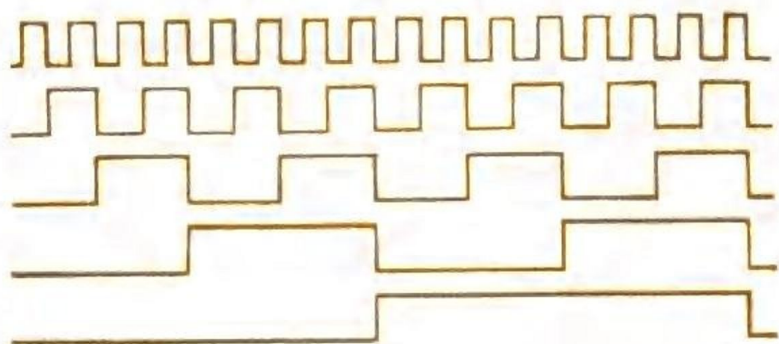


●中等职业技术教育用书



脉冲 数字 电路

北京职业高中电子类教材编审组

王军伟 宋树清 编

电子工业出版社

内 容 简 介

本书内容包括：数字与脉冲电路基础知识、逻辑门电路、逻辑代数、集成触发器、数字集成电路应用、脉冲波形的整形与产生、数模与模数转换、微处理器简介、实验与制作。

本书注重中等职业教育特点，着重叙述物理概念、突出应用、力求通俗简明、避免复杂公式推导。为了加强实际应用，提高学生动手能力，书中除了编集各种典型电路的调试测量和验证实验外，还安排了一定数量的实验制作。为了便于讲授与复习，书中每章都有小结和习题。附录给出全书主要器件类型及其参数。

本书为电子技术、计算机等专业职业高中教材，亦可供具有初中文化程度工人、培训军地两用人材及广大无线电爱好者阅读与使用。

脉冲数字电路

北京职业高中电子类教材编审组

王军伟 宋树清 编

电子工业出版社出版(北京海淀区万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

北京燕文印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/16 印张：13.625 字数：430千字

1987年11月第一版 1988年12月第二次印刷

印数：17000—37000册 定价：4.50元

统一书号：15290.672

ISBN7-5053-0017-2/TN7

出版说明

随着中等教育结构改革的不断深入，职业高中有了很大发展，为了解决当前急需的教材问题，根据国家教委的要求，我们和电子工业出版社共同组织了职业高中电子类教材的编审出版工作。参加编审工作的有：有经验的职业高中教师、从事多年电子技术研究工作的工程师和高等院校的讲师、副教授以及北京市职业教育研究会理事长邵绪朱同志。

按计划首批编写了《电工原理》、《电子线路》、《黑白电视机原理与维修》（上）、《黑白电视机原理与维修》（下）、《收录机原理与维修》、《脉冲数字电路》、《彩色电视机原理与维修》共七种。这次计划编写《计算机电路基础》、《微计算机原理与实验》、《BASIC语言》、《PASCAL语言》共四种，以后还将陆续编写无线电技术、电子技术、通信、计算机等其他方面的专业课教材，使之成为一套有特色的职业高中电子技术类教材。

这套教材的编写原则和编写大纲是遵循国家教委有关对中等职业技术教育的要求和在各职业高中制定的教学大纲（草案）的基础上，经过认真、反复地讨论而拟定的。在编写过程中吸取了几年来职业高中的教学经验，特别注意了知识的完整性、系统性、科学性和实用性。但由于编写这一层次的教材，确实是一个新课题，肯定有不妥之处，希望读者在使用过程中提出宝贵意见，以便进一步改进。

北京教育学院职业教育教研室

1987年5月

前 言

本书为职业高中电子技术专业课教材，亦可做计算机电路基础教材。全书总授课时数为160学时，其中实验课为50~60学时。本书系统介绍了数字电路基本器件及基本组成单元，结合实际应用电路，讲解了数字电路的基本概念及分析方法，并介绍了脉冲波形的整形与产生电路的工作原理。全书每章都有小结、习题及实验，还根据职业学校特点，增加了一定的制作实验。

本书共分八章，第一至第五章由王军伟编写，第六至第八章由宋树清编写，由王军伟担任主编。

参加本书审定的有：北京教育学院原副院长邵绪朱、职业教育教研室主任马兆秋。最后由王昌喜讲师阅改并完成全稿的编辑加工。

由于编审者经验不足，水平有限，书中会有一些缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正。

北京职业高中电子类教材编审组

1987年5月

目 录

绪论	(1)
第一章 脉冲与数字电路基础知识	(2)
第一节 脉冲波形及主要参数	(2)
第二节 晶体管开关	(4)
本章小结	(14)
习题	(14)
第二章 逻辑门电路	(15)
第一节 基本逻辑门电路	(15)
第二节 TTL 集成与非门电路	(23)
第三节 MOS门电路	(34)
本章小结	(44)
习题	(44)
第三章 逻辑代数	(47)
第一节 二进制数	(47)
第二节 基本逻辑运算和逻辑函数	(51)
第三节 逻辑代数的基本公式、定律及常用公式	(54)
第四节 逻辑表达式的化简	(57)
本章小结	(68)
习题	(69)
第四章 集成触发器	(71)
第一节 触发器特性及其描述方法	(71)
第二节 触发器的基本类型	(72)
第三节 触发器的空翻现象	(80)
第四节 主从 JK 触发器	(80)
第五节 维持阻塞D触发器	(87)
第六节 各种类型触发器的相互转换	(91)
第七节 集成触发器的主要参数	(93)
本章小结	(95)
习题	(96)
第五章 组合逻辑和时序逻辑电路	(99)
第一节 组合逻辑电路基本特点与分析、设计方法	(99)
第二节 基本运算器(加法器)	(100)
第三节 比较器	(104)

