

数字系统设计

Digital System Design

刘 鹏

liupeng@zju.edu.cn

浙江大学 信息与电子工程学院

主讲



- **刘鹏**
- 邮箱: liupeng@zju.edu.cn
- 电话: +86-135 8808 7677
- 浙江大学信息与电子工程学院玉泉校区信电楼306室

助教

- **吴若禹、俞雪雷、孙汇博**
- 浙江大学信息与电子工程学院玉泉校区信电楼309室



课程简介

□ 课本

- 阎石, 数字电子技术基础, 第6版, 高等教育出版社, 2016.
- 补充讲义

□ 参考书

- R.H.Katz, G.Borriello, *Contemporary Logic Design*, Second Edition, 电子工业出版社, 2005.

□ 学在浙大

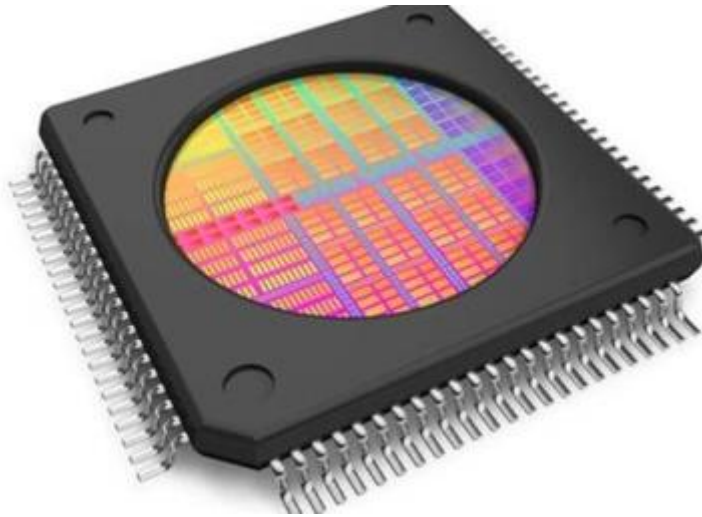
- 测试, 作业, 答疑, 互动讨论, 课堂讲义, 补充材料

□ 考核

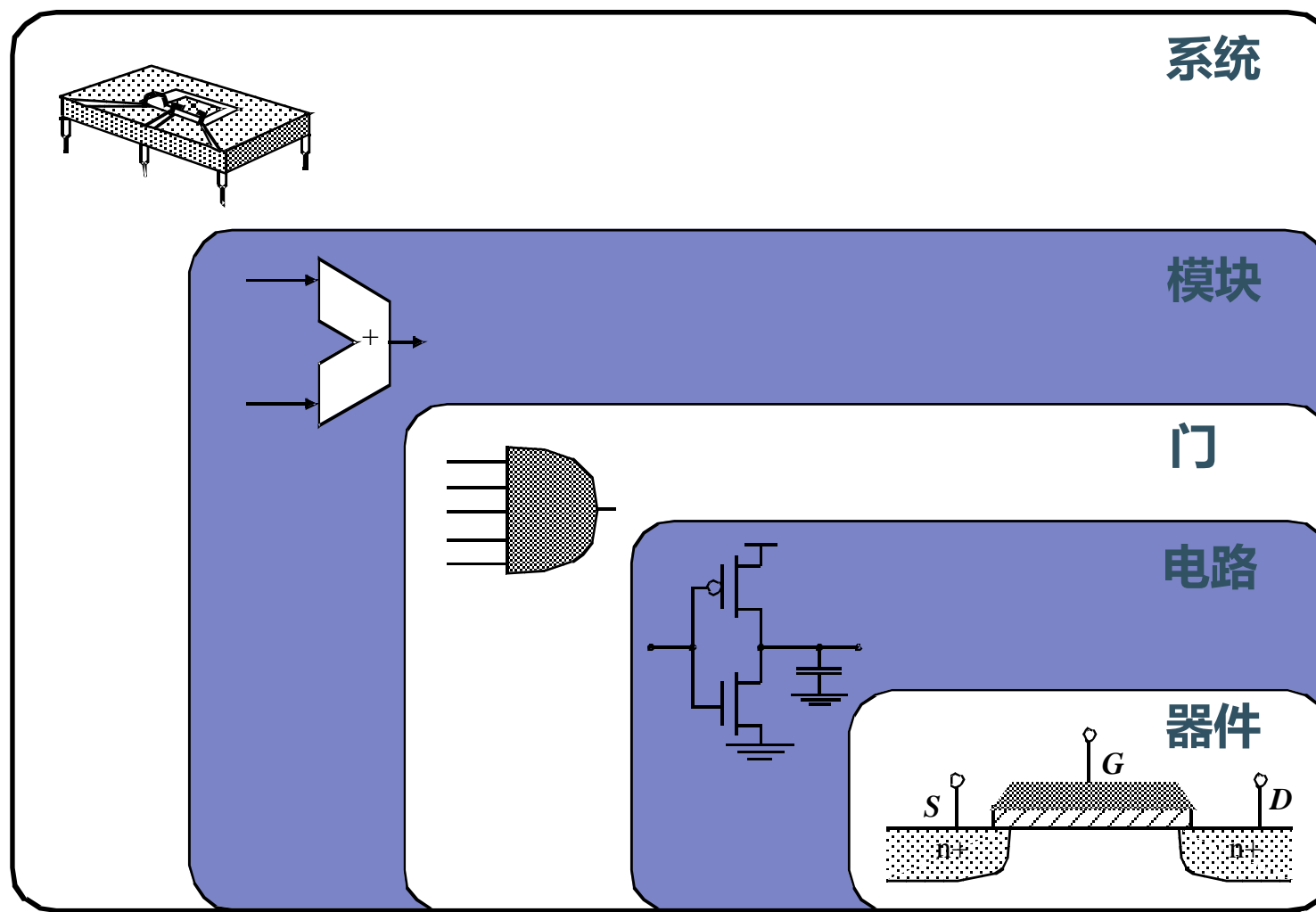
- 平时**40%**(作业, 测验, 出勤, 期中考试)
- 期末考试**60%**

