



# 陶瓷瞬态电压抑制器 CTVS

## 选型步骤

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。

## 选型步骤

### 1 选型步骤

陶瓷瞬态电压抑制器的选型步骤主要有以下几步:

1. 确定应用电路的要求
2. 确定预期瞬态浪涌的大小
3. 选择适当的CTVS

CTVS的最大容许负荷由预期应用的电气规格及其自身物理属性决定。请注意我们将在本章分别对此进行说明。CTVS的最大容许负荷（由预期电路的电气规格决定）都标有上标«\*»。

#### 1.1 确定应用电路的要求

- 待保护电路的工作电压 $V_{op}$
- 电路所需要的最低防护等级（钳位电压）

#### 1.2 确定预期瞬态浪涌的大小

要在限制过压条件下确定CTVS上的瞬态负荷大小，意味着您必须知道要处理的浪涌电流大小。要选择最合适的产品，我们需要知道以下瞬态负荷参数:

- 浪涌电流  $I_{surge,max}^*$
- 脉冲持续时间  $t_r^*$
- 估计的浪涌重复次数  $N$

##### 1.2.1 浪涌电流 $I_{surge,max}^*$ 和浪涌电压 $V_{surge,max}^*$

给定应用中的浪涌电流要么已明确规定好，要么可以通过应用电压计算出来。无论是哪种方式，都必须将其转换为一个矩形波并降额，以计算出CTVS必须处理的负荷大小。

情况A: 预定义浪涌电流 $I_{surge,max}^*$

通常浪涌电流都已经在规格参数中预先定义好了。在将其转化为等效矩形波之后，就可以在降额曲线的帮助下选择合适的CTVS型号。

情况B: 预定义浪涌电压 $V_{surge,max}^*$

如果预先定义了浪涌电压，那么可以使用以下方式之一确定特定网络中的浪涌电流:

## 选型步骤

### ■ 仿真

确定浪涌负荷最便捷的方法就是利用爱普科斯(EPCOS)陶瓷瞬态电压抑制器的PSpice仿真模型。由此可以计算出浪涌电流、波形以及能量。在这些模型中,最大浪涌电流可由公差带下限推算出来(设置TOL = -10)。

### ■ 测试电路

可以使用一个测试电路(预定义网络)来确定浪涌电流的幅值和波形。动态过压过程需要采取最合适的测量步骤。

### ■ 图形法

过压可以作为一条负载线画到V/I特性曲线中(端点为:开路电压,短路电流)。在该负载线与相应工作电压下CTVS曲线的交点处,可以读出最大防护等级和对应的浪涌电流。但是这种方法无法确定波形和能量。而且因为V/I特性曲线是在log-log坐标上绘制的,所以负载线也会畸变为一条曲线。

### ■ 数学近似

仅通过浪涌电压( $V_{\text{surge}}$ )的电源阻抗就能确定浪涌电流。减去CTVS两端电压降(取自V/I曲线)之后,就可以使用以下公式近似算出最大浪涌电流大小:  $I_{\text{surge,max}}^* = (V_{\text{surge}} - V_{\text{CTVS}}) / Z_{\text{source}}$ 。相关参考文献请参见“设计说明”一章第1.1节。

## 1.2.2 CTVS选型时的浪涌电流预处理

在已知应用中浪涌电流( $I_{\text{surge,max}}^*$ )的情况下,在实际选择CTVS时还要对数据进行处理。

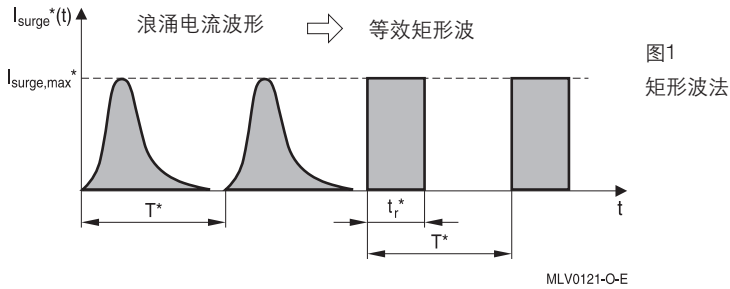
在对所获得的浪涌电流大小和CTVS设备最大额定值进行相应比较后,我们需要在保持最大浪涌电流不变的情况下将浪涌电流波形转换为等效矩形波。转换采用的是矩形波法。

