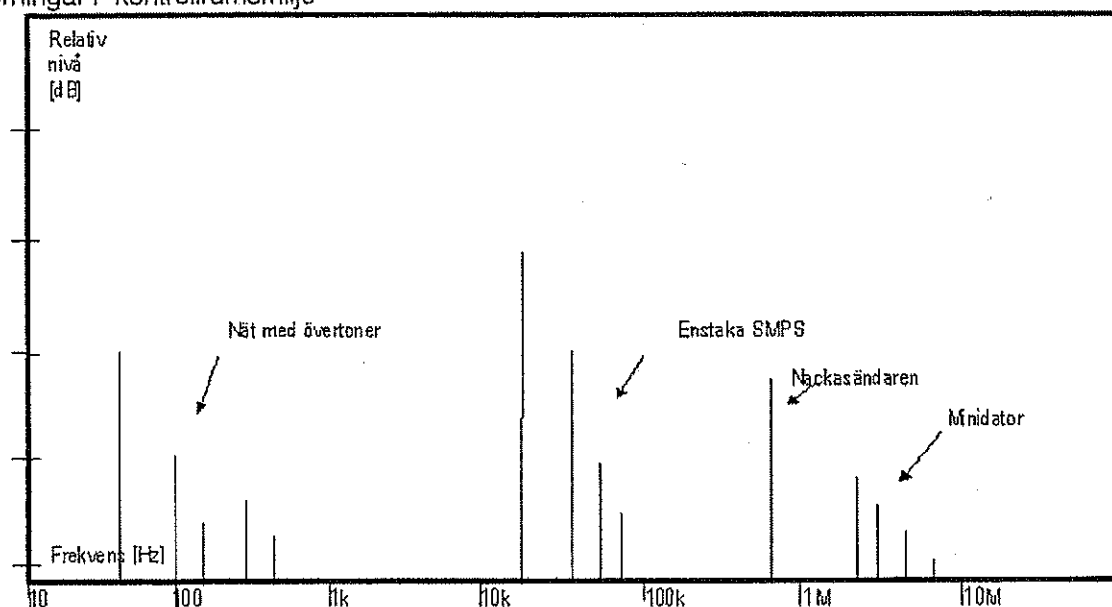


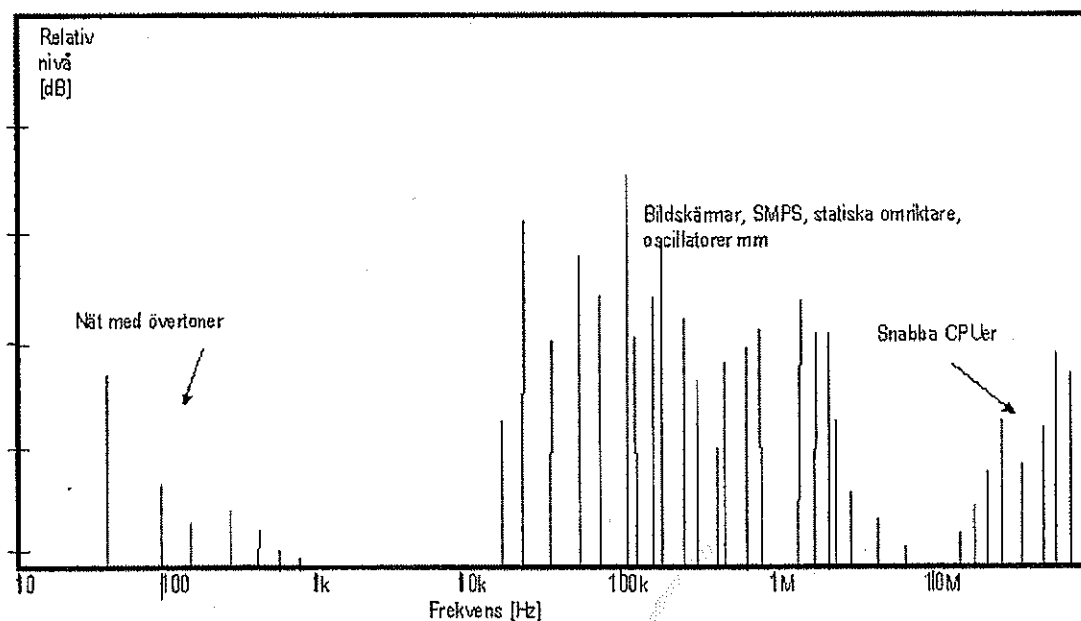
Kapitel 1 Introduktion

Störningar

Störningar i "kontrollrumsmiljö"

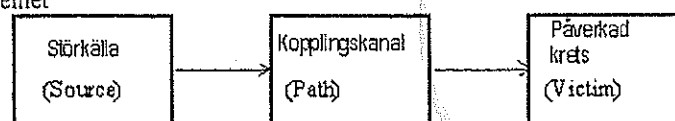


Figur 1-1 Spektrum ca 1975



Figur 1-2 Spektrum ca 1995

Uppdelning av störproblemet



Figur 1-3 Störproblemet

Ett störproblem kan alltid delas upp i dessa tre delar. Frågan är: var sätter man in motåtgärderna?

