

## De ESD-veilige ruimte, wirwar van weerstanden

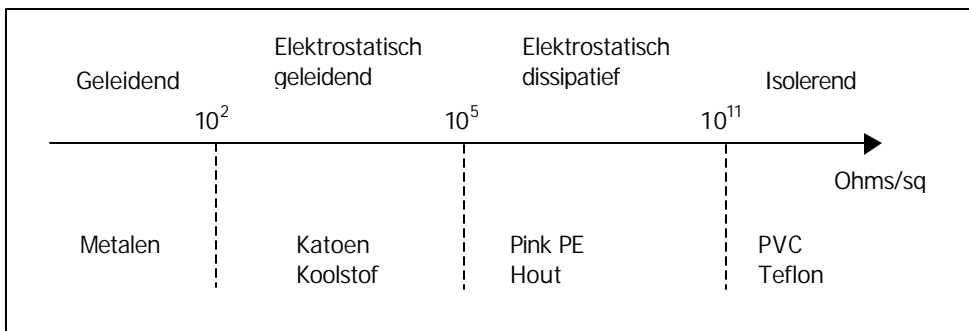
In het kader van ESD-veilig werken publiceert EMC/ESD Praktijk een reeks artikelen van de hand van ESD-consultant Jeroen Kaak. Hij is onder meer betrokken bij de implementatie van het ESD-programma bij ASML.

Ing. Jeroen Kaak, projectmanager InterFour

Voor een ESD-veilige ruimte, ook wel EPA (ESD Protected Area) genoemd, gelden maar twee belangrijke regels voor de inrichting:

- \* alles wat isolerend is moet worden verwijderd, afgeschermd of vervangen
- \* alles wat geleidend is moet op één potentiaal worden gebracht

We spreken van isolerende materialen als de oppervlakteweerstand hiervan groter is dan  $10^{11}$  ohm/sq (100 GOhm). Voorbeelden hiervan zijn PVC en Teflon. Geleidende materialen hebben een oppervlakteweerstand die kleiner is en ze hebben de eigenschap dat een eventuele elektrostatische lading zich evenredig over het oppervlak verdeelt. Geleidende materialen zijn, net als isolatoren, in staat om zich op te laden en de mate van ontladingsnelheid is sterk afhankelijk van deze oppervlakteweerstand. In afbeelding 1 is de materiaalverdeling weergegeven zoals die in ESD-normen, zoals de IEC61340-5-1, wordt gespecificeerd.



Afb. 1. Materiaaleigenschap op basis van oppervlakteweerstand

Het komt er dus op neer dat in een EPA alles geleidend moet zijn, op één of andere manier geaard is of in verbinding staat met aarde. Met aarden wordt het 0 Volt-potentiaal bedoeld dat overal voorhanden is, zoals bijvoorbeeld de veiligheidsaarde. Tevens moet er aan de veiligheid van de mens worden gedacht. Hiervoor worden de landelijke veiligheidsnormen gehanteerd, in Nederland is dit de NEN 1010. In deze norm staat dat in een ruimte waar een open spanning aanwezig is de geleiding van bijvoorbeeld een ESD-vloer naar aarde niet lager mag zijn dan 50 kOhm.

### Mens is boosdoener

De grootste boosdoener van elektrostatische ladingen is nog steeds de mens. De meest essentiële voorzorgsmaatregel is dan ook de polsband die er voor zorgt dat eventuele ladingen direct worden afgevoerd. Enige restrictie hierbij is dat deze polsband op de huid gedragen moet worden en verbonden is met aarde. Maar er zijn nog meer persoonsgebonden maatregelen te noemen zoals:

- \* geleidende schoenen of hielaarding;en;
- \* speciale ESD-kleding voorzien van geleidend garen;
- \* geleidende handschoenen.

