

## 电磁兼容性 (EMC) 保护措施

Bernhard Konrad, (美国) 美信集成产品公司 范立青 译

## Practical aspects of EMC protection

摘要: 现代生活越来越依赖于电子产品, 理想的电子产品应该能够抵御任何外部的电磁干扰。采取线路滤波、合理的线路板布局、正确的电源设计和屏蔽措施可以有效的减少干扰。外部电气干扰主要来自电源或由容性、磁场、电磁辐射通过空间传播而来, 本文主要讨论如何保护设备不因外界有害电压或电流的冲击而损坏。

关键词: EMC、ESD、电磁兼容性、隔离

有关部门很早就认识到 EMC 保护的重要性, 并制定了相应的设备兼容性标准。例如, IEC1000-4 标准测试方法, 其中包括: IEC1000-4-2 静电放电 (ESD) 测试方法, IEC1000-4-4 快速瞬变 (FTB) 测试方法和 IEC1000-4-5 高能量瞬变 (浪涌) 测试方法。所有的测试方法都以电噪声的实际模型为准则。在选择具体的保护措施之前需注意以下事项:

- \* 必须在设计电路时考虑电磁兼容性 (EMC) 保护, 而不是在完成设计后增加保护功能。
- \* 尽早阻止干扰进入设备, 最好在干扰进入设备之前将其对地旁路掉。
- \* 所有可能暴露于 EMC 干扰的部件、甚至是电气上的隔离部件都应尽可能远离敏感电路。

## 一、EMC 保护电路:

## 1、隔离

因为信号电路无法承受千伏级电压, 这种干扰必须排除在输入电路之前, 可以将其转变成电流信号、然后转化成热量消耗掉。地回路电流可以进入接口并流过整个电路, 一般需要电气隔离。在连接线较长或地回路电流较大的工业系统中, 隔离是一种行之有效的办法。

一个峰值为 30A 的 ESD 脉冲在地线上只会产生几十 mV 的电阻压降, 但是它陡峭的上升时间 (30A/ns) 可以在同样的线路上 (假设线电感为 1nH/cm) 产生高达几百伏的感应电压, 足以导致错误数据的产生。如此高的频率将产生集肤效应, 线电阻显著增加。为了抵消这种效应, 需要采用大面积接地以获得低阻特性。

快速上升时间将产生 FTB 和 ESD 干扰, 通过电容耦合到低噪声区域。在解决这个问题时, 经常有人错误地在主电源变压器上增加额外的绕组来提供一个隔离的电源, 这种方法只能导致干扰进一步扩散, 使整个电路受到影响。

一个结构紧凑的低成本解决方案是采用 MAX253 驱动器构成前向电压转换器, 提供隔离电压。MAX253 具有小的封装, 可提供有效的噪声屏障。微型变压器可做到耦合电容低于 10pF、功率 1W、隔离电压上千伏 (见图 1)。

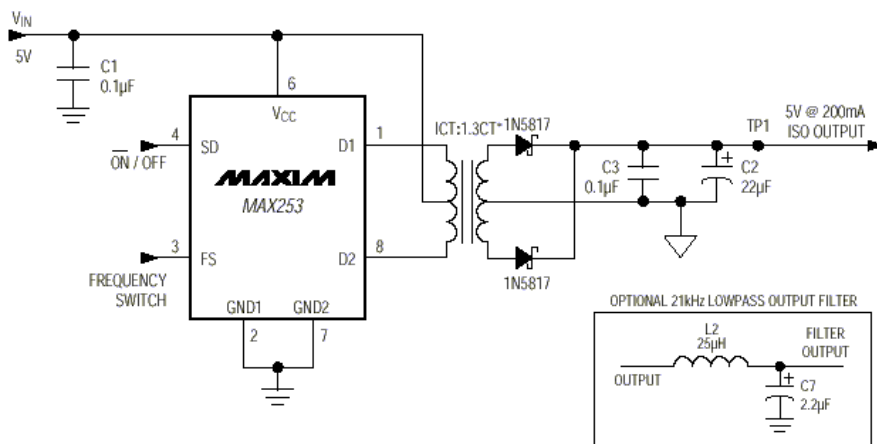


图1: 采用一个小的变压器和驱动器件从5V电源产生一个隔离的5V电源

2、气体放电管: 一种充满氖气的蝶形电容器。电压超过一定值例如 100V 左右时产生一个等离子区限制最高电压, 它可以承受较大的电流, 具有较小的漏电流。气体放电管可吸收高电平瞬态脉冲, 但是, 由于生成等离子区需要一定的时间, 它不能吸收快速瞬变脉冲, 不能用作主要保护手段。

