

特种半导体器件及其应用

杨荫彪 穆云书 编著

電子工業出版社

(京)新登字055号

内 容 简 介

本书着重从应用角度介绍各种特种半导体器件的结构、工作原理、主要参数及应用举例,重点在应用。内容包括稳压二极管、恒流二极管、可调恒流管、集成电路恒流管、单结晶体管、可编程单结晶体管、变容二极管、阶跃恢复二极管、雪崩二极管和雪崩晶体管、隧道二极管、肖特基势垒二极管、PIN二极管、耿效应器件、半导体发光器件、负阻晶体管、半导体光敏器件、热敏电阻器、半导体力敏器件、半导体压敏电阻器、半导体磁敏元件、半导体气敏元件、半导体湿敏元件、特殊可控硅、半导体色敏器件、半导体致冷器件和离子敏器件等。各章后均附有典型器件的主要参数。

本书内容深入浅出、简明扼要,可供电子技术、自动化等工程技术人员阅读,亦可供大中专院校有关专业师生参考。

特种半导体器件及其应用

杨荫彪 穆云书 编著

责任编辑 王昌喜

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

山东电子工业印刷厂印刷(淄博市周村)

*

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 20.125 字数: 496千字

1991年12月第1版 1991年12月第1次印刷

印数: 1—4000册 定价: 14.50元

ISBN 7-5053-1506-4/TN·435

前 言

我们把通用半导体二极管、双极型半导体三极管、场效应晶体管、普通可控硅、通用模拟和数字集成电路以外的半导体器件称为特种半导体器件。

截止到目前，面世的特种半导体器件已达几十种之多。它们广泛地应用于仪器仪表、工业自动化、广播通讯、非电量检测、空间技术、家用电器、医疗监护等各个领域。特种半导体器件具有通用半导体器件所不具备的功能和特性，有时是组成某些电子电路或装置时必不可少的。巧妙地使用特种半导体器件可以提高产品的性能，降低成本。因此，其重要性正在与日俱增。

作者认为，以不太多的篇幅简明扼要、深入浅出地介绍二十几种特种半导体器件的工作原理、特性和应用，使读者以较短的时间广泛地了解多种特种半导体器件以便正确地选用，将是一种有益的尝试。本书对器件的工作原理只作简单介绍，重点放在器件的应用上。所选器件既有比较成熟的，也包括近年来发展起来的，使内容既有一定的先进性，又有较强的实用性。书中还提供了一些典型器件的特性参数，以方便读者选用。

本书的编写得到了清华大学闫石教授和河北机电学院李友善教授的热情支持。作者对以上同志表示衷心感谢。此外，在编写本书过程中还参阅了许多书籍、杂志及其他资料，在此，我们对有关作者和资料的提供者表示谢意。

本书第一章至第十六章、第十九章、第二十章由杨荫彪编写，穆云书审阅；第十七章和第十八章由穆云书编写，杨荫彪审阅。全书由杨荫彪统稿。

由于作者水平有限，再加上本书所论及的若干种特种半导体器件所需之基础知识和应用，涉及面都极为广泛，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

1990年8月

目 录

第一章 稳压二极管	(1)
§ 1.1 稳压二极管的工作原理和特性	(1)
一、稳压二极管的工作原理	(1)
二、稳压二极管的伏安特性	(1)
三、稳压二极管的主要参数	(2)
§ 1.2 稳压二极管的应用	(3)
一、基准电压源	(3)
二、保护电路	(5)
三、限幅	(6)
四、电平转移和放大器的级间耦合	(8)
五、信号选择	(9)
六、退耦电路	(9)
七、检波电路	(9)
附表1.1 典型稳压管的主要参数	(11)
附表1.2 瞬变电压抑制二极管的规格及主要参数	(12)
第二章 恒流二极管	(13)
§ 2.1 恒流二极管的工作原理及特性	(13)
一、工作原理	(13)
二、特性参数	(13)
§ 2.2 恒流二极管的应用	(15)
一、恒流源	(15)
二、提高差动放大器的共模抑制比	(18)
三、恒流管在直流稳压电路中的应用	(18)
四、恒流管用于波形发生与变换	(19)
五、恒流管用于限流保护	(20)
§ 2.3 可调恒流管	(20)
一、可调恒流管的伏安特性和参数	(20)
二、可调恒流管的应用	(21)
§ 2.4 集成电路恒流管	(21)
附表2.1 一些恒流二极管的主要参数	(23)
附表2.2 恒流结型场效应晶体管主要特性参数	(25)
附表2.3 4DH2型恒流管的主要参数	(25)
第三章 单结晶体管	(26)
§ 3.1 单结晶体管的工作原理和特性	(26)
一、单结晶体管(UJT)的结构	(26)
二、单结晶体管的工作原理和特性	(26)
三、单结晶体管的主要参数	(28)

