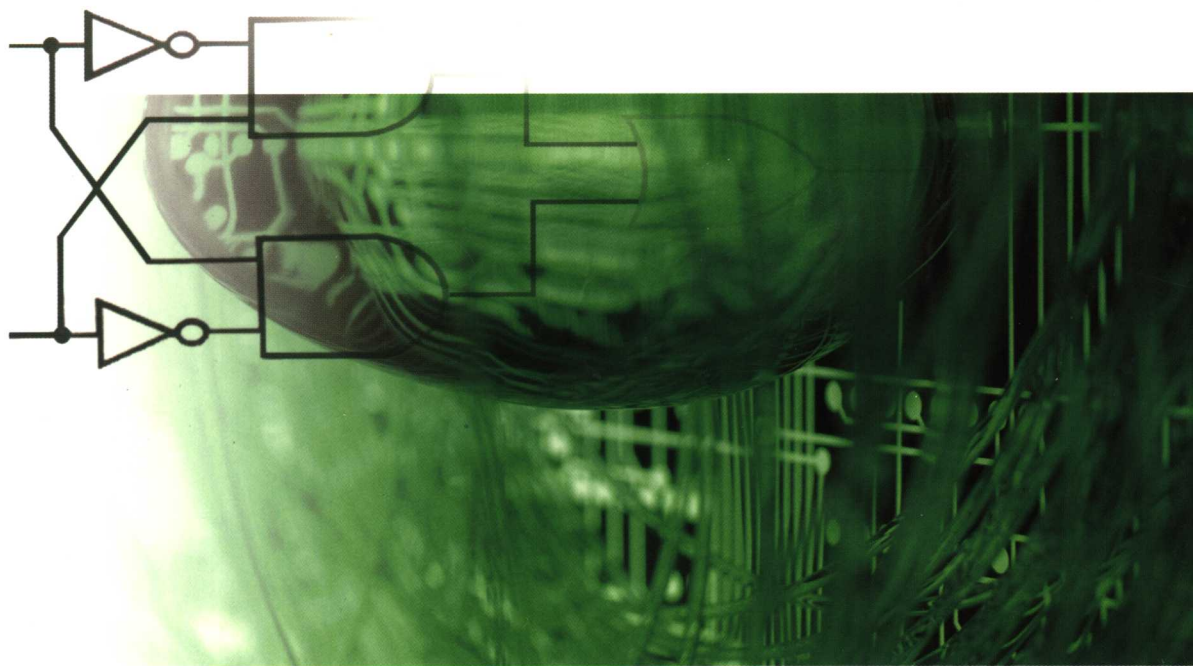


零起点电路入门丛书

Technology
实用技术

图解数字电路

韦琳 编



 科学出版社
www.sciencep.com

第2版 全国高等院校教材

111111

图解

数字电路

· · ·



清华大学出版社

零起点电路入门丛书

内容简介

本书是“零起点电路入门丛书”中的一本，主要介绍数字电路的基本概念、基本组成、基本单元、基本电路、基本应用等。本书采用“图解”方式，图文并茂，通俗易懂，适合初学者阅读。本书可作为高等院校、职业院校、成人教育、自学考试、社会培训等教材，也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图解

数字电路

韦琳 编

清华大学出版社

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

（北京）

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是“零起点电路入门丛书”之一,作为数字电路的入门书,本书首先介绍数字电路的基础知识,如逻辑代数基础、逻辑电路、组合逻辑电路,然后进一步介绍触发器及其应用、时序逻辑电路、脉冲的产生与整形电路、存储器、可编程逻辑电路及其应用、数-模和模-数转换,最后介绍数字电路与计算机、数字电路的可靠性、数字电路的应用及制作等。阅读本书时建议结合本系列的《图解脉冲电路》学习。

为了便于读者理解消化所学知识,本书尽量把理论图解化,并结合适当的举例来阐述相关的内容。

本书适合刚刚步入电子工程、通信工程、电子技术等领域的初级技术人员以及相关专业职业学校的学生、非电子类大学本科生参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

