

DKBA

## 华为技术有限公司企业技术规范

DKBA1268-2003.08

代替DKBA3613-2001.11

---

### 防护电路设计规范

2003-11-10发布

2003-11-10实施

---

华为技术有限公司发布

# 目 次

前 言 .....	6
1 范围和简介.....	7
1.1 范围 .....	7
1.2 简介 .....	7
1.3 关键词 .....	7
2 规范性引用文件.....	7
3 术语和定义.....	8
4 防雷电路中的元器件.....	8
4.1 气体放电管 .....	8
4.2 压敏电阻 .....	9
4.3 电压钳位型瞬态抑制二极管（TVS） .....	10
4.4 电压开关型瞬态抑制二极管（TSS） .....	11
4.5 正温度系数热敏电阻(PTC) .....	11
4.6 保险管、熔断器、空气开关 .....	12
4.7 电感、电阻、导线 .....	13
4.8 变压器、光耦、继电器 .....	14
5 端口防护概述.....	15
5.1 电源防雷器的安装 .....	16
5.1.1 串联式防雷器 .....	16
5.1.2 并联式防雷器 .....	16
5.2 信号防雷器的接地 .....	18

5.3	天馈防雷器的接地 .....	19
5.4	防雷器正确安装的例子 .....	19
6	电源口防雷电路设计.....	20
6.1	交流电源口防雷电路 .....	20
6.1.1	交流电源口防雷电路 .....	20
6.1.2	交流电源口防雷电路变型 .....	22
6.2	直流电源口防雷电路设计 .....	23
6.2.1	直流电源口防雷电路 .....	23
6.2.2	直流电源口防雷电路变型 .....	24
7	信号口防雷电路设计.....	25
7.1	E1口防雷电路 .....	26
7.1.1	室外走线E1口防雷电路 .....	26
7.1.2	室内走线E1口防雷电路 .....	27
7.2	网口防雷电路 .....	31
7.2.1	室外走线网口防雷电路 .....	31
7.2.2	室内走线网口防雷电路 .....	32
7.3	E3/T3口防雷电路 .....	36
7.4	串行通信口防雷电路 .....	36
7.4.1	RS232口防雷电路 .....	36
7.4.2	RS422&RS485口防雷电路 .....	37
7.4.3	V.35接口防雷电路 .....	39
7.5	用户口防雷电路 .....	39

7.5.1	模拟用户口（Z口）防雷电路 .....	40
7.5.2	数字用户口（U接口）防雷电路 .....	41
7.5.3	ADSL口防雷电路 .....	43
7.5.4	VDSL口防雷电路 .....	44
7.5.5	G.SHDSL口防雷电路 .....	45
7.6	并柜口防雷电路 .....	46
7.7	其他信号端口的防护 .....	47
8	天馈口防雷电路设计.....	47
8.1	不带馈电的天馈口防雷电路设计 .....	47
8.2	带馈电的天馈口防雷电路设计 .....	48
9	PCB设计.....	50
10	附录A：雷电参数简介.....	51
10.1	雷暴日.....	51
10.2	雷电流波形.....	51
10.3	雷电流陡度.....	52
10.4	雷电波频谱分析.....	52
11	附录B：常见测试波形允许容差.....	52
11.1	1.2/50us冲击电压波.....	52
11.2	8/20us冲击电流波.....	52
11.3	10/700us冲击电压波.....	53
11.4	1.2/50us (8/20us) 混合波.....	53
12	附录C：冲击电流实验方法.....	54

13	附录D： 低压配电系统简介.....	55
13.1	TN配电系统.....	55
13.2	TT配电系统.....	57
13.3	IT配电系统.....	58
13.4	与配电系统有关的接地故障.....	59
14	参考文献.....	60

## 前 言

本规范的其他系列规范：无

与对应的国际标准或其他文件的一致性程度：无

规范代替或作废的全部或部分其他文件：本规范代替原规范DKBA3613-2001.11《防护电路设计规范》

与其他规范或文件的关系：本规范是DKBA3613-2001.11《防护电路设计规范》的升级

与规范前一版本相比的升级更改的内容：

对前一版的内容进行了优化，并全面增加了多种信号端口的防护电路。

本规范由EMC研究部提出。

本规范主要起草和解释部门：EMC研究部

本规范主要起草专家：EMC研究部：张静(34763)

本规范主要评审专家：整机工程部：熊膺(8712)、罗新会(9398)、王庆海(31211)、孟繁涛(15133)，张静松(5073)、唐栓礼(9469)

本规范批准部门：整机工程部

本规范所替代的历次修订情况和修订专家为：

规范号	主要起草专家	主要评审专家
DKBA3613-2001 .11	熊膺(8712)	徐贵今(7764)、谢春生(2635)、 孟繁涛(15133)、唐栓礼(9469)、 张静松(5073)、陈敦利(4678)、

# 防护电路设计规范

## 1 范围和简介

### 1.1 范围

本规范规定了防护电路的设计原则。

本规范适用于公司通信产品各端口的防护电路设计。

### 1.2 简介

通信产品在应用的过程中，由于雷击等原因形成的过电压和过电流会对设备端口造成损害，因此应当设计相应的防护电路，各个端口根据其产品族类、网络地位、目标市场、应用环境、信号类型以及实现成本等多种因素的不同所对应的防护电路也不同，本规范在电源口、信号口和天馈口的防护电路设计上给出了指导。

### 1.3 关键词

防护、气体放电管、压敏电阻、TVS管、TSS管、退耦、接地

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规范，然而，鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

序号	编号	名称
1	IEC 61000-4-5	Electromagnetic compatibility(EMC)-Part 4:Testing and measurement techniques-Section 5:Surge immunity test
2	ETS 300 386	Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters(ERM); Telecommunication network equipment; ElectroMagnetic Compatibility(EMC)requirements
3	ITU-T K. 20	Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents
4	YD/T 5098-2001	通信局（站）雷电过电压保护工程设计规范
5	ITU-T K. 21	Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents
6	ITU-T K. 44	Resistibility tests for telecommunication equipment exposed to overvoltages and overcurrents
7	ITU-T K. 45	Resistibility of access network equipment to overvoltages and overcurrents
8	DKBA1260-2003. 07	10/100BASE-TX以太网防护电路设计指导书

9	DKBA1139-2002.09	硅瞬态抑制器件可靠应用指导书
---	------------------	----------------

3 术语和定义

防雷器：一些标准中又称为电涌保护器（Surge Protective Devices, SPD），是可安装在设备端口用于对各种雷电电流、操作过电压等进行保护的器件。它至少含有一个非线性元件。

防雷器的残压：雷电放电电流流过防雷器时，其端子间呈现的电压。被保护端口自身的抗过电压水平必须高于防雷器的输出残压并有一定的裕量，防雷器才能真正起到保护设备的作用。

1.2/50us冲击电压：雷击时户内走线线缆上产生的感应过电压的模拟波形，用于设备端口过电压耐受水平测试，主要测试范围：通信设备的电源端口和建筑物内走线的信号线测试。

1.2/50us (8/20us) 混合波：是浪涌发生器输出的一种具有特定开路/短路特性的波形。发生器输出开路时，输出波形是1.2/50us的开路电压波；发生器输出短路时，输出波形是8/20us的短路电流波。具有这种特性的浪涌发生器主要用于设备端口过电压耐受水平测试，主要测试范围：通信设备的电源端口和建筑物内走线的信号线测试。

10/700us冲击电压：雷击时户外走线线缆上产生的感应雷过电压的模拟波形。用于设备端口过电压耐受水平测试时用的波形，主要测试范围：建筑物外走线的信号线（如用户线类电缆）的测试。

8/20us冲击电流：雷击时线缆上产生的感应过电流模拟波形，设备的雷击过电流耐受水平测试用标准波形，主要用于通信设备的电源口、信号口、天馈口。

10/350us冲击电流：直击雷电流模拟波形。目前通信设备端口的防雷测试较少使用。

4 防雷电路中的元器件

4.1 气体放电管

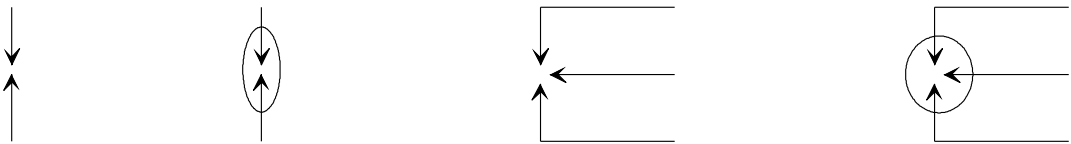


图4-1 气体放电管的原理图符号

气体放电管是一种开关型保护器件，工作原理是气体放电。当两极间电压足够大时，极间间隙将放电击穿，由原来的绝缘状态转化为导电状态，类似短路。导电状态下两极间维持的电压很低，一般在20～50V，因此可以起到保护后续电路的效果。气体放电管的主要指标有：响应时间、直流击穿电压、冲击击穿电压、通流容量、绝缘电阻、极间电容、续流遮断时间。

气体放电管的响应时间可以达到数百ns以至数μs，在保护器件中是最慢的。当线缆上的雷击过电压使防雷器中的气体放电管击穿短路时，初始的击穿电压基本为气体放电管的冲击击穿电压，放电管击穿导通后两极间维持电压下降到20～50V；另一方面，气体放电管的通流量比压敏电



阻和TVS管要大，气体放电管与TVS等保护器件合用时应使大部分的过电流通过气体放电管泄放，因此气体放电管一般用于防护电路的最前级，其后级的防护电路由压敏电阻或TVS管组成，这两种器件的响应时间很快，对后级电路的保护效果更好。气体放电管的绝缘电阻非常高，可以达到千兆欧姆的量级。极间电容的值非常小，一般在5pF以下，极间漏电流非常小，为nA级。因此气体放电管并接在线路上对线路基本不会构成什么影响。

气体放电管的续流遮断是设计电路需要重点考虑的一个问题。如前所述，气体放电管在导电状态下续流维持电压一般在20~50V，在直流电源电路中应用时，如果两线间电压超过15V，不可以在线路间直接应用放电管。在50Hz交流电源电路中使用，虽然交流电压有过零点，可以实现气体放电管的续流遮断，但气体放电管类的器件在经过多次导电击穿后，其续流遮断能力将大大降低，长期使用后在交流电路的过零点也不能实现续流的遮断；还存在一种情况就是如果电流和电压相位不一致，也可能导致续流不能遮断。因此在交流电源电路的相线对保护地线、相线对零线以及相线之间单独使用气体放电管都不合适，当用电设备采用单相供电且无法保证实际应用中相线和中线不存在接反的可能性时，中线对保护地线单独使用气体放电管也是不合适的，此时使用气体放电管需要和压敏电阻串联。在交流电源电路的相线对中线的保护中基本不使用气体放电管。

防雷电路的设计中，应注重气体放电管的直流击穿电压、冲击击穿电压、通流容量等参数值的选取。设置在普通交流线路上的放电管，要求它在线路正常运行电压及其允许的波动范围内不能动作，则它的直流放电电压应满足： $\min(u_{fde}) \geq 1.8U_p$ 。式中 $u_{fde}$ 直流击穿电压， $\min(u_{fde})$ 表示直流击穿电压的最小值。 $U_p$ 为线路正常运行电压的峰值。

气体放电管主要可应用在交流电源口相线、中线的对地保护；直流RTN和保护地之间的保护；信号口线对地的保护；天馈口馈线芯线对屏蔽层的保护。

气体放电管的失效模式多数情况下为开路，因电路设计原因或其它因素导致放电管长期处于短路状态而烧坏时，也可引起短路的失效模式。气体放电管使用寿命相对较短，多次冲击后性能会下降，同时其他放电管在长时间使用会有漏气失效这种自然失效的情况，因此由气体放电管构成的防雷器长时间使用后存在维护及更换的问题。

## 4.2 压敏电阻

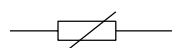


图4-2 压敏电阻的原理图符号

压敏电阻是一种限压型保护器件。利用压敏电阻的非线性特性，当过电压出现在压敏电阻的两极间，压敏电阻可以将电压钳位到一个相对固定的电压值，从而实现对后级电路的保护。压敏电阻的主要参数有：压敏电压、通流容量、结电容、响应时间等。

压敏电阻的响应时间为ns级，比空气放电管快，比TVS管稍慢一些，一般情况下用于电子电路的过电压保护其响应速度可以满足要求。压敏电阻的结电容一般在几百到几千pF的数量级范围，

很多情况下不宜直接应用在高频信号线路的保护中，应用在交流电路的保护中时，因为其结电容较大会增加漏电流，在设计防护电路时需要充分考虑。压敏电阻的通流容量较大，但比气体放电管小。

压敏电阻的压敏电压 ( $\min(U_{1mA})$ )、通流容量是电路设计时应重点考虑的。在直流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (1.8 \sim 2)U_{dc}$ ，式中 $U_{dc}$ 为回路中的直流额定工作电压。在交流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (2.2 \sim 2.5)U_{ac}$ ，式中 $U_{ac}$ 为回路中的交流工作电压的有效值。上述取值原则主要是为了保证压敏电阻在电源电路中应用时，有适当的安全裕度。在信号回路中时，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (1.2 \sim 1.5)U_{max}$ ，式中 $U_{max}$ 为信号回路的峰值电压。压敏电阻的通流容量应根据防雷电路的设计指标来定。一般而言，压敏电阻的通流容量要大于等于防雷电路设计的通流容量。

压敏电阻主要可用于直流电源、交流电源、低频信号线路、带馈电的天馈线路。

压敏电阻的失效模式主要是短路，当通过的过电流太大时，也可能造成阀片被炸裂而开路。压敏电阻使用寿命较短，多次冲击后性能会下降。因此由压敏电阻构成的防雷器长时间使用后存在维护及更换的问题。

#### 4.3 电压钳位型瞬态抑制二极管 (TVS)

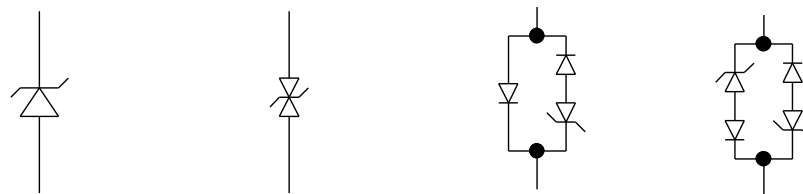


图4-3 TVS管原理图

TVS (Transient Voltage Suppression) 是一种限压保护器件，作用与压敏电阻很类似。也是利用器件的非线性特性将过电压钳位到一个较低的电压值实现对后级电路的保护。TVS管的主要参数有：反向击穿电压、最大钳位电压、瞬间功率、结电容、响应时间等。

TVS的响应时间可以达到ps级，是限压型浪涌保护器件中最快的。用于电子电路的过电压保护时其响应速度都可满足要求。TVS管的结电容根据制造工艺的不同，大体可分为两种类型，高结电容型TVS一般在几百~几千pF的数量级，低结电容型TVS的结电容一般在几pF~几十pF的数量级。一般分立式TVS的结电容都较高，表贴式TVS管中两种类型都有。在高频信号线路的保护中，应主要选用低结电容的TVS管。

TVS管的非线性特性比压敏电阻好，当通过TVS管的过电流增大时，TVS管的钳位电压上升速度比压敏电阻慢，因此可以获得比压敏电阻更理想的残压输出。在很多需要精细保护的电子电路中，应用TVS管是比较好的选择。TVS管的通流容量在限压型浪涌保护器中是最小的，一般用于最末级的精细保护，因其通流量小，一般不用于交流电源线路的保护，直流电源的防雷电路使用TVS管时，一般还需要与压敏电阻等通流容量大的器件配合使用。TVS管便于集成，很适合在单板上使用。

TVS具有的另一个优点是灵活选用单向或双向保护器件，在单极性的信号电路和直流电源电路中，选用单向TVS管，可以获得比较低的残压。

TVS的反向击穿电压、通流容量是电路设计时应重点考虑的。在直流回路中，应当有： $\min(U_{BR}) \geq (1.3 \sim 1.6)U_{max}$ ，式中 $U_{BR}$ 为直流TVS的反向击穿电压， $U_{max}$ 是直流回路中的电压峰值。

TVS管主要可用于直流电源、信号线路、天馈线路的防雷保护。

TVS管的失效模式主要是短路。但当通过过电流太大时，也可能造成TVS管被炸裂而开路。TVS管的使用寿命相对较长。

#### 4.4 电压开关型瞬态抑制二极管（TSS）

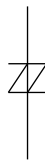


图4-4 TSS管的原理图符号

电压开关型瞬态抑制二极管（TSS，Thyristor Surge Suppressor）与TVS管相同，也是利用半导体工艺制成的限压保护器件，但其工作原理与气体放电管类似，而与压敏电阻和TVS管不同。当TSS管两端的过电压超过TSS管的击穿电压时，TSS管将把过电压钳位到比击穿电压更低的接近0V的水平上，之后TSS管持续这种短路状态，直到流过TSS管的过电流降到临界值以下后，TSS恢复开路状态。

TSS管在响应时间、结电容方面具有与TVS管相同的特点。易于制成表贴器件，很适合在单板上使用，TSS管动作后，将过电压从击穿电压值附近下拉到接近0V的水平，这时二极管的结压降小，所以用于信号电平较高的线路（例如：模拟用户线、ADSL等）保护时通流量比TVS管大，保护效果也比TVS管好。TSS适合于信号电平较高的信号线路的保护。

在使用TSS管时需要注意的一个问题是：TSS管在过电压作用下击穿后，当流过TSS管的电流值下降到临界值以下后，TSS管才恢复开路状态，因此TSS管在信号线路中使用时，信号线路的常态电流应小于TSS管的临界恢复电流。临界恢复电流值随TSS管的型号和设计应用场合的不同而不同，使用时应注意在器件手册中查明所用具体型号的确切值。

TSS管的击穿电压（ $\min(U_{BR})$ ）、通流容量是电路设计时应重点考虑的。在信号回路中时，应当有： $\min(U_{BR}) \geq (1.2 \sim 1.5)U_{max}$ ，式中 $U_{max}$ 为信号回路的峰值电压。

TSS管较多应用于信号线路的防雷保护。

TSS管的失效模式主要是短路。但当通过的过电流太大时，也可能造成TSS管被炸裂而开路。TSS管的使用寿命相对较长。

#### 4.5 正温度系数热敏电阻(PTC)

PTC是一种限流保护器件，它有一个动作温度值 $T_s$ ，当其本体内温度低于 $T_s$ 时，其阻值维持基本恒定，这时的阻值称为冷电阻。当正温度系数电阻本体温度高于 $T_s$ 时，其阻值迅速增大，可以达到的最大阻值能过比冷电阻值打 $10^4$ 倍左右。由于它的阻值可以随温度升高而迅速增大，所以一般串联于线上用作暂态大电流的过流保护。PTC在信号线及电源线路上都有应用。

PTC反应速度较慢，一般在毫秒级以上，因此它的非线性电阻特性在雷击过电流通过时基本发挥不了作用，只能按它的常态电阻（冷电阻）来估算它的限流作用。热敏电阻的作用更多的体现在诸如电力线碰触等出现长时间过流保护的场合，常用于用户线路的保护中。

目前PTC主要有高分子材料PTC和陶瓷PTC两种，其中陶瓷PTC的过电压承受能力比高分子材料的PTC好，但高分子材料的PTC响应速度比陶瓷PTC快。通常陶瓷PTC不能实现低阻值，低阻值的PTC均采用的是高分子的材料。

#### 4.6 保险管、熔断器、空气开关

保险管、熔断器、空气开关都属于保护器件，用于设备内部出现短路、过流等故障情况下，能够断开线路上的短路负载或过流负载，防止电气火灾及保证设备的安全特性。

保险管一般用于单板上的保护，熔断器、空气开关一般可用于整机的保护。下面简单介绍保险管的使用。

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。图4-5给出了保险应用的两个例子，其中a电路中防护电路与主回路共用一个保险，当防护电路短路失效时主回路供电会同时断开，b电路中主回路和防护电路有各自的保险，当防护电路失效时防护电路的保险断开，主回路仍然能正常工作，但是此时端口再出现过电压时，端口可能会因为失去防护而导致内部电路的损坏。两种电路各有利弊，在设计过程中可以根据需要选用。无馈电的信号线路、天馈线路的保护采用保险管的必要性不大。

