

轻松解图系列

轻松解读 数字实用电路

孙余凯

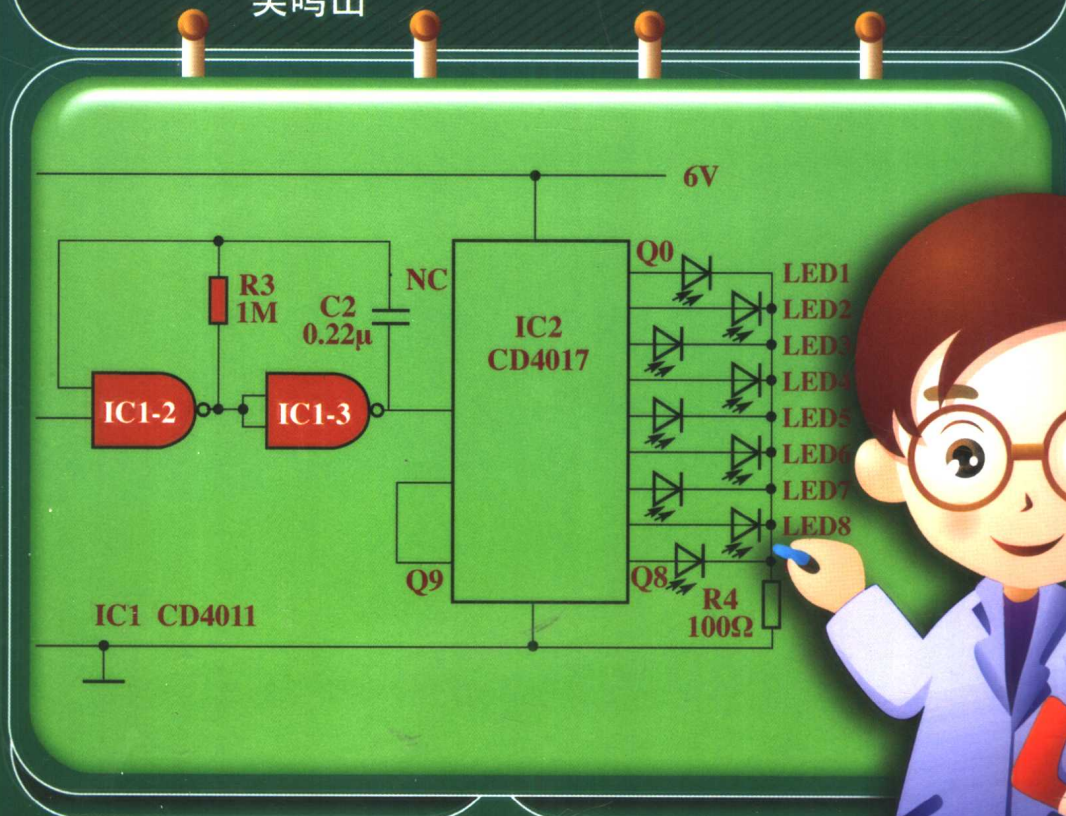


项绮明

等编著

<http://www.phei.com.cn>

吴鸣山



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

轻松解图系列

轻松解读数字实用电路

孙余凯 项绮明 吴鸣山 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书在详细介绍数字电路基础知识,逻辑门实用电路,触发器实用电路,计数器实用电路,寄存器、存储器及 A/D 和 D/A 转换器实用电路,数字与模拟混合实用电路,以及其他数字实用电路工作原理、结构特点及使用注意事项的基础上,给出了由 TTL 和 CMOS 集成电路组成的各种基础实用电路,并将每个实用电路的工作原理、电路特征、元器件作用及应用中需注意的问题均标在了典型电路图上,使读者一目了然,十分直观。

本书特别适合数字集成电路初学者,不仅可以使初学者提高阅读电路图的能力,还可以帮助读者正确处理实际工作中遇到的问题(如产品开发、产品维修),可作为数字电子技术培训教材,也可作为电子产品开发人员 and 电子爱好者的自学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

轻松解读数字实用电路/孙余凯,项绮明,吴鸣山等编著. —北京:电子工业出版社,2007.6

(轻松解图系列)

ISBN 978-7-121-04199-0

I. 轻… II. ①孙… ②项… ③吴… III. 数字电路—识图法 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 046307 号

责任编辑:富 军 特约编辑:刘汉斌

印 刷: 北京市京科印刷有限公司
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20.75 字数: 531.2 千字

印 次: 2007 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 33.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

随着科学技术的飞速发展，数字电路在各个领域中的应用越来越广泛。任何一个复杂的数字系统电路都由数字应用的基础电路经过扩展、综合、改进等方式演变而成。因此，弄清各种数字典型应用电路的原理，不但对阅读和分析新的数字系统电路有很大的帮助，对于产品开发、工农业生产中现有设备的技术改造都有很大的帮助。本书正是为了满足这一要求而编写的。