Störkällan stör många fler i sin omgivning. En insats här kommer alla till godo i form av en bättre elmiljö. Men man kan inte komma åt alla källor, t. ex. radiosändare.

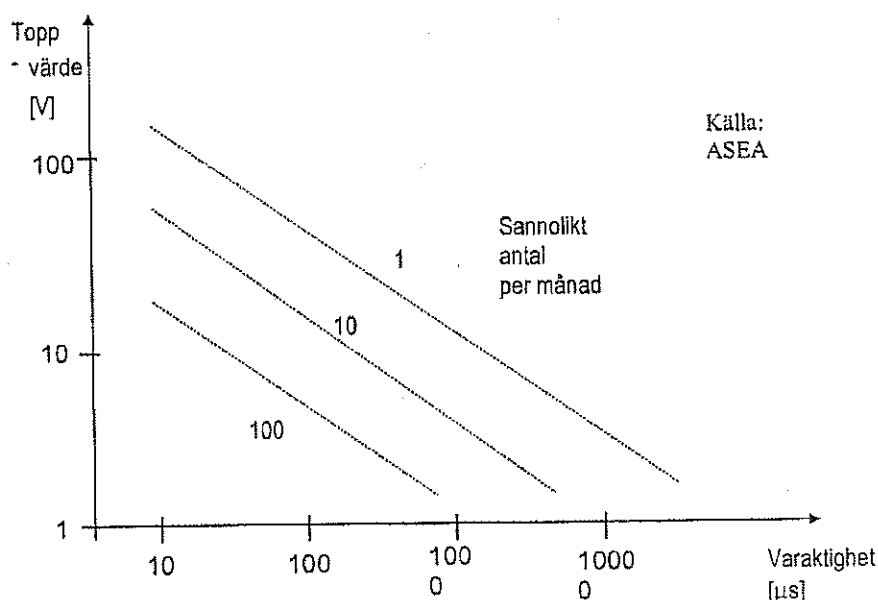
Kopplingsvägen är lätt att påverka om det är en ledningsbunden störning men svårare om störningen överförs i form av elektromagnetisk strålning.

Offret är oftast stört från flera olika håll. En avstörningsåtgärd här hjälper även mot andra störkällor i omgivningen.

En verklig situation är ofta mycket komplicerad med flera störkällor som via flera skilda kopplingsvägar påverkar olika delar av offret. En fullständig och noggrann analys kan inte göras utan datorstöd.

Men man kan komma ganska långt med enkla överslagsberäkningar bara man förstår vad som händer rent elektriskt. Det skall den här kursen handla om. Och kom ihåg att superpositionssatsen gäller för det linjära fallet. Man kan alltså mäta och räkna på en störsignal i taget så länge antagandet att kretsarna är linjära är riktigt.

Impulsstörningar är ofta slumpmässiga



Figur 1-4 Impulsstörningar

Ovanstående statistik kommer från industriell miljö.

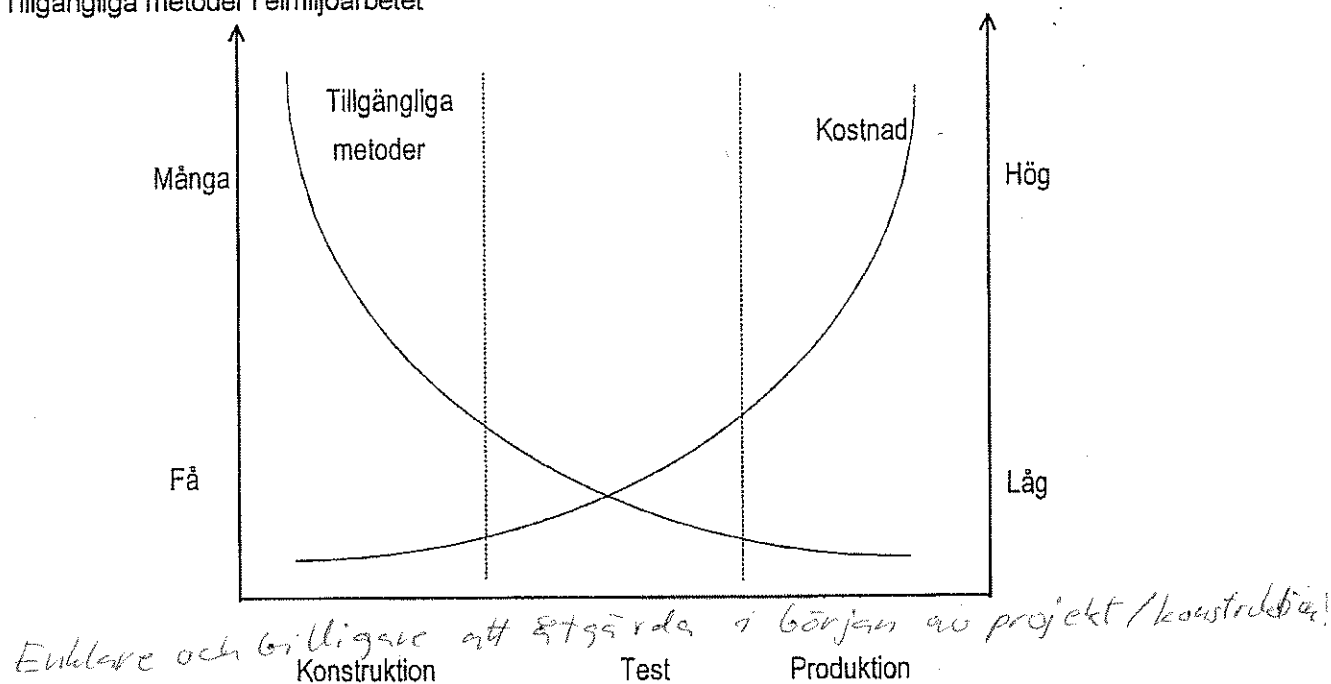
Den säger att man inte kan lita till praktisk utprovning av en konstruktion när det gäller EMC - man kan få sitta i veckor och vänta innan den stora störningen kommer, den som utrustningen skall klara.