§ 3.2 单结晶体管的应用	(28)
一、单结晶体管弛张振荡器	(28)
二、单结晶体管单稳态触发器	(33)
三、单结晶体管正弦波振荡器	(33)
§ 3.3 可编程单结晶体管(PUT)	(34)
一、PUT 的工作原理	(34)
二、PUT 的应用	(34)
附表3.1 一些单结晶体管的主要参数	(36)
第四章 变容二极管和阶跃恢复二极管	(37)
§ 4.1 变容二极管的工作原理及特性	(37)
一、二极管的电容效应	(37)
二、变容二极管	(38)
§ 4.2 变容二极管的应用	(39)
一、自动频率控制	(40)
二、电子调谐	(40)
三、调频	(41)
四、变容二极管调相电路	(43)
五、变容二极管在参量电路中的应用	(44)
§ 4.3 阶跃恢复二极管及其应用	(47)
一、阶跃恢复二极管及其特性参数	(47)
二、阶跃恢复二极管的应用	(48)
附表4.1 一些变容二极管的主要参数	(51)
附表4.2 阶跃恢复二极管的主要参数	(52)
第五章 雪崩二极管和雪崩晶体管	(53)
§ 5.1 雪崩二极管的工作原理及应用	(53)
一、雪崩二极管的工作原理及特性参数	(53)
二、雪崩二极管的应用	(54)
§ 5.2 雪崩晶体管及其应用	(55)
一、雪崩晶体管的工作原理	(55)
二、雪崩晶体管的应用	(56)
附表5.1 一些雪崩二极管的主要参数	(59)
附表5.2 雪崩晶体管主要参数	(60)
第六章 隧道二极管	(61)
§ 6.1 隧道二极管的工作原理和特性	(61)
一、隧道效应	(61)
二、隧道二极管的伏安特性	(61)
三、隧道二极管的主要参数	(63)
四、反向二极管	(63)
§ 6.2 隧道二极管的应用	(64)
一、正弦波振荡器	(64)
二、多谐振荡器	(66)
三、单稳态触发器和双稳态触发器	(68)

四、隧道二极管放大器	(70)
五、隧道二极管串联谐振放大器	(71)
六、隧道二极管变频器	(73)
七、隧道二极管开关电路	(73)
八、隧道二极管门电路	(74)
九、隧道二极管和晶体管的混合电路	(75)
十、隧道二极管用于过载保护电路	(78)
附表6.1 一些隧道二极管的主要参数	(79)
第七章 肖特基势垒二极管	(80)
§ 7.1 肖特基势垒二极管的工作原理及特性	(80)
一、结构	(80)
二、工作原理及特性	(80)
§ 7.2 肖特基势垒二极管的应用	(82)
一、高速逻辑电路用钳位二极管	(82)
二、肖特基二极管检波电路	(83)
三、肖特基二极管作为高频变容管	(84)
附表7.1 一些肖特基势垒二极管的主要参数	(85)
第八章 PIN 二极管	(86)
§ 8.1 PIN二极管的工作原理与特性	(86)
一、PIN二极管的结构	(86)
二、PIN二极管的工作原理与特性	(86)
§ 8.2 PIN二极管的应用	(87)
一、PIN二极管开关	(87)
二、PIN管用作高频电子衰减器	(87)
附表8.1 一些PIN二极管的主要参数	(89)
第九章 耿效应器件	(90)
§ 9.1 耿效应器件	(90)
一、砷化镓(GaAs)的负阻现象	(90)
二、耿效应器件的工作模式	(91)
三、耿效应二极管	(93)
四、耿效应逻辑与脉冲器件	(93)
§ 9.2 耿效应器件的应用	(94)
一、LSA振荡器	(94)
二、外部调谐形耿氏二极管	(94)
三、耿效应器件微波功率放大器	(94)
附表9.1 耿效应二极管的主要参数	(96)
第十章 半导体发光器件	(97)
§ 10.1 半导体发光二极管(LED)的工作原理及特性	(97)
一、发光二极管的结构与发光机理	(97)
二、发光二极管的特性	(97)
三、发光二极管的驱动	(99)
§ 10.2 半导体发光二极管的应用	(103)