3、压敏电阻器: 一种由金属氧化物 (主要为锌) 制成的保护器件。它的功能近似于齐纳二极管, 响应速度比气体放电管快, 但漏电流比较高, 尤其是在信号接近于钳位电压时。

4、Transzorb 二极管: 用于限制低压信号的快速瞬变, 其功率耗散能力受其尺寸的制约。同压敏电阻类似, 在接近击穿电压时有较大的漏电流。节点电容较大, 在快速瞬变系统中用二极管桥退耦。

5、ESD 结构: 一种新颖的设计方案, 它的左右类似于双向二极管, 被集成在 MAX202E, MAX485E 和其他 RS-232/RS-485 收发器芯片中 (新推出的模拟开关, 如 MAX4558, 也开始集成类似功能)。它们具有低电容和低漏电流特性, 适合于 ESD 和 FTB 保护。

6、扼流圈、铁氧体: 能衰减高频和快变电压峰值, 但不能吸收能量。要注意谐振效应, 并且总是和电容衰减器一同使用 (类似于 T 型结构的 LC 滤波器), 这些器件经常用来抑制共模干扰并作为电源滤波。

7、电容器: 是重要的保护元件之一, 主要参数包括: 等效串联电阻 (ESR)、电感应系数、电容量和电压容量。

8、串联电阻：是重要的且廉价的保护器件之一，适当地选定电阻值和功率耗散值，可以替代许多昂贵的保护器件。

## 二、EMC 保护电路的应用：

### 1、热电偶

为避免由于地环路电流的影响造成信号失真，多数热电偶应用中在信号采集和信号处理之间提供电流隔离。如图 2，差分信号通过多路复用器馈送到仪表放大器的输入端，然后送入 A/D 转换器 (ADC) 转换成数字信号，ADC 的数字输出信号经过光或磁耦合通过隔离层传输。

热电偶每个电极采用一个简单的低通 RC 网络 ( $2k\Omega$  &  $100nF$ ) 提供保护，另外，在电路公共端和设备机柜接地端之间还需接入一个具有高额定电压的  $1nF$  电容，该电容器将 ESD 干扰旁路到地，并保持直流的隔离。它同时组成一个电容分压器，降低施加到隔离电源上的峰值电压。为进一步限制峰值电压，可以将一个压敏电阻和该电容并联。图中  $2k\Omega$  电阻必须能够承受高压 ( $8kV$  ESD)，在 FTB 和浪涌测试中能够耗散相当大的功率。但是，由于漏电流在流过该保护串联电阻时将引起静态信号误差，例如多路复用器就会产生不可接受的误差，如果在多路复用器之后增加缓冲放大器将引起额外的输入失调和输入电流误差，并且增加系统造价和印制版面积。

MAX4052A 多路复用器引脚兼容于工业标准器件 4052，价格适中，在扩展温度范围内保证最大漏电流不超过  $5nA$ ， $25^\circ C$  时漏电流典型值为  $2pA$ ，可能产生的最大误差只有  $2\mu V$ 。这个误差是大多数热电偶允许接受的。如果采用仪表放大器做信号缓冲 (使用 MAX4524 四运算放大器)，将使泄漏电流在扩展温度范围内降低到  $100pA$ ， $25^\circ C$  时典型值为  $1pA$ 。另外，极低的输入失调电压温漂系数 (只有  $0.3\mu V/^\circ C$ ) 使该缓冲器非常适合于高阻抗、小幅值信号。

