

数字 集成电路 应用精粹

肖景和 编著
张希波 审校



无线电爱好者丛书

- 数字电路基础知识通俗讲解
- 门电路、触发器、计数器、存储器电路原理与结构详尽分析
- 百余例典型、有趣、实用电路的工作原理介绍，使你轻松步入数字王国

精
品
系
列

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

无线电爱好者丛书精品系列

数字集成电路应用精粹

肖景和 编著

张希波 审校

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字集成电路应用精粹/肖景和编著. —北京:人民邮电出版社,2002.6
(无线电爱好者丛书精品系列)

ISBN 7-115-10231-7

I. 数 ... II. 肖 ... III. 数字集成电路 - 基本知识 IV. TN431.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 019409 号

无线电爱好者丛书精品系列

数字集成电路应用精粹

◆ 编 著 肖景和
审 校 张希波
责任编辑 姚予疆

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67180876
北京汉魂图文设计有限公司制作
河北涞水华艺印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 21.25

字数: 509 千字

2002 年 6 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2002 年 6 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-115-10231-7/TN · 1872

定价: 28.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

中国电子学会

《无线电爱好者丛书》编委会

主 任： 杜肤生

副 主 任： 徐修存 宁云鹤 李树岭

编 委： 王亚明 刘宪坤 王明臣

刘 诚 孙中臣 安永成

郑凤翼 赵桂珍 聂元铭

郑春迎 孙景琪 李勇帆

刘文铎 陈有卿 徐士毅

于世均 贾安坤 张国峰

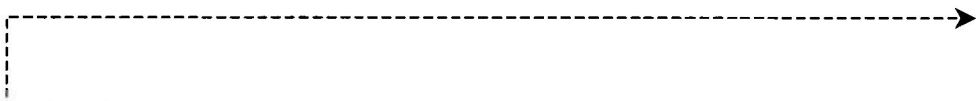
BAW5/11

无线电爱好者丛书前言

众所周知,迅速发展着的无线电电子技术,是一门应用十分广泛的现代科学技术。它的发展水平和普及程度是现代化水平的重要标志。为了普及电子技术知识,培养更多的无线电爱好者,适应现代化建设的需要,中国电子学会和人民邮电出版社约请有关专家编写了这套《无线电爱好者丛书》。

本丛书从无线电爱好者的实际条件出发,按照理论联系实际的思想,深入细致地讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理;介绍各种家用电器、电子设备(如收音机、扩音机、录音机、电视机、录像机、电子计算机、计算器、复印机、电子相机、常用电子仪器仪表、电子钟表、电冰箱、空调器、洗衣机、吸尘器、电风扇、电热器具等)的工作原理、制作技术、使用和维修方法,为无线电爱好者提供所需的各种技术资料及有关工具书,使读者通过阅读本丛书和不断动手实践,能逐步掌握应用电子技术的基本技能。本丛书的读者对象是各行各业的广大无线电爱好者。

我们衷心希望广大电子科学技术工作者、专家、学者和无线电爱好者,对这套丛书的编辑出版工作提出宝贵意见,给予帮助。让我们共同努力,为普及无线电电子技术,为实现我国现代化做出贡献。



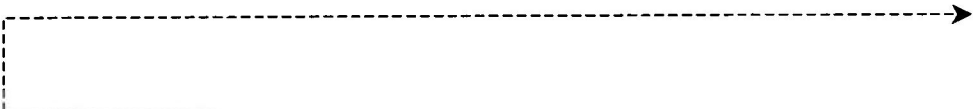
内容提要

本书主要介绍了数字电路的基本原理、数字集成电路的基础知识及其应用,并精选了各类应用电路近百例,通过对电路工作原理的详细分析,对电路设计思路的介绍,使读者能够迅速掌握各类电路的应用。书中所选电路典型、实用,有一定的趣味性。

本书通俗易懂、解说详尽,适合有一定电子技术基础的数字电路初学者学习使用,也可供专业数字电路设计人员参考。



前言



随着微电子技术的飞跃发展,我们已经进入了一个以数字化电子产品为特征的数字化电子时代。电子计算机、数字化通信产品、数字化音响、数字化电视以及其他形形色色的数字化产品开始进入我们的日常生活之中,因此,掌握数字电路的基础知识、了解数字集成电路的应用,对于一名电子技术的爱好者是十分必要的。本书正是为了适应这种需要而编写的。