一、指示用光源	(103)
二、电源指示灯	(103)
三、电压越限报警	(103)
四、闪光电路	(103)
五、变色发光二极管的应用例	(104)
六、发光二极管作为光电开关的光辐射源	(105)
七、发光二极管用于机器运行状态的检测	(106)
附表10.1 一单元发光二极管的主要参数	(107)
附表10.2 多单元发光二极管的主要参数	(109)
附表10.3 红外发光二极管的主要参数	(110)
附表10.4 LED数码显示器主要参数	(111)
附表10.5 液晶数码显示器主要参数	(112)
附表10.6 CMOS-LED组合器件主要参数	(112)
第十一章 负阻晶体管	(113)
§ 11.1 双向负阻晶体管	(113)
一、双向负阻晶体管(BNRT)的基本工作原理	(113)
二、BNRT的特性参数	(114)
三、BNRT的特点	(114)
§ 11.2 双向负阻晶体管的应用	(115)
一、BNRT高速基本脉冲电路	(115)
二、BNRT电压-频率变换器	(116)
三、BNRT锯齿波电压发生器	(116)
四、BNRT分频器	(117)
附表11.1 双向负阻晶体管的主要参数	(118)
第十二章 半导体光敏器件	(119)
§ 12.1 光敏器件的基础知识	(119)
一、光电导效应	(119)
二、光生伏特效应	(119)
三、光敏器件的基本特性	(119)
§ 12.2 光敏器件	(120)
一、光敏电阻	(120)
二、光敏二极管	(122)
三、光敏三极管	(124)
四、光敏场效应管	(125)
五、集成光敏器件	(126)
六、光电池	(130)
七、光电耦合器件	(133)
§ 12.3 光敏器件的应用	(135)
一、光敏电阻的应用	(135)
二、光敏二极管的应用	(137)
三、光敏三极管的应用	(139)
四、光电池的应用	(141)
五、光电耦合器的应用	(143)

附表12.1	一单元光敏二极管的主要参数	(153)
附表12.2	一些多单元光敏二极管的主要参数	(154)
附表12.3	一些光敏三极管的主要参数	(155)
附表12.4	一些达林顿光敏三极管的主要参数	(155)
附表12.5	MG41型密封硫化镉光敏电阻器主要参数	(156)
附表12.6	MG42型密封硫化镉光敏电阻器主要参数	(156)
附表12.7	MG43型密封光敏电阻器主要参数	(156)
附表12.8	MG45型非密封光敏电阻器主要参数	(156)
附表12.9	几种光电池的主要参数	(157)
附表12.10	几种二极管输出光耦合器主要参数	(157)
附表12.11	几种三极管输出光耦合器主要参数	(158)
附表12.12	几种低通道光耦合器主要参数	(158)
附表12.13	几种达林顿输出光耦合器主要参数	(159)
附表12.14	几种光电开关的主要参数	(159)
附表12.15	几种光耦合集成电路的主要参数	(159)
第十三章	热敏电阻器	(160)
§ 13.1	热敏电阻器	(160)
一、	热敏电阻器的分类及构造	(160)
二、	热敏电阻器的主要特性	(161)
三、	热敏电阻器的主要参数	(162)
§ 13.2	热敏电阻器的应用	(162)
一、	热敏电阻器的工作点选择	(162)
二、	热敏电阻器用于温度测量	(162)
三、	热敏电阻温度-频率变换器	(165)
四、	热敏电阻温度控制电路	(166)
五、	热敏电阻用于温度补偿	(169)
六、	热敏电阻用于其他物理量的测量	(170)
七、	正温度系数热敏电阻的应用	(171)
附表13.1	几种普通负温度系数热敏电阻器的主要参数	(174)
附表13.2	非浸没型热敏电阻BT1的主要参数	(175)
附表13.3	几种测温型负温度系数热敏电阻器主要参数	(175)
附表13.4	消磁用正温度系数热敏电阻器主要参数	(175)
附表13.5	MZ型补偿用正温度系数热敏电阻器主要参数	(176)
附表13.6	MZ型控温用正温阻热敏电阻器主要参数	(176)
附表13.7	NTC型厚膜热敏电阻器主要参数	(176)
附表13.8	M04型风扇用正温阻热敏电阻器主要参数	(176)
附表13.9	MF31型微波功率测量用热敏电阻器主要参数	(177)
附表13.10	A型低温热敏电阻器主要参数	(177)
附表13.11	M01型高频测温用负温度系数热敏电阻器主要参数	(177)
第十四章	半导体力敏器件	(178)
§ 14.1	半导体应变片	(178)
一、	半导体压阻效应	(178)
二、	半导体应变片的特点、种类和结构	(179)