课程结构

- 基础理论知识(必备): 数字系统和编码、布尔代数
- 门电路
- 数字电路分析与设计: 组合电路和时序电路
- 控制器和微码
- 测试和查错
- 脉冲电路
- 处理器



数字系统-设计抽象级别



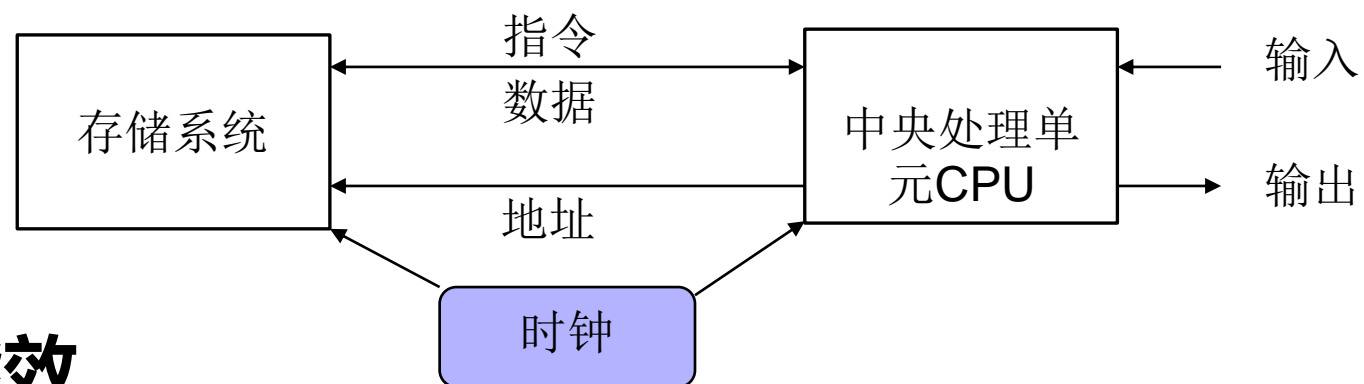
设计准则

□ 如何评价数字电路的性能

- 成本
- 可靠性
- 可扩展性
- 速度 (延时, 运行频率)
- 功耗
- 能耗
- **硬件安全**

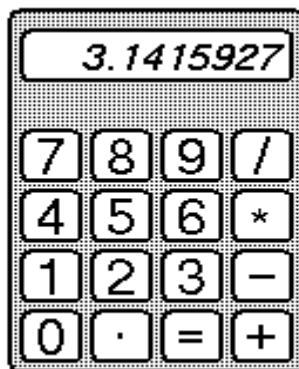
数字系统例子-1

□ 数字计算机



▪ 最大化能效

□ 计算器



