

田淑华 李萍 编著

轻松看懂

数字电路图



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

轻松看懂 数字电路图

田淑华 李萍 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书在介绍数字电路基础知识的同时,以数字电路读图方法和读图步骤为重点,着重对逻辑图、卡诺图、时序图、门电路图形符号、组合逻辑电路图、触发器图形符号、时序电路图、555集成定时器及A/D、D/A转换器等电路图进行了详细讲解说明。另外,本书还简单介绍了EWB电子工作平台,并提供了典型数字电路的仿真实例,使读者更容易掌握数字电路基本图形符号及数字电路图的整体识读和分析。

本书实用性强,适用于要求迅速了解最新数字集成电路图形符号,掌握相关数字电路基础知识的工程技术人员及大、中专院校相关专业师生学习参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

轻松看懂数字电路图/田淑华,李萍编著. —北京:
中国电力出版社, 2007

ISBN 978-7-5083-4651-9

I. 轻... II. ①田...②李... III. 数字电路-电路图-基本知识 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第099395号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007年1月第一版 2007年1月北京第一次印刷
850毫米×1168毫米 32开本 6.875印张 179千字
印数0001—4000册 定价12.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言



集成电路技术的日益成熟及数字化进程的迅猛发展,使得数字电子技术成为当前发展最快的学科之一,并且已经涉及到电子、通信、计算机等各个相关领域。

为了使读者能迅速了解数字集成电路的应用,本书介绍了数字电路基础知识,而且以数字电路读图方法和读图步骤为重点,帮助读者快速读懂电路,进而更好地掌握数字电路分析和设计方法。

本书共分九章。考虑到知识的完整性,本书第一章简单回顾了数制与码制等基本概念,如果读者已经掌握这方面知识,可跳过这一章。第二章讲述了逻辑关系及表示方法,重点强调基本门电路和逻辑符号。第三章以卡诺图化简为重点,分析了逻辑函数的化简方法和化简技巧。第四章讲述了 TTL 和 CMOS 两种类型的逻辑门电路的图形符号及应用,并详细介绍了使用注意事项。第五章介绍了集成触发器的图形符号及应用。第六章和第七章分别介绍了组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析步骤和读图实例。第八章介绍集成门在脉冲电路中的应用,包括单稳态触发器、施密特触发器、多谐振荡器和 555 集成定时器的电路组成及应用。第九章内容是 D/A 和 A/D 转换器。最后,在附录中还给出了《常用逻辑符号对照表》,并简单介绍了 EWB 电路仿真软件的基本知识和使用方法,帮助读者拓展知识。

本书第一章、第二章和第三章由程维东老师编写,第四章和附录部分由李萍老师编写,第五章由李萍老师和张洋老师共同完成,第六章和第七章由李欣老师编写,第八章和第九章由田淑华老师编写。

尽管我们对本书的编写工作高度重视,投入了大量的精力,但疏漏之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编著者

目 录



前言

第一章 数制与码制	1
第一节 几种常用数制	1
第二节 不同数制之间的转换	2
第三节 几种常用码制	4
第二章 逻辑关系及其表示方法	6
第一节 正逻辑与负逻辑	6
第二节 三种基本逻辑关系及其图形符号	6
第三节 其他逻辑关系及其图形符号	9
第四节 各种表示方法的转换	10
第三章 逻辑函数的化简	12
第一节 逻辑代数的基本公式、定律和运算规则	12
第二节 公式化简法	14
第三节 卡诺图化简法	17
第四节 具有约束条件的逻辑函数化简	21
第四章 逻辑门电路图形符号及应用	24
第一节 TTL 集成门电路图形符号及型号	24
第二节 其他双极型门电路图形符号	45
第三节 CMOS 集成门电路图形符号及型号	49
第四节 数字集成电路应用	55
第五章 集成触发器图形符号及应用	65
第一节 基本 RS 触发器的图形符号	65
第二节 同步触发器的图形符号	68
第三节 主从触发器的图形符号	72
第四节 维持阻塞 D 触发器的图形符号	74
第五节 边沿触发器的图形符号	77