三、半导体应变片的应用.....	(181)
§ 14.2 半导体力敏二极管和三极管.....	(182)
一、PN 结力敏器件的基本原理.....	(182)
二、半导体力敏二极管.....	(182)
三、半导体力敏三极管.....	(183)
四、结型场效应力敏器件.....	(184)
五、MOSFET 力敏器件.....	(185)
§ 14.3 半导体声电传感元件.....	(186)
附表14.1 几种力敏器件的主要参数.....	(186)
第十五章 半导体压敏电阻器.....	(188)
§ 15.1 半导体压敏电阻器.....	(188)
一、压敏电阻的性质.....	(188)
二、压敏电阻的工作原理.....	(188)
三、压敏电阻器的性能参数.....	(189)
§ 15.2 压敏电阻器的应用.....	(190)
一、电气设备避雷.....	(190)
二、防止操作过电压.....	(190)
三、半导体器件的过电压保护.....	(191)
四、对接触器、继电器的保护.....	(193)
五、稳压电路.....	(193)
六、电压变化倍增电路.....	(193)
七、自动消磁电路.....	(194)
附表15.1 几种压敏电阻器特性参数(一).....	(195)
附表15.2 几种压敏电阻器特性参数(二).....	(195)
附表15.3 几种高压压敏电阻器特性参数.....	(196)
第十六章 半导体磁敏元件.....	(197)
§ 16.1 霍尔元件的工作原理、特性和应用.....	(197)
一、霍尔效应.....	(197)
二、霍尔元件的最大输出功率.....	(199)
三、霍尔元件的主要参数.....	(199)
四、霍尔元件的特性.....	(200)
五、不同材料的霍尔元件的特点.....	(204)
六、霍尔元件的应用.....	(205)
§ 16.2 磁敏电阻器.....	(215)
一、磁阻效应和磁敏电阻器.....	(215)
二、磁敏电阻器的特性.....	(216)
三、磁敏电阻器的应用.....	(217)
§ 16.3 磁敏二极管和磁敏三极管.....	(219)
一、磁敏二极管及其应用.....	(219)
二、磁敏三极管及其应用.....	(221)
附表16.1 几种霍尔元件的主要参数(之一).....	(223)
附表16.2 几种霍尔元件的主要参数(之二).....	(224)
附表16.3 几种磁敏二极管的主要参数.....	(224)

附表16.4 几种磁敏三极管的主要参数	(225)
第十七章 半导体气敏器件和半导体湿敏器件	(226)
§ 17.1 半导体气敏器件	(226)
一、半导体气敏器件的工作原理	(226)
二、半导体气敏器件的结构	(228)
三、半导体气敏器件的特性参数	(233)
四、半导体气敏器件的应用	(234)
§ 17.2 半导体湿敏器件	(236)
一、湿度的表示方法	(237)
二、湿度敏感器件的特性参数	(237)
三、烧结型半导体陶瓷湿度敏感器件	(238)
四、涂覆膜型陶瓷湿度敏感器件	(243)
五、多孔氧化物湿敏器件	(244)
六、结型和 MOS 型湿敏器件	(245)
七、湿敏器件的应用	(245)
附表17.1 QM-J1型酒气半导体气敏器件主要参数	(248)
附表17.2 QM-J2型酒气半导体气敏器件主要参数	(248)
附表17.3 QM-N5型可燃性气体敏感半导体器件主要参数	(249)
附表17.4 3DOH ₁ 气敏三极管主要参数	(249)
附表17.5 3DOH ₃ 氢敏 Pd-MOS 晶体管参数	(249)
附表17.6 几种湿敏电阻器主要特性(一)	(249)
附表17.7 几种湿敏电阻器主要特性(二)	(250)
附表17.8 几种湿敏电阻器主要特性(三)	(250)
附表17.9 几种湿敏电阻器主要特性(四)	(250)
第十八章 特种可控硅	(251)
§ 18.1 高频可控硅	(252)
一、高频可控硅的特性	(252)
二、选用高频可控硅应注意事项	(254)
三、高频可控硅应用举例	(355)
§ 18.2 可关断可控硅(GTO)	(257)
一、可关断可控硅的基本原理	(257)
二、可关断可控硅的特性	(259)
三、GTO的主要参数	(260)
四、GTO的应用举例	(262)
§ 18.3 双向可控硅	(265)
一、双向可控硅的基本结构	(265)
二、双向可控硅的特性曲线	(265)
三、双向可控硅的触发方式	(266)
四、双向可控硅的特性参数	(267)
五、双向可控硅的应用	(268)
§ 18.4 逆导可控硅	(271)
一、逆导可控硅的主要特点和类型	(271)
二、逆导可控硅的主要特性参数	(273)

