



陶瓷瞬态电压抑制器 CTVS

设计说明

日期: 2014年7月

©爱普科斯(上海)产品服务有限公司版权所有。在未获得爱普科斯(EPCOS)预先许可的情况下,禁止复制、发行和传播本出版物及其包含的信息。

爱普科斯(EPCOS)是TDK集团成员

本出版物是翻译文件,具体内容请以英文版为准。

1 设计指南

1.1 陶瓷瞬态电压抑制器的保护原理

爱普科斯 (EPCOS) 多层压敏电阻 (MLVs) 和CeraDiodes多年来已经成功用于各种应用, 并已成为最受欢迎ESD保护元件。在移动通信领域, 多层压敏电阻和ESD/EMI滤波器代表了ESD保护方面的全球标准。

集成电路中的先进半导体技术可以在元件内形成非常小的几何尺寸, 但是对各种电磁干扰也越来越敏感。在应用中 (比如智能手机) 添加越来越多的功能也使其元件数量不断增加。而在另一方面, 整机微型化的趋势又使得电路板可用空间越来越少。因此, 就需要尺寸更小、无源集成水平更高的元件。EMI (电磁干扰) 或RFI (射频干扰) 产生的过高噪声等级会削弱产品的可靠运行以及设计的可靠性。人们所不想见到的瞬态效应 (比如ESD尖峰) 会通过设备的I/O端口并导致存储器数据丢失和/或IC损坏。因设备ESD敏感性而造成的产品不良率会导致高昂的代价, 而且可能影响最终产品的成功。

MLV、ESD/EMI滤波器和CeraDiodes尺寸小巧 (0201到2220)、工作温度范围广、具备非常快速的响应速度和可靠的ESD吸收能力, 因此成为电子工业中的首选。

爱普科斯 (EPCOS) 的CTVS元件可用于汽车、工业和消费电子以及智能手机, 便携式设备和计算机领域中的各种应用。为滤波器应用提供的专用元件具有规定的电容公差和集成电阻, 可使设备满足其他EMC标准的要求。此外, 0405到0612外壳尺寸的爱普科斯 (EPCOS) 阵列还能的两条和四条数据线路提供ESD保护, 0405到0508外壳尺寸的爱普科斯(EPCOS)滤波器阵列则可以同时提供ESD和EMI保护功能。

1.1.1 保护电路

多层压敏电阻和CeraDiodes是针对由电路板级ESD、EFT或浪涌所产生的电磁干扰或瞬态过压提供保护的可靠解决方案。

它们最常用于低压应用 (工作电压: $VDC < 50 V$), 以保护数据线路和电源线路。

总之, CTVS必须与要保护的电路或设备并联, 以实现瞬态过压保护 (如图1所示)。

设计说明

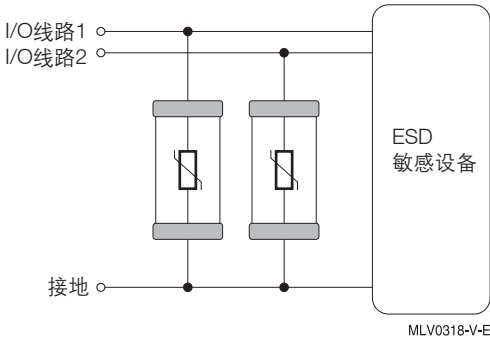


图1
ESD/EMI保护的CTVS典型电路集成方式。

线路特征阻抗

CTVS元件进行过压保护原理是以非压敏和压敏电阻的串联为基础的。每一个实际电压源和瞬态电压都有大于零的非压敏源阻抗。这种非压敏阻抗 Z_{source} (如图2所示) 可以是一根电缆的电阻、一个线圈的感抗或者是一条传输线路的复杂特征阻抗。

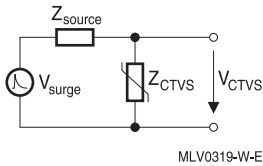


图2
等效电路 (其中 Z_{source} 表示非压敏源阻抗)