第六节	CMOS 集成触发器的图形符号	80
第七节	不同类型触发器的相互转换	83
第八节	触发器使用注意事项	86
第六章	组合逻辑电路识图	88
第一节	组合逻辑电路的分析步骤与实例	88
第二节	组合逻辑电路的设计步骤与实例	91
第三节	加法器的逻辑图形符号	94
第四节	数值比较器的逻辑图形符号	99
第五节	编码器和译码器的逻辑图形符号	102
第六节	数据选择器和数据分配器的逻辑图形符号	116
第七节	可编程逻辑器件 PLD 的表示方法和应用	122
第八节	竞争和冒险的产生与消除	128
第七章	时序逻辑电路识图	133
第一节	时序逻辑电路图的分析步骤与实例	133
第二节	计数器的电路图及应用	137
第三节	寄存器的电路图及应用	151
第四节	时序信号发生器	157
第五节	随机存储器 RAM	160
第八章	集成门在脉冲电路中的应用	164
第一节	单稳态触发器的电路组成及应用	164
第二节	施密特触发器的电路组成及应用	170
第三节	多谐振荡器的电路图分析	175
第四节	555 集成定时器及应用	178
第九章	D/A 和 A/D 转换	183
第一节	D/A 转换器	183
第二节	A/D 转换器	190
附录	199
附录 A	常用逻辑符号对照表	199
附录 B	Electronics Workbench 5.0 简介	201
参考文献	212

第一章 数制与码制

第一节 几种常用数制

一、数制

多位数码中每一位的构成方法及从低位到高位进位规则称为数制。

下面详细介绍几种常用数制。

二、几种常用数制

(一) 十进制数

在十进制数中，每个数位规定使用的数码为 0、1、2、…、9，共 10 个，计数的基数是 10，进位规则是“逢 10 进 1”。十进制数人们最熟悉，但机器实现起来较困难。十进制数展开式如下：

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= (K_{n-1}K_{n-2}\cdots K_1K_0K_{-1}\cdots K_{-m})_{10} \\ &= K_{n-1}10^{n-1} + K_{n-2}10^{n-2} + \cdots + K_010^0 + K_{-1}10^{-1} + \cdots + K_{-m}10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 10^i\end{aligned}$$

【例 1-1】

$$(157)_{10} = 1 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0$$

(二) 二进制数

在二进制数中，每个数位上规定使用的数码为 0 或 1，共两个，计数的基数是 2，进位规则是“逢 2 进 1”。二进制数展开式如下：

$$\begin{aligned}(N)_2 &= (K_{n-1}K_{n-2}\cdots K_1K_0K_{-1}\cdots K_{-m})_2 \\ &= K_{n-1}2^{n-1} + K_{n-2}2^{n-2} + \cdots + K_02^0 + K_{-1}2^{-1} + \cdots + K_{-m}2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 2^i\end{aligned}$$

【例 1 - 2】

$$(11101.11)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 \\ + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

(三) 十六进制数

在十六进制数中，每个数位上规定使用的数码符号为 0、1、2、…、9、A、B、C、D、E、F，共 16 个，计数的基数是 16，进位规则是“逢 16 进 1”。十六进制数展开式如下：

$$(N)_{16} = (K_{n-1}K_{n-2}\cdots K_1K_0K_{-1}\cdots K_{-m})_{16} \\ = K_{n-1}16^{n-1} + K_{n-2}16^{n-2} + \cdots + K_016^0 + K_{-1}16^{-1} + \cdots + K_{-m}16^{-m} \\ = \sum_{i=-m}^{n-1} K_i 16^i$$

【例 1 - 3】

$$(F8C.B)_{16} = F \times 16^2 + 8 \times 16^1 + C \times 16^0 + B \times 16^{-1}$$

在计算机应用系统中，二进制数主要用于机器内部的数据处理，十六进制数主要用于书写程序，十进制数主要用于运算最终结果的输出。

第二节 不同数制之间的转换

一、二进制数转换为十进制数

转换时将二进制数按位权展开，然后把所有的数值按十进制数相加。

【例 1-4】 将二进制数 1.101 转换成十进制数。

解：将每一位二进制数乘以位权（二进制数即为 2），然后相加，可得

$$(1.101)_2 = 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (1.625)_{10}$$

二、十进制数转换为二进制数

对十进制数的整数和小数部分分别进行转换，然后再将两部分转换结果合并，得到完整的二进制数制形式。

(一) 整数部分的转换

除基取余法：用基数 2 去除十进制数，第一次相除所得余数为目的数的最低位 K_0 ，将所得商再除以该基数，所得的余数为目的数的次低位 K_1 ，反复执行上述过程，直到商为 0，所得余数为目的数的最高位 K_{n-1} 。

