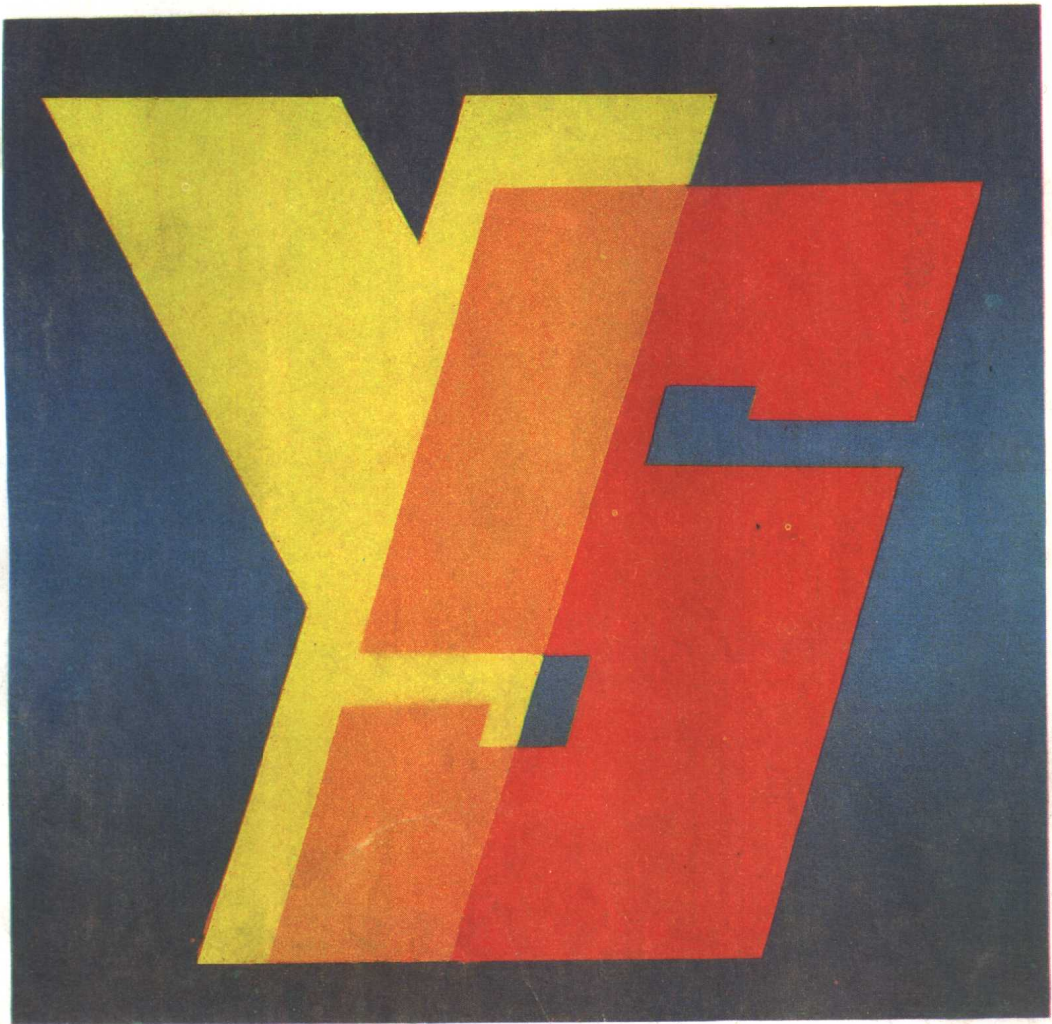


高等专科学校试用教材



印刷机电气技术

王世昌 杜宗禧 编



上海交通大学出版社

印刷机电气技术

王世昌 杜宗禧 编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书较为系统地介绍印刷机电气技术中常用的电器元件和自动控制装置,阐述有关的基本概念和电路的基本环节,并对若干典型的印刷机电气系统作了完整的剖析。在取材上既照顾到传统的继电器接触器电路,又力求把微电子、计算机等现代技术反映进去。本书内容详尽,理论联系实际,并有大量的印刷机结构图与电气线路图,可供大学专科印刷专业作教材。也可作为中等专业学校相应专业的教学参考书。对于印刷厂的电气技师和高级电工,也有一定的参考价值。

(沪)新登字 205 号

印刷机电气技术

出版:上海交通大学出版社
(上海华山路 1954 号,200030)
发行:新华书店上海发行所
印刷:常熟市印刷二厂
开本:787×1092 毫米 1/16
印张:22.5 插页 2

字数:562000
版次:1993 年 12 月 第 1 次
印次:1993 年 12 月 第 1 次
印数:1—4000
科目:264—303

ISBN7-313-00992-5/TS·8

定价:12.00 元

528011

前 言

本书根据高等工业专科学校印刷专业“印刷机电气技术”教学大纲编写。

在近代印刷技术的发展中,印刷电气自动化程度的提高尤为令人瞩目。微电子、计算机、激光等高科技成果的不断采用,使得印刷业的面貌日新月异。电气技术的应用程度成了衡量印刷业现代化水平的主要标志。它不再单纯作为动力传递的手段,而是越来越多地用于印前准备和印刷全过程的监控,成为提高生产效率和印刷品质量的十分有效的途径。因此,《印刷机电气技术》作为印刷专业的一门专业课教材,其重要性是显而易见的。

电气技术对于各种印刷机械的渗透可说是无孔不入的。限于课时,在选择对象时对于它们不可能面面俱到,我们是把目标对准了印刷机。这主要是以下两个原因:其一,印刷这道工序在印刷品制造中的地位比较特殊,印刷专业的学生在走上工作岗位以后,大部分的技术工作都要围绕着印刷机展开。其二,印刷机电气控制内容丰富、系统完整:既有传统的继电接触器控制,又有近年掘起的PC控制和微机控制;既有开关量的控制,又有模拟量的控制;既有开环控制,又有闭环控制……因此,较之其他印刷机械,它更具代表性。

