

Protezione dei dispositivi elettronici dalle scariche elettrostatiche

Marco Dealessi
Andrea Buczkowsky
Giancarlo Cenni

Teseo

L'electricità statica è nota fin dall'antichità. Per secoli maghi e fenomeni da baraccone hanno compiuto miracoli strofinando l'ambra con la lana. A tal proposito, "elektron" significa ambra.

Quando due materiali isolanti vengono a contatto e poi si separano, per la scarsa mobilità delle cariche uno resta caricato positivamente e l'altro negativamente. Una scala, detta "triboelettrica", dei materiali isolanti indica quale sarà positivo e quale negativo. Per la creazione di elettricità statica non c'è neppure bisogno di strofinare, è sufficiente il contatto e non c'è neanche bisogno di due materiali diversi: se si apre un sacchetto di plastica si formano due parti cariche (ma non si sa a priori quale sia positiva e quale negativa). Uno dei materiali può anche essere conduttivo ma non tutti e due, perché essendo le cariche molto mobili nei conduttori, all'atto della separazione di due oggetti conduttivi le cariche si ricongiungerebbero.

Se un materiale isolante caricato viene in contatto o si avvicina a un materiale conduttivo, quest'ultimo si carica, con cariche di segno opposto più e meno distribuite sui lati fra loro più lontani. Se un lato viene messo a terra, anche soltanto per un attimo, il corpo metallico resta caricato di un solo segno perché privato delle cariche prima esistenti nella zona messa a terra. Questa è la premessa per la scarica. Se il metallo carico si avvicina ad altro oggetto conduttivo, a terra o non a terra, avviene la scarica per il ricongiungimento rapidissimo delle cariche di segno opposto che si trovano sulle facce a distanza ravvicinata o a contatto. Nell'oggetto, per induzione, si separano le cariche e nel punto di avvicinamento tra i due corpi conduttivi si fronteggiano cariche di segno opposto che vorrebbero unirsi; quando la distanza si riduce al di sotto di quella di rottura dell'aria, si innesca la scarica che sarà tanto più intensa quanto più alta è la concentrazione delle cariche e quanto più veloce è l'avvicinamento.

Se il metallo avvicinato non è a terra, la scarica a terra può avvenire tramite la capacità comunque esistente verso terra.

L'articolo descrive le regole di progettazione per far sì che il prodotto possa essere omologato per la vendita e si comporti come previsto dal suo manuale d'uso per tutto l'arco della propria vita

Così quando si cammina su una moquette, le soles isolanti si caricano e trasmettono per induzione la carica al corpo umano che conduce bene la corrente elettrica. Al tocco di una maniglia o della serratura della vettura avviene la scarica. Con tempo secco scariche dell'ordine di 20 o 30 kV sono normali, mentre l'umidità ne abbatte il valore di un fattore 10. Le scariche a 30 kV sono dolorose per l'uomo, quelle a 1 o 2 kV non si avvertono neppure.

Suscettibilità dei componenti elettronici verso il corpo carico

I componenti elettronici (integrati, MOS, cristalli, componenti a film) sono sensibili alle scariche elettrostatiche e devono essere maneggiati in ambiente che non ne consenta il formarsi. A differenza del corpo umano possono essere danneggiati o cambiare stato con cariche da un migliaio di volt cosicché l'operatore, la cui sensibilità alle scariche è molto inferiore, può

non accorgersi dell'avvenuta scarica e del possibile danneggiamento dei componenti. Con la miniaturizzazione, con l'aumento delle velocità dei circuiti digitali e con la riduzione delle tensioni di alimentazione il fenomeno, già preoccupante, richiederà in futuro sempre più sforzi per il controllo.

I tipi di guasto più consueti sono quelli di perdita di isola-

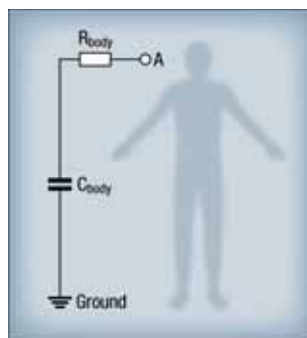


Fig. 1 – Modello elettrico del corpo umano

mento (breakdown di tensione) per il campo intenso che precede la scarica e perforazioni o derive termiche per le forti correnti/tensioni durante la scarica. Ci sono delle regole da rispettare anche per il semplice maneggio dei componenti elettronici sensibili oltre a quelle che il progettista deve conoscere per far funzionare il prodotto anche in presenza di scariche elettrostatiche. Se la formazione della carica e la scarica non sono controllabili, non resta comunque che progettare il prodotto in modo che sopporti le eventuali scariche.