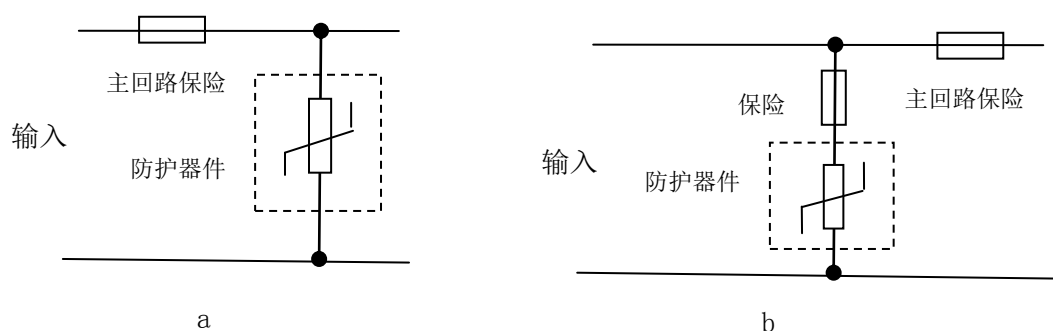


图4-5 保险应用的两个例子

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。

标注在熔丝上的电压额定值表示该熔丝在电压等于或小于其额定电压的电路中完全可以安全可靠地中断其额定的短路电流。电压额定值系列包括在N. E. C规定中，而且也是保险商实验室的一项要求，作为防止火灾危险的保护措施。对于大多数小尺寸熔丝及微型熔丝，熔丝制造商们采用的标准额定电压为32、63、125、250、600V。

概括而言，熔丝可以在小于其额定电压的任何电压下使用而不损害其熔断特性。

防护电路中的保险管，宜选用防爆型慢熔断保险管。

#### 4.7 电感、电阻、导线

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。下面对这几种元件分别进行介绍：

**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，如下图：

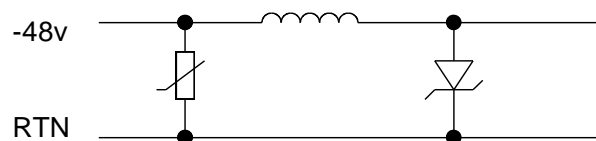


图4-6 用电感实现两级防护器件的配合

电感应起到的作用：防护电路达到设计通流量时，TVS上的过电流不应达到TVS管的最大通流量，因此电感需要提供足够的对雷击过电流的限流能力。

在电源电路中，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。

在公司电源口的防护电路设计中，电感通常取值为7~15uH。

**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，如下图：

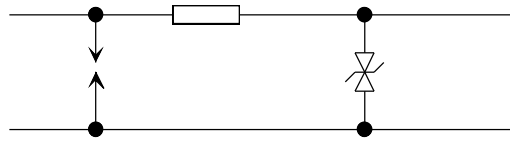


图4-7 用电阻实现两级防护器件的配合

电阻应起到的作用与前述电感的作用基本相同。以上图为例，电阻的取值计算方法为：测得空气放电管的冲击击穿电压值 $U_1$ ，查TVS器件手册得到TVS管8/20us冲击电流下的最大通流量 $I_1$ 、以及TVS管最高钳位电压 $U_2$ ，则电阻的最小取值为： $R \geq (U_1 - U_2) / I_1$ 。

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。

**导线：**某些交/直流设备的满配工作电流很大，超过30A，这种情况下防护电路的极间配合采用电感会出现体积过大的问题，为解决这个问题，可以将防护电路分为两个部分，前级防护和后级防护不设计在同一块电路板上，同时两级电路之间可以利用规定长度的馈电线来做配合。

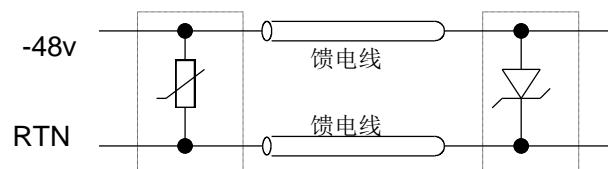


图4-8 用导线实现两级防器件的配合

这种组合形成的防护电路中，规定长度馈电线所起的作用，与电感的作用是相同的，因为1米长导线的电感量在1~1.6uH之间，馈电线达到一定长度，就可以起到良好的配合作用，馈电线的线径可以根据满配工作电流的大小灵活选取，克服了采用电感做极间配合时电感上不能流过很大工作电流的缺点。

#### 4.8 变压器、光耦、继电器

变压器、光耦和继电器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。

端口雷击共模保护设计有两种方法：1、线路对地安装限压保护器，当线路引入雷击过电压时，限压保护器成为短路状态将过电流泄放到大地上；2、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、光耦和继电器等。

这里的变压器主要是指用于信号端口的各种信号传输变压器。变压器一般有初/次级间绝缘耐压的指标，变压器的冲击耐压值（适用于雷击）可根据直流耐压值或交流耐压值换算出来。大致的估算公式为：冲击耐压值=2×直流耐压值=3×交流耐压值。

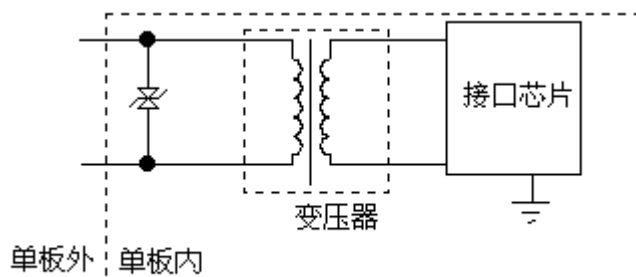


图4-9 用变压器实现隔离

上图示出一种将变压器结合在内的信号端口防护电路设计。雷击时，设备外部的线缆上可感应的对地共模过电压作用在变压器的初级和次级之间，如图4-9。只要初/次级不发生绝缘击穿，设备外电缆上的过电压就不会转化为过电流进入设备内部。这时端口只需要做差模保护，利用变压器等器件的隔离特性，有利于简化端口的防雷电路。

采用这种方法设计需要注意的是：变压器、光耦和继电器等元件本身的绝缘耐压能力应很高（例如冲击耐压大于4kV），否则在过电压的作用下很容易发生绝缘击穿，不能起到提高端口耐压的作用。另外，利用变压器的隔离特性时，需要注意变压器的初/次级间有分布电容，某些情况下外部线缆上的共模过电压可通过分布电容从初级耦合到次级，从而进入到内部电路中，这样就破坏了变压器的隔离效果，因此应尽量选用带有初次极间屏蔽层的变压器，并将变压器屏蔽层外引线在单板内接地，如图4-9所示。这时变压器的有效绝缘耐压变成了初级与屏蔽接地端间的绝缘耐压值。采用共模隔离设计的另一个需要注意的问题是初级电路与单板上其它电路、地的印制线在单板上应分离开，并有足够的绝缘距离。一般，印制板上边缘相距1mm的两根印制走线，能耐受1.2/50us冲击电压4kV左右。

上面几节讲述了防护电路中所使用的元器件，在防护电路的器件选型过程中对气体放电管、压敏电阻、热敏电阻、保险管、熔断器、空气开关等都要选择有安全认证的器件。

## 5 端口防护概述

通信设备的防雷主要需要做端口防护和系统接地两方面的工作。本规范主要阐述的是端口防护电路设计方面的内容。

我们设计的防护电路要获得满意的防雷效果，应达到以下两个目的：1、防雷器的输出残压应低于被保护端口的过电压耐受水平，并有一定裕量；2、防雷器自身具有一定的雷击过电流耐受水平，应比实际使用环境中被保护设备端口可能引入的雷击过电流的最高值要高一些，并有足够裕量。也就是说，通信设备各端口自身要有一定的过电压耐受水平，并且防雷器自身不易被雷击损坏，只有满足这两点才能对设备的端口实现有效的保护。

防雷器对端口的保护，分为共模保护和差模保护两个方面。对一种线缆而言，引入设备的过电压/过电流以线缆对地的共模为主，线缆间的差模过电压/过电流相对小一些。但在有防护电路及设备上广泛采用等电位连接的情况下，共模的过电压/过电流也可以转化成差模。

需要注意的是：

- 1、通信设备防护能力的强弱，与系统接地设计的关系也非常密切。防雷设计对地地的要求中，最根本的一点是实现设备上单板工作地和保护地的等电位连接。通信设备不仅需要良好的端口防护电路，同时也需要有合理的系统接地设计，才能达到良好防雷效果。关于设备系统接地的设计原则和方法，请参见公司已发布的《接地设计指导书》。
- 2、设备端口的防护指标根据其产品族类、应用环境、网络地位、信号类型等因素的不同而不同，从而其所对应的防护电路有所差异。关于设备端口的具体防护指标请参见公司的《产品工程特性需求基线》。

防雷器主要分为电源防雷器、信号防雷器、天馈防雷器。各种防雷器的保护效果，与防雷器的安装方式有很大的关系，因此，下面对各种防雷器的安装方式做一下说明。

## 5.1 电源防雷器的安装

### 5.1.1 串联式防雷器

串联式电源防雷器接在馈电线的线间，保护器件并接到馈电线上的走线可以做到很短且距离是固定的，因此串联式电源防雷器的安装位置可视设备安装的方便、合理性来确定。

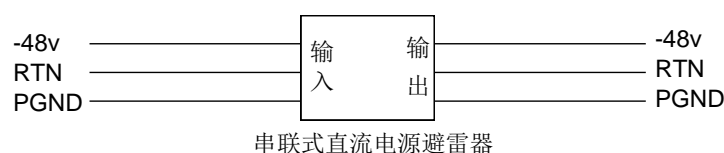


图5-1 串联式防雷器的安装

### 5.1.2 并联式防雷器

并联式电源防雷器在安装中需要注意的一个问题是：防雷器并接到机柜电源接线端子的导线（或并接到馈电线上的导线）一定要短，否则电源防雷器的保护效果会大大下降。



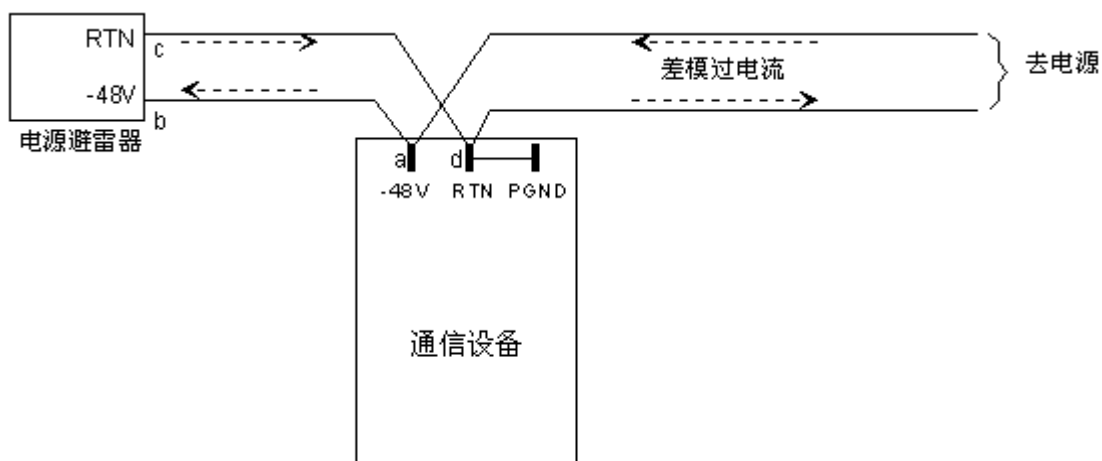
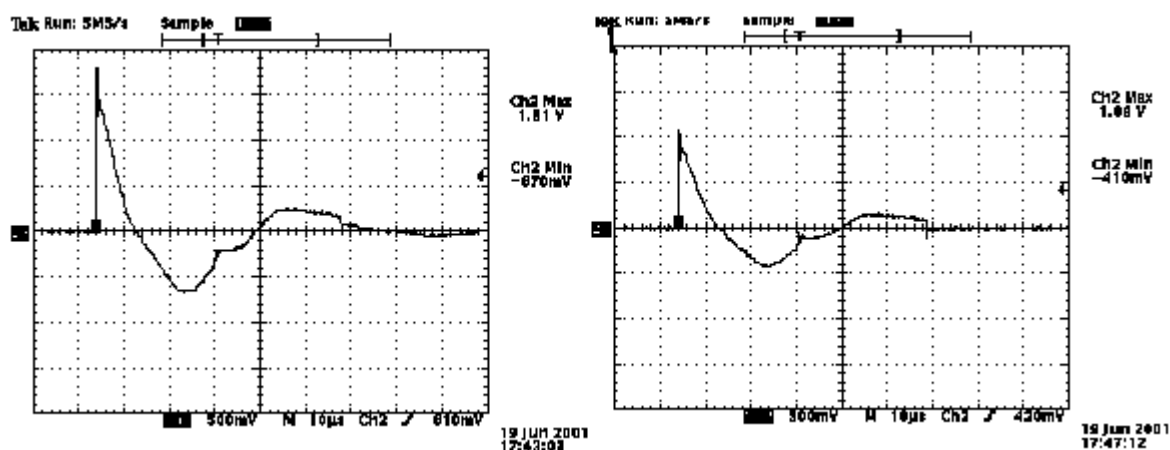


图5-2 并联式防雷器的安装

图5-2示出一种不好的防雷器安装方式：防雷器到机柜接线端子的并接线较长（例如：1~1.5米）。由图5-2可以看出：直流馈电线引入差模过电流时，由于并接电源防雷器的作用，机柜电源端子处呈现的差模残压为： $U_{ad}=U_{ab}+U_{bc}+U_{cd}$ 。其中 $U_{bc}$ 是电源防雷器的差模残压， $U_{ab}$ 、 $U_{cd}$ 分别是过电流流过电源防雷器的两段并接导线时导线两端的瞬间压降。电源防雷器的差模残压（ $U_{ad}$ ）在5kA的8/20 $\mu$ s冲击电流下约200V左右；若导线 $L_{ab}$ 、 $L_{cd}$ 分别长1米，则在5kA的8/20 $\mu$ s冲击电流下，若导线 $L_{ab}$ 、 $L_{cd}$ 两端的瞬间的压降 $U_{ab}$ 、 $U_{cd}$ 分别可以达到905V（如图5-3中左图所示）。这时设备电源接线端子处的残压值为： $U_{ad}=U_{ab}+U_{bc}+U_{cd}=905+200+905=2010V$ ，可见并接导线达到1米长时，影响设备端口差模残压指标的主要是导线的压降而不是防雷器的残压。所以，电源防雷器到机柜电源接线端子的并接导线太长，无法使电源防雷器有效的保护设备。

图5-3 5kA(左)、3kA(右)的8/20 $\mu$ s冲击电流下1米长导线两端压降

(试验实测值，探头衰减500倍)

冲击电流作用下线缆两端的压降可以通过理论计算大致估算出来：一根导线可等效为一个电感，在一个变化的电流流过导线时，导线两端的压降为： $\Delta U = L \cdot di/dt$ ，其中L为导线上的电感量，一般1米长导线的电感量在1uH~1.6uH之间（计算可取1uH）；di/dt是导线上电流的变化率。通过这个公式可以看出， $\Delta U$ 与L成正比，L又与线长成正比。因此，减小电源防雷器并接导线的长度就是减小 $U_{ab}$ 和 $U_{cd}$ ，也就是减小 $U_{ad}$ 。所以，电源防雷器并接到机柜电源接线端子的导线（或并接到馈电线上的导线）一定要短，特别是对于防护等级在20kA或者40kA这样大量级的情况，防雷模块的安装需要尤为注意。这一设计原则应用到单板内的防护电路设计也是一样的道理：做线间保护的防雷电路的引线一定要短。

## 5.2 信号防雷器的接地

图5-4示出一种不正确的信号防雷器安装方式：防雷器安装在设备以外的其它设备内（例如：DDF架内），并且通过其它装置的接地线接地，由于机房内独立设备的保护接地线通常都不会太短（3~20米），使信号防雷器的共模防护作用大大减低。

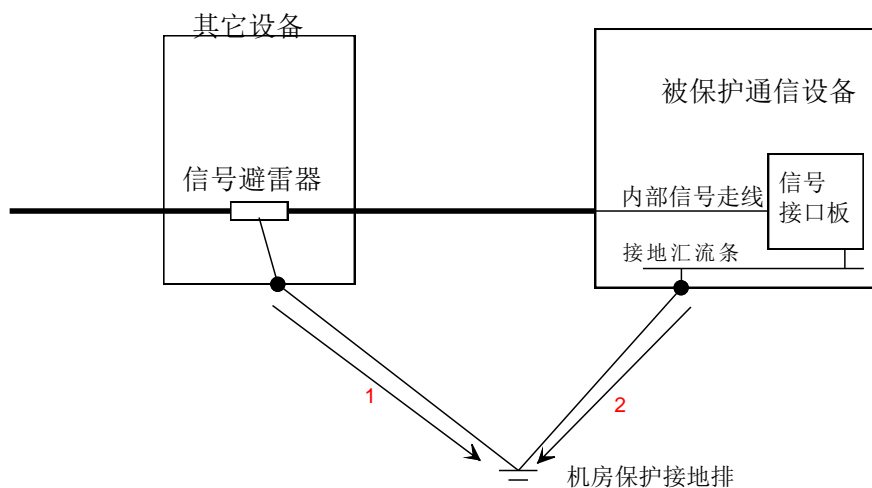


图5-4 不正确的信号防雷器安装方式

根据被保护设备内部接口电路的不同，信号防雷器实现共模保护的原理略有区别：

- 1、内部接口具有对地的防护电路，或外部线缆中有信号回线与内部单板地连接。

这种情况下，外加信号防雷器应达到如下效果：由信号线引入的共模过电流，绝大部分通过信号防雷器的接地线泄放到大地，只有非常小的一部分过电流流入设备内部，这一小部分过电流是设备内部的单板防护电路本身能耐受得住而不发生损坏的。

在信号防雷器和单板级防护电路都存在的情况下，线缆上的感应过电流可以同时通过图5-4中1、2两条泄放途径泄放到大地。但是图中泄放途径1因为保护接地线太长而具有较大的线间感抗，使路径1不能成为比路径2阻抗小得多的雷电流低阻泄放路径，因此信号防雷器的共模保护效果大大减低。解决方法是：将信号防雷器靠近被保护设备安装或安装在被保护设备内部，信号防雷器通过很短的接地线接到设备的保护地上去，如图5-5所示。

## 2、内部信号接口没有防护电路，且外部信号电缆对内部单板地隔离

外部信号电缆对内部单板地隔离的情况下，只要接口部分出现的过电压没有超过接口电路自身的绝缘耐压值时，接口电路一般不会发生共模损坏。因此信号防雷器的共模保护作用体现在：外部线缆引入感应雷击过电流时，信号防雷器本身的共模残压加上信号防雷器接地线两端的压降，必须小于接口电路自身的绝缘耐压。我们知道5kA的8/20us冲击电流作用下1米长导线两端的压降可达到900V左右，而导线两端的压降为： $\Delta U = L \cdot di/dt$ ，因此减小信号防雷器输出共模残压的最有效办法是减小信号防雷器接地线的长度（信号防雷器自身的共模残压可以做到很小）。正确的信号防雷器安装方式也是：将信号防雷器靠近被保护设备安装或安装在被保护设备内部，信号防雷器通过很短的接地线接到设备的保护地上去。这个原则也适用于单板内部防护电路的设计：单板内部防护电路的泄流地应尽可能短的在单板框母板上与单板工作地汇接在一起。

### 5.3 天馈防雷器的接地

天馈防雷器的安装和接地设计中，一个很重要的问题是应符合国家的行业标准中对天馈防雷器安装及接地的要求。YD 5068-98《移动通信基站防雷与接地设计规范》第3.3.3条明确规定：“同轴电缆馈线进入机房后与通信设备连接处应安装馈线防雷器，以防来自天馈线的感应雷。馈线防雷器接地端子应就近引接到室外馈线入口处接地线上。”因此，应该明确的是：当设备位于室内并在馈线上配置天馈防雷器时，应该安装接地线，且接地线应接室外接地排（当天馈防雷器位于机柜顶部或者内部时可以不遵照本要求）。

### 5.4 防雷器正确安装的例子

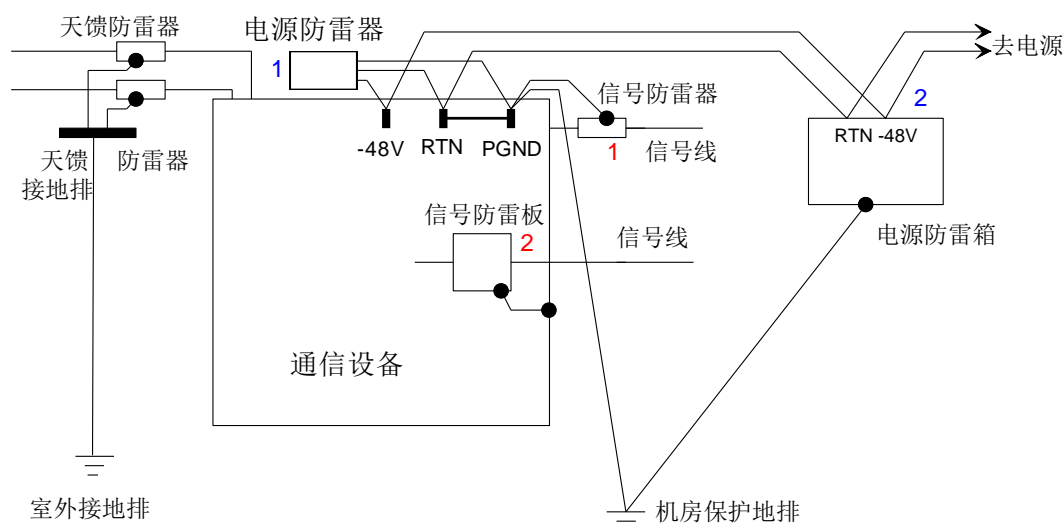


图5-5 防雷器正确安装的例子

图5-5示出防雷器正确安装的例子。其中，直流电源防雷器是并联式防雷器，通过很短的(10cm左右)并接线接到设备的电源接线端子上(安装位置1)，或采用凯文接线的方式接到馈电线上(安装位置2)；信号防雷器应安装在设备机柜上，宜通过金属固定件实现与机壳保护地的直接连接，如果采用接地线则应尽量短，至少应短于5cm；多个天馈防雷器的接地引线先在一个天馈防雷器接地排上汇接，再由天馈防雷器引一根接地线接到室外接地排上。

