

Fundamentos de las Descargas Electroestáticas "ESD"

Parte uno -- Una introducción a la ESD

© 2001, Asociación de ESD, Roma, NY

Historia y Antecedentes

Para mucha gente, la electricidad estática no es más que el choque que se experimenta al tocar la perilla metálica de una puerta, después de caminar a través de un cuarto alfombrado o después de deslizarse en el asiento de un automóvil.

Sin embargo, la electricidad estática ha sido un problema serio en la industria por siglos.

En los inicios de los 1,400, los fuertes europeos y del caribe, usaban procedimientos de control de estática e instrumentos para prevenir que por medio de las descargas electrostáticas explotaran los almacenes de pólvora negra.

En los 1860's, las fábricas de papel de todo EE.UU. empleaban los aterrizamientos básicos, técnicas de ionización de flama y tambores de vapor para disipar la electricidad estática de las redes de papel cuando pasaban a través del proceso de secado.

La era de la electrónica trajo consigo nuevos problemas asociados con la electricidad estática y las descargas electrostáticas. Y como los dispositivos electrónicos fueron haciéndose más rápidos y pequeños, su sensibilidad a la ESD aumentó.

Hoy, la ESD afecta la productividad y la confianza del producto, virtualmente en todos los aspectos del medio electrónico actual. Muchos aspectos del control electrostático en la industria electrónica también se aplican en otras industrias como en las aplicaciones de los "cuartos limpios" y las artes gráficas.

A pesar del gran esfuerzo hecho durante la pasada década, la ESD aún afecta el rendimiento de la producción, los costos de manufactura, la calidad del producto, la confiabilidad del producto y los márgenes de utilidad.

Los expertos de las industrias han estimado el promedio de pérdidas de producto relacionadas con la estática, en rangos desde 8% hasta 33% (tabla 1). Otros estiman el costo actual de daños por ESD en la industria electrónica por billones de dólares anualmente.

El costo de instrumentos dañados por si solos, van desde unos cuantos centavos por un simple diodo, hasta cientos de dólares por componentes híbridos complejos. Cuando los costos asociados de reparación y retrabajo, embarque, labor y gastos generales están incluidos, claramente las oportunidades existen por mejoras significantes.

Tabla 1 Resumen informal de Pérdidas estáticas por nivel			
Pérdidas Estáticas Divulgadas			
Descripción	Min. Pérdida	Max. Loss	Est. Avg. Loss
Fabricantes Componentes	4%	97%	16-22%
Subcontratistas	3%	70%	9-15%
Contratistas	2%	35%	8-14%
Usuario	5%	70%	27-33%

Fuente: Stephen Halperin, "pautas para la gerencia estática del control," la EUROSTAT, 1990.

Este es el primer artículo de una serie de seis, sobre los fundamentos de la ESD y enfocados a como las cargas y descargas electrostáticas ocurren, como varios distintos materiales afectan el nivel de carga, tipos de daños ESD, y como los eventos ESD pueden dañar componentes electrónicos.

Los artículos futuros cubrirán varias maneras de controlar el problema.

Electricidad Estática: Creando una Carga.

La Electricidad estática se define, como una carga eléctrica causada por un desequilibrio de electrones en la superficie de un material. Este desequilibrio de electrones produce un campo eléctrico que puede ser medido y que puede influenciar otros objetos a cierta distancia.

Una *descarga electrostática* se define como la transferencia de cargas entre dos cuerpos con un potencial eléctrico diferente.

Una descarga electrostática puede cambiar las características eléctricas de un dispositivo semiconductor, degradándolo o destruyéndolo. La descarga electrostática también puede alterar la operación normal de un sistema electrónico, causando malfuncionamiento de equipos o fallas. Otro problema causado por la electricidad estática ocurre en los "cuartos limpios". Las superficies cargadas pueden atraer y retener contaminantes, haciendo difícil removerlos del medio ambiente. Cuando son atraídos a la superficie de una oblea de silicio o a un dispositivo de un sistema eléctrico, estas partículas pueden causar defectos aleatorios en la oblea y reducir el rendimiento del producto.

Para controlar las descargas electrostáticas, en primer lugar se comienza con entender como es que una carga electrostática ocurre.

