

784

7N79-43  
7/96

# 数字电路与数字电子技术

主编 岳 怡

编著 余海勋 陈志武 岳 怡



A0996270

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书是根据国家教育部制定的高等工业学校脉冲与数字电路、数字电子技术基础课程教学基本要求编写的。

全书共十一章，主要内容有绪论、惰性电路和晶体管开关、逻辑门电路、数制与编码、逻辑函数及其简化、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲电路、存储器和可编程器件，在系统可编程技术及其器件原理与应用、数/模与模/数转换器。各章末均有习题；书末列有附录，特别对集成电路型号命名方法，二进制逻辑单元图形符号做了说明。

本书可作为高等院校无线电技术、电子工程、计算机技术、自动控制等专业的技术基础课教材，也可供有关专科学校和工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

数字电路与数字电子技术/岳怡主编. —西安: 西北工业大学出版社, 2000.12

ISBN 7-5612-1265-8

I. 数... II. 岳... III. 数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 31713 号

出版发行: 西北工业大学出版社

通信地址: 西安市友谊西路 127 号, 邮编 710072 电话: 029—8493844

印刷者: 西安市向阳印刷厂

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 32

字数: 778 千字

版次: 2001 年 2 月 第 1 版 2001 年 2 月 第 1 次印刷

书号: ISBN 7-5612-1265-8

印数: 1~6000

定价: 35.00 元

# 前 言



本书是根据国家教育部制定的脉冲与数字电路、数字电子技术基础课程教学的基本要求并考虑到数字技术和微电子技术的飞速发展，各种通用的、专用的、用户可编程器件不断涌现，中、大规模集成电路已得到广泛应用而进行编写的。

在选材上，本书注重基础知识，介绍今后相当长的时期仍然行之有效的基本理论和方法，同时又力求反映近年来数字技术的新发展和新应用，介绍新器件、新技术。

数字电路与数字电子技术是一门重要的专业基础课，本书侧重阐明基本物理概念，电路的工作原理和分析、设计方法，力求做到深入浅出，便于自学。为了加深对概念的理解，学以致用，书中附有大量实例，每章之后附有习题，以巩固所学知识。

全书共分十一章。第一章主要介绍晶体管的开关特性。第二章逻辑门电路。作为数字电路的基础器件主要介绍了 TTL, CMOS 及 ECL 门电路。第三章数制与编码及第四章逻辑函数及其简化是数字电路的理论基础。第五章组合逻辑电路主要讨论组合逻辑电路的分析、设计方法及常用的组合逻辑电路，并突出了用中规模集成组件分析、设计组合逻辑电路的方法。第六章集成触发器主要介绍各种触发器的逻辑特性及使用中应注意的问题。第七章时序逻辑电路主要介绍时序逻辑电路的分析及设计方法及常用的时序逻辑功能部件。突出了用中规模集成组件分析、设计时序电路的方法。第八章脉冲电路主要介绍了用门电路组成的脉冲电路及集成脉冲电路。第九章介绍存储器和可编程器件。第十章为在系统编程技术及其器件原理与应用，主要介绍可编程器件及在系统可编程器件及用该器件进行逻辑设计的方法。第十一章介绍数字和模拟信号之间相互转换的电路。

通过本书的学习读者可掌握数字电路及基本脉冲电路的原理和分析方法。能对常见的小、中、大规模集成电路进行分析、设计和应用，并能初步掌握用可编程器件及在系统可编程器件设计数字系统的方法。

本书采用国家标准 GB4728.12—85《电气图用图形符号，二进制逻辑单元》所规定的逻辑符号。它与国际电工委员会 IEC617—12 (1983) 的图形符号一致，正在国内外普及。

本书由岳怡教授、余海勋、陈志武副教授合作编写。岳怡教授任主编，负责全书的统稿与定稿。其中第一、二、三、四、五章由陈志武编写，第六、七、八章由余海勋编写，第九、十、十一章由岳怡编写。

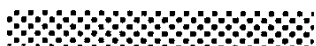
本教材由西北工业大学齐才教授审稿，在编写过程中得到西北工业大学 604 教研室全体教师的帮助和支持，并提出许多宝贵意见，编者在此致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

