



教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

计算机组成原理 实验指导书

王 诚 宋佳兴 董长洪 编著



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

计算机组成原理实验指导书

王 诚 宋佳兴 董长洪 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是中央广播电视大学开放教育计算机科学与技术专业计算机组成原理教材的配套用书。全书共分 7 章。其中,第 1 章简要介绍逻辑代数和常用逻辑器件;第 2 章到第 4 章主要介绍教学计算机硬件系统的实际组成与设计技术,包括教学计算机的指令系统、中央处理器(CPU)、存储器子系统和输入/输出(I/O)子系统;第 5 章介绍教学计算机软件子系统的组成和使用;第 6 章是教学实验安排与要求;第 7 章介绍了教学计算机微程序控制器。

本书可以作为高等院校计算机及相关专业计算机组成原理课程的实验指导教材,也可供从事与计算机领域相关的生产、科研人员参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

CS144-54

书 名: 计算机组成原理实验指导书

作 者: 王 诚 宋佳兴 董长洪 编著

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 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: 787×1092 1/16 **印张:** 10.75 **字数:** 245 千字

版 次: 2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05192-5/TP·3045

印 数: 0001~8000

定 价: 13.00 元

序

我们正处在跨越世纪的门槛上,人类社会在一股股变革性力量的推动下发生着根本性的变化。知识经济时代的到来向我们显示,一个国家最重要的资源已经不再是土地、劳动力或资本,而是其国民的知识和创造力;国与国的竞争虽然常常表现为政治、经济或军事实力的较量,但归根到底已是一场教育和科技的竞争。换言之,国家的综合实力将主要由其国民的教育水平来决定。一时间,世界各国的校长们、跨国企业的巨头们乃至许多的政府首脑们都在纷纷议论 21 世纪的教育,以迎接知识经济的挑战。我们中华民族有着蜿蜒几千年的文明,为在世界民族之林重振雄风,再展辉煌,发出了时代的特强音:实施科教兴国,提高全民素质。从中央领导到广大群众,都对教育提出了更高的要求,寄予了更大的希望,同时也给予了更多的支持。人们在这方面的思想观念和实践探索正在以空前的速度发展着。

中国的高等教育已经走完了一个世纪的路程。已经过去的 20 世纪正是它从无到有、从小到大、由产生到发展的一段百年历史。中国人民在短短的数十年时间里构筑了资本主义国家好几百年才形成的高等教育体系,涌现出一批高水平的学校,培养了一大批高层次优秀人才,取得了辉煌的成就。但是在新时期,教育不适应现代化建设需要的矛盾不断显露,我国劳动者受教育水平普遍较低的现象无法面对新世纪的机遇和挑战,我国高等教育的发展现状也难以满足广大人民群众空前强烈的受教育愿望。一代伟人邓小平早在十年前就一针见血地指出,我们的最大失误是教育,一是放松了对青少年的思想道德教育,二是教育规模发展不够快。现在看来,这两个问题依然是症结所在。一个十二亿人口的泱泱大国,高等学校的毛入学率仅 10% 左右,实在很不相称。我国的高等教育已经面临着大力发展、高速发展、从根本上改变落后状态的紧迫问题。

令人欣慰和鼓舞的是中国有一所全世界最大的大学——中国广播电视大学,上百万的学生遍布在九百六十万平方公里的辽阔土地上。它突破传统教育在空间上的限制,不断减弱时间上的束缚,以覆盖面广、全方位为各类社会成员提供教育服务的优势,成为中国高等教育体系中的一个重要组成部分。二十多年来,它为实现高等教育大众化,为提高我国劳动者的整体素质,为变巨大的人口包袱为巨大的人力资源,以形成浩浩荡荡的高水平建设大军,发挥了不可磨灭的作用。最近,中央电大又有重大改革举措,进一步面向社会开展了“开放教育”等项试点工作,在教育思想、招生对象、培养模式、管理机制方面进行新的探索。尤其引人注目的是中央电大与国内的一些重点高校形成了紧密的合作关系,携手为我国现代远程教育开拓新路。重点高校有学科和教学上的优势,它们的加盟有利于电大提高教学质量、办出特色;而中央电大有很丰富的教育资源,有完整的办学系统,有一支富有经验的教学与管理队伍,特别是有较强的社会服务意识和人才市场意识,这对于需要进一步向社会开放的普通高校而言,又有许多值得学习和借鉴之处。我们完全有理由相信,中央电大和重点高校的结合,不仅可以在现阶段实现优势互补、资源共享,而且有

