

普通高等教育“十三五”规划教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅

“十二五”江苏省高等学校重点教材

数字电子技术基础 学习指导与习题解答



◎ 主编 王振宇 成立

Learning Guidance and Solving
Problems for Fundamentals of Digital
Electronic Technology



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅
“十二五”江苏省高等学校重点教材

数字电子技术基础 学习指导与习题解答

主 编 王振宇 成 立
参 编 陈 勇 刘跃峰 尹 星

机械工业出版社

本书是配合江苏大学成立、王振宇主编的《数字电子技术基础》(第3版)的教学需要而编写的一本辅助学生学习性质的书籍。全书分为两部分:第1部分为教材第1章至第8章的学习指导和章后习题解答,每一章都对教材的主要内容、基本概念和解题方法进行了阐述,列举了典型例题分析解答方法,并对习题1至习题8给出了详尽的解答过程。针对教材第9章数字电路虚拟实验内容所设计的章后习题,利用Multisim10.0、ModelSim软件工具给出了上机设计、仿真和分析的思路与实现方案。第2部分为自测试题集,该试题集含有3套电气信息大类和机电测控类本科生期末考试模拟试题及其解答。

本书既可作为理工科高等院校电气信息大类(包括电气、自动化、电子、通信、计算机、机电及测控等)本科生学习“数字电子技术基础”课程的辅教辅书,又可用作报考硕士研究生人员的复习参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础学习指导与习题解答/王振宇,成立主编. —北京:机械工业出版社,2016.10

普通高等教育“十三五”规划教材 普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅

ISBN 978-7-111-54549-1

I. ①数… II. ①王… ②成… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第190873号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:贡克勤 责任编辑:贡克勤 徐凡

责任校对:陈越 封面设计:张静

责任印制:常天培

涿州市星河印刷有限公司印刷

2016年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·10.5印张·256千字

标准书号:ISBN 978-7-111-54549-1

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

数字电子技术基础是高等理工科院校电子信息、电气工程、自动控制、仪器仪表、生物医学工程、机电一体化、光电信息技术和测控技术与仪器等电气信息大类、机电测控类专业普遍开设的一门技术基础课程。通过该门课程的学习,不仅要求学生掌握数字电子技术的一些基本理论知识和实用技术,而且要为后续课程的开设和未来学习新的专业知识打下必要的基础。同时,该门课程也是某些电气信息大类、机电测控类专业领域硕士研究生入学考试的初试课程之一。

由于数字电子技术基础课程的内容较多,器件型号种类繁多,再加上课堂学时数十分有限,致使有些学生学起来有一定困难,所以编写此书的目的是帮助学生学好数字电子技术基本内容与器件应用,同时也为研究生入学考试人员复习备考提供一些帮助。基于此,编者力求做到叙述简明扼要,解题清楚明了,便于阅读并把握住解题的要领。

本书第1部分针对《数字电子技术基础》第3版教材第1章至第8章的学习指导部分抓住各种结构数字电路与器件的基本概念、原理和特点,做了精要归纳和小结,既讲清原理,又给出方法、技巧,注重理论知识与实际结合,借此指导学生听课、复习及课后解题,以便加深理解和掌握所学知识,同时也帮助学生有效掌握解题的思路和方法,还培养学生所学理论知识生运用分析、解决复杂数字电路综合性工程问题的能力。书中第1部分习题解答与教材章节号和每一章末的习题完全对应,力求解答准确、精炼,叙述中注重启发、引导。第2部分自测试题集为最近两年来江苏大学电气信息类专业、机电测控类专业本科生期末考试试卷和部分硕士研究生入学考试试题(编写时部分试题与章后习题重复之处,编者做了增减处理),故这些自测试题具有一定的代表性、指导意义和参考价值。

本书由江苏大学王振宇和成立担任主编,负责提出编写原则、组织编写、定稿和统稿等工作,具体分工为:江苏大学王振宇负责编写第1部分第2、3、4、5章学习指导、习题解答及前言、第2部分自测试题等,陈勇编写7~8章学习指导与习题解答,刘跃峰负责编写第1、6章的学习指导与习题解答,尹星负责编写第9章的学习指导与习题解答,全书由成立教授进行校对、审稿和定稿。

本书中凡加“*”者为提高专业要求的内容,读者可以根据自身情况选读。

由于编者水平有限,书中错误或处理不当之处在所难免,恳请读者提出批评意见。

编者

目 录

前言

第 1 部分 学习指导与习题解答

第 1 章 数字电路基础	1
1.1 学习指导	1
1.2 习题 1 解答	5
第 2 章 集成逻辑门电路	15
2.1 学习指导	15
2.2 习题 2 解答	23
第 3 章 组合逻辑电路	33
3.1 学习指导	33
3.2 习题 3 解答	39
第 4 章 锁存器和触发器	55
4.1 学习指导	55
4.2 习题 4 解答	59
第 5 章 时序逻辑电路	70
5.1 学习指导	70
5.2 习题 5 解答	77
第 6 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	98
6.1 学习指导	98
6.2 习题 6 解答	100
第 7 章 数-模与模-数转换器	107
7.1 学习指导	107
7.2 习题 7 解答	111
第 8 章 脉冲波形的产生与变换	117
8.1 学习指导	117
8.2 习题 8 解答	121
第 9 章 数字电路虚拟实验与数字系统设计基础	133
9.1 学习指导	133
9.2 习题 9 解答	134

