

Kapitel 10 ESD

Elektrostatisk uppladdning och urladdning, ESD.

Introduktion

Statisk elektricitet uppstår när det är obalans av laddningar hos material. Normalt innehåller material jämt fördelade laddningar av positiv och negativ polaritet. När ett material innehåller lika mycket positiva som negativa laddningar märks inte laddningarna utåt, de tar ut varandra. Om ett material däremot får brist eller överskott på den ena sortens laddningar bildas ett kraftfält omkring materialet som försöker utjämna laddningen.

Obalans i laddningar märks när man har kammat sig. Håret dras mot kammen för att utjämna skillnader i laddning mellan kam och hår. När man går på ett golv med heltäckningsmatta och griper tag i ett handtag så får man en stöt. Stöten kommer från strömen som flyter mellan handen och handtaget, en ström som utjämnar skillnader i laddning. I princip uppstår statisk elektricitet på två olika sätt.

1 Genom friktion (gnidning)

2 Genom separation.

Med generering av statisk elektricitet genom friktion avses att två material med olika elektriska egenskaper gnids mot varandra, som t.ex kammen mot hårstrån.

Med separation avses t.ex när man tar bort ett plastskydd från ett papper eller drar loss en tejprensa från ett underlag. Ibland kan det vara fråga om en kombination av gnidning och separation som t.ex när man går över en matta. Skorna både gnids mot mattan och separeras från den vid varje steg.

Triboelektriska serien.

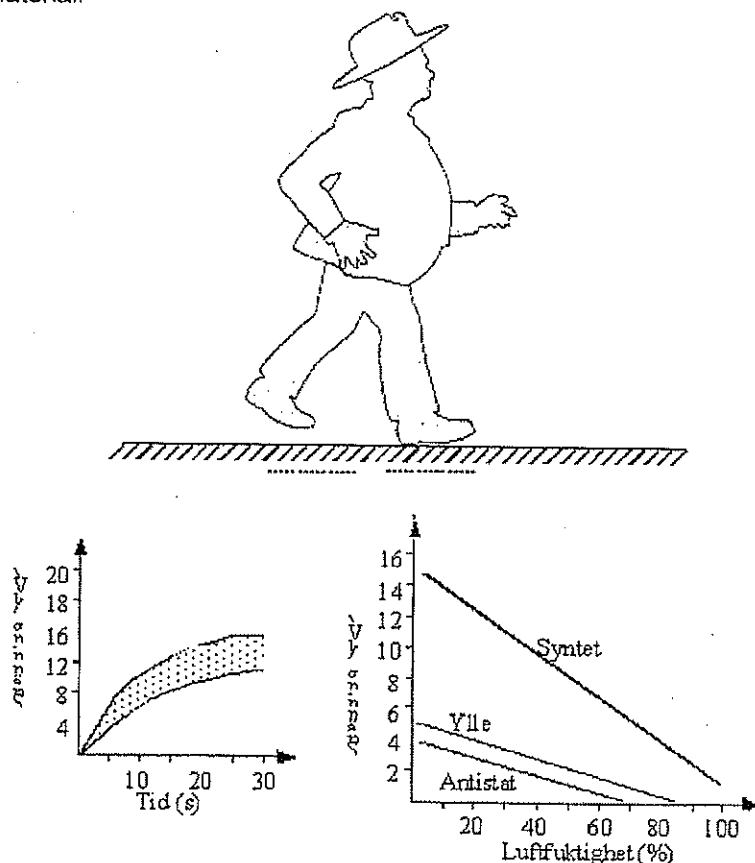
Tabell 10-1 Triboelektriska serien

+	Asbest
	Glas
	Människohår
	Nylon
	Ylle
	Silke
	Aluminium
	Papper
	Bomull
	Stål
	Trä
	Hårdgummi
	Polyester
	Orlon
	Polyuretan
	Polyeter
	Polypropen
	Polyvinylklorid
	Kisel
-	Teflon

Olika material har olika lätt att släppa ifrån sig eller ta åt sig laddningar av olika polaritet. Man har gjort experiment med att gnida olika material mot varandra och sedan mätt upp den laddning man fått på materialet. Resultatet av dessa experiment ger den triboelektriska serien. (Tribo = grekiska för gnidning).

Exempel: Uppladdningen blir större vid gnidning av kisel mot nylon än vid gnidning av trä mot papper. Gnidning av ylle mot aluminium ger liten uppladdning men gnidning av ylle mot polyeter ger stor uppladdning. Vid gnidning av papper mot nylon blir papperet negativt medan vid gnidning mot orlon blir papperet positivt. Ju längre från varandra materialen står i tabellen ju lättare är det att få en uppladdning och ju större blir laddningen om man gnider dem mot varandra.

Uppladdning av material.



Figur 10-1 Uppladdning av en meniska

Vi gnidning eller separation av material flyttas laddningar från ena materialet till det andra. Mängden flyttad laddning växer med tiden upp till ett jämviktstillstånd när ny laddning vid en separation är lika stor som den "läckande" laddningen. Läckaget till omgivningen och mellan de uppladdade materialen påverkas av luftfuktighet, materialens ledningsförmåga, andelen joner i luften mm. En hög luftfuktighet ökar transporten av laddningar från ett material. Likaså om två material gnids mot varandra och båda materialen har en viss ledningsförmåga så jämnas laddningarna ut genom deras ledningsförmåga.

Uppladdad spänning.

Uppmätta värden på elektrostatisk uppladdning i olika situationer.

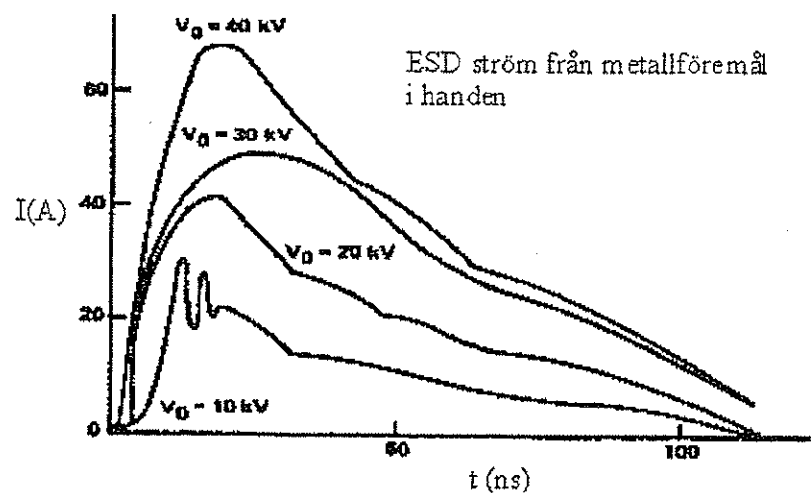
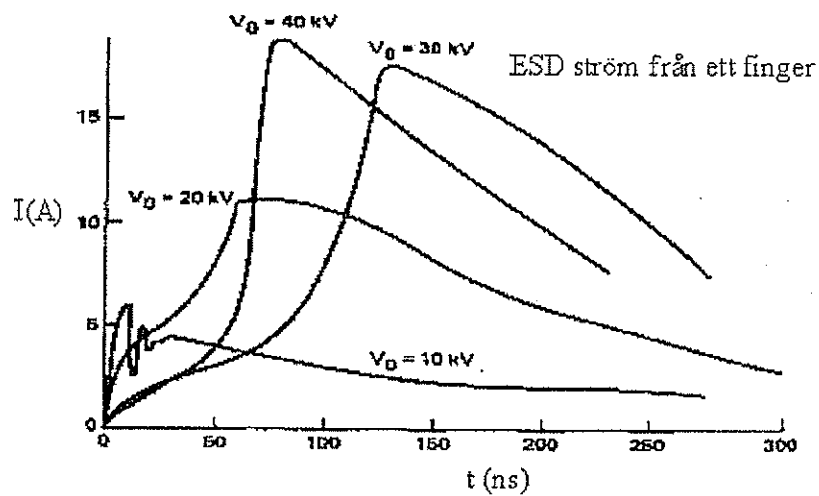
Luftfuktigheten har stor betydelse för uppkomsten av statisk laddningar. Ju torrare det är ju större laddningar alstras, men även vid relativt hög luftfuktighet, 45-55%, alstras laddningar som är farliga för elektronikutrustningar.