De discussie rondom het gebruik van een polsband (die de bewegingsvrijheid beperkt), als een ESD-programma wordt ingevoerd, wordt steeds opnieuw gevoerd. De gedachte heerst nog altijd dat, als ESD-schoeisel wordt gedragen, uiteraard in combinatie met een geleidende vloer, dat dit de polsband overbodig maakt. In de hierop volgende benadering lijkt deze stelling te kloppen, maar er doen zich hierbij wel een aantal zaken voor die in ogenschouw moeten worden genomen.

### Metingen in een EPA

De voornaamste metingen die jaarlijks tijdens een auditcontrole terugkomen zijn weerstandsmetingen van meubilair en vloeren door een specialist, ook wel ESD-coördinator genoemd. De dagelijkse controle van polsbanden en schoeisel moet door het eigen personeel worden uitgevoerd en hiervoor is vaak speciale meetapparatuur aanwezig.

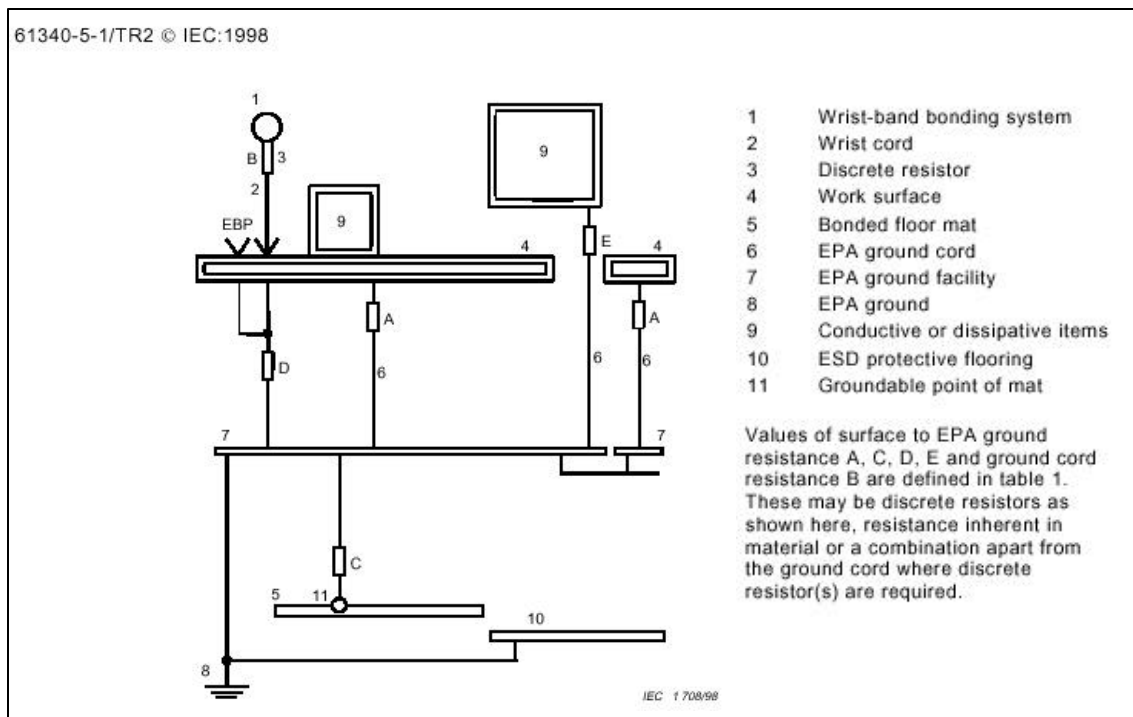
De metingen aan meubilair en vloeren zijn als volgt te verdelen:

- \* resistance to ground (R<sub>g</sub>), weerstandswaarde tussen object en aarde (vloer, tafel, stellingen);
- \* surface resistance (R<sub>s</sub>), oppervlakteweerstand van één specifiek materiaal (vloer, tafelblad);
- \* volume resistance (R<sub>v</sub>), weerstand van het object zelf (dikte van vloer, stoel).

Deze metingen kunnen niet met een normale weerstandsmeter worden uitgevoerd. Hiervoor is een meetspanning nodig van meer dan 500 VDC met een bereik van 1 Tohm (= 10<sup>12</sup> ohm).

