



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R17:1991

Elektrisk miljö

**Skador och störningar
på elektronikutrustning med förslag
till skyddsåtgärder**

Arne Rejdin m fl

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135524

Byggforskningsrådet

R17:1991

ELEKTRISK MILJÖ

Skador och störningar på elektronikutrustning
med förslag till skyddsåtgärder

Lars Dahlman
Sten Hellström
Arne Rejdin
Viktor Scuka

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 890975-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Rejdin & Co AB,
Stockholm.

REFERAT

Den informationsmängd som varje dag genereras och distribueras är oerhört stor. Utvecklingen av de elektroniska komponenterna och datorteknologierna har möjliggjort det ökade utbudet av information. Om det är nödvändigt med denna stora tillväxt är givetvis en fråga.

Som en följd av utvecklingen kommer ständigt nya produkter med nya faciliteter. Bakom ligger givetvis vår önskan att utnyttja de nya teknikerna till ökad kunskap och bättre villkor, inte minst ekonomiskt. Rymdteknologi är ett exempel, men den största satsningen inom 90-talet blir antagligen att förbättra infrastrukturen i samhället med hjälp av elektronisk utrustning, nät- och programvara.

En följd av massanvändning av elektronik är att sårbarheten mera måste beaktas och att riskerna för driftstopp eller utslagning av utrustningarna måste minimeras. Det är befogat att se positivt på vår förmåga att rationellt minimera många av riskerna. Användning av optoteknik är ett exempel.

Likaväl som man talar om en klimatisk miljö kan man tala om en elektrisk miljö.

Att veta inverkan och skydda sig för påverkan av den elektriska miljön, är utomordentligt viktigt som en del i att minska sårbarheten hos utrustningarna.

Syftet med rapporten är tvåfaldig. Att beskriva de elektriska "fenomen" som uppstår och de skador och störningar de kan ge upphov till. Att med råd och praktiska anvisningar ange möjliga skyddsåtgärder.

I Byggnadsforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R17:1991

ISBN 91-540-5310-2
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

gotab 93230, Stockholm 1991

INNEHÅLL

Sid

1	ELEKTROSTATISKA FENOMEN, FÖREKOMST, EGENSKAPER OCH MOTÅTGÄRDER	7
1.1	Introduktion	7
1.2	Triboelektrocitet	7
1.3	Elektrostatisk induktion (influens)	10
1.4	Laddning, induktion och elektriskt fält	11
1.5	Skadeeffekter från elektrostatiska urladdningar	12
1.6	Motåtgärder	14
1.61	Skyddskretsar	14
1.62	Testmetoder	17
1.7	Antistatmaterial	19
1.71	Skyddsmaterialens specifika egenskaper	20
1.72	Hälsa- och säkerhetsaspekter vid val av anti- statiskt material	23
1.73	Exempel på typprovning av antistatmaterial	24
1.74	Nomenklatur	27
1.8	Indirekt ESD	33
1.9	Latenta fel	37
1.10	Standarder - normer	37
1.11	Fuktighet och jonisering	41
1.11.1	Fuktighet	41
1.11.2	Jonisering	41
1.12	Elektronikindustrin	44
1.12.1	Allmänt	44
1.12.2	Särskilda skyddsåtgärder för elektronik	46
1.13	Sammanfattning	47
1.14	Allmänna skyddsåtgärder, råd och exempel	47
1.15	Litteraturförteckning och referenser	52
2	METODER FÖR ELEKTROMAGNETISK SKÄRMNING I BYGGNADER FÖR ATT HINDRA INFORMATIONS- LÄCKAGE OCH ÖKA DEN EGNA STÖRNINGSTÄRLIGHETEN	54
2.1	Introduktion	54
2.2	Elektromagnetisk vågutbredning	57
2.3	Inträngningsdjup	59
2.4	Antenner och fältimpedanser	60
2.5	Teori för strålningsdämpning i tunna skärmar	62
2.6	Teori för strålningsdämpning i tjocka skärmar	62
2.7	Teori för dämpning av elektrisk och magnetisk induktion	64
2.8	Verkliga, ej ideala, skärmar	64
2.9	Metoder för skärmning av hela byggnader	66
2.10	Metoder för skärmning av enstaka rum	66
2.11	Metoder för skärmning av ledningsnät i byggnader	67
2.12	Vilken skärmningsnivå bör man uppnå	68
2.13	Sammanfattning	69
2.14	Litteraturförteckning	70
3	BLIXTSKYDD FÖR BYGGNADER	74
3.1	Beskrivning av parametrarna	74
3.11	Åskans och blixstens fysikaliska parametrar	74

		Sid
3.12	Blixurladdningens elektriska parametrar, blixstens verkningar	82
3.2	Teknisk definition av blixthotet	87
3.3	Grundläggande principer för blixtskydd av byggnader och konstruktion av åskledare	90
3.4	Blixtskydd av elektronik	114
3.5	Praktiska råd för blixtskydd av äldre byggnader	118
3.6	Blixtskydd vid nybyggnad	119
3.7	Litteraturförteckning och referenser	119

FÖRORD

Datorerna har, kan vi med fog påstå, övertagit de flesta av de kamerala tjänsterna i samhället. Deras kapacitet att samla, lagra och bearbeta data, som snabba maskiner i människans tjänst, är oerhört stor.

Nu kommer i allt större utsträckning elektroniskt definierade dataelement att ersätta dokument och genereras för att omvandlas till ord och bilder.

Populärt säger vi, att världen krymper. Javisst är det så. Avstånden spelar allt mindre roll och tiden för informationsöverföring är mycket liten.

En betydelsefull konsekvens av informationsteknikens nya utveckling är möjligheterna att som ett hjälpmedel förbättra infrastrukturen i ett samhälle, i en nation, mellan nationer och mellan kontinenter. Generellt sett bör en bättre infrastruktur motverka en regression och öka människans frihet.

Informationstekniska utrustningar, vilka i allt högre grad blir var persons egendom, används i samhällets tjänst, på kontor och i fabriker, innebär stora investeringar.

Sannolikt kommer antalet sådana utrustningar att öka mycket kraftigt, främst inom industri, handel och transport men också för samhällstjänster under 90-talet. De blir alltmer komplexa och sofistikerade. Utrustningarna ger stora fördelar och möjligheter. Inom många verksamheter är de nödvändiga för överlevnaden. De innebär stora investeringar, men deras sårbarhet är en konsekvens som är mycket väsentlig att beakta.

Om en försvarsteknisk term används, vad finns då för motmedel för att minska sårbarheten? Svaret eller svaren på detta är inte enkla och rapporten avser inte att besvara frågan totalt.

Ett väsentligt motmedel är att beakta, värdera och i görligaste mån säkra den elektriska miljön, som informationstekniska utrustningar omges av, utsätts för och genererar. På samma sätt som man talar om klimatisk miljö, kan man tala om elektrisk miljö som den påverkan elektriska laddningar ger på materia.

Elektriska spänningar och strömmar i ledningsnät påverkar föremål anslutna till detta. Elektriska och magnetiska fält från ledningsnät och elutrustning påverkar föremål i närheten. Elektromagnetisk strålning från nät och utrustning påverkar föremål även på längre avstånd.

De elektriska fälten och spänningarna bestäms av elektriska laddningars läge (placering). Magnetiska fält och elektriska strömmar uppkommer av laddningarnas rörelser. Elektromagnetisk strålning uppstår som en följd av laddningarnas acceleration

eller retardation. Energin hos elektriska och magnetiska fält är bundna till sin källa, under det att strålningsenergin lämnar källan som fotoner och kan ge en påverkan även på långt avstånd.

Elektrisk miljö kan man dela upp i en inre och en yttre miljö. Skillnaden mellan dem är att i den inre miljön, har man i regel kontroll över och kan påverka både störningskällan, störningens väg och störningsmottagaren under det att man i den yttre miljön normalt endast kan påverka en av dess delar.

Rapporten Elektrisk miljö är indelad i tre avsnitt, där specialister inom området medverkat:

- ELEKTROSTATISKA FENOMEN, FÖREKOMST, EGENSKAPER
OCH MOTÅTGÄRDER
Sten Hellström, Teknologie licentiat
- METODER FÖR ELEKTROMAGNETISK SKÄRMNING I BYGGNADER
FÖR ATT FÖRHINDRA INFORMATIONS-LÄCKAGE OCH ÖKA
DEN EGNA STÖRNINGSTÄLIGHETEN
Lars Dahlman, Civilingenjör
- BLIXTSKYDD FÖR BYGGNADER
Viktor Scuka, Professor
Institutionen för Högspänningsforskning, Uppsala
Universitet
Rolf Högberg, Forskningsingenjör
Institutionen för Högspänningsforskning, Uppsala
Universitet

I avsnitten anges relativt komprimerat teorier och matematiska modeller för konstruktion av skydd. Strävan har varit att ge så många praktiska råd som möjligt att beakta vid såväl ny-, om- som tillbyggnad.

Rapporten är skriven för att belysa hur elektronisk informationsutrustning påverkas av den elektriska miljön och för att kunna vidtaga lämpliga skyddsåtgärder. Åtgärder som om de negligeras kan få stora negativa konsekvenser. Åtgärder som bör beslutas om så tidigt som möjligt i byggprocessen.

Stockholm i november 1990

Arne Rejdin

1 ELEKTROSTATISKA FENOMEN, FÖREKOMST, EGENSKAPER OCH MOTÅTGÄRDER

1.1 INLEDNING

På grund av det allt vanligare användandet av syntetiska material (plaster och liknande) för väggar och inredningar i olika typer av byggnader har ett problem uppstått, då dessa material lätt ger upphov till elektrostatiska uppladdningar. Vid urladdning av dessa kan nämligen befintliga installationer av kommunikationssystem (TV, radio, datorer) störas, brand uppstå och elektronikkomponenter i apparater förstöras. Laddningen kan först överföras på människor som sedan urladdas. Med ökad användning av IT-utrustning blir problemet akutare. En åtgärd mot detta är att använda s k antistatmaterial, dvs material som framtagits med egenskapen att ej uppladdas nämnvärt. Detta kan innebära en prisfråga, då materialet fortfarande måste uppfylla krav på mekanisk hållfasthet, resistens mot kemikalier, korrosionsbeständighet mm. IT-utrustningar kan också göras mera okänsliga för sagda påverkan, liksom de rena elektronikkomponenterna. I fortstättningen skall närmare beskrivas hur detta bör genomföras. Man siktar på en s k "ESD"-säker miljö, även skärmning mot elektrostatiska fält. ESD kommer från engelskans Electro Static Discharge. Ett annat uttryck är ESDS = Electro Static DischARGE Sensitive (t ex om elektronikkomponenter).

1.2 TRIBOELEKTRICITET

Elektrostatiska urladdningar sker ständigt i vår omgivning. Olika material (isolatorer eller metall mot isolator), som kommer i beröring med varandra, kan bilda laddningar när de separeras. Positiva på den ena och negativa på den andra. Detta kallas triboelektricitet efter grekiskans tribein = gnida, riva. Sådana "laddningsgeneratorer" brukar ordnas i en serie efter förmåga att bilda laddningar, den triboelektriska serien:

Luft	+	
Asbest		
Glas		
Hår från människor		
Nylon		
Ull		
Läder		
Aluminium		
Papper		
Bomull	0	
Trä		
Koppar		
Mässing		
Polyester		
Orlon		
Polymetan		
Polyetylen		
Polypropylen		
Polyvinylklorid		
Kisel	-	Triboelektrisk spänningskedja

Ju större avstånd mellan två ämnen i serien, desto högre spänning är det möjligt att generera. Ytstrukturen spelar också in liksom hastigheten med vilken separationen eller gnidningen sker.

Nedan visas i tabell 1 olika generatorer för statisk elektricitet. Tabell 2 visar vilka spänningar dessa kan alstra i olika situationer.

A	ARBETSYTOR Behandlat trä Syntetiska mattor Ojordad metallplatta Glas
B	GOLV Vinyl Alla vaxade ytor
C	STOLAR Fiberglas Plast Vinyltäkta stolar Ojordad metall Behandlat trä
D	PERSONALBEKLÄDNAD Dammfria rum - Syntetiska laboratorierockar - Syntetiska skor och handskar Personliga kläder - Ylle - Syntetiska material - Silke - Jersey
E	PACKNINGSMATERIAL FÖR DELAR OCH UTRUSTNINGAR Polyetenpåsar och folie Polyetenbubbelplast och skumplast Polyuretan-packningsflagor
F	RENGÖRINGS- OCH PROVNINGSUTRYMMEN Snabba gasflöden Temperaturkammare Torkningsutrymmen

Tabell 1 Laddningsgeneratorer

	Medelvärde spänning kV RH = 40-65%	Högsta uppmätta spänning kV RH = 10-15%
Person gående på heltäckn matta	12	39
Person gående på PVC-golv	4	13
Bil som körts i torrt väglag	-	10
Rullbånd	-	25
DIP i plastlåda	3.5	12
DIP i leveransmagasin	0.5	3

Tabell 2 Uppmätta värden på elektrostatisk spänningsnivå i olika situationer

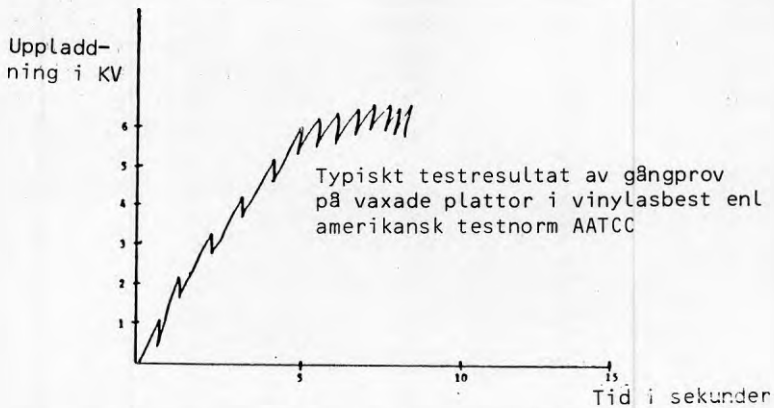
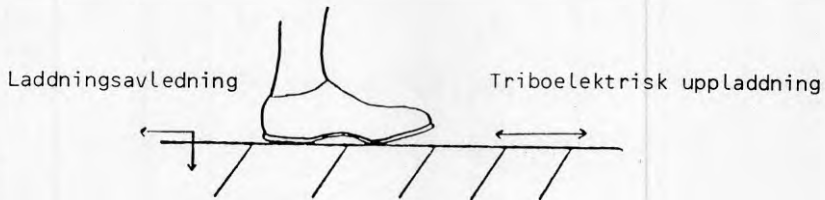


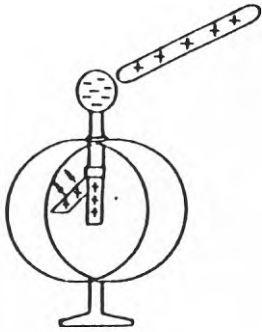
Fig 1 Exempel på bildning och avledning av statisk elektricitet hos golvbeläggning (från Proc. 1982 EOS/ESD-Symp.)

1.3

ELEKTROSTATISK INDUKTION (INFLUENS)

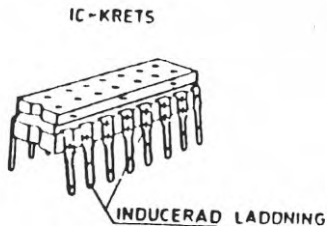
Uppkomna laddningar kan alstra nya genom induktion på ledare, dvs positiva och negativa laddningar separeras och vid jordning av ledaren försvinner det laddningsslag, som är lika den inducerande, det andra "bindes" genom attraktion från förstnämnda. Fenomenet kallas också "influens".

I fysikundervisningen demonstreras induktion vanligen med hjälp av ett så kallat elektrooskop. Detta består ofta av en glasbehållare eller liknande, i vilken införts en ledande stav med två guldfolier hängande nedtill. Om t ex en glasstav som uppladdats genom gnidning mot annat material förs mot elektrooskopets ingång, induceras laddningar och guldfolierna repellerar varandra (se figur 2).



Figur 2 Elektrooskop

På motsvarande sätt kan ett metallföremål i ett elektrostatiskt fält, t ex i närheten av en uppladdad isolator, själv bli uppladdat. Ett praktiskt exempel utgör en krets, vars kapselmaterial blivit uppladdat genom gnidning. Härigenom induceras laddningar på anslutningsbenen och andra metalldelar. Vid kontakt mot ledande föremål kan kretsen urladdas och skadas.

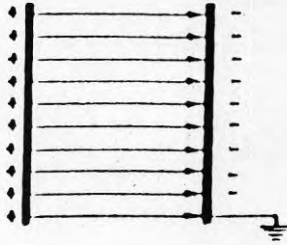


Figur 3

1.4

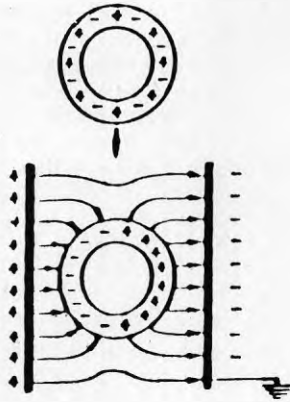
LADDNING, INDUKTION OCH ELEKTRISKT FÄLT

Från fysiken är det känt att ett elektrostatiskt fält (t ex i en kondensator) börjar på positiva laddningar och slutar på negativa.



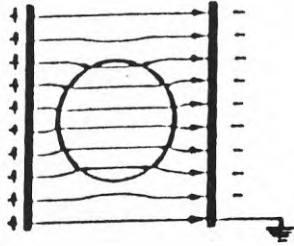
Figur 4

Om ett ledande material förs in i ett elektriskt fält, separeras de positiva och negativa laddningarna i materialet.



Figur 5

Om ett isolerande, dielektriskt material förs in i ett elektriskt fält, blir kraftlinjebilden enligt figur 6 nedan.

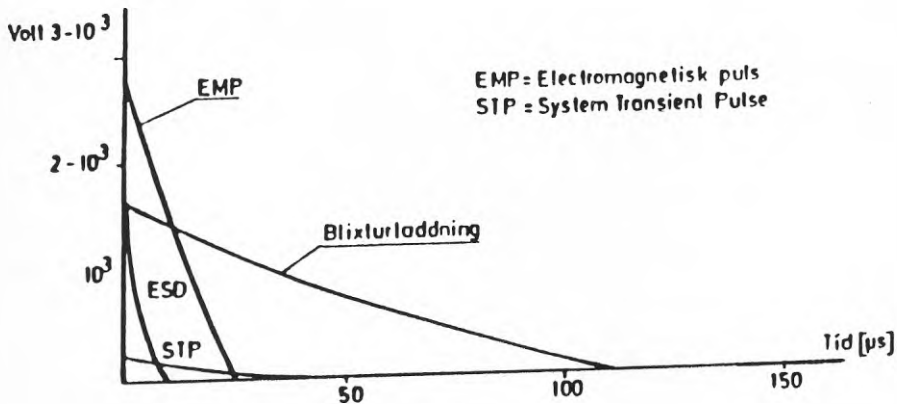


Figur 6

Då i vår tid syntetiska material (plaster t ex), som är typiska laddningsgeneratorer, fått stor användning har problemet med statiska laddningar blivit markant. Vi har ju samtidigt berikat oss med otaliga elektroniska utrustningar. Elektroniska komponenter och utrustningar kan ta skada om de utsätts för elektrostatiska urladdningar från personer och föremål.

1.5 SKADEEFFEKTER FRÅN ELEKTROSTATISKA URLADDNINGAR

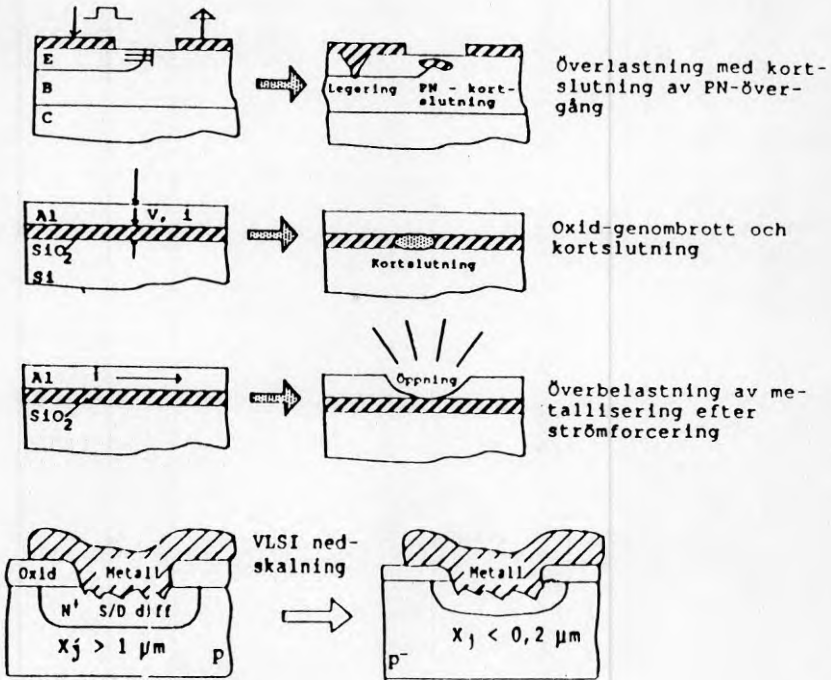
Omfattningen och arten av en ESD-skada på en komponent beror på pulsens energiinnehåll, urladdningstid och komponentens värmeledningsförmåga. Man brukar indela felen i dels effekt- eller strömberoende destruktions, resulterande i smälta zoner eller "hot spots", dels spänningsberoende i form av dielektriskt genombrott eller överslag. Nedanstående figur 7 ger en översikt över olika pulsers tidsberoende.



Figur 7

ESD-pulsen är, som framgår av figuren, mycket kort jämfört med de övriga. I fall med otillfredsställande värmeavledning kan en metalledare smälta av (effektberoende fel) eller ett överslag mellan två ledare uppkomma med fullbordad brygga mellan dessa eller början till en sådan (spänningsberoende fel). Till de senare hör också mer eller mindre fullbordade genombrott av dielektrikum mellan två ledare i flerlagsskikt.

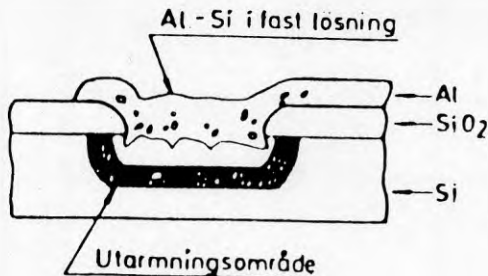
Översikt ESD-skador



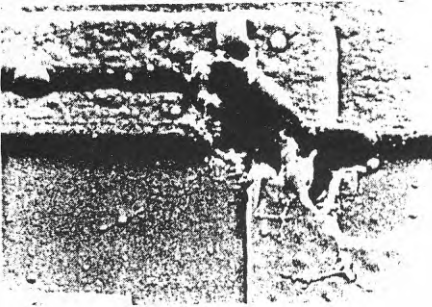
X_j = Diffusionsdjup

Figur 8

Aluminium från metallstyren av MOSFET-kretsar kan också börja vandra in i SiO₂-skiktet. Mera akut är fallet med aluminisering i kontaktfönster direkt över kiselsubstratet.

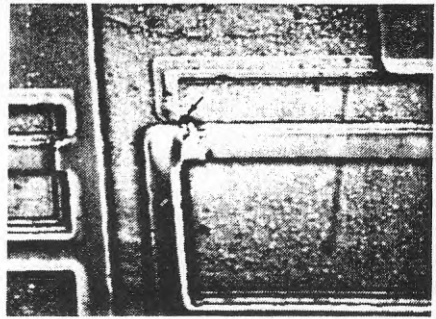


Figur 9



Ingångsmotstånd av polysilikon till en 8085 mikroprocessor som testats med 600 V ESD-pulser.

Figur 10



FAST-krets efter fem +2000 V ESD-pulser. Kraterbildning i "clamping diode". Smältning. Förstoring = 1000 X.

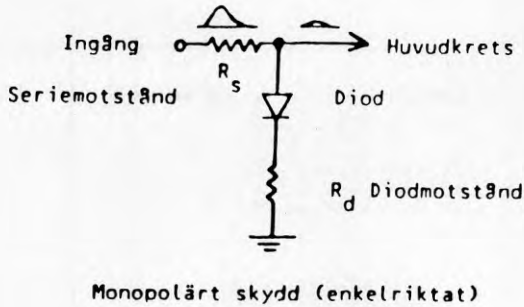
Figur 11

Den omedelbara komponentförstörelsen kan motverkas genom att försäkra komponenterna med s k skyddskretsar. Den övergripande åtgärden är naturligtvis att genom lämpliga materialval hindra att laddningar kan bildas. Man har för detta ändamål framtagit "antistatmaterial", dvs material som genom sina elektriska egenskaper motverkar uppkomsten av laddningar och/eller avleder sådana på ett skonsamt sätt. Övriga åtgärder beskrivs nedan.

1.6 MOTÅTGÄRDER

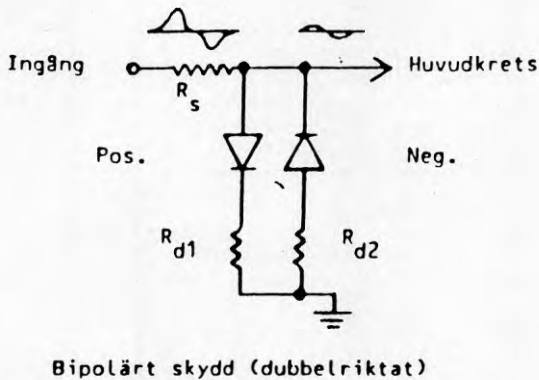
1.61 Skyddskretsar

Från första början, när mikrokretsar började tillverkas, försågs de med ingångskretsar, som skulle skydda mot snabba transienter och uppta överförd energi. Följande figurer beskriver de vanligaste skyddskretsarna. I moderna LSI- och VLSI-processorer måste steg finnas för inkorporering av skyddskretsarna och detta måste göras utan att störa den tilltänkta kretsens övriga funktioner eller försämra "latch-up"-immuniteten. Känsligheten för ESD ökas vid nedskalning av komponenter på grund av tunnare oxidskikt, smalare metalldare samt grundare dopningsfickor. Man kan i viss mån kringgå problemen genom tillägg i processförfarandet. I framtiden går det kanske ej att skydda en del kretsar mer än till en viss nivå, säg +/-300 till +/-500 V. En säker ESD-miljö måste då skapas för att förhindra uppladdningar till högre än angivna spänningar.



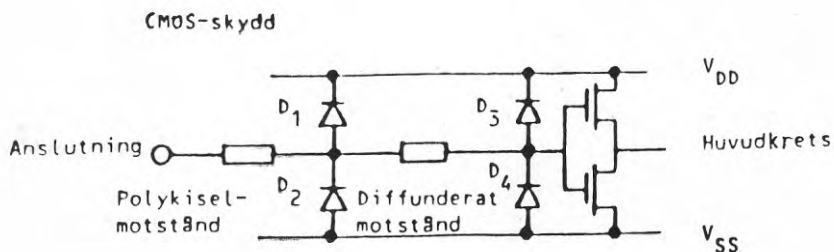
Figur 12

Parasitmotståndet R_d i dioderna får ej vara för stora, ty då minskar skyddsverkan.



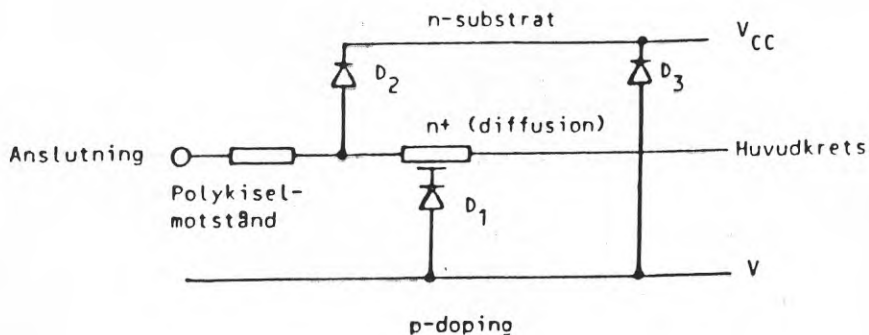
Figur 13

D1 och D2 "läser" positiva respektive negativa pulser till Vdd respektive Vss, samtidigt som de på grund av ett lågt diodspänningsfall kan ta upp en stor del av transientenergin. Det diffunderade motståndet tjänar till att begränsa strömmar till dioderna. Polykiselmotståndet har samma verkan, men "isolerar" också det diffunderade motståndet från ingången. Det hindrar också uppkomst av så kallad latch-up. D3 och D4 säkerställer ofarlig spänningsnivå på ingången. Se figur 14.



Figur 14

Man utnyttjar dels det n-dopade substratet, dels ett p-dopat område i kiset för att bilda dioderna D1 och D2. En parasitdiod D3 uppstår mellan p-dopat område och substratet. D1 skyddar mot negativa och D2 mot positiva pulser. D3 säkerställer en ofarlig spänningsnivå på ingången. Se figur 15.



Figur 15

Tabell 3 Typiska känslighetsnivåer för statisk elektricitet

Krets	Nivå (V)
VMOS	30-1 800
MOSFET	100- 200
GaAsFET	100- 300
EPROM	100- 200
SAW	150- 500
OP-AMP	200-1 500
CMOS	250-1 500
Schottky-dioder	300-2 500
Filmotstånd (fjock-, tunn-)	300-3 000
Bipolära transistorer	350-3 000
ECL, kortmonterad	500-1 500
SCR	600-1 000
Shottky TTL	200-2 500

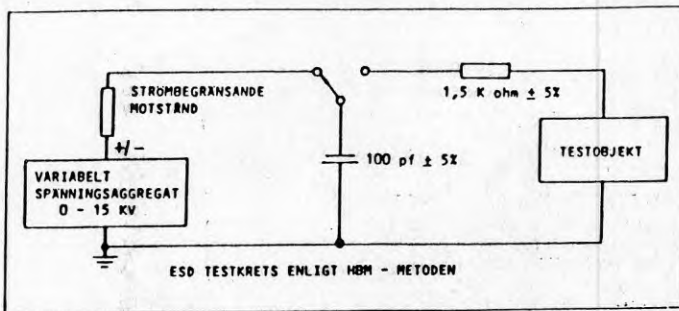
I VLSI-utförande kan känslighetsnivån bli så låg som 25 V och för vissa galliumarsenidkretsar t o m ännu lägre.

1.62

Testmetoder

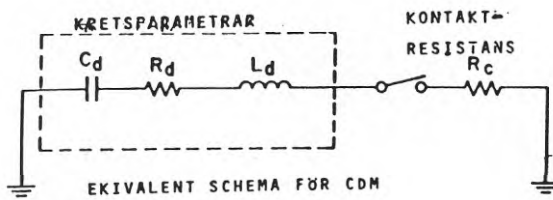
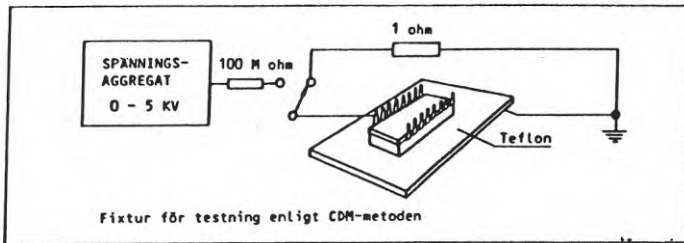
För att mäta känslighetsnivåerna för ESD hos olika komponentslag simuleras ESD-pulser enligt olika modeller:

- I "Human Body Model" (HBM). Denna används för att simulera urladdningar från en operatör till en krets;



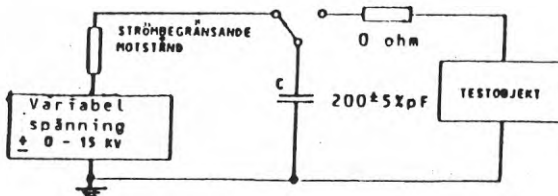
Figur 16

- II "The Charged Device (related) Model" (CDM). Denna används för att simulera urladdning från en "själv-uppladdad" komponent, t ex en mikrokrets som blir triboelektriskt uppladdad vid glidning fram och tillbaka i ett komponentrör (plaströr) och sedan urladdas om den kommer i kontakt med en jordad yta.



