

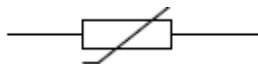
# 防护电路设计

## 1. 防护电路中的元器件

### 1.1 过压防护器件

#### 1.1.1 钳位型过压防护器件

##### ① 压敏电阻



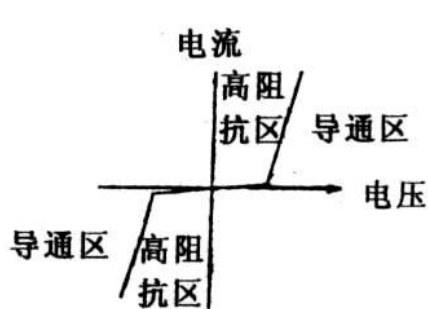
MOV 电路符号

压敏电阻英文 varistor 或 MOV，它以氧化锌为基料，加入多种添加剂，经过混料造粒，压制成坯体，高温烧结，两面印烧银电极，焊接引出端，最后包封等工序而制成。优点是价格便宜，通流量大，响应速度快，缺点是寄生电容大，不适合用在高频电路中。压敏电阻器广泛应用于家用电器及其它电子产品中，起过电压保护、防雷、抑制浪涌电流、吸收尖峰脉冲、限幅、高压灭弧、消噪、保护半导体元器件等作用。

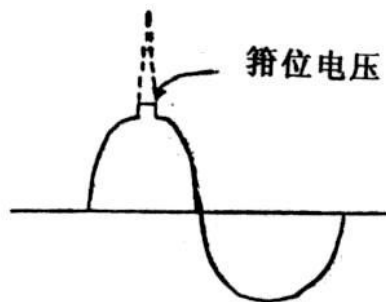
压敏电压的选择：交流电路其最小值一般选择被保护设备电压2-3倍，直流电路选取为工作电压的1.8-2倍。

由于压敏制作时可能存在微小缺陷，或者当承受不同电流冲击，造成管芯的压敏电阻体分布不均，一些部位电阻会降低，导致漏电流增加，最终导致薄弱点微融化，最终导致老化。所以一般串接热熔点来避免。

压敏可串并联使用。



压敏电阻的伏安特性



压敏电阻对瞬变干扰的箝位作用

##### ② TVS

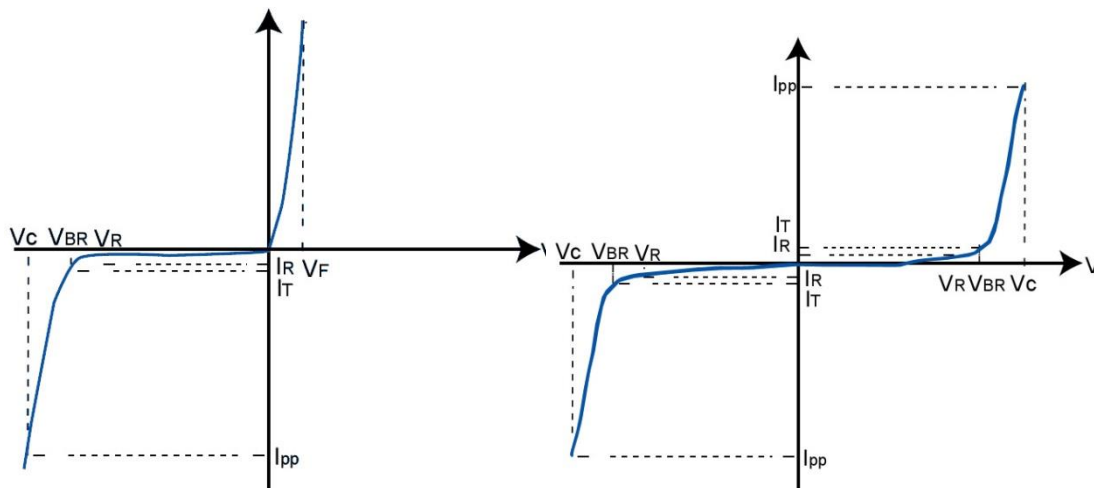


TVS 电路符号

TVS 是一种限压型的过压保护器，它将过高的电压钳制至一个安全范围，藉以保护后面的电路，有着比其它保护元件更快的反应时间，这使 TVS 可用在防护 lighting、switching、ESD 等快速破坏性瞬态电压。

特点：可分为单双向，响应时间快、漏电流低、击穿电压误差小、箝位电压较易控制、并且经过多次瞬变电压后，性能不下降，可靠性高，体积小、易于安装。缺点是能承受的浪涌电流较小，且功率大的寄生电容也大，低电容的功率较小。适用于细保护或者二级保护。

选型注意，单双向，电压，功率，电容都要考虑到。

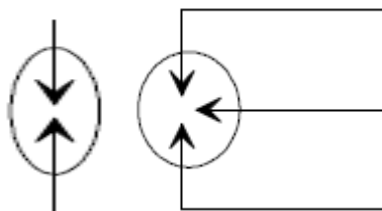


单向 TVS 伏安特性

双向 TVS 伏安特性

### 1.1.2 开关型过压防护器具

#### ① 气体放电管

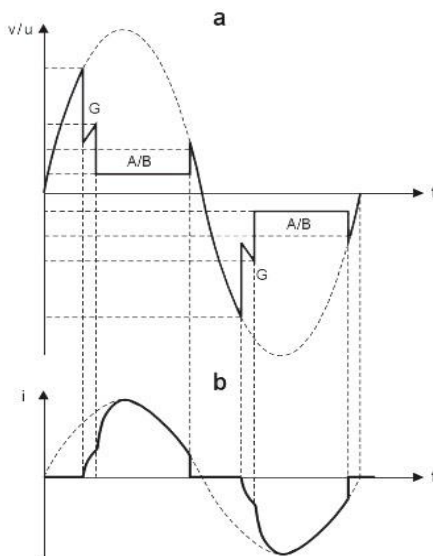


GDT 电路符号

气体放电管是一种陶瓷或玻璃封装的、内充低压惰性气体的短路型保护器件，一般分两电极和三电极两种结构。其基本的工作原理是气体放电。当极间的电场强度超过气体的击穿强度时，就引起间隙放电，从而限制了极间的电压，使与气体放电管并联的其它器件得到保护。可分为二极和三极两种。

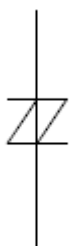
陶瓷气体放电管具有通流量大 (KA 级)，漏电流小，寄生电容小等优点，缺点是其响应速度慢 ( $\mu\text{s}$  级)，动作电压精度低，有续流现象。适用于粗保护或者初级保护。

选型方法： $\min(\text{UDC}) \geq 1.25 \cdot 1.15 U_p$       1.25 是安全余量，1.15 是电源波动系数。



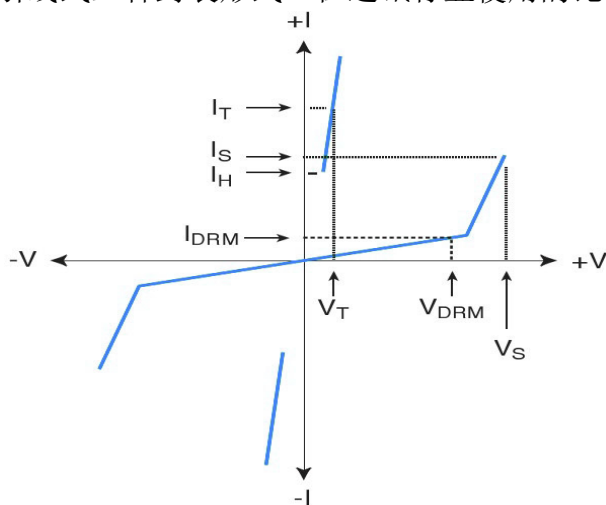
特性曲线

## ②半导体放电管



TSS 电路符号

半导体过压保护器是根据可控硅原理采用离子注入技术生产的一种新型保护器件，具有精确导通、快速响应（ns 级）、浪涌吸收能力较强、双向对称、可靠性高等特点。其浪涌通流能力较同尺寸的 TVS 管强，但开关型保护器件都有续流问题。TSS 有贴装式、直插式和轴向引线式三种封装形式。在通讯行业使用的比较多。

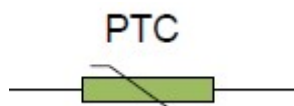


伏安特性曲线

**注意：**开关型过压防护器具，由于都有续流特性，故在电源电路单独使用需谨慎。

## 1.2 过流防护器件

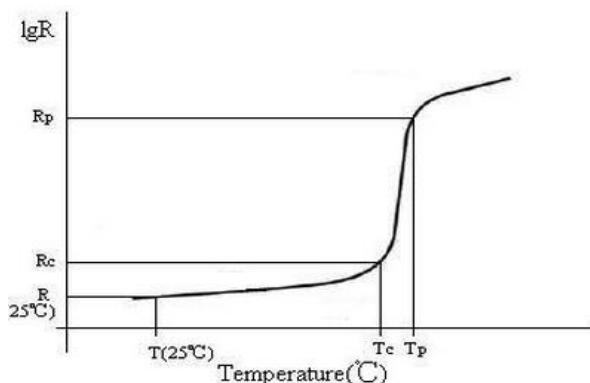
### ①自恢复保险丝



电路符号

PPTC 采用高分子有机聚合物在高压、高温，硫化反应的条件下，搀加导电粒子材料后，经过特殊的工艺加工而成。传统保险丝过流保护，仅能保护一次，烧断了需更换，而自恢复保险丝具有过流过热保护，自动恢复双重功能。

