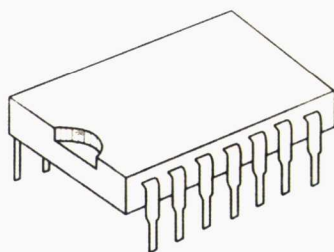




北京市高等教育精品教材立项项目



熊伟林 刘连青 主编

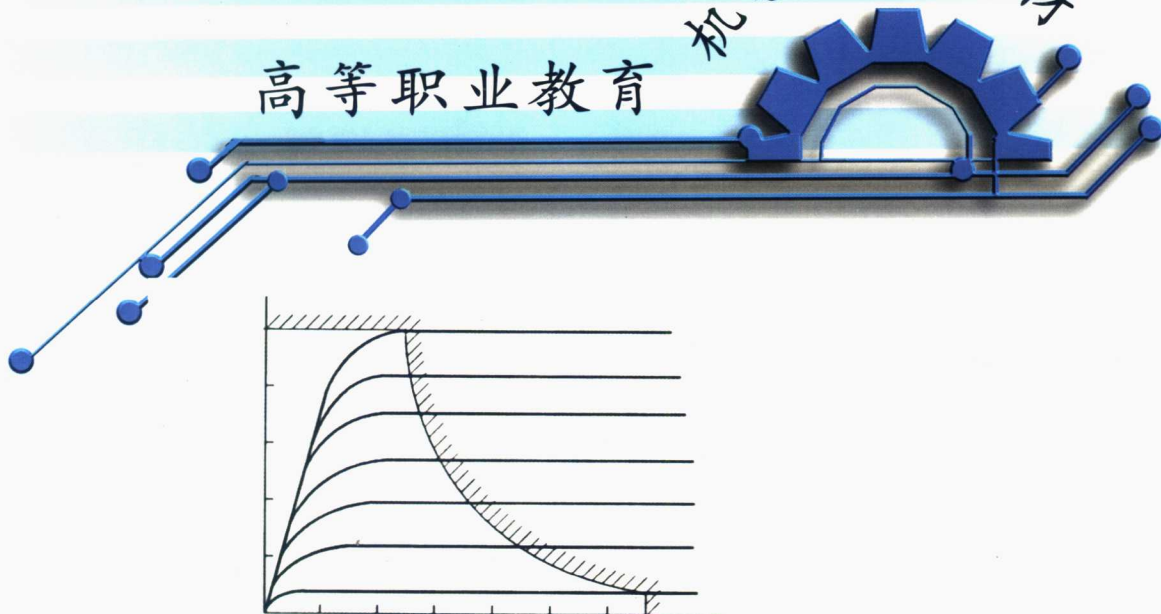


现代电子技术基础

(下册)

高等职业教育

机电类系列教材



清华大学出版社

北京市高等教育精品教材立项项目
高等职业教育机电类系列教材

现代电子技术基础 (下册)

主编 熊伟林 刘连青

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

现代电子技术的飞速发展要求学习者能够尽快了解和掌握最新的高科技知识,本书力求使读者在有限的时间里系统地掌握模拟电子技术及应用、数字电子技术及应用、高频电子线路等现代电子技术基础知识。

本书从实用电子技术基础理论和实验出发,介绍了现代电子技术的基本概念、元器件特性及其应用电路,同时给出了典型而且重要的电子线路实验方法,注重实践技能的培养。全书内容共8章,分上、下两册。上册主要包括现代电子技术基础知识、常用电子器件(包括模拟和数字元器件、集成器件等)、各种放大电路和集成运算放大器及其应用等内容;下册主要包括逻辑电路、信号产生电路、频率变换电路和自动控制电路等内容。书中配有适量的例题与习题。本书取材尽可能以实际应用电路为主,避免复杂的理论推导和计算,并尽量做到保证基础,适当延伸。在内容选择和讲解方面力图体现科学实用、讲法新颖、文字简练、层次分明的特点。

本书是北京市高等教育精品教材立项项目,可作为高职高专电子信息类专业电子技术课程的教材,也可作为电子技术工程人员或大专院校师生的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

