

看图巧学电工电子技术丛书

看图巧学

数字电路入门

姜有根 王岚 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

看图巧学电工电子技术丛书

看图巧学

数字电路入门

姜有根 王岚 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

本书是数字电路基础知识的普及性读物, 尝试利用图表手段降低知识难度。本书内容分为6章, 第一章为数字电路的基础理论——逻辑代数知识, 第二~五章为数字电路的基本知识, 第六章为实验内容, 供有实验意愿并有一定物质条件的读者作为实验参考。除第六章之外, 其他各章都有自测题及参考答案。

本书可作为有学习数字电路意愿的读者的自学读物, 也欢迎有关学校用此书作为数字电路课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

看图巧学数字电路入门 / 姜有根, 王岚主编. —北京: 中国电力出版社, 2008

(看图巧学电工电子技术丛书)

ISBN 978-7-5083-7734-6

I. 看… II. ①姜…②王… III. 数字电路-识图法
IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第115471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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年1月第一版 2009年1月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 7.875印张 202千字

印数0001—3000册 定价18.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

数字技术的普及把我们送进数字化、信息化时代，生活、工作中所使用的各种电气设备中绝大部分都已经数字化。数字化的电气设备给人们的工作、生活带来极大的方便、效益和乐趣。因此，了解数字技术知识也就成了很多人的共同愿望。

19 世纪英国数学家乔治·布尔创立逻辑代数为数字式计算机的诞生准备了数学理论，20 世纪美国通信工程师克劳德·香农发表的《通信的数学理论》又为当今的“信息论”奠定了基础。依据克劳德·香农的理论产生的数据压缩、纠错等各种应用技术，提高了数据传输、存储的效率和可靠性。从个人计算机到 DVD，从卫星通信到文传，在我们今天的生活中，信息和应用信息处理技术的电子产品不但在每个领域都扮演着重要角色，而且在不断地丰富和发展。最典型的实例是 2002 年 4 月美国航天局向已经距地球 120 亿 km 以外的“旅行者”1 号探测器发送起动备用设备的指令，成功地替换了探测器上因在深空低温下曝露 25 年而老化的电路和有关部件。这是人类有史以来完成的一次最遥远的修复工作，充分显示了克劳德·香农所开发的数字通信技术的惊人能力。有迹象表明，信息论的重大应用远不止于此，而分析、处理各类信息的核心工具则是计算机，计算机电路的基础是数字电

路。处于以计算机为代表的信息化时代，掌握或了解一些数字电路知识，对于理解和处理计算机技术性问题是很有帮助的。

数字技术的基本原理首先是把生活、生产、科研、军事、气象以及各种自然信息转换为用离散的脉冲表示的信号，再通过数字电路对这些信号按照实际的技术需要进行即时性或时序性的逻辑变换处理。

本书用比较通俗易懂的语言，并尝试用卡通画提示和导读以及大量表格的形式，降低读者学习本书的难度。在文中，“与”、“或”两字的字意有名词和连词之分，作名词时，是表示相应的逻辑功能，请读者注意区别。

本书由姜有根、王岚主编，参加编写的有王世忠、金昭文、孟令东、戴顺、姜南等人。书中第一、六章由姜有根组织编写，第二~五章由王岚组织编写。因编者的水平有限，书中难免存在错误和疏漏，请使用此书的读者给予谅解。

编者



目 录

前言

第一章 基本逻辑和逻辑变换



第一节 基本逻辑	1
一、逻辑状态和逻辑数据	1
二、基本逻辑	4
三、重要的复合逻辑	14
第二节 逻辑变换	20
一、逻辑表示方法之间的转换	20
二、表达式变换	28
本章小结	44
自测题	44
自测题参考答案	46

第二章 成品数字集成电路



第一节 TTL 系列的数字集成电路	57
一、TTL 电路及电平标准	57

二、与门、或门、非门的基本电路	
结构	57
三、与非门电路	62
四、OC 门	63
五、三态门	63
第二节 CMOS 门电路	65
一、CMOS 反相器	66
二、CMOS 与非门	67
三、CMOS 或非门	69
四、CMOS 传输门	71
第三节 门电路的使用常识	73
一、TTL 非门电路的基本参数	73
二、CMOS 门电路的基本参数	79
三、逻辑门符号综述及空端处理	82
本章小结	85
自测题	86
自测题参考答案	87

第三章 逻辑信号的即时性变换



第一节 概述	92
一、数字信号的即时性变换	92
二、组合逻辑电路的结构及特点	92
第二节 组合逻辑电路的分析	93
一、分析组合逻辑电路的步骤	93
二、组合逻辑电路的分析实例	93
第三节 组合逻辑电路的设计	96
一、设计组合逻辑电路的步骤	96
二、组合逻辑电路的设计实例	96

第四节 常见的组合逻辑电路	101
一、加法器	101
二、数值比较器	103
三、译码器和编码器	104
四、数据选择器和数据分配器	111
第五节 使用组合逻辑电路要注意的 问题	113
一、信号传输过程中可能存在的竞争 冒险现象	114
二、竞争冒险现象的判断及消除 方法	117
本章小结	120
自测题	120
自测题参考答案	121