Esistono vari modelli della generazione della scarica, tra questi lo HUMAN BODY è il più importante perché è l'uomo il conduttore che più spesso si avvicina o viene in contatto con un dispositivo elettronico. Altro modello è il MACHINE BODY applicabile per esempio a macchine posizionate automatiche di componenti.

Il modello umano è costituito da una capacità che si carica alla tensione di scarica e di una resistenza attraverso cui la scarica avviene. Poiché la capacità dipende dalla superficie, il corpo di un adulto è approssimato con una sfera di un metro che ha una capacità verso l'infinito di circa 50 pF a cui occorre aggiungere la capacità dei piedi sul terreno (100pF) e le eventuali capacità verso altri oggetti conduttori.

La figura 1 rappresenta il modello di uso più frequente. La capacità è la somma di tutte le capacità del corpo, mentre la resistenza è la resistenza del corpo attraverso cui avviene la scarica.

Le specifiche applicabili

Per la marcatura CE la specifica applicabile EN61000-4-2 prevede un test a tensioni (mediamente) di 8 kV in aria e 4 kV a contatto. La prova a contatto è preferibile perché ripetitiva, ma la prova in aria è più rappresentativa del fenomeno della scarica.

La forma d'onda di figura 2, che il generatore simulante la scarica deve rispettare entro le tolleranze indicate in specifica, contempla un primo picco aguzzo, estremamente veloce dovuto alla capacità della punta della pistola e una gobba (secondo

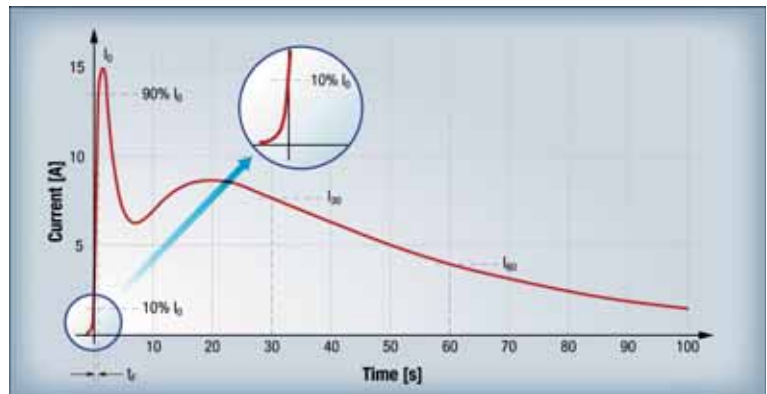


Fig. 2 - Impulso ESD

do picco arrotondato) dovuta alla scarica della capacità da 150 pF in serie con l'induttanza della connessione a terra (fettuccia metallica).

Tra le norme più restrittive relative all'ESD (= Electro Static Discharge) si cita quella dell'automobile, ISO10605, che richiede livelli più elevati (siamo a 25 o 30 kV) con quattro diverse reti RC di scarica. Come esempio della necessità di diverse reti di scarica, basta citare che la resistenza di scarica è diversa a seconda che la scarica avvenga dalla punta delle dita (valore elevato), dal palmo della mano, da una sedia metallica (valore basso) o da una chiave tenuta in mano.

La prova riguarda tutti i dispositivi che vengono in contatto con l'uomo, sia esso l'utente ordinario (es il guidatore che sta entrando in vettura con i piedi ancora per terra) oppure il meccanico che tocca il prodotto occasionalmente per interventi sporadici di manutenzione. Il componente che fallisce non fa distinzioni.

La progettazione

L'ideale sarebbe impedire la formazione di elettricità statica. Quando non si controlla l'ambiente ci si deve rassegnare alla presenza della medesima e progettare il dispositivo in modo tale da sopravvivere alla scarica. Il criterio di suscettibilità più

comunemente adottato prevede che a fine scarica il dispositivo funzioni regolarmente e che durante la scarica non abbia creato condizioni di pericolo o irreversibili. La progettazione deve soddisfare questo criterio. Deve considerarlo dalla fase iniziale del programma di sviluppo del prodotto e non da quando, in sede di omologazione, si verifica che la prova viene ripetutamente fallita.

