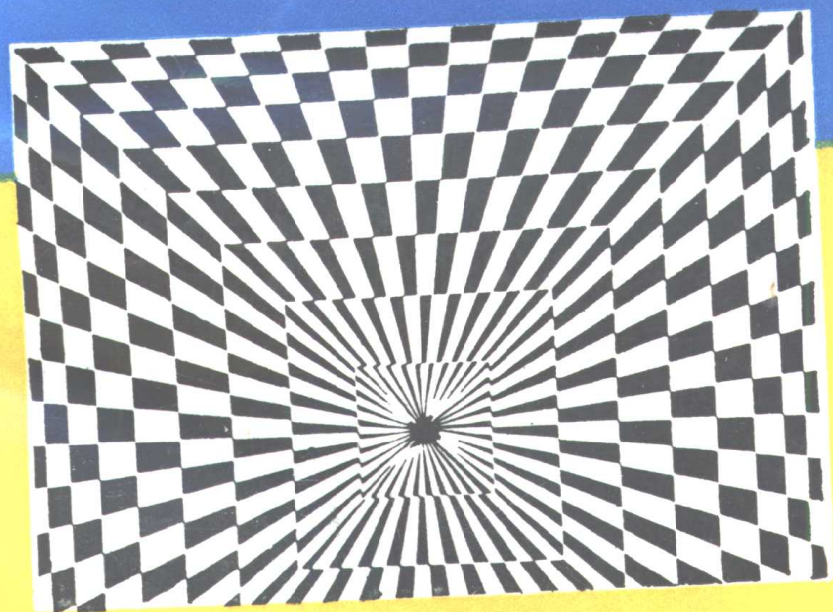


现代电子学 及应用

童诗白 徐振英 编



高等教育出版社

现代电子学及应用

童诗白 徐振英 编

高等教育出版社

(京) 112号

内 容 简 介

本书是编者在从事现代电子学课程及实验教学的基础上编写的,其目的是使读者用较短的时间即可了解常用电子器件及其具体应用。其特点是:实用性强,突出介绍各种器件的功能、参数、选用时应注意的问题,而不作理论推导;内容先进,尽可能引入目前我国已经开始流行的先进器件;涉及面广,除列举由器件组成的功能单元外,还从系统组成的角度介绍实现信号获取的各种传感器,实现信号处理的各种专用集成电路,实现信号执行的各种机构;配合应用,书中阐述了几种典型电子系统的设计步骤,提供十余种设计实例,还附有常用元、器件的参考资料和许多设计实验题,以供实践时选用;利于自学,书中提供大量有针对性的参考书目和登载在国内杂志上有关单片机应用的课题,有些章的后面还有自学检验题,以检验自学效果;此外,本书对先修课程要求不多,凡有电工学和少量计算机基础的读者均可理解全部内容。

全书共有四大部分,第一部分是半导体器件简介,第二部分是信号的传输,第三部分是电子系统设计举例及调试,第四部分是常用电子元、器件的参考资料,书末还有索引和书中引述的电子器件型号一览表,以利查阅。

本书可作为高等学校工科各专业的本科生和研究生提高应用电子技术能力的教材,也可供有关工程技术人员自学和参考。

本书责任编辑 任庆陵

现代电子学及应用

童诗白 徐振英 编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 17.125 字数 440 000
1994年11月第1版 1994年12月第1次印刷

印数 0001—1748

ISBN 7-04-004988-0 / TN·207

定价 9.65元

前 言

现代电子技术发展极为迅速，新的理论、新的方法、新的器件、新的工艺层出不穷，它的应用已经渗透到工业、农业、商业、国防以及日常生活中的各个领域，促进了国民经济的不断增长。过去认为不需要电子技术的学科，现在已经感到没有它就不能适应现代化的发展，用上它就如虎添翼。在尖端科学装置的研制、新、老企业的技术革新以及消化、改造、完善引进的国外先进设备等方面，这种应用事例不胜枚举。因此，许多非电专业的师生和技术人员都非常希望能尽快地把它用上。然而，从专业的特点出发，又不必要照搬电专业的要求，按部就班、深入细致地去学。针对这种情况，我们从1989年起，开始编写《现代电子学及实验》讲义，并向全校研究生开设这门课。几年来，选修这门课程的既有非电专业的学生，也有电专业的学生；既有硕士生，也有博士生；既有本校生，也有外单位的研究生。通过学习有关内容并亲自动手完成一个具体装置的定方案、选器材、安装、调试等任务之后，非电专业的学生反映克服了对电子技术的畏缩心理，加强了应用电子技术的信心；电类学生反映学到了新的知识，巩固了以前学过的内容，在应用新技术解决实际问题方面更上一层楼。教学实践的经验使我们认识到，在将上述讲义整理成为教材时，可以扩大适用的范围，以满足各方面的需要。为此，我们拟定了以下几条编写原则：