印刷专业的学生学习本课程的目的不在于对印刷机电气系统的设计或研制,也不在于对这些系统的维修。而在于将电气装置操作中的感性知识升华至理性,最大限度发挥电气系统所拥有的效能。同时,在出现故障时能配合维修人员,一起进行分析和诊断。出于这个考虑,我们把本书的重点放在基本原理的阐述、电路结构和性能的介绍或分析上,避免繁琐的计算和成套的设计,对于牵及诸多因素相互关系的问题,也大都以定性分析的方式去讨论。

本书前面四章的内容属于电气控制的一般基础。在选材时,我们根据印刷机的实际情况进行了增删。特别是对于近一、二十年间在工程上崭露头角的PC化了较多的笔墨。这几章中所举例子,也尽可能与印刷机相结合。学习这几章内容,一方面是为学习后面特别是第六章的内容作准备;另一方面,打好了这方面的基础,也便于学生在今后的实际工作中触类旁通。后面三章的内容专业性较强。为避免重复,在介绍整机电气系统时,对机种进行了精选。例如,我们没有把常见的J2103机和J2105机选入,是因为这两种印刷机的电气系统与J2108机的大同小异。又如,国外的印刷机种类也很多,我们选取了在国际市场上享有盛誉,被我国广泛引进的德国海德堡四色胶印机。光电检控在印刷机自动控制的领域中的应用颇为活跃,故把它单独列为一章。

在学习本课程之前,学生应学完《电工技术》、《电子技术》、《微型计算机原理》等课程。授完本课程约需80课时的时间。

本书的第一~四章和第五、第六章的小部分以及附录由王世昌执笔,第五~七章由杜宗禧执笔,全书由王世昌主编。

北京人民机器总厂的高级工程师刘祥为本书的编写提出了许多宝贵意见,并审阅了部分内容。此外,我们的编写工作还得到华东计算技术研究所的张道中高级工程师和陈赛华工程师、上海电器成套厂的严国良工程师、上海实用机电工程公司的赵大砥工程师等人的热情帮助。对此,我们深表谢意。

受编者水平所限加之编写时间仓促,估计书中会有不少疏漏、错误,诚恳希望读者指正。

编 者
1992年8月

目 录

第一章 常用电器元件	1
第一节 特种半导体管.....	1
第二节 光电器件.....	6
第三节 配电电器.....	20
第四节 接触器	26
第五节 主令电器.....	28
第六节 继电器.....	33
第七节 电磁铁类电器.....	45
第二章 继电接触器控制基础	53
第一节 继电接触器控制的基本环节.....	53
第二节 自动控制的基本方法.....	57
第三节 电气系统的图示	63
第四节 常见控制电路举例.....	71
第五节 控制电路的无触点化.....	77
第三章 顺序控制器	91
第一节 概述.....	91
第二节 矩陈式顺序控制器.....	92
第三节 PC 的基本原理.....	101
第四节 PC 程序的编制.....	109
第五节 PC 的应用举例.....	125
第四章 自动调速系统	140
第一节 概述.....	140
第二节 晶闸管变流.....	142
第三节 晶闸管的触发电路.....	160
第四节 直流调速原理.....	168
第五节 直流调速系统实例分析.....	178
第六节 交流调速简单介绍.....	199
第五章 印刷机中的光电检测和控制	211
第一节 光电检测基础.....	211
第二节 J4103 型印刷机纸张光电检测装置	214
第三节 QGK-2 型前规纸张检测器.....	218
第四节 计算机印刷控制系统.....	222
第六章 典型印刷机的电气系统	232
第一节 J2108 型单色胶印机	232

第二节	PZ4880-01A 型四色胶印机	241
第三节	德国海德堡四色胶印机	283
第四节	JJ201 型卷筒纸胶印机	309
第七章	印刷机的电气安装、调试与故障分析	330
第一节	电气装置的安装	330
第二节	电气系统的调试	332
第三节	电气常见故障的分析和处理	333
附录一	电气制图常用图形符号	339
附录二	电气制图常用基本文字符号	343
附录三	PZ4880-01A 型机的PO数据存贮器的分配	345

第一章 常用电器元件

在生产力高度发展的现代社会,电不仅作为一种方便、经济的能源使用,而且在生产过程的自动检测、自动控制、自动调节中大显神威。剖析任何一个电气系统,人们都可以发现,这些系统无不由各式各样的元件、器件、组件用导线按一定的程式连接而成的。这些使用于电气系统中的元件、器件、组件就统称为电器。

一个完整的电器至少有两个组成部分:接受输入信号的感测部件和产生输出信号的执行部件。除此,有许多电器在两者之间还有个操作部件作为过渡。

按工作电压的额定值,有高压电器与低压电器之分。两者的界限是交流 1000V 和直流 1200V。在印刷机中使用的主要是些低压电器。

按操作方式,有手动电器和自动电器两类。手动电器由人直接操作;自动电器所赖以动作的则是由光、电、热等物理量产生的输入信号。

就电器在电路中的功用而言,有一类电器专用于接通或分断电路,称为开关电器。这类电器在低压电器中占了很大的比例,本章所介绍的电器大部分属于这一类。开关电器又分为有触点、无触点两类。有触点开关依靠机械触点之间的离合来实现开关作用;无触点开关大都是些半导体器件(二极管、晶体管、晶闸管等),它们是利用器件的两种状态(例如二极管的导通和截止)来实现开关作用的。

本章将比较系统地介绍印刷机上常用的有触点低压电器。对于半导体器件,由于在《电子技术》课程中已对晶体管、集成电路等一般器件作过详细的讨论,这里就只介绍些特殊的半导体管了。

第一节 特种半导体管

一、晶闸管

晶闸管的全称是晶体闸流管(Thyristor),又称为可控硅。

1. 基本结构

晶闸管是在晶体管基础上发展起来的一种大功率半导体器件。它的品种很多,图1-1(a)所示的是某种螺旋式晶闸管的外形。它有三个电极:螺旋这端为阳极 a;另一端那根粗引线为阴极 k;还有一根较细的引线为控制极 g。阳极呈螺旋状,是为了便于同散热器固定。

图 1-1(b)所示的是晶闸管的符号。

晶闸管的内部结构可用图 1-2 表示。它由 PNP 四层半导体组成,中间形成三个 PN 结;

