

## 模块电源可靠性应用技术专题系列---浪涌防护设计与 GDT 选型应用

由于模块电源应用的场合越来越广，应用场合错综复杂，正确、合理的选择和应用模块电源，是确保模块电源及其系统整体可靠性的重要环节之一。模块电源可靠性应用技术专题系列，从模块电源的应用角度出发，结合公司多年的模块电源设计和应用经验，系统地介绍模块电源的可靠性应用技术，包括浪涌防护、滤波器设计、模块电源热性能评估、可靠性设计和评估、模块电源可靠性测试、模块电源保护电路、模块电源纹波和噪声处理技术、模块电源的安规和绝缘性能等方面专题。希望能给模块电源的应用客户在可靠性应用上带来一些帮助，提升系统的可靠性……

本文主要分析和介绍浪涌产生、共模浪涌与差模浪涌的泄放路径和影响机理，以及 GDT（气体放电管）的选型设计和注意事项。正确的理解和分析浪涌防护和泄放路径，以及选择合理的防护器件，是做好模块电源浪涌防护设计的重要环节。

### 1、浪涌是怎么产生的？

雷击浪涌导致电源或电子设备损坏，通常主要包括两种类型的波形，“雷击波”和“振铃”波。

#### 1.1 雷击（主要是电子设备承受的间接雷）：

直接雷击感应，雷电击中户外线路，有大量电流流进外部线路或接地电阻，因而产生的干扰电压；

间接雷击（如云层间或云层内的雷击）在线路上感应出的电压或电流；

电磁场感应，雷电击中了邻近物体，在其四周建立了电磁场，当户外线路穿过电磁场时，在线路上感应出了电压和电流；

接地系统感应，雷电击中了四周的地面，地电流通过公共接地系统时所引进的干扰。

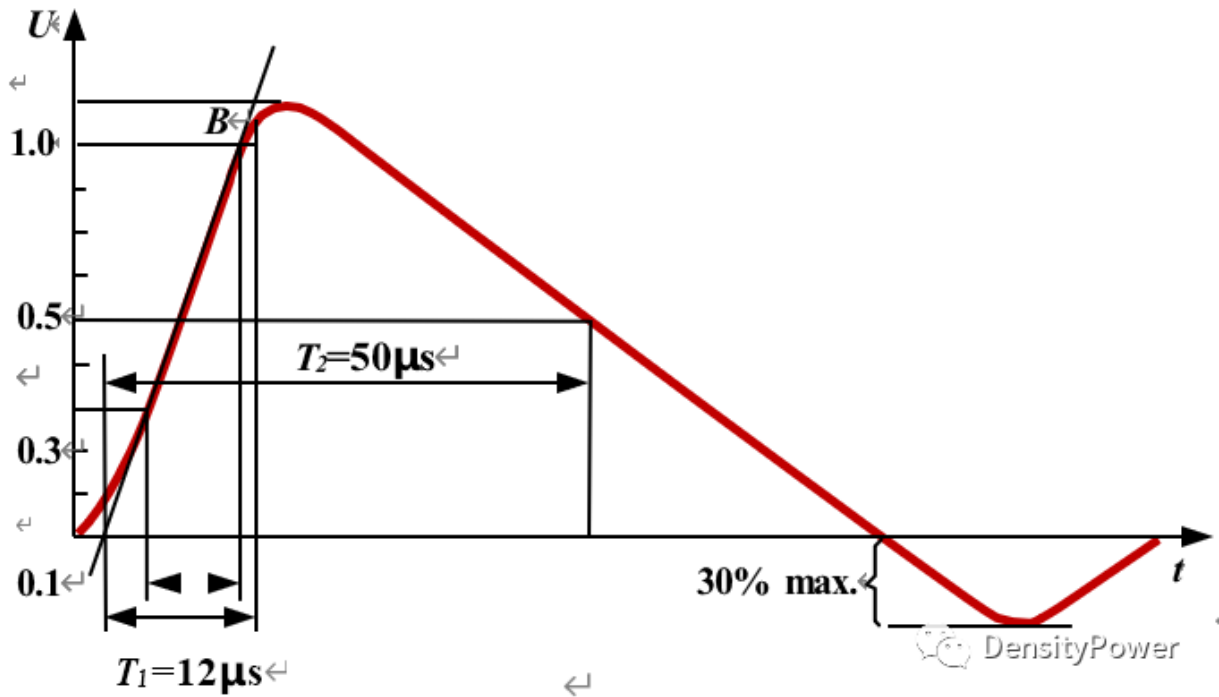


图 1. 浪涌电压波形

### 1.2 切换瞬变:

主电源系统切换时产生的干扰, 如补偿电容组的切换;