一、突出实用性 本书着重介绍各种电子器件的功能，指出选用时应注意的问题，提供实际应用的方案和电路，给出结论而略去分析过程。因此，要求先修课程的起点较低，凡具有电

工学和少量计算机基础的读者，均可领会全部内容。

二、体现先进性 本书尽可能介绍在国内已经流行的先进元、器件产品和技术。例如，在器件方面介绍了与计算机配合的可编程模拟和数字集成电路，在传感器方面加强了各种半导体传感器的介绍，在执行机构方面包括了无刷电机，在系统方面引入了各种单片机应用系统，使读者学过本书后能跟上形势发展的需要。至于通用微型机的应用，因它属于另一门课程的范畴，故未列入。

三、开拓知识面 本书的第一部分，除介绍各种半导体器件的性能和参数定义以外，还尽可能地附上参数的具体数据和有关器件的性能比较，以供选用时参考。在第二部分，以系统为纲，包括系统中实现信号获取的传感器，实现信号处理的各种专用集成电路以及实现信号传输任务的执行单元。在第三部分，以应用为纲，列举了十余种典型电子系统的设计实例，提出设计步骤和实现过程，以供读者借鉴。这些都是目前通用电子技术基础教材中所没有的，或较少涉及的。

四、配合应用 本书第三部分除了提供设计的全过程以外，还附有不少进行设计、实验的课题和电子系统的调试步骤；第四部分提供常用电子元器件的主要参数表，以供实践时选用。

五、有利于自学 本书在叙述过程中，经常列出国内常见到的参考资料名称和页码，以便读者进一步了解有关内容；在第三部分附有主要是单片机在各方面应用的文章出处，以便读者结合自己的课题进一步探索；在有些章的末尾附有自学检验题，以便读者自行检查学习效果。全书最后附有索引，以便读者迅速查阅。

我们希望上述特点能使本书既可用于研究生和本科高年级学生的教学，又可作为科技人员的参考资料；既适用于课堂教学，又适用于实验教学；既适用于非电专业，对电专业的读者也有益处。

本书的单片机部分、第三部分和第四部分由徐根英编写，其余部分由童诗白编写。原讲义承西安交通大学电子学教研室沈尚贤、何金茂、叶德璇、唐泽荷几位教授审阅，提出许多宝贵意见。山东矿业学院汤元信副教授在使用原讲义进行教学时，也指出不少存在的问题。本校唐统一、王家祯两位教授在本书编写过程中给以指导并提供参考资料，谨在此向他们致以衷心的感谢。

《现代电子学及应用》是我们在电子技术课程建设中的一个新的方面。由于它的内容更新快，所牵涉的范围广，我们又缺乏经验，因此书中一定有谬误和欠妥之处，恳请各方面的读者给以指正。

编 者

1994年1月

于清华大学自动化系

目 录

第一部分 半导体器件简介

第一章 常用分立半导体器件简介	(1)
1.1.1 普通二极管	(1)
1.1.2 稳压管	(4)
1.1.3 光电器件	(6)
1.1.4 晶体管	(9)
1.1.5 场效应管	(14)
1.1.6 晶闸管	(20)
第一章自学检验题	(24)
第二章 常用模拟集成电路简介	(28)
1.2.1 集成运算放大器	(28)
1.2.2 集成电压比较器	(34)
1.2.3 集成模拟乘法器	(37)
1.2.4 集成直流稳压电源	(41)
1.2.5 集成锁相环	(48)
1.2.6 集成采样保持电路	(51)
1.2.7 集成函数发生器	(56)
第二章自学检验题	(58)
第三章 常用数字集成电路简介	(62)
1.3.1 集成模拟开关	(62)
1.3.2 集成逻辑门电路	(64)
1.3.3 集成加法器	(76)
1.3.4 集成编码器	(77)
1.3.5 集成译码器与数据分配器	(79)