本书由两大部分组成,第一部分为数字电路的基础知识,主要介绍了数字电路的基本原理和数字集成电路的品种、分类和构成,这部分知识是学习和理解后面的应用电路必不可少的理论基础;第二部分为数字集成电路的应用电路介绍,精选了各类应用电路近百例,通过对电路工作原理的详细分析,对电路设计思路的介绍,使读者能够迅速掌握各类电路的应用。书中所选电路典型、实用,有一定的趣味性。本书通俗易懂、解说详尽,适合有一定电子技术基础的数字电路初学者学习使用,也可供专业数字电路设计人员参考。

由于作者水平所限,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者指正。

编著者



第一章 数字电路基础知识	1
第一节 RC 电路	1
一、电阻	1
二、电容	2
三、RC 电路的充放电定理	3
四、RC 微分电路与积分电路	6
五、RC 加速电路	8
第二节 脉冲的计数与二进制	9
一、将二进制数化为十进制数	9
二、将十进制数化为二进制数	11
三、二进制数的运算	11
第二章 门电路	13
第一节 门电路的基本原理	13
一、二极管门电路	13
1. 二极管的导电特性	13
2. 二极管与门电路	14
3. 二极管或门电路	16
二、三极管门电路	17
1. 三极管的开关特性	17
2. 晶体管开关特性的改进	19
3. 晶体管门电路	20
第二节 双极型集成门电路	21
一、DTL 门电路	21
二、TTL 与非门电路	22
1. TTL 与非门的结构与工作原理	22
2. 国标 T0000 型与非门的结构与分析	24
3. 集成与非门电路的主要参数	26
三、其他类型的 TTL 门电路	28
1. TTL 或非门电路	28
2. TTL 与或非门电路	28
3. 异或门电路	28

4. 集电极开路门(OC 门)	29
5. 三态输出门电路	31
6. 带扩展端的门电路	32
四、复合门电路	33
第三节 CMOS 集成门电路	34
一、CMOS 集成门电路的工作原理	34
二、CMOS 门电路的特性	37
三、其他类型的 CMOS 门电路	41
1. 或非门电路	41
2. 与或非门电路	41
3. 带缓冲级的门电路	41
4. CMOS 双向模拟开关	41
5. 漏极开路门电路	42
6. 三态输出门电路	43
四、高速 CMOS 门电路	44
五、CMOS 门电路在使用中应注意的问题	44
第四节 门电路的逻辑变换与组合应用	45
一、门电路的逻辑变换	45
1. 逻辑代数及其基本运算	46
2. 逻辑代数的基本定理	46
3. 逻辑表达式与逻辑图	48
4. 用逻辑表达式简化逻辑电路	50
二、组合逻辑电路	52
1. 编码器	52
2. 译码器	55
3. 数据选择器	59
4. 加法器	61
5. 数值比较器	63
第三章 数字信号的产生与整形电路	65
第一节 数字信号的形态与特点	65
第二节 施密特触发器	66
一、施密特触发器的工作原理	66
二、施密特触发器的回差特性	69
三、施密特触发器的特性与应用	69
四、集成施密特触发器	71
五、用门电路组成的施密特触发器	72
第三节 单稳态触发器	73
一、单稳态触发器的工作原理	73
二、单稳态触发器的技术指标	75

三、微分型单稳态触发器	76
四、积分型单稳态触发器	77
五、用施密特触发器组成的单稳态触发器	78
六、单片集成单稳态触发器	79
1. TTL 集成单稳态触发器	79
2. CMOS 集成单稳态触发器	79
第四节 多谐振荡器	81
一、多谐振荡器的工作原理	81
二、用门电路组成的多谐振荡器	83
1. 对称式多谐振荡器	83
2. 非对称式多谐振荡器	84
3. 环形振荡器	86
三、用施密特触发器组成的多谐振荡器	87
四、石英晶体多谐振荡器	88
第五节 555 时基电路	88
一、555 时基电路的电路结构	88
二、多用途的 555 时基电路	89
1. 用作双稳态触发器	89
2. 用作施密特触发器	90
3. 用作单稳态触发器	91
4. 用作多谐振荡器	92
第四章 集成电路触发器计数器和寄存器	94
第一节 集成电路触发器	94
一、基本 R-S 触发器	94
二、钟控 R-S 触发器	96
三、D 触发器	97
四、J-K 触发器	97
五、T 触发器	98
六、触发器之间的相互转换	98
第二节 集成电路计数器	98
一、二进制计数器	99
二、十进制计数器	101
第三节 寄存器和移位寄存器	102
一、寄存器	103
二、移位寄存器	103
第五章 集成电路存储器	105
第一节 存储器的基本结构	105
一、地址结构与地址线	105
二、存储器的容量	106