### Vervangingschema EPA

In de elektrotechniek wordt vaak gebruik gemaakt van vervangingschema's om berekeningen eenvoudiger te maken. Ook voor een EPA is in IEC 61340-5-1 zo'n vervangingschema opgenomen, om het voor de lezer inzichtelijk te maken waar de aarding lopen. Rekening houdend met de maximale en minimale weerstandswaarden van meubilair en polsbanden is het mogelijk een interpretatie te maken van de totale weerstand in het 'circuit'.

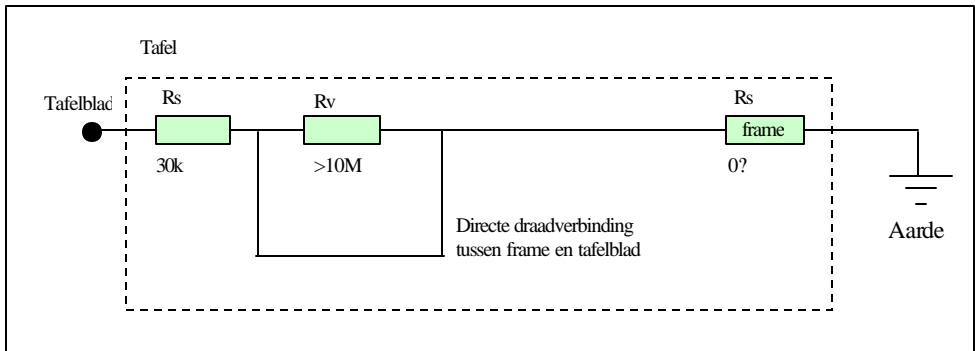


Afb. 2. Schema van een typische EPA, bron IEC 61340-5-1 (1998).

Het is niet eenvoudig verbanden te leggen tussen de metingen die een ESD-coördinator uitvoert en dit schema. De waarde die hij meet is namelijk afhankelijk van een aantal belangrijke factoren, zoals vervuiling van een vloer.

**Praktijkvoorbeeld: de ESD-veilige tafel**

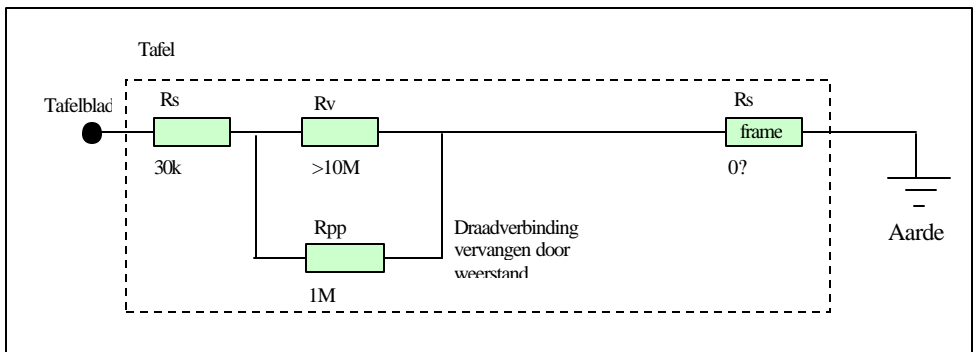
In een fabriek was de klacht dat de  $R_g$  van de tafels te laag was, terwijl de oppervlakteweerstand van het tafelblad wel binnen de norm viel. Nu bleek dat er een directe verbinding van aarde met het tafeloppervlak was aangebracht. De norm stelt dat de  $R_g$  van het tafelblad groter moet zijn dan 750 kOhm (gemeten werd 30 kOhm). De gemeten weerstand werd voornamelijk veroorzaakt door de serieschakeling van het tafelblad en de verbinding naar aarde. Parallel aan deze schakeling was ook nog een  $R_v$  te identificeren, omdat het tafelblad zelf op een chassis was geplaatst dat ook weer geaard was. Het vervangingschema van de



tafel zag er zonder maatregelen als volgt uit:

Afb. 3. Vervangingschema tafel met directe aarding<sup>1</sup>

Door nu de directe verbinding van het tafelblad via een 1 MOhm weerstand te laten verlopen is het probleem opgelost.