现代电子技术基础.下册/熊伟林,刘连青主编.—北京:清华大学出版社,2004.8

(北京市高等教育精品教材立项项目.高等职业教育机电类系列教材)

ISBN 7-302-08965-5

I. 现… II. ①熊… ②刘… III. 电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第064077号

出版者:清华大学出版社

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

社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:陈国新

文稿编辑:魏艳春

印装者:北京昌平环球印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:13.25 字数:304千字

版 次:2004年8月第1版 2004年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-08965-5/TN·195

印 数:1~4000

定 价:19.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175 转 3103 或(010)62795704

前 言

“现代电子技术基础”是高职高专院校电子信息类专业重要的技术基础课,主要包括模拟电子技术、数字电子技术、高频电子技术等内容。它的任务是使学生掌握现代电子技术基础的有关知识,提高专业知识水平、职业技能和综合素质,增强其适应职业变化和继续学习的能力。

本教材是北京市高等教育精品教材立项项目,是为高职高专电子信息类专业编写的教材。和传统的类似教材相比,本教材在内容组织和结构安排上都做了较大的改革和尝试。

本书没有采用传统的“先模拟、再数字、后高频”的学习模式,而是将模拟电子技术与数字电子技术、低频电子线路与高频电子线路有机地结合起来,构成一门综合性较强的课程。它首先概括地介绍了现代电子技术基础知识(第1章),使读者对模拟信号与数字信号、模拟电路(含高频电路、低频电路)与数字电路有初步的了解,明确现代电子技术基础的整体内容,接着比较集中地介绍了常用电子器件的特性或功能(第2章),包括分立器件和集成器件、模拟器件和逻辑器件,而后按常用电子电路类型分别介绍放大电路(第3章)、集成运放(第4章)、逻辑电路(第5章)、信号产生电路(第6章)、频率变换电路(第7章)和反馈控制电路(第8章)。其中第3章系统地介绍了各种类型的三极管放大器、调谐放大器和高低频功率放大器等,在此并没有将高低频电路截然分开,这样便于读者对各种放大电路的结构和特点进行比较,以更好地理解 and 掌握它们的功能,了解它们的应用。在第4章引入反馈的概念后,重点介绍了集成运算放大器的典型应用,如基本运算电路、有源滤波电路、电压比较器等。第5章在第1、2章的基础上,系统介绍了组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析与设计方法,同时介绍了模拟-数字之间转换、可编程逻辑器件等内容。第6章对常用的信号产生电路做了系统介绍,主要包括直流稳压电源、各种高低频正弦波振荡器、函数信号发生器等内容。第7章介绍了调幅与检波、混频与倍频、调频与鉴频、调相与鉴相等频率变换的基本概念及典型应用电路,为读者进一步学习通信技术、测量技术等其他技术课程奠定基础。最后在第8章扼要介绍了在现代电子技术领域应用十分广泛的反馈控制电路(AGC、AFC、APC/PLL)的基本工作原理。此外,本书在介绍理论知识的同时,融入较多的实验项目,最后还安排了课程设计。

电子技术基础课程历来是电子信息类专业学生感到难学的课程,“化难为易”也是本书编写的基本原则之一。本书针对当前国内高职高专学生现有的掌握知识的能力和-learning特点,强调课程的基础性和应用性。无论是介绍常用电子器件,还是研究实际应用电路,

均以讲清基本概念、特性功能、性能参数、测试技术、使用方法等基础问题为主,而没有像传统的教材那样对电子线路进行较深的理论分析。本书避免较为繁琐的数学推导和计算,使学生易于接受和掌握现代电子技术的基础知识和实用技术。

现代电子技术基础是一门具有工程特点和很强实践性的课程,也是发展变化较快的技术课程,因此本书更新教学内容,以基本器件和实用电路为基础,不割裂模拟电路与数字电路,突出新器件、新电路的应用,并建立现代电子系统的概念。读者可方便地在本书中查阅到常用的各种电子器件和实用电路,这对加强各种形式的实践教学环节和电子工程方面的技能训练,以及培养学生的专业素质和能力具有十分重要的作用。