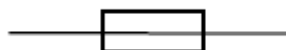
PPTC 插件类的耐压值有 6V, 16V, 30V, 60V, 72V, 250V, 600V, 电流从 75mA 到 14A。贴片系列的有 0603, 0805, 1206, 1210, 2018, 2920 封装。



**R<sub>c</sub>** 开关电阻 Switch resistance  
**R<sub>p</sub>** 最大工作电阻  
**T<sub>c</sub>** 居里温度 Curie temperature  
**T<sub>p</sub>** 最大工作温度 Maximum operational temperature

特性曲线

## ② 保险管



Fuse 电路符号

对于电源电路上由空气放电管、压敏电阻、TVS管组成的防护电路，必须配有保险管进行保护，以避免设备内的防护电路损坏后设备发生安全问题。

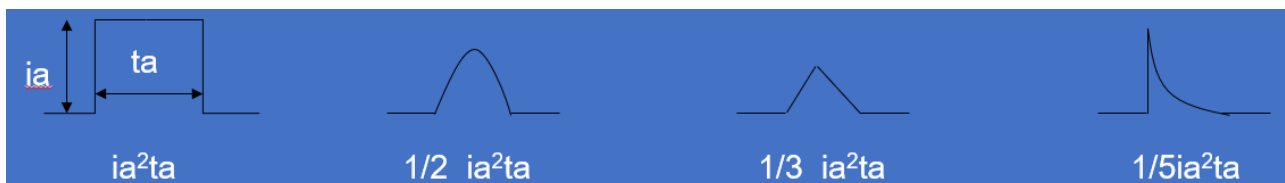
保险管的特性主要有：额定电流、额定电压等。其中额定电压有直流和交流之分。

防护电路中的保险管，宜选用防爆型慢熔断保险管。选择时需注意保险管的  $I^2T$  值，确保保险管在浪涌测试中不会熔断。

热熔值  $I^2T$  是一个关键的参数，保险丝寿命（可承受的脉冲循环次数）与  $U$ （脉冲  $I^2T$  与保险丝  $I^2T$  值之比）的关系可参考下表：

可承受脉冲次数	$U$ (比率)
100,000 次	20%
10,000 次	30%
1,000 次	40%

$I^2T$  计算公式：



## 1.3 其他器件

### ① 变压器，光耦等

变压器、光耦本身并不属于保护器件，但端口电路的设计中可以利用这些器件具有的隔离特性来提高端口电路抗过电压的能力。

线路上设计隔离元件，隔离元件两边的电路不共地，当线路引入雷击过电压时，这个瞬间过电压施加在隔离元件的两边。只要在过电压作用在隔离元件期间，隔离元件本身不被绝缘击穿，并且隔离元件前高压信号线不对其他低压部分击穿，线路上的雷击过电压就不能够转化

为过电流进入设备内部,设备的内部电路也就得到了保护。这时线路上只需要设计差模保护,防护电路可以大大简化。例如以太网口的保护就可以采用这种思路。能够实现这种隔离作用的元件主要有:变压器、光耦等。

## ②电感,电阻,导线等

电感、电阻、导线本身并不是保护器件,但在多个不同保护器件组合构成的防护电路中,可以起到配合的作用。

防护器件中,气体放电管的特点是通流量大、但响应时间慢、冲击击穿电压高;TVS管的通流量小,响应时间最快,电压钳位特性最好;压敏电阻的特性介于这两者之间,当一个防护电路要求整体通流量大,能够实现精细保护的时候,防护电路往往需要这几种防护器件配合起来实现比较理想的保护特性。但是这些防护器件不能简单的并联起来使用,例如:将通流量大的压敏电阻和通流量小的TVS管直接并联,在过电流的作用下,TVS管会先发生损坏,无法发挥压敏电阻通流量大的优势。因此在几种防护器件配合使用的场合,往往需要电感、电阻、导线等在不同的防护元件之间进行配合。

电感:在串联式直流电源防护电路中,馈电线上不能有较大的压降,因此极间电路的配合可以采用空心电感

退藕电感

$$L > (U1 - U2) * (T2 - T1) / (I1 / 2)$$

U1第一级防护器件的残压

U2第二级防护器件的钳位电压

I1第二级防护器件的通流量

T1=8us

T2=20us

也可以使用功率电感或者共模电感退藕

电感的设计应注意的几个问题:1、电感线圈应在流过设备的满配工作电流时能够正常工作而不会过热;2、尽量使用空心电感,带磁芯的电感在过电流作用下会发生磁饱和,电路中的电感量只能以无磁芯时的电感量来计算;3、线圈应尽可能绕制单层,这样做可以减小线圈的寄生电容,同时可以增强线圈对暂态过电压的耐受能力;4、绕制电感线圈导线上的绝缘层应具有足够的厚度,以保证在暂态过电压作用下线圈的匝间不致发生击穿短路。

电阻:在信号线路中,线路上串接的元件对高频信号的抑制要尽量少,因此极间配合可以采用电阻。

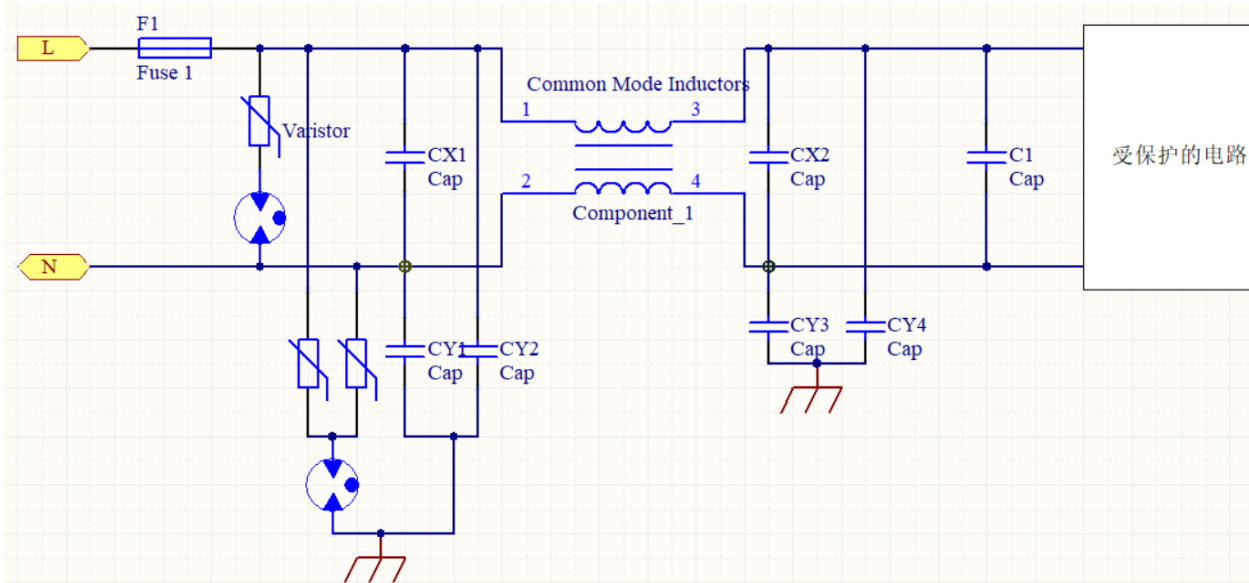
电阻应起到的作用与前述电感的作用基本相同。电阻的取值计算方法为:测得第一级防护器件的冲击击穿电压值U1,查第二级器件(一般为TVS)手册得到其8/20us冲击电流下的最大通流量I1、以及最高钳位电压U2,则电阻的最小取值为:  $R \geq (U1 - U2) / I1$ 。

