

4、从二进制到逻辑门

4.1 二进制

4.2 布尔代数

4.3 数字电路

4.4 逻辑门

4.5 组合逻辑电路

4、从二进制到逻辑门

4.1 二进制

二进制来自哲学，自然万物两两相对，白与黑、冷与热、天与地、男与女、升与降、高与低、轻与重、开与合、……。我国传统文化根源就在于阴阳易理、太极、两仪、四象、八卦，都是在描述自然的本质和规律。易者，至简至易也。易理认为万事万物最本质的规律很简单，就是阴阳而已。

不仅是中国，在很久以前，世界给的文明也都或多或少意识到了二进制的意义，只是除了参悟哲学道理，一直没有抽象成数学。

直到17~18世纪，数学上的二进制才有莱布尼兹首次提出。莱布尼兹首先是位伟大的哲学家，至简至易的理念始终贯穿在他的哲学和数学研究种。他认为，任何数字都可以在0和1的基础上产生。他对中国额哲学文化有着十分浓厚的兴趣，当了解到《易经》时，不禁感叹其中充满智慧的符号系统和他的二进制理论竟如此相仿。

4.2 布尔代数

莱布尼兹坚信，**人类的思想和数字一样可以化繁为简——所有的思想都可以分解位数量不多的简单思想！**这些思想通过一些既定规则，可以组成任意的复杂思想，就像数学运算一样。

为了“计算”思想，莱布尼兹阐述了后来被称为合取（conjunction）、析取（disjunction）、否定（negation）等逻辑运算规则，成为数理逻辑（mathematical logic）最早的探索者之一。

但逻辑运算在数学上的系统性定义，要等到19世纪由英国数学家乔治·布尔（George Boole）首次提出。布尔分别在1847年和1854年发表了著名的《逻辑的数学分析》和《思维规律的研究》，将数学中的代数方法引入到逻辑学中，被后人称为布尔代数（Boole algebra），逻辑运算因而也叫布尔运算。

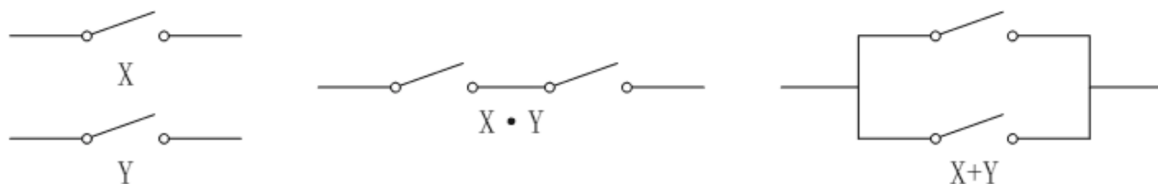


4.3 数字电路

20世纪，随着继电电路的发展，许多科学家开始将二进制、布尔代数和电路联系在一起。最终，由美国一位名叫克劳德·香农（Claude Shannon）的数学家做出了完整的阐释。1938年，香农发表了《继电器与开关电路的符号分析》，奠定了数字电路的基础。



开关电路就是由接通和断开两种状态的电路，上一章讲到的继电电路就是一种开关电路。当我们用X、Y等字母代表开关电路，将两者串联起来，就可以代表逻辑与。将两者并联起来，就可以代表逻辑或。



香农的逻辑电路

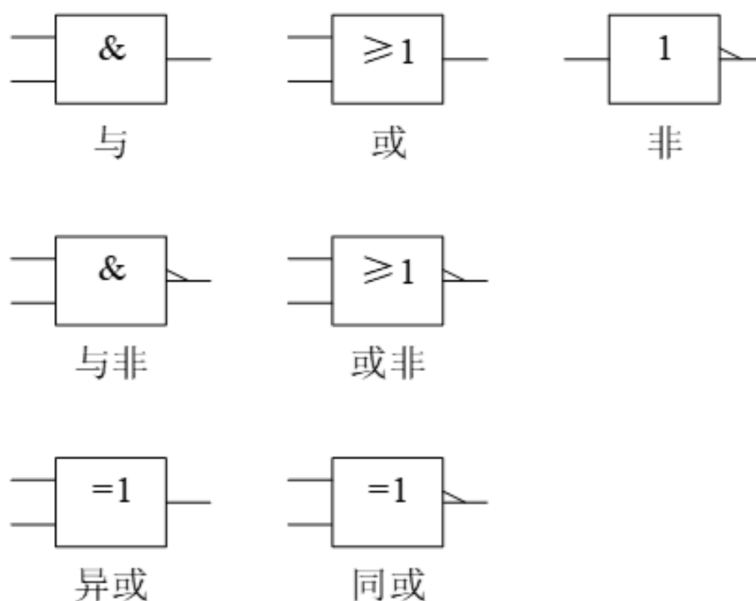
那么逻辑非如何实现呢？还记得有两个静触点的电磁继电器吗？如果X表示常闭触点所在的工作电路， $\neg X$ 便是常开电路所在的工作电路，两者的通断永远互斥。

