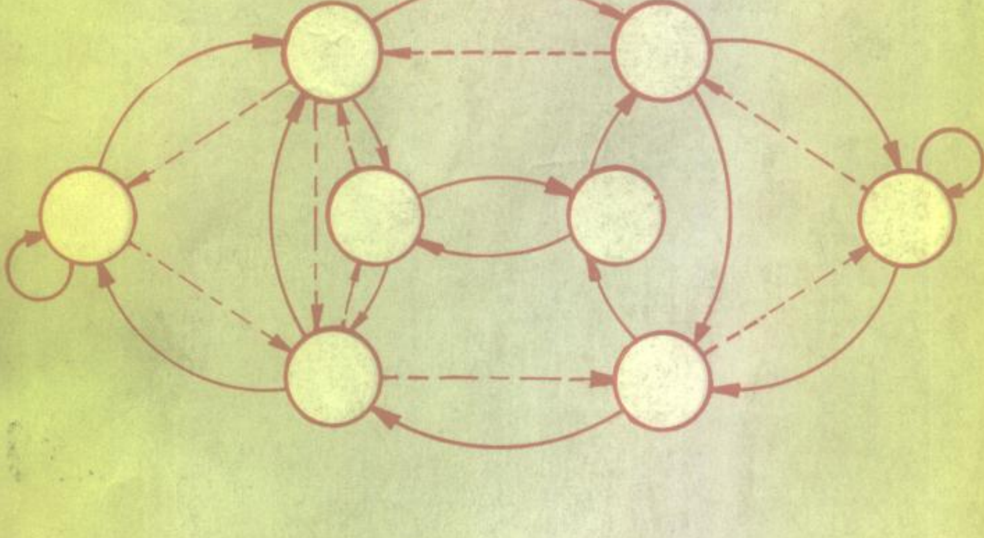
高等学校教学参考书

数字电路的设计与解题技巧

曹汉房 编



高等教育出版社

高等学校教学参考书

数字电路设计与解题技巧

曹汉房 编

高等教育出版社

内容提要

本书系统地归纳了数字电路课程的基本理论、基本概念和分析与设计的基本方法，以及一些简化的工程设计方法，同时也介绍了一些数字电路的基本实验知识。编者结合科研课题中的一些数字电路(系统)和部分高等学校及研究所1981～1986年硕士研究生入学试题，着重分析了数字电路设计与解题技巧。

本书可供高等学校理工科电子类各专业本科生及研究生考生作教学参考书，也可供自学者及数字工程方面的工程技术人员参考。

责任编辑　姚玉洁

高等学校教学参考书
数字电路设计与解题技巧
曹汉房　编

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32　印张14.875　字数350 000
1989年8月第1版　1989年8月第1次印刷
印数00,001—3,645
ISBN 7-04-000016-4/TN·2
定价3.90元

前　言

数字电路是高等学校理工科本科大学生的一门重要技术基础课，也是其它各种层次高等学校学生和自学者的必修课程，在这些不同层次高等学校的教学计划中都占有重要地位；在攻读硕士学位研究生的入学考试中，本课程被许多学科列为考试科目。

编者根据在教学与科研中的点滴体会和学生在课程考试、硕士研究生入学考试中所出现的问题编写了这本书，其目的在于帮助广大学生在学习本课程时，能加深对基本概念的理解和加固对基本方法的掌握，建立清晰的设计思路和解题思路，从而提高设计能力和解题技巧。

本书内容分为五章，第一章介绍数字电路的基础知识，主要是逻辑函数和小规模集成电路的应用；第二、三两章主要介绍分析和设计逻辑电路的各种方法；第四、五两章分别介绍中、大规模集成电路的使用方法和它们的应用。在内容的广度和深度方面比1986年制订的基本要求有所扩充。同时，还选编了编者近年来的部分科研成果，主要有在使用及试用中获得良好效果的数字通信中的码位交织和反交织电路、卫星直播电视接收机中的帧同步电路、公共汽车总站调度控制系统，集中编在§5-4。