本教材是根据当前国内高职高专教学的需要,针对该层次学生的学习特点,结合实际情况编写,内容安排适度、重点突出、科学实用、通俗易懂。全书共8章,分上、下两册,上册包括第1~4章,下册包括第5~8章。全部内容大约需要学习180课时,上、下册各占一半,分两个学期学习。

本教材由北京信息职业技术学院电子工程系熊伟林、刘连青主编。上册由北京信息职业技术学院王连起、吕燕、万冬等教师参编。其中第1章由刘连青执笔;第2.1~2.8节和第3章由熊伟林执笔;第2.9~2.16节由吕燕执笔;第4章由王连起执笔;第2.9~2.16节的部分电路图形由万冬绘制。下册由北京信息职业技术学院毛瑞丽、冯跃跃、张建新、鲍秋风等参编。其中第5章由毛瑞丽执笔;第6章由熊伟林执笔;第7.1~7.7节由冯跃跃执笔;第7.8节由鲍秋风执笔;第8章由张建新执笔。全书由北京理工大学信息科学技术学院李庆常教授主审。

由于作者水平有限,书中难免有错漏和不妥之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2003年11月

目 录

下 册

第 5 章 逻辑电路	1
学习目标	1
5.1 逻辑函数基础知识	1
5.1.1 逻辑函数的表示方法	1
5.1.2 逻辑函数的卡诺图表示法	3
5.1.3 逻辑代数的基本公式和基本定律	6
5.1.4 逻辑函数的代数化简法	7
5.1.5 逻辑函数的卡诺图化简法	9
思考与练习	11
5.2 组合逻辑电路分析设计方法	11
5.2.1 组合逻辑电路的分析方法	11
5.2.2 组合逻辑电路的设计方法	13
思考与练习	15
5.3 时序逻辑电路分析设计方法	16
5.3.1 时序逻辑电路的分析方法	16
5.3.2 时序逻辑电路的设计方法	21
5.3.3 时序逻辑电路设计与测试	24
思考与练习	24
5.4 模数转换器	24
5.4.1 ADC 的基本原理	25
5.4.2 并行比较型 ADC	27
5.4.3 逐次逼近型 ADC	29
5.4.4 双积分型 ADC	29
5.4.5 ADC 的主要参数	31
5.4.6 集成 ADC 及其应用	31
思考与练习	32
5.5 数模转换器	32
5.5.1 DAC 的基本原理	32

5.5.2	权电阻网络 DAC	33
5.5.3	倒 T 型电阻网络 DAC	34
5.5.4	DAC 的主要参数	36
5.5.5	集成 DAC 及其应用	36
5.5.6	A/D-D/A 转换实验	39
	思考与练习	40
5.6	半导体存储器	41
5.6.1	只读存储器	41
5.6.2	随机存储器	48
	思考与练习	51
5.7	可编程逻辑器件(PLD)	51
5.7.1	PLD 的基本结构和分类	52
5.7.2	PLA 的应用	54
5.7.3	可编程阵列逻辑(PAL)	55
5.7.4	通用阵列逻辑(GAL)	58
	思考与练习	63
	小结	63
	习题	64
第 6 章	信号产生电路	69
	学习目标	69
6.1	直流稳压电源	69
6.1.1	直流稳压电源的基本组成	69
6.1.2	整流电路	70
6.1.3	滤波电路	72
6.1.4	串联型稳压电路	74
6.1.5	过载保护电路	76
6.1.6	直流稳压电源的主要技术指标	77
6.1.7	集成稳压器的应用	78
6.1.8	开关稳压电源	79
6.1.9	直流稳压电路的制作与调试	82
	思考与练习	84
6.2	RC 正弦波振荡器	85
6.2.1	振荡器的基本工作原理	85
6.2.2	RC 正弦波振荡器实例	86
6.2.3	RC 正弦波振荡器的制作与调试	88
	思考与练习	90
6.3	LC 正弦波振荡器	90
6.3.1	互感耦合反馈式正弦波振荡器	90

