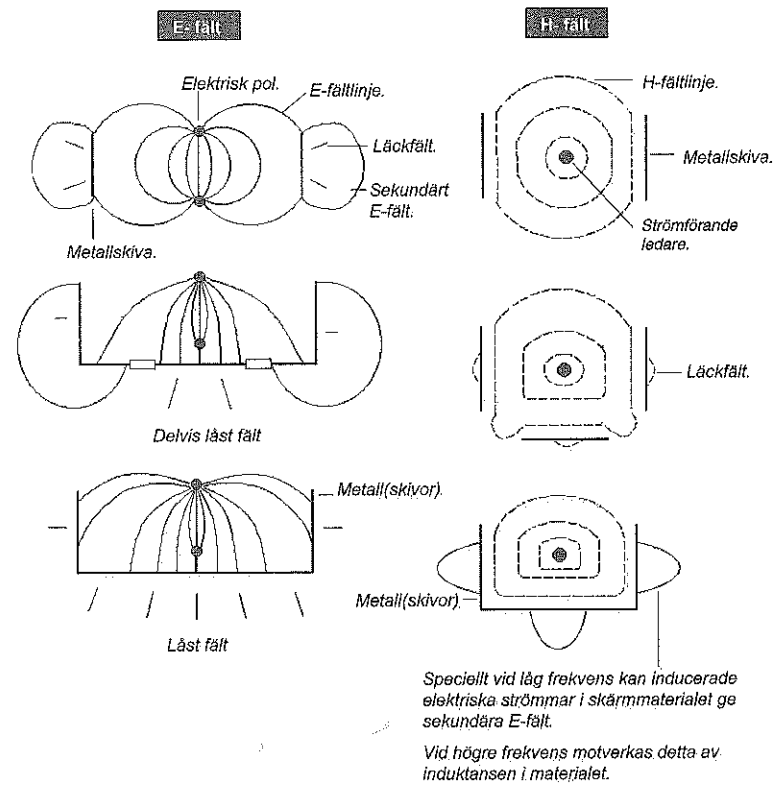
FJÄRRFÄLTET KORREKTION
FÖR NÄR-FJÄRRFÄLT

Av ekvationen framgår tydligt att reduktion av H-fält genom reflexion blir dålig vid låga frekvenser, dvs. när våglängden är stor. Beräkningsexempel i kap. 7.

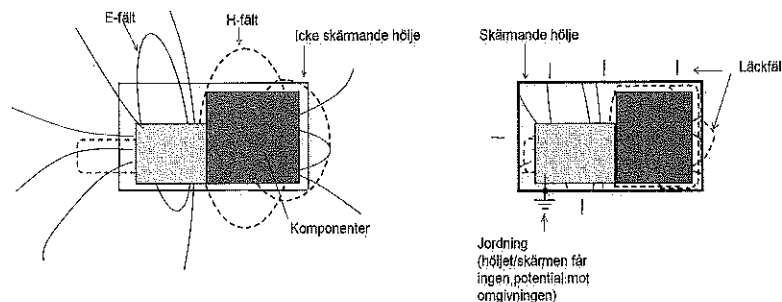
Om man måste åstadkomma fältreduktion vid låga frekvenser måste man förlita sig på fältreduktion genom absorption. Därvid måste skärmmaterial med stort μ -värde användas. Mera om detta i kap. 9.