Tabell 10-2 Elektrostatiskt uppladdning

	Medelvärde vid normal luftfuktighet. V	Högsta uppmätta värde vid låg luftfuktighet. V
Person gående på en heltäckningsmatta.	12 000	39 000

	Medelvärde vid normal luftfuktighet. V	Högsta uppmätta värde vid låg luftfuktighet. V
Person gående på PVC-golv.	4 000	13 000
Person vid arbetsbänk.	500	3 000
Bil som körs på torrt väglag.		10 000
Rullband.		25 000
IC-krets i plastlåda.	3 500	12 000
IC-krets i leveransmagasin.	500	3 000

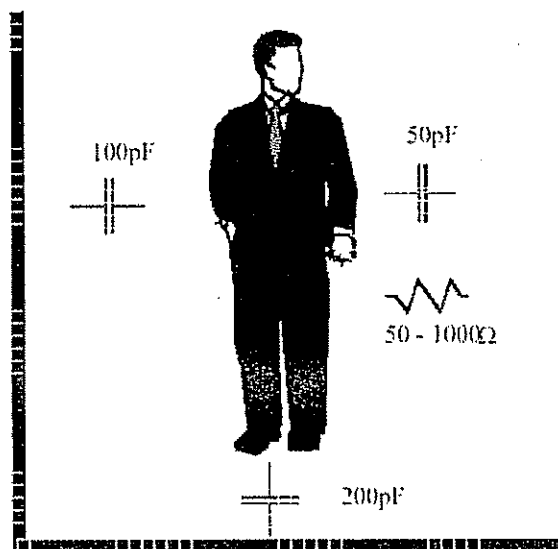
ESD ström från ett finger och metallföremål i handen.



Figur 10-2 ESD ström vid urladdning

Kurvorna för en urladdningspuls från ett finger får olika form beroende på vilken spänning människan är uppladdad till. Med ett metallföremål i handen blir strömmen mycket högre och förloppet mycket snabbare. Den låga resistans som metallföremålet ger, jämfört mer ett finger, gör att urladdningsströmmen blir högre än urladdning genom ett finger. Den högre strömmen ger också att urladdningen av kondensatorn sker snabbare, strömpulsen får därmed det snabbare förloppet. Kurvorna är uppmätta genom praktiska försök.

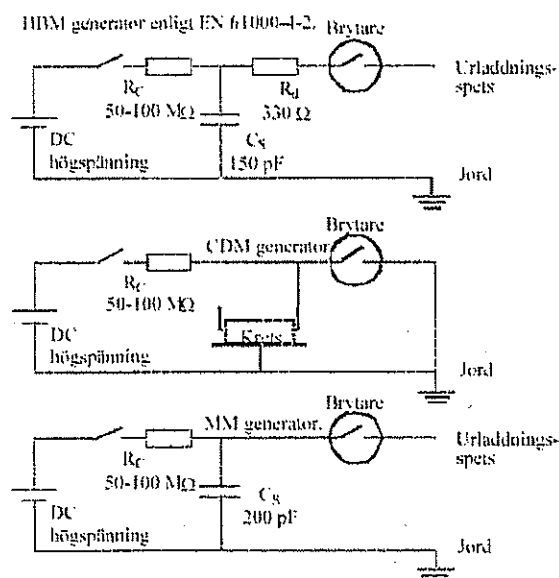
Människans kapacitans till jord.



Figur 10-3 Människas kapacitans

En människas kapacitans till jord är ca 100 till 500 pF. Resistansen vid en urladdning är ca 10 kΩ från ett finger till ca 1000Ω från handen. Ett litet metallföremål som hålls i handen ger resistansen 500Ω medan resistansen för ett större föremål är ca 50Ω. Spänningen hos en människa självreglerar sig till en maximum-spänning beroende på resistans till omgivningen, luftfuktighet, jon koncentration i luften, coroneffekt mm. Max spänning i torr luft är ca 30 till 40 kV.

Modeller för elektrostatisk urladdning.



Figur 10-4 Modeller för urladdning

Olika generatorer används vid testning av apparater och komponenter. Flera olika modeller finns beskrivna för olika typer av ESD källor t.ex

Human Body Model (HBM)

Charge Device Model (CDM)

Machine Model (MM)

HBM avbildar människans urladdning till ett föremål t.ex en komponent eller en apparat. CDM simulerar upp och urladdning av en komponent t.ex när en komponent glider i ett rör vid montering för att sedan urladdas när maskinen griper tag i komponenten eller komponenten träffar kretskortet. MM simulerar urladdning av en maskin t.ex en robotarm på en monteringsmaskin eller PROM brännare. HBM är sedan länge den mest vanliga modellen för test av tålighet hos apparater och komponenter. Denna modell motsvarar de flesta ESD urladdningar som en apparat eller ett system utsätts för efter produktion. HBM modellen är den generator som ska användas enligt norm EN 61000-4-2. Med den mer automatiserade tillverkningen blir HBM modellen mindre aktuell för produktionsmiljö jämfört med de andra modeller, framförallt MM modellen. Det som skiljer HBM modellen från MM modellen är att HBM innehåller ett ström begränsande motstånd. Monteringsmaskiner med metall i gripklor mm har en mycket lägre resistans än en människohand. Vanligen används en mycket lägre spänning vid testning av komponenter med MM generator. Ett vanligt värde är 200V vid MM test.

Vid CDM tester laddas komponenten upp till en viss spänning för att sedan kortslutas till jord. Urladdning sker till varje ben på komponenten, ett ben i taget testas.

ESD test enligt EN 61000-4-2.

Tabell 10-3 Testnivå enligt EN 61000-4-2

Test nivå	Test spänning CD	Test spänning AD	Test spänning ID
1	2 kV	2 kV	2 kV
2	4 kV	4 kV	4 kV
3	6 kV	8 kV	6 kV
4	8 kV	15 kV	8 kV

Normen för tålighet mot ESD, EN61000-4-2, föreskriver att man använder sig av en mäniskomodell, HBM, vid testet.

En HBM generator som efterliknar en människas urladdning mot en apparat

I EN 61000-4-2 finns det tre metoder specificerade för appliceringen av urladdningen nämligen

Urladdning via direktkontakt (Contact Discharge: CD)

Urladdning via gnistgap (Air Discharge: AD)

Indirekt urladdning (Indirect Discharge: ID)

Urladdning via direktkontakt ska användas när så går. Går det inte att använda direktkontakt ska urladdning via gnistgap användas. Apparaten kan alltid testas med indirekt urladdning.

Testnivå ska väljas utifrån den mest realistiska installation- och omgivningsmiljö för apparaten. Miljönormen EN55082 anger vilken testnivå för ESD en apparat ska testas vid.

Urladdningsströmmens utseende i tiden vid kalibrering.

Tabell 10-4 Nivåer för urladdningsströmmen vid kalibrering.

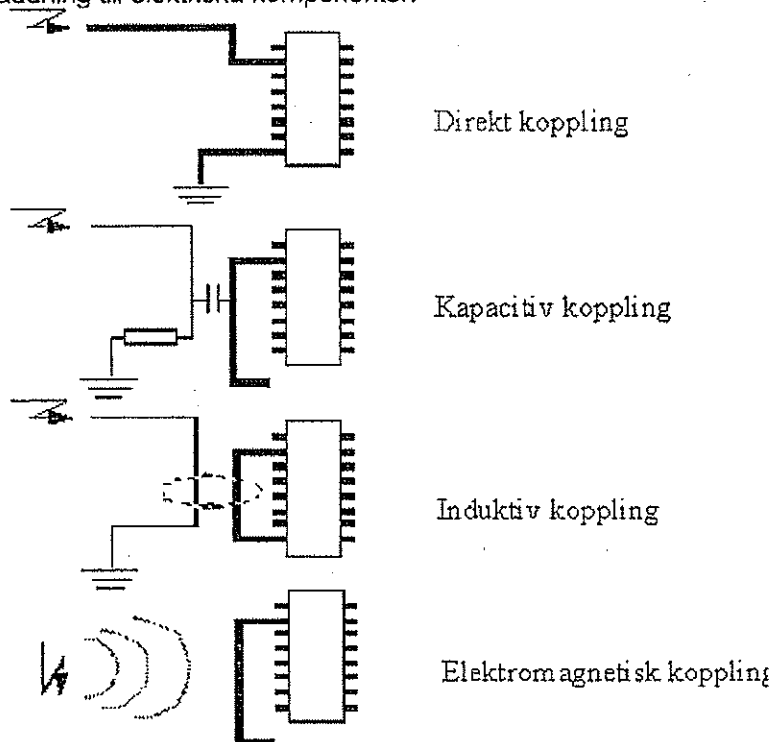
Testnivå.	Test spänning CD, ID. kV	Första toppström vid urladdning (+/- 10%) A	Stigtid ns	Ström (+/- 30%) vid 30 ns. A	Ström (+/- 30%) vid 60 ns. A
1	2	7.5	0.7 - 1	4	2
2	4	15	0.7 - 1	8	4
3	6	22.5	0.7 - 1	12	6
4	8	30	0.7 - 1	16	8

Vid kalibrering av testutrustningen ska en speciell mätutrustning användas. Denna utrustning har en mycket låg induktans och är i huvudsak endast resistiv (ca 2Ω). Med denna testutrustning ska ESD-pistolens egenskaper mätas och kalibreras. ESD-pistolen ska uppfylla kraven på nivåer enligt tabellen ovan för att få användas vid certifiering av en apparat.