在信号线路中,电阻的使用应注意的几个问题:1、电阻的功率应足够大,避免过电流作用下电阻发生损坏;2、尽量使用线性电阻,使电阻对正常信号传输的影响尽量小。

## 2. 电源端的防护电路

### 2.1 交流电源的防护电路

#### ①常用的防护电路



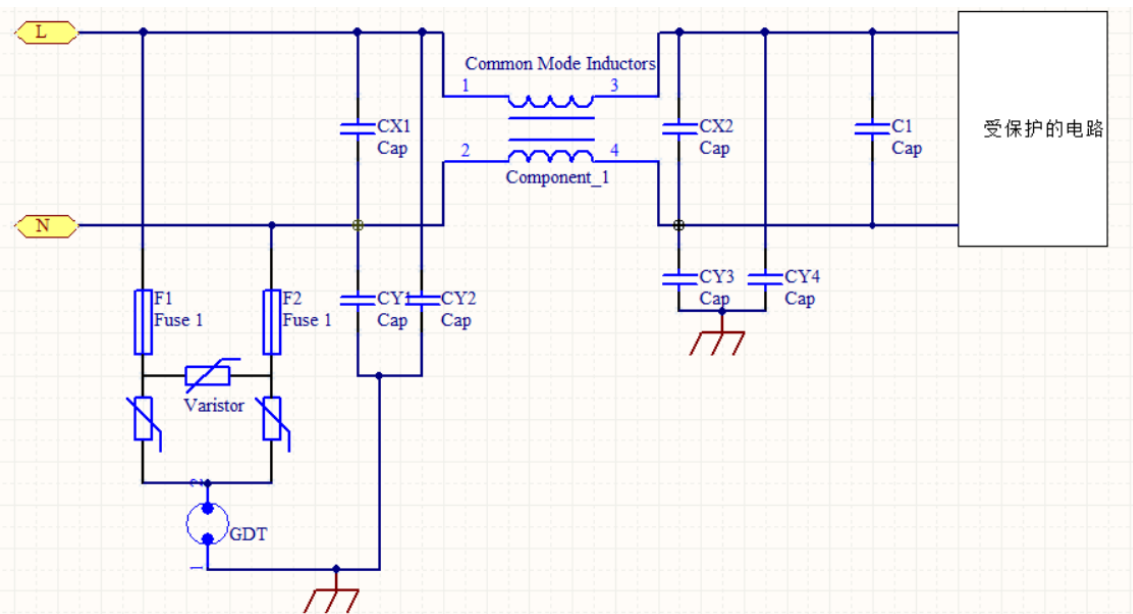
优点：电路简单，一级防护，采用复合对称电路，共模、差模全保护。

额定电压	MOV	GDT
AC 110V	14D271K	2R300L (无绝缘耐压要求)
AC 220V	14D561K或者14D511K	2R600L (无绝缘耐压要求)

压敏电压选型，浪涌等级决定压敏的外径，电压的选择参考下表：

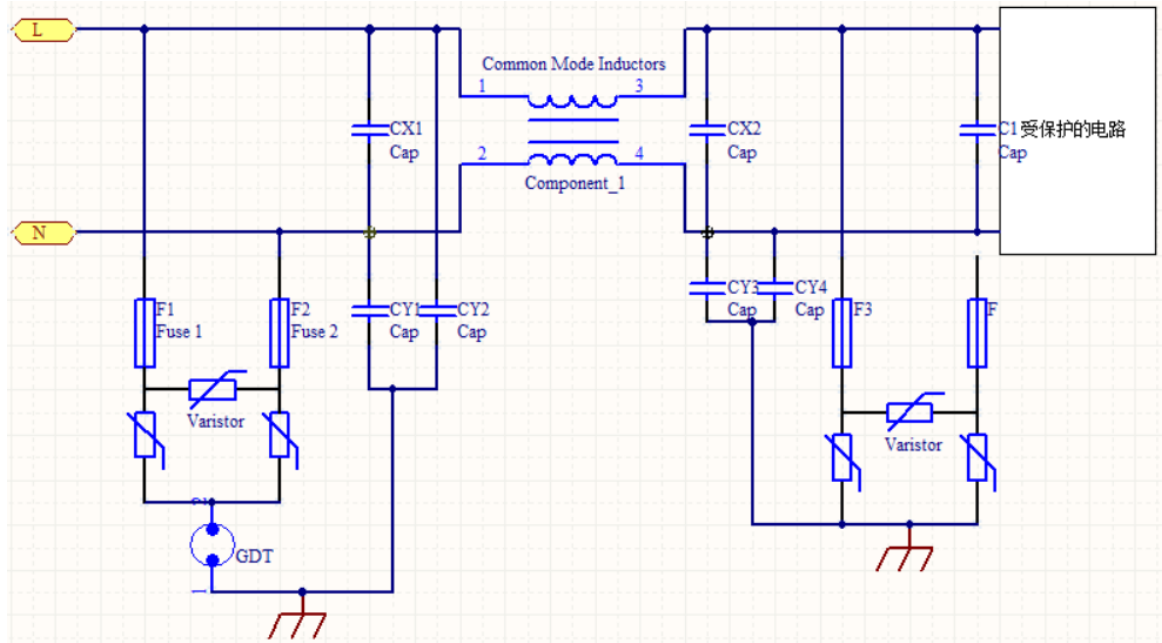
额定电压 \ 波动范围	<10%	10~15%	15~20%	20~30%	≥30%
220V~240V	470V	510V	560V	620V	≥680V
110V~120V	240V	270V	270V	300V	≥330V
380V~415V	820V	910V	1000V	1100V	≥1500V

## ②变种电路

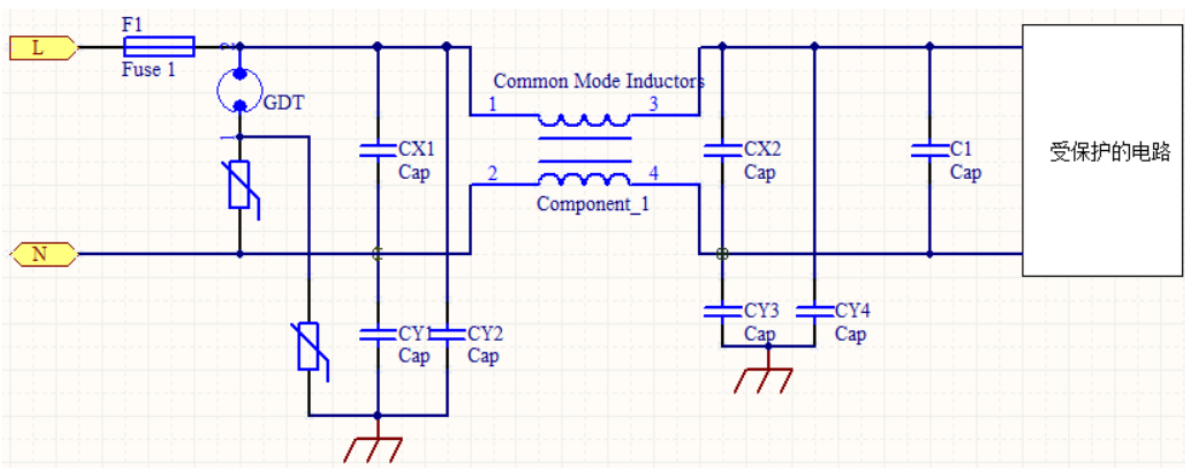


F1, 2一般为温度保险丝

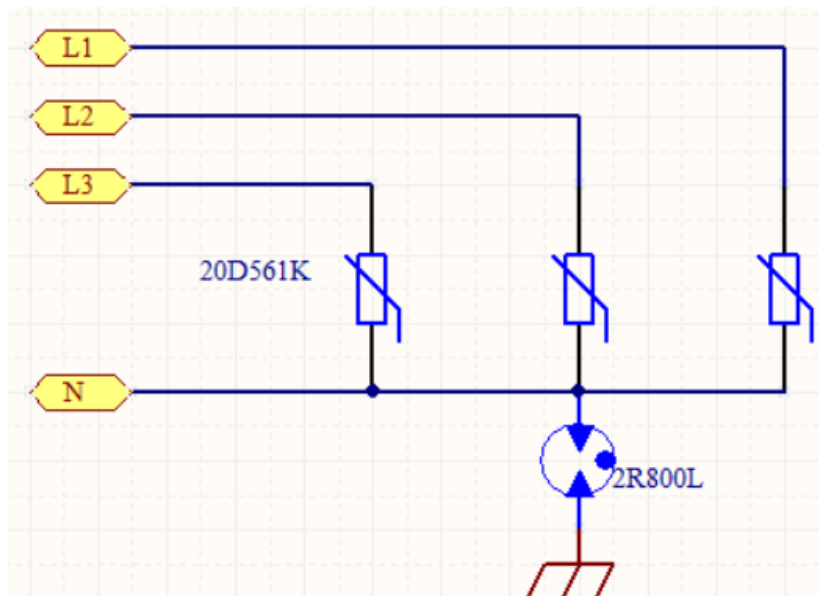
## ③多级防护



④使用器件较少的电路

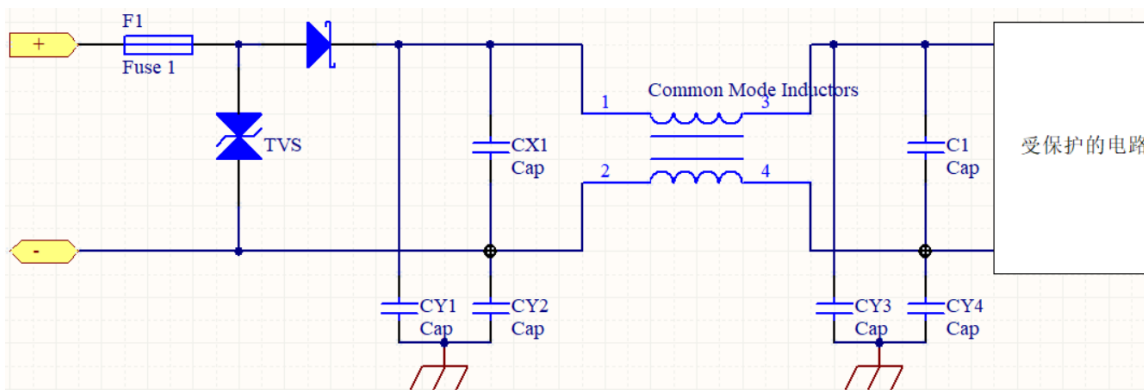


⑤最简单常用的三相电防雷方案 (3+1):