有了与、或、非3种基础逻辑电路，异或等复杂逻辑电路也就不难搭建了。

如此一来，电路就彻底数字化了，原本物理的连接可以用数学来表示，是为数字电路。香农认为，基于布尔代数，再复杂的电路都可以用表达式条理清晰地设计出来，更重要的是可以等效化简。香农的研究成为后来二进制计算机和电子计算机强大的理论基础。

4.4 逻辑门

逻辑电路发展成熟后工程师们更多地把它们作为一种电路中的元器件使用，他们不关心这些元器件的内部实现，更关注当代表0或1的信号从它们的输入端进去，从输出端出来的是0还是1。这种通过逻辑电路实现二进制信号转换的元器件称为逻辑门（logic gate）。门的概念很形象，二进制数据可以从门通过，也可能被门挡住，庞杂的计算机电路就是靠一扇扇这样的门组合而成。下图为IEEE和IEC标准中规定的逻辑门符号，统一的矩形更有利于绘制复杂的集成电路。信号从矩形左侧进入，从矩形右侧输出。

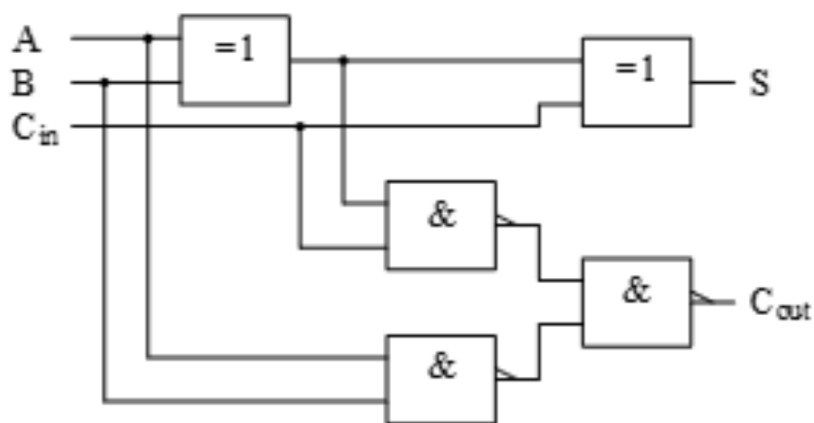


4.5 组合逻辑电路

逻辑门像一块块标准化的积木，我们可以用这些积木灵活地搭建出实现各种功能的组合逻辑电路。举个最简单的例子——二进制加法器。要实现两个二进制数的加法，首先要实现单个数位的两两相加。用A和B表示二进制数某一位上的值， C_{in} 表示来自低位的进位值，S和 C_{out} 表示 $A+B+C_{in}$ 之后该位的值和高位产生的进位值，得单数位得加法真值表：

A	B	C_{in}	S	C_{out}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

用2个异或门和3个与非门即可实现这一逻辑，有兴趣得读者可以去几组值验证一下。二进制数有多少位，就需要多少个图中得逻辑电路，相邻数位得低位 C_{out} 与高位 C_{in} 相连，最低位得 C_{in} 永远为0。



单数位二进制加法逻辑电路

减法以及其它更复杂得运算，乃至控制逻辑也可以如法炮制。

更重要的是，开关电路仅仅是逻辑电路的实现途径之一，其它不论任何材料，所组成的基础元件只要能表达出两种状态、能在两种状态之间切换，并能将状态传递给其它基础元件，就都可以用来实现逻辑电路以及逻辑门。逻辑门一旦实现，二进制计算机的建造就像搭积木一样简单了。这种基础元件的等效性，是可以用不同材料来建造计算机的本质原因。在前面，我们甚至见到纯机械的逻辑门，那是建筑二进制计算机的第一批积木，它们尚与电路和电子无关，而是由钢铁组成。