

F12 ESD

- Modeller av **elektrostatisk urladdning**
- Indirekta urladdningar
- Åtgärder
- Skyddat område
- Avledning av ESD

[Kap 10 i kompendiet]

EMC Elektronik

ESD – en två- eller trestegsprocess

- Laddningar på isolator
- Laddningstransport till en isolerad ledare
 - direktkontakt
 - induktion
- Urladdning mellan ledare



EMC Elektronik

ESD – "ElektroStatic Discharge" (elektrostatisk urladdning) är oftast en trestegsprocess:

1. Uppladdning av en isolator
2. Laddningsöverföring till en isolerad ledare
3. Urladdning mellan ledare (med olika laddning)

Om två bitar av olika isolationsmaterial läggs ihop eller ännu bättre, gnids mot varandra, överförs elektroner från det ena materialet till det andra. Den värme som uppstår vid gnidningen är en orsak till att det finns lediga elektroner på ytan av isolatorn. Hur mycket laddning, dvs. hur många elektroner, som överförs beror på många faktorer. Några av dessa faktorer är fuktighet, temperatur, gnidningsenergi, kontakttryck, renhet, ytornas jämnhet och material.

Den mest avgörande faktorn är vilka material som ingår i processen. Olika material har olika stor förmåga att avge respektive uppta elektroner under gnidning. Man kan rangordna olika material i en ”gnidningstabell”, den s.k. triboelektriska serien (Tribo – grekiska för gnidning).

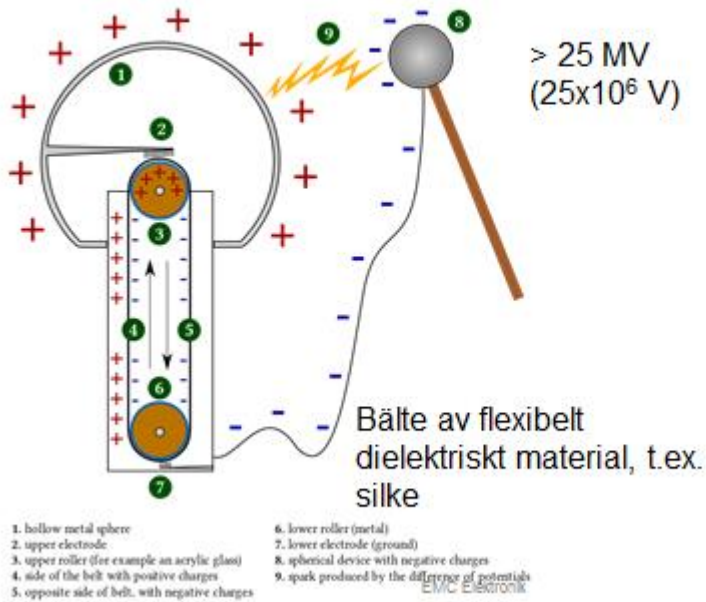
Triboelektriska serien • En triboelektrisk serie är en rangordning av olika materials förmåga att behålla (-) eller avge (+) elektroner. • Serien har tagits fram genom att gnida olika material mot varandra. EMC Elektronik	
+	Asbest
	Hand (torr hud)
	Glas
	Människohår
	Nylon
	Ylle
	Silke
	Aluminium
	Papper
	Bomull
	Stål
	Trä
	Hårdgummi
	Koppar, Nickel
	Polyester
	Orlon
	Polyuretan
	Polyeter
	Polypropen
	Polyvinylklorid
	Kisel
-	Teflon

Materialen längst ner på listan tar åt sig flest elektroner och blir negativa medan materialen högst upp på listan avger lättast elektroner och blir positiva under gnidning.

Exempelvis blir uppladdningen större för kombinationen kisel och nylon än för trä och papper. Om man gnider papper mot nylon blir pappret negativt laddat medan om man gnider papper mot orlon blir pappret positivt laddat.