【例 1-5】 将 $(173)_{10}$ 转换为二进制数。

解：转换过程如图 1-1 所示。

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 173} \quad \dots \dots \text{余 } 1 \quad \dots \dots K_0 \\
 \underline{2 \overline{) 86}} \quad \dots \dots \text{余 } 0 \quad \dots \dots K_1 \\
 \quad \underline{2 \overline{) 43}} \quad \dots \dots \text{余 } 1 \quad \dots \dots K_2 \\
 \quad \quad \underline{2 \overline{) 21}} \quad \dots \dots \text{余 } 1 \quad \dots \dots K_3 \\
 \quad \quad \quad \underline{2 \overline{) 10}} \quad \dots \dots \text{余 } 0 \quad \dots \dots K_4 \\
 \quad \quad \quad \quad \underline{2 \overline{) 5}} \quad \dots \dots \text{余 } 1 \quad \dots \dots K_5 \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \underline{2 \overline{) 2}} \quad \dots \dots \text{余 } 0 \quad \dots \dots K_6 \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \underline{2 \overline{) 1}} \quad \dots \dots \text{余 } 1 \quad \dots \dots K_7 \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 0
 \end{array}$$

图 1-1 整数部分的转换

所以： $(173)_{10} = (10101101)_2$

(二) 小数部分的转换

乘基取整法：用该小数乘以目标数制的基数 2，第一次相乘结果的整数部分为目的数的最高位 K_{-1} ，将其小数部分再乘基数所得结果的整数部分为目的数的次高位 K_{-2} ，反复执行上述过程，直到小数部分为 0，或满足要求的精度为止（即根据设备字长限制，取有限位的近似值）。依次类推，将每次乘 2 后所得乘积的小数部分再乘以 2，便可求出二进制小数的每一位。

$$\begin{array}{r}
 0.8125 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.6250 \quad \text{————— 整数部分 } = 1 = K_{-1} \\
 0.6250 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.2500 \quad \text{————— 整数部分 } = 1 = K_{-2} \\
 0.2500 \\
 \times 2 \\
 \hline
 0.5000 \quad \text{————— 整数部分 } = 0 = K_{-3} \\
 0.5000 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.0000 \quad \text{————— 整数部分 } = 1 = K_{-4}
 \end{array}$$

图 1-2 小数部分的转换

【例 1-6】 将 $(0.8125)_{10}$ 转换为二进制数。

解：转换过程如图 1-2 所示。

所以： $(0.8125)_{10} = (0.1101)_2$

三、二进制数转换为十六进制数

转换方法：由于十六进制基数是 16，故必须用 4 位二进制数构成 1 位十六进制数码，采用分组对应转换法，每 4 位为一组，不足 4 位用 0 补足。

【例 1-7】 将 $(111011.10101)_2$ 转换为十六进制数。

解：转换过程如下：

二进制数	<u>0011</u>	<u>1011</u>	<u>1010</u>	<u>1000</u>	
	↓	↓	↓	↓	
	3	B	A	8	十六进制数

所以： $(111011.10101)_2 = (3B.A8)_{16}$

第三节 几种常用码制

一、码制

用数码表示不同的事物时，所遵循的编制代码规则称为码制。

数字电路中编码的方式很多，这里主要介绍几种常用的 BCD 码：8421 码、余 3 码、2421 码和 5421 码。

二、几种常用码制

二 - 十进制 BCD 编码 (Binary Coded Decimal Codes, BCD 码)：用 4 位二进制代码对十进制数的各个数码进行编码。

(一) 8421 码

8421 码是有权码，各位的权值分别为 8、4、2、1。虽然 8421 码的权值与 4 位自然二进制码的权值相同，但二者是两种不同的代码。8421 码只是取用了 4 位自然二进制代码的前 10 种组合。

(二) 余3码

余3码是8421码的每个码组加0011形成的。其中的0和9、1和8、2和7、3和6、4和5，各对码组相加均为1111，具有这种特性的代码称为自补代码。余3码各位无固定权值，故属于无权码。