Figur 17

Slutligen skall nämnas Maskin Modellen (MM). Den har framkommit på grund av den alltmer ökade automatiseringen i tillverkning och kontroll och har sitt ursprung i Japan. Den simulerar urladdningar från omgivningen till en krets, t ex robotarm eller testsockel:



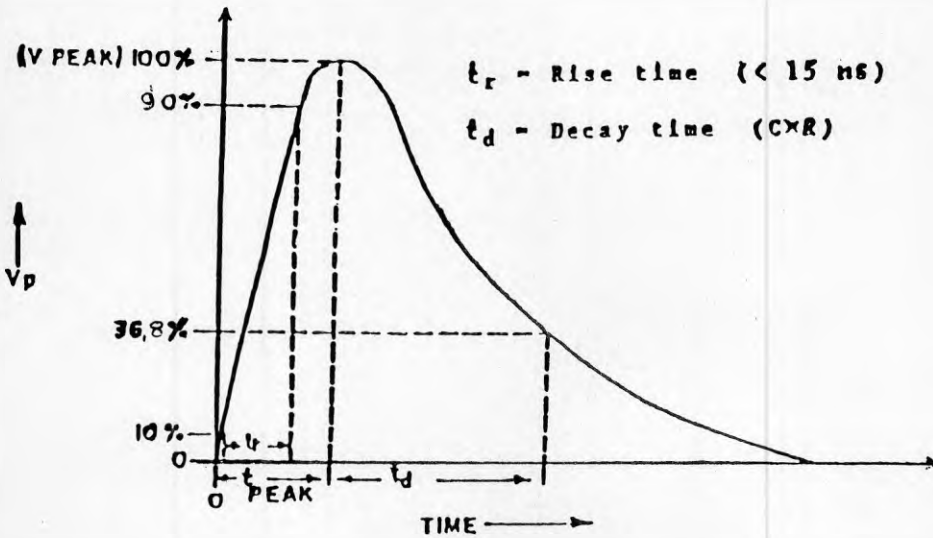
Figur 18

Maskin Modellen (MM)

Nästan all energi överföres från kondensatorn till testobjektet, då resistansen = 0. Känslighetsnivån hos kretsar för denna modell är 3-4 ggr lägre än för HBM.

Övriga förekommande modeller är Field Induced Model (FIM), Charged Package Model (CPM), Charged Board Model (CBM) and Charged Chip Model (CCM).

Pulsform och testspecifikationer



Figur 19 HBM voltage waveform taken from MIL-STD-883C (METHOD-3015)*

Tabell Procedures and criteria for ESD test methods according to HBM)

	MIL-STD-883C	STACK
Number of +ve pulses	5	5
Number of -ve pulses	5	5
Delay between pulses	5 secs	1 secs
Voltage level	2000 V	500 V
Number of devices	One per pin combination	One
Number of pins	One pin per pin combination	All pins other than pins normally grounded
Category	A: 20 V to 2000 V B: > 2001 V	Pass > 500 V Fail < 500 V

*) The recent Notice 7 of the method specifies conditions for a correct check of voltage and current wave forms, and also stipulates new pin combinations.

1.7

ANTISTATMATERIAL

Bästa sättet att skydda sig mot upp- och urladdningar är naturligtvis, att i omgivningen för känsliga komponenter och utrustningar använda avledande material, s k antistatmaterial. Med "avledande" menas här material, som har en

viss ledningsförmåga. Olika materials ρ k volymsresistivitet varierar över ett stort område. Exempel på detta ges i följande tabell:

Tabell 4 Resistivitet hos olika material i ohm x m

Silver	16×10^{-9}
Koppar	17×10^{-9}
Guld	23×10^{-9}
Aluminium	27×10^{-9}
1 n HCL-lösning	10^{-2}
Bakelit	10^5
Guttaperka	10^7
Pertinax	10^8
Celluloid	2×10^8
Trä, lönn	3×10^8
Plexiglas	$> 10^{10}$
Glas	$10^{11} - 10^{12}$
Glimmer	$10^{13} - 10^{15}$
Paraffin	10^{15}
Bärnsten	$> 10^{16}$
Polystyren	10^{17}

Eljest oledande plaster kan göras mer eller mindre ledande genom tillsatser av ledande material eller genom viss ytbehandling. UV-strålning och partikelbestrålning kan ha en likadan inverkan på ledningsförmågan.

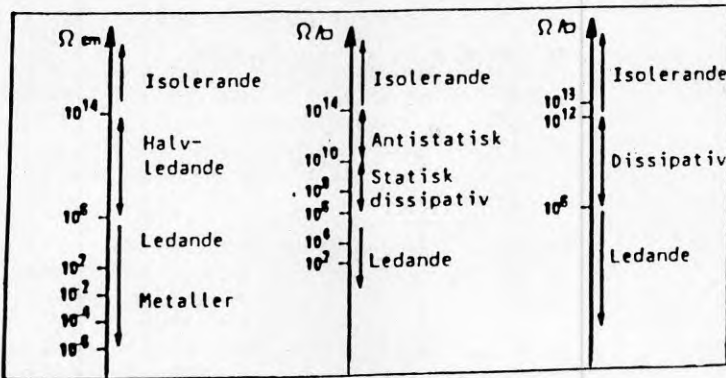
1.71

Skyddsmaterialens specifika egenskaper

Antistatmaterialens egenskaper beror naturligtvis på deras elektriska ledningsförmåga samt obenägenhet att själva ge upphov till laddningar vid kontakt med andra material.

Materialens uppgift är alltså att hindra uppkomsten av laddningar, samt att avleda eventuella laddningar på ett skonsamt sätt. Ytterligare en funktion för dem kan vara att avskärma komponenten från skadliga elektriska fält. Material för det senare ändamålet har i regel en viss volymledningsförmåga, ofta i form av ett tunt metallager. De förra karakteriseras i regel genom sin ytledningsförmåga. Ofta anges det inverterade värdet, som kallas ytresistivitet, med dimensionen ohm/ytenhet (/). Deras effektivitet konstateras i avledningsförmågan.

Följande skala är bruklig för att beskriva olika material ur elektriskt hänseende.



Figur 20

Till vänster återfinns en äldre, fysikalisk indelning av ämnens elektriska ledningsförmåga. I mitten en senare elektrostatiske indelning samt till höger nytt förslag till elektrostatiske standard.

Materialen kan vara homogena, eventuellt med en ytledande beläggning, eller heterogena så kallade flerlagermaterial som då i regel har ett sådant förut nämnt skärmande skikt. Genomgående används termen avledande; halvledande undviks i den bemärkelse ordet har inom "fasta tillståndets fysik". Det kan dock förekomma beträffande bords- (bänk-) och golvmaterial. "Antistatmaterial" används som samlingsbeteckning för alla material med skyddsförmåga mot elektrostatiske urladdningar. Tidigare var det en bestämd materialtyp (se nedan).

Vanligast är att antistatmaterialen framställs av något icke ledande basmaterial i plast (polyeten t ex) till vilket ledande ämnen sätts (t ex kol i form av sot). På grund av dessa ämnens varierande fysikaliskt kemiska funktion indelas de i tre huvudgrupper:

- A Ytbelagda antistatmaterial
- B Migrerande antistatmaterial (se MIGRERA)
- C Material med tillsatser som ökar volymledningsförmågan

Om dessa materials för- och nackdelar, se nedan. Flerlagermaterialen består ytterst av en ledande metall t ex Ni, Al, Cr, mellerst av ett icke ledande men mekaniskt hållfast material och innerst av ett avledande antistatmaterial. Metallskiktet kan vara skyddat av ett tunt plastlager. Andra former att skapa en elektrostatiske skyddsmiljö är att höja luftfuktigheten (se "RH-värde" nedan) eller tillgripa jonisering av den omgivande miljön.

A Ytbelagda antistatmaterial

- 1 Ämnen: Vattenlösliga salter, kvartära ammonium-salter, primära och tertiära aminer, fosforsyra-derivat, polystrar och p-sulfonater.
- 2 Tillverkning: Besprutning av grundmaterialet med vatten- eller alkohollösning av antistatämnet, dopning av grundmaterialet (t ex i form av komponentrör/sticks) i en nämnd typ av lösning som även kan ha tillsatser för att öka vidhäftning och beständighet.
- 3 Fördelar: Metoden är billig och enkel, användes ofta tidigare för att göra komponentrör antistatiska.
- 4 Nackdelar: Beläggningen kan lösas bort, dunsta bort eller försvinna genom mekanisk nötning. För komponentrör av detta slag är livslängden bara några månader. Antistatskiktet kan också migrera (vandra) över i andra material som det kommer i kontakt med och därmed orsaka kontamination, samtidigt som antistatverkan försvagas eller upphör.
- 5 Tillämpning: Folie- och fibertillverkning, förpackningar (lådor, rör).

B Migrerande antistatmaterial

- 1 Ämnen: Föreningar med OH- eller NH-grupper, jonogena föreningar, aminer, amider, estrar, etrar och kvartära ammoniumsalter.
- 2 Framställning: Inblandning i grundmaterialet före formgivningen.
- 3 Fördelar: Beständigheten ökar genom att materialet migrerar ut till ytan och underhåller antistatverkan. Processen är billig och färgning kan också erhållas.
- 4 Nackdelar: Migreringen kan fortsätta ut från materialet och därmed också kontaminera omgivningen (t ex PCB).
- 5 Tillämpning: Formgods (motverkar dammbildning), diverse förpackningsmaterial (påsar, sticks).

C Material med tillsatser som ökar volymledningsförmågan

- 1 Ämnen: Kol i form av sot, grafit eller fibrer, metallpulver (aluminium), metallfibrer, metalliserad glasfiber.
- 2 Framställning: Inblandning i grundmaterialet före formgivning.

- 3 Fördelar: Permanent antistatisk verkan som är oberoende av luftfuktighet, reducerad EMI-påverkan.
- 4 Nackdelar: Svarta ytor, som även kan vara av dålig kvalitet. Ibland dyr framställningsmetod.
- 5 Tillämpning: Flesta antistatplådor, sticks, påsar, men även t ex skyddskläder (labbrockar) stolsöverdrag, golvmaterial osv.

OBS. Ytterligare kan antistatmaterial framställas genom bestrålning av utgångsmaterialet, t ex elektron- eller UV-strålning. Dessa material är i regel dyra. Detta gäller också de nya så kallade elektroaktiva plasterna, dvs plaster som är mer eller mindre elektriskt ledande på grund av sin inre bindnings- och elektronstruktur eller dopning. Dessa är också ofta instabila, vilket kanske kan övervinnas i framtiden.

1.72 Följande hälso- och säkerhetsaspekter måste iakttas vid val av antistatiskt material

- 1 Det får ej vara giftigt (låg toxicitetsgrad)
- 2 Det får ej orsaka korrosion
- 3 Det skall ej vara antändbart
- 4 Materialet måste förhindra bakterietillväxt
- 5 Det får ej orsaka irritation på hud eller slemhinnor (t ex lungor) eller framkalla allergi.

Dessa "antistatmaterial" tillämpas i olika sammanhang. För inredningar, där känslig elektronik kan förekomma, är det viktigt med avledande bordsbeläggning, stolar och golv. Vanligaste motåtgärden är dock att vid direkt beröring av elektronik bära ett "armband", som är i ledande kontakt med huden och jordat via en resistor (1 Mohm). Avledande golv förutsätter avledande skor för att fungera som skydd.

För godkännande av antistatmaterial har utfärdats normer och specifikationer, även gällande underhållskontroll.

OBS. Internationella normer för ESD-material och deras användning ("handling rules") är under utarbetande både inom CECC och IEC. Från CECC kommer CECC Standard 00015, som troligen träder i kraft nästa år (1991). Den skall "harmoniera" med motsvarande normer från IEC. Märk normer i samband med den nya "Inre EG-marknaden" från 1992.

1.73

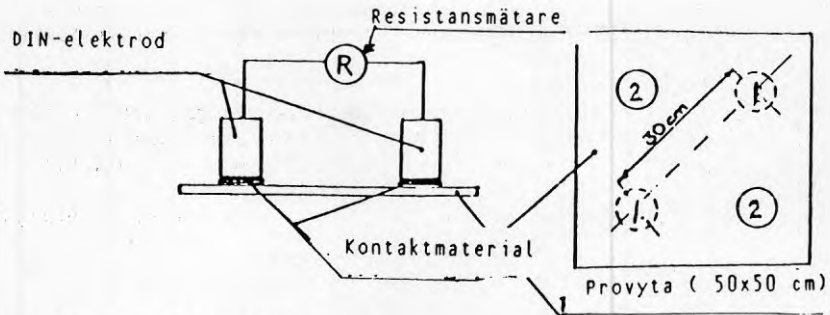
Exempel på typprovning

Vanligt sätt att kvalificera golvmattor ges av följande.
Det brukar ställas krav på max och min avledningsresistans.

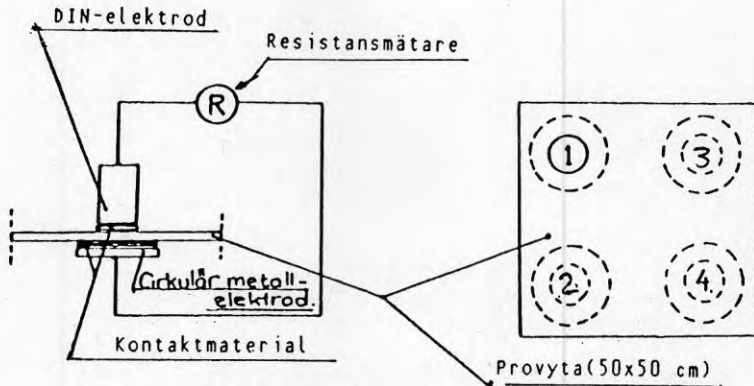
För ytresistans användes två cylindriska elektroder enligt DIN 51 593 och valda mätspänningar, t ex 100 resp 500 volt. Den lägre spänningen ger max resistansen och den övre min resistansen. Som mellanlägg används t ex ledande tyg resp (500 V) fukthaltigt filterpapper. Flera mätningar i skilda elektrodlägen göres med avståndet mellan elektroderna t ex 30 cm. Tvärresistansen mätes mellan en cylinderelektrod på översidan och en metallplatta på undersidan. På inlagd matta mätes avledningsresistansen mellan cylinderelektrod och jord. Mätarrangemangen framgår av följande bilder.

Mätmiljö: RH = $15 \begin{matrix} +0\% \\ -3\% \end{matrix}$; T = 23 $\pm 3\%$

Ytresistansmätning



Tvåresistansmätning



Figur 22

Kraven är som antytts i början ej "absoluta", de kan variera från tillämpare till tillämpare. Övre resistansgränsen, t ex anges ibland till 100 Mohm.

Ett annat elektrodsystem, den s k trefoten, har föreslagits av en grupp mattleverantörer. Utredning pågår. Förmodligen kommer snart europeiska normer.

I övrigt hänvisas till Mekanförbundets ESD-skyddshandbok. Där finns också en leverantörsförteckning för antistatmaterial (1).

Det kan tilläggas beträffande golvbeläggningar att s k epoxy-golv börjar komma i bruk. Golven måste ibland kunna uppta skjuvkrafter (förutom tryck), t ex på grund av trucktrafik.

Nedan följer krav som kan ställas på golv- och bordsbeläggningar.

Elektriska krav

Volym- och ytresistans

Golvbeläggning	Min. 50 Kohm max. 50 Mohm
Bordsbeläggning	Min. 1 Mohm max. 50 Mohm Bordsbelägningens ytskikt ska vara homogent så att det uppvisar en jämn resistivitet

Mekaniska krav etc

Golv- och bordsbeläggning

Slitage	Max. 0.2 mm enligt DIN 51 963
Antändlighet	Svårantändlig enligt DIN 51 960
Brännbarhet	Godkänd för utrymningsväg

Övrigt

Leverantörsbeteckning som är knuten till märkning och/eller utseendebeskrivning ska finnas för säker identifiering.

Rengörings- och underhållsföreskrift skall finnas.

Märk. Om en kontrollmätning på en golv- eller bordsbeläggning visar för hög avledningsresistans, kan den ändå godkännas, om urladdningstiden efter en uppladdning är 2 sek. Detta är nämligen, som tidigare påpekats, det övergripande kravet och gäller alla antistatmaterial. Triboelektriska egenskaper skall också kontrolleras. Uppladdning till 200-300 V brukar accepteras, beroende på omgivningen.

Nomenklatur

För att klargöra verkan av antistatmaterial och ESD-begreppen har en särskild nomenklatur för området utbildats. Det bör uppmärksammas att vissa termer, som präglats i amerikansk litteratur på området och kommit att bli dominerande, ibland "tolkas" annorlunda i europeisk litteratur och normer. Här åsyftas de amerikanska definitionerna.

- Antistatisk** Allmän benämning för förmåga att hindra uppkomst av skadlig laddning och att avleda eventuell uppkommen laddning på ett oförstörande sätt.
- OBS. Tidigare avsågs med denna benämning ett material med ytresistiviteten ungefär i området 10^{10} till 10^{14} ohm/ytenhet.
- Antitriboelektrisk** Se under "Triboelektrisk".
- Avledande** Material som har förmåga att avleda elektrisk laddning inom viss tid, enligt EIA-IS-5 interimsnorm 2 sekunder, mätt så att motsvarande spänning sjunker från 5 000 till 50 Volt. Mätmiljö 23°C och 15% RH.
- Dielektrisk** Benämning inom fysiken för icke ledande material, genomträngligt för elektriskt fält. Det kan polariseras genom ett yttre fält. (Jämför dielektrikum i en kondensator.)
- Dissipativ** Med "dissipativ", (eng dissipative) förstås förmåga att ta upp och utjämna elektrisk laddning. Material med ytledningsresistivitet i området 10^6 till 10^{12} ohm/ytenhet (Ω / \square) respektive volymresistivitet 10^2 till 10^9 ohmmeter

(EIA-norm IS-5-A) benämns dissipativa.

OBS. 1 ohmmeter = 100 ohmcm.

Elektriskt genomslag, genombrott	Dielektriska material, som utsätts för elektriska fält, blir vid en viss fältstyrka ledande. Motsvarande spänning kallas genomslagsspänning (genombrotts-spänning).
ESD	Electro Static Discharge = Elektrostatisk urladdning.
ESDS	Electro Static Discharge Sensitive = Känslig för elektrostatisk urladdning
EOS	Electrical Over Stress = Vanliga lednings- och andra långsammare transienter.
ESD-skada	Komponentskada till följd av en elektrostatisk urladdning.
Genombrottsspänning	Den spänning då fältet i ett dielektrikum blir så stort att en strömbana skapas (ledning).
Halvledande	Fysikalisk beteckning inom fasta tillståndets fysik för material med volymresistivitet i området ungefär 10^4 till 10^{12} ohmmeter.
Isolerande	Material med ytresistivitet större än 10^{12} ohm/ytenhet resp volymresistivitet större än 10^9 ohmmeter (EIA-norm IS-5-A).
	Det finns ingen skarp gräns mellan isolatorer och ledare.

- Induktion** Uppkomst av laddning på kroppar på grund av fält från andra uppladdade kroppar i närheten.
- Jonisering** Detta betyder dels att bortföra elektroner från eller tillföra elektroner till en atom, som då får positiv respektive negativ laddning, dels att göra omgivningen (miljön) "joniserad" genom att tillföra endera eller båda jonslagen. Härvid kan "jonerna" bestå av hela molekylkomplex.
- Jord, jordning** Inom elektricitetsläran definieras "jord" som de delar av ett elektriskt system, vars potential förblir noll oavsett tillförsel av laddning eller andra ändringar i det elektriska systemet. Vanligen är så kallad "skyddsjord" metallplåtar eller stavar nedsatta i jorden.
- Skyddsjorden kan användas som "jord" för ESD-utrustningar. Att förbinda ett system eller en detalj med "jord" kallas "jordning" av systemet resp detaljen.
- Korona** Koronabildning innebär att det elektriska fältet närmast en ledare blir så stort (fältet brukar avta utåt) att ett elektriskt genombrott (se detta ord) börjar i luften med jonbildning och ibland ljuseffekter.
- Latent fel** En komponent som blivit utsatt för en urladdning (t ex genom beröring av något stift) kan fortsätta att fungera normalt, men efter en tid eller vid en påkänning som den borde tåla, sluta fungera.

Komponenten sägs i första fallet ha fått ett så kallat tidsberoende latent fel, i det andra ett störningsberoende latent fel (eng "event-dependent").

Man skiljer mellan tids- och stressberoende latent fel. De förra resulterar i katastroffel efter en viss tid utan ytterligare påkänning. De senare omvandlas till katastroffel efter en störning som komponenten normalt skulle tåla.

Ledande	Inom ESD-skyddstekniken betraktas material med ytresistivitet mindre än 10^6 ohm/ resp volymresistivitet mindre än 10^2 ohm-meter som ledande (EIA-norm IS-5-A).
Migrera	Vandra, sprida sig.
RH-värde	Relativa fuktigheten i %.
Skärmande	Material som har tillräckligt hög ytledningsförmåga för att utestänga elektrostatiska fält sägs vara "skärmande" (jfr "dielektrisk"). Ytresistiviteten skall vara mindre än $10^4 \Omega / \square$ resp volymresistiviteten mindre än 1 ohmmeter (EIA-norm IS-5-A). Elektromagnetisk skärmning kräver ca 100 ggr lägre värden.
Tidskonstant	Olika självreglerande elektriska förlopp kännetecknas av "tidskonstanten" som anger den tid som det tar för förloppet att "dö ut". I ESD-sammanhang gäller det vanligtvis laddningens "försvinnande". Matematiskt definieras tidskonstanten vanligen som den tid det tar för t ex en viss laddningsmängd att ha sjunkit

till 1/e dvs 37% av sitt ursprungliga värde (jämför t ex en kondensator som urladdas över en resistans. Man talar även om "tidskonstanten" för uppladdning av en kondensator).

Triboelektrisk	En kropp eller ett material sägs vara triboelektriskt, om det genom gnidning mot annat material eller enbart genom separation efter kontakt från ett annat material blir positivt eller negativt uppladdat.
	Antitriboelektrisk avser då material-egenskap att ej uppladdas på detta sätt.
Uppladdning	Tillförsel av laddning till en kropp genom elektrisk krets (jämför kondensator) eller självuppladdning av en kropp på triboelektrisk väg, resp genom induktion.
Urladdning	Bortförande av laddning från en kropp, t ex genom jordning (jämför "tidskonstant"). Neutralisering genom jonisering av omgivningen. På grund av större metallkroppars förmåga att ta upp och utjämna laddningar kan dessa i ESD-sammanhang betraktas som "jord", ett dörrhandtag till exempel.
Volymresistivitet	Med volymresistivitet menas den resistivitet som en kropps hela volym bildar mot en elektrisk spänning över den. Inversa storheten benämns volymledningsförmåga.
Ytresistivitet	Med ytresistivitet menas den resistivitet per ytenhet (oberoende av storleken

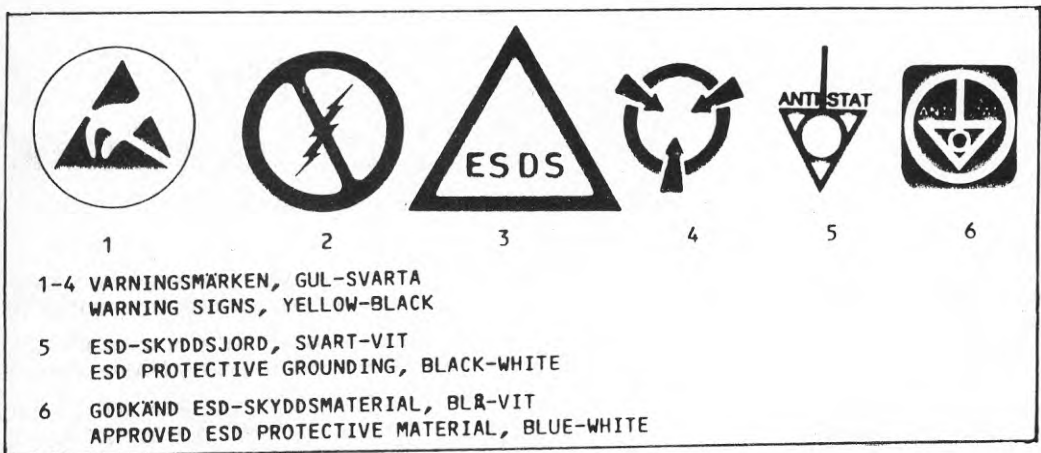
på denna) som en kropp med väsentlig
 uytbredning i endast två dimensioner
 bildar mot en elektrisk spänning/ström.
 Beteckningen används mest om material
 i form av tunna skikt eller folier (t ex
 antistatpåsar).

Följande beteckningar från USA är karakteristiska i ESD-samman-
 hang.

Bleed. Bleeding off	Det sätt varpå en laddning avföres genom antistatmaterial. Man tänker sig att laddningen "väller" fram liksom blodet från en ven, dvs ett "milt" urladdningsförlopp.
Flash, spark	Gnisturladdning som kan inträffa när ett laddat föremål bringas i direkt kontakt med "jord" (t ex ett metallstycke).
Zap, zapping	Urladdning över en krets. "To zap" = att urladda (t ex artificiellt) över en krets.

Symboler

Följande varningssymboler är vanliga:



Figur 21

1.8

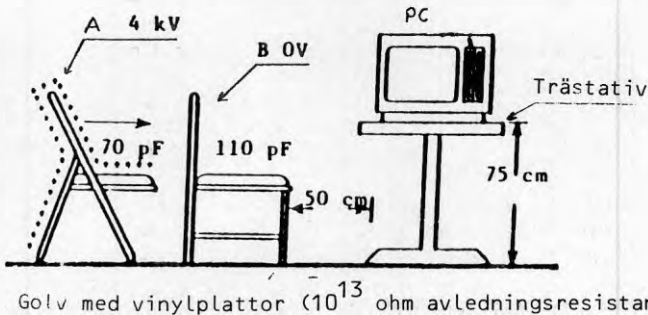
INDIREKT ESD

Apparater och utrustningar kan störas i sin funktion ej bara genom direkta urladdningar mot dessa utan också från urladdningar i omgivningen. Dessa bildar nämligen en elektromagnetisk puls som fortplantar sig i rummet.

Det är svårt att skydda sig mot sådana pulser, då de kan fortplanta sig via ledningssystem. Filter finns t ex i datakommunikationsförbindelser för att hindra störning av överförd information.

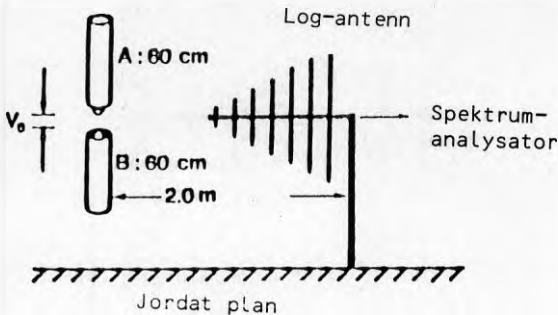
Som exempel på indirekt ESD-påverkan tas ett fall rapporterat vid 1985 EOS/ESD-Symp. Se referens 2.

Man hade observerat att en persondator stördes i sin funktion, när något uppladdat föremål av metall, stol, vagn eller liknande kom i kontakt med annat metallföremål (ej datorn). Följande bilder visar hur två metallstolar kan verka och hur man studerar fenomenet.

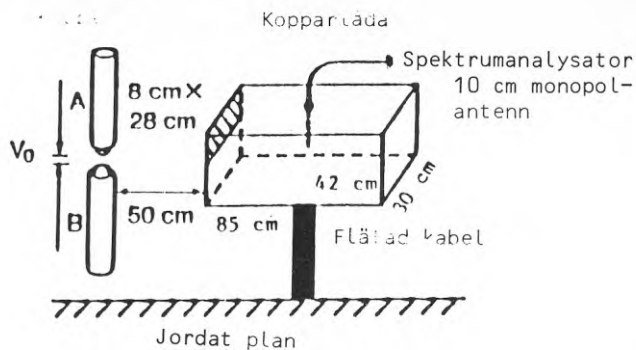


Figur 23

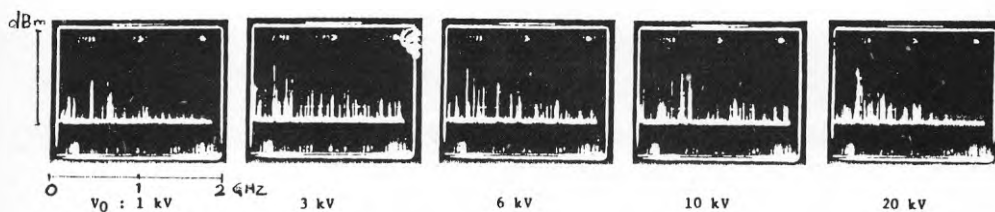
När den bakre, uppladdade stolen kom i beröring med den främre alstrades en ESD-puls som störde datorn. En ESD-simulator och ett antensystem enligt nedan användes för att studera fenomenet, framför allt sambandet frekvens-urladdningsspänning.



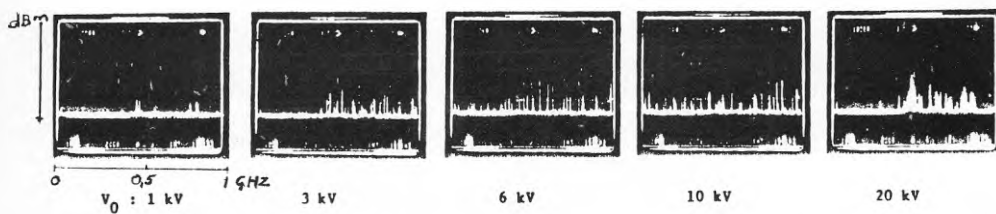
Figur 24 Metod för mätning av utstrålat elektromagnetiskt fält



Figur 25 Mätning av elektromagnetiskt spektrum inuti kopparlåda



Strålningsspektrum som funktion av urladdningsspänning
(200 MHz/Div, 10 dBm/Div)

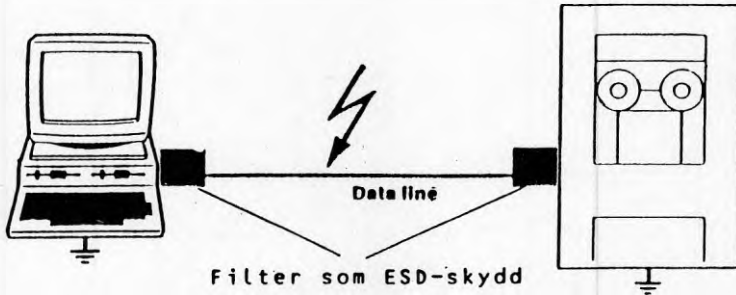


Elektromagnetiskt fält Spektrum inuti kopparlåda, som funktion
av urladdningsspänning (100 MHz/Div, 10 dBm/Div)

Figur 26

Man kan använda specialkonstruerade filter för överföring vid datakommunikation.

Följande bild visar en filtertyp, som fungerar om det ansluts vid såväl "sändare" som "mottagare" och deras chassin är jordade. Härvid skyddas inte bara tillhöriga komponenter mot ESD utan även informationsöverföringen.



Figur 27

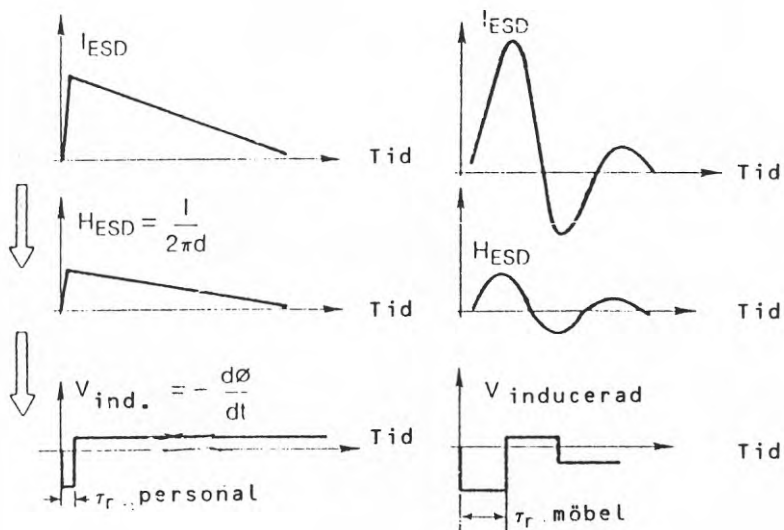
Denna typ av "yttre" skydd har ej kommit till större användning, troligen av kostnadsskäl, men det är mycket effektivt.

En ESD-puls från ett laddat föremål (möbel t ex) är annorlunda än den från en laddad person. Den senare beror också på hur kontakten vid överföringen sker, direkt vidröring med handen eller via ett verktyg, som hålls i handen. Det senare är verkningsfullare.

Från referens 3 anføres exempel på ESD-puls från en person och från ett föremål för jämförelse.

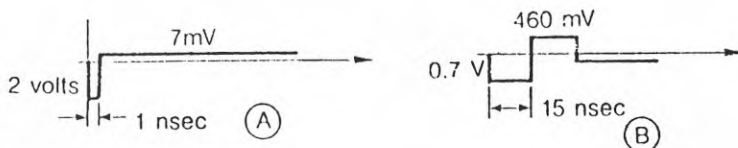
(a) Personal

(b) Möbler



Exempel: 10 kV från person, 10 amp toppvärde. Inducerad spänning i öppen krets med 1 cm² area, 10 cm från urladdning:

Exempel: 2.5 kV från möbel, 50 amp toppvärde. Inducerad spänning i öppen krets med 1 cm² area, 10 cm från urladdning:



Figur 28 Jämförelse av inducerade spänningar från personal och möbler på grund av ESD, som visar inflytande av tidsderivatan. (Owned and copyrighted by Interference Control Technologies, Inc. Written permission required.)

1.9

LATENTA FEL

En statisk urladdning behöver ej vara så destruktiv att den oskadliggör en komponent eller ett system. Men den kan ha åstadkommit en förändring som minskar funktionsdugligheten respektive försämrar tillförlitligheten, dvs sannolikheten för ett framtida katastroffel ökar. Detta går under beteckningen "latent fel".