第四节	判奇(偶)电路	(107)
第五节	数据选择器	(108)
第六节	编码器	(109)
第七节	译码器	(111)
第八节	时序逻辑电路特点、分析方法及分类	(119)
第九节	寄存器	(122)
第十节	计数器	(126)
第十一节	移位寄存器型计数器及节拍脉冲发生器	(135)
本章小结		(138)
习题		(138)
第六章	脉冲波形的整形与产生	(143)
第一节	RC 电路	(143)
第二节	RC 电路的应用	(149)
第三节	限幅电路与钳位电路	(154)
第四节	锯齿波形成电路	(162)
第五节	多谐振荡器	(171)
第六节	单稳态触发器	(179)
第七节	双稳态触发器	(187)
第八节	施密特触发器	(195)
第九节	间歇振荡器	(204)
本章小结		(208)
习题		(209)
第七章	数字量与模拟量的转换	(216)
第一节	概述	(216)
第二节	数-模(D/A)转换电路	(217)
第三节	模-数(A/D)转换电路	(223)
本章小结		(231)
习题		(232)
第八章	微处理器与微型计算机简介	(233)
第一节	微处理器	(233)
第二节	微型计算机简介	(238)
本章小结		(240)
习题		(240)
实验与制作		(241)
实验一	逻辑开关 TR 与0-1显示插件板 TC 的制作	(241)
实验二	晶体二极管开关特性	(243)
实验三	晶体三极管开关特性	(244)

实验四	最基本门电路逻辑关系的验证	(244)
实验五	TTL与非门参数测试	(248)
实验六	CMOS门电路逻辑功能测试	(249)
实验七	用与非门构成逻辑电路	(251)
实验八	触发器	(253)
实验九	全加器	(257)
实验十	一位数码大小比较器	(259)
实验十一	编码、译码综合实验	(260)
实验十二	制作逻辑电平测试笔	(262)
实验十三	集成移位寄存器	(263)
实验十四	同步计数器	(266)
实验十五	异步计数器	(268)
实验十六	RC电路研究	(270)
实验十七	二极管限幅器和二极管钳位电路	(272)
实验十八	锯齿波发生器	(274)
实验十九	多谐振荡器	(276)
附:	自制简易信号发生器	(278)
实验二十	单稳态触发器	(281)
实验二十一	TTL与非门构成施密特电路	(282)
实验二十二	数模转换	(283)
附录一	集成电路器件型号	(286)
附录二	常用TTL及CMOS数字集成电路型号及功能	(288)
附录三	数字集成电路实验箱简介	(289)
主要参考文献		(290)

绪 论

通常可以将电子电路中的信号分成两大类，即数字信号与模拟信号。

模拟信号是指电压或电流随时间连续变化的信号。例如：由声波转化的电信号为模拟信号，它的电压或电流随时间的变化关系为连续曲线。数字信号是指电压或电流在时间和数值上都是离散的信号。例如：记数器记录某彩色电视机流水线生产情况时，每生产一台电视机就给记数器输入一个高电平使之记数，而没有电视机时，加给记数器的输入信号为零。这记数器的输入信号就是数字信号，它的变化无论在时间上还是数值上都是不连续的。

处理数字信号的电路称为数字电路。数字电路有这样几个特点：

(1) 数字电路是实现逻辑功能和进行各种数字运算的电路。

由于数字信号在时间和数值上是不连续的，所以它在电路中只能表现为有、无信号或者高、低电平两种状态。这样若用二进制数“0”和“1”来代表两种状态——低电平和高电平，数字信号便可用“0”和“1”组成的代码序列来表示。因此，数字电路可对自然界一切与二进制相关的物理量加以处理，用来对这些物理量进行逻辑或数字的运算。

(2) 数字电路中晶体管多工作在开关状态。

由于数字信号只有“0”与“1”两种状态，如果用晶体管饱和与截止这两种截然不同的状态与之对应，那么晶体管只能工作在开关状态。例如：可用晶体管截止时输出的高电平表示“1”状态，而用晶体管饱和导通输出的低电平表示“0”状态。

(3) 数字电路工作时只要求能可靠地区分“0”或“1”两种状态，因此电路对精度要求不高，适于集成化。

脉冲是指在短促时间内电压或电流突然变化的信号。通常将产生或变换脉冲波形的电路称为脉冲电路。如果当数字信号在“0”与“1”两种状态间快速转换时，电路将输出一系列脉冲波。从这个意义上说，数字电路也是一种脉冲电路，两者之间主要区别是：脉冲电路主要用于产生和变换脉冲波形，而数字电路则将脉冲波形中有、无或高、低这两种状态分别代表二进制数中的“0”和“1”，从而实现各种逻辑运算。基于上述原因，我们把数字和脉冲电路合在一起，统称为脉冲数字电路。

