

电子技术基础

中级技术理论教育用书

马宗林 主编

中国铁道出版社

内 容 简 介

本书是根据铁道部颁布的《铁路工人中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》编写的。本书共分十一章,内容包括:常用电子器件;基本放大电路;多级放大电路;负反馈放大电路;功率放大电路;正弦振荡电路;可控硅整流电路;直接耦合放大电路;直流稳压电路;脉冲电路及逻辑电路等。

本书供通信工、信号工、车电钳工、电力机车乘务员及内燃机车电气钳工等中级技术理论培训学习之用,也可供具有初中文化程度的人员自学参考。

中级技术理论教育用书

电子技术基础

马宗林 齐重敏编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 颜绍蓉 封面设计 安宏

各地新华书店经售

北京市东华印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 15.625 字数: 360千

1989年6月 第1版 第1次印刷

印数: 1--10,000册 定价: 5.20元

出版说明

为适应全路开展岗位职务培训的需要，根据（84）教职字23号文件颁布的《铁路工人中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》和教材〔1986〕55号文件《关于组编中级技工培训教材的通知》的要求，组织编写了《数学》、《机械制图》、《电工基础》、《电子技术基础》、《工程力学》等六种教学用书，作为有关工种中级技术培训通用的普通课、技术基础课统一教材。有关工种的专业课教材，在总结试用经验的基础上，再陆续编辑出版。

铁道部教育局

1987.10.30

前 言

本书根据铁道部颁布的《铁路工人中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》编写的，是一本供通信工、信号工、车电钳工、电力机车乘务员及内燃机车电气钳工等工种的已具初中毕业文化程度和初级技术理论知识的中级技术工人使用的专业基础教材。

本书共十一章，主要介绍电子电路方面的基本概念。考虑到成人教育的特点和工人的基础知识水平，注重物理概念，避免复杂的计算，文字上力求通俗易懂。本书还附有管子参数和部分习题答案，以供工人学习时查阅参考。

完成全书的教学内容需180学时，教学时可按铁道部颁布教学计划及教学大纲要求，结合本工种的特点，选学相应的内容。

全书由上海铁路局职工中等专业学校马宗林主编，并具体编写1~5章及第9章，齐重敏协编，并具体编写6、7、10、11章。郑州铁路机械学校刘世魁、杭州铁路分局职工学校刘其昌主审，杭州铁路分局职工学校祁玉萍协审。在编写过程中，得到了北京、天津、济南职工中等专业学校的大力帮助，在此深表谢意。

限于编者水平，本书难免有些缺点和错误，望读者批评指正。

编 者

一九八七年七月

目 录

第一章 常用电子器件	(1)
第一节 晶体二极管	(1)
第二节 晶体三极管	(22)
第三节 场效应管	(39)
第四节 集成电路	(48)
第五节 电子管	(55)
本章小结	(69)
习 题	(71)
第二章 基本放大电路	(74)
第一节 放大电路组成及工作原理	(75)
第二节 放大电路的基本分析方法	(81)
第三节 影响放大电路工作的几个因素	(99)
第四节 偏置电路和静态工作点的稳定	(104)
第五节 晶体管的三种基本接法及其性能比较	(120)
第六节 基本放大电路的故障检查	(123)
本章小结	(126)
习 题	(128)
第三章 多级放大电路	(133)
第一节 放大器组成及耦合要求	(133)
第二节 放大电路的输入和输出电阻	(136)
第三节 阻容耦合放大电路	(140)
第四节 变压器耦合放大电路	(147)
第五节 多级放大电路实例	(151)
本章小结	(152)