En ESD-puls innehåller både snabba och långsamma förlopp.

En ESD-puls kan ge mycket snabba strömderivator. För nivå 4 blir första strömderivata vid låg resistiv last $30\text{A}/10^{-9}\text{s} = 30 \times 10^9 \text{ A/s}$. Den snabba ändringen av strömmen innehåller höga frekvenser ($0,35/t_r \approx 500\text{MHz}$). Den snabba transienta ändringen genererar höga spänningar, såsom spänningsfallet över en ledare vid direkt koppling, kapacitiv koppling, och magnetisk koppling.

Koppling av en urladdning till elektriska komponenter.



Figur 10-5 Koppling av urladdning till komponenter

ESD kopplar i huvudsak till komponenter genom fyra vägar, nämligen:

Direkt koppling: Direktpkoppling uppstår när en urladdningsström följer en ledare in till en komponent. Är komponenten en krets kan detta resultera i att kretsen störs ut, går sönder, eller att dess data degraderas.

Kapacitiv koppling: När urladdningsströmmen passerar genom en kabel eller en metallidél får denna en spänning p.g.a ledarens resistans och induktans. Metallföremål som inte är jordade får vid en urladdning en hög spänning. Dessa spänningar kan koppla kapacitivt till komponenter och dess ledningar i apparaten.

Induktiv koppling: Induktiv koppling uppstår när urladdningsströmmen flyter genom en kabel eller en metallidél. Fältet från urladdningsströmmen kopplar sedan till ledningar och komponenter. Även snabbt ändrat elektriskt fält genererar högt magnetiskt fält.

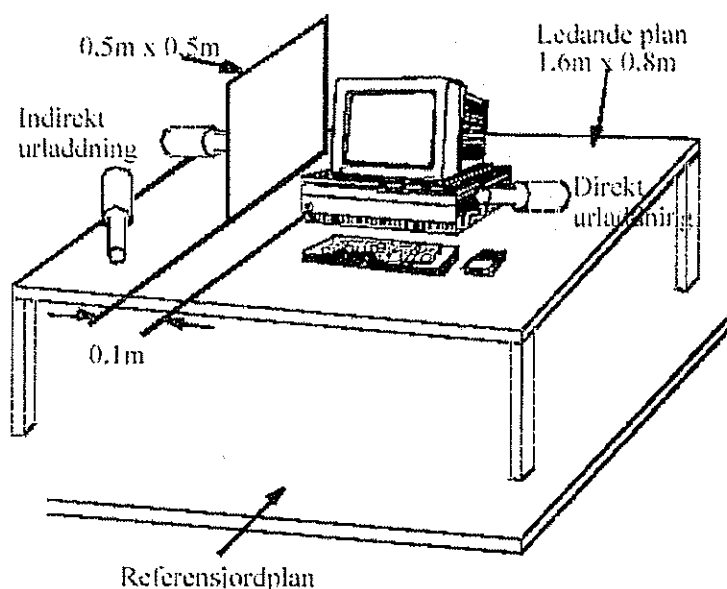
Kapacitiva och induktiva störningar förorsakar oftast funktionsstörningar hos apparaten. Störningar kan t.ex ställa om logiska komponenter, överstyra förstärkare mm. Indirekt urladdning ger kapacitiva och induktiva kopplingar till apparaten. Likaså ger direktpkoppling också kapacitiva och induktiva kopplingar till närliggande elektronik.

Elektromagnetisk koppling: Magnetiskt och elektriskt fält övergår till en elektromagnetisk våg när avståndet till källan är tillräckligt stor, för en punktkälla är detta avstånd $\lambda/2\pi$. Detta fält kopplar till kablar och komponenter. Det elektromagnetiska fältet från en ESD är ofta svagt, och avtar med $1/r^3$ eller $1/r^2$ för en punktkälla i närfältet. Det elektromagnetiska fältet genererar normalt inte störningar hos apparaten.

Av de fyra kopplingsvägarna ger den direktpkopplade ESD strömmen den största påkänningen på komponenter och kretsar.

Två sätt finns för att minska risken för skador på elektronik. Ett är att minska möjligheten för uppkomst av statisk elektricitet. Det andra är att bygga en apparat så att den tål elektrostatisk urladdning. Det bästa är en kombination av de två sätten, att både förhindra uppkomst av ESD och konstruera så att apparaten tål en eventuell ESD. Under produktion är inte elektroniken skyddad mot ESD. Det skydd som apparatlådan ger saknas vid montering av kretskort, komponenter har vid montering inte skyddet som ett kretskort ger. En produktionsenhet måste därför vara ESD skyddad dvs det får inte uppstå farliga elektrostatiska spänningar i en produktionsenhet.

Mätuppsättning för esd test.

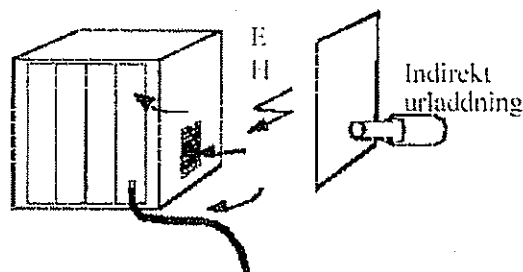


Figur 10-6 Placering av en apparat vid ESD testning

Vid ESD testning av en mindre apparat ska den placeras på ett bord av trä med metallskiva. Apparaten ska ha en isolation mellan sig och metallskivan. Under bordet ska det finnas ett referensjordplan som ESD-pistolen mm ska vara jordad till. Resistansen mellan referensjordplanet, och övriga delar såsom bordsskivan, ESD-pistol, testad utrustning, och den indirekta urladdningsplattan mm ska vara $470k\Omega$.

En större utrustning placeras på en 10 cm hög isolerad pall över referensjordplanet. Plattan för indirekt urladdning och övriga delar ska här också vara ansluten till jordplanet via ett $470k\Omega$ motstånd.

Indirekt urladdning.



Figur 10-7 Indirekt urladdning

Indirekt urladdning kan ge flera tusen V/m i elektriskt fält med ett snabbt förlopp. Detta snabba förlopp genererar också ett starkt magnetiskt fält. När dessa fält når kablar induceras strömmar och spänningar i dessa kablar. Kablar leder sedan dessa strömmar och spänningar fram till apparaten. Om inte störningarna tas omhand på rätt sätt följer den kabeln in till elektroniken i apparaten. Ett filter och/eller ett överspänningsskydd vid kabelns anslutning till apparaten hindrar störningen från en ESD att ta sig in i apparaten.

Fälten tar sig också in genom öppningar i en icke elektrisk tät låda. En apparat är öppen vid service, när kort är urtagna ur lådan eller dess hölje är öppnad för att komma åt inne i lådan. Som öppningar fungerar också t.ex. frontpaneler och andra täckplåtar som inte är rätt jordade. En icke jordad frontpanel överför fältet in i apparaten, med risk för störning som följd.

Om en apparat reagerar på indirekt urladdning kan man som första steg koppla bort alla kablar. Om apparaten inte reagerar för indirekt urladdning när kablarna är fränkopplade följer troligen störningen kablarna in i apparaten. Om apparaten fortfarande reagerar på indirekt ESD är troligen apparaten inte elektriskt tät t.ex. en frontpanel som är dåligt jordad.