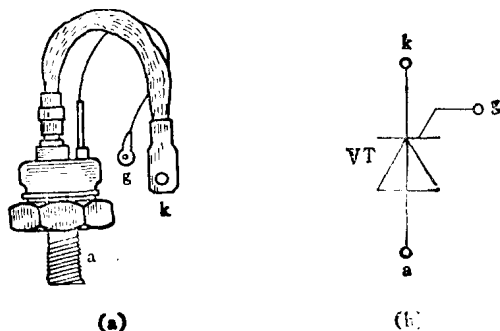


图 1-1 晶闸管的外形与符号

J1、J2 和 J3。阳极从下面的 P 层引出；阴极从上面的 N 层引出；控制极则从中间的 P 层引出。

2. 工作原理

晶闸管既然由三个 PN 结构成，每个 PN 结又可看成一个二极管，于是在控制极开路时，整个晶闸管可看成由三个二极管串联而成，如图 1-3 所示。此时如果在阳极与阴极之间接上电压，那末不管电压极性如何，在三个二极管中至少有一个因反偏而截止，整个晶闸管也因此而截止。

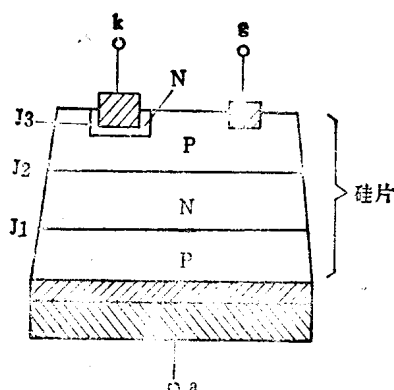


图 1-2 晶闸管的内部结构示意图

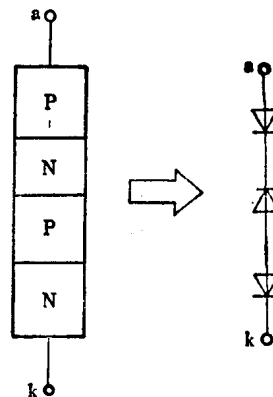


图 1-3 控制极开路时晶闸管的等效

但若在阳极与阴极之间加上正向电压(阳极为正，阴极为负) U_a ，同时又在控制极与阴极之间加上正向电压(控制极为正，阴极为负) U_g ，情况就不一样了。为便于分析，作如下等效：把晶闸管看成为一个 NPN 晶体管 V1 和另一个 PNP 型晶体管 V2 的组合，如图 1-4 所示。

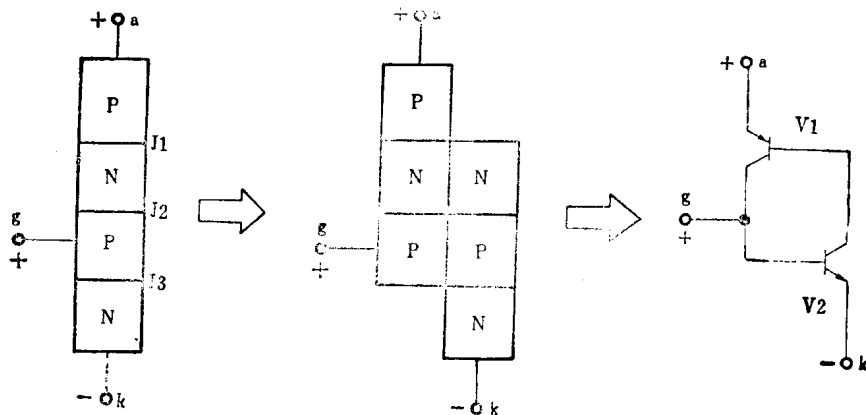


图 1-4 控制极受控时晶闸管的等效

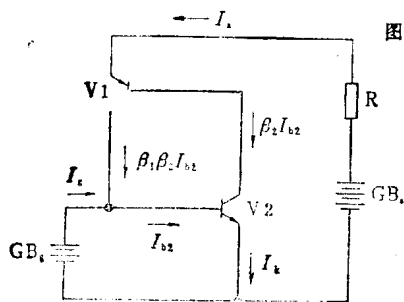


图 1-5 晶闸管的工作原理

由于 U_a 和 U_g 皆为正电压，故开始时 V1 和 V2 均处在放大状态。如图 1-5 所示，由控制极电源 GB_g 提供的基极电流 I_{b2} 经 V2 管放大后注入 V1 管基极，其大小 $I_{b1} = \beta_2 I_{b2}$ ，再经 V1 管放大，得 $I_{c1} = \beta_1 I_{b1} = \beta_1 \beta_2 I_{b2}$ ，此电流回授给 V2 基极，其值竟为原 I_{b2} 的 $\beta_1 \beta_2$ 倍！显然，这是一个强烈的正反馈。这个过程循环往复，使电流急速增大，直至两管饱和。此时，由于电流很大而电压 U_a

很小,整个晶闸管处在导通状态,相当于开关的“开”态。

上述过程中,控制极电压 U_g 的接入称为触发。从触发到管子完全导通,这个过程可在极短的时间(一般不超过几微秒)内完成。管子一经导通,即使撤消 U_g ,导通状态将能依靠正反馈维持下去。由此可见,触发电压 U_g 的控制作用仅仅体现在开始时触发导通的一瞬间。

那末怎样关断晶闸管呢?一是不断减小阳极电压使阳极电流 I_a 不断降低以至正反馈无法维持,晶闸管就会关断;二是变阳极电压的极性为反向,此时管内PN结J1、J3均反偏,晶闸管即呈阻断状态。

3. 伏安特性

晶闸管的伏安特性是指阳极电压 U_a 、阳极电流 I_a 、控制极电流 I_g 之间的函数关系,其中 U_a 作自变量、 I_a 作因变量、 I_g 作参变量。

晶闸管典型的伏安特性曲线如图1-6所示。

(1) 正向特性 先分析 $I_g = 0$ 的情况。

因控制极不加电压, J1、J3 结正偏, J2 结反偏, 所以晶闸管只流过很小的漏电流, 且该电流几乎不随电压 U_a 增加而增加。此时, 阳极—阴极间呈现很大的阻抗, 管子处在正向阻断状态。当 U_a 上升到转折电压 U_{BO1} 时, J2 结击穿, 晶闸管突然由阻断转为导通。导通过程中发生上述正反馈的情况在图像上用虚线表示。导通后的特性与二极管相似。