习 题	(153)
第四章 负反馈放大电路	(155)
第一节 反馈的基本概念	(156)
第二节 负反馈放大电路类型	(157)
第三节 负反馈电路放大倍数的一般表达式	(164)
第四节 负反馈对放大电路性能的影响	(167)
第五节 负反馈放大电路的计算及实例	(176)
第六节 放大电路的自激振荡及消除	(193)
本章小结	(197)
习 题	(198)
第五章 功率放大电路	(203)
第一节 功率放大电路的特点和分类	(203)
第二节 乙类推挽功率放大电路	(205)
第三节 无变压器的功率放大电路	(216)
第四节 功率放大电路常见故障分析及处理	(229)
本章小结	(232)
习 题	(233)
第六章 正弦振荡电路	(234)
第一节 自激振荡的基本原理	(234)
第二节 LC 振荡电路	(238)
第三节 石英晶体振荡电路	(256)
第四节 RC 振荡电路	(263)
第五节 LC 振荡电路测试调整和常见故障	(271)
本章小结	(275)
习 题	(276)
第七章 可控硅整流电路	(278)
第一节 可控硅整流元件	(278)
第二节 可控硅整流电路	(284)

第三节	感性负载时的可控硅整流电路	(294)
第四节	可控硅触发电路	(296)
第五节	可控硅的串并联应用及保护	(305)
第六节	整流电路的常见故障及检查	(307)
本章小结		(309)
习 题		(310)
第八章	直接耦合放大电路	(311)
第一节	直接耦合放大电路的形式及特点	(311)
第二节	差动放大电路	(316)
第三节	直接耦合放大电路的应用	(328)
第四节	直接耦合放大电路的常见故障	(331)
第五节	集成运算放大器	(334)
本章小结		(346)
习 题		(348)
第九章	直流稳压电路	(350)
第一节	稳压概念及稳压电源组成	(350)
第二节	串联型晶体管稳压电路	(352)
第三节	稳压电源的主要参数	(357)
第四节	提高稳压电源性能的几种电路	(366)
第五节	稳压电源的过载及短路保护电路	(373)
第六节	集成稳压电路	(377)
第七节	实用直流稳压电源	(381)
第八节	直流稳压电源的维护及故障分析方法	(385)
本章小结		(388)
习 题		(390)
第十章	脉冲电路	(392)
第一节	脉冲电路的基本概念	(392)
第二节	开关电路	(400)

第三节	双稳态触发电路	(411)
第四节	单稳态触发电路	(426)
第五节	脉冲信号发生电路	(432)
第六节	触发电路常见故障分析	(437)
本章小结		(442)
习 题		(444)
第十一章	逻辑电路简介	(446)
第一节	分立元件门电路	(446)
第二节	“与非”门逻辑集成电路	(453)
第三节	集成触发器	(460)
第四节	逻辑部件	(466)
本章小结		(475)
习 题		(475)
附录		(478)
附录 1	半导体器件型号命名方法	(478)
附录 2	几种二极管主要参数	(479)
附录 3	3CT系列可控整流元件主要参数表	(484)
附录 4	BT3系列单结晶体管主要参数表	(486)
附录 5	部分习题答案	(486)
附录 6	文字符号说明	(490)

第一章 常用电子器件

〔提要〕本章主要介绍晶体二极管、晶体三极管、场效应管及电子管的性能、主要参数及工作原理。另外，对集成电路也作了概要介绍。

第一节 晶体二极管

在现代铁路通信、信号和机车、车辆的电气设备中，使用着大量的晶体二极管（以下简称二极管）。其类型有多种，并且性能不同，用途各异。有的适用于整流、稳压，有的适用于检波、监测，也有的适用于控制、表示。因此，二极管的用途极其广泛。要正确使用二极管，就必须了解各类二极管的结构、性能及特点。

一、结 构

常见二极管的外形和图形符号如图 1—1 所示，(a) 为外形，(b) 为图形符号。它有两个电极，一个叫做正极，另一个叫做负极。其内部结构又分点接触型和面结合型两类，如图 1—2 所示，(a) 为点接触型，(b) 为面结合型。二极管的核心是 PN 结。点接触型二极管由于 PN 结面积小，只能通过较小的电流，一般不超过几十毫安，适用于高频（几百兆赫）工作，常用作检波二极管。面结合型二极管由于 PN 结面积大，允许通过较大电流，所以常把它用作整流管。