## 6 电源口防雷电路设计

电源口防雷电路的设计需要注意的因素较多，有如下几方面：

- 1、 防雷电路的设计应满足规定的防护等级要求，且防雷电路的残压水平应能够保护后级电路免受损坏。
- 2、 在遇到雷电暂态过电压作用时，保护装置应具有足够快的动作响应速度，即能尽早的动作限压和旁路泄流。
- 3、 防雷电路加在馈电线路上，不应影响设备的正常馈电。例如，采用串联式电源防雷电路时，防雷电路应可通过设备满负荷工作时的电流并有一定的裕量。
- 4、 防护电路在系统的最高工作电压时不应动作。通常在交流回路中，防护电路的动作电压是交流工作电压有效值的2.2~2.5倍，在直流回路中，防护电路的动作电压是直流额定工作电压的1.8~2倍。
- 5、 防雷电路加在馈电线路上，不应给设备的安全运行带来隐患。例如，应避免由于电路设计不当而使防雷电路存在着火等安全隐患。
- 6、 在整个馈电通路上存在多级防雷电路时，应注意各级防雷电路间有良好的配合关系，不应出现后级防雷电路遭到雷击损坏而前级防雷电路完好的情况。
- 7、 防雷电路应具有损坏告警、遥信、热容和过流保护功能，并具有可替换性。

下面分别给出交流电源口和直流电源口的防雷电路设计指导。

### 6.1 交流电源口防雷电路设计

#### 6.1.1 交流电源口防雷电路

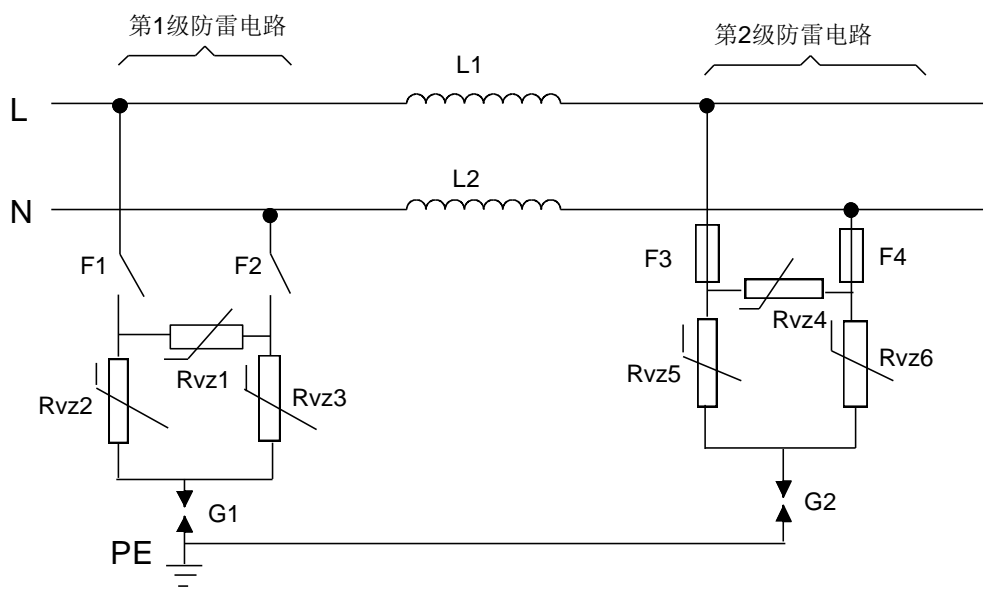


图6-1 交流电源口防雷电路

上图是一个两级的交流电源口防护电路，G1和G2为气体放电管，Rvz1~Rvz6为压敏电阻，F1和F2为空气开关，F3和F4为保险，L1和L2是退耦电感。电路原理简述如下：

第1级防雷电路为具有共模和差模保护的电路，差模保护采用的压敏电阻。共模保护采用压敏电阻和气体放电管串联。第1级防雷电路的通流能力较高，通常在几十kA（8/20us）。第1级防雷电路宜选用空气开关做短路过流故障的保护器件。

第2级防雷电路的形式与第1级相同，合理设计第1级电路和第2级电路间的电感值，可以使大部分的雷电流通过第1级防雷电路泄放，第2级电路只泄放少部分雷电流，这样就可以通过第2级电路将防雷器的输出残压进一步降低以达到保护后级设备的目的。第2级防雷电路应选用保险做保护器件。

防护电路中各保护器件的通流量的选择应达到设计指标的要求并有一定裕量；差模压敏电阻的压敏电压取值可按压敏电阻章节给出的方法选择；压敏电阻和气体放电管串联的共模防护电路中，压敏电阻、空气放电管的取值仍可按压敏、放电管单独并接在线路中时的相关章节给出的计算方法来选取。

6.1.2 交流电源口防雷电路变型

6.1.2.1 变型电路1

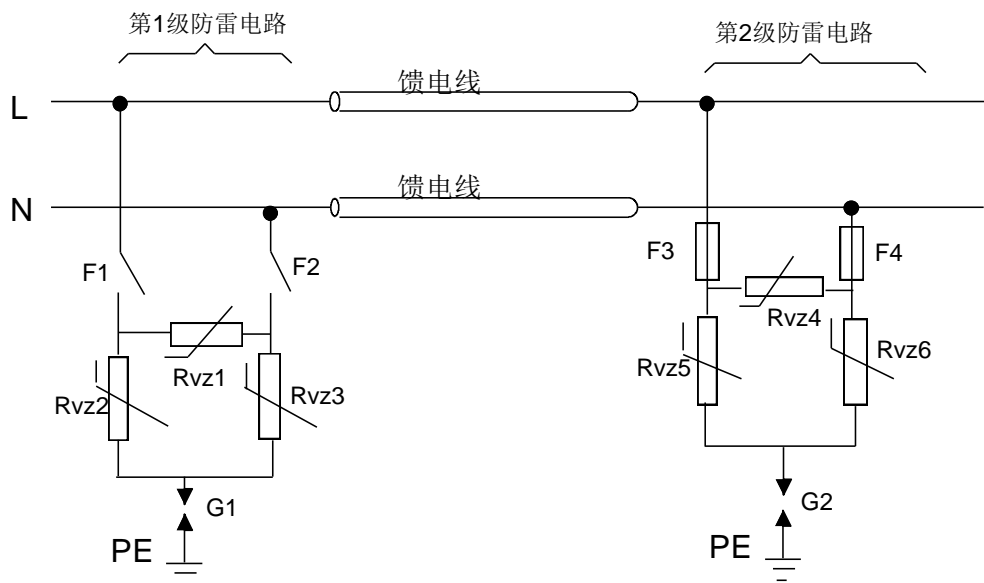


图6-2 交流电源口变型电路1

变型电路1将原电路中的电感换成了一定长度的馈电线。规定长度的馈电线所具有的电感量与原电路中电感的感值是基本相同的。将电感换成馈电线的优点是：在设备的工作电流很大的情况下，合理的选择馈电线线径就可以满足给设备供电的需求，克服了在设备供电电流很大时，空心电感的体积过大而无法在电路实现的问题。第1级的防护电路和第2级的防护电路可以分别放置在两个不同的设备中实现，例如：将第1级防护电路设计为一个独立的防雷箱，将第2级防雷电路内置于通信设备中。

由于去掉了电感，变型电路1可以看做为两个并联式的防雷电路。当这两级防雷电路做成两个单独的防雷器时，需要注意防雷器的安装问题。

6.1.2.2 变型电路2

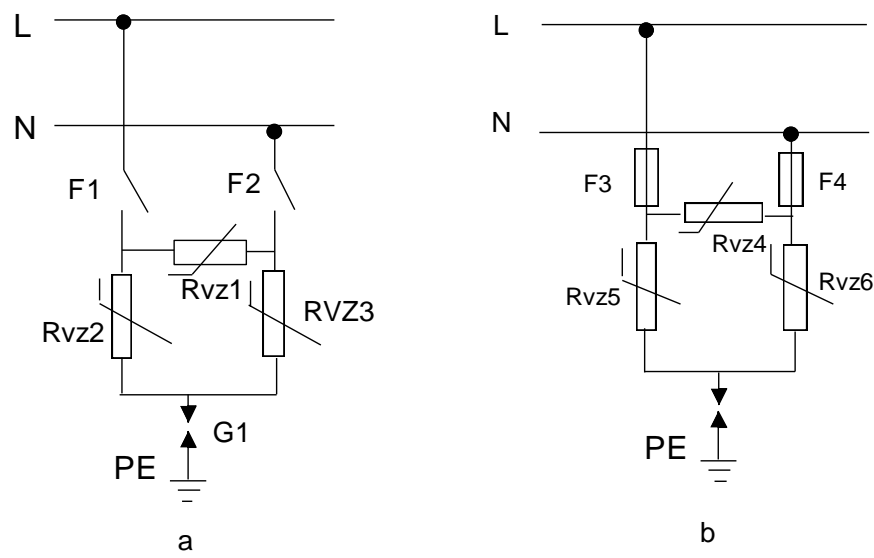


图6-3 交流电源口变型电路2

变型电路2是图6-1交流防雷电路的简化设计：只保留防雷电路中的第1级防雷电路或者第2级防雷电路，其它设计要点同交流电源口防雷电路。

电路6-3a在后级电路抗浪涌电压能力较强时采用，电路6-3b在外部具有一级保护措施时采用，一般设计在电源模块内部。变形电路2降低了电路的复杂性，并且由于去掉了电感，不需要考虑满足通过设备正常工作电流的需要，方案更容易实现。由于该电路去掉了电感，它由一个串联式防雷电路变成了一个并联式防雷电路。当这个电路做成一个独立的防雷器时，需要注意防雷器的安装问题。

6.2 直流电源口防雷电路设计

6.2.1 直流电源口防雷电路

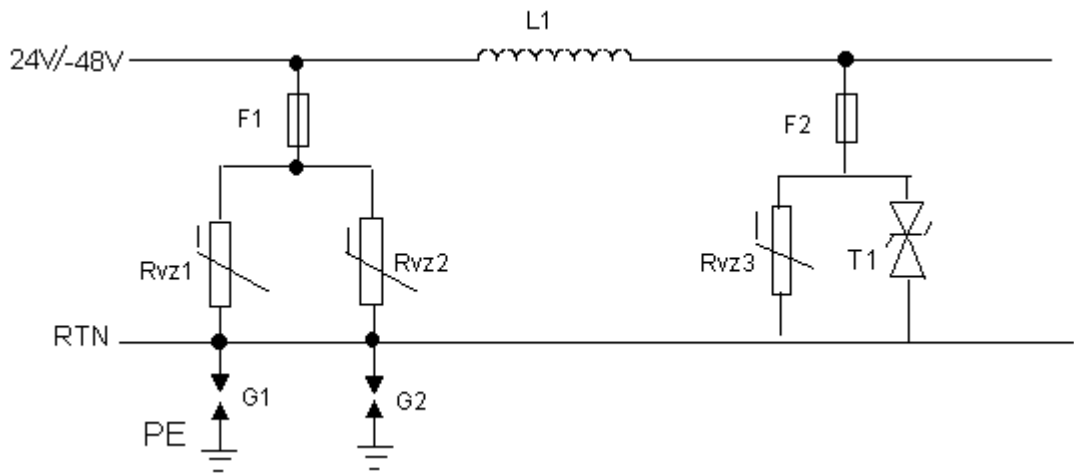


图6-4 直流电源口防雷电路

上图是一个具有串联式2级差模防护的电路,可以做到标称放电电流5kA,电路原理简述如下:

第1级采用两个压敏电阻并联的差模保护,两个气体放电管并联进行共模保护(注:这里选用两个器件并联的目的是降低残压和增大通流能力,在使用单个器件满足要求的情况下可以只使用一个器件),可以达到标称放电电流5kA的设计指标,第2级采用压敏电阻和TVS管保护,将残压降低到后级电路能够承受的水平,其中TVS管T1推荐采用双向TVS管,可以防反接,也可以采用单向的TVS管,但具有不防反接的缺点。共模保护采用两个气体放电管并联构成的1级防护电路。该电路的优点是具有较低的输出残压,适用于后级电路抗过电压水平很低的情况。防雷电路中各保护元件通流量、压敏电压、反向击穿电压的选择、电感的取值可参照相关章节给出的方法进行。两级防雷电路都应选用保险做保护器件。

该防护电路的应用场合是后级电路的抗浪涌过电压的能力较弱,一级防雷电路不足以保护后级的设备,需要通过第2级的防雷电路将残压进一步降低。

6.2.2 直流电源口防雷电路变型

6.2.2.1 变型电路1

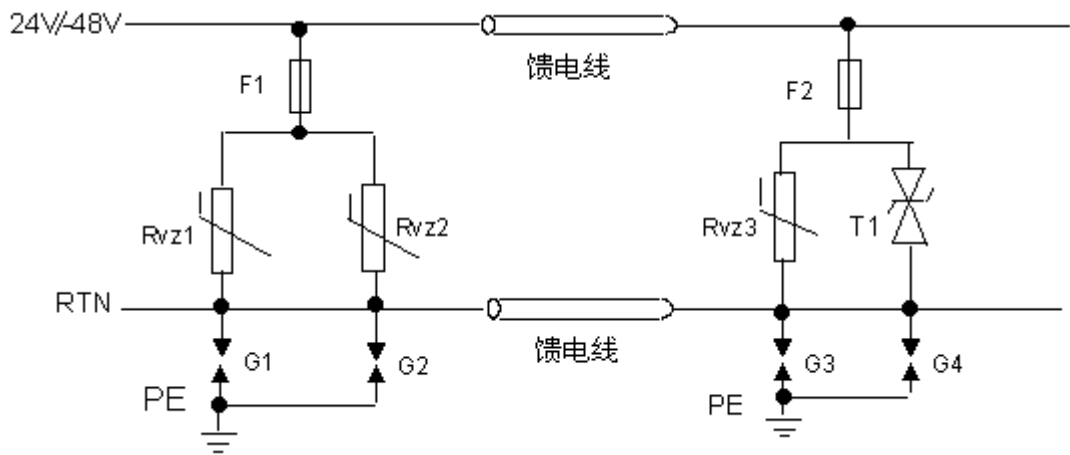


图6-5 直流电源口变型电路1



变型电路1将图6-4直流电源口防雷电路中的电感换成了一定长度的馈电线。规定长度的馈电线所具有的电感量与原电路中电感的感值是基本相同的。将电感换成馈电线的优点是：在设备的工作电流很大的情况下，合理的选择馈电线线径就可以满足给设备供电需求，克服了在设备供电电流很大时，空心电感的体积过大而无法在电路上实现的问题。第1级的防护电路和第2级的防护电路可以分别放置在两个不同的设备中实现，例如：将第1级防护电路设计到直流高阻柜中，将第2级防雷电路内置于通信设备中。

由于去掉了电感，变型电路1可以看作是作为两个并联式的防雷电路。当这两级防雷电路做成两个单独的防雷器时，需要注意防雷器的安装问题。

6.2.2.2 变型电路2

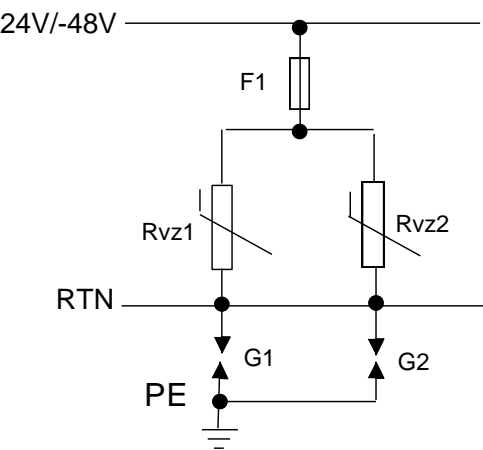


图6-6 直流电源口变型电路2

变型电路2是直流电源口防雷电路的简化设计：保留防雷电路中的第1级防雷电路（注：这里选用两个器件并联的目的是降低残压和增大通流能力，在使用单个器件满足要求的情况下可以只使用一个器件），去掉电感及第2级防雷电路。其它设计要点同直流电源口防雷电路。

变型电路2的应用场合是在后级电路抗浪涌过电压能力较强时采用，这个方案可以降低电路的复杂性。同时由于去掉了电感，不需要考虑满足通过设备正常工作电流的需要，方案更容易实现。由于变型电路2去掉了电感，它由一个串联式防雷电路变成了一个并联式防雷电路。当这个电路做成一个独立的防雷器时，需要注意防雷器的安装问题。

7 信号口防雷电路设计

设计信号口防雷电路应注意以下几点：

- 1、防雷电路的输出残压值必须比被保护电路自身能够耐受的过电压峰值低，并有一定裕量。
- 2、防雷电路应有足够的冲击通流能力和响应速度。
- 3、信号防雷电路应满足相应接口信号传输速率及带宽的需求，且接口与被保护设备兼容。
- 4、信号防雷电路要考虑阻抗匹配的问题。
- 5、信号防雷电路的插损应满足通信系统的要求。
- 6、对于信号回路的峰值电压防护电路不应动作，通常在信号回路中，防护电路的动作电压是信号回路的峰值电压的1.3~1.6倍。

## 7.1 E1口防雷电路

### 7.1.1 室外走线E1口防雷电路

当E1电缆户外走线时，对端口的防护等级要求较高，根据被保护设备不同特点，此时E1口的防护电路我司主要采用以下几种方式的电路进行防护。

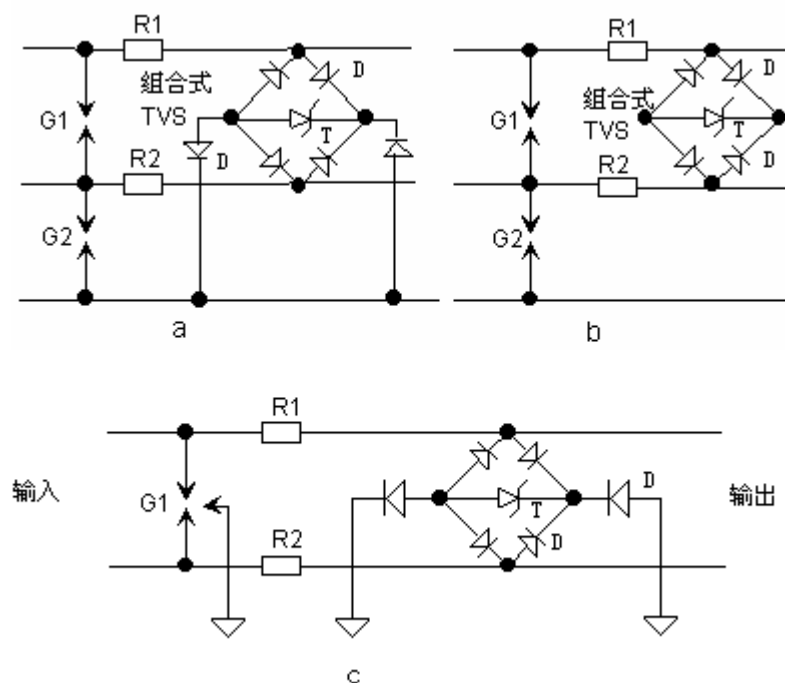


图7-1 室外走线E1口防雷电路

图7-1中给出的是三种比较典型的E1口防护电路，对于非平衡E1端口，建议采用图7-1的电路a和b，对于平衡E1端口建议采用图7-1的电路c。

其中电路a和c采用气体放电管、电阻、快恢复二极管、TVS管组成，其中气体放电管将线缆引入的大部分雷击过电流泄放。电阻的作用是用于两级电路间的配合，由TVS管和快恢复二极管组成的桥式电路是第2级防雷电路，进一步降低防雷器输出的残压，从而有效的保护后级设备。

因为E1口信号电平较低，且设备在正常运行状态下工作地与保护地之间的电位差基本为零，

电路中的气体放电管可以选用低动作电压的管子。由快恢复二极管和TVS形成和组合电路可以降低单个分立式TVS管的结电容, 由于快恢复二极管的结电容比TVS管小很多, 组合电路的结电容主要决定于快恢复二极管。