1.3.6	集成数据选择器	(84)
1.3.7	集成数值比较器	(87)
1.3.8	集成双稳态触发器	(90)
1.3.9	集成施密特触发器	(99)
1.3.10	集成单稳态触发器	(103)
1.3.11	集成寄存器和移位寄存器	(108)
1.3.12	集成计数器	(113)
1.3.13	集成定时器	(120)
1.3.14	集成存储器	(125)
1.3.15	专用集成电路ASIC	(133)
	第三章自学检验题	(154)
第四章	单片微型计算机简介	(169)
1.4.1	MCS-48 系列单片机	(170)
1.4.2	MCS-96 系列单片机	(171)
1.4.3	MCS-51 系列单片机	(176)
	第四章自学检验题	(234)
	第一部分参考资料	(236)

第二部分 信号的传输

第一章	信号的获取	(239)
2.1.1	传感器的一般性介绍	(240)
2.1.2	位移传感器	(247)
2.1.3	速度和加速度传感器	(255)
2.1.4	压力传感器	(259)
2.1.5	流量传感器	(261)
2.1.6	温度传感器	(262)
2.1.7	光敏传感器	(266)
2.1.8	气敏传感器	(274)
第二章	信号的处理	(281)
2.2.1	信号的放大	(281)
2.2.2	信号的滤波	(289)
2.2.3	信号的转换	(294)

2.2.4	信号的隔离	(324)
第三章	信号的执行	(329)
2.3.1	继电器	(329)
2.3.2	电动机	(332)
2.3.3	显示器件	(337)
	第二部分自学检验题	(342)
	第二部分参考资料	(343)

第三部分 电子系统设计举例及调试

第一章	量测与采集系统	(346)
3.1.1	概述	(346)
3.1.2	设计举例	(349)
	设计实验题	(363)
第二章	控制系统	(365)
3.2.1	概述	(365)
3.2.2	设计举例	(367)
	设计实验题	(386)
第三章	显示系统	(389)
3.3.1	概述	(389)
3.3.2	设计举例	(393)
	设计实验题	(407)
第四章	电子电路的电源	(410)
3.4.1	概述	(410)
3.4.2	设计举例	(413)
	设计实验题	(428)
第五章	通信系统	(429)
3.5.1	概述	(429)
3.5.2	设计举例	(431)
	设计实验题	(441)
第六章	电子系统的调试	(443)
3.6.1	概述	(443)
3.6.2	部件或单元调试	(443)

3.6.3 系统调试	(446)
第三部分参考资料	(447)
登载在国内杂志上有关主要是单片机应用的一些文章题目	(449)

第四部分 常用电子元、器件的参考资料

第一章 电阻器和电容器	(459)
表 4.1.1 电阻器阻值标称值	(459)
表 4.1.2 电阻器额定功率标称系列值	(460)
表 4.1.3 色标法中颜色代表的数值	(460)
表 4.1.4 几种有机薄膜介质电容器的主要参数	(460)
表 4.1.5 固定式电容器的容量标称系列值	(461)
第二章 半导体分立器件	(462)
表 4.2.1 国产半导体分立器件型号命名方法	(462)
表 4.2.2 几种硅单相桥式整流器的主要参数	(463)
表 4.2.3 几种半导体二极管的主要参数	(464)
表 4.2.4 几种稳压管的主要参数	(465)
表 4.2.5 几种光敏电阻的主要参数	(465)
表 4.2.6 几种硅光敏二极管的主要参数	(466)
表 4.2.7 几种光敏三极管的主要参数	(466)
表 4.2.8 几种硅光电池的主要参数	(467)
表 4.2.9 几种发光二极管的主要参数	(467)
表 4.2.10 几种光电耦合器的主要参数	(468)
表 4.2.11 几种场效应管的主要参数	(469)
表 4.2.12 几种晶体管的主要参数	(470)
表 4.2.13 几种晶闸管的主要参数	(471)
第三章 模拟集成电路	(472)
表 4.3.1 几种集成运算放大器的主要参数(附引脚图)	(473)
表 4.3.2 几种集成音频放大器的主要参数(附引脚图)	(477)
表 4.3.3 几种集成电压比较器的主要参数(附引脚图)	(479)
表 4.3.4 几种集成模拟乘法器的主要参数	(481)
表 4.3.5 几种集成稳压器的主要参数(附引脚图)	(482)
表 4.3.6 集成锁相环 CC4046 的主要参数(附引脚图)	(483)

