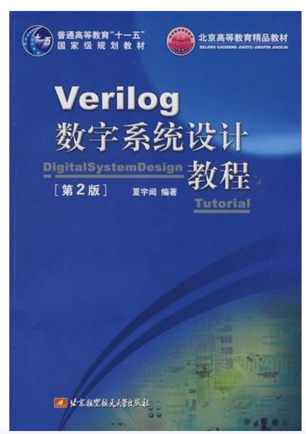
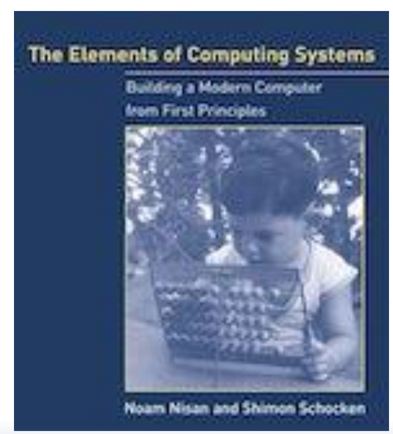
VLSI数字系统设计

课程介绍和要求

- 课时：56学时，其中理论40学时，实验16学时
- 参考教材
  - 数字电子技术基础（第6版），阎石，清华大学电子学教研组编，高等教育出版社【理论课】
  - Verilog 数字系统设计教程（第4版），夏宇闻，北京航空航天大学出版社【实验课】
  - 自编实验指导手册【实验课】
  - 计算机系统要素——从零开始构建现代计算机【推荐阅读】





教学团队

❑ 主讲教师：

- 邓岳，ydeng@buaa.edu.cn
- 李家军， jiajunli@buaa.edu.cn
- 李洪珏，lihongjue@buaa.edu.cn

❑助教：

- 顾祚亚
  - ✓ 微信号：gzy18630751636
  - ✓ 邮箱：zuoyagu@buaa.edu.cn
  - ✓ 地址：沙河主楼D座5层

❑微信群：

考核方式及成绩评定

❑ 考核内容

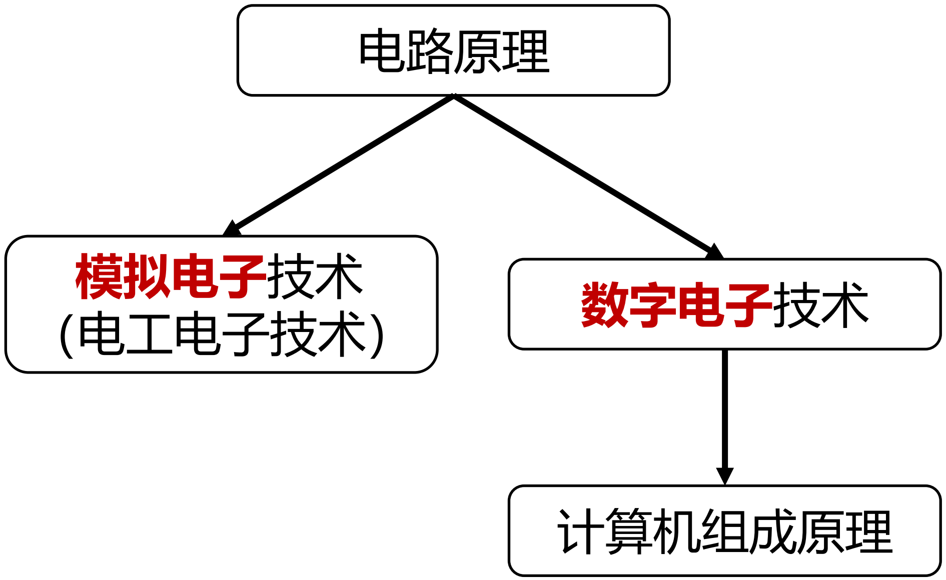
- ➢课堂点名与提问
- ➢平时作业
- ➢实验
- ➢期末考试

❑评分方法

- ➢平时成绩20%
- ➢实验报告30%
- ➢考试50%

什么是数字系统?

- **模拟电子与数字电子**



- **数字量和模拟量**
  - **数字量：在时间上和数量上都是离散、不连续的。（存在一个最小数量单位△）**
  - **模拟量：数字量以外的物理量**

❑ 以下哪些物理量是连续的？

- 颜色
- 光的强度
- 车
- 声音
- 高度和重量
- 狗
- 英文字母

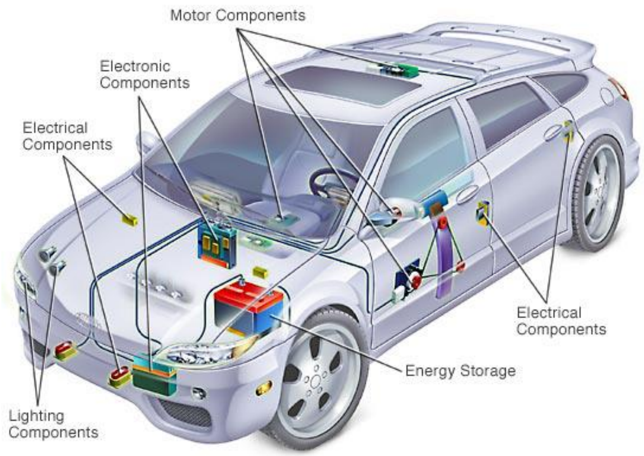
<u>现实世界大部分物理量都是模拟量</u>

- **数字系统和模拟系统**
  - **工作信号、研究的对象、分析/设计方法以及所用的数学工具都有显著的不同**
  - **用数字信号完成对数字量进行算术运算和逻辑运算的电路称为数字电路，或数字系统**

无处不在的数字电子系统

消费电子

汽车



通信设施

无人机

卫星

数据中心

数字电子系统构成

- **信号的提取**
  - 传感器
  - 接收器
  - 信号发生器
- **信号的(预)处理**
  - 滤波器
  - 隔离电路
  - 阻抗变换
  - 放大器
- **信号的加工**
  - 运算电路
  - 信号转换电路
  - 比较器
  - 采样保持
- **信号的执行**
  - 功率放大器
  - 执行机构

