

安徽省教育厅推荐教材
安徽省高校电子信息类教材

SHUZI DIANLU

数字电路

张永生 江 力 梁 薇 李 炎 殷大澍 编著

安徽大学出版社

安徽省教育厅推荐教材

数 字 电 路

张永生 江力 梁薇 李炎 殷大澍 编著

安徽大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电路/张永生等编著. —合肥:安徽大学出版社,
2004.8
安徽省高校电子信息类教材
ISBN 7-81052-913-7

I. 数... II. 张... III. 数字电路—高等学校:技术
学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 085289 号

数 字 电 路

张永生 江 力 梁 薇 李 炎 殷大澍 编著

出版发行 安徽大学出版社
(合肥市肥西路3号 邮编 230039)
联系电话 编辑部 0551-5108348
发行部 0551-5107784
责任编辑 ahdxcbps@mail.hf.ah.cn
责任编辑 钟 蕾
封面设计 孟献辉

印 刷 合肥晓星印刷厂
开 本 787×1092 1/16
印 张 17.5
字 数 426 千
版 次 2004 年 8 月第 1 版
印 次 2004 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81052-913-7/T·108

定价 22.00 元

如有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

前言

随着微电子技术和信息处理技术的飞速发展,数字技术成为发展最快的技术之一。资料显示:以18个月为周期,数字电路器件的性能就要提高一倍。为了普及数字技术,适应21世纪信息化时代对数字技术高等应用型人才的需求,我们组织有着丰富教学实践经验的一线教师,编写了这本《数字电路》教材。《数字电路》是电子、机电、电气、通信、自动化、家电维修、计算机科学与技术等专业的一门重要的专业基础课,更是进一步学习专业课及以后从事计算机、通信、信息技术和电气工程等技术工作的一门必修课。本教材的编写,从有助于学习该门课程的角度出发,并兼顾高等职业教育“淡化理论,够用为度、培养技能、重在实用”的原则,力图体现出“保证基础、加强应用、体现先进、培养能力”的编写特色。为了实现上述目标,我们在编写中注意删除过时内容,压缩和精简一些陈旧的分立元件脉冲电路及小规模电路篇幅,加强 MOS 电路等中、大规模电路内容,增加数字系统设计和 VHDL 语言、MAX + PLUS II 使用简介等反映数字电子技术新成果的内容。对于集成电路的讲解,我们尽量避免对其复杂的内部电路的分析,而着重阐明电路的外特性、基本原理、逻辑功能和应用。教材从利于培养高职应用型人才方面考虑,强调了理论与实践的紧密联系,如在各章中除配有较多的习题供学生练习外,还安排了相应的实验环节。总之,在保证总学时不变的前提下,我们尽量拓展教学内容,以努力提高学生的逻辑思维能力、系统设计能力、独立自学能力、实际动手能力和科学创新能力等综合素质。

本书共分7章。第1章主要讲述了集成 TTL 和 MOS 逻辑门电路;第2章是全书的学习基础,讲述了数字技术的数学基础——逻辑代数及逻辑函数的化简、数字电路中所用数制和编码;第3章讲述组合逻辑电路的分析与设计,重点介绍常用组合逻辑部件及 MSI 组合逻辑部件的原理和应用;第4章为触发器,它是学习时序电路的基础;第5章为时序逻辑电路的分析与设计,其中包括介绍常用的时序逻辑部件,如计数器、移位寄存器的设计、分析及集成计数器、移位寄存器和大规模集成电路 ROM 存储器、可编程逻辑阵列 PLA 等在数字电路中的应用;第6章讲述脉冲产生电路和定时电路,主要讲述 555 定时电路及其应用;第7章为数/模、模/数转换电路。

本书由安徽电子信息职业技术学院张永生老师担任主编并编写第1章,安徽电子信息职业技术学院李炎老师、江力老师分别编写第2章、第5章和第3章、第4章,芜湖职业技术学院梁薇老师编写第6章,滁州职业技术学院殷大澍老师编写第7章。全书由张永生老师统稿。

本书在编写过程中得到了安徽电子信息职业技术学院林春方老师、陈昕老师的指导和帮助,编者在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促和编者学识水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2004年5月

内容提要

本教材是根据新形势下高等职业技术人才的培养目标和特点,遵循教材改革的需要而编写的。在编写过程中,力求做到突出重点,压缩内容。在介绍基本电路时,侧重于阐述基本概念、基本原理、外特性和对电路的分析方法。文字上力求通俗易懂,简单实用,便于自学。本书还重点讨论了一些数字集成电路的应用实例,增加了接口电路部分的内容,对可编程逻辑器件内容进行了必要的充实和加强,对集成电路使用注意事项作了必要介绍。