- 最小化成本

数字系统例子-2

□ 数字手表



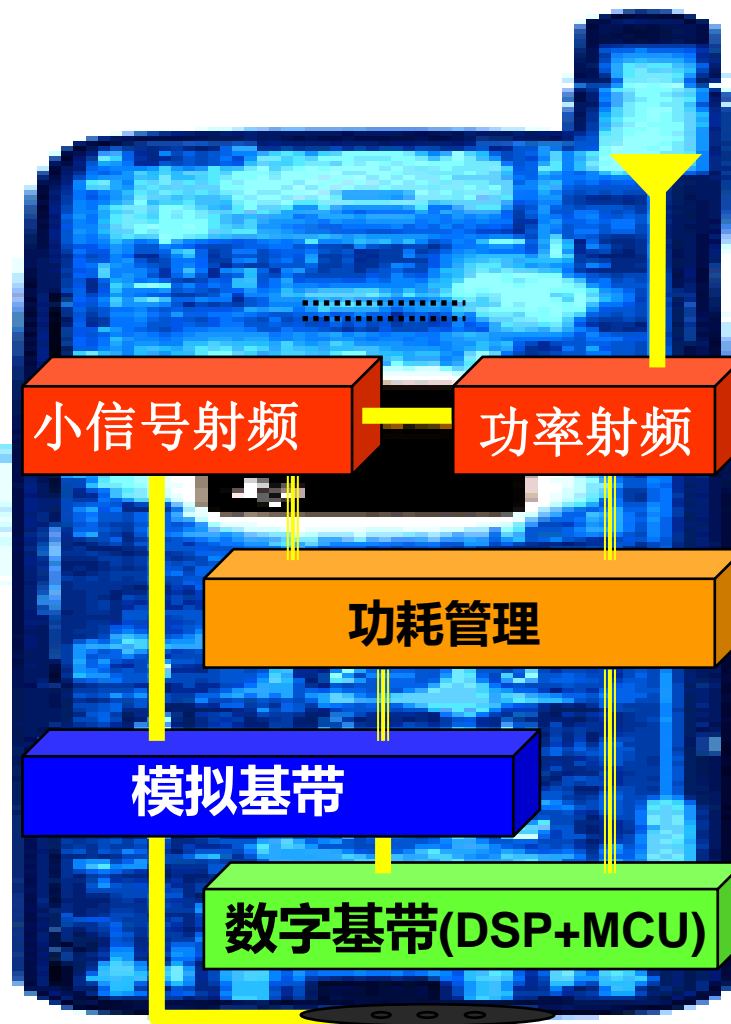
最小化功耗
电池可维持数年

□ 可穿戴设备



数字系统例子-3

移动电话



数字系统例子-4

无人机



虚拟现实设备

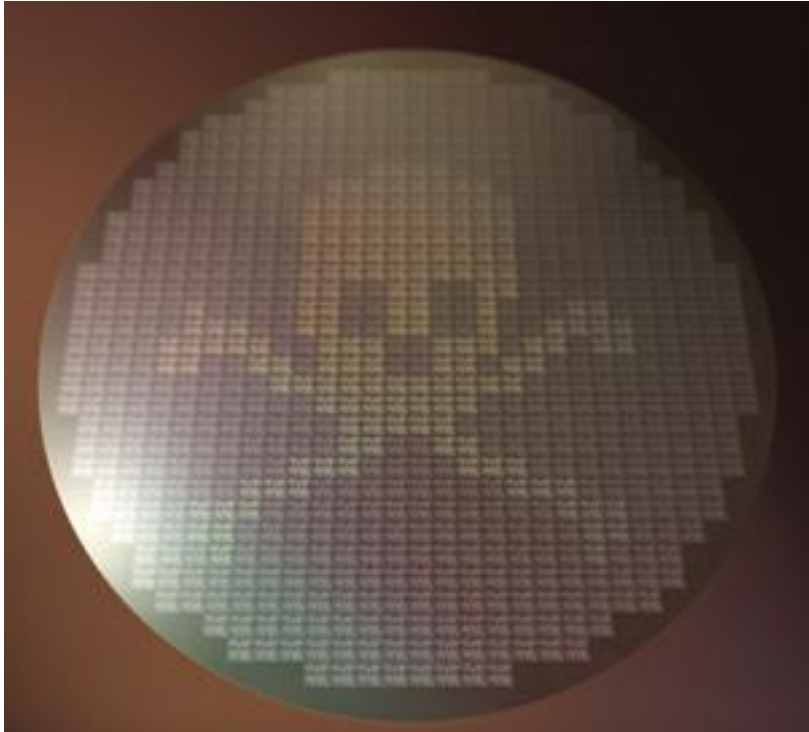


数字系统设计例子-5



□ 硬件木马芯片

“特洛伊” 芯片



受控制的后门

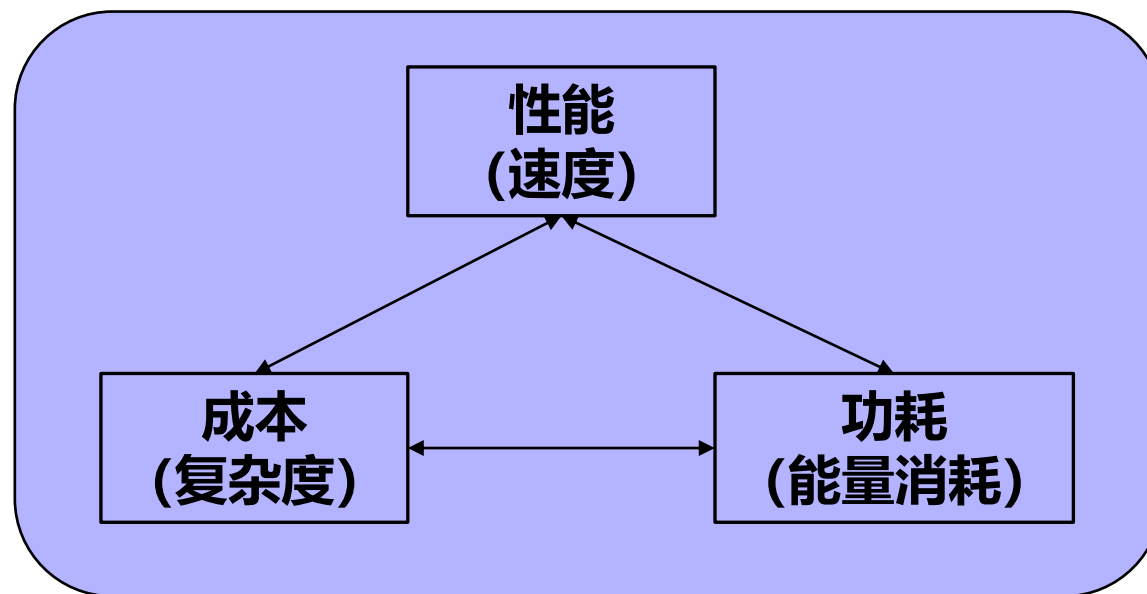
- 处理器芯片
- 设计或制造阶段植入额外逻辑
- 受控的隐藏后门
- 激活后门破坏系统功能