### 1.2.3 矩形波法

矩形波法如图1所示。让最大浪涌电流 $I_{\text{surge,max}}^*$ 保持不变,您就可以将浪涌电流波形变换为同样面积的矩形波。 $t^*$ 是等效矩形波的持续时间,等价于降额曲线中的“脉冲宽度”。

要计算周期能量应用中的平均功耗 $P_{\text{diss,max}}^*$ ,还需要知道周期大小 $T^*$ 。

## 选型步骤



如果已知脉冲负荷,

$$\int I_{surge}^*(t) dt$$

就可以使用下式计算出 $t_r^*$ :

$$t_r^* = \frac{\int I_{surge}^*(t) dt}{I_{surge,max}^*} \quad (\text{等效电路1})$$

### 1.3 为过压保护选择适当的CTVS

确定好应用所需的工作条件之后, 下一步就是找到能够满足相关要求的CTVS

选择在以下最大额定值方面能够满足要求的CTVS:

1. 最大工作电压:  $V_{RMS,max}$ ,  $V_{DC,max}$  (单位为V)
2. 最大浪涌电流:  $I_{surge,max}$  (单位为A)
3. 最大吸收能量:  $W_{max}$  (单位为J)
4. 最大功耗:  $P_{diss,max}$  (单位为W)
5. 最大防护等级:  $V_{clamp,max}$  (单位为V)

确定所选CTVS在过压时可能产生的最大电压增量, 并将该值与待保护元件或电路的介电强度进行比较。

最高工作温度:  $T_{op,max}$

备注:

要想让CTVS在超出规定的最大工作温度 $T_{op,max}$ 条件下工作, 您必须按照每个CTVS的温度降额曲线对指定的最大数值进行降额 (参见“通用技术信息”一章第2.7.2节)。

## 选型步骤

### 1.3.1 按照最大额定值选择CTVS

CTVS的电气特性来源于串联或并联的多个微型压敏电阻。

这意味着，电气特性是由CTVS的物理尺寸决定的（参见“通用技术信息”一章第2.1.1和2.3节）。

- 两倍厚度的陶瓷层就能提供两倍的防护等级，因为能够使用的串联微型压敏电阻个数也是两倍。
- 两倍大小的重叠面积就能提供两倍的电流处理能力，因为并联配置的电流通道数也是两倍。
- 两倍的有效体积就能提供大约两倍的能量吸收能力，因为以氧化锌颗粒形式存在的吸能器数量也是两倍。

在选择CTVS时请牢记这一点。

### 1.3.2 最大工作电压 $V_{RMS,max}$ 和 $V_{DC,max}$

第1步:

对于所有CTVS元件来说，其产品表格中都规定了最大容许交流和直流工作电压。工作电压一定不能超过这些最大额定值。

要想获得尽可能低的防护等级（钳位电压），在选择CTVS时必须保证最大容许工作电压 $V_{DC,max}$ 尽可能接近实际应用的工作电压 $V_{op}$ 。

当然，您也可以选择具有更高容许工作电压 $V_{DC,max}$ 的CTVS。这通常适用于确保非常小的漏电流比最低防护等级（钳位电压）更为重要的应用。此外， $V_{op}$ 和 $V_{DC,max}$ 之间的安全裕度越大，压敏电阻的寿命就会越长。

备注:

- CTVS是一种瞬态电压抑制设备，因此并非设计用于电压控制。确保预期工作电压不会超过指定的最大容许工作电压是非常重要的。
- 在电源线应用中，您必须要考虑到线路工作电压的公差（以符合IEC 60038标准的欧洲供电系统为例：230 V +10% = 253 V）。