En test med indirekt urladdning ger normalt en lägre stress på apparaten än vad en direkturladdning ger.

Olika komponenters känslighet för ESD.

TYP	VOLT
VMOS	30-1800
MOSFET	100-200
GaAs FET	100-300
EPROM	100
JFET	140-7000
SAW	150-500
OP-FÖRSTÄRKARE	190-2500
CMOS	250-4000
SCHOTTKY DIOD	300-2500
FILM MOTSTÅND	300-3000
BIPOLÄRA TRANSISTORER	380-700
ECL	500-1500
SRC	680-1000
SCHOTTKY TTL	1000-2500

Känsligheten hos IC-kretsar beror på flera olika faktorer såsom ledarbredden hos kretsen, ESD skyddet hos in- och utgången mm. Moderna kretsfamiljer har smala ledare, vilket ökar risken för smältskador. Hög packningstäthet gör att ledarna kommer nära varandra och att skikten blir tunna. Därmed ökar risken för överslag mellan ledare eller skikt. Många nya material, såsom GaAs, har sämre värmeledning och lägre värmekapacitet än kisel. Detta gör kretsar med dessa material mer känsliga för ESD än kisel. Moderna kretsfamiljer har oftast bättre ESD skydd på in- och utgångar än vad gamla kretsfamiljer har, vilket gör att de moderna kretsfamiljerna oftast tål mer ESD urladdning än vad gamla kretsfamiljer gör.

Felmekanismer hos ic-kretsar.

Primära felmekanismer av ESD är:

Dielektriskt genomslag: Detta är den vanligaste felorsaken för MOS-kretsar. Den orsakas av att spänningen över oxidskiktet överskrider den dielektriska genomslagsspänningen. MOS kretsars fel karakteriseras av kortslutning mellan ingång och någon av matningspinnarna. Felet kan också uppträda hos bipolära kretsar där metalliseringen passerar över ett aktivt område med ett tunt oxidskikt. Felet för de bipolära kretsarna karakteriseras av kortslutning eller hög läckström.

Termisk överhettning (sekundärt genombrott): Denna felmekanism orsakas av att kiset smälter och är i huvudsak en effektberoende felmekanism. ESD-pulsens form, varaktighet och energi påverkar uppvärmningen av kiset. Sekundärt genombrott är en vanlig felorsak hos bipolära kretsar. Felet karakteriseras av att kretsen slutar fungera eller strömförstärkningen i en transistor minskar (beta degradering). Speciellt transistorer med låg strömförstärkning är känsliga för beta degradering.

Metallsmältning: När en strömmen från en ESD flyter genom ledare i metallagret på en krets värms ledaren upp av effektutvecklingen i resistansen. Blir denna effektutveckling tillräckligt stor smälter metallen. Vid förgasning av metallen uppstår avbrott på ledaren och kretsen slutar fungera. Om endast delar av ledaren förstörs så är kretsen allvarligt skadad. Ledaren får sämre ledningsförmåga och är mer känslig för påverkan. Mer känslig för en ny ESD, inte lika tålig mot korrosion etc.

Parameterdegradering, latent fel: För varje ESD-puls försämras vissa parametrar hos kretsen t.ex ingångsströmmen ökar hos en op-förstärkare eller snabbheten hos en logikkrets sjunker. Den första ESD-pulsen kanske inte försämrar parametern så den hamnar utanför dess specifikation, men för varje ESD-puls försämras parametern och till slut hamnar den utanför sitt specificerade område. En ESD-puls kan orsaka skador som gör kretsen mindre tålig mot miljöpåverkan. T.ex kan en ledare i kretsen brännas nästan av pga en ESD-puls. Den kvarvarande resten av ledaren är smal och "rostar" snabbt sönder av miljöpåverkan.

Av de fel som orsakas av ESD är ofta de som ger parameterdegradering de mest kostsamma och besvärliga. Speciellt om de genereras under tillverkning. Försämrade parametrar och latent fel ger en dålig kvalitet på produkten. En produkt med en hög andel av ESD skador, med försämrade parametrar och latent fel, får en förkortad livslängd och försämrad funktion. Apparaten kan få dåligt ryckte och förlora i konkurens med andra apparater med kostnader som följd.

Åtgärder för att skydda sig mot ESD.

Skydd mot ESD skador bör ske enligt följande.

Förebygga uppkomst av statisk elektricitet. Förhindras uppkomst av statisk elektricitet så kan inga ESD skador uppstå.

Om statisk elektricitet finns, skydda apparaten från urladdningsströmmar. En apparat som inte tillåter att ESD tar sig in i apparaten, skyddas från skador. Vanligen överförs ESD till apparater vid beröring av händer, fingrar etc. Som beröringsskydd kan t.ex plast över metall utgöra. För tangentbord används ofta plastknappar som "petskydd" för kretskort och mekanik.

Skydda apparaten från sekundära effekter från ESD t.ex från indirekt urladdning.

Standard EN 100 015 beskriver krav som gäller för ESD skyddat område. Den beskriver:

Förpackning och märkning.

ESD skyddad arbetsplats, inkluderande arbete i fält.

ESD säker hantering av apparater och komponenter.

Konstruktion mot skador av ESD.

Personal utbildning.

Kvalitetskrav med kontroll.

ESD skyddat område.

All hantering av elektronik under tillverkning, service, lagerhållning mm, ska ske under ESD säkra förhållanden. Följande åtgärder minskar risken för ESD skador vid tillverkning, service och lagerhållning mm.

Ledande golv: Ett ledande golv bör ha en ytesistans av 10^4 till $10^9 \Omega/\text{kvadrat}$ och en resistans till jord av $750\text{k}\Omega$ till $1000\text{G}\Omega$. Vid denna ytesistans kan personalen använda ledande skor och behöver inte använda armband som skydd.

Är ytesistansen högre måste armband användas.

Antistatiska kläder och skor (armband): Finns ledande golv mm så ger det tillsammans med ledande skor ett fullgott ESD skydd. Saknas ledande golv behövs armband för att erhålla tillräckligt skydd.

Ledande arbetsbänkar och stolar. Arbetsbänkar bör ha en ytesistans 10^4 till $10^9 \Omega/\text{kvadrat}$ och en resistans till jord av $750\text{k}\Omega$ till $1\text{G}\Omega$, för att ge ett säkert skydd. Stolar ska ha ledande klädsel och ha elektrisk förbindelse med det ledande golvet. Stolarna ska ha en resistans till jord av $750\text{k}\Omega$ till $1000\text{G}\Omega$.

Antistatisk förvaring och transportmaterial.

Antistatiska verktyg, maskiner och apparater.

Avjoniserare i lokalen för att neutralisera laddningarna.

Luftfuktare.

Undvik material med lågt motstånd som metall då dessa material ger en snabb urladdning med hög ström. Använd icke metall i bänkskivor, transportlådor mm.

Jorda eller urladda, på ett kontrollerat sätt, material och utrustning som utsätts för gnidning eller förflyttning. En transportvagn t.ex har en gnidning i lager eller gummihjul som laddar upp vagnen, vilken måste avledas. Monteringsmaskiner får också en gnidning i lager.

Undvik material som laddar upp omgivningen. Vanlig tejp ger en hög uppladdning när tejp tas bort. Använd gummiband eller ESD-tejp istället.

Vid leverans bör ESD-påsar och andra ESD-skyddande material användas. Papper fungerar bra som yttre skydd, då papper i normalt fuktig omgivning har tillräcklig låg resistans.

En installation av utrustningen varierar från produkt till produkt. Sättet att skydda utrustningen från ESD beror på produkten.

All service måste ske på ett säkert sätt. Om inte omgivande miljön tillåter en säker service kan man skydda utrustningen genom att endast tillåta service av kvalificerad personal med egen skyddsutrustning eller på en ESD-säker plats.

Apparatskåp kan förses med en serviceskiva med ESD skyddande beläggning, armband och kontakter för jordning av lödkolv mm.

Process att höja ESD- skyddsnivå.

Kartläggning: Se över material, verktyg, hjälpmedel, arbetsmiljö, mental inställning, rutiner mm. Här går man igenom vilka verktyg som används. Hur transport mellan olika arbetsplatser, lager etc sker. Hur arbetsbänkar, stolar, golv, golv i angränsande rum etc är. Vilka personliga skydd finns, såsom handledsband, skor etc. Undersöka mental inställning till ESD hos personalen.

