

543

701984.12
241

电力电子设备用器件与 集成电路应用指南

第4册 其他配套元器件

李 宏 编著



A0955753



机械工业出版社

本书介绍了电力电子设备中常用的配套元器件,内容包括瞬态电压抑制器(TVS)、电阻器、电容器、滤波器、液晶与发光二极管显示器、光耦合器、光电继电器、熔断器、散热器。书中不但详细介绍了这些元器件的引脚排列、功能、外形尺寸、系列参数,而且探讨了选型指南与使用方法,并给出了应用实例。该书取材新颖、内容重点突出、通俗易懂、实用性强,是从事电力电子设备设计、开发、研究的工程技术人员必备的工具书,亦适合于从事电力电子设备生产、科研管理及元器件采购的工作人员使用,还可供高等院校以及中等专业学校的广大师生参考,是一本难得的实用工具书。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子设备用器件与集成电路应用指南:其他配套
元器件/李宏编著. —北京:机械工业出版社, 2001.9
ISBN 7-111-09227-9

I. 电… II. 李… III. ①电子器件-指南②集成
电路-指南 IV. TN103-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第070518号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:孙流芳 版式设计:张世琴 责任校对:程俊巧
舒莹 姚培新

封面设计:方芬 责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年10月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·42.25印张·3插页·1447千字

0 001—4 000册

定价:78.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677—2527

前 言

众所周知,电力电子设备一般由进行功率(电流、电压、频率)变换的电力半导体器件、相应控制电路及所应用的控制理论三大部分组成。其中,电力半导体器件是完成功率变换的基础,而控制电路是其核心,没有控制电路的发展及对半导体器件提出的更新、更高要求,就很难想像电力电子设备的高度智能化及高性能化。进入20世纪80年代,功率集成电路的出现引起了电力电子技术或称电力电子成套装置的革命。它将高电压、大电流、大功率的多个半导体器件做在同一芯片上,有些还包括检测、控制、保护等功能单元。如今用一片专用集成电路便可完成一个功率开关变换或制成一个专用电源。正因为如此,电力电子技术已成为世界各国展开竞争的一个高技术领域,世界上许多著名的公司都推出了在这一方面的专用控制电路、电力半导体模块、成套设备,一方面供本公司内部配套使用,另一方面供应国际市场,例如:美国的摩托罗拉(MOTOROLA)、国家半导体(National Semiconductor)、通用电气(GE)、国际整流器(International Rectifier, IR)公司,德国的西门子(SIEMENS)、IXYS、eupec公司,法国的Thomson公司,荷兰的飞利浦(Philips)公司,日本的三菱电机、富士电机、三社电机、东芝公司,英国的Mitel公司,瑞士的ABB公司等。有关电力半导体器件及驱动控制集成电路的国内外生产企业很多,许多企业都十分看好中国市场,纷纷加强了在中国的销售力度,产品宣传及简介资料可以说铺天盖地,但总的来说,资料虽多,却很分散,缺乏系统性,需要时间去查找、归纳、分析和系统化,从迅速实用角度来说,并不方便。

我与电力电子技术结下不解之缘近20年,工作中经常碰到与众多的工程师们一样的难题,即在设计电力电子成套装置时需要选择电力半导体器件,有时手上有样本,却买不到产品,有时看见了产品,但无载有详细参数的样本,更使人感到为难的是往往一个器件坏了,正运转的设备已经瘫痪,原用型号的公司又没有现货,如何用别的公司产品代替使用,以解急用的燃眉,这时要有一个型号对照表该多好,无法找到产品替换关系而误事的滋味可以说真是急死人!所以从1990年开始,我一直想编写一套电力电子设备常用元器件选用指南,来解决上述难题,限于学识及资料限制,此宏愿今日才得以部分实现,为了将国内常用的电力半导体器件和驱动控制集成电路较全面和系统地介绍给从事电力电子产品设计、开发、生产、装配、采购、调试的工程技术人员、科研人员、现场维护人员、高等院校及中等专业学校的广大师生,我们对有关文献资料和收集到的产品样本,加以整理和消化,并按理论探讨为辅,实际应用技术为主的编写宗旨,在较短的时间内编写了这本指南,书中也包括了对部分器件的应用体会和教训总结,该书的编写适应了我国电力电子技术、机电一体化技术、特种电源技术及家用电器等行业对电力半导体器件及驱动集成电路使用技术的迫切需要。

本指南共分为4册,构成一个完整的体系,分别为:第1册电力半导体器件及其驱动集成电路;第2册控制用集成电路;第3册传感、保护用和功率集成电路;第4册其他配套元器件。

本书是指南的第4册,全书共分9章。第1章以较大篇幅介绍了对尖峰过冲电压能起很好抑制作用的瞬态电压抑制器(TVS)这一新兴的电力半导体器件;第2章和第3章专门讨论了电阻和电容这些电力电子设备中必用,而过去往往对其重要性有所忽视的元器件。电网的绿色化,要求注入电网的谐波含量越来越低,而电力电子设备的大量应用又产生了一定的干扰及谐波,为解决这一些矛盾,促使滤波器技术的发展,第4章详细分析了常用滤波器的电路结构,并剖析了其

应用技术；第5章和第6章给出了液晶和发光二极管显示器及其驱动电路与光电耦合器集成电路这一现代电力电子设备中必用元器件的引脚排列、各引脚的名称、功能，内部结构，工作原理及应用技巧；第7章介绍了应用电力电子技术制作的光电继电器的优点、参数限制及应用技术；第8章对熔断器这一防止短路后事故扩大化的电力电子设备保护用器件进行了专门介绍；作为结尾的第9章，对电力半导体器件的散热问题列为重点进行了探讨，并给出了常用散热器与电力半导体器件之间的选配准则。热望本书的出版，能最大限度地节约电力电子设备的设计、维修、服务人员及元器件采购人员选择电力电子设备必需用配套件的时间。

本书在选题、编写、定稿过程中得到了中国电工技术学会电力电子学会、中国电源学会特种电源专业委员会、中国电源学会特种电源技术咨询培训服务中心、机械工业出版社、陕西高科电力电子有限责任公司、《国外电子元器件》杂志社的大力帮助。中国电工技术学会电力电子学会副理事长陈守良教授，西安石油学院吴应龙教授、汉泽西教授对本书的编写给予了热情的鼓励；《国外电子元器件》杂志社钱建立副教授、姜书汉高级工程师对本书的编写提供了大量的素材和参考资料，在此表示衷心的感谢！

本书在编写过程中得到有关厂商或代理商提供的资料，还参考或引用了书末参考文献中所列的国内外有关单位和个人撰写的资料和文献。陕西高科电力电子有限责任公司钟桂清高级工程师、杨利宁、祝海燕、赵正富、李伟、梁萍、王军、赵艾青等同志参与了本书文稿的整理、文字录入及排版、校对工作，宋刚、李莉、苏广荣、熊丹等同志绘制了书中的部分插图，在此一并致以深切的谢意！

在本书出版之际，还应感谢我贤惠的妻子梁萍女士对编写本书的理解和支持，并对在本书编写过程中她在各方面的帮助表示感谢！

由于学识水平所限，收集资料又欠全面，加之编写时间极为仓促，书中难免多有纰漏和不当之处，敬请同行专家及读者批评指正，热望各位不吝赐教！



2000年11月于西安石油学院

目 录

前言

第 1 章 瞬态电压抑制器 (TVS)

1.1 概述	1
1.2 TVS 的特性和工作原理	1
1.3 TVS 的参数定义和极限参数	2
1.4 TVS 的应用技术	2
1.4.1 TVS 的分类	2
1.4.2 TVS 的选用指南	3
1.4.3 TVS 选用时应遵循的主要原则	3
1.4.4 应用举例	3
1.5 圆柱形封装的 TVS	5
1.5.1 圆柱形封装的 400W TVS	5
1.5.2 圆柱形封装的 500W TVS	7
1.5.3 圆柱形封装的 600W TVS	11
1.5.4 圆柱形封装的 1500W TVS	14
1.5.5 圆柱形封装的 5kW TVS	21
1.5.6 圆柱形封装的 6kW TVS	25
1.5.7 圆柱形封装的 15kW TVS	26
1.6 集成电路封装的 TVS	29
1.6.1 集成电路封装的 175W TVS	29
1.6.2 集成电路封装的 300W TVS	30
1.6.3 集成电路封装的 400W TVS	40
1.6.4 集成电路封装的 500W TVS	40
1.6.5 集成电路封装的 600W TVS	44
1.6.6 PLC03-6 型集成电路封装的 750W TVS	47
1.6.7 集成电路封装的 1500W TVS	48
1.6.8 PLC497 型集成电路封装的 TVS	50
1.6.9 PMMAD 系列集成电路封装的二极管阵列	50
1.7 模块型封装的 TVS	51
1.7.1 420LE 及 420LB 系列模块型封装的 TVS	52
1.7.2 232E 和 232B 系列模块型封装的 TVS	53