全书共分7章,主要内容包括:数字电路基础知识、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、可编程逻辑器件、数/模与模/数转换器及VHDL语言、MAX+PLUS II使用简介等EDA新技术。书中通过适量的例题,加深了读者对基本概念和基本电路工作原理的理解。每章末都有小结,并安排了一定的习题和实验,以供练习和实践。书中提供了一些常用的数字集成电路型号及功能,供读者参考。

本书结构合理,时代感强,适应面广,实用性强,既可作为高等职业技术学院电子工程、通信工程、信息工程、计算机科学与技术、电力系统及自动化等电类专业和机电一体化等非电类专业的专业基础课教材,也可作为相关专业工程技术人员的学习与参考用书。



第 1 章 逻辑门电路	(1)
1.1 晶体管的开关特性及应用	(1)
1.1.1 晶体二极管的开关特性及应用	(1)
1.1.2 晶体三极管的开关特性及应用	(4)
1.2 分立元件逻辑门	(7)
1.2.1 二极管与门	(7)
1.2.2 二极管或门	(9)
1.2.3 三极管非门	(10)
1.2.4 复合门电路	(11)
1.3 集成 TTL 逻辑门	(12)
1.3.1 TTL 与非门电路及工作原理	(12)
1.3.2 TTL 与非门的外特性	(13)
1.3.3 TTL 与非门的主要参数及测试方法	(17)
1.3.4 TTL 与非门的改进电路	(19)
1.3.5 其他常用的 TTL 逻辑门	(21)
1.3.6 TTL 门电路型号系列介绍及使用常识	(24)
1.4 MOS 逻辑门	(25)
1.4.1 MOS 反相器	(26)
1.4.2 常用 MOS 逻辑门	(27)
1.4.3 CMOS 门电路型号系列介绍及使用常识	(30)
1.5 几种集成逻辑门电路主要性能参数的比较	(31)
1.6 接口电路	(32)
第一章小结	(33)
思考和练习题 1	(34)
实验 1 门电路参数测试	(37)
第 2 章 逻辑代数	(39)
2.1 数制和码制	(39)
2.1.1 几种常用数制	(39)
2.1.2 不同数制间的转换	(41)
2.1.3 编码	(42)



2.2	逻辑函数及其表示方法	(45)
2.2.1	逻辑函数表示方法	(45)
2.2.2	表示方法的相互转换	(47)
2.3	逻辑代数的基本运算规律	(48)
2.3.1	逻辑代数的基本运算	(48)
2.3.2	逻辑代数的基本公式	(50)
2.3.3	逻辑代数的常用公式	(51)
2.3.4	逻辑代数的基本运算规则	(51)
2.4	逻辑函数的化简	(52)
2.4.1	化简的意义和最简标准	(52)
2.4.2	公式化简法	(52)
2.4.3	卡诺图化简法	(54)
2.5	具有约束项的逻辑函数的化简	(58)
2.5.1	约束项与约束条件	(58)
2.5.2	利用约束项化简逻辑函数	(58)
	第二章小结	(59)
	思考和练习题 2	(59)
	实验 2 门电路逻辑功能测试	(61)
第 3 章	组合逻辑电路	(65)
3.1	组合逻辑电路的概述	(65)
3.2	组合逻辑电路的分析方法和设计方法	(66)
3.2.1	组合逻辑电路的分析方法	(66)
3.2.2	组合逻辑电路的设计方法	(67)
3.3	编码器	(70)
3.3.1	8421 码编码器	(70)
3.3.2	优先编码器	(71)
3.4	译码器	(72)
3.4.1	变量译码器	(73)
3.4.2	码制变换译码器——二—十进制译码器	(74)
3.4.3	显示译码器	(75)
3.5	加法器	(78)
3.5.1	半加器	(78)
3.5.2	全加器	(79)
3.5.3	多位数的加法	(80)
3.6	数据选择器和分配器	(80)
3.6.1	数据选择器	(80)
3.6.2	数据分配器	(82)
3.7	比较器	(83)