**编者**

2000 年 5 月

# 目 录



绪论	1
一、脉冲和脉冲电路	1
二、数字信号和数字电路	2
三、数字电路的应用	3
第一章 惰性电路和晶体管开关	4
第一节 RC 惰性电路	4
一、RC 电路的暂态特性	4
二、暂态持续期, 暂态宽度和时常数的关系	5
第二节 晶体管开关	6
一、晶体二极管开关特性	6
二、二极管限幅器及钳位器	9
三、晶体三极管开关特性	14
四、晶体三极管反相器	18
习题一	22
第二章 逻辑门电路	25
第一节 分立元件门电路	25
一、三种基本逻辑关系及其基本逻辑门电路	25
二、与非门和或非门	29
第二节 TTL 集成逻辑门	30
一、二极管—晶体管逻辑门电路 (DTL)	31
二、晶体管—晶体管逻辑门电路 (TTL)	31
三、TTL 电路的改进系列	39
四、TTL 扩展器、集电极开路门及三态门	41
第三节 发射极耦合逻辑 (ECL) 门	46
一、典型原理电路	46
二、ECL 门的实际电路	48
第四节 MOS 逻辑门	49

一、NMOS 逻辑门电路 .....	50
二、PMOS 逻辑门电路 .....	52
三、CMOS 逻辑电路 .....	53
第五节 不同逻辑系列的配合问题 .....	62
一、逻辑电平的配合 .....	62
二、驱动能力的配合 .....	63
第六节 各种集成逻辑门性能比较 .....	63
习题二 .....	63
<b>第三章 数制与编码 .....</b>	<b>69</b>
第一节 进位计数制 .....	69
一、十进制数 .....	69
二、二进制数 .....	69
三、任意 $R$ 进制数 .....	70
第二节 数制转换 .....	71
一、将 $R$ 进制数转换为十进制数 .....	71
二、将十进制数转换成 $R$ 进制数 .....	71
三、任意两种进位制之间的转换 .....	74
四、基数为 $2^k$ 进位制之间的转换 .....	74
第三节 编码 .....	75
一、二-十进制 (BCD) 码 .....	75
二、奇偶校验码 .....	77
三、字符代码 .....	78
习题三 .....	80
<b>第四章 逻辑函数及其简化 .....</b>	<b>81</b>
第一节 逻辑代数 .....	81
一、基本的逻辑运算 .....	81
二、复合逻辑运算 .....	82
三、逻辑代数的基本定律和规则 .....	86
四、逻辑函数的标准形式 .....	89
第二节 逻辑函数的代数化简法 .....	93
一、合并项法 .....	93
二、吸收法 .....	93
三、消去法 .....	94
四、配项法 .....	94
五、综合法 .....	94
第三节 逻辑函数的图解化简法 .....	95
一、卡诺图的构成 .....	95

二、卡诺图表示逻辑函数的方法 .....	97
三、卡诺图化简逻辑函数的方法 .....	98
四、逻辑函数按“与非”，“或非”，“与或非”形式的化简 .....	102
五、包含无关最小项的逻辑函数的化简 .....	104
六、输入只有原变量没有反变量的逻辑函数化简 .....	107
七、多输出函数的化简 .....	111
习题四 .....	112
<b>第五章 组合逻辑电路</b> .....	<b>116</b>
<b>第一节 组合逻辑电路的分析与设计</b> .....	<b>116</b>
一、组合逻辑电路的分析 .....	116
二、组合逻辑电路的设计 .....	119
<b>第二节 常用的组合逻辑电路</b> .....	<b>121</b>
一、半加器与全加器 .....	121
二、编码器 .....	128
三、译码器 .....	131
四、数据选择器 .....	147
五、数值比较器 .....	157
六、奇偶校验/产生器 .....	161
<b>第三节 组合逻辑电路的竞争和冒险</b> .....	<b>165</b>
一、竞争和冒险 .....	165
二、冒险的类型 .....	166
三、冒险的判别和消除 .....	167
习题五 .....	170
<b>第六章 集成触发器</b> .....	<b>174</b>
<b>第一节 基本触发器</b> .....	<b>174</b>
一、电路组成和工作原理 .....	175
二、功能描述 .....	175
<b>第二节 钟控触发器</b> .....	<b>177</b>
一、钟控 RS 触发器 .....	177
二、钟控 D 触发器 .....	178
三、钟控 T' 触发器和 T 触发器 .....	180
四、钟控 JK 触发器 .....	181
五、钟控触发器的空翻现象 .....	183
<b>第三节 主从触发器</b> .....	<b>184</b>
一、主从 RS 触发器 .....	184
二、主从 JK 触发器 .....	185
三、主从 JK 触发器集成单元 .....	186