2007年9月，以色列飞机轰炸了叙利亚东北部一个可疑的核装置。据推测，叙利亚雷达的商用微处理器被植入了隐藏的“后门”。

设计折中

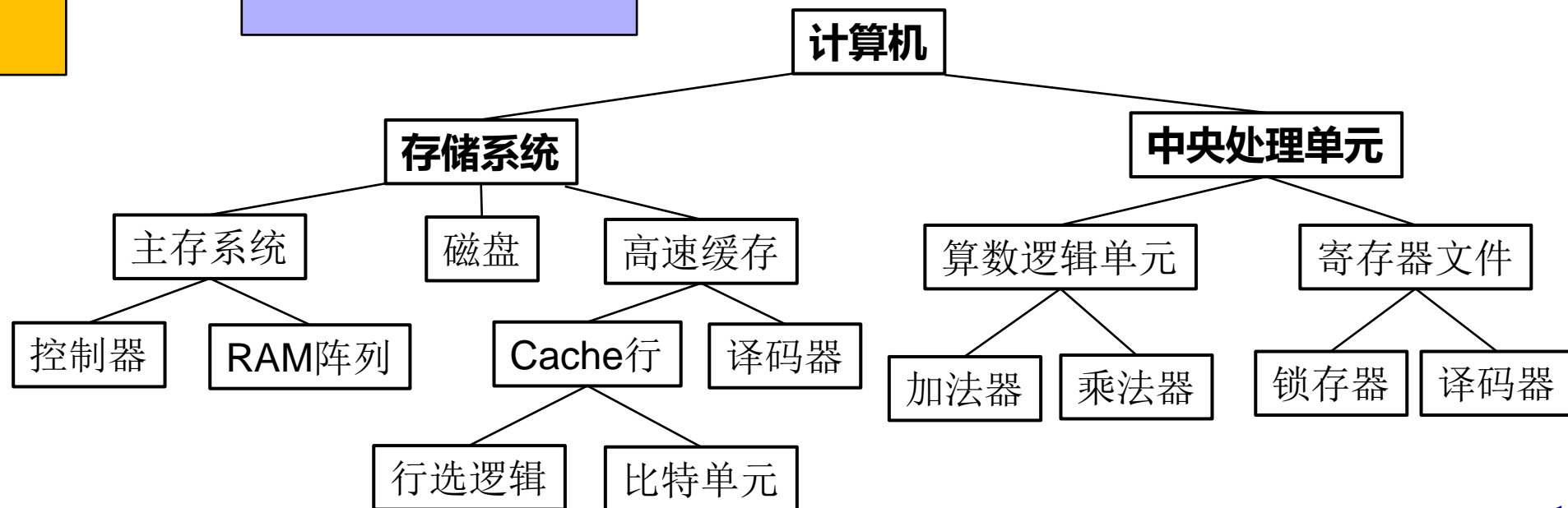
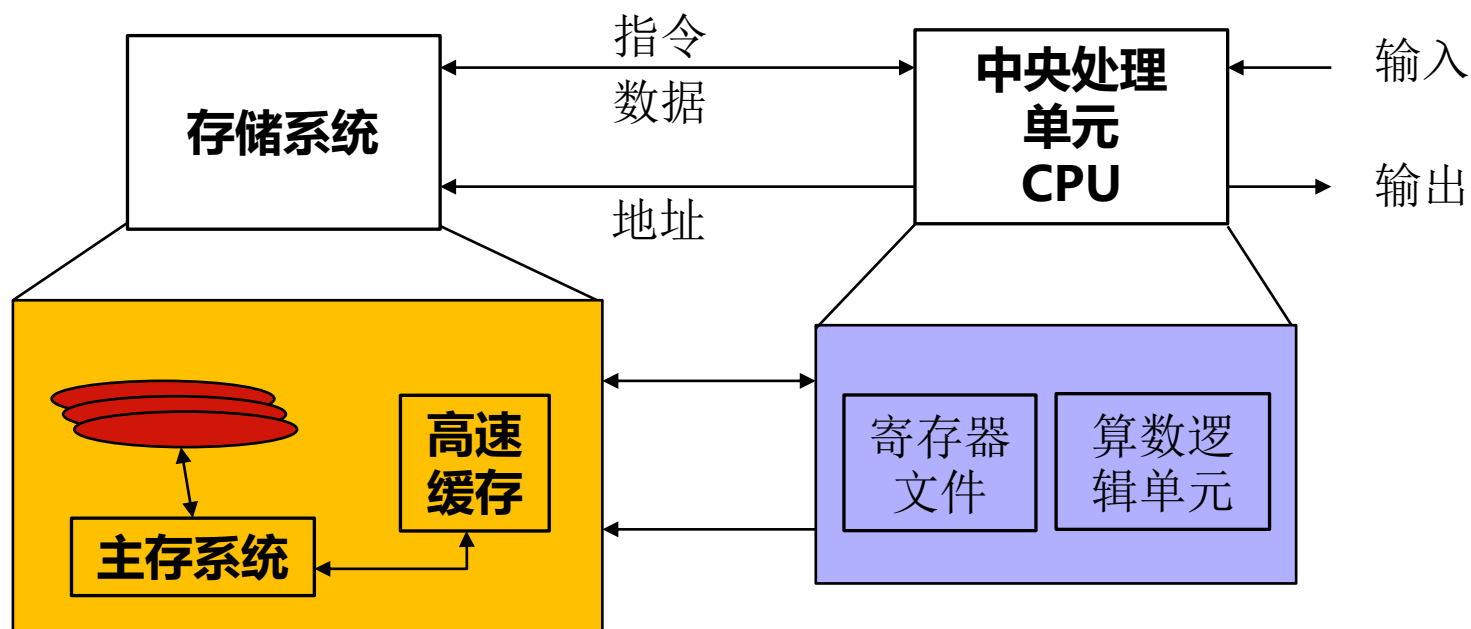
□ 设计规范

- 功能性描述.
 - 性能 (速度)
 - 成本 (复杂度)
 - 功耗 (能量消耗)



- 作为设计人员必须在**约束条件**下实现预期的**功能**

设计表达



目标

- ❑ 数字电路设计的基础理论
- ❑ 数字系统分析方法
- ❑ 数字系统设计方法
- ❑ 数字系统实现和测试方法
- ❑ 数字系统设计和解决问题的基本技能
 - 电路图
 - 硬件描述语言
 - 语言描述问题