### 1.3.3 最大浪涌电流 $I_{surge,max}$

第2步:

在上一步中确定的最大容许工作电压将把最佳CTVS的选择范围缩小到指定电压等级的型号上（最大容许交流工作电压）。然后可以根据应用条件检查CTVS可能用于哪一种负荷。从降额曲线中您可以得到矩形波浪涌电流的最大值。要想正确比较这些最大容许值，必须将实际的浪涌电流波形（任何形状）转换为等效矩形波。最好使用前文所述的矩形波方法以图形化方式完成转换。

## 选型步骤

CTVS的最大容许浪涌电流 $I_{\text{surge,max}}$ 取决于电流流过的时间 $t_r^*$ 以及应用中所需要的浪涌重复次数 $N$ 。有了这两个参数,就可以从降额曲线上读出最大浪涌电流 $I_{\text{surge,max}}$ (参见图2)。

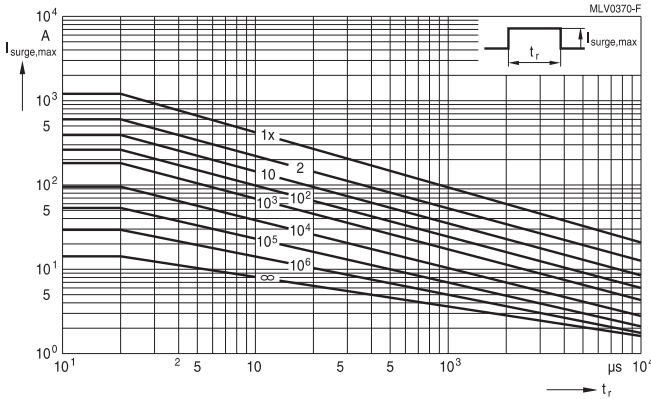


图2  
示例: 脉冲降额曲线

将该值与CTVS预期电气环境中可能出现的最大浪涌电流进行比较。

选择准则:

$$I_{\text{surge,max}}^* \leq I_{\text{surge,max}} \quad (\text{等效电路2})$$

### 1.3.4 最大吸收能量 $W_{\text{max}}$

第3步:

当浪涌电流流过CTVS时,就会有能量被吸收。CTVS所吸收的能量多少可以使用下式计算出来:

$$W = \int_{t_0}^{t_1} v(t) \cdot i(t) dt \quad (\text{等效电路3})$$

确定浪涌能量的常用方法:

#### ■ 计算法

通常可以直接从存储示波器上读出能量吸收大小,或者通过数学方法利用电压/电流曲线计算出来。

#### ■ 仿真法

通过PSpice仿真以确定能量吸收大小是一种更加便捷的方法。

#### ■ 图形法

此外,使用矩形波法也能以图形化的方式解决上述问题,而且能确保足够的精度。首先需要根据前文所述的方法将浪涌电流波形 $I_{\text{surge}}^*(t)$ 转换成等效矩形波,然后乘以CTVS上的最大电压 $V_{\text{max}}^*$ 。

## 选型步骤

$$W^* = V_{\max}^* \cdot I_{\text{surge}}^* \cdot t_r^* \quad (\text{等效电路4})$$

$V_{\max}^*$ 可以由V/I特性曲线得到(与 $I_{\text{surge,max}}^*$ 相匹配的数值),也可以使用示波器确定CTVS两端的最大电压降。要想检验选型要求 $W^* \leq W_{\max}$ (公式6)是否满足,您必须确定压敏电阻的最大容许吸收能量。可以通过公式4计算得到,它是降额曲线上能量施加时间 $t_r^*$ 和重复次数N的函数。