另外一个可替代方案是采用 MAX1402 单片信号采集器，该芯片内部包括  $\Sigma-\Delta$  A/D 转换器、缓冲放大器、多路复用器以及供传感器激励用的电流源，具有非常低的输入漏电流，大大简化了系统设计。

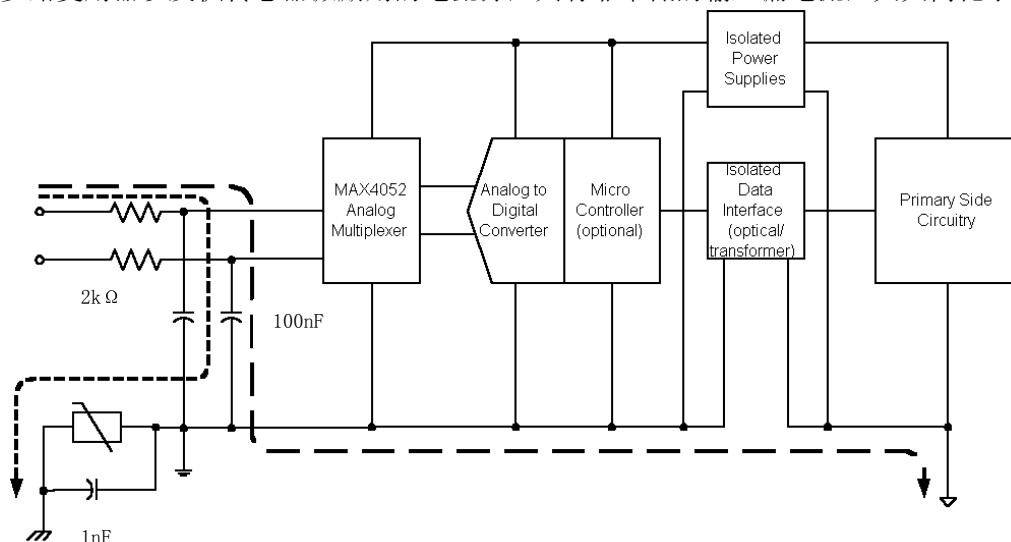


图 2、热电偶应用中在信号采集与信号处理之间提供隔离

### 2、角度编码器

角度编码器可以用来测定电机转子的位置，精密的定位系统采用双通道正交差分正弦信号作为高精度转子的位置指针。除了模拟位置信号线，这样的系统经常需要采用 RS-485/422 串行总线来设置编码器初始参数，有时这些传输线需在远距离内传送几 kHz 的模拟信号或速率为几 Mbit/s 的数字信号 (见图 3)。这种情况下无法采用大阻值串联电阻或无源阻容网络作为保护电路，图中，终端电阻 (通常为  $120\Omega$ ) 用来防止信号反射。该系统的首要需求是提供 ESD 和 FTB 干扰保护，传统的数据收发器 (图 4) 中，差分发送器输出电压由 Transzorb 二极管和退耦二极管限制，接收器也带有同样的保护。为满足发送器与接收器共模电压指标的非对称性 (EIA-422A:  $-7V$  至  $+12V$ )，需采用不对称的保护网络。发送器和接收器输入端具有相同的共模范围，可以采用相同的 Transzorb 二极管。也可以采用 MAX490E-RS-422 收发器取代整个保护网络，它集成有 ESD 和 FTB 保护电路。实际应用中，收发器的地必须尽可能短距离的和机壳/大地相连接，如果采用屏蔽线，屏蔽层也需要短距离地和此点相连接。当两个独立的地电位之间具有较大的交换电流时，可在屏蔽层和大地之间串联一个  $100\Omega$  的电阻，最好再并上一个具有低 ESR 值的旁路电容。

