

「自然現象サージ」

<https://www.monodukuri.com/gihou/article/5499>

<https://www.monodukuri.com/gihou/article/5501>



【目次】

1. ノイズの種類
2. 静電気(ESD)ノイズ試験
 - 2.1 デバイスレベル試験
 - 2.2 システムレベル試験
3. 雷の種類
 - 3.1 雷サージの種類
 - 3.2 雷サージ対策
4. まとめ

1. 静電気(ESD)試験

ESD 試験とは、デバイスや電子機器などが静電気放電(ESD)に対して、どの程度の耐性を持つかを判断する試験で、デバイスレベル試験とシステムレベル試験がある。これら試験の結果はデバイスや電子機器などが劣化や破壊するか、しないかで判定を行う。

デバイスレベル試験は、静電気が生じにくいように管理された電子機器工場などの製造現場で、製造時にデバイス(IC などの部品)が ESD によって劣化や破壊しないことを確認するために行われる。このテストの目的は、IC などの被試験デバイスが、比較的小さなエネルギーの ESD によって劣化または破壊されるかどうかを判断することである。Human Body Model(HBM)、Machine Model(MM)、Charged Device Model(CDM)などの試験がある。試験対象は全てのデバイスの端子で、ESD に対する保護はそれぞれのデバイスに内蔵された保護回路で行われる。

システムレベル試験は、家電、医療、産業機器等を対象とした、国際規格 IEC 61000-4-2 で耐性試験方法が規定されている。人体から直接放電される静電気放電、及び人体から近接している物体への静電気放電に曝される電気・電子装置(EUT)の耐性を定量的に確認する試験で、日常の環境下(USB 端子にケーブルを接続するときなど)で電子機器などが劣化や破壊しないことを確認する。試験対象はコネクタ、タッチセンサー、アンテナなどを經由して外部に露出したI/O端子である。

図1に示すように、デバイスレベル試験で印加されるESDを想定した試験波形よりも、システムレベル試験の方が大きなエネルギーを持つ試験波形で行われる

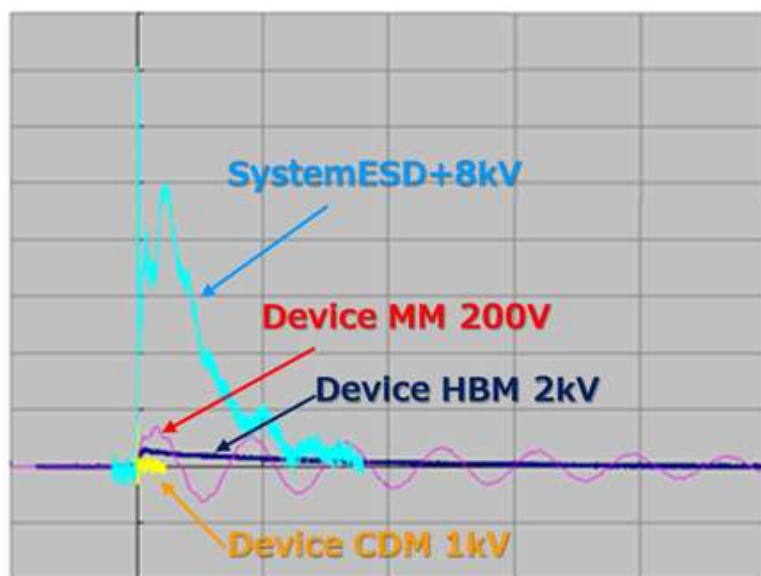


図1 ESD モデルの放電電流波形の比

【出典:実践!電子機器・部品の信頼性評価・解析ガイドブック Part4 日刊工業新聞社】

2. デバイスレベル試験

(1) 人体帯電モデル(Human Body Model): 人から電子部品への放電

静電気を帯びた人が電子部品に触れることで放電が起き、電子部品を破損するパターンの試験である。

特に空気が乾燥した環境で顕著に見られ日常生活・製造現場問わずあらゆる場面で発生する。静電気破壊で最も多い原因がこの人体モデル(HBM)による放電である。製造現場においては、対策としてリストストラップなどで人を除電することで、部品の破損を防ぐことができる。