EMC måste i stället konstrueras in från början och störsäkerheten måste provas med konstgjorda störkällor i laboratoriemiljö.

Det är typiskt för den industriella miljön att störbilden varierar mycket över tiden. Det beror dels på att en stor del av störningarna är brytnistor i stora kontaktorer och dels på att miljön är föränderlig med många ombyggnader etc. När en kontaktor eller annan elektromekanisk brytare åldras förvärras i allmänhet de störningar den avger.

Eliminering av störningar

Tillgängliga metoder i elmiljöarbetet



Figur 1-5 Strategi

I början av ett projekt är valmöjligheterna goda och det kostar inte så mycket att välja rätt strategi. Ju längre projektet fortskrider, desto färre blir de tillgängliga möjligheterna. I produktionsfasen är givetvis varje förändring mycket kostsam, inte bara i komponenter etc. utan också i försenade leveranser och kanske förlorade marknadsandelar.

En EMC-mässigt sund konstruktion grundläggs redan på specifikationsstadiet.

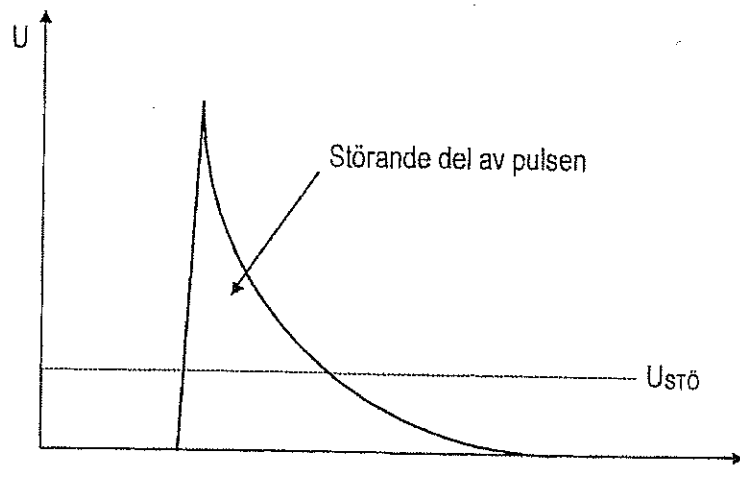
Vilka motåtgärder finns det mot störningar?

Här följer en oprioriterad lista. En del metoder är generella medan andra bara används i speciella fall:

- Filtrering
- Skärmning
- Separation
- Balansering
- Topologi: EMC-riktig uppdelning i zoner
- Zonindelning efter signaltyp
- Begränsning av bandbredd
- Begränsning av stig/falltider
- Galvánisk avskiljning
- Gnistsläckning
- Transientbegränsning
- "Power sequencing" *
- Tvinning av parledningar

Pulsstörningar

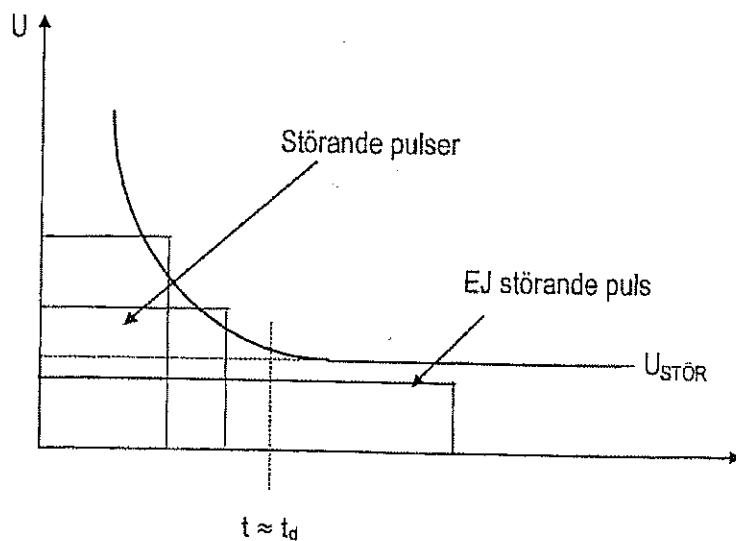
* Med detta menas sekventiell inkoppling av matningsspänningar till de olika delarna i en utrustning så att de kretsar som inte används i ett visst ögonblick sätts i sparläge. Denna teknik har använts mycket i satelliter för att spara energi men den minskar också störnivån och störkänsligheten generellt sett.