随着科学技术迅速发展，数字与脉冲电路已经在各个领域得到极其广泛的应用，例如：任何一台电子计算机都是以数字电路为基本单元组合成的；

在数字通信中，将“0”与“1”编成不同代码来表示各种信息，用以实现信息传送；采用数字仪表可对各种数据进行分析处理；

生活中人们使用的电子表、袖珍计算器、各种电子玩具都是由数字电路构成的。

全书总授课时数为160学时，其中理论课100学时，实验课60学时。

为了处理好本书与电子(模拟)线路、计算机原理等课程的衔接关系，也为了适应各学校具体教学需要的安排，在编写本书过程中，增加了晶体管基础知识，这样在安排模拟和数字电路的授课顺序时，可采用先讲授数字电路后讲授模拟电路或两者同时进行的方法。

第一章 脉冲与数字电路基础知识

内容提要 (1) 脉冲波形及主要参数; (2) 晶体二极管开关特性; (3) 晶体三极管开关特性。

目的要求 (1) 熟悉几种常见的脉冲波形; (2) 掌握矩形脉冲主要参数及锯齿波脉冲主要参数的物理意义; (3) 掌握晶体二极管开关特性; (4) 掌握晶体三极管运用在开关状态下的条件、特征; (5) 熟悉晶体二极管与三极管的主要开关参数。

第一节 脉冲波形及主要参数

一、几种常见的脉冲波形

脉冲是指间断、突变的现象。脉冲信号则是指在短促时间内的突变电信号,它的波形具有突变的特点。脉冲信号种类繁多,常见的波形有:矩形波、三角波、钟形波、锯齿波、尖脉冲、阶梯波、矩形波序列、方波序列,分别如图 1-1 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h) 所示。

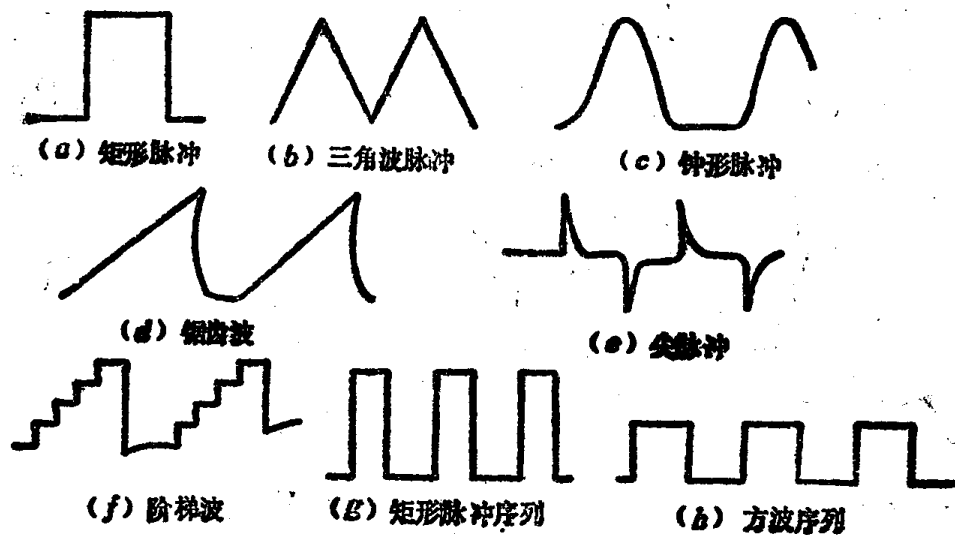


图 1-1 常见脉冲信号波形

二、脉冲波形主要参数

为了对脉冲信号进行定量分析,就需要了解波形的参数。下面以矩形脉冲和锯齿波脉冲为例,来说明脉冲波的一些参数。

(一) 矩形脉冲参数

图 1-2 标出矩形脉冲的常用参数。

1. 脉冲幅度 V_m

表示脉冲电压或电流变化的最大值。其值等于脉冲底部和脉冲顶部数值之差。

2. 脉冲前沿上升时间 t_r

表示脉冲前沿从 $0.1V_m$ 上升到 $0.9V_m$ 所需要的时间。其值越小，表明脉冲上升得越快。

3. 脉冲后沿下降时间 t_f

表示脉冲后沿从 $0.9V_m$ 下降到 $0.1V_m$ 所需要的时间。其值越小，表明脉冲下降得越快。

4. 脉冲宽度 T_w

表示由脉冲前沿 $0.5V_m$ 到脉冲后沿 $0.5V_m$ 的时间。其值越大，说明脉冲出现后持续的时间越长。

5. 脉冲周期 T

表示两个相邻脉冲重复出现的间隔时间，其倒数为脉冲重复频率 f ，即 $f=1/T$ 。

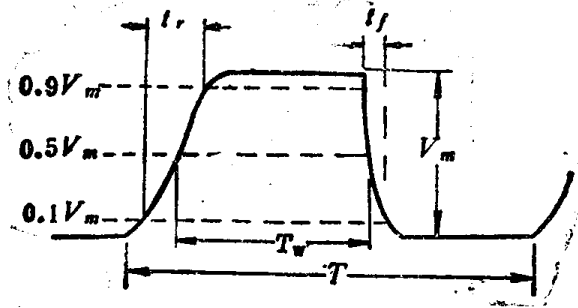


图1-2 矩形脉冲参数

(二) 锯齿波脉冲参数

图1-3标出锯齿波脉冲参数。

1. 正程 T_s (ab段)