ピーク電流(1.20~1.47A)はそれほど大きくないが、放電時間(130~170ns)が長くなる。

人体帯電モデル(HBM)試験で短絡条件の+2kV、ピーク電流 1.33A、減衰時間 150nsec で印加した放電電流波形を図 2 に示す。

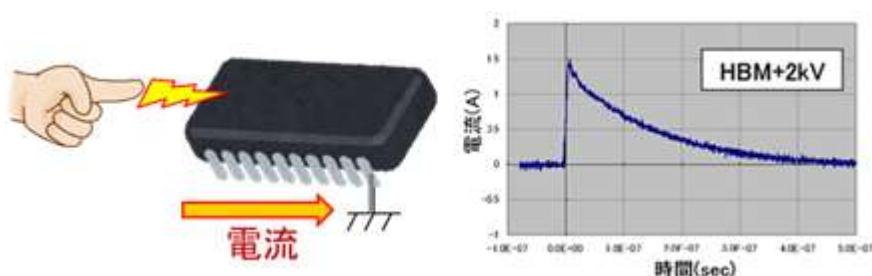


図 2 人体帯電モデル(HBM)

【出典:実践! 電子機器・部品の信頼性評価・解析ガイドブック Part4 日刊工業新聞社】

(2) マシン モデル(Machine Model): 装置から電子部品への放電

静電気を帯びた装置から電子部品への放電が起き、破損するパターンの試験である。

製造ライン上で静電気が発生すると、ホコリなどが付着して接点不良や塗装ムラが発生し、ワーク同士が付着して部品詰まりや成形部品の排出ミスなどを引き起こす恐れがある。対策としては、装置がアース接地されていれば防ぐことができる。

ピーク電流(3.0~4.0A)がやや大きく、放電時間も長い(数百 ns)ので、熱的破壊が支配的で電界的破壊も発生することもある。

マシンモデル(MM)試験で短絡条件の+200V、ピーク電流 3.3A、周期時間 80nsec で印加した放電電流波形を図 3 に示す。

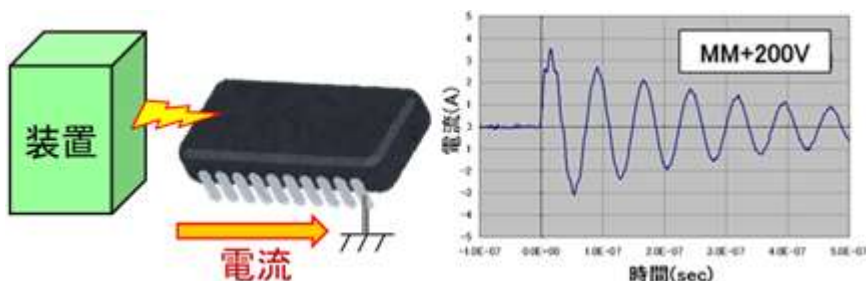


図 3 マシンモデル(MM)

【出典:実践! 電子機器・部品の信頼性評価・解析ガイドブック Part4 日刊工業新聞社】

(3 デバイス帯電モデル(Charged Device Model): 電子部品自体の帯電による破壊

摩擦などによって電子部品(デバイス)自体が帯電し、その状態のまま金属などの導体に触れると回路内に急激な電流が流れて静電気破壊が発生するパターンの試験である。電子部品自体の静電気をなくす必要があるため、除電器(イオナイザ)の使用が効果的である。

ピーク電流(約 5.75A)が非常に大きく、放電時間約 1.0ns)は非常に短いので、電界的破壊を起こしやすい。

デバイス帯電モデル(CDM)試験でデバイスの特定ピン(導体設置)に+1kV、ピーク電流 11.5A、パルス幅 1nsec を印加した放電電流波形を図 4 に示す。