数字电子系统发展历史

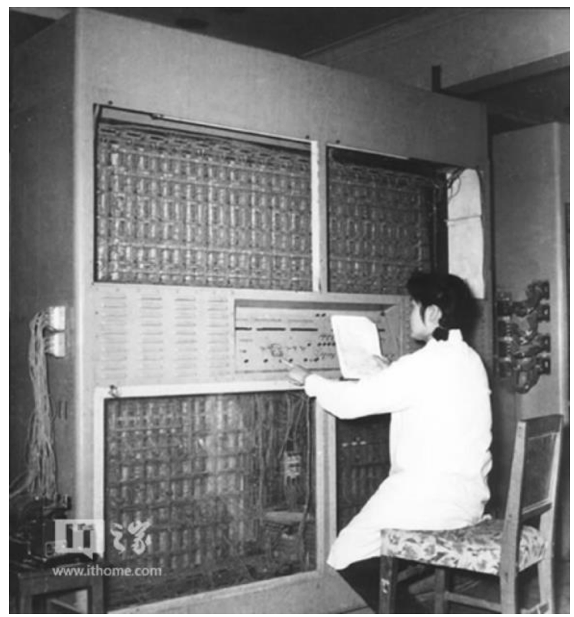
- ❑ 早期计算机和数字系统（1940s - 1950s）
- ❑ 集成电路的崛起（1960s - 1970s）
- ❑ 微处理器和个人计算机时代（1980s - 1990s）
- ❑ 嵌入式系统和移动计算（2000s - 至今）

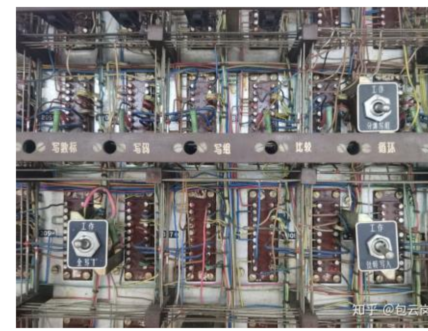
早期计算机和数字系统（1940s - 1950s）

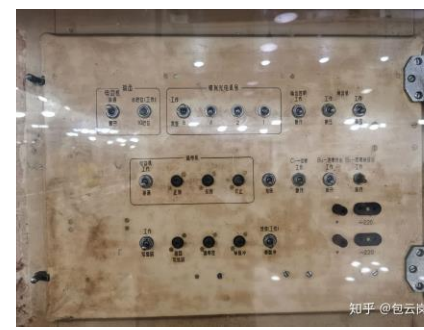
- ❑电子管为基本电子器件
- ❑使用机器语言和汇编语言
- ❑主要应用于国防和科学计算，运算速度每秒几千次至几万次

各式各样的电子管

第一台量产商用电子计算机-UNIVAC（1951年）







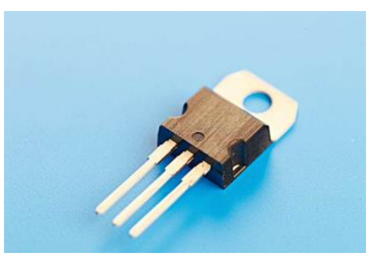
中国第一台电子管计算机—103计算机（1964年）

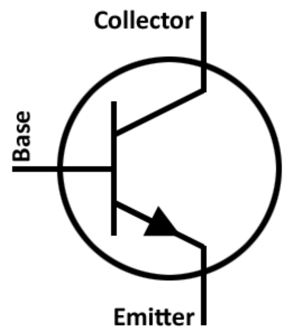
扩展阅读https://zhuanlan.zhihu.com/p/300096279?utm_source=wechat_session

集成电路的崛起（1960s - 1970s）

- 1960年，Jack Kilby和Robert Noyce分别独立发明了集成电路，IC技术的出现极大地减小了电子元件的体积并提高了性能。
- TTL（Transistor-Transistor Logic）等数字逻辑门系列问世，为数字电子系统的设计提供了更多选择。
- 通用计算机进一步发展，如IBM System/360系列（1964年），其采用模块化设计，使得硬件和软件得以分离。

晶体管：可变电流开关，能够基于输入电压控制输出电流





IBM System/360系列（1964年）

超大规模集成电路计算机

- ❑超大规模集成电路（Very Large Scale Integration Circuit，VLSI）
- ❑将大量晶体管组合到单一芯片的集成电路
- ❑在一块芯片上集成的元件数超过10万个，或门电路数超过万门的集成电路
- ❑通常采用电子设计自动化（ Electronic Design Automation ）的方式进行，已经成为计算机工程的重要分支之一
  - ➢借助计算机自动地完成数字电子系统设计（逻辑编译、化简、分割、综合、优化、布局、布线和仿真）
  - ➢电子设计与制造技术发展中的核心

已经生效!美国正式断供EDA软件,中国企业传感器设计...

以美国为例,在我国发展的过程当中,有很多科技型的产品都是从美国进口的,而在我国发展得越来越好的情况下,美国却做出了一些限制...

网易 13小时前

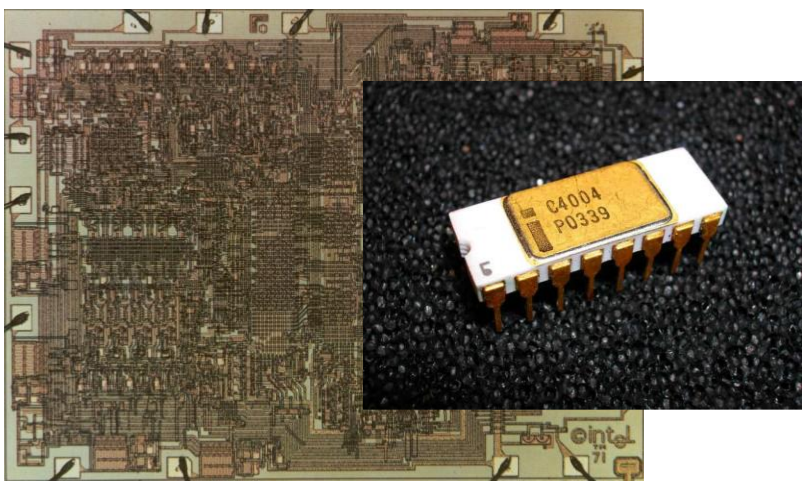
已经生效!美国已正式断供EDA软件,中国企业不能设计传感器了

设计传感器、芯片,所使用的的主流软件就是EDA软件。我国中高端传感器芯片有80%都是来自进口,而传感器设计软件则全是依赖于国外产品。 在美国断供EDA软件之后,我国并没有国产...