图7-1a和图7-1b电路区别在于图7-1a电路共模有两级防护，而图7-1b电路共模只有一级防护，因此图7-1b电路主要用于被防护电路耐受共模过电压能力较高的情况。

### 7.1.2 室内走线E1口防雷电路

对于E1线室内走线，并且走线距离不超过30m的情况，不必采用图7-1中的二级防护电路，此时E1口按照公司的规范电路设计即可。

E1规范电路中后级芯片采用PSOT05C（15040152，400pF），其结电容值偏大；相同功能参数器件POST05LC（15040162，5pF）可进行PSOT05C的替代，但其为单向器件，需四片组合才能完成PSOT05C的保护功能。

防护电路设计时建议结合线路传输距离和电路防护能力两方面因素综合考虑,具体电路参考如下。

#### 7.1.2.1 DS21554接口电路

DALLAS推荐电路:

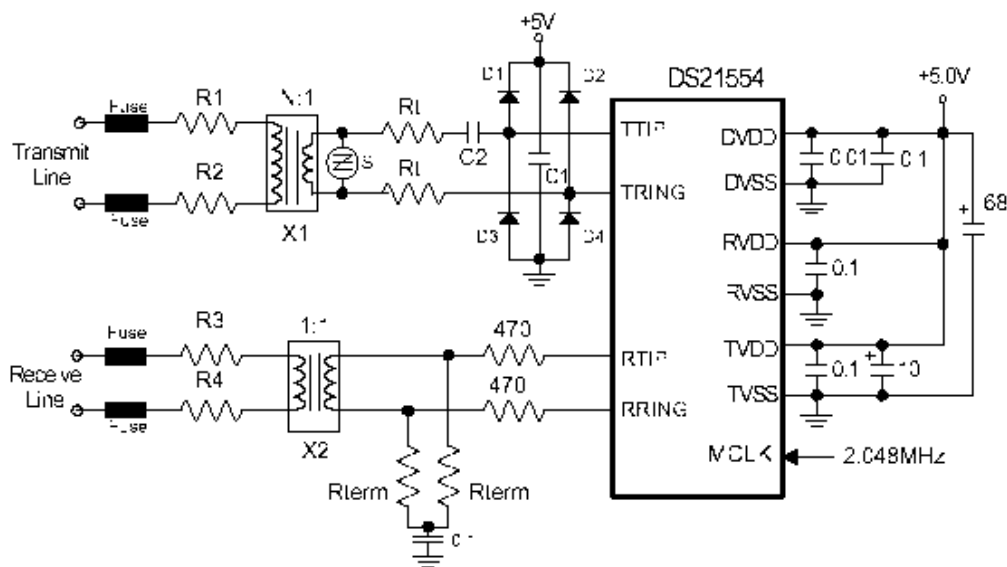


图7-2 DS21554厂家推荐防护电路

公司规范电路:

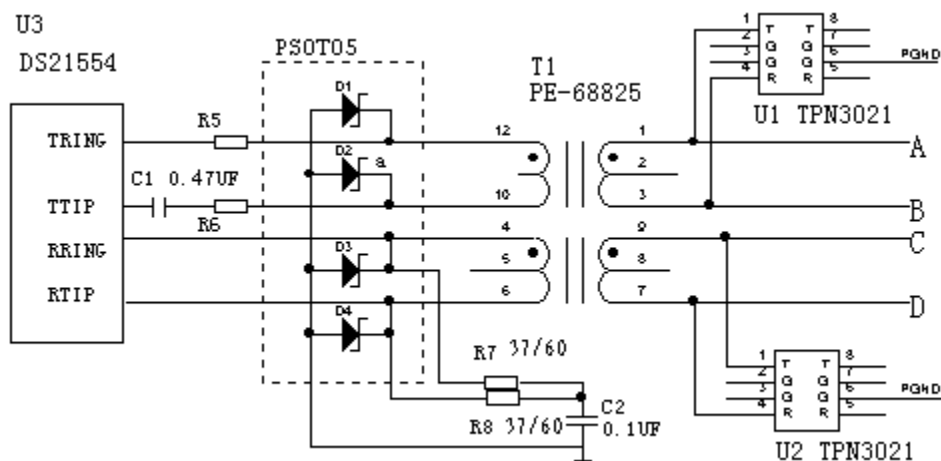


图7-3 DS21554公司规范防护电路

其中：R1—R4为1欧姆熔断电阻，U1、U2为ST的TPN3021（编码：39140164），D1—D4为PROTEK公司的PSOT05C（从C<sub>p</sub>值考虑用PSOT05LC），R5、R6为8.2欧姆（1/8W）表贴电阻，R7、R8为37/60欧电阻分别对应75/120欧线路阻抗，E1接口收发信号线屏蔽层需接地。

### 7.1.2.2 PEB22554接口电路

INFINEON推荐电路：

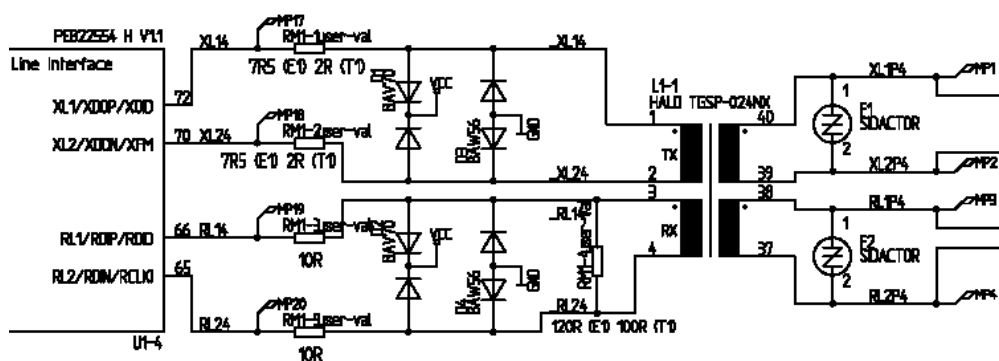


图7-4 PEB22554厂家推荐防护电路

公司规范电路：

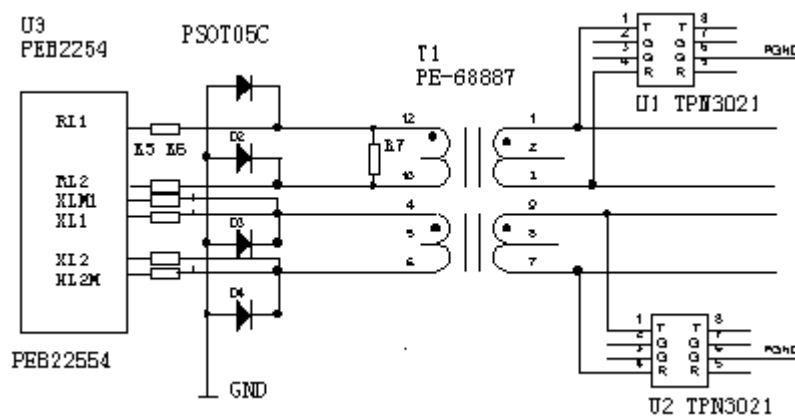


图7-5 PEB22554公司推荐电路

### 7.1.2.3 T7688接口电路

公司规范电路：

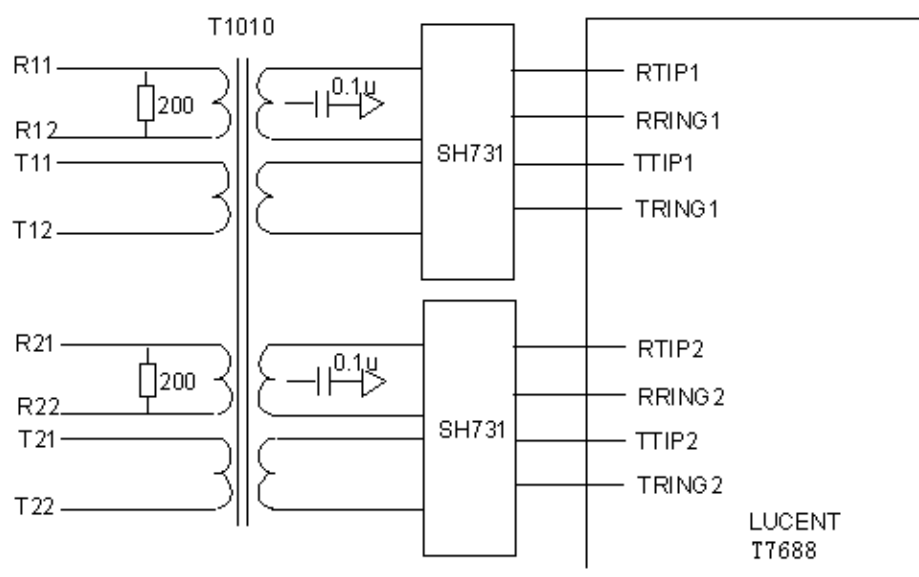


图7-6 T7688公司规范防护电路

其中：SH731为厚膜电路，起阻抗匹配作用。T7688芯片不用加防护电路可以通过测试（厚膜有保护功能）。E1接口收发信号线屏蔽层接地。

### 7.1.2.4 LXT385接口电路

公司规范电路：

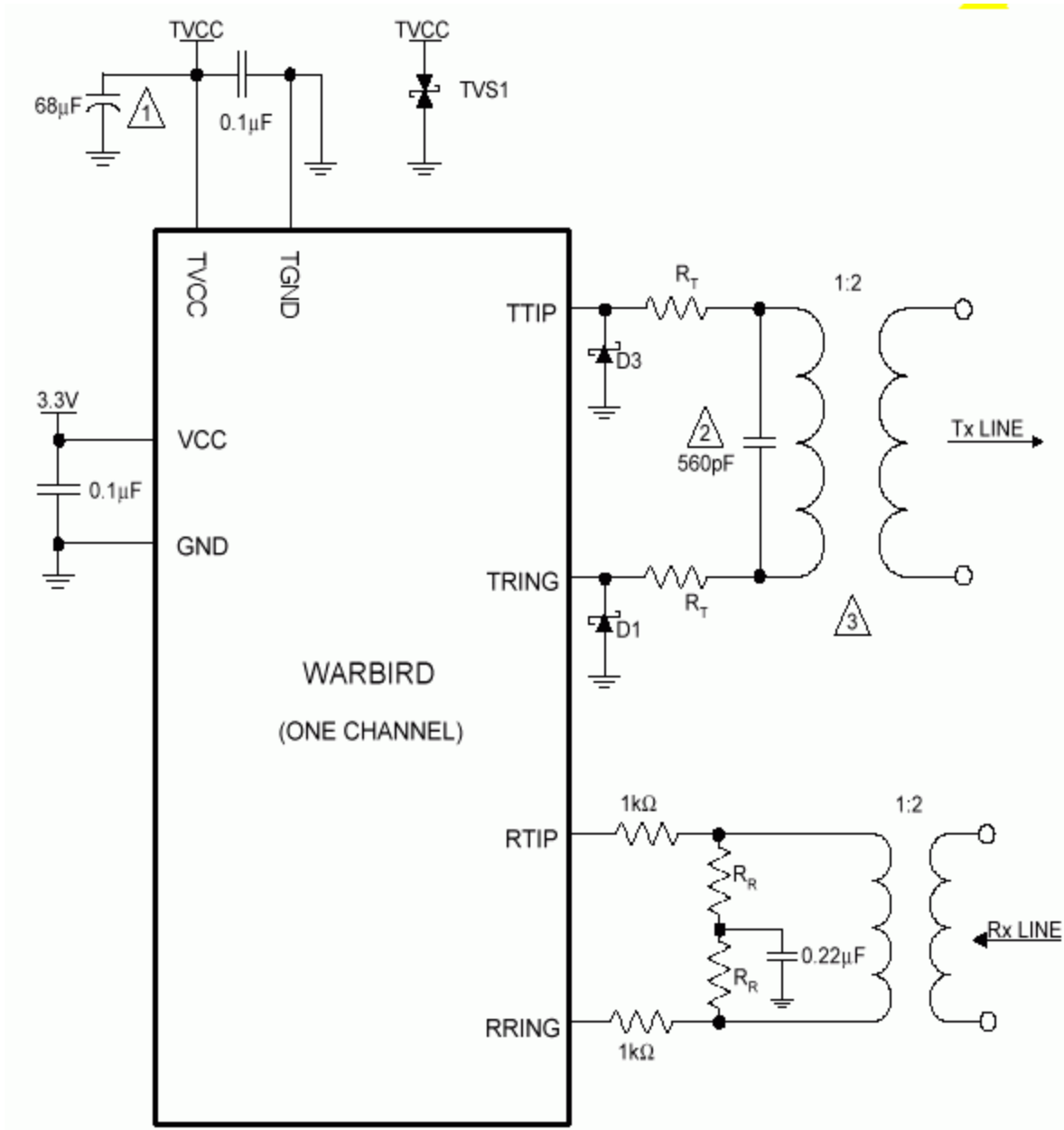


图7-7 LXT385公司规范防护电路

其中：D1和D3选用PSOT05C，Tx和Rx的变压器初级侧需接入ST的TPN3021，TVS1需选用Vwm为5V（如TVCC=5V）的双向TVS器件，E1接口收发信号线屏蔽层接地。

INTEL推荐器件如下表（该电路同时也可应用于T1模式，即LXT385的外围电路）：

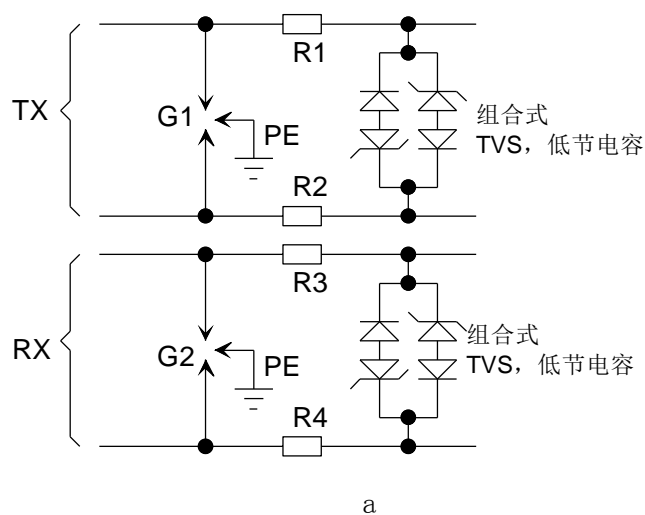
Component	75 Ω coax	120 Ω Twisted Pair	100 Ω Twisted Pair Vcc=5V	100 Ω Twisted Pair Vcc=3.3V
RT	11 Ω ±1%	11 Ω ±1%	9.1 Ω ±1%	0 Ω
RR	9.31 Ω ±1%	15.0 Ω ±1%	12.4 Ω ±1%	12.4 Ω ±1%
D1、D3	International Rectifier:11DQ04 or 11BQ060； Motorola:MBR0540T1			
TVS1	SGS-Thomson:SMLVT 3V3； Semtech:SMCJ5.0AC			

## 7.2 网口防雷电路

网口的防雷可以采用两种思路：一种思路是要给雷电电流以泄放通路，把高压在变压器之前泄放掉，尽可能减少对变压器影响，同时注意减少共模过电压转为差模过电压的可能性。另一种思路是利用变压器的绝缘耐压，通过良好的器件选型与PCB设计将高压隔离在变压器的初级，从而实现对接口的隔离保护。下面的室外走线网口防雷电路和室内走线网口防雷电路就分别采用的是这两种思路。

### 7.2.1 室外走线网口防雷电路

当有可能室外走线时，端口的防护等级要求较高，防护电路可以按图7-8设计。



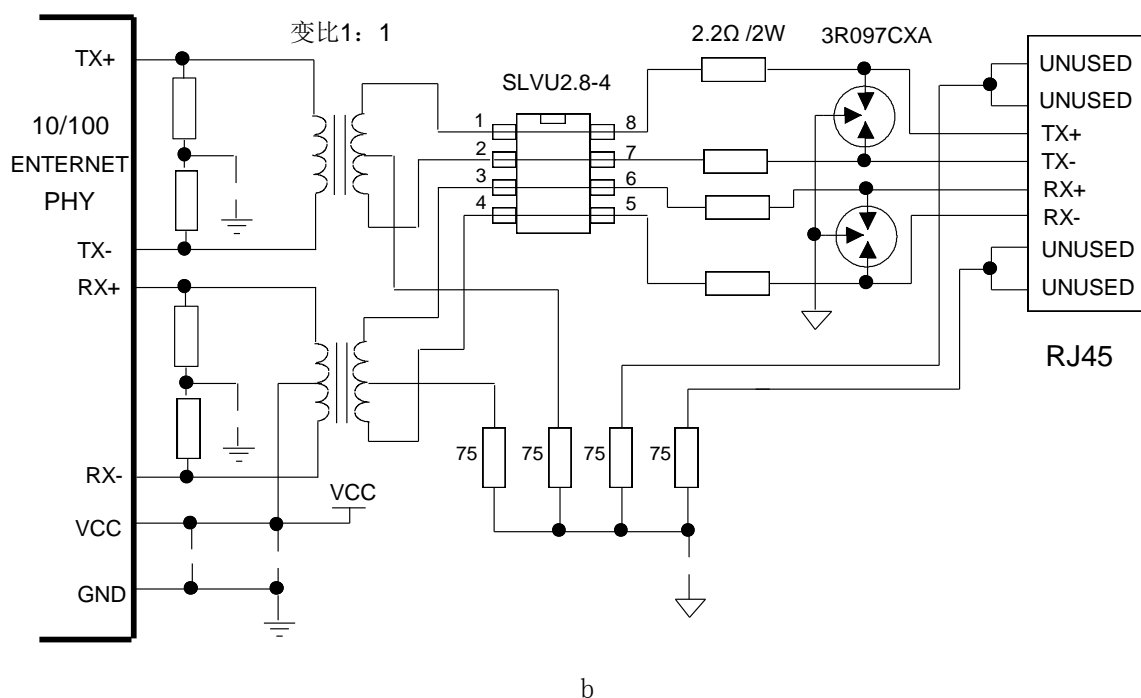


图7-8 室外走线网口防护电路

图7-8a给出的是室外走线网口防护电路的基本原理图,从图中可以看出该电路的结构与室外走线E1口防雷电路类似。共模防护通过气体放电管实现,差模防护通过气体放电管和TVS管组成的二级防护电路实现。图中G1和G2是三极气体放电管,型号是3R097CXA(编码:19020076),它可以同时起到两信号线间的差模保护和两线对地的共模保护效果。中间的退耦选用 $2.2\Omega/2W$ 电阻,使前后级防护电路能够相互配合,电阻值在保证信号传输的前提下尽可能往大选取,防雷性能会更好,但电阻值不能小于 $2.2\Omega$ 。后级防护用的TVS管,因为网口传输速率高,在网口防雷电路中应用的组合式TVS管需要具有更低的结电容,这里推荐的器件型号为SLVU2.8-4(编码:15040165)。图7-8b就是采用上述器件网口部分的详细原理图。

三极气体放电管的中间一极接保护地PGND，要保证设备的工作地GND和保护地PGND通过PCB走线在母板或通过电缆在结构体上汇合（不能通过 $0\ \Omega$ 电阻或电容），这样才能减小GND和PGND的电位差，使防雷电路发挥保护作用。

电路设计需要注意RJ45接头到三极气体放电管的PCB走线加粗到40mil，走线布在TOP层或BOTTOM层。若单层不能布这么粗的线，可采取两层或三层走线的方式来满足走线的宽度。退耦电阻到变压器的PCB走线建议采用15mil线宽。