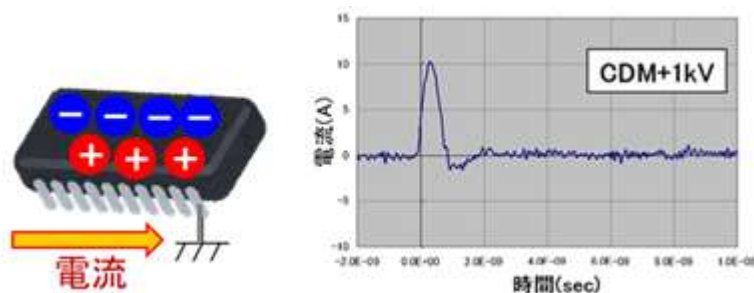


図 4 デバイス帯電モデル(CDM)

【出典:実践! 電子機器・部品の信頼性評価・解析ガイドブック Part4 日刊工業新聞社】

3. システムレベル試験

自然界で発生する静電気はすべて気中放電である。帯電した人体からの静電気放電現象を模擬するのであれば、本来は気中放電による試験が主となる。しかし、気中放電は温度や湿度、印加極性、電極の表面状態など様々な要因により、その放電現象が安定しないため、試験の再現性に乏しい。そこでより試験再現性の高い接触放電での試験が主体となっている。

なお、接触放電が行えない場合、例えば筐体が樹脂でできている場合などは気中放電にて試験を行っている。

(1) 自製品の導電部位にする静電気放電試験(接触・直接放電)]

静電気放電試験の主体であり、気中放電より優先する試験方法である。

通常使用において人体が直接接触すると想定される金属部(金属筐体、金属のボタン、ネジ、コネクタ等)に対して適用する。

図5に示すように、ESD試験器の放電点を自製品の金属部に接触させた状態で、1秒間隔正負10回以上、4ヶ所以上、印加(接触放電試験)する。

接触・直接放電試験は塗料やメッキなどの塗装を突き破って金属部に接触するため、先端部が尖った円錐型の電極を使用する。

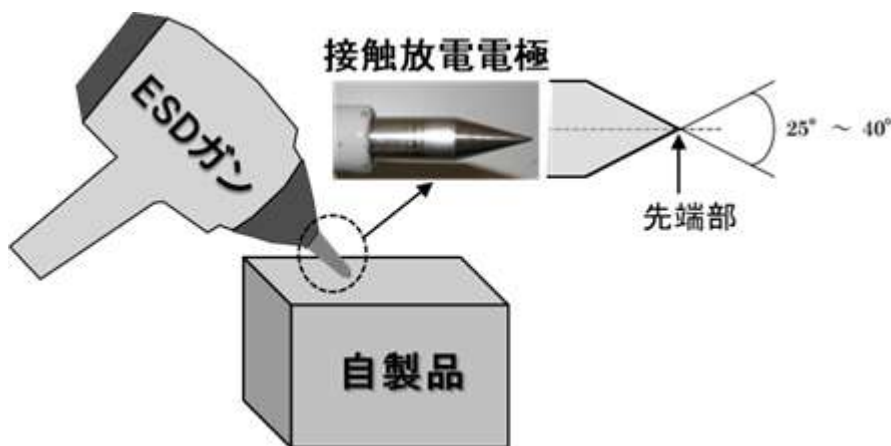


図5 接触・直接放電試験

【出典:実践！電子機器・部品の信頼性評価・解析ガイドブック Part4 日刊工業新聞社】

(2) 自製品の近接した物体に人体からの ESD が発生した状況をシミュレートする静電気放電試験 (接触・間接放電)

自製品が実際に使用される環境下では、その自製品の他にも様々な物(戸棚や机、電子機器、機械 etc. . .)が置かれている。間接放電は、この自製品の近傍に置かれた金属体へ人体からの静電気が放電した事を想定し、その金属体の表面を流れる放電による電磁界の輻射が自製品に対してどのような影響を与えるかを模擬した試験方法である。実際の試験では、自製品の近傍に金属の導電板を設置し、その導電板に ESD ガンの電極を接触させて、静電気放電試験を行う。