1.7.3 420E2 系列模块型封装的 TVS	53
1.7.4 GPZ532 与 GPZ1275 模块型封装的 TVS	54
1.7.5 CX12 系列模块型封装的 TVS	55
1.7.6 587B $\times\times\times$ LP 模块型封装的 TVS	57
1.7.7 485ELC 模块型封装的高速数据线 TVS	58

第 2 章 电阻器

2.1 概述	60
2.2 电阻器的选用准则	63
2.3 RX 系列线绕电阻器	66
2.4 金属膜和金属氧化膜电阻器	79
2.5 熔断电阻器	84
2.6 金属玻璃釉电阻器	85
2.7 压敏电阻器	87
2.8 负温度系数 (NTC) 热敏电阻	96
2.9 MARK I 系列大功率热敏电阻的特性	101
2.10 PTC 热敏电阻	103
2.11 光敏电阻	104
2.12 阻燃电阻	105
2.13 精密合金箔电阻	105
2.14 ZB2 系列大功率板型电阻器	106

第 3 章 电容器

3.1 概述	108
3.2 电容器的基本概念和主要电参数	111
3.3 电容器的分类、符号及参数标记方法	113
3.4 电容器的正确使用技术	115

3.5	纸介电容器的性能和参数	120
3.6	电解电容器	130
3.7	瓷介电容器	164
3.8	云母电容器	189
3.9	有机薄膜电容器	191
3.10	复合介质电容器	218
3.11	漆膜电容器	228
3.12	玻璃釉电容器	230
3.13	MFC 系列高介质复合元件	231

第 4 章 滤波器

4.1	概述	242
4.2	电力电子设备及电源用滤波器的组成和参数	244
4.3	MAX29 系列 8 阶开关电容滤波器集成电路	247
4.4	MF10 多用途有源滤波器	251
4.5	BIT 牌系列电磁干扰滤波器	253
4.6	S3528 和 S3529 可编程开关电容滤波器	261
4.7	CSC5609 开关电容式有源低通滤波器集成电路	263
4.8	TLC04 单片开关电容滤波器集成电路	265
4.9	EMI 电源滤波器的正确运用	267

第 5 章 常用液晶显示器 (LCD) 与发光二极管 (LED) 显示器及其驱动集成电路和模块

5.1	概述	271
5.2	应用 MAX856 的 LCD 偏置电源技术	274
5.3	液晶的基本工作原理及液晶显示器的正确应用技术	276
5.4	HT1621 多功能 LCD 驱动器集成电路	279
5.5	DMF5001 液晶显示器模块	283
5.6	AY0438 32 段 LCD 驱动器集成电路	287

5.7	HD61830 点阵式液晶显示器控制集成电路	290
5.8	MDLS 系列点阵字符式液晶显示器模块	293
5.9	EDM12864B 图形点阵式液晶显示器模块	302
5.10	ML4864 对比度可控的液晶显示器照明驱动集成电路	305
5.11	ICM7216D 集定时计数与 LCD 驱动于一体的多功能集成电路	308
5.12	MAX7219 串行接口 28 位 LED 显示器驱动集成电路	313
5.13	TPIC6B595 带功率驱动的 8 位移位寄存器集成电路	320
5.14	SED1330F 大规模液晶显示器控制集成电路	324
5.15	LCM101 (L) 10 位 8 段带小数点液晶显示器模块	330
5.16	MGLS-32064 型大屏幕液晶显示器模块	334
5.17	RTC-5 电脑倒计时 LED 显示器模块	336

第 6 章 常用光隔离器件

6.1	概述	339
6.2	光耦合器的基本特性和参数	345
6.2.1	光耦合器的基本特性和参数定义	345
6.2.2	常用光耦合器的分类和主要参数	347
6.3	4N25 光耦合器集成电路	357
6.4	TIL113 高精度高性能光耦合器集成电路	359
6.5	MOC306 系列可进行触发控制的光耦合器集成电路	362
6.6	TIL300 精密线性光耦合器集成电路	364
6.7	H11L1 具有施密特触发器输出的光耦合器集成电路	366
6.8	H11D1 高速线性光耦合器集成	

电路	368
6.9 3650/3652 光耦合线性放大器集成	
电路	370
6.10 PVI 系列光压隔离器集成	
电路	375
6.11 UC1901 绝缘反馈发生器集成	
电路	379
6.12 UC39432 光耦合器驱动器集成	
电路	382
6.13 TPS5904、TPS5904A 光隔离反馈	
放大器集成电路	385

第 7 章 微电子继电器

7.1 概述	387
7.2 微电子继电器的主要参数	390
7.3 HEXFET 功率光电继电器	391
7.3.1 PVT312 系列无线电通信接口	
继电器	391
7.3.2 PVG612 系列 HEXFET 功率光电	
继电器	393
7.3.3 PVAZ172 系列光电继电器	394
7.3.4 PVT322 系列 HEXFET 功率光电	
继电器	395
7.3.5 PVT422P 系列 HEXFET 功率光电	
继电器	397
7.3.6 PVO402P 系列 HEXFET 功率光电	
继电器	398
7.3.7 其他 HEXFET 功率光电	
继电器	400
7.4 BOSFET 功率 IC 继电器	404
7.4.1 PVA30 系列 BOSFET 功率光电	
继电器	405
7.4.2 PVD13 系列 BOSFET 光电	
继电器	407
7.4.3 PVR13 系列 BOSFET 功率光电	
继电器	408
7.4.4 其他类型的 BOSFET 功率光电	
继电器	411
7.5 PVX6012 IGBT 功率光电继	
电器	417
7.6 Chipswitch 功率集成电路继	

电器	420
7.6.1 SPA 系列 Chipswitch 功率集成电路	
继电器	420
7.6.2 DPA 系列 Chipswitch 功率集成电路	
继电器	422
7.6.3 CS 系列 Chipswitch 功率集成电路	
继电器	424

第 8 章 熔断器

8.1 概述	426
8.2 快速熔断器的主要参数和特性	
曲线	429
8.3 熔断器的使用导则	430
8.4 低压快速熔断器的结构及参数	433
8.5 高压快速熔断器的结构及参数	465
8.6 熔断器的派生器件	471

第 9 章 电力电子设备的热设计与散热器

9.1 概述	474
9.2 电力电子设备热量产生的根源及散	
热的重要性	475
9.3 电力电子设备常用的散热方法	482
9.4 电力电子设备的散热设计	483
9.5 整流管、晶闸管与标准散热器的	
适配	495
9.6 用于控制回路中小功率器件散热的	
型材散热器	497
9.7 用于电力电子设备中电力半导体	
器件自冷或强迫风冷散热的铝型材	
散热器	546
9.8 用于电力半导体器件散热的热管散	
热器	631
附录	641
附录 A 元器件型号索引	641
附录 B 部分生产企业或供货商	
名录	656
参考文献	663

第 1 章 瞬态电压抑制器 (TVS)