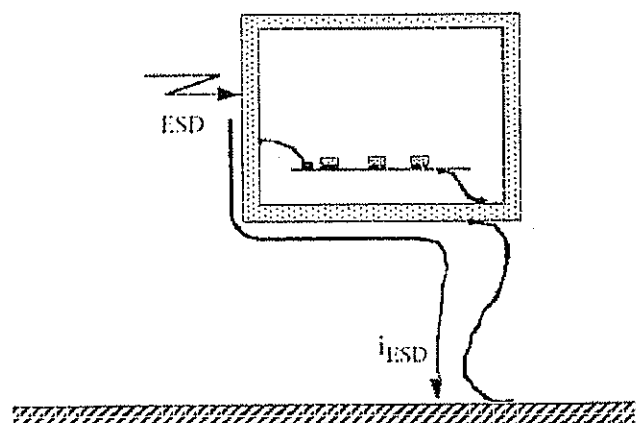
Fastställa rutiner: Lista de rutiner som ska tillämpas. Lista de åtgärder som behövs göras för att införa rutinerna. Detta kan gälla nytt ESD-säkert golv, nya ESD-säkra transportvagnar, inköp av skor etc. Vilken utbildning som behövs. Framtagning av ESD-manual.

Införa rutiner: Genomföra ombyggnader, inköp av material, skyddsmaterial, verktyg mm. Genomföra utbildning och träning.

Införa övervakning och kontroll: Se till att rutiner följs och att kontroll av material genomförs såsom beslutat. Detta är en viktig fas om man vill ha ett fungerande ESD- skydd även efter en tid. Det är lätt att slarva och återgå till icke ESD-säkra rutiner eller att bänkskivor, verktyg och annan materiel slutar att ge ESD- skydd pga smuts, felaktig behandling, slitage mm.

ESD skydd av apparater.

ESD skydd i en apparatlåda



Figur 10-8 ESD skydd i en apparat låda

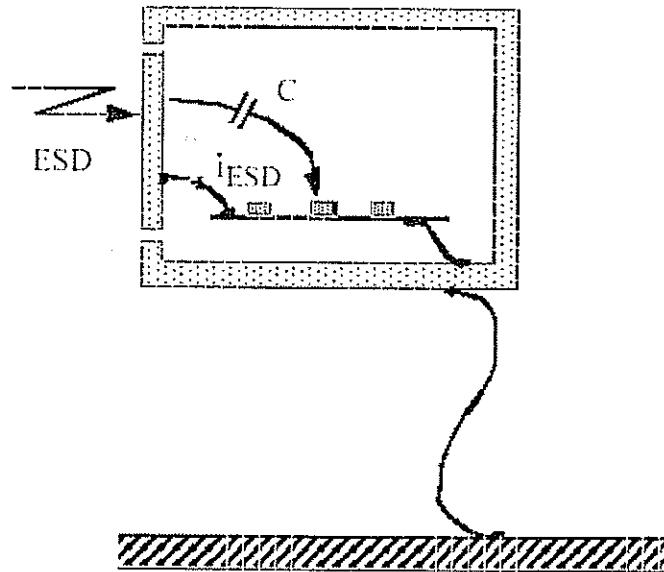
En Faraday's bur är elektriskt sett tät. Störningar har svårt att passera genom skalet som buren utgör. Yttre störningar blir kvar på utsida av buren och inre störningar blir inneslängda i buren.

ESD strömmar och andra snabba strömmar, genererade på utsidan, följer en elektriskt helt tät apparat på dess utsida ner till jord. Inuti apparaten har allt samma potential. En ESD puls kan därmed inte generera några farliga spänningar eller strömmar inne i apparaten. Alla förändringar som gör en apparat elektriskt inte helt tät kommer att försämra apparatens förmåga att klara ESD.

Det som gör elektriskt läckage i en apparat är t.ex skarvar i apparatlådan (frontpaneler, apparatlådans olika delar), öppningar (hål för kylluft, knappar), I/O-kablar, nätkablar mm.

När en ESD ström kommer in till elektroniken kan den skada eller störa apparaten. Grunden för skydd mot ESD är att förhindra att ESD-strömmen kan nå elektroniken.

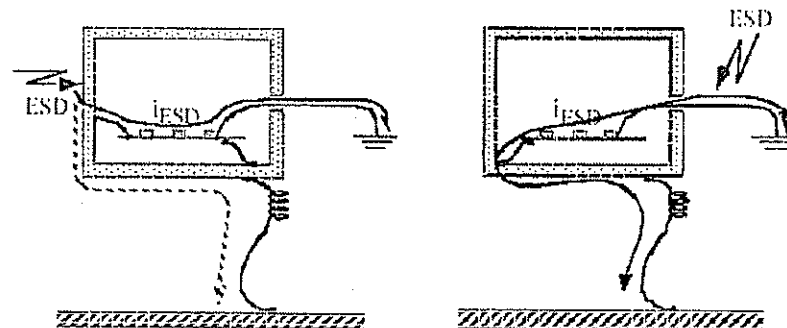
Effekten av en ESD- puls på en ej elektriskt tät apparat.



Figur 10-9 ESD - puls i en apparat

En apparat som inte är elektriskt tät kan inte avleda ESD pulsen på ett kontrollerat sätt. De delar som är dåligt jordade kommer att få en hög spänningsökning vid en ESD puls. Denna spänningsändring kan koppla kapacitivt till ledningar och kretsar inne i apparaten. Är en dåligt jordad del av apparaten ansluten till ett kretskort, t.ex via någon kabel, kommer strömmen från en ESD puls mot den dåligt jordad apparatdelen att avledas in till kretskortet via kabeln. Störningen kommer därmed in till elektroniken i apparaten.

ESD-puls koppling till ledare.

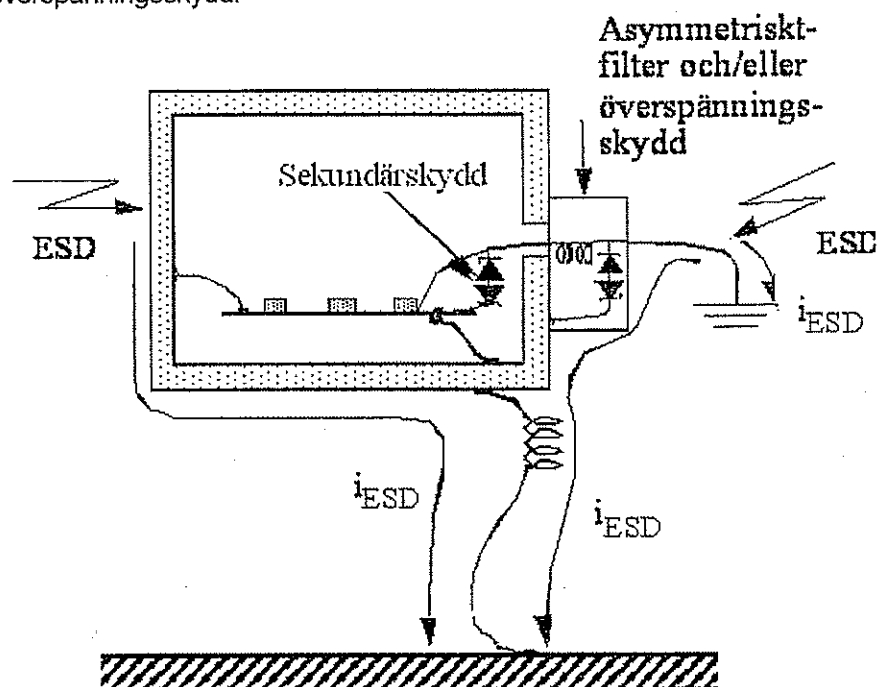


Figur 10-10 ESD - puls i leddare

Har apparatens normala jord en hög impedans i dess väg, t.ex jordning genom skyddsjorden i en nätkabel, så ger denna impedans en hög spänning mellan apparat och jord för en ESD puls mot apparaten. En ESD puls mot apparaten ger då apparaten en förhöjd spänning gentemot omgivningen. Denna förhöjda spänning ger asymmetriska (common) spänningar och strömmar i de kablar som går från apparaten. Tas inte dessa asymmetriska spänningar och strömmar om hand på rätt sätt kan de vålla störning eller skada på elektroniken i apparaten.