Figur 1-6 Störtröskel

Många av de störningar som är funktionshindrande kommer i form av korta pulser som påverkar till exempel digitala kretsar. I det fallet talar man om störtröskelvärde ($U_{STÖR}$) som är den nivå under vilken en krets inte påverkas även om störpulsen är oändligt lång.

För pulser som är korta i förhållande till kretsens reaktionstid gäller att ju kortare pulsen är, desto större amplitud måste den ha för att påverka:



Figur 1-7 Störande pulser

Mätning av störningar

Normer och CE-märkning

Normerna för strålade och kopplade störningar har från början kommit fram för hindra störningar vid radio- och TV-mottagning. De gäller därför fortfarande främst kontinuerliga eller repetitiva störningar. Normerna tar oftast inte hänsyn till störningar i form av korta transienter med låg repetitionsfrekvens eller enstaka händelser.*

Till exempel specificerar CISPR 16 att en mätning skall ske med en voltmeter som har 1 ms tidskonstant. Den kallas "quasi-peak voltmeter" i normen. Det är ju självklart att den inte gör stort utslag för en enstaka puls på 1 μ s eller 10 ns - pulser som lätt kan störa digitala kretsar.

* Undantag är ESD- och nätstörmått som handlar om enstaka störpulser

Begrunda följande frågor:

Kan det hända att en apparat som uppfyller CE-normerna inte fungerar på grund av egna störningar?
 Kan det hända att en apparat som inte uppfyller normerna fungerar alldeles utmärkt?

Några förkortningar inom elmiljöområdet

EMI ElectroMagnetic Interference
 RFI Radio Frequency Interference
 EMC ElectroMagnetic Compatibility
 EMF Elektromagnetisk Förenlighet (sv. av EMC)
 EME ElectroMagnetic Environment
 EMP ElectroMagnetic Pulse
 LEMP Lightning EMP
 NEMP Nuclear EMP
 ESD ElectroStatic Discharge
 RÖS Röntgen Strålning

Normgivande och lagstiftande organ:

ISO International Organization for Standardization
 IEC International Electrotechnical Commission
 CEN Comité Européen de Normalisation
 CISPR Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques
 CENELEC Comité Européen de Normalisation ELECTrotechnique
 CECC CENELEC Electronic Components Committee
 ANSI American National Standards Institute
 IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers
 EIA Electronic Industries Association
 FCC Federal Communications Commission
 DIN Deutsches Institut für Normung
 SEK Svenska Elektrotekniska Kommissionen

(det kommer fler förkortningar senare)

Störningarnas följder

Förekomsten av störningar orsakar

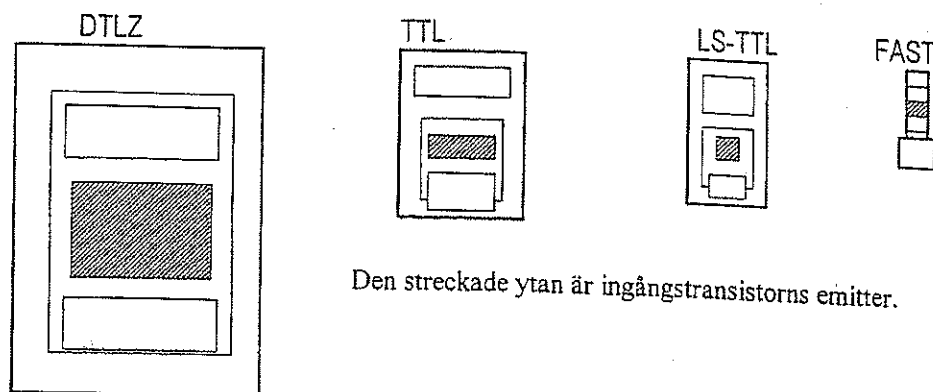
...
 Irritation, stress
 Felfunktion
 Degradering av data
 Minskad tillförlitlighet
 Förstörd utrustning
 Olyckor med personskador
 ...

Störpulser kan inte bara störa utan också förstöra

Temperaturhöjningen vid en kort transient är = det aktiva elementets volym $\times$ materialets specifika värme $\times$ tillförd energi:

$$\Delta T = V_{\text{aktiv}} \cdot c \cdot u \cdot i \cdot t$$

där c är specifika värmets och u , i och t är transientens spänning, ström och varaktighet.
 Jämför det aktiva elementets yta hos några logikfamiljer:

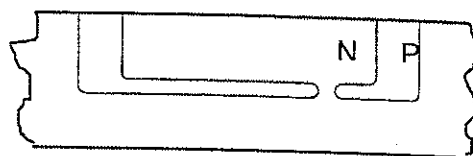


Den streckade ytan är ingångstransistorns emitter.