设计说明

在瞬态发生时, 电流流经 Z_{source} 和CTVS, 因为 $V_{source} = Z_{source} \cdot I$, 所以就会在非压敏阻抗上产生一个成比例的电压降。而在CTVS上的电压降也几乎不受流经电流的影响。

因为

$$V_{CTVS} = (Z_{CTVS} / (Z_{source} + Z_{CTVS})) \cdot V_{surge} \quad (\text{等效电路1})$$

分压比的变化会导致过压几乎全部落在 Z_{source} 上。

从而实现对CTVS并联电路 (电压 V_{CTVS}) 的保护。

图3和图4是CTVS元件的保护原理图示。

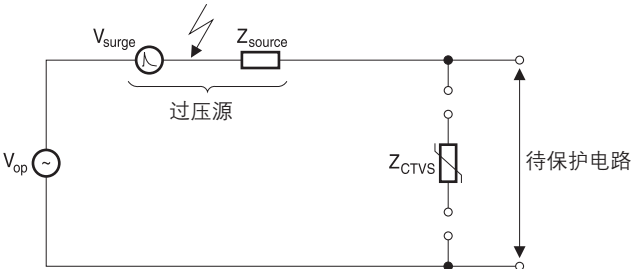


图3

用于说明CTVS如何实现保护功能的典型等效电路。浪涌过压由一个额外的电源表示。

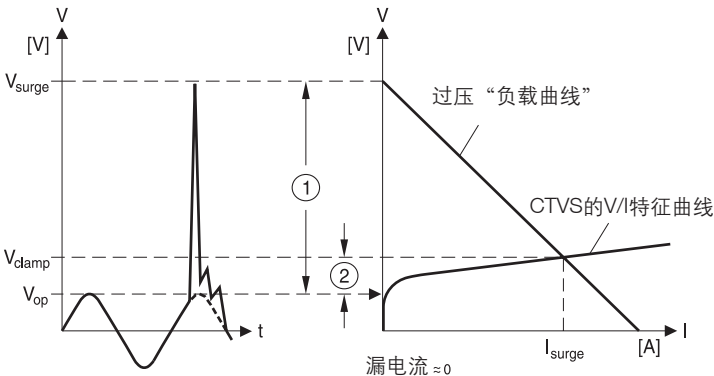


图4

典型的CTVS保护场景: 叠加在正常工作电压上的过压导致CTVS工作点发生变化 (工作点就是过压负载曲线和CTVS元件V/I特征曲线的交点), 从而有效钳制住过压。

设计说明

过压“负载曲线”和CTVS元件V/I特征曲线的交点就是过压保护的“工作点”，决定了浪涌电流的幅值和防护等级。

CTVS将过压钳制到。

V_{op} 工作电压

V_{surge} 叠加的浪涌电压

要选择最适合的保护元件，就必须了解瞬态发生时的浪涌电流波形。人们通常会（错误地）通过线路频率下（非常小）的线路电源阻抗来进行计算。这样会造成完全不切实际的电流幅值比例。请您牢记一点，那就是典型的浪涌电流波形包含了很大比例的kHz和MHz频率成分，在这些频率下电缆和引线等相对较高的特征阻抗决定了电压/电流比。