可能成长出一种符合我国国情发展教育的最具潜力的新型教育模式。

现在摆在我们面前的这套中央广播电视大学本科(专科起点)“计算机科学与技术”专业教材,就是中央电大和清华大学合作的产物。在开放教育试点启动之际,在计算机及其网络技术日新月异、其爆炸式发展和神话般应用使人们眼花缭乱、不知所措之时,在我国至少缺乏数十万计算机软件及网络技术人才的当口,这套教材像雪里送炭,像清风送爽,终于在人们的企盼和惊喜中问世了。它确实及时和解渴。教材的编者是清华大学计算机系一批学术水平高、教学经验丰富的教授,他们以知识、能力和素质的全面训练为目标,将教材的先进性、实用性和可读性融为一体。教材纲目清楚,重点突出,深入浅出,便于自学。书中每章有小结,章章有习题,有的还配有实验指导和习题解答,不仅对计算机专业学生适用,其他专业的学生也可以从此入门。清华大学的老师们还准备为这套教材制作多媒体导读光盘和网络辅导教材,指明教学基本要求,区分应该熟练掌握和只需一般了解的内容,并进行重点难点分析和讲解。这全套的教材称得上是难得的好书。

对于中国广播电视大学我是颇有感情的,不只是因为它过去的功绩和带给人们未来的曙光,还因为我本人二十年前也曾参与过中央电大《电子技术基础》课程的教学工作。那时我收到许多电大学生热情洋溢的来信,强烈感受到他们对知识与教育的渴求,感受到他们学习的艰辛和坚韧不拔的毅力,同时也感受到了广大学生对我的信任和鼓励。当年的电大学生如今多数已成为我国经济建设和社会发展中的骨干,一些人后来获得了博士学位,有的已成为我国重点大学的教授。中央电大的成功实践已在社会上赢得了很好的声誉,而当前扩大教育规模、构建终身学习体系的社会呼唤又给电大今后的发展提供了新的难得的机遇。近年来,信息网络与多媒体技术突飞猛进,也使电大的远程教育形式跃上了现代化的新台阶。这次中央电大和清华大学合作,共同在计算机专业开放教育改革试点中付出了辛勤的劳动,播下了希望的种子。我期待着中央电大有更多的创新,更大的发展,更加充满活力。我也殷切希望电大的学生们为中华民族的强盛而自强不息,学有所成。

努力吧,中国广播电视大学一定能成为中国教育界一颗璀璨的明珠。

清华大学副校长、教授 胡东成

2000年8月于北京

前 言

本书是中央广播电视大学教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材之一——计算机组成原理的配套实验用书,其教学机实验装置是清华大学计算机系自行研制的TEC-2000教学计算机系统。TEC-2000是为大学本科和专科计算机组成原理课程的授课和教学实验而研制的硬件、软件组成相对完整的实验计算机系统的系列产品。(TEC-2000教学计算机系统的鉴定意见详见附录B)

本书有以下两个突出的特点:一是本书突出TEC-2000教学计算机系统组成与设计内容的系统性与完整性,文字与图纸资料齐全,提供了可编程器件的逻辑内容和主要软件的源程序清单。本书虽然主要是针对清华大学出版社出版的《计算机组成原理》教材(王诚主编)的教学要求编写的,但是也适用于选用其他教材、又要使用清华大学计算机系研制的TEC-2000教学计算机系统完成教学实验的教学单位。除了本书之外,我们还为使用TEC-2000教学计算机系统的实验辅导教师提供非正式出版的内部参考资料。