Figur 1-8 Värmdabsorbtion

Under en kortvarig transient hinner ingen värme ledas bort till kyl kroppar eller andra värmesänkor.

Om halvledarens material smälter och därefter stelnar igen har störatomerna i materialet kunnat förflytta sig. Det leder till att PN-övergångarna blir diffusa eller helt suddas ut, så kallat sekundärt genombrott:



Figur 1-9 Sprikor i en kiselbricka

Om temperaturen blir så hög att gasbildning uppstår kan kiselbrickan sprängas av gstrycket.

EMC-trender

Positiva trender:

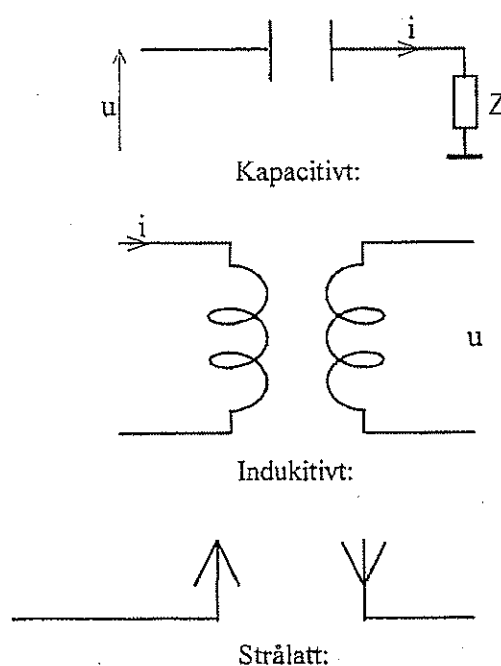
- Utrustningarna blir fysiskt mindre
- Normer för utstrålning och känslighet
- Zontänkande, topologi
- Optiska förbindelser
- Femledarsystem i allt fler byggnader
- Datorer medger komplexa beräkningar och simuleringar

Negativa trender:

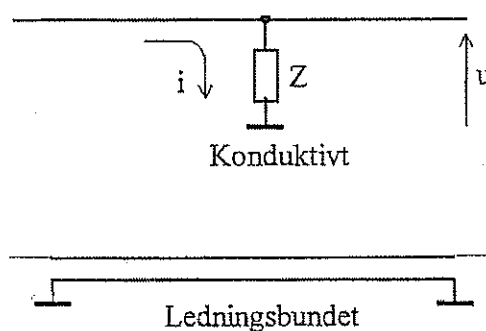
- Komponenterna allt mindre och känsligare
- Antalet apparater per ytenhet ökar
- Stor mängd störkällor i vissa miljöer
- Nya störkällor tillkommer (SMPS, nallar mm)
- Effekter, frekvenser och bandbredder ökar
- Summan av dessa trender kan sägas vara i stort sett oförändrad över de senaste 20 åren.

Fortplantning av störningar

Störningar kopplas på olika sätt



Figur 1-10 Elektromagnetiska kopplingar



Figur 1-11 Ledningsbundna kopplingar

Kapacitivt kopplade störningar överförs av ett E-fält:

- En störspänning ger upphov till en ström i mottagande kretsar.

Induktivt kopplade störningar överförs av ett H-fält:

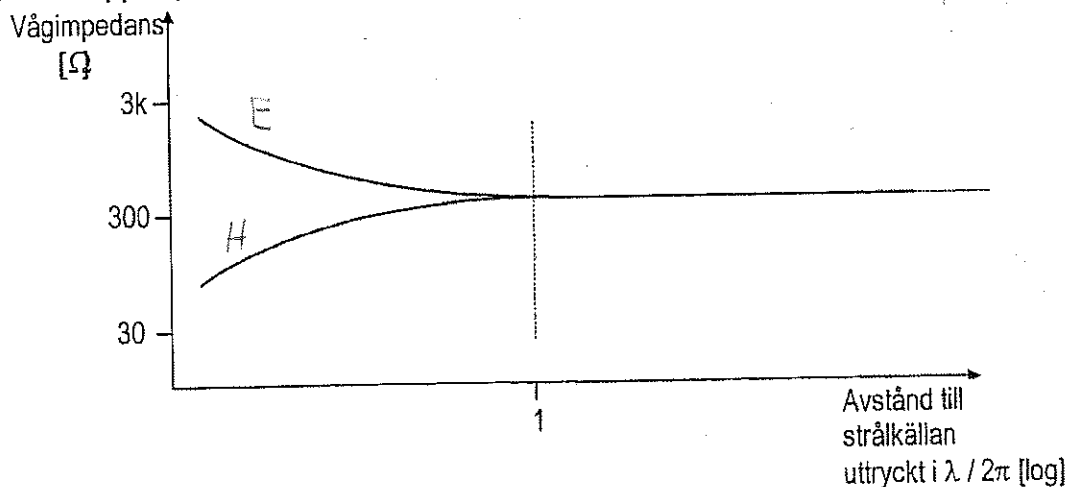
- En störström ger upphov till spänning i mottagande kretsar.