网易 昨天20:20

微处理器和个人计算机时代（1980s - 1990s）

- 1971年，Intel推出了第一款商用微处理器Intel 4004，开创了微处理器时代。
- 个人计算机的兴起，如IBM PC（1981年）等，普及了数字电子系统的应用，推动了微处理器和集成电路技术的迅猛发展。
- 图形界面、图像和声音处理等数字技术的发展，为多媒体应用提供了支持。



Intel 4004（1971年）

IBM PC（1981年）

嵌入式系统和移动计算（2000s - 至今）

- ❑嵌入式系统的广泛应用，如智能手机、平板电脑、智能家居等，将数字电子系统融入了各个领域的日常生活。
- ❑物联网（Internet of Things，IoT）的概念兴起，数字电子系统连接了更多设备和物体，实现了大规模的数据采集与处理。
- ❑FPGA（Field-Programmable Gate Array）等可编程逻辑器件的广泛应用，使得数字电子系统在硬件设计领域更加灵活和高效。

嵌入式系统

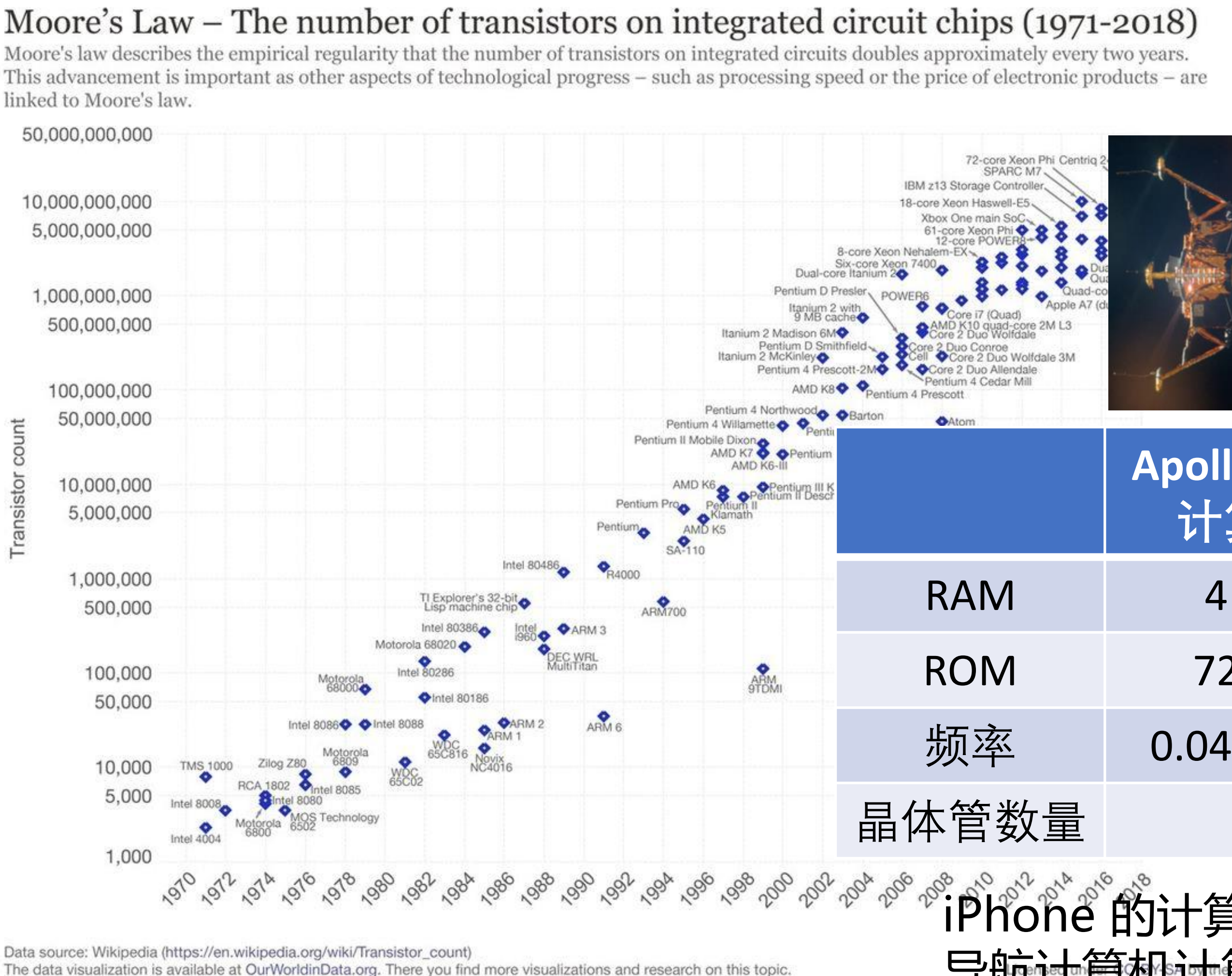
FPGA

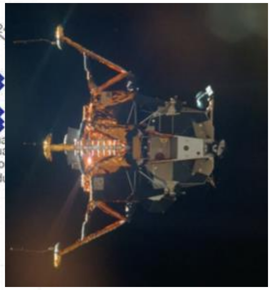
摩尔定律

- 摩尔定律（Moore's Law）是集成电路领域的一个重要观察和预测
- 英特尔公司的共同创始人之一戈登·摩尔（Gordon Moore）在1965年提出
- 该定律预测了集成电路的发展趋势，尤其是晶体管数量与芯片尺寸的关系。
- 摩尔定律：集成电路上可以容纳的晶体管数目在大约每经过18个月到24个月便会增加一倍。换言之，处理器的性能大约每两年翻一倍，同时价格下降为之前的一半。