Följande bilder av ett latent fel belyser fenomenet. Det är hämtat ur referens 4. En ökad, fast tillåten läckström, avslöjade den begynnande skadan.

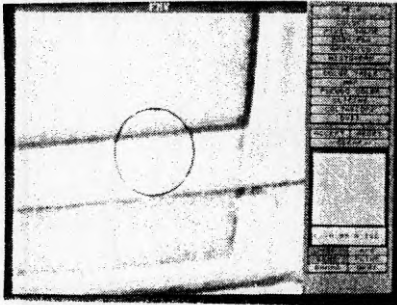


Fig 29 FAST-krets utsatt för fem +500 V ESD-pulser. Antydning till skada på "clamping diode". Bilden tagen med SEM från återstrålade elektroner och omvänt inläst i GOP-bildbehandlare. Förstoring = 1 000 X.

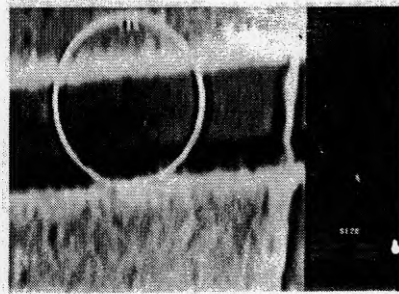


Fig 30 Föregående bild efter två filteroperationer i GOP med vertikal förstärkning

Programmerade komponenter, "minnen" (prommar t ex), kan få sk mjukvarufel, dvs förändrat informationsläge. Samma kan också hända genom "joniserande" strålning (alfa-partiklar t ex). Detta har iakttagits vid "Random Access". Dynamic Memories (DRAM). Ovanstående terminologi brukar sammanfattas i begreppet "ESD", som kommer från engelskans "Electro Static Discharge".

1.10

STANDARDER - NORMER

För att möta beskrivna fenomen har standarder och normer framtagits beträffande tålighet hos komponenter och utrustningar. För komponenter gäller antingen MIL-STD-883C metod 3015, som uppdateras genom notiser, senaste är nr 9, eller någon annan som lämplig bedömd standard. En europeisk är "STACK" uttytt: STANDARD Computer Komponenten GmbH. Purchase specification 0007 METHOD 2.3.23 Electrostatic Impulse. Se tidigare datablad.

För speciella tillämpningar kan andra krav sättas. Detta gäller t ex halvledare av grupp III-V typ (GaAs mm) som är mycket känsliga.

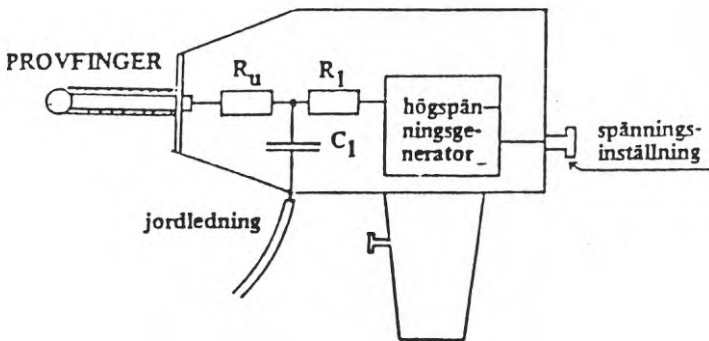
I fallet IT-utrustningar finns internationella normer, som beskriver hur de skall testas på ESD-tålighet. Dessa går ut på att utsätta enheter för artificiella ESD-pulser av föreskriven form. För olika "miljöklasser" tillämpas olika krav beroende på tänkt relativ fuktighet (se nedan). IEC 801-1, 801-2* och 801-3 är numera allmänt accepterade. SS 436 1522 är ungefär ekvivalent med angivna dokument och existerade före dessa. I Sverige tillämpas dock även IEC-normerna.

Miljöklasser (IEC 801-2 released January 1985)

RH (%)	Golvmaterial	Testspänning
= 35	Antistatiskt	2 kV
= 10	"	4 kV
= 50	Syntetiskt	8 kV
= 10	"	15 kV

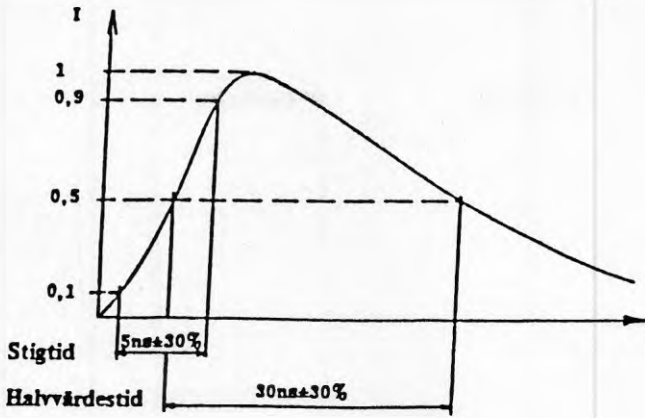
(Förslag på andra tester finns)

Procedurer för testning av elektroniska utrustningars ESD-tålighet

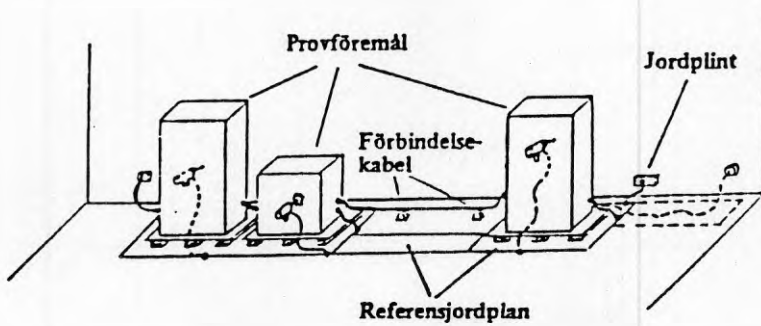


Figur 31 Princip för urladdningsgeneratoren. Laddningsmotstånd, R_1 (höghmigt) kondensator för energilagring, $C_1 = 150 \text{ pF}$, urladdningsmotstånd $R_u = 330 \text{ ohm}$.

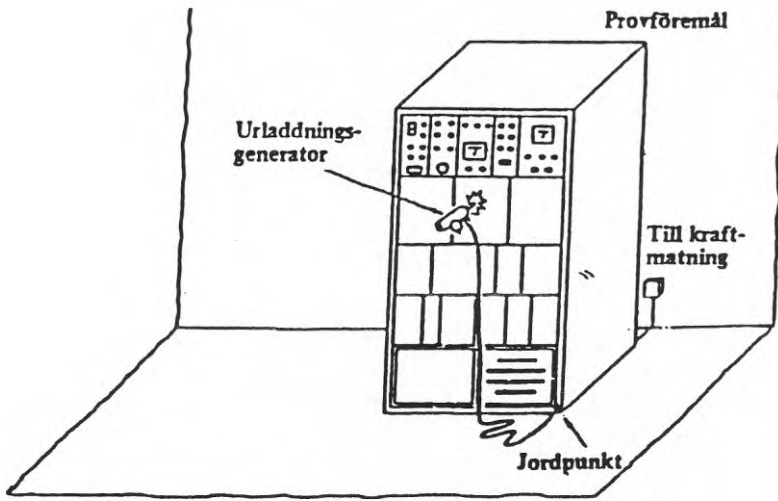
* En ny "draft" finns för 801-2, som utreds. Den innehåller förslag till test av indirekt ESD.



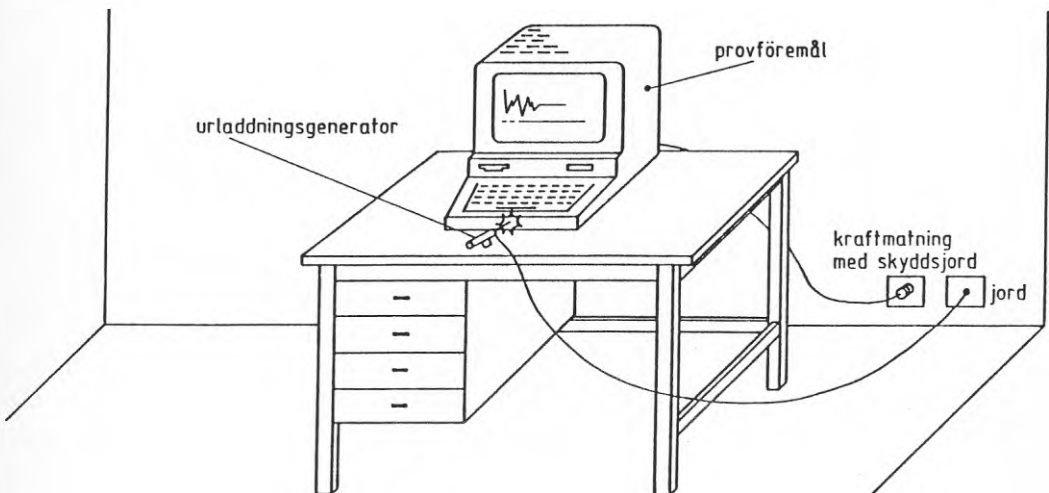
Figur 32 Provpulsens tidsförlopp



Figur 33 Provnig av flera samhörande enheter i laboratorium



Figur 34 Provning av installerad elektronikenhet med jordningspunkt



Figur 35 Olika ytor på bordsutrustning som skall utsättas för urladdningar vid provning enligt SS 436 1522.

1.11 FUKTIGHET OCH JONISERING

1.11.1 Fuktighet

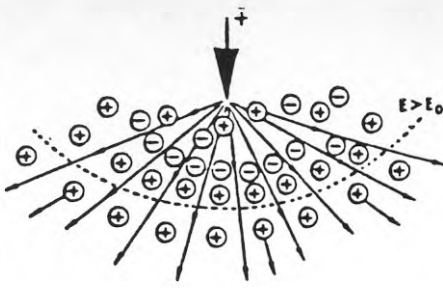
Bortsett från att man direkt skyddar komponenter och utrustningar från påverkan av ESD vidtas ofta allmänna åtgärder för att motverka uppkomsten av statisk elektricitet. Eljest isolerande ytor får exempelvis ledande förmåga om de beläggs med fukt. En metod är alltså att höja omgivningens relativa fuktighet. För telefonväxelstationer rekommenderas t ex 40% RH. Effekten blir naturligtvis bättre om fuktigheten ytterligare höjs. Men vid RH-värden närmare 60% fås biverkningar i form av korrosion, både på elektronik och byggnader. Hälsoskäl talar också för att fukthalten ej skall ha högre värden än som angivits.

1.11.2 Jonisering

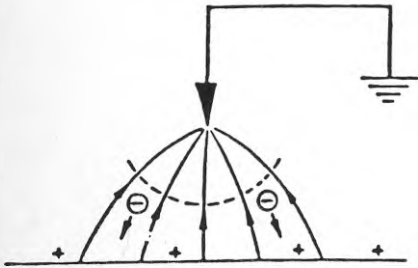
En annan metod är att tillföra joner (laddade partiklar) i omgivningen. Dessa kan neutralisera eventuell uppkommen laddning. Man alstrar både positiva och negativa joner i jämvikt. Detta sker vanligen genom koronaurulladdning från positivt och negativt spänningsatta elektrodspetsar eller genom användning av radioaktiv strålning (alfa-partiklar). På grund av risker med radioaktiva preparat används den senare metoden allt mindre. Den förra medför ozonbildning och denna måste av hälsoskäl vara mindre än 0.1 ppm. Både luftfuktning och jonisering har sin ekonomiska begränsning. Det kostar mycket om stora utrymmen skall betjänas. Lokal jonisering kan användas genom en mindre jongenerator placerad t ex på en arbetsbänk, där känsliga komponenter hanteras. I renrum används ibland jonisering, då även luftpartikelnivån då sänks.

I radonhaltiga hus används jonisering (i regel monopolär), ofta med ett elektrostatiskt filter, för att minska mängden radondöttrar.

Följande figurer på sidorna 36-38 illustrerar de fysikaliska förhållandena vid olika former av jonisering. Koronabildning kan fås såväl med lik- som växelström. Luftens joner utgörs merendels av molekyler eller molekylkomplex, som tagit upp eller avgivit elektroner. Positiva joner har lägre rörlighet än negativa. Man måste ha balans mellan negativa och positiva joner för att inte omgivningen skall bli uppladdad. Hälsöförhållandena till följd av luftjonisering har diskuterats mycket. De flesta undersökningsresultat tycks peka på att överskott av positiva joner medför en känsla av trötthet och olust medan negativa joner har en uppfriskande, stimulerande inverkan. Det är emellertid fortfarande en kontroversiell fråga hur den mänskliga organismen påverkas.

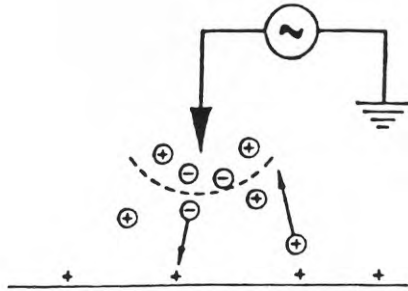


Elektrisk fältjonisering



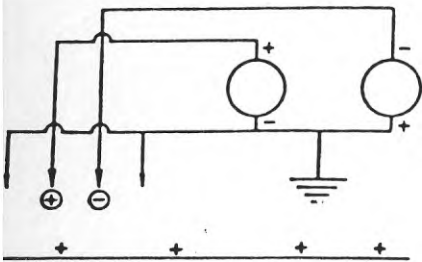
LADDAT MATERIAL

Passiv jonisering



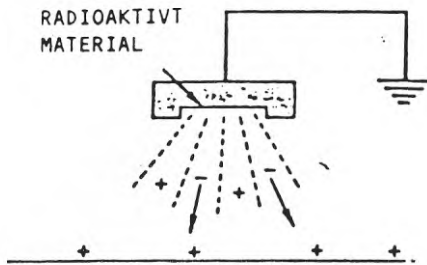
LADDAT MATERIAL

Växelströmsjonisering



LADDAT MATERIAL

Dubbel likströmsjoniserare



LADDAT MATERIAL

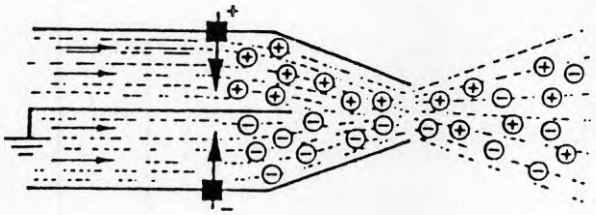
Radioaktiv jonisering



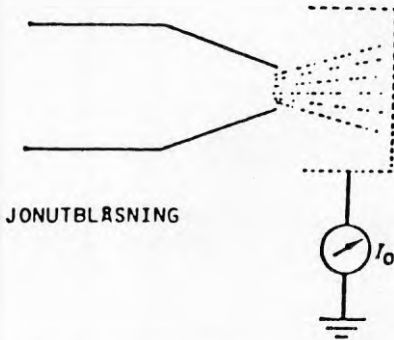
SÖNDERFALLANDE
RADIOAKTIV
ATOM

200,000 Jonpar

ALFA
PARTIKEL



JONUTBLÄSNING

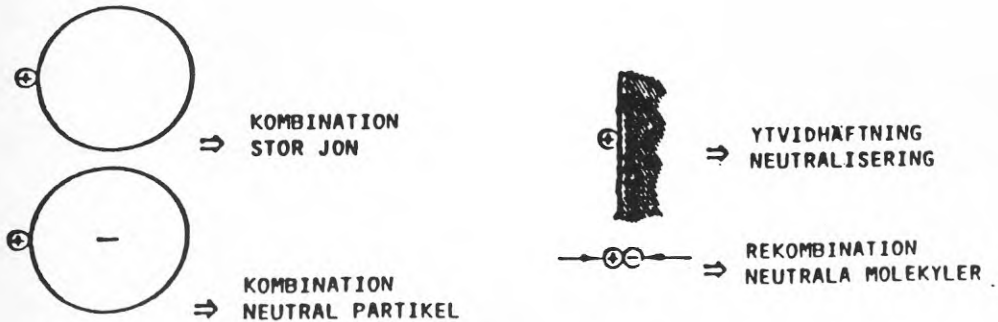


SKÄRM ELLER
BURK

JONUTBLÄSNING



Mätning av jonströmmen



Figur 36

1.12 ELEKTRONIKINDUSTRIN

1.12.1 Allmänt

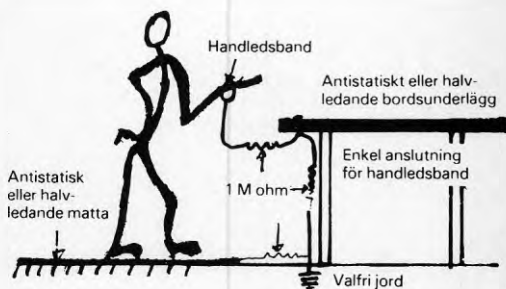
För elektronikindustrin finns redan detaljerade föreskrifter om inredning av utrymmen, där känslig elektronik förekommer (ankomstkontroll, monteringslokaler, bestyckning av magasin, renrum etc) beträffande materialval för att minska ESD-risken. Alla dessa material har samlingsbeteckningen "antistatmaterial". Halvledande golv, som är vanligt, har stipulerade värden för avledningsresistans till jord. Det övergripande kravet är att laddningen skall avledas inom en viss tid (ofta 2 sek) dock ej så snabbt att en skadlig urladdning uppstår. Kraven kan variera för olika tillämpningar. Man eftersträvar dock en gemensam norm. Till avledande golv hör avledande skor. Stolar vid arbetsbänkar mm skall ha avledande klädnad och vara i elektrisk kontakt med golvet. Materialvalet kan variera. För golv i ankomstkontroller och telefonstationer används "halvledande" material. Materialen brukar karakteriseras efter sin ytresistivitet (ohm/ytenhet). Material med ytresistivitet mindre än 1 megaohm/ruta kallas ledande, mellan 1 och 1 000 000 "dissipativa" och större än 1 000 000 Megaohm/ruta isolerande. Den lägre gränsen anges dock i EIA-541 (1988) till 0.1 Megaohm/ruta. Se också tidigare genomgång.

EXEMPEL PÅ HUR EN UPPLADDNINGSFRI ARBETSPLATS KAN SE UT.



Förutom anvisningar på bilden, tillse också att lödkolvstället är jordat och att halvledande bordsunderlägg och d:o golv är elektriskt förbundna enligt figuren t. h.

OBS! Lödkolvsspetsen bör också vara jordad.



VARNINGSSYMBOLER



WARNING!
ESDS



Figur 37

Dessa åtgärder kan vidtas i andra typer av lokaler för att undvika t ex explosionsrisker, på sjukhus, konsertsalar etc. Numera finns också epoxymaterial för att göra golv avledande. Där tung belastning förekommer, trucktrafik och liknande, måste materialen förutom tryck- även tåla skjuvkrafter. Färger som ger en avledande yta förekommer också, om ej så ofta ännu.

1.12.2 Särskilda skyddsåtgärder för elektronik

Där känslig elektronik förekommer (numera betraktas nästan alla komponenter, även passiva, som mer eller mindre känsliga för ESD) finns eller bör särskilda föreskrifter bli framtagna för att instruera personalen om nödvändigheten av skydd mot ESD.

I skydden ingår ett armband, som ger elektrisk kontakt mot huden och via resistans (Mohm) är i förbindelse med jord. Detta är det mest effektiva skyddet. Dess funktion måste kontrolleras regelbundet, något som också gäller för redan omnämnda avledande skor. Skyddskläder (rockar) skall vara av antistatmaterial. Invävda metalltrådar bör undvikas, då de kan lossna och sticka ut. Bomullskläder kan användas, där kravet på dammfrihet ej är för högt (ej klass 1-100). Om rullbord används för transport skall de ha minst två ledande hjul. Eljest kan transport ske i skyddad container (låda) på rullbord, bara in- och avlastning sker vid "skyddad arbetsplats", dvs där åtgärder mot ESD vidtagits. Även förråd för elektronikkomponenter skall ha jordade stativ med anordning för armband. Om avledande golv finns kan förflyttning av förrådslådor ske om avledande skor används. Eljest görs alla operationer vid en skyddad arbetsplats. Komponenter i rör liksom askar transporteras i skyddade lådor. Komponentrör, askar o dyl, där komponenter skall förvaras, måste vara tillverkade i antistatmaterial. Viktigt är att socklar till testutrustningen är i antistatmaterial. Ibland krävs även skärmning mot elektrostatiska fält, vilket kan åstadkommas med kolinblandat material eller ett metallskikt. Kort med kretsar förvaras i antistatmaterial (enkel- eller flerskiktiga). Antistatväska som sprejas på yta ger temporär antistatverkan. Alla dessa regler skall naturligtvis iakttas även för andra produkter, som skall skyddas mot ESD.

Kopieringsmaskiner och dyl skyddas bäst genom jonisering. Ozon som bildas av själva kopieringsmaskinen får temporärt överskrida den eljest gällande gränsen för ozonhalt. Ytor bör behandlas med antistatväska.

Monitor för övervakning av uppkommen statisk elektricitet finns i form av avkännare av det elektriska fältet. Försedda med "antenn", t ex i form av en kopparslinga, kan de övervaka stora utrymmen. En alarm, ljud eller blinkande ljus, varskar när fältet överskrider den gräns som valts genom kalibrering. Om person som blivit uppladdad kommer inom monitorns avsökningsområde reagerar denna om laddningen är för hög. Detta förfarande är vanligt i lokaler för ankomstkontroll.

Det pågår en kontinuerlig utvärdering av normer för ESD-området. Det har utförts mycket arbete i USA främst genom "EOS/ESD Association". De årliga EOS/ESD-symposierna där har också berikat utvecklingen av standarder och skapat nya begrepp som ESDS = Electro Static Discharge Sensitive; "ESD-suseptibility"; ZAP/ZAPPING: ESD-känslighet respektive artificiell ESD-puls/pulsning. Vid RAC/RADC och IIT i Rom, N.Y. har utförts sammanställningar av data över komponenters ESD-egenskaper, t ex känslighetsnivåer, och utvärderat antistatmaterial. Även de stora företagen AT&T Bell, IBM, TI, HP m fl har bidragit väsentligt till förståelser och tolkningar av ESD-fenomenen. När man inom IEC tog upp problemet blev det olika uppfattning till en början av beteckningar, testkrav osv. Här pågår emellertid en anpassning till amerikanska normer och beteckningar, vilka redan i stor utsträckning anammats av industrin. EOS/ESD Association har en standardiseringskommitté, som utger standarder t ex för armband, joniseringsutrustningar, testapparater etc. EIA har sedan länge behandlat området och indelning av antistatmaterial finns i EIA-541 (och föregångar) från 1988.

Nyligen, juni 1989, bildades en europeisk ESD-sammanslutning, European ESD-Association med såväl tillverkare av antistatmaterial som skendusers (användare) som medlemmar. De senare utgör företag som behöver skydda sina produkter mot ESD. En kartläggning av nationella standarder har redan igångsatts inom sammanslutningen. Meningen är att nå gemensamma normer för anpassning till nya EG-marknaden.

1.13

SAMMANFATTNING

Den ökade användningen av hemelektronik och IT-utrustningar kräver att åtgärder vidtas för att motverka elektrostatiska urladdningar från material (föremål, möbler mm) och människor. Två vägar finns att gå. Den ena är att välja antistatmaterial, som minskar risker för ESD. Detta kan bli en prisfråga. Den andra vägen innebär ökat skydd mot ESD genom jordning av människor och material, användning av effektiva skyddskretsar hos komponenter och system, i särskilda områden som lokaler för tillverkning, hantering och kontroll av kretsar och färdiga produkter samt monitorer, som övervakar att för högt uppladdade personer och föremål "avslöjas" i tid. Transporter sker på skyddade transportmedel, innefattande även skärmning mot statiska fält. Emellertid är den bästa lösningen att använda båda möjligheterna, därmed ökar redundansen i kampen mot ESD.

1.14

ALLMÄNNA ANVISNINGAR, RÅD OCH EXEMPEL

När det gäller utrymmen, där en blandad interiör råder, alltså ej lokaler avsedda för kontinuerlig hantering av känsliga komponenter eller förekomst av påverkbar elektronikutrustning, datahallar etc, måste val av antistatmaterial ske med tanke på omgivningen, såsom färg, ytstruktur, allergiegenskaper mm. Hemelektronik som TV-apparater och datorer med bildskärmar,

kan ha metallnät eller avledande ytor för att förhindra statisk uppladdning. Eventuellt kan en jongenerator användas. Mjuka mattor i närheten av känslig elektronik väljs bland s k anti-triboelektriska material. Detta innebär att en person som går över den ej uppladdas. Den som redan är uppladdad blir däremot ej urladdad genom mattan. Vederbörande måste då urladdas genom kontakt med elektrisk jord under 5-10 sekunder.

Elektrostatisk jord i berört utrymme åstadkommes lättast medelst en metallina förbunden med skyddsjord eller motsvarande. Tillfällig jord (t ex för armband) kan fås från jordanslutningen i en väggkontakt, bäst genom s k ESD-stickpropp. Jordlinan bör avslutas med en plint. På grund av den alltmer ökade användningen av hemelektronik är en lösning, att från början projektera ett utrymme för apparater med påverkbar elektronik. Med fördel inläggs då från början ett avledande golv. Detsamma kan göras i källarutrymmen, där maskiner med avancerad elektronik kommer att installeras. Vid akuta besvär (torr luft) kan man tillfälligt höja luftfuktigheten med en luftfuktare eller installera en jongenerator. Sprejning med antistatvätska är också endast en temporär lösning och kemisk inverkan måste klargöras först. Vid förlängd användning måste behandlingen också upprepas med några månaders intervall.

En möjlighet att skapa förutsättning att ansluta till miljön i övrigt med avledande väggar och tak (ev golv) är att använda avledande färger vid målning.

Det bör observeras att mindre golvytor (under apparater, arbetsbord etc) kan täckas med lösa, avledande mattor, som jordas separat.

Alla antistatmaterial som tillämpas bör utvärderas med hjälp av de normer som finns för dylika materials användning inom elektronikindustrin. Dessa blir ju också alltmer internationaliserade. Priserna kan variera rätt mycket. Slutligen bör nämnas att man bör undvika vanlig plast, där man vill skydda sig mot ESD, även i ventilationstrummor och dylikt, inga obehandlade plaströr.

Explosionsrisker på grund av uppkomna explosiva gaser o dyl minskar också vid antistatbehandling. De förr på sjukhusen förekommande narkosgaserna med explosionsrisk förekommer ej längre. På sjukhus och i andra lokaler används däremot jonisering för att minska bakterie- och virushalten liksom för att skapa en möjligast dammfri miljö.

Även inredningen kan ibland behöva göras antistatisk, avledande stolsbeklädnad och bordsbeläggning t ex.

OBS. Ett avledande golv kräver bärande av avledande skor för att fungera.

Vid rengöring av avledande golv kan endast godkända rengöringsmedel användas. Används vaxer bör de vara naturvaxer. Andra typer skall vara metallbaserade. Leverantören anvisar. Obehandlat trägolv har bra antistategenskaper.

Beträffande avledningsförmågan kan kraven vara olika i olika miljöer: Från halvledande till hela skalan av dissipativa golv. Experter får avgöra från fall till fall.

S k renrum kräver en speciell behandling, när det gäller klass 1, 10, 100. Kraven på "renhet" är höga för dessa. Tyvärr finns ingen svensk standard för dylika rum. Inga material, som avger partiklar 75 µm (klass 100) eller gaser kan användas. Avledande golv får därför ej bestå av vinylplaster, liksom antistatmaterial med kolinblandning skall undvikas. Bomullsrockar är uteslutna, då tygfragment kan lossna från dem. Jonisering är här en rekommenderbar lösning på ESD-problemen. Denna medför också en sänkt halt av små partiklar.

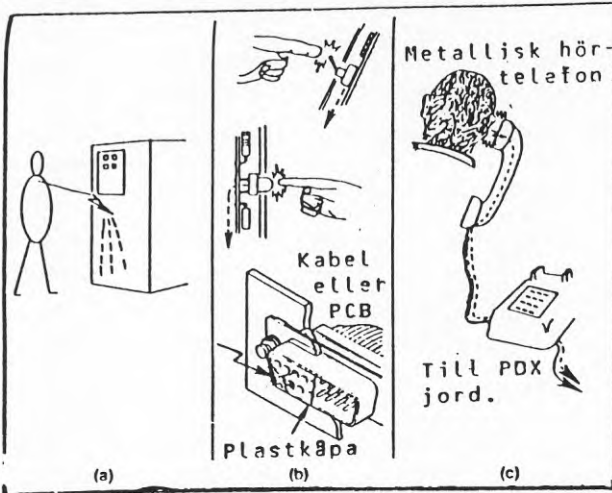
I publika lokaliteter, hörsalar, konserthallar etc, där skydd mot statisk påverkan behövs, passar förhöjd luftfuktighet eller jonisering som allmän åtgärd. Avledande mattor och färger förbättrar situationen.

En jordpunkt bör alltid vara framdragen.

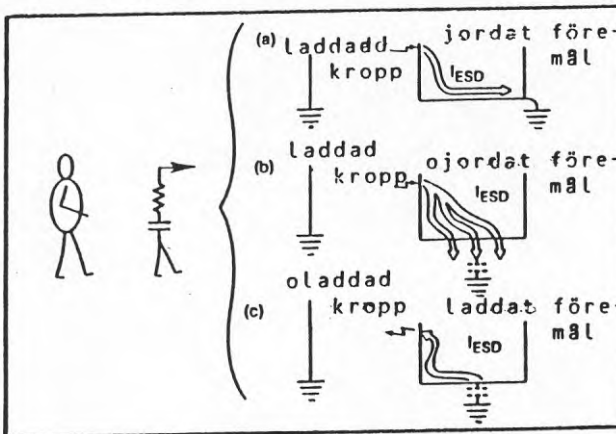
Slitage av antistatbehandlade byggnadsdelar och inventarier måste kontrolleras någon gång per år genom mätningar.

I det följande ges exempel på situationer med ESD-problem och hur de löses.

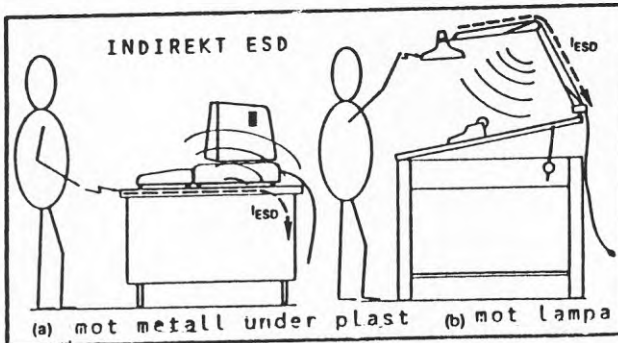
Olika vägar för överföring av ESD från personal till apparatur:



(Owned and copyrighted by Interference Control Technologies, Inc. Written permission required.)



(Owned and copyrighted by Interference Control Technologies, Inc. Written permission required.)

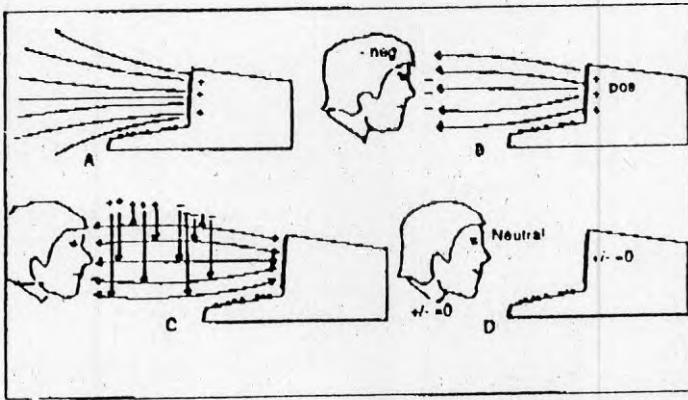


(Owned and copyrighted by Interference Control Technologies, Inc. Written permission required.)

Fig. 38 (Från ref. 3)

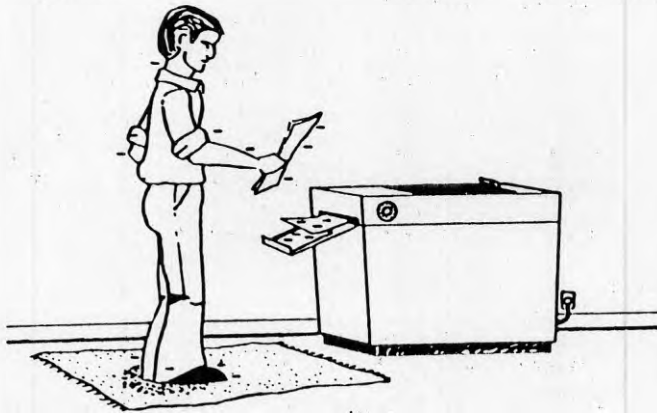
Allmänna åtgärder i första och andra fallet är att ingen får vidröra någon utrustning utan att vara jordad (armband) eller urladdad i förväg. Tryckknappar kan förses med jordade skyddsringar. Hörtelefonen bör helst ha avledande yta (antistatiskt plastmaterial) eller jordad ring, som örat kommer i kontakt med. Ett laddat föremål (fall c) (möjligheten av sådant bör undvikas) kan få en jämn urladdning om personen bär armband jordat via 1 Mohm resistor. Bäst med avledande golv för att minska ESD-riskerna.