表 4.3.7	几种单片集成采样保持电路的主要参数 (附引脚图)	(484)
表 4.3.8	单片集成精密函数发生器5G8038的主要参数 (附引脚图)	(485)
第四章	数字集成电路	(486)
表 4.4.1	TTL 器件的典型参数	(487)
表 4.4.2	几种TTL 门电路的主要参数(附引脚图)	(488)
表 4.4.3	几种TTL 译码器和数据选择器的主要参数 (附引脚图)	(493)
表 4.4.4	几种TTL 触发器、锁存器、单稳、计数器的主要 参数(附引脚图)	(494)
表 4.4.5	几种CMOS 门电路的主要参数(附引脚图)	(496)
表 4.4.6	几种CMOS 触发器、译码器、锁存器和计数器的 主要参数(附引脚图)	(499)
表 4.4.7	CMOS 数字集成电路和 TTL 的 74LS 系列的性能 比较	(502)
表 4.4.8	CMOS-LED 计数、译码、显示组合电路的主要 参数(附引脚图和功能说明)	(503)
表 4.4.9	几种集成A/D 转换器的主要参数(附引脚图 及说明)	(505)
表 4.4.10	几种集成D/A 转换器的主要参数(附引脚图 及说明)	(508)
表 4.4.11	几种集成存储器的主要参数(附引脚图及说明)	(510)
表 4.4.12	几种集成定时器的主要参数	(513)
表 4.4.13	几种CMOS 模拟开关的主要参数(附引脚图)	(514)
	索引(附本书引述的电子器件型号一览表)	(515)

第一部分 半导体 器件简介

电子器件是电子技术领域中的一个重要组成部分。电子技术的发展史说明，每当电子器件有一次变革，电子技术就有一次突破性进展。其中最显著的例子就是1947年12月在贝尔实验室问世的由半导体锗制成的晶体管，它的出现开辟了电子器件的一个新纪元，即电子设备中大部分电真空器件都逐步被半导体器件所代替。1958年问世的集成电路，1969年问世的大规模集成电路，1975年问世的超大规模集成电路，将半导体器件的集成度不断提高，使器件、电路、系统合而为一，具有性能优良、工作可靠、使用方便等优点。因此，了解半导体器件的性能并且能合理地选用，是非常必要的。

半导体器件的类型繁多，在此不能一一列举，这一部分只介绍最典型的、最常用的晶体管、模拟集成电路、数字集成电路以及单片机芯片的基本性能和主要参数。在本书的第四部分，还列出一些有关的半导体器件的参数，以供实验时选用。

第一章 常用分立半导体 器件简介

1.1.1 普通二极管

一、原理、符号、特性

半导体二极管的核心部分是PN结。它的符号如图1.1.1所

示。它的性能取决于PN结的单向导电性，即当阳极电位高于阴极时电流导通，称为正向；反之电流基本不导通，称为反向。它的伏安特性见图1.1.2，其中电压和电流的关系可由PN结方程(式1.1.1)表示。

$$I_D = I_S (e^{\frac{U_D}{\eta U_T}} - 1) \quad (1.1.1)$$

式中， I_S 为反向饱和电流， $U_T = kT/q$ ， k 为玻耳兹曼常数， T 为热力学温度， q 为电子的电荷，在室温 25°C 下， U_T 约为 26mV 。 η 是与半导体材料有关的系数，在 $1 \sim 2$ 之间。实际的伏安特性与式(1.1.1)所示的有一定的差别，特别是当反向电压超过某一极限值 $U_{(BR)}$ 以后，反向电流急剧增长，不再符合式中的规律。在正向区域，由于电流和电压呈指数关系，当电压较低时，电流很小而且增长较慢。当电压超过 U_{th} 后才有显著的增加(例如毫安级)。锗管的 U_{th} 约为 0.1V ，硅管的约为 0.5V 。