选型准则:

$$W_{\max} = V_{\max} \cdot I_{\text{surge,max}} \cdot t_r \quad (\text{等效电路5})$$

$$W^* \leq W_{\max} \quad (\text{等效电路6})$$

### 1.3.5 ESD脉冲的能量

IEC 61000-4-2标准规定150 pF放电电容(如图3所示)的最高放电电压(强度等级4,空气放电)为15 kV。

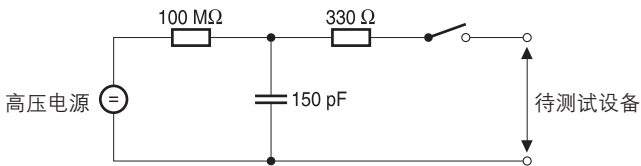


图3

典型的ESD测试电路

这就意味着储存的能量为

$$W^* = 0.5 \cdot C \cdot V^2 = 0.5 \cdot 150 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot 15^2 \cdot 10^6 \text{ V}^2 < 0.02 \text{ J} \quad (\text{等效电路7})$$

330 W电阻会将浪涌电流限制为最大

$$I^* = \frac{V^*}{R} = \frac{15000 \text{ V}}{330 \text{ } \Omega} = 45 \text{ A} \quad (\text{等效电路8})$$

如果多层压敏电阻要处理这种大小的浪涌电流,那么根据“设计说明”一章中的公式1,压敏电阻对这种电流幅值的影响是可以忽略的。

## 选型步骤

以CT0805M6G为例，这就意味着

$$I^* = \frac{(V_{\text{surge}} - V_{\text{VAR}})}{Z_{\text{surge}}} = \frac{15000 \text{ V}}{330 \Omega} = 45 \text{ A} \quad (\text{等效电路9})$$

将放电电流（图1）转换为等效矩形波，我们就能得到 $t_r^* \approx 40 \text{ ns}$ 。

对于如此短的电流通时间来说，从降额曲线上得不到任何数值。

多层压敏电阻和CeraDiodes在ESD放电器件的吸收能量处于mJ范围内。

以CT0805M6G为例，根据公式可以得到

$$W^* = V^* \cdot I^* \cdot t_r = 45 \text{ V} \cdot 45 \text{ A} \cdot 40 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 80 \mu\text{J} \quad (\text{等效电路10})$$

因此，ESD脉冲的主要能量都是由330 W放电电阻吸收的。

所有型号的MLVs和CeraDiodes系列产品都能满足IEC 61000-4-2标准（最高）4级ESD测试等级的要求。图4所示为多个脉冲的相关曲线（以低电容型CT0603L25HSG为例）。

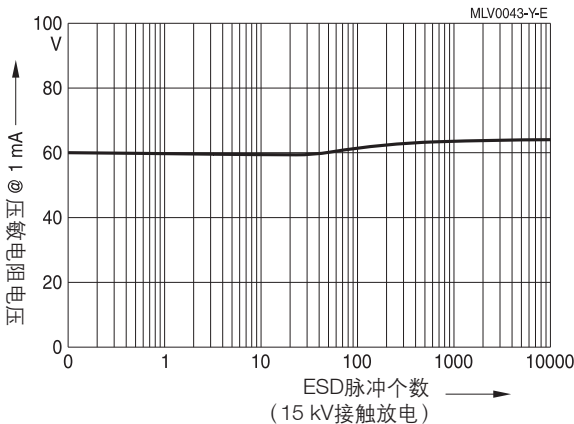


图4  
压敏电阻电压的ESD稳定性  
CT0603L25HSG

由于ESD脉冲具有陡峭的边缘，所以设备机械结构和测试电路布局所产生的电感对于测试结果非常重要。因此必须使用一个ESD测试电路对CTVS选型进行验证。



## 选型步骤

### 1.3.6 平均功耗 $P_{diss,max}$

第4步:

CTVS的实际功耗由稳态条件下的基本功耗 $P_0^*$  (由工作电压决定) 和周期吸收能量的平均值组成。如果按照最大容许工作电压的要求从产品表格中选择了合适的陶瓷瞬态电压抑制器, 那么在指定环境温度范围内 $P_0^*$ 是可以忽略的。