Lect 01 逻辑代数基础

逻辑代数概述

□ 基本概念-布尔代数

逻辑： 事物的因果关系

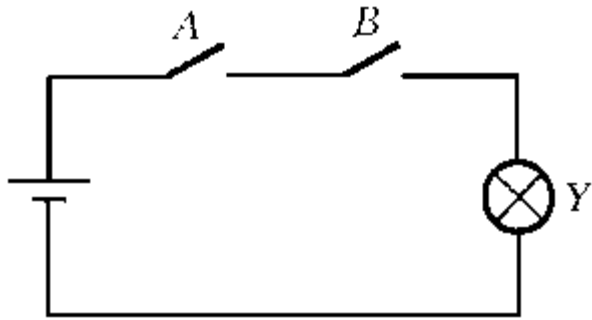
逻辑运算的数学基础： 逻辑代数

在二值逻辑中的变量取值： 0/1

□ 用简单(0/1)代数描述复杂性事物

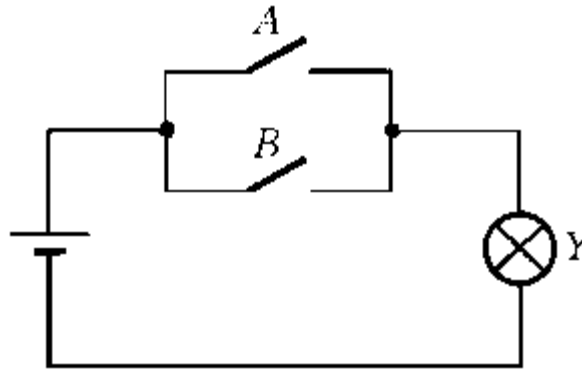
逻辑代数中的三种基本运算

与 (AND)



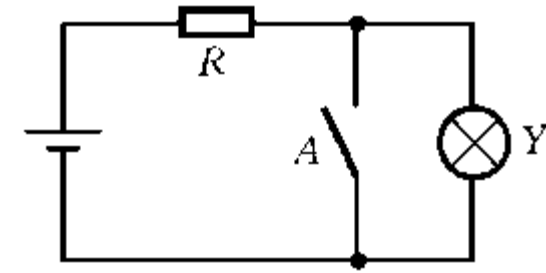
(a)

或 (OR)



(b)

非 (NOT)



(c)

1) 以 $A = 1$ 表示开关A合上, $A = 0$ 表示开关A断开

2) 以 $Y = 1$ 表示灯亮, $Y = 0$ 表示灯不亮

三种电路的因果关系不同

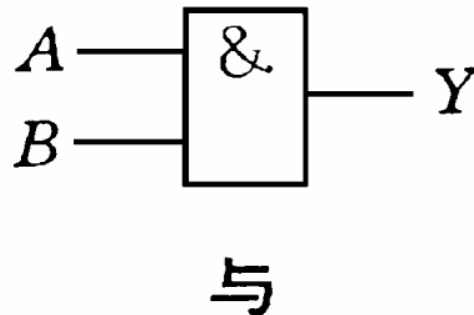
与-AND

- 条件同时具备，结果发生
- $Y = A \text{ AND } B = A \& B = A \cdot B = AB$
- 真值表/truth table

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

图形符号

国标



国际

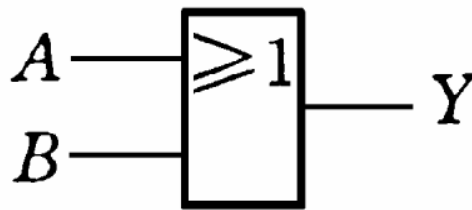


或-OR

- ❑ 条件之一具备，结果发生
- ❑ $Y = A \text{ OR } B = A + B$
- ❑ 真值表

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

图形符号



或

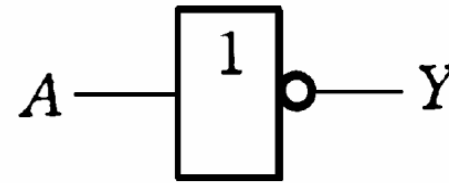


非-NOT(反相器)

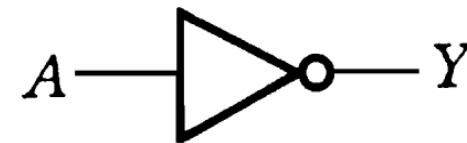
- ❑ 条件不具备，结果发生
- ❑ $Y = A' = NOT\ A$
- ❑ 真值表