In termini generali il fenomeno dell'ESD deve essere combattuto dal progettista con gli stessi accorgimenti adottati per la immunità ai transitori e alle emissioni irradiate. Di seguito i dettagli.

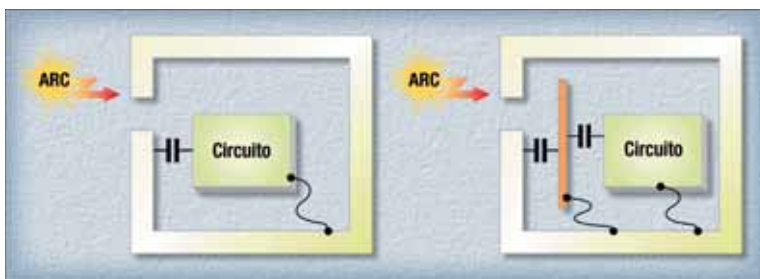


Fig. 3 - Metodi di riduzione delle scariche secondarie: isolamento del circuito mediante separazione o utilizzo di schermo secondario

Modalità di accoppiamento

Esistono più modi di accoppiamento:

- scarica diretta per conduzione, spesso distruttiva;
- scarica indiretta per archi secondari, distruttiva o causa di malfunzionamenti;
- accoppiamento capacitivo, causa di malfunzionamenti, raramente distruttiva;
- accoppiamento induttivo, causa di malfunzionamenti, raramente distruttiva.

Le modalità sono analizzate ipotizzando, caso molto comune, l'impiego di contenitore metallico.

Contenitore metallico

Un caso molto diffuso riguarda i prodotti in contenitore metallico. Il contenitore diventa un percorso ottimale per il ritorno a terra delle cariche durante la scarica repentina, lontano dai circuiti sensibili. A condizione che tutte le parti metalliche che lo costituiscono siano ben connesse tra loro e che non ci siano interruzioni o fessure, i circuiti interni non vengono coinvolti perché non esiste per essi un possibile accoppiamento. Occorre minimizzare l'induttanza del contenitore lasciando alla corrente che fluisce verso terra il maggior numero di percorsi paralleli possibile. A una fessura lunga o un foro grande conviene sostituire più fessure corte e molti fori piccoli, ove possibile (vedi analogia con la schermatura da campi irradiati).

La chiusura dal contenitore su terra avviene tramite un collegamento del contenitore a terra (bonding) o, mancando un collegamento metallico, tramite una capacità parassita tra contenitore e terra. A volte il collegamento di terra è così induttivo che alle frequenze elevate della scarica (tempo di salita = 1 nsec, banda prossima a 1 GHz) ha più bassa impedenza la capacità parassita piuttosto che l'impedenza del filo. Il contenitore perfetto dovrebbe non avere fessure o aperture, cosa praticamente impossibile a realizzarsi per la presenza di cavi e bocche di raffreddamento.

In assenza di aperture il contenitore si solleva da massa per via del collegamento a massa induttivo fino a 1 o 2 kV. Senza collegamento a massa si porta fino alla tensione a cui avviene la scarica (anche 25 o 30 kV nel capitolato automotive). Tuttavia non può succedere niente ai circuiti interni perché i fenomeni riguardano soltanto l'esterno del contenitore.

In presenza di cavi che entrano ed escono, se sono ben schermati con collegamento su 360° al contenitore è come se fossero un prolungamento del contenitore. Se collegati anche dall'altra parte nello stesso modo sull'apparecchiatura connessa, si forma un'unica gabbia di Faraday che esclude i circuiti interni da qualunque rischio.