第 2 部分 自测试题集

自测试题 1	143
自测试题 2	148
自测试题 3	152
附录 自测试题简要解答	156

第 1 部分 学习指导与习题解答

第 1 章 数字电路基础

1.1 学习指导

1. 计数制与编码

(1) 基本概念

任何一个数通常都可以用两种不同的方法来表示：一种是按“值”表示法，即选定某种进位的计数体制来表示某个数值，这就是计数制，简称数制。另一种是按“形”表示法，即用一组二进制数组成代码，以表示某些数值，此即为编码。

(2) 学习重点

十进制、二进制和十六进制的计数规则及其相互转换规律。

1) 计数规则 十进制用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 等 10 个数码或其组合来表示一个数，当任何 1 位数比 9 大 1 时，则向相邻高位进 1，而本位复 0，此为“逢十进一”；

二进制只有两个数字符号 0 和 1，其计数规律为“逢二进一”；

十六进制数共有 16 个数码：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A（对应于十进制数 10）、B（11）、C（12）、D（13）、E（14）、F（15），其计数规律为“逢十六进一”。

2) 相互转换规律 任意 1 个二进制数按位权展开，都可转换为十进制数，这种转换方法称作多项式替代法。十进制数也可转换为二进制数，一般采用基数除/乘法，即把十进制数的整数部分连续除以二进制的进位基数 2 取余数，最后得到的余数为转换后的二进制数整数部分的高位；小数部分则连续乘以 2 取整数，最先得到的整数（包括 0）为转换后的二进制数小数部分的高位。

十六进制的进位基数为 $16 = 2^4$ ，因此二进制与十六进制数之间的转换可采用直接转换法：把二进制数的整数部分，从低位起每 4 位分成一组，最高位一组如不足 4 位时以 0 补足；而小数部分从高位起每 4 位分成一组，最低位一组如不够 4 位，也在其后补足 0，然后依次以 1 位十六进制数替换所有各组的 4 位二进制数。同样，也可用直接转换法将十六进制数转换成二进制数，即用 4 位二进制数替换 1 位十六进制数。

2. 逻辑函数的建立及其表示方法

(1) 建立步骤

首先应根据提出的实际逻辑命题，确定哪些是逻辑变量，哪些是逻辑函数，然后研究它们之间的因果关系，列出真值表，最后再根据真值表写出逻辑函数表达式，并画出逻辑电

路图。

(2) 表示方法

逻辑函数可用真值表、逻辑函数表达式和逻辑电路图（简称逻辑图）3种方法来表示，且这些方法彼此之间是等价的，它们之间可以相互转换。此外，逻辑函数还可用卡诺图表示，并可以用卡诺图法进行化简。

3. 逻辑函数的化简

(1) 逻辑函数的最简形式

与或表达式 $F_1 = AB + BC$ 和或与表达式 $F_2 = (A + B)(B + C)$ 是最常见的两种逻辑表达式。与或式的最简形式是：①式中所含与项最少；②各与项中含变量数最少。或与式的最简形式为：①所含或项最少；②各或项中所含变量数最少。因为与或式不仅易于由真值表直接写出，而且它极易被观察出是否最简，所以化简逻辑函数是指化简成最简与或式。

(2) 公式化简法

公式化简法是反复运用逻辑代数的基本公式和常用公式，消去逻辑函数式中多余的乘积项和每个乘积项中多余的变量。逻辑运算的优先次序按非、与、或的顺序进行，对于那些优先运算的部分，可在式中用括号括起来。公式化简法没有固定的步骤，常用的方法有并项法、吸收法、消去法与配项法等。

(3) 卡诺图化简法

用公式法化简逻辑函数，一方面要熟记逻辑代数的基本公式和常用公式，且要有熟练的运算技巧；另一方面，经过化简后的逻辑函数是否最简有时需要判断。而运用卡诺图化简逻辑函数，简捷直观、灵活方便，且易于判断是否为最简。

1) 逻辑函数的最小项及其性质 n 个变量 X_1, X_2, \dots, X_n 的最小项是 n 个因子的乘积项，该乘积项中每个变量都以它的原变量或者非变量出现，且仅出现一次。

n 个变量的逻辑函数共有 2^n 个最小项。最小项具有如下性质：①每一个最小项都分别对应着输入变量唯一的一组取值，使该最小项的值为 1；②所有最小项的逻辑或为 1；③任意两个最小项的逻辑与为 0。

2) 卡诺图的构成

卡诺图建立方法：首先建立一个两变量卡诺图，有 4 个小方格，分别代表逻辑函数的 4 个最小项 AB 、 $\bar{A}B$ 、 $A\bar{B}$ 、 $\bar{A}\bar{B}$ 。如果要建立多于两变量逻辑函数的卡诺图，则每增加一个逻辑变量，就以原卡诺图的右边线（或底线）为轴向右（或向下）旋转作一对称图形，使卡诺图的方格数增加一倍，图中变量列（或行）的取值不变，变量行（或列）因增加了一个变量，其取值以旋转轴为准来填写，轴的左（或上）面，在原数值前加 0，对称轴的右（或下）面，在原数值前加 1。每增加一个变量，卡诺图的方格数将成倍增加。

3) 已知逻辑函数画出卡诺图 在卡诺图中，用行和列两组变量构成的每一个方格，都代表了逻辑函数的一个最小项，所以对于任何一个逻辑函数的最小项表达式，可将其所具有的最小项在卡诺图中相应的小方格中填 1，没有的最小项填 0（但 0 可默认），这样就填写了该逻辑函数的卡诺图。

4) 用卡诺图化简逻辑函数 在卡诺图中，凡是紧邻的两个方格或与轴线对称的两个方格都称为相邻，前者称为几何相邻，而后者称为逻辑相邻。因两个相邻方格之间只有一个变量有别，故圈在一起，可以利用对合律 $AB + A\bar{B} = A$ 合并化简。两个相邻小方格可以合并成