摩尔定律

单个芯片上的晶体管数量

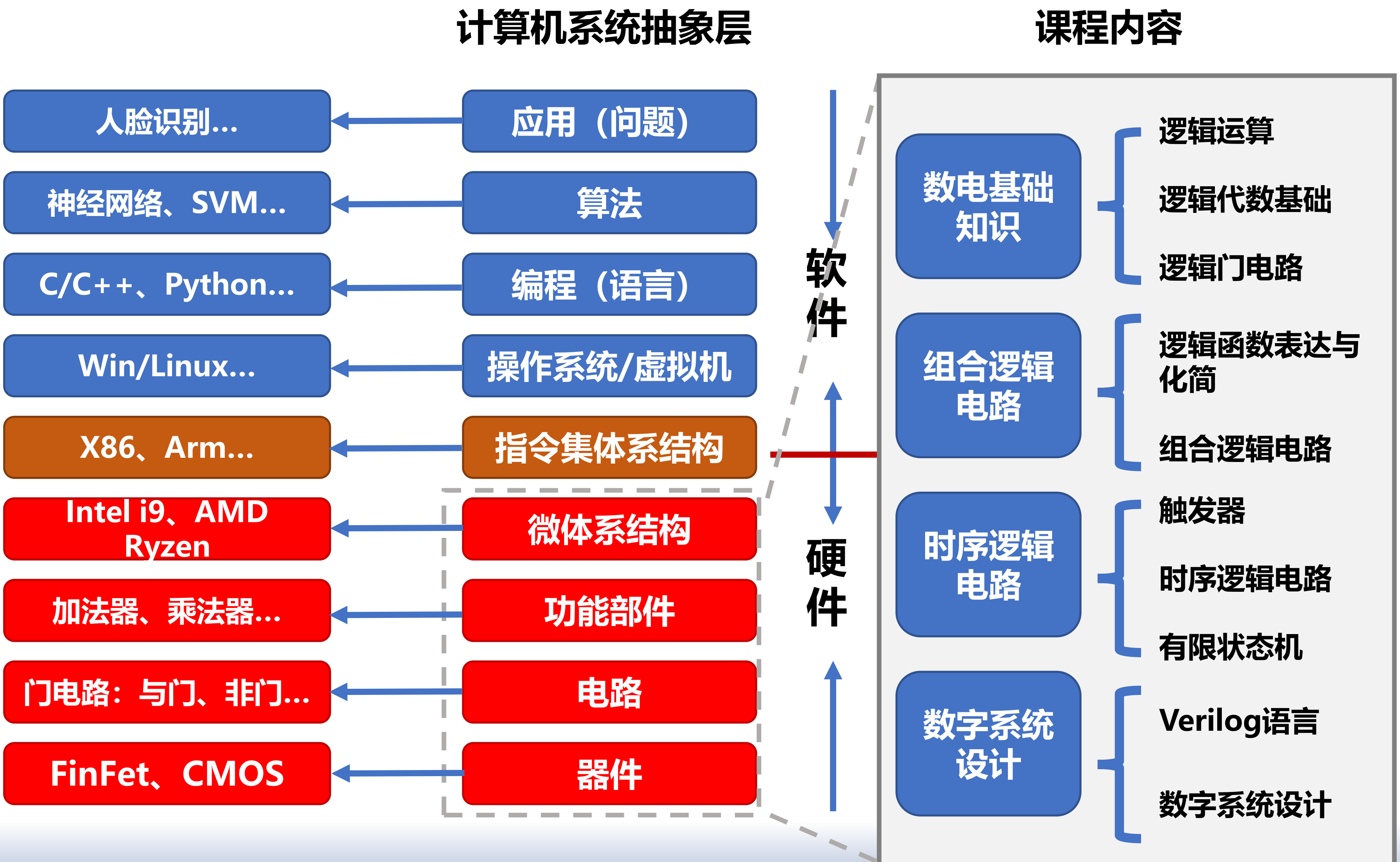




	Apollo 导航计算机	iPhone Xs Max
RAM	4 KB	4 GB
ROM	72 KB	128GB/512GB
频率	0.043MHz	2,490 MHz
晶体管数量	-	16亿

iPhone 的计算能力是阿波罗11号登月导航计算机计算能力的1.2亿倍

课程内容



计算机系统抽象层
课程内容
人脸识别…
应用（问题）
神经网络、SVM…
算法
C/C++、Python…
编程（语言）
Win/Linux…
操作系统/虚拟机
X86、Arm…
指令集体系结构
Intel i9、AMD Ryzen
微体系结构
加法器、乘法器…
功能部件
门电路：与门、非门…
电路
FinFet、CMOS
器件
软件
硬件
数电基础知识
逻辑运算
逻辑代数基础
逻辑门电路
组合逻辑电路
逻辑函数表达与化简
组合逻辑电路
时序逻辑电路
触发器
时序逻辑电路
有限状态机
数字系统设计
Verilog语言
数字系统设计

课程目标

❑总体目标

- ➢掌握数字电子技术的基本原理、基础理论和基本知识
- ➢具备一定数字系统设计能力，具有较强的实验技能
- ➢认识数字电子技术对现代科学技术的重大影响和各种应用，了解并适当涉及正在发展的学科前沿

❑具体目标

- ➢掌握常用计数进制和BCD码
- ➢掌握逻辑函数及其化简
- ➢掌握TTL门电路、CMOS门电路的特点和常用参数
- ➢掌握常用组合逻辑电路的原理及功能
- ➢掌握常用时序逻辑电路的原理及功能
- ➢掌握常用触发器的工作原理
- ➢掌握硬件描述语言及数字系统设计方法

VLSI数字系统设计

第一部分 数电基础知识

（一）信息与编码

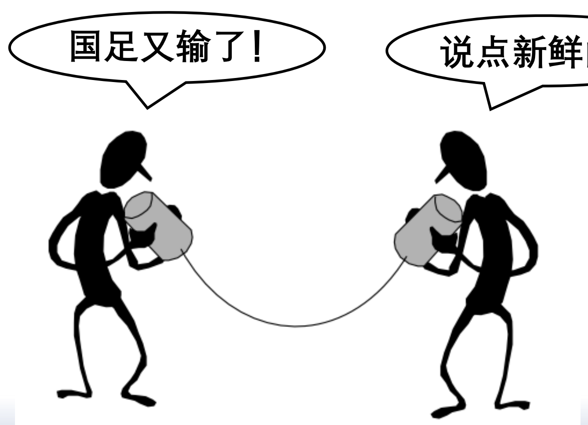
第一部分 数电基础知识

- 信息与编码
- 基本逻辑运算
- 逻辑代数基础
- 逻辑函数的表示与化简

什么是信息?

❑信息的定义

- 指音讯、消息、通讯系统传输和处理的对象，泛指人类社会传播的一切内容。 --《新华词典》
- Information resolves uncertainty（信息的本质就是消除不确定性）。 --Claude Shannon, 信息论之父
- 信息就是无法被预测的内容。消息越不可预测，传达的信息量就越大！



如何度量信息?

- 假设你面临N个同等可能的选择，而我给你一个能够将其缩小至M个选择的事实。那么你得到的信息量是多少？

$\log_2(N/M)$ bits of information

<u>Information is measured in bits (binary digits) = number of 0/1’s required to encode choice(s)</u>

- 例子：
  - 二进制表达抛一次硬币的结果： $\log_2(2/1)=1$ bit
  - 投掷一枚骰子的结果：$\log_2(6/1) = \sim 2.6$ bits
  - 投掷两枚筛子的结果：$\log_2(36/1) = \sim 5.2$ bits

信息的编码 （Encoding）

- 编码是对信息进行表征的过程
  - “国足赢了!”
  - “Chinese National Football Team Won!”
  - 00110000 00010101 00101010 01011100

- 编码方式直接影响
  - Mechanism (devices, # of components used)
  - Efficiency (bits used)
  - Reliability (noise)
  - Security (encryption)

- 编码“10006”代表什么？
  - 一个五位数
  - 高校代码：北京航空航天大学

数制与码制

❑编码“10006”与“10003”