四、集成主从 JK 触发器的脉冲工作特性 .....	188
第四节 边沿触发器 .....	189
一、维持-阻塞触发器 .....	189
二、后沿触发的边沿触发器 .....	193
三、CMOS 传输门构成的边沿触发器 .....	194
第五节 触发器类型转换 .....	195
一、D 触发器转换为 JK, RS, T, T' 触发器 .....	196
二、JK 触发器转换为 RS, D, T, T' 触发器 .....	197
习题六 .....	198
<b>第七章 时序逻辑电路</b> .....	<b>203</b>
第一节 时序逻辑电路概述 .....	203
第二节 同步时序电路的分析与设计 .....	205
一、同步时序电路的分析 .....	205
二、同步时序电路的设计 .....	208
第三节 计数器 .....	215
一、同步计数器分析与设计 .....	215
二、异步计数器分析与设计 .....	227
三、集成计数器功能分析及其应用 .....	234
第四节 寄存器与移位寄存器 .....	253
一、寄存器 .....	253
二、移位寄存器 .....	254
三、移存型计数器 .....	255
四、集成移位寄存器及其其应用 .....	257
第五节 序列信号发生器 .....	270
一、移存型序列信号发生器 .....	270
二、计数型序列信号发生器 .....	274
习题七 .....	276
<b>第八章 脉冲电路</b> .....	<b>283</b>
第一节 集成门构成的脉冲电路 .....	283
一、集成门构成的施密特触发器 .....	283
二、集成门构成的单稳态触发器 .....	286
三、集成门构成的多谐振荡器 .....	291
第二节 集成脉冲电路 .....	296
一、集成单稳态触发器 .....	296
二、555 定时器及其应用 .....	299
习题八 .....	305



<b>第九章 存储器和可编程器件</b> .....	308
<b>第一节 随机存取存储器 (RAM)</b> .....	308
一、RAM 的结构 .....	308
二、地址译码方式 .....	309
三、RAM 的存储单元 .....	311
四、RAM 的扩展 .....	312
<b>第二节 只读存储器 (ROM)</b> .....	314
一、ROM 的分类 .....	314
二、ROM 的结构与工作原理 .....	314
三、ROM 应用举例 .....	319
<b>第三节 可编程逻辑阵列 (PLA)</b> .....	323
一、PLA 结构与工作原理 .....	323
二、用 PLA 实现组合逻辑电路 .....	324
三、用 PLA 实现时序逻辑电路 .....	324
<b>第四节 通用阵列逻辑 (GAL)</b> .....	327
一、GAL 器件的分类和主要参数 .....	328
二、GAL 器件的基本结构 .....	329
三、GAL 器件的开发工具及应用 .....	337
<b>第五节 现场可编程门阵列 (FPGA)</b> .....	341
一、FPGA 的分类 .....	341
二、FPGA 的结构及工作原理 .....	342
三、FPGA 的应用 .....	346
习题九 .....	347
<b>第十章 在系统可编程技术及其器件原理与应用</b> .....	349
<b>第一节 ISP 技术</b> .....	349
一、ISP 技术在设计工作中的优越性 .....	349
二、ISP 技术在生产制造技术中的优越性 .....	350
三、ISP 器件利用了先进的 E <sup>2</sup> CMOS 工艺 .....	351
四、ISP 技术的未来 .....	352
<b>第二节 ISP 器件系列</b> .....	352
一、ispLSI 系列 .....	352
二、在线可编程 GAL—ispGAL 系列 .....	356
三、在系统可编程数字开关 ispGDS 系列 .....	356
<b>第三节 ispLSI 器件结构</b> .....	359
一、1000 系列—ispLSI1016 .....	359
二、2000 系列—ispLSI3256 .....	368
三、6000 系列—ispLSI6192 .....	375

第四节	在系统编程原理和方法	377
一、	在系统编程原理	377
二、	ISP 器件的编程方法	379
第五节	在系统编程软件应用基础	381
一、	逻辑电路的描述	381
二、	源文件的编写	394
三、	宏器件及其调用	404
第六节	ISP 高级应用软件 ISP Synario System	405
一、	ISP 器件的设计流程	405
二、	原理图输入法	406
三、	编译与仿真	410
四、	ABEL 语言与原理图混合输入法	413
五、	后续	420
第七节	全新设计软件工具 VHDL	422
一、	概述	422
二、	VHDL 的结构和句法	423
三、	VHDL 的层次化设计	439
四、	CPLD 优化	442
五、	VHDL 设计流程图	446
六、	系统设计举例	447
习题十		450
<b>第十一章</b>	<b>数/模和模/数转换电路</b>	<b>452</b>
第一节	数/模 (D/A) 转换器	452
一、	D/A 转换器基本原理	452
二、	D/A 转换器电路	454
三、	集成的 D/A 转换器	462
四、	D/A 转换器的转换精度与转换速度	464
五、	D/A 转换器应用举例	465
第二节	模/数 (A/D) 转换器	467
一、	A/D 转换的一般步骤	467
二、	A/D 转换器电路	470
三、	集成 A/D 转换器	481
四、	A/D 转换器的转换精度与转换速度	483
习题十一		483
<b>附 录</b>		<b>485</b>
附录一	电气图用图形符号——二进制逻辑单元 (GB4728.12—85) 简介	485
附录二	常用逻辑符号对照表	494