1.1 概述

电力半导体器件的飞速发展,促使电力电子成套装置的工作频率日益提高,体积愈来愈小,换流时间不断缩短。由于电路中总有电感元件(如变压器、电抗器、引线电感等)的存在,便不可避免地出现因功率开关器件彼此换流产生的瞬态电压 Ldi/dt ,另由于雷电的因素,在电子线路上会产生几百伏至几千伏、乃至上万伏的高压干扰脉冲。这类电压一般宽度很窄,但幅值很大,脉冲的持续时间从 $0.1\mu s$ 至数毫秒,而能量可达数千瓦。这种高幅值、高能量的干扰脉冲电压对电子仪器及设备易造成危害,轻者使电力电子设备不能正常工作,重者会导致电力电子设备损坏。为了保证成套装置运行的可靠性及鲁棒性,必须对这些尖峰过电压进行有效的抑制。为了降低高压脉冲的干扰,通常使用 LC 或 RC 滤波器、电源变压器绕组间屏蔽及其他方法。但是尽管采用这些方法。供电端子的干扰脉冲仍然很高,其能量可达数千瓦,完全可能导致电子器件损坏。限制电源中干扰脉冲电平的其他方法还有气体放电管,由于其反应速度慢,抗瞬态高压干扰脉冲不是总有效的,而且体积大,使用不便。目前广泛应用半导体元器件来限制干扰脉冲,如压敏电阻、稳压管及具有肖特基势垒特性的脉冲二极管等。压敏电阻具有显著的非线性伏安特性和老化现象,密封性能差。稳压管及脉冲二极管

由于其反向击穿电压低,耗散功率小,使它们的应用场合受到了一定的限制。本章主要介绍一种新型的瞬态电压抑制器 (Transient Voltage Suppressor——TVS,也称为 TVP、AJTVS、SAJTVS 等)。它是一种高效保护器件。当 TVS 的两极受到反向瞬态高能量冲击时,它能以 $10^{-12}s$ 量级的速度,将其两极间的高阻抗变为低阻抗,吸收高达数千瓦的浪涌,使两极间的电压钳位于一个预定值,有效地保护电子线路中的精密元器件免受各种浪涌脉冲电压的冲击。它具有响应速度快、瞬态功率大、漏电流低、击穿电压偏差小、箝位电压较易控制、没有损坏极限、体积小等优点,从而有效地保护仪器设备和其他设备不被损坏,工作不受干扰,目前已广泛用于家用电器、电子仪表、通信设备、电源、计算机系统各个领域的电力电子设备中。世界各国为了解决瞬态电压抑制的问题,各有名的电力半导体器件制造公司都推出了自己的系列产品,且单个容量不断扩大,现已达 $15kW$,尤以美国 PROTEK 公司(国内代理商为西安虹飞科技公司)生产的瞬态电压抑制器在国内市场占有很大的份额,20 世纪 90 年代初,美国 GST 公司生产出上千种 TVS,最大允许脉冲功率达 $60kW$,限制电压在 $0.7\sim 3000V$ 内均有产品。表 1-1 给出了 PROTEK 公司生产的 TVS 的主要参数,后续各节将介绍 TVS 的应用技术及选用准则。

表 1-1 美国 PROTEK 公司生产的 TVS 例

型 号	额定电压 /V	击穿电压 $V_{BR}(@I_T)$		最大工作电流 $I_D/\mu A$	箝位电压 V_C/V	最大脉冲电流 I_{DD}/A	最高温度系数/ (%/°C)
		V_{BR}/V	$@I_T/mA$				
5KP5.0	5.0	6.40	50	2000	9.6	520	0.04
5KP51A	51	56.7	5	10	82.4	61	0.06
1.5KE6.8	5.50	6.12	100	1000	10.8	139	0.05
1.5KE400A	376	418.30	1	5	600	5.0	0.44

1.2 TVS 的特性和工作原理^[1-3]

TVS 是一种硅 PN 结器件,它能吸收很高的瞬态电压,利用这种器件可以避免过高的瞬态电压对电压敏感的器件造成损坏。该系列器件的电压为 $5\sim 400V$,误差为 $5\%\sim 10\%$ 。

TVS 能够承受很高的浪涌电压,响应时间非常短,内阻非常小。由于瞬态电压是不可预测的,并且阻抗随瞬态电压而变化,没有确定的数值。同时在器件承

受很大的脉冲电流时,温度变化可造成最高箝位电压 V_C 有 $50\%\sim 70\%$ 的测量误差。因此规定最高阻抗无实际意义。但是低电流状态下,最低电压 (V_{BR}) 和在最高脉冲峰值电流状态下的最高箝位电压是可以确定的。

TVS 箝位作用的响应时间为 $1\times 10^{-12}s$ 。因此,它可用来保护集成电路、MOS 器件、数模混合电路以及其他对电压敏感的半导体元器件。TVS 可以串联或并联,以提高峰值功率。

TVS 的电路图形符号和普通稳压管有点类似, 但不完全相同, 其电压-电流特性曲线及电路图形符号如图 1-1 所示。

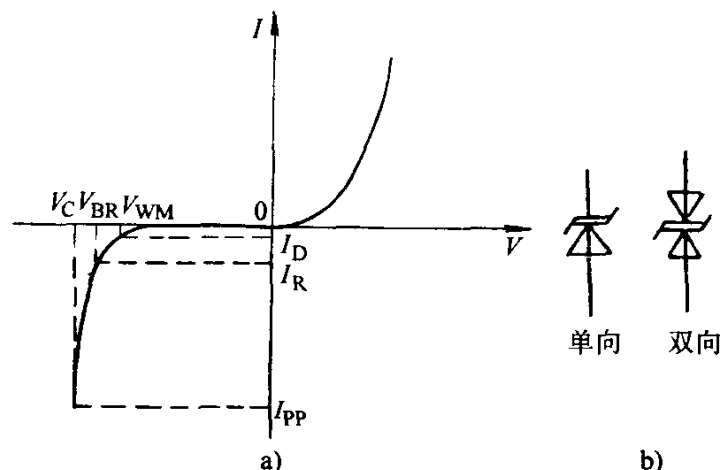


图 1-1 TVS 的 V - I 特性曲线和电路图形符号

a) V - I 特性曲线 b) 电路图形符号

其正向特性与普通二极管相似, 反向特性为典型的 PN 结雪崩特性。图 1-2 是 TVS 的电流时间和电压时间曲线。在瞬态峰值脉冲电流作用下, 流过 TVS 的电流, 由原来的反向漏电流 I_D 上升到 I_R 时, 其两极呈现的电压由额定反向关断电压 V_{WM} 上升到击穿电压 V_{BR} , TVS 被击穿。随着峰值脉冲电流的增大, 流过 TVS 的电流达到峰值脉冲电流 I_{PP} , 但两极的电压被钳位到预定的最大钳位电压以下。其后, 随着脉冲电流按指数规律衰减, TVS 两极的电压也不断下降, 最后恢复到起始状态, 这就是 TVS 抑制浪涌脉冲电压保护电子元器件的过程。

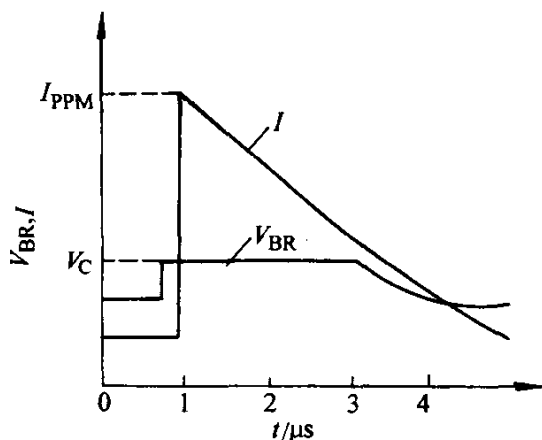


图 1-2 TVS 的 I - t 、 V - t 特性曲线

1.3 TVS 的参数定义和极限参数

1. 最大反向漏电流 I_D 和额定反向关断电压 V_{WM}

V_{WM} 是最大连续工作的直流或脉冲电压, 当这个反向电压加于 TVS 的两极间时, 它处于反向关断状态, 流过它的电流应小于或等于最大反向漏电流 I_D 。

2. 最小击穿电压 V_{BR} 和击穿电流 I_R

V_{BR} 是 TVS 的最小雪崩击穿电压。当环境温度为 25°C 时, 在这个电压之前, TVS 是不导通的。当 TVS

流过规定的 1mA 电流 (I_R) 时, 加于 TVS 两极间的电压为其最小击穿电压 V_{BR} 。按 TVS 的 V_{BR} 与标准值的离散程度, 可把 TVS 分为 $\pm 5\%V_{BR}$ 和 $\pm 10\%V_{BR}$ 两种。对于 $\pm 5\%V_{BR}$ 来说, $V_{WM}=0.85V_{BR}$; 对于 $\pm 10\%V_{BR}$ 来说, $V_{WM}=0.81V_{BR}$ 。