図 6 に示すように、自製品に 0.1m 近接した場所に導電板(0.5×0.5m)を設置し、ESD ガンを導電板に接触させて、1 秒間隔 正負 10 回以上、印加(接触放電試験)する。導電板に印加し間接的に印加(放射ノイズを自製品に照射)することから間接放電とも呼ばれている。

接触・間接放電試験の電極は先端部が尖った円錐型の電極を使用する。

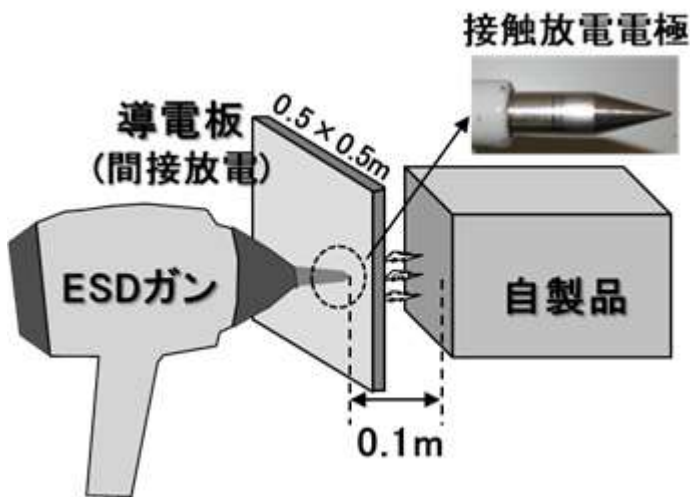


図 6 接触・間接放電試験

【出典:実践！電子機器・部品の信頼性評価・解析ガイドブック Part4 日刊工業新聞社】

(3) 自製品の非導電部位にする静電気放電試験(気中放電)

気中放電は、接触放電ができない場合、例えば筐体が樹脂で出来ている場合などに行う試験方法である。

通常使用において、表示部、操作部、外装の隙間など人体が直接接触すると想定される絶縁部(非金属部分)に適用する。

図7に示すように、ESD試験器の放電点に電圧がかかっている状態とし、それを自製品に徐々に近づけて火花放電が起きるようなオペレーションで、5秒以下間隔、正負各10回、印加(気中放電試験)する。

接触放電試験及び気中放電試験は、自製品に対して直接印加することから直接放電とも呼ばれている。

気中放電試験の電極は、電極に帯電した電荷を空気中に放出しにくくするために、先端を丸型にすることで、表面の電荷密度の集中を避けて使用している

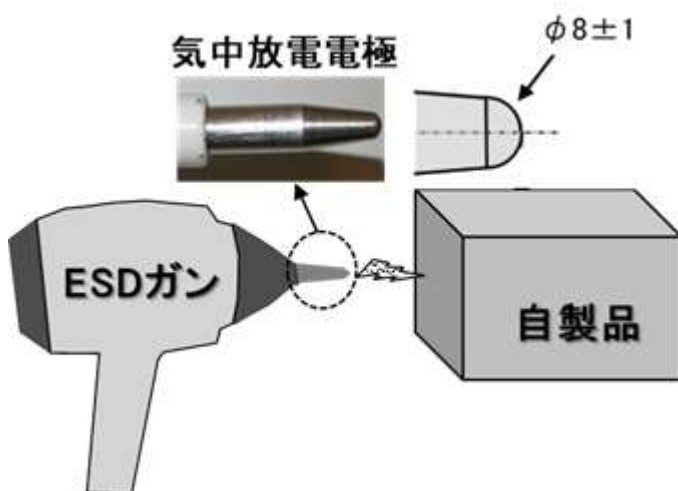


図7 気中放電試験

【出典:実践!電子機器・部品の信頼性評価・解析ガイドブック Part4 日刊工業新聞社】

4. まとめ

絶縁体と導体の摩擦で発生した静電気は分離後、導体の浮遊導体部に蓄積した電荷は、他の導体と接触すると静電気放電(EDS)を発生する。

帯電した絶縁体は他の導体と接触しても静電気放電は発生しないが、電位誘導によりIC端子等の近接導体に電位上昇をさせた状態で、外部導体と接触すると静電気放電を発生する。