第四章 数字信号的记忆



第一节 记忆功能的实现——触发器的 结构与特性	126
一、基本 R-S 触发器的构成与 特性	127
二、同步触发器	130
三、主从触发器	135
四、边沿触发器	142
第二节 触发器的逻辑分类及功能 转换	146
一、触发器的逻辑分类	146
二、触发器的功能转换	146
第三节 触发器的应用及举例	148

一、触发器的应用	148
二、触发器的两要素	150
本章小结	153
自测题	153
自测题参考答案	155

第五章 数字信号的时序性变换



第一节 概述	158
一、时序逻辑电路的结构	158
二、时序逻辑电路的特点	159
第二节 时序逻辑电路的分析与设计方法	159
一、时序逻辑电路的分析方法	159
二、时序逻辑电路的设计方法	164
第三节 典型的时序逻辑电路	168
一、寄存器	168
二、计数器	172
三、节拍器	194
四、分频器	197
本章小结	203
自测题	204
自测题参考答案	206

第六章 简易数字电路实验



第一节 自制简易数字电路实验设备	216
一、逻辑开关	216

二、显示器	217
三、信号发生器	218
四、逻辑电平测试笔	222
五、半导体集成电路标识方法	
常识	222
第二节 实验内容	224
一、门电路功能测试	224
二、组合电路功能测试	229
三、触发器和时序电路功能测试 ...	234
本章小结	238



第一章 基本逻辑和逻辑变换

逻辑是指人类的思维以及客观事物的因果规律。逻辑代数是研究未知逻辑状态与变化结果之间关系的理论。在数字电路中,是以逻辑代数的原理作为基本手段处理矩形脉冲信号(即数字信号)各种类型的变换的。

第一节 基本逻辑

一、逻辑状态和逻辑数据

1. 事物的逻辑状态

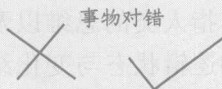
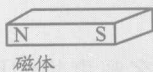
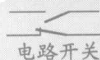
自然界中的事物是多种多样的,事物的状态也是千变万化的,其中最简单、最基本的是同一事物的两种相互对立(也叫互斥)状态。如表1-1所示。

表 1-1 事物逻辑状态实例

事物种类	对立状态一方	对立状态另一方
事物	有	无
判断	对	错
1 天时间	白天	黑夜
电路	通	断
电荷	正	负
磁体	N 极	S 极
说话	真	假

事物的复杂变化可以分解为最简单、最基本状态的逻辑变换关系。同一事物的两种相互对立(也叫互斥)状态,称为事

物的逻辑状态。



2. 逻辑数据

用0、1两个数码计数的方式称为二进制，进位规律是“逢二进一”。0、1两个数码既能计数、表示数值大小，也可以表示事物的逻辑状态。将事物的逻辑状态用二进制码表示叫做逻辑赋值。赋值后的0、1各代表一种逻辑状态，称为逻辑数据。逻辑赋值是任意的。

对逻辑状态赋值是任意的！



用二进制数表示数值时，按二进制进位规律计数，表1-2为二进制计数与十进制、十六进制计数的对应关系。

表 1-2 二进制与十进制、十六进制的对应关系

十 进 制	十 六 进 制	二 进 制
0	0	0
1	1	1
2	2	10
3	3	11

续表

十 进 制	十 六 进 制	二 进 制
4	4	100
5	5	101
6	6	110
7	7	111
8	8	1000
9	9	1001
10	A	1010
11	B	1011
12	C	1100
13	D	1101
14	E	1110
15	F	1111

二进制计数和十进制计数一样可以进行加、减、乘除等运算。

$$\text{加法: } 0+0=0 \quad 0+1=1+0=1 \quad 1+1=10$$

$$\text{减法: } 0-0=0 \quad 1-1=0 \quad 1-0=1 \quad 10-1=1$$

$$\text{乘法: } 0 \times 0 = 0 \quad 0 \times 1 = 1 \times 0 = 0 \quad 1 \times 1 = 1$$

$$\text{除法: } 0 \div 1 = 0 \quad 1 \div 1 = 1$$



逻辑数据与二进制数在形式上没有区别，其区别只在运算手段，作数学运算的是二进制数，作逻辑运算的是逻辑数据。

通过逻辑赋值，把实际事物状态间的因果关系转换为逻辑数据的运算，再用电路的高低电平表示 0、1 代码，数据的逻辑运算就可以由逻辑电路完成。逻辑电路（又叫数字电路）就是

能够实现各种逻辑运算的电路。

二、基本逻辑

1. 逻辑的表示

表述事物状态之间的逻辑关系可用文字（语言）表述、状态表、真值表、表达式、逻辑图（图形符号）、电压波形图、状态转换图等多种方法表示。这些方法在处理逻辑问题过程中都有特定的用途。逻辑的各种表示方法之间的关系如图 1-1 所示。逻辑的表示方法如表 1-3 所示。