Strålade störningar har både E- och H-fält.

Konduktivt kopplade störningar uppstår över en gemensam kretsimpedans. En störström ger upphov till en spänning som påverkar mottagande kretsar.

Ledningsbundna störningar följer en ledning, kabel eller annat metallobjekt.

Kapacitivt kopplad, induktivt kopplad eller strålad störning?



Figur 1-12 Vågimpedans

På långt håll från en störkälla (i våglängder räknat) är vinkeln mellan E- och H-fältens svängningsplan 90° och fälten känner impedansen $Z_0 \approx 120 \pi \Omega \approx 377 \text{ ohm}$. Man säger då att fältet är strålat.

På nära håll är E- och H-fälten från en störkälla oberoende av varandra och man kan räkna på fälten var för sig. Ett elektriskt fält har en impedans som är större än 377Ω . Ett magnetiskt fält har lägre impedans än 377Ω .

Man brukar sätta gränsen mellan när- och fjärrfältsområdena till det avstånd som är $\lambda / 2\pi$ för den aktuella störningen.

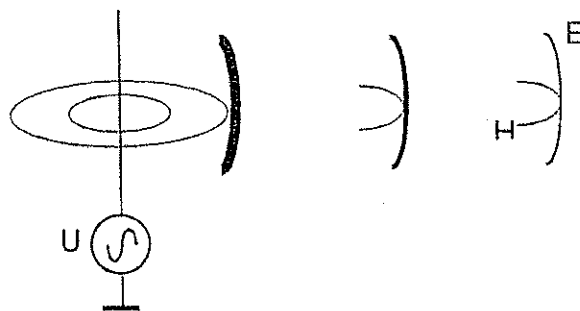
Att bedöma utrustningens storlek i förhållande till denna gräns är ett mycket viktigt hjälpmedel när det gäller att bedöma en störsituation och komma på olika botemedel.

Exempel: En utrustning är inbyggd i ett två meter högt apparatskåp. En störning med frekvensen 100kHz uppträder i skåpet.

Hur kopplas störningen?

Avståndet till strålkällan är högst två meter. Då gäller att $\lambda = 2 \cdot 2 \cdot \pi = 12,6 \text{ m}$. Motsvarande frekvens är c:a 24 MHz. Störningen (100 kHz) är alltså väl i närfältszonen och den kan alltså vara kapacitivt eller induktivt kopplad (eller båda) men inte strålad.

E-fält i närzonen



Figur 1-13 Elektriskt fält

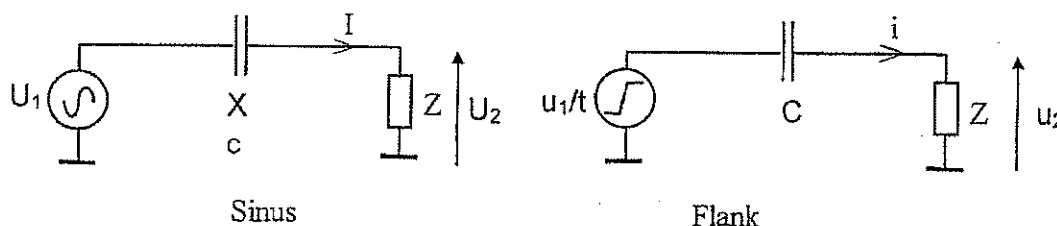
En högimpedanskälla genererar ett elektriskt fält i närzonen. Det magnetiska fältet är förhållandevis svagt och den utstrålade energin ligger huvudsakligen i E-fältet. När vågen avlägsnar sig från källan utjämnas energin mellan fälten tills, på tillräckligt stort avstånd, lika stor energi överförs av båda fälten. Z_0 är då 377Ω .

Exempel: Tänk dig en 1m lång ledning som är ansluten i ena änden till en 500V 10kHz spänningskälla. Ledningen är då mycket kort i förhållande till våglängden (som är 30km). Man kan beräkna antennens kapacitans till omgivningen till c:a 10pF. Antennens impedans kan uppskattas till:

$$X_C = 1 / \omega C = 1,6 M\Omega \quad \text{vilket ger strömmen } 500 / 1,6 \approx 300 \mu A$$

Den energi som utstrålas av H-fältet är i detta fall mycket mindre än den energi som utstrålas av E-fältet.