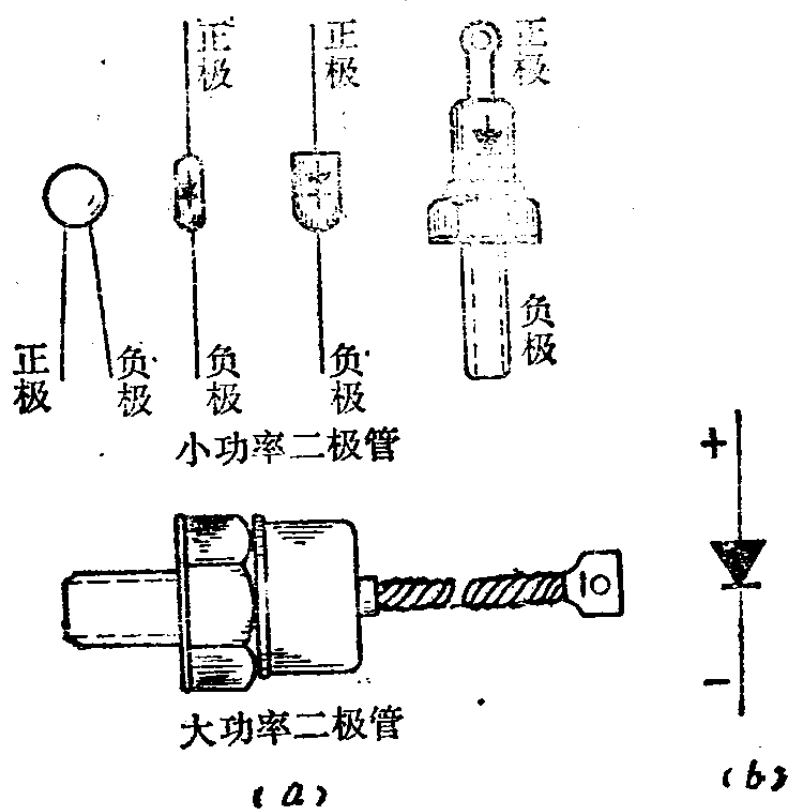


图 1-1 二极管的外形及图形符号

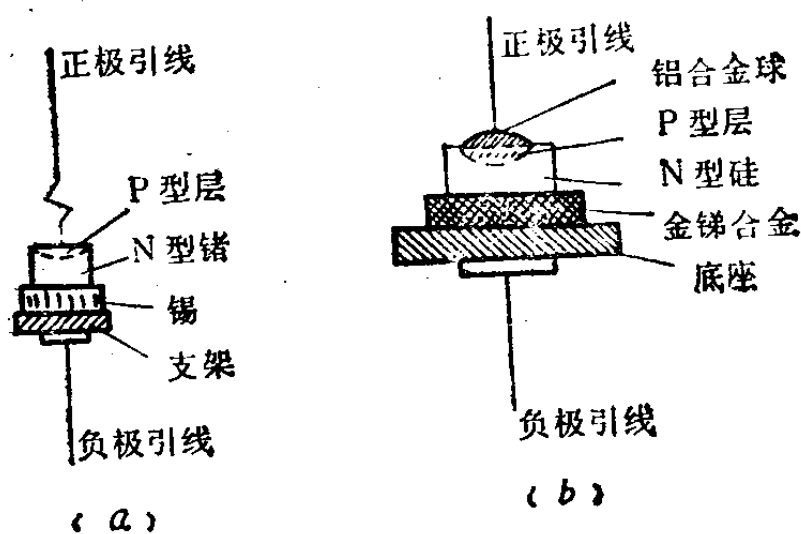


图 1-2 二极管的内部结构

二极管的种类很多，用途也不一。从管子的型号命名，可以大概了解其特点及性能。有关二极管的型号命名，见附录 1。

二、特 性

(一) 单向导电特性

如果把电池 E 和电珠 L 串联起来以后, 将二极管象图 1—8 (a) 那样连至 a 、 b 两端, 则此时二极管正极的电位高

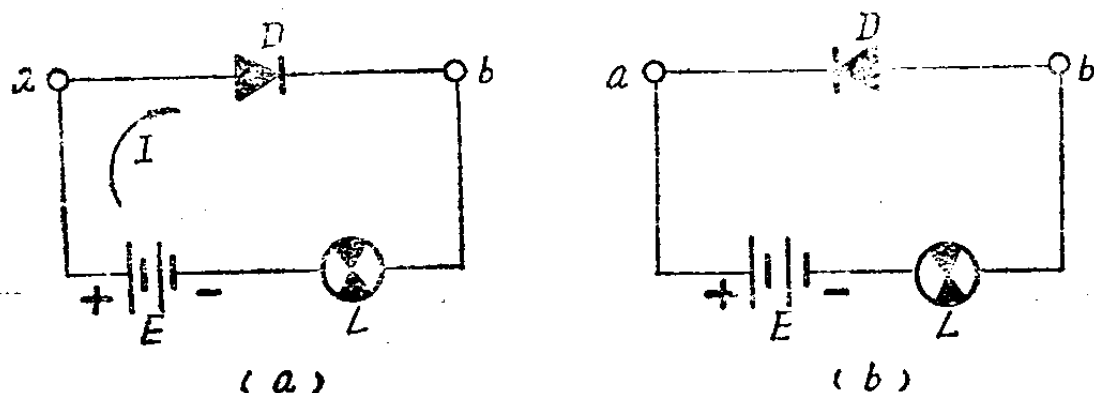


图 1—8 二极管的正、反向连接

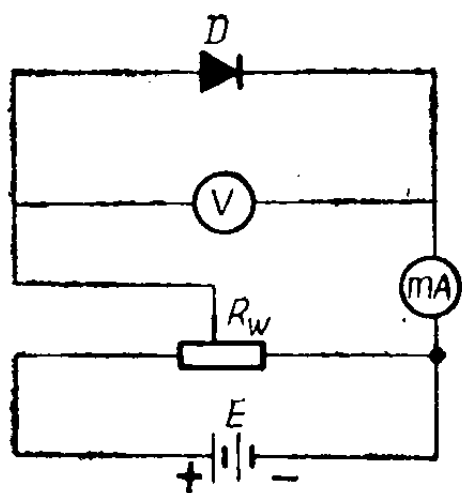
于负极, 这种连接被称为正向连接或正偏。这时电珠 L 发光。这说明: 正向连接时, 二极管导通, 电阻很小。如果象图 1—8 (b) 那样, 把二极管倒过来连至 a 、 b 两端上, 则此时二极管正极的电位低于负极, 这种连接被称为反向连接或反偏。这时电珠 L 不发光。这说明: 反向连接时, 二极管截止, 电阻很大。

把二极管加正向电压时导通, 加反向电压时截止的性能, 叫做二极管的单向导电特性。这也是 PN 结的基本特性。

(二) 伏安特性

说二极管具有单向导电特性, 这仅是对二极管性能的粗略描述。为了能正确地运用二极管, 仅知道这一点是不够的, 还必须进一步研究它的电压与电流之间的具体关系。这种关系被称为二极管的伏安特性。通常在直角坐标上用曲线来表示, 所以又称为伏安特性曲线。

二极管的伏安特性可以用图 1—4 所示的实验电路来测得。在这个电路中，加在二极管两端的电压用电位器 R_w 来调节。图中若把 E 反过来接，二极管便可由正偏变为反偏。



当调节 R_w 使加在二极管上的电压 U_D 发生改变时，对于某一个确定的电压值 U_D ，就有一个确定的电流 I_D 与之相对应，于是就得到一对确定的对应值。根据这一对应值，在图 1—5 U_D-I_D 直角坐标系中就可找到一个确定的对应点。