在本书的编写过程中，力图把内容的重点放在培养分析问题和解决问题的能力上，其目的就是要使读者具有会看、会分析、会检测、会动手组装调试电路的技能。

(1) 所谓会看，就是能看懂典型应用电路原理图，了解电路各部分的组成及其工作原理。为此，本书加强了基础知识的介绍。

(2) 所谓会分析，就是能对基础单元电路的工作性能进行定性和定量的分析及估测。为此，本书加强了基础原理和基本分析方法的介绍。

(3) 所谓会检测和会动手组装调试，就是使读者会选用有关的元器件，对各种应用电路会组装调试，这是本书的重点。为此，在讲解电路工作流程时，对各种元器件的参数要求、组装后的调试方法及注意事项也做了必要的说明。

本书最大的特点是将每个实际应用电路的工作原理、电路特征、元器件的作用及应用注意事项均标在了典型电路图上的相应位置上，可使读者一目了然，十分直观。

本书由孙余凯、项绮明、吴鸣山等编著。参加本书编写工作的人员还有项宏宇、王华群、吴永平、薛广英、孙余平、吕颖生、刘忠梅、周志平、项天任、吕晨、刘忠新、刘英、孙余明、孙余正、沈济坤、徐绍贤、孙余贵、陈芳等。

本书在编写过程中，参考了大量的书刊杂志及相关资料，并引用了其中的一些资料，难以一一列举，在此向有关杂志和资料的作者一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免出现错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编著者

目 录

第1章 数字电路基础知识	1
1.1 计数体制	1
1.1.1 十进制数	1
1.1.2 二进制数	1
1.1.3 八进制数	2
1.1.4 十六进制数	3
1.1.5 计数制按权展开实例	3
1.2 进位计数制之间相互转换	3
1.2.1 常用进位计数制之间的对应关系	3
1.2.2 二进制数转换为十进制数	4
1.2.3 十进制数转换为二进制数	5
1.2.4 二进制数转换为八进制数	6
1.2.5 八进制数转换为二进制数	6
1.2.6 二进制数转换为十六进制数	6
1.2.7 十六进制数转换为二进制数	7
1.2.8 八进制数与十进制数的相互转换	7
1.3 码制	7
1.3.1 8421 码	7
1.3.2 2421 码 (埃肯码)	9
1.3.3 余3码	9
1.3.4 码制说明	9
1.4 逻辑代数基础	10
1.4.1 三种基本逻辑关系	10
1.4.2 复合逻辑	10
1.4.3 逻辑代数基本定律	10
1.4.4 逻辑代数的常用公式	11
1.4.5 逻辑代数的三个基本法则	11
1.4.6 逻辑函数标准表达式	12
1.4.7 逻辑函数的化简	14
第2章 逻辑门实用电路	21
2.1 逻辑门基础知识	21
2.1.1 逻辑状态的表示方法	21
2.1.2 与门电路	21
2.1.3 或门电路	23
2.1.4 非门电路	24
2.1.5 复合逻辑门电路	25
2.1.6 常用集成 CMOS 门电路功能及应用说明	26
2.1.7 门电路的性能指标	28