A	Y
0	1
1	0

图形符号



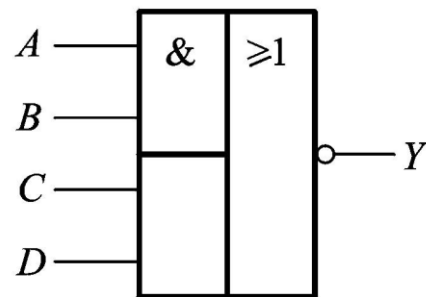
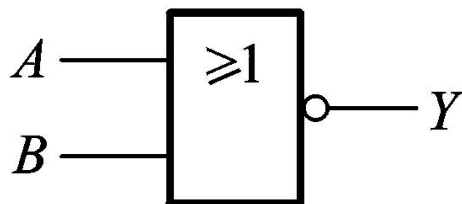
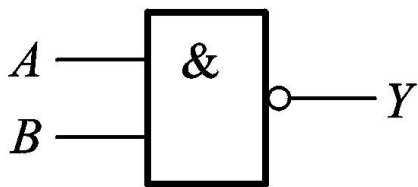
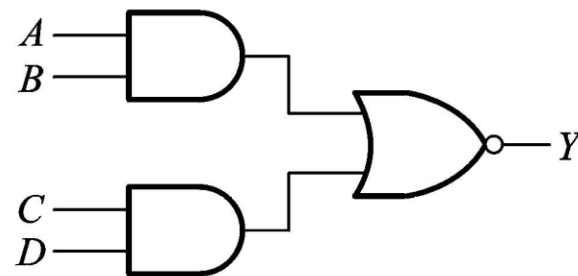
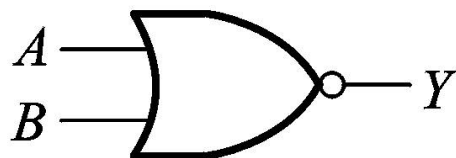
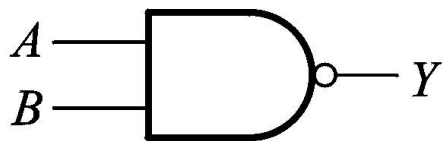
非