I tredje fallet bör metallskivan vara "mjukjordad". Lampskärmens yta bör vara isolerad från övriga lampdelar. För att undvika triboelektricitet kan översta lagret av ytan göras antistatiskt.



Figur 39

Den obehagliga situationen med ett starkt fält från datorn, vilket gör att positiva joner enligt bilden vandrar mot ansiktet medförande irriterande dammpartiklar, undviks om en bipolär jongenerator placeras ovanpå datorn (ev TV-apparaten).



Figur 40 Uppladdning av person vid kontakt med laddat material

Här kan som tidigare nämnts jonisering avhjälpa situationen. Eventuellt kan ett armband användas. Glasytor brukar ingnidas med för ändamålet framtaget antistatmedel. Befuktning är en annan möjlighet.

Används skyddsrockar skall de vara av bomull eller material med avledande fibrer.

Det finns rätt mycket litteratur numera om elektrostatiske problem, som kan konsulteras, se referenslistan.

1.15 LITTERATURFÖRTECKNING OCH REFERENSER

- 1 Mekanförbundets ESD-skyddshandbok, Mekanresultat, 89002, 1989
- 2 M. Honda and Y. Ogura, Proc. 1985 EOS/ESD-Symp., p.149. (Fig. 23-26 by courtesy of M. Honda, Nihon Unisys, Japan.)
- 3 M. Mardiguian, "Electrostatic Discharge: Understand, Simulate and Fix ESD problems, Interference Control Technologies Inc., Virginia, USA. (Fig. 28 och 38 är hämtade från denna bok med tillstånd av Interference Control Technology.)
- 4 S. Hellström, A. Welander and P. Eklöf, Proc. 1986 EOS/ESD-Symp., p.81
- 5 Proceedings of EOS/ESD-Symposierna i USA 1979-1990
- 6 Artiklar i tidskriften Evaluation Engineering (EE), "Coping with Static Electricity"
- 7 Den nya tidskriften "EOS/ESD Technology", Miller Freeman Publ., Inc., San Francisco, USA (Två särskilda europnummer per år) Ref 6, 7 innehåller många annonser om antistatmaterial och distributörer även ESD-instrument.
- 8 Slutrapport om ESD i "NMP 4 Resultat", Nat. Mikroelektronikprogrammet Ind. Utveckling (1989)
- 9 I slutet av 1990 utkommer en bok om mätning av störningar i elektroniska element: "High Frequency Noise in Electronic Circuits: Measurements, Trouble-shooting and meeting requirements", E.P.Black and D.C.Smith, van Norstrand Reinhold.

Jonisering:

- 10 The Physics of Air Ionization (N. Jonassen) 1985 EOS/ESD Symp., p.59
- 11 The Physics of charge Neutralization by Air Ions (N.Jonassen) Ibid 1986, p.35
- 12 The Room Air Ionization System, A Better Alternative than 40% Relative Humidity (C.F.Mykkannen and D.R.Blinde) Ibid 1983 p.67

Allmänt om elstatik:

- 13 Statisk Elektricitet (Niels Jonassen) Polyteknisk förlag 1981, ISBN 87-502-0518-8 (på danska)
- 14 The Physics of Electrostatics (Niels Johanssen, specialföreläsning i Benjamin Franklin Inst., Philadelphia, USA, under 1984 EOS/ESD Symp. Kan beställas hos författaren, professor vid DTH, DK-2800 Lyngby, Danmark)
- 15 Första delen av professor E.Halléns "Elektricitetslära", Almqvist & Wiksells, Uppsala 1953

Normer:

MIL-HDBK 263
 MIL-STD 1686A (1988), Department of Defence, Washington D.C., USA
 MIL-STD-883C
 IEC 801-2 International Electrotechnical Commission
 SS 436 1522, Svensk Standard
 EIA-541 Publicerad av "Electronic Industries Association",
 2001 Eye Street, N.W., Washington D.C., 2006 USA

Märk också kommande normer om ESD från CECC och IEC.

Ett laboratorium för testning och certifiering av ESD-skydds-material har startats vid Statens Provningsanstalt, Borås.

2 METODER FÖR ELEKTROMAGNETISK SKÄRMNING I BYGGNADER FÖR ATT FÖRHINDRA INFORMATIONSLÄCKAGE OCH ÖKA DEN EGNA STÖRNINGSTÄLIGHETEN

2.1 INTRODUKTION

Enligt IEC publ 50 (161) definieras en elektromagnetisk skärm som en skärm av ledande material avsedd att reducera inträngningen av ett varierande elektromagnetiskt fält in i en bestämd region.

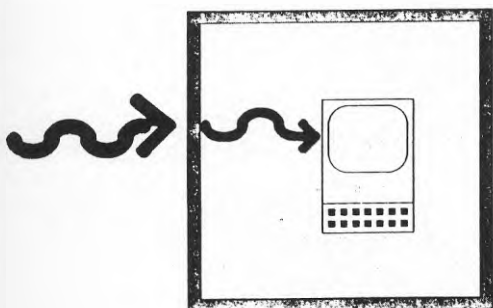


Fig 1 Skärmning ökar tålig-
heten mot elektromag-
netisk strålning

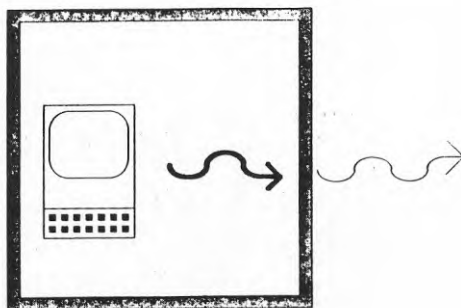


Fig 2 Skärmning minskar utsändan-
det av elektromagnetisk
strålning

Elektromagnetisk skärmning används av två orsaker. Dels för att begränsa den egna utrustningens emission (utsändande) av elektromagnetisk energi till utanför skärmningen placerade utrustningar. Dels för att öka tåligheten hos utrustningen mot utifrån kommande elektromagnetisk energi. Både emission och störningspåverkan kan ske ledningsbundet genom elektriska ledningar anslutna till utrustningen och trådlöst genom induktion och strålning. Med induktion avses koppling via elektriska eller magnetiska fält.

Det finns i huvudsak två anledningar till att man önskar begränsa den egna emissionen av elektromagnetisk energi, det ena är risken att störa andra utrustningar och då speciellt sådana för radiokommunikation och det andra är risken för obehörig avlyssning av information (röjande signaler, RÖS).

Radio/radar-sändare och elektrostatiske urladdningar (ESD) är exempel på elektriska utrustningar och fenomen, som genererar elektromagnetiska fält och strålning, mot vilka man önskar öka störningståligheten genom skärmning.

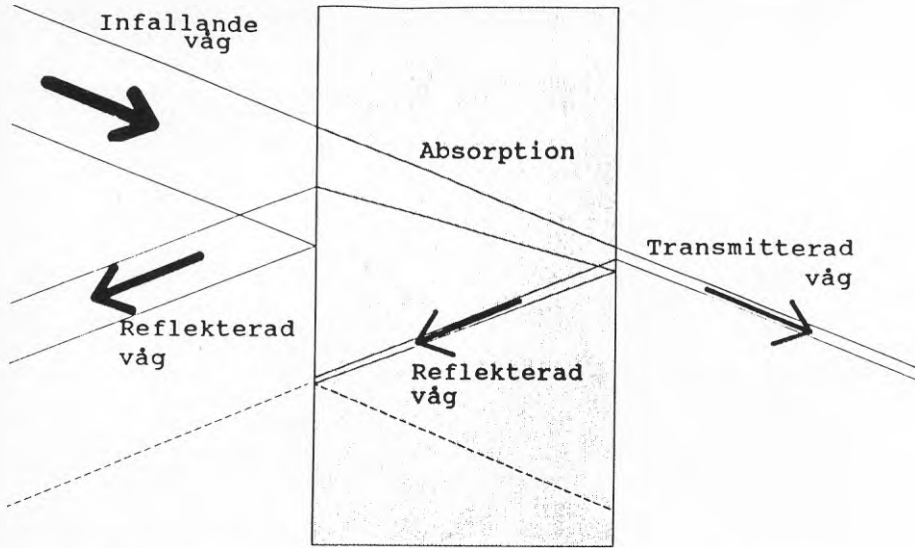
Principen för elektromagnetisk skärmning är en s k "Faraday's bur", dvs ett slutet metallskal, vilket genom sin elektriska ledningsförmåga direkt hindrar elektriska fält och indirekt genom virvelströmmar magnetiska fält från att tränga genom skalet. En skärm kräver alltså inte någon jordanslutning för sin funktion, vilket är ett utbrett missförstånd. För att få en praktiskt användbar skärm måste man dock försäkra denna idealiska skärm. Skarvar och öppningar vid dörrar och fönster, hål för ventilation och sist men inte minst ledningar, som måste passera genom skärmen, är sådant som minskar skärmverkan och därför måste konstrueras in på ett bra sätt.

En elektromagnetisk skärnings dämpverkan (dvs förhållandet mellan fältets nivåer med och utan skärm) är normalt ej beroende av fältets styrka (amplitud) men däremot kraftigt beroende av dess frekvens. Hos skärmar för att dämpa lågfrekventa magnetiska fält finns dock ett intensitetsberoende på grund av varierande permeabilitet (ledningsförmåga för magnetiskt flöde) hos de använda magnetiska materialen.

Skärmverkan uppkommer genom att en del av vågens energi reflekteras tillbaka, en del absorberas i form av värme i skärmen och resten passerar genom skärmen. Reflektion uppkommer vid en övergång mellan medier med olika elektromagnetiska egenskaper t ex mellan luft och skärmaterialet. Se figur 3. I tunna skärmar (tjocklek < inträngningsdjupet) är utbredningstiden genom skärmen så kort att vägen omedelbart "kan känna" impedansen i hela skärmens djup. Ju tunnare en skärm av ett visst material är desto lägre blir reflektionen. I tjocka skärmar däremot är utbredningstiden så lång att vägen ej "kan se" hela skärmen på en gång och reflektionen blir därför oberoende av skärmens tjocklek. Man ser ofta följande formel för beräkning av skärmverkan i dB:

$$SE \text{ (dB)} = R \text{ (dB)} + A \text{ (dB)} + B \text{ (dB)}$$

R kommer från beräkningsformler för reflektioner vid övergångarna in i och ut ur en tjock skärm, A från formler för absorption i en tjock skärm och B är en negativ korrektionsfaktor för tunna skärmar. Detta är dock ett onödigt komplicerat beräkningssätt för tunna skärmar och kommer ej att användas för dessa i fortsättningen.



Figur 3 Reflektion och absorption hos en skärm

De delar i utrustningen som genom spänningar och strömmar skapar eller mottager fält och strålning utgör oavsiktliga antenner. Dessa antenner kan till sin uppbyggnad vara rent magnetiska, rent elektriska eller någon form av kombination av dessa två. Nära en antenn bestäms förhållandet mellan den elektriska, E , och den magnetiska fältstyrkan, H , av hur antennen är utformad. Överföring av elektromagnetisk energi inom detta område benämns induktion och man säger att man befinner sig i antennens närfält. På längre avstånd från antennen blir förhållandet mellan elektrisk och magnetisk fältstyrka i stället bestämt av utbredningsmediets egenskaper och man talar då om strålning och fjärrfält. Man kan uppfatta det som att antennens inverkan på fältens egenskaper upphör och att egenskaperna i stället bestäms av utbredningsmediet.

I fjärrfältet är strålningens styrka (strålningstätheten) $S = E \cdot H = E^2 / 377 = H^2 \cdot 377$ (W/m^2). Eftersom förhållandet mellan elektrisk och magnetisk fältkomponent är oberoende av avståndet i fjärrfältet, kan man som mått på strålningens styrka använda vilken som helst av de två. Vanligast är dock att använda den elektriska fältkomponenten som mått. För skärmar i antennernas närfält mäts och beräknas skärmverkan för elektriska och magnetiska fält var för sig och definieras som $SE = 10 \cdot \log(E_2/E_1)^2$ (dB) eller $SE = 10 \cdot \log(H_2/H_1)^2$ (dB),

2.2 ELEKTROMAGNETISK VÄGUTBREDNING

Elektriska och elektroniska utrustningar brukar karakteriseras efter vilka frekvenser de utnyttjar och dessa grupperas i olika frekvensband, se tabell 1. Som exempel på vad olika frekvenser används till kan nämnas:

Elkraftnätet	50 Hz
Stereoanläggning	20 - 20 000 Hz
AM-radio (Motala)	189 kHz
Privatradio, plastsvetsar	27 MHz
TV kanal 4 (TV1)	65.25 MHz
FM-radio (P3)	99.3 MHz
TV kanal 23 (TV2)	487.25 MHz
Mikrovågsugn	2.45 GHz
Satellit-TV	11.140333 GHz

Tabell 1 Frekvensband definierade av International Telecommunications Union (ITU)

	Frekvens	Våglängd (i vakuum)
SAF Sub-Audio Freq.	3 - 30 HZ	$10^4 - 10^5$ km
ELF Extremely-Low Freq	30 - 300 HZ	$1\ 000 - 10^4$ km
VF Voice Freq	300 - 3 000 Hz	100 - 1 000 km
VLF Very-Low Freq	3 - 30 kHz	10 - 100 km
LF Low Freq	30 - 300 kHz	1 - 10 km
MF Medium Freq	300 - 3 000 kHz	100 - 1 000 m
HF High Freq	3 - 30 MHz	10 - 100 m
VHF Very-High Freq	30 - 300 MHz	1 - 10 m
UHF Ultra High Freq	300 - 3 000 MHz	1 - 10 dm
SHF Super-High Freq	3 - 30 GHz	1 - 10 cm
EHF Extremely-High Freq	30 - 300 GHz	1 - 10 mm

I de flesta moderna elektronikutrustningar används digitala elektronikkomponenter. Att de är digitala innebär att utsignalerna växlar mellan två fasta lägen, t ex 0V och +5V. Genom sin Fourierutveckling kan man visa att alla kurvformer kan delas upp i en summa av sinus- och cosinuskurvor med olika frekvens och amplitud. För en periodisk kurvform kallas den lägsta frekvenskomponenten för grundton och de övriga för övertoner. Som ett exempel kan man studera en periodisk fyrkantvåg med 50% puls/paus-förhållande, amplitud A och puls-frekvens F, vilken innehåller komponenter med frekvenserna $f, 3*f, 5*f, 7*f, 9*f, \dots, n*f$ och amplituderna $+2*A/\pi, -2*A/(3*\pi), +2*A/(5*\pi), -2*A/(7*\pi), \dots, \sin(n*\pi/2)*2*A/(n*\pi)$ där n är ett udda positivt heltal. Se figur 4.

På grund av denna egenskap kan t ex en dator med en arbets-frekvens på 10 MHz genom sina övertoner störa en radio på 90 MHz. Den digitala tekniken medför också att utrustningen kan vara känslig för utifrån kommande elektromagnetiska störningar som är mycket kortare eller har högre frekvenser än de pulser som den själv använder.

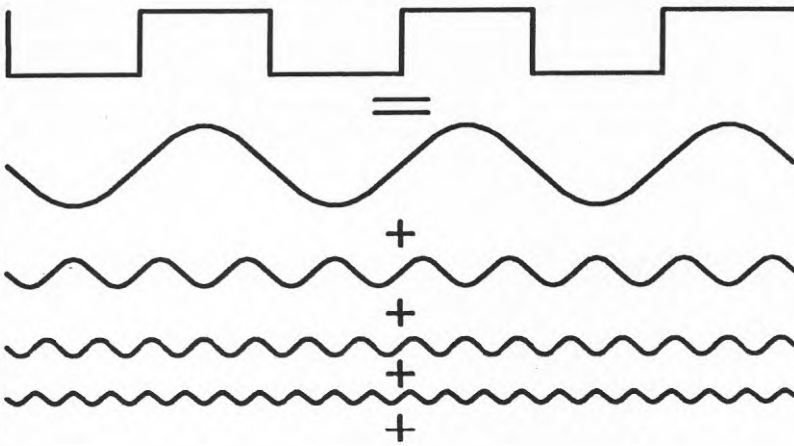


Fig 4 Uppdelning av digital signal i grundton och övertoner

Den till en viss frekvens hörande våglängden hos en elektromagnetisk våg (strålning) bestäms av vågutbredningshastigheten enligt formeln:

Våglängden i meter är lika med vågutbredningshastigheten i meter/sekund dividerad med frekvensen i Hertz.

I vakuum är vågutbredningshastigheten lika med ljushastigheten ($c=3 \cdot 10^8$ meter/sekund), men i andra elektriskt oledande material sänks vågutbredningshastigheten med faktorn $1/(\epsilon_r \cdot \mu_r)$, där ϵ_r är relativa dielektricitetskonstanten och μ_r relativa permeabilitetskonstanten för det aktuella materialet och frekvensen. Relativa dielektricitetskonstanten är förhållandet mellan ledningsförmågan för elektriskt flöde i ett material och i vakuum. Relativa permeabilitetskonstanten är förhållandet mellan ledningsförmågan för magnetiskt flöde i ett material och i vakuum. För luft kan både ϵ_r och μ_r anses vara lika med ett och vågutbredningshastigheten är därför lika stor som i vakuum.

I elektriskt ledande material däremot blir vågutbredningshastigheten frekvensberoende och sänks med faktorn

$$\sqrt{(4\pi \cdot f / (\mu_r \cdot \mu_0 \cdot \sigma))} / c \text{ där}$$

μ_0 = permeabilitetskonstanten för vakuum
 σ = elektriska ledningsförmågan

På grund av den elektriska ledningsförmågan blir vågen även dämpad på sin väg genom materialet. I tabell 2 finns våglängden i koppar angiven för olika frekvenser.

2.3

INTRÄNGNINGSDJUP

Reflektionen sker genom att den infallande elektromagnetiska vågen skapar strömmar i ytan på skärmen. Strömmarna minskar gradvis in i skärmen och ett mått på hur snabbt dessa strömmar minskar är effektiva inträngningsdjupet δ . För att reflektionen ej skall vara beroende av skärmens tjocklek måste denna ha en tjocklek motsvarande minst effektiva inträngningsdjupet.

$$\delta = 1/\sqrt{(\pi * \mu_r * \mu_0 * \sigma * f)} = \text{effektiva inträngningsdjupet}$$

där $\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7}$ och för koppar $\mu_r = 1$, $\sigma = 58 * 10^6$

Tabell 2 Effektiva inträngningsdjupet för koppar

Frekvens	Effektiva inträngningsdjupet	Våglängd (= utsläkningsdjupet)
30 Hz	1.2 cm	7.6 cm
300 Hz	3.8 mm	2.4 cm
3 kHz	1.2 mm	7.6 mm
30 kHz	0.38 mm	2.4 mm
300 kHz	0.12 mm	0.76 mm
3 MHz	0.38 mm	0.24 mm
30 MHz	0.012 mm	0.076 mm
300 MHz	0.0038 mm	0.024 mm
3 GHz	0.0012 mm	0.0076 mm
30 GHz	0.00038 mm	0.0024 mm

På sin väg genom skärmen omvandlas en del av den elektromagnetiska vågens energi till värme på grund av resistiva förluster och fältstyrkan dämpas därvid med faktorn $e^{-t/\delta}$ där t är sträckan som vågen gått i skärmen och δ är inträngningsdjupet för det aktuella materialet. Se figur 5. Vid effektiva inträngningsdjupet har fältstyrkan sjunkit till $e^{-1} = 2.7$ ggr = 9 dB. Utsläkningsdjup x i metaller definieras som det djup där fältstyrkan har sjunkit till

$$e^{-2 * \pi} = 535 \text{ ggr} = 56 \text{ dB,}$$

vilket även motsvarar en våglängd i skärmen,

$$x = \sqrt{(4 * \pi / (\mu_r * \mu_0 * \sigma * f))}$$

I tabell 2 finns utsläkningsdjupet för koppar angivet vid olika frekvenser.

2.4 ANTENNER OCH FÄLTIMPEDANSER

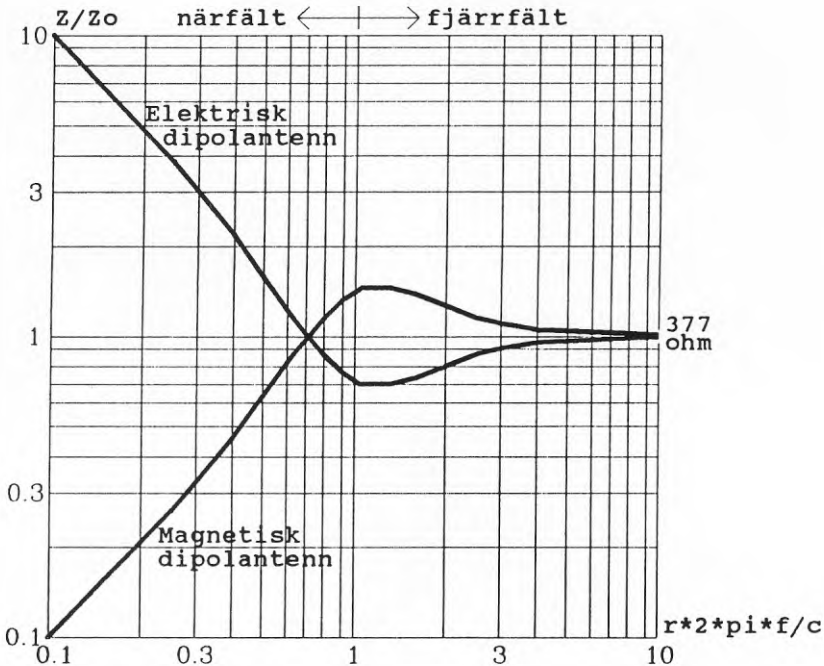
För att kunna förutse effekten av en skärm måste man känna fältimpedanserna, från både sändande och mottagande antenn, på skärmens tänkta plats. Med fältimpedans avses förhållandet mellan elektrisk fältstyrka, E , och magnetisk fältstyrka, H . Elektriska och magnetiska fältkomponenterna i luft från en kort elektrisk dipolantenn, vinkelrätt ut mot dipolens axel, ges av formlerna:

$$E = I \cdot a \cdot Z_0 \cdot \pi^2 f^2 / (c^2) \cdot (j \cdot c / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot r) + c^2 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot r)^2 - j \cdot c^3 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot r)^3)$$

$$H = I \cdot a \cdot \pi^2 f^2 / (c^2) \cdot (j \cdot c / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot r) + c^2 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot r)^2)$$

där I är strömmen i antennen, a är längden och r är avståndet.

Liknande formler kan ställas upp för en magnetisk dipolantenn och med dessa formler kan man beräkna fältimpedansen på olika avstånd från antennerna. Se figur 6. Av figuren framgår att typen av antenn bestämmer fältimpedansen i närfältsområdet (dvs på kortare avstånd än våglängden $/2 \cdot \lambda$, under det att utbredningsmediet bestämmer fältimpedansen i fjärrfältet.



Figur 6 Impedans hos fält i vakuum vid olika antennavstånd

För en elektrisk dipolantenn i vakuum blir fältimpedansen i närfältet:

$$E/H = Z = -jZ_0 * c / (2 * \pi * f * r)$$

där $j = \sqrt{-1}$ och är en metod för att beskriva fasläget, dvs förskjutningen i tiden mellan den elektriska och den magnetiska fältstyrkan. För en magnetisk dipolantenn blir fältimpedansen i närfältet:

$$E/H = Z = jZ_0 * 2 * \pi * f * r / c$$

Förhållandet mellan elektrisk fältstyrka E och magnetisk fältstyrka H hos en plan våg i ett material benämns vågimpedans Z . Med en plan våg avses en våg som skapats så långt borta att dess egenskaper är helt bestämda av utbredningsmaterialet.

$$E/H = Z = \sqrt{(j * 2 * \pi * f * \mu_r * \mu_0 / (\sigma + j * 2 * \pi * f * \epsilon_r * \epsilon_0))}$$

För isolatorer (dvs elektriska ledningsförmågan $\sigma = 0$) förenklas formeln till

$$Z_i = \sqrt{(\mu_r * \mu_0 / \epsilon_r * \epsilon_0)}$$

och för vakuum (och luft) där $\mu_r = 1$ och $\epsilon_r = 1$ erhålls

$$Z_0 = \sqrt{(\mu_0 / \epsilon_0)} = 120 * \pi = 377 \text{ ohm,}$$

vilket benämns rymdens vågimpedans.

För metaller, vilka har en hög ledningsförmåga σ jämfört med ledningsförmågan

$$2 * \pi * f * \epsilon_r * \epsilon_0$$

för elektriskt flöde, förenklas formeln till

$$Z_m = \sqrt{(j * 2 * \pi * f * \mu_r * \mu_0 / \sigma)} = ((1+j)/\sqrt{2}) * \sqrt{(2 * \pi * f * \mu_r * \mu_0 / \sigma)}$$

Termen $(1+j)/\sqrt{2}$ påverkar ej storleken av impedansen utan visar endast att den magnetiska fältstyrkan blir förskjutet i metallen så att den kommer 45 grader senare än den elektriska.

Absolutbeloppet av vågimpedansen för koppar ($\mu_r = 1$, $\sigma = 58 \text{ MS/m}$) framgår av tabell 2. Att vågimpedansen är mycket lägre i metallen betyder att den magnetiska fältstyrkekomponenten är mycket högre än den elektriska, jämfört med förhållandena i luft.

Tabell 3 Vågimpedans och absorptionskoefficient för koppar

frekvens	Vågimpedans	absorptionskoefficient relativt vakuum
30Hz	2 $\mu\Omega$	15*10 ⁹ (-78 dB)
300Hz	6.4 $\mu\Omega$	48*10 ⁹ (-73 dB)
3kHz	20 $\mu\Omega$	150*10 ⁹ (-68 dB)
30kHz	64 $\mu\Omega$	480*10 ⁹ (-63 dB)
300kHz	200 $\mu\Omega$	1.5*10 ⁶ (-58 dB)
3MHz	640 $\mu\Omega$	4.8*10 ⁶ (-53 dB)
30MHz	2 m Ω	15*10 ⁶ (-48 dB)
300MHz	6.4 m Ω	48*10 ⁶ (-43 dB)
3GHz	20 m Ω	150*10 ⁶ (-38 dB)
30GHz	64 m Ω	480*10 ⁶ (-33 dB)

2.5

TEORI FÖR STRÄLNINGSDÄMPNING I TUNNA SKÄRMAR

Hos tunna skärmar beror dämpningen huvudsakligen på reflektion på grund av skillnaden mellan vågimpedansen i luft, Z_0 , och skärmens resistans per ruta, R_s . R_s är för en tunn skärm lika med $1/(\sigma * t)$. Med en tunn skärm avses en skärm som är tunnare än ett inträngningsdjup vid den aktuella frekvensen. För beräkning av skärmverkan för strålning, dvs för antenner i fjärrfältet, kan följande approximativa formel användas för tunna skärmar:

$$SE \text{ [dB]} = 10 * \log\left(\frac{1}{2} * Z_0 / R_s\right)^2 = 10 * \log(Z_0 * \sigma * t / 2)^2$$

2.6

TEORI FÖR STRÄLNINGSDÄMPNING I TJOCKA SKÄRMAR

Vid beräkning av skärmverkan hos tjocka skärmar i antennernas fjärrfält delar man lämpligen upp skärmverkan i två delar, R och A. R är skärmverkan beroende på reflektioner vid vågens inträde i och utträde ur skärmen. A är skärmverkan beroende på absorption av energi, då vågen passerar genom skärmen.

Reflektionskoefficienten K_r , som ger ett mått på hur stor del av energin hos den inkommande vågen som reflekteras i en övergång mellan två olika material, kan bestämmas på följande sätt:

$$K_r = \left[\frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)} \right]^2$$

där Z_1 och Z_2 är vågimpedanserna i de bägge medierna.

Eftersom $Z_m \ll Z_0$ för övergång mellan luft (Z_0) och metall (Z_m) kan formeln förenklas till:

$$K_r = 1 - 4 * \sqrt{\left(\frac{\eta * f * \mu_r * \mu_0}{\sigma} \right) / Z_0}$$

Absorptionskoefficienten $K_a = 1 - K_r$ ger på samma sätt ett mått på hur stor del av energin, som fortsätter genom över-

gången mellan de bägge medierna och formeln kan för övergång mellan luft och metall förenklas till:

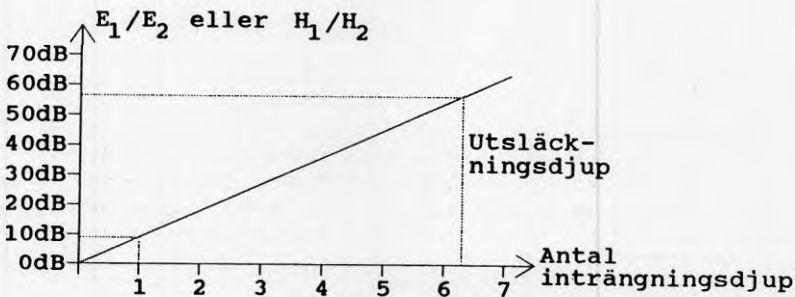
$$K_a = 4 \cdot \sqrt{(\pi \cdot f \cdot \mu_r \cdot \mu_0 / \sigma) / Z_0}$$

Absorptionskoefficienten för koppar finns angiven för olika frekvenser i tabell 3. Observera att denna bara ger halva reflektionsdämpningen, R , eftersom vågen passerar genom två övergångar, dels in i skärmen, dels ut ur skärmen.

$$R \text{ [dB]} = 2 \cdot 10 \cdot \log(1/K_a)$$

Absorptionen, A , i skärmen blir:

$$A \text{ [dB]} = 10 \cdot \log(e^{t/\delta})^2$$



Figur 5 Absorptionsdämpning för olika skärmtjocklek uttryckt i inträngningsdjup

Följande beräkningsexempel visar hur man bestämmer skärmverkan vid 100 MHz hos en 0.02 mm tjock kopparskärm. Effektiva inträngningsdjupet blir

$$\begin{aligned} \delta &= 1 / \sqrt{(\pi \cdot \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \sigma \cdot f)} = \\ &= 1 / \sqrt{(\pi \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^7 \cdot 58 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^6)} = 0.0066 \text{ mm} \end{aligned}$$

Eftersom tjockleken är större än effektiva inträngningsdjupet kan formlerna för tjocka skärmar användas. Absorptionsfaktorn $K_a = 4 \cdot \sqrt{(\pi \cdot f \cdot \mu_r \cdot \mu_0 / \sigma) / Z_0} = 4 \cdot \sqrt{(\pi \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^7 / (58 \cdot 10^6)) / 377} = 28 \cdot 10^6$

Eftersom reflektion sker både vid ingång i skärmen och vid utgång ur skärmen blir $R = 2 \cdot 10 \cdot \log(1/K_a) = 91 \text{ dB}$.

Absorptionen i skärmen blir $A = 10 \cdot \log(e^{t/\delta})^2 = 10 \cdot \log 428 = 26 \text{ dB}$. Dvs totala dämpningen hos skärmen blir $SE = R + A = 91 + 26 = 117 \text{ dB}$.

2.7

TEORI FÖR DÄMPNING AV ELEKTRISK OCH MAGNETISK INDUKTION

Om skärmen är placerad i närfältet till en antenn blir skärmverkan svårare att bestämma. Oftast gör man då så att man antager att antennerna är antingen rent magnetiska eller rent elektriska dipolantenner och uppskattar hur mycket just den fältkomponenten minskar. Skärmverkan i närfältet blir högre för den elektriska fältkomponenten och lägre för den magnetiska jämfört med skärmverkan för samma skärm i fjärrfältet. Detta betyder att en tunn skärm oftast är tillräcklig för skärmning av den elektriska fältkomponenten, under det att en tjock skärm med stor absorptionsdämpning eller en tunn skärm med stor magnetisk ledningsförmåga kan behövas för att dämpa den magnetiska fältkomponenten.

Vid en uppskattning av dämpningen av elektriskt fält i antennernas närfältet använder man i formlerna den aktuella fältimpedansen ($Z = -jZ_0 * c / (2 * \eta * f * r)$) i stället för vägimpedansen (Z_0). Skärmverkan kan då för en tunn skärm beräknas med följande approximativa formel under förutsättning att sändande och mottagande antenn befinner sig på samma avstånd (r) från skärmen:

$$SE \text{ [dB]} = 10 * \log \left(\frac{1}{2} * Z / R_s \right)^2 - 10 * \log \left(\frac{1}{2} * Z_0 * c / (2 * \pi * f * r * R_s) \right)^2$$

Skärmverkan för magnetiskt fält ($Z = Z_0 * 2 * \eta * f * r / c$) hos en tunn skärm med hög relativ permeabilitet kan under samma förutsättningar beräknas med följande approximativa formel:

$$SE \text{ [dB]} = 10 * \log \left(2 * \pi * f * \mu_r * \mu_0 * t / (2 * Z) \right)^2 - 10 * \log \left(\mu_r * t / (2 * r) \right)^2$$

2.8

VERKLIGA, EJ IDEALA, SKÄRMAR

De ovan beskrivna metoderna ger endast skärmverkan för ett idealiserat fall med en oändligt stor plan skärm. I verkligheten uppnår man ej denna teoretiska skärmverkan och nedan ges exempel på fenomen som påverkar skärmegenskaperna.