電子デバイスでは、過電圧印加による半導体の酸化膜の絶縁破壊、過電流によるIC内配線の熱的破壊などによるデバイスの故障・劣化や、静電気放電から輻射する電磁波が、電子回路へノイズとして加わり誤動作を引き起こすなどの障害の要因となる。

静電気帯電の防止には、導電性の物体に対して接地を行い、帯電した電荷を接地へ流出させることが最も簡易的な手法である。

1. 雷の種類

雷は自然現象で、雲と雲の間、または雲と地表面との間に生じる放電現象である。

この放電が雲と地表面で生じるのが、落雷であり、一般家庭で使用する電圧の数百万倍のエネルギー(約1億ボルト)が放出される。

雷は雲の中で発生するもので、暖められた水蒸気が上昇気流となり大気層の上方で冷たい空気に侵入すると、水や氷の粒ができ、この粒同士が集まり、こすれ合うことで静電気が発生する。粒の小さい正の電荷は上へ、大きな負の電荷は雲の下へ移動し、雲の下部に集まった負電荷が地面の正電荷へ放電すると落雷が発生する。

上昇気流の発生原因により、図1に示すような種類がある。

熱雷: 太陽の強い日射によって地面近くの空気が熱せられ、上昇気流が発生することにより、大気が不安定になり雷雲が発生する。

夏の夕立など、代表的な雷である。

界雷: 温暖な気団と寒冷の気団が接する所で寒冷前線や温暖前線が発生する。

この前線付近で、寒気が暖気を押し上げ、暖気が寒気の斜面に沿って上昇することで、雷雲が発生する。

季節の変わり目や、冬の日本海側で多発する雷である。

渦雷: 発達した低気圧や台風を中心付近などで、寒気と暖気が衝突する近傍で周囲から、激しく吹き込む気流の大渦巻きで発生する雷である。

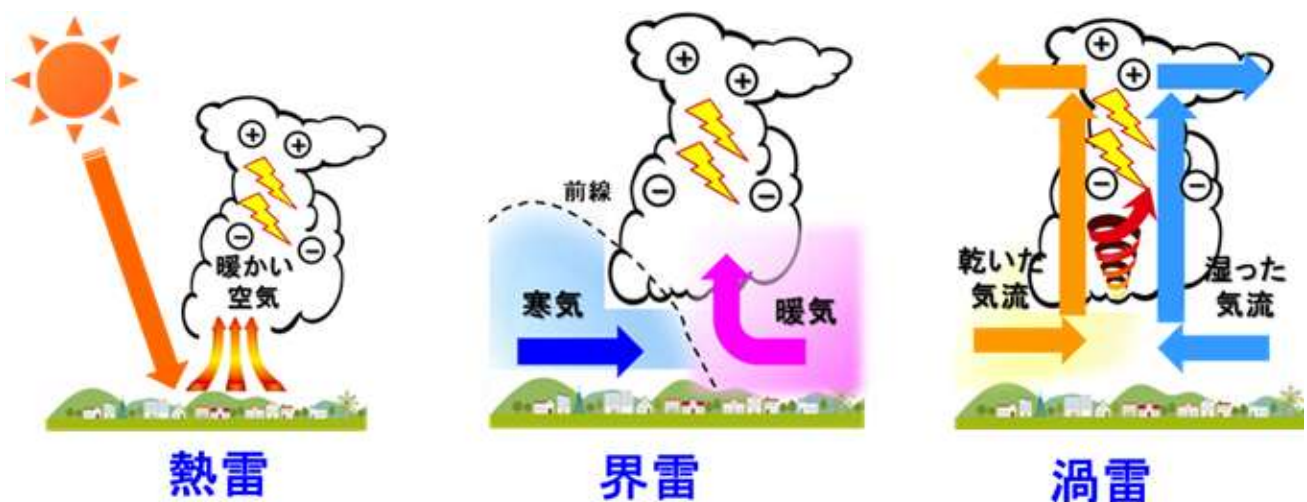


図1 雷の種類 【出典:おもしろサイエンス 雷の科学 第1章 雷の不思議 日刊工業新聞社】

2. 雷サージの種類

雷サージは高電圧で低周波なので電子機器の絶縁破壊や機能停止、劣化などの障害を発生させる。