第二节 只读存储器 ROM	107
一、固定 ROM	107
二、可编程只读存储器 PROM	107
三、可擦可编程只读存储器 EPROM	107
四、电可改写只读存储器 E ² PROM	108
第三节 随机存取存储器 RAM	109
一、RAM 的结构	109
二、静态存储器 SRAM	109
三、动态存储器 DRAM	110
第六章 数字集成电路应用实例	112
第一节 仪器仪表和计数电路	112
一、仪器仪表电路	112
1. 电流方向演示仪	112
2. 安培定则演示仪之一	113
3. 安培定则演示仪之二	115
4. 桥式整流电路演示仪	118
5. 电容充放电演示仪	123
6. 模拟自由落体闪光照片演示器	125
7. 正弦波演示电路	128
8. 单摆实验计数计时器	130
9. 数显电源频率表	133
10. 数字式频率计	134
11. 数字电容表	137
12. 摩托车速度表	140
13. 五位电子里程表	142
14. 红外线心率计	144
15. 电子脉搏仪	146
16. 数控电阻箱	147
17. 数控步进调压电源	149
18. 数控式可逆调压电源	151
19. 3 $\frac{1}{2}$ 位数显电压表	154
20. 八路 LED 温度指示仪	155
21. 多功能电路测试仪	157
二、电子计数电路	161
1. 二—十进制计数双显示电路	161
2. 六位数显计数器	163
3. 可逆计数器	164
4. 流动人口计数器	165

5. 绕线机电子计数器	167
6. 绕线机计数预置控制器	168
第二节 电子计时与定时电路	171
1. 1Hz 时钟信号源	171
2. 1 分 ~ 20 小时定时器	172
3. 1 ~ 16 小时定时器	173
4. 精密的秒定时控制器	175
5. 高精度多级定时器	176
6. 高精度循环定时器	178
7. 简单的数显定时器	180
8. 1999 秒数显定时器	182
9. 家用定时控制器	185
10. 逆计时数显定时器	187
11. 可预置倒计时定时器	189
12. 数字式电子钟	191
13. 60 秒计时圆形显示器	194
14. 模拟钟摆电路	196
15. 数显星期历电路	198
16. 洗衣机数显程控器	199
第三节 电子切换开关与密码开关	202
一、通用电子互锁开关	202
1. 触摸式 10 挡互锁开关控制器	202
2. 4 路互锁开关控制器	204
3. 8 路轻触式互锁开关控制器	207
4. 多路自动巡检控制器	208
5. 10 位按钮互锁开关控制器	210
二、音频切换开关与控制器	214
1. 4 路电子切换开关	214
2. 音源切换与等响度开关	215
3. 轻触式互锁音源切换开关	218
4. 轻触式音源切换开关	219
5. 触摸式 4 路音源转换开关	220
6. 触摸式 3 路音源切换开关	221
7. 轻触式 4 路视频/音频切换开关	222
8. 带等响度补偿的数控电位器	224
9. 按键式数控电位器	225
10. 16 挡数控电位器	228
11. 触摸式 8 级电子电位器	231
12. 数显式音量音调平衡控制器	232

三、数控密码锁电路	235
1. 9 位数字密码控制器	236
2. 家电密码开关	237
3. 有报警功能的密码开关	238
4. 时控数字密码锁	239
5. 5 位密码开关	240
6. 能识别伪码的密码锁	242
7. 三维模式的密码开关	243
第四节 综合实用电路	245
一、彩灯与灯光控制电路	245
1. 三路循环式 LED 彩灯电路	246
2. 三色八态循环彩灯电路	247
3. 双色自动滚环灯电路	249
4. 循环追逐 LED 灯电路	251
5. 多变流水灯控制器	253
6. 简易二维彩灯控制器	255
7. 七色广告灯箱控制器	257
8. 展览、广告灯逐级显示控制器	259
9. 可编程节日彩灯控制器	261
10. 自动步进调光器	265
11. 能调光和延时的床头灯	266
二、电子门铃及音乐声响电路	269
1. 敲击式电子门铃	269
2. 数显记忆式门铃	271
3. 能表明来客身份的门铃	272
4. 能识别来客和家人的门铃	273
5. 八声连续太空枪电路	274
6. 十六声音响电路	276
7. 装饰画附加声响电路	278
8. 袖珍电子动物园	279
9. 自动音乐演奏器	281
10. 声光兼备的电子节拍器	285
三、其他应用电路	286
1. 旅客身高范围检测器	286
2. 高分辨率判别第一的电路	288
3. 幼儿读算游戏机	289
4. 火箭发射电子游戏机	291
5. 实用编解码电路	294
6. 单键单脉冲、连续脉冲发生器	297