本书对本课程中主要内容的基本概念、基本方法、主要公式作了系统的小结，并指出了其中的重点和难点；也总结了部分实验知识。全书的讨论都是结合例题进行的，书中搜集例题共有143例，其中多数选自部分高等学校及研究所1981～1986年的硕士研究生入学试题，其余选自本科生试题及国内外教材中有代表性的习题。对难于理解题意的例题进行了题意分析，指明重点和难点；对

典型例题给出多种解法，以使读者雅俗共赏；对某些例题中的常见错误进行了谬误分析；对某些有代表性的例题给出了设计技巧分析或解题技巧分析，以帮助读者提高设计能力和解题技巧。

本书可作为高等学校理工科各有关专业大学生和其它层次高等学校学生的教学参考书，也可供硕士研究生考生和有关工程技术人员参考。

本书在编写过程中，得到武汉大学张肃文教授、华中工学院康华光教授和高等教育出版社姚玉洁同志的热情帮助和指导；清华大学刘宝琴、夏玲玲，西安交通大学张端，合肥工业大学张幼男，华中工学院李风英、屈万里等同志为编者提供了许多宝贵的材料，在编入本书的部分科研成果的研究过程中，付跃明、鲁昆生同志为作者提供了许多宝贵的资料和热情的帮助，编者在此一并致谢。

本书承蒙清华大学刘宝琴副教授仔细审阅并提出许多宝贵的修改意见，编者致以衷心感谢。

最后，编者还要感谢杨学军、王她笑、李亮等同学，他们认真地阅读了本书的初稿和修改稿，他们的许多有益的意见和好的设计思想都被采纳于本书之中。

由于编者水平有限，书中谬误或不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编　　者

于华中工学院电子与信息工程系

1986.8

目　录

第一章　数字电路基础知识

§1-1　逻辑函数的简化

简化逻辑函数是分析和设计数字电路的基础，代数法和卡诺图法是简化逻辑函数的两种基本方法，对于含有六变量以上的逻辑函数，采用 Q-M 法比较合适。

一、代数法简化逻辑函数

代数法是利用布尔代数的基本定理和运算规则对逻辑函数进行等式变换，以求得最简结果，它要求我们不仅对布尔代数和运算规则有所了解，还要求能够熟练地、综合地运用它们。

布尔代数的常用公式有

自等律	$A\cdot 1=A$	$A+0=A$
互补律	$A\overline{A}=0$	$A+\overline{A}=1$
重叠律	$AA=A$	$A+A=A$
0-1 律	$A\cdot 0=0$	$A+1=1$
吸收律	$A+AB=A$	$A(A+B)=A$
非非律	$\overline{\overline{A}}=A$	
交换律	$AB=BA$	$A+B=B+A$
结合律	$A(BC)=(AB)C$	$A+(B+C)=(A+B)+C$
分配律	$A(B+C)=AB+AC$	$A+BC=(A+B)(A+C)$

用代数法简化逻辑函数，必须先确定简化准则。

1. 简化准则

（1）逻辑函数是以**与**-**或**式（**或**-**与**式）出现，则要求**与**项（**或**项）最少。

（2）在满足第一条准则的条件下，每个**与**项（**或**项）的变量数最少。

用小规模集成电路来实现按该准则简化后的逻辑函数，其逻辑电路将是最简单的。

2. 添加项规则和德·摩根定理的应用

（1）添加项规则

在逻辑函数的**与**-**或**表达式中，有两个**与**项分别包含一个变量及其反变量，则以它们的系数所组成的一个新**与**项添加到逻辑函数表达式中，其值不变；反之，若在逻辑函数的**与**-**或**表达式中，有一个**与**项是另外两个**与**项的添加项，则可将该**与**项消去。例如：

$$F=AB+\bar{A}C=AB+\bar{A}C+BC$$

（2）德·摩根定理

$$\overline{ABC}=\bar{A}+\bar{B}+\bar{C}; \qquad \overline{A+B+C}=\bar{A}\bar{B}\bar{C}$$

上式表明：变量相**与**之**非**等于变量**非**相**或**；或者，变量相**或**之**非**等于变量之**非**相**与**。

德·摩根定理在简化逻辑函数中应用甚广，同时，由它很容易导出求反函数的规则：对于任意一个逻辑函数表达式 F，若将 F 中所有的“·”（一般逻辑表达式中常省略）换成“+”，“+”换成“·”；0 换成 1，1 换成 0；并且将所有变量“取反”，则所得到的逻辑函数表达式就是逻辑函数 F 的反函数 $\bar{F}$。例如：

$$F=A+\overline{B+\bar{C}+\overline{D+\bar{E}}} \quad \text{则} \quad \bar{F}=\bar{A}\,\overline{\bar{B}C\overline{\bar{D}E}}$$