## 2.2 直流电源的防护电路

### 1. 室内使用低浪涌等级(500-2KV)要求常用方案



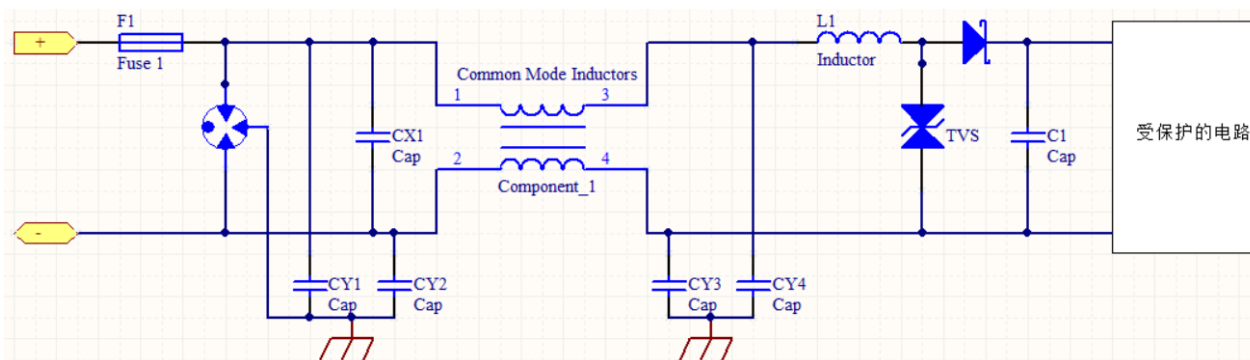
此电路涉及到接口的浪涌防护、静电防护、EFT、传导、辐射，可根据测试项目选择使用。保险丝F1，根据客户工作电流和需过的浪涌等级选择，可使用一次性保险丝或PPTC。肖特基二极管做防反使用，无要求可去掉。

TVS，可选择单向或者双向，注意使用单向TVS的话，如果有防反要求，后面的肖特基或者其他防反二极管必须防止在TVS前面，且选择的肖特基二极管必须要高压大电流的。

电源电压	TVS推荐	备注
5V	SMBJ6.0A/CA	TVS的功率根据需要过的浪涌等级选择，TVS电压根据后面电路或者元器件的耐受电压选择
12V	SMBJ15A/CA	
15V	SMCJ18A/CA	
24V	SMDJ28A/CA	
36V	SMDJ43A/CA	
48V	5.0SMDJ58A/CA	

### 2. 室外应用高浪涌等级(2KV以上)常用方案

#### ①12V以下直流电路防护方案



特点：此电路涉及到接口的浪涌防护、静电防护、EFT、传导、辐射，可根据测试项目选择使用。

二级保护，气体放电管做粗保护，(如果有绝缘耐压要求则气放管选型需注意)，TVS做细保护，用空心电感L1退藕，浪涌的残压很低，保险丝F是为了让气放管或者TVS短路失效后断开电路，以防止短路电流过大造成火灾，所有器件的选型需根据放浪涌的等级及客户的电路具体分析。

额定电压	GDT	TVS
DC 5V	3R090L	SMBJ6.5CA
DC 12V	3R090L	SMCJ15CA

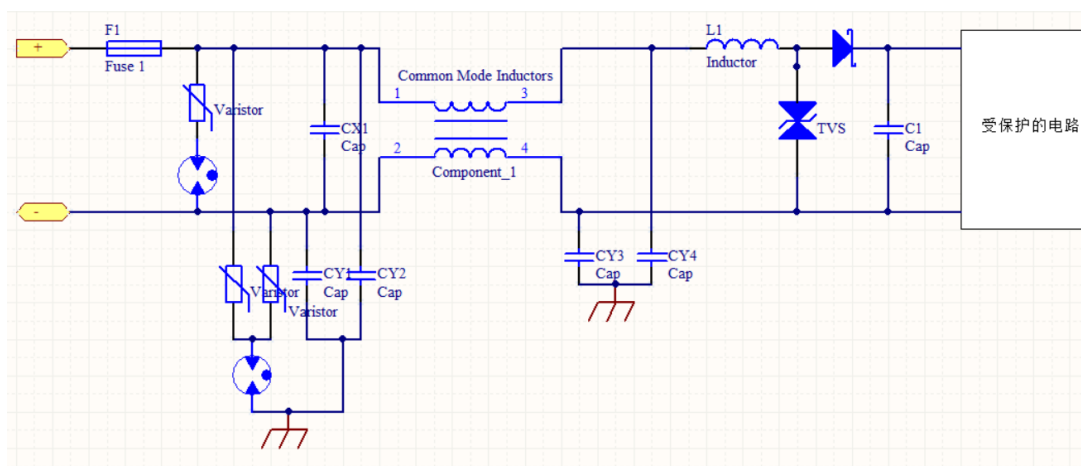


测试波形:

以 DC12V 为例,  $\pm 6KV$  测试:



### ②12V 以上直流电源防护电路

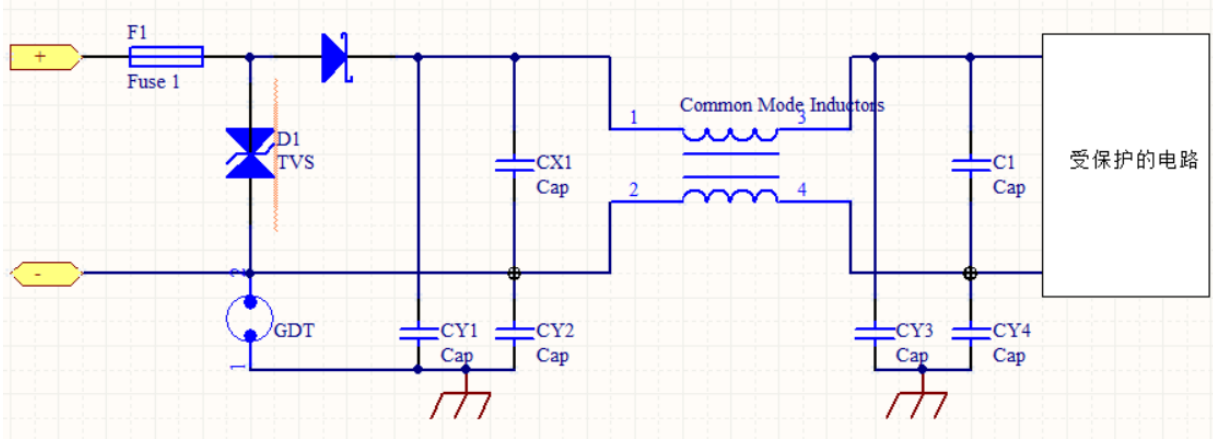


特点: 此电路涉及到接口的浪涌防护、静电防护、EFT、传导、辐射, 可根据测试项目选择使用。

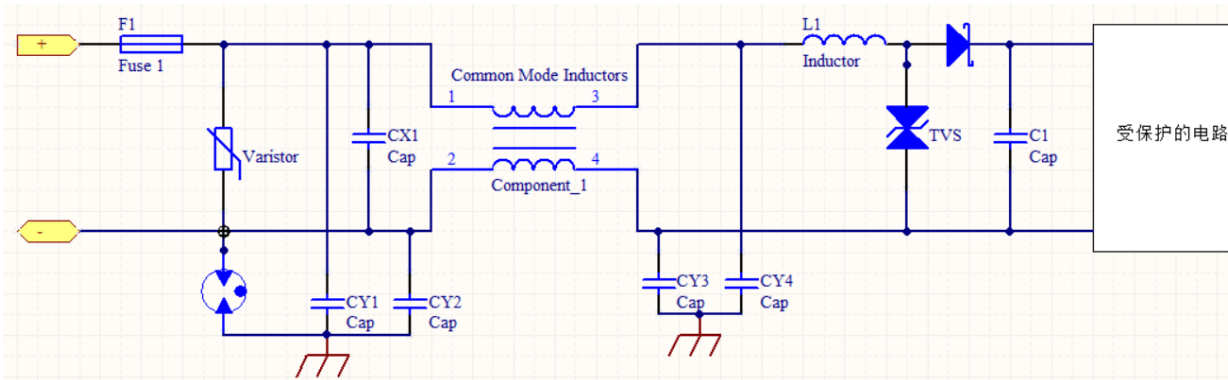
二级保护, 压敏电阻和气体放电管做粗保护, (如果有绝缘耐压要求则气放管选型需注意), TVS 做细保护, 用空心电感 L1 退藕, 浪涌的残压很低, 保险丝 F 是为了让压敏电阻, 气放管或者 TVS 短路失效后断开电路, 以防止短路电流过大造成火灾, 所有器件的选型需根据放浪涌的等级及客户的电路具体分析。