该防雷电路的插入损耗小于0.3dB,对100M以太网口的传输信号质量影响比较小。

### 7.2.2室内走线网口防雷电路

当只在室内走线时，防护要求较低，因此防雷电路可以简化设计，如图7-9所示，图7-9a是



室内走线网口防护电路的基本原理图，图7-9b是防护器件选用SLVU2.8-4时网口部分的详细原理图。

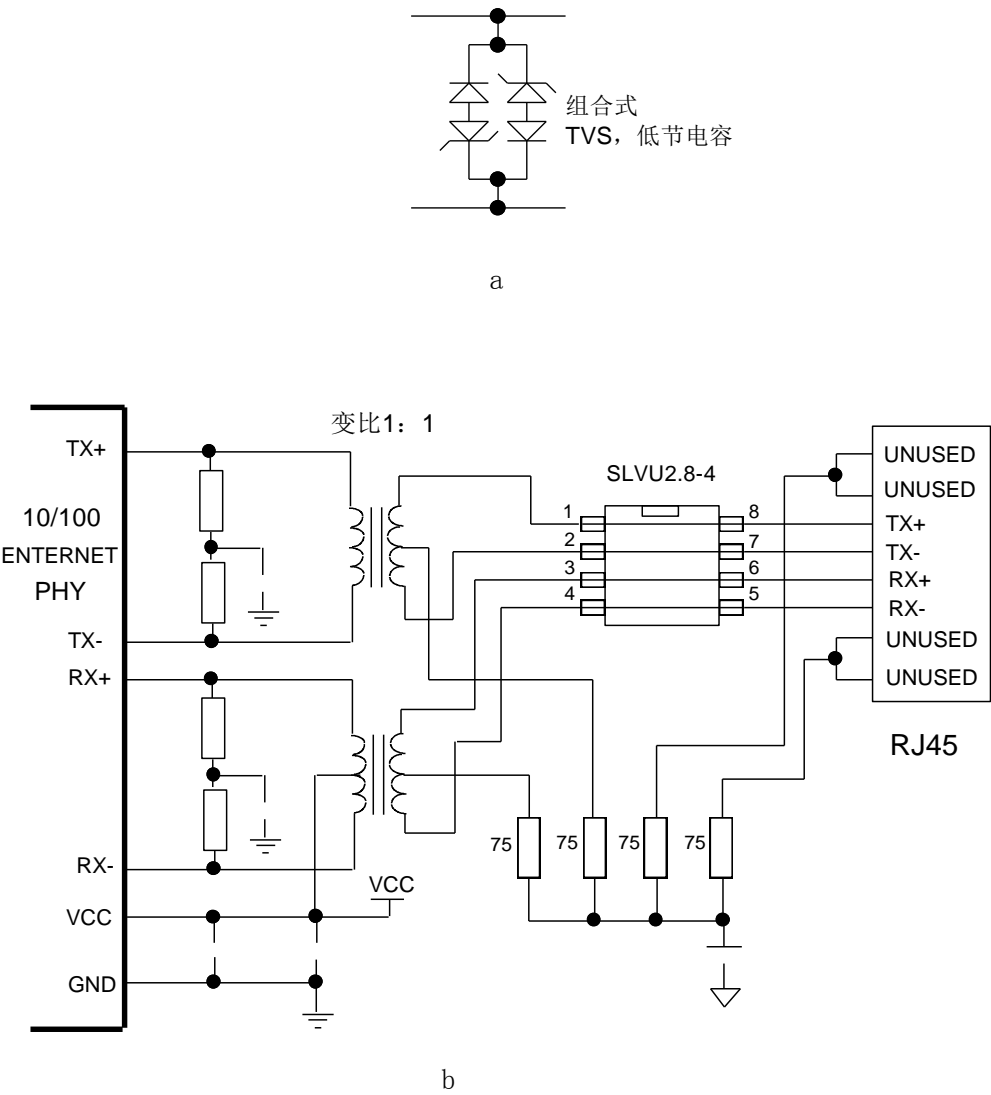


图7-9 室内走线网口防护电路

RJ45接头的以太网信号电缆是平衡双绞线，感应的雷电过电压以共模为主，如果能够对过电压进行有效的防护，差模的防护选用小量级的器件就可以了，通常可以选用SLVU2.8-4（编码：15040165），它可以达到差模0.5kV（1.2/50us）的防护能力，但是当产品目标包括北美市场时，差模防护器件推荐选用LC03-3.3（15040174），它可以满足NEBS认证的需求。

我们从共模防护的角度对图7-8和图7-9这两种电路做一下比较。图7-8的电路采用气体放电管实现共模的防护，当端口处有共模过电压产生时，通过击穿气体放电管转化成过电流并泄放，从而达到保护的目的。而图7-9中的网口防护电路只设计了差模的防护电路，没有设计共模的防护电路，它在端口的共模防护上采用就是我们前面说的隔离保护的思路，它利用网口变压器的隔离特性实现端口的共模防护。当端口处有过电压产生时，这个过电压会加到网口变压器的初级，由于变压器有一定的隔离特性，只要过电压不超过变压器初级与次级的耐压能力而被击穿，过电压会完全被

隔离在初级侧，从而对次级侧基本不造成影响，达到端口保护的目的。

从上述原理可以看出，图7-9这种电路的共模防护主要靠变压器前级的PCB走线以及变压器的绝缘耐压实现，因此要严格注意器件的选型和PCB的设计。

首先，在以太网口电路设计时应树立高压线路和低压线路分开的意识。其中变压器接外线侧的以太网差分信号线、Bob-Smith电路是直接连接到RJ45接头上的，容易引入外界的过电压（如雷电感应等），是属于高压信号线。而指示灯控制线、电源、GND是由系统内提供，属于低压线路。

根据网口连接器不同，网口电路分为带灯和不带灯两种，其中尤以带灯连接器的网口防雷问题更为突出，因此下面以网口带灯电路为例具体说明如何区分高压线路与低压线路。

网口带灯的典型电路如下图所示：

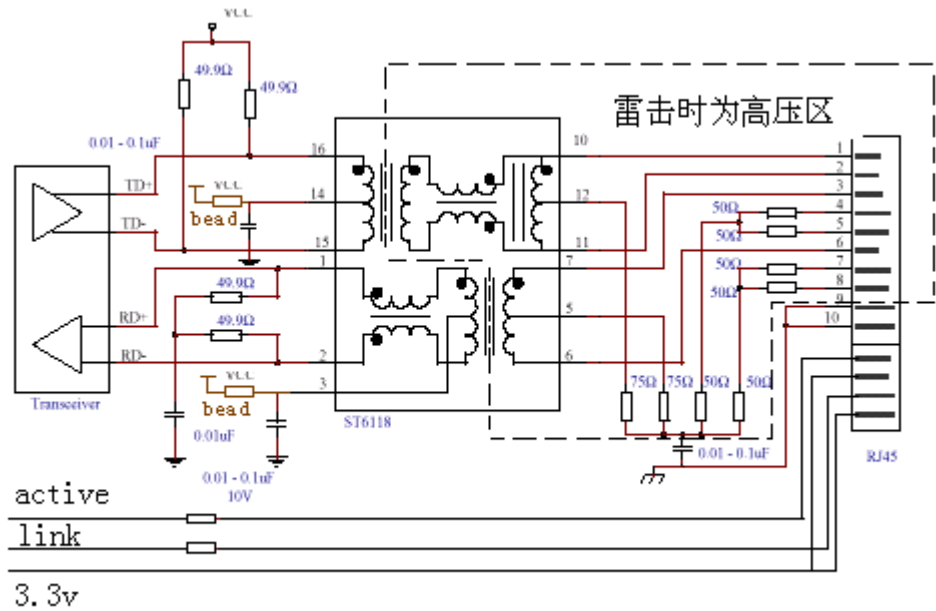


图7-10 网口部分电路组成

当网线上遭受感应雷击时，会在8根网线上同时产生过电压。从安全的角度分析，应把网口部分分为高压区和低压区，如上图所示，虚线框内即为高压区。因此网线感应雷电时主要在高压区有比较高的过电压。但是，在高压区仅有8根网线和相连的网络为高压线，而指示灯驱动线、3.3V供电电源、连接器外壳地PGND为低压线，网口电路Bob-Smith电路中匹配电阻属于高压，指示灯限流电阻属于低压范围，变压器线缆侧中间抽头电容一端为高压端，接PGND的一端为低压端。

其次，网口防雷电路在器件选型和PCB设计过程中要注意以下几点：

- 1、 为了保证共模隔离耐压的承受能力，变压器需要满足初级和次级之间的交流绝缘耐压不小于AC1500V的指标。
- 2、 优先选择不带灯的RJ45，要引灯的话，建议采用导光柱技术在芯片侧将指示灯的光线引到面板上，避免指示灯控制信号穿越高压信号线和Bob-Smith电路所在的区域。
- 3、 指示灯控制电路的限流电阻应放在控制芯片侧，位置靠近控制芯片，防止过电压

直接对控制芯片造成冲击。

- 4、以太网信号线按照差分线走线规则，保证阻抗匹配，并且一对差分线的长度尽量一样长。
- 5、如果变压器前级（靠RJ45接头侧）有中间抽头并且采用Bob-Smith电路，即75Ω电阻加一个1000pF的接PGND的电容。建议电容选取耐压大于DC2000V，电阻功率建议选择1/10W的单个电阻，不宜采用排阻。
- 6、一个以太网接口采用一个Bob-Smith电路，避免将多个以太网接口的Bob-Smith电路复接在一起。
- 7、对于PCB层数大于6层的单板，由于相邻层的绝缘材料小于12mil，因此高压线和低压线不应布在相邻层，更不应交叉或近距离并行走线。
- 8、由于通过变压器的隔离特性完成共模防护，所以高压信号线（差分线和Bob-Smith电路走线）和其它信号线（指示灯控制线）、电源线、地线之间应该保证足够的绝缘，不存在意外的放电途径。

最后，要达到高压区与低压区之间有效的隔离，就要重视二者之间的PCB走线设计。在高压区，带高压的可能有：连接器管脚、布线、过孔、电阻焊盘、电容焊盘。带低压的可能有：布线、过孔、电阻焊盘、螺钉。根据测试结果和分析，我们总结得到在网口PCB部分高低压各种形式两两之间的绝缘耐压数据，具体如下表（表中给出的是高压与低压部分距离为10mil时候的耐压情况）：

<div>高压 低压</div>	RJ45连接器管脚	PCB走线	过孔	焊盘	
				电阻	电容
PCB走线	推断>2200V	推断>2200V	2200V（内层）	1200V（表层）	推断1200V
过孔	————	推断>2200V	1000V	1500V（建议按照750V设计）	750V
电阻焊盘	————	————	————	————	————
螺钉	————	1000V	推断320V到750V之间	推断>320V	320V
变压器管脚			1250V		

表7-1 绝缘耐压测试结果

**注：**上表中红色数据为直接试验得到，黑色数为根据试验和具体情况分析得到。蓝色数据为原理分析数据，设计过程中建议按照该数值进行设计。

从表中可以看出，对于相同的绝缘距离，耐压能力为接地螺钉 < 电容、电阻焊盘 < 走线过孔 < 表层走线 < 内层走线，因此当共模防护指标一定时，高压部分与低压部分的绝缘距离应该为接地螺钉 > 电容、电阻焊盘 > 走线过孔 > 表层走线 > 内层走线。这是因为螺钉整个为金属体，暴露面积比较大，容易成为放电通路。电容和电阻焊接两端表面为金属，同时由于形状为长方体，有棱角，很容易形成尖端放电。过孔在网口部分有很多，表面是亮锡的，也容易产生击穿放电，但

与电阻和电容焊接两端相比较，金属面积相对就小一些。PCB板的表层走线涂有绝缘绿油，内层的走线有介质包围，相对上面几种，耐压能力就应该高一点。

在设计中，根据具体产品要求的抗浪涌等级，利用表7-1中的数据，就可以推算出PCB设计需要控制的各种绝缘距离。表7-2给出了在防护等级是4kV的时候，PCB设计要达到的安全绝缘距离。

<div>高压</div> <div>低压</div>	连接器管脚	线	过孔	焊盘（电容、电阻）
	20mil	20mil	20mil	33mil
线	————	20mil	40mil	53mil
过孔	————	40mil	120mil	120mil
螺钉	————			

表7-2 PCB设计安全绝缘距离数据（按照4KV耐压进行计算）

综上所述，采用图7-9的防护电路，通过良好的器件选型和PCB设计，可以实现共模2kV（1.2/50us，最高可达4kV），差模0.5kV（1.2/50us）的防护能力。它可以应用于绝大多数室内走线的情况，特别是对于接入和终端设备，在实际使用中以太网线不采用屏蔽电缆，而且安装使用长度大于50米，在网口的防护电路设计过程中宜对以上问题加以重视。

对于网口的防护，除了采用以上的图7-8和图7-9中的两种电路外，还有利用RJ45接头管脚前端放电设计、利用变压器中心抽头空气放电设计和利用变压器中心抽头采用放电管放电设计等防护方式，特点均是利用绝缘放电实现防护、成本低、PCB占用空间小，具体请参见《10\_100BASE-TX以太网防护电路设计指导书》。

7.3 E3/T3口防雷电路

由于E3/T3信号传输速率比较高，而信号电平较低，其端口防护电路可以参照网口的防护电路进行设计。

7.4 串行通信口防雷电路

7.4.1 RS232口防雷电路

RS232口在通信设备上作为调试用接口、板间通信接口和监控信号接口，传输距离不超过15米。调试用接口使用比较频繁，经常带电拔插，因此接口会受到过电压、过电流的冲击，若不进行保护，很容易将接口芯片损坏。常用防护电路如图7-11所示。

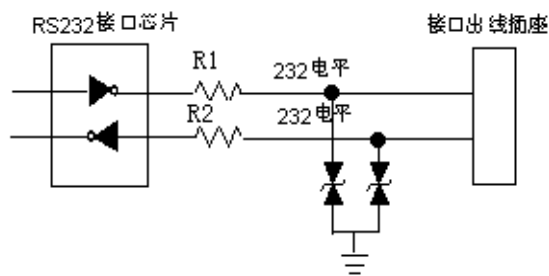


图7-11 RS232口防护电路

公司采用的RS232接口芯片的输出电压不超过±15V,对接口收发信号线的保护可以选用双向瞬态抑制二极管ESDA14V2L（15040135，90pF），限流电阻选100 欧姆，但当产品目标包括北美市场时，防护器件推荐选用1.5SMC18CA（15040190），它可以满足NEBS认证的需求。

用于板间通信的RS232接口电路可以不用防护电路设计，但其他场合应考虑在接口侧输入和输出管脚上采用防护电路。

7.4.2 RS422&RS485口防雷电路

7.4.2.1 室外走线RS422&RS485口防雷电路

当信号线走线较长，可能出户外时，端口的防护等级要求较高，此时可采用图7-12的防护电路。

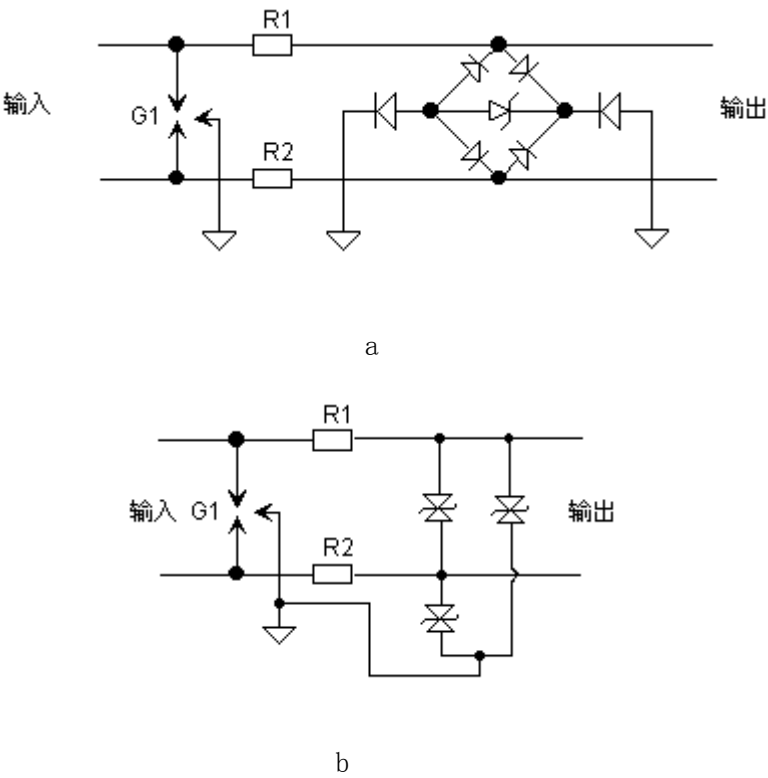


图7-12 室外走线RS422&RS485口防护电路

图7-12a电路的原理与E1防雷电路的原理相同。G1为三极气体放电管3R097CXA（19020076），主要起共模保护；R1、R2为2W/4.7欧姆电阻，阻值在不影响信号传输质量的情况下可以再取大一些；整流桥四周和对地共六个二极管为快恢复二极管MURS120T3（15010083），整流桥中间为TVS管SM6T6V8A（15040045），起后级的共模和差模保护的作用。当被保护端口的信号速率不高时也可以采用图7-12b中的电路。

#### 7.4.2.2室内走线RS422&RS485口防雷电路

当接口用于小于10米的框间通信时，可根据需要确定是否加防护电路，图7-13和图7-14分别给出了该使用条件下端口常用的单点和多点防护电路。

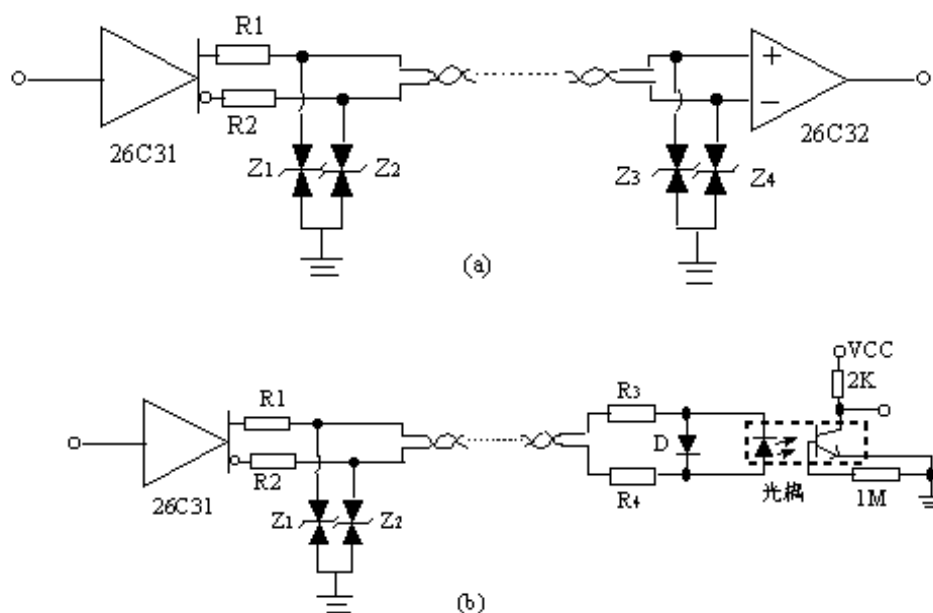


图7-13 室内走线RS422&RS485口单点防护电路

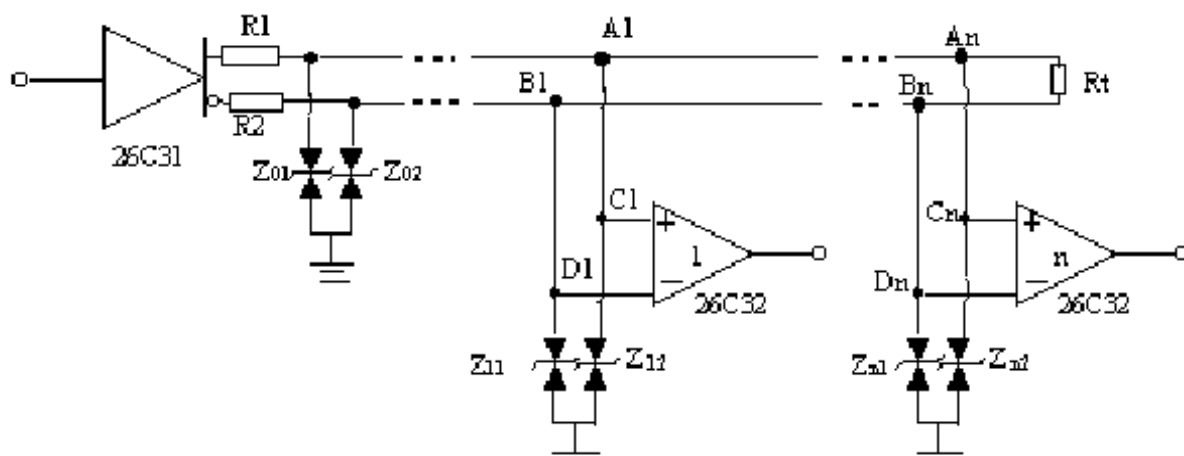


图7-14 室内走线RS422&RS485口一点对多点防护电路

公司采用的RS422和RS485接口芯片的输出电压不超过 $\pm 5V$ ，对接口收发信号线的保护可以选用瞬态抑制二极管PS0T05C（15040152）等，输出端限流电阻选33欧姆（1/4W）。

### 7.4.3 V.35接口防雷电路

V.35接口在实际使用中主要用作 $N \times 64Kbit/s$ （ $N=1-32$ ）速率的数据业务接口，控制和选通信号为RS232电平，常用器件为ADM208；数据传输信号为RS422电平，常用器件为LTC1345。传输距离不超过15米。