三、逆导可控硅的应用举例·····	(273)
§ 18.5 光控可控硅·····	(275)
一、光控可控硅的工作原理·····	(275)
二、光控可控硅的特性和参数·····	(276)
三、光控可控硅的应用·····	(277)
附表18.1 快速可控硅主要参数·····	(278)
附表18.2 可关断可控硅主要参数·····	(279)
附表18.3 国产逆导可控硅主要参数·····	(280)
附表18.4 光控可控硅的主要参数·····	(281)
第十九章 半导体色敏器件和半导体致冷器件·····	(282)
§ 19.1 半导体色敏器件及应用·····	(282)
一、半导体色敏器件的结构·····	(282)
二、半导体色敏器件的基本特性和测色原理·····	(283)
三、半导体色敏器件的应用·····	(283)
§ 19.2 半导体致冷器件及应用·····	(285)
一、半导体致冷的工作原理·····	(285)
二、半导体致冷器件的结构·····	(286)
三、半导体致冷器件的特性参数·····	(287)
四、半导体致冷器件的应用·····	(287)
附表19.1 CS-1型半导体硅色敏器件参数·····	(288)
附表19.2 半导体致冷器件主要技术数据(一)·····	(288)
附表19.3 半导体致冷器件主要技术数据(二)·····	(289)
第二十章 半导体离子敏感器件·····	(290)
§ 20.1 半导体离子敏感器件·····	(290)
一、离子敏感器件的基本知识·····	(290)
二、ISFET的结构·····	(290)
三、ISFET测溶液中离子活度的原理·····	(291)
四、ISFET的特性与性能参数·····	(291)
§ 20.2 半导体离子敏器件的应用·····	(293)
附表20.1 几种离子敏半导体器件的主要参数·····	(295)
附表20.2 几种离子敏场效应晶体管主要参数·····	(296)
附录·····	(297)
主要参考文献·····	(307)

第一章 稳压二极管

§ 1.1 稳压二极管的工作原理和特性

一、稳压二极管的工作原理

我们知道, PN结具有单向导电的特性, 即在PN结上加正向电压时, PN结电阻很低, 正向电流大, 而且正向电压稍有增加, 正向电流便迅速增大, 这称为PN结处于导通状态; 当在PN结上加反向电压时, PN结电阻很高, 反向电流很小, 反向电压在一定范围内变化时, 反向电流几乎没有变化, 这称为PN结处于截止状态。当加在PN结上的反向电压超过某一电压值(反向击穿电压)时, 反向电流将急剧增大。这种现象称为PN结的反向击穿。反向击穿的特征是, 随着反向电流的急剧增加, PN结上的反向电压值却增加很少。稳压二极管即是利用这种反向击穿的特性制成的。当然, 如果在外电路中, 对反向电流的增加不加限制, PN结将迅速烧毁。

击穿的发生是因为加在PN结耗尽层上的高电场所引起的。如同空气的击穿电场为 20kV/cm 一样, 半导体的击穿电场为 200kV/cm 或者更大些。严格地讲, 存在着两种类型的击穿, 即雪崩击穿和齐纳击穿。

当加给PN结的反向电压足够高时(如超过 6V), PN结中内电场较强, 使参加漂移运动的载流子加速。当它们与中性原子相撞时, 就可能使中性原子中的价电子受到激发, 产生新的电子空穴对。这些新的载流子又被加速, 形成连锁反应, 从而造成载流子的剧增, 使反向电流“雪崩”般地骤增, 通常称这种击穿为雪崩击穿。这一类击穿发生于PN结的一侧是重掺杂的那种二极管中, 并且击穿电压反比于结的轻掺杂侧的杂质浓度。

对于一些掺杂浓度高的半导体, 它们的PN结空间电荷层或耗尽层很薄, 只要加上不大的反向电压(如在 4V 以下), 耗尽层就可能获得 $2 \times 10^6\text{V/cm}$ 以上的电场强度, 它足以将价电子直接从原子中拉出来, 从而获得很多的电子空穴对, 使得反向电流剧增, 这种现象称为齐纳击穿。

实验证明, 击穿过程中雪崩击穿和齐纳击穿是同时存在的。对于稳压值比较低的稳压管来说, 是属于齐纳击穿的性质; 对于稳压值较高的稳压管, 雪崩击穿是主要的。对于硅稳压二极管来说, 它们的分界大约是从 4V 到 7V , 即 4V 以下的稳压管属于齐纳击穿, 7V 以上的属于雪崩击穿, 而在 4V 到 7V 中间的稳压管则是两种情况都有。

二、稳压二极管的伏安特性

稳压二极管是一种用特殊工艺制造的面结型半导体二极管, 它有两个电极(正极和负极), 外形和普通二极管没有什么区别。图1-1-1(a)是稳压二极管的代表符号, 同图(b)是其伏安特性。该曲线和普通二极管比较, 二者正向特性一样。但普通二极管的反向电流随着反向电压的增加而逐渐增加。当达到击穿电压时, 二极管将击穿损坏。而从稳压管的反向特性看出, 当反向电压小于击穿电压 U_Z (又称稳压管的稳定电压, 对应于曲线中A点的电压)时,