一个与项，且消去一个变量；4 (2^2) 个相邻的方格可合并成一个与项，且消去两个变量； N (2^k , k 为正整数) 个相邻方格可合并成一个与项，且消去 k 个变量。

5) 卡诺图法化简步骤

第1步：变换及填图 将逻辑函数 F 变换成与或式或者最小项表达式，凡在 F 中含有的最小项，在卡诺图相应的方格中填 **1**，其余的方格填 **0**（或者不填）。亦可直接依据与或式填图。

第2步：画圈 合并逻辑函数最小项之法：①将相邻的 2^k 个为 **1** 的方格圈在一起，画圈时将尽可能多的方格圈在一起，圈画得越大，消去的变量就越多；②所画圈内至少包含一个未被圈过的最小项，否则所得的与项是冗余项；③先画大圈，由大到小，最后圈出孤立的单个方格。

第3步：写式 根据已画各圈写出相应的与项，再将各与项相或，便可得到化简了的逻辑函数 F 的与或表达式。

4. 具有无关项逻辑函数的化简

工程中常会碰到以下问题：在真值表内对应变量的某些取值下，函数的逻辑值可以是任意的，或者这些变量取值根本不会出现，故将这些变量取值对应的最小项称为**无关项**或**任意项**。将无关项在表达式中记为“ d ”，卡诺图中用“ Φ ”表示，以便简化逻辑函数。

在真值表中无关项对函数的取值可以用“ Φ ”表示。如此的函数称为具有无关项的逻辑函数。用卡诺图化简时，对无关项所占方格填入“ Φ ”，需要时作 **1** 处理，不需时作 **0** 处理。

5. 数字电路中的半导体器件

(1) 二极管的基本概念与解题要点

1) 基本概念 由于一只实际二极管内部封装了一个 PN 结，所以二极管的特性基本上就是 PN 结的伏安特性。此特性主要是单向导电性和反向击穿特性，前者用于整流，后者则用于制备稳压二极管。

与 PN 结的伏安特性数学表达式相同，二极管的伏安特性可用下式表达：

$$i = I_S (e^{u/U_T} - 1)$$

式中， u 为加于二极管上的电压降； i 为流过二极管的电流； I_S 为反向饱和电流； U_T 为温度电压当量，室温下 $U_T \approx 26\text{mV}$ 。

对于硅管和锗管两种不同半导体材料的二极管，上述伏安特性表达式都是适用的。

当计算含二极管的电路时，硅二极管导通压降 U_D 取为 0.7V ，阈值电压 U_{th} 约为 0.5V ，而锗二极管 U_D 取 0.2V ，死区电压约 0.1V 。

分析计算二极管电路时，为了便于估算，常把二极管看作是理想器件，此时二极管导通压降 $U_D = 0\text{V}$ ，反向饱和电流 $I_S = 0\mu\text{A}$ 。

使用二极管时，导通时的平均电流不要超过最大整流电流 I_F ，截止时所加的反向电压要小于最高反向工作电压 U_R ，以保证其安全工作。

2) 解题要点 分析二极管电路时，需先判断二极管是导通还是截止状态。常用的判断方法是：假设将被判断二极管断开，求出两个断点间的开路电压（即二极管断开处的正向电压），若此开路电压大于二极管死区电压，则该管导通，否则截止。导通二极管的电压降看作是常值（硅管 0.7V ，锗管 0.2V ）。若为理想二极管，则导通压降为 0V ；如果二极管截

止, 则该管所在支路就相当于断路。把电路中所有二极管的状态都判明后, 才能计算电路中的其余各电量。

(2) 双极型晶体管 (BJT)

1) BJT 的电流分配关系 BJT 在模拟电路中主要是处于放大状态。而 BJT 中 3 个极的电流分配关系是 BJT 的主要特性。BJT 有硅管和锗管之别, 也有 NPN 型和 PNP 型的区分。它们的 3 个电极的电流分配关系是相同的。列出 BJT 的主要关系式如下:

电流分配关系式: $i_E = i_C + i_B$ 式中: i_E 、 i_C 、 i_B 依次为发射极电流、集电极电流、基极电流;

集电极电流表达式: $i_C = \beta i_B + I_{CEO}$ 式中: I_{CEO} 是集-射反向穿透电流;

穿透电流 I_{CEO} 、 I_{CBO} 关系式: $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ 。

2) BJT 的放大作用 BJT 的放大作用主要体现在 β 与 α 表达式上。

对 NPN 型管来说, i_C 和 i_B 是流进 BJT 的, 而 i_E 是流出的。但对于 PNP 型管, 3 个电极电流流向正好与 NPN 型相反。

由于 I_{CBO} 和 I_{CEO} 均远小于 i_C , 所以 BJT 的电流放大系数 β 与 α 可以近似表示成:

$$\beta \approx \frac{i_C}{i_B}$$

$$\alpha \approx \frac{i_C}{i_E}$$

于是, β 与 α 的关系满足下式:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \quad \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

3) BJT 的 3 种工作状态 要使 BJT 工作在放大状态, 就须满足 BJT “发射结 J_e 正偏、集电结 J_c 反偏” 的外部条件。亦即, BJT 的 3 个电极电压应满足, 对于 NPN 型管: $U_C > U_B > U_E$; 而对 PNP 型管: $U_C < U_B < U_E$ 。上述不等式是判断 BJT 能否满足外部条件的依据。

由于硅管和锗管的特性有差异, 所以当管子处于放大状态时, 两种类型 BJT 的基极与发射极之间的电压降 $|U_{BE}|$ 数值会有所不同, 即: 硅管 $|U_{BE}| \approx 0.7V$, 锗管 $|U_{BE}| \approx 0.2V$, 且基极 U_B 介于 U_C 与 U_E 之间。