- ➢表示数量时，可以比较大小，10006>10003，
- ➢表示高校代码时，10006→北京航空航天大学，10003→清华大学，无法比较大小

❑数制：表示数量的规则（对数进行编码）

- ➢“计数”就是用数字表示事物的数量，人类计数的各种方法统称为数制

❑码制：表示事物的规则（对事物进行编码）

- ➢对符号、文字等的编码方案及其采取的规则统称为码制
- ➢二进制数形式的编码是表示各种符号、文字等信息最普遍的方法

常用数制

- 进位计数制是最常用的数制
  - 每一位的构成
  - 从低位向高位的进位规则

- 最常用的进位计数指包括十进制、二进制、八进制和十六进制，可以统称为“R进制”，R被称为进位基数，即每个数位可以出现的数码个数，也就是“逢R进一”

数制		
数制系统	**基数（base）**	**数码（digits）**
二进制（Binary)	**2**	**0,1**
八进制（Octal)	**8**	**0,1,2,3,4,5,6,7**
十进制（Decimal)	**10**	**0,1,2,3,4,5,6,7,8,9**
十六进制（Hexadecimal)	**16**	**0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F**

常用数制

❑R进制数

$$\underbrace{(N)_R}_{\text{进位基数}} = \underbrace{a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_2a_1a_0}_{\text{n位整数}}\underbrace{.}_{\text{小数点}}\underbrace{a_{-1}a_{-2}\ldots a_{-m}}_{\text{m位小数}}$$

❑例子： $(1001)_2$, $(42)_8$, $(1239)_{10}$, $(1A)_{16}$

❑数值大小

$$(N)_R = an\ _{-1}R^{n-1} + a_{n-2}R^{n-2} + \cdots a_2R^2 + a_1R^1 + a_0R^0 + a_{-1}R^{-1} + a_{-2}R^{-2} + \cdots + a_{-m}R^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_iR^i$$

常用数制

❑十进制数（Decimal）

$$(12345.67)_{10} = 1\times10^4 + 2\times10^3 + 3\times10^2 + 4\times10^1 + 5\times10^0 + 6\times10^{-1} + 7\times10^{-2}$$

$$(2642.186)_D = 2\times10^3 + 6\times10^2 + 4\times10^1 + 2\times10^0 + 1\times10^{-1} + 8\times10^{-2} + 6\times10^{-3}$$

❑二进制数（Binary）

$$(\mathbf{1101})_2 = \mathbf{1}\times2^3 + \mathbf{1}\times2^2 + \mathbf{0}\times2^1 + \mathbf{1}\times2^0 = (13)_{10}$$

$$(\mathbf{1101.1001})_B = \mathbf{1}\times2^3 + \mathbf{1}\times2^2 + \mathbf{0}\times2^1 + \mathbf{1}\times2^0 + \mathbf{1}\times2^{-1} + \mathbf{0}\times2^{-2} + \mathbf{0}\times2^{-3} + \mathbf{1}\times2^{-4}$$

❑八进制数（Octal）

$$(125)_8 = 1\times8^2 + 2\times8^1 + 5\times8^0 = (85)_{10}$$

$$(125.6)_O = 1\times8^2 + 2\times8^1 + 5\times8^0 + 6\times8^{-1} = (85.75)_D$$

❑十六进制数（Hexadecimal）

$$(2B.6E)_{16} = 2\times16^1 + 11\times16^0 + 6\times16^{-1} + 14\times16^{-2} = (43.4296875)_{10}$$

十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10

进位计数制之间的转换

二进制、八进制、十六进制——十进制转换

- 按权对位展开相加

$$(N)_R = a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_2a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\ldots a_{-m}$$

$$= a_{n-1}R^{n-1} + a_{n-2}R^{n-2} + \cdots a_2R^2 + a_1R^1 + a_0R^0 + a_{-1}R^{-1} + a_{-2}R^{-2} + \cdots + a_{-m}R^{-m}$$

例子

$$(1101.1001)_2 = 1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+0\times2^{-2}+0\times2^{-3}+1\times2^{-4}$$
$$=(13.5625)_{10}$$

$$(246.15)_8 = 2\times8^2+4\times8^1+6\times8^0+1\times8^{-1}+5\times8^{-2}$$
$$=128+32+6+0.125+0.078125$$
$$=(166.203125)_{10}$$

$$(2A.6C)_{16} = 2\times16^1+10\times16^0+6\times16^{-1}+12\times16^{-2}$$
$$=32+10+0.375+0.046875$$
$$=(42.421875)_{10}$$

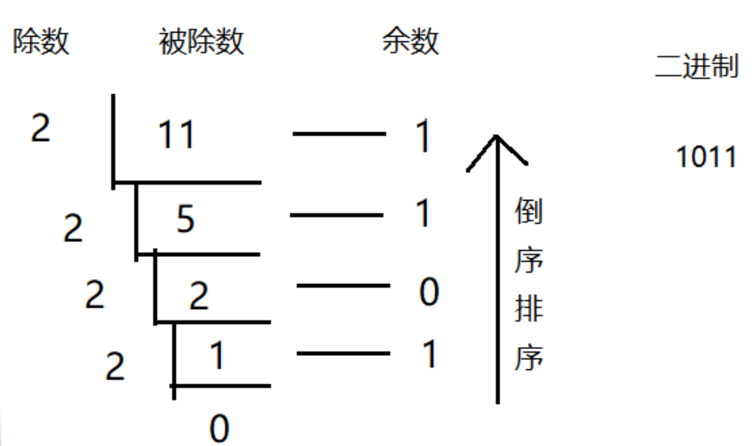
进位计数制之间的转换

❑十进制——二进制转换：分为整数的转换和纯小数的转换

➢ **整数的转换**：整数连除，取余逆序

- 1）将N除以2，记下所得的商和余数
- 2）将得到的商继续除以2，记下每次得到的商和余数，如此重复进行，直到商为0
- 3）将所有余数按照与运算过程相反的顺序排列，即为二进制数结果

例子：将$(11)_{10}$转换为二进制数



➢ **纯小数的转换**：小数连乘，取整顺序

- 1）将M乘以2，记下结果的整数部分和小数部分
- 2）将得到的小数部分继续乘以2，记下每次得到的整数部分和小数部分，如此重复进行，直到小数部分为0或满足精度要求
- 3）将所得的整数部分顺序排列，即为二进制数结果