当加上正向控制电压时, 控制极就有电流 I_g 出现, 晶闸管就会在较低的阳极电压下转向导通。也就是说, 控制电流会使转折电压降低, 前者越大, 后者越低。

如果设法不断降低导通管的 U_a (可通过增大阳极电阻 R 的途径实现), 则 I_a 会不断减小。当它减小到某个定值(图中的 I_H) 时, 晶闸管立即恢复到阻断状态。

(2) 反向特性 晶闸管加反向阳极电压时, J1、J2 结均反偏, 故管内只能流过很小的漏电流, 处在反向阻断状态。当反向电压的绝对值增大到一定值时, 反向电流开始急剧增大, 该电压称为反向转折电压, 用 U_{RO} 表示。若 $|U_a|$ 超过 U_{RO} , 则管子击穿。

必须指出, 在很大的正向或反向电压的作用下使管子击穿导通, 这是不允许的。通常应使管子处在阻断状态, 或在触发电压作用下处于导通状态。

4. 主要参数

(1) 正向阻断峰值电压 PFU 在控制极开路晶闸管正向阻断时, 允许重复加在管子两端的最大电压, 称为正向阻断峰值电压, 记作 PFU。显然, 该电压应小于正向转折电压(例如, 可规定两者之差保持在 100V 以上)。平常所说晶闸管的耐压, 正是指这个参数。

(2) 反向阻断峰值电压 PRU 在控制极开路晶闸管反向阻断时, 允许重复地加在管子两端的最大电压, 称为反向阻断电压峰值, 用 PRU 表示。显然该电压应低于 U_{RO} (例如, 可规定两者之差保持在 100V 以上)。

(3) 额定正向平均电流 I_F 在规定的环境温度和标准的散热条件下, 晶闸管阳极允许连续通过的工频正弦半波电流的平均值, 称为额定正向平均电流, 以 I_F 表示。

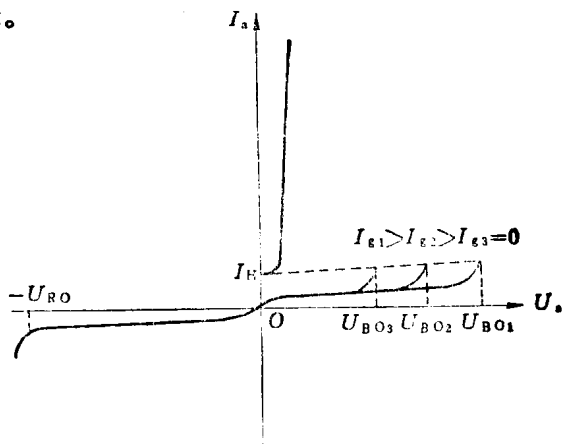


图1-6 晶闸管的伏安特性曲线

晶闸管的 I_F 可以高达上千安培,比一般二极管大得多,这使它在半导体器件的应用中率先进入了强电领域。

由于晶闸管的过载能力较低,故在选用时,应使 I_F 比实际平均电流大一些(一般取 1.5~2 倍),以留有较大的余地。

(4) 维持电流 I_H 在规定的环境温度和控制在控制极开路的情况下,维持晶闸管导通所需要的最小阳极电流,称为维持电流,记作 I_H 。当 I_a 小于 I_H 时,管子关断。

由于生产发展的需要,除了上述普通的晶闸管,还研制出了种种性能各异的特种晶闸管,如双向晶闸管、可关断晶闸管、光控晶闸管、快速晶闸管等等。

晶闸管的简化型号由三部分组成。第一部分以字母 K 表示可控整流;第二部分表示种类(其中 P 表示普通管, K 表示快速管, S 表示双向管);第三部分表示参数 I_H 。例如, KP-100 表示 I_H 为 100A 的普通晶闸管。

晶闸管的应用范围很广,例如,它可将交流电变成电压可变的直流电(即进行可控整流),能将直流电变成交流电(即进行逆变),还可以制成各式各样的无触点功率开关等等。

二、单结晶体管

单结晶体管(Unijunction transistor)又名双基极晶体管。

1. 结构

单结晶体管的内部结构如图 1-7(a)所示。在一块低掺杂(高电阻率)的 N 型硅片的一侧的两端各引出一个欧姆接触的电极,分别称为第一基极 b_1 和第二基极 b_2 。而在硅片的另一侧的某处,设法掺入 P 型杂质,从而形成一个 PN 结,并引出发射极 e 。图 1-7(b)是这种管子的符号。

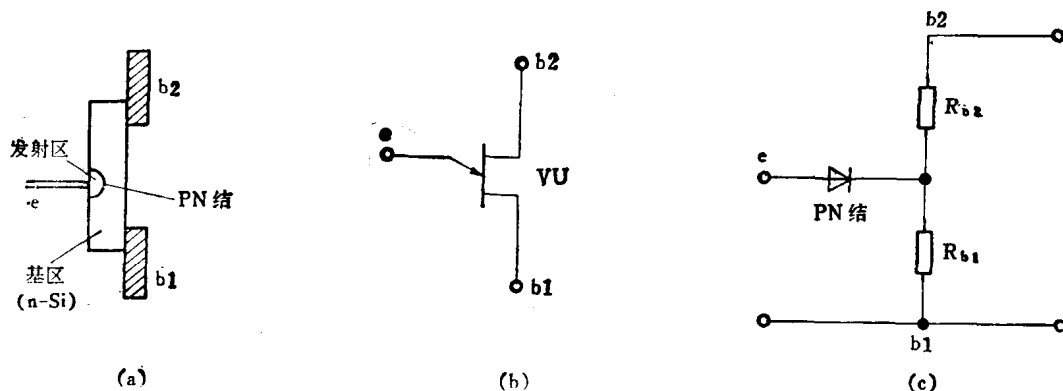


图 1-7 单结晶体管

存在于两个基极之间的电阻是硅片本身的电阻,其阻值一般在 2~15k Ω 。该电阻被 PN 结所在处分成两部分,分别记为 R_{b1} 和 R_{b2} 。而 PN 结则相当于一个二极管。这样,可以得到如图 1-7(c)所示的单结晶体管的等效电路。

