

Bit

conveying information

It contains two parts.

Setup: exactly what each sequence of bits means

Outcome: send message

1.1 The Boolean Bit

Boolean functions which has one input and one output are just **fout !!!**

Argument	<i>IDENTITY</i>	<i>NOT</i>	<i>ZERO</i>	<i>ONE</i>
0	0	1	0	1
1	1	0	0	1

Boolean functions which has two input (00 01 10 11) and one output are $2 \times 2 \times 2 = 16$. The most often used are:

Argument	<i>AND</i>	<i>NAND</i>	<i>OR</i>	<i>NOR</i>	<i>XOR</i>
00	0	1	0	1	0
01	0	1	1	0	1
10	0	1	1	0	1
11	1	0	1	0	0

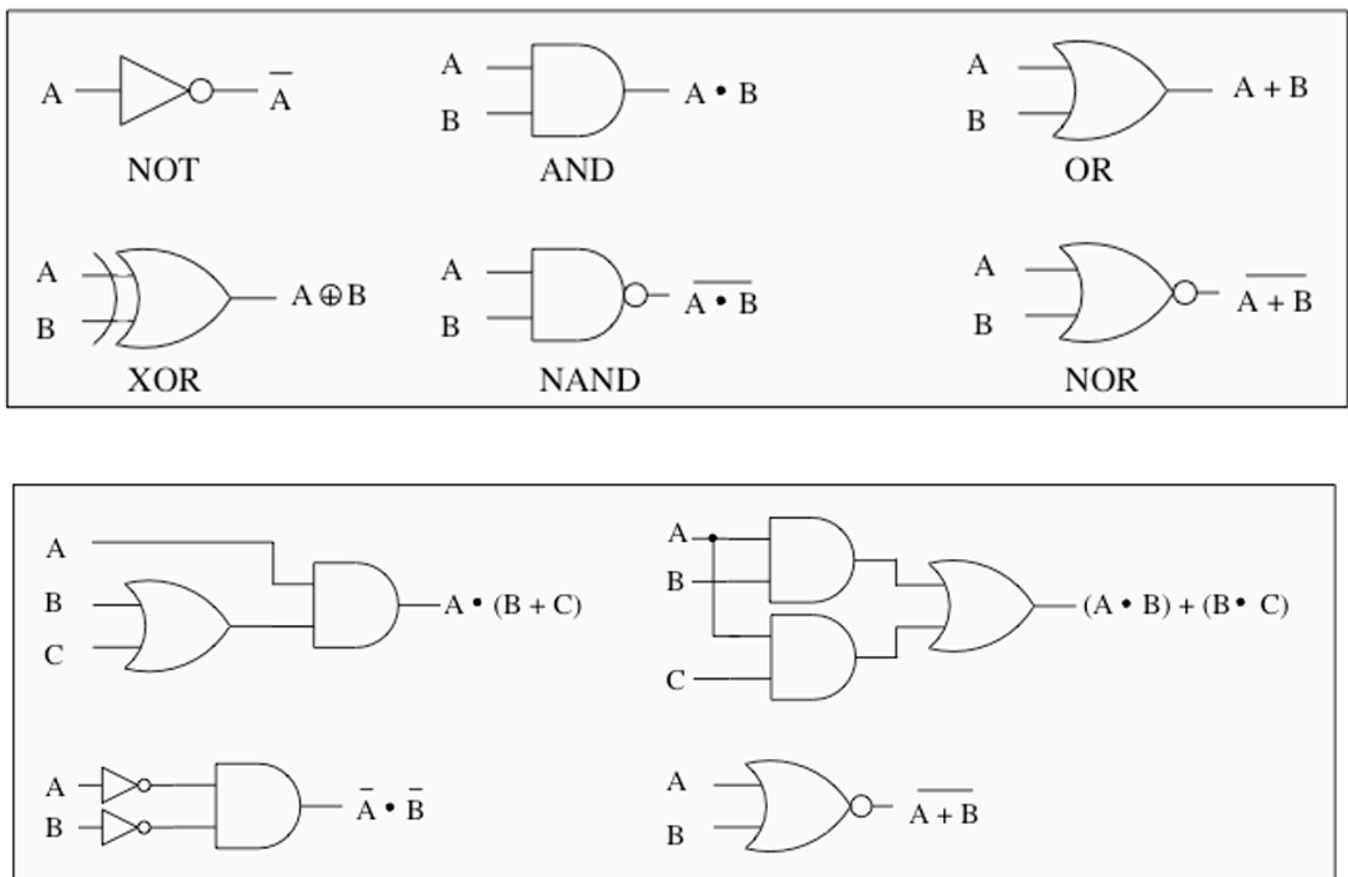
The Standard Notation:

<i>NOT</i>	\bar{A}
<i>AND</i>	$A \cdot B$
<i>NAND</i>	$\overline{A \cdot B}$
<i>OR</i>	$A + B$
<i>NOR</i>	$\overline{A + B}$
<i>XOR</i>	$A \oplus B$

Table 1.3: Boolean logic symbols

There are other possible notations for Boolean algebra. The one used here is the most common: *AND*, *OR*, and *NOT* are represented in the form $AND(A, B)$, $OR(A, B)$, and $NOT(A)$. Infix notation is used where $A \wedge B$ denotes $A \cdot B$, $A \vee B$ denotes $A + B$, and $\sim A$ denotes \bar{A} . Boolean is also useful in mathematical logic, where the notation $A \wedge B$ for $A \cdot B$, $A \vee B$ for $A + B$, and $\sim A$ for \bar{A} are commonly used.