例子：将$(0.825)_{10}$转换为二进制数

$0.825\times2=1.65$…………整数 1

$0.65\times2=1.3$…………整数 1

$0.3\times2=0.6$…………整数 0

$0.6\times2=1.2$…………整数 1

$0.2\times2=0.4$…………整数 0

$0.4\times2=0.8$…………整数 0

$0.8\times2=1.6$…………整数 1

$0.6\times2=1.2$…………整数 1

…………循环

$(0.8125)_{10}=(\mathbf{0.11010011001}\cdots)_2$

❑十进制——八进制、十六进制转换：与十进制——二进制转换方法一

➢ **例子：将$(35.8125)_{10}$转换为八进制数和十六进制数**

$$
\begin{array}{r|l}
8 & 35 \quad \cdots\cdots \text{余数 } 3 \\
8 & 4 \quad \cdots\cdots \text{余数 } 4 \\
 & 0
\end{array}
\qquad
\begin{array}{l}
0.8125 \times 8 = 6.5 \quad \cdots\cdots \text{整数 } 6 \\
0.5 \times 8 = 4.0 \quad \cdots\cdots \text{整数 } 4
\end{array}
$$

得到 $(35.8125)_{10} = (43.64)_8$（注意结果数位的排列顺序）

$$
\begin{array}{r|l}
16 & 35 \quad \cdots\cdots \text{余数 } 3 \\
16 & 2 \quad \cdots\cdots \text{余数 } 2 \\
 & 0
\end{array}
\qquad
0.8125 \times 16 = 13 \quad \cdots\cdots \text{整数 } 13(D)
$$

得到 $(35.8125)_{10} = (23.D)_{16}$（注意结果数位的排列顺序）

进位计数制之间的转换

❑二进制——八进制的转换

- 3位二进制从000到111，一共8种状态，其表达范围刚好相当于1位八进制数
- 1) 以二进制数的小数点为起点，整数部分向左，小数部分向右，每三位分一组。不足部分补0
- 2) 每一组3位二进制数转换成1位八进制数，顺序不变
- 例子：将$(10011010.111101)_2$转换为八进制数

$$
\begin{array}{ccccc}
(010 & 011 & 010. & 111 & 101)_2 \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
(\ 2 & 3 & 2. & 7 & 5\ )_8
\end{array}
$$

$$(10011010.111101)_2 = (232.75)_8$$

❑八进制——二进制的转换

- 与二进制-八进制转化类似
- 分组对位转化，将1位八进制数转换成一组3位二进制数
- 例子：将(316.54)8转换为二进制数

$$
\begin{array}{ccccc}
(\ 3 & 1 & 6. & 5 & 4\ )_8 \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
(011 & 001 & 110. & 101 & 100)_2
\end{array}
$$

$$(316.54)_8 = (11001110.1011)_2$$

进位计数制之间的转换

❑二进制——十六进制的相互转换

- 与二进制-八进制类似
- 4位为一组

$$\begin{array}{ccccc} (& 1001 & 1010. & 1111 & 0100\ )_2 \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ (& 9 & A. & F & 4\ )_{16} \end{array}$$

$$(10011010.111101)_2 = (9A.F4)_{16}$$

$$\begin{array}{cccccc} (& 3 & B & 6. & 5 & F\ )_{16} \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ (& 0011 & 1011 & 0110. & 0101 & 1111\ )_2 \end{array}$$

$$(3B6.5F)_{16} = (1110110110.01011111)_2$$

- **八进制——十六进制的相互转换**
  - **以二进制为中介，先转换为二进制数，再转换为对应的进制数**

二进制数的运算

❑算术运算

- ➢二进制数的0/1可以表示数量，进行加减乘除等运算
- ➢无符号数的加减乘除运算规则与十进制类似

加法运算

$$
\begin{array}{r} 0111 \\ +\ 0101 \\ \hline 1100 \end{array}
\Rightarrow
\begin{array}{r} 7 \\ +\ 5 \\ \hline 12 \end{array}
$$

减法运算

$$
\begin{array}{r} 0111 \\ -\ 0101 \\ \hline 0010 \end{array}
\Rightarrow
\begin{array}{r} 7 \\ -\ 5 \\ \hline 2 \end{array}
$$

乘法运算

$$
\begin{array}{r} 0111 \\ \times\ 0101 \\ \hline 0111 \\ 0000 \\ 0111 \\ \hline 100011 \end{array}
\Rightarrow
\begin{array}{r} 7 \\ \times\ 5 \\ \hline 35 \end{array}
$$

除法运算

$$
\begin{array}{r} 1.01\cdots \\ 0101\,\overline{)\,0111} \\ 0101 \\ \hline 0100 \\ 0000 \\ \hline 1000 \\ 0101 \\ \hline 0110 \\ \vdots \end{array}
\Rightarrow
\begin{array}{r} 1.4 \\ 5\,\overline{)\,7} \\ 5 \\ \hline 20 \\ 20 \\ \hline 0 \end{array}
$$

二进制数的运算

❑带符号数的运算规则

❑如何表示负数？

- 二进制数的正、负号可以用1位编码，0/1表示
- 在定点运算中，最高位为符号位（0为正，1为负）
- 如 +5=0 0101，-5=1 0101

❑正数与负数的运算

- 5 + （-5）=0
- 0 0101 + 1 0101 = 1 1010？

- <u>符号位为码制，后面4位为数制，码制不能用数制的规则进行运算</u>

原码、反码和补码

- 原码：符号位在前，0表示正数，1表示负数，数值位跟随符号位
  - $(+5)_{10}=(0\ 0101)_{原码}$
  - $(-5)_{10}=(1\ 0101)_{原码}$
- 反码：正数的反码为其本身，负数的反码通过其数值位逐位取反得到
  - $(+5)_{10}=(0\ 0101)_{反码}$
  - $(-5)_{10}=(1\ 1010)_{反码}$
- 补码：正数的补码为其本身，负数的补码为其反码的数值位加1得到
  - $(+5)_{10}=(0\ 0101)_{反码}=(0\ 0101)_{补码}$
  - $(-5)_{10}=(1\ 1010)_{反码}=(1\ 1011)_{补码}$

二进制数的运算

- 数字计算机中，二进制数的运算常常使用的是补码系统
- 用补码表示有符号数，则可以用加法运算来实现减法运算，同时不影响运算的正确性

两个正数的减法

$$(+7)_{10}=(0\ 0111)_{补码}$$
$$(-5)_{10}=(1\ 1011)_{补码}$$

$$\begin{array}{rr} & 0\ 0111 \\ + & 1\ 1011 \\ \hline (1) & 0\ 0010 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{rr} & +7 \\ - & +5 \\ \hline & +2 \end{array}$$