额定电压	MOV	GDT	TVS
DC 15V	20D820K	2R090L	SMCJ18CA
DC 18V	20D820K	2R090L	SMCJ24CA
DC 24V	20D820K	2R090L	SMDJ28CA
DC 36V	20D820K	2R090L	SMDJ43CA
DC 48V	20D820K	2R090L	5.0SMDJ58CA

### ③防雷器件比较少, 且防雷等级比较高的方案



此电路涉及到接口的浪涌防护、静电防护、EFT、传导、辐射，可根据测试项目选择使用。TVS 需要大功率的 TVS，贴片的如 SM8S 系列，插件的 5KP，15KP 系列气放管如果无绝缘耐压要求，选择 90V 的，如果有选择高压（2 倍绝缘耐压值）的气放管。

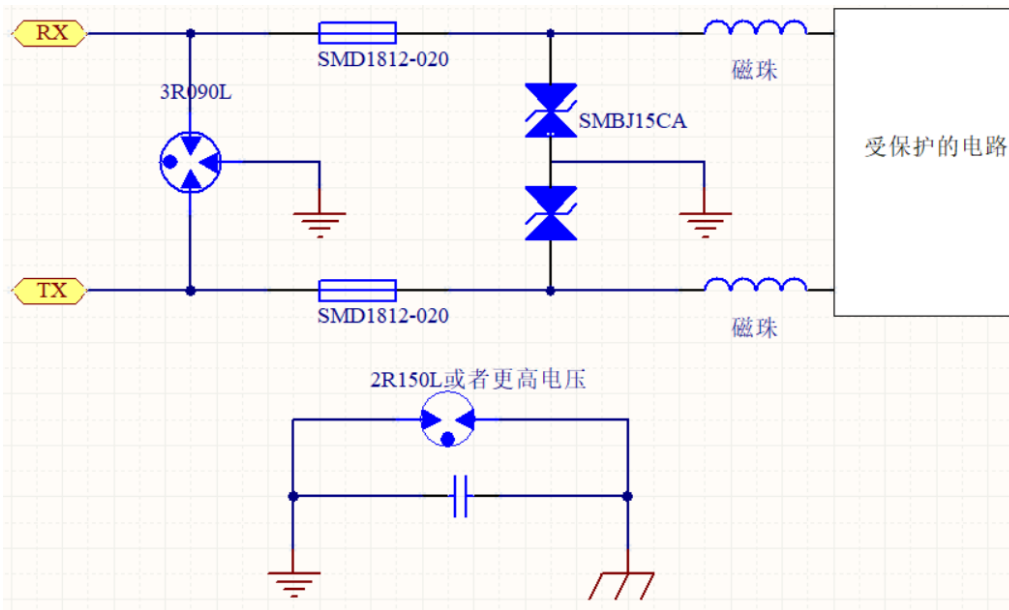


此电路涉及到接口的浪涌防护、静电防护、EFT、传导、辐射，可根据测试项目选择使用。

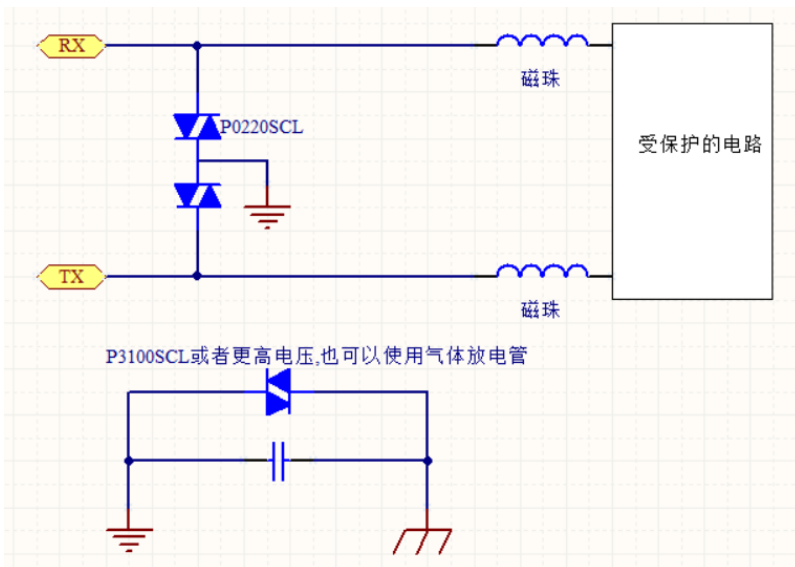
### 3. 信号端的浪涌防护方案

#### 3.1 RS232 防护电路

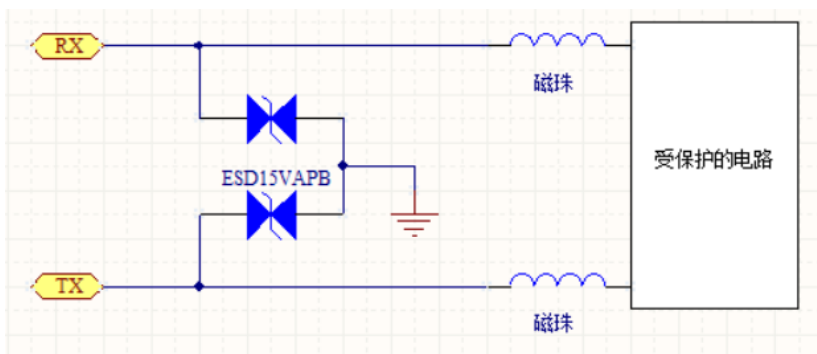
①防雷等级很高，使用 TVS 二极管，寄生电容较高，对速率有一定影响。



②防雷等级较高，使用半导体放电管，寄生电容低。

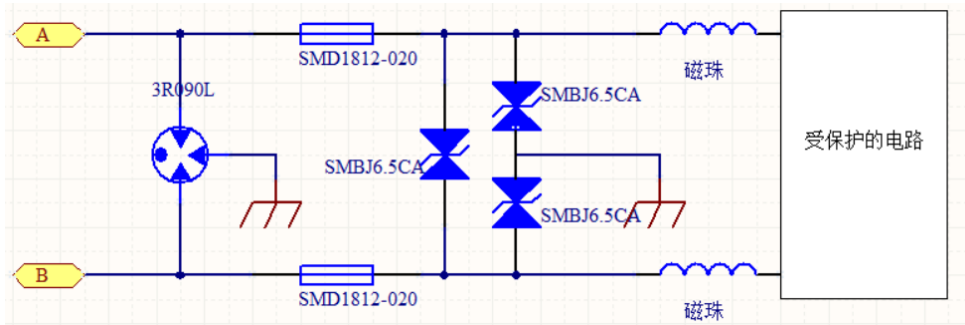


③防静电设计

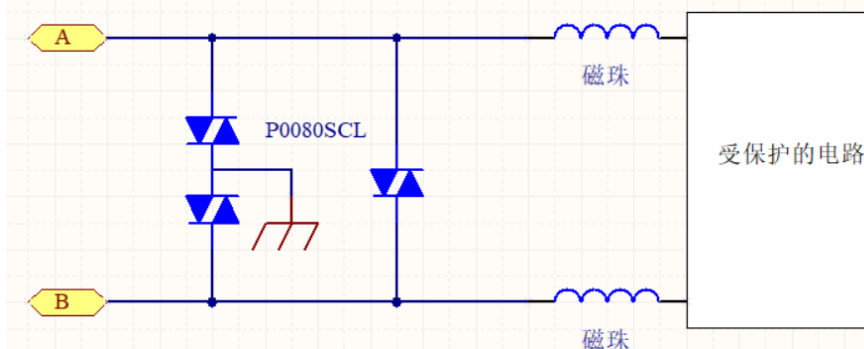


### 3.2 RS485 防护电路

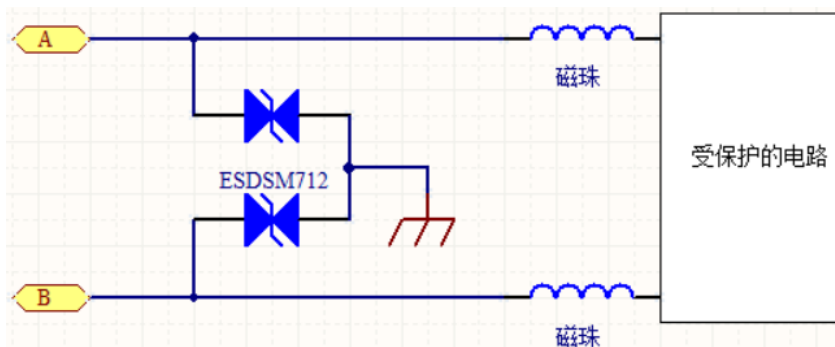
①常用常规的 485 防护方案，防护等级很高，使用 TVS，对节点数和通讯速率有影响。