周边设备开关, 同一电网中, 在靠近设备四周有一些较大型的开关在跳动时所形成的干扰;

切换有谐振线路的晶闸管设备;

各种系统性的故障, 如设备接地网络或接地系统间产生的短路或飞弧故障。

### 1.3. 振铃波是一种电源和控制开关切换时产生的瞬变现象。

振铃波是一种电源和控制开关切换时产生的瞬变现象。具体测试模拟波形如下:

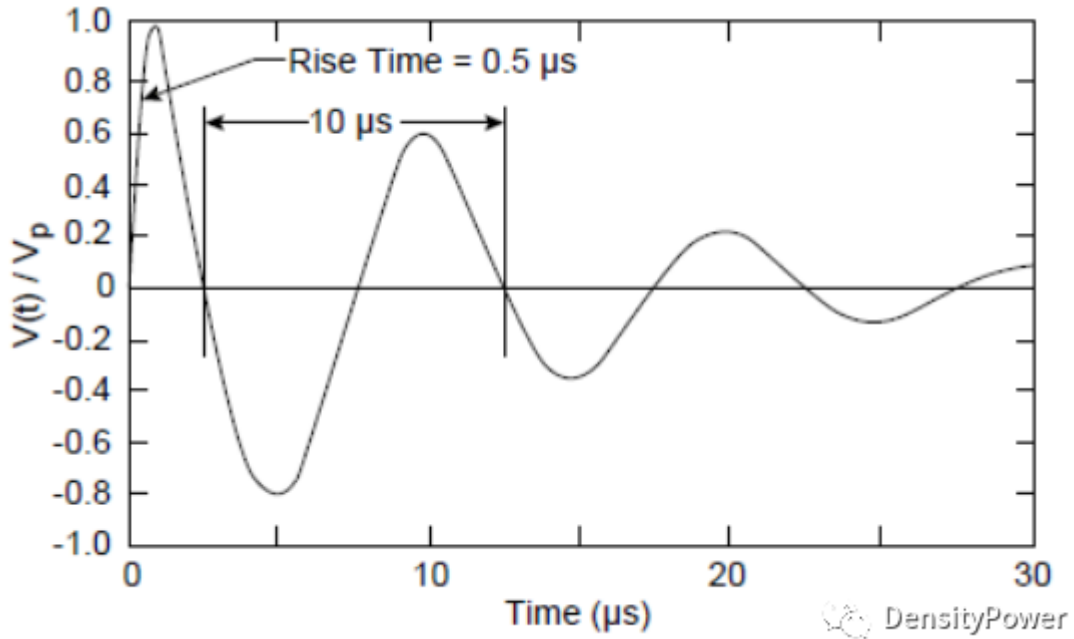


图 2. 振铃波波形

振铃波对电源的主要潜在危害是振铃波快速上升沿 0.5uS 的瞬态波形的高频分量容易引起变压器绕组的非线性电压分别效应以及半导体器件的 dV/dt 效应, 造成模块电源的损坏。

## 2、浪涌的泄放路径及注意事项

模块电源的浪涌测试主要针对电源线正 (Vin+) ,电源线负 (Vin-) ,安全地(PE)进行不同组合进行测试, 主要分为共模(Common Mode)与差模(Differential mode)两大类,

共模: Vin+ → PE, Vin- → PE

差模: Vin+ → Vin-

共模浪涌的泄放路径:

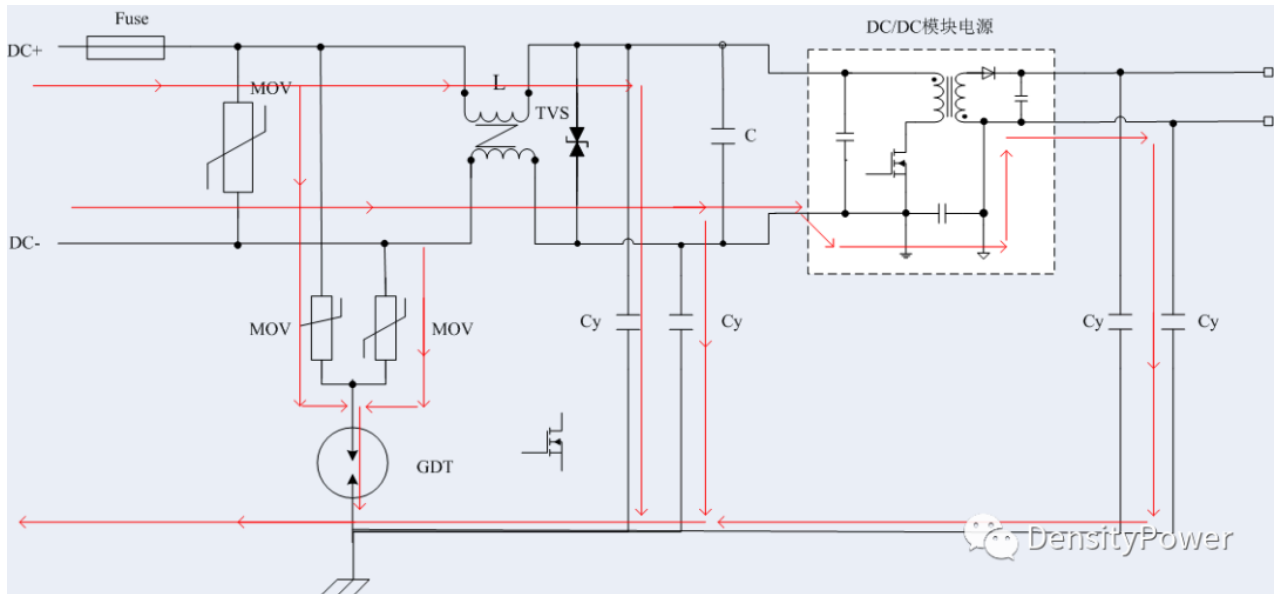


图 3. 共模浪涌的泄放路径示意图

从上图 3. 可以看出，共模浪涌的主要泄放路径为：

通过  $V_{in+}$ ,  $V_{in-}$  与 PE 之间的 MOV 和 GDT（气体放电管）的泄放；

通过  $V_{in+}$ ,  $V_{in-}$  与 PE 之间的 Y 电容泄放；

通过模块电源内部隔离变压器的寄生电容、原副边之间的光耦的寄生电容，及原副边之间的 Y 电容泄放；

共模浪涌会产生非常高的共模电压，共模电压能造成电弧放电。电弧放电发生会产生一个非常高的高频的电流。当发生一个电弧放电，会得到一个非常高的峰值高频电流，高频电流产生噪声能耦合进入低压电路导致误动作甚至损耗器件。同时，因为电路阻抗的不平衡，共模浪涌也会产生差模电流而影响电路。因此，在设计和 PCB Layout 时，浪涌泄放的路径一定要避开和敏感的电路和器件，防止浪涌泄放的大电流影响，导致器件的损坏或电路的工作不正常。