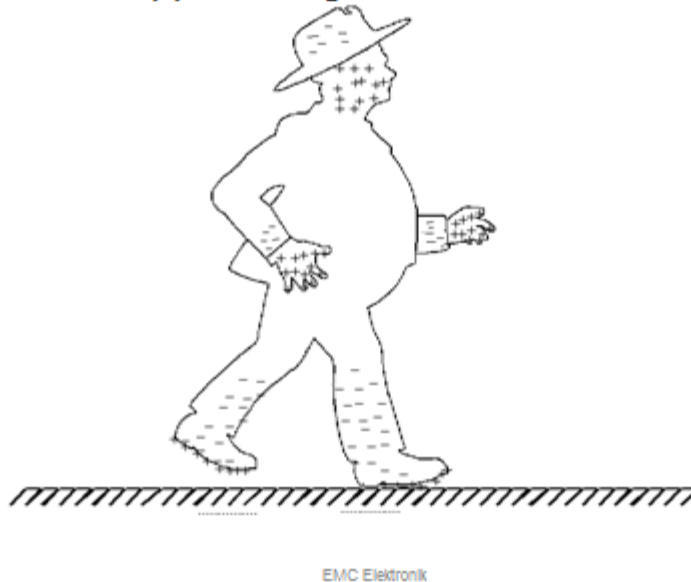
Uppladdningen sker lokalt på isolatorerna eftersom dessa inte leder strömmen vidare.

Van de Graaff Generator



Man kan utnyttja den Triboelektriska effekten till att ladda upp elektroder till enorma spänningar med en Van de Graaff Generator.

Uppladdning av en människa



Klädval eller materialet i tyget samt luftfuktighet har avgörande betydelse för hur laddningar uppstår och omfördelas på kroppen. Syntettyg som nylon ger ofta höga spänningspotentialer jämfört med bomull.

Separation

Vid separation av två material som gnidits mot varandra uppstår en potentialskillnad (=spänning) mellan dem. Potentialskillnaden är direkt proportionell mot laddningens storlek och omvänt proportionell mot kapacitansen mellan materialen.

Separation

Contact + Friction + Separation

$U = \frac{Q}{C}$

$U = \frac{Qd}{\epsilon A}$

Plattkondensator: $C = \frac{\epsilon A}{d}$

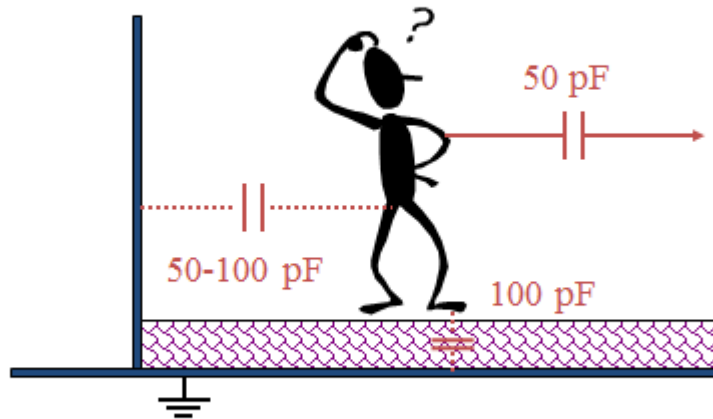
Ex: $Q = 1 \mu\text{C}$, $C = 100 \text{ pF} \Rightarrow U = 10 \text{ kV}$

EMC Elektronik

$U = Q/C$ och eftersom $C = \epsilon A/d$ för en plattkondensator fås $U = Qd/\epsilon A$. Spänningen ökar alltså proportionellt mot avståndet d .

Till exempel kan $1 \mu\text{C}$ laddning ge 10 kV potentialskillnad om kapacitansen är 100 pF vilket är ungefär samma kapacitans som människokroppen har mot jord.

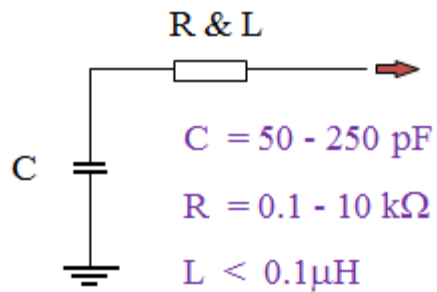
Människokroppens kapacitans



EMC Elektronik

Människokroppens kapacitans kan variera beroende på många olika faktorer. Därför brukar man denna anges som gränsvärdena i bilden.