图解数字电路/韦琳编. —北京:科学出版社,2006

(零起点电路入门丛书)

ISBN 7-03-017026-1

I. 图… II. ①韦… III. 数字电路-图解 IV. TN79-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 020708 号

责任编辑:杨 凯 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:朱冬冬

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 4 月第一次印刷 印张: 17 1/2

印数: 1—5 000 字数: 338 000

定 价: 26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前言

现代人把古代人的梦想一个一个地变成了现实,时间也好,距离也好,作用力也好,正在被人们随心所欲地利用,而为实现这一“随心所欲”,必不可少的工具就是信息处理。

如何处理信息是现代人最重要的课题。在量、速度、可靠性等方面,电子电路技术是实现信息处理的基础技术。与历史悠久的模拟技术相比,数字量的处理技术对今天的信息时代的影响更大。

在数字化的今天,以计算机为代表,从自动控制、测量仪表到音响装置等,数字电路几乎遍及电子设备的各个领域。

那么,为什么数字电路的应用会如此广泛呢?与处理模拟信号的电路相比,它有哪些优点呢?考虑到明确这一点是使初学者明确学习目标,进而深刻理解数字电路的捷径,因而本书首先考虑的是如何通俗易懂地阐明这一点。

本书正是为那些想从现在学习数字电路的人而编写的。全书共分 12 章,辅以大量图表详细介绍数字电路的各种知识,内容包括:逻辑代数基础、逻辑电路、组合逻辑电路、触发器及其应用、时序逻辑电路、脉冲的产生与整形电路、存储器、可编程逻辑电路及其应用、数-模和模-数转换、数字电路与计算机、数字电路的可靠性、数字电路的应用及制作等。读者在了解数字电路的同时,可以理论联系实际,将所学知识应用到实际当中。

在编写本书时,我们力图使本书具有下述特点:

1. 通过例题与解答的形式,使读者易于理解所述内容,并达到举一反三之功效。
2. 着眼于方法的介绍,而不是简单地阐述原理,结合实际应用,使读者能够学以致用。
3. 大量使用在数字电路设计和时序控制电路分析中经常使用的图和表,目的是加强本书内容的深度和广度。
4. 为适应教学和实际应用的需求,也为了使初学者易于理解,本书配有常用逻辑符号对照表。

由于书中利用了大量图表,因而叙述比较简练。但书中给出

了读者学习数字电路的重要基础知识,故编者相信,本书对于电子工程、通信工程、电子技术等领域的初级技术人员,以及相关专业的职业学校的学生、非电子类大学本科生具有较强的参考价值。

由于编者水平有限,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。最后,在本书出版之际,谨向在编写过程中给予帮助的同仁及科学出版社的编辑表示感谢。

目 录

第 1 章 逻辑代数基础	1
1.1 概 述	1
1.1.1 数字量与模拟量	1
1.1.2 数制和码制	3
1.2 算数运算和逻辑运算	10
1.2.1 算述运算	10
1.2.2 逻辑运算	17
1.3 逻辑代数的基本公式	20
1.4 逻辑代数的基本定理	21
1.4.1 德·摩根定理	21
1.4.2 对偶定理	22
1.5 逻辑函数的化简	23
1.5.1 最小项和最大项	23
1.5.2 卡诺图化简法	25
1.5.3 奎因·麦克拉斯基化简法	28
第 2 章 逻辑电路	33
2.1 电路符号与电路图	33
2.2 二极管逻辑电路	34
2.2.1 二极管 AND(与门)	34
2.2.2 二极管 OR(或门)	35
2.3 晶体管逻辑电路	35
2.3.1 直接型晶体管逻辑电路(DCTL)	36
2.3.2 电阻-晶体管逻辑电路(RTL)	36
2.3.3 二极管-晶体管逻辑电路(DTL)	37
2.3.4 晶体管-晶体管逻辑电路(TTL)	38
2.3.5 电流切换型逻辑电路(CML)	39
2.4 MOS 逻辑电路	40
2.4.1 MOS 晶体管	40
2.4.2 MOS 逻辑电路	41