在应用求反函数规则时应注意两点：一要注意运算符号的优先顺序；二要注意不是一个变量上的**非**号应保持不变。

例 1-1 用代数法证明

$$(\overline{\bar{A}+C}+D)\,\overline{(A+\bar{C})(\bar{A}+B)(\bar{B}+C)}=A\bar{C}+\bar{A}BD+\bar{B}CD$$

解 左式$=(A\bar{C}+D)(\overline{A+\bar{C}}+\overline{\bar{A}+B}+\overline{\bar{B}+C})$ （华中工学院1981年试题）

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

$$=A\bar{B}\bar{C}+AB\bar{C}+\bar{A}CD+A\bar{B}D+B\bar{C}D$$

$$=\underset{①}{A\bar{C}}+\underset{②}{\bar{A}CD}+\underset{③}{A\bar{B}D}+\underset{④}{B\bar{C}D}+\underset{⑤}{\bar{B}CD}+\underset{⑥}{\bar{A}BD}$$

$$=A\bar{C}+\bar{B}CD+\bar{A}BD$$

=右式

提示 ⑤是②和③的添加项；⑥是②和④的添加项，所以逻辑式中可加入⑤和⑥两项。②是⑤和⑥的添加项；④是①和⑥的添加项；③是①和⑤的添加项，所以②、③和④三项可以从逻辑式中消去。

例 1-2 用布尔代数公式简化逻辑函数

$$F=A\bar{B}(C+D)+B\bar{C}+\bar{A}\bar{B}+\bar{A}C+BC+\bar{B}\bar{C}\bar{D}$$

（西北电讯工程学院 1983 年试题）

解 1 $F=A\bar{B}C+A\bar{B}D+B+\bar{A}\bar{B}+\bar{A}C+\bar{B}\bar{C}\bar{D}$

$$=AC+AD+B+\bar{A}+\bar{A}C+\bar{C}\bar{D}$$

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

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

$$=1$$

解 2 $F=A\bar{B}\overline{\bar{C}\bar{D}}+B(C+\bar{C})+\bar{A}\bar{B}+\bar{A}C+\bar{B}\bar{C}\bar{D}$

$$=\bar{B}(A\overline{\bar{C}\bar{D}}+\bar{C}\bar{D})+B+\bar{A}\bar{B}+\bar{A}C$$

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

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

$$=1$$

例 1-3 用代数法简化逻辑函数

$$F=AB+B\bar{C}+\bar{A}\bar{B}C+\bar{A}BC+A\bar{B}C$$

（成都电讯工程学院 1982 年试题）

解 $F=B(A+\bar{C})+(A+\bar{A})\bar{B}C+\bar{A}BC$

$$=B\overline{\bar{A}C}+\bar{B}C+\bar{A}BC$$

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

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

$$=B+C$$

3. 对偶规则的应用

(1) 对偶规则

对于任何一个逻辑函数 F,若将 F 中的"+"换成"·","·"换成"+";0 换成 1,1 换成 0,其它变量保持不变,则得到一个新的逻辑函数 F^*,定义 F^* 是 F 的对偶式(注意:非号保留)。

(2) 性质

(a) F 与 F^* 互为对偶式;

(b) 两逻辑函数相等,则其对偶式必然相等。例如,$F=G$,则有 $F^*=G^*$。

例 1-4 用代数法证明

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

(北方交通大学 1981 年试题)