Det kapacitivt kopplade störningsfallet kan förenklas till:



Figur 1-14 Ekvivalent schema

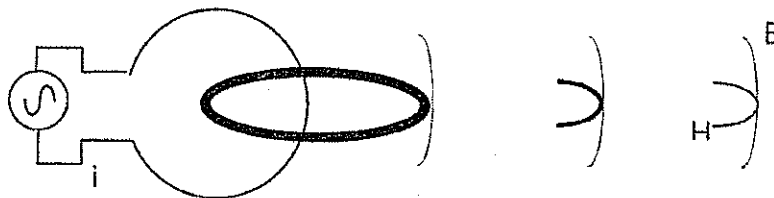
Eftersom i alla praktiska fall U_2 är $\ll U_1$ kan fasvridningen approximeras till 90° och U_2 beräknas enkelt ur

$$U_2 = U_1 \cdot Z / X_C \quad \text{där } X_C = 1/\omega C \quad \text{för en sinus}$$

För en flank gäller

$$i = C \cdot du_1 / dt \quad \text{och} \quad u_2 = Z \cdot i$$

H-fält i närzonen

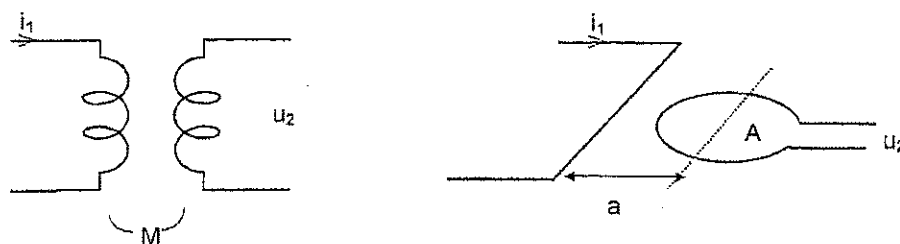


Figur 1-15 Magnetiskt fält

En lågimpedanskälla genererar ett magnetiskt fält i närzonen. Det elektriska fältet är förhållandevis svagt. Den utstrålade energin ligger i H-fältet. När vågen avlägsnar sig från källan utjämnas energin mellan fälten tills, på tillräckligt stort avstånd, lika stor energi överförs av båda fälten. Z_0 är då 377Ω .

Exempel: Tänk dig en slinga av grov koppartråd med 10 cm diameter som drivs av en 100A strömkälla med frekvensen 500 Hz. Slingan är här mycket liten i förhållande till våglängden (som är 600 km) och dess impedans är av storleksordningen milliohm. Spänningen över slingan blir långt under en volt (och E-fältet försumbart) medan det magnetiska fältet är betydande.

Det induktivt kopplade störningsfallet kan förenklas till:



Figur 1-16 Ekvivalent för induktivt koppling

För en sinus gäller $u_2 = j\omega M \cdot i_1$ om den ömsesidiga induktansen M är känd.

För den högra figuren är $M = (A \cdot \mu_r \cdot \mu_0) / 2 \cdot \pi \cdot a$ där

A är slingans area [m^2]

a är avståndet [m]

μ_r är 1 för luft

För en flank gäller

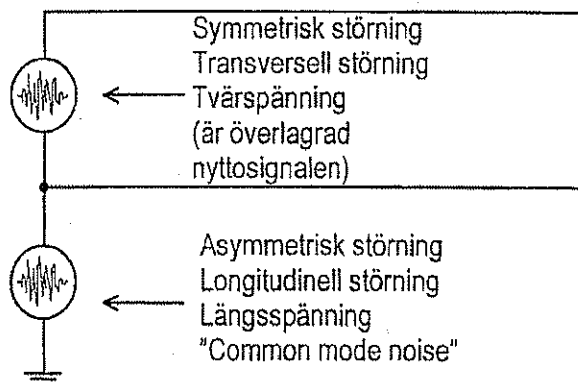
$$u_2 = M \cdot di_1 / dt \text{ eller, allmänt, } u = \frac{(A \cdot \mu_0)}{(2\pi \cdot a)} \cdot \frac{di}{dt}$$

Sortkontroll:

$$\frac{m^2 \cdot V \cdot s \cdot A}{A \cdot m \cdot m \cdot s} = V \quad \text{vilket skulle bevisas}$$

Ledningsbundna störningar

Några synonymer:



Figur 1-17 Synonymer

Den symmetriska störningen är överlagrad på nyttsignalen och kan enkelt elimineras bara om den ligger utanför nyttsignalens frekvensområde. Den kan då filtreras bort.

Den asymmetriska störningen kan elimineras genom isolering med till exempel en linjemottagare, en transformator eller en optokopplare. Den isolerande kretsens förmåga att undertrycka störningen kallas längsspänningsundertryckning eller CMR (common mode rejection).