På motsvarande sätt kan ESD strömmar i kablar ta sig in i apparaten om kabeln inte har ett skydd som förhindrar att ESD strömmar tar sig in genom apparatens skärmande skal.

Skydd med filter/ överspänningsskydd.



Figur 10-11 Överspänningsskydd

Placeras ett filter så att det tar hand om den asymmetriska spänningen över signalkablar, blir apparaten elektrisk tät.

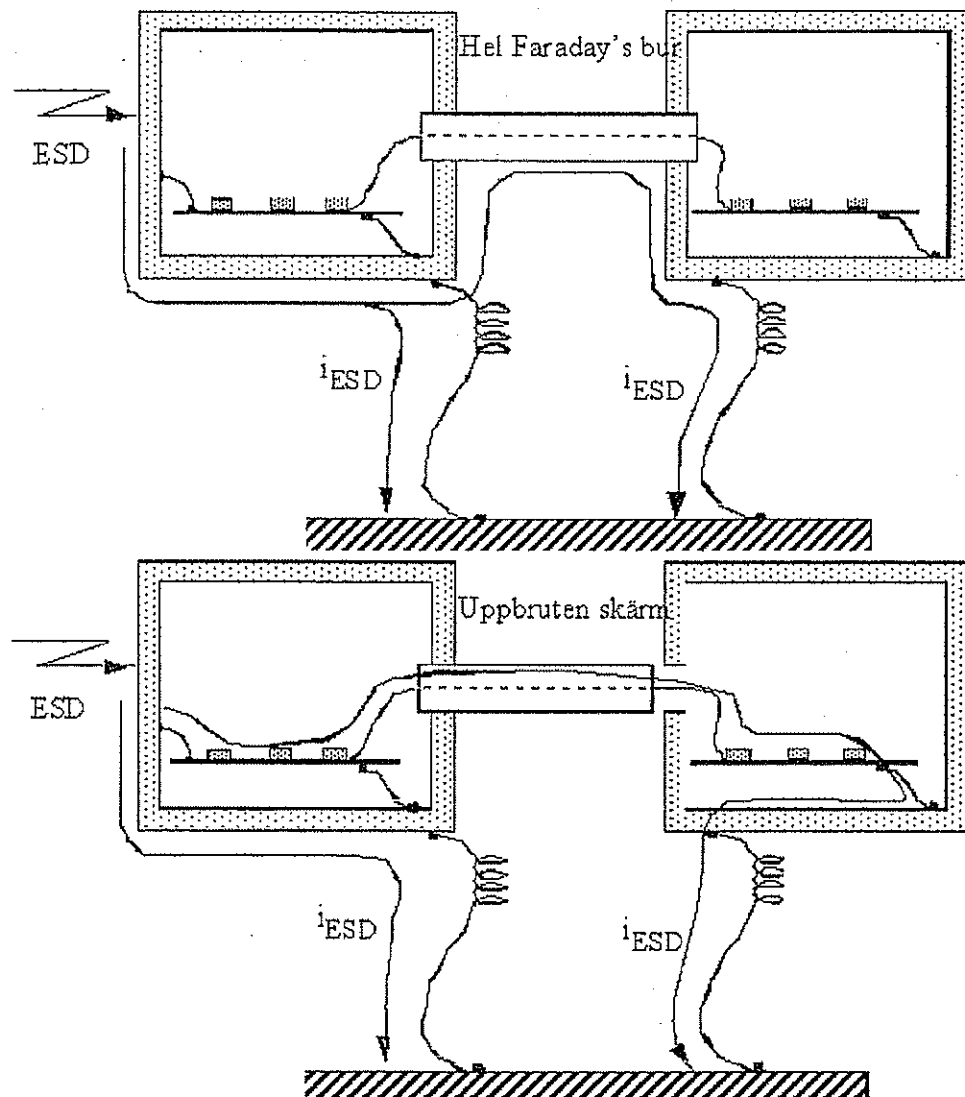
Asymmetriska spänningar som når apparaten kommer inte in i den utan spärras av filtret.

Hur bra skyddet mot ESD blir beror till stor del på hur bra filtret är att klara pulser samt dess dämpning av de frekvenser störningen har. Används shunt för att filtrera den asymmetriska störningen så bör filtret sitta på så sätt att filtret tätar lådan d v s vara monterad mot apparatens ytterhölje.

Om inte filtret tätar lådan så fås inte den täta buren som är önskvärd.

Ett filtret för ESD kan kombineras med ett överspänningsskydd för att öka skyddet mot ESD. Överspänningsskyddet kan även monteras utan filter. Överspänningsskyddet shuntar strömmar från kabeln till jord. Skyddet bör sitta monterat mot apparatens ytterhölje så att strömmarna kan flyta utanpå lådan och inte inne i lådan. Apparaten kan kompletteras med ett extra skydd (sekundärskydd) inne i apparaten som tar den del som läcker igenom det första skyddet (primärskyddet).

Skärmad kabel mellan apparater.



Figur 10-12 Placering av en skärmad kabel

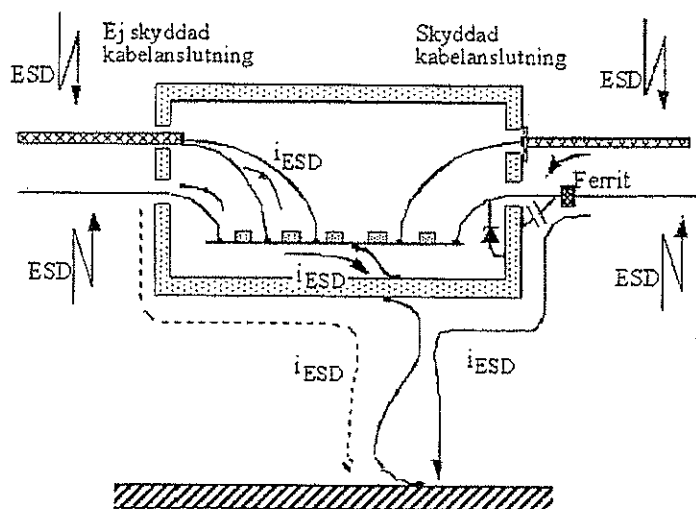
Används skärmad kabel där skärmen är elektrisk tät mot de båda apparaternas ytterhölje så bildas en gemensam bur. Innanför buren finns inga störningar från ESD. Detta förutsätter att kabeln är perfekt skärmad samt rätt ansluten till apparaten alltså utan 'pigtail' och andra dåliga anslutningar.

Kabelns skärmegenskaper kommer in som en begränsare i skyddet. Övergångsimpedansen (transfer impedance) hos kabelns skärm påverkar skyddet. En kabel med övergångsimpedans ger en spänning på signalledarna i kabeln som kommer från den ström som flyter genom skärmen. Är kabelns skärm inte rätt ansluten mot apparatens ytterhölje (t.ex. med pigtail) så ökar kabelns övergångsimpedans med störningar som följd.

Är skärmen bruten mellan apparaterna, t.ex. vid enpunktsjordning, så är Faraday's bur öppen. Störningarna kan flyta på signalledarna mellan apparaterna och därmed ta sig i till elektroniken.

ESD skydd av kablar.

ESD skydd av kablar.



Figur 10-13 ESD skydd av kablar

ESD mot en kabel ger strömmar åt båda hållen. Ena halvan av strömmen leds mot apparaten den andra halvan går åt andra hållet. Om strömmen som går åt andra hållet inte kan avledas, kommer också den att ledas in mot apparaten. Vid urladdning långt från apparaten kommer mycket av energin i ESD pulsen att övergå i värme pga förluster i kabeln, samt en filtrering av ESD pulsen så att strömmen sprids under en längre tid. En kabel har en ganska stor kapacitans mot omgivningen. När en ESD puls, som egentligen består av en laddningsmängd, träffar en kabel kommer denna laddning att ladda upp kabelns kapacitans. Alltefter det att pulsen utbreder sig genom kabeln kommer en del av den transporterade laddningen att gå åt till uppladdning av kabelns kapacitans. När ESD pulsen når apparaten är det en mindre mängd laddning som kommer fram, den övriga laddningen ligger kvar i kabeln. Efter det att pulsen nått apparaten kan den övriga laddningen som finns i kabeln ledas fram till apparaten. Detta ger en i tiden ett urladdningsförlopp av ESD som är längre, jämfört med en direkturladdning. Att avleda en laddning under en längre tid ger också en lägre ström.