差模浪涌的泄放路径：

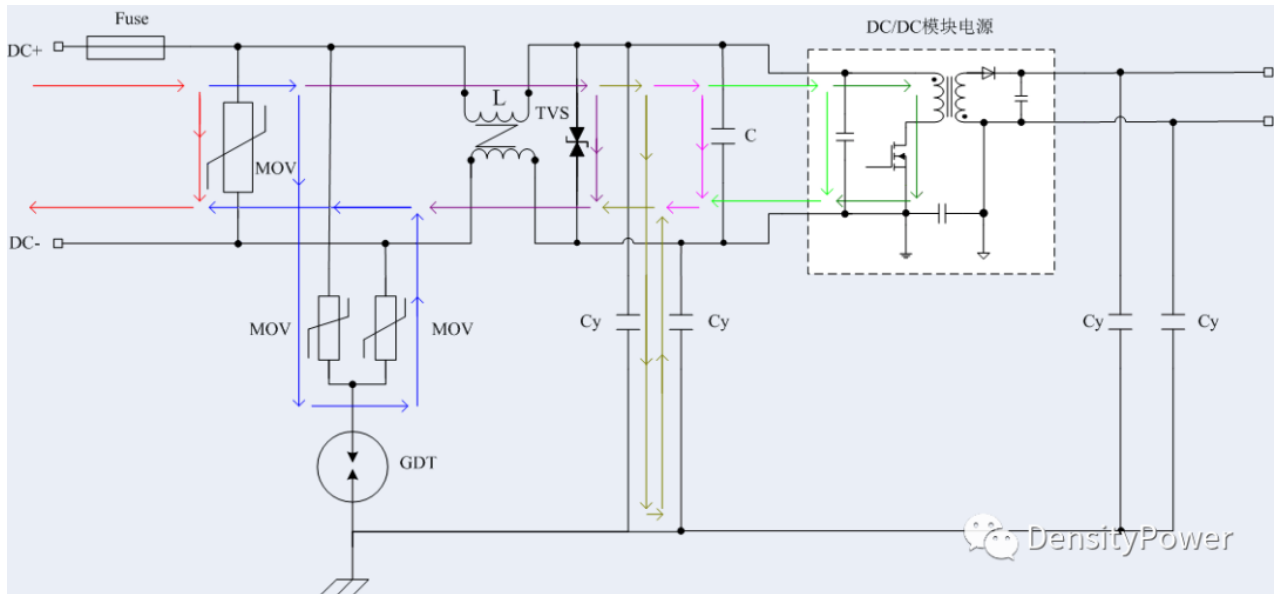


图 4. 共模浪涌的泄放路径示意图

差模浪涌的能量流经  $V_{in+}$  和  $V_{in-}$  的回路，包括  $V_{in+}$  与  $V_{in-}$  之间的 MOV，电容、以及主功率开关回路。同时，共模抑制的回路中的 MOV 和 Y 电容，通过串联再并联到差模回路中，也是需要考虑和注意的。

差模浪涌导致输入回路产生过高的电压和过大的电流，而损坏输入电容和模块电源内部的主功率开关管、辅助供电电流及相关电路的器件（比如 PWM IC）。

浪涌产生的泄放电流很大，如果电流从共模电感，电感将储存大量的能量从而导致电感的饱和，同时电感能量的释放会产生高压而引发电弧放电导致其他元件的损坏或电感烧毁。

### 3、气体放电管 GDT 的选择和应用

GDT 的原理就是利用高压时气体电离产生弧光放电来进行高压泄放，正常时处于高阻状态，有高压时开始进入辉光状态，电流增大，进入弧光放电状态，类似导通。GDT 是由二个或数个金属电极，在电极之间有一定间隙，并在电极之间充有稳定的惰性气体及保