解 1 左式 $=(A+B)(C+\bar{A}B)$

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

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

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

$=$右式

解 2 令 $F=$左式;$G=$右式。因为

$$F^*=AB+\bar{A}C+BC=AB+\bar{A}C$$

$$G^*=AB+\bar{A}C$$

$$F^*=G^*$$

则有 $F=G$

4. 异或及同或逻辑的应用

(1) 性质

设 $F=A\oplus B, G=A\odot B$。

(*a*) 异或逻辑函数与同或逻辑函数互为反函数，即有

$$F=\overline{G} \text{ 和 } \overline{F}=G$$

(*b*) 异或逻辑函数与同或逻辑函数互为对偶式，即有

$$F=G^* \text{ 和 } F^*=G$$

(2) 运算特点

$$A\oplus 0=A \qquad A\oplus 1=\overline{A}$$

$$A\oplus A=0 \qquad A\oplus\overline{A}=1$$

$$A\oplus B=B\oplus A \qquad A\oplus(B\oplus C)=(A\oplus B)\oplus C$$

$$A(B\oplus C)=AB\oplus AC$$

$$A\oplus\overline{B}=\overline{A}\oplus B=A\oplus B\oplus 1=\overline{A\oplus B}=A\odot B$$

$$A\oplus B\oplus C\oplus\cdots=\begin{cases}1(\text{当取值为 1 的变量个数是奇数时})\\0(\text{当取值为 1 的变量个数是偶数时})\end{cases}$$

读者利用异或与同或的对偶性质，可以列出表示同或逻辑运算的一组类似公式。异或及同或逻辑的性质及其运算特点在简化逻辑函数和设计逻辑电路中得到广泛应用，所以要求能熟练地运用它们。还应指出：异或门和同或门都是二输入端器件，这点是与其它逻辑门不同之处，使用时应注意。

例 1-5 设 $F=A\oplus B\oplus C$，证明 $F^*=A\odot B\odot C$ 。

解 1 因为

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

所以

$$\begin{aligned}F^*&=[A+\overline{(B+\overline{C})(\overline{B}+C)}][\overline{A}+(B+\overline{C})(\overline{B}+C)]\\&=(A+\overline{BC+\overline{B}\overline{C}})(\overline{A}+BC+\overline{B}\overline{C})\\&=(A+\overline{B\odot C})(\overline{A}+B\odot C)\\&=A(B\odot C)+\overline{A}\overline{(B\odot C)}\end{aligned}$$

$$=A\odot B\odot C$$

解 2 因为

$$F=A\oplus(B\overline{C}+\overline{B}C)$$

所以

$$F^*=A\odot[(B+\overline{C})(\overline{B}+C)]$$

$$=A\odot(BC+\overline{B}\overline{C})$$

$$=A\odot B\odot C$$

解 3 因为

$$F=A\oplus(B\oplus C)$$

$$=A(B\odot C)+\overline{A}(B\oplus C)$$

所以

$$F^*=[A+(B\oplus C)][\overline{A}+(B\odot C)]$$

$$=A(B\odot C)+\overline{A}\,\overline{(B\odot C)}$$

$$=A\odot B\odot C$$

谬误分析 本例的一种错误解法是

$$F=A\oplus(B\oplus C)$$

$$F^*=A\odot(B\oplus C)$$

$$=A(B\oplus C)+\overline{A}\,\overline{(B\oplus C)}$$

$$=AB\overline{C}+A\overline{B}C+\overline{A}BC+\overline{A}\overline{B}\overline{C}$$

$$=(A\odot B)\overline{C}+(A\oplus B)C$$

$$=(A\odot B)\overline{C}+\overline{(A\odot B)}C$$

$$=A\odot B\oplus C$$

由于在求对偶式时，$B\oplus C$ 未取对偶函数，所以得出错误结论。

例 1-6 利用 $X_1=\overline{X}_1\oplus 1$ 和 $X_2=\overline{X}_2\oplus 1$，证明任何函数 $f(X_1,X_2)$ 均可写成

$$f(X_1,X_2)=K_0\oplus K_1X_1\oplus K_2X_2\oplus K_3X_1X_2$$

式中 $K_i(i=0,1,2,3)$ 为等于 **0** 或 **1** 的常数。

(成都电讯工程学院 1981 年试题)

解 任何二变量逻辑函数均可写成一般表达式

$$f(X_1,X_2)=a\overline{X}_1\overline{X}_2+b\overline{X}_1X_2+cX_1\overline{X}_2+dX_1X_2$$
$$=(a\overline{X}_1+cX_1)\overline{X}_2+(b\overline{X}_1+dX_1)X_2 \qquad (1\text{-}1)$$