几种常用的复合逻辑运算1

□ 与非-NAND 或非-NOR

与或非AND-NOR



与非

或非

与或非

$$Y=(A \cdot B)'$$

$$Y=(A+B)'$$

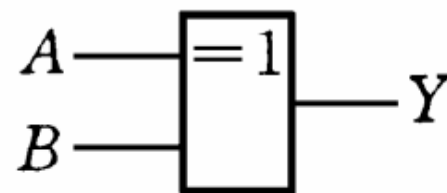
$$Y=(A \cdot B + C \cdot D)'$$

几种常用的复合逻辑运算2

□ 异或-EXCLUSIVE OR

□ $Y = A \oplus B$

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



异或



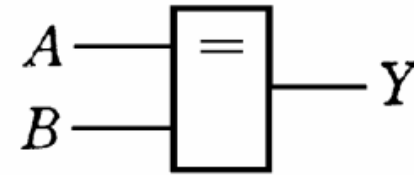
$$Y = A \oplus B$$

几种常用的复合逻辑运算3

□ 同或-EXCLUSIVE NOR /符合

□ $Y = A \odot B$

A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1



同或



$$Y = A \odot B$$

逻辑代数的基本公式和常用公式

基本公式

运算规则：交换律、结合律、分配律、重叠律、互补律、反演律、还原律、逆；

常用公式

符号的优先级：1) 括号，2) 非，3) 与，4) 或。

基本公式

证明方法：推演 真值表

□ 根据与、或、非的定义，得布尔恒等式

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