对于LTC1345，数据传输速率可以达到4Mbit/s，常用防护电路如下图所示。

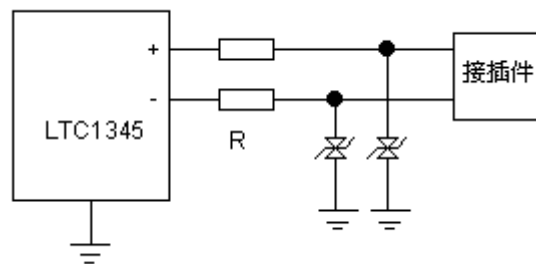


图7-15 LTC1345防护电路

其中限流电阻选用 $\leq 10$  欧姆（1/8W），保护器件选用TVS管SM16LC05C（编码：15040123），可承受500V浪涌电压。

对于ADM208，传输速率 $\leq 20Kbps$ ，可采用下图的防护电路：

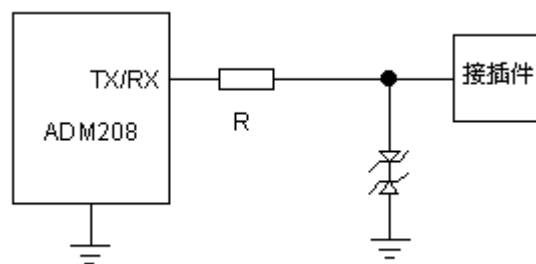


图7-16 ADM208防护电路

限流电阻选用100 欧姆（1/8W），TVS管使用ESDA14V2L（编码：15040135），可抗500V浪涌电压。

对于目前V.35接口在电路设计是采用多协议套片，在软件控制下，可满足V.24、V.28、V.35、X.21等协议。由于不同协议接口的信号电平是不相同的（V.24最大，为 $\pm 12V$ ），同时传输速率也是各不相同的（V.35最大，为4Mbit/s）。因此综合以上参数，保护器件应选择动作电压为12V以上的，结电容为80pF以下的保护器件。

## 7.5 用户口防雷电路

## 7.5.1 模拟用户口（Z口）防雷电路

### 7.5.1.1 有配线架一级保护

对于局端设备，一般前面有配线架的一级保护，使用时向线路输出馈电和铃流信号，选用保护器件的动作电压要考虑馈电和铃流有效值的叠加，同时要满足电力线碰触试验的要求，接口防护电路可参照图7-17进行设计。

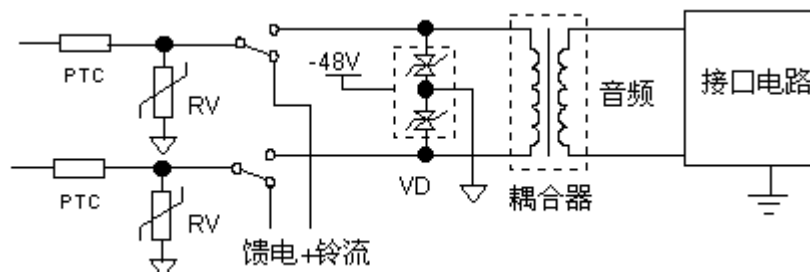


图7-17 有一级保护的模拟用户口防护电路

PTC采用55  $\Omega$  的值（编码：07050020），放在电路前面用于过流保护。RV是击穿电压为220V的压敏电阻（编码：07040007），进行共模保护，压敏电阻要有一定的通流能力，一般选直径为 $\Phi 7$ 的器件，能抵抗电力线碰触时的短时过电流（PTC动作之前）。VD用于对音频接口的保护，采用TSS管Tisp61089DR（编码：39140065），该芯片为击穿电压可控制TSS管，一般采用馈电电压来作为TSS管的触发参考电平。该防护电路可以满足ITU-T K. 20标准的测试指标要求。

### 7.5.1.2 无配线架一级保护

对于远端小型网络设备或终端设备，通常情况前面没有配线架的一级保护，使用时接受局端发送过来的馈电和铃流，此时防雷量级要大，同时也要满足电力线碰触的测试要求，防护电路可以按照图7-18和图7-19设计。

(1) 使用时向线路输出馈电和铃流信号，接口防护电路可参照图7-18进行设计。

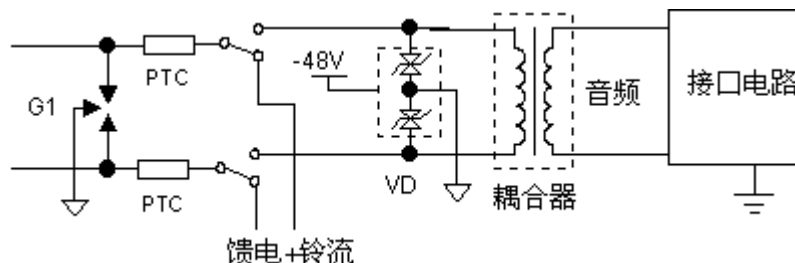


图7-18 无一级保护的模拟用户口防护电路（向线路输出馈电和铃流信号）

由于PTC耐冲击过电压和过电流能力不高，因此此时不能将PTC放在电路的最前面。电路的前级G1可以采用通流能力10kA（8/20 $\mu$ s），击穿电压较高的三极气体放电管，也可采用三只直流击穿电压为360V的压敏电阻S14K230（编码：07040052）进行差模和共模保护。选用比较高击穿电压的保护器件，主要是确保在电力线碰触（最大230Vac）时，过压保护器件不应动作，同时也应考虑保护器件的离散性，而通常气体放电管具有较大的离散性，其波动最高可达到器件手册给出的正常参



数的30%。采用放电管的优点是占用PCB板面积小，缺点是残压大，而采用压敏电阻正好相反。PTC采用 $55\ \Omega$ 的值（编码：07050020）。VD用于对音频接口的保护，采用TSS管Tisp61089DR（编码：39140065），该芯片为击穿电压可控制TSS管，一般采用馈电电压作为TSS管的触发电平。该电路可以满足YD5098-2001标准的3KA（8/20us）冲击电流要求。

（2） 使用时接受局端发送过来的馈电和铃流，接口防护电路可参照图7-19进行设计。

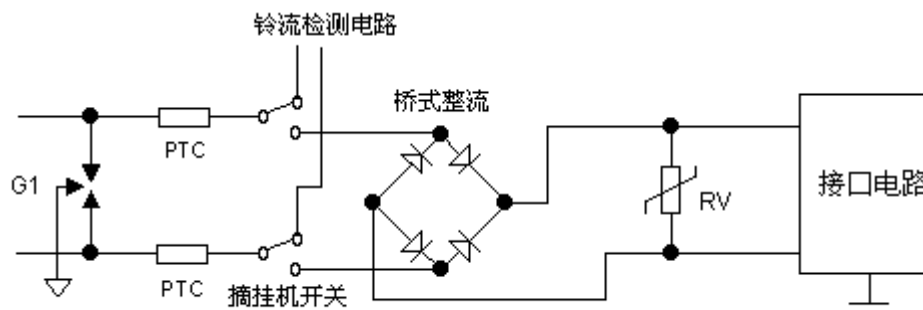


图7-19 无一级保护的模拟用户口防护电路（接受局端发送过来的馈电和铃流）

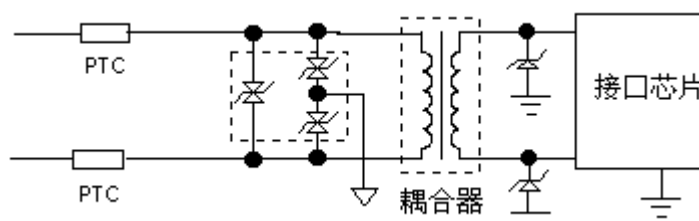
对于设备有保护接地端子，需要考虑差模、共模的防护；若设备是不导电的塑料外壳，没有保护接地端子，共模的绝缘耐压很高，此时只需考虑差模保护。

电路的前级G1可以采用通流能力10kA（8/20us），击穿电压较高的三极气体放电管，也可采用三只击穿电压为360V的压敏电阻S14K230（编码：07040052）进行差模和共模保护。采用放电管的优点是占用PCB板面积小，缺点是差模残压大，而采用压敏电阻正好相反。PTC采用 $10\ \Omega$ 的值（编码：07050006）。后级RV采用击穿电压为82V的压敏电阻（编码：07040014），进行差模保护（铃流检测电路和信号电路是通过摘挂机开关分开的，铃流不会影响后级保护器件动作），该位置的保护器件也可以采用TSS管。该电路可以满足YD5098-2001标准的3KA（8/20us）冲击电流要求，同时也能达到ITU-T K.21标准的测试指标要求。

## 7.5.2 数字用户口（U接口）防雷电路

### 7.5.2.1 有配线架一级保护

对于局端设备，一般前面有配线架的一级保护，使用时向线路输出远供电电压，选用保护器件的动作电压要考虑远供的电压要求，同时要满足电力线碰触试验的要求，此时接口的保护可以采用图7-20所示的电路。



a

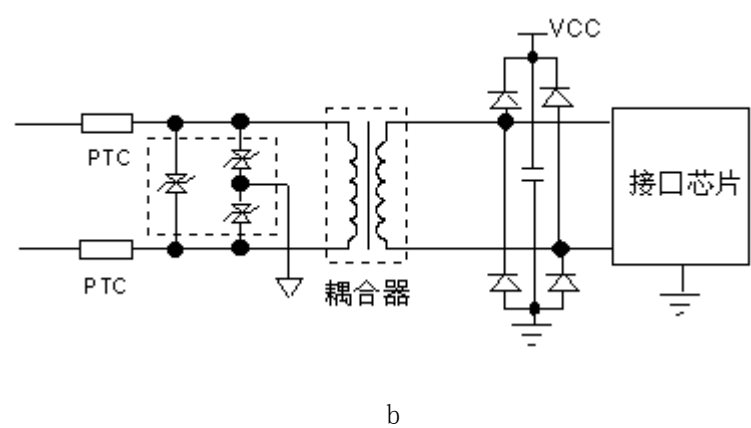


图7-20 有一级保护的数字用户口防护电路

PTC采用10  $\Omega$ （编码：07050006）的值，放在电路前面用于过流保护。耦合器之前采用TSS管TPI1201IN（编码：39040060），该芯片集成了三个TSS管，具有差模和共模的保护功能。耦合器之后接口芯片之前采用TVS稳压二极管（如PS0T05C，编码：15040152）进行保护（图a），也可以采用上下拉开关二极管来进行保护（图b）。该电路可以满足ITU-T K. 20标准的测试指标要求。

7.5.2.2 无配线架一级保护

对于远端小型网络设备或终端设备，通常情况前面没有配线架的一级保护，使用时接受局端发送过来的远供，此时防雷量级要大，同时也要满足电力线碰触的测试要求。接口防护电路应可参照图7-21进行设计。

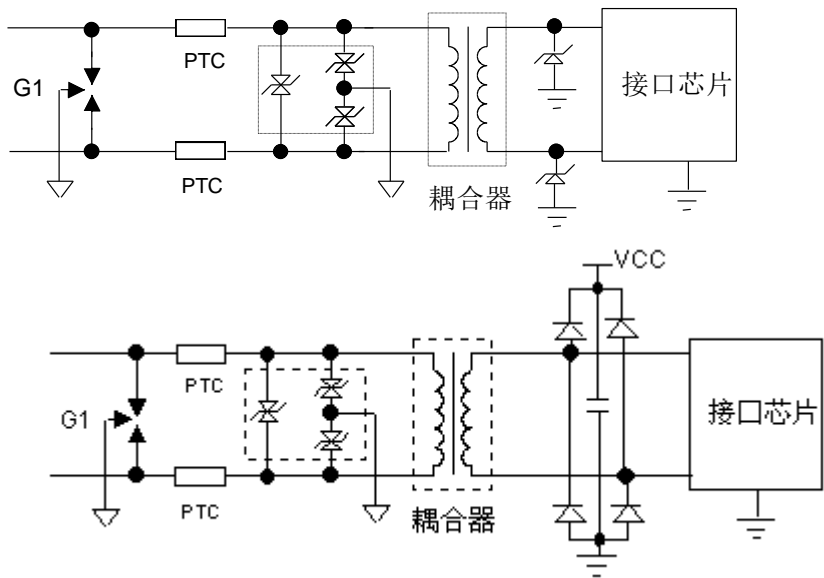


图7-21 无一级保护的数字用户口防护电路

对于设备有保护接地端子，需要考虑差模、共模的防护；若设备是不导电的塑料外壳，没有保护接地端子，共模的绝缘耐压很高，此时只需考虑差模保护。

耦合器之前的前级电路的前级G1可以采用通流能力10kA（8/20 $\mu$ s），击穿电压较高的三极气体放电管，也可采用三只击穿电压为360V的压敏电阻S14K230（编码：07040052）进行差模和共模保护。采用放电管的优点是占用PCB板面积小，缺点是差模残压大，而采用压敏电阻正好相反。PTC采用10 $\Omega$ （编码：07050006）的值。后级采用TSS管TPI1201IN（编码：39040060），该芯片集成了三个TSS管，具有差模和共模的保护功能，耦合器之后采用TVS管（如PSOT05C，编码：15040152）进行保护，也可以采用上下拉开关二极管来进行保护。该电路可以满足YD5098-2001标准的3KA（8/20 $\mu$ s）冲击电流要求。

### 7.5.3 ADSL口防雷电路

#### 7.5.3.1 有配线架一级保护

对于局端设备，一般前面有配线架（MDF）的一级保护，与模拟用户口（POTS）共同使用一对平衡双绞线，选用保护器件的动作电压要考虑模拟用户口输出的馈电和铃流有效值的叠加，同时要满足电力线碰触试验的要求，此时接口的保护可以采用图7-22所示的电路。

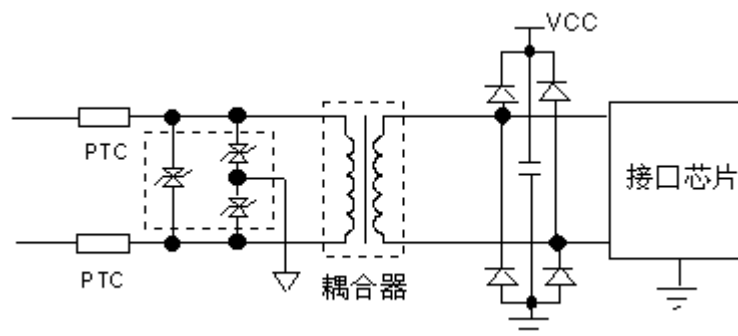


图7-22 有一级保护的ADSL口防护电路

PTC采用0.8~2 $\Omega$ （编码：07050016）的值，主要是考虑降低PTC的阻值对ADSL信号的衰减。耦合器之前采用三只TSS管TISP4350H3BJR（编码：15040155），进行差模和共模保护。由于耦合器部分是带有滤波器的，能有效滤除雷击的低频能量，因此耦合器之后接口芯片之前可以不用保护器件，当然也可以采用上下拉开关二极管（编码：15010042）进行保护。该电路可以满足ITU-T K.20标准的测试指标要求。

#### 7.5.3.2 无配线架一级保护

对于远端小型网络设备或终端设备，通常情况前面没有配线架的一级保护，使用时接受局端发送过来的馈电和铃流信号，此时防雷量级要大，同时也要满足电力线碰触的测试要求。接口防护电路应可参照图7-23进行设计。

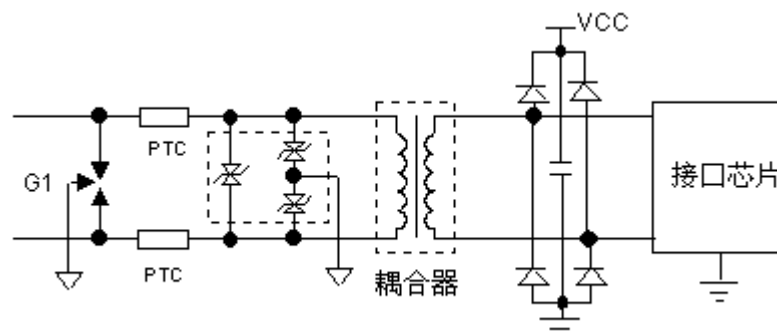


图7-23 无一级保护的ADSL口防护电路

对于设备有保护接地端子，需要考虑差模、共模的防护；若设备是不导电的塑料外壳，没有保护接地端子，共模的绝缘耐压很高，此时只需考虑差模保护。

最前级电路的前级G1可以采用通流能力10kA（8/20us），击穿电压较高的三极气体放电管，不能采用压敏电阻，这主要是压敏电阻的结电容比较大，会影响ADSL的信号质量。PTC采用0.8~2Ω（编码：07050016）的值。耦合器之前采用三只TSS管TISP4350H3BJR（编码：15040155），进行差模和共模保护。后级接口芯片可以采用上下拉开关二极管（编码：15010042）进行保护。该电路可以满足YD5098-2001标准的3KA（8/20us）冲击电流要求。

## 7.5.4 VDSL口防雷电路

### 7.5.4.1 有配线架一级保护

对于局端设备，一般前面有配线架（MDF）的一级保护，与模拟用户口（POTS）共同使用一对平衡双绞线，选用保护器件的动作电压要考虑模拟用户口输出的馈电和铃流有效值的叠加，同时要满足电力线碰触试验的要求。接口防护电路应按照图7-24进行设计。

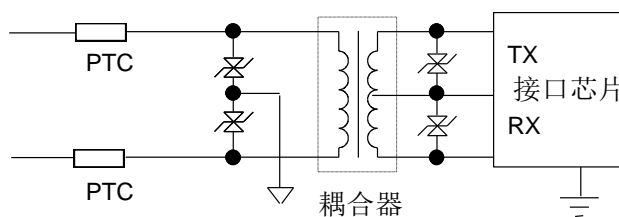


图7-24 有一级保护的VDSL口防护电路

耦合器之前采用两只TSS管TISP4350H3BJR（编码：15040155），进行共模保护。由于采用的TSS管结电容约为35pF左右，对VDSL信号来讲电容稍高，同时共模防护电路能满足差模过电压不会造成设备损坏，因此在耦合器前级没有加上差模保护的TSS管。由于耦合器部分是带有滤波器的，能有效滤除雷击的低频能量，因此耦合器之后接口芯片之前采用通流量相对小、结电容相对小的TVS管SM16LC05C-T（编码：15040123）进行差模保护，当然也可以采用上下拉开关二极管进行保护。PTC采用0.8~2Ω（编码：07050016）的值，主要是考虑降低PTC的阻值对VDSL信号的衰减。该电路可

以满足ITU-T K. 20标准的测试指标要求。

#### 7.5.4.2 无配线架一级保护

对于远端小型网络设备或终端设备，通常情况前面没有配线架的一级保护，使用时接受局端发送过来的馈电和铃流信号，此时防雷量级要大，同时也要满足电力线碰触的测试要求。接口防护电路应按照图7-25进行设计。

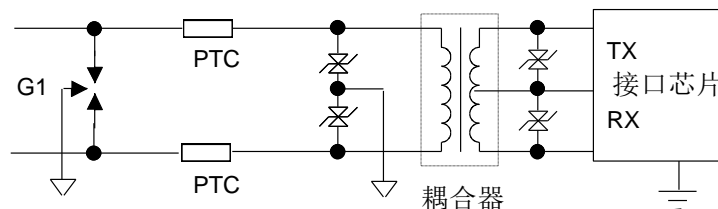


图7-25 无一级保护的VDSL口防护电路

对于设备有保护接地端子，需要考虑差模、共模的防护；若设备是不导电的塑料外壳，没有保护接地端子，共模的绝缘耐压很高，此时只需考虑差模保护。

最前级G1可以采用通流能力10kA（8/20us），击穿电压较高的三极气体放电管，不能采用压敏电阻，这主要是压敏电阻的结电容比较大，会影响VDSL的信号质量。耦合器之前采用两只TSS管TISP4350H3BJR（编码：15040155），进行共模保护。耦合器之后接口芯片之前采用TVS管PS0T05LC（编码：15040162）或SM16LC05C-T（编码：15040123）进行差模保护，也可以采用上下拉开关二极管进行保护。PTC采用0.8~2Ω（编码：07050016）的值。该电路可以满足YD5098-2001标准的3KA（8/20us）冲击电流要求。

#### 7.5.5G.SHDSL口防雷电路

##### 7.5.5.1 有配线架一级保护

对于局端设备，一般前面有配线架（MDF）的一级保护，使用时向线路输出远供电压，选用保护器件的动作电压要考虑远供电压要求，同时要满足电力线碰触试验的要求。此时接口的保护可以采用图7-26所示的电路。

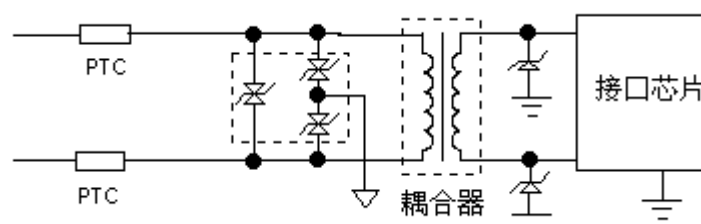


图7-26 有一级保护的G. SHDSL口防护电路

耦合器之前采用三只TSS管SMP100LC-160，进行差模和共模的保护。耦合器之后接口芯片之前采用TVS管PSOT05C（编码：15040152）进行保护，也可以采用上下拉二极管来进行保护。PTC采用 $10\Omega$ （编码：07050006）的值，放在电路前面用于过流保护。该电路可以满足ITU-T K. 20标准的测试指标要求。