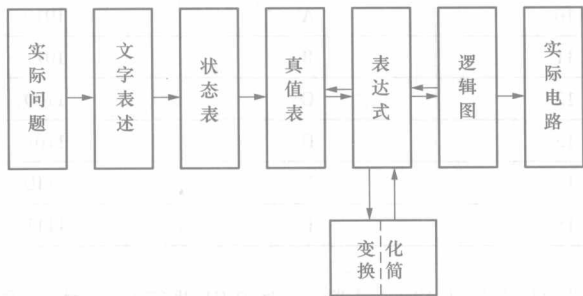


图 1-1 逻辑的各种表示方法之间的关系

表 1-3

逻辑的表示方法

逻辑的表示方法	表示方法说明
文字、语言	用文字或语言说明事物状态间逻辑（因果）关系
状态表	按照文字（或语言）表述的事物逻辑关系，把各个条件状态的全部组合以及对对应结果的状态列出的表格
真值表	对状态表中的各种状态进行逻辑赋值后形成的 0、1 代码表
表达式	用字母和逻辑运算符及数学符号表示结果和条件的逻辑关系的数学等式
逻辑图	用图形符号表示结果与条件之间的逻辑关系的方法，逻辑符号既表示逻辑运算关系，又表示能实现逻辑运算功能的电路

逻辑的表示方法	表示方法说明
电压波形图	表示逻辑电路输入信号与输出信号电压波形之间在时间上的对应关系
状态转换图	表示时序逻辑电路输出状态的固定序列关系

列真值表是把实际逻辑转换为抽象逻辑关系的关键步骤!



表达式是表示逻辑结果与各个条件的逻辑运算关系,我们把条件称为逻辑变量,把结果称为逻辑函数。表达式是实施逻辑运算的主要手段,也是设计、制作逻辑电路的依据。

多个逻辑图形符号相连接表示复杂逻辑运算的逻辑图(单个的逻辑图形符号是最基本的逻辑图)。在逻辑图中,条件是电路的输入信号,结果是电路的输出信号,都用单线表示,即一条线表示一个信号。具体逻辑图形符号见下文。

逻辑电路的电压波形图可用专用示波器或逻辑分析仪对电路检测显示,电压波形是电路实际动作的直观显示。

2. 基本逻辑

基本逻辑运算有与、或、非三种。非逻辑是一个条件对应一个结果,与逻辑和或逻辑都是两个或两个以上的多个条件对应一个结果。异或逻辑将在后文中介绍。

逻辑种类	条件数量	结果数量
非逻辑	1	1
与逻辑	≥ 2	1
或逻辑	≥ 2	1
异或逻辑	2	1



在表达式中的运算顺序规则是：① 在几种运算并列的状态下按先非、后与、再或顺序进行；② 同类运算由左至右顺序进行；③ 对于超越规则的运算用加括号方式表示。

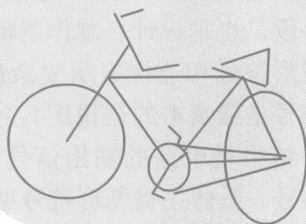
(1) 非逻辑

1) 定义：如果一个事件由一个条件决定，并且两者之间是互为否定的关系，这样的因果关系称为非逻辑。非逻辑也叫取反，事件是条件进行非逻辑运算的结果。

2) 实例：设备的可正常运行状态与故障的关系就属于非逻辑关系。设备要正常运行就不能有故障，有故障的设备就不能正常运行。



这个后轮不圆的自行车是不能用了！



3) 状态表：若把设备用字母 S 表示，故障用字母 G 表示，它们的状态对应关系如表 1-4 所示。

表 1-4

非逻辑的状态表

故 障 G	设 备 S
无	正常
有	不正常

4) 真值表：把设备正常状态和有故障状态用 1 表示（即赋

值为1)，设备的不正常状态和无故障状态用0表示（即赋值为0），状态表就转换为真值表，如表1-5所示。

表 1-5

非 逻辑 真 值 表

G	S
0	1
1	0

5) 表达式：非逻辑运算用在运算对象上方加横线方式表示，上述的非逻辑关系可成下面的表达式

$$S = \overline{G}$$

这里的横线就是非逻辑运算符，横线长度一定要覆盖运算对象整体。

表达式可读做“S等于G非”、“S等于G反”、“S等于G的反”。



非逻辑中，函数S与变量G成相互否定关系，也就是互反关系，所以，表达式还可写成

$$\overline{\overline{S}} = G$$

6) 非逻辑运算法则如下：

数值运算

$$\overline{1} = 0$$

$$\overline{0} = 1$$

变量运算

$$\overline{\overline{A}} = A \text{ (对合律)}$$

7) 逻辑图形符号：常见的非逻辑图形符号有三种，如图1-2所示。

8) 电压波形图：实际事物的逻辑状态，在数字电路中用脉