Afb. 4. Vervangingschema tafel met aarding via 1MOhm

Deze oplossing zorgt voor een  $R_g$  van het tafelblad groter dan 750 kOhm waardoor de zogenaamde ‘vonk’-ontladingen worden voorkomen.

N.B.: Als op de tafel *geen* 220 VAC-blok is gemonteerd dan mag deze 1 MOhm-weerstand ook direct via aarde met het frame worden verbonden. Beter is natuurlijk het schema van afbeelding 4 aan te houden.

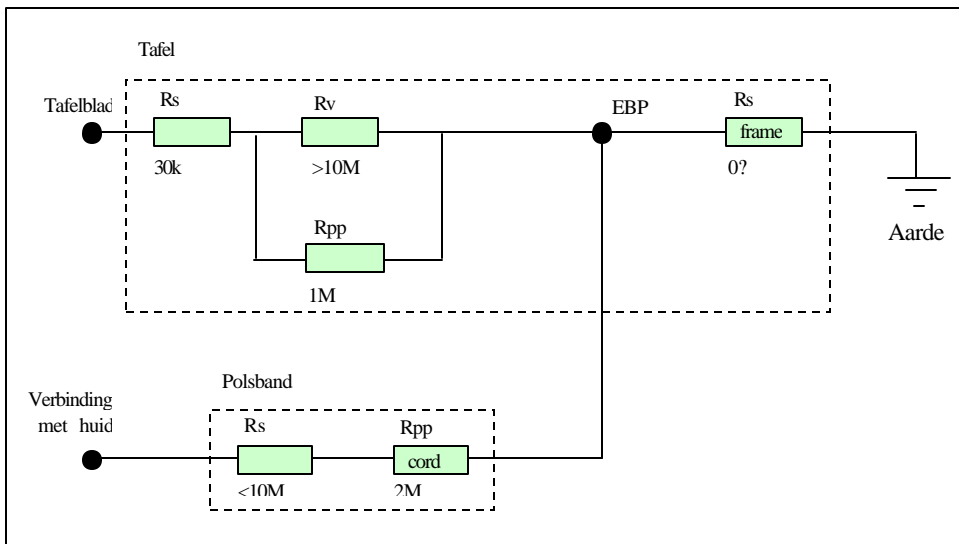
<sup>1</sup> Alle in de figuren genoemde weerstandwaarden zijn de minimale waarden volgens IEC61340-5-1

Deze benadering van een vervangingschema kan verder worden uitgebreid met polsbanden, stoelen, jassen en schoeisel. Dit zal in de hierna volgende stappen worden weergegeven.

### De polsband

De polsband moet volgens de norm een oppervlakteweerstand hebben die kleiner is dan 10 MOhm. Dit is het gedeelte dat in verbinding staat met de huid. De polsband zelf wordt verbonden met een snoer dat, in de praktijk, aan beide aansluitingen een weerstand bezit van 1 MOhm. Totaal heeft het snoer daardoor een point-to-point weerstand ( $R_{pp}$ ) van 2 MOhm.

Het schema van de polsband die verbonden wordt op het Earth Bonding Point (EBP) van de tafel ziet er als volgt uit:



Afb. 5. Polsbandverbinding

De werking van een polsband valt of staat met de kwaliteit van de aarding van de tafel. Stel dat een tafel wordt verplaatst en de aarding ervan wordt niet weer aangesloten, dan zal de polsband ook zijn nut verliezen. Reden temeer om regelmatig de aarding van de tafel te controleren.

