

可控硅稳压电源

王其英 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书比较全面地、系统地讲解了各种类型的可控硅稳压电源,包括可控硅元件、触发与关断电路、整流与滤波电路、逆变器在可控硅稳压电源中的应用、可控硅稳压电源电路设计、可控硅电源的干扰和功率因数以及计算机用可控硅稳压电源等。

本书既有一定的理论分析,又列举了一些应用实例,具有理论联系实际而又着重实用的特色。本书可供从事电子设备电源研制、设计、生产的工程技术人员参考,也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

可 控 硅 稳 压 电 源

王 其 英 编 著

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北 京 东 长 安 街 27 号

河 北 省 邮 电 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

各 地 新 华 书 店 经 售

开本: 850×1168 1/32 1984年6月 第一版
印张: 21 4/32 页数: 338 1984年6月河北第一次印刷
字数: 561 千字 印数: 1—12,000 册

统一书号: 15045·总2777—有5325

定价: 2.70 元

目 录

绪论	(1)
第一章 可控硅元件	(6)
第一节 可控硅工作原理	(6)
一、可控硅元件的构造	(6)
二、PN结的特性	(8)
三、可控硅的正向阻断能力	(9)
四、可控硅的导通过程与导通特性	(11)
第二节 可控硅的伏安特性与定额	(17)
一、阻断特性	(18)
二、控制极特性	(19)
三、正向导通特性与定额	(19)
四、热阻	(26)
五、结温	(31)
六、可控硅的其它定额	(43)
第三节 可控硅派生元件	(55)
一、双向可控硅	(55)
二、可关断可控硅	(59)
三、其它可控硅简介	(64)
第四节 可控硅元件的选用要点	(65)
第二章 可控硅触发与关断电路	(66)
第一节 可控硅控制极特性	(66)
一、控制极基本特性	(66)
二、控制极工作条件对可控硅工作的影响	(73)
第二节 触发电路设计中应考虑的主要问题	(74)
一、控制极平均功耗 $P_{G(AV)}$	(74)

二、控制极不触发电压 U_{GTN}	(74)
三、强触发和弱触发.....	(75)
四、控制极电源的负载线.....	(75)
第三节 触发电路	(78)
一、可变电阻触发电路.....	(78)
二、可变电阻和电容器组成的触发电路.....	(80)
三、氖灯和电阻电容组成的触发电路.....	(81)
四、阻容移相桥触发电路.....	(81)
五、饱和电抗器触发电路.....	(87)
六、同步与定时电路.....	(91)
七、单结管触发电路.....	(92)
八、交直流重迭控制的单结管触发电路.....	(124)
九、隧道二极管触发电路.....	(126)
十、肖克莱二极管触发电路.....	(130)
十一、阻塞振荡器触发电路.....	(131)
十二、强触发控制电路.....	(134)
十三、集成化触发电路.....	(135)
十四、环形计数器触发电路.....	(140)
十五、触发二极管触发电路.....	(144)
十六、其它触发电路.....	(149)
第四节 可控硅关断电路	(153)
一、可控硅的关断时间.....	(153)
二、可控硅关断电路.....	(155)
第五节 可控硅元件的串并联	(165)
一、可控硅的串联.....	(166)
二、可控硅串联时应采用的控制极电路.....	(172)
三、可控硅的并联.....	(175)
四、可控硅并联时, 应采用的控制极电路.....	(181)
五、可控硅的串并联.....	(182)
第三章 可控整流电路与平滑滤波器	(184)
第一节 可控整流器简述	(184)