3. 最大钳位电压 V_C 和最大峰值脉冲电流 I_{PPM}

当持续时间为 $20\mu\text{s}$ 的脉冲峰值电流 I_{PPM} 流过 TVS 时, 在两极间出现的最大峰值电压为 V_C , 它是串联电阻和热温升两者电压上升的组合。 V_C 、 I_{PPM} 反映了 TVS 抑制浪涌电流的能力。 V_C 与 V_{BR} 之比称为钳位因子, 一般在 $1.2\sim 1.4$ 之间。

4. 电容量 C

电容量 C 是由 TVS 雪崩结截面积决定的, 在特定的 1MHz 频率下测量。电容量 C 的大小与 TVS 的电流承受能力成正比, C 太大, 将使信号衰减。因此, 电容 C 是 TVS 用于数据接口电路时重要的选择参数。为了保证既有大的电流承受能力, 又能有小的电容量, PROTEK 公司设计了带补偿二极管的低电容 TVS。

5. 最大峰值脉冲功耗 P_{PPM}

P_{PPM} 是 TVS 能承受的最大峰值脉冲功耗, 常称为 TVS 满足工作条件下使用的额定功率在给定的最大钳位电压下, 功耗 P_{PPM} 越大, 承受浪涌电流的能力越大; 在给定的功耗 P_{PPM} 下, 钳位电压 V_C 越低, 承受浪涌电流的能力越大。另外, 最大峰值脉冲功耗还与脉冲波形、持续时间和环境温度有关; 而且, TVS 所能承受的瞬态脉冲是不连续的, 器件规定脉冲重复频率的持续时间与间歇时间之比为 0.01% 。如果电路内出现连续性脉冲, 应考虑脉冲功率的“累积”有可能使 TVS 损坏。

6. 钳位时间 t_C

t_C 是电压从零到最小击穿电压 V_{BR} 的时间。单极性 TVS 的 t_C 小于 10^{-12}s ; 双极性 TVS 的 t_C 小于 $10\times 10^{-9}\text{s}$ 。

7. 限制系数 K_1

它表示 TVS 实际承受的电压 V_C 与其雪崩击穿电压 V_{BR} 之比, 即 $K_1=V_C/V_{BR}$ 。该值通常从 TVS 在最大峰值脉冲功耗时的 1.3 至 TVS 在最大峰值脉冲功耗一半时的 1.2 之间变化。

1.4 TVS 的应用技术

1.4.1 TVS 的分类

TVS 按极性可分为单极性和双极性两种; 按用途, 可分为各种电路都适用的通用型器件和适用特殊

电路的专用器件(如:电话机保护器、同轴电缆保护器、数据线保护器、4~20mA 电流环保护器、各种交流电压保护器等);按吸收功率的能量等级分,有 500、600、1500、5000 和 15000W;若按封装及内部结构可分为轴向引线 TVS、双列直插 TVS(适用多线保护)、TVS 组件和大功率 TVS 模块等。

1.4.2 TVS 的选用指南^[1-3]

确定被保护电路的最高工作电压或连续工作电压、电路额定标准电压和“高端”容限,根据电路形式、结构合理选择 TVS 的种类和参数。使用中,可通过串联和并联的措施来提高整体电压和总通流能力。

对于数据接口电路的保护,还必须注意选取具有合适电容量 C 的 TVS。

TVS 可以在 $-55\sim+150^{\circ}\text{C}$ 之间工作。如果需要 TVS 在变化的温度下工作,由于其反向漏电流 I_D 随温度增加而增大,允许功耗随结温度增加而下降,从 $+25^{\circ}\text{C}$ 到 $+175^{\circ}\text{C}$,大约线性下降 50%;击穿电压 V_{BR} 随温度按一定的系数增加。因此,应用时考虑温度变化对其特性的影响。

1.4.3 TVS 选用时应遵循的主要原则^[1-4]

1) TVS 的最大峰值脉冲功耗 P_{PPM} 应大于被保护电路中可能出现的最大峰值脉冲功率,在确定最大钳位电压后,器件的最大峰值脉冲电流 I_D 应大于可能出现的瞬态浪涌电流。应该提出的是抑制器最大峰值脉冲耗散功率与被抑制的脉冲宽度 t_w 有关,在 $t_w=0.1\sim 10\text{ms}$ 范围内,最大峰值脉冲功耗近似正比于 $1/t_w$ 。同时当环境温度从 40°C 增加至 100°C 时,最大峰值脉冲功耗随环境介质温度 T_A 的升高约正比地减小 2.4%。

2) TVS 的最大反向电压 V_{WM} 应大于被保护电路的工作电压,若选用 V_{WM} 过低,TVS 在被保护电路最大工作电压下可能出现导通现象,影响电路正常工作,导致分压(串联连接)或分流(并联连接)。

3) TVS 的最大钳位电压 V_C 应小于被保护对象的最大损坏极限电压,以保证 TVS 将浪涌脉冲电压钳位

在被保护对象的安全工作电压范围内。

4) 根据不同用途,合理地选择 TVS 的极性及其封装形式。抑制交流电路中的浪涌干扰脉冲,应选用双极性 TVS,在正常情况下,抑制器双臂截止,当电源中出现超过抑制器导通电压的高压干扰脉冲时,TVS 的正、反向两臂导通,正向与负向干扰脉冲电压被钳位,负载上不会出现超过钳位电压的干扰脉冲。如用于多线路保护时,应选用 TVS 组合阵列。TVS 的封装形式有轴向引线二极管、双列 DIP 直插式、贴片式及阵列式、模块式等,可根据不同的应用场合选用不同的封装形式。

1.4.4 应用举例^[1-1]

由于 TVS 能够吸收很高的瞬态电压,并可在承受很大的脉冲电流时,钳位浪涌电压,因此,TVS 有着非常广泛的应用范围,在各种电路、传输线路及电器设备中,都可提供浪涌电压保护。在实际应用中,可根据保护对象和不同的具体要求选用一个或几个 TVS 对电路进行保护,现举几例说明其应用。

1. 在电源电路中的应用

在电路不同位置加上 TVS,能提供不同程度的保护。

图 1-3 为一个线性电源,利用 TVS 作为保护器件的典型电路,图中 TVS₁ 对整个电路,包括对变压器 T 进行保护。只有熔断器(FU)受到浪涌冲击时,其阻值增加而需要更换。除变压器 T 外,TVS₂ 对整个电路提供高度的保护。由于变压器的物理性质有如一个大的串联电阻,当受到浪涌冲击时,断路的机会很少。TVS 对负载提供全面的保护。在此所采用的是成本较低的单极性 TVS: 等值的串连电阻包括熔断器、变压器及整流桥 U,因而减低受浪涌冲击导致断路的机会。若只放置 TVS₃ 于电路中,整流桥 U 因在没有保护情况下,需要采用较高电压及较大电流值的器件,以防止损坏。

以上三种保护电路方法的组合,或只采用任何一处的保护,均能对负载提供有效的保护,其中的选择,决定于成本与维修费用。

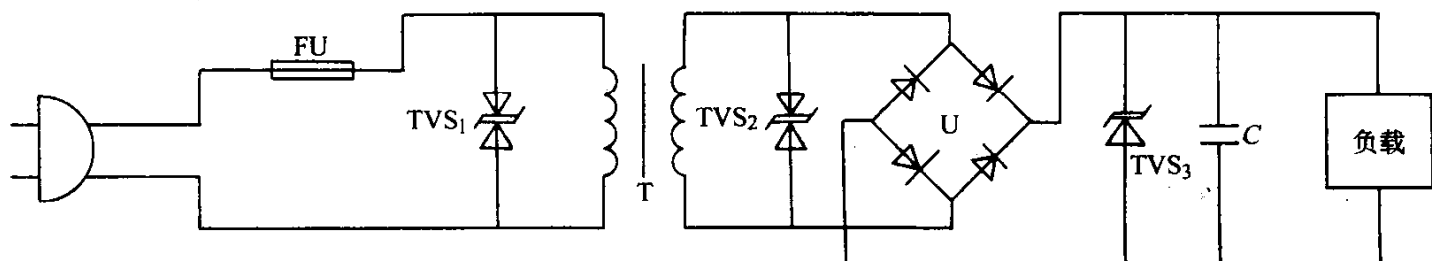


图 1-3 TVS 对电源的保护

2. 用于交流电路中

图 1-4 是 TVS 用于交流电路中与负载并联, 选用双向 TVS (中间对接处具有引出端子) 亦可用两个特性相似的 TVS 代替。该电路不但具有钳位保护功能, 而且设置了 TVS 工作状态信息指示电路及兼有电源电压指示电路。