Se il collegamento dello schermo non è buono, ad esempio tramite un pigtail (treccia) molto induttivo, le correnti indotte dalla scarica sullo schermo possono scorrere all'interno del contenitore e re-irradiarsi o generare scariche secondarie verso i

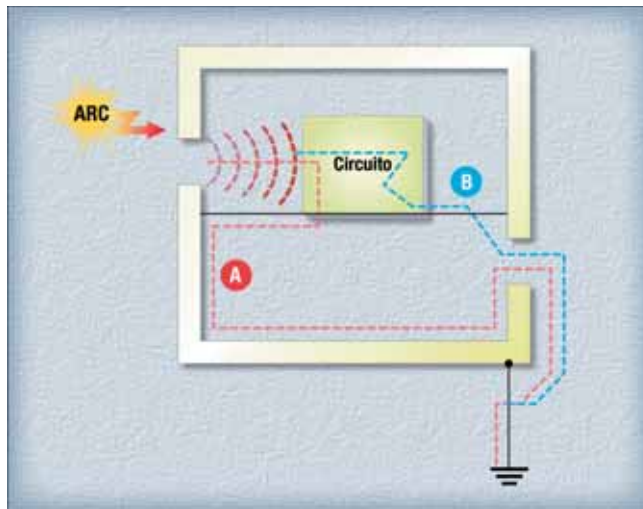


Fig. 4 – Effetto della geometria sul percorso della scarica: il percorso A è migliore del B

circuiti da proteggere. Gli eventuali cavi non schermati o schermati male potrebbero dover richiedere una protezione con filtri o con componenti non lineari come quelli visti nella trattazione di burst e surge che dirottano le correnti sul contenitore. La presenza di aperture, anche senza cavi entranti e in mancanza delle protezioni di cui sopra, può causare la scarica secondaria e occorre proteggere i circuiti sensibili dall'attraversamento di una corrente forte ricorrendo a vari mezzi, tutti improntati alla ricerca di un percorso della corrente che eviti i circuiti più delicati. I circuiti sensibili devono essere lontani dalle aperture (almeno 1 mm per contenitore messo a terra, 1 cm per contenitore sollevato da terra). Se la loro massa è ben collegata al contenitore, il collegamento deve essere posizionato in modo che eventuali correnti che raggiungono la circuiteria non attraversino i componenti delicati per raggiungere il collegamento al contenitore che costituisce il percorso a minor impedenza della scarica condotta.

Le scariche secondarie sono tra l'altro peggiori di quelle del corpo umano perché la resistenza serie è più bassa (come la scarica da sedia metallica fatta scorrere sul tappeto isolante è peggio di quella generata dal contatto con le dita della mano). Oltre all'isolamento (distanza) può essere utile anche uno schermo secondario parziale interno di fronte all'apertura, collegato alla massa dei circuiti nel punto giusto. Lo schermo si usa soprattutto quando ci sono dei potenziometri o degli interruttori all'esterno del contenitore. Ulteriore protezione dalla scarica indiretta può venire da una barriera costituita da dielettrico con elevata costante dielettrica che alza il punto di rottura rispetto al dielettrico aria.

In caso di scarica secondaria che non si riesce a tenere lontana dai circuiti sensibili, l'estremo rimedio è la protezione locale, come già visto per burst e surge, tramite dirottamento della

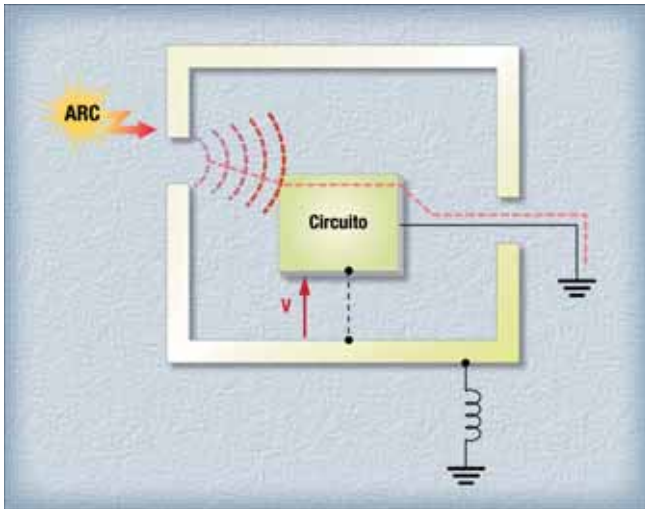


Fig. 5 – Il circuito sale di potenziale e la corrente intensa influisce sul cavo

corrente sul piano di massa dei circuiti più sensibili (tipicamente reset e interrupt) ricordando, per la scelta dei componenti, che la scarica elettrostatica assomiglia molto, come spettro, al burst e meno al surge. Le figure 3 e 4 illustrano alcuni casi comuni.