6.3.2	电感三点式正弦波振荡器	91
6.3.3	电容三点式正弦波振荡器	92
6.3.4	串联改进型电容三点式振荡器	93
6.3.5	并联改进型电容三点式振荡器	94
6.3.6	LC 三点式振荡器的制作与调试	94
	思考与练习	95
6.4	晶体正弦波振荡器	95
6.4.1	振荡器的频率稳定度	96
6.4.2	石英晶体的基本特性	96
6.4.3	并联型晶体振荡器	97
6.4.4	串联型晶体振荡器	98
6.4.5	泛音晶体振荡器	98
	思考与练习	99
6.5	函数信号发生器	100
6.5.1	方波/矩形波信号发生器	100
6.5.2	三角波/锯齿波信号发生器	102
6.5.3	集成函数信号发生器	104
	思考与练习	106
6.6	负阻正弦波振荡器	107
6.6.1	负阻器件的伏安特性	107
6.6.2	负阻振荡器的工作原理	108
	思考与练习	109
	小结	109
	习题	110
第7章	频率变换电路	114
	学习目标	114
7.1	频率变换基本原理	114
7.1.1	非线性元器件特性	114
7.1.2	非线性电路的分析方法	116
	思考与练习	118
7.2	调幅电路	118
7.2.1	概述	118
7.2.2	普通调幅波	121
7.2.3	双边带调幅波	124
7.2.4	单边带和残留边带调幅波	125
7.2.5	调幅电路	126
	思考与练习	133
7.3	检波器	133

7.3.1	概述	134
7.3.2	小信号平方律检波	135
7.3.3	大信号峰值包络检波	137
7.3.4	同步检波器	142
	思考与练习	143
7.4	混频与倍频	143
7.4.1	概述	143
7.4.2	混频器	146
7.4.3	混频器主要技术指标	148
7.4.4	混频干扰与失真	149
	思考与练习	152
7.5	调频电路	153
7.5.1	概述	153
7.5.2	调频信号	154
7.5.3	调频电路	157
	思考与练习	159
7.6	调相电路	159
7.6.1	调相信号	159
7.6.2	调相电路	160
	思考与练习	162
7.7	鉴频器与鉴相器	162
7.7.1	概述	162
7.7.2	鉴频电路	163
7.7.3	鉴相器	166
	思考与练习	167
7.8	频率变换实验	167
7.8.1	调幅	167
7.8.2	同步检波	169
7.8.3	包络检波	170
7.8.4	混频	172
7.8.5	鉴频	173
	小结	174
	习题	176
第8章	反馈控制电路	179
	学习目标	179
8.1	自动增益控制电路	179
8.1.1	概述	179
8.1.2	AGC控制电路工作原理	180

8.1.3	AGC 控制电压的产生	181
8.1.4	AGC 控制电路	181
	思考与练习	182
8.2	自动频率控制电路	182
8.2.1	AFC 系统的工作原理	182
8.2.2	AFC 系统的应用	183
	思考与练习	184
8.3	锁相环路	184
8.3.1	PLL 基本工作原理	184
8.3.2	PLL 基本组成分析	185
8.3.3	PLL 相位模型	188
8.3.4	PLL 捕捉与跟踪过程	188
8.3.5	锁相环路的基本特性	190
8.3.6	集成锁相环路	190
8.3.7	锁相环路的应用	191
	思考与练习	192
	小结	192
附录 A	课程实验	194
附录 B	课程设计	196
	参考文献	201

第5章 逻辑电路

学习目标

1. 掌握逻辑代数的基本公式、基本定律及逻辑函数的表示方法。
2. 能够利用代数法化简简单的逻辑函数,掌握逻辑函数的卡诺图化简法。
3. 掌握组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析方法和设计方法,能够自己设计比较简单的逻辑电路。
4. 了解 ADC 和 DAC 的基本结构、工作原理和应用。
5. 了解只读存储器(ROM)和随机存储器(RAM)的结构、工作原理及特点。
6. 了解可编程逻辑器件(PLD)的种类、结构特点、工作原理及应用。