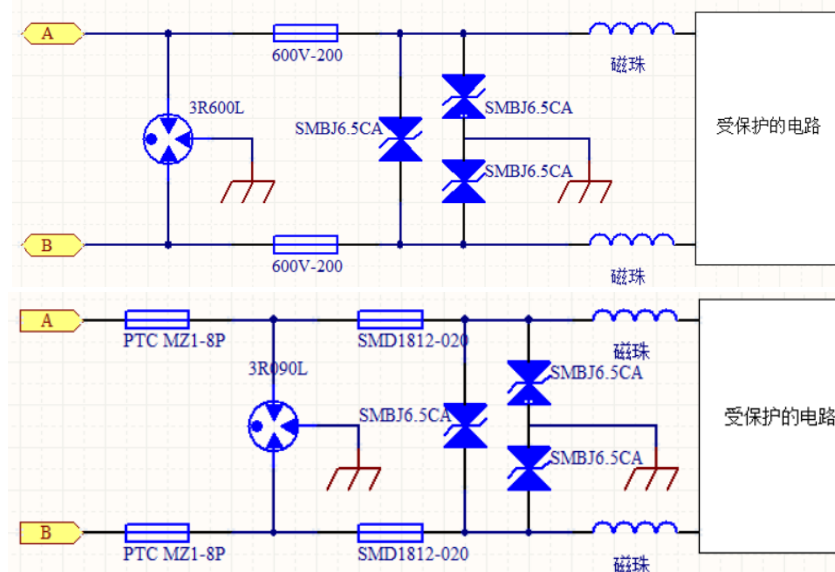
②使用半导体放电管，结电容较低，对 485 通讯影响较小，防护等级较高



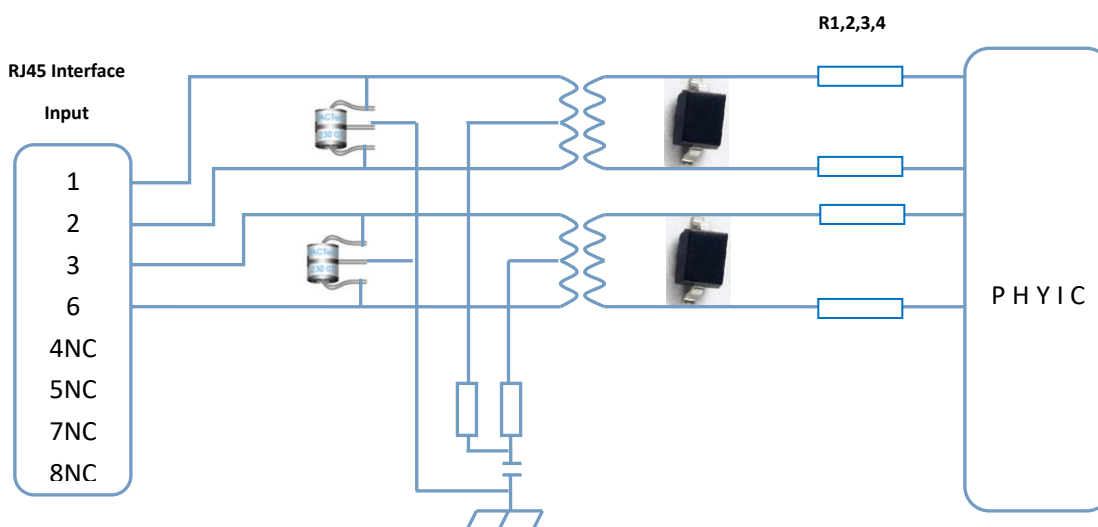
### ③静电防护方案



### ④带电力线误搭接功能的两种方案



### 3.3 百兆网络浪涌防护方案

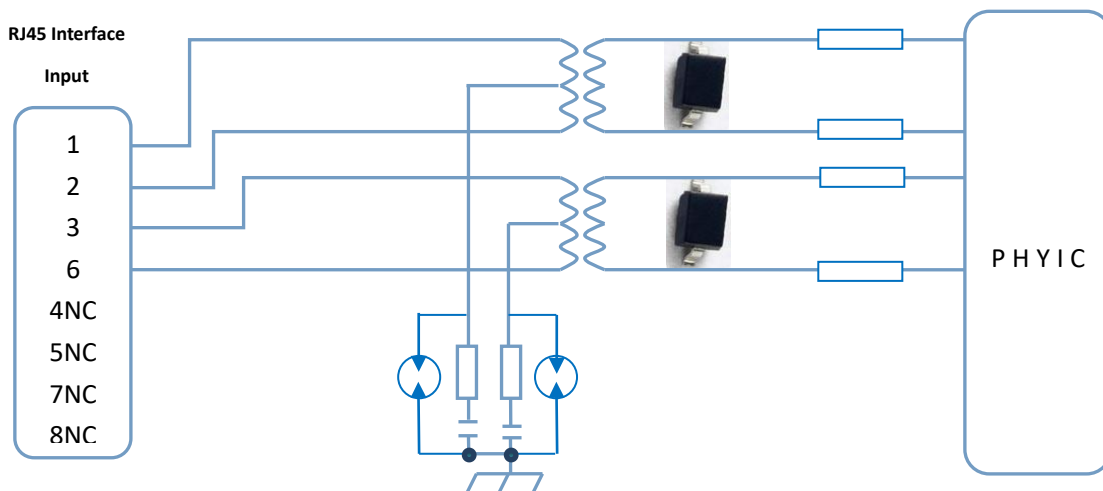


器件推荐:

气体放电管	ESD	R1, 2, 3, 4
3R090L	ESDLC3V3D3B	可不加, 2 欧姆左右

或者 ESDSLVU2. 8-4

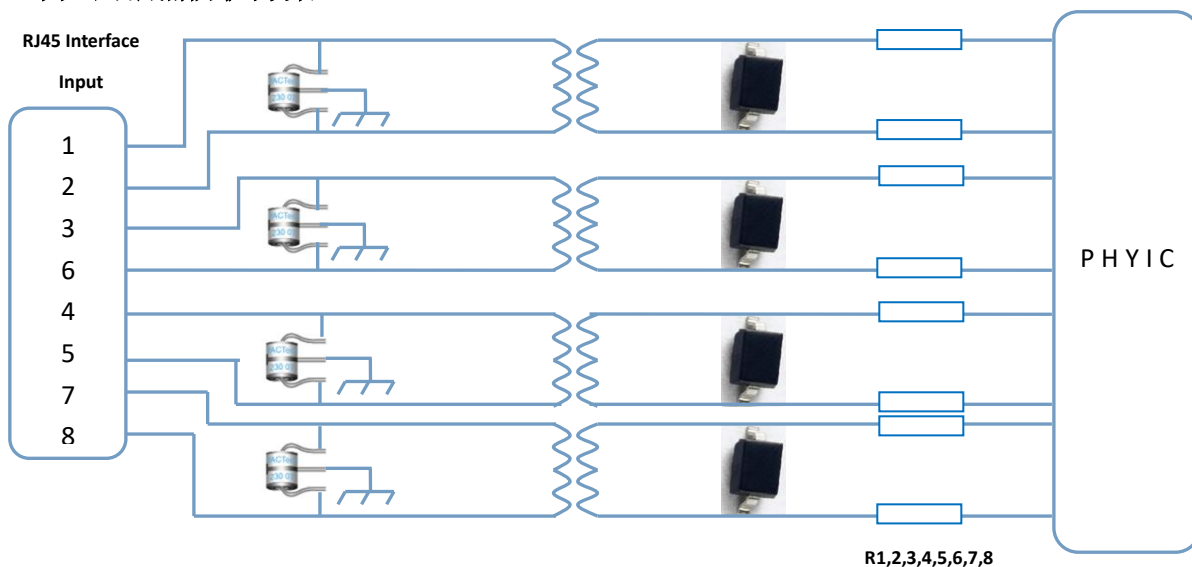
成本较低的方案



器件推荐

前端大通流器件选择	ESD	R1, 2, 3, 4
气放管 2R090L 或者 SMD1812-091 或者使用半导体放电 管 P2300SCL 成本更低	ESDLC3V3D3B 或者 ESDSLVU2. 8-4	可不加, 2 欧姆左右