附录三 国产半导体集成电路型号命名法 (GB3430—82) .....	495
参考文献 .....	497

# 绪 论



数字电路与数字电子技术广泛地应用于电视、雷达、通信、电子计算机、自动控制、航天等科学技术各个领域。因此，“数字电路与数字电子技术”已成为高等院校无线电技术，电子工程、计算机技术、自动控制等专业的主要技术基础课之一。

## 一、脉冲和脉冲电路

### 1. 脉冲的定义

脉冲(pulse)这个词包含着脉动和短促的意思。狭义地说，脉冲信号是指一种持续时间极短的电压或电流波。从广义上讲，通常把一切非正弦波都统称之为脉冲信号。各种常见的脉冲波形如图 0.1 所示。

图 0.1 所示的波形，乍看起来，似乎各不相同。但如果对它们进行仔细分析，就会发现这些波形有一个共同特点，就是整个波形是由若干个暂态过程段所组成。我们知道，要得到暂态过程，电路必须包含两个主要组成部分：一个是开关部分，另一个是惰性电路部分。开关用来破坏电路的稳态，使之产生暂态过程，而惰性电路则用来控制暂态过程的形状和变化的快慢。

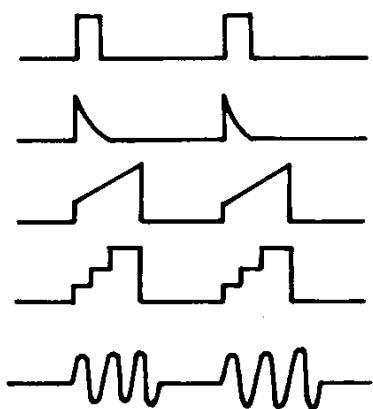


图 0.1 各种脉冲波形

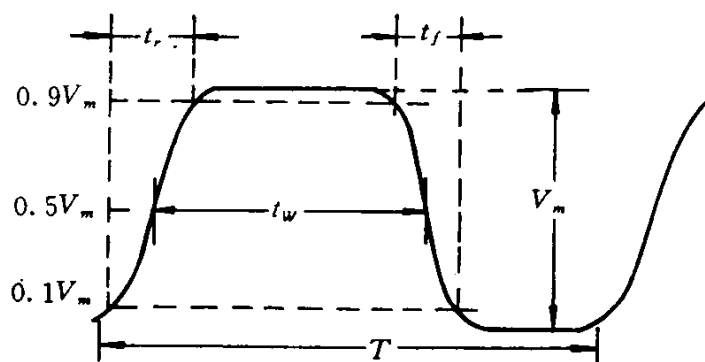


图 0.2 实际的矩形脉冲波形

### 2. 脉冲波形的主要参数

最常见的脉冲波形是方波和矩形波，理想的方波和矩形波突变部分是瞬时的，不占用时间。但实际中，脉冲电压从零值跃升到最大值时，或从最大值跃降到零值时，都需要经历一定时间。图 0.2 所示为矩形脉冲信号的实际波形图。图中， $V_m$  是脉冲信号的幅度； $t_r$  是脉冲信号的上升时间，又称前沿，它是指脉冲信号由  $0.1 V_m$  上升至  $0.9 V_m$  所经历的时间； $t_f$  是脉冲信号的下降时间，又称后沿，它是指脉冲信号由  $0.9 V_m$  下降至  $0.1 V_m$  所经历的时间； $T$  为脉冲信号的周期； $t_w$  是脉冲信号持续时间，又称脉宽，它是指脉冲信号从上升至  $0.5 V_m$  处至下降到

0.5  $V_m$  之间的时间间隔。在一个周期中,  $(T - t_w)$  称为脉冲休止期。

### 3. 脉冲电路

脉冲电路是各种波形脉冲的产生以及脉冲波形间相互变换的电路。脉冲电路可以用分立晶体管、场效应管作为开关和 RC 或 RL 电路构成,也可以由集成门电路或集成运算放大器和 RC 充放电电路构成。常用的有脉冲波形的产生,变换、整形等电路,如双稳态触发器、单稳态触发器、自激多谐振荡器等。这些电路也可以做为数字系统中的时钟产生电路和定时电路。