两个负数的加法

$$(-5)_{10}=(1\ 1011)_{补码}$$
$$(-7)_{10}=(1\ 1001)_{补码}$$

$$\begin{array}{rr} & 1\ 1011 \\ + & 1\ 1001 \\ \hline & (1)1\ 0100 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{rr} & -5 \\ + & -7 \\ \hline & -12 \end{array}$$

两个正数的减法

$$(+5)_{10}=(0\ 0101)_{补码}$$
$$(-7)_{10}=(1\ 1001)_{补码}$$

$$\begin{array}{rr} & 0\ 0101 \\ + & 1\ 1001 \\ \hline & 1\ 1110 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{rr} & +5 \\ - & +7 \\ \hline & -2 \end{array}$$

两个负数的减法

$$(-5)_{10}=(1\ 1011)_{补码}$$
$$(+7)_{10}=(0\ 0111)_{补码}$$

$$\begin{array}{rr} & 1\ 1011 \\ + & 0\ 0111 \\ \hline & (1)0\ 0010 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{rr} & -5 \\ - & -7 \\ \hline & +2 \end{array}$$

常用码制

- 二-十进制码，即用二进制码元来表示十进制数的代码，也称为十进制码，BCD(Binary Coded Decimal)码

十进制数	8421 码	余 3 码	2421 码	5421 码	格雷码
0	0000	0011	0000	0000	0000
1	0001	0100	0001	0001	0001
2	0010	0101	0010	0010	0011
3	0011	0110	0011	0011	0010
4	0100	0111	0100	0100	0110
5	0101	1000	1011	1000	0111
6	0110	1001	1100	1001	0101
7	0111	1010	1101	1010	0100
8	1000	1011	1110	1011	1100
9	1001	1100	1111	1100	1000

例子 $(19)_{10} = (0001\quad 1001)_{8421}$

BCD码不是二进制数

ASCII码

- ❑ASCII (American Standard Code for Information Interchange)：美国信息交换标准代码是基于拉丁字母的一套电脑编码系统

- ❑使用7 位二进制数（剩下的1位二进制为0）来表示所有的大写和小写字母，数字0 到9、标点符号，以及在美式英语中使用的特殊控制字

- ❑思考：如下语句的输出是什么？

```
char a,b;
a='a';
b='b';
printf("%d",b-a);
```

ASCII值	十六进制	控制字符	ASCII值	十六进制	控制字符	ASCII值	十六进制	控制字符	ASCII值	十六进制	控制字符
0	0	NUT	32	20	(space)	64	40	@	96	60	、
1	1	SOH	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	STX	34	22	”	66	42	B	98	62	b
3	3	ETX	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	EOT	36	24	$	68	44	D	100	64	d
5	5	ENQ	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	ACK	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	BEL	39	27	,	71	47	G	103	67	g
8	8	BS	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	HT	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	LF	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	VT	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	FF	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	CR	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	SO	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	SI	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	DLE	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	DCI	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	DC2	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	DC3	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	DC4	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	NAK	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	SYN	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	TB	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	CAN	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	EM	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	SUB	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	ESC	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	FS	60	3C	<	92	5C	/	124	7C	|
29	1D	GS	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	RS	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	US	63	3F	?	95	5F	—	127	7F	DEL

数制与码制小节

- ❑二进制数、十进制数、八进制数、十六进制数和BCD码的含义
- ❑数制和码制的结构关系
- ❑数制之间的转换，数制和BCD码之间的转换
- ❑二进制数的运算规则

作业

《数字电子技术基础》（阎石，第6版）

- 习题 1.2，1.4，1.7，1.9，1.11
- 习题 1.13 (1) (3) (5) (7)

作业

[题 1.2]　将下列二进制整数转换为等值的十进制数。

(1) $(01101)_2$;　(2) $(10100)_2$;　(3) $(10010111)_2$;　(4) $(1101101)_2$。

[题 1.4]　将下列二进制数转换为等值的十进制数。

(1) $(101.011)_2$;　(2) $(110.101)_2$;　(3) $(1111.1111)_2$;　(4) $(1001.0101)_2$。

[题 1.7]　将下列十进制数转换为等值的二进制数和十六进制数。

(1) $(17)_{10}$;　(2) $(127)_{10}$;　(3) $(79)_{10}$;　(4) $(255)_{10}$。

[题 1.9]　将下列十进制数转换为等值的二进制数和十六进制数。要求二进制数保留小数点以后 4 位有效数字。

(1) $(25.7)_{10}$;　(2) $(188.875)_{10}$;　(3) $(107.39)_{10}$;　(4) $(174.06)_{10}$。

[题 1.11]　写出下列带符号位二进制数(最高位为符号位)的反码和补码。

(1) $(011011)_2$;　(2) $(001010)_2$;　(3) $(111011)_2$;　(4) $(101010)_2$。

[题 1.13]　计算下列用补码表示的二进制数的代数和。如果和为负数,请求出负数的绝对值。

(1) 01001101+00100110;　(2) 00011101+01001100;

(3) 00110010+10000011;　(4) 00011110+10011100;

(5) 11011101+01001011;　(6) 10011101+01100110;