2. 伏安特性

单结晶体管的伏安特性是指它的发射极特性,即在两个基极之间的电压 U_{BB} (b_2 接正, b_1 接负)恒定时,发射极电流 I_e 与发射极-第一基极电压 U_e 之间的函数关系。其中 I_e 作自变量, U_e 作因变量。

测试该特性的实验电路如图 1-8(a) 所示。电压值可调的直流电源通过限流电阻 R_e 接在管子的 e 极与 b1 极之间。增大发射极电源 GB_e 的电压, 则电流 I_e 随之增大, 电压 U_e 也发生相应的变化。

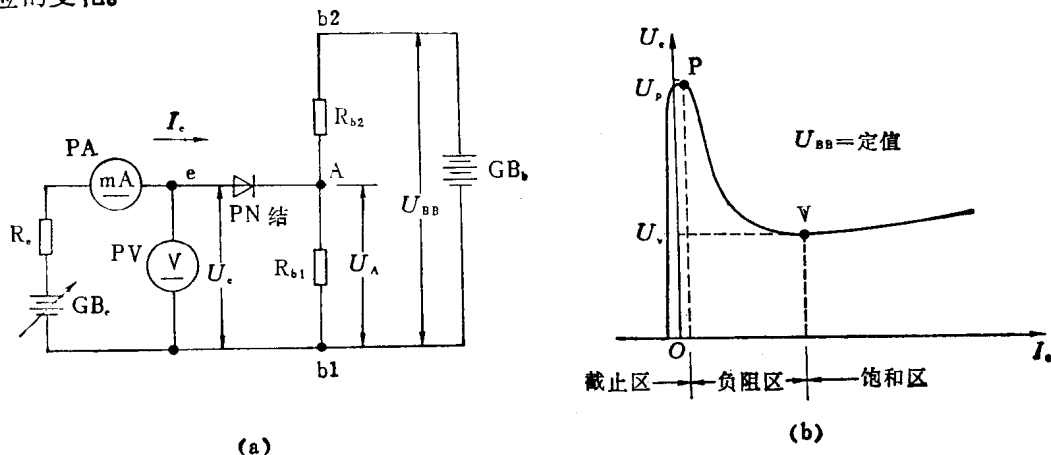


图 1-8 单结晶体管的伏安特性

下面分三个区来分析管子的伏安特性。

(1) 截止区 当发射极不加电压时, 电压 U_{BB} 由 R_{b1} 和 R_{b2} 进行分压, 使 A 点与 b1 之间的电压

$$U_A = \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} U_{BB} = \eta U_{BB} \quad (1-1)$$

式中 η 为分压系数。它与管子构造有关, 一般在 0.3~0.9 之间, 是单结晶体管的主要参数之一。

当电压 U_e 较小时, $U_e < U_A + U_F$ (U_F 为 PN 结的正向压降), 故 PN 结反偏截止, I_e 实为其反向漏电流。不难理解, 此时的伏安特性与二极管伏安特性的反向部分相似, 如图 1-8(b) 中 OP 段曲线所示。

(2) 负阻区 当 U_e 增大到 $U_e = U_A + U_F$ 时, PN 结开始导通。这在图 1-8(b) 中相应于 P 点, 其电压 $U_P = U_A + U_F$ 。PN 结导通后, 发射区中大量的空穴注入基区, 由于 b1 的电位低于 b2, 绝大多数空穴分布在基区靠 b1 的一侧。同时为了保持电中性, 有等量的电子从 b1 漂移到这个区域。这些载流子的出现使电阻 R_{b1} 减小, 因而使分压系数减小, 导致 U_A 下跌。由于 $U_e = U_A + U_F$, U_F 变化甚微, 因此 U_e 亦随之下降。由此可进一步推断, 在这个区域, 随着 I_e 的不断增大, U_e 不断下降, 即电压电流关系呈现负阻(指动态电阻)特性, 如图 1-8(b) 中 PV 段曲线所示。由图可见, 转折点 P 成了峰点, U_P 也因此得名峰点电压。

负阻区开始那段的曲线很陡, 这是由于在上述过程中存在着正反馈, 可用递变链表示如下:

$$\begin{array}{ccccccc} U_A \downarrow & \longrightarrow & U_F \uparrow & \longrightarrow & I_e \uparrow & \longrightarrow & R_{b1} \downarrow \longrightarrow U_A \downarrow \longrightarrow U_e \downarrow \\ & & \uparrow & & \text{加剧} & & \uparrow \end{array}$$

(3) 饱和区 过了负阻区, I_e 再继续增大, 由于载流子密度太高, 使它们的复合率增大, 这阻碍了 R_{b1} 的继续减小, 因此在 I_e 增大时 U_e 反而略有增加, 呈现出接近于饱和的特性, 如图 1-8(b) 中 V 点右方的曲线所示。于是, 转折点成了谷点, 与其相应的电压 U_V 称为

谷点电压。

从上分析可知：

① 单晶体管的峰点电压 $U_P = \eta U_{BB} + U_F \approx \eta U_{BB}$ 。当 $U_e < U_P$ 时，管子的 e 极与 b1 极之间截止；只有当 $U_e > U_P$ 时，这两个电极之间导通。

② 峰点电压 U_P 不是固定值，它与管子的分压系数 η 及外加电压 U_{BB} 有关： η 大则 U_P 大； U_{BB} 大则 U_P 也大。

③ 导通后若发射极电压减小到谷点电压 U_V 以下，则管子由导通恢复到截止。一般 $U_V = 2 \sim 5V$ 。

单晶体管的型号一般由四个部分组成。第一部分以字母 B 表示半导体；第二部分以字母 T 表示特种管；第三部分以数字 3 表示有三个电极；第四部分表示耗散功率。例如，BT33 是一种耗散功率为 300mW 的单晶体管。

第二节 光电器件

光电器件就其本义而言，应是指能把光能转换成电能的器件，本节介绍的光敏管、光电倍增管和光电池即为这样的器件。发光二极管则相反，它能把电能转换成光能。至于光电耦合器，它是发光二极管与光敏管的结合。在本节也将后两种器件一并列入讨论的范围。