持一定的压力，GDT 导通时电压很低约为 20~50V，因此可以保护后级电路，主要用于浪涌浪涌的高压保护。

气体放电管的伏安特性曲线：

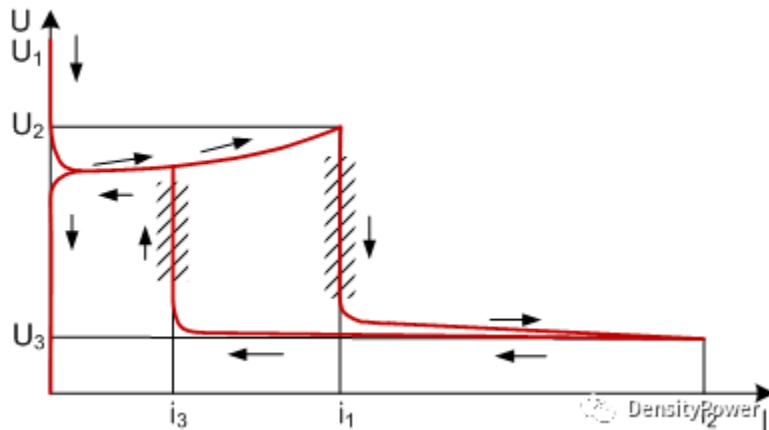


图 5. 气体放电管的伏安特性曲线

气体放电管的主要参数特性：

### 直流击穿电压

直流击穿电压，即施加缓慢升高的直流电压时，GDT 从高阻抗状态转变为导通状态时的电压。

### 脉冲击穿电压

脉冲击穿电压，亦称最大冲击火花放电电压，是指施加规定上升率和极性的冲击电压，在放电电流流过 GDT 之前，其两端之间的电压最大值。

### 标称冲击放电电流

标称冲击放电电流，即给定波形的冲击电流峰值，一般为  $8/20\mu\text{s}$  的脉冲电流波形，为 GDT 的额定值。

### 耐交流电流

标称交流放电电流，即规定 GDT 能耐受一定时间的交流电流，其频率在 15Hz~62Hz 之间。

### *耐冲击电流寿命*

耐冲击电流寿命，衡量 GDT 耐受多次冲击电流的能力，在一定程度上反映了 GDT 的稳定性及可靠性，一般施加 10/1000 $\mu$ s 的脉冲电流若干次。

### *最小绝缘电阻*

最小绝缘阻抗，即在断态下，在规定电压下测得的 GDT 最小阻抗值。

### *最大极间电容*

最大极间电容，也叫最大结电容。在规定条件下测得的 GDT 极间电容。

### **气体放电管 GDT 的特点：**

通流量大，能达到上百 KA；

响应时间慢。因为管内的气体电离需要时间，一般在几百 nS；

绝缘电阻高，一般达到 1G $\Omega$ 。因此漏电流小；

寄生电容小，只有几 PF，因此对高速信号影响小；

存在直流续流电压。就是导通后依靠低压依然有电流通过；

多次放电后性能下降，需要更换，因为电离的原因。

### **气体放电管选型：**

直流击穿电压选取应该模块电源的工作电压，其电压值应该大于模块电源的最大工作电压。

脉冲击穿电压要考虑浪涌测试等级，一般浪涌测试波形的上升时间为微秒级的脉冲波形，如 8/20 $\mu$ s 电流波形和 1.2/50 $\mu$ s 电压波形，如采用 1.2/50 $\mu$ s 的波形测试 4000V，GDT 的脉冲击穿电压要小于 4000V，这样在测试时 GDT 才能导通。

确定模块电源所能承受的最高瞬时电压值，要确保放电管的冲击击穿电压值必须低于此值。从而确保当瞬间过压来临时，放电管的反映速度快于模块电源的反映速度，将过电压限制在安全值。这是放电管的一个最重要的指标。

根据模块电源可能窜入的冲击电流强度，确定所选用气体放电管必须达到的耐冲击电流能力(设备终端，一般选用 2kA 左右等级)。

当过电压消失后，要确保气体放电管及时熄灭，以免影响电源的正常工作。这就要求放电管的保持电压尽可能高，以保证正常线路工作电压不会引起放电管的持续导通(续流问题)。

GDT 由于击穿电压误差大，一般建议不要并联使用在电路中。

GDT 是一种开关型过电压保护器件，导通后电压较低，不能单独应用于较高的电源线保护，可以在 GDT 上串联 MOV 限制续流的问题。

要根据电路设计布局选择封装形式。GDT 封装的大小反应其防护等级大小，封装越大耐冲击电流的能力越强，防护等级就越高。

气体放电管属于开关型器件，相对于压敏电阻，它有一些差异特性，如导通延时长、导通后需要续流、极间电容小、绝缘电阻高、泄露电流小等，因此常和压敏电阻串并联使用。例如串联时，可以解决压敏电阻泄露电流大、长期使用性能衰减或失效的问题；并联时，加快保护电路响应时间，气体放电管击穿后分掉大部分电流。

#### 一、陶瓷气体放电管与压敏电阻串联的问题：

在浪涌电路保护中，除了要重视电路保护效果之外，还要关注的另外一个重点是，浪涌保护器件失效时对电路的影响。陶瓷气体放电管与哪种类型压敏电阻的配合应用，与保护电路的可靠安全性息息相关。目前，在浪涌电路保护中，使用的压敏电阻类型有：压敏