二是与本书配套使用的还有我们专门研制的供教师使用的电子版教学课件(清华大学音像出版社出版)。此课件由两部分内容组成,包括课堂授课用的教学课件,以及主要教学重点难点内容的动画和实验演示课件。这样既能够大大减轻主讲与实验教师的工作负担,又有利于提高授课水平和教学质量。动画和实验演示课件对深入理解所学知识,拓展学生的知识面,培养学生的创新意识和设计能力大有益处。

TEC-2000教学计算机系统的硬件子系统的组成相对完整,支持在同一块主板上组装成8位或16位两种字长的不同机型,支持微程序和组合逻辑两种控制器。该机的指令系统、CPU系统、存储器、总线与输入输出系统等完全自主设计,并具有良好的可修改与可扩展性,使教学计算机系统有着更强的实验性能和更多的应用场合,对培养学生建立整机概念、提高实验动手能力和创新意识起着非常重要的作用。

TEC-2000教学计算机系统的软件子系统的组成精简实用,实现了监控程序、交叉汇编程序、仿真终端程序,保证了教学计算机系统硬软件组合的完整性、配置的合理性、更好的实用性,符合当今计算机研究和教育发展的新潮流。

TEC-2000教学计算机系统支持的实验项目比较多,实验规模大,实验技术层次高,并编写了完整、详细的实验指导书,以及实验指导教师用书。把教学计算机系统的设计、实现,与配套的文字教材、教学课件等统筹安排,配合使用,达到三位一体的良好效果,为提高计算机组成原理课程的教学质量和水平奠定了坚实的基础。

本书的第1章由董长洪副教授编写,第2章到第5章由王诚教授编写,第6章和第7章由宋佳兴讲师编写,王诚对全书进行了统编与审查。作者都有多年从事有关计算机硬

件和软件的教学、科研工作经历。在本书的编写过程中,得到清华同方教学仪器公司的杨春武、许嘉林和冯堃等人的协助,在此表示衷心的感谢。

由于时间和作者水平所限,本书中可能有不当之处,欢迎广大读者惠予批评指正。

作 者

2001 年 12 月于清华园

目 录

序	I
前言	III
第 1 章 逻辑代数和教学计算机中的逻辑器件	1
1.1 逻辑代数基础	2
1.1.1 基本逻辑运算与基本逻辑门电路	2
1.1.2 基本定理、常用公式和基本规则	4
1.1.3 逻辑函数的化简	5
1.1.4 逻辑设计举例	6
1.2 组合逻辑电路	8
1.2.1 基本逻辑门	8
1.2.2 三态门	8
1.2.3 数据选择器	10
1.2.4 译码器和编码器	10
1.3 时序逻辑电路	12
1.3.1 基本 R-S 触发器	12
1.3.2 D 型触发器与寄存器、计数器器件	13
1.3.3 启停控制电路	18
1.4 GAL 器件及其编程	20
1.4.1 现场可编程器件概述	20
1.4.2 通用可编程器件 GAL20V8	21
1.5 MACH 器件	28
1.5.1 MACH 器件的性能和特点	28
1.5.2 MACH4 的基本结构和性能	29
1.5.3 MACH 器件的编程	35
1.6 专用功能器件和存储器芯片的引脚图	36
第 2 章 TEC-2000 教学计算机系统概述	39
2.1 TEC-2000 教学计算机系统的研制目标	39
2.2 TEC-2000 教学计算机系统的硬件、软件组成	40
2.2.1 教学计算机硬件子系统的组成	40
2.2.2 教学计算机软件子系统的组成	41
2.3 TEC-2000 教学计算机系统的技术指标与系统配置	42
2.4 TEC-2000 教学计算机系统支持的实验项目	43