雷の電流は非常に大きいため、雷が建築物や電線などに直接落雷した場合には非常に大きな雷サージ電流が流れ、建築物や電気設備に大きな被害を与える。また、直接の落雷でなくても雷放電路を流れる電流により、配電線や通信線近傍の電磁界が急変し、電源線や通信線に誘導された雷サージが発生する。このようにして発生した雷サージが電源線や通信線を通して電気機器に侵入し、被害を与えるので、落雷地点から離れていても被害を受ける可能性がある。

雷サージの種類及び発生要因として、直撃雷、誘導雷、逆流雷がある。

(1) 直撃雷

図2に示すように、建築物の避雷針やアンテナ、送配電線、通信線などに直接落雷し、屋内の電子機器に侵入する。

雷の衝撃は大きいですが、影響は局所的である



図2 直撃雷 【出典:技術情報 雷サージとは 音羽電機工業株式会社】

(2) 誘導雷

図3に示すように、直接の落雷ではなく、近傍の樹木や建築物への落雷によって、雷放電路に流れる電流による電磁界の急変により、導体(送配電線、通信線など)へ二次的に空間誘導された雷サージが発生し、電子機器に侵入する。

電子機器への侵入経路は下記の通り

- ・電源線
- ・通信線
- ・アンテナ
- ・接地

雷の衝撃は比較的小さいが、影響範囲は広範囲に及ぶ。

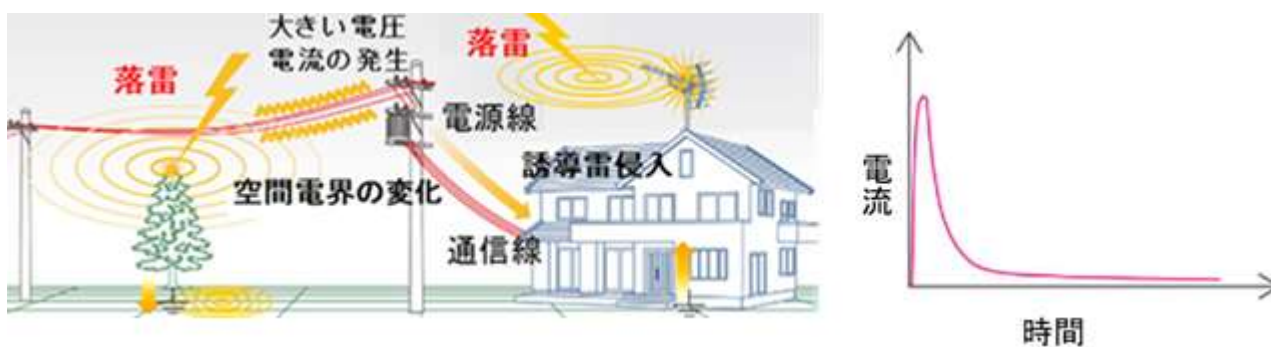


図3 誘導雷 【出典:技術情報 雷サージとは 音羽電機工業株式会社】

(3) 逆流雷（接地雷）

図4に示すように、構造物などへの落雷による接地電位上昇によって、引き込まれている導体（送配電線、通信線など）に落雷電流の一部が流出し、接地から電子機器に過電圧や過電流が逆流する。

雷の衝撃は比較的大きいが、影響範囲はやや限定的である。



図4 逆流雷 【出典:技術情報 雷サージとは 音羽電機工業株式会社】

3. 雷サージ対策

線路～大地間電圧のサージ電圧は数万ボルトに達することもあるが、多くは5千ボルトまでといわれている。また線間に発生する電圧は数百ボルトといわれている。

機器の破壊状態を分析すると、この線間電圧によるノーマルモード破壊が多く、これを線間破壊(V_1)と呼んでいる。この特徴は、雷サージの侵入路となった端子に近い半導体部品が壊れる。