2.2	逻辑门实用电路	29
2.2.1	由 2 输入端四或非门 CD4001 构成的红外反射门铃与报警电路	29
2.2.2	由 2 输入端四或非门 CD4001 构成的同轴电缆检测电路	29
2.2.3	由 2 输入端四或非门 CD4001 构成的触摸控制开关电路	29
2.2.4	由 2 输入端四与非门 CD4001B 构成的数字万用表讯响器电路	33
2.2.5	由 2 输入端四与非门 CD4011 构成的触摸发光二极管追逐电路	33
2.2.6	由 2 输入端四与非门 CD4011 构成的心率测试电路	33
2.2.7	由 2 输入端四与非门 CD4011B 构成的电动机温升保护控制电路	33
2.2.8	由 2 输入端四与非门 CMDI4011B 构成的车用 LED 数字钟电路	38
2.2.9	由 2 输入端四与非门 CD4011B 构成的多功能调光电路	38
2.2.10	由 2 输入端四与非门 CC4011 构成的声、光控照明灯自动控制电路	38
2.2.11	由 2 输入端四与非门 CC4011B 构成的信报箱是否有信报告知器电路	38
2.2.12	由 2 输入端四与非门 CD4011B 构成的忘关汽车大灯报警电路	44
2.2.13	由 2 输入端四与非门 CD4011B 构成的单键可产生单次、连续脉冲产生电路	44
2.2.14	由六反相器 CC4069B 构成的无线双音电子门铃电路	44
2.2.15	由六反相器 CC4069B 构成的储水式电热水器控制电路	44
2.2.16	由六反相器 CD4069B 构成的汽车车距提醒电路	49
2.2.17	由六反相器 CD4069 构成的超声波防盗发射电路	49
2.2.18	由 8 输入端或非门 CC4078 构成的八路视频转换控制电路	49
2.2.19	由六反相器 TC74VHCU04 构成的数字音频信号预放大电路	49
2.3	使用逻辑门集成电路应注意的问题	53
2.3.1	使用 TTL 门电路应注意的问题	53
2.3.2	使用 CMOS 门电路应注意的问题	58
第 3 章	触发器实用电路	62
3.1	触发器基础知识	62
3.1.1	触发器的特点	62
3.1.2	触发器的类型	62
3.1.3	基本 RS 触发器	63
3.1.4	钟控 RS 触发器	66
3.1.5	钟控 D 触发器	69
3.1.6	钟控 JK 触发器	72
3.1.7	T 触发器	74
3.1.8	T' 触发器	75
3.1.9	主从 RS 触发器	75
3.1.10	主从 JK 触发器	76
3.1.11	维持阻塞触发器	77
3.1.12	触发器的转换	80
3.1.13	常用集成电路 CMOS 触发器的功能及应用说明	83
3.2	触发器实用电路	84
3.2.1	由双 D 触发器 CC4013 构成的频率检测保护电路	84
3.2.2	由 2 输入端四与非施密特触发器 CD4093 构成的转弯信号告知器电路	84
3.2.3	由双 D 触发器 CC4013B 构成的双控方式开关电路	87





3.2.4	由双 D 触发器 CD4013B 构成的相位检测电路	87
3.2.5	由双 D 触发器 CD4013B 构成的超声波防盗接收电路	87
3.2.6	由双 D 触发器 CC4013B 构成的汽车刹车彩灯显示电路	87
3.2.7	由双 D 触发器 CD4013B 构成的多挡位长延时电子定时电路	92
3.2.8	由 2 输入端四与非施密特触发器 CD4093B 构成的 1 kHz 主控振荡器电路	92
3.2.9	由 2 输入端四与非施密特触发器 CC4093B 构成的走廊、过道节能灯电路	92
3.2.10	由 2 输入端四与非施密特触发器 CC4093B 构成的水泵自动控制电路	92
3.2.11	由 2 输入端四与非施密特触发器 CD4093B 构成的电动机高效调速电路	97
3.2.12	由 2 输入端四与非施密特触发器 CD4093 构成的电子兆欧表电路	97
3.2.13	由 2 输入端四与非施密特触发器 CD40106 构成的需两次输入密码的数字锁电路	97
3.2.14	由 2 输入端四与非施密特触发器 CC4093B 构成的闹响、测光、催眠及延时控制电路	97
3.2.15	由 2 输入端四与非施密特触发器 CD4093 构成的多路光探测电路	102
3.2.16	由 2 输入端四与非施密特触发器 CD4093 构成的电话振铃声发生电路	102
3.2.17	由六施密特触发器 CC40106B 构成的 PWM 电动机调速电路	102
3.2.18	由六施密特触发器 CC40106 构成的电话挂机提醒电路	102
3.2.19	由四 D 触发器 CC40175B 构成的电子音源切换开关电路	107
3.2.20	由双 JK 触发器(带清除、负触发) 74LS73 构成的交通灯自动控制电路	107
3.2.21	由双 D 触发器 74HC74 构成的微机控制电池测试附加电路	107
3.2.22	由六反相施密特触发器 CC74HC14 构成的响度达 110 dB 的蜂鸣电路	107
3.2.23	由双 JK 触发器 74LS107 构成的流水灯控制电路	112
3.3	使用集成电路触发器应注意的问题	112
3.3.1	在使用方面	112
3.3.2	参数检测方面	114
第 4 章	计数器实用电路	118
4.1	计数器基础知识	118
4.1.1	计数电路的类型	118
4.1.2	计数器逻辑功能表示方法	119
4.1.3	计数时序的基本概念	119
4.1.4	计数器的构成	119
4.1.5	一位二进制同步计数器	120
4.1.6	二位二进制同步加法计数器	120
4.1.7	三位二进制同步加法计数器	121
4.1.8	四位二进制同步加法计数器	122
4.1.9	2 ⁿ 进制同步加法计数器	123
4.1.10	二进制同步减法计数器	123
4.1.11	同步二进制计数器的极间连接方式	123
4.1.12	三位异步二进制加法计数器	123
4.1.13	异步四位二进制加法计数器	125
4.1.14	异步四位二进制减法计数器	128
4.1.15	集成计数电路	129
4.2	计数器实用电路	137
4.2.1	由十进制计数/分配器 CC4017B 构成的调光台灯电路	137



