



21 世纪电子电气工程师系列

数字电路

双色

(日) 正田英介 主编
常深信彦 编著

ART 21
电子电气工程师

科学出版社

OHM 社

21世纪电子电气工程师丛书

数字电路

〔日〕正田英介 主编 常深信彦 编著
白玉林 译



科学出版社 OHM 社

2001 北京

图字:01-2000-3685 号

Original Japanese edition

Arute 21 Digital Kairo

by Nobuhiko Tsunefuka et al.

Copyright © 1997 by Nobuhiko Tsunefuka

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 2001

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

アルテ21

ディジタル回路

常深信彦 オーム社 1997

图书在版编目(CIP)数据

数字电路/常深信彦编著;白玉林译. —北京:科学出版社,2001

(21 世纪电子电气工程师系列/[日]正田英介主编)

ISBN 7-03-009270-8

I. 数… II. ①常… ②白… III. 数字电路 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 13654 号

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2001 年 6 月第 一 版 开本: A5(889×1230)

2001 年 6 月第一次印刷 印张: 5 1/4

印数: 1—4 000 字数: 157 000

定 价: 15.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

主编的话

当今,电子设备已广泛应用于国民经济的各个领域,为了用好这些电子设备,科技人员必须掌握电子技术方面的有关知识。与此同时,电子技术的应用领域也在迅速扩展,人材需求量很大的状况一直没有改变。因此对电子工程专业的毕业生有必要从应用的角度进行二次培训,也有必要为非电专业的技术工作者学习电气电子技术的基础知识创造更多的机会。

为了适应这一形势的需要,组织编写了“21 世纪电子电气工程师系列”丛书,目的是编写一套全面系统介绍电子电气专业基础知识,既适用于企业内部职工培训,也适于非电专业初学者阅读的新型教科书。丛书编委都是在日本有名的电子、电气企业中长期从事职工教育培训的专家,丛书结构及各册内容均由编委会讨论决定。

本套丛书的特点首先表现在教材内容紧密联系实际。通过产品和技术模型说明基础知识与产品、系统的关系,通过具体产品的结构和系统中所发生的现象说明其工作原理或理论。另外,本丛书的所有执笔者都是在相应企业中长期从事实际技术工作或从事职工教育工作的专家,具有丰富的实际经验,书中的举例和例题都是他们多年工作经验的结晶。

此外,在电子技术的专业教学中,由于内容非常广泛,所以以往在对教学内容细化的同时常常忽略了对基础内容的充分消化。本丛书充分注意到了这一问题,从现象入手说明原理,从而保证了基础知识易学易懂,教材内容紧密联系实际。本丛书除了用于企业内部职工教育外,还可用于大专或中等专业学校的专业课教学。

由于受产业全球化和地球环境社会的影响,21 世纪的工程学科必将会发生巨大地变化。读者通过对本套丛书的学习,可以对新时代的电子技术的基础有较充分的了解,在各种领域的产品和系统的革新中发挥自己的聪明才智。

东京理科大学教授,工学博士

正田英介

21 世纪电子电气工程师系列

编辑委员会

主 编 正田英介（东京大学）

编 委 楠本一幸（株式会社东芝）
岛田 弥（三菱电机株式会社）
高木正藏（东芝综合人材开发株式会社）
常深信彦（株式会社日立制作所 日立京浜工业专科学院）
丹羽信昭（东京电力株式会社 东电学园）
春木 弘（富士电机株式会社）
吉冈芳夫（株式会社日立制作所）
吉永 淳（福井工业大学 前三菱电机株式会社）

执 笔 谷本哲三（株式会社日立制作所 日立京浜工业专科学院）
村松菊雄（三菱电机株式会社）
太田 诚（三菱电机セミコンダクタ・ソフトウェア株式会社）
篠手喜男（株式会社东芝）
常深信彦（株式会社日立制作所 日立京浜工业专科学院）

前 言

现在,几乎所有的家电产品、工业设备、信息设备等都装有电子电路。其中最常用的是以微机芯片为中心的 digital 电路。过去常用 digital 电路按一定逻辑关系构成标准逻辑 IC(集成电路)来使用,而现在常常在单个芯片内组合多种逻辑关系,或用数个 PLD(可编程序逻辑元件)组成某些逻辑关系。这样一来,似乎学习 digital 电路变得不太重要了,但若从充分了解硬件和软件的不同作用,设计出最适当、最精致的电子电路的角度来看,学习 digital 电路的知识变得更加重要了。