ESD problem med kablar kan bero på att kabeln inte är skärmad, skärmen är dåligt jordad t.ex jordad med "pigtail", jordning av skärm inne på kretskort, dåligt filter etc. Alla dessa missförhållanden som en kabel kan ha gör att kabeln leder in delar av ESD strömmen in till elektroniken i lådan.

Skydd mot asymmetriska störningar i kablar vid ESD.

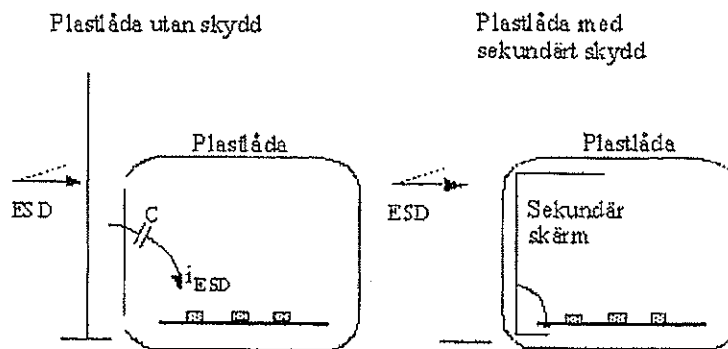
Avled kabelns skärm lågimpedivt till apparatens metallhölje, ingen 'pigtail'.

Avkoppla signaler till jord.

Asymmetrisk filtrering (common mode) av insignaler (ferrit).

Filtrera med lågpasfilter t.ex induktans och kondensator, ferrit och kondensator eller motstånd och kondensator. isolerad koppling t.ex med optokopplare transformator.

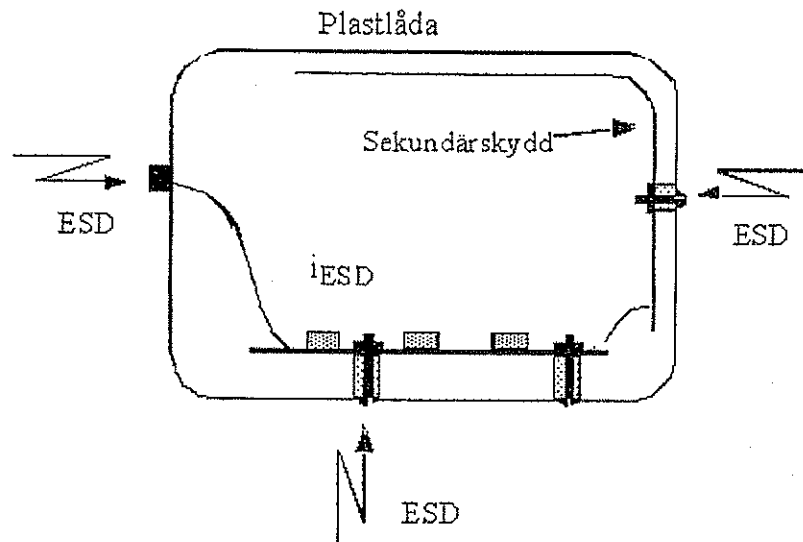
Kapacitiv koppling av ESD-puls till kretskort.



Figur 10-14 Koppling till kretskort

För en apparatlåda som inte är eller kan vara elektriskt tät kan få ett visst skydd från en skärmplåt. Plåten bör placeras mellan den känsliga elektroniken och där förmodad ESD urladdning kan tänkas ske. Detta skydd är inte fulländat, utan skyddar dåligt vid direkturladdning, den fungerar ofta bättre mot elektrostatiska fält. Skyddet klarar därmed indirekt urladdning bättre än direkt urladdning. Vid direkturladdning mot skärmen kommer strömmen att flyta från skärmen mot jord. Dessa strömmar kan ta sig in till elektroniken och störa eller skada elektroniken. För att undvika direkturladdning bör denna sekundära skärm vara skyddad mot direkt urladdning t.ex. med plast. Ett sekundärskydd som sitter innanför en plastlåda har ett sådant skydd.

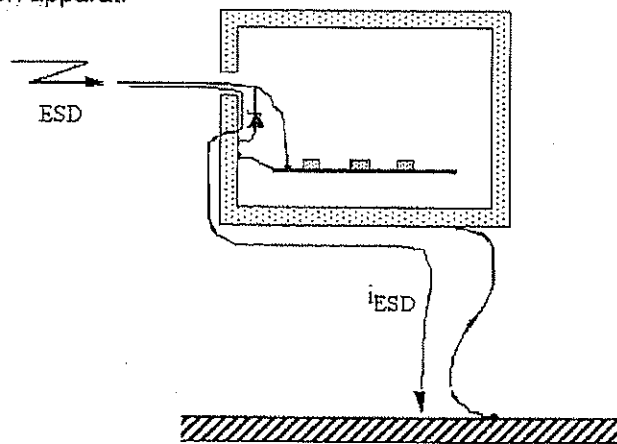
ESD puls in genom en plastlåda.



Figur 10-15 ESD - puls genom en plastlåda

En ESD ström kan ta sig igenom en plastlåda och därmed in till elektroniken genom olika vägar. Den vanligaste vägen är att en ESD urladdning som träffar don, komponenter etc, som sitter i lådans hölje, att denna ESD ström följer elektrisk förbindelsen till övrig elektronik i lådan. En annan väg är fästeanordningar för kretskort, mekanik etc leder in strömmar till elektroniken. Finns det en galvanisk förbindelse mellan elektroniken och t.ex en skruv som är elektriskt synliga från utsidan av apparatlådan, så kommer en ESD urladdning mot denna skruv att leda in strömmen till elektroniken. Även om skruven inte är galvanisk ansluten till elektroniken kan man få överslag mellan skruven och elektroniken.

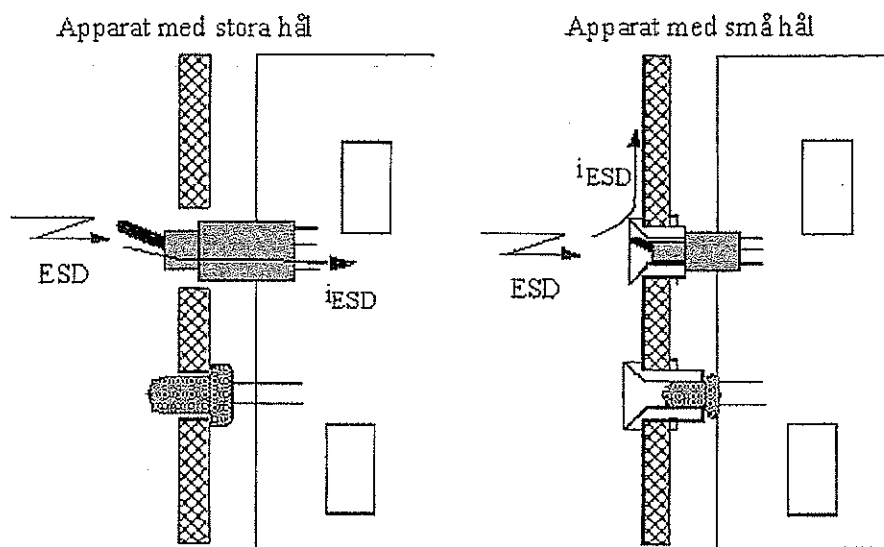
Avledning av ESD i en apparat.



Figur 10-16 Avledning av ESD

ESD strömmar ska stoppas så tidigt som möjligt samt ledas ut ur apparaten igen så fort som möjligt. Filter ska avleda störningen direkt vid apparathöljet och förhindra att den kommer in på kretskortet. De strömmar som tar sig förbi ett filter och kommer in till kretskortet, och tas i ett sekundärt skydd, ska ledas tillbaks till höljet nära den plats där strömmen kom in på kretskortet. På detta vis får störströmmen flyta på en så liten del av kortet som möjligt. Om i stället förbindelsen finns endast på andra sidan av kortet så måste ESD strömmen passera hela kortet på sin väg till jord.