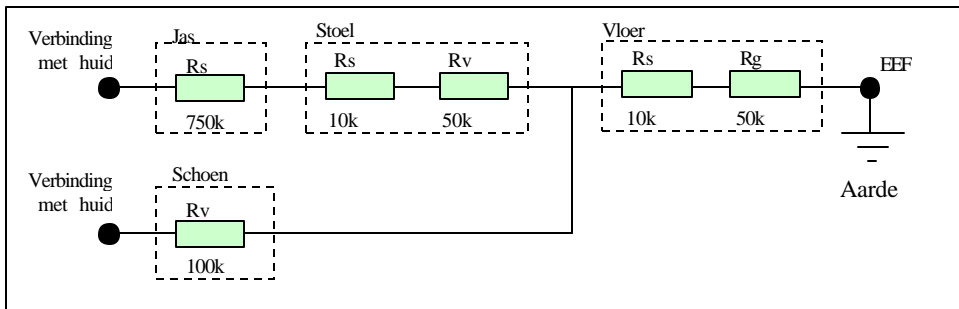
### Jas, stoel, vloer en schoeisel

Een ESD-jas heeft, om vonkontladingen te voorkomen, een minimale oppervlakteweerstand van 750 Ohm en maximaal 1 TOhm. Deze weerstand moet regelmatig (bijvoorbeeld na een wasbeurt) worden gecontroleerd. ESD-kleding bevat geleidende garens, die de isolerende (nylon/polyester) statisch geladen kleding, die onder de ESD-jas wordt gedragen, afschermt. De jas werkt als een kooi van Faraday, een eigenschap die ook nodig is voor verpakkingen van elektronische componenten. Het is wel noodzakelijk de jas gesloten te dragen. Indien alleen katoenen kleding wordt gedragen levert dit verder geen probleem op (bijvoorbeeld een spijkerbroek met katoenen T-shirt of polo). Katoen heeft een elektrostatische eigenschap, zie ook afbeelding 1. Door het vochtige contact tussen de katoen, huid en de aardingsmiddelen (polsband) kan de elektrostatische lading worden afgevoerd worden. In de katoen zit altijd vocht dat continu contact maakt met de relatieve vochtigheid van de omgeving, die op zijn beurt weer contact maakt met aarde. Katoen kan in een ruimte waar de relatieve vochtigheid boven de 10% ligt geen statisch veld veroorzaken.

Indien een medewerker met speciale geleidende ESD-kleding aan op een stoel zit, die contact maakt met een vloer, is het mogelijk om een elektrostatische lading die op het lichaam aanwezig is af te voeren naar aarde. De norm schrijft voor dat ook de stoel en de vloer

geleidend moet zijn. De vloer wordt met aarde verbonden aan de zogenaamde ESD Earth Facility (EEF). Deze EEF moet een verbinding hebben met aarde < 1 MOhm. Een ESD-schoen heeft een geleidende zool. Ondanks dat iemand (normale) sokken draagt is er toch sprake van geleiding (zweet) door de schoen heen. Bij een juiste toepassing van de ESD-maatregelen moet deze weerstand bij elke betreding van de EPA worden gemeten. Hiervoor zijn speciale ESD-schoentesters verkrijgbaar.

In afbeelding 6 is het vervangingschema weergegeven.



Afb. 6. Vervangingschema

### Human Body Model

Nadat de EPA in kaart is gebracht met behulp van het vervangingschema, ontbreekt alleen nog de laatste schakel: de mens.

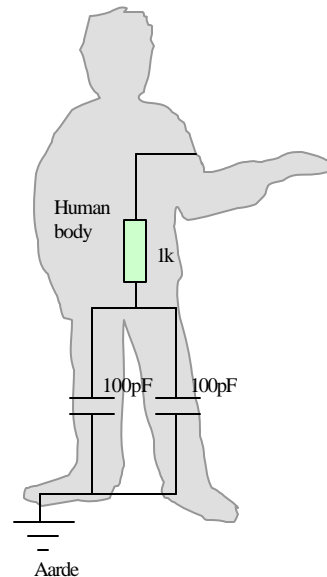
Als elektronisch model kan is het menselijk lichaam het best voor te stellen als een serie-schakeling van een condensator en een weerstand. De condensator stelt de verbinding voor van de mens ten opzichte van aarde. De weerstand is de contactverbinding van de huid met andere voorwerpen.