第二节 单相半波可控整流电路	(185)
一、电阻性负载	(185)
二、电感性负载	(189)
三、反电势负载	(193)
四、电容性负载	(194)
第三节 单相全波可控整流电路	(196)
一、电阻性负载	(196)
二、电感性负载	(197)
第四节 单相桥式半控整流电路	(199)
一、电阻性负载	(199)
二、电感性负载	(201)
三、反电势负载	(203)
第五节 三相可控整流电路	(207)
一、三相半波可控整流电路	(208)
二、三相桥式半控整流电路	(210)
三、具有半压输出的三相桥式可控整流电路	(213)
第六节 多相可控整流电路	(215)
第七节 整流电路输出电压的脉动	(220)
第八节 平滑滤波器	(224)
一、平滑滤波器的作用及滤波系数	(224)
二、设计平滑滤波器应考虑的一般问题	(225)
三、LC滤波器的一般计算方法	(226)
四、输入滤波器	(230)
五、改善波形的交流滤波器	(234)
第四章 逆变器在可控硅稳压电源中的应用	(236)
第一节 可控硅有源逆变器	(236)
一、电能的传递	(237)
二、单相全波和单相桥式逆变电路	(238)
三、三相半波和三相桥式逆变电路	(242)
四、逆变失败与控制角的限制	(246)

第二节 可控硅自激逆变器	(249)
一、单相并联逆变器	(249)
二、改进型单相并联逆变器(麦克莫莱逆变器)	(252)
三、改进型单相并联逆变器在不同负载时的工作情况	(255)
四、三相桥式并联逆变器	(267)
五、串联逆变器	(295)
第三节 逆变器输出电压的波形改善	(302)
一、通过滤波器衰减谐波	(302)
二、谐振负载整形	(309)
三、合成正弦波	(309)
四、多重移相迭加法	(310)
第五章 可控硅稳压电源电路设计	(343)
第一节 由直流供电的可控硅直流稳压器——可控硅斩波器	(343)
一、固定频率、可变脉冲宽度的直流斩波器	(343)
二、斩波器的工作原理	(344)
三、设计方法	(346)
四、设计实例	(353)
五、反馈控制斩波式直流稳压电源	(356)
六、带有辅助可控硅的斩波式直流稳压器	(359)
七、斩波式升压稳压电源	(360)
八、可关断可控硅(<i>GTO</i>)斩波电路	(365)
第二节 由交流供电的可控硅直流稳压器	(370)
一、由单相交流供电的直流稳压器原理	(370)
二、由单相交流供电的可控硅直流稳压器实用电路	(379)
三、由三相交流供电的可控硅直流稳压器	(389)
第三节 交流稳压器	(411)
一、输出非正弦波的可控硅交流稳压器	(411)
二、输出正弦波的可控硅交流调压器	(413)
第四节 逆变器电路设计	(419)
一、具有调谐输出滤波器的单相桥式逆变器(基本电路)的设计	

计.....	(420)
二、单相并联逆变器(基本电路)的设计.....	(426)
三、1500赫高频逆变电源的设计.....	(430)
第六章 可控硅电源的干扰和功率因数	(436)
第一节 可控硅装置产生的射频干扰	(436)
一、射频电流的辐射干扰.....	(436)
二、交流谐波产生的干扰.....	(438)
三、电压瞬变产生的干扰.....	(442)
四、电力系统产生的耦合干扰.....	(446)
第二节 可控硅装置中噪声干扰的抑制	(448)
一、电波干扰的抑制.....	(448)
二、集中和独立抑制射频干扰的方法.....	(451)
三、具有电流补偿扼流圈的射频干扰抑制.....	(455)
第三节 可控硅装置中瞬变电压的抑制	(458)
一、浪涌吸收器——压敏电阻	(458)
二、瞬变电压抑制网络.....	(464)
第四节 改变电路结构以减弱高次谐波	(477)
一、减小三相变流装置高次谐波的方法.....	(477)
二、减小单相变流装置高次谐波的方法.....	(481)
第五节 采用零压控制电路来削弱干扰	(487)
第六节 谐振滤波器	(492)
第七节 可控硅电源的功率因数	(495)
一、可控硅电路的功率因数.....	(495)
二、提高功率因数的方法.....	(499)
三、有源滤波器无功功率补偿装置.....	(504)
第七章 计算机用可控硅稳压电源	(508)
第一节 计算机采用可控硅电源的优点	(508)
一、计算机对电源的要求.....	(508)
二、电源的造价、体积、无故障时间与负载电流的关系.....	(509)
三、可控硅稳压电源与晶体管稳压电源的比较.....	(509)