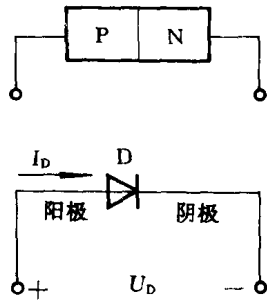


图1.1.1 PN结和半导体二极管的符号

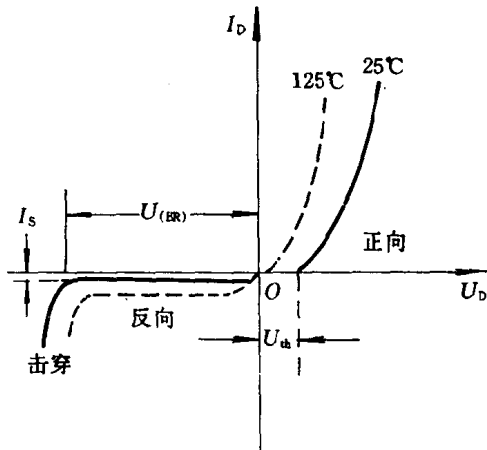


图1.1.2 半导体二极管的伏安特性

二、主要参数

1. 反向饱和电流 I_S ，它与半导体材料和温度有关。在常温下，硅管的 I_S 为纳安(10^{-9}A)级，锗管的 I_S 为微安(10^{-6}A)级，二者相差约千倍。

2. 温度系数 $\left. \frac{dI_S}{dT} \right|_{U_D}$ 和 $\left. \frac{dU_D}{dT} \right|_{I_D}$ 前一种参数指在反向工

作时，在电压恒定的条件下，温度变化对电流的影响，可大致认为温度每增 10°C ， I_S 增 1 倍。后一种情况是当温度变化时，要维持电流恒定所需要改变的电压值，一般是每度 -2mV 至 -2.5mV ，即温度每增加一度，要维持电流恒定，二极管端电压应减少 $2 \sim 2.5\text{mV}$ 。这二组数据对锗管和硅管都是基本适用的。

3. 额定整流电流 I_F 指二极管用于整流时，根据允许温升折算出来的平均电流值。目前大功率整流二极管的 I_F 值可达 1000A 。

4. 最大的反向工作电压 U_{RM} 指为避免击穿所能加的最大反向电压。为安全起见，手册中的 U_{RM} 值是击穿电压 $U_{(BR)}$ 值的一半。目前最高的 U_{RM} 值可达几千伏。

5. 最高工作频率 f_M 由于 PN 结具有电容效应，当工作频率超过某一限度时，它的单向导电性将变差。点接触式二极管的 f_M 值较高，在 100MHz 以上。用作整流的平面管则较低，为几千赫。

6. 反向恢复时间 t_r 指二极管由导通突然反向时，反向电流由很大衰减到接近 I_S 时所需要的时间，一般为纳秒级。大功率开关管工作在高频时，此项指标至为重要。

三、选择

在选择二极管的类型时，要从实际工作需要出发，例如在脉

冲状态下工作，可不受 I_F 的限制，但要注意 t_r 的值；在要求正向压降较低时宜选锗管，反向电流小时应选硅管，在工作温度高于 100°C 时应选硅管等。

本书第四部分表 4.2.2 中，列出了几种单相桥式整流器的主要参数，表 4.2.3 中列出了几种半导体二极管的主要参数。关于 PN 结方程的由来可参阅参考文献 [1-5] 66 ~ 70 页，[1-11] 75 ~ 84 页，其他内容可参阅 [1-1] 上册 16 ~ 31 页，[1-2] 模拟部分 17 ~ 26 页，[1-3] 7 ~ 18 页，[1-8] 13 ~ 22 页，[1-26] 17 ~ 23 页。

1.1.2 稳压管

一、原理、符号、特性

稳压管是利用 PN 结反向击穿特性所表现的稳压性能而制成的器件。它的符号和伏安特性分别如图 1.1.3 和图 1.1.4 所示。

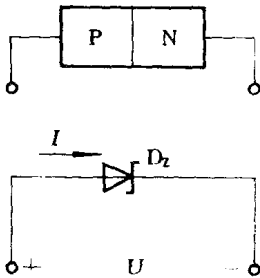


图 1.1.3 稳压管的符号

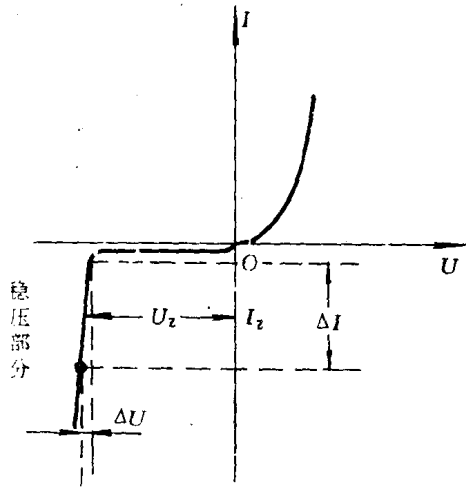


图 1.1.4 稳压管的伏安特性

二、主要参数

1. 稳压值 U_Z 指流过稳压管的电流为某一规定值时，稳压管两端的压降。改变掺杂成分和结构可以改变 U_Z ，其范围可以从 2V 至 200V，容差从 1% 至 20%。