周期吸收能力可以产生的平均功耗大小为

$$P_{diss}^* = \frac{W^*}{T^*} = \frac{(V_{surge,max}^* \cdot I_{surge,max}^* \cdot t_r^*)}{T^*} \quad (\text{等效电路11})$$

|                   |     |           |
|-------------------|-----|-----------|
| $W^*$             | [J] | 吸收能量      |
| $T^*$             | [s] | 周期时间      |
| $V_{surge,max}^*$ | [V] | 施加的最大浪涌电压 |
| $I_{surge,max}^*$ | [A] | 施加的最大浪涌电流 |
| $t_r^*$           | [s] | 脉冲持续时间    |

通过该式解出 $T^*$ , 然后就可以计算出在不超过CTVS最大容许平均功耗的前提下再次施加能量之前所必需的最短时间 $t_{min}$ :

$$t_{min} = \frac{W^*}{P_{diss,max}} \quad (\text{等效电路12})$$

备注:

CTVS设备并不会“工作”在 $P_{diss,max}$ 。它们不适用于“静态”功耗 (即稳压应用)。还有其他类型的元件 (比如齐纳二极管) 主要就是针对此类应用而设计的, 只不过所需处理的浪涌电流更小而已。

选型准则:

$$P_{diss}^* \leq P_{diss,max} \quad (\text{等效电路13})$$

### 1.3.7 最大防护等级 (钳位电压) $V_{clamp,max}$

第5步:

可以利用V/I曲线或PSPice模型检验在发生浪涌电流时可能出现的最大电压增量。对于给定的浪涌电流, 该数值可以从曲线上直接读出 (最坏情况下的压敏电阻公差)。如果电压值高于可接受数值, 可以通过以下途径降低防护等级。

## 选型步骤

- 选择一个外壳尺寸更大的型号。尽管浪涌电流一样大，但是由于电流密度减小了，所以防护等级也会更低。
- 请选择更紧的公差带。比如可以选择一种特殊型号，以只利用标准公差的下半部分。这样可以使防护等级降低大约10%。
- 串联一个电阻。这样可以减小浪涌电流幅值，从而降低CTVS的防护等级。

### 备注：

如果从V/I曲线得到的防护等级低于需要的水平，您可以换成一个具有更高防护等级（比如更高电压等级）的压敏电阻。这样将会对负荷处理能力及工作寿命产生有利影响。漏电流也会进一步减小。

## 1.4 关于汽车保护的说明

### 1.4.1 负载突降

在这种条件下可能会产生高达200 V的峰值电压，持续数百毫秒，产生高达100 J的能量。根据ISO 16750-2标准（参见“保护标准”一章第1.3.2节）的要求，负载突降脉冲由以下参数确定：

- |              |       |
|--------------|-------|
| ■ 充电电压（测试等级） | $V_s$ |
| ■ 内部电阻       | $R_i$ |
| ■ 上升时间       | $t_r$ |
| ■ 持续时间       | $t_d$ |

确定压敏电阻能耗大小的最简单方式就是进行软件仿真（比如使用PSPICE），从而确定压敏电阻吸收的脉冲能量比例。通过这种方法计算的数值 $W^*$ 必须低于产品表格中规定的数值 $W_{max}$ 。

ISO 16750-2标准要求至少要吸收10个（测试脉冲A）或5个负载突降（测试脉冲B）。要想满足此类规范的要求，汽车工业中规定了重复10次测试脉冲的负载突降值。

数据表中的产品表格内显示了负载突降吸收条件下的补充最大能量值WLD（10·脉冲）。

如果客户要求，则爱普科斯(EPCOS)可以根据客户规格执行负载突降仿真。

在这样的情况下，我们需要上文所列参数（充电电压 $V_s$ ，内部电阻 $R_i$ ，上升时间 $t_r$ 和持续时间 $t_d$ ）的相关信息以及想要的重复次数。