Vid vissa frekvenser uppkommer hålrumresonans beroende på stående vågor i det skärmade utrymmet, vilket oftast medför en försämring av skärmverkan. På grund av resonansfenomenet blir strömmarna i skärmen högre vid dessa frekvenser. Svagheter som resistans och induktans i skarvar mellan olika delar framträder följaktligen mycket tydligare vid resonansfrekvenserna. Dessa frekvenser kan för ett luftfyllt utrymme med bredden = b , djupet = d och höjden = h beräknas med formeln:

$$f = c * \frac{1}{2} * \sqrt{\left(\frac{k}{b} \right)^2 + \left(\frac{m}{d} \right)^2 + \left(\frac{n}{h} \right)^2}$$

k , m och n är valfria heltal, dock får endast ett vara noll. Genom att sätta två av heltalen till ett och ett till noll kan man med denna formel beräkna den lägsta frekvens vid vilken hålrumresonans kan förekomma. Exempel: Ett skärmat rum med måtten 2.5 m * 2.5 m * 5 m får sin lägsta resonansfrekvens på 67 MHz.

För att undvika resonanser och problem på grund av reflektioner inuti det skärmade utrymmet kan, för speciella tillämpningar,

väggarna kläs med material som absorberar elektromagnetisk strålning och man erhåller då ett så kallat ekodämpat rum (på engelska Anechoic Shielded Rooms). Som absorberande material används antingen koner av resistivt material t ex kolpulverfylld skumplast, ferritplattor eller en kombination av dessa båda.

Den del av skärmen som är mest kritisk att konstruera är den så kallade intagsplåten. Metalliska ledningar, både för el, tele och för t ex vatten, kan fungera som mottagarantennerna på ena sidan av skärmen och som sändarantennerna på den andra och på så sätt föra elektromagnetisk energi genom skärmen. För att förhindra att störningar passerar via dessa ledningar, avleds störningsströmmarna antingen direkt eller via störningsskyddsfiler till skärmen. Detta betyder att man får en koncentration av störningsströmmar i skärmen mellan de olika genomföringarna och man brukar därför samla alla ledningar till en intagsplåt som störningsströmmarna avleds till samtidigt som ledningarna passerar genom. Genom detta undviker man att strömmarna får gå långa sträckor i skärmen och ev passera över skarvar och runt hål. Stor vikt bör alltså läggas vid att göra intagsplåten kraftig och väl kontakterad med den övriga skärmen.

Vid all användning av inre skärmmaterial måste elsäkerhetsriskerna observeras, alla elkraftuttag måste vara av jordat utförande.

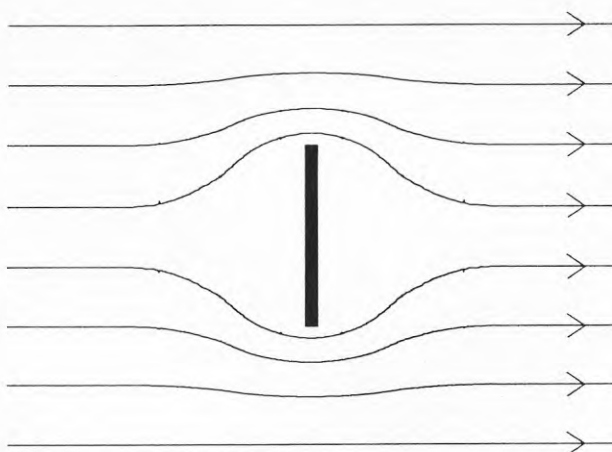
Man ser tyvärr ibland i litteraturen helt felaktiga formler för hur mycket strålning som kommer igenom en öppning i en skärm. Dessa formler kan leda till helt orimliga resultat, t ex att fältstyrkan hos vågen skulle vara högre efter att ha passerat genom hålen i skärmen än vad den skulle vara helt utan skärm. I brist på lämpliga formler skall dock lämnas några allmänna rekommendationer om öppningar i skärmar.

Elektriska ledningar (kablar) bör ej förläggas i närheten av hål i skärmar.

Flera små hål ger mindre försämring av skärmverkan än ett stort med samma tvärsnittsarea.

Man bör sträva efter att få ett stort djup på öppningen i förhållande till största tvärsnittsdimensionen.

Smala slitsar i en skärm ger nästan lika stor försämring av skärmverkan som ett runt hål med samma diameter som längden på slitsen. Orsaken till detta är lätt att förstå om man tänker på att skärmverkan skapas genom att elektriska strömmar uppstår i skärmen. För att strömmarna skall komma förbi slitsen på det kortaste (dvs lågohmigaste) sättet tvingas de ut nästan lika långt som för ett runt hål. Se figur 7. Lämpligaste form för en viss area hos nödvändigt hål i skärmar är därför runt eller kvadratisk.



Figur 7 Strömmar runt en slits i en skärm

2.9

METODER FÖR SKÄRMNING AV HELA BYGGNADER

Under det senaste årtiondet har benämningen "Architectural shielding" börjat användas alltmer som en benämning på skärmning av hela eller delar av byggnader. Architectural shielding kan utföras som en yttre skärmning inbyggd i husets stomme eller genom lämplig fasadbeklädnad, eller som en inre skärmning genom speciell väggbeklädnad.

Ometalliska byggnadsmaterial har praktiskt taget ingen dämpning för frekvenser under 300 MHz. Genom kolfyllnad i betong kan man dock få ett material som ger reflektionsdämpning för låga frekvenser och absorptionsdämpning (och därför tjockleksberoende dämpning) för höga frekvenser.

Även vanliga byggnadsmaterial som armerad betong kan fås att dämpa elektromagnetisk strålning genom lämplig utformning av armeringen.

2.10

METODER FÖR SKÄRMNING AV ENSTAKA RUM

För skärmning inne i byggnader finns tapeter med metallfolier av koppar, aluminium, nickel eller järn. För att få bättre dämpverkan finns kombinationsmaterial, t ex koppar-invar-koppar, där kopparn förutom att ge en effektiv reflektion av elektromagnetisk strålning även ger möjlighet till att enkelt kunna löda ihop skarvarna. Emerson & Cuming har en ledande tapet Eccoshield av tre klasser: WP-3SS av rostfritt stål med hög ledningsförmåga för både elektriska och magnetiska fält. WP-3CU med kopparfolie speciellt för elektriska fält samt WP-2AL. Ett exempel på en aluminiumbaserad tapet är NordFoil tillverkad av Skultuna Flexible.

Elektriskt ledande färger baserade på nickel eller koppar används även. För nickelfärger bör man tänka på allergiris-kerna. Numera finns även en vattenbaserad kopparfärg (series 599) för skärmning framtagna av företaget Spraylat, vilken uppges kunna ge en dämpning på 60 dB (= 1000 ggr) av elektriska fält mellan 100 kHz till 1 GHz. Färger brukar ofta karakteriseras med egenskaper som vidhäftningsförmåga, åldringsbeständighet och tålighet mot repning.

För ventilationsöppningar finns vägledarpaneler att köpa. Ledande tejp är uppbyggd av ett basmaterial bestående av koppar eller aluminiumfolie och med ett metallpulver som ledande fyllnadsmaterial i klistret. Dessa tejper kan man använda bl a för att elektriskt täta mellan vägg och fönster etc. Färdiga skärmade dörrar med karm finns att köpa. Utförande med s k knivegg som går in i ett spår med kontaktlister är det utförande som är mest tåligt mot yttre påverkan.

Ofta byggs skärmade rum upp inuti de normala rummen. Dessa skärmrum kan fås skraddarsydd eller i modulutförande som vägg-, tak- och golvpaneler, vilka fogas samman med därför avsedda skruvförband. Dessa skärmade rum kan då ge betydligt högre skärmverkan, speciellt för magnetiska fält vid lägre frekvenser än vad en lösning med skärmning inbyggd i huset ger. Typiska värden på skärmverkan hos moduluppbyggda rum är 120 dB för elektriska och elektromagnetiska fält och för magnetiska fält en skärmverkan, som sjunker ner till 40 dB vid 1 kHz. Dessa rum får även en högre tillförlitlighet och en längre livslängd än rum uppbyggda med ledande tapeter eller ledande färg.

Ett flertal tillverkare finns som säljer skärmade skåp för elektronikutrustningar. Som för alla övriga typer av skärmning bestäms skärmverkan oftast av hur bra man kan filtrera kablage genom skärmen. Det är därför viktigare att studera skillnader i detta avseende mellan olika skåp, än att jämföra angivna data på skärmverkan för tomt skåp.

2.11

METODER FÖR SKÄRMNING AV LEDNINGSNÄT I BYGGNADER

Om man väljer elektroniska utrustningar som i sig själva har tillräckliga elmiljöegenskaper kan man ändå ibland behöva åtgärda kablagen mellan dessa. Exempel på metoder är skärmade kablar, koaxkablar, balanserade kablar, optofiber och skärmade kanalisationssystem.

Genom balanserad överföring kan man både minska emission och öka tåligheten. Principen bygger på att två lika stora men motriktade fält tar ut varandra. Genom att placera två signalledare så att de ger liknande fält ifrån sig bl a genom att tvänna ledarna med varandra och skicka ut en signal på den ena ledaren och samma fast motriktad signal på den andra kan denna balansering uppnås. Hos mottagande enhet används sedan skillnaden mellan spänningarna på de två ledarna för att erhålla nyttosignalen. Telefonnätet är ett exempel på balanserad signalöverföring.

I en optokabel sker signalöverföringen med ljus i en ometallisk fiber, vilken varken avger eller mottager radiofrekvent elektromagnetisk strålning. En varning skall dock utfärdas för de optokablar, där man lagt in en metallisk armering för att öka hållfastheten. Dessa kan som alla andra metalliska ledningar samla upp strålning och föra den genom utrustningens skärm.

Även kablar kan skärmade för att minska emission och öka störtaålighet. För att få bra skärmverkan bör kabelskärmen anslutas i bägge ändarna till skärm eller jord i respektive utrustning. Koaxkabel kan sägas vara en specialvariant av skärmad kabel med bara en signalledare och där signalreturen sker i skärmen. Exempel på ett system med koaxkabel är kabel-TV-nät.

En skärmad kabels dämpverkan kan uttryckas på två sätt, antingen som skärmningseffektivitet eller som övergångsimpedans (transfer-impedans) per längdenhet. Skärmningseffektiviteten är förhållandet mellan kabelns elektromagnetiska strålning med och utan skärm. Övergångsimpedans är förhållandet mellan den spänning man erhåller på ledarna i kabeln och den ström som man utifrån matar in på kabelskärmen dividerat med kabelns längd. I CISPR Publikation 16 finns beskrivet hur skärmverkan hos kablar kan mätas upp på ett smidigt sätt med hjälp av en s k MdS-tång.

En kabelskärm kan vara utförd som folieskärm, flätad skärm, homogen skärm eller som en kombination av dessa. Under några hundra kHz brukar övergångsimpedansen vara rent resistiv för en flätad skärm och över några hundra MHz vara rent induktiv.

2.12 VILKEN SKÄRMNINGSNIVÅ BÖR MAN UPPNÅ

Inom EG pågår ett arbete med att harmonisera olika elmiljöstandarder med syfte att undanröja tekniska handelshinder. EG-direktivet omfattar all utrustning, system och installationer innehållande elektriska eller elektroniska komponenter, som informationsteknologiutrustning, telekommunikationsutrustning, hushållsprodukter, industriell utrustning, medicinsk utrustning och fordon. Kraven är av två olika typer. Utrustningar får ej generera elektromagnetiska störningar över en viss tillåten nivå för att möjliggöra för radio- och telekommunikationsprodukter och liknande att kunna fungera på avsett sätt. Dessutom skall utrustningen ha tillräcklig tålighetsnivå mot elektromagnetiska störningar som t ex elektrostatiska urladdningar, åsktransienter och nätstörningar. Arbetet med att ta fram de gemensamma standarderna sker inom Cenelec bestående av 18 EG- och EFTA-länder. Enligt den fastställda tidplanen skall de gemensamma kraven träda i kraft inom EG första januari 1992.

I den svenska standarden SS 447 2022 delas utrustning för informationsbehandling upp i två klasser, A och B, vad avser avgiven elektromagnetisk strålning ur radiostörningssynpunkt. För klass A-utrustning gäller ett säkerhetsavstånd på 30 m och för klass B 10 m. För bägge kasserna gäller att fältstyrkan mätt vid respektive avstånd ej får överskrida nedanstående värden:

Frekvensområde	Gränsvärde
30 - 230 MHz	30 dB(μ V/m) = 31.6 μ V/m
230 - 1000 MHz	37 dB(μ V/m) = 70.8 μ V/m

SEK handbok 407 behandlar tålighet mot radiofrekventa elektromagnetiska fält hos elektronikutrustningar för industri och handel. I denna finns fyra elmiljöklasser beskrivna för frekvensområdet 25 - 500 MHz.

MR 0	Elmiljö med försumbar fältstyrka, t ex i skärmade rum.
MR 1	Elmiljö med fältstyrka upp till 1 V/m, t ex fält från rundradiosändare och televisionssändare.
MR 2	Elmiljö med fältstyrka upp till 3 V/m, t ex fält från basstationer för mobilradio.
MR 3	Elmiljö med fältstyrka upp till 10 V/m, t ex fält i närheten av bärbara eller andra mobila sändare.

Handboken innehåller även provklasser för utrustningar avsedda att placeras i någon av de tre sista elmiljöerna.

2.13

SAMMANFATTNING

Elektromagnetisk skärmning är en metod för att förbättra elmiljöegenskaperna hos elektroniska utrustningar. Tåligheten mot elektromagnetiska fält kan ökas och emissionen kan minskas. Skärmningen kan utföras på olika nivåer, från skärmning av hela hus till skärmning inbyggd i utrustningar och ledningsnät. Uppskattning av skärmverkan sker lämpligen på olika sätt beroende på, dels om skärmtjockleken är större eller mindre än ett inträngningsdjup, dels om skärmen befinner sig i när- eller fjärrfältet till antennerna. Den förbättring som en skärmning ger upphov till är starkt beroende av frekvensen och är dessutom svår att förutsäga med stor noggrannhet. Oftast är det hur en skärmning är utförd och inte skärmaterialet självt som bestämmer vilken skärmverkan som uppnås.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Beckman, K, 1984, Läckande datorer en information om RÖS. (Sårbarhetsberedningen och Brottsförebyggande rådet.) Stockholm.
- Magnerot, D, 1985, Skydd mot hotande puls. (Ingenjörsläroverket.) Ny teknik 1985:49, p. 1 och 37-39. Stockholm.
- SS 447 2022, 1988, Radiostörningar från utrustning för informationsbehandling - Gränsvärden och mätmetoder. (Standardiseringskommissionen i Sverige.) Utg. 1. Stockholm.
- IEC publ. 50(161), jan 89, International Electrotechnical Vocabulary Chapter 161: Electromagnetic compatibility. (International Electrotechnical Commission)
- IEC Publication 801-3, 1984, Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment. Part 3: Radiated electromagnetic field requirements. (International Electrotechnical Commission) Utg. 1. Geneve.
- IEC/CISPR Publication 16, 1977, C.I.S.P.R. specification for radio interference measuring apparatus and measurement methods. (International Electrotechnical Commission) Utg. 1. Geneve.
- ECMA TR/12, 1982, Radio interference from DP/OE limits and measurements methods. (European computer manufacturers association). Geneve.
- White D., 1980, A handbook on Electromagnetic Shielding materials and performance. (Don White Consultants) second edition. Virginia USA.
- Benda S., 1989, Störningsfri elektronik, Konstruktion och användning. (Studentlitteratur AB). Lund.
- SEK Handbok 407, 1989, Elektronikutrustningar för industri och handel - Tåligghet mot radiofrekventa elektromagnetiska fält - Elmiljöklasser och provning. (Standardiseringskommissionen i Sverige). utgåva 1, Stockholm.
- Hallén E., 1953, Elektricitetslära. (Almqvist & Wiksells). Stockholm.
- Ott H., Noise reduction techniques in electronic systems (John Wiley & Sons). Second edition. USA.
- AFS 1987:2, Högfrekventa elektromagnetiska fält. (Arbetskyddsstyrelsens författningssamling).

FÖRETAG VERKSAMMA INOM ELEKTROMAGNETISK SKÄRMNING

Skärmmaterial:

Bexab Technology AB (Kitagawa)
Box 523, 183 25 TÄBY, Tel 08-732 8980

Bicc-Vero Electronics AB (Chomerics)
Box 4035, 127 04 SKÄRHOLMEN, Tel 08-710 0080

AB Gösta Bäckström (Tecknit Shielding Products)
Box 12009, 102 21 STOCKHOLM, Tel 08-541080

CE-BIT Elektronik AB (Tech-Etch Inc.)
Box 1404, 171 27 SOLNA, Tel 08-735 7550

Ingenjörfirman Gunnar Pettersson AB (SPIRA)
Box 117, 123 22 STOCKHOLM, Tel 08-930280

Siemens AB
Box 23141, 104 35 STOCKHOLM, Tel 08-728 1000

Skultuna Flexible
730 50 SKULTUNA, Tel 021-75080

SPRAYLAT
716 South Columbus Ave., Mt. Vernon, NY 10550, USA

Tibe AB (Emerson & Cuming)
Box 6063, 191 06 SOLLENTUNA, Tel 08-754 7420

3M Svenska AB
Bollstanäsvägen 3, 191 89 SOLLENTUNA, Tel 08-922100

Visitron AB (Instrument Specialties Co Inc, RFI Shielding Ltd)
Box 6063, 162 06 VÄLLINGBY, Tel 08-380130

Störskyddsfilter:

BETOMA (SAE)
Box 1406, 171 27 SOLNA, Tel 08-734 8270

ELFA AB (Belling Lee Intec Ltd)
171 17 SOLNA, Tel 08-735 3500

Ingenjörfirman Gunnar Pettersson AB (SIDT)
Box 117, 123 22 STOCKHOLM, Tel 08-930280

NORDISK ELEKTRONIK AB (Schaffner)
Box 27301, 102 54 STOCKHOLM, Tel 08-635040

Siemens AB
Box 23141, 104 35 STOCKHOLM; Tel 08-728 1000

Traco AB
Box 103, 123 22 FARSTA, Tel 08-930000

Skärmade rum och skåp:

CE-BIT Elektronik AB (Euroshield OY)
Box 1404, 171 27 SOLNA, Tel 08-7357550

ELFA AB (Belling Lee Intec Ltd)
171 17 Solna, Tel 08-7353500

EME AB (RFI Corporation)
Plöjaregatan 70, 583 30 LINKÖPING, Tel 013-213434

Ericsson Radio Systems AB
Anläggningsavdelningen (Avd H/CL), 163 80 STOCKHOLM
Tel 08-7521000

HIGH VOLTAGE AB (Universal Shielding)
Ångsgårdsgatan 12, 721 30 VÄSTERÅS, Tel 021-120405

Ingenjörfirman Gunnar Petterson AB
Box 117, 123 22 STOCKHOLM, Tel 08-930280

Siemens AB
Box 23141, 104 35 STOCKHOLM, Tel 08-7281000

Tibe AB (Emerson & Cuming)
Box 6063, 191 06 SOLLENTUNA, Tel 08-7547420

Konsulter och elmiljömätningar:

CEM-CONSULT AB
Valhallavägen 1, 371 41 KARLSKRONA, Tel 0455-10288

Data Elektronik Konsult (Elektronikcentralen, EC, i Danmark)
PL 1321, 430 30 FRILLESÅS, Tel 0340-56400

EMC Services AB
Flöjelbergsgatan 12, 431 37 MÖLNDAL, Tel 031-279136

EME AB
Plöjaregatan 70, 583 30 LINKÖPING, Tel 013-213434

EMTECH elmiljöteknik AB
Fridtunagatan 6 Teknikbyn, 582 46 LINKÖPING, Tel 013-128182

FFV Aerotech
Elmiljö, Box 360, 831 25 ÖSTERSUND, Tel 063-156000

Rohde & Schwarz Sverige AB
Box 126, 123 22 FARSTA, Tel 08-940395

Utbildning inom elmiljöområdet:

CE-BIT Elektronik AB (Interference Control Technologies)
Box 1404, 171 27 SOLNA, Tel 08-7357550

Data Elektronik Konsult (Elektronikcentralen, EC, i Danmark)
PL 1321, 430 30 FRILLESÅS, Tel 0340-56400

EMI-Control AB
Valhallavägen 1, 371 41 KARLSKRONA, Tel 0455-81051

EMTECH elmiljöteknik AB
Fridtunagatan 6 Teknikbyn, 582 46 LINKÖPING, Tel 013-128182

Rohde & Schwarz Sverige AB
Box 126, 123 22 FARSTA, Tel 08-940395

STF Ingenjörutbildning AB
Box 1419, 111 84 STOCKHOLM, Tel 08-142000

SIFU Elektronik och datorteknik
Box 4012, 102 61 STOCKHOLM, Tel 08-241400

3 BLIXTSKYDD FÖR BYGGNADER

3.1 BESKRIVNING AV PARAMETRARNA

Åska är ett atmosfäriskt elektriskt fenomen:

- utveckling av ett åskmoln
- atmosfärens och molnets uppladdning
- blixurladdning
 - blixtar i moln
 - blixtar mot mark
 - övriga blixurladdningar
 - blixtfrekvensen i Sverige, landskapets inverkan, blixstatistik
 - Hur kan risken för blixttinslag, blixtskada uppskattas?
 - Finns det speciella områden, där blixten oftast slår in?
 - Samband mellan blixtskadornas omfattning och blixstens fenomenologi:
 - starka blixtar
 - svaga blixtar
 - blixtanhopningar

Blixurladdningens elektriska parametrar:

- Blixstens verkningar:
 - ström
 - laddning
 - värmeimpuls
 - magnetiska, elektriska och elektromagnetiska fält
- Infångning av blixten

3.11 Åskans och blixstens fysikaliska parametrar

Det finns flera olika meteorologiska förhållanden under vilka sannolikheten för uppkomst av åska är störst. Av dessa är "front- och värmeåskväder" de mest kända fenomenen. Karakteristiskt för båda dessa väderförhållanden är starka uppvindar av varm fuktig luft med vindhastigheter på över 100 km/h. Några kilometer ovanför den soluppvärmda marken är atmosfären kall och temperaturen avtar med höjden. De häftiga uppvindarna är resultatet av den värme, som frigörs vid kondensation av vattenångan i de varma luftmassorna, som hamnar i denna kalla troposfärens atmosfär och som bildar moln. Det är idag vetenskapligt fastställt att samtidig förekomst av vatten i vätske- och i fast form är ett ofrånkomligt villkor för elektrisk uppladdning av nederbörden. Sådana förutsättningar

kan finnas i molnområden med atmosfärstemperatur mellan -15°C och -20°C . Flera uppladdningsmekanismer är möjliga och det återstår att finna svar på en rad frågor innan åskmolnets elektriska uppladdning blir förstädd i detalj.

Åskmolnets egenskaper kan vi sammanfatta i följande idag ännu gällande observationer:

- Livslängden av en aktiv åskcell är cirka 30 minuter.
- Processer som alstrar och separerar elektrisk laddning i ett moln är bundna till utvecklingen av nederbörden, troligen i form av blött hagel, dvs molnpartiklar som består av hagel och vatten i vätskeform.
- Laddningsseparationen i ett åskmoln måste vara i stånd att leverera en första blixt inom loppet av 12 till 20 minuter efter första radarobservationen av nederbörd (partikeldiameter större än $200\ \mu\text{m}$).
- I varje blixt neutraliseras i genomsnitt en total laddning på 20 till 30 C.
- Denna laddning upptar en molnvolym med radie av 2 till 3 km inom temperaturgränserna -5°C och -40°C .
- Molnets negativa laddning samlas ovanför temperaturgränsen -5°C .
- Man har observerat att den negativa laddning som överförs till marken genom blixtar mot mark stannar från molnområden mellan -10°C och -17°C oberoende av åskvädrets geografiska läge.
- Huvuddelen av den positiva laddningen samlas i molnets översta del.
- Det finns mindre mängder av positiv laddning som samlas i molnets lägsta del som ligger under temperaturgränsen 0°C . Man tror att dessa positiva laddningscentra på ett avgörande sätt medverkar vid utlösningen av negativa blixtar mot mark.

I fig 1 visas schematiskt ett åskmoln med höjd- och temperaturskala infälld.

På grund av kraftig turbulens och åskmolnets stora dimensioner kan fördelningen av elektrisk laddning uppnå mycket skiftande strukturer med större och mindre laddningsområden av positiv och negativ polaritet. Det är idag oklart vad som utlöser en blixturladdning som utvecklas från någon av dessa laddningscentra i riktning mot mark eller mot ett laddningsområde av motsatt polaritet.

Blixtar, som tillför marken positiv laddning, kallas "positiva blixtar" medan blixtar med negativ laddning kallas "negativa blixtar". Man antar, att negativa blixtar upprätthåller balansen i jordena globala elektriska system och motverkar jordklotets positiva uppladdning genom den kontinuerliga uppladdningsströmmen, som driva av det "vackert väders"-atmosfäriskt-elektriska fältet. Detta kan vara orsaken till att negativa blixturladdningar än vanligast förekommande i ett "normalt" åskväder. För Sveriges ydskommande räknar man med ett genomsnitt av 1 blixt per km^2 och år.

Positiva blixtar förekommer främst under kallare årstider och har i regel mycket högre intensitet jämfört med negativa blixtar. I vanliga fall har ett åskväder cirka 10% positiva blixtar, som uppträder främst under slutskedet av en åskcells livscykel och troligen orsakas av den obalans mellan de positiva och negativa laddningar i åskmolnet som skapas genom talrika negativa blixtar mot mark.

Blixtar, som ej når marken, kallas i regel "molnblixtar". De stora mängder rymdladdningar som dras till åskmolnets omgivande atmosfär kan påverka molnblixtarnas urladdningskanal, vilket kan resultera i mångfaldiga kanalförgreningar.

Blixtstatistiken i Sverige är idag ofullständig och man är fortfarande hänvisad till blixtreäknarregistreringar från 60-talet, fig 2, och åskkartor från några få år i slutet av 80-talet framställda med hjälp av det svenska blixtlokaliseringssystemet, fig 3. För Sveriges vidkommande insamlas blixtstatistiken genom mätningar, som utförs vid Institutionen för högspänningsforskning vid Uppsala Universitet. Inverkan av geografiska, klimatiska samt övriga lokala förhållanden på blixtparametrarna är bevisligen inte försumbara och en viss nationell referens till blixtparametrarnas statistiska fördelning är därför önskvärd. I ett längre perspektiv måste man även beakta de långsiktiga klimatförändringar, som orsakas till exempel av "växthuseffekten" orsakad av ökat CO_2 -utsläpp, ökad koncentration av stoftpartiklar i stratosfären samt ökad förekomst av kondensationskärnor i troposfären. Alla dessa klimatologiska parametrar har en direkt påverkan på atmosfärisk elektricitet och på åska. Sammanfattningsvis måste vi räkna med en markant ökning av åskfrekvensen i Skandinavien inom loppet av något tiotal år.

Ur fig 2 och fig 3 framgår att blixtfrekvensen mot mark i Sverige varierar mellan landsdelarna, något högre i södra Sverige och något lägre i de nordligast liggande landsdelarna. Det rör sig runt en blixt per km^2 och år. Motsvarande frekvensfördelning i till exempel södra Europa eller i de ekvatoriella delarna av Afrika avviker markant från dessa värden. Avvikelser är dock inte möjliga att fastställa med någon större noggrannhet med hjälp av mätningar utförda i Sverige. Dessutom växer i takt med den tekniska utvecklingen även våra krav på en mera exakt specifikation av den elektriska miljön. Det byggtkniska intresset begränsas idag inte enbart till effekterna

av blixtrar mot mark utan man är även intresserad av den elektromagnetiska miljön, som påverkar byggnadens elektriska installationer och lokala kommunikationssystem. Detta medför att blixtrar i moln och till dem relaterade elektromagnetiska fält måste omfattas av en modern beskrivning av den elektriska miljön. Ett tillförlitligt underlag för sådana analyser saknas idag men kommer under den närmaste tioårsperioden att tas fram av flera åskforskningsgrupper.

En ytterligare, tekniskt mycket viktig information är tidsfördelningen av blixtrfrekvensen på en bestämd ort över ett helt år och under ett enskilt åskväder. Sådan kunskap kan ha en avgörande inverkan för utformningen av nödvändiga skyddsåtgärder för till exempel en datorinstallation.

För att värdera blixterns inverkan på en teknisk anläggning krävs en god kunskap om anläggningens funktion, dess elektriska störkänslighet samt omgivningens respons på blixterns verkningar som till exempel markens resistivitet mm. Detta medför att det är nödvändigt med en starkt selektiv bedömning av den förväntade stör- och skaderisken på grund av blixurladdningar i varje enskild anläggning.

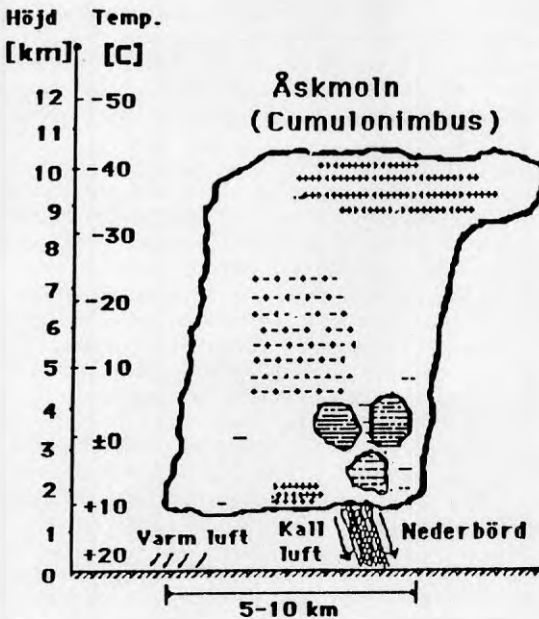


Fig 1 Åskmoln, Cumulonimbus

Fig 2a Blixtnedslagsfrekvensen per 100 km² och år enligt blixträknare

Fig 2b Antalet åskdagar per år enligt SMHI

Fig 3 Antalet blixtnedslag per 100 km² 1988 uppmätt av Institutet för högspänningsforskning, Uppsala

Beskrivning av blixurladdningar

Inte bara ur åskskyddssynpunkt utan även ur meteorologisk synpunkt är förekomsten av åska av intresse. Meteorologerna använder därför ofta begreppet åskdag, som definieras som en dag när det muller, som är förknippat med blixurladdningar, hörts (av SMHI:s väderobservatörer). Ur åskskyddssynpunkt mera intressant är emellertid hur ofta blixurladdningar kan förväntas träffa ett bestämt område. Genom flera metoder har man därför sökt bestämma antalet blixtnedslag per km² i Sverige och i andra länder.

Blixterns elektriska verkningar är av större intresse än eventuella ljudfenomen. En blixtfrekvenskarta över Sverige för 1988 visas i fig 3. Man kan i princip tala om två huvudtyper av urladdningar nämligen molnblixtar, blixtar i eller mellan moln, eller jordblixtar, blixtar mellan moln och mark. I Sverige är molnblixtarna ca 2-3 gånger vanligare än jordblixtarna och har hittills ej betraktats som något större problem ur åskskyddssynpunkt. De nyare elektroniksystemens allt större störkänslighet medför emellertid att molnblixtar i betydligt större grad än hittills måste tas i beaktande. I det följande skall vi emellertid huvudsakligen behandla blixtar mellan moln och mark.

De flesta blixurladdningarna startar först med en urladdning stegvis nedåt från det uppladdade molnet. Då förurladdningen närmar sig marken växer mötande urladdningar, så kallade fängurladdningar, upp från föremål i närheten. Huvudurladdningen, som följer då en förurladdning och en av de infångande urladdningarna möts, har formen av en eller flera strömstötar i snabb följd. Vanligen transporteras genom blixurladdningen negativ laddning från moln till mark. Vid ca 10% av alla blixurladdningar transporteras emellertid i stället positiv laddning ned. Dessa positiva blixurladdningar är i genomsnitt mycket starkare än de negativa blixtarna med avseende på transporterad laddning, maximal ström och strömvärmepuls. De positiva blixtarnas smältverkan, påverkan på överspänningskydd, antändningsförmåga mm är därför större än de negativa blixtarnas.

Från höga föremål (i regel från master högre än ca 100 m över marken) uppstår dessutom ibland en annan typ av blixtar (<1% av alla blixurladdningar), vilka utvecklas uppåt mot molnet. Dessa uppåtriktade blixtar kan vara såväl positiva som negativa och kan i naturen lätt skiljas från de "normala" nedåtriktade blixtarna genom att förgreningen är uppåtriktad.

Fig. 2a Blixtdensiteten i Sverige beräknad från blixträknar-registreringar under åren fr o m 1958 t o m 1962. Siffrorna anger beräknat antal blixtnedslag per 100 km² och år.