第二节	计算机用可控硅稳压电源举例	(511)
一、	电路基本工作原理	(511)
二、	工作波形	(513)
三、	增加输出电流的方法	(514)
第三节	计算机用可控硅电源的动态特性	(516)
一、	电子计算机对稳压电源动态特性的要求	(516)
二、	改善稳压电源动态特性的方法(接力供电方式)	(518)
第四节	计算机用可控硅电源产生“振荡”的原因及消除方法	(530)
第五节	计算机电源系统的干扰及克服方法	(531)
一、	产生噪声干扰的主要因素	(531)
二、	消除噪声源的方法	(532)
三、	切断传递干扰信号的通路	(533)
四、	提高设备的抗干扰能力	(543)
第六节	计算机不停电供电系统(UPS)概述	(551)
一、	静止不停电供电(UPS)系统的主要方案	(552)
二、	静止不停电供电系统中常用的逆变器和静态开关	(553)
三、	静止UPS系统中常用的电池组	(556)
四、	直流电源不停电供电概述	(557)
第七节	计算机电源系统的发展动向	(565)
附录1	双基极单晶体管电气性能参数表	(567)
附录2	可控硅元件电气性能参数表	(572)
附录3	各种整流电路的参数	(585)
附录4	脉冲变压器磁芯	(593)
附录5	稳压管参数表	(595)
附录6	铝电解电容器的性能参数	(598)
附录7	部分电源变压器计算参数表	(602)
	主要参考文献	(663)

绪 论

电子设备一般都由直流稳压电源供电。目前常用直流稳压电源的方框图如图 1-1 所示：“输入电路”由一级或多级交流滤波器组成，它的作用是滤掉电网来的各种干扰，并使稳压电路中产生的干扰不能进入电网。“变压器”的作用是将电网电压变换成整流电路所需要的电压。“整流和滤波电路”由整流管、可控硅整流元件及电感、电阻、电容等组成，其作用是将交流电压变为平滑的直流电压。“调整元件”一般采用功率晶体管，其作用是将整流器输出的不稳定电压变为稳定的电压。如果采用可控整流电路，那么，可控硅元件不仅可以完成整流作用，而且也可以完成调整元件的作用。

“输出电路”由输出电容、取样电路和误差放大器组成，其作用是检测输出电压的变化并与基准电压比较，所得的误差信号，经误差放大器放大后，控制调整管的压降，可使输出电压的变化不超过允许范围。

尽管直流稳压电路的形式多种多样，但就其工作原理来说，可

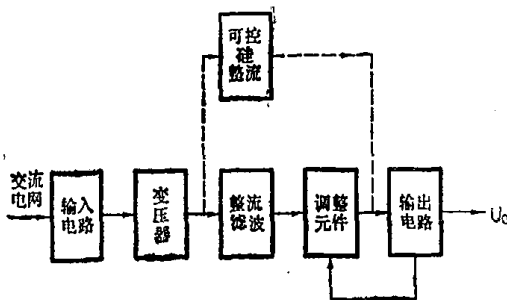


图 1-1 一般稳压电路方框图

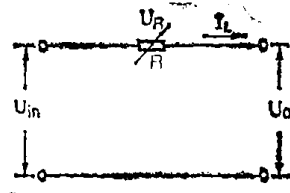


图 1-2 线性稳压电路原理图

分成两大类：线性稳压器和开关稳压器。

图 1-2 为线性稳压电路原理图。图中 U_o 为稳定的输出电压，

U_{in} 为输入电压， U_R 为调整管 R 的压降，显然，

$$U_0 = U_{in} - U_R$$

因为 U_R 是连续可变的，这样，可以通过 U_R 的变化来调整输出电压的变化。在调整过程中， R （实际电路中为功率晶体管）上的压降较大，将消耗较大的功率，其值为：

