

# 弹载控制器数字 I/O 端口的 ESD 防护\*

丁力, 杨益, 黄超凡, 郑松海

(中国兵器工业第203研究所, 西安 710065)

**摘要:**针对弹载控制器设计中数字 I/O 端口出现的 ESD(electro static discharge) 干扰导致端口失效的现象, 分析了 ESD 干扰现象及其机理, 结合常规的 ESD 防护方法, 提出了一种基于磁珠和 ESD 保护器件的弹载控制器数字 I/O 端口的 ESD 保护设计方案, 保证系统在 ESD 干扰下数字 I/O 端口的稳定可靠的工作。最后通过实际工程应用验证了该方案的有效性。

**关键词:**弹载控制器; ESD; 数字 I/O; 端口保护; 磁珠

**中图分类号:** TJ760.32 **文献标志码:** A

## ESD Protection Digital I/O Port of Missile Controller

DING Li, YANG Yi, HUANG Chaofan, ZHENG Songhai

(No. 203 Research Institute of China Ordnance Industries, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** To eliminate ESD disturbance, a novel design approach investigated to protect the digital I/O port of missile controller. Firstly the phenomenon and principles of ESD. Then, a controller designed to accommodate the ESD disturbance by using of magnetic bead. The digital I/O port of missile controller in all states. Finally, the effectiveness of the proposed method demonstrated by experimentation.

**Keywords:** controller; ESD; I/O; protection; bead

### 0 引言

ESD 静电放电,是指带电体周围的场强超过周围介质的绝缘击穿场强时,因介质产生电离而使带电体上的静电电荷部分或全部消失的现象。在静电放电的过程中,会产生瞬时大电流,伴随强烈电磁辐射并形成电磁脉冲,从而对电气设备的软硬件造成危害。导弹武器系统中各类电子设备在运输、存储和工作过程中常常受到 ESD 干扰产生瞬时大电流及电磁脉冲,从而导致各类弹载电子设备的硬件和软件工作出现故障,影响导弹系统工作的稳定性和可靠性。文中通过对 ESD 原理及 ESD 现象对电子设备造成的干扰进行分析和研究,结合弹载控制器实际工作情况,提出弹载控制器 ESD 防护的解决方案。

### 1 ESD 造成破坏的机理和现象

ESD 主要有两种破坏机制:

- 1) ESD 电流产生的热量导致器件的热失效;
- 2) ESD 高电压导致绝缘击穿,从而激发更大的电流,造成进一步的热失效。

ESD 失效分为永久失效及暂时失效。当在静电

接触传导放电时产生的电压过高电流过大时,有可能会造成器件永久性损坏。在某些情况下,一些较小的电路噪声会造成设备出现异常现象,但并不影响设备的继续使用,这种情况称为 ESD 暂时失效。

ESD 干扰现象在武器系统的电子设备中时有发生,在静电放电过程中,产生潜在的破坏电压、电流和电磁场。ESD 干扰产生强大的尖峰脉冲电流中,包含丰富的高频成分,其最高频率甚至可能超过 1GHz。这些高频脉冲使得 PCB 板上的走线变成非常有效的接收天线,从而使电子设备感应出高电平噪声。ESD 电流产生的场可直接穿透设备,或通过孔洞、缝隙、输入输出电缆等耦合到敏感电路。ESD 电流在系统中流动时,激发路径中所经过的天线,导致产生波长从几厘米到数百米的辐射波,这些辐射能量产生的电磁噪声将损坏电子设备或干扰它们的运行。

ESD 对弹载控制器的干扰主要分为两类:一类是静电放电电流直接产生的干扰,另一类是产生的电磁场通过电容耦合、电感耦合或空间辐射耦合造成的干扰。若 ESD 感应的电压或电流超过电路的电平信号,在高阻抗电路中,电流很小,此时电容耦合占主导,ESD 感应电压将影响电路电平信号;在低阻电路

\* 收稿日期:2011-09-22

作者简介:丁力(1982-),男,陕西人,工程师,硕士研究生,研究方向:武器系统应用。

中,电感耦合占主导,ESD 电流将导致器件失效。无论何种干扰现象的出现,都会造成弹载控制器和整个导弹的工作异常。文中着重针对弹载控制器的数字 I/O 端口的 ESD 干扰防护进行研究。

## 2 弹载控制器数字 I/O 端口 ESD 防护设计

弹载控制器设计时,为保证系统正常可靠的运行,往往在容易受到 ESD 影响的地方进行防护设计,防止 ESD 干扰、瞬态尖峰脉冲造成端口工作异常。常用的保护器件主要有两种,一种是 TVS Diode(transient voltage suppressor diode),另一种是 MLV(multi-layer varistor),这两类 ESD 保护器件的特性见表 1。

表 1 MLV 与 TVS 管的特性对比表

	MLV	TVS
抗击能量	小	大
抗击电压	>10kV 更高	>4kV
响应时间	极快	稍慢
抑制脉冲	极高速	中高速
对线路的容性影响	极低	一般
对高速通信的影响	极低	高
线路中可使用的数量	多个	少量