公式 (17) 的证明

(公式推演法) : $A+BC=(A+B)(A+C)$

$$\text{右} = (A + B)(A + C)$$

$$= A + AB + AC + BC$$

$$= A(1 + B + C) + BC$$

$$= A + BC = \text{左}$$

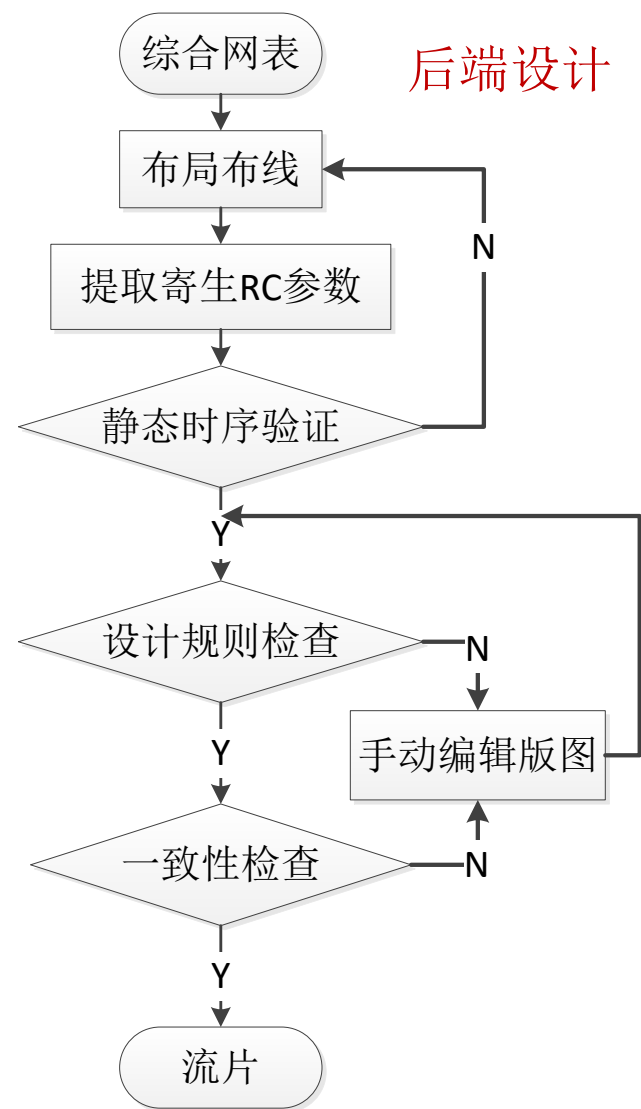
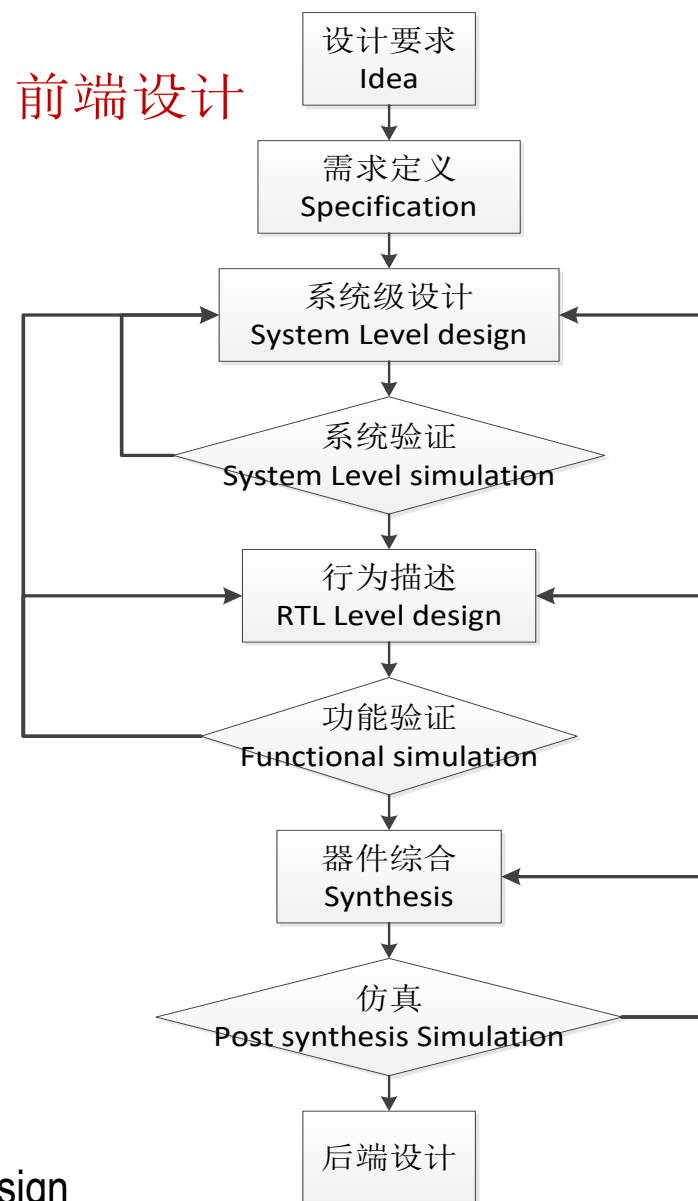
公式 (17) 的证明 (真值表法)

ABC	BC	$A+BC$	$A+B$	$A+C$	$(A+B)(A+C)$
000	0	0	0	0	0
001	0	0	0	1	0
010	0	0	1	0	0
011	1	1	1	1	1
100	0	1	1	1	1
101	0	1	1	1	1
110	0	1	1	1	1
111	1	1	1	1	1

若干常用公式

序 号	公 式
21	$A + A B = A$
22	$A + A' B = A + B$
23	$A B + A B' = A$
24	$A (A + B) = A$
25	$A B + A' C + B C = A B + A' C$ $A B + A' C + B C D = A B + A' C$
26	$A (A B)' = A B' ; A' (A B)' = A'$

数字集成电路设计流程



课后阅读

□ 参看 “学在浙大” 的阅读资料