$$P = (U_{in} - U_0) I_L$$

式中 I_L 为通过 R 的总电流。因此，这种电路效率比较低，一般在40~60%之间。

图1-3(a)为开关稳压电路原理图。该电路的稳压作用是由

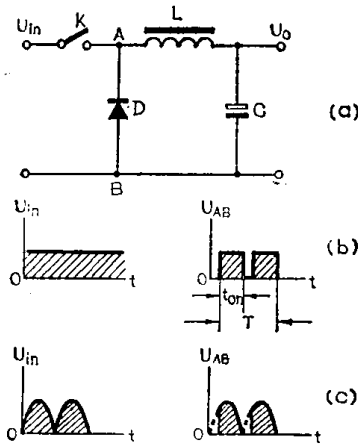


图 1-3 开关稳压电路原理图及电压波形

周期性导通与截止的开关 K 完成的。如果在该电路的输入端加入直流电压 U_{in} ，那么，在输出端就会得到如图1-3(b)所示的矩形脉冲电压，该脉冲电压的平均值为

$$U_0 = \frac{t_{on}}{T} U_{in} = \frac{U_{in}}{Q}$$

式中 T ——开关 K 的工作周期；
 t_{on} ——开关 K 导通状态的持续时间；
 $Q = \frac{T}{t_{on}}$ ——输出矩形脉冲的占空系数。

假如像线性稳压器那样，在开关稳压电路中接入反馈电路，由

于反馈信号不是用来改变调整元件的电阻，而是改变开关元件 K 的导通和截止时间，所以稳压器输出电压也能够保持恒定。如果加到稳压器输入端的是整流电压〔图1-3(c)〕，那么当输入电压变化时，通过调整开关元件 K 的导通时间，就可以使输出电压平均值不变。图1-3(a)中 L 、 C 组成平滑滤波器，将脉冲电压变换为平滑的直流电压。 D 为续流二极管，当开关 K 闭合时，负载电流流过电感 L ，在电感 L 中贮存了能量($W_L = \frac{1}{2}LI^2$)，开关元件 K 断开瞬间，电感 L 产生的反电势企图维持原来的电流。二极管 D 为 L 释放能量提供了通路。从理论上讲，理想开关元件损耗的能量为零，因为开关元件的导通电阻为零，而截止电阻为无穷大，因此，如果导通与截止转换时间忽略不计的话，开关元件就不损耗能量。但实际采用的开关元件通常是功率晶体管或可控硅整流元件，都要损耗一部分能量，不过损耗的能量和线性稳压器比较，是非常小的。因此，这种电路的效率非常高，一般在80%以上，甚至高达95%。

由于开关稳压器效率很高，近年来已得到广泛应用。从某种意义上讲，作为开关元件，可控硅比晶体管更优越一些。比如可控硅的耐压可达几千伏甚至上万伏，这一点晶体管是作不到的。目前，额定电流为几百安培的可控硅，已很容易制造，因此，可控硅开关稳压器的输出电流可以很大。当然，晶体管也有比可控硅优越的地方，比如开关速度快，容易控制等。

一般来说，改变可控硅的导通角，可控硅整流电路即可输出稳定的直流电压，不需要再用调整元件调整，因此，可控整流器本身就具有稳压作用，而且效率也较高。

目前，常用的串联或并联线性稳压器其体积较大，比较笨重，很重要的原因就是需要采用工频变压器以改变输入交流电压。为了取消工频变压器，可采取由50Hz电网电压直接整流的方法，经过滤波后变为平滑的直流电压，再将该直流电压用晶体管或可控硅组成的变频器变换为高频(比如20KHz以上)交流电压，然后用体积很小的高频变压器或晶体管电路变换为所需的电压值，这个高频电压