7. 具有超温报警功能的温控器	298
附录	303
附录 1 TTL 与 CMOS 电路功能相近型号表	303
附录 2 CMOS 4000 系列数字集成电路检索表	304
附录 3 SN54/74LS 系列数字电路检索表	310
附录 4 高速 CMOS 数字电路检索表	314
附录 5 TTL 标准系列 T1000 数字电路检索表	316
附录 6 TTL 部标数字电路检索表	319
附录 7 CMOS 部标数字电路检索表	322
附录 8 CMOS - LED 系列显示组合电路检索表	323
附录 9 全书统一使用符号对照	324

第一章

数字电路基础知识

第一节 RC 电 路

在数字电路中,由电阻和电容组成的 RC 电路是电路的主要组成部分之一,通过 RC 电路,可以对数字信号实现整形、延时、定时等多种处理功能。

一、电阻

电阻用 R 来表示,它的单位是欧姆。根据欧姆定律 $I = V/R$,如果加在电阻两端的电压为 1 伏,通过电阻的电流为 1 安培,则该电阻的阻值为 1 欧姆。

欧姆用 Ω 来代表,它是电阻的基本单位,除欧姆外,常用的单位还有千欧(k Ω)和兆欧(M Ω),

$$1\text{k}\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega,$$

$$1\text{M}\Omega = 1000\text{k}\Omega = 10^6\Omega。$$

在实际应用中,电阻的阻值大多数都不是整数,按照国家标准,常用电阻基本系列分为 E24、E12 和 E6 三个系列,如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1

E24 容许误差 ± 5%	E12 容许误差 ± 10%	E6 容许误差 ± 20%	E24 容许误差 ± 5%	E12 容许误差 ± 10%	E6 容许误差 ± 20%
1.0	1.0	1.0	3.3	3.3	3.3
1.1			3.6		
1.2	1.2		3.9	3.9	
1.3			4.3		
1.5	1.5	1.5	4.7	4.7	4.7
1.6			5.1		
1.8	1.8		5.6	5.6	
2.0			6.2		
2.2	2.2	2.2	6.8	6.8	6.8
2.4			7.5		
2.7	2.7		8.2	8.2	
3.0			9.1		

注:1. 本系列也是电容器的标称系列。

2. 本系列值可以 $\times 10$ 、 $\times 100$ 、 $\times 1000$ 。

常用电阻的品种有碳质电阻、碳膜电阻和金属膜电阻三大类。碳质电阻由于热稳定性差和噪声系数较大,现已极少使用。目前使用最多的是碳膜电阻和金属膜电阻,在这两种电阻中又以金属膜电阻性能最好。

在分析电路时,有时会遇到将几个电阻串联或并联的情况,这时它的等效阻值 R :

对于串联电阻, $R = R_1 + R_2 \cdots + R_n$

对于并联电阻, $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 \cdots + 1/R_n$

在电阻串联的电路中,流过各电阻的电流是相等的;在电阻并联的电路中,流过各电阻的电流与其阻值成反比,阻值小的电阻流过较大的电流。

在电路中,电阻是限制电流的元件,通过限流,可以取得电路所需的工作电压和工作电流,完成电路所担负的各种功能。

在图 1-1-1 中,电阻 R_1 、 R_2 串联于电路中,如果电阻用于限流,则: $I = E / R_1 + R_2$;如果用来取得分压,则: $V_{ab} = E \times R_2 / R_1 + R_2$,式中, $R_2 / R_1 + R_2$ 称为分压比。

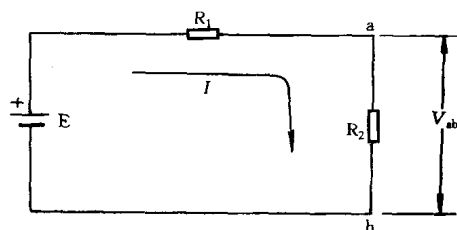


图 1-1-1 电路中的电阻

二、电容

电容器是一种储存电荷的元件,习惯上,人们总是将它简称为电容。电容器也是数字电路中常用的元件之一。电容器的种类很多,外形也各异,但它们有着共同的结构特点,都是由两个相互靠近的金属板极作为两个电极,中间隔以绝缘介质。这样,又可以根据介质的不同,将电容器分为:纸介质电容器、云母介质电容器、陶瓷介质电容器、聚苯乙烯电容器和涤纶介质电容器等。

首先做一个电容充电的实验,实验电路如图 1-1-2 所示,电路中有电源 E ,电阻 R 和电容 C 。电路中串有电流表 A ,用来指示电路中流过电流的大小,在电容器的两端并联有电压表 V ,用来指示电容器两端电压的高低。开关 SA 用来控制电路的开关。