5.1 逻辑函数基础知识

逻辑代数也叫布尔代数,是分析和研究数字逻辑电路的基本工具。逻辑代数中的变量像普通代数中的变量那样用字母表示。但与普通代数不同的是,逻辑代数的变量只有 0 和 1 两个取值,而且这里的 0 和 1 不表示数值的大小,只表示两种相互对立的逻辑状态。如开关的断开与闭合、灯的亮与灭、电平的高与低、晶体管的饱和导通与截止等。这种二值变量称为逻辑变量。

本节主要介绍逻辑代数的基本运算和基本定律,并在此基础上学习逻辑函数的表示方法及化简法。

5.1.1 逻辑函数的表示方法

一般地,在逻辑电路中,若输入变量 A, B, C, \dots 的取值确定后,输出逻辑变量 Y 的值也惟一确定,则称 Y 是 A, B, C, \dots 的逻辑函数,记作

$$Y = f(A, B, C, \dots) \quad (5.1.1)$$

式中各变量的取值只能是 0 或 1,表示两种不同的状态,没有数量的含义。

逻辑函数常用的表示方法有真值表、逻辑函数表达式、逻辑图、卡诺图和波形图等。

1. 真值表

用来表示输入的变量取值组合与逻辑函数值之间关系的表格,叫真值表。在列真值表之前,首先要对变量进行逻辑赋值,即确定各变量何时为 1,何时为 0。由于每个变量只有 0 和 1 两个取值,因此,当逻辑函数有 n 个变量时,共有 2^n 个不同的变量取值组合。在列真值表时,为避免遗漏,变量取值的组合一般按 n 位二进制数递增的方式列出。用真值表表示逻辑函数的优点是直观、明了,可直接看出逻辑函数值和变量取值之间的逻辑关系。

2. 逻辑函数表达式

逻辑表达式是用与、或、非等基本逻辑运算来表示逻辑函数中各变量之间关系的代数式,例如 $Y = \overline{A}B + A\overline{B}$ 。如上册 1.2 节所述,逻辑表达式一般可由真值表和逻辑图写出。

3. 逻辑图

逻辑图就是用若干个逻辑图形符号连接的图形,一般可根据逻辑函数式画出。在根据逻辑函数式画逻辑图时,只需将式中各逻辑运算用相应的逻辑图形符号代替即可。

4. 卡诺图

卡诺图即最小项方格图,亦即用 2^n 个小方格来表示 2^n 个最小项(最小项概念已在 1.2 节给出),并按一定顺序排列而成的图形。

5. 波形图

波形图也叫时序图,即已知输入变量的波形,根据逻辑关系画出的输出函数的波形。

逻辑函数的几种不同表示方式之间可以互相转换。

例 5.1.1 列出 $Y = AB + \overline{A}C$ 的真值表,并画出逻辑图。

解 (1) 由逻辑表达式列出真值表。

由 Y 的表达式可知,输入变量为 A, B, C , 共有 $2^3 = 8$ 种可能取值组合。将这 8 种组合一一代入逻辑表达式进行计算,求得对应的函数值,填于表 5.1.1 中。