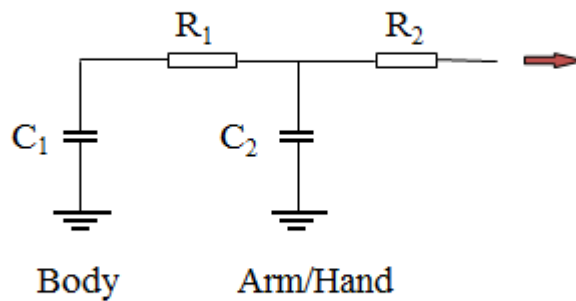
ESD-modell för människokroppen



EMC Elektronik

Det finns som sagt både enklare och mer komplicerade modeller av människokroppen. Detta är en enkel uppskattning av typiska R , L och C värden.

ESD-modell för människokroppen



EMC Elektronik

Denna modell har fler komponenter för att beskriva människokroppen.

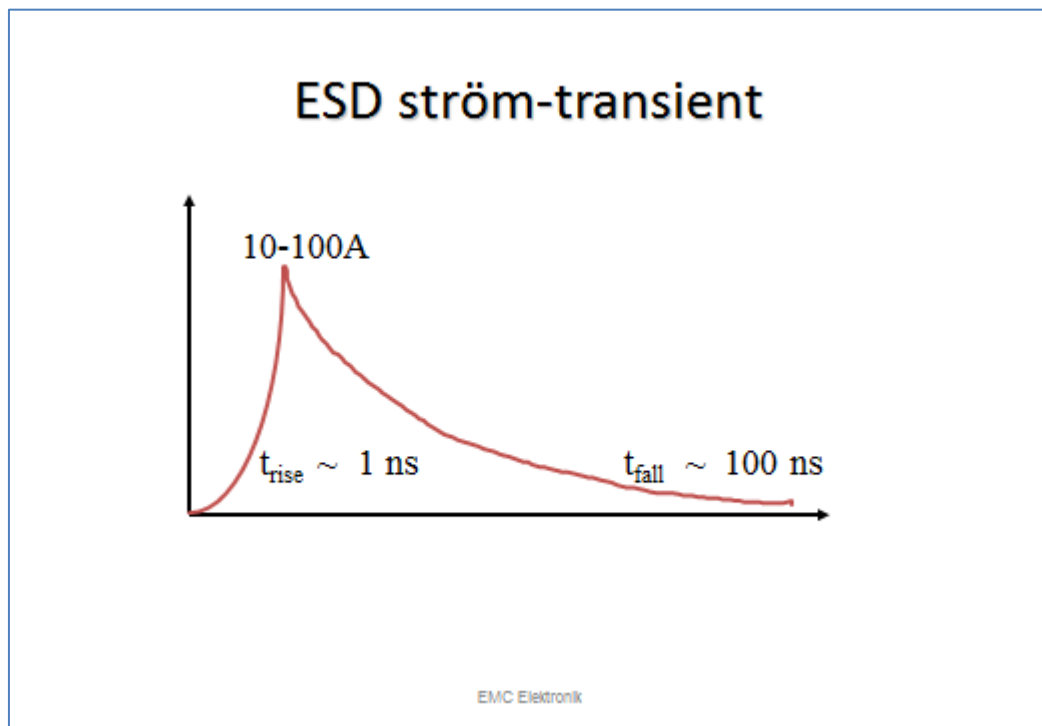
Uppmätta värden på elektrostatisk uppladdning

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

EMC Elektronik

Uppladdningen kan vara mycket stor som exemplen i tabellen visar.