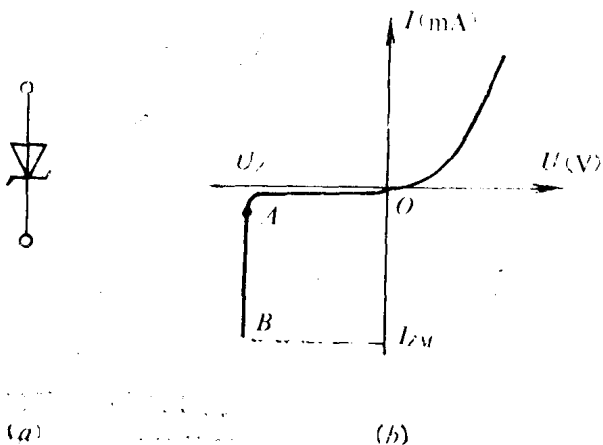


图1-1-1 稳压二极管的伏安特性和代表符号

反向电流极小。但当反向电压增加到 U_Z 后, 反向电流急剧增加。此后, 只要反向电压稍有增加, 反向电流就增加很多, 此时稳压管处于反向击穿状态, 对应于曲线的 AB 段, 称为击穿区。因为采用了不同于普通二极管的制造工艺, 稳压二极管的这种击穿是可逆的, 即去掉外加电压之后, 击穿即可恢复。当然其条件是功率损耗不能超过允许值, 否则, 稳压管也会造成不可逆击穿而损坏。为此, 稳压管必须串联一个适当的限流电阻后再接入电源。

稳压管正常工作时是在伏安特性的反向击穿区 (AB 段), 利用这段电流在很大范围内变化而电压基本恒定的特性来进行稳压。

三、稳压二极管的主要参数

1. 稳定电压 U_Z

U_Z 是稳压管反向击穿后的稳定工作电压值。例如稳压管 2CW1 的稳定电压是 7~8.5V。由于制造工艺不易控制, 同一型号的稳压管, 稳定电压值也有如上的差别。但对每一管子来说, 对应于一定的工作电流却有一个确定的稳定电压值。

2. 稳定电流 I_Z

它是工作电压等于稳定电压时的工作电流。这是稳压管工作时的参考电流值。高于此值时, 只要不超过最大耗散功率, 也可以使用, 而且稳定性还高一些, 只是功率消耗大一些。

3. 动态电阻 r_z

在稳压条件下, 稳压管两端电压变化随电流变化的比值称为动态电阻。由图 1-1-1(b) 中可见, 它和 AB 段的斜率有关。AB 段愈陡, r_z 愈小, 稳压性能愈好, 一般在几个欧姆至几十欧姆之间。同一型号的管子, 当工作电流加大时, 动态电阻减小。

4. 电压温度系数

当稳压管中的电流等于稳定电流时, 温度变化 1°C 时, 稳定电压变化的百分数, 定义为电压温度系数。它是表示稳压管温度稳定性的参数。例如 2CW1 的电压温度系数为 $0.07\%/^\circ\text{C}$, 假设 20°C 时稳定电压 $U_Z = 8\text{V}$, 则 50°C 时稳压值将为:

$$8 + \frac{7}{10000} (50 - 20) \times 8 = 8.168\text{V}$$

电压温度系数越小, 温度稳定性愈好。一般来说, 低于 6V 的管子, 其电压温度系数是负的; 高于 6V 的稳压管, 它的电压温度系数是正的; 而在 6V 附近的管子, 其稳定电压受温度的影响最小。在要求电压的温度稳定性高的场合, 可选用具有温度补偿的稳压管如 2DW7, 它是将两个稳定电压相同的稳压管反向串接制成的。如图 1-1-2 所示。使用时一只管子处于反向工作 (通常具有正温度系数)。另一只管子处于正向工作 (具有负温度系数), 因两只管子在相同的工艺条件下制作在一块硅片上, 具有较好的温度补偿效果。它的正、负极 (1、2) 两

端可以任意连接。其中每只管子利用管脚3又可单独使用。

5. 最大耗散功率 P_M

这是由管子的允许温升限定的最大功率耗散。它定义为管子不致产生热击穿的最大功率损耗 $P_M = U_Z I_{ZM}$ 。已知 P_M 就可以求出最大稳定电流 $I_{ZM} = P_M / U_Z$ ，例如2CW1的额定耗散功率 $P_M = 280\text{mW}$ ， $U_Z = 8.5\text{V}$ ，则最大稳定电流 $I_{ZM} = 280 / 8.5 \approx 33\text{mA}$ 。

目前，稳压管基本上已系列化，稳定电压从1~500V，耗散功率在0.25W~50W范围的品种已齐备。高精度的稳压管(如2DW230~236)的稳定电压温度系数可达 $10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