单片机应用案例



4.2.2	由十进制计数/分配器 CL4017B 构成的流水彩灯控制电路	137
4.2.3	由十进制计数/分配器 CC4017 构成的电缆通/断检测指示电路	137
4.2.4	由十进制计数/分配器 CC4017B 构成的密码锁电路	141
4.2.5	由十进制计数/分配器 CD4017B 构成的触摸式可调稳压电源电路	141
4.2.6	由十进制计数/分配器 CD4017B 构成的 50 Hz 方波发生电路	141
4.2.7	由十进制计数/分配器 CC4017B 构成的无触点互锁电子切换开关电路	141
4.2.8	由十进制计数/分配器 CD4017 构成的负载短路、过流保护电路	146
4.2.9	由十进制计数/分配器 CD4017B 构成的 2~8 通道测试电路	146
4.2.10	由十进制计数/分配器 CC4017B 构成的双花变色跑灯控制电路	146
4.2.11	由十进制计数/分配器 CC4017 构成的麻雀驱散鸣叫电路	146
4.2.12	由十进制计数/分配器 CC4017B 构成的霓虹灯扫描电路	152
4.2.13	由十进制计数/分配器 CC4017B 构成的旋光蚊香电路	152
4.2.14	由十进制计数/分配器 CD4017B 构成的手控、光控风扇调速电路	152
4.2.15	由十进制计数器/分配器 CC4017B 构成的电子计数电路	152
4.2.16	由十进制计数/分频器 CD4017 构成的声频显示电路	157
4.2.17	由 14 级二进制串行计数器 CD4020B 构成的电台停播报警电路	157
4.2.18	由十进制计数器/7 段显示 (带消隐) 器 CD4033 构成的人工摩尔斯电码练习电路	157
4.2.19	由 12 级二进制计数器 CC4040B 构成的电话机铃声自动调整电路	161
4.2.20	由 12 级二进制计数器 CC4040B 构成的制式识别电路	161
4.2.21	由 12 级二进制计数器 CD4040 构成的 SRAM 测试电路	161
4.2.22	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CD4060B 构成的精密正弦波信号发生电路	161
4.2.23	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CC4060B 构成的自动顺序接通电源控制电路	166
4.2.24	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CD4060B 构成的定时稳压电路	166
4.2.25	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CC4060B 构成的衣橱电子消毒电路	166
4.2.26	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CC4060B 构成的阶梯波发生电路	166
4.2.27	由二进制计数/分频/振荡集成电路 CC4060B 构成的时间经过指示电路	171
4.2.28	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CD4060 构成的可调讲话限时电路	171
4.2.29	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CC4060B 构成的满天星装饰灯控制电路	171
4.2.30	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CC4060B 构成的电风扇多功能控制电路	171
4.2.31	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CD4060 构成的自动循环定时电路	176
4.2.32	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 CC4060B 构成的频率—电压变换电路	176
4.2.33	由方波计数器 CC4161B 构成的收音机自动调谐电路	176
4.2.34	由双 BCD 加法计数器 CD4518 构成的电话机使用次数记忆显示电路	176
4.2.35	由可预置数的四位二进制加法计数器 CD40161B 构成的七种色彩循环灯控制电路	181
4.2.36	由四位二进制可预置、可逆计数器 (双时钟) CC40193B 构成的触摸式音量控制 电路	181
4.2.37	由四位二进制可预置、可逆计数器 (双时钟) CC40193B 构成的 PWM 音频放大 电路	181
4.2.38	由可预置四位二进制计数器 (异步清除) 74LS161 构成的会说话的电话振铃电路	181
4.2.39	由双十进制计数器 74HC390 构成的频率计测量附加电路	186
4.2.40	由 14 位串行二进制计数/分频/振荡器 74HC4060 构成的快速 脉冲示波器校准器电路	186