本书的目的与结构如下。

第 1~3 章,学习 digital 电路设计的基础知识,并培养数字化的思维方式。第 4、5 章根据从第 1~3 章学到的数字化思维方式,讲解微机、存储器的动作与应用。而第 6 章则通过微机和存储芯片构成的电子设备从 digital 信号的输入、输出方面进行讲解。第 7、8 章讲述为了设计和生产出高可靠性的电子设备所需要的 digital 电路方面的知识。具体内容如下:

第 1 章 学习作为 digital 电路基础的逻辑代数的表示方法,即逻辑式、逻辑符号和真值表等。

第 2 章 学习利用由逻辑元件组合设计而成的逻辑电路实现各种 digital 电路的设计方法。

第 3 章 学习作为基本存储记忆元件的各种触发器以及使用触发器实现相应目的的时序电路的设计方法。

第 4 章 学习使用基本逻辑元件和存储元件设计集成化的各种 RAM 或 ROM 存储器 IC 以及它们的存储或消去等动作的知识。

第 5 章 学习利用第 1~3 章所掌握的 digital 电路知识来构成微机的动作和应用。

第 6 章 学习由微机芯片、digital 电路和存储器等所组成的、用于处理 digital 信号的输入输出设备的原理和特征。

第 7 章 学习 digital 电路的噪声对策设计。

第8章 学习数字 IC 芯片的可靠性设计、制造过程中的管理、设计过程中的可靠性设计,以及在实际组装过程中的工程管理等,以确保电子产品的高可靠性。

本书的第1~3章由谷本哲三、第4章由村松菊雄、第5章由太田 诚、第6章由旗手喜男、第7、8章由常深信彦执笔。对主编东京大学正田英介教授和各位编委以及欧姆社(OHMSHA)出版部等的大力支持,深表谢意。

最后,希望各位读者能灵活运用从本书学到的数字电路知识,取得更大成就。

常深信彦



数字电路

内 容 简 介

“21 世纪电子电气工程师系列”是企业技术/管理干部知识更新用新型教科书。丛书特点是重视理论联系实际,用现象说明原理。反映该专业领域最新进展,通过产品与技术模型揭示学科基础知识。丛书各册执笔者均是在国际知名企业中长期从事技术、教育工作的专家。书中举例及例题均源于他们多年的工作实践。

本书介绍了数字电路基本知识。全书共八章,前三章为数字电路设计必备的基础知识,目的在于使读者树立数字化思维方式;在此基础上,第四章至第六章讲解微型计算机、存储器的工作原理及其应用;最后两章介绍高可靠性电子设备设计中的噪声对策及可靠性设计。

本书可作为企业工程技术人员培训的专用教科书,也可供高等学校相关专业及高、中等职业学校相关专业师生学习参考。

编著者简介

正田英介

1965年 东京大学研究生院数理系博士
毕业

1965年 获工学博士

现 在 东京大学工学部电工学专业教授

常深信彦

1968年 大阪大学基础工学部控制专业
毕业

现 在 株式会社日立制作所

日立京滨工业专科学院电子工
学专业主任教授

译者简介

白玉林

1970年 北京大学数学力学系计算数学
专业毕业

1984年 北方交通大学计算机网络专业
硕士研究生毕业

现 在 铁道科学院电子计算技术研究
所副研究员

目 录

第 1 章 逻辑代数

1.1	逻辑运算的基本要素	1
1.2	逻辑运算符号与基本定律	2
1.3	基本准则	3
1.3.1	异或逻辑	3
1.3.2	同或逻辑	4
1.4	逻辑代数的公式	4
1.4.1	德·摩根定理	4
1.4.2	对偶原理	5
1.5	逻辑式的标准形与变换形	5
1.5.1	逻辑式的形式	5
1.5.2	逻辑式的标准展开	6
1.5.3	逻辑式化简的基础	7
练 习 题		8

第 2 章 逻辑电路

2.1	电路符号与电路图	9
2.2	逻辑 IC 的种类和电气性能	10
2.2.1	逻辑 IC 的种类	10
2.2.2	IC 内逻辑元件的配置与电压	11
2.2.3	输出形式	13
2.2.4	线或逻辑	15
2.2.5	传输延迟时间	16