2.4.1	基本实验项目	43
2.4.2	其他实验项目	45
第3章	TEC-2000 8 位教学计算机指令系统	47
3.1	TEC-2000 8 位教学计算机指令系统综述	47
3.1.1	指令分类	47
3.1.2	指令格式及功能说明	48
3.1.3	TEC-2000 8 位教学计算机指令汇总表	52
3.2	教学计算机的简单汇编程序设计举例	54
第4章	TEC-2000 教学计算机硬件系统的基本组成与实现	57
4.1	TEC-2000 教学计算机硬件系统的总线构成	57
4.2	启停控制线路	58
4.3	运算器部件	59
4.3.1	Am2901 芯片的结构和功能	59
4.3.2	教学计算机运算器部件的设计与实现	62
4.4	组合逻辑控制器部件	67
4.4.1	组合逻辑控制器部件的硬件组成	68
4.4.2	8 位教学计算机的指令执行流程图	71
4.4.3	8 位教学计算机的指令执行流程表	73
4.4.4	8 位教学计算机可编程器件内容	86
4.5	主存储器部件	104
4.6	串行 I/O 接口	105
4.7	中断线路	106
4.7.1	中断线路的设计原理	106
4.7.2	中断处理在教学计算机中的具体实现	110
4.8	TEC-2000 教学计算机使用简要说明	112
第5章	TEC-2000 8 位教学计算机软件系统	116
5.1	监控程序	116
5.2	仿真终端程序 PCEC	117
5.3	交叉汇编程序 ASEC	118
5.3.1	交叉汇编程序使用说明	119
5.3.2	交叉汇编程序设计说明	122
第6章	TEC-2000 8 位教学计算机实验指导	125
6.1	基础汇编语言程序设计实验	125
6.2	脱机运算器部件实验	128

6.3	组合逻辑控制器部件教学实验	129
6.4	内存存储器部件实验	131
6.5	I/O 接口扩展实验	132
6.6	中断实验	133
第 7 章	TEC-2000 教学计算机微程序控制器	134
7.1	微程序控制器的基本组成与实现	134
7.1.1	微程序定序器 Am2910 芯片的组成与功能	134
7.1.2	教学计算机微程序控制器的实现	138
7.2	8 位教学计算机微程序入口地址映射表	142
7.3	8 位教学计算机微程序控制器可编程器件逻辑表达式	143
7.3.1	SCC GAL 器件逻辑表达式	143
7.3.2	GAL1 至 GAL7 器件逻辑表达式	143
7.4	8 位教学计算机基本指令微程序流程图	145
7.5	8 位教学计算机基本指令微程序表	147
7.6	8 位教学计算机微程序控制器实验	150
附录 A	TEC-2000 教学计算机系统的总体框图与功能部件逻辑图	153
附录 B	TEC-2000 教学计算机系统鉴定意见	159
参考文献		160

第 1 章 逻辑代数和教学计算机中的逻辑器件

本章教学内容是为配合讲解 TEC-2000 教学计算机系统实例而安排的。简要介绍逻辑代数、数字逻辑电路设计与逻辑化简的入门性知识,给出了教学计算机中用到的各种器件的内部逻辑组成、实现的功能和器件引脚图,包括以下 5 个部分的近 30 个型号的器件。

属于基本组合逻辑电路的逻辑器件有如下 4 类:

- (1) 简单组合逻辑门电路中,列出了 SN74LS00、SN74LS04、SN74LS08 三种器件;
- (2) 三态门电路中,列出了 SN74LS240、SN74LS244、SN74LS245 三种器件;
- (3) 数据选择器电路中,列出了 SN74LS257 器件;
- (4) 译码器和编码器电路中,列出了 SN74LS138、SN74LS139、SN74LS148 三种器件。

属于时序逻辑电路的逻辑器件有如下 3 类:

- (1) 基本 R-S 触发器;
- (2) D 型触发器和由它构成的寄存器、锁存器、计数器电路,列出了 SN74LS273、SN74LS374、SN74LS377、SN74LS373、SN74LS161 五种器件;
- (3) 作为很典型的时序逻辑电路,本节还介绍启停控制电路 SN74LS120 器件,并参照其功能,用现场可编程器件 GAL20V8 实现的一个启停控制电路的例子。