Skärmningens utförande

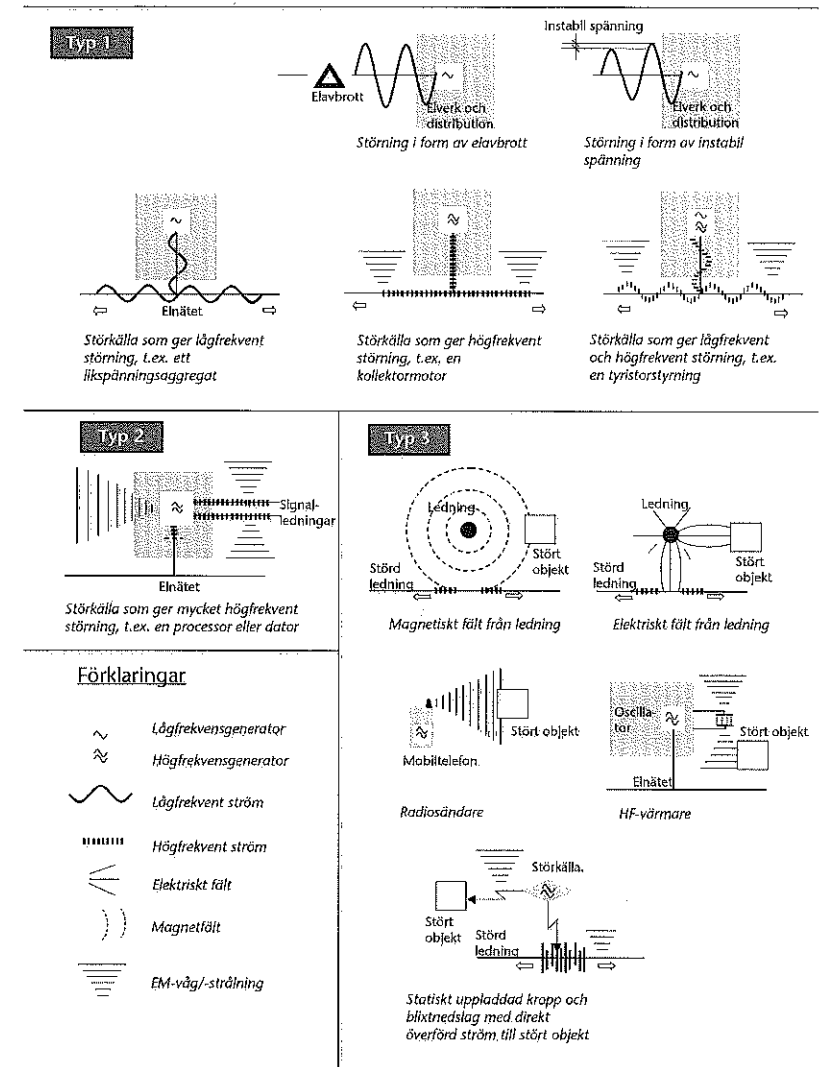
I fig. 5.12 visas några bilder på E- och H-fält när metallkroppar med olika utseende placeras i närheten av fälten. Bilden längst ner till vänster visar-



Figur 5.12 Fältnbilder.



Figur 5.13 Principen för skärmning.



Figur 5.14 Schematisk bild av olika störkällor.

hur fält kan "låsas" till en krets genom att man sätter ena polen på samma potential som metallkroppen.

I fig. 5.13 visas principexempel på skärmning. Viktigt är ofta att skärmningen är av lämpligt material samt oftast att den omsluter storkällan.

Typ 3

Beskrivning

Denna typ av storkälla skiljer sig från de ovan nämnda genom att själva störningen produceras *utanför* ett apparathölje eller dylikt. Till denna grupp hör också en del naturföreteelser som statisk elektricitet och åska. Ofta uppträder störningarna som fält. Fältstyrkorna kan anta mycket olika värden, från kanske $1 \mu\text{V/m}$ till 200 V/m eller i extremfall mera. Detta gäller också de störspänningar – genererade av statisk elektricitet, åska mm. – som kan induceras i ledningar. Dessa spänningar kan uppgå till flera kV.

Eftersom störningarna inte sällan är en oönskad produkt går en stor del av avstörningsarbetet ut på att eliminera storkällan.