2.3	逻辑电路的种类与复杂性	16
2.3.1	组合电路	16
2.3.2	时序电路	16
2.3.3	逻辑电路的化简指标	17
2.4	用图表表示逻辑式	18
2.5	利用维奇图法化简逻辑式	19
2.5.1	化简为加法标准形	19
2.5.2	化简为乘法标准形	20
2.5.3	注意事项	21
2.6	有禁止组合时的化简	21
2.7	NAND 电路与 NOR 电路	23
2.8	随机逻辑与阵列逻辑	24
2.8.1	随机逻辑	24
2.8.2	阵列逻辑	25
	练习题	27

第 3 章 触发器及其应用

3.1	触发器的工作原理	29
3.2	触发器的种类	30
3.2.1	异步式触发器	30
3.2.2	同步化 R-S 触发器(钟控 R-S 触发器)	30
3.2.3	同步式触发器(边缘触发器)	31
3.3	触发器的特性表与特性方程	32
3.3.1	R-S 触发器	32
3.3.2	T 触发器(Trigger)	32
3.3.3	D 触发器(delayed)	33
3.3.4	J-K 触发器	34
3.4	触发器的应用方程与输入方程	35
3.4.1	R-S 触发器的输入方程	35
3.4.2	T 触发器的输入方程	37

3.4.3	D 触发器的输入方程	37
3.4.4	J-K 触发器的输入方程	37
3.5	触发器的应用例子	38
3.6	状态转换图与状态转换表	40
3.7	用状态转换表进行时序电路的设计	40
3.7.1	例 题	41
3.7.2	状态转换表	41
3.7.3	状态分配	42
3.7.4	应用方程	42
3.7.5	输入方程	43
3.7.6	电路图	43
3.8	同步计数器的设计	44
练 习 题		46

第 4 章 微机及外围电路

4.1	微机的应用与种类	49
4.1.1	微处理器的应用例(PC 机)	49
4.1.2	单片机的应用	50
4.1.3	小 结	52
4.2	微机的结构	53
4.2.1	微机的系统结构	54
4.2.2	CPU 的作用	54
4.2.3	系统总线	57
4.2.4	存储器	57
4.2.5	外围电路的功能	58
4.2.6	并行输入输出电路	59
4.2.7	串行输入输出电路	61
4.3	微机的指令与软件	66
4.3.1	指令的构成	66
4.3.2	指令集	67

4.3.3	程序设计与软件开发工具	67
4.3.4	小 结	69
4.4	实际系统开发过程	69
4.5	微机使用时的注意点	70
4.5.1	Reset(复位)电路	70
4.5.2	振荡电路	71
4.5.3	中 断	72
	练 习 题	73

第 5 章 存储器电路

5.1	存储器芯片介绍	75
5.1.1	存储器芯片	75
5.1.2	存储器芯片的分类	76
5.1.3	RAM	77
5.2	SRAM	78
5.2.1	SRAM 的动作	79
5.3	DRAM	80
5.3.1	DRAM 的动作	81
5.4	专用存储器	88
5.4.1	视频 RAM	88
5.4.2	同步 DRAM	89
5.4.3	RDRAM(Rambus DRAM)	92
5.4.4	3D-RAM	94
5.4.5	其它的专用存储器	95
5.5	关于 ROM	96
5.5.1	mask ROM	97
5.5.2	EPROM 与 OTPROM	99
5.5.3	EEPROM	99
5.5.4	闪存(flash memory)	100
	练 习 题	101

第 6 章 数字信号的输入输出

6.1	数字信号的直接输入设备	103
6.2	数字信号的识别设备	108
6.2.1	文字识别	108
6.2.2	语音识别	111
6.3	图像信号的输入设备	112
6.3.1	电子扫描方式	113
6.3.2	行传感器与机械式传送机构的组合	115
6.4	数字信号的输出设备——打印机	117
6.4.1	击打式打印机	117
6.4.2	非击打式打印机	118
6.5	数字信号的输出设备——显示器	122
6.5.1	CRT 显示器	122
6.5.2	液晶显示器(LCD)	123
6.5.3	其它类型的显示器	124
练 习 题		126

第 7 章 数字电路的噪声对策

7.1	噪声的种类	127
7.2	噪声容限	128
7.2.1	输入电路的噪声容限	129
7.2.2	输出电路的噪声容限	129
7.3	噪声发生、侵入的对策	130
7.3.1	旁路电容	130
7.3.2	衰减电阻	130
7.3.3	噪声处理元件	131
7.3.4	电源滤波	132
7.3.5	自激消除电路	132
7.3.6	接口处的噪声对策	132