属于可以运行于组合逻辑,也可以运行于时序逻辑的现场可编程器件有如下 2 种:

- (1) 小容量的 GAL20V8 器件;
- (2) 高集成度大容量的 MACH-4 器件。

本章重点讲解这两类器件的内部逻辑组成、外部引脚图、编程的逻辑表达式文件设计,对得到的 PLD 文件的编译,对 JED 文件内容的编程写入等内容。

属于具有一定处理功能的部件一级的芯片,有以下 4 种:

- (1) 位片结构的运算器芯片 Am2901;
- (2) 微程序控制器用到的产生微下地址的芯片 Am2910;
- (3) 通用串行接口芯片 INTEL8251;
- (4) 通用并行接口芯片 INTEL8255。

属于静态存储器的器件,有以下 4 种:

- (1) 2K * 8bit 随机读写的存储器芯片 6116;
- (2) 4K * 8bit 用紫外线擦除的只读存储器芯片 2732;
- (3) 8K * 8bit 用紫外线擦除的只读存储器芯片 2764;
- (4) 8K * 8bit 通过电擦除的只读存储器芯片 28C64(58C65 与 28C64 兼容);

本章只是给出它们的引脚图,以方便查阅。

1.1 逻辑代数基础

逻辑代数又称为布尔代数,是分析和设计数字电路的一种数学工具,是学习数字电路的基础。逻辑代数中输出逻辑与输入逻辑变量之间的对应的关系称为逻辑函数,逻辑函数通常可以采用真值表、逻辑表达式、逻辑图和卡诺图4种方法来表示。逻辑函数通常需要化简,常用的化简方法是公式化简法、图解化简法和表格化简法。

1.1.1 基本逻辑运算与基本逻辑门电路

逻辑代数处理的是输出逻辑变量和输入逻辑变量之间的对应关系即逻辑函数,就是通过对输入逻辑变量执行逻辑运算来得到输出逻辑变量的值。逻辑变量只有“0”和“1”两个取值,用来表示逻辑命题的假和真两个状态,逻辑变量的两个取值“0”和“1”没有任何数量上的概念。

在数字电路中,输出信号与输入信号之间构成一种因果关系,它们的高电位与低电位状态一般采用逻辑代数中的“1”和“0”表示,因此,数字电路实现的功能可以用逻辑关系即逻辑函数来描述。逻辑代数中最基本的逻辑运算是“与”、“或”和“非”三种,数字电路中正好有“与门”、“或门”和“非门”三种电路实现这三种最基本的逻辑运算功能。

1. “与”运算和“与门”电路

定义:如果仅在全部的输入条件都具备(均为真)时,函数的输出才成立(为真),则这种关系为“与”逻辑关系,可以用数字电路中的“与门”实现这种逻辑运算。

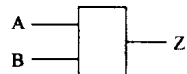
表达式:

$$Z = A \cdot B$$

真值表:

A	B	$Z = A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

逻辑门电路:



表达式 $Z = A \cdot B$ 也可写成 $Z = AB$ 。逻辑表达式可以通过真值表的内容直接写出来。

给出真值表的内容,是表示一个逻辑关系的通用办法。具体的完成过程是:把 n 个输入逻辑变量可能的全部组合状态(2^n 种)与每种状态下的输出逻辑变量的取值情况填写在表格中。例如,此处的 A 和 B 为输入逻辑变量, Z 为输出逻辑变量,其输出和输入的逻辑关系为“与”运算,结果已给出在表中。

依据真值表的内容写出相应的逻辑表达式主要有两个方法:

(1) 把输出变量中取值为1的一行中的输入变量的状态“与”起来表明这一行的逻辑关系;

(2) 把输出变量中取值为1的每行的逻辑关系“或”在一起来表明该表中完整的逻辑关系。

例如,此处的输入变量数为 2,可构成 4 种组合状态,仅在输入变量状态组合为 11 时,输出变量 Z 才为 1,故相应的逻辑表达式为 $Z = A \cdot B$ 。