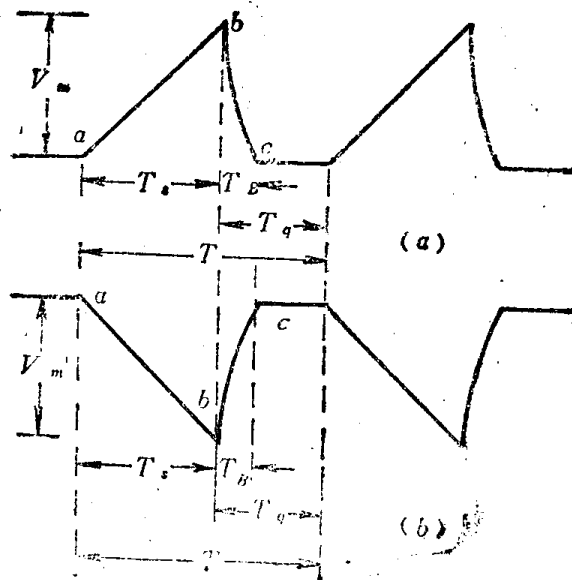


图1-3 锯齿波脉冲参数 (a) 正向锯齿波 (b) 负向锯齿波

又叫扫描期或工作期。此期间电压或电流随时间作线性变化。

2. 逆程 T_B (bc般)

又叫回扫期或恢复期。表示正程结束后，电压恢复到初始值所需要的时间，其值越小越好。

3. 休止期 T_0

表示两次扫描所间隔的时间，即前一个正程结束到下一个正程开始的时间间隔。

4. 锯齿波幅度 V_m

指正程内电压或电流最大变化量。

5. 重复周期 T

表示相邻两个锯齿波重复出现所间隔的时间。它与重复频率 f 间的关系为 $f = 1/T$ 。

第二节 晶体管开关

一个理想的开关应具有这样几个基本条件：开关接通时阻抗为零，开关断开时阻抗为无穷大；开关具有一定负载能力，开关在接通与断开之间的转换速度极快。

在电路应用中，被人们较早使用的机械开关和电磁开关，虽然它们具有很好的开关性能，但由于存在开关状态转换速度较低，机械触点使用寿命较短等缺点，使之远不能满足现代计算机及各种控制设备的高速要求。

随着科学技术的发展，人们认识到，由晶体管组成的电子开关具有高速、寿命长等优点。为此，数字与脉冲电路中，晶体二极管与晶体三极管多数是被当作开关使用的。

一、晶体二极管开关特性

(一) 晶体二极管

1. 半导体

半导体是由其导电性能介于导体与绝缘体之间的物质制成。目前半导体中最常用到的有锗Ge和硅Si等元素。

2. P型半导体与N型半导体

(1) P型半导体

在纯单晶半导体中，掺入适量杂质（如硼、镓、铟一类三价元素），就构成P型半导体。

P型半导体具有微量过剩的、带正电荷的空穴载流子。这种半导体中的空穴载流子要远远多于带负电荷的电子载流子，所以P型半导体主要靠空穴载流子导电。

(2) N型半导体

在纯单晶半导体中，掺入适量杂质（如锌、磷、砷等五价元素），就构成N型半导体。

N型半导体具有微量过剩的、带负电荷的电子载流子。这种半导体中的电子载流子要远远多于带正电荷的空穴载流子，所以N型半导体主要靠电子载流子导电。

3. 二极管构成

当P型半导体和N型半导体联结为一体时，在P型半导体与N型半导体交界处，由于电子和空穴浓度的差别，P区的空穴要向N区扩散，N区的电子要向P区扩散，使P区得到电子而带负电，N区失掉电子而带正电，于是在交界处两侧形成空间电荷区，称之为PN结。