一、发光二极管

发光二极管是利用 PN 结把电能转换成光能的半导体器件。它常缩写为 LED (Light Emitting Diode)。

1. 发光机理

由半导体能带理论可知，半导体中的导电电子处在导带中，空穴则处在满带中。如果半导体中掺有杂质，则电子和空穴还可以处在杂质能级上。杂质能级的位置靠近导带底 (N 型杂质) 或靠近满带顶 (P 型杂质)。

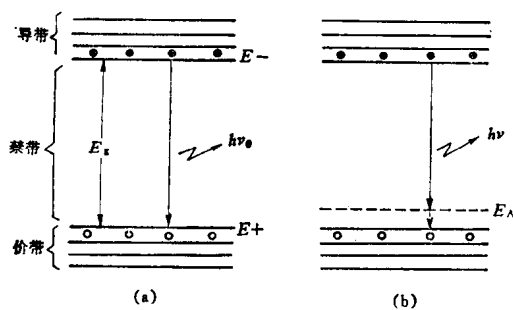


图 1-9 半导体发光的两种机理

当电子和空穴相遇时会发生复合。从图 1-9 所示的能带图上看，有以下两种方式：一种是导带中的电子直接跃迁至满带，这称为直接复合；另一种是导带电子先跃迁至杂质能级 E_A (以 P 型杂质为例)，被之俘获后再跃迁至满带，这称为间接复合。

无论哪种复合，电子跃迁后所减少的能量，都要转换成光能发射出去，放出光子。对于直接复合，

$$h\nu_0 = E_g = E_- - E_+ \quad (1-2)$$

式中 E_g 称为禁带宽度， ν_0 为光的频率， E_- 和 E_+ 分别为导带底和满带顶的能量， h 为普朗克常数。而对于间接复合，如果只计导带向杂质能级 E_A 的跃迁，则

$$h\nu = E_- - E_A \quad (1-3)$$

比较以上两式可知，对于同一种半导体材料，直接跃迁产生的光波波长应短于间接跃迁。

PN结加正向电压以后,能产生较大的正向电流。这时,P区有大量的空穴注入N区,在PN结近旁与N区中的电子复合;同样,N区有大量的电子注入P区,在PN结的另一侧与P区中的空穴复合。在复合中由于电子的跃迁,都要发出光来。

可见光的波长通常在 $3800\sim 7600\text{\AA}$ 。取其上限代入(1-2)式,可算得 $E_g = 1.6\text{eV}$ 。可见,若要求二极管发出可见光,则半导体材料的 E_g 必须大于 1.6eV 。目前用于制作发光管的材料主要是些Ⅲ-V族化合物半导体,它们的 E_g 均能满足这个要求。

图1-10所示的图像表示发光管的光谱特性。曲线通常呈峰形。光强极大值所对应的波长称为峰值波长,用 λ_p 表示。光强在50%以上的波长范围称为半峰高带宽,用 $\Delta\lambda$ 表示。

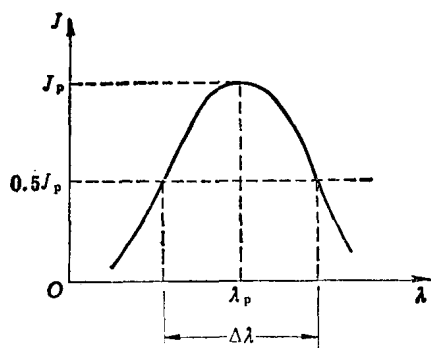


图 1-10 发光管的光谱特性

2. 常用的品种及其光谱特性

(1) 磷化镓(GaP)管 磷化镓是间接复合型材料,它能发出红、绿两种不同颜色的光。红色和绿色发光管的差别主要在于半导体材料的掺杂;红光管的材料中掺有锌和氧的复合物(Zn-O);绿光管的材料掺的是锌和氮。红、绿两种发光管的峰值波长分别为 690nm 和 565nm ,半峰高带宽分别为 100nm 和 35nm 。

在电流密度较小时,发光管的发光强度随电流增大而增大。但在电流密度较高时,发光强度不再随电流增大而变化,这种现象叫做光饱和。

磷化镓发光管的发光响应速度比较慢。

(2) 砷化镓(GaAs)管 砷化镓管是一种直接跃迁型的发光管。它的峰值波长因管型而异,一般在 $910\text{nm}\sim 940\text{nm}$,处在红外区域。

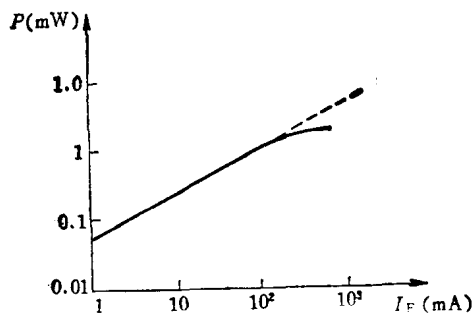


图 1-11 GaAs 发光管的发光特性

图1-11表示这种管子光输出功率 P 与正向电流 I_F 的关系。由图可知,当 I_F 较大时,由于管子发热,曲线下弯,出现饱和现象。如欲增加光输出,则须用脉冲电流以减轻管子发热。

砷化镓发光管的脉冲响应速度很快,约为几十毫微秒,可用来产生频率很高的调制光。

(3) 磷砷化镓(GaAsP)管 磷砷化镓是直接跃迁型材料砷化镓与间接跃迁型材料磷光

镓的混合晶体,是目前用得较多的一种发光管材料。

磷砷化镓管的峰值波长与两种材料的配比有关。设磷化镓占的比例为 x ,则砷化镓占 $(1-x)$ 。当 x 由1变到0时,发射光的峰值波长由 565nm 左右变到 910nm 左右。在室温下如取 $x\approx 0.4$,此时 λ_p 约为 650nm (红光), $\Delta\lambda$ 约为 40nm 。

磷砷化镓发光管适宜于批量生产,不存在光饱和现象,而且发光响应速度较高。

3 其他性能

与普通二极管相同,发光二极管也有单向导电特性。它的伏安特性曲线也与普通二极管相似。不过正向压降较大,一般在 $1\sim 3\text{V}$ 之间,视管型而定。反向耐压不高。