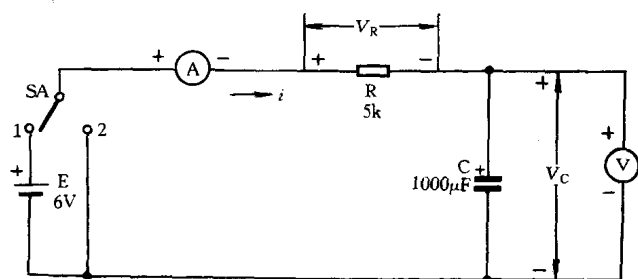


图 1-1-2 电容充放电实验电路

一直指示 6V。

上述实验是在 $R = 5k\Omega$, $C = 1000\mu F$ 的条件下进行的。现在将电容 C 换成 $100\mu F$ 的,其余条件不变,重复上述实验,会看到与上述实验完全相似的现象:开始时电流升到 1.2mA,然后逐

实验开始,先合上开关 SA 至 1 端,这时会看到电流表的指针一下跳到 1.2mA,不久,电流表的指针开始慢慢返回,表明流过的电流在逐渐减小,约过 15 秒后,电流表的指针回到 0。而电压表则不同,它并没有像电流表那样突然跳动,而是由 0 逐渐上升,当电流表指针回到 0 位时,电压表的指针则升到 6V,与电源电压相同。此后,电流表一直指 0,电压表

渐减小到 0,同时电压从 0 逐渐升到 6V。但这时充电时间却短得多,只有约 1.5 秒,仅为前者的 1/10。这个实验说明,电容器能够通过充电储存电荷,在同一电源电压和充电电阻的条件下,容量大的电容可以储存较多的电荷,因此需要较长的充电时间。

接着再做放电实验,首先将开关 SA 置于 1 端,使电容 C 充电。当电容充电电压达到 6V 时,将开关 SA 拨向 2 端,使电容放电。这时,可以看到,当开关拨向 2 端的瞬间,电流表的指针一下跳到 1.2mA(这时,由于放电流方向与充电电流相反,须将电流表正负极对调),接着电流逐渐下降,约 15 秒后,电流降至 0。与此同时,电压表的指针并不突然跳动,而是由 6V 逐渐下降,当电流表指示为 0 时,电压表指针也回到 0,至此放电过程结束。

把 $1000\mu\text{F}$ 的电容换成 $100\mu\text{F}$ 的,重复上述实验,可以看到完全相似的现象,只是放电时间比用 $1000\mu\text{F}$ 电容时短得多,仅有 1.5 秒左右。

上述实验说明,电容器能够储存电荷,容量大的电容器能储存较多的电荷,需要较多的充电时间。电容量小的电容器储存的电荷较少,充电需要的时间也短。

电容器的电容量单位为“法拉”,简称“法”,用 F 表示,1 法拉 = 1 库仑/1 伏特。当电容器充电至 1V 电压时,极板上储存了 1 库仑的电量,则该电容器的容量为 1 法拉。

在实际应用中,法拉这个单位太大,常用的单位有微法(μF)和微微法($\mu\mu\text{F}$ 或 pF)。

$$1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$$

$$1\text{pF} = 10^{-6}\mu\text{F} = 10^{-12}\text{F}$$

在实际应用电路中,每一个单元电路的输入端和输出端,往往不只一个电容,除了耦合、退耦、滤波等电容外,还存在着由电路引线、元件等形成的寄生电容。为了便于电路分析和使参数运算简化,常常需要将这些电容通过串联或并联的方法将其进行变换和化简,用一个与其等效的电容来代替。例如:在电路中有两个电容, C_1 和 C_2 ,要求将其串联,求它们的等效电容 C ,则:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2$$

$$C = C_1 \cdot C_2 / C_1 + C_2$$

上式表明,串联后的等效电容 C 小于其中的每一个电容(即小于 C_1 或 C_2)。

电容串联后,各电容所带电量相等。每个电容上分得的电压,与它的电容量成反比,电容越大,分得的电压越小。

$$V_1/V_2 = C_2/C_1$$

若将两电容并联,它们的等效电容 C :

$$C = C_1 + C_2$$

即:电容并联后的等效电容 C 等于各电容容量之和。电容越并,电容量越大。

电容并联后,各电容两端的电压相等。但各电容储存的电荷是不同的,容量大的电容储存的电荷较多。

三、RC 电路的充放电定理

1. 电容充放电的开关定理

在前面的电容充放电实验中,我们发现,在充电时,当开关 SA 合上后,电容器两端的电压