对每一个 U_D 值重复上述做法，就可得到若干个这样的对应点。把这些点连起来，便得到如图 1—5 所示的伏安特性曲线。

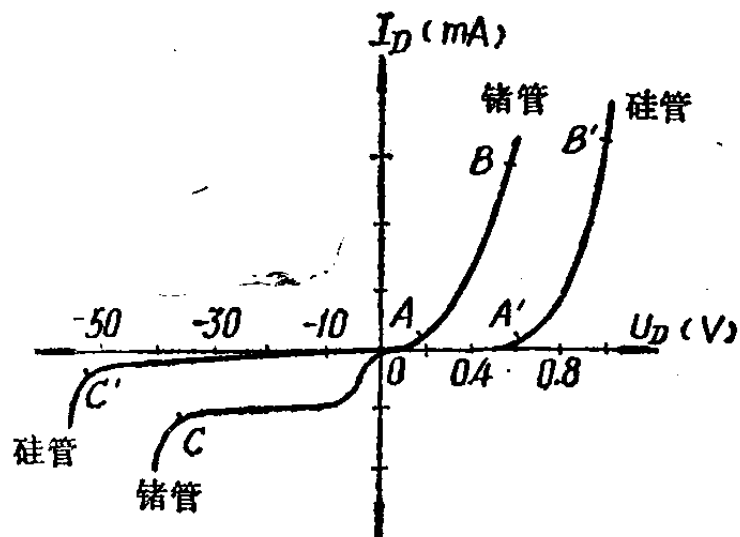


图 1—5 二极管的伏安特性曲线

有很大差别。

对二极管的伏安特性曲线，我们可以把它分为以下 4 段加以说明。

1. 死区电压段

二极管的伏安特性曲线，也可用图示仪直接测出或在半导体器件手册中查得。需要特别指出的是：由于管子生产工艺目前还不能精确控制，因此，同一型号管子的性能与所示曲线也

当二极管两端加上正向电压时，按照二极管具有单向导电特性来说，二极管应该导通。但实际上，当外加正向电压较小时，在二极管上所形成的外部电场还不足以克服PN结内电场对载流子的阻挡作用，因此，二极管基本上处于不导通状态，即图1—5中的0—A段。当二极管上外加正向电压大于一定值时，就会克服内电场的阻挡，二极管电阻变小，电流随电压的上升就会迅速增加。这个电流开始迅速增加的电压界限称为死区电压或门槛电压。死区电压的大小与管子所用材料和环境温度有关。一般室温下（25℃）锗二极管在0.2V左右，硅二极管在0.6V左右。室温每升高1℃，其值约减小2.5mV。

二极管的死区电压值较小，在通常运用的情况下（如整流）外加电压要比它大得多，因此，死区电压常常被忽略。前面所说的二极管具有单向导电特性，就是忽略了这段死区电压。但是，在许多通信信号设备的电路中，常常用到死区电压这一特性，所以在实际工作中不能忘记这一电压。

2. 正向导通段

当加在二极管两端的正向电压超过死区电压时，电流随电压的升高急速增大，进入了正向导通段，即图1—5的A—B段。这时外加电压只要略微增大一点，电流就有较大的变化。二极管的正向导通特性，也随温度的不同而改变。若要保持二极管的电流不变，则温度越高，需要加的正向电压就越小，这个现象称为正向电压漂移。一般温度上升1℃正向电压将下降2~2.5mV，常用 $-2\sim 2.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 表示。这意味着：当外加正向电压不变时，温度愈高，正向电流愈大。

3. 反向截止段

当二极管的两端加上反向电压时，二极管相当于一个很

大的电阻，其上通过的电流非常小，一般称其为截止状态，即图 1—5 的 O—C 段所示。这时 P 区和 N 区的少数载流子在 PN 结内电场力的作用下顺利地通过 PN 结，形成一个与电压（在一定范围内）关系不大的反向饱和电流，再加上 PN 结表面的一些漏电流，其总的反向电流（在室温下）小功率锗二极管约为几十到几百微安，小功率硅二极管约为几微安。在通常运用条件下，这个电流也可忽略不计。二极管的反向饱和电流虽然很小，但与温度关系很大，它随温度的升高而增大。根据实验证明，其增大的规律是：温度每升高 10°C ，反向饱和电流约增大 1 倍。由于锗管的反向饱和电流比硅管要大得多，所以锗管受温度的影响就更为显著。一般锗管在 90°C 以上，硅管在 150°C 以上时，就有可能导致二极管的损坏，所以，在使用二极管时要特别注意温度的变化。