图5所示为高频过压时一根电源线的特征阻抗近似值。为了计算方便，特征阻抗通常取值为50 W。然后可以相应地进行人工网络和浪涌发生器的设计。

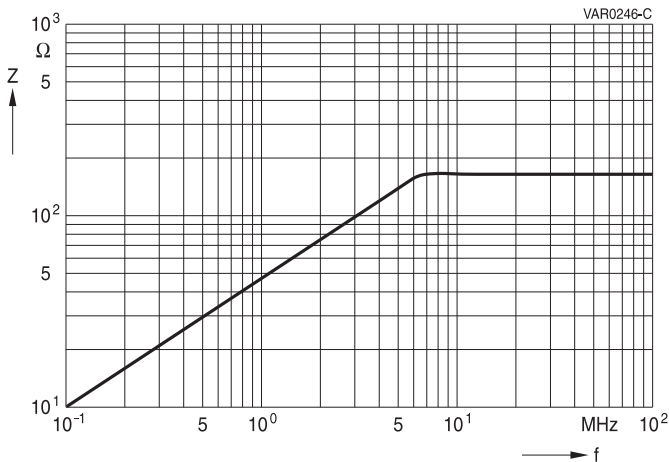


图5
高频过压下一条电源线路的阻抗

1.1.2 瞬态过压

根据过压产生的位置, 可将瞬态过压分为内部和外部过压两种。

内部过压

内部过压产生自实际待保护系统中的以下过程

- 感性负载开关
- 电弧放电
- 直接耦合高压电势
- 电路之间的互感或电容干扰
- 静电放电
- ESD

对于内部过压来说, 可以通过一个测试电路对最坏情况进行计算或跟踪。这样有助于选取最佳的过压保护设备。

外部过压

外部过压会通过以下过程从外部影响待保护系统

- 线路干扰
- 强电磁场
- 闪电

在绝大多数情况下, 这些瞬态过压的波形、幅值和频率均无从知晓或者无法精确确定。因此, 要设计相应的保护电路就会非常困难。

部分过压及其相应的电压和持续时间如图6所示。

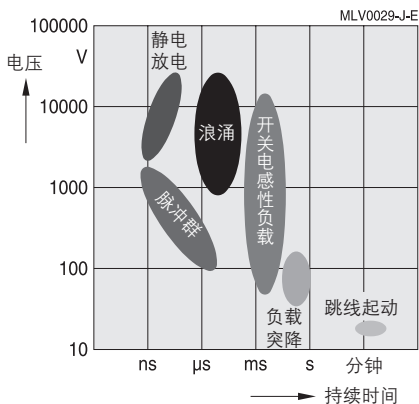


图6
瞬变过压概览

设计说明

1.2 ESD保护

元件的微型化趋势以及越来越低的信号水平都使得电子电路对于静电干扰更加敏感。只需轻轻一碰某个设备，其产生的静电放电就可能具有严重后果的功能干扰甚至是元件损坏。研究表明，站在绝缘地面（比如人造纤维地毯）上的人就能产生高达15 kV以上的放电。

为确保抗扰性和CE兼容性，就必须采取措施避免静电放电 (ESD) 造成的损坏。这对于电路布局和过压保护元件的选型都适用。

适当的过压保护元件必须满足以下要求：

- 响应时间 < 0.5 ns
- 双极特性
- 足够的浪涌电流抑制能力
- 低防护等级

此外，最好还能满足以下要求：

- 最小的元件尺寸
- 低电感SMD设计
- 稳定电容值（以实现RF干扰抑制）
- 低电容值（适用于高速数据传输的系统）
- 较宽的工作电压范围
- 较高的工作温度

所有爱普科斯 (EPCOS) 多层压敏电阻、CeraDiodes和ESD/EMI滤波器都适用于ESD保护应用：它们都满足IEC 61000-4-2标准4级兼容性要求。

1.2.1 ESD保护要求

要确定在特定环境条件下究竟需要多大的PCB级ESD保护，可将下表用作选型指南：

IEC 61000-4-2 标准兼容性等级	抗静电 材料	合成材料	相对湿度（最低）	最大测试电压	
				接触放电	空气放电
1	x		35%	2 kV	2 kV
2	x		10%	4 kV	4 kV
3		x	50%	6 kV	8 kV
4		x	10%	8 kV	15 kV

设计说明

施加电压 kV	峰值电流（符合IEC 61000-4-2标准） A
2	7.5
4	15
6	22.5
8	30

汽车标准AEC-Q200 (修订版D) - 亦可参考“保护标准”一章第1.3.1.1节“AEC-Q200标准, 修订版D” - 定义了最大测试电压方面超出IEC 61000-4-2标准要求的其他ESD元件分类等级, 请参见下表。