### 2.1 弹载控制器电源端口 ESD 防护设计

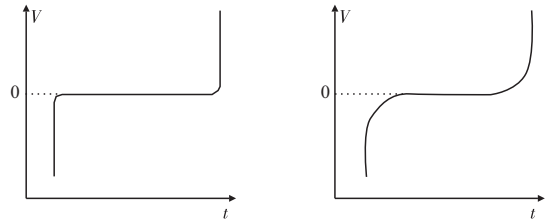
弹载控制器稳定工作的前提是保证电源输入的稳定性,导弹工作时,电源容易受到 ESD 干扰出现异常,从而导致整个电路的工作异常。针对该类现象,在设计中在电源电路中加入大功率 TVS 二极管,实现对瞬时脉冲干扰的抑制。

### 2.2 弹载控制器数字 I/O 端口 ESD 防护设计

ESD 干扰是造成弹载控制器端口损坏失效的主要原因之一。在弹载控制器设计中端口的 ESD 防护设计显得尤为重要。

弹载控制器的端口保护设计中,应用“疏导”的理念,旁路泄放 ESD 能量。常规方法是在电路中加入变阻器进行干扰电压信号的抑制。由于变阻器的阻容特性,信号在通过变阻器后会发生变化,变化曲线如图 1 所示。变阻器对 ESD 脉冲及干扰信号反映较慢,在信号传输过程中会造成信号质量发生改变。

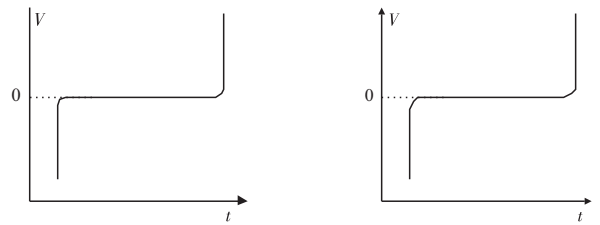
弹载控制器通信端口信号的传输速率高,频率快,在实现 ESD 防护的同时确保信号传输完整性,必须选择响应速度快、抗击电压高、具有低容抗、对信号传输影响很小的 ESD 保护器件。变阻器的各项特性,无法有效实现对干扰抑制的同时保证信号的完整性。MLV 型 ESD 保护器件,能够在迅速响应 ESD 脉冲及干扰信号的同时保证信号传输的完整性,信号通



(a) 信号通过电阻器前 (b) 信号通过电阻器后

图 1 信号通过变阻器曲线变化图

过 MLV 型 ESD 保护器件的变化曲线如图 2 所示,从图中可以看到信号在通过 ESD 保护器件的前后基本不会发生变化。



(a) 信号通过 ESD 器件前 (b) 信号通过 ESD 器件后

图 2 信号通过 ESD 保护器件的曲线变化图

MLV 型 ESD 保护器件虽然具有低容抗、高响应、箝位电压高等特点,能够响应高频 ESD 脉冲,实现对尖峰电压箝位保护端口,但是当其所提供的旁路不足以疏导足够多的能量时,保护电路仍然会受到部分 ESD 或尖峰干扰能量的冲击而不能正常工作。针对此类情况,弹载控制器端口进行 ESD 保护设计时,在 ESD 防护器件与被保护电路之间串联接入磁珠。磁珠实质上就是一种填充磁芯的电感器,相当于一个低通滤波器,其最大特点是其阻抗随着频率的变化而变化,图 3 所示是典型的磁珠阻抗-频率特性曲线。在低频段,磁珠通常具有欧姆级或更小的阻抗,呈现非常低的感性阻抗值,不会影响到有用数据信号在线路上的传输;而在某一特定的高频频率段,阻抗增大,具有几百欧姆或几千欧姆的阻抗,但是其感抗分量仍能保持很小,电阻性分量却能迅速增加。不同型号的磁珠具有不同的最高频率点和最高阻抗值,阻抗对频率的变化快慢程度也会不同。由于磁珠在某一高频段具有高阻抗的特性,当高频能量通过时,电阻性分量会把这些能量转化为热能消耗掉,使高频噪声信号大大衰减,而对低频有用的信号的阻抗可以忽略,因此磁珠经常被用于某一频段的 EMI 抑制。