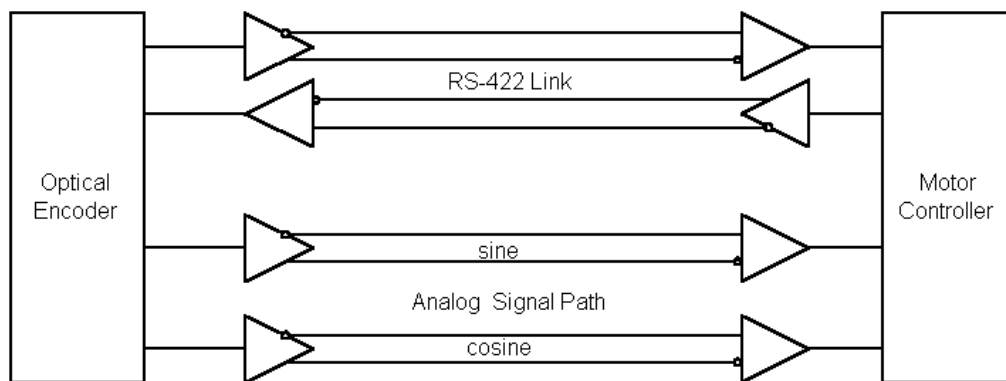


图 3: 一个光编码器通讯系统由模拟的 sin/cos 信号和双向的数字数据信号组成

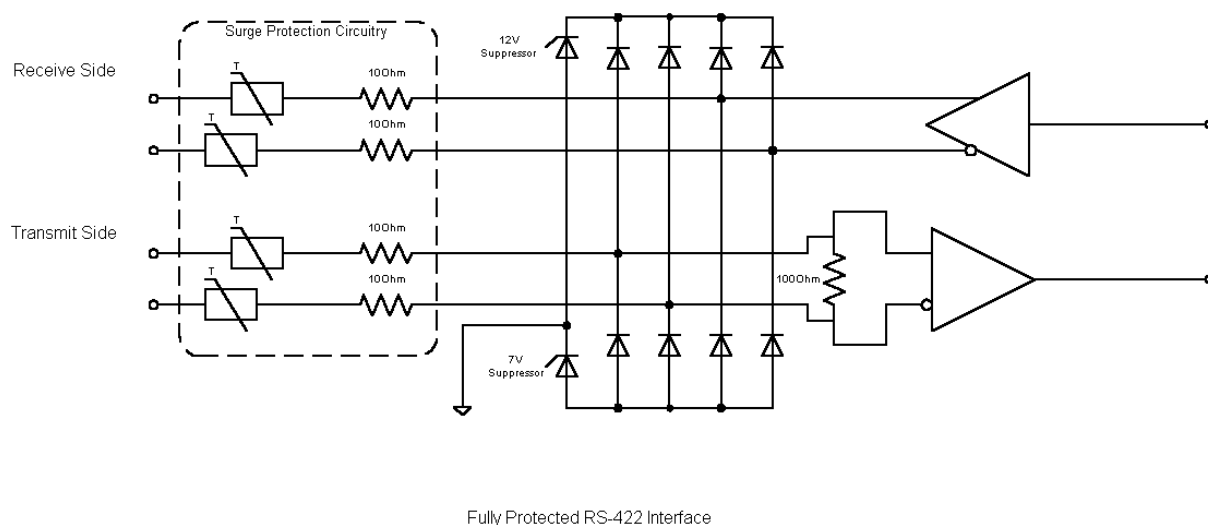


图 4: 该二极管网络提供 ESD/FTB/浪涌故障保护

如果系统需要浪涌保护，则采用外部保护网络，一个可取的方法是在线路终端串联限流电阻。这在接收端很容易实现，它只会产生微小的信号跌落。在发送端则需确认大约  $10\ \Omega$  的串联电阻是否可以接受，因为 MAX490E 的差分输出阻抗大约为  $40\ \Omega$ 。实用电路中一般还在数据线上串接 PTC 保险丝（图 4）。