## 二、数字信号和数字电路

### 1. 数字信号的表示方法

在自然界中存在许多物理量。例如温度、压力、时间等,一般都具有连续变化的特点,这种连续变化的物理量称之为模拟量。把表示模拟量的信号叫做模拟信号。

还有一种物理量,它们在时间上和数值上是不连续的,它们的变化总是发生在一系列离散的瞬间。它们的数值大小和每次的增减变化都是某一最小单位的整数倍,而小于这个最小量单位的数值是没有物理意义的。例如,工厂中生产的产品的个数,它们只能在一些离散的瞬间完成产品,而产品的个数也只能一个单位一个单位地增减。这一类物理量叫做数字量。把表示数字量的信号叫做数字信号。工作在数字信号下的电路叫做数字电路。

在数字电路中只有 0,1 两种数值组成的数字信号。一个 0 或一个 1 通常称为 1 比特,有时也将一个 0 或一个 1 的持续时间称为一拍。对于 0 和 1 可以用开关的通断,电位的高低,脉冲的有无来表示,如图 0.3 中(a)为数字信号 1101110010,(b)是以高电平表示 1,低电平表示 0 的电位型数字信号,(c)是以有脉冲表示 1,无脉冲表示 0 的脉冲型数字信号。

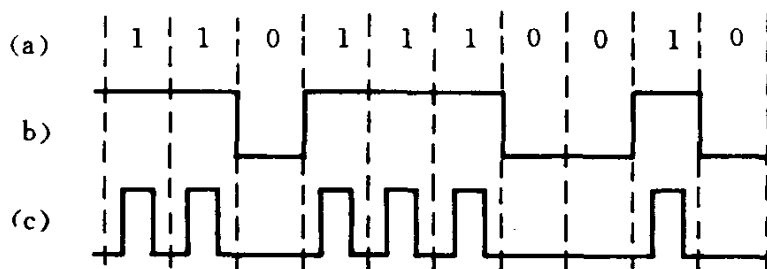


图 0.3 数字信号

### 2. 数字电路的特点

数字电路是用来处理数字信号的电路。可对数字信号进行算术运算及逻辑运算。数字电路的输入输出信号都是数字信号,通常将数字电路输入输出之间的关系称为逻辑关系。

一定数字电路可以完成一定的基本逻辑功能,并用相应的逻辑符号表示。由一系列的逻辑符号及它们之间的连线所构成的电路图称为逻辑图或逻辑电路。逻辑电路只反映数字电路或设备的逻辑功能,而不反映电气性能及参数等。所以,对数字电路的分析和设计需要考虑两方面的问题,一方面是电气性能,另一方面是逻辑功能。

由于数字信号只需要用两个不同状态来分别表示 0 和 1 即可,所以在电路上很容易实现。

(1) 用晶体三极管饱和状态表示 0,截止状态表示 1。

(2) 用数字集成电路:数字电路的基本单元比较简单,对元件的要求不严格,只要能区分 0 和 1 就够了,这样就能在一块硅片上把众多的基本单元制作在一起。

对基本数字集成电路中的集成逻辑门、集成触发器重点讨论其电气性能。对于较复杂的数字电路,侧重于逻辑功能的分析和设计。

逻辑电路的分析和设计完全不同于模拟电路的分析设计,由于逻辑电路的输入和输出信

号只有 0 和 1 两种取值,所以可用“逻辑代数”这一数学工具来加以描述。常用真值表、卡诺图、特征方程和状态转换图等方法来分析和设计逻辑电路。

### 三、数字电路的应用

目前,数字电路的应用已极为广泛。在数字通信系统中,在图像及电视信号处理中,都可以用若干个 0 和 1 编制成各种代码,分别代表不同的信息含义;在自动控制中,可以利用数字电路的逻辑功能,设计出各种各样的数字控制装置;在测量仪表中,可以利用数字电路对测量信号进行处理,并将测试结果用十进制数码显示出来;尤其在数字电子计算机中,可以利用数字电路实现各种功能的数字信息的处理。数字电子计算机已渗透到国民经济和人民生活的一切领域,并已带来了许多方面根本性能的变革。

必须指出,数字电路只能对数字信号进行处理,它的输入和输出均为数字信号,而大量的物理量几乎都是模拟信号。因此,首先必须将模拟信号转换成为数字信号,才可送给数字电路进行处理,而且还要把数字结果再转换成模拟信号。完成将模拟信号转换成相应数字信号的电路称为模 / 数转换电路;完成将数字信号转换成相应模拟信号的电路称为数 / 模转换电路。