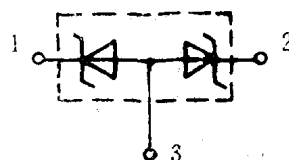


图1-1-2 具有温度补偿的稳压管

§ 1.2 稳压二极管的应用

一、基准电压源

图1-2-1是利用稳压二极管提供基准电压源的电路。经过桥式整流电路整流和电容滤波器滤波得到直流电压 U_0 ，再经过电阻 R 和稳压管 D_Z 组成的稳压电路接到负载 R_L 上。这样，负载上就得到一个比较稳定的电压。

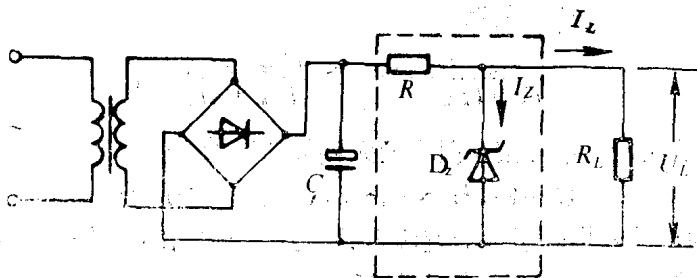


图1-2-1 稳压管稳压电路

引起电压不稳定的原因是交流电源电压的波动及负载电流的变化。图1-2-1的电路是怎样起到稳压作用的呢？例如，当交流电源电压增加而使整流输出电压 U_0 随着增加时，负载电压 U_L 也要增加。 U_L 就是加在稳压管上的反向电压并设此时已处于击穿状态，如图1-1-1(b)曲线的AB段，当 U_L 稍有增加时，稳压管的电流 I_Z 就显著增加，因此电阻 R 上的压降增加，以抵偿 U_0 的增加，从而使负载电压 U_L 保持近似不变。反之，当交流电源电压减小而使 U_0 降低时，负载电压 U_L 也要降低，因而稳压管电流 I_Z 显著减小，电阻 R 上的压降也减小，仍然保持负载电压 U_L 近似不变。同理，当电源电压保持不变而是负载电流变化引起输出电压 U_L 改变时，上述稳压电路仍然能起到稳压作用。例如，若负载电流增大，则电阻 R 上的压降增大，负载电压 U_L 因而下降，只要 U_L 下降一点，稳压管电流就显著减少，通过电阻 R 的电流和电阻上的压降保持近似不变（ I_L 的增加部分几乎和 I_Z 的减小部分相等，使流过 R 的总电流不变），因此负载电压 U_L 也就近似稳定不变。当负载电流减小时，稳压过程相反。

对上述稳压电路中的稳压管 D_Z 和降压电阻 R 应按以下原则选用。

(1) 稳压管的稳定电压应按负载电压选取，即 $U_Z = U_L$ 。如果一只管子的稳压值不够，可用两只以上的稳压管串联。

(2) 选择稳压管的最大稳定电流 I_{zM} 为最大负载电流 I_{LM} 的二倍以上, 即: $I_{zM} \geq 2I_{LM}$ 。

(3) 输入直流电压按下式选取: $U_o = (2 \sim 3)U_L$ 。

(4) 降压电阻 R 的大小应该满足两个条件(两个极端情况): 其一是当整流输出电压最低 ($U_{o\min}$) 而负载电流最大时, 流过稳压管的电流应该不小于稳压管的稳定电流 I_z , 即

$$\frac{U_{o\min} - U_L}{R} - I_{LM} > I_z,$$

由此得到

$$R < \frac{U_{o\min} - U_L}{I_z + I_{LM}}。$$

其二是当整流输出电压最高 ($U_{o\max}$) 而负载电流最小 ($I_{L\min}$) 时, 流过稳压管的电流不应该超过稳压管的最大稳定电流, 即

$$\frac{U_{o\max} - U_L}{R} - I_{L\min} < I_{zM}$$

由此得

$$R > \frac{U_{o\max} - U_L}{I_{zM} + I_{L\min}}。$$

最后得到降压电阻 R 应满足如下关系

$$\frac{U_{o\min} - U_L}{I_z + I_{LM}} > R > \frac{U_{o\max} - U_L}{I_{zM} + I_{L\min}}。$$

(5) 降压电阻的额定功率应按电阻上最大耗散功率的两倍到三倍来选择, 即

$$P \geq (2 \sim 3)I^2R = (2 \sim 3)(U_{o\max} - U_L)^2/R。$$

图1-2-2是一种电动颈推牵引架的直流电源部分。电路采用了经两级稳压管稳压, 以提高输出直流电压的稳定性能。16V的交流电压经桥式整流之后又由两级稳压管稳压, 在2CW13两端得到6V的直流电压。