再经过整流滤波，即可输出所需的直流电压。如果用输出电压经反馈电路控制变频器的的工作状态，那么，输出电压即可稳定不变。采用这种方法可实现稳压电源小型化。

可控硅稳压电源可分为以下五类：

(1)整流稳压电源：交流电网电压直接经可控硅整流后，变为稳定的直流电压。

(2)逆变稳压电源：直流电压经可控硅变换为稳定的交流电压。

(3)组合稳压电源：由以上两种电源组合而成，可以采用交流——直流——交流变换方式，将电网频率变为更高或更低，这种组合电源通常称为变频器；也可以采用直流——交流——直流变换方式，将输入直流电压升高或降低，这种组合电源通常称为直流变换器。

(4)交流稳压电源：将不稳定的交流电压变为稳定的交流电压。

(5)直流稳压电源：将不稳定的直流输入电压通过斩波电路变为稳定的直流电压。

可控硅的导通由触发电路控制。常用的触发电路有阻容移相触发电路；饱和电抗器触发电路；阻塞振荡器触发电路；单结晶体管触发电路；晶体管触发电路以及集成化触发电路等等。

在可控硅装置中，因可控硅通断而形成的传导干扰与辐射干扰将影响其它设备。同时，外来干扰也将影响可控硅装置的正常工作。通过研究各种干扰产生的原因，可以找出抑制干扰的方法，从而使可控硅装置即不干扰外界设备，也不受外界干扰。

可控硅元件工作时除产生干扰外，还会使设备的功率因数降低。改进电路结构，可以提高功率因数；也可以采用有源滤波器补偿功率因数。

可控硅稳压电路是一种开关式稳压电路，它的效率远远高于线性稳压电路。与其它开关式稳压电路相比，可控硅稳压电路也有很

多优点。这种电路的调整元件（可控硅）不但价格低廉、容易制造，而且可以承受很高的电压，并通过很大的电流。因此，可控硅稳压器得到了广泛的应用。

可控硅电源已应用于调光、调温、调速，同时在电子计算机及数字模拟转换装置中，也取得了满意的应用效果。

可控硅电源用于静态负载时，性能是很可靠的。在动态负载下，尤其是电流变动很大（比如用于电子计算机磁芯存贮器的驱动）时，性能会发生很大变化。因此，应采取措施保证电源的性能不致降低。

本书除了深入地分析讨论各种可控硅电路的工作原理外，还列出一些主要电路的设计公式和数据。同时，为了更好地使用元件，对可控硅的主要性能也作了较详细的介绍。

通过对以上各问题的讨论，可以使读者对可控硅电源的元件选择、电路设计，以及可控硅电源中存在的问题及克服办法有较全面的了解。此外，本书中也提出了一些需进一步探讨的问题。

第一章 可控硅元件

第一节 可控硅工作原理

可控硅稳压器的调整元件是可控硅，因此，为了更好地理解可控硅稳压器的的工作原理，必须首先了解可控硅的构造原理和特性。

一、可控硅元件的构造

可控硅整流元件 (*Silicon controlled Rectifier*) (简称SCR)，与半导体二极管、晶体管一样，都是由半导体PN结构成的。如图1-4(a)、(b)、(c)所示。

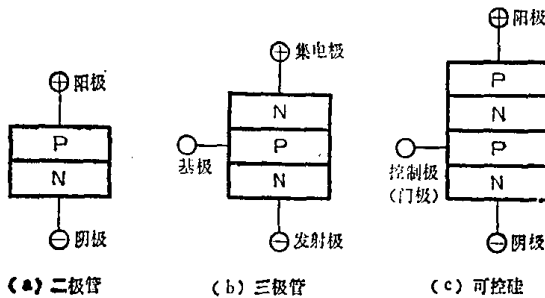


图 1-4 半导体二极管、晶体管及可控硅的结构

半导体二极管有一个PN结，电流只能由阳极流向阴极，晶体管具有两个PN结。当集电极和发射极之间加上正向电压时，若基极和发射极之间有电流，集电极就有与基极电流成正比的电流。可控硅具有三个PN结。若只在阳极和阴极间加入正向电压，元件内没有电流，但若同时在控制极和阴极之间加入正向电压，使一定的电流流过控制极，可控硅就会象二极管一样导通。可控硅一旦导通，即使控制极电流中断，阳极和阴极间的电流仍能继续流通。这