また、線路～大地間のコモンモード破壊を放電破壊(V_2 、 V_3)という。雷サージの対大地間電圧は非常に高いので、電子回路と接地されたケース間でアーク放電が生じる。放電破壊の特徴は、回路～ケース間の絶縁の甘い部分が壊れる。

雷サージの伝播モードを図5に示す

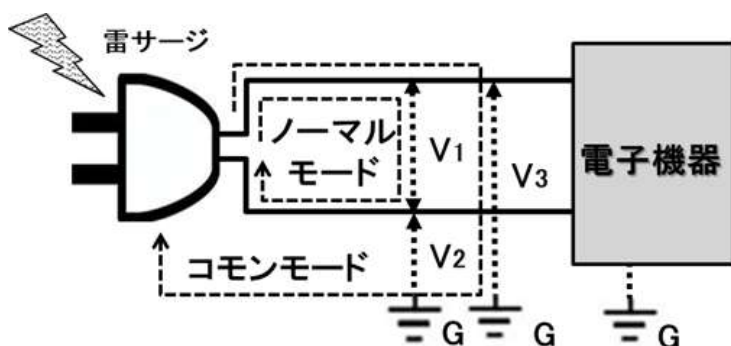


図5 雷サージの伝播モード【出典:サージ対策 EMC 村の民】

(1) 線間破壊(ノーマルモード)

電子機器が、ライン端子間に加わる雷サージによって破壊サージエネルギーはさほど大きくはないが、サージ電圧が直接電子部品に加わるため、電子機器にとっては脅威となる。

線間破壊の保護回路を図6に示す。

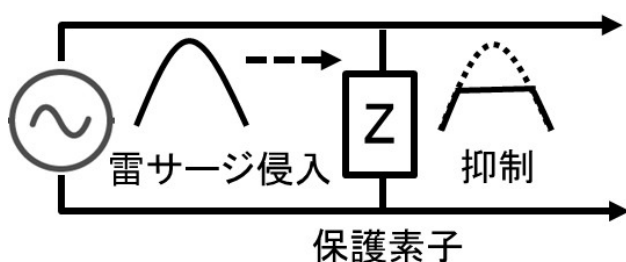


図6 線間破壊の保護回路

【出典:トランジスタ技術 SPECIAL No.64 第5章 雷サージ対策 CQ 出版】

(2) 放電破壊(コモンモード)

電子機器が、ライン～筐体間に加わる雷サージによって破壊し、ライン～筐体間にサージ電圧が加わり、電子回路の一部が、金属ケースなど大地に電氣的に接続されている部分へ放電する。このとき、放電電流の通路となった電子部品が破壊される。

放電破壊の保護回路を図 7 に示す。

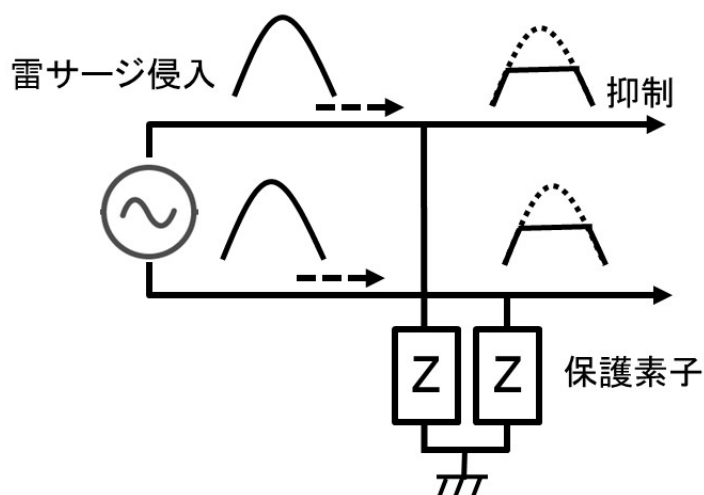


図 7 放電破壊の保護回路

【出典:トランジスタ技術 SPECIAL No.64 第 5 章 雷サージ対策 CQ 出版】