应该说明的是,随着中、大规模集成电路的飞速发展,成本不断降低,大量使用通用中、大规模功能块已事在必行。因此,逻辑设计方法在不断发展。此外,数字电路的概念也在发生变化,例如,在单片计算机中,已将元器件制造技术、电路设计技术、系统构成技术等融为一体,元器件、电路、系统的概念已趋于模糊了。数字电路和设备随着新技术的发展也在不断变化,类型层出不穷,所以数字技术是一门发展很快的学科。本书仅介绍数字电路与数字电子技术的基础。

数字电路与数字电子技术是一门实践性很强的技术基础课,除要掌握基本原理、基本方法以外,更重要的是灵活运用。因此,在学习中要完成一定数量的习题和配有一定的实验。只有这样,才能掌握本课程基本内容、掌握分析问题的基本方法,培养灵活地解决实际问题的能力。

# 第一章 惰性电路和晶体管开关

在脉冲与数字电路中,晶体管经常被作为开关使用。这时晶体管工作于开关工作状态,脉冲电路是由开关和惰性电路组成的,电容和电感是通常所用的惰性元件,利用它们的惰性构成具有一定暂态特性的惰性电路。为此,在研究各种具体的脉冲与数字电路之前,有必要先将惰性电路和晶体管开关特性作一些讨论。

## 第一节 RC 惰性电路

### 一、RC 电路的暂态特性

RC 串联电路如图 1.1.1(a) 所示。当开关  $K$  把电源接通时,电阻  $R$  上的电压  $v_R$  和电容上的电压  $v_C$  之和等于外加电源电压  $E$ 。在电源接通的一瞬间,电容上的电荷不能突然建立,它上面的电压等于零,全部电压  $E$  都加在电阻上。随着电容电荷的增加, $v_C$  越来越大, $v_R$  越来越小,最后  $v_C$  增加到等于  $E$ ,而  $v_R$  减小到零。这两个电压的变化如图 1.1.1(b) 所示。图 1.1.1(a) 电路的电流  $i$ ,等于

$$i = C \frac{dv_C}{dt} = \frac{E - v_C}{R}$$

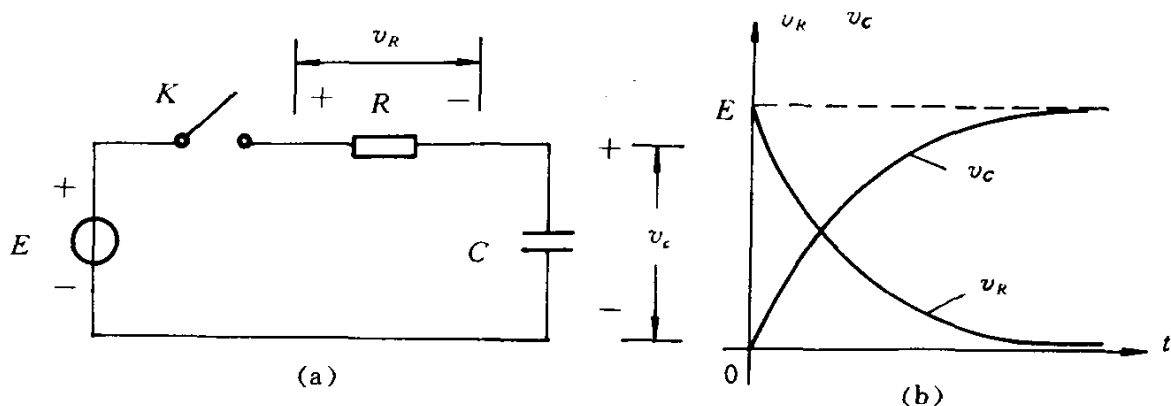


图 1.1.1 RC 串联电路

整理后即得

$$\frac{dv_C}{dt} + \frac{1}{RC}v_C - \frac{E}{RC} = 0 \quad (1.1.1)$$

式(1.1.1)是一阶常微分方程,其解为

$$v(t) = v(\infty) - [u(\infty) - v(0^+)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1.1.2)$$

式(1.1.2)中  $v(0^+)$  是起始值;  $v(\infty)$  是趋向值;  $\tau$  是电路的常数。只要从电路确定出  $v(0^+)$ 、 $v(\infty)$  和  $\tau$  三个要素的数值, 就可以代入  $v(t)$  式直接写出电压变化的表示式。这种方法称为三要素法。

图 1.1.1(a) 中  $v_C(0^+) = 0$ ;  $v_C(\infty) = E$ ;  $\tau = RC$  所以可写出:

$$v_C(t) = E - [E - 0]e^{-\frac{t}{RC}} = E[1 - e^{-\frac{t}{RC}}] \quad (1.1.3)$$