La carga electrostática es comúnmente creada por el contacto y separación de dos materiales similares o diferentes. Por ejemplo, una persona que camina a través de un pasillo, genera cargas electrostáticas cada vez que las suelas de sus zapatos tienen contacto y se separan de la superficie del suelo. Un dispositivo electrónico que se desliza dentro o fuera de una bolsa, de un contenedor o de un tubo de plástico, genera una carga electrostática, cuando la cubierta y las puntas metálicas hacen múltiples contactos y se separan de la superficie del contenedor.

Mientras que la magnitud de la carga electrostática puede ser diferente en estos ejemplos, la electricidad estática es, ciertamente, generada.

La creación de una carga electrostática por el contacto y separación de materiales es conocida como "carga Triboeléctrica". Esto involucra la transferencia de electrones entre materiales. Los átomos de los materiales sin carga estática tienen igual número de protones (+) en su núcleo, como electrones (-) en las órbitas fuera del núcleo. En la figura 1, el material "A" consta de el mismo número de protones y electrones; el material "B" también consta del mismo (aunque quizás diferente) número de protones y electrones. Ambos materiales son eléctricamente neutros.

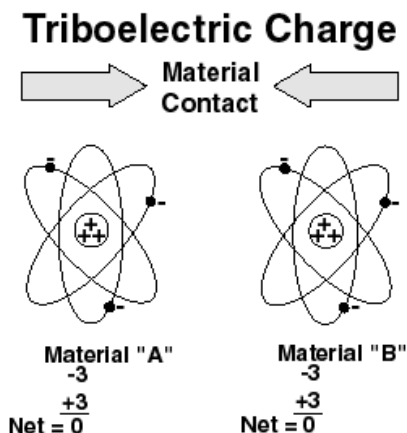


Figura 1. La carga Triboeléctrica. Los materiales hacen contacto.

Cuando los dos materiales son puestos en contacto y luego separados, los electrones cargados negativamente son transferidos de la superficie de un material a la superficie del otro material. Qué material pierde un electrón, y qué material gana un electrón, depende directamente de la naturaleza del material. El material que pierde electrones se convierte en un átomo cargado positivamente, mientras que el material que gana electrones, se carga negativamente. Esto se muestra en la figura 2.

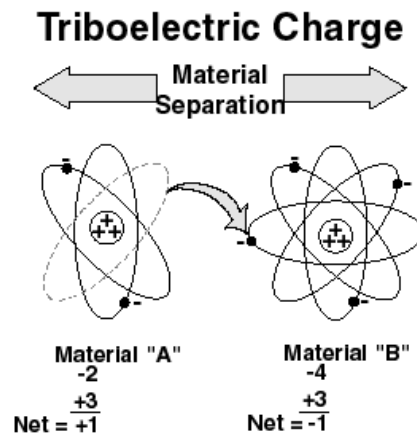


Figura 2. La carga triboeléctrica. Separación.

La electricidad estática se mide en Coulombs.

La carga "q" en un objeto es determinada por el producto de la capacitancia del objeto "C" y el potencial del voltaje en el objeto "V" : **q = CV**

Sin embargo comúnmente, hablamos de un potencial electrostático en un objeto, el cual se expresa en voltios.

Este proceso de contacto entre materiales, transferencia de electrones y separación, es realmente un mecanismo más complejo de lo que se describe aquí. La cantidad de carga creada por la carga triboeléctrica es afectada por el área de contacto, la velocidad de separación, la humedad relativa y otros factores. Una vez que la carga es creada en un material, esta se convierte en una carga electrostática (solo si permanece en el material). Esta carga puede ser transferida desde el material, creando una descarga electrostática o un evento ESD.

Adicionalmente otros factores, como la resistencia actual del circuito de descarga y la resistencia en la conexión entre las superficies de contacto, también afectan la carga actual que puede causar daños.

Ejemplos de generación estática		
Voltajes típicos		
Fuente de Generación	10-25% RH	65-90% RH
Caminar sobre una alfombra	35,000 V	1,500 V
Caminar sobre un recubrimiento de vinilo	12,000 V	250 V
Trabajador en un banco de trabajo	6,000 V	100 V
Bolsa plástica levantada de un banco	20,000 V	1,200 V
Silla con espuma de poliuretano.	18,000 V	1,500 V

Una carga electrostática puede ser creada en los materiales de otras maneras distintas tal como, por inducción, bombardeo de Iones o por contacto de otro objeto cargado. Sin embargo, la carga triboeléctrica es la más común.