元件分级 (AEC-Q200标准, 修订版D)	最大测试电压	
	接触放电	空气放电
5C	-	16 kV
6	-	25 kV

1.2.2 半导体元件的耐受性

几乎所有半导体元件都容易受到ESD影响。当然, 敏感程度取决于许多不同的因素, 比如集成小功率ESD保护、电容和特定电路布局等。这些因素有助于降低因为ESD而受损的风险。因此, 在绝大多数情况下, 并不是必须选择具有最低钳位电压的外部ESD保护元件。正如“选型步骤”一章 (参见第1.3.2节) 所述, 在选择最佳保护设备时还有一些其他选择标准 (比如较小的漏电流或电容等) 也要考虑在内。作为一个通用指南, 下表列出了常用半导体元件的典型ESD耐受性。

半导体类型	典型ESD耐受性
VMOS	30 ... 1800 V
EPROM	100 V
MOSFET/功率MOSFET	100 ... 300 V
GaAsFET	100 ... 300 V
LED	100 ... 500 V
JFET	140 ... 7000 V
运放	190 ... 2500 V
CMOS	250 ... 3000 V
肖特基二极管	300 ... 2500 V
双极型晶体管及结构	380 ... 7000 V
肖特基TTL	1000 ... 2500 V

1.2.3 ESD保护原理

在设计ESD保护电路时必须将以下因素考虑在内。

1.2.3.1 提供替代性的电流通道

图7所示为相关原理。保护元件必须具备提供有效ESD保护所需要的电气特性，如“保护标准”一章第1.2.1节所述。

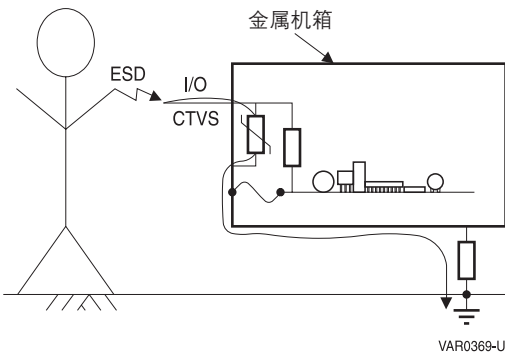


图7
用于排空ESD脉冲的替代性电
流通道

1.2.3.2 电路板布局

在设计PCB布局时必须遵守以下标准：

- 走线长度应尽可能短
- 抑制器导电通道和引线长度应保持最短
- 尽可能将CTVS置于最接近输入端子或接头的位置
- 应避免将被保护导线与未保护导线平行布线
- 千万不要在卡片边缘附近布置关键信号（时钟、复位等），因为这些位置特别容易受到ESD电压干扰
- 所有导电回路（包括电源和接地回路）都应保持最小
- ESD瞬态电压到大地之间的回流通道应尽可能短，并应避免瞬态电压回流通道连接到公共接地点
- 应在任何可能的地方使用接地层

1.2.3.3 屏蔽

静电放电短脉冲非常陡的上升沿会产生极高的电磁场，因此应该使用金属外壳或其他措施对其进行控制（屏蔽）。

1.2.3.4 两个CTVS元件的串联和并联

串联

可以将CTVS元件串联起来以更精确地匹配不常用或现有产品无法提供的电压额定值。所串联的元件应该属于同一系列（比如相同的外壳尺寸）。串联配置下的最大容许工作电压是CTVS最大DC或AC电压之和。

并联

可以将CTVS元件并联起来以实现比单个元件更高的电流负载或能量吸收能力。为此，必须要考虑浪涌电流区域内预期的工作点。在最差情况下，两个并联的CTVS元件，第一个具有与公差带上限值对应的V/I特征曲线，第二个具有与公差带下限值对应的V/I特征曲线。这就意味着，如果在浪涌电流区域使用了随意选择的CTVS元件，那么高达1000:1的电流分布系数可能会使并联毫无用处。为了达到想要的结果，必须使电压和电流与预期的工作点相匹配。