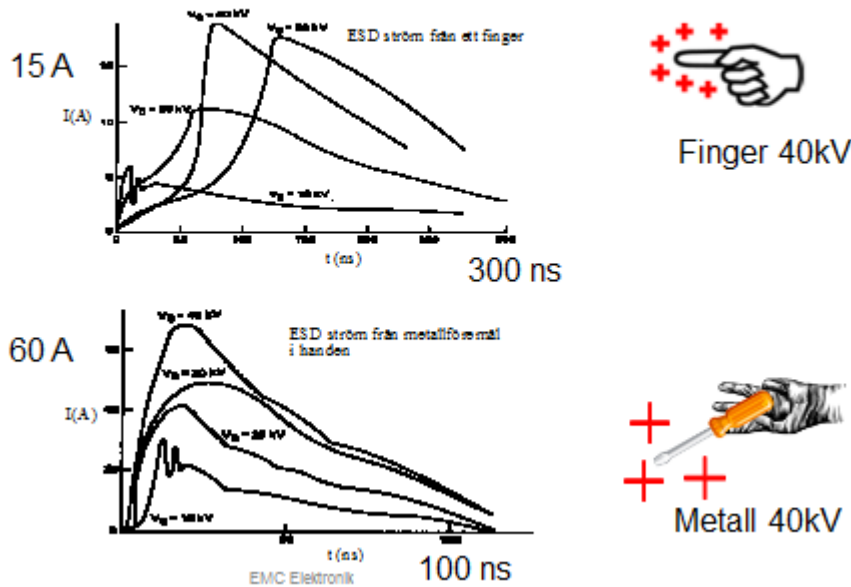
Urladdning



En urladdning mellan isolatorer är inget problem i sig eftersom dessa inte leder någon elektrisk ström. Men sker urladdningen genom ledare och komponenter kan det leda till stora skador. Speciellt om någon del av metallen är i förbindelse till jord.

Den laddningstransport som uppstår vid en urladdning kan också inducera spänningar i ledare i närheten vilket kan störa eller skada elektronik.

ESD-ström från ett finger och metallföremål i handen

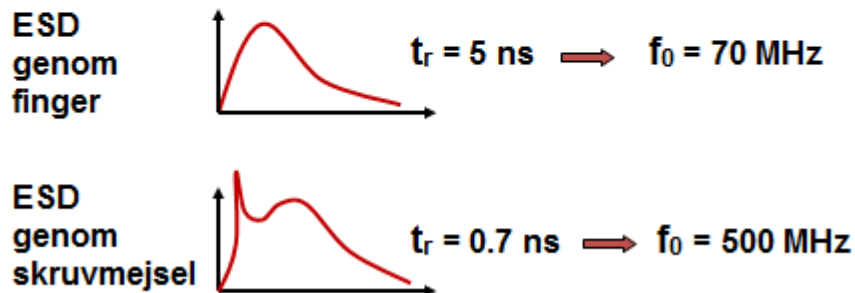


Är avståndet, luftfuktigheten, hastigheten eller andra faktorer den rätta kan en urladdning ske. Observera att en urladdning lägre än ca 3500 V inte kan upptäckas av människan (varken ses eller höras) men den kan skada apparatur och komponenter!

Urladdningsförloppet är liknande det som tidigare beskrivits i kapitlet "kontaktskydd".

Tid/frekvens karakteristik

En puls med stigtiden t_r har ett bredbandigt spektrum med frekvenser upp till ca. $f_0 = 1/\pi \cdot t_r$



Olika komponenters känslighet för ESD

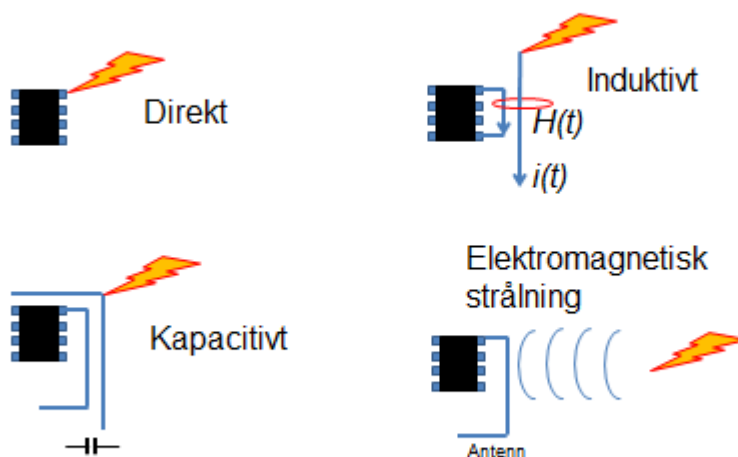
Typ av elektronik	Max ESD Spänning (V)
VMOS	30 – 1800
MOSFET	100 – 200
EPROM	100
JFET	140 -7000
OP förstärkare	190 – 2500
CMOS	250 – 4000
Schottky diod	300 – 2500
Filmmotstånd	300 – 3000
Bipolära transistorer	380 – 700
Schottky TTL	1000 – 2500

EMC Elektronik

Det är stora olikheter mellan hur känsliga komponenterna är för ESD. De mest känsliga är oskyddade FET-transistorer och minneskretsar, medan bipolära kretsar är lite tåligare. Komponenter monterade i en konstruktion är i regel mindre känsliga än när man hanterar lösa komponenter.