2.4.3	CMOS 逻辑电路	42
2.4.4	MOS 逻辑电路使用上的注意事项	43
2.5	逻辑电路使用上的注意事项	43
2.5.1	逻辑电压电平与噪声容限	43
2.5.2	扇入与扇出(fan-in 与 fan-out)	44
2.5.3	结线与门(wired AND)	46
2.5.4	对未使用输入端子的处理	47
2.5.5	传输延迟	47
第 3 章	组合逻辑电路	49
3.1	概 述	49
3.1.1	NAND(与非门), NOR(或非门)电路	49
3.1.2	图中因子法(map-factoring)	52
3.1.3	逻辑电路的分析	53
3.2	常用的组合逻辑电路	56
3.2.1	编码器与解码器	56
3.2.2	数据多路选择器	58
3.2.3	误码的检测与纠正	60
3.2.4	比较器	64
3.3	逻辑电路的设计	68
第 4 章	触发器及其应用	71
4.1	触发器的工作原理	71
4.2	触发器的种类及特性	72
4.2.1	RS 触发器	72
4.2.2	同步式 RS 触发器	75
4.2.3	JK 触发器	76
4.2.4	T 触发器	78
4.2.5	D 触发器	79
4.3	触发器的应用方程与输入方程	80
4.4	触发器应用举例	82
第 5 章	时序逻辑电路	85
5.1	概 述	85
5.2	状态转换图与状态转换表	86
5.3	常用的时序逻辑电路	86

5.3.1	同步计数器	86
5.3.2	非同步计数器	91
5.3.3	环形计数器	95
5.3.4	约翰逊计数器	96
5.3.5	移位寄存器	98
5.4	时序逻辑电路的设计	100
5.4.1	用状态转换表进行时序电路的设计	100
5.4.2	同步计数器的设计	104
5.4.3	简单的高速计数器设计	105
第 6 章	脉冲的产生与整形电路	111
6.1	脉冲和数字信号	111
6.2	脉冲波形和频谱频率特性	111
6.3	锯齿波的产生	116
6.3.1	锯齿波产生电路	116
6.3.2	密勒积分电路	117
6.3.3	自举电路	118
6.4	多谐振荡器	119
6.4.1	无稳态多谐振荡器	119
6.4.2	单稳态多谐振荡器	119
6.4.3	双稳态多谐振荡器	121
6.5	施密特触发器	122
6.5.1	产生的波形	123
6.5.2	电路的工作	123
6.5.3	直流电压分配的计算	124
6.5.4	施密特触发器在伺服电路中的应用	126
6.6	脉冲宽度与占空比	127
6.6.1	脉冲宽度与占空比的计算	128
6.6.2	脉冲性能的掌握方法	129
6.6.3	方波的整形	130
6.7	微分电路与积分电路	130
6.7.1	微分电路	131
6.7.2	积分电路	131
6.8	各种各样的整形电路	133
6.8.1	截取电路(提取波形的顶部)	133
6.8.2	双向限幅电路(提取波形的中心 部分)	133