种特性与闸流管相同，所以，可控硅又称为晶闸管。

可控硅的派生器件很多，图 1—5 绘出了常用的可控硅派生元

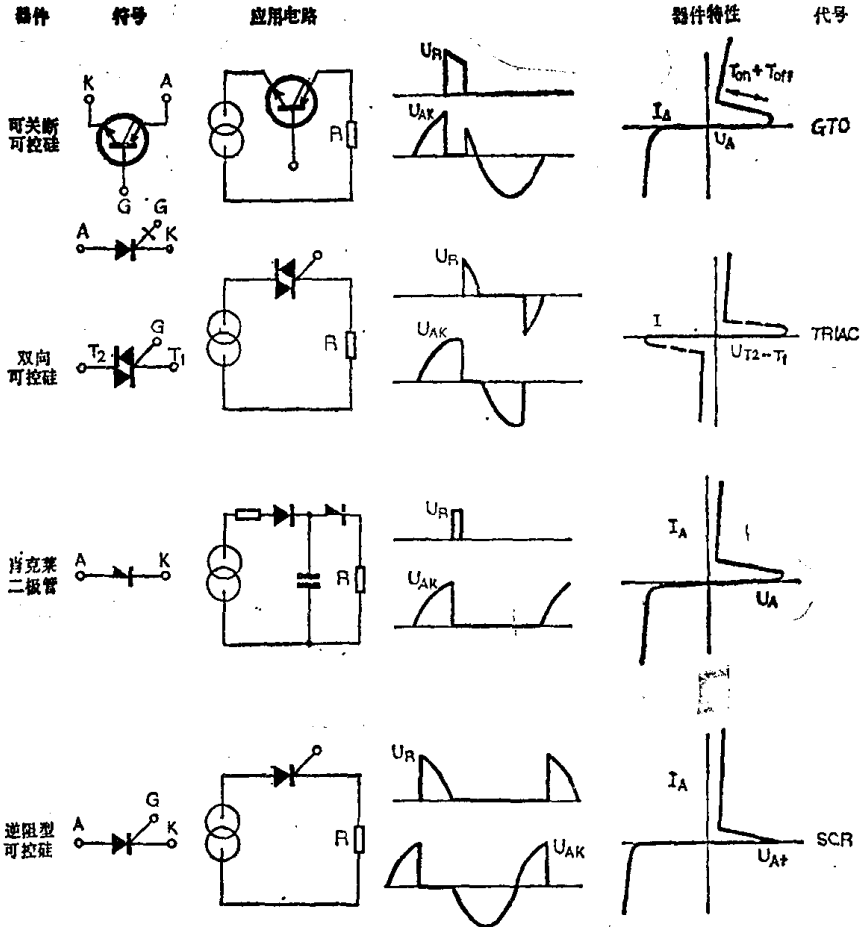


图 1-5 可控硅的几种派生器件

件的符号、应用电路和基本特性。

可控硅整流元件（通常简称为可控硅）的基本构造如图 1-6 所示。

不管阳极承受正向电压，还是承受反向电压，可控硅元件内至少有一个PN结反向偏置。因此，可控硅在正反两个方向上都具有阻断能力。

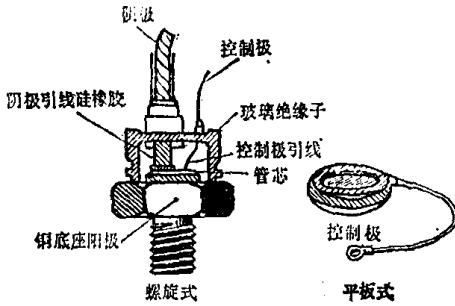


图 1-6 可控硅元件基本构造

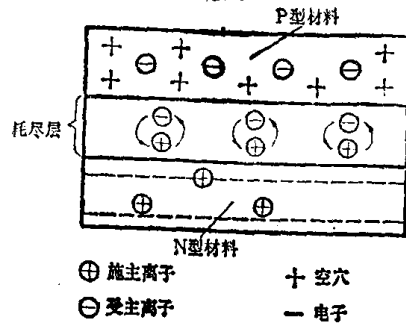


图 1-7 PN 结示意图

二、PN 结的特性

可控硅元件的特性是由PN结的特性决定的。为了更好地理解可控硅的工作原理，必须首先分析PN结的特性。

图 1-7 为PN结示意图。在N型半导体（即含有N型杂质的半导体）基片上，用合金法或扩散法形成一个P型半导体区（即含有P型杂质的区域）。两种杂质半导体的接触处，由于P区和N区内载流子（空穴和电子）的浓度不同，因此，电子和空穴都要从浓度大的区域向浓度小的区域扩散，一部分电子离开N区跑到P区，一部分空穴离开P区跑到N区，于是在PN结的两侧形成空间电荷区，并在空间电荷区内形成电场。该电场阻挡电子和空穴的扩散运动。随着电场强度增加，电场力将迫使空间电荷区内的电子返回N区，空穴返回P区，载流子的这种运动称为漂移运动。