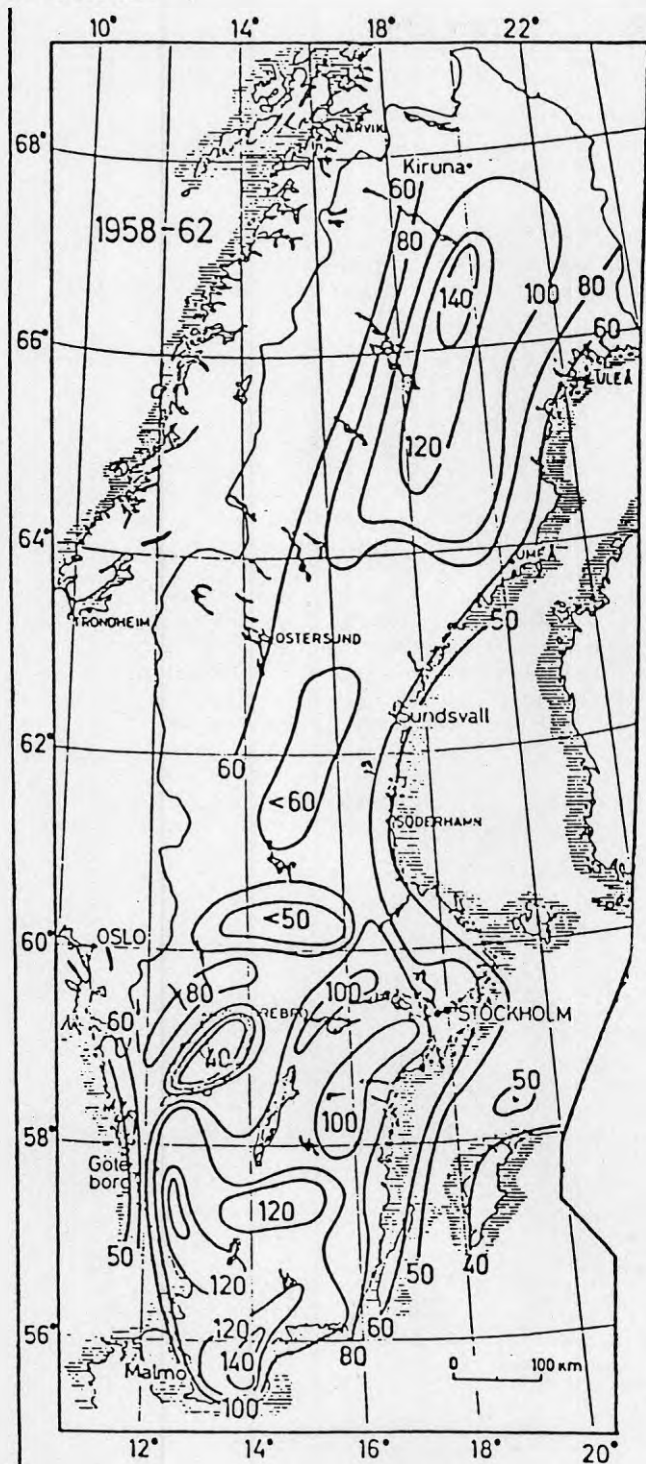
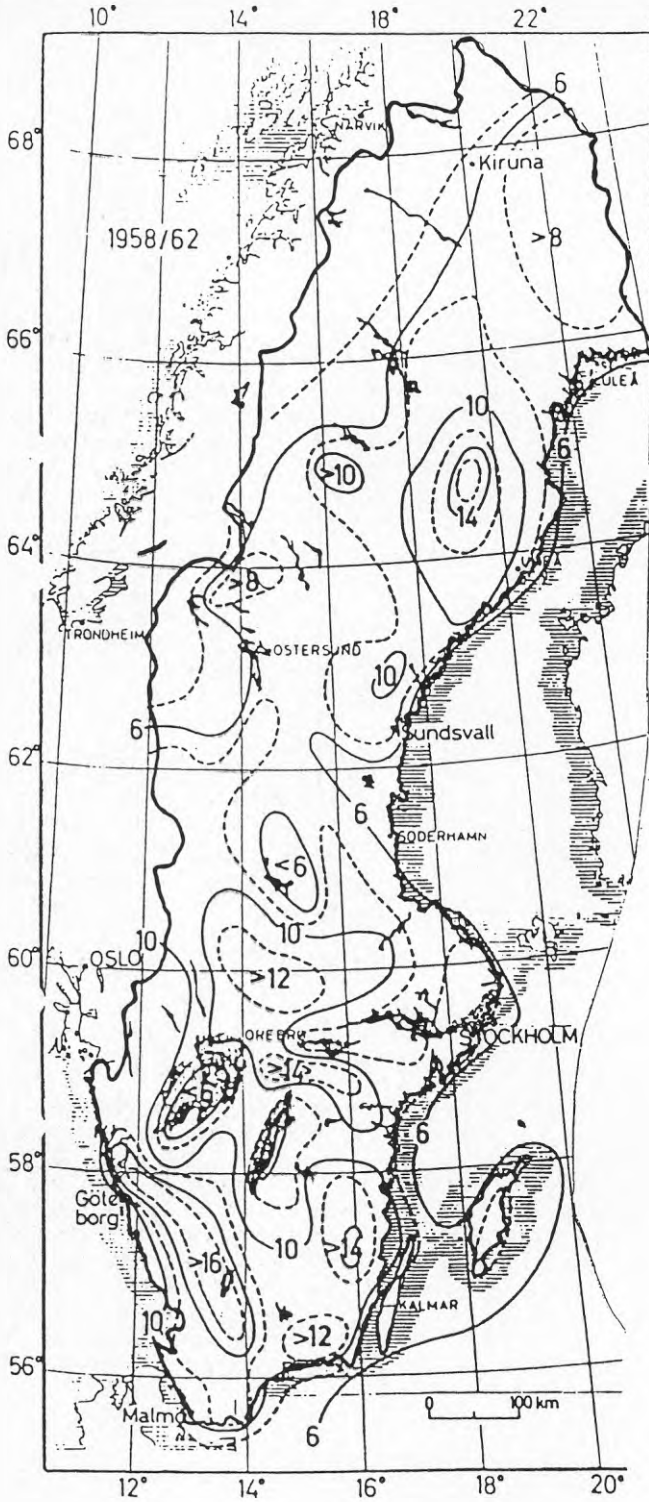


Fig. 2b Åskdagar enligt SMHI.



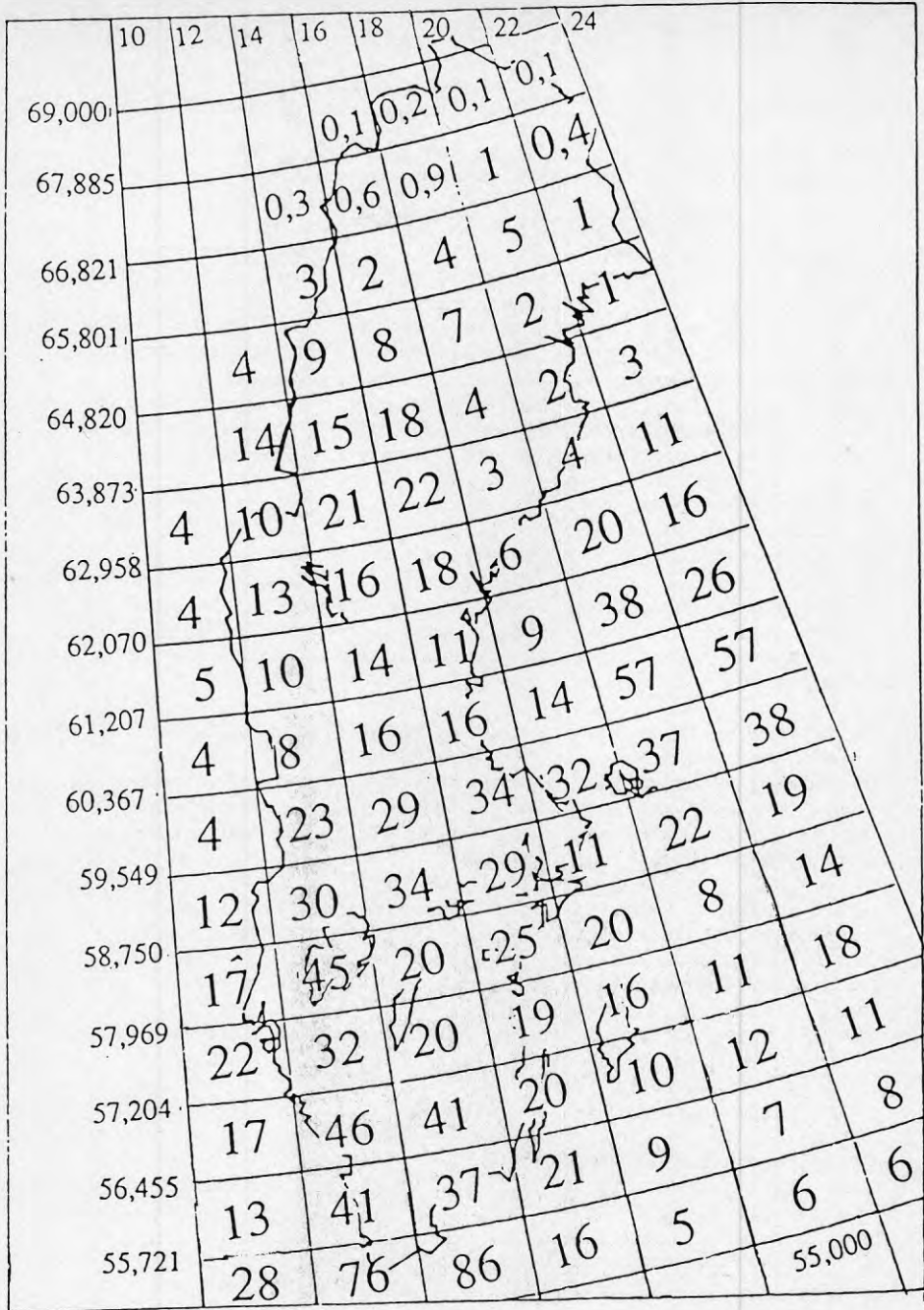


Fig.3 Antal blixtnedslag per 100 km² 1988 uppmätt vid Institutet för högspänningsforskning, Uppsala. De angivna värdena utgör medelvärden inom 10180 km² stora rutor. Värdena har ej korrigeras för variationer i systemkänslighet eller för driftavbrott.

3.12

Blixturladdningens elektriska parametrar, blixstens verkningar

Verkningarna av ett blixtnedslag kan uppdelas i tre huvudtyper: termiska, elektriska och mekaniska verkningar.

Vid direkta blixtnedslag utvecklas värme i den punkt där blixten träffat. Denna värme orsakar viss skada. Träffar blixten ett metallföremål sker viss smältning och spridning av smält metall. Vid inslagspunkten kan ledare smältas av och t ex plåt och rör genombrännas. Mängden smält metall är beroende bl a av den totala laddning som passerar inslagspunkten, av strömpulsens totala varaktighet samt vilket material det är fråga om. För aluminium bränns t ex 12 mm³ bort för varje coulombs laddning i inslagspunkten. För järn respektive koppar är motsvarande värden 4,4 och 5,4 mm³ per coulomb.

Då blixten passerar en elektrisk ledare, utvecklas i denna en värmemängd, som är av storleksordningen 0,1-10 MWs per ohm ledarresistans. För en strömvarmepuls av 1 MWs per ohm² uppvärms en 10 mm² kopparledare till ca 100°C medan en 3 mm² ledare uppnår smältpunkten. En ännu klenare ledare kan sprängas explosionsartat. Sprängning av sådana ledare är inte sällan förekommande i samband med blixtnedslag i ej åskskyddade TV-antennar.

Om blixten eller en från denna förgrenad urladdning (sidourladdning) passerar genom oledande material, t ex genom en trävägg eller en mur, uppstår splitterverkan och ibland även brand, som kan totalförstöra en byggnad. Liknande verkan uppkommer då blixten passerar t ex en i vägg förlagd metallisk ledare med otillräcklig area.

Genom induktiv, kapacitiv eller resistiv koppling mellan blyxtbanan och installationer av olika slag utsätts dessa och till dem anslutna apparater för höga överspänningar. Härvid kan skadeverkan av olika svårighetsgrad uppkomma. Dylka skador förorsakas av direkt blyxtinslag i byggnader, men kan även uppträda i samband med blyxtnedslag i omgivningen eller vid blyxtar mellan moln, överspänningar kan orsakas av blyxtnedslag på betydande avstånd. Dessa senare "avståndsverknings" har under senare år visat sig ge upphov till ett ökat antal skador. Orsaken till detta är framför allt att elektronik av nyare utförande är känsligare för störningar från blyxten men också att elektroniksystemens användning och antal blir större och större.

Blyxtströmmens toppvärde i kan variera mellan ca 10^3 - 5×10^5 A, fig 4, och bestämmer bl a det resistiva spänningsfall som uppträder över de ingående ledarna.

Blixtrar $\geq I$
[%]

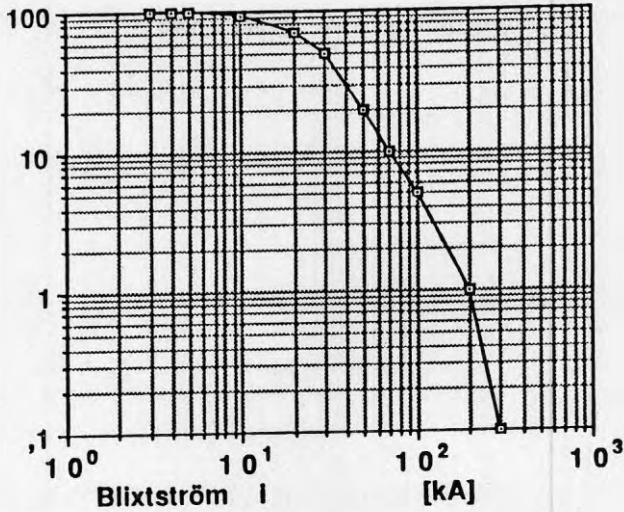


Fig 4 Procentuella antalet blixtrar med första strömtoppen $>$ abskissan

Även högsta spänningen till "sann jord" kommer att bestämmas av blixtrströmmens toppvärde. Härigenom kommer även påkänningen på t ex i anläggningen monterade överspänningsskydd att bestämmas av blixtrströmmens maximivärde. En statistisk fördelning av blixtrströmstyrka visas i figur 4 ovan.

Den maximala strömbrantheten di/dt , dvs den hastighet varmed strömmen tillväxer, kan i blixtkanalerna variera mellan ca $10^6 - 10^{12}$ A/s. Brantheten bestämmer bland annat induktiva spänningsfall som uppträder över ledare i åskskyddssystemet. En statistisk fördelning av blixtrströmbranthet visas i figur 5.

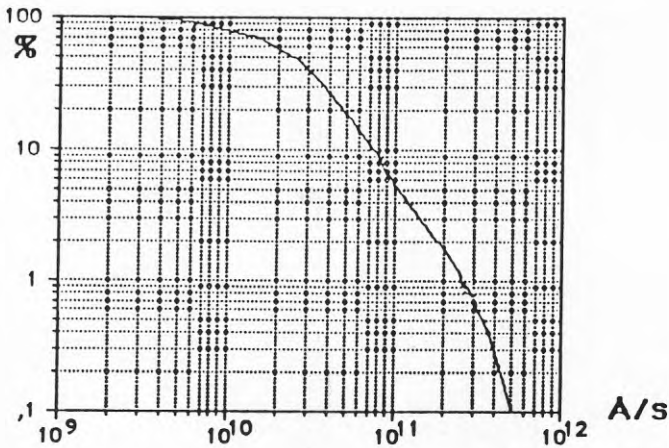


Fig 5 Procentuella antalet negativa blixtrar med branthet $>$ abskissan

Laddningen $\int i dt$ hos hela blixtförloppet kan variera mellan någon tiondels upp till flera hundra Coulomb. Mängden överförd laddning bestämmer bland annat hur stor värme som utvecklas i inslagspunkten eller i dåliga kontakter och hur mycket

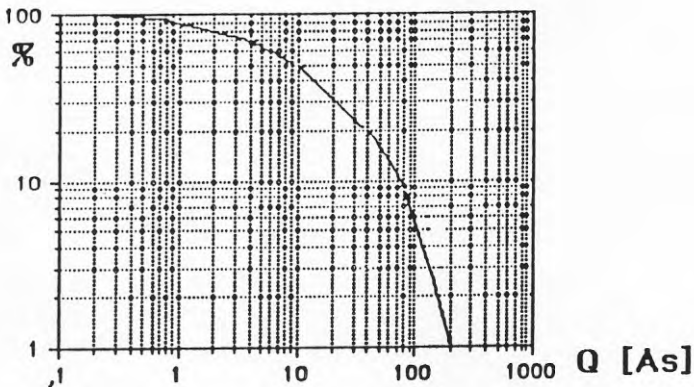


Fig 6 Procentuella antalet blixtrar med laddning $>$ abskissan

metall som smälter. En statistisk fördelning av blixterns totala laddning visas i figur 6. Resultat från mätningar utförda i Schweiz visar att laddningen i en blixtr kan överstiga 400 C. Inträffade skador har även de visat så stora smält-effekter att betydligt större laddningar än 400 C måste

förekomma i naturen. För positiva blixtrar finns skäl att anta att 800 C överskrids av var hundra blyxt.

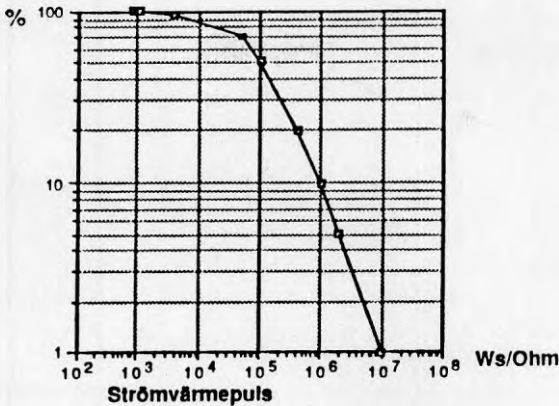


Fig 7 Procentuella antalet blixtrar med $\int i^2 dt$ abskissan

Strömvärmepulsen $\int i^2 dt$ kan variera mellan ca 10^3 och $10^7 A^2 s$. Strömvärmepulsen bestämmer bl a den uppvärmning som sker i ledare och kontakter på grund av det resistiva spänningsfallet. En statistisk fördelning av blyxtens strömvärmepuls visas i figur 7.

Blyxtens elektromagnetiska puls, lightning electromagnetic pulse, LEMP

Elektriska och magnetiska fält från blyxturladdningar inducerar relativt stora transienter på ledningar och i slingor, även från blixtrar på stort avstånd. En extremt stark blyxt mot jord, som specificeras t ex för åskskydd i riskområden med explosiv gasblandning kan på 5 km avstånd alstra en LEMP motsvarande en inducerad spänning med ett toppvärde av ca 12 kV per m² slingareal. Transienter av denna storleksordning kan i oskyddade anläggningar orsaka antändning eller svåra interferensstörningar och sammanbrott av komponenter.

System för digital kommunikation har visat sig vara känsliga för LEMP från molnurladdningar och även för de urladdningsprocesser som föregår en blyxturladdning. Molnblixtrar har en lång horisontell utbredning och kan således bestråla relativt utbredda kommunikationsnät och anläggningar med samma LEMP-styrka, vilket kan medföra speciella skyddsproblem. I icke skärmade kommunikations- och datoranläggningar och i utbredda kabelnät måste LEMP-effekter på anläggningen beaktas.

Följande blyxtdata anses idag representativa för svenska förhållanden:

Strömimpulsens toppvärde	25 kA (2.5×10^4 A)
Blyxtens totala laddning	25 C
Blyxtens totala varaktighet	0.25 s

Blixtströmmens branthet	$10^5 \text{ kA}/\mu\text{s} = 1 \times 10^{10} \text{ A/s}$
Maximal strömvarmepuls	10^5 Ws per ohm

En blixt består av i genomsnitt 2-3, ibland 10-15, delurladdningar, strömpulser. Varaktigheten hos en delurladdning är i medeltal ca 100 μs .

Svensk åskskyddsstandard, SS 487 0110, anger följande värden för användning vid dimensionering av byggnadsåskskydd:

Strömimpulsens toppvärde	70 kA = $7 \times 10^4 \text{ A}$
Blixtens totala laddning	70 C
Strömpulsens maximala branthet	$70 \text{ kA}/\mu\text{s} = 7 \times 10^{10} \text{ A/s}$
Totala strömvarmepulsen	1 Mws per ohm ledarresistans $= 10^6 \text{ Ws}/\Omega = \int i^2 dt$ för hel blixturladdning

Dessa värden är valda så att en 90-procentig skyddsgrad skall erhållas. Med detta menas att om anläggningen är dimensionerad för dessa blixtparametrar uppstår alltså i 90 fall av 100 ej allvarliga skador på anläggningen. Man kan även uttrycka detta så att anläggningen har en underdimensionering för 10% av alla blixtar.

Man bör komma ihåg att SS 487 0110 inte avser blixtskydd av elektronik utan främst avser att ge byggnaden skydd mot brand samt skydda byggnadskonstruktionen, den elektriska installationen samt personer i byggnaden.

För åskskydd av anläggningar i riskområden med explosiv gasblandning, där alltså risken för brand eller explosion är förhöjd, finns ännu en svensk standard SS 421 0822, där följande värden används för dimensioneringen:

Strömimpulsens toppvärde	200 kA = $2 \times 10^5 \text{ A}$
Blixtens totala laddning	200 C
Strömimpulsens maximala branthet	$300 \text{ kA}/\mu\text{s} = 3 \times 10^{11} \text{ A/s}$
Total strömvarmepuls	10 Mws per ohm ledarresistans = $10^7 \text{ Ws}/\Omega = \int i^2 dt$ för hel blixturladdning

Dessa värden är valda så att en 99 procentig skyddsgrad skall erhållas. Om anläggning är dimensionerad för dessa blixtparametrar uppstår alltså i 99 fall av 100 ej allvarliga skador på anläggningen. Man kan även uttrycka detta så att anläggningen har en underdimensionering för 1% av alla blixtar enligt idag gällande blixtstatistik i Sverige.

Vid användning av begreppet skyddsgrad vägs även sannolikheten för att skada skall uppstå under en viss tidsperiod in. Detta kan göras genom att ta hänsyn såväl till blixttätheten i området som anläggningens storlek.

3.2

TEKNISK DEFINITION AV BLIXTHOTET

- Hotnivåer
- Val av dimensionerande blixtparametrar för åskledarkonstruktion
 - ekonomiska aspekter
 - produktionstekniska aspekter och planering
 - sociala aspekter
 - samhällets funktion och säkerhet
- Hur kan lämplig byggteknik minska blixstens skadeverkningar

En modern byggnadsåskledare utgör en grundläggande förutsättning för störningsfri funktion av installerad elektronisk utrustning under åskväder. Detta är ett av de väsentliga kraven för många industrier, verk mm. I många fall kan interferensstörningar förorsaka höga kostnader och även personskaderisker. Beroende på anläggningens geografiska och lokala läge, byggnadens konstruktion och anläggningens funktion och utrustning kan hotet från åska beskrivas, dels som hot orsakat av ett direkt blixtingslag i någon del av anläggningen, dels som hot orsakat av den elektromagnetiska bestrålningen, som anläggningen utsätts för under ett åskväder.

Åskhotet beskrivs i tekniska termer som blixstens elektriska fält, magnetiska fält och för avlägsna blixtar som blixstens elektromagnetiska strålningsfält. Beskrivningen innefattar även en referens till den aktuella blixtd modellen, som bör användas vid beräkningarna av olika induktionseffekter. Vetenskapsmän och tekniker är ännu inte eniga om de lämpligaste modellerna och utvecklingen är långt ifrån avslutad. Det är t ex vanligt att olika modeller används för beräkning av induktionsspänningar i kraftledningar, teleledningar och i byggnader. Alla modeller har ett gemensamt; de testas genom att beräkningar jämförs med mätningar och beräkningsparametrarna väljs och anpassas tills överensstämmelse mellan mätning och beräkning nås. Detta betyder att i regel är steget mellan modellen och den verkliga fysiken ganska stort. Vid direkt blixtingslag tillkommer även studiet av blixtkanalens och blixstens övriga elektriska parametrar som ström, laddning, effekt, tryckväg, temperatur, antal strömpulser, pulsernas varaktighet och tidsintervall mellan strömpulserna samt mellan blixterna. Genom att analysera blixthotets konsekvenser på anläggningens funktion och jämföra anläggningsägarens kostnader förorsakade av dessa störningar med kostnaderna för lämpliga blixtskyddsåtgärder kan en lämplig nivå för blixtparametrar, som används för teknisk dimensionering av åskledaren, väljas. Kostnader för åskledaren kan väsentligt förändras om god samverkan mellan anläggningsarkitekten, byggherren och inredningsentreprenören samt anläggningsägaren kan garanteras. Det är många små bygg- och inredningsdetaljer som vid krav på hög säkerhet betyder oerhört mycket för utförandet av transient- och åskskyddet.

Behov av åskskydd

En metod att bedöma behovet av åskskydd har föreslagits i den svenska standarden. För bedömning av behovet av åskskydd i olika fall kan enligt SS 487 0110 nedan angivna poängsystem användas. Det är baserat på följande faktorer:

Träffsannolikheten T utgör ett mått på risken att en byggnad skall träffas direkt eller indirekt av blixten.

Brandspridningsfaktorn B är ett mått på den hastighet varmed en brand sprids.

Skadefaktorn S är ett mått på risken för personskador och ekonomiska skador vid en brand.

Åskfrekvensen D är ett mått på antalet åskdagar per år i medeltal för ett aktuellt område.

Varje km² träffas av blixten i medeltal en gång per år vid i genomsnitt 10 åskdagar per år. Bortsett från variationer i t ex markresistivitet och dess inverkan på risken för skada antas att direkt proportionalitet råder mellan antalet åskdagar per år och behovet av skyddsåtgärder.

Den resulterande riskfaktorn betecknas F och definieras av

$$F = 0,1 \cdot D \cdot B \cdot S$$

Om F är större än 25, bör åskskydd anordnas.

Oavsett värdet på F rekommenderas vidtagande av skyddsåtgärder, om i byggnaden finns handikappade personer och om, särskilt med hänsyn till dessa personer, svårigheter kan befaras vid utrymning.

Träffsannolikheten beräknas som produkten av två faktorer T_b och T_s där T_b bestäms av byggnadens belägenhet och T_s av dess storlek, dvs planytan och byggnadshöjden. Härvid gäller:

$T_b = 1$, om poängsättningen ej bestäms enligt nedan

$T_b = 2$, om byggnadens höjd inom ett avstånd av 3 x byggnadshöjden, byggnaden utgör högsta punkt i terrängen

T_b ges en tilläggs-poäng, om byggnaden är belägen utanför tätbebyggt område och om till den inkommer ledning för starkström eller svagström, som ej till hela sin sträckning är förlagd i jorden.

$T_s = 1$, om byggnadens höjd understiger 40 m och byggnaden har mindre planyta än 1 600 m².

$T_s = 2$, om byggnadens höjd understiger 40 m men byggnaden har större planyta än 1 600 m².

Brandspridningsrisken bedöms med hänsyn till byggnadsmaterial, byggnadens form och innehåll. I extrema fall finns i byggnaden brandfarliga eller explosiva ämnen. Poängsättningen sker enligt följande:

- B = 1 vid långsam brandspridning
 B = 2 vid måttlig brandspridning
 B = 3 vid snabb brandspridning

B ges en tilläggs-poäng, om i byggnaden förvaras brandfarliga eller explosiva ämnen (damm, gaser, vätskor).

Genom skadefaktorn S tas hänsyn till den totala skada, som sammansätts av ekonomisk skada (S_e), personskada (S_p), skada på omgivningen (S_o), skada ur kulturhistorisk synvinkel (S_k) och inkomstbortfall på grund av driftstopp (S_d).

Den resulterande skadefaktorn bestäms av summan

$$S = S_e + S_p + S_o + S_k + S_d$$

För termerna inom S gäller med anknytning till 1975 års penningvärde.

- $S_e = 0$, om värdet av byggnad jämte inventarier 50 kkr
 $S_e = 1$ " - 50 kkr -
 $S_e = 2$ " - 1 Mkr - 10 Mkr
 $S_e = 3$ " - 10 Mkr - 100 Mkr
 $S_e = 4$ " - 100 Mkr
- $S_p = 0$ om inga personer vistas regelbundet i byggnaden
 $S_p = 1$ om i byggnaden vistas 1-10 personer
 $S_p = 2$ om i byggnaden vistas 11-50 personer
 $S_p = 4$ om i byggnaden vistas fler än 50 personer
 $S_p = 6$ för byggnad där utrymningssvårigheter föreligger
 $S_p = 8$ vid panikrisk
- $S_o = 0$ om risken för omgivningen är obetydlig
 $S_o = 1$ om risken för omgivningen ej är obetydlig
 $S_o = 4$ om risken för omgivningen är stor
 $S_o = 8$ om katastrofrisk föreligger
- $S_k = 0$ vid obetydligt värde från kulturhistorisk eller annan speciell synpunkt
 $S_k = 1$ vid ej obetydligt värde från kulturhistorisk eller annan speciell synpunkt
 $S_k = 2$ vid stort värde från kulturhistorisk eller annan speciell synpunkt
 $S_k = 8$ vid oersättligt värde från kulturhistorisk eller annan speciell synpunkt

$S_d = 0$	om inkomstbortfallet pga driftstopp är	5 kkr
$S_d = 1$	"-	6-100 kkr
$S_d = 2$	"-	(0,1)- 1 Mkr
$S_d = 3$	"-	(1)- 10 Mkr
$S_d = 4$	"-	11 Mkr

3.3

GRUNDLÄGGANDE PRINCIPER FÖR BLIXTSKYDD AV BYGGNADER OCH
KONSTRUKTION AV ÅSKLEDARE

- Åskledarens funktion och skyddsprinciper
- Behov av åskledare och val av skyddsnivån
- Konstruktion av åskledare
 - Yttre åskledare
 - konventionell åskledare
 - isolerad åskledare
 - Blixtingångare
 - Takledare
 - Antenner och dylika föremål på byggnaden
 - Nedledare
 - Jordtag och blyttledare i mark
 - Elektriska och övriga metalliska ledare till och från byggnaden
 - Byggnadens omgivning
 - Inre åskledare
 - metalliska installationer, VVS
 - elkraftinstallationer
 - tele och datainstallationer, LAN
 - underhåll och kontroll
- Blixtskyddsjordning
 - Ekvipotentialisering
 - fundamentjordtag
 - jordlina, ytjordning
 - djupjordning
 - kombination av jordtag
 - Jordtagens elektriska egenskaper
 - stationär strömbelastning
 - impulsströmbelastning
 - belastning med strömmar av mycket hög amplitud
 - mätning av jordtagens avledningsresistans och bedömning av jordtagens avledningsimpedans
 - Hur skapar man lämplig elektrisk miljö i en byggnad för installation av känslig utrustning? Zonindelning; miljöklasser.

Yttre åskledare

Åskskyddsanläggningen kan med hänsyn till sina yttre funktioner i stort sett indelas i:

- ett system för infångning och spridning av blixtrömmen (i fortsättningen här kallat takledarsystemet)
- ett system för nedledning av blixtrömmen - nedledarsystemet
- ett system för avledning av blixtrömmen till jord - jordledarsystemet

Takledarsystemet har till uppgift att vid blixtnedslag mot anläggningen infånga blixurladdningen, sprida blixtrömmen symmetriskt över byggnaden och avleda blixtrömmen mot jord via nedledar- och jordledarsystemet. Takledarsystemet avskärmar eller förbinder uppskjutande föremål till åskskyddsanläggningen.

Nedledarsystemet skall leda ned blixtrömmen från takledarsystemet och på ett effektivt sätt fördela strömmen till jordtagssystemet. Nedledare kan även fungera som uppfångningsanordning. Nedledarna skall vara så anordnade att risken för sidourladningar blir liten, vilket innebär att blixtrömmen skall fördelas på flera nedledare så symmetriskt som möjligt.

Jordtagssystemet skall på ett effektivt sätt avleda blixtrömmen till jord och vara så anordnad, att risken för uppkomst av skador på andra installationer i marken blir så liten som möjligt samt att den resulterande övergångsresistansen till jord är så låg att risken för skada på överspänningskydd och på el- och teleledningarna minskas till rimlig nivå. Jordtagssystemet skall även uppfylla de grundläggande kraven som ställs för att en effektiv ekvipotentialisering av byggnadens inre skall kunna genomföras.

Övriga delar i åskskyddsanläggningen

Till åskskyddsanläggningen kan vidare hänföras

- anslutningsledare (för direkt anslutning eller via överspänningskydd)
- överspänningskydd samt
- isolationssträckor

Anslutningsledarna har till uppgift att genom kortslutning av urladdningssträckan hindra farliga sidourladningar. Sidourladningar kan även hindras genom att urladdningssträckan väljs så lång och (eller) förses med sådan isolation att överslag ej kan inträffa. Inom anläggningar finns ofta metallkonstruktioner av olika slag, som kan användas som blixtleddare

eller på annat sätt ingå i åskskyddet. Exempel härpå är armering i betong, metallrör av olika slag och balkar. För att åstadkomma ett effektivt åskskydd bör åtgärder vidtas så att dessa metallkonstruktioner inordnas i det integrerade skyddet. Förbindningar bör därför anordnas mellan metalliska konstruktionsdetaljer, åskskyddssystemet och övriga metalliska ledningar. Härvid skall konstruktionsdetaljer, som avses utnyttjas som blixtleddare, motsvara de elektriska, termiska och mekaniska kraven för blixtleddare beträffande area och anslutning. Förbindningen skall ske antingen direkt eller via överspänningskydd av lämpligt slag. Vid direkt hopkoppling måste även korrosionsrisken vid förbindning av olika metaller beaktas.