6.8.3	削波电路(切取波形中间的一部分) ...	133
6.8.4	钳位电路(加一直流电平在信号波形上)	134
第7章	存储器	135
7.1	概 述	135
7.1.1	存储器芯片	135
7.1.2	存储器芯片的分类	136
7.2	随机存储器(RAM)	136
7.2.1	SRAM	138
7.2.2	DRAM	140
7.3	只读存储器(ROM)	147
7.3.1	mask ROM	147
7.3.2	EPROM 和 OTPROM	149
7.3.3	EEPROM	150
7.3.4	闪存	151
7.4	专用存储器	151
7.4.1	视频 RAM	152
7.4.2	同步 DRAM	152
7.4.3	RDRAM	155
7.4.4	3D-RAM	157
7.4.5	其他专用存储器	158
第8章	可编程逻辑电路及其应用	161
8.1	可编程逻辑阵列(PLA)器件	161
8.2	可编程阵列逻辑(PAL)器件	164
8.2.1	PAL 器件的基本结构	165
8.2.2	PAL 器件的输出结构	166
8.2.3	PAL 器件的应用	168
8.3	通用阵列逻辑(GAL)器件	170
8.3.1	GAL 器件的基本类型	170
8.3.2	GAL 器件的基本结构	171
8.3.3	GAL 器件的输出逻辑宏 单元 OLMC	172
8.3.4	GAL 器件的工作模式	174
8.3.5	GAL 器件应用	176

8.4 复杂可编程逻辑器件(CPLD)	180
8.4.1 CPLD 的基本结构	180
8.4.2 CPLD 典型器件及其应用	182
8.5 现场可编程逻辑器件(FPGA)	184
8.5.1 概 述	184
8.5.2 FPGA 器件的基本结构	184
8.5.3 FPGA 应用举例	188
第 9 章 数-模和模-数转换	191
9.1 数-模(D/A)转换	191
9.1.1 D/A 转换电路的原理	191
9.1.2 采用负载阻抗的 D/A 转换电路	191
9.1.3 梯形 D/A 转换电路	193
9.1.4 串联型 D/A 转换电路	194
9.2 模-数(A/D)转换	196
9.2.1 比较平衡型 A/D 转换电路	196
9.2.2 计数型 A/D 转换电路	198
9.2.3 纵接型 A/D 转换电路	200
第 10 章 数字电路与计算机	201
10.1 计算机的计算方法与二进制运算	201
10.1.1 计算机的计算方法与程序设计	201
10.1.2 二进制数的加减法	203
10.1.3 二进制数的乘除法	204
10.2 计算机的构造与动作	205
10.2.1 计算机的构造	205
10.2.2 用计算机进行加法运算	206
10.2.3 用计算机进行减法运算	208
10.2.4 其他更多的指令和转移指令	210
10.3 用计算机进行乘除运算	212
10.3.1 计算机指令与汇编语言	212
10.3.2 乘 法	214
10.3.3 除 法	216
10.4 计算机的输入输出	218
10.4.1 计算机的输入输出构造	218
10.4.2 文字输出程序	218

10.4.3	文字输入程序	219
第 11 章	数字电路的可靠性	221
11.1	半导体器件的可靠性	221
11.2	半导体器件的故障模式	222
11.3	可靠性试验	225
11.4	数字电路的可靠性设计	227
第 12 章	数字电路的应用及制作	229
12.1	运算电路	229
12.1.1	半加器电路	229
12.1.2	全加器电路	230
12.1.3	减法器电路	231
12.1.4	串行加法运算电路	232
12.1.5	串行减法运算电路	233
12.2	用于控制的数字电路	235
12.2.1	正反转控制电路	235
12.2.2	电动机的正反转电路	236
12.2.3	启动控制电路	237
12.2.4	三相电动机的 Y- Δ 运转电路	239
12.2.5	人行横道的信号机电路	240
12.3	接 口	241
12.3.1	IC 与 LED 显示电路的接口	241
12.3.2	TTL 与 CMOS 的接口	243
12.3.3	CMOS 与 TTL 的接口	244
12.3.4	触点电路与 IC 电路的接口	245
12.3.5	IC 与继电器电路的接口	246
12.3.6	CPU 和数据总线之间的接口	248
12.3.7	接口 IC	249
12.4	信号变换电路	250
12.4.1	十进制 $\rightarrow$ BCD 编码器	250
12.4.2	BCD $\rightarrow$ 十进制解码器	251
12.4.3	把 BCD 变换为 7 段十进制显示的 变换器	253
12.4.4	数据选择器	254
12.4.5	多路分离器	256
12.5	石英式数字钟表的制作	258
12.5.1	概 述	258