上述方法通用于各种逻辑运算关系。

2. “或”运算和“或门”电路

定义:如果在全部的输入条件中只要有一个具备(为真)时,函数的输出就成立(为真),则这种关系为“或”逻辑关系,可以用数字电路中的“或门”实现这种逻辑运算。

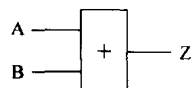
表达式:

$$Z = A + B$$

真值表:

A	B	$Z = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

逻辑门电路:



3. “非”运算和“非门”电路

“非”运算是逻辑否定,或称逻辑求反。非运算函数的输出是其输入条件的取反,可以用数字电路中的“非门”(又称反相器)实现非运算。

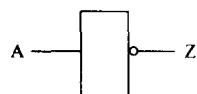
表达式:

$$Z = \bar{A}$$

真值表:

A	$Z = \bar{A}$
0	1
1	0

逻辑门电路:

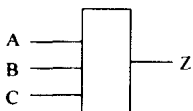


以上“与”和“或”逻辑运算,可以推广到三个或更多输入变量的情况,下面我们仅列出逻辑表达式和逻辑符号,例如:

逻辑表达式:

$$Z = A \cdot B \cdot C$$

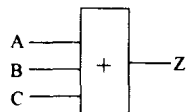
逻辑符号:



逻辑表达式:

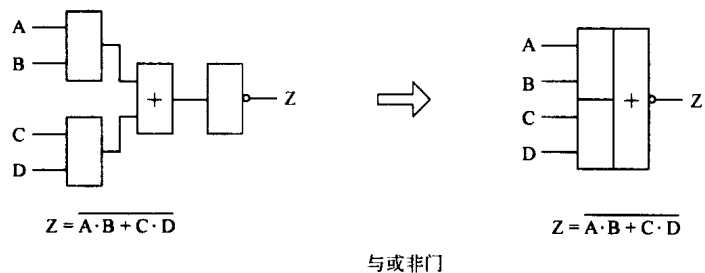
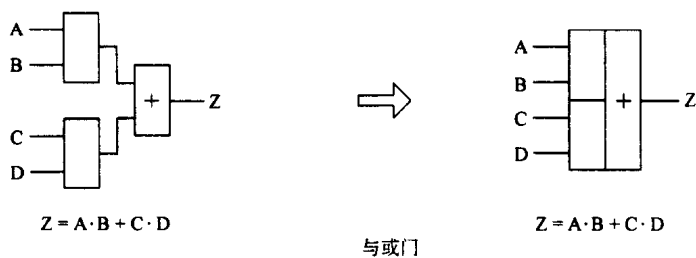
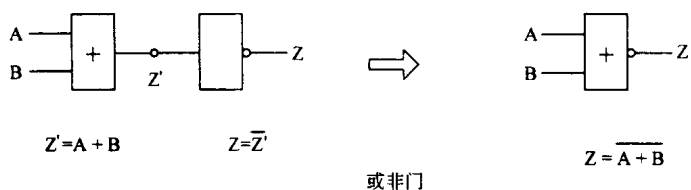
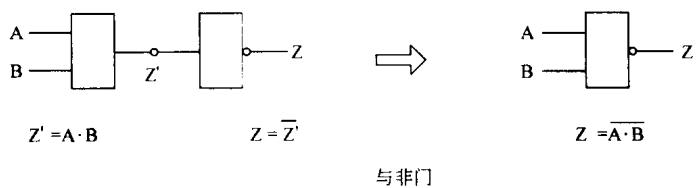
$$Z = A + B + C$$

逻辑符号:



有了这三种基本运算,用它们就可以组合成“与非”、“或非”和“与-或(非)”等常用的逻辑运算,以及其他复杂的逻辑运算。注意:“或”运算和“与”运算存在运算顺序关系,“与”运算优先于“或”运算。例如,逻辑函数 $A \cdot B + C \cdot D$ 的运算顺序为:先计算 A 和 B 的“与”,再计算 C 和 D 的“与”,最后完成两个与运算结果的“或”才得到最终运算结果。