1.2.4 多层陶瓷技术与半导体抑制二极管对比

在绝大多数应用中，都可以使用多层陶瓷元件来代替半导体抑制二极管。通过对最重要的参数进行比较，结果表明多层陶瓷元件可能是实现ESD保护的更好选择。

■ 浪涌电流抑制能力

多层陶瓷元件采用了交错电极布置，可以处理超过1 kA的浪涌电流，而半导体元件则通常只能承受几安培的电流。该特性使得多层产品不仅能够提供ESD保护能力，还能处理比EIC 61000-4-5标准规定能量等级高得多的浪涌负载。

■ 双极特性

产生的ESD可能具有任意极性，这对于多层陶瓷元件来说没有任何问题，因为它们具有对称的保护特性，但是半导体抑制二极管就不行，因为它们通常需要两个元件才能达到需要的双极保护特性。

■ 工作温度

如图8所示，多层陶瓷元件可以在高达150 °C的温度下满载运行，而半导体抑制二极管从25 °C往上就开始出现载荷能力下降，在125 °C温度下通常会降到额定值的25%。通常必须在半导体电路上串联一个额外的限流电阻以进行补偿。

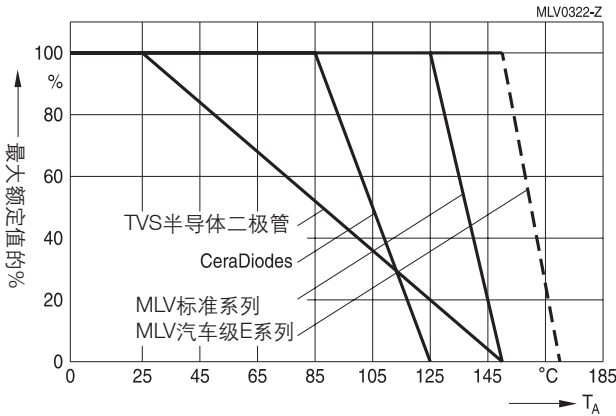


图8 多层陶瓷元件与半导体瞬态电压抑制二极管的温度降级曲线对比

■ 片状尺寸

多层陶瓷元件的陶瓷材料可用作外表面上的隔热层；端子电极则可用作直接接触表面。

比较而言，半导体元件绝大多数情况下都需要一个外壳。这就使其体积相对较大，因此也需要更多的安装空间。

■ 响应时间

多层CTVS具有极低的寄生电感，因此能以非常短的上升时间快速处理ESD脉冲（参见“保护标准”一章中的第1.2.1节“符合IEC 61000-4-2标准的静电放电（ESD）”）。半导体保护元件（比如抑制二极管）中使用的硅晶片也具有类似的特性。但是，当晶片封装好之后，封装所产生的串联电感就会使响应时间增加到 >1 ns 的数值。