3. 用于计算机接口电路中作保护元件

将 TVS 接在信号及电源上, 可防止静电放电效应、交流电源的浪涌和开关电源噪声对计算机的影响, 也可避免数据及控制总线受到不良影响, 如图 1-5 所示。

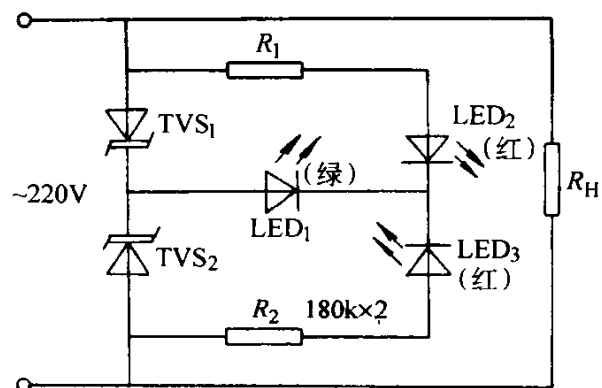


图 1-4 TVS 用于交流电路中时与负载并联

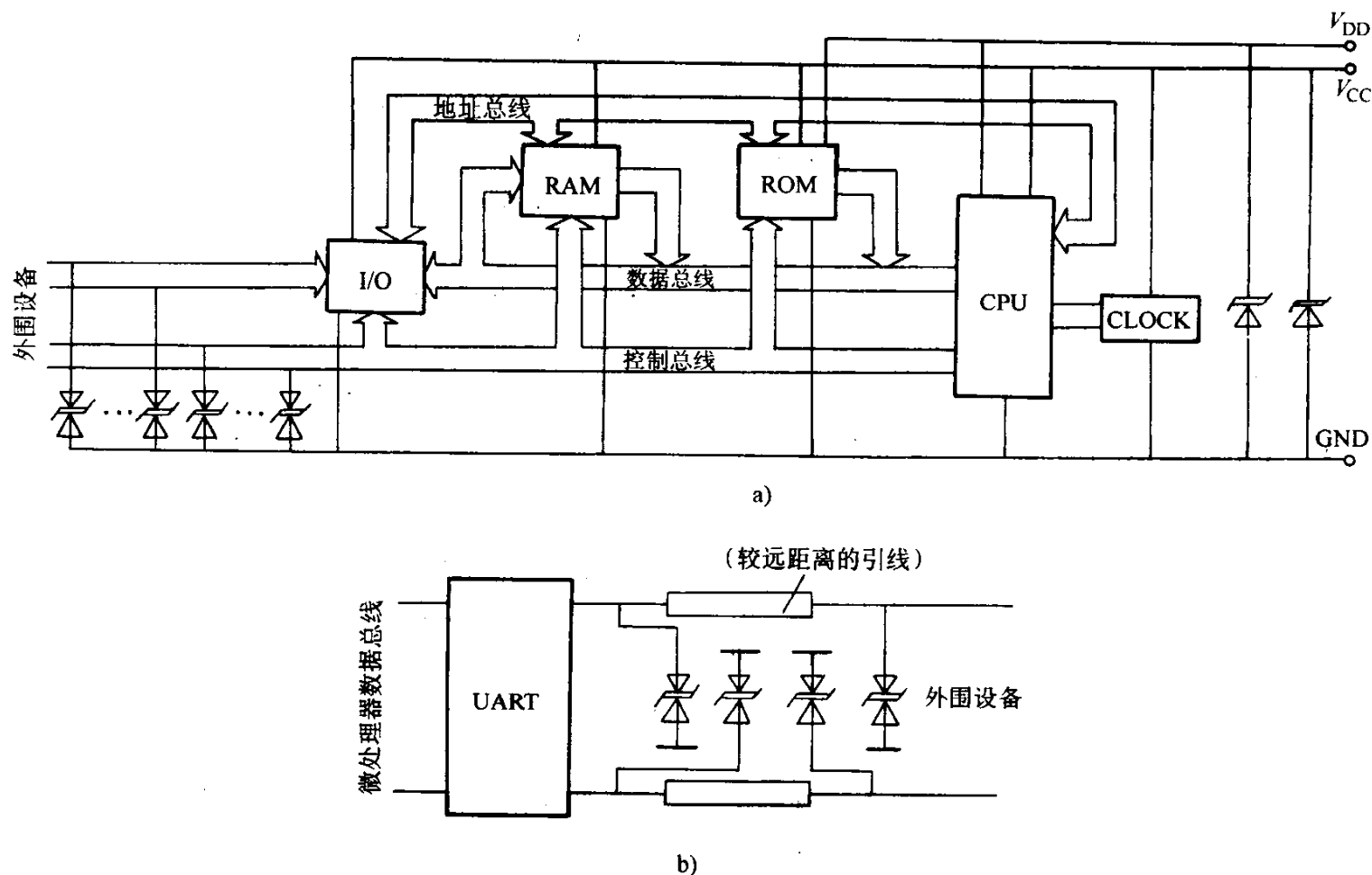


图 1-5 TVS 用于计算机系统时接线

a) 计算机电路的保护方法 b) TVS 在计算机中的应用

4. MOSFET 的保护

TVS 作 MOSFET 的保护如图 1-6 所示。

5. 集成电路保护

TVS 作集成电路输入端及输出端的保护方法如图 1-7 所示。

6. 电机和继电器保护

TVS 作电机和继电器的保护电路如图 1-8 所示。

7. 通信线路终端设备的保护

在通信线路的终端, 接入 TVS (见图 1-9), 可有效地抑制长途线路因雷击和强电线路干扰对通信终端设备造成的破坏。

根据各种设备的实际情况, 可选用不同功率的 TVS:

额定功率 500W: SA 系列

额定功率 600W: P6KE、SMBJ 系列

额定功率 1500W: 1N5629~1N6389、1.5KE、LC、LCE 系列

额定功率 5000W: 5KP 系列

额定功率 15000W: 15KPA、15KP 系列

这些 TVS 的详细参数和封装形式将在 1.5~1.7 节中给出, 参照本节介绍的选用准则及后续各节介绍的参数, 便可以轻松地选择 TVS 型号。

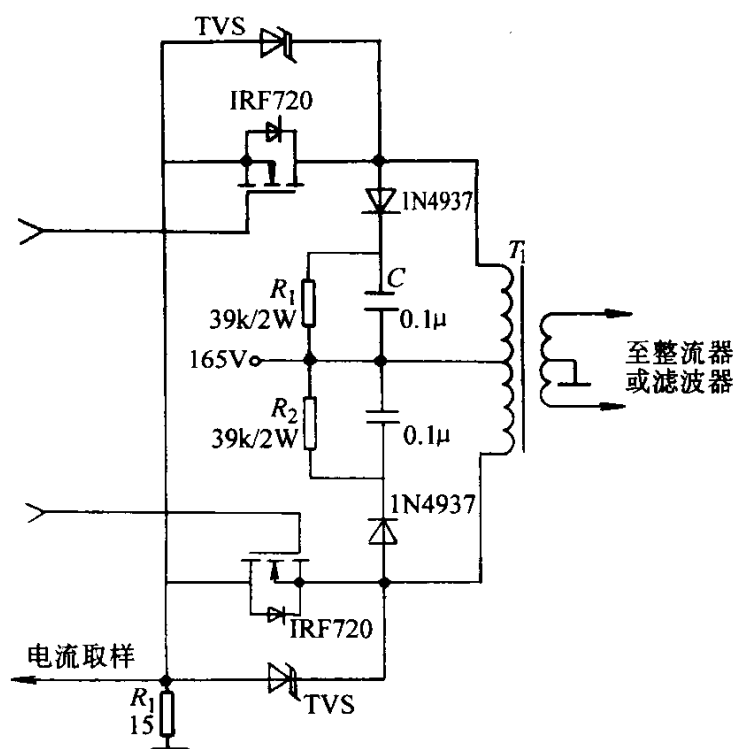


图 1-6 MOSFET 保护

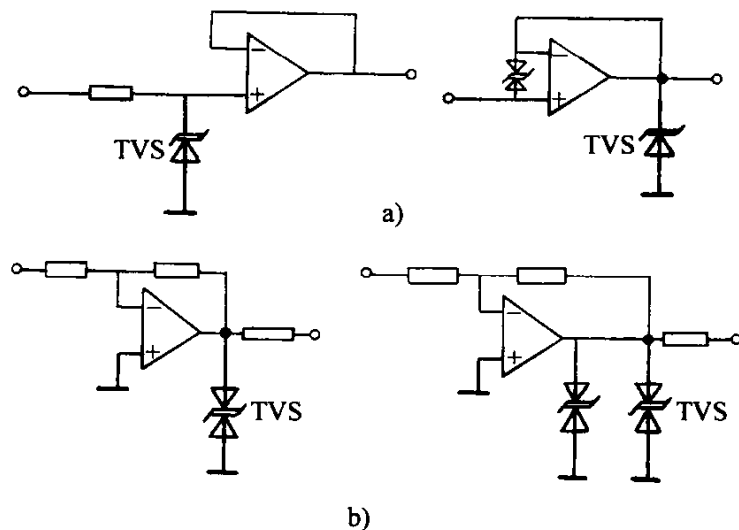


图 1-7 集成电路保护

a) 信号输入端的保护方法 b) IC 输出端的保护方法

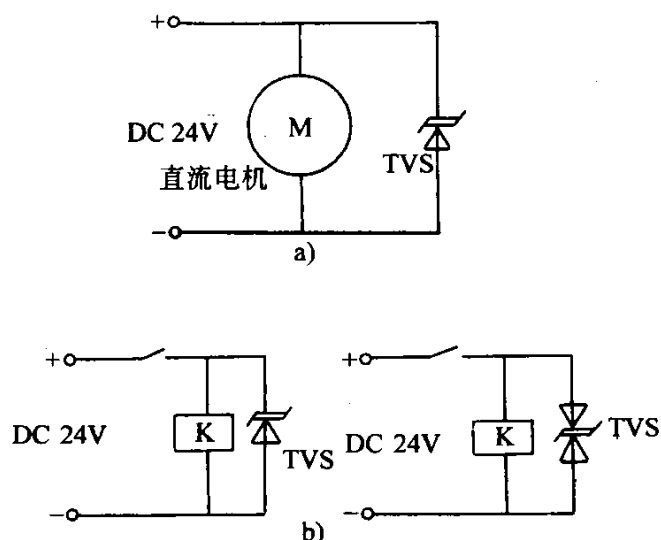


图 1-8 TVS 作电机和继电器的保护电路

a) 电机电磁波干扰的抑制方法 b) 继电器及接触器所产生噪声的抑制方法

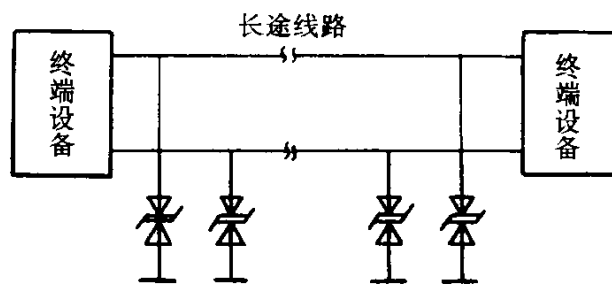


图 1-9 通信终端保护方法

1.5 圆柱形封装的 TVS

美国 PROTEK 公司在 TVS 的研究开发方面处于世界先进行列,本节在前面介绍 TVS 二极管特性和原理、参数定义与极限参数的基础上,简介 PROTEK 公司至今生产并商品化的 TVS 的封装外形、设计特点和应用领域,以满足我国电力电子设备设计和研究开发人员选型的需要。

1.5.1 圆柱形封装的 400W TVS

圆柱形封装的 400W TVS 的标准型号为 P4KA $\times$ $\times$,其中,P 为 PROTEK 公司的标准序号,4kA 代表 400W, $\times$ $\times$ 两位随击穿电压等参数的不同而不同,应补充说明的是,外形尺寸中若给出两个尺寸,则表示最大和最小值。

1. 封装形式

圆柱形封装的 400W TVS 的封装形式与普通圆柱型塑封二极管相同,它采用 DO-204AL 封装,其外形如图 1-10 所示。

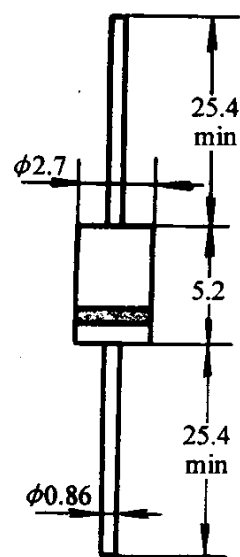


图 1-10 圆柱形封装的 400W TVS 的外形

2. 主要设计特点

- 1) 采用 94V-0 型快速燃烧塑料封装。
- 2) 使用中需加防护罩。
- 3) 采用获专利的钝性氧化物 PARTM单片结构。

4) 极好的钳位能力。

5) 浪涌电阻为负温度系数特性。

6) 响应时间极快, 典型值为当其两端电压从 $0 \sim V_{BR}$ 变化时, 响应时间为 1.0ps (10^{-9}s)。

7) 反向漏电流极小, 对 $V_{BR} \geq 10\text{V}$ 的 TVS, 漏电流 I_D 典型值仅 $1.0\mu\text{A}$ 。

8) 引脚可承受焊接时间在 10s 以内的 300°C 的焊

接温度。

3. 电参数和限制

(1) 最大额定值 圆柱形封装的 400W TVS 的最大额定值参数见表 1-2。

(2) 电特性参数 圆柱形封装的 400W P4KA 系列 TVS 在 25°C 时的电特性参数见表 1-3。

表 1-2 圆柱形封装的 400W TVS 的最大额定值参数

符 号	参 数 定 义	数 值	单 位
P_{PPM}	波形为 $10/1000\mu\text{s}$ 、波形重复率为 0.01% 时的最大峰值脉冲功耗	最小 400	W
I_{PPM}	波形为 $10/1000\mu\text{s}$ 时的最大峰值脉冲电流	随系列不同(见表 1-3)	A
$P_{M(AV)}$	稳态功耗	1.0	W
I_{FSM}	额定负载条件下, 8.3ms 单正弦半波时允许的峰值正向冲击电流	40.0	A
V_F	25A 电流时的最大正向瞬态压降	3.5	V
T_j, T_{stg}	工作结温和贮存温度范围	$-65 \sim +185$	$^\circ\text{C}$

表 1-3 P4KA 系列 TVS 的电特性参数

型 号	击穿电压 $V_{BR}/\text{V}^{\text{①}}$		试验 电流 I_T/mA	额定关断电 压 V_{WM}/V	最大反向漏 电流 $I_D/\mu\text{A}$ ($@V_{WM}$) ^②	最大反向漏 电流 $I_D/\mu\text{A}$ ($@V_{WM}$, $@T_j=150^\circ\text{C}$)	最大峰值脉 冲电流 I_{PPM}/A	最高限幅电 压 V_C/V ($@I_{PPM}$)	V_{BR} 的最大温 度系数 / $(\%/^\circ\text{C})$
	最小值	最大值							
P4KA6.8	6.12	7.48	10.0	5.50	300	1000	37.0	10.8	0.057
P4KA6.8A	6.45	7.14	10.0	5.80	300	1000	38.1	10.5	0.057
P4KA7.5	6.75	8.25	10.0	6.05	150	500	34.2	11.7	0.060
P4KA7.5A	7.13	7.88	10.0	6.40	150	500	35.4	11.3	0.061
P4KA8.2	7.38	9.02	10.0	6.63	50.0	200	32.0	12.5	0.065
P4KA8.2A	7.79	8.61	10.0	7.02	50.0	200	33.1	12.1	0.065
P4KA9.1	8.19	10.0	1.0	7.37	10.0	50.0	29.0	13.8	0.068
P4KA9.1A	8.65	9.55	1.0	7.78	10.0	50.0	29.9	13.4	0.068
P4KA10	9.00	11.0	1.0	8.10	5.0	20.0	26.7	15.0	0.073
P4KA10A	9.50	10.5	1.0	8.55	5.0	20.0	27.6	14.5	0.073
P4KA11	9.90	12.1	1.0	8.92	2.0	10.0	24.7	16.2	0.075
P4KA11A	10.5	11.6	1.0	9.40	2.0	10.0	25.6	15.6	0.075
P4KA12	10.8	13.2	1.0	9.72	1.0	10.0	23.1	17.3	0.076
P4KA12A	11.4	12.6	1.0	10.2	1.0	10.0	24.0	16.7	0.078
P4KA13	11.7	14.3	1.0	10.5	1.0	10.0	21.1	19.0	0.081
P4KA13A	12.4	13.7	1.0	11.1	1.0	10.0	22.0	18.2	0.081
P4KA15	13.5	16.3	1.0	12.1	1.0	10.0	18.2	22.0	0.084
P4KA15A	14.3	15.8	1.0	12.8	1.0	10.0	18.9	21.2	0.084
P4KA16	14.4	17.6	1.0	12.9	1.0	10.0	17.0	23.5	0.086
P4KA16A	15.2	16.8	1.0	13.6	1.0	10.0	17.8	22.5	0.086