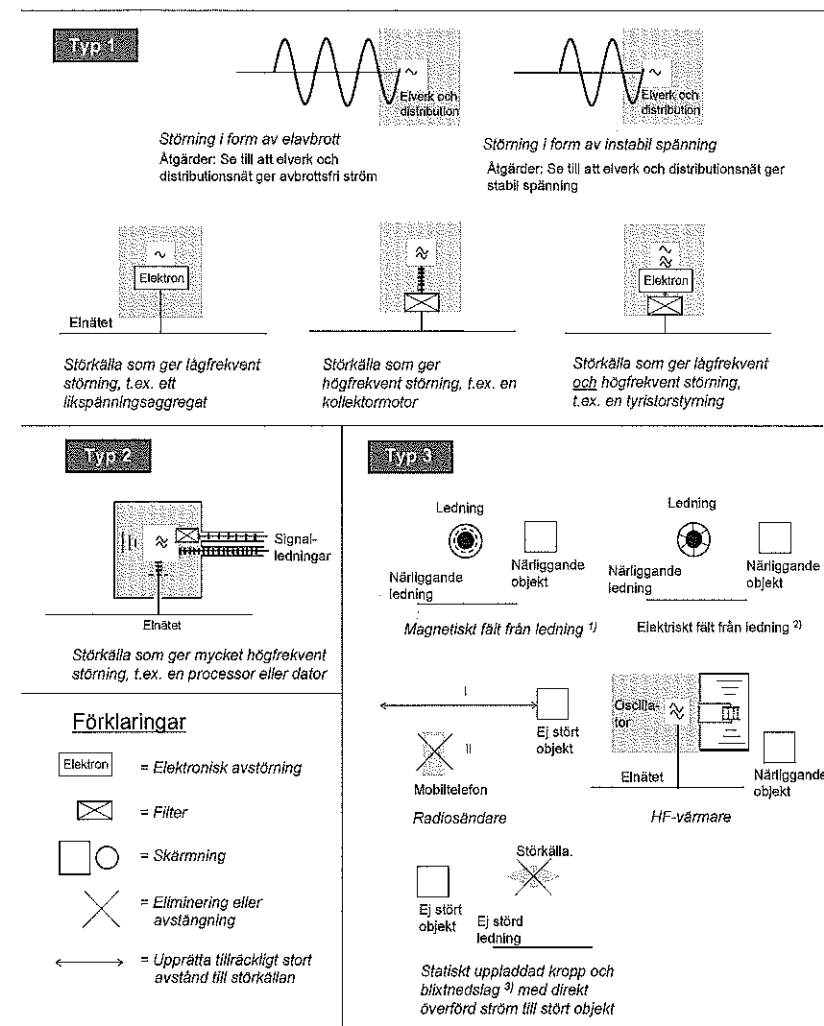
Avstörning

Det går inte att ange någon generell avstörningsmetod för denna grupp av storkällor eftersom störningsmekanismerna är mycket olika. Givetvis beror avstörningsmetoden också på om störningen är en nyttoprodukt eller en oönskad företeelse.

Det senare gäller förstås statisk elektricitet och åska. Här är det naturligt att eliminera eller begränsa storkällans verkningar. När det gäller statisk elektricitet finns också vissa möjligheter till detta. Här har forskningen de senaste 30 åren gått framåt en hel del.

Generella "avstörningsmetoder" vid statisk elektricitet är val av lämpliga material och materialkombinationer samt att hålla luftfuktigheten i lokaler där statisk elektricitet bildas så hög som möjligt (se vidare kapitel 7).

För vissa apparater som tillhör typ 3 är det inte meningsfullt att tala om avstörning. Den typ av apparater jag tänker på är förstås radiosändare. Här får man försöka att så långt det är möjligt se till att maximala utgångseffekter innehålls samt att sändningsfrekvenserna är de avsedda. I vissa fall kan det bli nödvändigt med sändarförbud (se vidare under "Mobiltelefoner", kap. 7).



Figur 5.15 Schematisk bild av hur storkällorna i fig. 5.14 kan avstöras. Anmärkningar: 1) Vid högre frekvenser kan det ibland vara befogat med fältreduktion med hjälp av skärm (reflexion). Vid lägre frekvens blir i förekommande fall reduktionsmekanismen absorption (stort μ -värde hos skärmen). Skärmning kan dock inte rekommenderas eftersom den skärmade ledningen kan bli behäftad med stora förluster (risk för virvelströmmar i skärmen) samt att magnetfältet har en tendens att "flyttas" av skärmen. 2) Skärmning kan bli aktuell vid högre frekvens (problem vid hög fältstyrka). Reduktionsmekanism är ofta absorption. 3) Någon känd "avstörning" av åska finns inte!

Sammanfattning

I fig. 5.14 visas schematiskt hur och vilka störningar olika störkällor avger. I fig. 5.15 visas schematiskt hur störningarna kan reduceras. Mycket vanligt är att en och samma apparat innehåller två (eller tre) typer av störkällor så som vi har definierat dem ovan. I ex.-vis en processorförsedd apparatur kan likspänningsaggregatet vara switchat. Det switchade aggregatet måste avstöras med filter, medan processorn vanligen avstörs med skärmning.