(三) 2421码

2421码的各位权值分别为2、4、2、1。2421码是有权码，也是一种自补代码。

(四) 5421码

5421码的各位权值分别为5、4、2、1。5421码是有权码。

本章小结

本章详细介绍了三种常用数制：十进制数、二进制数、十六进制数及不同数制之间的转换，最后介绍了几种常用的码制。其中不同数制之间的转换要重点掌握。

第二章 逻辑关系及其表示方法

第一节 正逻辑与负逻辑

正逻辑：用高电平表示逻辑“1”，用低电平表示逻辑“0”。

负逻辑：用低电平表示逻辑“1”，用高电平表示逻辑“0”。

在数字系统的逻辑设计中，若采用 NPN 型晶体管和 NMOS 场效应晶体管，电源电压是正值，一般采用正逻辑。若采用的是 PNP 型晶体管和 PMOS 场效应晶体管，电源电压为负值，则采用负逻辑比较方便。

第二节 三种基本逻辑关系及其图形符号

一、三种基本逻辑关系

在数字电路中，要研究的是电路的输入与输出之间的逻辑关系，相应的研究工具是逻辑代数（布尔代数）。在逻辑代数中，逻辑函数的变量只能取两个值（二值变量），即“0”和“1”。

逻辑代数有与、或、非三种基本运算。下面通过图 2-1 所示三个指示灯控制电路来说明。

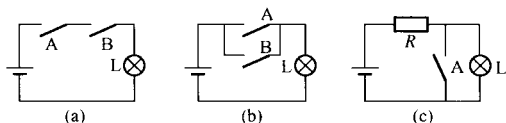


图 2-1 指示灯控制电路

(a) 与逻辑；(b) 或逻辑；(c) 非逻辑

如果把开关闭合作为条件，把灯亮作为结果，图 2-1 中三个电路代表三种不同的因果关系。

图 2-1 (a) 的例子表明, 只有当决定一件事情的条件全部具备之后, 这件事情才会发生。这种因果关系称为与逻辑。

图 2-1 (b) 的例子表明, 只要当决定某一事件的条件中有一个或一个以上具备, 这一事件就能发生。这种因果关系称为或逻辑。

图 2-1 (c) 的例子表明, 当决定某一事件的条件满足时, 事件不发生, 反之事件发生。这种因果关系称为非逻辑。

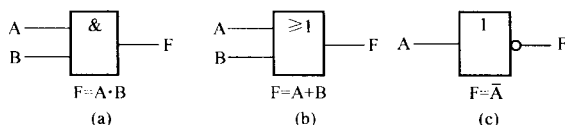
若以 A、B 表示开关的状态, 并以 1 表示开关闭合, 以 0 表示开关打开; 以 L 表示灯的状态, 并以 1 表示灯亮, 以 0 表示灭, 即可列出真值表 (逻辑变量只有两种取值 0 或 1, 所以我们可以用一种表格来表示输入与输出间逻辑函数的逻辑关系)。

三种基本逻辑关系的逻辑真值表如表 2-1 所示。

表 2-1 三种基本逻辑关系的逻辑真值表

输 入		输 出		
A	B	L _与	L _或	L _非
0	0	0	0	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	0
1	1	1	1	0

三种基本逻辑关系的逻辑函数表达式和图形符号如图 2-2 所示。



2-2 与门、或门、非门的逻辑图形符号及逻辑函数表达式

(a) 与门; (b) 或门; (c) 非门

二、最简单的与门、或门、非门电路

(一) 二极管与门

图 2-3 是有两个输入端的与门电路, A、B 为两个输入变

量, F 为输出变量。设 A 、 B 输入端的高、低电平分别为 $V_{IH} = 3V$, $V_{IL} = 0V$, 二极管的正向导通压降 $V_D = 0.7V$, 由图可知, A 、 B 中只要有一个是低电平 $0V$, 则必有一个二极管导通, 使 F 为 $0.7V$ 。只有 A 、 B 中全是高电平 $3V$, F 才为 $3.7V$ 。输入与输出的逻辑电平关系如表 2-2 所示。如果规定 $3V$ 以上为高电平, 用逻辑 1 表示; $0.7V$ 以下为低电平, 用逻辑 0 表示, 则该电路所对应的真值表如表 2-2 所示, 逻辑电平与真值表的关系一目了然。显然, F 和 A 、 B 是逻辑与关系, 即

$$F = A \cdot B$$

其中, $A \cdot B$ 可省略写成 AB , 即 $F = AB$ 。

表 2-2 二极管与门电路逻辑电平及真值表

输 入			→	输 入		输 出
V_A/V	V_B/V	V_F/V		A	B	F
0	0	0.7	0	0	0	
0	3	0.7	0	1	0	
3	0	0.7	1	0	0	
3	3	3.7	1	1	1	