1.3 EMI滤波

爱普科斯(EPCOS)元件具有两种功能：除了过压保护之外，多层元件还能抑制电磁干扰(EMI) 噪声。下面列出了一些应用范例。

1.3.1 代替离散滤波电路

通常我们都需要使用如图9所示的组合电路来实现ESD/RFI/EMI干扰保护。

在许多情况下，使用一个具有规定电容的多层元件就可以代替组合电路中的这些元件（参见图10）。此类解决方案不仅能够提高可靠性，还有助于减小体积和降低成本。

设计说明

在ESD/EMI应用中使用密集集成的多层元件解决方案采用了集成封装设计，具有更小的寄生电感，所以比使用离散元件的滤波器网络具有更好的滤波性能。

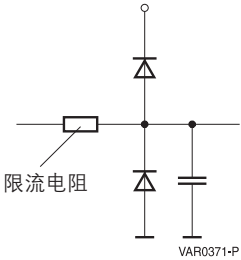


图9

在更换之前：典型的ESD/EMI滤波/保护网络。

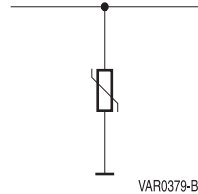


图10

在更换之后：一个多层元件可以代替多达四个离散元件。

1.3.2 代替滤波电容

一般来说，在采取数据线路保护措施时，都希望能将寄生电容保持到最低水平或者在一定范围内。如果信号线上的电容过大，就会造成信号畸变。

另一方面，EMC标准则需要滤波器元件能够抑制任何噪声。

为了满足这些要求，爱普科斯(EPCOS)开发了具有小电容(LC、HS和RF)、可控电容(CC)或大电容(HC)的多种型号多层压敏电阻。

- 小电容(LC、HS、RF)系列可用于构建高速数据线路所需要的低通滤波器
- 可控电容(CC)系列则可以代替I/O端口处的滤波电容，既可以实现ESD保护，还能节省额外的片状电容
- 大电容(HC)系列可用于直流线路的噪声抑制(EFI和EMI)

集成电容的滤波特性与1类(class-1)电容器非常相似。其额定温度介于1类和2类电容器之间，温度系数典型值为0.1%/K。

如果某个电路需要指定的电容值公差，爱普科斯(EPCOS)的可控电容(CC)系列产品就是此类应用的理想之选。

设计说明

具有指定电容值的特殊型号举例:

- CT0201S4ACC2G: 0201封装, $C = 4 \text{ pF} \pm 3 \text{ pF}$, 请参见低钳位电压系列数据表
- CT0402S5ARFG: 0402封装, $C < 1 \text{ pF}$, 请参见高速系列数据表
- CT0603S20ACCG: 0603封装, $C = 80 \text{ pF} \pm 20\%$, 请参见汽车系列数据表
- CA05M2S10T100HG: 双片式0508封装阵列, $C \leq 15 \text{ pF}$, 阵列元件之间的电容偏差为 $\leq 3\%$, 请参见高速系列数据表
- CA04F2FT5AUD010G: 双片式0405封装阵列, $C = 270 \text{ pF} \pm 30\%$, 请参见ESD/EMI滤波器系列数据表

如需这些型号元件的更多应用详情以及不同电容和公差值的特殊设计, 请与我们联系。

1.3.3 MLV和CeraDiodes的RF特性

图11和12所示为多层压敏电阻和CeraDiodes元件的典型RF特性, 电容值在较宽频率范围内基本保持不变。

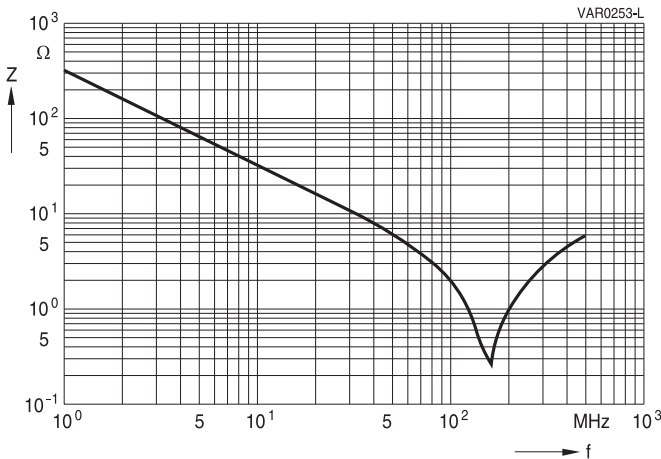


图11

阻抗的典型频率响应 (示例: MLV标准系列, CT0805M6G型)