因为

$$A\overline{X}+BX=A(X\oplus 1)+BX$$
$$=(AX\oplus A)+BX \qquad (1\text{-}2)$$

又因为

$$(W\oplus Y)+Z=\overline{\overline{W\oplus Y}\,\overline{Z}}$$
$$=\overline{(\overline{W}\oplus Y)\overline{Z}}$$
$$=\overline{\overline{W}\,\overline{Z}\oplus Y\overline{Z}}$$
$$=\overline{\overline{W}\,\overline{Z}}\oplus Y\overline{Z}$$
$$=(W+Z)\oplus Y\overline{Z}$$
$$=(W+Z)\oplus Y(1\oplus Z)$$
$$=(W+Z)\oplus Y\oplus YZ \qquad (1\text{-}3)$$

利用式(1-3)可将式(1-2)写成

$$A\overline{X}+BX=(AX+BX)\oplus A\oplus ABX$$
$$=[(A+B)\oplus AB]X\oplus A$$
$$=[(A+B)\overline{AB}+\overline{(A+B)}(AB)]X\oplus A$$
$$=[(A+B)(\overline{A}+\overline{B})+(\overline{A}\overline{B})(AB)]X\oplus A$$
$$=(A\oplus B)X\oplus A \qquad (1\text{-}4)$$

再利用式(1-4)将式(1-1)写成

$$f(X_1,X_2)=[a\oplus(a\oplus c)X_1]\overline{X}_2+[b\oplus(b\oplus d)X_1]X_2$$
$$=[a\oplus(a\oplus c)X_1]\oplus\{[a\oplus(a\oplus c)X_1]$$
$$\oplus[b\oplus(b\oplus d)X_1]\}X_2$$
$$=a\oplus(a\oplus c)X_1\oplus(a\oplus aX_1\oplus cX_1\oplus b\oplus bX_1$$
$$\oplus dX_1)X_2$$

$$=a\oplus(a\oplus c)X_1\oplus(a\oplus b)X_2\oplus(a\oplus b\oplus c\oplus d)X_1X_2$$

令

$$K_0=a,K_1=a\oplus c,K_2=a\oplus b,K_3=a\oplus b\oplus c\oplus d$$

则

$$f(X_1,X_2)=K_0\oplus K_1X_1\oplus K_2X_2\oplus K_3X_1X_2$$

5. 配项法的应用

有些逻辑函数不能直接进行简化,可适当加入一些多余项,然后再进行简化,换言之,先对函数"繁化",然后再进行简化。

例 1-7 用布尔代数证明

$$\bar{A}B\bar{C}+BC\bar{D}+\bar{A}CD+\bar{B}CD+ABC=\bar{A}B+BC+CD$$

(清华大学 1982 年试题)

解 左式$=\bar{A}B\bar{C}+(ABC\bar{D}+\bar{A}BC\bar{D})+(\bar{A}BCD+\bar{A}\bar{B}CD)$

$$+(\bar{A}\bar{B}CD+A\bar{B}CD)+(ABCD+ABC\bar{D})$$

$$=[\bar{A}B\bar{C}+(\bar{A}BCD+\bar{A}BC\bar{D})]+[ABC+(\bar{A}BCD$$

$$+\bar{A}BC\bar{D})]+[\bar{A}CD+(A\bar{B}CD+ABCD)]$$

$$=(\bar{A}B\bar{C}+\bar{A}BC)+(ABC+\bar{A}BC)+(\bar{A}CD+ACD)$$

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

对于比较复杂的逻辑函数,简化时应灵活地运用上述各种方法,用不同的公式或方法进行简化,其结果是相同的,但是简化过程有繁与简的差别,所以我们必须善于选择比较精练的解题方法。

例 1-8 用代数法简化

$$F=AB+A\bar{C}+\bar{B}C+\bar{C}B+\bar{B}D+\bar{D}B+ADE(H+G)$$

解 1* $F=[AB+\bar{B}D+ADE(H+G)]+A\bar{C}+\bar{B}C+\bar{C}B+\bar{D}B$

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

$$=A\overline{\bar{B}C}+\bar{B}C+\bar{C}B+\bar{B}D+\bar{D}B$$

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

* 参看资料[14]。