Afbeelding 7 geeft het principe weer van het zogenaamde Human Body Model, dat vaak wordt gebruikt. Elektronisch gezien is het dus mogelijk om met het lichaam een lading vast te houden (condensator) en deze te ontladen (weerstand).

De spanningen en stromen tijdens het ontladen worden met de volgende formule beschreven, waarbij U de spanning is die op het lichaam staat voor ontlading.

$$I_c(t) = U * e^{-t/RC} / R$$

$$U_c(t) = U * e^{-t/RC}$$

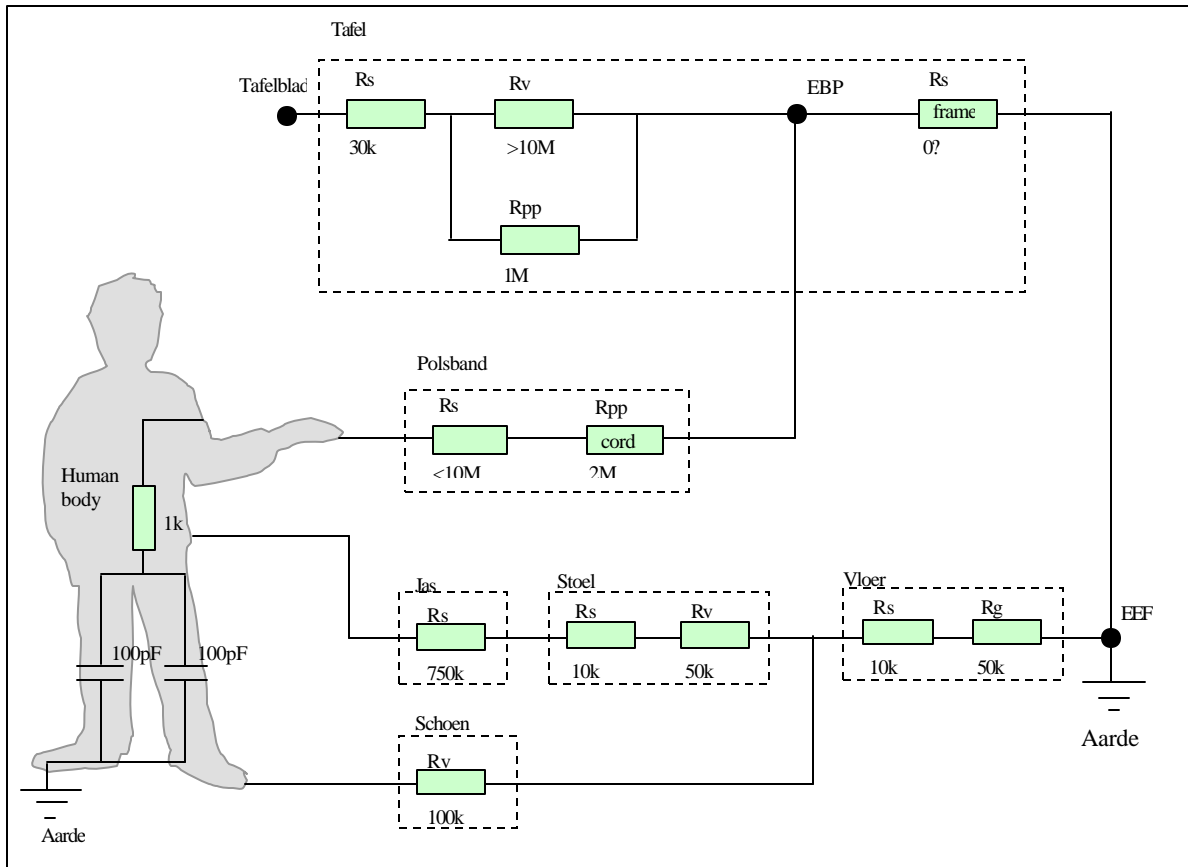


Afb. 7. Human Body Model

Met deze formules is het mogelijk op elk tijdstip van de ontlading de nog aanwezige spanning en de op dat moment lopende stroom uit te rekenen.