电阻串联保险丝、压敏电阻贴装温度保险丝、带机械脱扣模式的压敏电阻等，具体运行工作情况如下：

GDT 与压敏电阻串联保险丝或贴装温度保险丝：在运行之中，压敏电阻发生击穿短路失效后，倘若电路中的短路电流无法熔断保险丝，此时串联的陶瓷气体放电管将会从辉光放电转为弧光放电，高热会导致 PCB 板或组装的塑料外壳发生燃烧或 GDT 炸裂。

GDT 与带机械脱扣模式的压敏电阻：带机械脱扣模式的压敏电阻具有很好的失效保护功能，就算出现异常时，也可以使保护电路与电源安全脱离开。

## 二、陶瓷气体放电管与压敏电阻并联的问题

在某些保护电路上，会用到陶瓷气体放电管与压敏电阻并联应用的模式，这种情况下，基本上不存在续流的问题。压敏电阻与 GDT 并联，主要是利用压敏电阻来响应过电压的波头，然后依靠压敏电阻的残压将陶瓷气体放电管点火导通泄放大的冲击电流。

在这种电路保护方案中，压敏电阻的压敏电压选择是决定保护效果的关键。如果压敏电阻的压敏电压过低，将会出现压敏电阻被损坏，而陶瓷气体放电管不工作的现象，根本起不到保护电路的作用。

气体放电管选型和正确应用很重要，正确的选型和应用才能确保放电管在工作中能长期发挥稳定质量和保障。气体放电管的质量问题主要表现为慢性漏气，长时间使用的可靠性问题(即遭受多次浪涌冲击后，直流击穿电压值发生偏移)，光敏效应和离散性较大。

## 小结

本文主要介绍和分析浪涌的产生、共模浪涌与差模浪涌的泄放路径，以及 GDT 的选型设计和主要事项。正确的理解和分析浪涌防护和泄放路径，以及选择合理的防护器件，是做好模块电源浪涌防护设计的关键和重要环节。

**下期预告：**模块电源可靠性应用技术专题系列---浪涌防护设计之 TSS、TVS 选择应用。敬请期待.....

## Q&A

### 上期问题回答：

**问题一：**在轨道交通输入 110Vdc 的应用场合，图.5 推荐的浪涌防护电路中，MOV 和 TVS 的具体应选什么参数型号？

**答：**轨道交通 110V 应用的模块电源，其输入电压最高会达到 160VDC，同时绝缘隔离耐压要高度 1500VAC，在设计选择 MOV 和 TVS 时，需要考虑最高工作电压 160VDC，具体的 MOV 和 TVS 的能量根据实际的应用场合要求的浪涌等级选择，一般 MOV 的直径选择  $\phi 10$  以上，在 Level-4 要求的防护电路中，推荐  $\phi 14$  的 MOV。

**问题二：**在增强型输入浪涌保护电路中，为什么对地要加 MOV 和气体放电管？如果直接加 MOV 可以吗？对地不加防护器件可以吗，为什么？

**答：**在增强型输入浪涌防护电路中，因共模浪涌电压高（4KV），需要增加共模浪涌的泄放和抑制电路， $V_{in+}\backslash V_{in-}$ 对 PE 间加 MOV 和 GDT（气体放电管）主要的作用是将共模浪涌电压吸收泄放并钳制到一定安全的电压，降低共模浪涌电压和电流通过电路的寄生电容、Y 电容等泄放回来对电路的影响和损害。

根据 MOV 的寄生电容大和失效为短路的特性，从安规上要求，对 PE 直接加 MOV 是不符合要求的，串联气体放电管的目的是为了解决 MOV 的寄生电容大和失效短路的问题；如果不用 MOV 和气体放电管串联而直接对 PE 加气体放电管可以吗？具体请参考文章中气体放电管选型部分。

本期问题：

浪涌产生的大电流通过导致电感能量释放产生高压而引发电弧放电的解决方案有哪些？

--- 答案下期公布



扫一扫关注我们，  
更多精彩内容等着您！