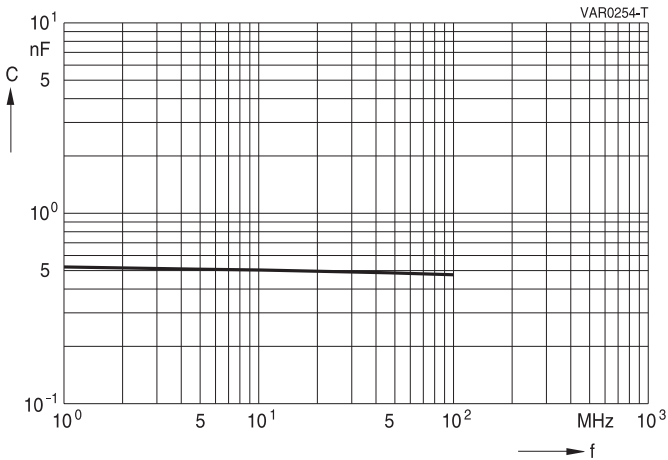


图12
电容的典型频率响应 (示例: MLV标准系列, CT0805M6G型)

1.3.4 移动技术中的EMI滤波

ESD/EMI滤波器有两个主要功能。首先,它们可以抵消电磁干扰 (EMI) 在信号线上产生的噪声,其次,它们还能电路提供可靠的静电放电 (ESD) 保护。

有关EMI滤波的术语及解释 (图13):

■ 通带

通带指的是允许信号以最小衰减或插入损耗通过滤波器的频率范围。对于低通滤波器而言,通带的频率上限通常被称为截止频率。

■ 阻带

阻带指的是预期干扰的频率范围。对于低通滤波器而言,阻带的频率下限以 f_{min} 表示,在该频带范围内的扰动将被衰减到想要的水平 α_{min} 。

■ 插入损耗

该术语用于描述传输信号功率在滤波器输入和输出线路之间的衰减量。插入损耗通常以分贝 (dB) 表示。

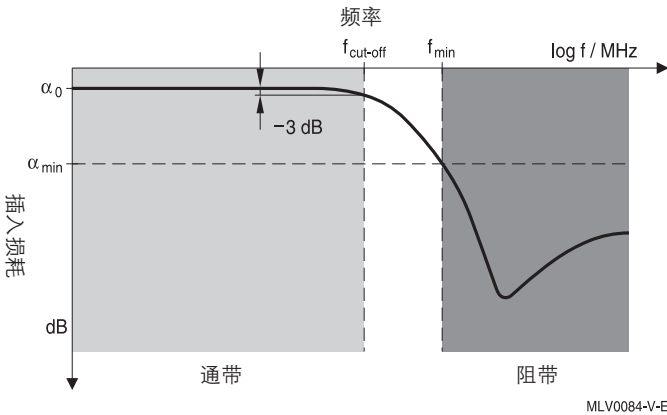


图13
ESD/EMI滤波器的滤波特性

1.4 汽车应用中的EMC（电磁兼容性）

电子设备必须能在电磁环境中可靠工作，同时也不能对环境造成干扰。这种要求被称为电磁兼容性（EMC），它在汽车电子系统中尤其重要，因为mJ级别的能量就足以干扰甚至损坏对于安全而言至关重要的设备。爱普科斯（EPCOS）提供了多种特殊型号的压敏电阻，以满足汽车电源应用中的独特需求：

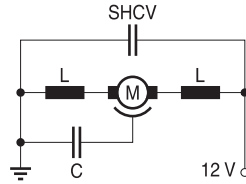
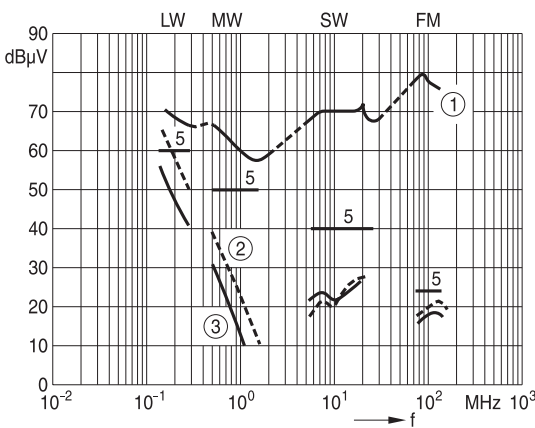
- 超高能量吸收能力（负载突降）
- 有效限制瞬态电压
- 较低的漏电流
- 跳线起动保护能力（在两倍车载电池电压下不会出现压敏电阻损坏）
- 极性接反保护
- 较宽的工作温度范围
- 对循环温度应力具有较高耐受性
- 大电容（用于RFI抑制）
- 可提供高温（HT）型号