Como afectan las Características del material, la carga estática.

La serie Triboeléctrica

Cuando dos materiales tienen contacto y separación, la polaridad y la magnitud de la carga son indicadas por la posición del material en la serie triboeléctrica.

La tabla de la serie triboeléctrica muestra cuanta carga es generada sobre los varios materiales. Cuando dos materiales hacen contacto y luego se separan, el que esté más arriba de la serie toma la carga positiva, y el otro la negativa. Los materiales más alejados entre sí en la tabla, generan mayor cantidad de carga que aquellos que están más cercanos entre ellos.

Sin embargo, esta tabla solamente tendrá que ser usada como una guía general, debido a que existen algunas variables involucradas que no pueden ser bastante bien controladas para asegurar repetibilidad. Una típica serie triboeléctrica es mostrada en la tabla 3.

Tabla 3. Serie Típica Triboeléctrica

POSITIVO (+)	Rabbit fur
	Glass
	Mica
	Human Hair
	Nylon
	Wool
	Fur
	Lead
	Silk
	Aluminum
	Paper
→	COTTON
	Steel
	Wood
	Amber
	Sealing Wax
	Nickel, copper Brass, silver
	Gold, platinum
	Sulfur
	Acetate rayon
	Polyester
	Celluloid
	Silicon
NEGATIVO (-)	Teflon

Virtualmente todos los materiales, incluyendo el agua y las partículas sucias del aire, pueden ser cargadas triboeléctricamente. Cuánta carga es generada, a dónde va la carga, y qué tan rápido, son funciones de las características eléctricas de los materiales.

Materiales Aislantes.

Un material que impide o limita el flujo de los electrones a través de su superficie o de su volumen, es llamado aislante. Los materiales aislantes tienen una resistencia eléctrica extremadamente alta, generalmente mayor de 1×10^{12} ohms/sq (resistencia superficial), y 1×10^{11} ohms-cm (resistencia volumétrica).

En la superficie de un material aislante, se puede generar una cantidad considerable de carga, debido a que un material aislante no permite el flujo libre de electrones, por lo que ambas cargas, positivas y negativas, pueden permanecer en la superficie del aislante al mismo tiempo, aunque en diferentes ubicaciones. El exceso de electrones en el lado cargado negativamente, debe ser suficiente para satisfacer la falta de electrones en el lado positivo. Sin embargo, los electrones no pueden fluir fácilmente a través de la superficie de los materiales aislantes y ambas cargas permanecerán en el mismo lugar por un largo tiempo.

Materiales Conductivos.

Un material es conductivo, debido a que tiene poca resistencia eléctrica y permite a los electrones fluir fácilmente a través de su superficie o su volumen. Cuando un material conductivo se carga (ejemplo: La deficiencia o exceso de electrones) será distribuida uniformemente en toda la superficie del material. Si el material conductivo cargado hace contacto con otro material conductivo, los electrones serán transferidos entre los materiales muy fácilmente. Si el segundo conductor está conectado a un punto de tierra, los electrones fluirán a tierra y el exceso de carga en el conductor, será "neutralizado".

La carga electrostática puede ser creada triboeléctricamente en conductores, de la misma manera que en los aislantes. Siempre y cuando el conductor esté aislado de otros conductores o tierra, la carga estática permanecerá en el conductor. Si el conductor es aterrizado, la carga irá fácilmente a tierra. O si el conductor cargado hace contacto o se acerca a otro conductor, la carga fluirá entre los dos conductores.

Materiales Disipadores de Estática.

Los materiales disipadores de estática (disipativos) tienen una resistencia eléctrica entre los materiales aislantes y los materiales conductivos. Puede haber flujo de electrones sobre o a través del material disipador, pero es controlado por la resistencia de la superficie o del volumen del material.