在静电放电或瞬态尖峰干扰侵入的过程中,典型的放电电流波形如图 4 所示。

根据尖峰干扰对应的时刻,将时域波峰转化为对应的能量频谱峰值频点值,计算得出干扰信号的主要能量集中出现在对应的频谱峰值频点附近。针对不

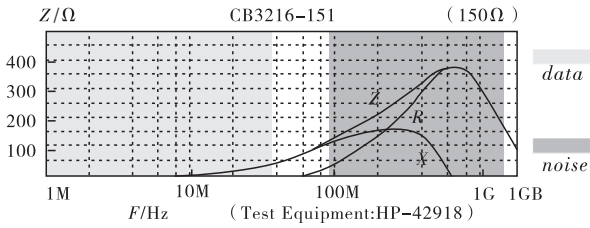


图 3 磁珠阻抗 - 频率特性曲线

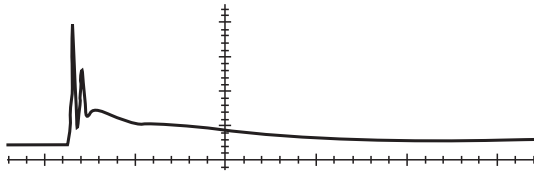


图 4 ESD 干扰及瞬态尖峰脉冲波形图

同的干扰情况,选取相应频段具有高阻抗的磁珠配合 ESD 保护器件使用,连接如图 5 所示。当弹载控制器端口受到干扰时,与被保护端口并联的 MLV 型 ESD 保护器件提供一条对地泄放路径,在 ESD 保护器件不足以泄放所有的能量时,通过在 ESD 保护器件前端串联接入的磁珠,对 ESD 产生的电流形成高阻抗,使干扰的大部分能量被以热能形式消耗掉,实现端口的有效保护。

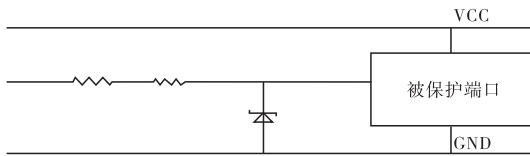


图 5 端口 ESD 防护电路

### 3 应用实例

某型导弹的研制过程中,在进行系统的联试时,由于瞬态尖峰脉冲侵入通信端口,导致弹载控制器的 RS422 通信端口发生损坏,从而导致数据通信中断,影响整个试验的进程。经过对故障的定位和分析,得出损坏保护电路的原因是在端口保护电路的设计中单一接入的 ESD 保护器件功率不能完全泄放瞬态尖峰电压脉冲的能量,从而导致 MLV 型 ESD 保护器件被烧毁。根据分析的结果,对保护电路进行改进设计,电路示意图如图 6 所示。

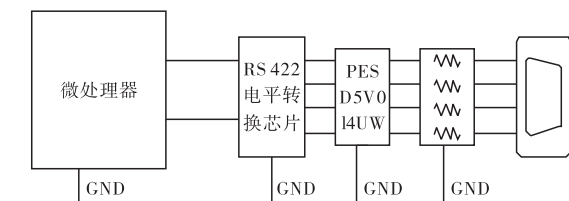
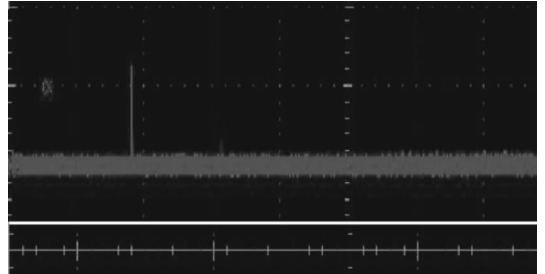
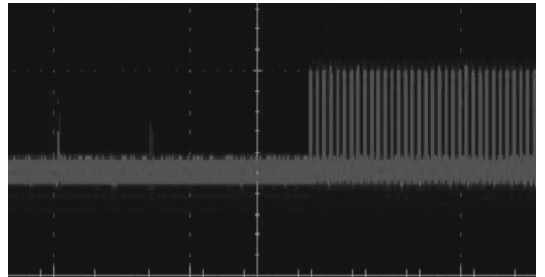


图 6 弹载控制器端口保护电路

在信号输入端接入在 1 MHz 频率时具有 1kΩ 高阻抗态的大电流型磁珠来消耗能量,在磁珠的后端接入 MLV 型的 ESD 保护器件,实现对尖峰干扰信号的箝位,保证进入弹载控制器端口的信号在允许范围内,经过反复测试,通过保护电路的波形如图 7 所示,弹载控制器端口工作正常,未出现端口损坏现象。



(a) 加入改进措施前



(b) 加入改进措施后

图 7 通过保护电路的波形

### 4 结论

文中通过对 ESD 干扰现象原理的分析,根据弹载控制器实际工作出现的情况,利用磁珠的阻抗与频率特性,结合高效快速的 MLV 型 ESD 保护器件实现对弹载控制器通信控制端口的有效防范,保证了弹载控制器稳定可靠的工作,并通过实际工程应用中证明该设计方案合理可行。

#### 参考文献:

- [1] Sunlord. EMC 电子元器件[Z]. 2007.
- [2] 刘尚合,武占成. 静电放电及危害防护[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2004.
- [3] 蓝志洋,黄明华. 嵌入式系统硬件可靠性和抗干扰性技术[J]. 现代电子技术,2005,28(14).
- [4] ANON. Department of Defense Dictionary of Military and Associate Terms [EB/OL]. [2007 - 12 - 10].