### De mens in de EPA

Na alle elektronische benaderingen te hebben uitgewerkt kunnen deze worden gecombineerd.



Afb. 8.

Het is, met enig rekenwerk, mogelijk om de stroompiek uit te rekenen die ontstaat op het moment dat iemand met bijvoorbeeld ESD-schoeisel de EPA betreedt. Stel dat deze persoon een elektrostatische spanning bij zich draagt van 20 kV en zijn schoen een weerstand bezit van 35 MOhm. Op het moment dat hij met zijn schoen de ESD-veilige vloer betreedt zal de elektrostatische spanning wegvloeien via de reeds genoemde formule. De stroompiek op het moment van contact ( $t = 0$ ) is:

$$I_{\text{piek}} = 570 \mu\text{A} \quad [I_c(t) = U * e^{-t/RC} / R]$$

Waarbij:

$$t = 0 \text{ sec.}$$

$$U = 20.000 \text{ V}$$

$$R = R_{v,\text{schoen}} + R_{s,\text{vloer}} + R_{g,\text{vloer}} = 35 \text{ MOhm} + 60 \text{ kOhm} = 35,006 \text{ MOhm}$$

$$C = 200 \text{ pF}$$

De spanningsval zal binnen 50 ms kleiner zijn dan 20 Volt. Ondanks dat de 35 MOhm van de schoen misschien erg hoog aandoet is de spanning toch snel genoeg verdwenen.

Het is logisch dat bij het dragen van zeer laag-ohmige schoenen deze stroompiek hoger zal zijn en de spanning eerder zal wegvloeien. De norm wil de stroompiek (vonkontlading) beperken en wil dan ook het liefst dat alle in de EPA gebruikte materialen boven 100 Ohm komen te zitten (en onder 100 GOhm, zie afbeelding 1). Een schoen waarvan de  $R_v$  100

kOhm is zal een stroompiek van 125 mA veroorzaken. De spanning is binnen 1 ms reeds 0 Volt.

### **Conclusies**

Uit deze benadering zijn eenvoudig de volgende conclusies te trekken:

- \* zonder polsband is er altijd een pad naar aarde te vinden via jas, stoel, schoen en vloer;
- \* als jas, stoel, schoen of vloer niet voldoen is er altijd nog de polsband om ladingen af te voeren;
- \* de aarding van de tafel is essentieel voor de werking van de polsband.

Door het gebruik van deze vervangingschema's is het voor de ESD-coördinator eenvoudiger geworden om eventuele mankementen op te lossen. Zie het eerder genoemde praktijkvoorbeeld van de tafel. Blijft wel de afhankelijkheid van de toeleverancier van ESD-materialen die bepaalt hoe de aarding tot stand komt.

Als één maatregel niet goed functioneert is er altijd nog de andere: parallelle ontlading via jas/stoel/schoen/vloer en via polsband. Indien voor maar één maatregel wordt gekozen is er dus een risico. Is geen ESD-vloer aanwezig dan blijft alleen de werking van de polsband over.

Het is duidelijk dat de installatie van een EPA een wirwar van weerstandsnetwerken betreft. Ontladingssnelheden zijn afhankelijk van deze weerstanden, die vaak door verschillende normen anders worden geïnterpreteerd. De belangrijkste les, buiten meten is weten, is dat de EPA zo praktisch mogelijk moet worden ingericht en samen met de medewerkers naar oplossingen wordt gezocht.

De polsband via de jas verbinden om zo de handen vrij te hebben is niet de meest optimale oplossing, wel een praktische. Indien de jas goed contact maakt met de huid, in de nek of bij de pols kan de jas zelfs worden gebruikt als vervanger van de polsband met snoer. Belangrijk is dan wel dat de jas goed contact maakt met de geleidende bekleding van de stoel, die in verbinding staat met het frame en de wielen van de stoel, waardoor de lading via de ESD-vloer wordt afgevoerd naar aarde. Jas, schoen, stoel en vloer moeten daarom regelmatig worden gecontroleerd.