12.5.2	电路的各个部分	259
12.6	将钟表用的 IC 用于数字式钟表的制作	263
12.6.1	概 述	263
12.6.2	显示电路	265
12.6.3	制作上的注意点	266
12.6.4	调 整	266
常用逻辑符号对照表		268

第 1 章

逻辑代数基础

1.1 概 述

1.1.1 数字量与模拟量

1. 数字量和模拟量

① 数字量。数字一词的语源是指 digit(手指,从阿拉伯数字的 0 到 9),如同用手指数 1,2,3,……那样,是不连续的、等级的数值和符号。另外,数字计算机的数字,以计数形式被使用(参照图 1.1(a))。

② 模拟量。用英文 analog(相似,类似)表示,是指用连续变化的物理量来表示。例如,钟表和电流表,当根据时间表和电流表上指针的角度来表示时间和电流时,称为连续物理量(角度)(参照图 1.1(b))。



图 1.1

2. 数字信号和模拟信号

① 数字信号。用与数字和符号相对应的(例如,用“1”表示电压“有”或“高”,用“0”表示电压“无”或“低”)离散状态表示的信号称为数字信号。数字信号用这两种状态就能处理全部信息。

数字信号

② 模拟信号。用连续量的大小(电压、电流等)表示的信号称为

模拟信号

模拟信号。模拟信号的瞬时大小包含有信息。

【例题 1.1】 图 1.2(a)、(b) 的电压波形是数字信号还是模拟信号？

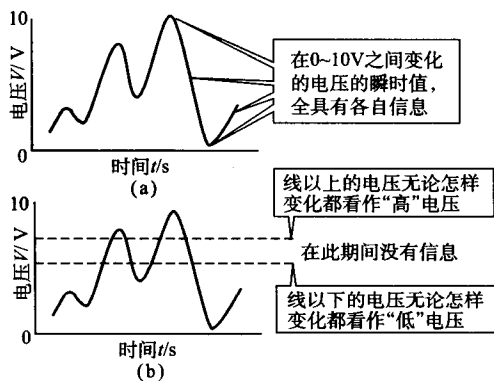


图 1.2

【解答】 图 1.2(a) 中, 电压的大小随时间连续变化。图 1.2(b) 中, “高”电压用“1”表示, “低”电压用“0”表示, 如图 1.3 所示。故图 1.2(a) 是模拟信号, 图 1.2(b) 是数字信号。

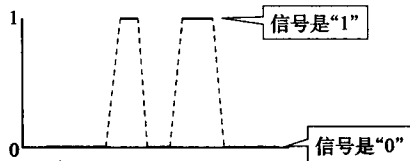


图 1.3

【例题 1.2】 图 1.4(a)、(b) 的电路是数字电路还是模拟电路？

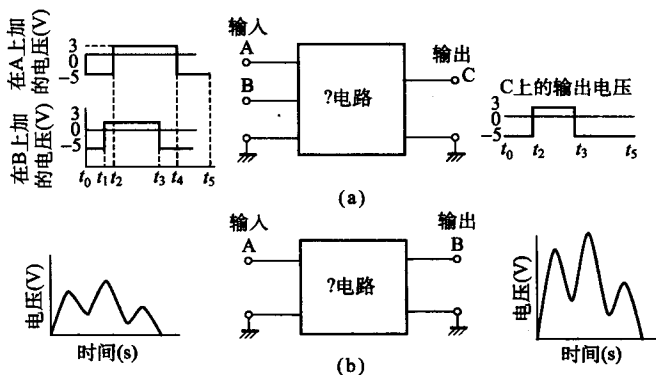


图 1.4

【解答】 图 1.4(a)中,在 A、B 端输入运算电压,转换成输出 C 的电压波形。图 1.4(b)中,输出 B 与输入 A 有比例关系,振幅被放大。故图 1.4(a)是数字电路,图 1.4(b)是模拟电路。

【例题 1.3】 图 1.5 的电路是数字电路还是模拟电路?