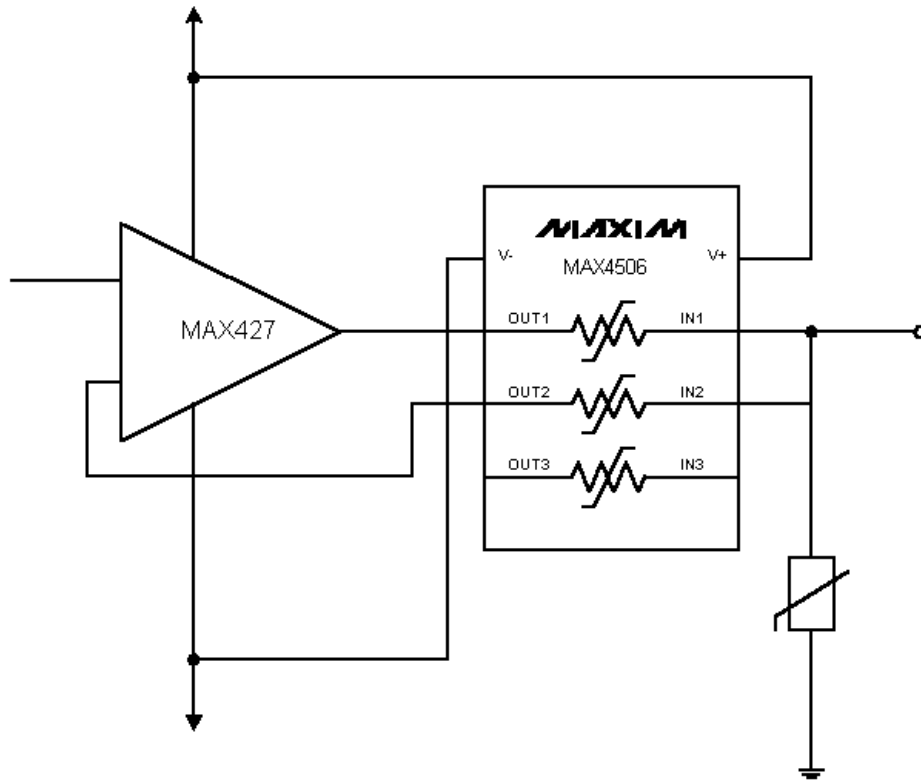
### 3、标准信号接口

信号传输模式的选择取决于系统的信号源和信号传输距离，对于宽带、远距离传输，经常需要将信号转换为高电平： $0\text{V}$  至  $10\text{V}$ 、 $-10\text{V}$  至  $+10\text{V}$ 、 $4\text{mA}$  至  $20\text{mA}$ ，或采用差分模拟信号，有些系统则通过有线、光纤、无线等方式传送数字信号，任何情况下，都需要将变送器尽量靠近信号源安装，以减小噪声影响。

例如，一个  $\pm 10\text{V}$  的接口，在电机控制应用中经常用来设置目标位置，其应用环境非常嘈杂，而且  $24\text{V}$  工业电源常有接线错误的危险。MAXIM 的信号线保护器 MAX4506 和 MAX4507 具有  $60\ \Omega$  的导通电阻和全温度范围内最大  $20\text{nA}$  的漏电流，提供了一个极好的接口保护（图 5）。电源电压范围以内的信号将完全不受影响地通过该 IC。

如果干扰导致保护端信号超出电源电压（正端或者负端），线保护器将对此故障信号呈现高阻。它可以承受  $36\text{V}$  的故障电压（断电时达  $\pm 40\text{V}$ ）。

图 5 是利用 MAX4506 和 MAX4507 为  $\pm 10\text{V}$  标准信号输出提供保护的电路。输出保护通常比输入保护更困难，尽管保护元件的漏电流会产生信号误差，但通常还是需要接收器的输入或发送器的输出端与地之间接入一个双向 Transzorb 二极管（提供  $\pm 30\text{V}$  的钳位电压）。Transzorb 二极管的钳位电压远远高于标准信号范围，所以产生的误差相当低。



Ausgangsschutz eines  $\pm 10\text{V}$  - Treibers mit MAX4506

图 5: 信号线保护器保护一个  $\pm 10\text{V}$  的接口

同样，接收器的缓冲放大器之前也需要加入信号线保护器。MAX197 是一个带有内部故障保护（ $\pm 16\text{V}$ ）的 A/D 转换器，可以使用一个双向 Transzorb 二极管（提供  $\pm 15\text{V}$  的钳位电压）与输入端并联实现简单而有效的保护，软件可编程的输入范围允许 MAX197 处理多种标准电压信号。如果需要较高的保护电平，可以将 MAX4507 八路信号线保护器置于 MAX197 之前。