3.7.1 同比较器	(83)
3.7.2 大小比较器	(84)
3.8 组合电路中的竞争冒险	(86)
3.8.1 产生竞争冒险的原因	(86)
3.8.2 消除竞争冒险的方法	(86)
第三章小结	(88)
思考和练习题 3	(88)
实验 3 综合逻辑电路	(91)
实验 4 译码显示电路	(92)
第 4 章 集成触发器	(95)
4.1 基本 R-S 触发器	(95)
4.1.1 基本 R-S 触发器的组成与符号	(95)
4.1.2 基本 R-S 触发器工作过程	(95)
4.1.3 功能总结	(96)
4.2 钟控 R-S 触发器	(98)
4.2.1 钟控 R-S 触发器结构及符号	(98)
4.2.2 钟控 R-S 触发器工作过程	(99)
4.2.3 功能总结	(99)
4.2.4 空翻问题	(101)
4.3 主从触发器	(101)
4.3.1 主从的概念	(101)
4.3.2 主从 R-S 触发器	(102)
4.3.3 主从 J-K 触发器	(103)
4.3.3 T 触发器及 T' 触发器	(106)
4.4 边沿触发器	(109)
4.4.1 边沿型 J-K 触发器	(109)
4.4.2 维持阻塞 D 触发器	(110)
第四章小结	(112)
思考和练习题 4	(112)
实验 5 触发器	(115)
第 5 章 时序逻辑电路	(117)
5.1 概述	(117)
5.1.1 时序逻辑电路的特点	(117)
5.1.2 时序逻辑电路的一般分析方法	(119)
5.2 寄存器	(121)
5.2.1 数码寄存器	(121)
5.2.2 移位寄存器	(122)

5.3 计数器	(126)
5.3.1 同步计数器	(126)
5.3.2 异步计数器	(135)
5.3.3 集成计数器构成 N 进制计数器方法	(140)
5.3.4 同步计数器设计方法介绍	(143)
5.4 移位寄存器型计数器	(146)
5.4.1 环形计数器	(146)
5.4.2 扭环形计数器	(149)
5.4.3 最大长度移位寄存器型计数器	(150)
5.5 顺序脉冲发生器	(151)
5.6 半导体存储器和专用集成电路	(152)
5.6.1 只读存储器(ROM)	(152)
5.6.2 随机存取存储器(RAM)	(160)
5.6.3 可编程逻辑器件 PLD 专用集成电路	(164)
5.7 可编程序控制器	(170)
5.7.1 概述	(170)
5.7.2 可编程序控制器的结构和工作原理	(170)
5.7.3 可编程序控制器的分类及编程语言	(173)
第五章小结	(180)
思考和练习题 5	(181)
实验 6 移位寄存器	(182)
实验 7 可逆计数器	(186)
第 6 章 脉冲电路	(190)
6.1 RC 电路	(190)
6.1.1 RC 电路的响应	(190)
6.1.2 RC 电路的应用举例	(197)
6.2 集成逻辑门构成的脉冲单元电路	(201)
6.2.1 自激多谐振荡器	(201)
6.2.2 单稳态触发器	(206)
6.2.3 施密特触发器	(211)
6.3 集成定时器	(215)
6.3.1 CC7555 定时器的电路结构	(216)
6.3.2 集成定时器应用举例	(217)
* 6.4 锯齿波发生器	(220)
6.4.1 锯齿波电压发生器	(221)
6.4.2 锯齿波电流发生器	(227)
第六章小结	(230)
思考和练习题 6	(231)



实验 8 555 定时器电路及其应用	(233)
第 7 章 数模和模数转换电路	(238)
7.1 概述	(238)
7.2 数模转换器(DAC)	(238)
7.2.1 T 型网络 DAC	(240)
7.2.2 倒 T 型网络 DAC	(242)
7.2.3 DAC 中的电子开关	(243)
7.2.4 DAC 的主要技术指标	(243)
7.2.5 AD7541 集成 DAC 介绍	(245)
7.3 模数转换器(ADC)	(246)
7.3.1 模数转换的一般步骤	(246)
7.3.2 并行比较型 ADC	(248)
7.3.3 逐位逼近型 ADC	(249)
* 7.3.4 双积分型 ADC	(251)
7.3.5 ADC 的主要技术指标	(254)
第七章小结	(254)
思考和练习题 7	(255)
附录一 ASCII 编码表	(256)
附录二 VHDL 简介	(257)
附录三 MAX + plus II	(264)
参考文献	(268)

第1章 逻辑门电路

本章主要介绍内容:

- 晶体管开关器件。
- 以分立元件逻辑门为基础,重点讲述 TTL(Transistor-Transistor Logic)和 MOS(Metal Oxide Semiconductor)逻辑门的工作原理、电路组成及其外特性等。