ESD-urladdning kan vara skadligt direkt eller indirekt för apparatur.

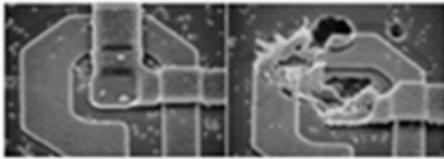
ESD påverkan på en krets



EMC Elektronik

Skador pga ESD

- Dielektriskt genomslag
 - Kortslutning, läckning
 - Drabbar ofta MOS-kretsar
- Termisk överhettning
 - Kisel smälter
 - Beta degradering (transistor)
- Metalledare smälter
 - Avbrott
 - Sämre ledningsförmåga
- Parameterdegradering
 - Ingångsström till OP ökar
 - Långsammare logik
 - Läckströmmar uppstår
- Latenta fel
 - **Inträffar lång tid efter ESD**

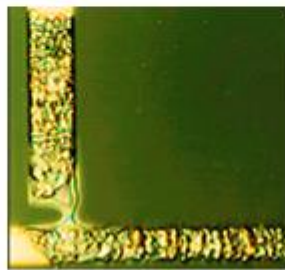
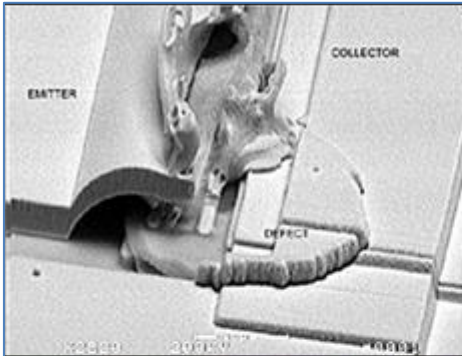


EMC Elektronik

Observera att latent fel är värst. De kan förkorta livslängden och är svåra att upptäcka.

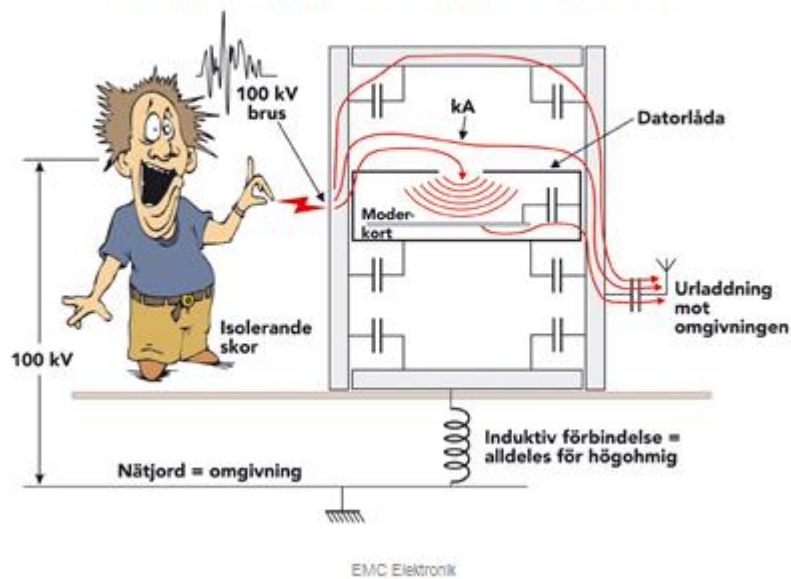
ESD-skador på integrerade kretsar

Ser närmast ut som luftangrepp på en stad. Gnistan slår upp stora hål i kiset och material sprutar omkring.



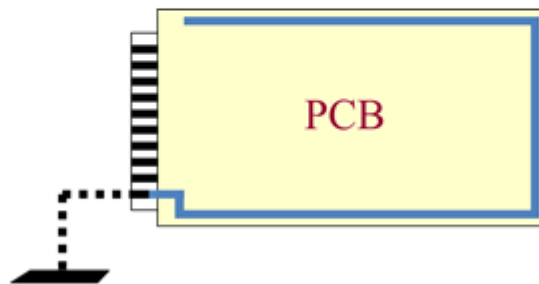
EMC Elektronik

ESD skadar trots skärm



Skydd av kretskort (PCB)

En skyddsring runt ett PCB kan skydda mot ESD skador vid hantering av kortet.