表 5.1.1 例 5.1.1 真值表

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

(2) 由逻辑表达式画出逻辑图,如图 5.1.1 所示。

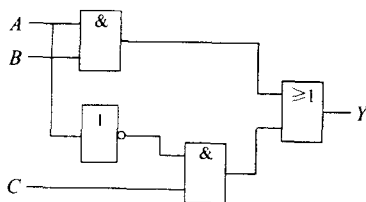


图 5.1.1 例 5.1.1 逻辑图

例 5.1.2 写出表 5.1.2 所示真值表的逻辑表达式。

解 根据真值表,将函数值为 1 的变量组合写成一个与项(最小项),其中变量值为 1

的写成原变量,变量值为0的写成反变量,然后将函数值为1所对应的最小项相加,就得到了相应的逻辑表达式,称为标准“与或”式或最小项表达式。

表 5.1.2 例 5.1.2 真值表

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

由表 5.1.2 可知,对应于函数值为1的与项有4个: $\bar{A}\bar{B}\bar{C}$, $\bar{A}\bar{B}C$, $AB\bar{C}$, ABC ,这4个与项之间为或逻辑关系。因为这4个与项中任意一个为1时,函数值就为1,所以该真值表的逻辑表达式为 $Y=\bar{A}\bar{B}\bar{C}+\bar{A}\bar{B}C+AB\bar{C}+ABC$ 。

例 5.1.3 已知逻辑函数的表达式为 $Y=\bar{A}B+A\bar{B}$,其中输入A,B的波形如图 5.1.2(a)所示,画出输出Y的波形。

解 根据逻辑函数的表达式,可计算出A,B在不同取值时Y的值,从而画出Y的波形,如图 5.1.2(b)所示。

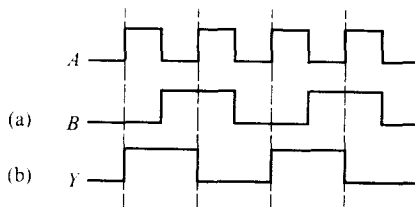


图 5.1.2 例 5.1.3 波形图

实际上,上述表达式表示了逻辑变量之间的异或关系,根据“相同出0,相反出1”的原则,很容易画出Y的波形。

5.1.2 逻辑函数的卡诺图表示法

1. 卡诺图

卡诺图是用 2^n 个方格来表示 n 个变量的 2^n 个最小项,并使在逻辑上相邻的最小项在位置上也相邻。它既可以表示逻辑函数,也可直接化简逻辑函数。

所谓逻辑上相邻,是指两个最小项中只有一个变量为互反变量,其余变量均相同,简称相邻项。如三变量最小项 $\bar{A}\bar{B}\bar{C}$ 和 $A\bar{B}\bar{C}$ 中,A与 \bar{A} 互反, $\bar{B}\bar{C}$ 相同,因此为相邻项。

在卡诺图中,将 n 个变量分为两组,即行变量和列变量,行、列变量的取值顺序必须按

格雷码排列,以保证相邻位置上的最小项的逻辑相邻性。

(1) 二变量的卡诺图 两个变量 A, B 的最小项共有 $2^2=4$ 个,即 $\bar{A}\bar{B}, \bar{A}B, A\bar{B}$ 和 AB ,因此二变量的卡诺图应有 4 个方格,每个方格表示一个最小项,如图 5.1.3 所示。图中 00,01,10,11 分别对应 4 个最小项的取值, m_0, m_1, m_2, m_3 分别表示 4 个最小项的编号。

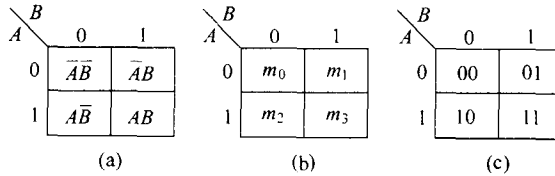


图 5.1.3 二变量的卡诺图

为画图方便,通常在卡诺图的左上角标注变量,左边和上边标注对应的变量取值,变量二进制码的数值为最小项的编号。

(2) 三变量的卡诺图 三变量 A, B, C 的卡诺图共有 $2^3=8$ 个方格,其左侧(列变量)为 A 的取值,顶部(行变量)为 B, C 的取值, B, C 的 4 种可能取值按 00,01,11,10 即格雷码的排列顺序排列,如图 5.1.4 所示。

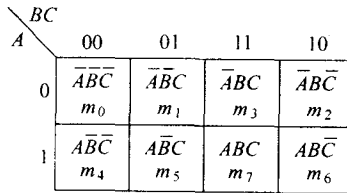


图 5.1.4 三变量的卡诺图

由图 5.1.4 可知,任意两个位置上相邻的最小项在逻辑上是相邻的,同一行两端方格里的最小项也是相邻的,它表明了卡诺图的循环相邻性。

(3) 四变量卡诺图 四变量 A, B, C, D 的卡诺图共有 $2^4=16$ 个方格,它的列变量 A, B 和行变量 C, D 的取值也是按 00,01,11,10 的顺序排列的,如图 5.1.5 所示。