1.1 晶体管的开关特性及应用

在数字电路中,晶体管大多工作在开关状态,所以是一种无触点的电子开关。通常的电子开关按其用途,可分为模拟开关和数字开关(又称逻辑开关)两大类。对它们的要求也有所不同:模拟开关应具备断开和接通时,流过的电流或两端的电压为零,两种状态转换的时间为零;而对数字开关则要求器件有两种可以区分的工作状态,同时输出能明确地用逻辑0或1来表示。本章将要介绍的逻辑门电路就属于数字开关。

由晶体管等元器件构成的电子开关,开关速度高、工作寿命长,易于自动控制,在一定条件下还可以近似为理想开关,因此是构成逻辑门的最主要器件。

1.1.1 晶体二极管的开关特性及应用

1. 晶体二极管的开关特性

图1-1是硅二极管的符号和伏安特性曲线。由伏安特性可知:

(1)当加在二极管两端的正向电压小于0.5V(门限电压,又称阈电压或阈电压)时,以及在二极管两端加上反向电压时,流过二极管的电流很小($1\mu\text{A}$ 以下),二极管相当于一个大电阻(几百 $\text{K}\Omega\sim$ 几 $\text{M}\Omega$),可近似认为是开路。因此,把二极管端电压小于0.5V作为二极管的截止条件。一旦截止,即可近似认为电流等于0,相当于开关断开,这就是二极管截止时的特点。

(2)当二极管外加电压大于0.5V时,二极管对外呈现很小的正向电阻(约为几十~几百 Ω),开始导通。由于二极管的伏安特性曲线在电压为0.7V时已经很陡,在一定范围内,电流有较大变化时,二极管的端电压保持在0.7V左右。因此,把二极管正向电压大于0.5V作为二极管的导通条件。一旦导通,即可将二极管认为是具有0.7V压降的闭合开关,这就是二极管导通时的特点。

图1-2(a)所示是一个简单的二极管开关电路。当输入电压 $u_i = 0\text{V}$ 时,二极管截止,



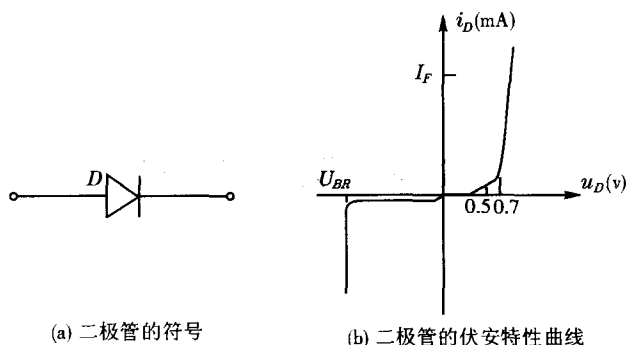


图 1-1 硅二极管的符号和伏安特性曲线

如同一个断开了的开关,其等效电路如图 1-2(b)所示,显然,输出电压 $u_o = 0V$ 。当输入电压 $u_i = 5V$ 时,二极管导通,其导通压降 $u_D \approx 0.7V$,如同一个具有 $0.7V$ 压降闭合了的开关,其等效电路如图 1-2(c)所示。显然,这时的输出电压为:

$$u_o = u_i - u_D = (5 - 0.7)V = 4.3V$$

二极管由导通到截止及由截止到导通的过程都需要一定的时间。二极管由截止到导通所需的时间称作开通时间,这段时间很短,通常可以忽略不计。二极管由导通到截止所需时间称作反向恢复时间。二极管从导通向截止转换时,因其内部导电结构的原因,会产生很大的反向电流,需经过一段较长的时间,反向电流才接近于零,这时三极管才真正进入截止状态,如图 1-3 所示。反向恢复时间对二极管的开关特性有很大的影响。在信号频率非常高时,二极管将失去开关作用。