4.3 使用计数集成电路应注意的问题	186
4.3.1 电磁干扰及其抑制方法	186
4.3.2 计数器质量的判断方式	190
第5章 寄存器、存储器及 A/D 转换器与 D/A 转换器实用电路	192
5.1 寄存器基础知识	192
5.1.1 数码寄存器	192
5.1.2 移位寄存器	193
5.1.3 串入、串出移位寄存器 CD4006	195
5.1.4 串入、并出移位寄存器 CD4015	195
5.1.5 4 位双向通用移位寄存器 CD40194	197
5.2 存储器基础知识	198
5.2.1 存储器的类型和特点	198
5.2.2 存储器的主要性能指标	199
5.2.3 只读存储器 (ROM)	199
5.2.4 随机存储器 (RAM)	204
5.3 D/A 转换与 A/D 转换基础知识	206
5.3.1 D/A 转换与 A/D 转换方框图	206
5.3.2 D/A 转换器	206
5.3.3 A/D 转换器	208
5.4 寄存器、存储器、A/D 转换器实用电路	211
5.4.1 由双 4 位静态移位寄存器 CC4015B 构成的双路彩虹灯控制电路	211
5.4.2 由双 4 位静态移位寄存器 CD4015 构成的高精度 10 kHz 正弦波发生电路	211
5.4.3 由 BCD—7 段锁存/译码/驱动器 (液晶) CD4543B 构成的 3 位数字电容表电路	211
5.4.4 由 BCD—7 段锁存/译码/驱动器 CC74HCT4511 构成的数字温度计电路	214
5.4.5 由四 RS 锁存器 (与非三态) CC4043B 构成的无线同频选呼电路	214
5.4.6 由 5 位移位寄存器 7496 构成的抢答控制电路	218
5.4.7 由 4 位双向通用移位寄存器 74F194 构成的八级触摸电子音量控制电路	218
5.4.8 由八 D 锁存器 (三态同相) 74HC373 构成的多功能抢答电路	221
5.4.9 由存储器 C2716 构成的密码可换的电子锁电路	221
5.4.10 由 EPROM 存储器 μ PD2716 构成的摩托车状态尾灯显示控制电路	221
5.4.11 由 A/D 转换器 ICL7106 构成的数字显示电子秤电路	221
5.4.12 由 $3\frac{1}{2}$ 位 DVM 用 A/D 转换器 ICL7107CP 构成的数字显示温度计电路	221
5.4.13 由 A/D 转换集成电路 ICL7107 构成的电容比值计电路	228
5.4.14 由 A/D 转换器 ICL7107 构成的数字相位计电路	228
5.4.15 由 A/D 转换器 ICL7126 构成的数字显示电子秤电路	228
5.4.16 由 A/D 转换器 ICL7136 构成的模拟/数字信号转换电路	228
5.4.17 由 A/D 转换器 ICL7136 构成的数字式气压检测显示电路	234
第6章 数字与模拟混合实用电路	236
6.1 555 系列集成电路基础知识	236
6.1.1 555 系列集成电路的特点和类型	236
6.1.2 555 系列集成电路的封装和引脚功能	237
6.1.3 555 系列集成电路的组成	238





6.1.4	555 系列集成电路的内部功能特点	239
6.1.5	555 内部等效 RS 触发器电路	241
6.1.6	555 系列集成电路的主要参数	244
6.2	555 实用电路	246
6.2.1	由 555 时基电路构成的声控台灯电路	246
6.2.2	由 555 时基电路构成的音响无信号自动关机电路	246
6.2.3	由 555 时基电路构成的音响自动关机电路	249
6.2.4	由 555 时基电路构成的扬声器保护电路	249
6.2.5	由 555 时基电路构成的电子全自动启、停循环电路	249
6.2.6	由 555 时基电路构成的微机温升报警电路	249
6.2.7	由 555 时基电路构成的恒温式鞋子干燥控制电路	254
6.2.8	由 555 时基电路构成的曝光时间定时电路	254
6.2.9	由 555 时基电路构成的电饭锅定时插座电路	254
6.2.10	由 555 时基电路构成的电子兆欧表电路	254
6.2.11	由时基电路 556 构成的稳压电源输出瞬变检测电路	259
6.2.12	由 555 时基电路构成的交流电焊机空载节能控制电路	259
6.2.13	由 555 时基电路构成的出租车遗物提醒电路	259
6.2.14	由 555 时基电路构成的汽车发电机电子电压调压器电路	259
6.2.15	由 555 时基电路构成的无绳电话机充电电路	264
6.2.16	由 555 时基电路构成的电话机照明灯自动控制电路	264
6.2.17	由 555 时基电路构成的数字录音电话机备用电源电路	264
6.2.18	由 555 时基电路构成的电话限时电路	264
6.2.19	由 555 时基电路构成的电话防盗电路	269
6.2.20	由 555 时基电路构成的日光灯电子助燃电路	269
6.2.21	由 555 时基电路构成的电脉冲理疗电路	269
6.2.22	由 555 时基电路构成的聋人用视觉门铃电路	269
6.2.23	由 555 时基电路构成的声控电子摇篮电路	274
6.2.24	由 555 时基电路构成的防触电语音报警电路	274
6.2.25	由 555 时基电路构成的一氧化碳报警电路	274
6.2.26	由 555 时基电路构成的红外线水龙头自动控制电路	274
6.2.27	由 555 时基电路构成的红外线自动控制水龙头电路	279
6.2.28	由 555 时基电路构成的多功能触摸控制开关电路	279
6.2.29	由 555 时基电路构成的卫生间排风自动控制电路	279
6.2.30	由 555 时基电路构成的自动干手电路	279
6.2.31	由 555 时基电路构成的标志灯控制电路	284
6.2.32	由 555 时基电路构成的电子密码开关电路	284
6.2.33	由 555 时基电路构成的声控和留言语音电子门铃控制电路	284
6.2.34	由 555 时基电路构成的非接触式电子控制灯电路	284
6.2.35	由 555 时基电路构成的感应式音乐喷泉自动控制电路	289
6.2.36	由 555 时基电路构成的人体接近照明灯自动控制电路	289
6.2.37	由 555 时基电路构成的广告灯自动控制电路	289
6.3	使用 555 集成电路应注意的问题	293
第 7 章	其他数字实用电路	295