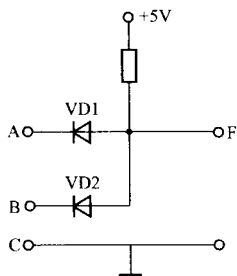


图 2-3 二极管与门

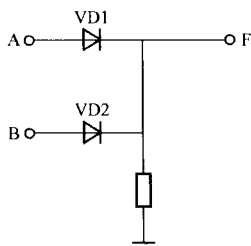


图 2-4 二极管或门

(二) 二极管或门电路

图 2-4 是有两个输入端的或门电路, A 、 B 为两个输入变

量，F 为输出变量。设 A、B 输入端的高、低电平分别为 $V_{IH} = 3V$ ， $V_{IL} = 0V$ ，二极管的正向导通压降 $V_D = 0.7V$ ，由图可知，A、B 中只要有一个是高电平 3V，则必有一个二极管导通，使 F 为 2.3V。只有 A、B 中全是低电平 0V，F 才为 0V。输入与输出的逻辑电平关系如表 2-3 所示。如果规定 2.3V 以上为高电平，用逻辑 1 表示；0.7V 以下为低电平，用逻辑 0 表示，则该电路所对应的真值表如表 2-3 所示，逻辑电平与真值表的关系一目了然。显然，F 和 A、B 是逻辑或关系，即

$$F = A + B$$

表 2-3 二极管或门电路逻辑电平及电路真值表

输入		输出	→	输入		输出
V_A/V	V_B/V	V_L/V		A	B	F
0	0	0		0	0	0
0	3	2.3		0	1	1
3	0	2.3		1	0	1
3	3	2.3		1	1	1

(三) 晶体管非门

图 2-5 给出的晶体管开关电路，当输入 V_1 为高电平时输出 V_0 为低电平，而输入 V_1 为低电平时输出 V_0 为高电平。因此，输出与输入的电平之间是反相关系，如果选择正逻辑，则 $F = \bar{A}$ 。

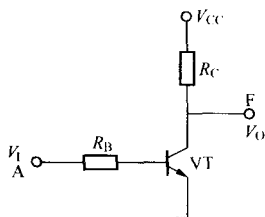


图 2-5 晶体管非门

第三节 其他逻辑关系及其图形符号

将与、或、非三种基本逻辑运算进行组合，可以得到各种形

式的复合逻辑运算，其中最常用的几种复合逻辑运算是“与非”运算、“或非”运算、“与或非运算”、“异或”运算及“同或”运算。这些运算的逻辑门图形符号及代数式如图 2-6 所示。

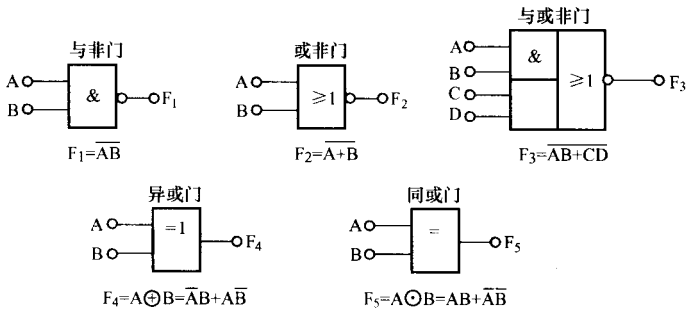


图 2-6 复合逻辑门图形符号和逻辑函数式

第四节 各种表示方法的转换

在逻辑函数的表示方法中，共介绍四种方法：即真值表、函数式、逻辑图和卡诺图。这四种方法之间可以任意地相互转换。其中卡诺图在第三章要详细介绍，在这里就不再赘述。

【例 2-1】 函数式、真值表及逻辑图之间的转换。

函数式为

$$F = ABC$$

则真值表如表 2-4 所示，逻辑图形符号如图 2-7 所示。

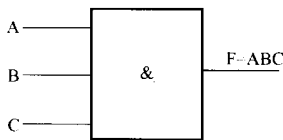


图 2-7 [例 2-1] 逻辑图形符号

表 2-4 函数 $F = ABC$ 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	0
1	1	0	0
1	1	1	1

本章小结

本章介绍了正逻辑和负逻辑概念以及三种基本逻辑关系（与、或、非）表示方法，并在此基础上介绍了复合逻辑运算及其表示方法。最后介绍了各种表示方法之间的转换。其中基本逻辑关系及其表示方法是本章的重点内容。