除了放大状态之外, BJT 还有饱和与截止工作状态, 这两种状态是指用于数字电路中的 BJT 所处的开关状态。具体为:

如 BJT 的发射结 J_e 和集电结 J_c 均为正偏, 则 BJT 工作在饱和状态, 其饱和管压降 $|U_{CES}| = 0.1 \sim 0.3V$, 对应于开关接通; 若发射结 J_e 和集电结 J_c 均反偏, 则 BJT 处于截止状态, 相当于开关断开。

4) BJT 的 3 种组态 (接法) 根据公共接地端的不同, BJT 共有 3 种组态 (接法): 共基极、共集电极和共发射极。基于此, 模拟放大电路将有 3 种组态的 BJT 放大电路。

5) BJT 的极限参数 BJT 的极限参数是指管子正常工作时, 电压和电流不要超过的值。除了有集电极最大允许电流 I_{CM} 、集电极最大允许耗散功率 P_{CM} 以外, BJT 还有 3 个反向击穿电压: $U_{(BR)CBO}$ 、 $U_{(BR)EBO}$ 和 $U_{(BR)CEO}$, 其中 $U_{(BR)CEO}$ 最小。故从安全的目的出发, 管子工作时 U_{CE} 不要超过 $U_{(BR)CEO}$ 。

6) BJT 的静态开关特性 在数字电路中 BJT 可作为无触点开关使用, 它不工作在放大

状态, 而只处于截止或饱和导通状态。

① 截止条件 为使 BJT 可靠截止, 应使发射结 J_e 反向偏置, 因此 BJT 的可靠的截止条件是: $u_{BE} \leq 0$ V。BJT 截止时, b、e、c 共 3 个电极视为互为开路, 相当于无触点开关断开。

② 饱和导通条件 在共射放大电路中, 只要实际流入的基极电流 I_B 大于临界饱和基极电流 I_{BS} , 则 BJT 处于饱和状态。因此 BJT 饱和导通的条件是:

$$I_B > I_{BS} = V_{CC} / (\beta R_C)$$

式中, β 为 BJT 的共射电流放大系数; V_{CC} 、 R_C 分别为集电极电源电压和集电极电阻。

当 BJT 工作于饱和状态时, $i_C = i_{CS}$ 达到最大, 此时 i_B 再增大, i_C 基本不变。 i_B 比 i_{BS} 大得越多, 饱和程度就越深。由于 U_{CES} ($\approx 0.1 \sim 0.3$ V) 和 U_{BES} (≈ 0.7 V) 都很小 (与 V_{CC} 和数字电路的标准高电平相比), 可以忽略, 所以此时 BJT b、e、c 共 3 个电极均视为相互短路, 相当于开关闭合。

(3) N 沟道增强型 MOS 管

1) 工作原理 N 沟道增强型 MOS 管的栅-源电压 $u_{GS} > U_{TN}$ 时, 建立了一个垂直于半导体表面的电场, 吸引衬底电子形成反型层导电沟道。 u_{GS} 越大, 电场强度越强, 反型层越厚, 沟道电阻就越小。因而在相同的 d-s 电压 u_{DS} 作用下, 产生的 i_D 也就越大, 起到了电压控制电流的作用。

增强型 N 沟道 MOS 管的输出特性分为可变电阻区、饱和区、截止区和击穿区 4 个区域。转移特性可近似用下式表示:

$$i_D = I_{D0} \left(\frac{u_{GS}}{U_{TN}} - 1 \right)^2 \quad (u_{GS} > U_{TN})$$

式中, I_{D0} 是 $u_{GS} = 2U_{TN}$ 时的 i_D 值。

2) 增强型 MOS 管的开关特性 当 $u_I = u_{GS} < U_{TN}$ 时, NMOS 管工作在截止区, 漏极 d 与源极 s 之间未形成导电沟道, 沟道电阻为 $10^{12} \sim 10^{15} \Omega$ (高阻状态), d-s 极之间如同开关断开一样, 因而 $u_O \approx V_{DD}$ 。当 $u_I = u_{GS} \geq U_{TN}$ 时, NMOS 管导通, d-s 极之间形成导电沟道, 呈低阻状态。如果漏极电阻 R_D 比此低阻沟道电阻大得多, 就可将 d-s 极之间视为接通的开关, 所以 $u_O \approx 0$ V。同理可得增强型 PMOS 管的开关特性为: 当 $u_I = u_{GS} \leq U_{TP}$ 时, PMOS 管导通, d-s 极之间的沟道电阻很小; 否则 PMOS 管截止, d-s 极之间呈现很大的沟道电阻。

1.2 习题 1 解答

1-1 (1) 若某正逻辑信号波形如图 1-1 所示, 试写出相应的逻辑值 **1** 和 **0** (与标号 1~10 对应);

(2) 试就下列逻辑值绘出相应的数字信号波形 (采用数字信号波形的简易表示法), 设高电平为 5V (逻辑 **1**), 低电平约为 0V (逻辑 **0**), 每一高、低电平的持续时间相等, 均为 $50\mu\text{s}$: ① **010101010**; ② **0011101101**。

解: (1) 根据图 1-1 所示的波形图, 写出相应的逻辑值为: **0101010101** (与标号 1~10 对应);