7.1 振荡器和计时器	295
7.1.1 由可编程序振荡器—计时器 CD4541 构成的延时熄灯电路	295
7.1.2 由可编程序振荡器—计时器 CD4541B 构成的连续开/关计时开关电路	295
7.1.3 由可编程序振荡器—计时器 CC4541 构成的定时提醒电路	295
7.1.4 由可编程序振荡器—计时器 CC4541 构成的空气清新控制电路	299
7.1.5 由可编程序振荡器—计时器 CC4541 构成的电扇调速及模拟自然风控制电路	299
7.1.6 由双单稳态多谐振荡器 CD4098B 构成的可辨身份的音乐门铃电路	299
7.1.7 由双单稳态多谐振荡器 74HC221 构成的电压/频率转换电路	299
7.2 编码器、译码器、比较器	304
7.2.1 由 8-3 线八进位优先编码器 74HC148 构成的语音录、放编码电路	304
7.2.2 由 4-16 线译码器 74HC154 构成的数字式罗盘电路	304
7.2.3 由 4-16 线译码器 (高有效) CC4514B 构成的无绳电话机遥控家用电器开关电路	304
7.2.4 由 8 位数字比较器 (OC 输出) 74LS688 构成的 EPROM 擦净监视器电路	304
7.3 单片微电脑	309
7.3.1 由 PIC 单片微电脑 PIC16C56 构成的可任意设定的电话锁电路	309
附录 A 世界各国常用数字集成电路代换对照表	311



第 1 章 数字电路基础知识

本章主要介绍常用的数制、码制及其特点,逻辑代数的表示方法、逻辑关系和基本分析方法。这部分内容在数字电路中经常碰到,熟练地掌握有益于学习其他内容。

1.1 计数体制

计数体制即计数的方法。在生产实践中,人们习惯于各种计数方法,如十、十六、六十进制等,但最常用的是十进制数,而在数字电路中经常使用的是二进制数和十六进制数等。

1.1.1 十进制数

十进制数是人们最熟悉的一种进位计数制。十进制计数制是目前国际上通用的计数制。

1. 十进制数的数码

十进制计数制,简称十进制数,采用 10 个数字符号,即 0,1,2,3,⋯,9。这些数字符号称为数码(或数字)。任何一个十进制数均由这 10 个数码来表示。

2. 十进制数的计数原则

十进制数的计数原则是:逢 10 进 1,借 1 当 10。

例如,十进制数 3743.3 由 5 位数字组成,小数点左边有 4 位,右边有 1 位。这个数实际上是由以下多项式缩写而成的,即

$$3743.3 = 3 \times 10^3 + 7 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1}$$

依次类推,任何一个 n 位整数、 m 位小数的十进制数 $(N)_{10}$ 均可记为

$$(N)_{10} = (a_{n-1} \cdot a_{n-2} \cdots a_1 a_0 a_{-1} \cdots a_{-m})_{10}$$

其值为

$$(N)_D = (N)_{10} = \sum_{-m}^{n-1} a_i \times 10^i \quad (1-1-1)$$

式中, a_i 为十进制数中第 i 位的值,它可以是 0~9 中的任何一个;

10^i 为第 i 位的权(也称为位权),10 为进位的基数,也就是基本计数符号的个数;

n, m 均为正整数,分别是整数部分和小数部分的位数;