(续)

型 号	击穿电压 V_{BR}/V ①		试验 电流 I_T/mA	额定关断电 压 V_{WM}/V	最大反向漏 电流 $I_D/\mu A$ ($@V_{WM}$)②	最大反向漏 电流 $I_D/\mu A$ ($@V_{WM}$, $@T_j=150^\circ C$)	最大峰值脉 冲电流 I_{PPM}/A	最高限幅电 压 V_O/V ($@I_{PPM}$)	V_{BR} 的最大温 度系数 ($\%/^\circ C$)
	最小值	最大值							
P4KA18	16.2	19.8	1.0	14.5	1.0	10.0	15.1	26.5	0.088
P4KA18A	17.1	18.9	1.0	15.3	1.0	10.0	15.9	25.5	0.088
P4KA20	18.0	22.0	1.0	16.2	1.0	10.0	13.7	29.1	0.090
P4KA20A	19.0	21.0	1.0	17.0	1.0	10.0	14.4	27.7	0.0903
P4KA22	19.8	24.2	1.0	17.8	1.0	10.0	12.5	31.9	0.092
P4KA22A	20.9	23.1	1.0	18.8	1.0	10.0	13.1	30.6	0.092
P4KA24	21.6	26.4	1.0	19.4	1.0	10.0	11.5	34.2	0.094
P4KA24A	22.8	25.2	1.0	20.5	1.0	10.0	12.0	33.2	0.094
P4KA27	24.3	29.7	1.0	21.8	1.0	10.0	10.2	39.1	0.096
P4KA27A	25.7	28.4	1.0	23.1	1.0	10.0	10.7	37.5	0.096
P4KA30	27.0	33.0	1.0	24.3	1.0	10.0	9.2	43.5	0.097
P4KA30A	28.5	31.5	1.0	25.6	1.0	10.0	9.7	41.4	0.097
P4KA33	29.7	36.3	1.0	26.8	1.0	10.0	8.4	47.7	0.098
P4KA33A	31.4	34.7	1.0	28.2	1.0	10.0	8.8	45.7	0.098
P4KA36	32.4	39.6	1.0	29.1	1.0	10.0	7.7	52.0	0.099
P4KA36A	34.2	37.8	1.0	30.8	1.0	10.0	8.0	49.9	0.099
P4KA39	35.1	42.9	1.0	31.6	1.0	10.0	7.1	56.4	0.100
P4KA39A	37.1	41.0	1.0	33.3	1.0	10.0	7.4	53.9	0.100
P4KA43	38.7	47.3	1.0	34.8	1.0	10.0	6.5	61.9	0.101
P4KA43A	40.9	45.2	1.0	36.8	1.0	10.0	6.7	59.3	0.101