7.3.7 机箱的屏蔽	133
7.4 噪声的限制与规定	134
练 习 题	135

第 8 章 数字电路的可靠性

8.1 半导体器件的可靠性	137
8.2 半导体器件的故障模式	138
8.2.1 表面退化	138
8.2.2 IC 芯片的布线故障	138
8.2.3 焊接故障	139
8.2.4 封装故障	140
8.2.5 软故障	140
8.2.6 热载流子	140
8.2.7 静电破坏	141
8.2.8 闩锁(latch up)	141
8.3 可靠性试验	142
8.4 数字电路的可靠性设计	143
8.4.1 电子元器件的合格认定和保管	144
8.4.2 性能冗余设计(derating)	144
8.4.3 印制电路板的组装与清洗	144
8.4.4 印制电路板组装现场的静电控制	144
8.4.5 电子设备的组装、检查	145
练 习 题	146

练习题解答	147
参考文献	155

第 1 章 逻辑代数

逻辑代数是英国数学家乔治·布尔(George Bool)提出的理论,是一种把事物的逻辑关系用数学公式表示出来的方法,也称为布尔代数(Bool Algebra)。在逻辑代数中,事物的状态皆可用真(true)和假(false)来表示,它们分别用离散变量的 1 和 0 来代表。其基本运算有逻辑与(AND),逻辑或(OR)和逻辑非(NOT),通过这三种逻辑运算就可以表现所有的逻辑关系。数字电路现在已成为电子学中不可缺少的技术,而逻辑代数则已成为设计数字电路必须的手段。

本章着重讲解逻辑运算的基本概念。并给出运算的基本定理和公式以及逻辑式的标准形及其变化方法等等。

1.1 逻辑运算的基本要素

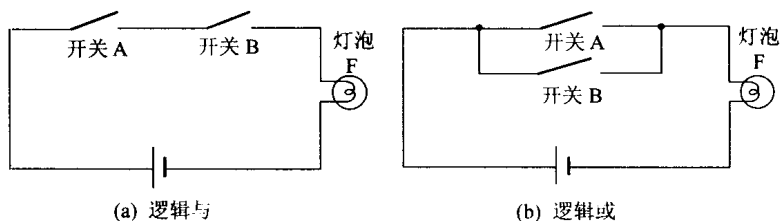


图 1.1 电 路

研究一下图 1.1 那样的电路。即通过开关的操作来控制灯泡的亮灭,开关 A 和 B 为输入,灯泡 F 为输出。把 A,B,F 作为**逻辑变量**,当开关 ON(闭合)时为 1,OFF(断开)时为 0,灯泡点亮为 1,熄灭为 0。在图 1.1(a)中,

只有当开关 A 与 B 同时为 ON(闭合)时,才会点亮灯泡 F。即只有 $A=B=1$ 时 $F=1$ 。在图 1.1(b)中,只要开关 A 或 B 有一个为 ON(闭合)就会使灯泡 F 点亮。即 A 与 B 中有一个为 1 则 $F=1$ 。把前者那样的功能称为**逻辑与(AND)**,后者那样的功能称为**逻辑或(OR)**。把这样的功能归纳成表格,则如表 1.1 所示。这样的表格称为**真值表(truth table)**。

表 1.1 真值表

(a) 逻辑与

输入		输出 F
A	B	
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(b) 逻辑或

输入		输出 F
A	B	
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

表 1.2 逻辑非的真值表

输入 X	输出 Y
0	1
1	0

另外一种不可缺少的基本逻辑运算是**逻辑非(NOT)**,是把输出当作输入的反相处理的要素,像图 1.1 所示的例子中,开关的 ON 与 OFF 以及灯泡的点亮与关灭相互间就是否定的关系。若设输入为 X,输出为 Y,则逻辑非的真值表即如表 1.2 所示。

1.2 逻辑运算符号与基本定律

若令输出为 F,则基本逻辑的记述法可如下所示。

- (1) A 与 B 的逻辑与 $A \cdot B = F$ 或者 $A \cap B = F$
- (2) A 与 B 的逻辑或 $A + B = F$ 或者 $A \cup B = F$
- (3) A 的逻辑非 $\bar{A} = F$

一般而言,逻辑与、逻辑或的运算符分别使用 $\cdot$ 与 $+$ 。在不会产生误解的情况下可将逻辑与的运算符 $\cdot$ 省略掉。

下面叙述逻辑代数的**基本定律**。当进行逻辑式化简时,这些定律特别重要。

(1) 同一律(重叠律)