晶体二极管是由一个PN结加上引线并用管壳密封后构成的。其中，P区一端为二极管的正极（阳极）N区一端为二极管的负极（阴极）。二极管的符号如图1-4所示。

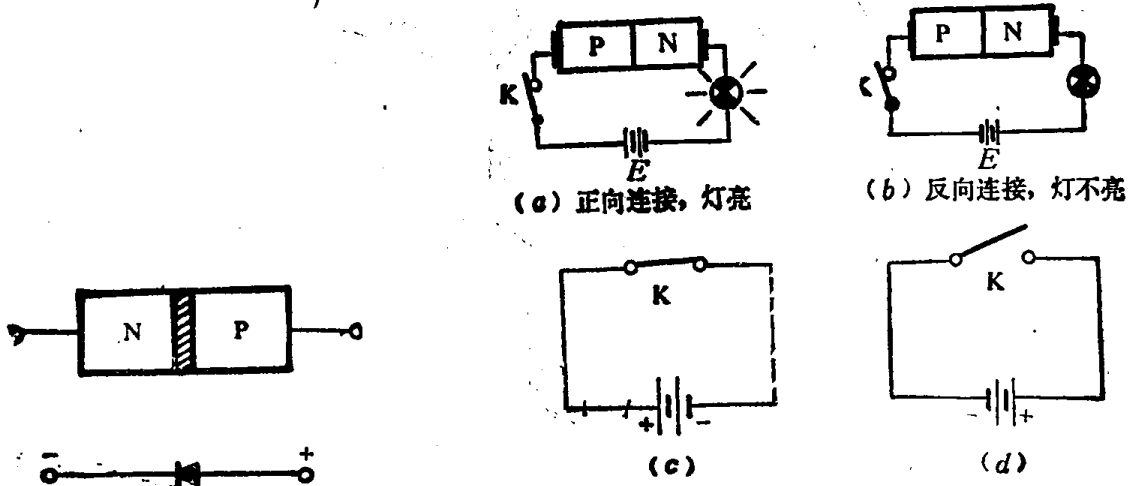


图1-4 二极管符号

图1-5 二极管单向导电特性实验

(二) 晶体二极管开关特性

1. 单向导电特性实验

我们取一只二极管和一个灯泡，首先接成如图1-5 (a) 所示电路。这时，二极管正极接直流电源E的正极，二极管负极接直流电源负极，称之为二极管加正向电压或正向偏置。接通开关K，灯泡发光。说明当二极管加正向电压时，则处于导通状态，可让电流通过。此刻，好比二极管为开关接通状态，可用如图1-5 (c) 所示电路等效。

然后按图1-5 (b) 所示连线。此时二极管正极接直流电源负极，二极管负极接电源正极，称二极管加反向电压或反向偏置。接通开关K时，灯不亮。说明二极管接反向电压时，则处于截止状态，不能让电流通过。此刻，好比二极管为开关断开状态，可用如图1-5 (d) 所示电路等效。

综上所述可以得知，随着加在二极管两端电压极性的变化，可以把二极管等效为一开关。当二极管处于正向电压时，开关接通；当二极管处于反向电压时，开关断开。

2. 晶体二极管开关特性分析

前面所讨论的二极管单向导电实验，只是定性的说明二极管可以作为开关运用。但是，实际上二极管作为开关运用时，与理想开关相比还是存在一定差异。下面，从静态和动态两个方面来分析二极管的开关特性。

(1) 静态特性

按图1-6 (a)、(b) 接线，其中图1-6 (a) 加至二极管为正向电压，图1-6 (b) 加至二极管为反向电压。分别改变二极管两端电压大小，测出相应的电流，再根据所测出数

据，在纵坐标代表通过二极管的电流 (I_D)，横坐标代表加在二极管两端的电压 (V_D) 的坐标图上，得到一条反映二极管工作特性的伏安特性曲线。如图1-7所示，其中图1-7(a)为硅二极管伏安特性，图1-7(b)为锗二极管伏安特性。

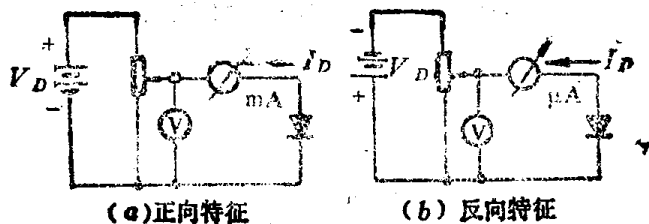


图1-6 二极管伏安特性测试

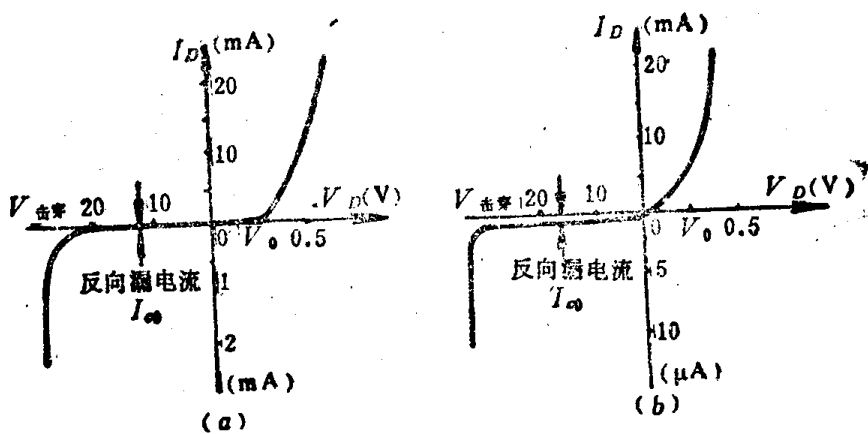


图1-7 二极管伏安特性

从图1-7(a)所示硅二极管伏安特性可见，当加在二极管上正向电压大于 V_0 时，二极管电流 I_D 迅速增加，此刻二极管导通，我们称 V_0 为二极管的导通电压或阀电压。对于硅管 $V_0 \approx 0.5V$ ，锗管 $V_0 \approx 0.2V$ 。在图1-7(a)中当 V_D 增大到 $0.7V$ 以后时，即使 I_D 有很大变化，而二极管正向压降 V_D 却不再有显著变化。该现象说明，二极管导通时，呈现一极小电阻，正是因为这小电阻才产生一个很小压降（硅管 $0.7V$ 、锗管 $0.3V$ 左右）。我们称这电阻为正向电阻 r_D ，一般在几十到几百欧。