Como con los otros dos tipos de materiales, la carga puede ser generada triboelectricamente en un material disipador de estática. Sin embargo, como el material conductivo, el material disipador permitirá la transferencia de cargas a tierra u otros materiales conductivos.

La transferencia de carga desde el material disipador generalmente tardará más que desde un material conductor equivalente. La transferencia de carga de un material disipador, es significativamente más rápida que la de un material aislante; y más lenta que un material conductivo.

Campos electrostáticos

Los materiales cargados también tienen campos electrostáticos y líneas de fuerza asociados con estos.

Los objetos conductores que son pasados a través de las áreas de estos campos eléctricos, serán polarizados por un proceso conocido como Inducción.

Un campo eléctrico negativo repelerá los electrones sobre la superficie de el objeto conductor que es expuesto a el campo. Un campo eléctrico positivo atraerá electrones a la superficie cercana, dejando así otras áreas cargadas positivamente. No ocurrirá cambio en la carga actual del objeto en polarización, sin embargo, si el objeto es conductivo o disipativo y es conectado a tierra, durante la polarización, la carga fluirá de o a tierra para compensar el desbalance de la carga. Si el campo electrostático es removido y el contacto a tierra desconectado, la carga permanecerá sobre el objeto. Si un objeto no conductivo es pasado a través de el campo eléctrico, los dipolos eléctricos tenderán a alinearse con el campo, creando aparente cargas en la superficie. Un no conductor, no puede ser cargado por inducción.

Daño ESD – Cómo fallan los instrumentos.

El daño electrostático a un dispositivo electrónico puede ocurrir en cualquier punto, desde la manufactura hasta el área de servicio. El daño resulta de manejar el dispositivo en un medio ambiente incontrolado o cuando hay un pobre control de las practicas de ESD. Generalmente, el daño se clasifica como falla catastrófica o bien, defecto latente, cualquiera de los dos.

Falla Catastrófica.

Cuando un dispositivo electrónico es expuesto a un evento ESD, tal vez deje de funcionar. El evento ESD probablemente causó un derretimiento de metal, ruptura de una conexión o una falla del oxido. El circuito del dispositivo es dañado permanentemente causando la falla del dispositivo. Este tipo de fallas pueden ser detectadas usualmente, cuando el dispositivo es probado antes de embarcarlo. Si el evento ESD ocurre después de la prueba, el daño no se detectará hasta que el dispositivo falle en operación.

Defecto Latente.

Por otra parte, un defecto latente, es más difícil de identificar. Un dispositivo que es expuesto a un evento ESD puede ser parcialmente degradado, aún cuando continúe intentando hacer su función. Sin embargo, la vida operativa del dispositivo se reducirá dramáticamente. Un producto o sistema que incorpora dispositivos con defectos latentes, puede experimentar fallas prematuras después que el usuario los coloque en servicio. Tales fallas son usualmente muy costosas de reparar y en algunas aplicaciones pueden crear riesgos al personal.

Es relativamente fácil, con el equipo adecuado, confirmar que un dispositivo ha experimentado una falla catastrófica. Las pruebas básicas que se llevan a cabo, establecen el daño del dispositivo. Sin embargo, los defectos latentes son extremadamente difíciles de comprobar o detectar usando la tecnología actual, especialmente después que el dispositivo ha sido ensamblado en un producto terminado.

Eventos Básicos de ESD. Qué causa la falla de los Dispositivos Electrónicos?

El daño por ESD es usualmente causado por uno de tres eventos: descarga directa electrostática a un dispositivo; descarga electrostática *desde* el mismo dispositivo ó descargas del campo inducido.

El daño a un dispositivo sensible ESDS por un evento ESD, es determinado por la habilidad del dispositivo para disipar la energía de la descarga o resistir los niveles de voltaje involucrados. Esto es conocido como la sensibilidad del dispositivo a la ESD.

Descargas al dispositivo.