(2) 根据题中所给的两组的逻辑值, 分别绘出相应的数字信号波形图, 如图 1-2 所示。

1-2 将下列十进制数 29.625、127.0625、378.875 分别转换成二进制数。

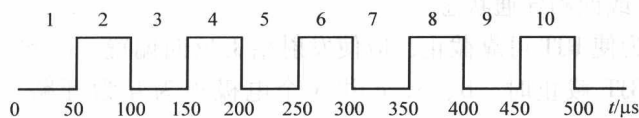


图 1-1 习题 1-1 图

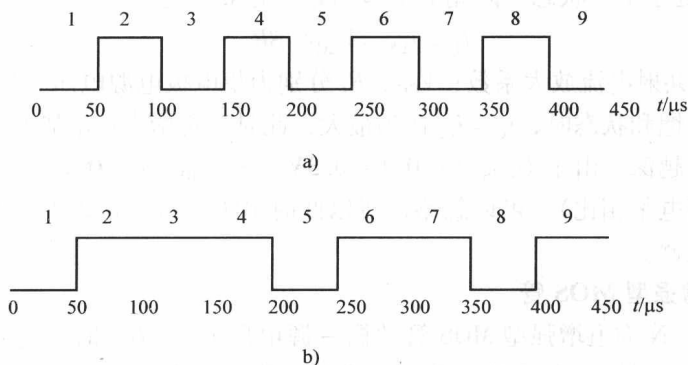


图 1-2 习题 1-1 解的波形图

a) 数字信号“010101010”的波形图 b) 数字信号“011101101”的波形图

解: $(29.625)_{10} = (11101.101)_2$;

$(127.0625)_{10} = (1111111.0001)_2$;

$(378.875)_{10} = (101111010.111)_2$ 。

1-3 将下列二进制数 **101101**、**11010111**、**101011**、**101101** 分别转换成十进制数。

解: $(101101.11010111)_2 = (45.839844)_{10}$;

$(101011.101101)_2 = (43.703125)_{10}$ 。

1-4 将下列二进制数 **100110**、**100111**、**101011101**、**1100111** 分别转换成十六进制数。

解: $(100110.100111)_2 = (26.9C)_{16}$;

$(101011101.1100111)_2 = (15D.CE)_{10}$ 。

1-5 将下列十六进制数 **3AD**、**6EB**、**6C2B**、**4A7** 分别转换成二进制数。

解: $(3AD.6EB)_{16} = (1110101101.011011101011)_2$;

$(6C2B.4A7)_{16} = (110110000101011.010010100111)_2$ 。

1-6 试用真值表证明下列逻辑等式:

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

(2) $A\bar{B} + \bar{A}B + BC = A\bar{B} + \bar{A}B + AC$;

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

(4) $(A \oplus B) \oplus C = A \oplus (B \oplus C)$ 。

解: (1) 列出真值表见表 1-1。由表可见, 确有 $AB + \bar{A}C + \bar{B}C = AB + C$ 。

(2) 列出真值表见表 1-2。由表可见, 确有 $A\bar{B} + \bar{A}B + BC = A\bar{B} + \bar{A}B + AC$ 。

(3) 列出真值表见表 1-3。由表可见, 确有 $A\bar{B} + B\bar{C} + C\bar{A} = \bar{A}B + \bar{B}C + \bar{C}A$ 。

(4) 列出真值表见表 1-4。由表可见, 确有 $(A \oplus B) \oplus C = A \oplus (B \oplus C)$ 。

表 1-1 用于证明 $AB + \overline{AC} + \overline{BC} = AB + C$ 的真值表

A	B	C	$AB + \overline{AC} + \overline{BC}$	$AB + C$
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

表 1-2 用于证明 $A\overline{B} + \overline{AB} + BC = A\overline{B} + \overline{AB} + AC$ 的真值表

A	B	C	$A\overline{B} + \overline{AB} + BC$	$A\overline{B} + \overline{AB} + AC$
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	1	1
1	0	0	1	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

表 1-3 用于证明 $A\overline{B} + B\overline{C} + C\overline{A} = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CA}$ 的真值表

A	B	C	$A\overline{B} + B\overline{C} + C\overline{A}$	$\overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CA}$
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	1	1
1	0	0	1	1
1	0	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	0

表 1-4 用于证明 $(A \oplus B) \oplus C = A \oplus (B \oplus C)$ 的真值表

A	B	C	$(A \oplus B) \oplus C$	$A \oplus (B \oplus C)$
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

1-7 求下列各逻辑函数 F 的反函数 \overline{F} 和对偶式 F' ：

(1) $F_1 = A + ABC + \overline{AC}$;

(2) $F_2 = (A + B)(A + \overline{AB})C + \overline{A(B + C)} + \overline{AB} + ABC$;

(3) $F_3 = A + B + \overline{CD} + \overline{ADB}$ 。

解：(1) 反函数： $\overline{F_1} = \overline{A(A + B + C)(A + C)}$ ；对偶式： $F'_1 = A(A + B + C)(A + C)$

(2) 反函数： $\overline{F_2} = \overline{(AB + \overline{AA} + B + C)A + \overline{BC}(A + B)(\overline{A + B + C})}$

对偶式： $F'_2 = \overline{AB + \overline{AA} + B + C} \overline{A + B + C} (\overline{A + B})(A + B + C)$

(3) 反函数： $\overline{F_3} = \overline{A\overline{B}\overline{C} + D\overline{A} + D + B}$ ；对偶式： $F'_3 = \overline{A\overline{B}\overline{C} + DA + D + B}$

1-8 某逻辑电路有 A 、 B 、 C 共 3 个输入端，一个输出端 F ，当输入信号中有奇数个 1 时，输出 F 为 1，否则输出为 0。试列出此逻辑函数的真值表，写出逻辑表达式，并画出用两个 CMOS 异或门实现的逻辑电路图。