EMC Elektronik

ESD skydd

- Förebygger uppkomst av statisk elektricitet
- Skyddar apparaten för urladdningsströmmar
- Skyddar apparaten för sekundära effekter (t.ex. indirekt urladdning)

ESD-skyddad arbetsplats

- Ledande golv ($10^4 - 10^9 \Omega/\text{m}^2$)
 - 750 k Ω till 1 G Ω till jord
 - ESD-skor tillräckligt om ESD-golv
- Antistatiska
 - kläder och möbler
 - verktyg, maskiner
 - förvaring och transport
- Avjoniserare och luftfuktare (>85%)

EMC Elektronik

Att förebygga statisk elektricitet

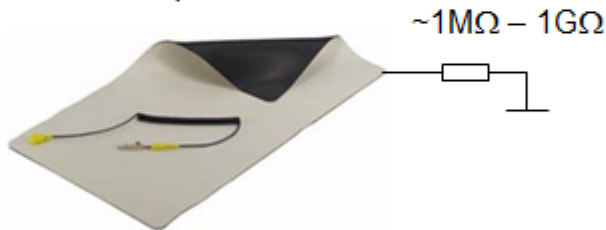
- Ledande golv
 - Ytresistans $10^4 - 10^9 \Omega/\text{m}^2$
 - Resistans till jord 750 k Ω - 1 G Ω
- Antistatiska kläder och skor, armband
 - Finns inte ledande golv och skor måste man ha armband
- Ledande arbetsbänkar och stolar
 - Arbetsbänkar med ytresistans $10^4 - 10^9 \Omega/\text{m}^2$ och resistans till jord 750 k Ω - 1 G Ω
- Antistatisk förvaring och transport
 - Speciell plast med resistans på max $10^{12} \Omega/\text{m}^2$ mot annars vanliga $10^{14} \Omega/\text{m}^2$ så att laddningar snabbt fördelas jämnt över hela ytan.
- Antistatiska verktyg, maskiner och apparater
- Avjonisering av lokalen
- Luftfuktare
- Undvik material med lågt motstånd som metall då dessa ger en snabb urladdning med hög ström
- Jorda eller urladda på ett kontrollerat sätt de material och utrustning som utsätts för gnidning. (Monteringsmaskiner kan ge gnidning i lager och skenor)
- Undvik material som laddar upp, t.ex. tape. Använd ESD-tape!
- Utför service på kontrollerat sätt!

Exempel

På en printer gnids pappret mot gummi (band eller hjul) och laddas upp. Därför har man ofta trådgardiner eller jordade rollers för att ladda ur pappret till jord.

Enklare ESD-skydd

- Höghohmig jordning av ESD från kroppen
 - ESD-band på handled
 - ESD-matta på bordet



- Varning för metall och låghohmig resistans till jord!

EMC Elektronik

När man inte har tillgång till bra lokaler kan man skydda sina kretsar genom att använda ESD-band och ESD-matta. Lägg inte kretsarna direkt på en jordad plåt!

Noggrann uppmärkning av område



ESD-armband och ESD-skor



Skydd av kretsar, IC



- Metallicerad plastpåse eller komponenthållare kan skydda känsliga integrerade kretsar under transport och lagring



jxdz.en.alibaba.com

EMC Elektronik

Det bästa sättet att skydda apparater och komponenter för urladdningsströmmar är att ha dem i en "Faraday's bur". Se kapitlet om skärmning! Detta är förstås orealistiskt.

Transport och lagring av komponenter



Lösningen är i stort sett samma som vid skärmning mot elektromagnetiska vågor. Direkt urladdning genom elektroniken skyddar man sig mot med skärmning och jordning.

ESD verktyg är bra!