Un evento ESD puede ocurrir cuando cualquier conductor cargado (incluyendo el cuerpo humano) se descarga a un dispositivo sensible a ESD (ESDS). La causa más común de daño electrostático es la transferencia directa de una carga electrostática proveniente del cuerpo humano o de un material cargado hacia el dispositivo sensible a las descargas electrostáticas (ESDS). Cuando uno camina por el piso, una carga electrostática se acumula en el cuerpo. Un contacto simple al dedo a las puntas de un dispositivo o ensamble ESDS, permite al cuerpo descargarse, causando posiblemente daños en el dispositivo. El modelo usado para simular este evento es el Modelo del Cuerpo Humano (HBM). Una descarga similar puede ocurrir desde un objeto conductivo cargado, tal y como una herramienta o fixture metálico. EL modelo usado para caracterizar este evento es conocido como el Modelo Máquina.

Descarga desde el dispositivo.

La transferencia de una carga desde un dispositivo ESDS es también un evento ESD. La carga estática puede acumularse en el mismo dispositivo ESDS, a través del manejo o el contacto con los materiales de empaque, las superficies de trabajo o las superficies de las maquinas. Esto ocurre frecuentemente cuando un dispositivo se mueve a través de una superficie o vibra dentro del empaque. El modelo usado para simular la transferencia de carga de un dispositivo ESDS es referida como el Modelo de Dispositivo Cargado (CDM). La capacitancia y energías involucrada son diferentes para estos, de una descarga a el dispositivo ESDS. En algunos casos, un evento CDM puede ser mas destructor que el HBM, para algunos dispositivos.

La tendencia hacia el ensamble automatizado parece resolver el problema de los eventos ESD con respecto al HBM. Sin embargo, se ha comprobado que los componentes pueden ser más sensibles cuando son ensamblados por equipos automáticos. Un dispositivo puede llegar a cargarse cuando, por ejemplo, se desliza abajo del alimentador. Si entonces, toca la cabeza de inserción, o cualquier otra superficie conductiva, una rápida descarga ocurre desde el dispositivo hasta el objeto metálico.

Este evento es conocido como el evento del Modelo de Dispositivo Cargado (CDM) y puede ser más destructivo que el HBM para algunos dispositivos. A pesar de que la duración de la descarga es muy corta – comúnmente menor a un nanosegundo – el pico máximo puede alcanzar varias decenas de amperes.

Descargas de Campo Inducido.

Otro evento que puede dañar directa o indirectamente los dispositivos es el termino Inducción de Campo. Como fue dicho antes, cuando cualquier objeto se carga electrostáticamente, hay un campo electrostático asociado con esa carga. Si un dispositivo ESDS se coloca en ese campo electrostático, una carga puede ser inducida en el dispositivo. Si entonces el dispositivo es aterrizado momentáneamente mientras permanece dentro del campo electrostático, ocurre una transferencia de carga desde el dispositivo, como un evento CDM. Si el dispositivo es retirado de la región del campo electrostático y aterrizado nuevamente, un segundo evento CDM ocurrirá nuevamente como carga (de polaridad opuesta a la del primer evento) transferida desde el dispositivo.

Que tanta protección se necesita

Como se mencionó anteriormente, el daño a un dispositivo ESDS por un evento ESD es determinado por la habilidad del dispositivo para disipar la energía de la descarga o para soportar los niveles de voltaje involucrados. Esto se conoce como "sensibilidad ESD" del dispositivo. Definir la sensibilidad ESD de los componentes electrónicos es el primer paso para determinar el grado de protección ESD requerida. Los procedimientos de prueba basados en los modelos de eventos ESD, ayudan a definir la sensibilidad de los componentes a la ESD. Estos procedimientos serán cubiertos in un artículo futuro en estas series.

Many electronic components are susceptible to ESD damage at relatively low voltage levels. Many are susceptible at less than 100 volts, and many disk drive components have sensitivities below 10 volts. Current trends in product design and development pack more circuitry onto these miniature devices, further increasing their sensitivity to ESD and making the potential problem even more acute. Tables 4 and 5 indicate the ESD sensitivity of various types of components.

Muchos componentes electrónicos son susceptibles al daño ESD a unos niveles de voltaje relativamente bajos. Muchos son susceptibles a menos de 100 voltios, y muchos componentes controladores de discos tienen sensibilidad por debajo de los 10 voltios. Las tendencias actuales en productos diseñan o desarrollan paquetes de circuitos sobre estos dispositivos miniatura, sin duda aumentando su sensibilidad a ESD y haciendo más agudo el problema potencial. La tabla 4 y 5 muestran la sensibilidad ESD de varios tipos de componentes.