解：(1) 根据题意列出真值表，见表 1-5。

(2) 按照真值表，可以写出逻辑函数表达式如下：

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

(3) 依据逻辑函数表达式，可用两个异或门来实现。画出逻辑电路图，如图 1-3 所示。

表 1-5 习题 1-8 解的真值表

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

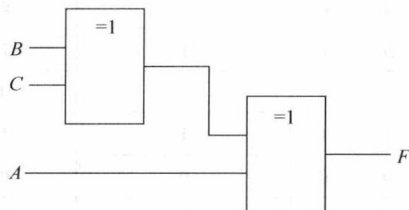


图 1-3 习题 1-8 解的逻辑电路图

1-9 设计一个 3 人表决逻辑电路, 当输入 A 、 B 、 C 有半数以上同意时, 决议才能通过, 但 A 有否决权, 若 A 不同意, 即使 B 、 C 都同意, 决议也不能通过。列出真值表, 写出该逻辑函数的表达式。

解: (1) 根据题意列出真值表, 见表 1-6。

(2) 由真值表可以写出逻辑函数表达式如下:

$$F = A \overline{BC} + AB \overline{C} + ABC = AB + AC。$$

1-10 证明下列异或运算公式:

(1) $A \oplus A = 0$;

(2) $A \oplus 1 = \overline{A}$;

(3) $A \oplus 0 = A$;

(4) $A \oplus \overline{A} = 1$;

(5) $AB \oplus A \overline{B} = A$;

(6) $A \oplus \overline{B} = \overline{A \oplus B}$ 。

解: (1) 用真值表证明, 此小题的真值表见表 1-7。由表可见, 确实 $A \oplus A = 0$;

(2) 用真值表证明, 此小题的真值表见表 1-8。由表可证得: $A \oplus 1 = \overline{A}$;

表 1-6 习题 1-9 解的真值表

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

表 1-7 习题 1-10 第 1 小题的真值表

A	$A \oplus A$
0	0
1	0

表 1-8 习题 1-10 第 2 小题的真值表

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

(3) 用真值表证明, 此小题的真值表见表 1-9。由表可证得: $A \oplus 0 = A$;

(4) 用真值表证明, 此小题的真值表见表 1-10。由表可证得: $A \oplus \overline{A} = 1$;

表 1-9 习题 1-10 第 3 小题的真值表

A	$A \oplus 0$	A
0	0	0
1	1	1

表 1-10 习题 1-10 第 4 小题的真值表

A	$A \oplus \bar{A}$
0	1
1	1

(5) 用真值表证明, 此小题的真值表见表 1-11。由表可证得: $AB \oplus A\bar{B} = A$;

(6) 用真值表证明, 此小题的真值表见表 1-12。由表可证得: $A \oplus \bar{B} = A \oplus \bar{B}$;

表 1-11 习题 1-10 第 5 小题的真值表

A	B	$AB \oplus A\bar{B}$
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

表 1-12 习题 1-10 第 6 小题的真值表

A	B	$A \oplus \bar{B}$	$A \oplus \bar{B}$
0	0	1	1
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	1	1

实际上, 习题 1-10 的各小题都可以利用异或逻辑关系式展开来加以证明。请读者自行练习证明此题。

1-11 用公式法化简下列逻辑函数为最简与或式:

$$(1) F_1 = AB + A\bar{B} + \bar{A}B (\bar{A}B + CD);$$

$$(2) F_2 = A\bar{B}C + AC + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}C;$$

$$(3) F_3 = (AB + \bar{A}B)(\bar{A} + \bar{B})A\bar{B};$$

$$(4) F_4 = (A + \bar{A}B)(A + BC + \bar{C});$$

$$(5) F_5 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + A + B + C + D;$$

$$(6) F_6 = (A + B)(A + \bar{A}B)C + \bar{A}(B + \bar{C}) + \bar{A}B + ABC。$$

解: (1) $F_1 = AB + A\bar{B} + \bar{A}B(\bar{A}B + CD) = \bar{A} + B(\bar{A}\bar{B} + CD) = \bar{A}\bar{B}(\bar{A}\bar{B} + CD) = \bar{A}\bar{B}$;

$$(2) F_2 = A\bar{B}C + AC + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}C = A(\bar{B} + C) + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}C = \bar{A}\bar{B} + AC + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}C \\ = (\bar{A} + B)(\bar{A} + \bar{C})(A + \bar{B} + C) + \bar{A}C = \bar{A}B + \bar{A}C + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}C = \bar{A} + \bar{A}B\bar{C} = \bar{A} + B\bar{C};$$

$$(3) F_3 = (AB + \bar{A}B)(\bar{A} + \bar{B})A\bar{B} = (AB + \bar{A}B)A\bar{B} = 0;$$

$$(4) F_4 = (A + \bar{A}B)(A + BC + \bar{C}) = (A + B)(A + B + \bar{C}) = (A + B)\bar{A}BC = 0;$$

$$(5) F_5 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + A + B + C + D = 1;$$

$$(6) F_6 = (A + B)(A + \bar{A}B)C + \bar{A}(B + \bar{C}) + \bar{A}B + ABC = AC + A + \bar{B}C + \bar{A}B + BC = A + B + C。$$

1-12 用卡诺图化简下列逻辑函数:

$$(1) F_1 = \sum m(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7);$$

$$(2) F_2 = \sum m(4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13);$$

$$(3) F_3 = \sum m(2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 15);$$

$$(4) F_4 = \sum m(1, 3, 4, 5, 8, 9, 13, 15);$$

$$(5) F_5 = \sum m(1, 3, 4, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 15);$$

$$(6) F_6 = \sum m(0, 2, 4, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15)。$$

解: (1) $F_1 = \sum m(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$; 卡诺图如图 1-4 所示。