当加反向电压时，二极管反向电流 $I_∞$ 很小，而且基本不变，说明此刻二极管有较大的反向电阻 R_D ，接近断路状态。对硅二极管 R_D 一般在 $10M\Omega$ 以上，锗二极管 R_D 一般在几百 $k\Omega$ 到几 $M\Omega$ 。但当反向电压过大时，二极管反向电流剧增，这时二极管击穿，应避免此种情况出现。

上述分析说明，二极管当作开关应用时，与理想开关只是非常接近。当二极管导通时，呈现一极小的正向电阻，而当二极管截止时，开关呈现的电阻也并非无限大，因而有一很小的反向漏电电流。

如果用 K 代表一个理想的开关， r_D 代表二极管正向电阻， R_D 代表二极管反向电阻，则二极管作为开关应用时，可等效为图1-8所示电路形式。当 K 断开，二极管处于截止，此刻二极管两端间相当于有一反向电阻 R_D 存在。当 K 接通，二极管相当于导通，此刻二极管两端间有一正向电阻 r_D (R_D 作用忽略)。

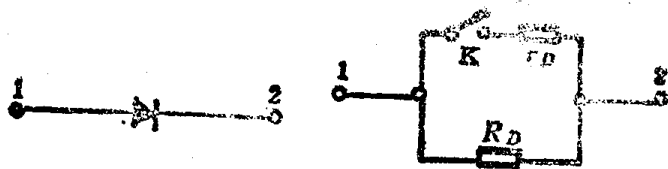


图1-8 二极管开关电路的等效

(2) 动态特性

指开关二极管从导通到截止或从截止到导通时的转换特性。

理想开关从关到开或从开到关状态间转换，所需要的时间是极小、能瞬间完成的。实际上二极管在状态转换时都需要一定时间。在低速脉冲电路中，这转换时间可以忽略，而在高速脉冲电路中就不能忽略，我们称二极管由导通到截止或截止到导通所用的时间为开关时间。

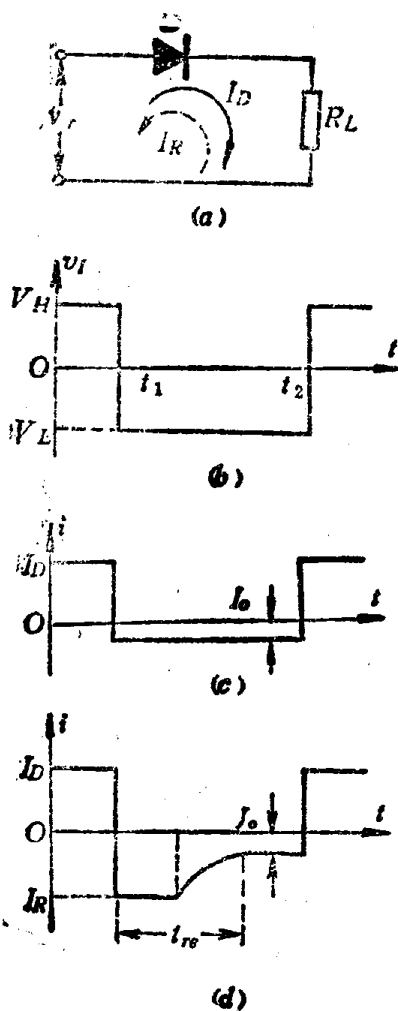


图1-9 二极管的动态特性

二极管的反向击穿电压的一半为最高反反向工作电压。使用时要注意工作电压不得超过此电压数值，否则易烧毁二极管。

在图1-9(a)所示二极管开关电路中，当 $t=t_1$ 时，输入信号 v_i 如图1-9(b)所示，从高电平 V_H 反跳到低电平 $-V_L$ ，假如二极管为理想开关，则流过 R_L 的电流 i 应如图1-9(c)所示，由正向电流 I_D 降为反向电流 I_0 ，二极管由导通到截止不需要任何时间。实际情况却并非如此，由于二极管 PN 结空间电荷区的电荷变化可等效成个一电容器，该电容的充、放电过程，使二极管在输入信号 V_i 变化时，流过其电流 i 实际波形如图1-9(d)所示。由图可知，当输入电压从 V_H 反跳至 $-V_L$ 时，流过二极管电流 I_D 先变为较大的反向电流 I_R ，经过一段时间后，才减小到二极管截止电流 I_0 。我们规定，由输入信号负跳变，到二极管反向电流减小到 $I_R/10$ 所需时间为二极管反向恢复时间 t_{rr} 。由上述分析可知，反向恢复时间越长，二极管开关速度越低，当输入信号波形的负半周宽度小于 t_{rr} 时，二极管就失去开关作用了。