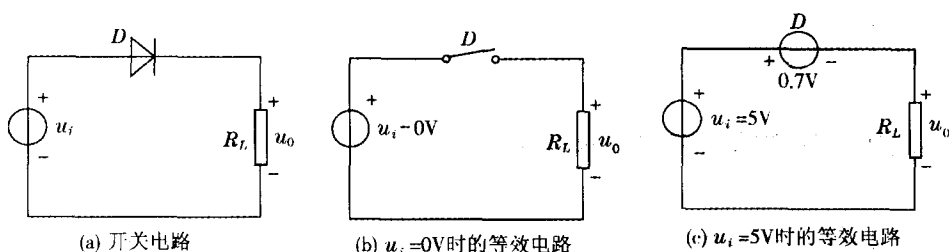


图 1-2 硅二极管开关电路及其等效电路

2. 二极管开关特性的应用

利用二极管开关特性可以构成限幅器和钳位器。

(1) 二极管限幅器

限幅器是一种波形变换或整形电路。当输入信号在一定范围内变化时,输出电压跟随输入电压相应变化,完成信号的传输;而当输入电压超过这一范围时,其超过的部分被削去,输出电压保持不变,实现限幅作用,由于限幅器能将一定范围以外的输入波形削去,所以限幅器又称削波器。

限幅器分为单向和双向限幅器,其中单向限幅器根据二极管在电路中的位置不同,又有两种形式:一种是串联限幅器,另一种是并联限幅器。串联限幅是当二极管截止时起限幅作用,输出等于限幅电平;当二极管导通时,输出电压等于输入电压,并随输入电压变化而变

化。并联限幅是当二极管导通时起限幅作用,输出等于限幅电平;当二极管截止时,输出电压等于输入电压,并随输入电压变化而变化。

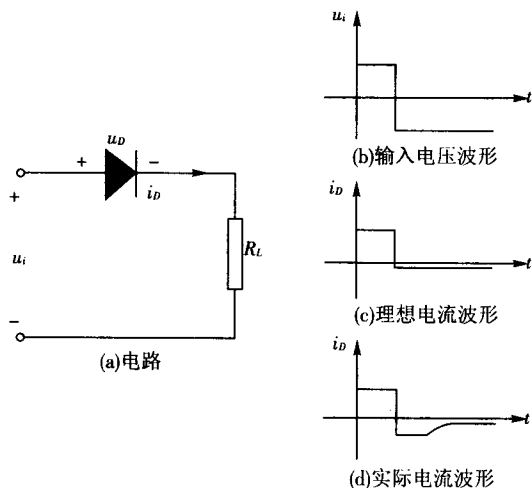


图 1-3 二极管的开关特性

如图 1-4 所示为限幅电平 $U_1 = -3\text{V}$ 的并联下限幅器。当 $u_i \geq -3\text{V}$ 时使 D 截止, $u_o = u_i$; 而当 $u_i < -3\text{V}$ 时使 D 导通, $u_o = -3\text{V}$ 。结果是 u_i 波形中的 -3V 以下部分被削去, -3V 以上部分保留。限幅电平 U_1 为 -3V 。

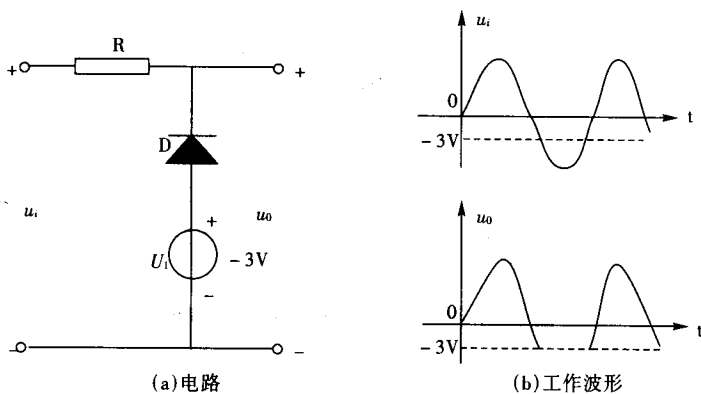


图 1-4 限幅电平为 -3V 的并联下限幅器

(2) 二极管钳位器

二极管钳位器是利用二极管的开关特性,将输入波形的顶部或底部钳定在某一选定的电平上的电路。这种钳位作用又称为波形钳位,在脉冲技术中经常用到。

如图 1-5 所示为一钳位电平为零的底部钳位电路及工作波形。电路中的电阻 $R \gg R_D$ (二极管导通电阻)。设 $t=0$ 之前,电路已处于稳态,即

$u_c = 0, u_o = 0$ 。 $t=0^+$ 时 u_i 由 0 下跳到 $-U_2$, 根据开关定理,有:

$$u_o(0^+) = -U_2$$

$0-t_1$ 期间 $u_i = -U_2$ 使 D 导通, C 充电。充电时间常数 $\tau_1 = (R_D // R) \cdot C \approx R_D \cdot C$ 。远