① V_{BR} 在 $300\mu s$ 脉宽方波电流条件下测得。

② 表中@表示测试条件(下同)。

1.5.2 圆柱形封装的 500W TVS

圆柱形封装的 500W TVS 是单向瞬态电压抑制器, 系列型号分为 SAC 和 SA 两种。

1. 封装形式及内部结构原理

SA 系列和 SAC 系列 TVS 均采用标准圆柱形 DO-204AC 封装, 图 1-11 给出了其封装外形与内部结构原理。

2. 主要设计特点

1) 采用满足 UL94V-0 标准规定的速燃性要求的塑料外壳封装。

2) 应用玻璃钝化工艺制作。

3) 有极好的电压钳位能力。

4) 浪涌电阻为负温度系数特性。

5) 响应时间快, 从 $0 \sim V_{BR}$ 的钳位延迟时间仅 $1.0 \times 10^{-9}s$ 。

6) 是数据线的理想器件。

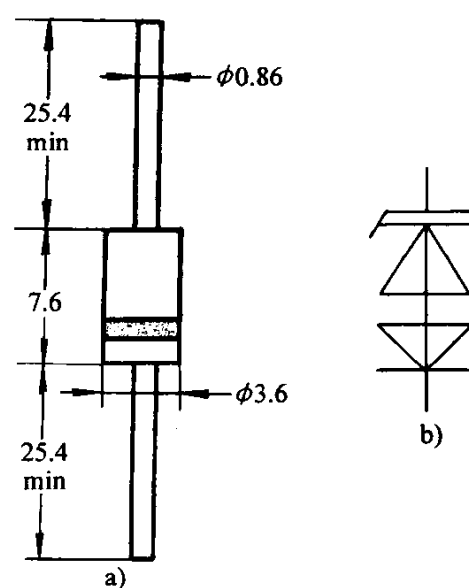


图 1-11 SAC 系列 TVS 的封装外形与内部结构

a) 封装外形 b) 内部结构

7) 焊接时间小于 10s 时, 引脚允许承受 $265^\circ C$ 的焊接温度。

3. 极限参数

1) 波形为 10/1000 μ s、环境温度为 25℃ 时允许的
最大脉冲功耗 P_{PPM} : 500W

2) 引线温度为 $T_L=75^\circ\text{C}$ 、引线长度为 9.5mm 时的
稳态功耗 $P_{M(AV)}$: 3.0W

3) 工作温度 T_A 和贮存温度范围 T_{stg} : $-55\sim+175^\circ\text{C}$

4. 主要电参数

圆柱形封装的 500W SA 系列和 SAC 系列 TVS
在环境温度为 25℃ 的主要电参数见表 1-4。

表 1-4 SA 系列和 SAC 系列 TVS 的主要电参数

型 号	额定关断 电压 V_{WM}/V	最小击穿 电压 $V_{BR}/$ $V(@I_T=$ $1.0\text{mA})$	试验电流 I_T/mA	最大反向 漏电流 $I_D/\mu\text{A}$ $(@V_{WM})$	最大钳 位电压 V_C/V $(@I_{PPM}=$ $5.0\text{A})$	最大峰值 脉冲电流 I_{PPM}/A	最大结电 容/pF $(@V_M=$ $0\text{V})$	反向阻断 工作电压 V_{WIB}/V	反向阻断 漏电流 I_{IB}/mA $(@V_{WIB})$	反向阻断 峰值电压 V_{PIB}/V	V_{BR} 的最 大温度系 数 C_{BR} $/(mV/^\circ\text{C})$
SAC5.0	5.0	7.60	1.0	300	10.0	44	50	75	1.0	100	
SAC6.0	6.0	7.90	1.0	300	11.2	41	50	75	1.0	100	
SAC7.0	7.0	8.33	1.0	300	12.6	38	50	75	1.0	100	
SAC8.0	8.0	8.89	1.0	100	13.4	36	50	75	1.0	100	
SAC8.5	8.5	9.44	1.0	50	14.0	34	50	75	1.0	100	
SAC10	10	11.10	1.0	5.0	16.3	29	50	75	1.0	100	
SAC12	12	13.30	1.0	5.0	19.0	25	50	75	1.0	100	
SAC15	15	16.70	1.0	5.0	23.6	20	50	75	1.0	100	
SAC18	18	20.00	1.0	5.0	28.8	15	50	75	1.0	100	
SAC22	22	24.40	1.0	5.0	35.4	14	50	75	1.0	100	
SAC26	26	28.90	1.0	5.0	42.3	11.1	50	75	1.0	100	
SAC30	30	33.30	1.0	5.0	48.6	10.0	50	75	1.0	100	
SAC36	36	40.00	1.0	5.0	60.0	8.6	50	75	1.0	100	
SAC45	45	50.00	1.0	5.0	77.0	6.8	50	150	1.0	200	
SAC50	50	55.50	1.0	5.0	88.0	5.8	50	150	1.0	200	
SA5.0	5.0	6.40	10	600	52.1	9.6					5.0
SA5.0A	5.0	6.40	10	600	54.3	9.2					5.0
SA6.0	6.0	6.67	10	600	43.9	11.4					5.0
SA6.0A	6.0	6.67	10	600	48.5	10.3					5.0
SA6.5	6.5	7.22	10	400	40.7	12.3					5.0
SA6.5A	6.5	7.22	10	400	44.7	11.2					5.0
SA7.0	7.0	7.78	10	150	37.6	13.3					6.0
SA7.0A	7.0	7.78	10	150	41.7	12.0					6.0
SA7.5	7.5	8.33	1.0	50	35.0	14.3					7.0
SA7.5A	7.5	8.33	1.0	50	38.8	12.9					7.0
SA8.0	8.0	8.89	1.0	25	33.3	15.0					7.0
SA8.0A	8.0	8.89	1.0	25	36.8	13.6					7.0
SA8.5	8.5	9.44	1.0	10	31.4	15.9					8.0
SA8.5A	8.5	9.44	1.0	10	34.7	14.4					8.0

(续)

型 号	额定关断 电压 V_{WM}/V	最小击穿 电压 $V_{BR}/$ $V(@I_T=$ $1.0mA)$	试验电流 I_T/mA	最大反向 漏电流 $I_D/\mu A$ $(@V_{WM})$	最大钳 位电压 V_C/V $(@I_{PPM}=$ $5.0A)$	最大峰值 脉冲电流 I_{PPM}/A	最大结电 容/pF $(@V_M=$ $0V)$	反向阻断 工作电压 V_{WIB}/V	反向阻断 漏电流 I_{IB}/mA $(@V_{WIB})$	反向阻断 峰值电压 V_{PIB}/V	V_{BR} 的最 大温度系 数 C_{BR} $/(mV/^{\circ}C)$
SA9.0	9.0	10.0	1.0	5.0	29.6	16.9					9.0
SA9.0A	9.0	10.0	1.0	5.0	32.5	15.4					9.0
SA10	10.0	11.1	1.0	1.0	26.6	18.8					10.0
SA10A	10.0	11.1	1.0	1.0	29.4	17.0					10.0
SA11	11.0	12.2	1.0	1.0	24.9	20.1					11.0
SA11A	11.0	12.2	1.0	1.0	27.5	18.2					11.0
SA12	12.0	13.3	1.0	1.0	22.7	22.0					12.0
SA12A	12.0	13.3	1.0	1.0	25.1	19.9					12.0
SA13	13.0	14.4	1.0	1.0	21.0	23.8					13.0
SA13A	13.0	14.4	1.0	1.0	23.3	21.5					13.0
SA14	14.0	15.6	1.0	1.0	19.4	25.8					14.0
SA14A	14.0	15.6	1.0	1.0	21.6	23.2					14.0
SA15	15.0	16.7	1.0	1.0	18.6	26.9					16.0
SA15A	15.0	16.7	1.0	1.0	20.5	24.4					16.0
SA16	16.0	17.8	1.0	1.0	17.4	28.8					19.0
SA16A	16.0	17.8	1.0	1.0	19.2	26.0					17.0
SA17	17.0	18.9	1.0	1.0	16.4	30.5					20.0
SA17A	17.0	18.9	1.0	1.0	18.1	27.6					19.0
SA18	18.0	20.0	1.0	1.0	15.5	32.2					21.0
SA18A	18.0	20.0	1.0	1.0	17.1	29.2					20.0
SA20	20.0	22.2	1.0	1.0	14.0	35.8					25.0
SA20A	20.0	22.2	1.0	1.0	15.4	32.4					23.0
SA22	22.0	24.4	1.0	1.0	22.7	39.4					28.0
SA22A	22.0	24.4	1.0	1.0	14.1	35.5					25.0
SA24	24.0	26.7	1.0	1.0	11.6	43.0					31.0
SA24A	24.0	26.7	1.0	1.0	12.9	38.9					28.0
SA26	26.0	28.9	1.0	1.0	10.7	46.6					31.0
SA26A	26.0	28.9	1.0	1.0	11.9	42.1					30.0
SA28	28.0	31.1	1.0	1.0	10.0	50.1					35.0
SA28A	28.0	31.1	1.0	1.0	11.0	45.4					31.0
SA30	30.0	33.3	1.0	1.0	9.3	53.5					39.0
SA30A	30.0	33.3	1.0	1.0	10	48.4					36.0
SA33	33.0	36.7	1.0	1.0	8.5	59.0					42.0

(续)

型 号	额定关断 电压 V_{WM}/V	最小击穿 电压 $V_{BR}/$ $V(@I_T=$ $1.0mA)$	试验电流 I_T/mA	最大反向 漏电流 $I_D/\mu A$ $(@V_{WM})$	最大钳 位电压 V_C/V $(@I_{PPM}=$ $5.0A)$	最大峰值 脉冲电流 I_{PPM}/A	最大结电 容/pF $(@V_M=$ $0V)$	反向阻断 工作电压 V_{WIB}/V	反向阻断 漏电流 I_{IB}/mA $(@V_{WIB})$	反向阻断 峰值电压 V_{PIB}/V	V_{BR} 的最 大温度系 数 C_{BR} $/(mV/^{\circ}C)$
SA33A	33.0	36.7	1.0	1.0	9.4	53.3					39.0
SA36	36.0	40.0	1.0	1.0	7.8	64.3					46.0
SA36A	36.0	40.0	1.0	1.0	8.6	58.1					41.0
SA40	40.0	44.4	1.0	1.0	7.0	71.4					51.0
SA40A	40.0	44.4	1.0	1.0	7.8	64.5					46.0
SA43	43.0	47.8	1.0	1.0	76.7	6.5					55.0
SA43A	43.0	47.8	1.0	1.0	69.4	7.2					50.0
SA45	45.0	50.0	1.0	1.0	80.3	6.2					58.0
SA45A	45.0	50.0	1.0	1.0	72.7	6.9					52.0
SA48	48.0	53.3	1.0	1.0	85.5	5.8					63.0
SA48A	48.0	53.3	1.0	1.0	77.4	6.5					56.0
SA51	51.0	56.7	1.0	1.0	91.1	5.5					66.0
SA51A	51.0	56.7	1.0	1.0	82.4	6.1					61.0
SA54	54.0	60.0	1.0	1.0	96.3	5.2					71.0
SA54A	54.0	60.0	1.0	1.0	87.1	5.7					65.0
SA58	58.0	64.4	1.0	1.0	103	4.9					78.0
SA58A	58.0	64.4	1.0	1.0	93.6	5.3					70.0
SA60	60.0	66.7	1.0	1.0	107	4.7					80.0
SA60A	60.0	66.7	1.0	1.0	96.8	5.2					71.0
SA64	64.0	71.1	1.0	1.0	114	4.4					86.0
SA64A	64.0	71.1	1.0	1.0	103	4.9					76.0
SA70	70.0	77.8	1.0	1.0	125	4.0					94.0
SA70A	70.0	77.8	1.0	1.0	113	4.4					85.0
SA75	75.0	83.3	1.0	1.0	134	3.7					101
SA75A	75.0	83.3	1.0	1.0	121	4.1					91.0
SA78	78.0	86.7	1.0	1.0	139	3.6					105
SA78A	78.0	86.7	1.0	1.0	126	4.0					95.0
SA85	85.0	94.4	1.0	1.0	151	3.3					114
SA85A	85.0	94.4	1.0	1.0	137	3.6					103
SA90	90.0	100	1.0	1.0	160	3.1					121
SA90A	90.0	100	1.0	1.0	146	3.4					110
SA100	100	111	1.0	1.0	179	2.8					135