4. 反向击穿段

当二极管上外加反向电压高到一定值时，有可能因外加电场过强而把束缚在 PN 结中的电子强行拉出，使少数载流子的数量急剧增加；也可能由于强电场引起电子与原子碰撞，产生大量新的载流子。这两种因素都会引起反向饱和电流的急剧增大，出现击穿二极管的现象。这时二极管的工作状态已进入了反向击穿段，即图 1—5 的 C 点及其以下段。开始出现击穿的电压，叫反向击穿电压。二极管被反向击穿后，在其回路中如无限流电阻，将导致管子的发热而损坏。二极管反向击穿电压的大小也与温度有关，温度愈高，反向击穿电压值愈小。

三、主要参数

二极管的参数一般可从晶体管手册中查到，也可从特性曲线上求得。晶体管的寿命比较长，一般达 10 万小时以上。

但是如果使用不当，可能很快就损坏。了解管子的参数，可以达到正确使用管子的目的。下面简要地介绍一下二极管的几种主要参数。

1. 最大整流电流 I_M

I_M 是二极管在正向导通时，允许长期通过的最大平均电流。它反映一个管子所能承受电流的最大值。如果在实际工作中，通过二极管的电流超过了 I_M ，管子就会发热，甚至可能烧坏PN结而使管子损坏。所以在使用二极管时，一般不允许超过此值。

2. 最高反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是二极管工作时，允许加于管子的最大反向峰值电压。由于二极管存在反向击穿问题，所以一旦管子击穿，意味着反向电流急剧增大，管子将失去单向导电特性。一般电路中都不允许发生此现象。所以每种管子都规定一个低于反向击穿电压的工作电压值 U_{RM} 。当加在管子上的最大反向电压不超过 U_{RM} 时，管子的工作是安全的。否则将导致管子的损坏。

3. 正向压降 U_F

U_F 是二极管通过规定电流时，在二极管两端所测得的正向电压。当电流变化不大时，硅管的 U_F 一般约为0.7V，锗管的约为0.3V。大电流的整流管可达1V左右。

4. 反向电流 I_R

I_R 是在规定的反向电压和一定的环境温度条件下，通过二极管的反向电流。 I_R 越大，管子的单向导电性能就越差。

二极管的其它参数，详见附录2附表—1、附表—2。

四、整流原理

利用二极管的单向导电特性，可以将方向变化的交流电

变为单方向的直流电，这个过程叫做整流。

图 1—6 是用二极管构成的最简单的整流电路。它由电源变压器 B 、整流二极管 D 和负载 R_L 等组成。 B 的作用是根据需要对交流电压 u_1 （通常为 220V）进行降压或升压。

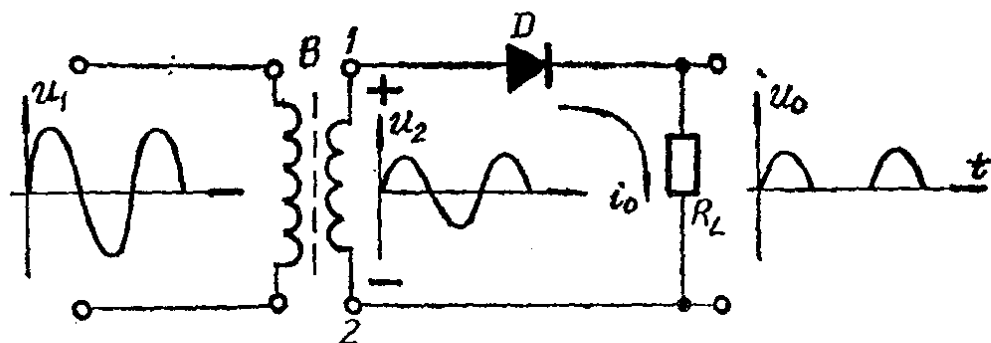


图1—6 半波整流电路

当交流电压 u_1 接入 B 的初级线圈时，次级线圈感应出的电压 u_2 也是交流电。在 u_2 的正半周，若变压器次级线圈的 1 端为正，2 端为负。这时 D 因正偏而导通，电流 i_0 经过 R_L 产生输出电压 u_0 。在 u_2 的负半周，1 端为负，2 端为正， D 因反偏而截止，此时 i_0 和 u_0 都近似为零。