(7) 11100111+11011011;　(8) 11111001+10001000。

VLSI数字系统设计

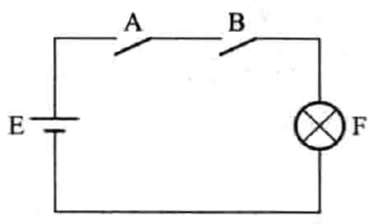
第一部分 数电基础知识

（二）基本逻辑运算

逻辑运算：与、或、非

- “与”运算也称为逻辑乘、逻辑与

表达式 F=A·B=AB

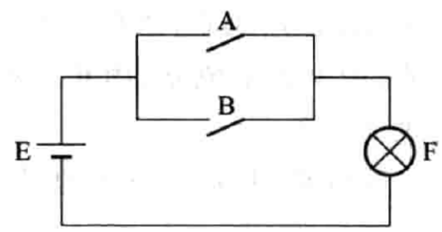


真值表

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

- “或”运算也称为逻辑加

表达式 F=A+B

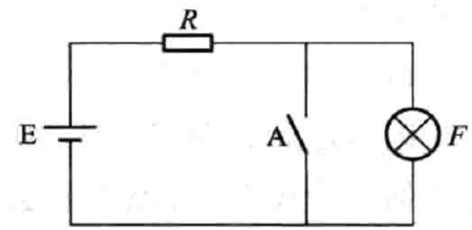


真值表

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

- “非”运算也称为逻辑反

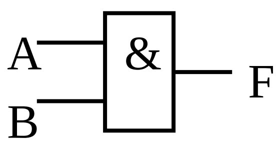
表达式 $F=\overline{A}$或F=A′



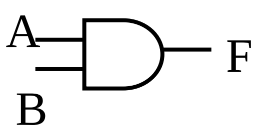
真值表

A	F
0	1
1	0

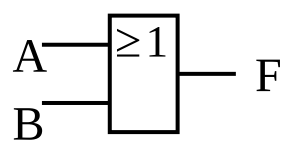
逻辑符号



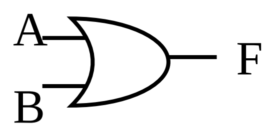
国标



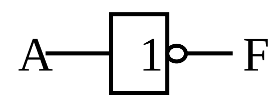
美国



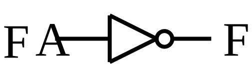
国标



美国



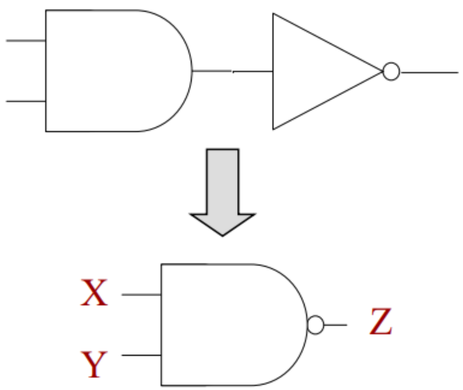
国标



美国

常用复合逻辑：与非、或非

❑与非



NAND

$$Z = \overline{X \cdot Y}$$

X	Y	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

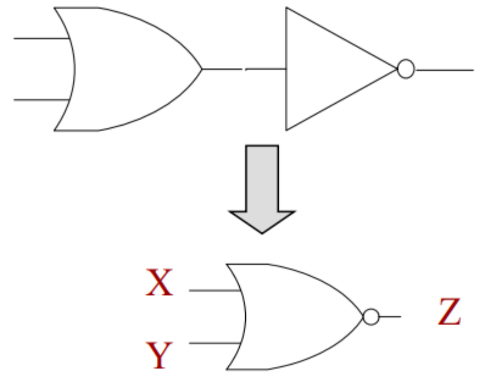
AND

X	Y	Z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NAND

True if NOT ALL
inputs are true

❑或非



NOR

$$Z = \overline{X + Y}$$

X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR

X	Y	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

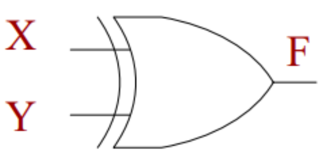
NOR

True if NOT ANY
input is true

常用复合逻辑：异或、同或

❑异或

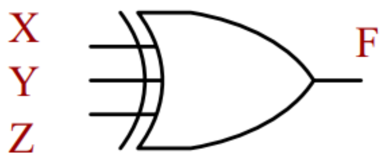
➢取值相异，输出为1



XOR

$$F = X \oplus Y$$

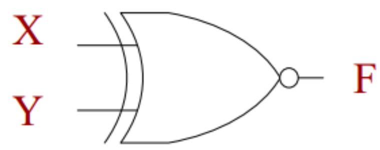
X	Y	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



X	Y	Z	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

❑同或

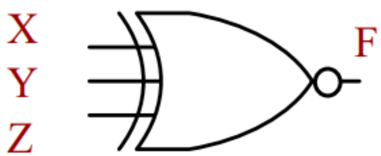
➢取值相同，输出为1



XNOR

$$F = \overline{X \oplus Y}$$ **F=X⊙Y**

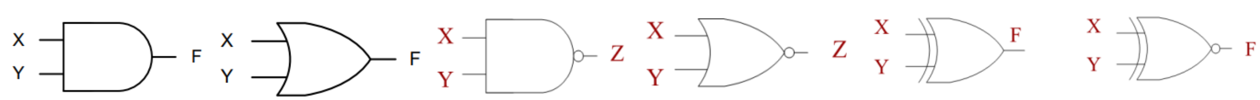
X	Y	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

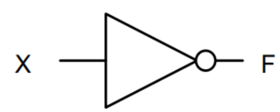


X	Y	Z	F
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

逻辑运算小结

		与 AND	或 OR	与非 NAND	或非 NOR	异或 XOR	同或 XNOR
X	Y	F=XY	F=X+Y	$F=\overline{XY}$	$F=\overline{X+Y}$	$F=X\oplus Y$	$F=X\odot Y$
0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	1





X	F
1	0
0	1

VLSI数字系统设计

第一部分 数电基础知识

（三）逻辑代数基础

布尔代数基本公式

序号	公　　式	序号	公　　式
1	$0 \cdot A = 0$	10	$1' = 0 \quad 0' = 1$
2	$1 \cdot A = A$	11	$1 + A = 1$
3	$A \cdot A = A$	12	$0 + A = A$
4	$A \cdot A' = 0$	13	$A + A = A$
5	$A \cdot B = B \cdot A$	14	$A + A' = 1$
6	$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$	15	$A + B = B + A$
7	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$	16	$A + (B + C) = (A + B) + C$
8	$(A \cdot B)' = A' + B'$	17	$A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$
9	$(A')' = A$	18	$(A + B)' = A' \cdot B'$

常量与变量之间的基本逻辑关系

❑1. 关于变量与常数关系的定理

$A \cdot 0 = 0$ $\quad$ $A + 0 = A$

$A \cdot 1 = A$ $\quad$ $A + 1 = 1$

- **如何证明这些公式?**
  - **真值表判定法**
  - **公式推导法**

❑2. 交换律、结合律、分配律

a. **交换律：** $AB = BA$ $\quad$ $A + B = B + A$

b. **结合律：** $A(BC) = (AB)C$

$A + (B + C) = (A + B) + C$

c. **分配律：** $A(B + C) = AB + AC$

$A + BC = (A + B)(A + C)$

逻辑函数的化简公式

名称	公式 1	公式 2	化简目的
吸收定律 1	$(A+B)(A+\overline{B})=A$	$AB+A\overline{B}=A$	消相邻项
吸收定律 2	$A(A+B)=A$	$A+AB=A$	消多余项
吸收定律 3	$A(\overline{A}+B)=AB$	$A+\overline{A}B=A+B$	消多余因子
多余项定律	$(A+B)(\overline{A}+C)(B+C)=(A+B)(\overline{A}+C)$	$AB+\overline{A}C+BC=AB+\overline{A}C$	消多余项

摩根定律（反演律、求反律）

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$$
$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$$

A	B	$\overline{A \cdot B}$	$\overline{A} + \overline{B}$	$\overline{A + B}$	$\overline{A} \cdot \overline{B}$
0	0	1	1	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0