当载流子的扩散运动与漂移运动达到动态平衡后，空间电荷区内的电场强度保持不变，空间电荷区（或称耗尽层）的宽度也保持不变，没有电流流过PN结。当PN结两端加入偏压后，耗尽层中的电场强度发生变化。当PN结正向偏置（P区接电源正极，N区接电源负极）时，如图 1-8(a) 所示，外加电压减弱了耗尽层中的电场，破坏了漂移和扩散的平衡状态，扩散作用占优势。P区的空穴不断越过耗尽层向N区扩散，N区的电子也越过耗尽层向P区扩散。尽管空穴和电子

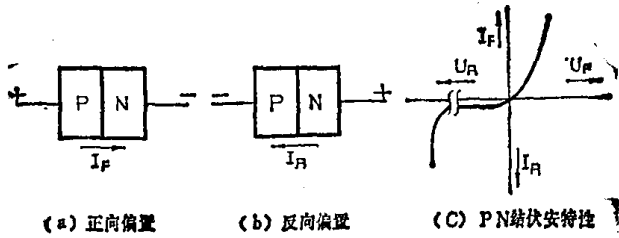


图 1-8 PN 结的特性

运动方向相反，但它们构成的电流是相加的。由于在正向电压作用下，载流子的扩散作用远远超过漂移作用，因此，PN 结就产生了正向电流 I_F 。当 PN 结外加反向偏压（P 区接电源负极，N 区接电源正极）时，如图 1-8 (b) 所示，耗尽层中的电场增强。这时，只有很小的漏电流 I_R 通过 PN 结。PN 结的正反向伏安特性如图 1-8 (c) 所示。

三、可控硅的正向阻断能力

如前所述，可控硅由四层半导体材料 ($P_1N_1P_2N_2$) 构成。它具有三个 PN 结： J_1 、 J_2 、 J_3 ，因此，可控硅元件可以等效为三个二极管串联，如图 1-9 所示，A 为阳极，K 为阴极，G 为门极

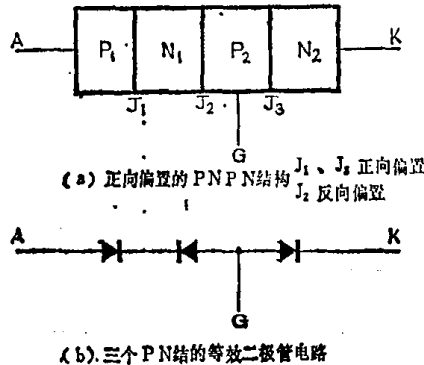


图 1-9 PNPN 结构及其等效电路

(也叫做控制极)。

当可控硅的阳极、阴极间加上正向电压时， J_1 和 J_3 结正向偏置， J_2 结反向偏置，此时，只有很小的电流流过反向偏置的 J_2 结。