图中  $v_R(0^+) = E$ ;  $v_R(\infty) = 0$ ;  $\tau = RC$  可写出

$$v_R(t) = E e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1.1.4)$$

从  $v(t)$  式中可以计算出电压到达某一规定值的时间, 当  $t = T_1$  时, 该电压值和相应时间分别为  $v(T_1)$  和  $T_1$  得

$$v(T_1) = v(\infty) - [v(\infty) - v(0^+)]e^{-\frac{T_1}{\tau}}$$

稍加整理, 得

$$T_1 = \tau \ln \frac{v(\infty) - v(0^+)}{v(\infty) - v(T_1)} \quad (1.1.5)$$

三要素法在脉冲与数字电路中经常用到, 我们不仅要知其来源, 而且应记住其结果, 并能熟练应用。

## 二、暂态持续期, 暂态宽度和时常数的关系

从  $v_C$  和  $v_R$  的表示式中可看出 RC 电路的暂态特性决定于电路的时常数。为了对暂态过程和时常数的关系有较清晰的概念, 我们举一些数字例子。从式(1.1.4)中  $v_R$  为例, 设电源接通的一瞬间  $v_R$  的值为 100, 随后电压和时间的关系为

$t/s$	0	$\tau$	$2.3\tau$	$3\tau$	$5\tau$
$v_R/V$	100	37	10	5	0.7

把电压和时间的关系仔细画出如图 1.1.2 所示。从图中的曲线可以看出, 在开关刚接通时, 由于  $v_C$  小的所以充电电流大, 这时  $v_C$  的建立和  $v_R$  的减小都比较快。到后来充电电流越来越小,  $v_R$  的减小也越来越慢。从理论上说, 电路要达到稳定(即  $v_R$  减小到等于零), 其时间将是无穷长。因此, 我们不能用完全到达稳定所需的时间来说明暂态过程的长短, 需要另立标准。

在许多场合, 我们把  $v_R$  减小到起始值的 1/10 的时间 ( $2.3\tau$ ) 作为暂态过程的宽度。但在有些场合, 主要考虑电容电压是否已经充满, 这时又往往以 ( $3 \sim 5$ ) $\tau$  作为标准, 称为暂态持续期。因为经过  $3\tau$  后,  $v_R$  已经只有起始值的 5%, 经过  $5\tau$  后只剩下 0.7%, 可近似认为暂态过程至此结束。

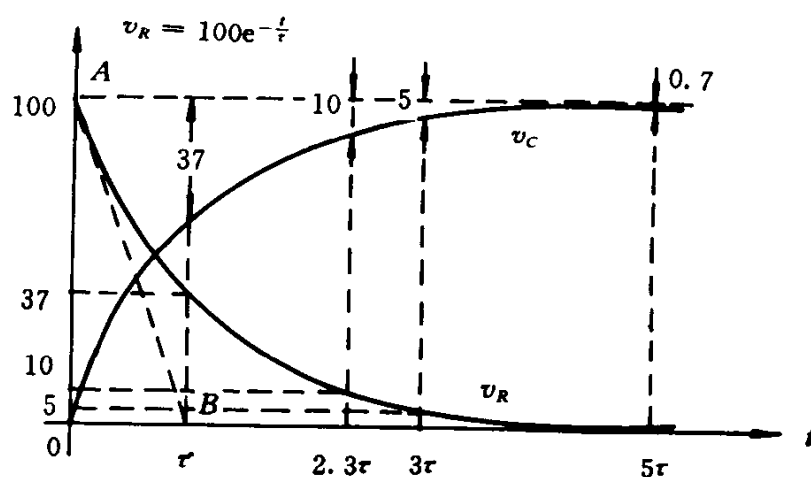


图 1.1.2  $e^{-\frac{t}{\tau}} \sim t$  的曲线



同时我们还可以看出,  $v_R$  和  $v_C$  曲线斜率的绝对值是逐渐减小的, 起始时等于  $|E/\tau|$ , 然后逐渐减小到零。

根据上面所说的特点, 只要知道了时常数  $\tau$ , 就可以把电压变化曲线很快画出。如图 1.1.2 所示的电压  $v_R$  曲线, 首先把电压起始点  $A$  和横轴上  $t = \tau$  的  $B$  点连成一直线, 这直线的斜率为  $-E/\tau$ , 它是电压  $v_R$  起始点的切线, 然后再根据  $t = \tau, 3\tau, 5\tau$  时的几个电压特定值, 就可把曲线大致描出来。