Komponenter i panel.

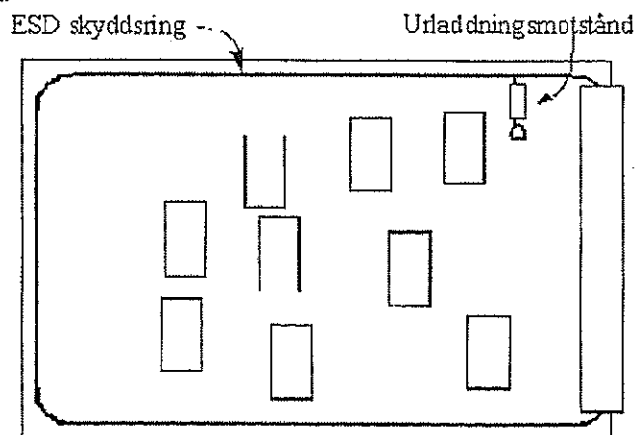


Figur 10-17 Komponenter i en panel

Komponenter som sitter anslutna i apparathöljet kan leda in ESD-strömmar in till kretskortet. Komponenter som sticker ut på utsidan av panelen har stora möjligheter att fånga upp en ESD. När en ESD träffar en komponent så följer strömmen komponenten in till kortet.

Stora hål i paneler ger dåligt skydd mot ESD, då ESD kan passera genom öppningen och träffa någon komponent eller ledare innanför panelen. Hål i panelen gör det möjligt för fält från indirekt urladdning att ta sig in i apparaten. En ESD ska träffa panelen och ledas bort på utsidan av apparaten på detta sätt förhindras strömmen från att ta sig in till elektroniken. Monteras komponenter så långt bakom panelens framsida som det är möjligt, minskas möjligheten för ESD att träffa komponenten istället för panelen. Sätts metallkragar runt komponenter minskas möjligheten ytterligare att få in ESD in i apparaten, dels genom att hålet minskar och att mängden metall ökar kring komponenten. Om en metallkrage ska göra nytta så måste den var jordad. Den bästa jordningen är i frontpanelen, så att en ESD mot kragen kan avledas på utsidan av apparaten (se upp med eloxerad aluminium). Kan inte säker jordning ordnas mot frontpanelen måste kragen jordas på ett säkert sätt på kretskortet.

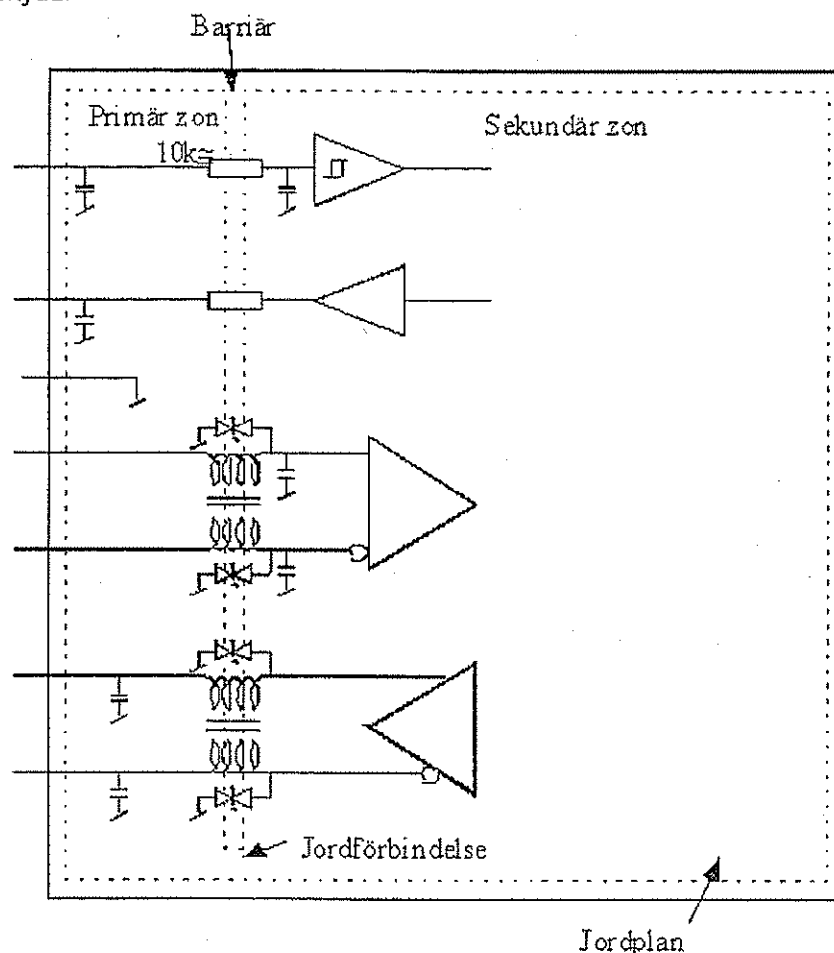
Skyddsring på kretskort.



Figur 10-18 Skyddsring på kretskort

Vid hantering av kort t.ex vid service, finns det risk att det blir en urladdning mot kortet. Vid byte av kort, i en apparat, greppar man vanligen i kortets ytterkant där då urladdningen sker. Om en ledande ring läggs runt kortet kommer urladdningen att ske till denna ring och man undviker att få ESD strömmar in på kortet. Denna ring måste vara öppen och kunna ge kontakt med fingrar alltså inte belagd med lödstoppsmask. Urladdningen av ringen mot kortets jord bör ske genom ett motstånd på $100\text{k}\Omega$ till $1\text{M}\Omega$ för att få en kontrollerad ström.

Zonindelning, skydd.



Figur 10-19 Zonindelning

Att dela upp konstruktionen i zoner gör det möjligt att införa barriärer. Filter och/eller överspänningsskydd läggs över dessa barriärer och hindrar därmed störningar att ta sig från en barriär till nästa. Zonerna ska i den mån det går 'isoleras' från varandra, signalvägarna kan i många fall filtreras bra medan jordar kan vara svårare att 'isolera' från varandra. Med isolering menas i detta sammanhang att impedansen är så hög att störningarna har svårt att ta sig från en zon in till nästa. Bilden ovan visar några exempel på filter och överspänningsskydd för inkommande signaler. Zonernas jordar sitter samman med en smal ledare. Om möjligt bör den primära zonens jord kopplas till omgivningen så att strömmarna från störningar kan återföras till källan utan att passera den sekundära zonen. Om störströmmar måste passera den sekundära zonen så förloras mycket av skyddet.

Det översta exemplet har en RC-länk som filter. RC-länken filtrerar den högfrekventa delen av signalen medan släpper igenom den lågfrekventa. Motståndet är lagd över barriären, därmed fås en hög impedans för signalen mellan de två zonerna. Kondensatorn efter motståndet är jordad i samma jord som mottagaren så att båda har samma referens. Signalen är också filtrerad med en kondensator till jord direkt vid donet eller vid kabeln för den inkommande signalen. Denna kondensator ger ett första skydd mot överspänning såsom ESD. Skyddet och filtret har lågpasskaraktär som gör det svårt att använda detta filter för snabba signaler. Efterföljande mottagare av signalen bör vara av typen schmitttrigger så att inte oscillering uppstår vid omslag pga den långsammare flanken efter filtret.

Den undre ingången visar ett skydd för differential ingång. Här används en balun som strömbegränsare före över-spänningsskyddet (transorb). Balunen är placerad över barriären, som impedans för asymmetriska (common) störningar, mellan de två zonerna. Transorben går in och begränsar överspänningar. Strömmen genom transorben återförs till den primära zonen, på så sätt begränsas störningens möjlighet att komma in i den sekundära zonen. Efter balunen finns en kondensator per signal, denna kondensator fungerar som filter. Dessa kondensatorer är kopplade till den sekundära zonens jord så att filtret och mottagaren får samma referens. Detta filter fungerar för högre frekvenser än vad RC-länken ger då balunen har en låg impedans för symmetrisk (differentiella) signaler. Kondensatorn begränsar bandbredden för signalen och ska signaler med hög bandbredd användas så måste kondensatorerna avlägsnas. Transorber har en hög kapacitans och kan inte denna kapacitans accepteras så kan transorberna bytas mot backspännda dioder. En backspännd diod har en mycket lägre kapacitans än vad en transorb har.