Table 4 ESD Sensitivity of Representative Electronic Devices Devices or Parts with Sensitivity Levels of 0-1,999 volts (HBM)	
Device or Part Type	
Microwave devices (Schottky barrier diodes, point contact diodes and other detector diodes >1 GHz)	
Discrete MOSFET devices	
Surface acoustic wave (SAW) devices	
Junction field effect transistors (JFETs)	
Charged coupled devices (CCDs)	
Precision voltage regulator diodes (line of load voltage regulation, <0.5%)	
Operational amplifiers (OP AMPs)	
Thin film resistors	
Integrated circuits	
AMR and GMR Disk Drive Recording Heads	
Laser Diodes	
Hybrids	
Very high speed integrated circuits (VHSIC)	
Silicon controlled rectifiers (SCRs) with $I_o < 0.175$ amp at 10°C ambient	

Table 5 ESD Sensitivity of Representative Electronic Devices Devices or Parts with Sensitivity Levels of 2,000 to 3,999 volts (HBM)
Device or Part Type
Discrete MOSFET devices
JFETs
Operational Amplifiers (OP Amps)
Integrated circuits (ICs)
Very high speed integrated circuits (VHSIC)
Precision resistor networks (type RZ)
Hybrids
Low power bipolar transistors, PT £100 milliwatts with $I_c < 100$ milliamps

Resumen.

En este artículo introductorio sobre descargas electrostáticas, hemos discutido las bases de la carga electrostática, la descarga, tipos de falla, eventos ESD y la sensibilidad de dispositivos. Podemos resumir esta discusión como sigue:

- 1 Virtualmente todos los materiales, aún los conductores, pueden ser triboeléctricamente cargados.
- 2 El nivel de carga es afectado por el tipo de material, la velocidad de contacto y separación, humedad, y muchos otros factores.
- 3 Los campos electrostáticos están asociados con los objetos cargados.
- 4 La descarga electrostática puede dañar los dispositivos, pudiendo entonces fallar inmediatamente, o puede resultar en fallas latentes que pueden escapar a la atención inmediata, pero causan que el dispositivo falle prematuramente una vez en servicio.
- 5 La descarga electrostática puede ocurrir durante la fabricación, en pruebas, embarque, manejo o en procesos operacionales.
- 6 El daño al componente puede ocurrir como resultado de una descarga al dispositivo, desde el dispositivo o de una transferencia de carga, resultado de los campos electrostáticos. Los componentes varían significativamente en su sensibilidad a la ESD.

Proteger sus productos de los efectos del daño de la estática comienzan por el entendimiento estos conceptos claves de ESD. Preparado con esta información, usted puede comenzar a desarrollar un programa de control efectivo de ESD. En el siguiente número nos enfocaremos en los conceptos básicos de control de ESD.

Referencias

Footnotes

1. Stephen A. Halperin, "Guidelines for Static Control Management," Eurostat, 1990.

2. Lonnie Brown and Dan Burns, "The ESD Control Process is a Tool for Managing Quality," Electronic Packaging and Production, April 1990, pp 50-53.

ESD-ADV 1.0, Glossary, ESD Association, Rome NY.

ESD TR20.20, Handbook, ESD Association, Rome, NY.

ESD ADV 11.2, Triboelectric Charge Accumulation Testing, ESD Association, Rome, NY.

ANSI/ESD S20.20-Standard for the Development of Electrostatic Discharge Control Program, ESD Association, Rome, NY.

June 2001

Acerca de la Asociación ESD.

Fundada en 1982, la Asociación ESD no es una organización de lucro, es una organización profesional dedicada al avance de la tecnología y el entendimiento de las descargas electrostáticas. Patrocina programas educacionales, desarrolla estándares ESD, realiza un symposium anual técnico, y apoya el intercambio de información técnica entre todos los miembros y otros. Información adicional puede ser obtenida contactando la Asociación ESD, 7900 Turin Rd. Bldg. 3, suite 2, Rome, NY 13440-2069 USA.

Teléfono : 315-339-6937. Fax : 319-3338-6793. E-mail : eosesd@aol.com. Web site: <http://www.eosesd.org>.