### 7.5.5.2 无配线架一级保护

对于远端小型网络设备或终端设备，通常情况前面没有配线架的一级保护，使用时接受局端发送过来的远供，此时防雷量级要大，同时也要满足电力线碰触的测试要求。接口防护电路应可参照图7-27进行设计。

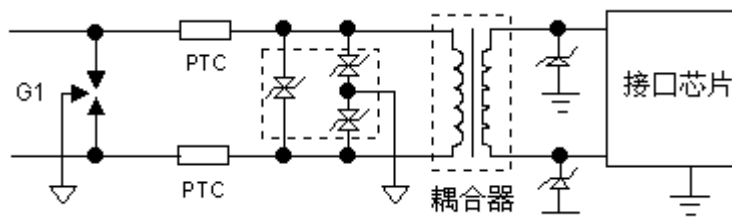


图7-27 无一级保护的G. SHDSL口防护电路

对于设备有保护接地端子，需要考虑差模、共模的防护；若设备是不导电的塑料外壳，没有保护接地端子，共模的绝缘耐压很高，此时只需考虑差模保护。

最前级G1可以采用通流能力 $10\text{kA}$ （ $8/20\mu\text{s}$ ），击穿电压较高的三极气体放电管，不能采用压敏电阻，这主要是压敏电阻的结电容比较大，会影响G. SHDSL的信号质量。耦合器之前采用三只TSS管SMP100LC-160，进行差模和共模的保护。耦合器之后采用TVS管PSOT05C（编码：15040152）进行保护，也可以采用上下拉二极管来进行保护。PTC采用 $10\Omega$ （编码：07050006）的值。该电路可以满足YD5098-2001标准的 $3\text{kA}$ （ $8/20\mu\text{s}$ ）冲击电流要求。

## 7.6 并柜口防雷电路

当某些室外型机柜考虑并柜需求时，即使走线较短也应当考虑端口的防雷，其防雷电路可以参照图7-28设计，即每线对地加一个TVS管进行防护。

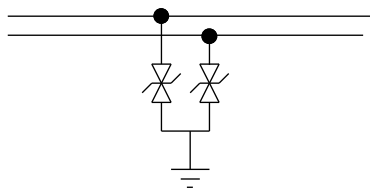


图7-28 并柜口防护电路

7.7 其他信号端口的防护

对于防护指标低于500A的信号端口，绝大多数情况均可以采用单级防护电路实现，根据被保护端口的信号速率、信号电平和防护等级等的不同，可以选用图7-29中的防护电路。

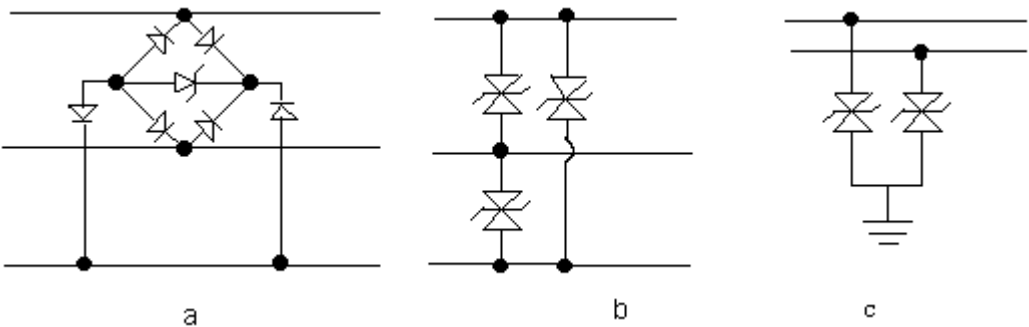


图7-29 几种信号端口防护电路

在防护器件的选择过程中应当根据被保护端口的信号特点注意击穿电压、通流容量和结电容等参数的选择。

8 天馈口防雷电路设计

一般情况下，同轴型天馈避雷器的插入损耗应小于0.2dB，驻波比应小于1.2，同轴型天馈避雷器的最大输入功率应能满足发射机最大输出功率的要求，天馈避雷器的特性阻抗应与线路的特性阻抗相匹配；同轴型天馈避雷器与同轴电缆接头应具备防水功能。

8.1 不带馈电的天馈口防雷电路设计

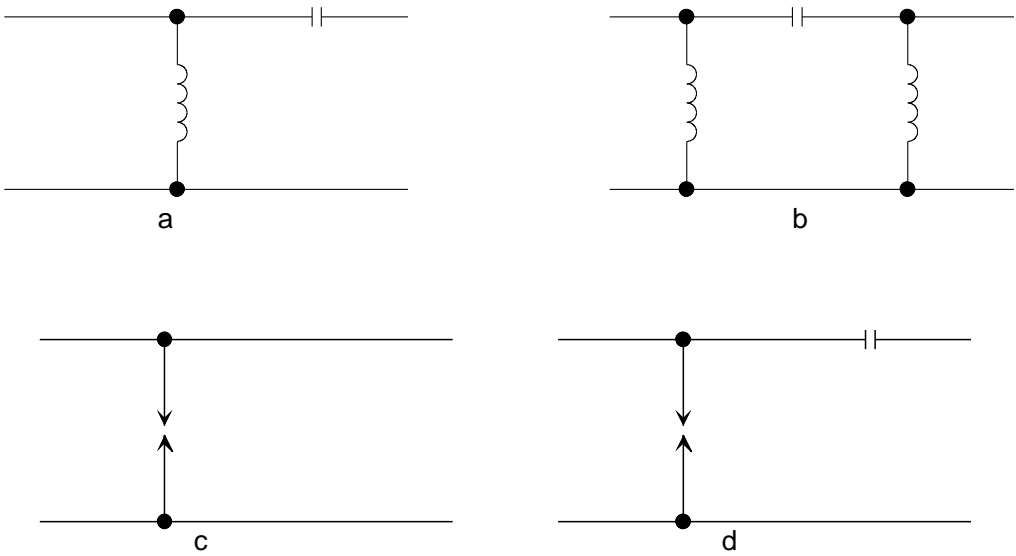


图8-1 不带馈电的天馈口防雷电路

以上电路是不带馈电的天馈避雷器的电路原理图（图8-1c的电路也可以用于馈电电路），由

于天馈线上传输的射频信号频率很高，图中的某些元件不是集总参数元件，而是利用结构件的分布参数实现的，例如馈线芯线上的串接电容。图中电路主要画出了天馈同轴线芯线和屏蔽层之间的电路，天馈防雷器的接地线通常直接从连接馈线屏蔽层的金属外壳上引出，因此不必设计共模的防护电路，这里的图中也略去这个接地线（下同）。

图8-1a和b电路利用了传输线理论中 $\lambda/4$ 短路线原理。图中芯线和外皮间的电感相当于在馈线上接入了一段终端短路的分支线，这段分支线在馈线传输的射频频率上相当于一段 $\lambda/4$ 短路线，因此这段分支线在馈线的接入点上对射频频率相当于开路，不影响射频信号的正常传输。而在直流及低频段，这段线的作用是将同轴线芯线和屏蔽层短路，雷击时馈线芯线和屏蔽层间的过电压/过电流将被有效的抑制。电感可以利用微带线实现，也可以选用集中参数的电感来实现。对于串联电容前端的电感，由于它是雷电流的泄放通路，因此其通流容量应能够满足端口的设计指标。当采用微带线实现时，微带线应具有足够的PCB线宽；当采用集中参数电感时，应保证电感在设计指标的冲击电流下不损坏并保持参数不发生变化。图中馈线芯线上串联的电容，可以限制低频的过电流通过芯线传入设备内部，同时并不影响射频信号的正常传输。这种防雷器在某个特定射频频段才能构成 $\lambda/4$ 的短路线，因此这种防雷器应用的频段较窄。

图8-1c和d电路中，同轴线的芯线和外皮间的防护电路采用了空气放电管，放电管的极间电容很小，一般在1~5pF左右，对0~2GHz范围内的射频信号传输影响较小。空气放电管过压导通的时间比较缓慢，击穿后仍具有一定残压，因此差模防护的能力比图8-1的a和b电路差。这种防雷器的优点是：从0~2GHz范围内都可使用，且可以应用到带馈电的馈线上（图8-1c电路）。

## 8.2 带馈电的天馈口防雷电路设计

当天馈线需要馈电时，首先可以考虑上节中图8-1c中的形式，只用放电管构成的电路形式最简单。但需要满足的使用条件是：

- 1、直流供电电压小于15V，交流供电电压峰值小于15V。
- 2、射频信号频率约在0~2GHz的范围内。
- 3、放电管的输出残压不会造成后级电路的损坏。

当需要馈电的天馈端口不满足上述条件或图8-1c不能起到良好的防护效果时，可以考虑采用以下形式的一些天馈防雷器：



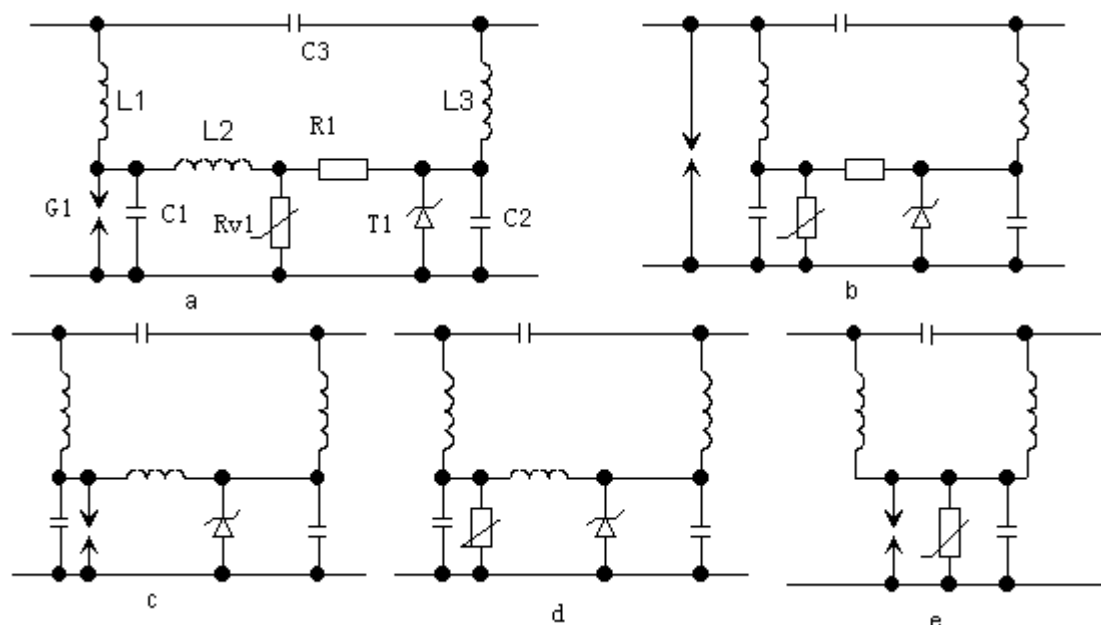


图8-2 带馈电的天馈口防雷设计电路

图8-2中几种电路的差别很小。这些天馈防雷电路的主要特点是输出残压低，适用于后级电路抗过电压水平很低的情况。

以图8-2a为例加以说明：

信号的正常传输：芯线上有一个小电感L1接到气体放电管和电容上，该电感可视为并接在天馈线路上的一段分支线，它端接了一个纯电抗性负载（电容C1），可以看做是一段终端接有纯电抗性负载的分支线，合理调节电感L1及电容C1的取值，可以使分支线在射频信号频率范围内在馈线并接点处相当于开路，因此这个支路对射频信号的正常传输没有影响。该电路后面TVS管、电容和电感构成的支路也采用同样的原理设计。芯线上串联的电容在射频信号的频率范围内不影响信号的正常传输。

防雷：感应过电压出现在芯线和屏蔽层之间时，气体放电管击穿短路，将芯线和屏蔽层间的过电流旁路掉。与放电管串联的电感L1对于雷击感应过电流的脉冲而言相当于短路，它可以利用微带线实现，也可以选用集中参数的电感来实现。对于电感L1，由于它是雷电流的泄放通路，因此其通流容量应能够满足端口的设计指标。当采用微带线实现时，微带线应具有足够的PCB线宽；当采用集中参数电感时，应保证电感在设计指标的冲击电流下不损坏并保持参数不发生变化。因气体放电管的输出残压较高，电路中气体放电管的后续有压敏电阻Rv1和TVS组成的第2级和第3级防护电路进一步降低输出残压。保护器件之间的电感、电阻起退耦的作用，避免雷击时TVS管先于压敏电阻以及压敏电阻先于气体放电管损坏。芯线上串联的电容容值较小，主要用于抑制传到后级电路的感应过电压。另外，电容C1和C3应具有足够的耐压值，以保证能够承受气体放电管的残压而不损坏。

图8-2a的电路可以获得较理想的残压抑制特性，在要求不是很严格的场合，该电路可以简化为图8-2c的形式，若天馈线馈电电压较高，可以选用图8-2d的电路形式，但通流量相对小一些。图8-2e是一个较为简化的电路，缺点是气体放电管和压敏电阻直接并联不能有效提高压敏电阻的通流

量，电路的输出残压也略高。图8-2b是图8-2a的变型。

## 9 PCB设计

防护电路的设计常犯的一个错误是：防护电路中的保护器件达到了设计指标的要求，但在PCB布板过程中出现问题，降低了防护电路的防护效果。

防护电路在PCB走线方面有如下几点要求：

- 1、 进行接口部分电路的布线时，应注意印制走线不要太细。一般在印制板表层的走线，15mil线宽可以承受的8/20us冲击电流约1kA。
- 2、 采用变压器等隔离器件进行防护设计时，要特别注意器件的选型和PCB的绝缘设计，要初级电路与单板上其它电路、地的印制线在单板上应分离开，并有足够的绝缘距离，不应存在意外的放电途径。绝缘设计的详细参数具体参见7.2.2室内走线的网口防雷电路一节。
- 3、 防护器件宜放置在靠近输出端或连接器的地方，防护器件与被保护线路之间的连线以及防护器件到地的连应尽可能短。

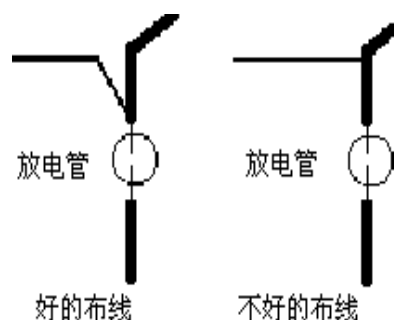


图9-1 两种布线比较

- 4、 从端口到气体放电管和压敏这种大通流量防护器件间的连线应尽量在PCB板的表层走线，防止因为过热造成PCB损坏。
- 5、 通过冲击电流的PCB连线，应尽量少过孔，线宽要保持一致，避免由于阻抗不匹配而产生的冲击电流波形反射现象。
- 6、 防护器件的输入和输出分开，走线互不交叉和平行，避免输入的冲击电流耦合到输出端，降低防护器件的性能。

## 10 附录A：雷电参数简介

雷电放电涉及到气象、地形、地质等许多自然因素，有一定的随机性，因而表征雷电特性的参数也带有一定的统计性质。在防雷设计中，我们对雷暴日、雷电流波形、幅值等参数比较关心。

### 10.1 雷暴日

为了表征雷电活动的频率，采用年平均雷暴日作为计算单位。一天内只要听到一次雷声就记为一个雷暴日。雷暴日数与纬度有关，在炎热潮湿的赤道附近雷暴日数最多，两极最少。关于我国的雷电活动情况，经实测与气象数据的研究得出的主要结论如下。

北回归线（北纬 $23.5^{\circ}$ ）以南的大部分地区，平均雷暴日数一般在80以上（但台湾省只有30—40左右，而广东的雷州半岛和海南岛则高达100—133）；北回归线到长江一带约为40—80之间；长江以北的大部分地区（包括东北）多在20—40之间；西北地区的大部分地区在20以下；西藏雅鲁藏布江一带约为50—80。我国把年平均雷暴日不超过25的叫少雷区，超过40的叫多雷区，超过90的叫强雷区。在防雷设计时，要根据雷暴日的多少因地制宜。

此外，我们还应注意雷电季节的开始与结束时间。一般而言，南方的雷电季节在2月份就开始了，长江流域则在3月开始，华北、东北地区在4月左右开始，西北地区较晚，一般在5月才开始雷雨季节。10月以后，除江南以外，其他地区的雷电活动几乎停止。

### 10.2 雷电流波形

雷电流是一个非周期的瞬态电流，通常是很快上升到峰值，然后较为缓慢的下降。雷电流的波头时间是指雷电流从零上升到峰值的时间，又称为波前时间；波长时间是指从零上升到峰值，然后下降到峰值的一半的时间，又称为半峰值时间。由于在雷电流波的起始和峰值处常常叠加有振荡，很难确定其真实零点和到达峰值的时间，因此，我们常用视在波头时间 $T_1$ 和视在波长时间 $T_2$ 来表示，一般记为 $T_1/T_2$ ，如下图所示。

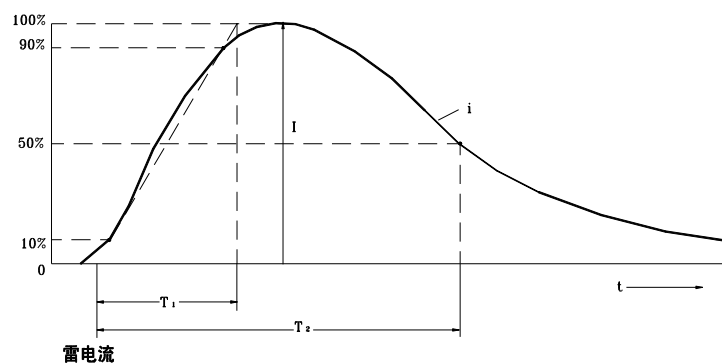


图10-1 雷电流波形示意图

在IEC标准、国标中规定的雷击测试波形主要有：8/20us、10/350us（电流波）、10/700us以及1.2/50us（电压波）等。

### 10.3 雷电流陡度

雷电流陡度是指雷电流随时间上升的变化率。实测和相关性分析表明，它随雷电流幅值的增大而增大，其平均上升陡度为：

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{T_1} I \quad (\text{kA/us})$$

（式中 $T_1$ 和 $I$ 的含义见图10-1）

### 10.4 雷电波频谱分析

雷电波频谱是研究避雷的重要依据。从雷电波频谱结构可以获悉雷电波电压、电流的能量在各频段的分布，根据这些数据可以估算信息系统频带范围内雷电冲击的幅度和能量大小，进而确定适当的避雷措施。通过对雷电波的频谱分析可知：1. 雷电流主要分布在低频部分，且随着频率的升高而递减。在波尾相同时，波前越陡高次谐波越丰富。在波前相同的情况下，波尾越长低频部分越丰富；2. 雷电的能量主要集中在低频部分，约90%以上的雷电能量分布在频率为100kHz以下。这说明了在信息系统中，只要防止10kHz以下频率的雷电波窜入，就能把雷电波能量消减90%以上，这对避雷工程具有重要的指导意义：

## 11 附录B：常见测试波形允许容差

### 11.1 1.2/50us冲击电压波

实际记录的冲击电压和1.2/50us标准雷电冲击电压的规定值之间的允许容差为：

峰值	±3%
波前时间	±30%
半峰值时间	±20%

峰值附近的过冲和振荡是容许的，但单个波峰的幅值不应超过峰值的5%。

对于通常使用的冲击电压发生器回路，在峰值的90%以下波前部分的振荡对试验结果的影响一般是可以忽略的。

### 11.2 8/20us冲击电流波

实际记录的冲击电流和8/20us标准雷电冲击电流的规定值之间的允许容差为：

峰值	±10%
波前时间	±10%

半峰值时间  $\pm 10\%$

峰值附近的过冲和振荡是容许的，但单个波峰的幅值不应超过峰值的5%。当电流下降到零后，反极性的振荡幅值不应超过峰值的20%。

### 11.3 10/700us冲击电压波

实际记录的冲击电压和10/700us标准冲击电压的规定值之间的允许容差为：

峰值  $\pm 3\%$

波前时间  $\pm 30\%$

半峰值时间  $\pm 20\%$

峰值附近的过冲和振荡是容许的，但单个波峰的幅值不应超过峰值的5%。

对于通常使用的冲击电压发生器回路，在峰值的90%以下波前部分的振荡对试验结果的影响一般是可以忽略的。

### 11.4 1.2/50us(8/20us)混合波

把能产生1.2/50us开路电压波形、8/20us短路电流波形的发生器称之为组合波发生器。发生器输出的冲击电压/电流大小以及波形是由发生器和试品的阻抗共同决定的。我们将开路电压幅值与短路电流幅值的比值称为发生器的虚拟阻抗 ( $Z_f$ )，其值等于2欧姆。