远小于 t_g , 故 C 很快充电完毕, 使 u_0 按指数规律很快回到零。

t_1 时刻, u_i 由 $-U_2$ 上跳到 $+U_1$, 其跳变幅度为 $(U_1 + U_2)$ 。此刻 u_0 也由零电平上跳相同的幅度至 $(U_1 + U_2)$ 处。

$t_1 - t_2$ 期间, $u_i = +U_1$, 使 D 截止, C 放电并由 $+U_1$ 对 C 反向充电。时间常数 $\tau_2 = R \cdot C$, 远远大于 t_w , 故放电很慢, u_0 只下降很小的数值 ΔU , 即 u_0 的顶部降落仅为 ΔU 。

t_2 时刻, u_i 又下跳 $(U_1 + U_2)$ 幅值到 $-U_2$, 同理, u_0 跟随 u_i 下跳到 $-\Delta U$ 处。以后 C 又很快充电使 u_0 回到稳态值零电平。

到 t_3 时刻又重复 t_1 时刻的过程。以后 C 反复地充电、放电, 得到 u_0 波形, 如图 1-5 所示。

比较 u_i 和 u_0 可见, 电路将输出脉冲 u_0 的底部(负峰)钳定在零电平上, 因此这种钳位器也称为零电平负峰钳位器。若将二极管 D 反接, 可构成钳位电平为零的顶部(正峰)钳位器。若要改变钳位电平, 使输出电压的脉冲顶部或底部钳定在某一电平上, 可以在二极管 D 支路中串接一个电压源 U_1 。

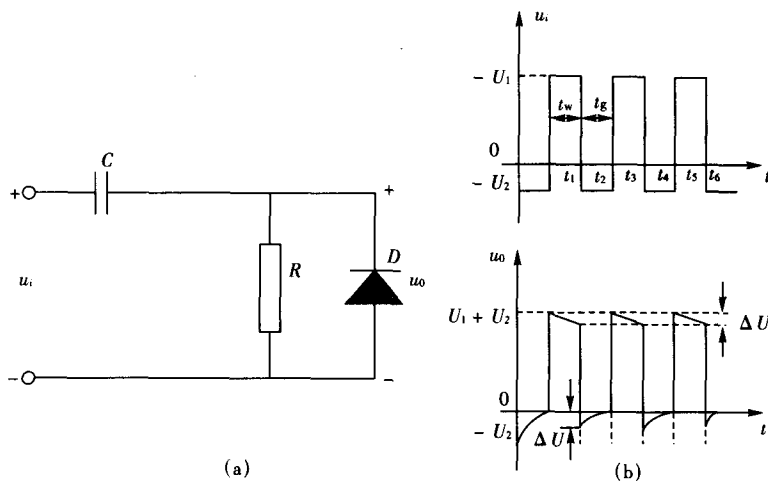


图 1-5 钳位电平为零的底部钳位器

1.1.2 晶体三极管的开关特性及应用

1. 晶体三极管的开关特性

如图 1-6 所示为 NPN 型三极管的电路和特性曲线。图中直流负载线和三极管输出特性曲线的交点称为静态工作点, 用 Q 表示。工作点的位置由基极电流 i_B 决定。由于工作点的位置不同, 三极管有 3 种不同的工作状态, 或称为 3 个工作区域。

① $i_B \approx 0, i_C \approx 0$ 的区域称为截止区, 如图中的 Q_1 点。在截止区, 三极管的集电极 C 和发射极 e 之间近似为开路, 相当于开关断开一样, 故有 $u_{CE} \approx u_{CC}$ 。对于硅三极管, 由于发射极存在 $U_0 = 0.5V$ 的死区电压, 只有当 $u_{BE} > U_0 = 0.5V$ 时三极管才会真正导通, 所以三极

管的截止条件为 $u_{BE} < 0.5V$ 。

② $i_B > 0, i_C = \beta i_B$ 的区域称为放大区, 如图中的 Q 点, 在放大区, i_C 受 i_B 的控制, 三极管具有放大作用。

③ $i_B > 0, u_{CE} < u_{CE}$ 的区域称为饱和区。在饱和区, i_C 不受 i_B 的控制, 关系式 $i_C = \beta i_B$ 不再成立, i_C 的大小由外电路决定, 这时的 i_C 称为集电极饱和电流, 用 I_{CS} 表示。三极管饱和时, 集电极 C 和发射极 e 之间的电压称为饱和电压, 用 U_{CES} 表示。硅三极管的 $U_{CES} \approx 0.3V$, C, e 之间近似于短路, 相当于开关接通一样。三极管刚达到饱和时的状态称为临界饱和, 如图中的 Q_2 点, 这时 $u_{CE} = u_{BE}$ 。三极管临界饱和时 $i_C = \beta i_B$ 的关系还成立, 临界饱和时的基极电流用 I_{BS} 表示。当 $i_B > I_{BS}$ 时, 三极管进入深度饱和, 这就是三极管的饱和条件。