由于描绘波形是研究脉冲电路必不可少的, 上述简易作图法今后经常要用到。

## 第二节 晶体管开关

在脉冲与数字电路中, 晶体管经常被当作开关来使用。这时晶体管工作于开关状态, 所以需要研究晶体管的开关特性。

### 一、晶体二极管开关特性

开关元件的作用是把电路接通和截断。接通就是要元件呈现很小的电阻, 最好接近于短路; 截断就是要元件呈现很大的电阻, 最好接近于开路。我们知道, 晶体二极管正向运用时的电阻很小, 反向运用时接近于开路, 用它作开关元件是合适的。

#### 1. 开关等效电路

二极管的伏安特性如图 1.2.1 所示。在脉冲数字电路中的二极管常工作在开关状态: 或者截止, 或者充分导通。硅二极管在导通时, 伏安特性曲线的斜率很陡(见图 1.2.1(a)), 正向压降在  $0.7\text{ V}$  左右, 这时硅二极管可以看成是一个  $0.7\text{ V}$  的恒压源(见图 1.2.2(a))。而锗二极管的正向伏安特性变化缓慢, 管子的正向压降随正向电流的增加而增加, 可用一个电阻  $R_D$  来表示正向导通的二极管(见图 1.2.2(b))。

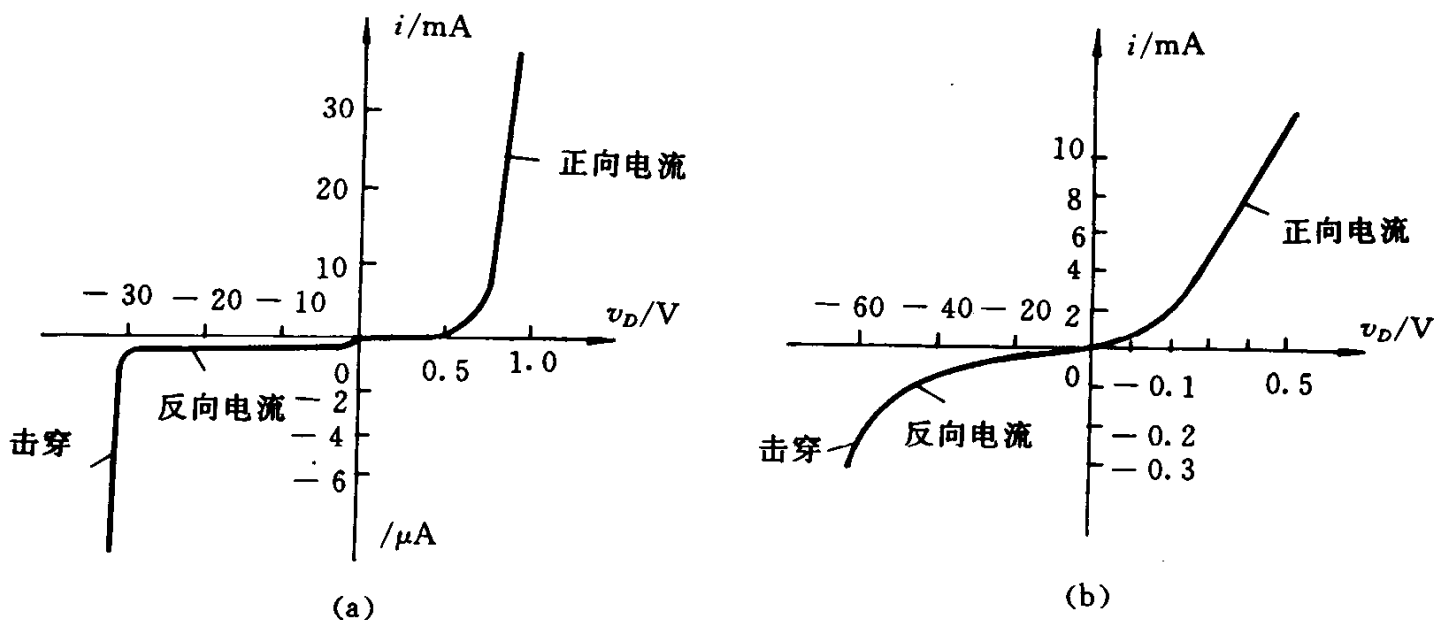


图 1.2.1 二极管的伏安特性  
(a) 硅二极管 (b) 锗二极管

在截止时, 硅二极管反向电流很小, 一般在  $1\ \mu\text{A}$  以下, 可认为反向运用时的硅二极管是一个断开的开关(见图 1.2.2(a))。锗二极管反向电流较大, 一般在  $0.01 \sim 0.3\text{ mA}$ , 通常用恒流