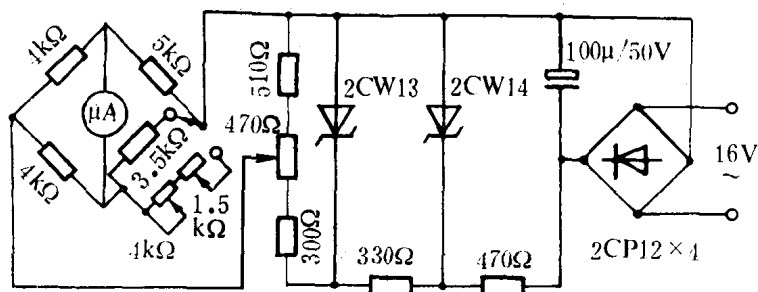


图1-2-2 一种利用稳压管的实用电源

简单稳压管稳压电路的输出电流受所选用稳压管最大稳定电流的限制而不能很大。故在要求提供给负载的电流较大时可以选用耗散功率大的稳压管或采用晶体管射极跟随器, 如图1-2-3所示。这种电路是一个最简单的晶体管串联式稳压电路。图中 R_1 和 D_z 组成基本稳压电路。在 D_z 上取得稳定的基准电压 U_z , 调整管 T 的基极和射极之间电压 U_{BE} 决定于负载电压 U_L 和基准电压 U_z 的大小, 即 $U_{BE} = U_z - U_L$ 。假定由于某种原因使 U_L 降低, 因为基准电压

U_z 不变, 于是 U_{BE} 随着 U_L 的降低而增加, 调整管 T 的基极电流 I_B 和集电极电流 I_C 也都增加, 集-射间电压 U_{CE} 减小。因此, 负载电压 U_L 回升, 保持近似不变。这个自动调整过程可表示如下:

$$U_L \downarrow \rightarrow U_{BE} \uparrow \rightarrow I_B \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow U_{CE} \downarrow$$

$$U_L \uparrow \leftarrow$$

如果输出电压升高, 则自动调整过程相反。这种电路的最大负载电流为:

$$I_{LM} = (1 + \beta)(I_{zM} - I_z),$$

式中 β 为晶体管 T 的共发射极电流放大倍数, I_{LM} 是供给负载电阻 R_L 的最大电流。可见, 这种电路较图 1-2-1 的简单稳压管稳压电路的负载能力提高约 β 倍。

在负载电流很大, 要求输出电压连续调节或输出电压十分稳定时, 常采用带放大环节的串联式稳压电源, 其基本电路如图 1-2-4 所示。图中硅稳压管作为恒压源, 用作基准信号, 它与来自输出电压的取样信号比较, 由放大器 T_2 放大并通过调整管 T_1 使输出电压稳定。应该注意到恒压源是接在电压稳定的输出端而不是接在未经稳压的输入端 (即指 U_o), 这样可以提高基准信号的稳定性并减少纹波的影响, 从而提高稳压性能。

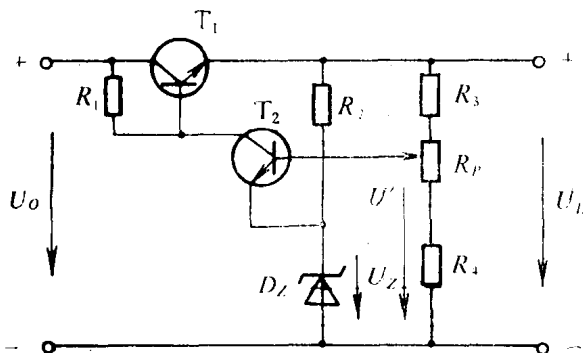


图1-2-4 带放大环节的串联式稳压电源

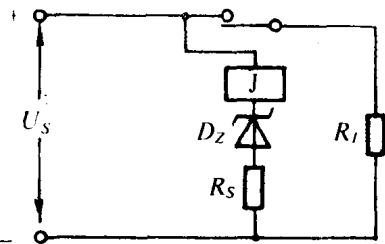


图1-2-5 稳压二极管过低电压保护电路

二、保护电路

1. 过低电压保护

某些电路或器件不允许在过低电压下较长时间的工作, 为此可用如图 1-2-5 的稳压二极管过低电压保护电路。当电源电压 U_S 超过击穿电压时, 二极管 D_z 击穿导通, 有足够的电流激励继电器 J , 触点接通 (闭合), 有功率供给负载 R_L 。一旦发生电源电压过低 (即达不到稳压管 D_z 的击穿) 时, 就没有电流流过继电器 J , 负载即与电源分开。限流电阻 R_S 按下式导出:

$$I_{re1} = U_S / (R_z + R_{re1} + R_S).$$

取 $R_z \ll R_S$, 则

$$R_S \approx (U_S / I_{re1}) - R_{re1},$$

式中, I_{re1} 是继电器的工作电流, 也即是稳压管击穿区的电流。 R_z 是二极管的直流导通电阻, R_{re1} 是继电器的直流电阻。