由此可见, 三极管相当于一个由基极电流所控制的无触点开关, 三极管截止时相当于开关断开, 而饱和时相当于开关闭合。为了便于比较, 现将 NPN 型三极管截止、放大、饱和 3 种工作状态的特点列于表 1-1 中。

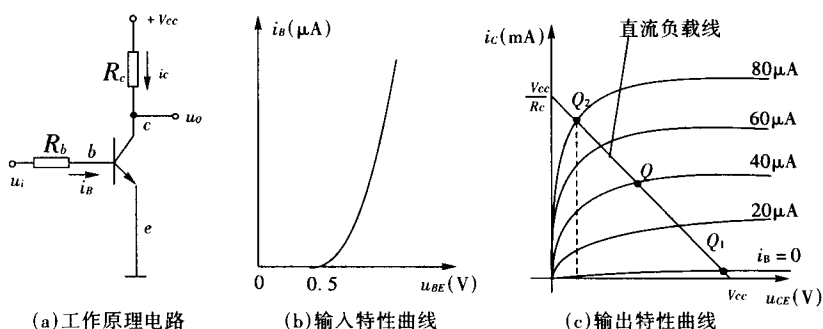


图 1-6 三极管的工作原理电路和输入输出特性曲线

表 1-1 NPN 型三极管截止、放大、饱和 3 种工作状态的特点

工作状态		截止	放大	饱和
工作特点	条件	$i_B = 0$	$0 < i_B < I_{BS}$	$i_B > I_{BS}$
	偏置情况	发射结反偏 集电结反偏	发射结正偏 集电结反偏	发射结正偏 集电结正偏
	集电极电流	$i_C = 0$	$i_C = \beta i_B$	$i_C = I_{CS}$
	ce 间电压	$u_{CE} = V_{CC}$	$u_{CE} = V_{CC} - i_C R_C$	$u_{CE} = U_{CES} = 0.3V$
	ce 间等效电阻	很大, 相当于开关断开	可变	很小, 相当于开关闭合

2. 场效应管的开关特性

图 1-7 所示为增强型 N 沟道 MOS 管 (绝缘栅型场效应管) 的工作原理电路和特性曲线。由转移特性曲线和输出特性曲线, 可知 MOS 管也具有三个不同的工作区域:

(1) 截止区

当栅极 G 与源极 S 之间的电压 $u_{GS} < U_T$ (U_T 称为管子的开启电压) 时, 漏极电流 $i_D =$

0,管子处于截止状态。

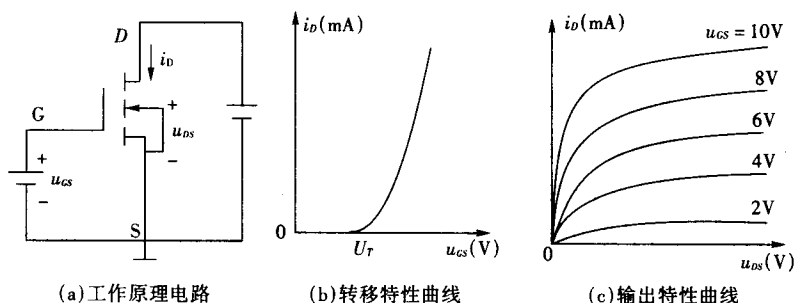


图 1-7 增强型 N 沟道 MOS 管的工作原理电路和特性曲线

(2) 可变电阻区

当 $u_{GS} \geq U_T$ 时,开始出现 i_D ,随着 u_{GS} 增加, i_D 也增加,管子进入导通状态,而且若固定 u_{GS} 而增加 u_{DS} , i_D 会快速增加。因此可把漏极 D 和源极 S 之间看成是一个可由 u_{GS} 控制的可变电阻, u_{GS} 越大,曲线越陡,可变电阻越小。

(3) 饱和区

当 u_{GS} 达到某一值时, i_D 随 u_{GS} 的增加而快速增加,而且若固定 u_{GS} 而增加 u_{DS} , i_D 基本不变,管子进入饱和状态。