Överspänningskydd kan utgöras av gnistgap i luft eller i förtunnad gas eller av ventilavledare (överspänningskydd för elkraft) samt olika slag av halvledarskydd. Överspänningskyddens uppgift var ursprungligen att skydda olika slag av till ledningar anslutna apparater. I samband med införandet av integrerat åskskydd har anordningarna även fått till uppgift att förhindra uppkomsten av okontrollerade sidourladdningar, och skyddens verkan kan således jämföras med anslutningsledarnas funktion. Med hjälp av dessa överspänningskydd är det möjligt att välja ställen för dessa "sammankopplingar" så lämpliga att riskerna för uppkomst av skada blir så små som möjligt.

Ventilavledare för elkraft skall sättas mellan inkommande lågspänd starkströmslednings ytterledare och anläggningens skyddsledare i huvudfördelningscentralen som i sin tur skall vara ansluten till åskskyddsanläggningens jordtagssystem. Elkraftinstallationen bör normalt vara utförd som femledarsystem.

I svagströmsfallet insätts överspänningskydd mellan ledningsbranscherna och jord (ibland = inkommande starkströmsanläggningens nolleddare). Det bör observeras att spänningsbegränsande åtgärder i regel alltid måste vidtas vid samtliga slag av inkommande ledningar för starkström eller svagström, om den önskade skyddsgraden skall uppnås.

Det är absolut nödvändigt att förhindra att blixten, sedan den fångats upp av åskledaren, går andra vägar än de som åskskyddskonstruktören tänkt sig. De isolationssträckor som dimensionerats måste därför vara tillräckligt stora för att förhindra s k sidourladdningar. Dimensionering av de erforderliga säkerhetsavstånden är därför en av de absolut viktigaste åskskyddsåtgärderna.

Inre åskledare

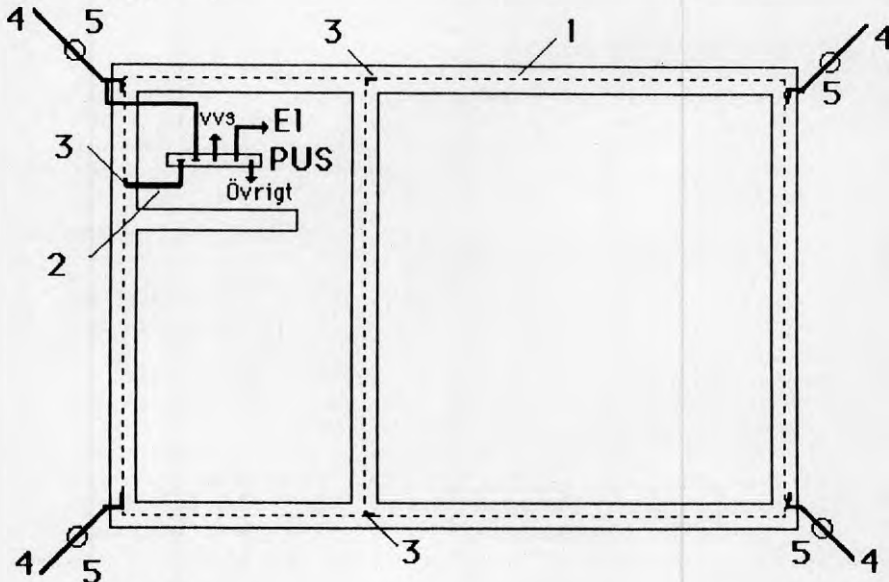
För att åskledaren skall ge ett säkert skydd måste den yttre åskledaren kompletteras med ett inre skydd, som består av ett system av ledare, metallskärmar, högspänningsisolation och skyddskomponenter, som förhindrar blixtrömmen att passera byggnadens känsliga områden och som förhindrar uppkomsten av höga elektromagnetiska fält i byggnaden.

En internationellt accepterad benämning för alla dessa inre skyddsåtgärder är ekvipotentialisering och dess karakteristiska kännetecken är en "ekvipotentialiseringsskena" eller större metallplåt, en s k "PUS" som installeras på lämpligt ställe i byggnaden. Vid PUS samlas alla till och från byggnaden förande metalliska ledare:

- Servicekabel för elkraft, telefonkabel, signalkabel
- Till "PUS" ansluts även alla större metalliska installationer i byggnaden som till exempel: värme-panna, sprinkleranläggning, vattenledning, avloppsledning, gasledning, värmeledning, ventilations-trummor, datoranläggningens metallgolv etc
- För säker avledning av blixtrömmen från anläggningen till jord ansluts till PUS alla jordtag:
 - fundamentjordtag
 - ringledare
 - övriga blixterjordtag

Anslutningen till PUS sker direkt med lämpligt skruvförband och klämma eller via överspänningsskydd av lämplig typ. Man kan installera flera PUS-skenor för att kunna samla anslutningsledarna i grupper efter funktion, t ex PUS-kraft, PUS-tele, PUS-metalliska konstruktioner och PUS-rörledningar. En väl utarbetad "inre åskledare" utgör det grundläggande skyddet för byggnadens elektriska installationer och elektronik.

Figur 8 ger exempel på en byggnad och dess anslutningar till PUS.



Figur 8

1 Stålband; 2 Anslutningsledare till PUS (potentialutjämnings-skena); 3 Avgrening; 4 Anslutning till ev yttre jordtag och yttre åskskydd; 5 Mätkoppling (t ex i mätbrunn)

Om till exempel överspänningsskydd på en teleledning saknas, kan vid blixtingslag i den yttre åskledaren, överslag uppstå mellan t ex elkraft- och teleledningen på ett ställe vi inte har kontroll över. Detta är en av de vanligaste orsakerna till åskbränder. Dessa bränder är speciellt förödande därför att de kan uppstå många timmar efter ett blixtnedslag i byggnaden eller i dess närhet. Dessa överslag kan även försvaga elledningarnas isolation och orsaka bränder, som i brandstatistiken klassas som elbränder men som i själva verket orsakats av överledning i installationen som orsakats av överspänningar från blixten. Överspänningsskydd på teleledningen minskar även risken för personskador. Ärligen inträffar olycksfall i samband med användning av telefon under åskväder.

SS 487 0110 Åskskydd för byggnader

Standardens omfattning:

Standarden behandlar åskskyddsåtgärder för att förhindra skada på personer eller byggnader vid direkt blixtnedslag i en byggnad eller vid blixtnedslag på avstånd från en byggnad. Detta innebär även att elektromagnetisk induktion ej får t ex orsaka att byggnaden fattar eld. Däremot avser de föreslagna åskskyddsåtgärderna ej att förhindra elektroniskador eller andra skador, som ej utgör fara för personer eller för byggnaden.

Standarden gäller ej heller för byggnader högre än 40 meter eller för byggnader, vars längd och bredd samtidigt överstiger 40 meter. Undantag görs också för byggnader med speciellt svåra brandspridningsförhållanden samt för byggnader med krav på speciellt låg skaderisk.

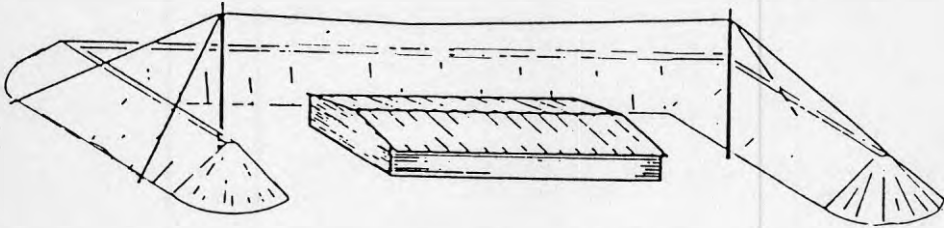
Normal skyddsgrad:

Blixtströmmen varierar från relativt små värden till flera hundratusen ampere. De riktigt stora strömmarna är emellertid så sällan förekommande att man valt att dimensionera åskskyddet för något mindre blixtparametrar, se avsnittet blixstens elektromagnetiska puls LEMP.

Åskskydd för speciella anläggningar

I många byggnader är det inte försvarbart ur t ex ekonomisk synpunkt att som i svensk standard SS 487 0110 endast avse att ge skydd mot brand och personskada. I sådana fall sker dimensioneringen av åskledaren för större blixtparametrar och ytterligare skyddsåtgärder blir nödvändiga. Exempel på detta är de fall när SS 421 0822 tillämpas eller när det är fråga om skydd av t ex datacentraler eller andra elektronik-täta byggnader, där blixten kan orsaka skador för stora summor. I detta sammanhang får man ej heller glömma bort kostnader för driftavbrott i samband med skador på utrustning. Undersökningar av inträffade skador har visat att kostnaderna för driftstopp kan uppgå till flera gånger kostnaderna för reparation av de maskin- och elektroniskador, som blev följden av de otillräckliga skyddsåtgärderna.

En speciell typ av blixtskydd är en "isolerad åskledaranläggning". Sådana åskledare används i speciella fall, t ex vid blixtskydd av tält, stora sportanläggningar, ammunitionsförråd, tillfälliga uppställningar mm, se fig 9.



Figur 9 Isolerad åskledareanläggning

Principer för åskskydd

SS 487 0110 innehåller ett avsnitt rörande principer för åskskydd. Detta avsnitt överensstämmer i huvudsak med avsnittet grundläggande åskskyddsteknik ovan. SS 421 0822 innebär i huvudsak en skärpning så tillvida att dimensioneringen utförs för större blixtparametrar samt att vissa specialkrav för skydd, t ex av egensäkra kretsar, tillkommer. Vid elektronikskydd kan emellertid i regel inte skyddskraven tillgodoses på ett ekonomiskt rimligt sätt om inte installationen av elektroniken utförts på lämplig sätt, se nedan.

Dimensionering av ledare

Grunderna för val av ledardimensioner i SS 487 0110 är framför allt mekaniska krav. De elektriska krav som ställs på ledarna, t ex med avseende på uppvärmning, uppfylls härigenom automatiskt om de mekaniska kraven tillgodoses. Ledare som kan komma att leda en stor del av blixtrömmen kallas blixtleddare och bör dimensioneras enligt nedan:

Material	Area hos tak-, ned- och anslut- ningsledare mm ²	Area hos blix- jordtagsledare mm ²	Area hos uppfångar- stång mm ²
Koppar	25	25	50
Stål (varmförzinkat)	70	70	70
Aluminium	50	-	50

Dessa dimensioner är minimiareor valda så, att erforderlig mekanisk och kemisk hållfasthet erhålls, samtidigt som risken för förstöring genom smältning i samband med blixtingslag är försumbar. I takledarsystem ingår ofta takplåt. Denna ger ej fullständigt skydd mot genomsmältning, varför eventuellt brandrisker måste beaktas.

För s k anslutningsledare, ledare som icke utgör blixtleddare, bör följande ledareareor ej underskridas:

Material	Area, mm ²
Koppar	10
Stål (varmförzinkat)	16
Aluminium	16

Ovanstående dimensioner är även tillräckliga för att uppfylla kraven i SS 421 0822.

Infångning av blixten

Bilder från höghastighetskameror visar en svagt lysande kanal med ett tiotal meters diameter som i snabba steg på något hundratal meters längd närmar sig marken. Denna s k förurladdningskanal kallas för "leader" och transporterar molncellens laddning närmare marken.

Det starka elektriska fältet och den ultraviolette strålningen från exciterade luftatomer i leaderkanalens spets joniserar omgivande luft, som därmed blir tillräckligt ledande för att möjliggöra att kanalen växer vidare mot marken. Fenomenet kallas för en självständig elektrisk urladdning. Blixtkanalen utvecklas vidare av egen kraft och kan bli mycket lång.

Laddningen i den framryckande kanalen orsakar vid marken ett stigande elektriskt fält, som vid ett avstånd på några hundratal meters från leaderspetsen startar mötande urladdningar, s k fångurladdningar, främst från uppskjutande föremål på marken.

Dessa "infångningskanaler" avskärmar med sin laddning "leaderns" fältverkan vid marken och den starkaste infångningskanalen kväver därför framväxten av svagare infångningskanaler i sin omgivning. Därför förenas i regel den starkaste infångningskanalen med den annalkande "leadern". Infångningskanalernas styrka och framväxthastighet påverkas dock även av infångarföremålets form och i viss mån av markens ledningsförmåga, dvs infångarens jordavledningsimpedans.

En åskskyddsanläggning skall utformas så att praktiskt taget alla blixtrar mot anläggning fångas upp av åskledaren utan att direkt träffa andra icke skyddade anläggningsdelar. Den mekanism som styr blixtrinlaget är emellertid ej än idag i alla detaljer känd. Genom en mängd undersökningar, t ex på blixtrinslag i högspänningsledningar, har emellertid fysikaliska modeller utarbetats som kan förklara exempelvis blixtrinslag mot sidan av höga torn och master eller vid sidan av särskilda uppfångarstänger och uppfångarlinor. Dessa geometriska-elektriska modeller kan användas för att utforma åskledarens infångningsanordningar på lämpligt sätt.

Uppfångare med lämplig längd och placering kan användas för att t ex styra blixtrinlaget mot mindre farlig inslagspunkt.

Används ett nät av takledare kan också avståndet mellan dessa bestämmas enligt ovanstående modell så att sannolikheten att takledarna träffas är betryggande hög.

Kortfattat och förenklat kan infångningsprocessen beskrivas på följande sätt: När blixstens förurladdning på sin väg från åskmolnet närmar sig jordytan kommer mötande urladdningar att genereras från vissa föremål på marken, där den lokala elektriska fältstyrkan är stor. Längden av dessa mötande urladdningar bestäms i huvudsak av storleken av den laddning som finns i nedre delen av den blixtkanal som närmar sig marken. Ju större denna laddning är desto större är blixtpulsströmmens amplitud och längden av blixstens sista steg mot marken. Sista genomslagssträckans längd i meter kan tecknas:

$$l_b = 2i + 30(1 - e^{-i/6,8})$$

där i är första delblixstens amplitud i kA.

Nedanstående tabell visar sista blixstetegets längd l_b i meter för några blixströmmar beräknad med ovanstående formel:

$i = 2 \text{ kA}$	\longrightarrow	$l_b = 11.6 \text{ meter}$
$i = 5 \text{ kA}$	\longrightarrow	$l_b = 25.6 \text{ meter}$
$i = 10 \text{ kA}$	\longrightarrow	$l_b = 43.1 \text{ meter}$
$i = 50 \text{ kA}$	\longrightarrow	$l_b = 130 \text{ meter}$
$i = 100 \text{ kA}$	\longrightarrow	$l_b = 230 \text{ meter}$
$i = 200 \text{ kA}$	\longrightarrow	$l_b = 430 \text{ meter}$

För en blyxt med stor ström innebär detta att infångning sker genom en fångurladdning med stor längd medan strömsvaga blyxtar fångas in endast något tiotal meter från inslagspunkten av en kort fångurladdning. När det gäller att förhindra att blyxten träffar en känslig punkt i en anläggning måste därför fånganordningen dimensioneras med avseende på infångningen av de strömsvagaste blyxtarna.

För en uppfångarstäng med längden l_u där $l_u < l_b$ kan det av uppfångaren mot direkt blixainslag skyddade området bestämmas enligt figur 10.

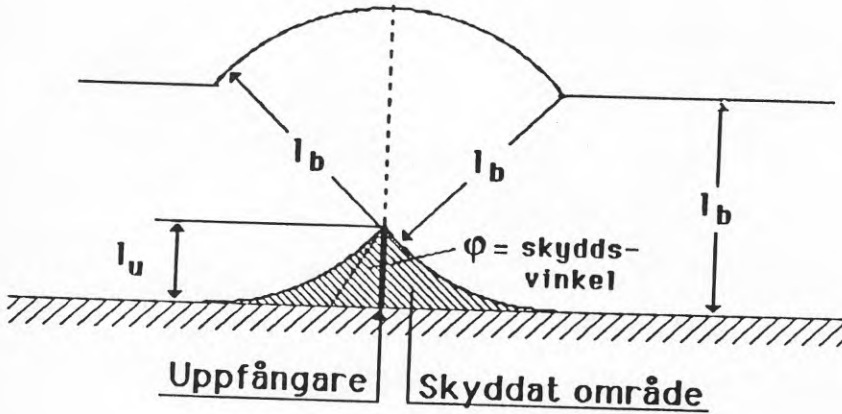


Fig 10 Skyddsområdet för uppfångare med $l_u < l_b$

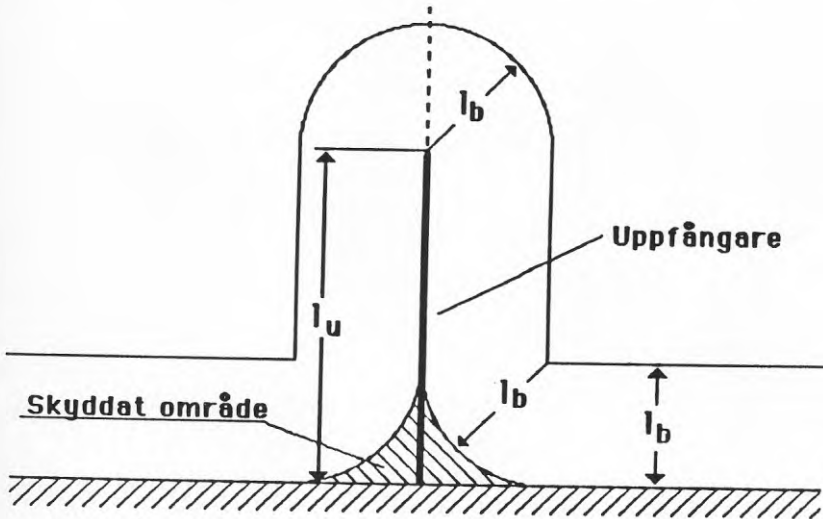


Fig 11 Skyddsområde för uppfångare med $l_u > l_b$

Av figur 10 framgår att för uppfångarlängder längre än sista blixsteget kan blixinslag även ske från sidan. För höga anläggningar måste infångning alltså även anordnas som skydd mot sidoinslag.

Motsvarande konstruktioner för att bestämma det skyddade området kan göras även för de fånglinor, som i vissa sammanhang används för att förhindra direkt blixinslag i särskilt känsliga delar av en anläggning samt för att bestämma den minsta erforderliga maskvidden av ett takledarnät.

För att kunna kontrollera att uppfångare placerats på rätt ställe och utförts med rätt längd kan på en ritning ett "skyddsklot" med radien lika med L_b rullas över anläggningen. För anläggningar beskrivna i SS 421 0822 bör ett $L_b \leq 26$ väljas. Detta motsvarar ett skyddsklot med en radien ≤ 26 meter. Om detta skyddsklot tangerar anläggningen i någon punkt där direkt blixnedslag ej kan accepteras måste infångningsanordningarna modifieras.

Föremål som höjer sig avsevärt över omgivningen utsätts ej endast för ett större antal blixtar utan även för en större andel starka blixtar, vilket framgår av det ovan sagda. Skyddsverkan från närbelägna höga föremål kan i regel icke beaktas vid bedömning av om åskskydd behövs eller ej (annat än i vissa specialfall) men kan i viss mån påverka utformningen av åskledaren.

Som blixtoppfångare kan även naturliga för annat ändamål uppförda föremål fungera. Exempel:

- metalliska skorstenar, flaggstänger av metall, TV-antennerna samt andra metalliska byggnadsdetaljer som tål blixtrömmen utan att medföra risk för t ex brand

För säker avledning av blixtrömmen måste sådana naturliga uppfångare på ett tillförlitligt sätt anslutas till byggnadens åskledare. Även ovan mark förlagda elkraft- och teleledning till byggnaden utgör sådana naturliga blixtoppfångare och måste därför inordnas i byggnadens åskledarkonstruktion med hjälp av ventilavledare och överspänningsskydd.

En särskilt effektiv uppfångare är takplåt, som med sina stora ytor och goda vägutbredningsförmåga markant minskar risken för höga elektromagnetiska fält inuti byggnaden och underlättar blixtskydd av elektriska och elektroniska installationer. Vid byggnader med plåttak måste dock särskilt uppmärksammas risken för plåtgenombränning samt risken för gnistbildning i plåtskarvar och anslutningsklämmor. Gnistbildningen kan vara mycket kraftig så att underlaget kan antändas.

För många anläggningar kan inte generellt giltiga "tumregler" för vilka åskskyddsåtgärder sätts upp. Det är i stället nödvändigt att på ingenjörsmässiga grunder söka beräkna och bedöma olika skyddsåtgärders effektivitet. Exempel på sådana bedömningar beträffande infångning av blixten ges nedan.

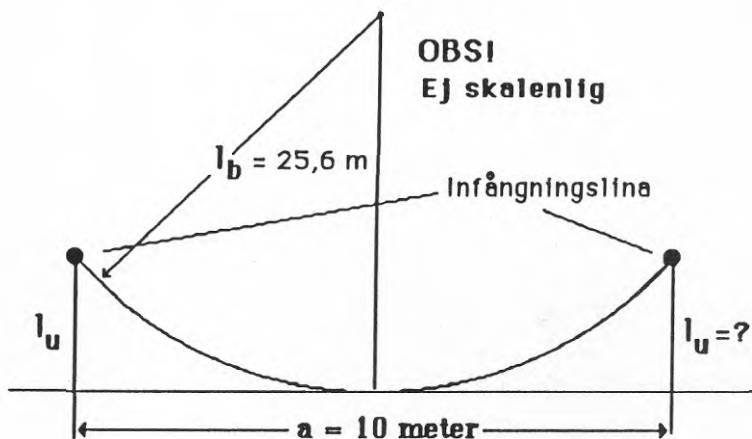


Fig 12 Bestämning av uppfångarhöjd för visst skyddsområde

Infångning av blixten för två takledarlinor med samma höjd över takytan

För två takledarlinor med samma höjd l_u över takytan placerade på $a = 10$ meters avstånd från varandra erhålles exempelvis för $i = 5$ kA:

$$l_b = 2 \times 5 - 30(1 - e^{-5/6,8}) = 26 \text{ meter}$$

$$\text{och } l_u = l_b - \sqrt{l_b^2 - \frac{a^2}{4}} = 0,49 \text{ m}$$

dvs omkring 0,5 meter över taket. Motsvarande höjd för en 10 kA blykt blir 0,29 m.

Nedledning av blyktströmmen

Åskledarens takledare förgrenar blyktströmmen till nedledarna. Detta bör ske med stor symmetri och med sådan täthet att erforderlig minskning av de elektriska och magnetiska fälten inuti byggnaden erhålles. För en åskledare enligt svensk standard SS 487 0110 är det i regel tillräckligt att använda de schablonregler som anges beträffande nedledarnas täthet och placering. Vid åskskydd för byggnader innehållande mycket elektronik bör dessutom beräkningar av det magnetiska fältet göras. Man bör dessutom noggrant kontrollera alla kritiska avstånd mellan den inre och den yttre åskledaren så att viss säkerhetsmarginal garanteras för isolationssträckorna.

Vid installation av nedledare följs reglerna för geometrisk symmetri för att uppnå jämn strömdelning i nedledarna och därmed lågt magnetfält inuti byggnaden. Det är blixstens magnetfält som orsakar (inducerar) mycket farliga överspänningar i de elektriska installationerna. Varje nedledare omges vid blixtingslag av ett magnetfält, vars styrka beror av strömmen genom nedledaren. Magnetfältet avtar med avståndet från nedledaren. Inuti byggnaden blir fälten från två symmetriskt uppsatta nedledare motriktade, dvs fälten försvagar varandra. I en linje symmetriskt belägen i förhållande till två nedledare, som för lika stor ström och som ligger i samma plan som nedledarna, kommer magnetfälten till och med att ta ut varandra helt och det resulterande magnetfältet blir noll. Särskilt lågt blir fältet i byggnaden om antalet nedledare är stort eller om fasaden helt täcks med plåt. En sådan byggkonstruktion rekommenderas starkt för byggnader med omfattande elektronikinstallationer och för byggnader med viktiga samhällsfunktioner, till exempel datacentraler, stora telefonväxlar, anläggningar för flygtrafikledning etc.

Ett stort antal nedledare minskar även risken för elektriskt överslag mellan den yttre åskledaren och metallinstallationer i byggnaden. Sådana överslag kan lätt leda till personskador eller brand som även kan få ett explosionsartat förlopp om tunna ledare leder en alltför stor del av blixströmmen. Okontrollerad spridning av blixström i en anläggning medför dessutom risk för katastrofal påverkan på byggnadens elektriska miljö.

Avledning av blixström i mark

Jordtag

Den svenska marken har i regel hög resistivitet. För stora delar av landet gäller riktvärden mellan 1 000 och 5 000 ohm. Stora lokala variationer förekommer. Den höga markresistiviteten medför att spänningen i marken i förhållande till avlägsen jord kan anta höga värden vid blixtnedslag, något som innebär svårighet att anordna jordtag med låg avledningsresistans och medverkar till ökad påkänning på inre åskledare och åskskyddskomponenter som t ex överspänningsskydd. På grund av de stora induktiva spänningsfallen i långa blixsledare är det emellertid nödvändigt att så långt som möjligt söka minska riskerna för blixtskador med metoder som ej enbart är grundade på jordningssystemets låga avledningsresistans.

Det grundläggande utförandet för en åskledaranläggnings kontakt med marken är en s k "ringledare". Ringledaren utformas som en ledare i mark runt hela byggnaden. Ringledarens främsta uppgift är att medverka till att blixströmmen fördelas symmetriskt i åskledaren och att avleda blixströmmen på ett ofarligt sätt till mark och därmed minska impuls-spänningarna inom byggnaden och i dess omgivning. Ringledaren kan också utformas som en ledare i byggnadens betongfundament (husgrunden) som har anslutning till fundamentets armering - ett

så kallat fundamentjordtag, se även fig 2. Kombinationer av fundamentjordtag och ringledare i mark ger mycket bra skydd. Strömavledningen kan ytterligare förbättras med djupjordtag som installeras på ett avstånd av normalt högst 50 m från byggnaden.

I mark med tunt ledande skikt används horisontella linor, som grävs ner helst på frostfritt djup, så kallade ytjordtag. Grundare förläggning måste ofta accepteras vid ogynnsamma markförhållanden. I övrigt föredras alltid djupjordtag, en vertikal lina eller stång. En svensk installationsteknik har utvecklats för installation av djupjordtag. Ett djupjordtag utmärkes av sin goda strömavledningsförmåga som inte påverkas nämnvärt av väder eller vind.

Blixtskyddsjordning kan användas dels för att i viss mån minska risken för farliga spänningsskillnader i en blixtskyddad anläggning och dels, vilket är speciellt viktigt t ex i riskområden med explosiv gasblandning, att skydda elektronik mot skada vid blixtnedslag i närheten av eller i anläggningen. Blixtskyddsjordningens betydelse ligger främst däri att avlasta byggnadens externa metalliska ledare inklusive elkraft- och teleledningar samt överspänningsskydd från alltför stora blixtrömmar.

Jordning av elkraftinstallationer för system- och skyddsjordningsfunktion utförs genom en förbindning av anläggningen till omgivande mark med hjälp av metallektroder i marken. Övergångsresistansen till jord utgörs av resistansen i marken närmast kontaktelektroden. För små strömtätheter $< 1 \text{ A/m}^2$ leds strömmen genom jonledning, en elektrolytisk process, där saltjoner i marken transporterar laddningen. Ledningsförmågan beror i hög grad på markens fukthalt och dess temperatur men också på jordmaterialets beståndsdelar, t ex dess förmåga att binda vatten. Som ett mått på markens förmåga att leda ström brukar vanligen dess resistivitet anges. Resistiviteten hos ett visst material definieras som resistansen hos en kub av materialet ifråga med 1 m sida, uppmätt mellan två motsatta sidor. Resistiviteten mäts i ohmm. Exempel på storleksordningen av några resistivitetsvärden är:

Metaller 10^{-8} ohmm, havsvatten 1 ohmm, lera 50 ohmm, sötvatten 100 ohmm, pinnmo 1 000 ohmm, granit 10^6 ohmm

Markens avledningsresistans definieras som kvoten mellan den spänning som uppstår mellan jordtaget och avlägsen jord och den ström som matas ned i jordtaget. Avledningsresistansen kan uppmätas med t ex Volt-Ampere-metoden eller med hjälp av speciella mätbryggor. Vid mätningar kan stora mätfel erhållas om villkoren för uppsättning av mätelektroden ej kan uppfyllas.

Bryggmätningar kan dock med fördel användas för att erhålla mätvärden som kan jämföras år från år, varvid kontrollen av åskledaren underlättas.

Under förutsättning att markens resistivitet är känd till tillräckligt djup och att inga elektriskt ledande föremål

finns i marken i närheten kan övergångsresistansen för jord-
elektrod (jordtag) även beräknas. Den stationära resistansen
vid låg strömtäthet och låg frekvens för en vertikal elektrod
kan exempelvis beräknas ur ekvationen:

$$R_{st} = (\rho/2\pi L) [\ln 4L/r - 1] \quad (\text{ohm})$$

där ρ = markresistiviteten (ohmm)
L = elektrod­längden (m)
r = elektroddiametern (m)

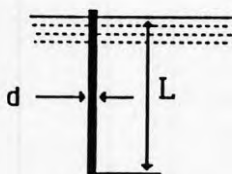
För stor ström = i A erhålls en större effektiv elektrod-
diameter

$$r_x \approx (\rho \cdot i_{topp} / \pi \cdot L) \cdot 10^{-6} \quad (\text{m})$$

varför den effektiva avledningsresistansen minskar till

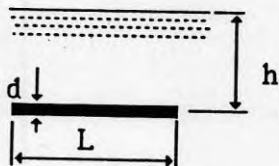
$$R_{eff} \approx (\rho/2\pi L) [\ln (4L/r_x) - 1] \quad (\text{ohm})$$

Den stationära övergångsresistansen för andra elektrodformer
kan beräknas med hjälp av formler som man kan finna i fack-
litteraturen. Några användbara formler anges nedan:



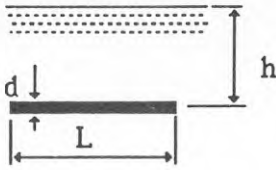
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36d}$$

Figur 13 Nedgrävt jordspett, djupjordtag



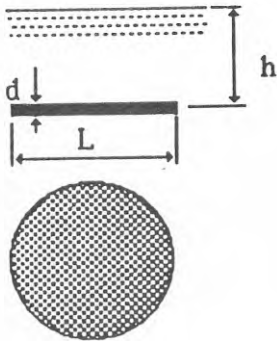
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1,85 \cdot hd}$$

Figur 14 Nedgrävd horisontell marklina



$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{0,617 \cdot hd}$$

Figur 15 Nedgrävd ringlind, ringledare



$$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{L}$$

Figur 16 Nedgrävt marklinenät

Blixten är till sin karaktär inte enbart ett högspännings- utan även ett högfrekvensfenomen. En blixtrörelse kan ha stig-tider under $1 \mu\text{s}$. Den lägsta hittills uppmätta stig-tiden (1983) är ca 30 ns, vilket uppmätts i Florida. Vid avledning av blixtrörelse är jordtagets impedans alltid tidsberoende (se vidare Scuka, V: Jordtag i teori och praktik, Elpress Abiko, 1984).

Några riktvärden på resistivitetsvärden för insättning i ovanstående formler anges nedan. Värdena får ses som riktvärden som kan variera relativt kraftigt med t ex temperatur, mark-fuktighet etc. Formlerna ovan tar inte hänsyn till skiktningar i marken. Det är mycket vanligt att ett övre, kanske ganska tunt markskikt, har låg resistivitet medan under detta ligger berg med dålig ledningsförmåga. Även detta fall kan beräknas med hjälp av en tvåskiktsmodell.