(三) 晶体二极管的开关参数

1. 最大平均整流电流 I_F

二极管长期运行允许通过最大正向平均电流。

2. 最高反向工作电压 V_R

3. 反向电流 I_r 。

指二极管未击穿时的反向电流数值。反向电流越小，二极管的单向导电特性越好。通常，硅管反向电流小于 $1\mu\text{A}$ ，锗管反向电流在几十 μA 左右。

4. 反向恢复时间 t_{ro} 。

指二极管在规定负载、正向电流及最大反向瞬态电流下，所测出的反向恢复时间。

表1-1列出几种常用开关二极管的参数

表1-1(a) 平面型硅开关管:2CK系列,用于高速开关电路

参 数	单 位	测试条件	型 号					
			2CK10	2CK11	2CK12	2CK13	2CK14	2CK15
最大正向电流	mA	-55~75°C	30	30	30	30	30	30
正向电压降	V	正向电流10mA	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
反向电流	μA	最高反向工作电压	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
最高反向工作电压	V	反向电流≤1μA	20	30	40	50	≥20	10
零偏电压容	pF		≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤5
反向恢复时间	ns	由正向10mA到反向10mA的10% 负载电阻50Ω	≤5	≤5	≤5	≤5	≤5	≤5

表1-1(b) 点接触镭金键开关二极管2AK系列,用于中速开关电路

参 数	单 位	测试条件	型 号						
			2AK2A	2AK2B	2AK2C	2AK2D	2AK2E	2AK2F	2AK2G
正向电压降	V	正向电流10mA	≤0.45	≤0.45	≤0.5	≤0.5	≤0.45	≤0.45	≤0.45
反向击穿电压	V	反向电流300μA	≥30	≥40	≥50	≥75	≥50	≥60	≥70
零偏压电容	PF		≤2.8	2.8	≤2.8	2.8	≤2.8	≤2.8	≤2.8
反向恢复时间	nS	正向电流10mA 反向偏压10V 负载电阻100Ω	≤150	≤150	≤150	≤150	≤150	≤150	≤150
反向电压降	V	反向电流不大于20μA	10	20	30	50	30	40	50

二、晶体三极管开关特性

(一) 晶体三极管

1. 三极管的结构

晶体三极管由两种杂质半导体构成。如图1-10所示,在一块半导体基片上,用一定的工艺方法形成两个PN结,这两个PN结把半导体分为三个区,分别称为基区、发射区、集电区。在三个区域上引出三个电极,分别叫基极(B)、发射极(E)和集电极(C)。

从图1-10(a)与(b)中还可看到,用杂质半导体构成三极管时有两种组合方式,即三极管三个区中两边是P型区,中间是N型区所组成的三极管叫做PNP型三极管,它的代表符号中发射极箭头向内;两边是N型区,中间是P型区所组成的三极管叫做NPN型三极管,它的代表符号中发射极箭头向外。箭头方向代表三极管工作时射极电流方向。在晶体三极管中,发射极与基极之间的PN结,称为发射结;集电极与基极之间的PN结,称为集电结。

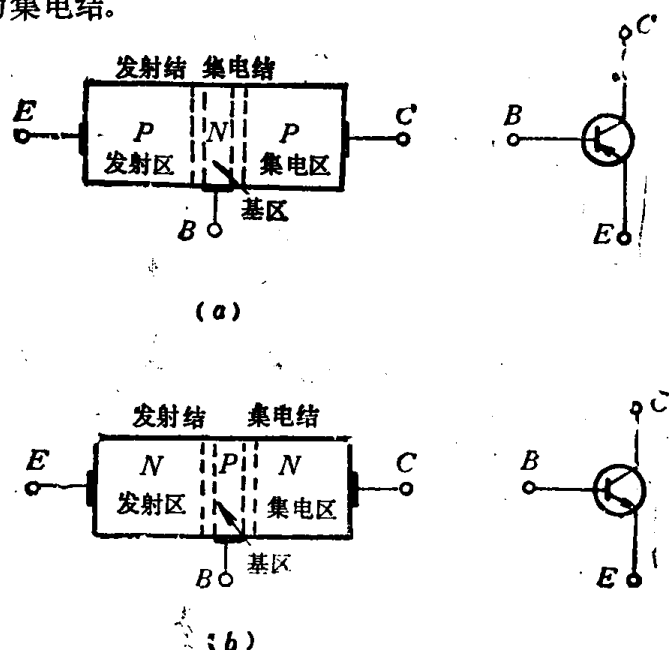


图1-10 晶体三极管构成与电路符号
(a) PNP型三极管 (b) NPN型三极管

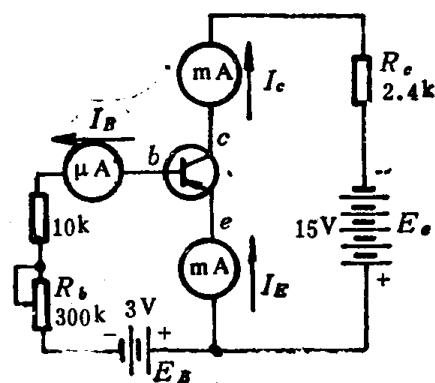


图1-11 三极管各极电流分配测量电路

2. 晶体三极管的放大作用

(1) 晶体三极管的电流分配

如图1-11所示,当在晶体三极管发射结加正向电压 E_B ,集电结加反向电压 E_C ,然后调节电阻 R_b ,使基极电流 I_B 取不同的值,并记下与之对应的集电极电流 I_C 和 I_E 的值,见表1-2。