### 3.4 千兆网浪涌防护方案

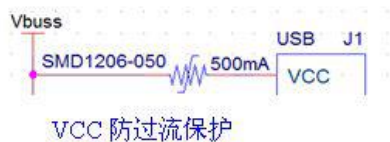
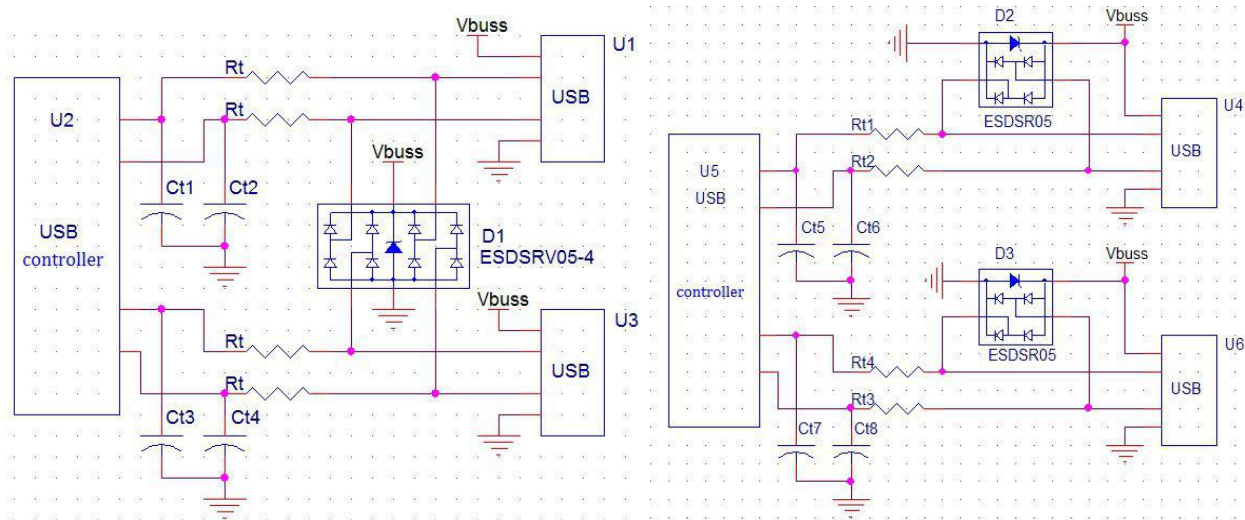


器件推荐

气体放电管	ESD	R1~8
3R090L	ESDLC3V3D3B 或者 ESDSLVU2. 8-4	可不加, 2 欧姆左右

## 4 ESD 防护方案

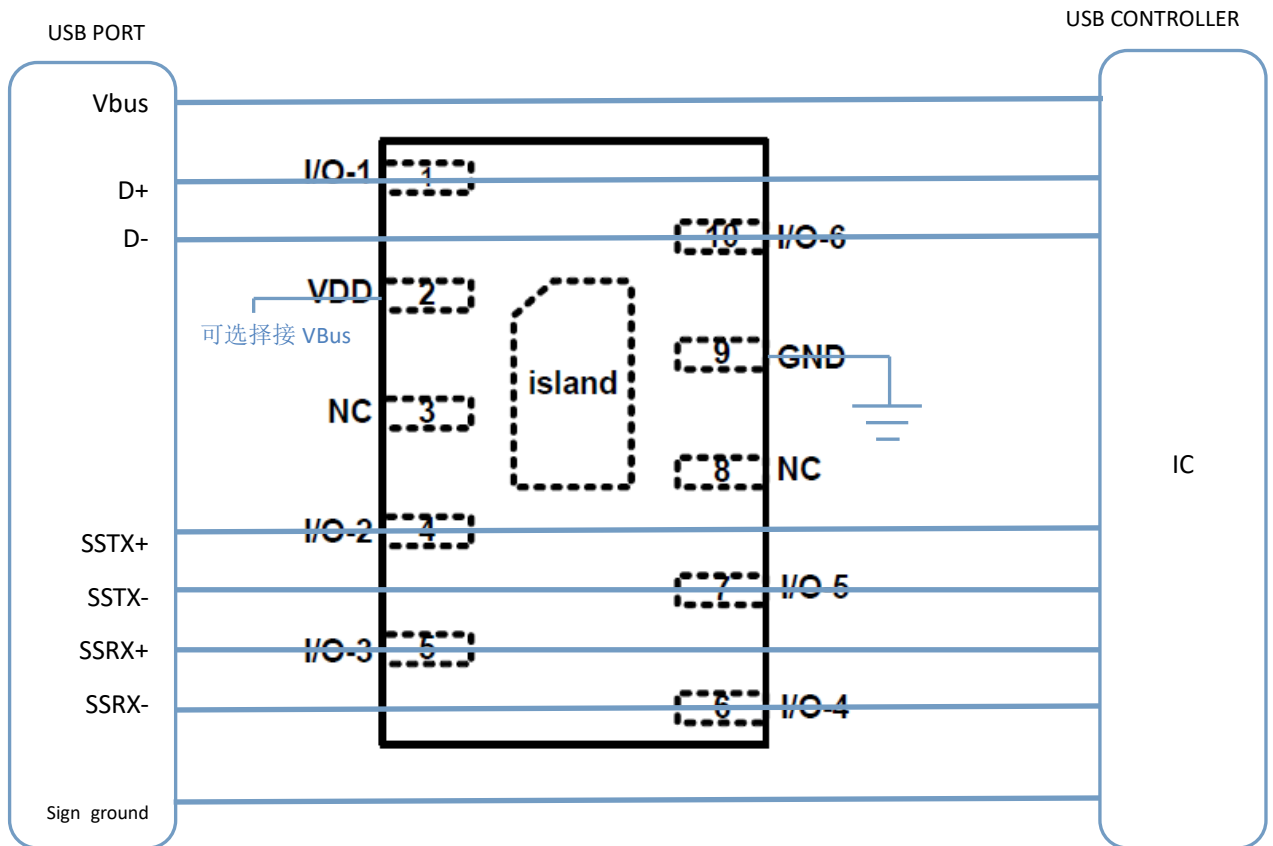
### 4.1 USB2.0 防护方案



推荐使用的器件

ESDSRV05-4, ESDSR05 等

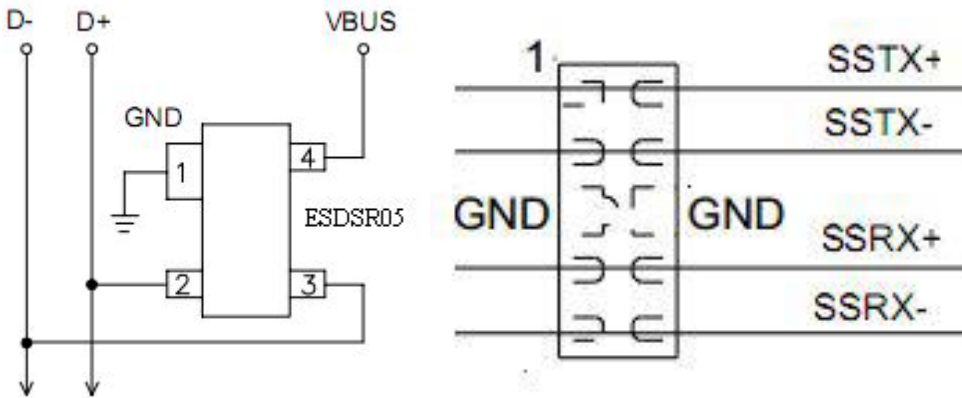
## 4.2 USB3.0 ESD 方案



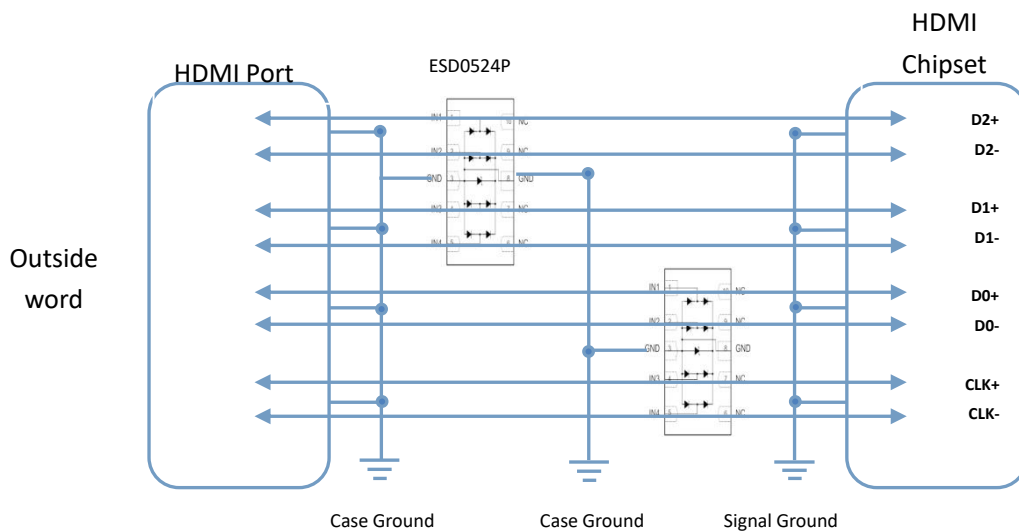
器件推荐:

ESD1065P

或者 ESDSR05 和 ESD0524P 配合使用



### 4.3 HDMI ESD 防护

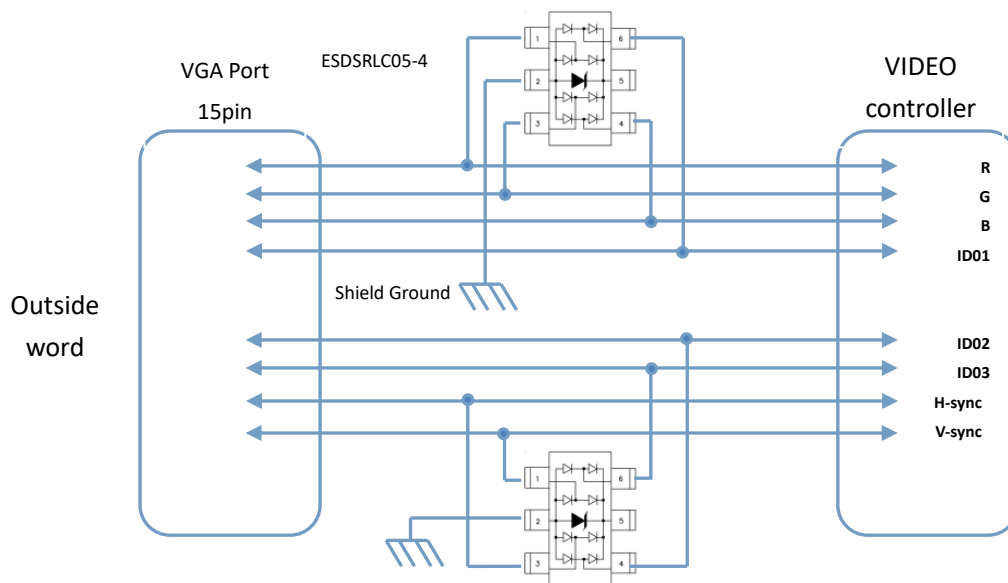


器件推荐

ESD0524P

或者每根线使用 ESDUCL5V0D8B 或者 ESDUCL5V0D9B 接地。

### 4.4 VGA ESD 防护

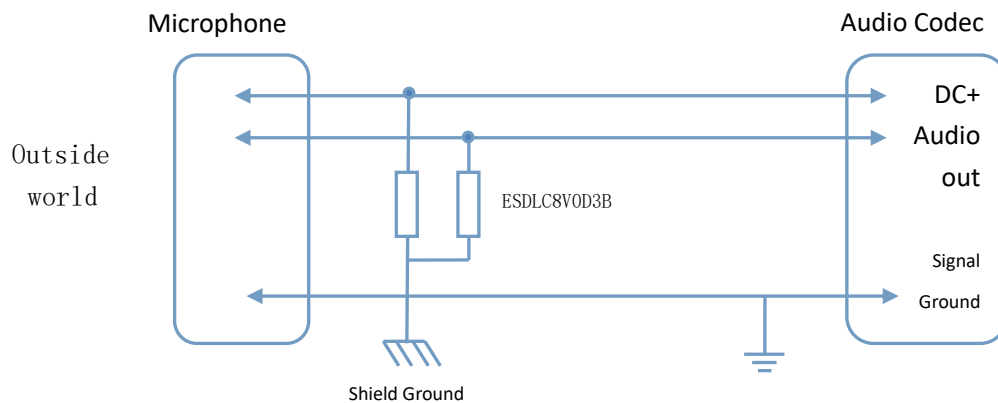


器件推荐

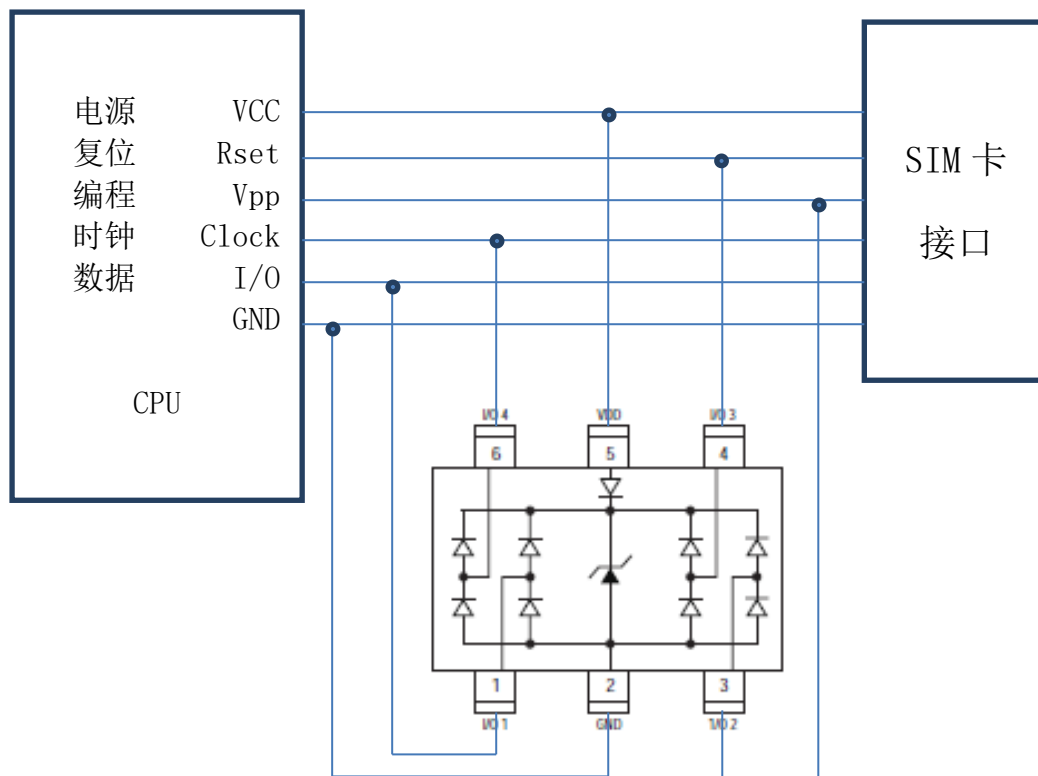
ESDSRVL05-4, ESD0524P, 或者每根线使用 ESDUCL5V0D8B 或者 ESDUCL5V0D9B 接地。



### 4.5 麦克风的 ESD 防护



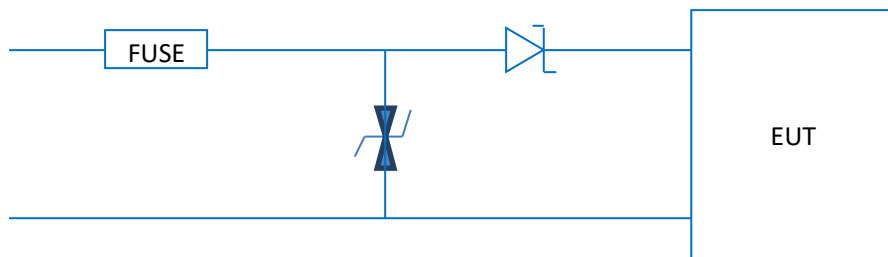
### 4.6 SIM 卡 ESD 防护



器件推荐: ESDSRV05-4

## 5. 车载防护方案

### 5.1 车载电源方案



器件推荐:

保险丝: 选型需注意  $I^2T$ , 防止在 7637 浪涌测试时, 保险丝损坏。

在一些要求不严苛的地方可使用 PPTC, 选择时需注意环境温度和耐压要求

肖特基: 在这里的作用主要是防反 (如果没有这个要求可去掉), 注意电压和电流的要求

TVS: 在要求不高如娱乐系统, 氛围灯等地方可使用 600W, 1500W 的 TVS

在要求高的位置可以使用大功率的 TVS, 如 SM8S 系列, 5KP, 8KP, 15KP 系列

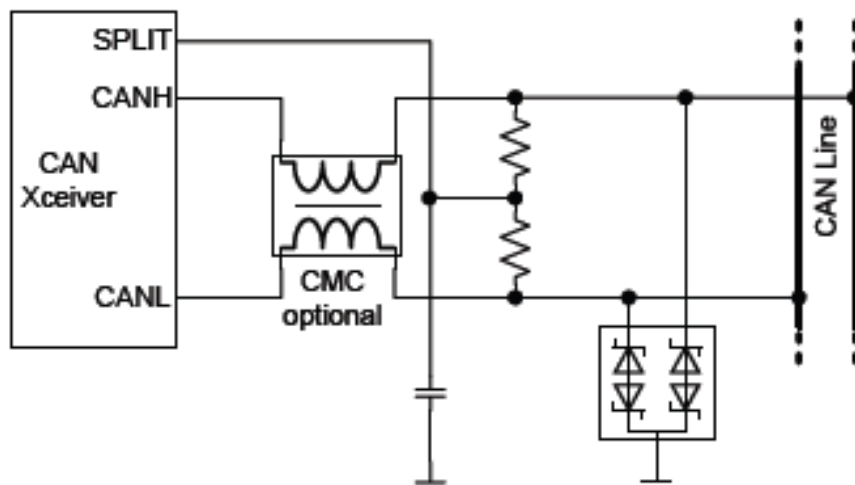
注意 12V 车载系统推荐使用 24V, 28V 的 TVS, VC 值在 40V

24V 车载系统推荐使用 33V, 36V 的 TVS, VC 值在 58V

所以后面的器件如 DCDC 芯片耐压要注意。

每种器件能通过的 7637-5A 或者 5B 的等级, 可咨询音特电子

### 5.2 can bus 防护



器件推荐:

ESD24VAPB