综上所述,MOS 管也可作为开关元件。MOS 管截止时,如同一个断开了的开关;而导通后就如同一个具有一定电阻的闭合了的开关。在数字电路中,MOS 管导通时一般都工作在可变电阻区。

3. 晶体三极管开关特性的应用

三极管除可用于各种放大器外,还可用作限幅器、钳位器和反相器等。尤其反相器是脉冲与数字电路中最基本、最常用的电路之一。

如图 1-8 所示即为一典型的三极管反相器电路。图中三极管 T 为开关器件, C_j 为加速电容。基极电阻 R_1, R_2 及负偏压 $-U_{BB}$ 构成偏置电路,与输入电压 u_i 共同决定三极管的工作状态,保证三极管可靠地截止或饱和, R_C 为集电极负载电阻。为了使反相器输出幅度稳定,不受 R_L 影响,以及提高工作速度和改善输出波形,在反相器中增加了由 $+U_Q, D_Q$ 组成的钳位电路, U_Q 为钳位电平。一般取 $U_Q = (1/2 \sim 1/4) V_{CC}$,且满足下列条件:

$$V_{CC} \cdot R_L / R_C + R_L > U_Q + U_D$$

式中 U_D 为钳位二极管 D_Q 的正向导通压降。

反相器在 u_i 作用下,输出 u_o 与输入 u_i 之间具有反相的关系。反相器能稳定工作的条件中:当输入 u_i 为低电平 U_{iL} (如 0V) 时,应保证三极管可靠地截止,输出 u_o 为高电平 U_{OH} ($V_{CC} = 5V$);而当 u_i 为高电平 U_{iH} (如 5V) 时,应保证三极管可靠地饱和,输出 u_o 为低电平 U_{OL} (如 $U_{CES} = 0.3V$)。

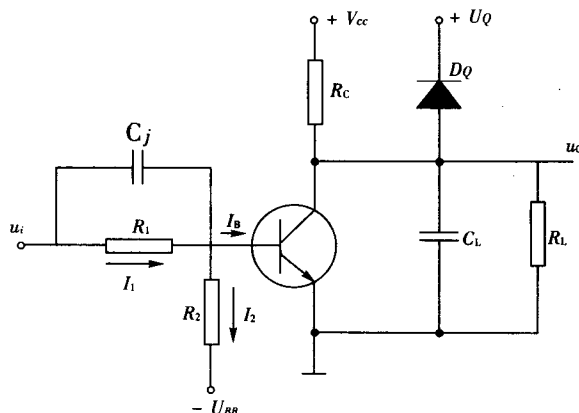


图 1-8 三极管反相器

1.2 分立元件逻辑门

在数字电路中,门电路就是实现输入信号与输出信号之间逻辑关系的电路。最基本的逻辑关系只有与、或非三种,其他任何复杂的逻辑关系都可以用这三种逻辑关系来表示。所以,最基本的逻辑门是与门、或门和非门。

分立元件门电路是由分立的晶体二极管、三极管和 MOS 管等有关元件组成的门电路。分立元件门电路有与门、或门和三极管非门、MOS 管非门以及由它们构成的复合门,如与非门、或非门等。

1.2.1 二极管与门

实现与逻辑关系的电路称为与门。由二极管构成的双输入与门电路及其符号如图 1-9 所示。图中 A 和 B 为输入信号, Y 为输出信号。输入信号为 5V 或 0V。

1. 与门电路分析

① $u_A = u_B = 0V$ 时,二极管 D_1, D_2 都处于正向导通状态,所以:

$$u_Y = u_{D1} + u_A = 0.7 + 0 = 0.7V$$

② $u_A = 0V, u_B = 5V$ 时,电源将经电阻 R 向处于 0V 电位的 A 端流过电流, D_1 优先导通。 D_1 导通后, $u_Y = u_{D1} + u_A = 0.7 + 0 = 0.7V$, 将 Y 点电位钳制在 0.7V, 使 D_2 受反向电压而截止, 所以 $u_Y = 0.7V$ 。

③ $u_A = 5V, u_B = 0V$ 时, D_2 优先导通, 使 Y 点电位钳制在 0.7V, 此时, D_1 受反向电压而截止, $u_Y = 0.7V$ 。

④ $u_A = u_B = 5V$ 时, D_1, D_2 都受反向电压而截止, $u_Y = V_{CC} = 5V$ 。