1.2 The Circuit Bit



there are no loops in the circuit.

1.3 The Control Bit

2. 控制位代数 (Algebra of Control Bits)

控制位代数是布尔代数的一种变体，其核心特性是：**只评估影响最终结果的部分表达式**，忽略无关部分。

- **与传统布尔代数的区别：**
 - **布尔代数：**严格计算所有子表达式的真值，无论是否影响最终结果。
 - **控制位代数：**通过**短路求值 (Short-Circuit Evaluation)** 优化计算过程，提前终止不必要的评估。

3. 短路求值 (Short-Circuit Evaluation)

短路求值是控制位代数的核心机制，常见于编程语言中的逻辑运算符（如 **AND**、**OR**）。其规则如下：

(1) 逻辑与 (AND) 的短路行为

- 若左侧表达式为 **False**，则整个表达式必为 **False**，右侧表达式**无需评估**。

示例：

```
scheme复制  
(and (< x 0) (> y 0))
```

- 如果 **x** 是正数（即 **(< x 0)** 为 **False**），则无论 **y** 的值如何，整个 **AND** 表达式的结果都是 **False**。
- 程序会**跳过对** **(> y 0)** **的检查**，直接返回 **False**。



1.4 The Physical Bit

If a bit is to be stored or transported, it must have a physical form.

1.5 The Quantum Bit

HARD!!!

reversibility

superposition

entanglement

An Advantage of Qubits

1.6 The Classical Bit

1. 经典比特的物理实现

- **大规模载体：**
经典比特通过大量相同物理对象的状态来表征，例如：
 - **半导体存储器：**一个比特可能由约60,000个电子表示（存储在10 fF电容器，充电至1V）。
 - **无线电通信：**使用大量光子传输信息。
 - **冗余性优势：**因信息由大量对象共同承载，单个对象的测量或扰动不会影响整体信息。
-

2. 经典比特的测量特性

- **非破坏性测量：**
 - 经典比特可被多次测量且不影响其状态（因冗余载体保留足够未改变对象）。
 - 例如：电容器的电压可反复读取，无需重置电荷。
 - **连续值与容错性：**
 - 测量结果为连续范围（如电压在0V至1V之间），通过设定阈值实现容错：
 - **逻辑0：** 0V – 0.2V
 - **逻辑1：** 0.8V – 1V
 - 中间值（0.2V – 0.8V）可能无法正确解析，但电路设计确保输出稳定在理想值附近。
-

3. 恢复逻辑（Restoring Logic）

- **功能：**消除信号在传输中的微小偏差（如电压波动），确保逻辑状态清晰。
 - 例如：逻辑门输出强制归整为0V或1V，避免噪声累积。
 - **意义：**
 - 现代计算机的鲁棒性依赖此机制，保障长期可靠运行。
 - 通过硬件设计维持比特的稳定性，即使物理系统存在噪声。
-

4. 经典比特的抽象模型

- **理想化假设：**
 - 比特可被无损测量和复制（抽象忽略量子效应）。
 - 实际是量子物理的近似，但在宏观尺度下高度有效。
- **应用场景：**
 - 适用于恢复逻辑电路，如CPU、内存等传统电子设备。

5. 经典比特的局限性

- 量子力学的根本约束：
 - 所有物理系统最终服从量子力学，经典比特仅为宏观近似。
 - 当技术逼近微观极限（如原子/光子级元件）时，量子效应（如隧穿、叠加）将不可忽略。
- 技术发展的挑战：
 - 半导体元件尺寸持续缩小（摩尔定律），预计在2015年前可能面临量子极限。
 - 例如：单个比特由极少数电子表示时，量子噪声将破坏经典逻辑的稳定性。

6. 经典 vs. 量子比特的关键差异

特性	经典比特	量子比特
测量影响	非破坏性，可重复测量	破坏性，测量导致坍缩
信息载体	大量物理对象（如电子、光子）	单个或少量量子对象（如原子、光子）
状态表示	确定的0或1	叠加态（0和1的线性组合）
复制性	可无限复制	受不可克隆定理限制
噪声容错	依赖恢复逻辑和冗余设计	需量子纠错码和相干性维持