开路电压的允许容差为：

峰值  $\pm 3\%$

波前时间  $\pm 30\%$

半峰值时间  $\pm 20\%$

峰值附近的过冲和振荡是容许的，但单个波峰的幅值不应超过峰值的5%。电压波形应是单向的。

对于通常使用的冲击电压发生器回路，在峰值的90%以下波前部分的振荡对试验结果的影响一般是可以忽略的。

短路电流的允许容差为：

峰值  $\pm 10\%$

波前时间  $\pm 10\%$

半峰值时间  $\pm 10\%$

峰值附近的过冲和振荡是容许的，但单个波峰的幅值不应超过峰值的5%。当电流下降到零后，反极性的振荡幅值不应超过峰值的20%。

开路电压幅值与短路电流幅值的比值应等于2欧姆。

12 附录C：冲击电流实验方法

冲击电流的测试，因为具有一定的危险性，规定有防雷测试的专业人员进行操作。因此这里只给出冲击电流实验的最基本的原理和布置图。

通信设备的冲击电流实验主要为实验雷击时通信设备的一些电缆（电源线、信号线、天馈线）上由各种原因而产生的过电流对设备产生的危害。冲击电流实验的主要实验装置称为冲击电流发生器。冲击电流发生器的输出是瞬间的脉冲电流，具有持续时间短、峰值电流大、瞬间功率高的特点。原理上，可以将冲击电流发生器看作是一个电流源。

冲击电流实验的模拟脉冲波形需要尽量接近自然环境中雷击时通信设备电缆上产生的感应雷过电流的波形。因此冲击电流测试一般采用国际上防雷学科给出的一些标准波形。根据国家、地区、研究机构的不同，目前各国在冲击电流测试中对脉冲波形的要求有一定差异。目前我国信息产业部的YD 5098-2001《通信局(站)雷电过电压保护工程设计规范》中规定对通信设备冲击电流测试的波形采用8/20us冲击电流，这个波形也是目前国际上最通行的冲击电流测试波形。

冲击电流实验的测试环境布置很简单，一般将通信设备需要被测试的端口通过电缆连接到冲击电流发生器的输出端，对通信设备施加模拟雷击过电流即可，测试过程中要求被测试设备上电运行。通常在 一组测试中，对被测试的端口施加规定量级的正极性和负极性的冲击电流正负各5次，脉冲输出的间隔时间至少1分钟。图12-1和图12-2给出了电源口和信号口测试的基本布置图：

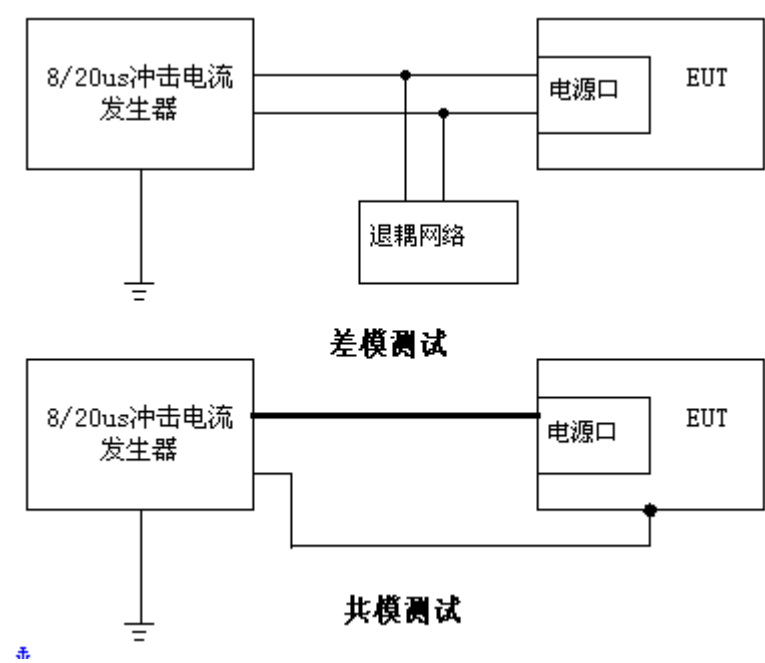


图12-1 电源口冲击电流测试布局示意图

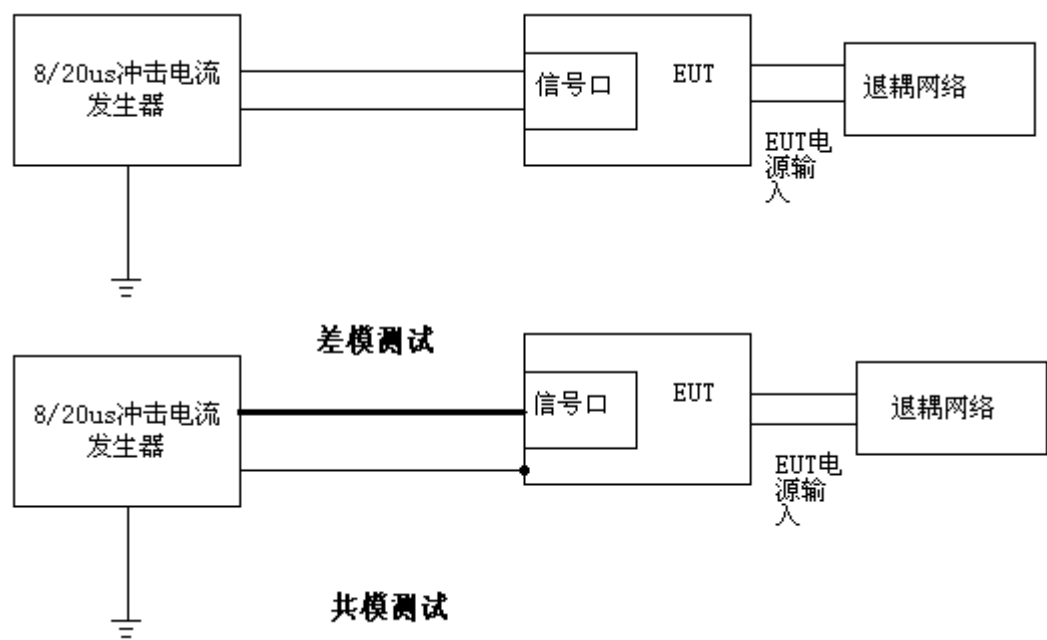


图12-2 信号口冲击电流测试布局示意图

13 附录D：低压配电系统简介

本章所描述的低压配电系统是根据国际电工委员会标准IEC 664-1的要求来定义的,该设备适用于海拔至2000m，额定电压：交流至1000V，额定频率至30kHz或直流至1500V的系统中。另外，在通信设备中所说的交流配电，一般是指220/380V的供电系统。

IEC 364-3标准中，按照载流导体的配置和接地的方法划分成TN、TT和IT交流配电系统，在下面的图示中给出了配电系统的一些实例。

图中：

——在大多数情况下，配电系统适用于单相和三相设备，但为了简化起见，图中仅划出了单相设备；

- 供电电源可以是变压器的次级绕组，电动机驱动的发电机或不间断电源系统；
- 有些图适用于用户建筑物范围内的变压器，图中的建筑物区域代表的建筑物的一个楼层；
- 有些配电系统还在另外的位置接地，例如在用户建筑物的电源入口处接地。

字母代号的含义：

第一个字母T或I表示电源对地的关系，第二个字母N或T表示装置的外露导电部分对地关系，横线后字母S、C或C-S表示保护线与中性线的组合情况。

13.1 TN配电系统

TN配电系统中，电源有一点（通常是中性点）直接接地，设备端的外露导电部分通过保护线

（即PE线包括PEN线）与该接地点连接的系统。按照中性线（N）与保护线的组合情况，TN系统又分为以下三种型式：

- TN-S系统：整个系统中保护线PE与中性线N是分开的，见图13-1；
- TN-C-S系统：系统中有一部分保护线PE与中性线N是分开的，见图13-2；
- TN-C系统：整个系统中保护线PE与中性线N是合一的，见图13-3。

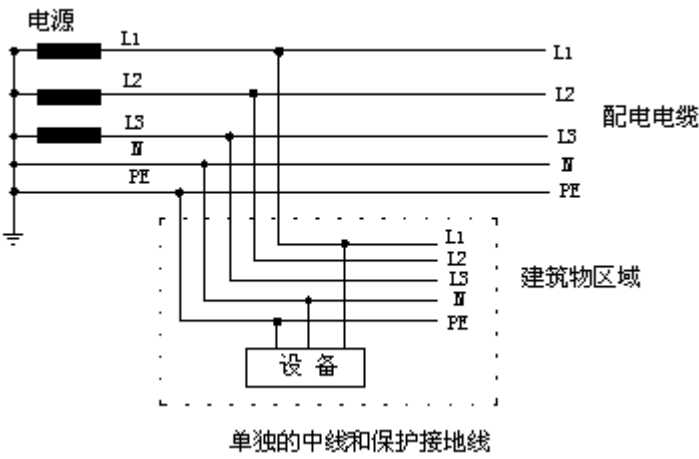


图13-1 TN-S配电系统实例

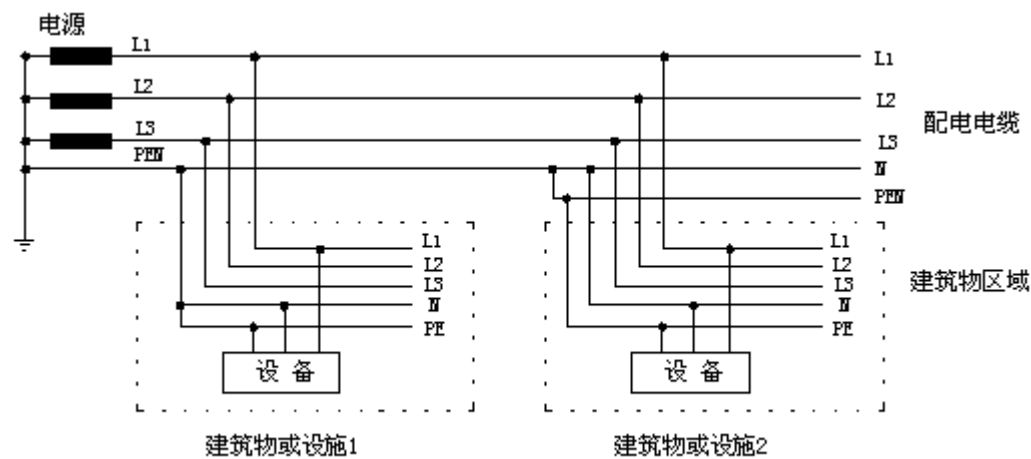


图13-2 TN-C-S配电系统实例

注：将PEN导线分解成保护接地线和中线的点可在建筑物入口处或建筑物的配电板上。



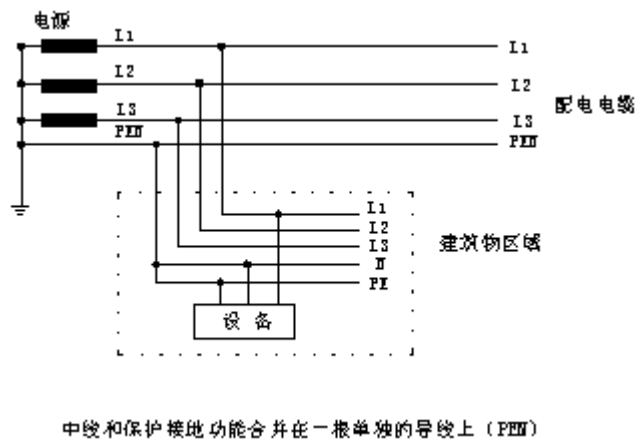


图13-3 TN-C配电系统实例

这三种供电类型在我国都有比较广泛的应用。由图13-1、图13-2和图13-3可以看出，TN-S系统因为有单独的保护接地线，因此，对设备而言是最可靠的。但是由于增加了一根单独的PE线，而使供电系统的造价提高。该用电设备金属外壳接到PE线上，PE线正常工作时不呈现电流，因此外壳不呈现对地电压。出现事故时易切断电源，比较安全。通常该系统主要应用在用电量大的楼宇中，也适用于环境条件较差的场所。TN-C系统有一根由中性线和PE线功能合并的PEN线，相对TN-S系统少了一根线，因此使供电系统成本减少。但如果出现三相负荷不平衡时（在我国的电网中常有这种情形发生），在PEN线上就会有较大的电流。为解决这类问题，通常要求从电源端到设备端电每隔50m，将PEN线接地一次。TN-C系统是目前应用最为广泛的一种保护接地方式，又称为保护接零方式。综合TN-C和TN-S系统的某些优点，又推出了一种TN-C-S系统，主要应用在用电量较小的建筑物或线路末端环境较差的场合。

对应用最为广泛的TN-C系统，为保证在故障时保护中性线的电位尽可能保持接近大地电位，保护中性线应均匀分配的重复接地，如果条件许可，宜在每一接户线、引接线处接地。同时供电网内的受电设备宜装设漏电末级保护，配电变压器低压侧及各出线回路，需装设过流保护。且保护中性线的截面不应小于表13-1的规定值。必须注意，保护中性线不得装设熔断器或单独的开关装置。

13.2 TT配电系统

具有一个直接接地点的配电系统,设备上需要接地的零部件在用户建筑物中连接到接地电极上，该接地电极与配电系统的接地电极无电气连接，如图13-4。

TT系统每一设备金属外壳或外露可导电部分采用各自的PE接地线单独接地，故障时电流较小，往往不足以使保护装置动作，安全性较差。只适合于功率不大的设备，或作为精密电子设备的屏蔽接地，主要应用在农村低压电力网。这种系统的缺点在于，因为雷击或相线对地意外短路产生的转移过电压，将对人和设备造成损害。同时，如果因为中性线折断产生的失零过电压，使相线电压可达到700V。因此，TT系统要求：除变压器低压侧中性点直接接地外，中性线不得再行接地，且保持与相线同等绝缘水平。为防止中性线机械断线，截面积不小于表13-1的规定。全网必须实施漏

电保护，且中性线不得装设熔断器或单独的开关装置。

相线截面 $S \text{ mm}^2$	相线截面 $S_0 \text{ mm}^2$
$S \leq 16$	$S$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

表13-1 按机械强度要求中性线与相线的配合截面

注：相线的材质与中性线的材质相同时有效

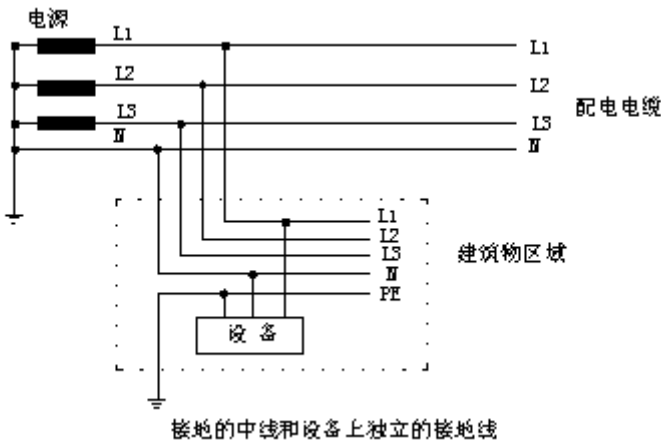


图13-4 三相线加中线的TT配电系统实例

13.3 IT配电系统

IT配电系统。电源与地绝缘或通过阻抗连接，而设备的外露导电部分则接地的系统，如图13-5。

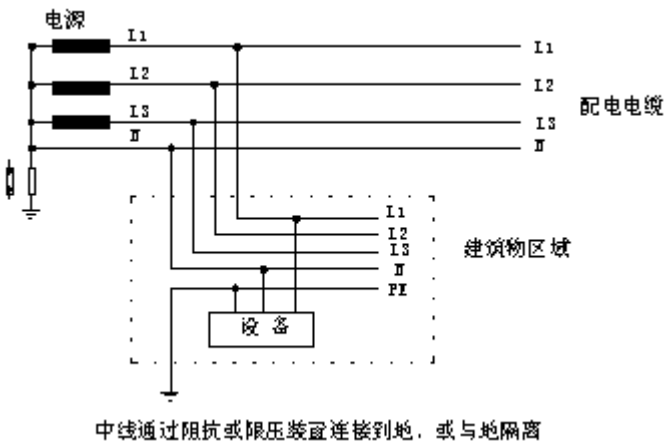


图13-5 三相线（加中线）的IT配电系统

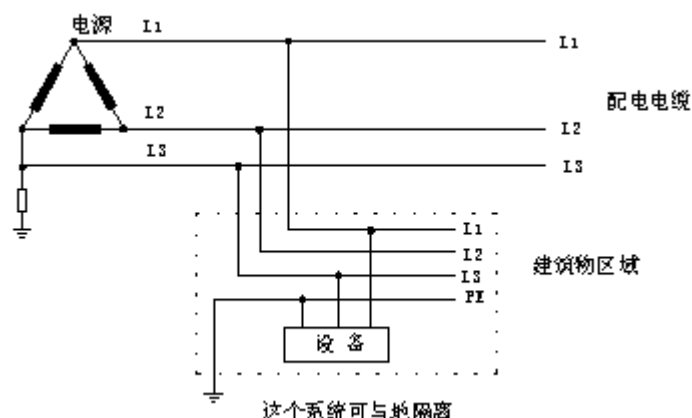


图13-6 三相线IT配电系统实例

IT系统在供电端有一点通过阻抗或限压装置接地，发生单相接地故障时，短路电流很小，保护装置不会动作供电系统还可以继续运行。被PE线接地的设备外壳不会带电，但其它处的中性线电压会升高。主要应用在对安全有特殊要求的场合，如：矿井、火药库或纯排灌的动力电力网。

采用IT 配电系统时要求：配电变压器低压侧及各出线回路应装设过流保护，网络内的带电导体严禁直接接地；各相对地应有良好的绝缘水平，在正常运行情况下，从各相测得的泄漏电流（交流有效值）应小于30mA。

### 13.4 与配电系统有关的接地故障

所谓接地故障是指电气回路中的带电导体，即相线和中性线（L线和N线）与大地、电气设备金属外壳以及各种接地的金属管道、结构之间的短路。它是单相对地短路，但其事故后果和防范措施与一般短路不同。为便于区别，国际电工标准将它称作接地故障（Earth fault）。

大家知道，金属性短路的短路电流大，常用的熔断器、断路器等过流保护装置能有效的切断电源，从而防止了火灾的发生；电弧性短路的短路电流小，过流保护器往往不能及时切断电源，而电弧、电火花的局部温度可达千度以上，甚至可使附近的可燃物质起火。接地故障火灾多的原因不仅是它发生的机率大，而且一旦发生接地故障，它还往往以持续的电弧性短路的形式存在，比一般短路更易引燃起火。

TN系统的接地故障多为金属性短路，故障电流较大，可利用原来作负荷保护和短路保护的过电流保护电器（熔断器、低压断路器）兼作接地故障保护，这是TN系统的优点。但在某些情况下，如：线路长、导线截面小而使线路导体阻抗增大，过电流保护器常不能满足它的切断故障电流时间的要求，产生电弧性短路而造成危险。所以在TN系统中，常将保护线与接地良好的金属导体相连接，使保护线的电位尽量接近地电位，降低发生接地故障和PEN线断线时，外露导电部分和保护线的对地故障电压。

TT系统发生接地故障时，故障电路内包含有外露导电部分接地极和电源接地极的接地电阻 $R_a$ 和 $R_b$ ，如图13-7所示。与TN系统相比，TT系统故障电路阻抗大，故障电流小，更易以电弧性短路的

形式出现。并且由于 $R_a$ 的作用，使设备外壳对地电压升高，如果超过了安全电压的标准50V时，将会对人身造成危险。因此在TT系统中推荐采用漏电保护器作接地故障保护。

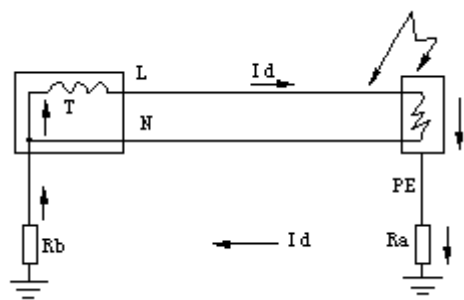


图13-7 TT系统

在实际应用中，应当根据三种配电系统各自的特点，选择合理的接地和保护方式。

14 参考文献

制定本规范参考的一些文献，但没有直接引用里面的条文：

序号	编号或出处	名称
1	IEC 61000-4-5	Electromagnetic compatibility (EMC)- Part 4: Testing and measurement techniques -Section5:Surgeimmunity test
2	ETS 300 386	Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters(ERM);Telecommunication network equipment;ElectroMagnetic Compatibility(EMC)requirements
3	ITU-T K. 20	Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents
4	YD/T 5098-2001	通信局（站）雷电过电压保护工程设计规范
5	YDJ 26-89	通信局（站）接地设计暂行技术规定
6	YD/T 5068-98	移动通信基站防雷与接地设计规范