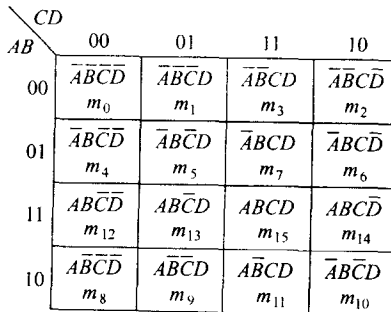


图 5.1.5 四变量的卡诺图

由图 5.1.5 可看出,任意位置上相邻的最小项在逻辑上相邻,同一行或者同一列首尾方格里的最小项在逻辑上也是相邻的。

卡诺图的优点是,它使所有逻辑上相邻的最小项在图中的位置上也相邻,便于逻辑函数的化简;其主要缺点是,随着变量数目的增多,图形迅速复杂化,因此逻辑变量在 5 个以上时,很少使用卡诺图。

2. 逻辑函数的卡诺图表示法

由于任何一个逻辑函数都能写成若干个最小项之和的形式(最小项表达式),而每一个最小项在卡诺图中都有相应的位置,因此,可以用卡诺图来表示逻辑函数。具体做法是:先把逻辑函数化成最小项表达式,然后在卡诺图上把式中各最小项所对应的方格内填入 1,其余方格内填入 0(也可不填),就得到了该逻辑函数的卡诺图。

例 5.1.4 画出逻辑函数 $Y = \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$ 的卡诺图。

解 该逻辑函数为最小项表达式,即

$$\begin{aligned} Y &= \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC \\ &= m_0 + m_1 + m_6 + m_7 \end{aligned}$$

式中共有 3 个变量,包含 4 个最小项,分别为 $\bar{A}\bar{B}\bar{C}$ 、 $\bar{A}\bar{B}C$ 、 $AB\bar{C}$ 和 ABC ,对应的变量取值分别为 000、001、110 和 111。其卡诺图应有 8 个格,在上述 4 个最小项所对应的方格中填 1,其余方格填 0 或不填。该逻辑函数的卡诺图如图 5.1.6 所示。

		BC			
		00	01	11	10
A	0	1	1	0	0
	1	0	0	1	1

图 5.1.6 例 5.1.4 卡诺图

例 5.1.5 画出表 5.1.3 所示逻辑函数的卡诺图。

表 5.1.3 例 5.1.5 函数真值表

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

解 在卡诺图中,将真值表中函数值为1的变量组合所对应的最小项的方格填入1,其他方格填入0(或不填),即得出该函数的卡诺图(如图5.1.7所示)。

	BC	00	01	11	10
A	0	1	0	1	0
1		0	1	1	1

图 5.1.7 例 5.1.5 卡诺图

5.1.3 逻辑代数的基本公式和基本定律

根据逻辑变量的取值(0或1)及逻辑变量的运算法则,可推导出逻辑函数的基本公式和定律。利用这些公式和定律可化简逻辑函数。

1. 基本公式

与运算: $A \cdot 1 = A$ $A \cdot 0 = 0$ $A \cdot A = A$ $A \cdot \bar{A} = 0$ (5.1.2)

或运算: $A + 1 = 1$ $A + 0 = A$ $A + A = A$ $A + \bar{A} = 1$ (5.1.3)

2. 基本定律

交换律: $A + B = B + A$ (5.1.4)

$$A \cdot B = B \cdot A \quad (5.1.5)$$

结合律: $(A + B) + C = A + (B + C)$ (5.1.6)

$$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C) \quad (5.1.7)$$

分配律: $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$ (5.1.8)

$$A + BC = (A + B)(A + C)$$

反演律(狄·摩根定律): $\overline{A+B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$ (5.1.9)

$$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B} \quad (5.1.10)$$

以上公式的正确性可用真值表证明,若公式两边真值表相等,则证明等式成立。例如,用真值表证明式反演律 $\overline{A+B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$,如表5.1.4所示。