由卡诺图化简后得: $F_1 = A + B + C$ 。

(2) $F_2 = \sum m(4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)$; 卡诺图如图 1-5 所示。

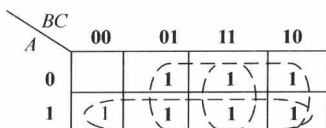


图 1-4 习题 1-12 (1) 的卡诺图

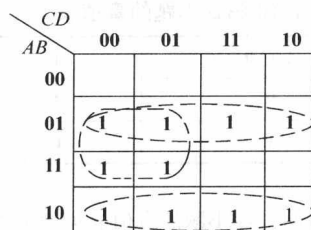


图 1-5 习题 1-12 (2) 的卡诺图

用卡诺图化简得: $F_2 = \bar{A}B + A\bar{B} + B\bar{C}$ 。

(3) $F_3 = \sum m(2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 15)$; 卡诺图如图 1-6 所示。

用卡诺图化简得: $F_3 = CD + \bar{B}C + \bar{A}C + AB\bar{C}\bar{D}$ 。

(4) $F_4 = \sum m(1, 3, 4, 5, 8, 9, 13, 15)$; 卡诺图如图 1-7 所示。

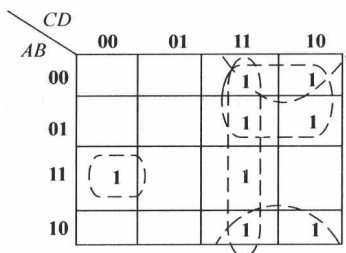


图 1-6 习题 1-12 (3) 的卡诺图

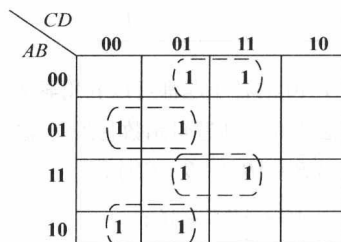


图 1-7 习题 1-12 (4) 的卡诺图

用卡诺图化简得: $F_4 = \bar{A}\bar{B}D + \bar{A}B\bar{C} + ABD + A\bar{B}\bar{C}$ 。

(5) $F_5 = \sum m(1, 3, 4, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 15)$; 卡诺图如图 1-8 所示。

用卡诺图化简得: $F_5 = \bar{B}D + B\bar{D} + CD$ 。

(6) $F_6 = \sum m(0, 2, 4, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15)$; 卡诺图如图 1-9 所示。

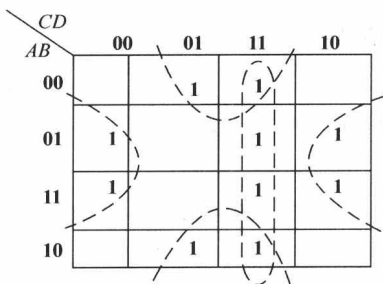


图 1-8 习题 1-12 (5) 的卡诺图

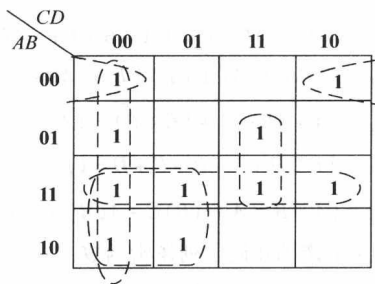


图 1-9 习题 1-12 (6) 的卡诺图

用卡诺图化简得: $F_6 = \bar{C}\bar{D} + AB + A\bar{C} + BCD + \bar{A}\bar{B}D$ 。

1-13 化简下列具有无关项“d”的逻辑函数:

(1) $F_1 = \sum m(1, 3, 5, 7, 9) + \sum d(4, 6, 11, 12, 13, 14, 15)$;

(2) $F_2 = \sum m(0, 1, 2, 3, 7) + \sum d(4, 5, 6)$;

(3) $F_3 = \sum m(2, 3, 4, 7, 12, 13, 14) + \sum d(5, 6, 8, 9, 10, 11, 15)$;

(4) $F_4 = \sum m(0, 2, 7, 8, 13, 15) + \sum d(1, 5, 6, 9, 10, 11, 12)$;

(5) $F_5 = \sum m(0, 4, 5, 6, 8, 13, 14) + \sum d(1, 2, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 15)$;

(6) $F_6 = \sum m(0, 2, 4, 6, 8, 10, 14) + \sum d(5, 7, 12, 13, 15)$ 。

解: (1) $F_1 = \sum m(1, 3, 5, 7, 9) + \sum d(4, 6, 11, 12, 13, 14, 15)$; 卡诺图如图 1-10 所示。

经过卡诺图法化简后得: $F_1 = D$ 。

(2) $F_2 = \sum m(0, 1, 2, 3, 7) + \sum d(4, 5, 6)$; 卡诺图如图 1-11 所示。

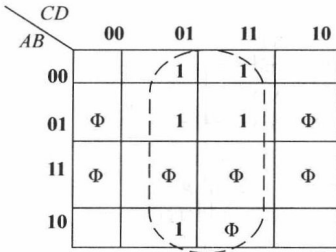


图 1-10 习题 1-13 (1) 的卡诺图

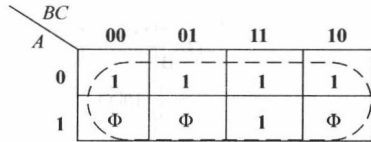


图 1-11 习题 1-13 (2) 的卡诺图

经过卡诺图法化简得: $F_2 = 1$

(3) $F_3 = \sum m(2, 3, 4, 7, 12, 13, 14) + \sum d(5, 6, 8, 9, 10, 11, 15)$; 卡诺图如图 1-12 所示。