对于这个电路，在交流电变化的一个周期内，负载上能得到的电压和电流只有半个周期，这种整流叫做半波整流。其输出电压 u_0 的平均值为 $U_0 = 0.45U_2$ ，式中 u_2 为 u_2 的有效值。

能否使输出电压 u_0 在整个周期内都存在呢？图 1—7 所示电路能达到这个目的。在这个电路中，4 个二极管连成电桥的形式，故叫桥式全波整流。

在 u_2 的正半周， B 的次级线圈的 1 端为正，2 端为负， D_1 和 D_3 因正偏而导通， D_2 和 D_4 因反偏而截止。这时电路中电流的途径为：1 端 $\rightarrow a \rightarrow D_1 \rightarrow b \rightarrow R_L \rightarrow d \rightarrow D_3 \rightarrow c \rightarrow 2$ 端。在 u_2 的负半周， B 的次级线圈 2 端为正，1 端为负， D_2 和

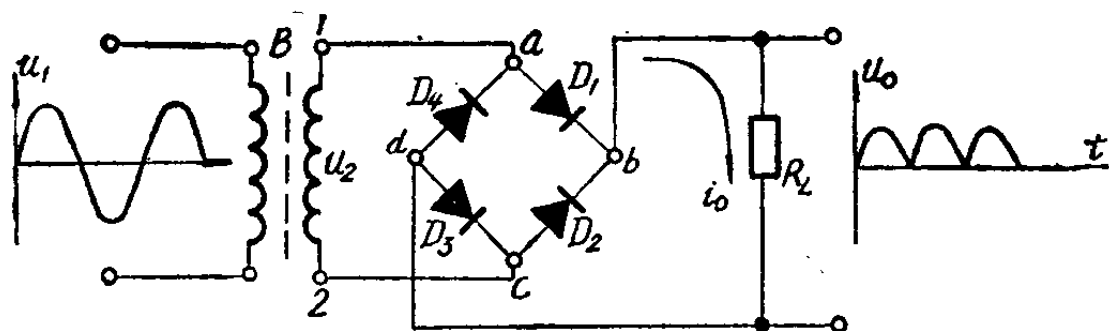


图1—7 桥式全波整流电路

D_4 因正偏而导通, D_1 和 D_3 因反偏而截止, 这时电流的途径为: 2端 $\rightarrow c \rightarrow D_2 \rightarrow b \rightarrow R_L \rightarrow d \rightarrow D_4 \rightarrow a \rightarrow 1$ 端。这2个电流对于负载 R_L 来说, 无论在 u_2 的正半周还是在负半周, 都有 i_o 通过, 其方向均由 b 向 d , 是单方向的电流。所以输出电压 u_o 在2个半周内都存在, 极性都是 b 正 d 负, 此时输出电压 u_o 的平均值为 $U_o = 0.9U_{20}$ 。

以上两种整流电路的输入, 输出波形, 如图中所示。

五、使用注意事项

在使用二极管时要注意下列事项:

1. 使用二极管首先考虑的问题是二极管的参数能否满足使用电路的要求。例如二极管用作整流时, 主要考虑 I_M 和 U_{RM} 。 I_M 决定于负载电流, U_{RM} 决定于电源变压器次级电压的最大值。当然这与整流电路的型式有关, 但这两项参数都不能小于所用电路的要求。

2. 当电路中加在二极管上的反向峰值电压大于 U_{RM} 时, 可以把两个同型号的二极管同向串联起来, 这样它们能承受的反向峰值电压大约是1个二极管的2倍。在电视机和某些工业部门的应用中, 有一种叫高反压的硅堆, 实际上就是用几个二极管一层一层地堆积起来, 然后封装在一个管壳内而成的。