Några resistivitetsvärden (ohmm)
(Storleksordning)

Koppar	1.7×10^{-8}
Aluminium	2.7×10^{-8}
Järn	10^{-7}

Bra, ledande mineraler	10^{-5}
Grafit	10^{-4}
Saltlösningar och koncentrerade syror	10^{-2}
Vatten i oceanerna	$(1-5) \times 10^{-1}$
Vatten längs Sveriges ostkust	$(1-5) \cdot 10^0$
Blålera, lera	$(1-7) \times 10^1$
Sandblandad lera	$(3-30) \times 10^1$
Ren cement	5×10^1
Grundvatten, källvatten, brunnsvatten	$(1-15) \times 10^1$
Sjö- och flodvatten	$(1-15) \cdot 10^1$
Torv, mull, åkermark	10^2
Fin mycket fuktig sand	10^2
Fuktig betong (blandning 1+5)	4×10^2
Regnvatten	10^3
Fin torr sand, gjutgrus, grusblandningar	10^3
Vatten (kommersiellt destillerat)	10^3
Morän	10^3-10^4
Urberg, basalt	10^4
Kompakt berg, torr betong	10^5
Vatten (kemiskt rent)	$2,5 \cdot 10^5$
Granit, gnejs, marmor	10^5-10^9
Neopren	10^{10}
Polythene	10^{15}

Resistiviteten i mark kan emellertid variera inom vida gränser beroende bl a på markens vatteninnehåll och på resistiviteten hos det "innehållna" vattnet. Lösta salter kan kraftigt påverka resistiviteten. Enligt Thiellers kan t ex markresistiviteten variera med vatteninnehållet enligt följande:

Markresistivitetsens beroende av fuktighetsinnehållet

Fuktighet	Resistivitet i ohmm	
	Sandbl lera	Sand
0	10^7	-
2.5	1 500	$3 \cdot 10^6$
5	430	50 000
10	185	2 100
15	105	630
20	63	290
30	42	-

Resistiviteten är dessutom beroende av temperaturen:

Resistivitetsens temperaturberoende för sandblandad lera med 15% fuktighet

Temperatur °C	Resistivitet i ohm
20	75
10	99
0 Vatten	138
0 Is	300
- 5	790
-10	3 300

Mätning av avledningsresistans

Mätning av avledningsresistansen (R_s) kan ske antingen med en lågfrekvent ström på något tiotal ampere eller med särskilda bärbara instrument för låg ström. I båda fallen erfordras två extra jordtag, varav det ena ansluts till generatoren, liksom det jordtag, vars avledningsresistans skall mätas och det andra (spänningssonden) ansluts till spänningsmätningstrustringen. I princip sker mätningen enligt fig 17. De tre jordtagen bör i stort sett ligga i rät linje. Om marken kan förutsättas vara inhomogen, bör mätning utföras i åtminstone två riktningar. Det största värdet på resistansen skall användas. Det är viktigt att de inbördes avstånden mellan det jordtag som skall mätas, strömelektroden och spänningssonden på olika avstånd från jordtaget bör ge samma mätresultat för att garantera mätnoggrannheten.

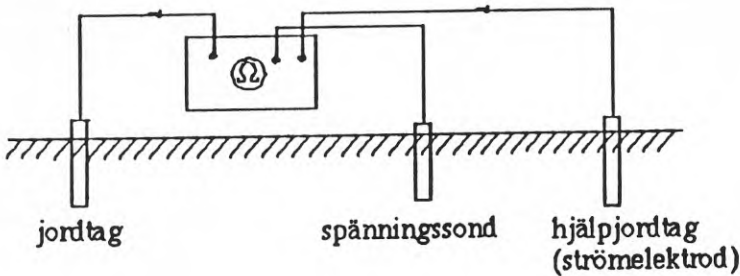


Fig 17 Mätning av jordtagets avledningsresistans. För olika fall gäller avståndskrav enligt fig 18, 19 och 20.

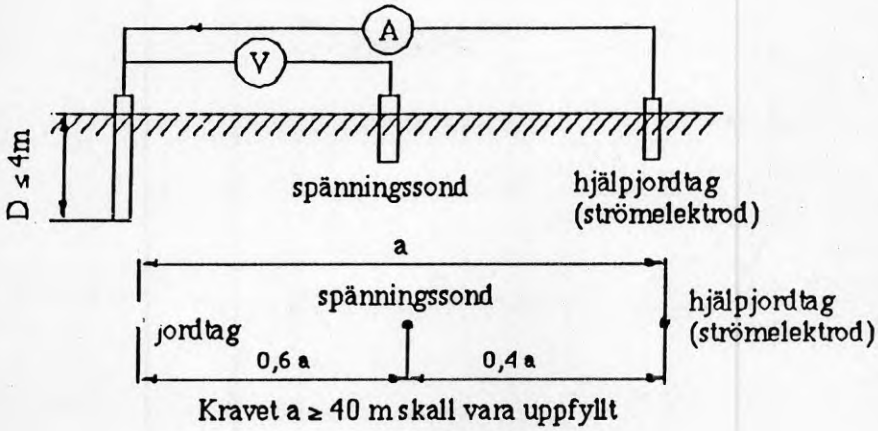


Fig 18 Exempel på inbördes placering av jordtag och spänningssond vid mätning av avledningsresistans vid kort vertikal stäng.

Om jordtagets exakta läge är okänt, kan försök göras att med ledning av terrängen bestämma ett sannolikt läge för jordtaget. Strömelektroden skall placeras i förhållande till det antagna läget av jordtaget så, att

$$a > 10D > 40 m$$

Måtten a och D framgår av figurerna 18, 19 och 20.

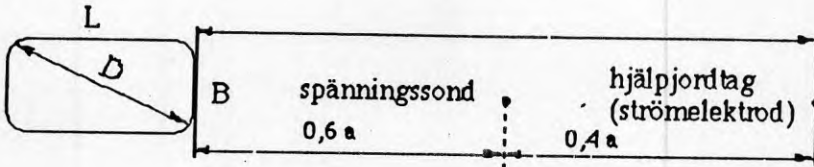


Fig 19 Inbördes placering av jordtag och spänningssond vid mätning av avledningsresistans vid ringledare.

Kravet $a \geq 10D = 10\sqrt{L^2 + B^2}$ skall vara uppfyllt

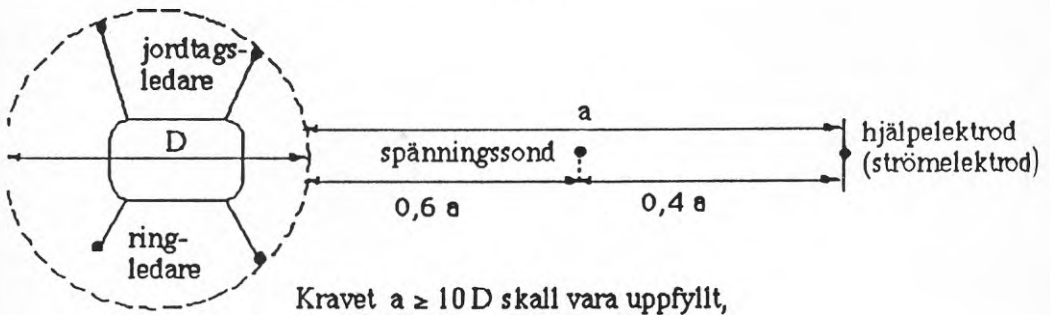


Fig 20 Krav på avstånd vid mätning av jordtag

Steg- och beröringsspänningar

Vid avledning av blixtrömmen från ett jordtag till omgivande mark uppstår en spänning längs markytan. Spänningen avtar med avståndet från jordtaget. Den faller till låga värden på ett tiotal meter om markens ledningsförmåga är god. I normal svensk mark med tunt ledande markskikt kan blixtrömmen ge stora spänningar ännu på någon kilometers avstånd från nedslagspunkten. Konsekvensen kan vara betydande skador på el- och teleinstallationer i ett stort antal byggnader och på el- och telekablar som ligger inom det utsatta området runt blixtnedslagspunkten.

En typisk åskskada i Sverige är att blixten ofta kommer via marken och husgrunden in i elinstallation. Blixten slår t ex ned i ett träd, varefter blixtrömmen letar sig fram till den bästa "jordpunkten" i närheten, vilken vanligen utgörs av el- eller telefonnätet. Endast en ringledare runt byggnadens grund eller ett fundamentjordtag samt en effektiv anslutning av de utsatta ledningarna till åskskyddsanläggningen kan förhindra sådana blixtskador.

Det är farligt att hålla i åskledaren eller att stå i dess närhet. Vid blixtnedslag blir marken strömförande och en spänning uppstår längs markytan. Spänningen avtar med avståndet från åskledaren.

Årligen dödas i Sverige åtskilliga kreatur på bete av blixtnedslag i djurens närhet. Särskilda skyddsåtgärder krävs för att vid t ex vissa ingångar till byggnaden minska risken för personskador på grund av steg- och beröringsspänningar.

Skydd mot överspänningar

Genom att utöka antalet nedledare i åskskyddssystemet och genom att placera dessa med stor symmetri kan riskerna för farliga spänningsskillnader minskas (genom att den totala induktansen i åskskyddssystemet minskas, strömderivatan i varje enskild ledare minskas samt magnetfälten inuti byggnaden, av symmetriskäl, minskas). För sådana delar som inte direkt kan kopplas ihop används överspänningsskydd av olika slag för hopkoppling, ekvipotentialisering.

Gnistgap

Med gnistgap menas en anordning bestående av två elektroder på bestämt avstånd från varandra mellan vilka en uppträdande överspänning förorsakar elektriskt överslag och därigenom begränsning av överspänningen. Mellan elektroderna finns ett dielektrikum, som kan vara luft vid atmosfärstryck men som ofta för gnistgap som används för skydd mot transienta överspänningar i stället ersätts av någon lämplig gasblandning med lågt tryck. I anläggningar i riskområde med explosiv gasblandning används dessutom speciellt utförda gnistgap i explosionsskyddat utförande eller placeras skydden i speciell kapsling.

Gasfyllda gnistgap (gasurladdningsrör)

För att tillverka gnistgap med låg tändspänning kan man t ex minska avståndet mellan elektroderna och placera gapet i en gas med lägre tryck. Egenskaperna hos ett gasurladdningsrör kan i många fall skräddarsys för en bestämd tillämpning. Ett gasurladdningsrörs tändspänning varierar med den inkommande spänningsvägens branthet, dU/dt . Det lägsta värdet på tändspänningen erhålls vid $dU/dt = 0$ och detta kallas rörets statistiska tändspänning.

Exempel: dU/dt Tändspänning

0 (DC)	145 V
100 V/s	145 V
100 V/ms	200 V
100 V/ μ s	350 V
500 V/ μ s	420 V
1 kV/ μ s	460 V
5 kV/ μ s	589 V
10 kV/ μ s	600 V
20 kV/ μ s	660 V

Skyddsnivån blir alltså beroende av den inkommande spänningsvägens amplitud och branthet samt av egenskaperna hos det skydd som väljs. Tändspänningen för impulser för ett gasurladdningsrör är därför en viktig faktor att ta hänsyn till vid val av skydd. Andra viktiga egenskaper hos ett gasurladdningsrör att beakta är maximal tillåten ström, maximal tillåten påkänning på grund av sk följdström från nätet, samt rörets släckspänning och brinnspänning. Gasurladdningsrörens livslängd

bestäms i hög grad av den totala laddning som passerat igenom samt av den mekaniska uppbyggnaden och av gasinneslutningens gastäthet.

Gasurladdningsrören finns i många utföranden: med två elektroder, med tre elektroder, med inbyggda serieresistanser osv. Genom bl a sin förmåga att avleda stora strömmar, sin låga kapacitans (några pF), sin höga impedans (i vilotillstånd) och sin tillförlitlighet har de fått stor användning vid skydd av elektronik mot åsköverspänningar. Gasurladdningsrören saknar dock inte nackdelar. På grund av att tändspänningen är relativt hög (75 V) kan t ex röret inte utnyttjas som enda skydd för känsliga kretsar. Vågformens inverkan på tändspänningen gör vidare, som tidigare nämnts, att skydds-nivån ej blir konstant. Genom att skyddet reflekterar mera energi än det absorberar, något som i hög grad medverkar till gasurladdningsrörens stora tålighet, kan ringningar uppstå som gör att påkänningen får längre varaktighet. Största problemet är dock att enklare gap i regel inte förmår släcka en s k följdström från nätet när överspänningen upphör. (Om röret är inkopplat på en spänningssatt ledning kommer denna spänning att fortsätta att driva ström genom gasurladdningsröret även när den transienta överspänningen som tände röret upphört.) Den s k släckspänningen, den spänning, där gapet slutar leda, är beroende av den ström som flyter. Detta gör att förutom gapets egenskaper även bl a impedansförhållandena i kretsen bestämmer släckspänningens värde. Vissa tillverkare brukar dock ange ett värde på släckspänningen för viss ström, t ex 1 A. Andra anger ström- spänningsdiagrammet för släckning. Ett typiskt värde på släckspänningen för ett 230 V gasurladdningsrör är ca 150 V eller alltså ca två tredjedelar av den statiska tändspänningen. Detta värde kan emellertid variera inom vida gränser.

Gasurladdningsrör tål pulser upp till $10^2 - 10^3$ J under något tiotal millisekunder och följdströmmar från kraftnätet på ca 10 A under någon sekund. Vid större belastning erhålls ofta sprickbildning hos keramiken eller glaset och förändringar av elektrodytorna med därmed sammanhängande ändring av tändspänningen. Beläggningar på insidan av urladdningskammaren kan vidare ändra isolationsresistansen mellan elektroderna och även påverka gapets tändspänning.

Varistorer

En varistor är en icke lineär resistans, en halvledare, där resistansen minskar vid ökande ström. Förhållandet mellan ström och spänning i det normala arbetsområdet anges som

$$i = k \cdot u^a \quad \text{där } i \text{ är strömmen i ampere, } u \text{ är spänningen i volt,}$$

$a = (\log i_2 - \log i_1) / (\log u_2 - \log u_1)$ är en koefficient som är ett mått på olineariteten och k är en konstant som bl a beror av varistorns material och dimensioner. Det är önskvärt att a är så stor som möjligt. Varistorn fungerar alltså som en strömshunt som börjar leda ordentligt när spänningen stigit över ett tröskelvärde och fungerar på så sätt som ett energiabsorberande överspänningskydd.

Ett flertal typer av varistorer tillverkas. T ex tillverkas varistorer av kiselkarbid av bariumtitanoxid samt av en blandning av zinkoxid och vismutoxid. Av dessa typer har den sistnämnda det högsta värdet på a .

För normala spänningsvärden, utan överspänningar, fungerar en varistor som en resistans med ett värde av storleksordningen 10^9 ohm. Vid spänningar överstigande det normala arbetsområdet fungerar varistorn återigen som en resistans men nu med ett värde av storleksordningen någon eller några ohm. I detta sistnämnda område förstörs varistorn snabbt på grund av termisk överbelastning om överspänningen är långvarig (minuter). Arbetsspänningen hos en varistor beror, förutom på egenskaperna hos det material den är tillverkad av, huvudsakligen av avståndet mellan anslutningselektrodena medan strömtåligheten beror framför allt av dess tvärsnittsarea.

Vid förhöjd arbetstemperatur uppträder en accelererad åldring. Förutom denna kontinuerliga åldring av varistorn, förorsakar strömimpulser med tillräckligt hög energi, defekter som resulterar i en momentan ändring av varistorns elektriska egenskaper. De känsligaste elektriska parametrarna är varistorns läckström och dess olinjearitetsexponent a . Varje ny varistor tål endast ett begränsat antal energirika strömimpulser.

Ventilavledare

En ventilavledare är ett överspänningsskydd som används både i lågspänningskraftssystem och i kraftsystem för högspänning. Ventilavledaren inkopplas mellan spänningsförande ledare och skyddsjord (inkommande nolla) i kraftsystemet. En ventilavledare utförs med ett gnistgap i serie med varistorn för att öka varistorns livslängd och underlätta avledarens släckning. Varistorn (ventilmotståndet) uppvisar hög resistans för låg ström och låg resistans för hög ström och släcker därigenom gapet när överspänningen upphör och när kortslutningsströmmen passerar genom noll.

Överspänningsskydd för kraftmatningen utförs numera i allt större utsträckning enbart med varistorer eller med varistorer med parallellkopplade gnistgap. Allmänt gäller att avledarna bör placeras nära den eller de apparater som skall skyddas.

När blixten slår ned i en åskskyddad anläggning måste elsystemet snabbt uppnå ungefär samma potential som åskskyddsanslutna föremål för att inte en gnista skall hoppa över från åskskyddet till elsystemet och kanske sätta eld på byggnaden. Denna spänningsutjämning kan ventilavledarna klara om de inte placeras för långt borta. Ett mått på det största avstånd som en ventilavledare kan placeras ifrån ett befariat överslagsställe för att förhindra gnista kan erhållas ur sambandet:

$$a = v(u_s - u_a) / 2S$$

Där a är avståndet i meter mätt längs ledningen
 u_s är den maximala spänning i kV som överslagsstället tål

- u är ventilavledarens avledningsspänning i kV
 S^a är överspänningsvägens branthet i kV/ μ s
 och v är överspänningsvägens utbredningshastighet i m/ μ s
 v 250 m/ μ s för luftledningar
 v 100 m/ μ s för ledningar i mark

Ett normalt värde på skyddsavståndet är ca 30 m.

Samma resonemang kan föras både för överspänningar från ett direkt blixtnedslag i t ex en åskskyddad anläggning och för överspänningar från ett matande elnät.

Den skyddsnivå som erhålls med ventilavledare på ett 380 V lågspänningssystem är av storleksordningen 2 kV, varför känslig elektronisk apparatur behöver kompletterande skydd. Kortvarigt kan betydligt större störspänningar förekomma speciellt vid blixtnedslag närmare anläggningen än något hundratal meter.

Ventilavledarens tålighet begränsas i regel av varistorns energitålighet. Oftast förekommande fel är att varistorn bränner igenom och kortsluts. Ett vanligt värde för tåligheten hos ventilavledare för lågspänningsnät är energier av storleksordningen 10^3 J. Om överspänningsskydd används på flera ställen i en anläggning måste en inbördes harmonisering av skydden genomföras för att önskad funktion med säkerhet skall erhållas.

Några andra vanliga skyddskomponenter

Isolationstransformator:

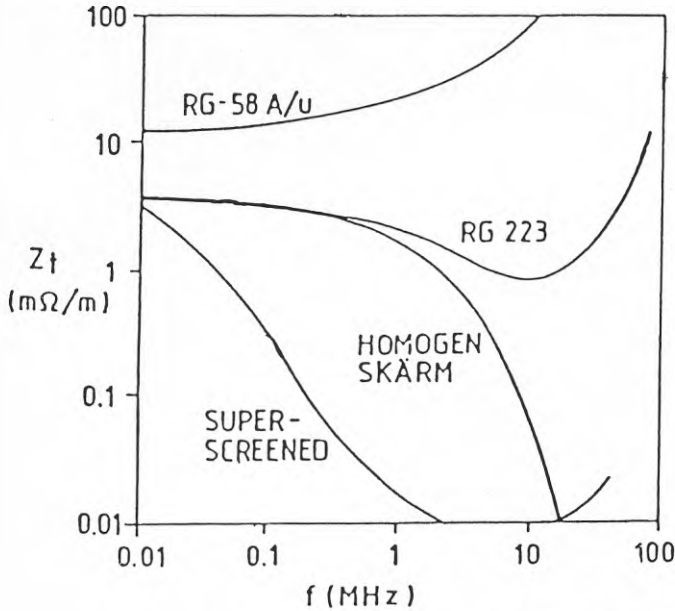
- Med en isolationstransformator för kraft bryts blixtrömslingan mellan elkraft- och signalledningarna till och från en apparat, dvs transformatorn förhindrar att blixtrömmen passerar apparaten. Isolationstransformatorn består av förstärkt högspänningsisolation och extra elektromagnetisk skärmning mellan primär och sekundärlindningen. Vid användning av isolationstransformatorer måste skärmarna anslutas på rätt sätt för att transformatorn skall ge önskad verkan. Man bör komma ihåg att isolationstransformatorer främst används för att dämpa longitudinella (common mode) transienter. Transformatorernas dämpningsförmåga för transversella (differential mode) transienter begränsas i huvudsak till transienter med mycket kort varaktighet.

Optisk fiberlänk:

- Liknande verkan (isolation) som i fallet med isolationstransformatorn kan uppnås på signalsidan av apparaten med en optisk fiberlänk. I en optisk fiberlänk omvandlas elektriska signaler till optiska och överförs via en elektriskt isolerande optisk fiber.

Hybridskydd:

- Med överspänningsskydd begränsas blixttöverspänningar i de elektroniska installationerna och blixteströmmen avleds till åskledaren. I specialutförande (för skydd av datoranläggningar mm) är skyddet inbyggt i ett slutet metallhölje med goda möjligheter till anslutning till en apparats skärm. Skyddet består ofta av gasurladdningsrör kombinerat med elektriska lågpåssfilter. Genom att inkoppla ett elektriskt filter mellan gasurladdningsröret och apparaten erhålls en mycket låg begränsningsspänning för t ex åsköverspänningar. Efter ett sådant filter kan även insättas halvledande skyddskomponenter som ytterligare förbättrar skyddsverkan. Ett skydd av detta slag kallas för hybridskydd. Det är viktigt att skyddet anpassas till kommunikationssignalens frekvenskaraktistik.
- För att öka elektronikens oberoende av extern energimatning och ytterligare minska blixtestörningarna använder man även speciella utrustningar och apparater som till exempel:
 - lokal reservkraft (dieselgenerator som överbryggar avbrott så länge bränslet räcker)
 - batteriuppbackning av elkraft, s k avbrottsfri kraft (avbrott av storleksordningen minuter till timmar kan överbryggas) och
 - magnetstabilisatorer, avbrott på ca 10 millisekunder kan överbryggas
 - skärmade kablar och metalliska rör:
För att minska interferensen i elektriska ledningar används skärmade kablar. Interferensnivån (störspänningen) bestäms av kabelns transferimpedans Z_t som anger störspänningens nivå per meter kabel för en amperes störström i kabelskärmen, se fig 21.



Figur 21 Transferimpedans för kabelskärmar

3.4

BLIXTSKYDD AV ELEKTRONIK

- Blixtskydd av elektronik och elektriska lågspänningsinstallationer
- Sju viktiga principer för blixtskydd av elektronik
- Harmonisering av transientskyddet
- Blixtskyddskomponenter

Principer för elektronikskydd

Förutom den yttre åskskyddsanläggningen, som kanske måste utföras med tätare nedledarnät eller med någon typ av elektromagnetisk skärmning, erfordras vid åskskydd av anläggningar innehållande elektronik ett inre åskskydd som ställer krav även på de inre installationerna (av såväl åskskydd som elektronik). Följande principer gäller för installation av elektronisk utrustning med syfte att minska risken för blytstörningar:

Princip 1:

- Elektronisk utrustning skall installeras på sådant sätt att blytströmmen inte kan passera genom utrustningen utan avleds via överspänningsskydd till åskledaren.

Princip 2:

- Installationens och apparaternas elektriska hållfasthet skall samordnas med blixtskyddets skyddsförmåga. Överspänningsskydden måste träda i funktion innan installationen eller apparaterna skadas.

Princip 3:

- Den effektiva ytan som avgränsas av signal- och elkraftledningen till en apparat måste vara liten för att minska effekten av blixstens magnetfält. I vissa fall måste dessutom elektromagnetisk skärmning användas både för signal- och för elkraftledningarna till apparaten.

Princip 4:

- Elkraftinstallationen i byggnaden skall uppdelas så att elektroniken får separat kraftmatning separerad främst från matningen till störningsframkallande utrustningar, t ex tyristorstyrda elmotorer, kopiatorer etc.

Princip 5:

- Elkraftinstallation bör utföras enligt "femledarprincipen" med separerade noll- och skyddsledare (skyddsjord). Därmed ges möjlighet att förhindra okontrollerad spridning av blyxt- och andra störande strömmar genom en anläggning.

Princip 6:

- Signalledningar och även elkraftledningar till och från apparater skall i förekommande fall ligga tätt intill signalreferensplanet, t ex ett datagolv, en metallvägg, armering etc. Därmed minskas inverkan av blixstens elektromagnetiska fält.

Princip 7:

- Alla elektriska och övriga metalliska ledare bör föras in i en byggnad på ett gemensamt ställe, företrädesvis i närheten av elcentralen och PUS (potentialutjämningskenor). Ledarna ansluts med korta, elektriska anslutningar till PUS över över-spänningsskydd, ventilavledare, gnistgap eller direkt, beroende på typ av ledare.

Checklista över viktiga punkter att tänka på vid projektering av Åskledare

Åskledarens fyra huvudfunktioner:

- Infångning av blixten

- Symmetrisk fördelning av blixtrömmen över åskledaren
- Symmetrisk avledning av blixtrömmen i mark via jordtagssystem
- Avledning av blixtrömmen förbi byggnadens inre via PUS och begränsning av inre överspänningar

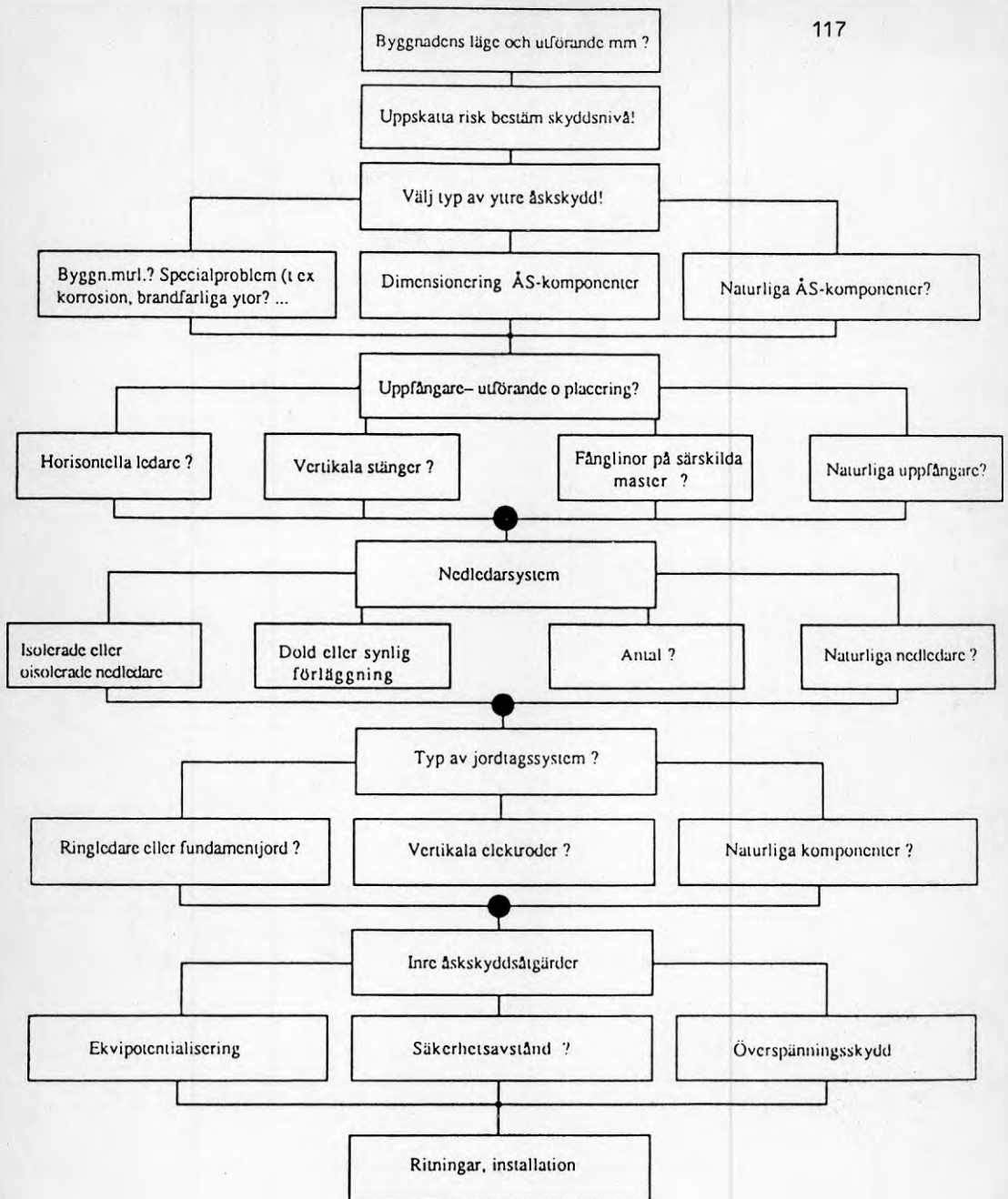
Ta reda på vilka krav som ställs på blixtskyddet för den aktuella byggnaden innehållande t ex en central datoranläggning, en digital telefonväxel, persondatorer etc. Helt vanliga kontor innehåller i dag känslig elektronisk utrustning värda stora summor. Kostnaden för driftstopp kan uppgå till stora belopp.

Motivera beslutsfattarna genom att också visa på den minskade felfrekvens och ökade tillgänglighet till mätliga kostnader som åskskyddsåtgärderna resulterar i.

Samråd på ett mycket tidigt stadium om den byggteknik som underlättar införandet av lämpliga åskskyddsåtgärder och planera byggnaden med hänsyn till de fundamentala krav som ställs för att kunna installera ett effektivt åskskydd.

Dagens anläggningar behöver fungerande elektronik och detta ofta just vid åska. Åskledaren erbjuder de tekniska grundförutsättningarna för att förverkliga detta.

Figur 22 är tänkt som hjälp vid projekteringsarbetet.



● Erfordrar samarbete mellan arkitekter, byggkonstruktörer och åskledarkonstruktörer

Fig.2.2 Flödesschema för konstruktion av åskskyddsanläggningar.

3.5 PRAKTISKA RÅD FÖR BLIXTSKYDD AV ÄLDRE BYGGNADER

- Upprustning av byggnaden och elektriska installationer
- Installation av modern elektronik
- Lämpliga kompletteringar i blixtskyddet

I allt större utsträckning installeras i dag i äldre byggnader modern elektronik av skilda slag och varierande krav på funktionssäkerheten. Det är dock ofta fallet att kraven på funktionssäkerheten av viss elektronisk utrustning i byggnaden är extremt höga på grund av till exempel byggnadens kulturhistoriska värde. Det finns därför anledning att rikta uppmärksamheten på lämpligt utförande av åskledare på sådana byggnader, där även byggnadens yttre utseende inte får störas.

Elektriska lågspänningsinstallationer:

- Installationen dimensioneras till byggnadens maximala elektriska effekt med avseende på höjd belastning som moderniseringen medför
- Endast i byggnadens huvudcentral sammankopplas inkommande elkraftens nollledare med byggnadens skyddsledare
- Från huvudcentralen går alltid fem ledare till övriga fördelningscentraler i vilka nollskenan isoleras från skyddsjordskenan
- Alla apparater ansluts enligt femledarprincipen
- Strukturering av installationerna bör eftersträvas så att en viss gruppering av störande och störningskänsliga utrustningar till olika undercentraler och till skilda faser uppnås
- I möjligaste mån bör metalliska kabelstegar användas för stigare och tele- samt signalledningar
- Installationerna skall ingå i åskledaranläggning
- Alla större metalliska installationer i byggnaden skall anslutas till huvudcentralens skyddsjord, PUS
- Det är värt att överväga en viss omförläggning av metalliska rör och elektriska ledningar så att ett samlingsställe i närheten av byggnadens huvudcentral bildas
- Det är olämpligt att elektriska installationer anbringas på yttre väggar och i närheten av yttre åskledare.

Det kan bli nödvändigt att den yttre åskledaren förstärks med tätare nedledare för att minska blixstens magnetiska fält i byggnaden, minskar därmed risken för okontrollerbar interferens.

3.6 BLIXTSKYDD I NYBYGGNATIONER

Blixtskydd av nybyggnationer anordnas enligt de huvudprinciper som framgår av avsnitt 1.1.3-1.3.4. Särskilt skall härvid också beaktas att byggnaden även inbegriper den närmaste omgivningen, där det normalt finns konstruktioner och anläggningar av betydelse för byggnadens användning. Det är viktigt att även planlösningar för dessa anläggningar följer principerna för reducerat åskhot, t ex att kabel- och ledningsdragningsarna i marken utförs så att de leds in i byggnaden samlat på ett ställe. Belysning och andra externa elkraftinstallationer, där risk finns för elektrisk kontakt med marken ("jord"), bör matas över isolationstransformator 1:1 utan genomkopplad skyddsjord så att en separat skyddsledare för externa installationer kan skapas.

3.7 LITTERATURFÖRTECKNING OCH REFERENSER

Det material, som presenteras i avsnittet "Blixtskydd för byggnader", är i stora delar resultatet av Institutionen för högspänningsforskning, forsknings- och utvecklingsprojekt, stödda av Uppsala universitet samt svenska myndigheter och verk. Institutionen för högspänningsforskning vid Uppsala universitet deltar aktivt i den internationella standardiseringen på området och medverkar därmed till att de senaste forskningsresultaten omsättes i teknisk användning. Utvecklingen har emellertid på de senaste åren gått så snabbt fram att det i dag i stora delar saknas allmänt tillgänglig litteratur från detta speciella område. En ny internationell åskskyddsnorm utarbetas för närvarande inom IEC, TC 81. Denna norm är för närvarande på remiss till respektive lands nationalkommittéer.

- 1 Svensk standard SS 487 0110, Åskskydd för byggnader, SEK, 1977
- 2 Svensk standard SS 421 0822, Potentialutjämning i riskområden med explosiv gasblandning, SEK, 1987
- 3 Uman M.A.: The lightning discharge, Academic Press, 1987. ISBN 0-12-708350-2
- 4 Scuka V: Jordtag i teori och praktik, Elpress Abiko, 1984
- 5 Försvarets materielverk (FMV), Praktiskt el- och telestörskydd - anvisningar. Försvarets bok- och blankettförråd, Sundbyberg

R17: 1991

ISBN 91-540-5310-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6811017

Abonnemangsgrupp:
Y. Byggnadsfunktion
W. Installationer

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirkapris: 64 kr exkl moms