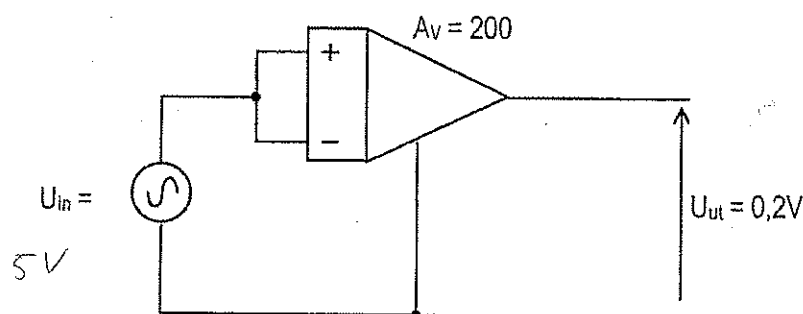
Definition av längsspänningsundertryckning

Längsspänningsundertryckningen uttrycks som en kvot, eng. CMRR (Common Mode Rejection Ratio)

"Ratio" = kvot antyder att CMRR är ett förhållande. CMRR definieras som :

$$CMRR = 20 \log \left[\frac{U_{IN}}{U_{CM}} / \left(\frac{U_{ut}}{A_v} \right) \right]$$

Exempel:



Figur 1-18 Mätning av CMRR

Förstärkaren "upplever" i detta exempel en inspanning av $0,2V / 200 = 1mV$. Annars skulle den ju inte lämna $200mV$ utspanning! Denna spänning finns inte mellan ingångarna (som i exemplet är kortslutna) utan den uppstår inne i förstärkarens kretsar som en följd av den längsspänning som ligger på ingångarna.

Den påtryckta längsspänningen är $5V$. Kvoten är alltså $5V / 1mV = 5000$ eller, uttryckt i dB, $20 \log 5000 = 74 \text{ dB}$.

◆ Begreppet CMRR gäller inte bara förstärkaringångar utan kan tillämpas på alla isolerande komponenter.

Total dämpning och störbudget

Ett sätt att uppskatta hur mycket total störundertryckning som man behöver är att räkna ut kvoten mellan störkällans spänning eller ström och den spänning eller ström som man högst kan tillåta i de känsliga kretsar som man vill skydda.

Denna kvot kan också uttryckas i dB.

En stördämpning på 40 dB (100 ggr) är lätt att uppnå med enkla medel som till exempel enkla RC-filter och enkla skärmar.

En dämpning på 80 dB kan sägas vara ett medelgott skydd som kräver en mer noggrann konstruktion och uppbyggnad av skydden.

En total dämpning på 120 eller 160 dB kräver en mycket genomtänkt konstruktion med dämpning i flera steg.

Det är stor kostnadsskillnad på dessa alternativ. Om vi som exempel ser på kostnaderna för ett nätfilter ser det ut så här (cirkapriser):

40dB	100:-	för enfas
80dB	1000:-	för enfas
120dB	10 000:-	för trefas
160dB	100 000:-	för militärt RÖS-skydd, trefas

Om man då kan klara sig med tre stycken 40-dB -åtgärder i stället för en 120dB har man sparat mycket. Det är därför man skall försöka *fördela* skyddsåtgärderna i sin konstruktion så att varje del har det skydd som krävs för just den delen.

Ibland kan man tala om en *störbudget*. Antag att den totala erforderliga dämpningen från storkälla till offer kan uppskattas till 100 dB. Man kan då exempelvis dämpa storkällan 30 dB, sätta ett 20 dB filter i kopplingsvägen och kanske isolera störmottagaren från längsspänning med 50 dB. Summan av åtgärderna är då 100dB.

En sådan uppdelning kräver en indelning av konstruktionen i zoner eller underenheter där skydd, jordstruktur, skärmning och uppbyggnad anpassas till de signaltyper som förekommer. Ett arbetssätt där man gör en sådan indelning av ett system efter EMC-krav kallas *topologisk konstruktion*.

Att räkna på EMC

Som vi tidigare har konstaterat är den totala störbilden ofta mycket komplicerad. Noggranna beräkningar av störfält och nivåer kan bara göras med hjälp av dator och bara på geometriskt och elektriskt väldefinierade problem.

Sådana noggranna beräkningar blir därför bara intressanta att göra i fasta, oföränderliga miljöer som till exempel militära objekt. I ett stridsflygplan är det mycket noga bestämt var kablarna skall dras och vilka underenheter som får finnas.

I industrimiljö eller kontorsmiljö, däremot, är det vanligt att utrustning byts ut och flyttas utan särskild hänsyn till el-miljön.

Som konstruktör har man därför ofta anledning att göra överslagsberäkningar på EMC-fenomen. Kravet på noggrannhet är inte så stort, om man hamnar rätt inom en tvåfaktor kan man vara ganska nöjd. Det svarar mot ett fel på högst 6 dB. Det är därför vi skall syssla med *överslagsberäkningar* i den här kursen.

Överslagsberäkningar, allmän gång:

Vid förenklade beräkningar inom EMC-området är beräkningsgången i allmänhet:

Rita ett kretsschema som tar upp storkälla, kopplingsväg och störoffer. Kom ihåg att jordstrukturen i regel måste tas med för att störningsbilden skall bli fullständig.

Förenkla schemat till ett ekvivalent schema som bara består av de krets-element som behövs för det fenomen som du vill räkna på.

Sätt upp ett uttryck för det som skall beräknas.

Räkna.

Gör sortkontroll! Det är ett bra sätt att avslöja felräkningar och särskilt nyttigt vid sådana beräkningar som man utför sällan.