发光二极管的使用温度在 $-55^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。当环境温度升高时，为避免 PN 结温度过高，应适当减小正向电流。这样当然要减弱光输出，这正是它的一个缺点。为克服这个缺点，可采用脉冲供电的办法。另外，改善散热条件也有利于增强光输出。

4. 点燃电路

发光二极管可用直流电源点燃，也可用交流电源或脉冲电源点燃。

图 1-12 所示的是直流点燃和交流点燃的基本电路。其中 R_s 为限流电阻，它既能限制发光管的工作电流，又能调节该电流。对于图 1-12(b) 中保护二极管 VD 的选取，主要考虑反向耐压，要求它高于交流电压 u 的单峰值，以保证发光管 VL 在交流电负半周时不被击穿。

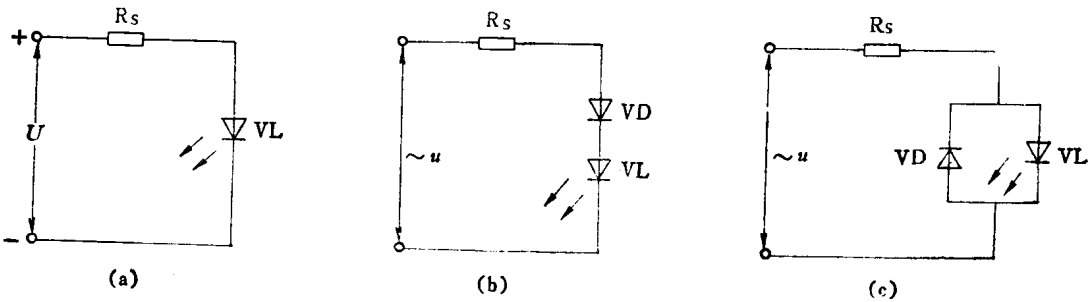


图 1-12 发光管的点燃电路

国产的发光管的型号常以字母组 BT 开头，例如 BT200 系列为红色发光管，BT 300 系列为绿色发光管等。

发光二极管主要在光电控制中作为光源使用。它也能用于有色显示。此外，它还是光电耦合器的两个主要组成部分之一。

二、光敏管

1. PN 结的光电效应

图 1-13(a) 所示的是一个受到光照的 PN 结。光垂直于 PN 结界面方向入射。为加深光

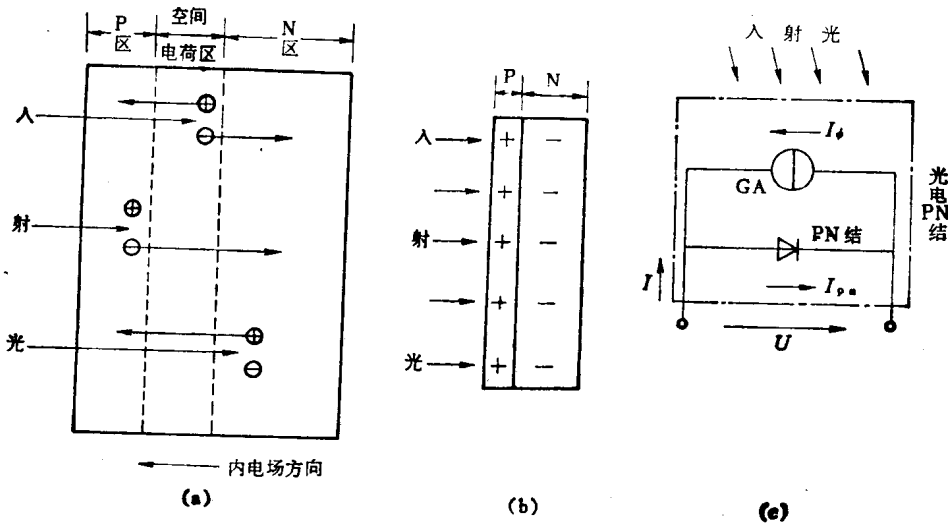


图 1-13 PN 结的光电效应

的透射力,受光面的P区制得很薄。入射光不仅能穿越P区和空间的电荷区,而且可以到达N区中靠近空间电荷区的那一带。

如果光子的能量大于半导体的禁带宽度,则进入空间电荷区的光线能把价带中的电子激发到导带中去,从而产生电子-空穴对,即产生所谓的光生载流子。这些载流子在内电场的作用下,分别漂移到N区和P区。同样,透入P区的光线也能激发出光生载流子,其中的电子一旦扩散到空间电荷区边界,即被内电场扫入N区,空穴则留在P区。此外,透入N区的光线,它们所激发的空穴在扩散到电荷区边界时,被内电场扫到P区,而电子则留在N区。上述关于光激发的三种情况,在图1-13(a)中一并得到表示。

总之,在光的照射下,N区由于集积了大量光生电子而带上了负电;P区则由于集积了大量光生空穴而带上了正电,如图1-13(b)所示。于是P区与N区之间便存在着电压。人们把产生这种电压的电动势称为光生电动势。如果把这样的PN结接在某个回路中,则会形成电流。该电流由光生电动势所致,故称光生电流,用 I_{ϕ} 表示。

为同时表示出原有的单向导电特性 上述的光电效应,可以把这种带光电效应的PN结等效成图1-13(c)所示的电路。在这个电路中,光电效应的效果用一个并联在一般PN结上的恒流源GA来等效。

根据这个等效电路,当电压 U 和光照同时存在时,电流 I 由PN结电流 I_{pn} 与光电流 I_{ϕ} 两部分组成,它们的关系为

$$I = I_{pn} - I_{\phi} \quad (1-4)$$

利用这个关系,很容易由PN结的伏安特性曲线得到光电PN结的伏安特性曲线,如图1-14所示。图中, I_{ϕ} 以参变量的形式出现。当 $I_{\phi} = 0$ 时意味着无光照,所对应的正是普通二极管的伏安特性曲线。有光照时,只要将该曲线向下平移即可,移动的距离可为 $I_{\phi 1}$ 、 $I_{\phi 2}$ 等。