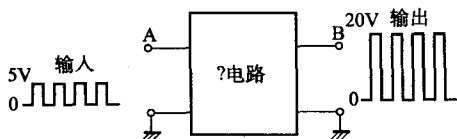


图 1.5

【误解】 是数字电路。

为何解答错误? 输入即使是像数字信号那样的矩形波(脉冲波),但因为输出与输入有比例关系,振幅被放大。

【正解】 是模拟电路。

1.1.2 数制和码制

1. 数 制

① 十进制数。是我们日常使用的数,每一位有 0,1,2,⋯,9 十个数码,计数的基数是 10。超过 9 的数必须用多位数表示,其中低位和相邻高位之间的关系是,“逢十进一”,故称为十进制。

十进制

② 二进制数。每一位仅有“0”或“1”两个数码,计数的基数是 2。低位和相邻高位间的进位关系是“逢二进一”,故称为二进制。

二进制

如: $1101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$

二进制数的加权

另外,将二进制数一位数的“0”或“1”称为 1 位(bit),表示处理数据的最小单位。又将 8 个二进制数(8 位)称为 1 字节(byte)。

③ 八进制数。把基数以“8”表示的数称为八进制数,用 8 个数码 0~7 表示。

八进制数

如: 十进制数的 26, $26_{10} = 24 + 2 = 3 \times 8^1 + 2 \times 8^0 = (32)_8$

八进制数的权

④ 十六进制数。把基数以“16”表示的数称为十六进制数,用 10 个数码和 6 个字母表示,使用与十进制数相同的标记表示 0~9 的数码,用 A、B、C、D、E、F 表示与十进制数的 10~15 相对应的数。

十六进制数

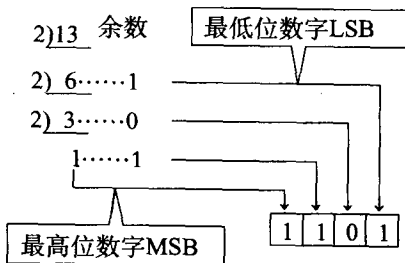
如:

$$\text{十进制数的 } 26, (26)_{10} = 16 + 10 = 1 \times 16^1 + 10 \times 16^0 = (1A)_{16}$$

十六进制数的权

2. 数制的转换

① 十进制数转换成二进制数。是将十进制数除以 2。



② 二进制数转换成十进制数。在二进制数的每位上加权。

$$\begin{array}{ccccccc}
 2^5 & 2^4 & 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0 & \text{各位的权} \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\
 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\
 = 32 + 16 + 0 + 4 + 0 + 1 = 53
 \end{array}$$

③ 十进制数转换成八进制数、十六进制数。与十进制数 $\leftrightarrow$ 二进制数转换相同,十进制数转换成八进制数、十六进制数,将十进制数除以各自的基数 8、16,取余数即可。而八进制数、十六进制数 $\rightarrow$ 十进数的转换,只要分别在每位上加权即可(参照上面的例子)。

④ 二进制数转换成八进制数、十六进制数。二进制数转换成八进制数、十六进制数,从二进制数低位的位数开始,每 3 位或每 4 位分成一组,将每组分别转换成八进制数或十六进制数即可。另外,八进制数、十六进制数到二进制数的转换,分别将八进制数的每一位转换成 3 位的二进制数,将十六进制数的每一位转换成 4 位的二进制数,然后并列写出即可(参照例)。

$$\text{如, } \frac{10}{2} \quad \frac{110}{6} \quad \frac{100}{4} = \frac{1011}{8} \quad \frac{0100}{4} \quad (10110100)_2 = (264)_8 = (B4)_{16}$$

【例题 1.4】 请将十进制数 23 转换成二进制数。

【解答】