$(N)_{10}$ 的下标 10 表示十进制数,也可以用 D 表示。

1.1.2 二进制数

在现代数字系统中,应用较多的是二进制计数制,简称二进制数。





1. 二进制数的数码

在二进制计数制中,每个数字只能有两个不同的取值,即“0”和“1”。任何一个二进制数均由这两个数码来表示。

2. 二进制数的计数原则

二进制数的计数原则是:逢 2 进 1,借 1 当 2。

一个二进制数也可以用类似十进制数按权展开的方法展开。例如, $(1110.11)_2$ 可以写成

$$(1110.11)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

依次类推,任何一个 n 位整数、 m 位小数的二进制数 $(N)_2$ 均可记为

$$(N)_B = (N)_2 = \sum_m^{n-1} b_i \times 2^i \quad (1-1-2)$$

式中, b_i 为二进制数中第 i 位的值,可以是 0 或 1;

2^i 为第 i 位的权(也称为位权),2 为进位的基数;

n, m 均为正整数, n 代表整数位数, m 代表小数位数;

$(N)_2$ 的下标 2 表示二进制数,也可以用 B 表示。

3. 二进制数运算规则

在二进制数中仅有 0、1 两个数码,相应的运算规则也比较简单。表 1-1 列出了二进制数的运算规则。

表 1-1 二进制数的运算规则

加 法	减 法	乘 法
$0+0=0$	$0-0=0$	$0 \times 0=0$
$1+0=0+1=1$	$1-0=0-1=1$ (借 1 当 2)	$1 \times 0=0 \times 1=0$
$1+1=10$ (向高位进位)	$1-1=0$	$1 \times 1=1$

1.1.3 八进制数

二进制数对于计算机的数字系统来说,处理起来非常容易,但书写与记忆相对较慢,故经常又采用八进制数(或十六进制数)来表示二进制数。

1. 八进制数的数码

在八进制计数制中,其计数基数是 8,每位可能取 8 个不同的数字符号,即 0,1,2,3,4,5,6,7 中的任何一个。

2. 八进制数的计数原则

八进制数的计数原则是:逢 8 进 1,借 1 当 8。

任何一个八进制数均可以表示为

$$(N)_O = (N)_8 = \sum_m^{n-1} a_i \times 8^i \quad (1-1-3)$$

式中, a_i 为八进制数中第 i 位的值,可以是 0~7 中的任何一个;

8^i 为第 i 位的权,8 为进位的基数;

$(N)_8$ 的下标 8 表示八进制数,也可以用 O 表示;

n, m 的含义同上,以下同。





1.1.4 十六进制数

十六进制数比八进制数书写和记忆更方便。

1. 十六进制数的数码

十六进制数常用 0~9, A、B、C、D、E、F 共 16 个不同的数码、字母来表示一位十六进制数的数码。

2. 十六进制数的计数原则

十六进制数的计数原则是:逢 16 进 1,借 1 当 16。

任何一个十六进制数均可以表示为

$$(N)_H = (N)_{16} = \sum_{-m}^{n-1} a_i \times 16^i \quad (1-1-4)$$

式中, a_i 为十六进制数中第 i 位的值,可以是 0~9 或 A~F 中的任何一个;

16^i 为第 i 位的权,16 为进位的基数;

$(N)_{16}$ 的下标 16 表示十六进制数,也可以用 H 表示。

1.1.5 计数制按权展开实例

【例 1-1】 将 $(1001.1101)_B$ 按权展开。

解: $(1001.1101)_B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4}$

【例 1-2】 将 $(40.25)_O$ 按权展开。

解: 按权展开,也就是将 $(40.25)_O$ 按每位数权的不同分别展开,即

$$(40.25)_O = 4 \times 8^1 + 0 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1} + 5 \times 8^{-2}$$

【例 1-3】 将 $(3B.F)_H$ 按权展开。

解: 按权展开,也就是将 $(3B.F)_H$ 按每位数权的不同分别展开,即

$$(3B.F)_H = 3 \times 16^1 + B \times 16^0 + F \times 16^{-1} = 3 \times 16^1 + 11 \times 16^0 + 15 \times 16^{-1}$$

其他数制按权展开的方法与上述类似,读者可自行分析。

1.2 进位计数制之间相互转换

一个数从一种进位计数制表示法转换成另一种进位计数制表示法,称为数制转换。

1.2.1 常用进位计数制之间的对应关系

二进制数、八进制数、十六进制数及十进制数是现代数字系统中常用的四种数制。这几种进位计数制之间的对应关系见表 1-2。

表 1-2 常用进位计数制之间的对应关系

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0	0	0





续表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11
18	10010	22	12
19	10011	23	13
20	10100	24	14
32	100000	40	20
50	110010	62	32
60	111100	74	3C
64	1000000	100	40
100	1100100	144	64
255	1111111	377	FF
1000	1111101000	1750	3E8

1.2.2 二进制数转换为十进制数

二进制数转换为十进制数的方法,是利用式(1-1-2)将二进制数按权展开,然后将所有各项的数值按十进制数相加即得。

【例 1-4】 把二进制数 $(101101.01)_B$ 转换成十进制数 $(N)_D$ 。

解:按权展开后计算得

$$(101101.01)_B = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (45.25)_D$$