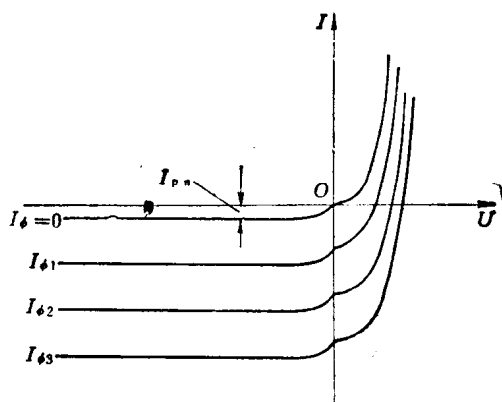


图1-14 光电PN结的伏安特性

2. 光敏二极管

(1) 光敏特性的获得 让我们把注意力集中到图1-14的第三象限。在这个象限,电压和电流都取负值。若像图1-15(a)所示的那样把 U 和 I 的正方向都逆转过来,曲线就可以改画到第一象限,如图1-15(b)所示。

这些曲线说明了这样一个事实:无光照时,光电流 $I_{\phi} = 0$,电路中仅存PN结的反向漏电流,它常被人们称为暗电流;有光照时,回路中将出现较大的电流,其大小近似等于 I_{ϕ} 。光照越强,电流也越大。可见,光电PN结一经这样连接,它的导电能力完全依赖于光照,呈现出所谓的光敏特性,也就成了一种重要的光传感器件——光敏二极管。

(2) 主要特性 图1-16给出了硅光敏二极管典型的光照特性曲线。由图可知,光电流 I_{ϕ} 与光的照度 L 基本上成线性关系,这使它能适合于检测方面的应用。

表征光照特性的参数是灵敏度 S ,它的定义是光电流的变化量与光照变化量之比。其中光照变化量有取照度变化量 ΔL 的,也有取光通量之变化量 $\Delta \Phi$ 的,更多的则取入射光能量的变化量 ΔE ,即

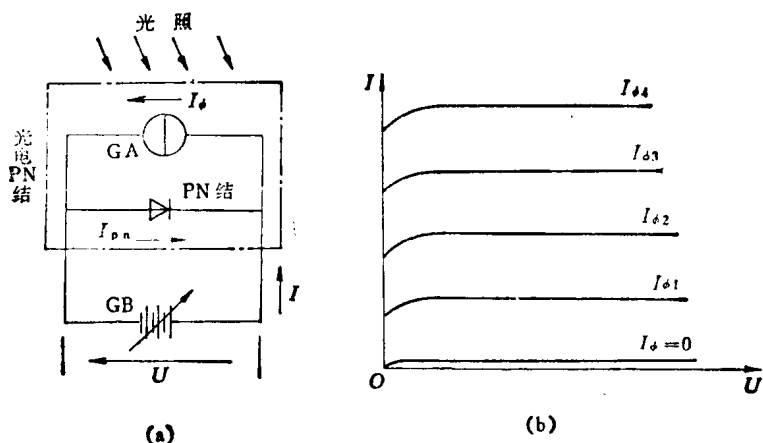


图 1-15 光敏二极管的伏安特性

$$S = \frac{\Delta I_\phi}{\Delta E} \text{ 或 } S = \frac{\Delta I_\phi}{\Delta \phi} \text{ 或 } S = \frac{\Delta I_\phi}{\Delta L}$$

例如对于图 1-16 所示的光照特性, $S = 0.1 \mu\text{A}/\text{lX}$ 。

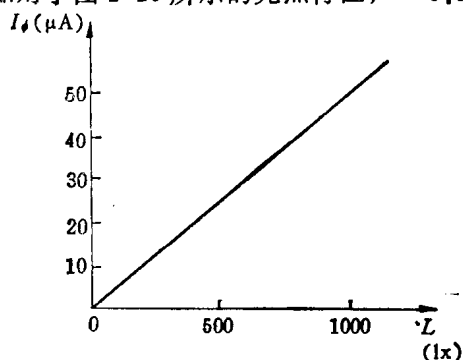


图 1-16 光敏二极管的光照特性示例

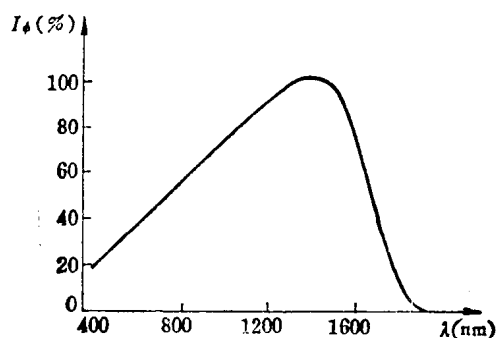


图 1-17 锗光敏二极管的光谱特性

光敏二极管的光谱特性取决于所用的半导体材料。图 1-17 给出了锗管的光谱特性。由图可知, 它的光谱响应范围在 400nm~1800nm 之间, 较灵敏的响应区在 1400nm~1500nm 之间。硅管的光谱特性在后面再作介绍(见图 1-25)。

在光谱特性曲线中, 波长 \$\lambda\$ 增加引起光电流相对值 \$I_\phi\$ (%) 减小, 这是由于光子能量随波长增大而减小。过了峰值, \$I_\phi\$ (%) 又会随 \$\lambda\$ 减小而减小, 这是由于 \$\lambda\$ 射光在材料中的穿透能力随 \$\lambda\$ 减小而减弱。

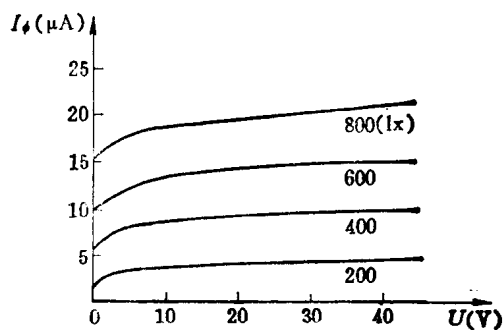


图 1-18 光敏二极管的伏安特性示例

图 1-18 给出一个光敏管实际的伏安特性曲线。图中, 照度 \$L\$ 作为参变量出现。由图可见, 这种管子的伏安特性与晶体管的输出特性十分相似。但光敏管在外加电压为零时仍有电流, 这是有别于晶体管的。具体的原因有待在后面讨论光电池时再作解释。

利用伏安特性曲线, 我们可以求得灵敏度、工作电流及暗电流等参数。