经过卡诺图法化简得: $F_3 = B + C$

(4) $F_4 = \sum m(0, 2, 7, 8, 13, 15) + \sum d(1, 5, 6, 9, 10, 11, 12)$; 卡诺图如图 1-13 所示。

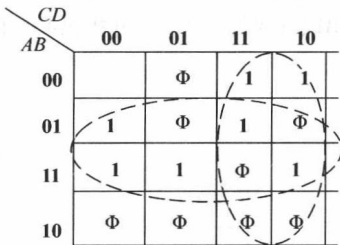


图 1-12 习题 1-13 (3) 的卡诺图

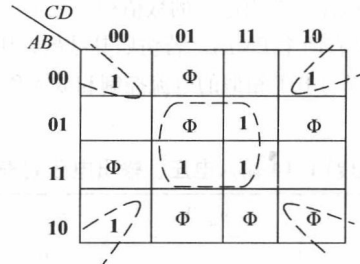


图 1-13 习题 1-13 (4) 的卡诺图

经过卡诺图法化简后得: $F_4 = BD + \overline{B}\overline{D}$

(5) $F_5 = \sum m(0, 4, 5, 6, 8, 13, 14) + \sum d(1, 2, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 15)$; 卡诺图如图 1-14 所示。

经过卡诺图法化简得: $F_5 = 1$

(6) $F_6 = \sum m(0, 2, 4, 6, 8, 10, 14) + \sum d(5, 7, 12, 13, 15)$; 卡诺图如图 1-15 所示。

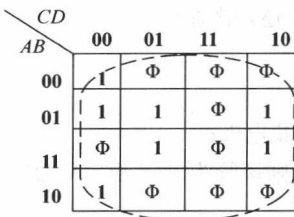


图 1-14 习题 1-13 (5) 的卡诺图

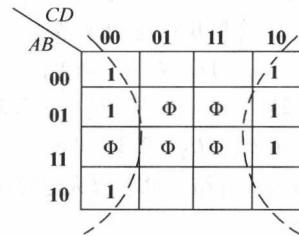


图 1-15 习题 1-13 (6) 的卡诺图

经过卡诺图法化简得: $F_6 = \overline{D}$

1-14 (1) 理想二极管电路如图 1-16a 所示, 试判定图中的 VD_1 、 VD_2 的工作状态, 并求出图示 I 及 U 的大小。

(2) 理想二极管电路见图 1-16b, 当 u_{i1} 和 u_{i2} 为 0V 或 5V 时, 求 u_{i1} 和 u_{i2} 的值为不同组合情况时, 输出电压 u_o 之值。要求读者分析完毕后, 将输入、输出电压数值列表表示。

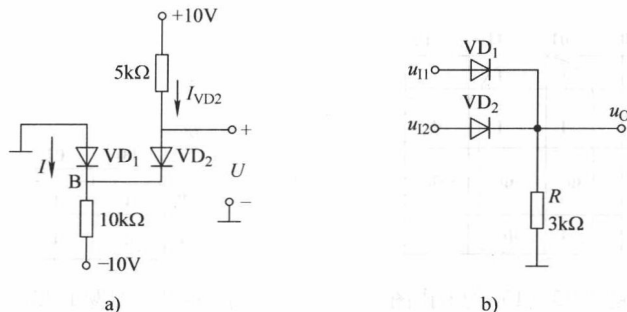


图 1-16 习题 1-14 图

解: (1) 因为理想二极管 VD_2 正偏导通, 所以图中标注的电压:

$$U = 10V - \frac{5}{10+5} \times 20V = 3.3V$$

故 VD_1 截止, 电流 $I=0$ 。

(2) 输入电压、输出电压的数值列于表 1-13 中。由表可知, 该电路实现了或逻辑功能。

1-15 BJT 有两个 PN 结。若仿照其结构, 用两个二极管反向串联 (见图 1-17), 并提供必要的偏置条件, 问能否获得与 BJT 相似的电流控制和放大作用? 为什么?

表 1-13 习题 1-14 输入电压、输出电压列表

u_{i1}/V	u_{i2}/V	u_o/V
0	0	0
0	5	5
5	0	5
5	5	5

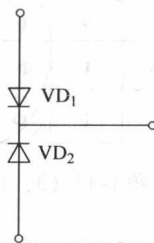


图 1-17 习题 1-15 图

解: 如此连接不能获得与 BJT 相类似的电流控制和放大作用。因为虽然有两个 PN 结, 但是既不存在类似于 BJT 的基区, 也无在同一块半导体上形成的 3 个掺质区, 即不具备 BJT 赖以放大的内部条件。

1-16 在放大电路中测得 BJT A 管和 B 管的各电极对电位参考点的直流电压如下, 试确定它们的 X、Y、Z 各为哪个电极, A 管和 B 管是 NPN 型还是 PNP 型? 它们是硅管还是锗管?

A 管: $U_X = 12V$, $U_Y = 11.7V$, $U_Z = 6V$;

B 管: $U_X = -5.2V$, $U_Y = -1V$, $U_Z = -5.5V$ 。

解: A 管: (1) 由 $U_X - U_Y = 0.3V$ 可得: A 管为 Ge 管, 且 Z 为集电极;

(2) 根据所给数据, 并结合 BJT 放大电路中若 $U_C < U_B < U_E$, 则该管为 PNP 型, X 为发射极, Y 为基极;

综上所述: A 管为 PNP 型 Ge 管, X 为发射极, Y 为基极, Z 为集电极。

B 管: (1) 由 $U_X - U_Z = 0.3V$ 可得: B 管为 Ge 管, 且 Y 为集电极;

(2) 根据 $U_C > U_B > U_E$ 可得: B 管为 NPN 型, 且 X 为基极, Z 为发射极;