1.2.3 十进制数转换为二进制数

十进制数转换为二进制数时,需要将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换,最后再将转换结果相加即可得到完整的转换结果。

1. 整数部分的转换

整数部分的转换采用除以2取余法,也就是将进制整数逐次除以2,并依次记下余数,一直除到商为零时结束,就得到等值的二进制数。

【例 1-5】 将 $(47)_{10}$ 转换成等值的二进制数。

解:

2		47	余数	读数方向
2		23 1	低位
2		11 1	
2		5 1	
2		2 1	
2		1 0	
		0 1	高位

由此可得 $(47)_{10} = (101111)_2$ 。

2. 小数部分的转换

小数部分的转换采用乘以2取整法,也就是将十进制数的小数逐次乘以2(每次只将小数部分乘以2),并依次记下整数,然后把全部整数按次序排列起来,即可得到等值的二进制数。

【例 1-6】 将 $(0.39)_{10}$ 转换为等值的二进制数小数。

解:按照乘以2取整法进行转换,即

	整数部分	
	0	
$0.39 \times 2 = 0.78$	(取出整数部分 0, 小数部分继续乘以 2)	读数方向
	1	高位
$0.78 \times 2 = 1.56$	(取出整数部分 1, 小数部分继续乘以 2)	
	1	
$0.56 \times 2 = 1.12$	(取出整数部分 1, 小数部分继续乘以 2)	
	0	
$0.12 \times 2 = 0.24$	(取出整数部分 0, 小数部分继续乘以 2)	
.....	
		低位

由此即得 $(0.39)_{10} = (0.01110)_2$,误差 $\leq 2^{-3}$ 。如果精度要求较高,如10位,则上述乘以2的过程一直继续下去,直到达到所需10位数为止。

3. 需要说明的问题

对于一个既有整数部分又有小数部分的十进制数转换成二进制数时,则要将其整数部分





采用除以 2 取余法转换成二进制数的整数,将其小数部分采用乘以 2 取整法转换成二进制数的小数,然后将二进制数的整数部分和小数部分合并即可得到等值的二进制数。

二进制数转换为十进制数时,可以完整地进行转换;但十进制数转换为二进制数时,有时不能完全转换,只能达到一定的精度。

【例 1-7】 将 $(47.39)_D$ 转换为等值的二进制数。

解: $(47.39)_D$ 包含整数部分和小数部分,分别采用除以 2 取余法和乘以 2 取整法对整数和小数部分进行转换。根据【例 1-5】和【例 1-6】的转换结果,可以得到

$$(47.39)_D = 47 + 0.39 = 101111 + 0.0110 = (101111.011)_B$$

1.2.4 二进制数转换为八进制数

二进制数与八进制数的相互转换比较容易,因为三位二进制数可以表示一位八进制数,故将二进制数转换为八进制数的规律如下:从二进制数的小数点开始,把二进制数的整数部分自右向左分成三位一组,最后不足三位者,在左面添零补齐;把二进制数的小数部分自左向右分成三位一组,最后不足三位者在右面添零补齐,然后将每组用一位八进制数表示,即可得等值的八进制数。

【例 1-8】 将 $(11010011.1011011)_B$ 转换成等值的八进制数。

解: 根据上述规律, $(11010011.1011011)_B$ 与其对应的八进制数之间的关系为

	用零补足三位						用零补足三位
	↓						↓
二进制数分组、添零	011	010	011	. 101	101	100	
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
用八进制数表示	3	2	3	. 5	5	4	

转换结果为 $(11010011.1011011)_B = (323.544)_O$ 。

1.2.5 八进制数转换为二进制数

八进制数转换为二进制数时,只要将每位八进制数写成相应的三位二进制数,按原顺序排列即可。

【例 1-9】 将 $(2637.43)_O$ 转换成等值的二进制数。

解: 根据上述规律, $(2637.43)_O$ 与其对应的二进制数之间的关系为

八进制数	2	6	3	7	. 4	3
	↓	↓	↓	↓	↓	↓
二进制数	010	110	011	111	. 100	011

转换结果为 $(2637.43)_O = (010110011111.100011)_B$,最前面的零可以去掉,由此可得

$$(2637.43)_O = (10110011111.100011)_B$$

1.2.6 二进制数转换为十六进制数

由于四位二进制数可以表示一位十六进制数,将二进制数转换为十六进制数时,可将被转换的二进制数的整数部分从右向左分成四位一组,最后不足四位者,在左面添零补齐;把二进制数的小数部分自左向右分成四位一组,最后不足四位者在右面添零补齐。最后将每组用一