EMC Elektronik

Standard IEC 61340-5-1

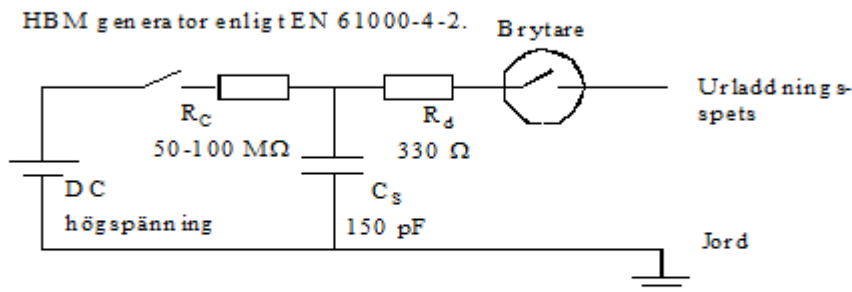
Protection of electronic devices from electrostatic phenomena

- The electrostatic protected area (EPA) including requirements for protective equipment, construction of the EPA, working practices, and field work
- Grounding and bonding systems
- Personal grounding
- Training requirements
- Compliance Verification (test, measurement and auditing)
- ESD protective packaging
- Marking

EMC Elektronik

Det finns europastandarder som beskriver hur man skall skydda sig mot ESD.

Modell för elektrostatisk urladdning.



EMC Elektronik

För att testa skyddet använder man sig av en standardiserad elektrostatisk "pistol".

ESD-testning



EMC Elektronik

Räknetal

- En person som går på ett PVC-golv laddas till 5 kV. Han tar sin skruvmejsel för att trimma en pot på ett jordat kretskort. Vilken största ström går genom kortets komponenter?
- Efter hur lång tid har strömmen halverats?

$$C = 200 \text{ pF}$$
$$R = 500 \, \Omega$$



EMC Elektronik

Lösning

Enligt ohms lag

$$I = U / R$$

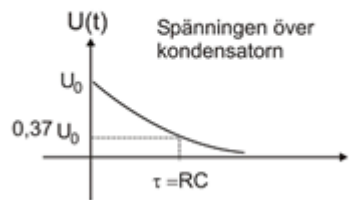
fås att den initiala strömmen

$$I_0 = U_0 / R = 5 \text{ kV} / 500 \Omega = 10 \text{ A}$$

$$\tau = 100 \text{ ns}$$

Sedan avtar strömmen exponentiellt och tidskonstanten bestäms av R och C:

$$i(t) = I_0 e^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow 0,5 = e^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow \ln(0,5) = -\frac{t}{RC} \Rightarrow t = 69 \text{ ns}$$

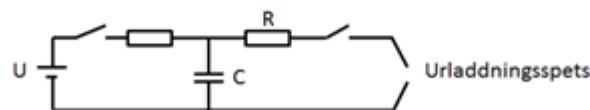


EMC Elektronik

Övning

Enligt EN61000-4-2 skall generatoren för ESD-testning se ut som i figuren, där $R = 330 \Omega$ och $C = 150 \text{ pF}$.

Beräkna kortslutningsströmmen vid $t = 0$, $t = 30 \text{ ns}$ och $t = 60 \text{ ns}$ efter brytarens slutning när kondensatorn C är uppladdad till $U = 4 \text{ kV}$.



EMC Elektronik

Lösning

Vid $t=0$ är spänningen över C och R:

$U(0) = 4\text{kV}$, och strömmen

$$i(0) = U(0)/R = 4\text{kV} / 330\Omega = \underline{12,1\text{A}}$$

Allmänt gäller vid urladdning: $u(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

$$u(30\text{ns}) = 4 \cdot 10^3 \cdot e^{-\frac{30 \cdot 10^{-9}}{330 \cdot 150 \cdot 10^{-12}}} = 2,18\text{ kV}$$

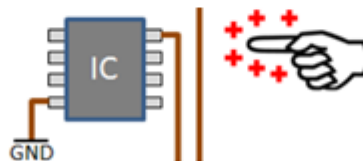
$$\Rightarrow i(30\text{ns}) = u(30\text{ns})/R = \underline{6,6\text{A}}$$

$$u(60\text{ns}) = 1,19\text{kV} \Rightarrow i(60\text{ns}) = \underline{3,6\text{A}}$$

EMC Elektronik

Tentatal ESD

När olika material gnids mot varandra kan statisk elektricitet uppstå på ytorna. Detta kallas ibland för triboelektrisk effekt. När en uppladdad yta, t.ex. ett finger, närmar sig en komponent på ett kretskort kan en urladdning ske, vilket kan skada den eller dess funktion allvarligt. Nämn fyra olika sätt på vilka en elektrostatisk urladdning (ESD) kan påverka kretsen!



EMC Elektronik