Gli accoppiamenti induttivi o capacitivi di campo vicino si combattono con le stesse tecniche dell'immunità irradiata, riducendo al minimo i loop e le distanze tra piste di andata e di ritorno di segnale.

Un esempio di riduzione dei loop è quello dei condensatori sugli integrati che devono essere più vicini possibile ai pin di alimentazione e massa dei medesimi, o l'impiego di stampati multistrati che offrono capacità ad alta frequenza tra gli strati di massa e alimentazione o l'uso di griglie di massa per stampati a doppia faccia. Segnali critici devono essere affiancati dai loro ritorni.

La miglior disposizione degli stampati è, quando possibile, parallelamente alla base del contenitore alla minima distanza possibile: si minimizzano gli accoppiamenti sia capacitivi sia induttivi. Le tecniche sono le stesse delle riduzioni delle emissioni irradiate e del miglioramento del livello di immunità irradiata. Questi accoppiamenti, dipendenti dalle impedenze dei circuiti, normalmente non sono distruttivi e sono di campo vicino (tipo diafonia).

Gli apparati vicini

I cavi che entrano possono produrre un fenomeno interessante che consiste nel trasferimento della scarica sulle apparecchiature connesse all'oggetto in prova. Talvolta accade, con molta sorpresa per il progettista, che una scarica su un oggetto ne mandi fuori uso un altro ad esso collegato, anche distante 1 metro. La prima esperienza degli autori del presente arti-

colo è stata durante una prova di ESD irradiata su un satellite: applicando una scarica (molto forte) su una apparecchiatura di bordo in camera anecoica, si spegneva il banco di collaudo posizionato all'esterno della camera. Mancando di esperienza specifica è stato impiegato molto tempo per comprendere il meccanismo di accoppiamento. Poiché il banco di collaudo non era previsto reggere scariche così forti, il problema contingente era come eseguire la prova sul satellite per verificarne la compatibilità con i suoi requisiti ESD. Quasi incredibilmente la soluzione è stata trovata nel collocare il banco in camera ed eseguire la prova sul satellite fuori camera.

La figura 5 illustra il fenomeno:

- il contenitore si solleva fino alla tensione della scarica (se mal collegato a terra);
- la scarica trova un agevole percorso di chiusura sul dispositivo collegato (partitore di corrente tra l'induttanza su terra e il cavo di I/O).

Come conseguenza un buon progetto non risolve, ma trasferisce il problema tale e quale.

La soluzione consiste nell'impedire che la tensione del contenitore porti la corrente alla apparecchiatura associata tramite una induttanza di modo comune.

Contenitore non metallico

Il contenitore metallico favorisce la scarica, ma la indirizza verso terra escludendo i circuiti più sensibili.

Se il contenitore non è metallico, la scarica avviene con meno probabilità per via dell'isolamento offerto dal contenitore, ma se ci sono aperture non c'è verso di deviare la scarica condotta diretta, né di schermare quella irradiata indiretta e non c'è neppure modo di terminare gli schermi dei cavi né i lati freddi dei dispositivi di soppressione dei transistori.

La soluzione meno peggio consiste nel creare un piano metallico sul fondo, in posizione orizzontale, su cui dirottare la corrente, piano che scarica a terra tramite le capacità parassite (elevate se la superficie è grande). La metallizzazione della base del contenitore svolge un po' la funzione del contenitore metallico.

Un piano può ad esempio essere messo in corrispondenza di aperture per LED, switch, potenziometri, in generale pannelli di controllo. Gli stampati devono essere vicini e paralleli al piano metallico, a cui si connettono le masse dei segnali dei cavi, nei punti in cui i connettori si collegano agli stampati. Un materiale isolante interno può anche costituire una barriera per le aperture.

Per gli accoppiamenti capacitivo e induttivo valgono le stesse regole dei contenitori metallici.

La battaglia contro le scariche elettrostatiche è un compendio delle tecniche di riduzione delle suscettibilità sia condotte sia radiate per via della combinazione dei due tipi di accoppiamento che la scarica implica. ➤