爱普科斯（EPCOS）汽车级压敏电阻和SHCV元件都可以满足这些特殊要求。这些系列的产品都在相应的数据表中进行了特别标注。

1.4.1 RFI滤波

仅靠CTVS元件本身的电容（几nF）并不足以满足绝大多数RFI抑制应用的要求。因此，爱普科斯（EPCOS）开发了SHCVs系列产品，它们可以在非常紧凑的封装中实现瞬态保护和RFI抑制功能。这些元件由一个多层压敏电阻与一个多层电容器并联而成。SHCVs系列产品特别适用于处理小型电机（比如风挡雨刮器、电动车窗、记忆座椅、中控锁等）的RFI。图14所示为相关频率范围内（包括FM频段，也就是车载无线电干扰）抑制效果的示例。

爱普科斯 (EPCOS) 产品目前已将电容值扩展到了高达4.7 μF 。



C 对于绝缘电机外壳来说，可以使用一个短接条代替该电容

- ① 无抑制
- ② $2 \times 8 \mu\text{H} + \text{SHCV}(0.47 \mu\text{F})$
- ③ $2 \times 8 \mu\text{H} + \text{SHCV}(1.5 \mu\text{F})$
- 5 5级抑制

MLV0089-A-E

图14

在小型电机中使用扼流圈和SHCVs实现RFI抑制示例 (根据CISPR25标准测量)

1.5 电信设备电磁兼容性 (EMC)

电信、信号和控制线路通常都很长而且大都暴露在外，因此这些线路上的电磁干扰通常会非常大。所以对于所连接组件或设备的电磁兼容性要求也会非常高。

1.5.1 CTVS系列浪涌保护

在全球范围内，通信终端 (比如电话) 和开关交换系统 (比如线卡) 都在使用爱普科斯 (EPCOS) 的CTVS产品作为可靠的保护元件。

根据相关规范测试等级的不同，EIA外壳尺寸1812或2220、电压等级为K60到K130的SMD多层压敏电阻都可以用于此类应用中。

根据应用要求选择压敏电阻的最佳方法就是使用PSPice仿真。

1.5.2 用于电信应用的MLV浪涌保护系列

IEC 61000-4-5标准额外规定了根据国际电信联盟 (ITU) K系列标准对电信设备进行抗扰性测试的大浪涌脉冲, 其波形为10/700 μ s, 测试电压在kV范围内 (测试电路请参见图15)。

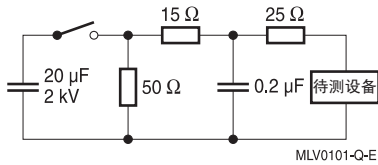


图15

用于产生10/700测试脉冲 (IEC 61000-4-5和ITU K系列标准) 的电路。

为了满足这些更加严格的测试条件, 爱普科斯 (EPCOS) 开发了“电信”专用压敏电阻, 可以吸收测试规程中规定2 kV浪涌负载的能量。更多详情, 请参见浪涌保护系列的数据表。

1.6 EMC系统设计

在解决EMC问题方面, 爱普科斯 (EPCOS) 是极具竞争力的合作伙伴。我们的能力范围包括:

- EMC测量和测试系统
- 用于电磁脉冲 (EMP) 测量的屏蔽室
- 电波暗室
- EMC咨询服务和规划

更多详情, 请联系爱普科斯 (EPCOS) 销售部门。