表1-2 三极管的电流分配关系

I_B (mA)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
I_C (mA)	0.56	1.14	1.74	2.33	2.91
I_E (mA)	0.57	1.16	1.77	2.37	2.96

由表1-2可知:

当 $I_B=0.01\text{mA}$ 时,对应 $I_C=0.56\text{mA}$, $I_E=0.57\text{mA}$;

$$I_B + I_C = 0.01 + 0.56 = 0.57\text{mA} = I_E$$

当 $I_B=0.03\text{mA}$ 时,对应 $I_C=1.74\text{mA}$, $I_E=1.77\text{mA}$;

$$I_B + I_C = 0.03 + 1.74 = 1.77\text{mA} = I_E$$

由此得出三极管在发射结正偏,集电结反偏条件下有下述电流分配关系:

$$I_E = I_B + I_C$$

(2) 三极管直流电流放大系数 $\bar{\beta}$

由表1-2还可得出基极电流 I_B 与集电极电流 I_C 间关系。

例如，当 $I_B = 0.01\text{mA}$ 时，对应 $I_C = 0.56\text{mA}$ ，则 $I_C/I_B = 56$ 。

当 $I_B = 0.02\text{mA}$ 时，对应 $I_C = 1.14\text{mA}$ ，则 $I_C/I_B = 57$ 。

当 $I_B = 0.03\text{mA}$ 时，对应 $I_C = 1.74\text{mA}$ ，则 $I_C/I_B = 58$ 。

可知，当三极管满足发射结正偏，集电结反偏时，改变 I_B 值， I_C 也随之改变， I_C 受 I_B 控制，并且两者之间保持一比例常数，用 $\bar{\beta}$ 表示，即： $\bar{\beta} = I_C/I_B$ 。三极管的这种特性叫直流电流放大作用，

(3) 三极管交流电流放大系数 β

由表1-2所示数据，还可得出三极管基极电流变化量与集电极电流变化量之间的关系，例如：

取 $\Delta I_{B1} = 0.02 - 0.01 = 0.01\text{mA}$ ，与之对应的 $\Delta I_{C1} = 2.33 - 1.74 = 0.59\text{mA}$ ，则 $\Delta I_{C1}/\Delta I_{B1} = 0.59/0.01 = 59$ 。

取 $\Delta I_{B2} = 0.04 - 0.03 = 0.01\text{mA}$ ，与之对应的 $\Delta I_{C2} = 2.91 - 2.33 = 0.58\text{mA}$ ，则 $\Delta I_{C2}/\Delta I_{B2} = 0.58/0.01 = 58$ 。

可知，当满足发射结正偏，集电极反偏条件时，三极管基极电流若有一个微小变化，集电极电流就有较大的变化量。并且，这两个变化量之间保持着一个比例系数，称之为电流放大系数 β ，即 $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ 。这就是三极管交流电流的放大作用。

通过上述分析，我们对三极管的放大作用有所认识，要想使三极管基极电流 I_B 与集电极电流 I_C 间保持线性关系 ($I_C = \bar{\beta} \cdot I_B$)；要想使三极管基极电流微小的变化引起集电极电流较大的变化 ($\Delta I_C = \beta \Delta I_B$)，就必须使三极管的发射极 E 和基极 B 间加上一个正向电压 (硅管 0.6V 、锗管 0.2V 左右)，而在集电极 C 与基极 B 间加反向电压。

(二) 晶体三极管的开关特性

1. 晶体三极管的截止与饱和导通状态

上面分析的晶体管放大状态多应用于模拟电路，而数字与脉冲电路中的三极管不是工作在截止状态，就是处于饱和导通状态，下面我们将对这两种状态进行分析。

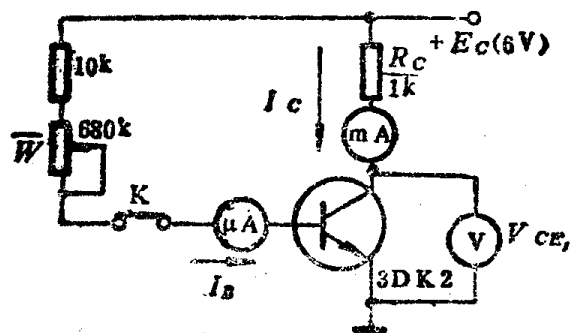


图1-12 晶体管状态分析电路

我们通过图1-12电路的实验来了解三极管截止与饱和状态特性。做该电路的实验与对