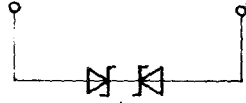


图 1.1.5 有温度补偿的稳压管

2. 电压温度系数 dU_Z/dT 。 U_Z 低于 4V 的稳压管其温度系数为负值，高于 7V 的为正值。商品化的低温度系数稳压管由两个 U_Z 约为 6V 的稳压管反向串连而成，如图 1.1.5 所示。其中，工作在反向的稳压管，其温度系数为正值，工作在正向的，其温度系数为负值，因此可以补偿到使温度系数低到 $5 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ，一般是 $10^{-3}/^\circ\text{C}$ 。

3. 动态电阻 $r_z (= \Delta U / \Delta I)$ 代表稳压性能。工作电流越大， r_z 越小，一般在 10Ω 左右。

4. 允许功耗 P_Z 由允许达到的温升所决定，它是 U_Z 与工作电流的乘积。小功率稳压管的 P_Z 值为 $100 \sim 200\text{mW}$ ，大功率的可达 50W 。

5. 稳压电流 I_Z 是测试稳压管参数时所加的电流。工作电流低于 I_Z 时仍能稳压，但 r_z 较大。若低于 1mA 则稳压性能要显著变坏。其最大值为 P_Z / U_Z 。

三、选择

稳压管的最主要的用途是稳定电压。在精度要求不高、电流变化范围不大的情况下，可选与需要的稳压值最为接近的稳压管直接同负载并联。通常在稳压、稳流系统中作为基准电源，也有在集成运放中作为直流电平移动用。它的缺点是噪声系数较高，因此在集成稳压器和高精度电源设备中，常用“带隙”式电压基准。见参考文献[1-5] 670 页及 708 页。

本书第四部分表 4.2.4 中，列出了几种稳压管的主要参数。

其他有关内容可参阅参考文献 [1-1] 上册 31 ~ 35 页, [1-2] 模拟部分 27 ~ 28 页, [1-3] 18 ~ 20 页, [1-5] 22 ~ 24 页, [1-8] 上册 22 ~ 26 页, [1-26] 23 ~ 25 页。

1.1.3 光电器件

一、原理、符号、特性

当光照射在 PN 结上时, 光子将激发出电子 - 空穴对, 而当外加电压使电子、空穴复合时, 又可以放出光子, 产生可见光。因此根据不同的材料、不同的掺杂、不同的结构和不同的工作状态, 光电器件可以是光电二极管 (工作在第三象限)、光电池 (工作在第四象限) 和发光二极管 (工作在第一象限)。它们的符号和特性曲线分别画在图 1.1.6 中, 可用式 (1.1.2) 描述上述关系。

$$I = -S\phi + I_s(e^{U/U_T} - 1) \quad (1.1.2)$$

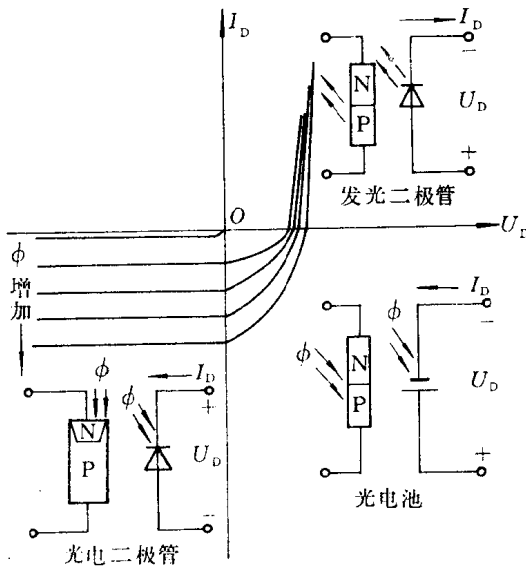


图 1.1.6 三种光电器件的符号和特性曲线
(图中所示为实际的电压、电流正方向)