由“与门”和“非门”组成的“与非”门、由“或门”和“非门”组成的“或非门”以及“与门”、“或门”(和“非门”)组成的“与-或(非)”门的电路和符号如下所示。



1.1.2 基本定理、常用公式和基本规则

下面简要介绍逻辑代数运算中经常用到的基本定理、常用公式和基本规则。

1. 基本定理和常用公式

$$A + 0 = A \quad A \cdot 0 = 0 \quad A = \overline{\overline{A}}$$

$$A+1=1 \quad A \cdot 1=A$$

$$A+A=A \quad A \cdot A=A$$

$$A+\bar{A}=1 \quad A \cdot \bar{A}=0$$

$$\text{交换律} \quad A+B=B+A$$

$$A \cdot B=B \cdot A$$

$$\text{结合律} \quad (A+B)+C=A+(B+C)$$

$$(AB)C=A(BC)$$

$$\text{分配律} \quad A(B+C)=AB+AC$$

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

$$\text{吸收律} \quad A+AB=A$$

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

$$A+\bar{A}B=A+B$$

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

反演律(德·摩根律)

$$\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$$

$$\overline{A+B}=\bar{A} \cdot \bar{B}$$

上述定理和公式可以直接用公理和前面的定理证明,例如:吸收律 $A+AB=A$ 的证明,先利用分配律,原式的左边就为 $A(1+B)$,再利用公理 $1+A=1$ 和 $A \cdot 1=A$,就证明了吸收律。当然,它们都可以用真值表证明,即看表达式两边的真值表是否一致,一致则定理或常用公式成立,反之,则不成立。

2. 基本规则

(1) 代入规则:任何一个含有变量 X 的逻辑等式,如果将等式两边所有出现 X 位置都代之以一个逻辑函数,则该等式仍然成立。

例如等式 $A+1=1$,将 A 代之以函数 $C+D$,即 $C+D+1=C+(D+1)=C+1=1$,则 $C+D+1=1$ 仍然成立。

(2) 反演规则:将逻辑函数 F 中所有的变量取反,并将函数中的“+”变成“ $\cdot$ ”、“ $\cdot$ ”变成“+”,“0”变成“1”、“1”变成“0”,即可求得其反函数 $\bar{F}$ 。

例如等式 $F=A+B \cdot \bar{C}$,则它的反函数为 $\bar{F}=\bar{A} \cdot (\bar{B}+C)$ 。用此规则很容易求出一个函数的反函数。

注意:在使用反演规则时,必须保持原有的运算顺序不变,必要时可以加括号。

(3) 对偶规则:某一逻辑等式 Z ,如果把该等式中的“+”变成“ $\cdot$ ”、“ $\cdot$ ”变成“+”,“0”变成“1”、“1”变成“0”,就可以求得一个新的逻辑等式 Z' ,并称 Z' 为 Z 的对偶式。当某一逻辑等式成立时,则它的对偶式也成立。

注意:在使用对偶规则时,也需要保持原有的运算顺序不变。

上述三个基本规则是逻辑代数中非常重要的规则,可以依据这三个规则由已有的恒等式推出更多的恒等式。

1.1.3 逻辑函数的化简

一般来说,如果一个逻辑函数的表达式比较简单,则实现这个逻辑表达式所需要的电路元件就比较少,这样既节约了器材,提高了电路的可靠性,也有利于缩短信号的传输延迟时间。因此,在设计逻辑电路时,对逻辑表达式的化简是必不可少的操作步骤。

1. “与-或”式

在逻辑代数中,“与-或”式是最常见的一种表达式。在逻辑表达式中逻辑变量的与运算称为与项,与项之间的或运算称为“与-或”式。比如:GHJ、 $\overline{G}H$ 都是与项,而 $GHJ + \overline{G}H$ 、 $GH + HJ + JG$ 就是“与-或”式。