表 5.1.4 $\overline{A+B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$ 的证明

A	B	$\overline{A+B}$	$\bar{A} \cdot \bar{B}$
0	0	1	1
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0

摩根定律可推广到多个变量,即

$$\begin{cases} \overline{A+B+C+\dots} = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \dots \\ \overline{A \cdot B \cdot C \dots} = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \dots \end{cases}$$

3. 常用公式

$$(1) \quad \overline{AB+AB}=A \quad (5.1.11)$$

证明 $AB+A\bar{B}=A(B+\bar{B})=A$

$$(2) \quad A+AB=A \quad (5.1.12)$$

证明 $A+AB=A(1+B)=A$

$$(3) \quad A+\bar{A}B=A+B \quad (5.1.13)$$

证明 $A+\bar{A}B=(A+\bar{A})(A+B)=A+B$

$$(4) \quad AB+\bar{A}C+BC=AB+\bar{A}C \quad (5.1.14)$$

证明 左式 $=AB+\bar{A}C+BC(A+\bar{A})$
 $=AB+\bar{A}C+ABC+\bar{A}BC$
 $=AB(1+C)+\bar{A}C(1+B)$
 $=AB+\bar{A}C$

该式可推广为 $AB+\bar{A}C+BCD=AB+\bar{A}C$ 。

4. 逻辑代数的三个重要规则

(1) 代入规则 在任何一个逻辑等式中,若将等式两边的某一变量都用同一个逻辑函数式来代替,则等式仍成立。这个规则称为代入规则。引入代入规则,可扩大基本公式、基本定律的应用范围。

例 5.1.6 已知 $A+\bar{B}=\bar{A}\cdot\bar{B}$,证明用 $B+C$ 代替 B 后,等式仍成立。

证明 左式 $=\bar{A}+(B+C)=\bar{A}\cdot(B+C)=\bar{A}\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}$

右式 $=\bar{A}\cdot(B+C)=\bar{A}\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}$

(2) 反演规则 对于任意一个逻辑函数表达式 Y ,在求其反函数时,只需将 Y 中所有的“ \cdot ”换成“ $+$ ”,“ $+$ ”换成“ \cdot ”,“ 0 ”换成“ 1 ”,“ 1 ”换成“ 0 ”,原变量换成反变量,反变量换成原变量,便可求出函数 Y 的反函数 \bar{Y} 。

例 5.1.7 求逻辑函数 $Y=\bar{A}B+A\bar{B}$ 的反函数。

解 $\bar{Y}=(A+\bar{B})\cdot(\bar{A}+B)=\bar{A}\bar{B}+AB$

应用反演规则时应注意以下问题。

(1) 变换后的运算顺序要保持变换前的运算优先顺序不变。

(2) 规则中反变量换成原变量只对单个变量有效,当反号下面包含两个或两个以上变量时,反号应保留不变。

(3) 对偶规则 对于任何一个逻辑函数表达式 Y ,若将 Y 中的“ \cdot ”换成“ $+$ ”,“ $+$ ”换成“ \cdot ”,“ 0 ”换成“ 1 ”,“ 1 ”换成“ 0 ”,就可得到一个新的表达式,称为 Y 的对偶式,记为 Y' 。这就是对偶规则。

例 5.1.8 求逻辑函数 $Y=(A+\bar{B})(A+C)$ 的对偶式。

解 $Y'=A\bar{B}+AC$

5.1.4 逻辑函数的代数化简法

在进行逻辑设计时,由实际问题得出的逻辑函数式往往不是最简形式,对逻辑函数进行化简和变换,可得到所需要的最简逻辑函数式,设计出最简的逻辑电路。这对于节省元件、降低成本、提高系统的可靠性以及提高产品的市场竞争力是十分重要的。