2. 最简的含义

由于一个逻辑函数所对应的逻辑表达式不是唯一的,因此,对于繁简程度不同的表达式,实现它的电路也各不相同。如果表达式“简单”,所用的电路元件就少。对于不同类型的表达式而言,“简单”的标准也各不相同。对于常见的与-或表达式,“最简”的含义是指该表达式中与项的个数最少,而且在此条件下,每个与项所含的变量个数也最少。例如:

$$\begin{aligned} L &= AB + \overline{A}C + \overline{B}C && (\text{含 3 个“与”项}) \\ &= AB + \overline{A}BC && (\text{含 2 个“与”项,但其中一个“与”项含 3 个变量}) \\ &= AB + \overline{A}\overline{B} + \overline{C} && (\text{含 3 个“与”项}) \\ &= 1 && (\text{恒值 1}) \end{aligned}$$

3. “与-或”式的化简

逻辑函数的化简有三种方法:公式化简法、卡诺图(Karnaugh map)化简法和表格化简法。卡诺图化简法也称为图解化简法,表格化简法也称为 Q-M(Quine-McCluskey)化简法。公式化简法是利用逻辑代数的基本定理、常用公式和规则来达到化简的目的。例如,

合并项法:利用 $AB + A\overline{B} = A$,两项合为一项。

消去法:利用 $A + \overline{A}B = A + B$,消去多余因子。

配项法:配因子,先展开再化简。

$$\begin{aligned} A(B + C) + \overline{B}C &= AB + AC + \overline{B} + \overline{C} \\ &= AB + \overline{B} + AC + \overline{C} \\ &= A + \overline{B} + A + \overline{C} \\ &= A + \overline{B} + \overline{C} \\ &= A + \overline{B}C \end{aligned}$$

吸收法:利用 $A + AB = A$,吸收多余的项。

1.1.4 逻辑设计举例

本节介绍一位加法器逻辑电路的设计过程。加法器是计算机内完成算术运算功能的部件,对学习逻辑设计而言,加法器逻辑线路设计过程具有典型性。其设计过程由如下三步组成:

- (1) 写出加法器逻辑的真值表;
- (2) 由真值表推导出对应的逻辑表达式;
- (3) 对得到的逻辑表达式进行化简或优化,以便选用基本逻辑门电路实现加法器。

如果仅考虑两个二进制数本身加减,而不考虑高低位之间的进位关系时,此时的加法器被称为半加器,其设计过程如下:

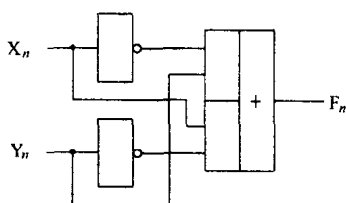
(1) 依据半加器的运算功能, 写出它的逻辑真值表。 X_n 和 Y_n 是参加相加的 2 个数, F_n 是相加的和。

X_n	Y_n	F_n
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(2) 依据真值表的内容推导出对应的逻辑表达式:

$$F_n = X_n \bar{Y}_n + \bar{X}_n Y_n = (X_n \oplus Y_n)$$

(3) 用基本的逻辑门电路实现半加器。其逻辑线路为:



如果考虑两个二进制数连同其高低位之间的进位关系时, 此时的加法器被称为全加器, 一位全加器逻辑电路的设计过程如下:

(1) 根据一位全加器的运算功能写出真值表:

X_n	Y_n	C_{n-1}	F_n	C_n
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

(2) 由真值表推出如下逻辑表达式:

$$F_n = \bar{X}_n \bar{Y}_n C_{n-1} + X_n \bar{Y}_n \bar{C}_{n-1} + \bar{X}_n Y_n \bar{C}_{n-1} + X_n Y_n C_{n-1}$$

$$C_n = \bar{X}_n Y_n C_{n-1} + X_n \bar{Y}_n C_{n-1} + X_n Y_n \bar{C}_{n-1} + X_n Y_n C_{n-1} = X_n Y_n + X_n C_{n-1} + Y_n C_{n-1}$$

(3) 用基本逻辑门电路实现一位全加器。其逻辑电路为:

