

# 一个故事搞懂CPU是如何工作的

柳两丛 STM32嵌入式开发 2022-03-02 21:33

收录于话题

#CPU 21 #半导体 10

上二年级的小明正坐在教室里。现在是数学课，下午第一节，窗外的蝉鸣、缓缓旋转的吊扇让同学们昏昏欲睡。此时，刘老师在黑板上写下一个问题：

$$6324 + 244675 = ?$$

小明抬头看了一眼，觉得这两个数字挺眼熟。他昨天翘课去网吧了，因此错过了刘老师讲的竖式计算加法。

“同学们算一算这道题。”刘老师和蔼可亲地说道。

小明盯着黑板懵逼。

小学二年级的他面对这样一道世界级难题，束手无策。小明伸出了自己的左手，打算用一个古老而深邃的方法--掰手指--尝试一下。

小明发现他的每只手只能输入0-5中的正整数，和的范围仅限于0-10，离6324还十分遥远。

“慢着！”小明看向了自己的左手。他发现，事情有一点不对劲。

我们也来看看小明的左手。这只左手有5根手指，我们把5根手指都伸开来记为11111，5根手指握拳记为00000，手背面向我们，左手小指是第一个1/0。

小明紧紧地握拳，然后伸出大拇指，此时的左手为00001。“如果，”小明想，“这样是1”。

他缩回拇指，伸出食指，此时的左手为00010；“这样是2”。

他又伸出拇指，此时的左手为00011；“那么这样是3”。

他缩回拇指和食指，伸出中指，此时的左手为对自己竖中指00100；“这样就是4！”

.....小明的左手飞速运动着，直到五根手指都伸直，像是钢铁侠射了一发掌心炮11111；“这样就是31！一只手可以表示0-31中的任意正整数！”

小明为自己的发现感到激动。可他不知道怎么表示加法。

小明的同桌，英语课代表小红，看他摆弄了半天左手，忍不住问他在干什么。小明解释了他的发现。小红听了小明的一番高论，若有所思，提笔在数学书的封底画了一个表格：

输入 x	输入 y	输入进位	输出结果	输出进位
0	0	0		
0	1	0		
1	0	0		
1	1	0		
0	0	1		
0	1	1		
1	0	1		
1	1	1		

小红画的表格

“如果我们能造一个机器，给它三个输入，它能返回两个结果，那我们就能算出这道题！”小红激动地说。

“啥叫进位啊美女？”小明问道。

“就是你列竖式的时候画的一小撇”，小红回答。

“猎术士是什么，我知道猎魔人和古尔丹。”

小红于是讲解了一下怎么列竖式计算十进制加法。“我懂了。”

小明说着，拿过小红的数学书，补全了表格：

输入 x	输入 y	输入进位	输出结果	输出进位
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	0	1

明试着补全表格

“是这样吗？”小明问小红。

小红拿过来看了看，说：“最后一行写错了，输出结果应该是1。你想啊，1+1+1应该等于11，左边这一位是输出进位，右边这一位是输出结果，都是1，所以输出结果应该是1。”

“噢。”小明又拿过书来，拿起橡皮铅笔改正：



明改好了

“那为什么这个机器能算加法？我还是不懂。”小明问。

“假设我们已经造出来了这么个机器，长这样”小红继续在封底上画着：



小红画的机器

“等会等会，怎么变成英文了，我英语不好。”小明叫道。

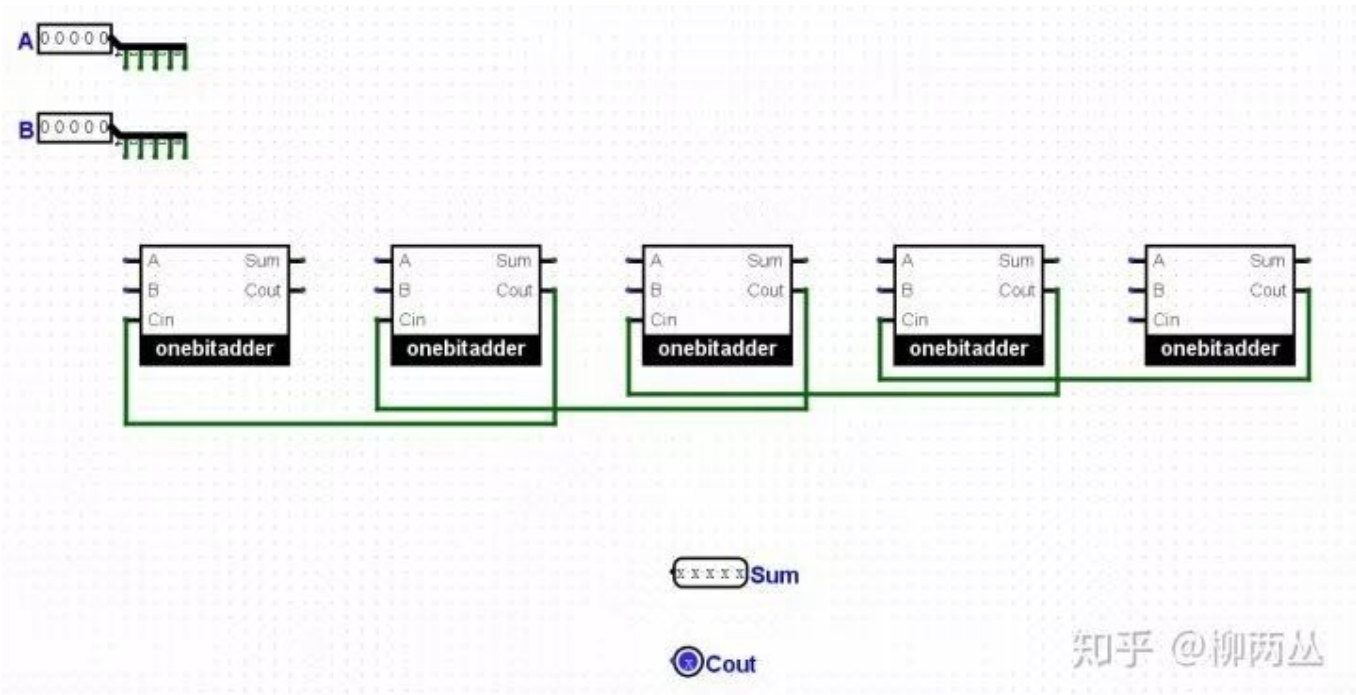
“hmmm看来你没读双语幼儿园。左边这三个是输入，右边是输出，C是进位，C-in是输入进位，C-out是输出进位，Sum是和的意思，明白了么？”小红解释道。

“噢好。”

“假设我们已经造出来了这么个机器，造了好几个，我们这么连起来...诶纸不够大，我写不下了。”

小明一听，赶紧从书桌膛里翻出来一本草稿纸，生怕同桌变成费马。

“谢谢。先这么连起来：”



小红画图中

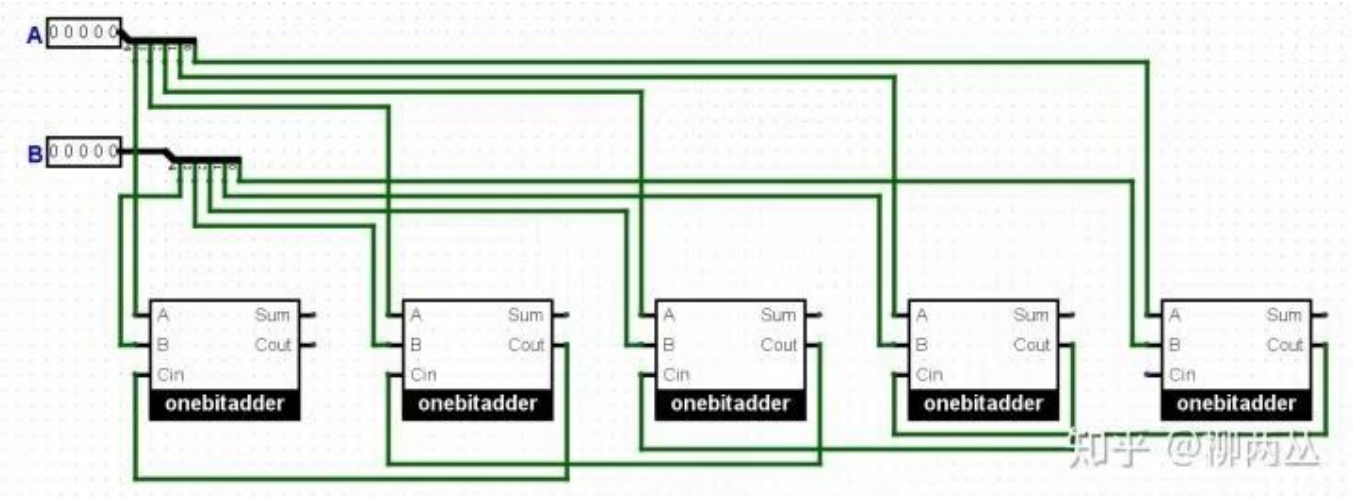
“哦哦哦我懂了，A和B就是两只手，最右边这个one-bit-adder计算的是最小位数的和！”小明说道。

“正确！”

“你这样连的话，是说最小位的输出进位就是下一位的输入进位，下一位的输出又是下下一位的输入！天啊，这跟列竖式好像。”小明惊叫。

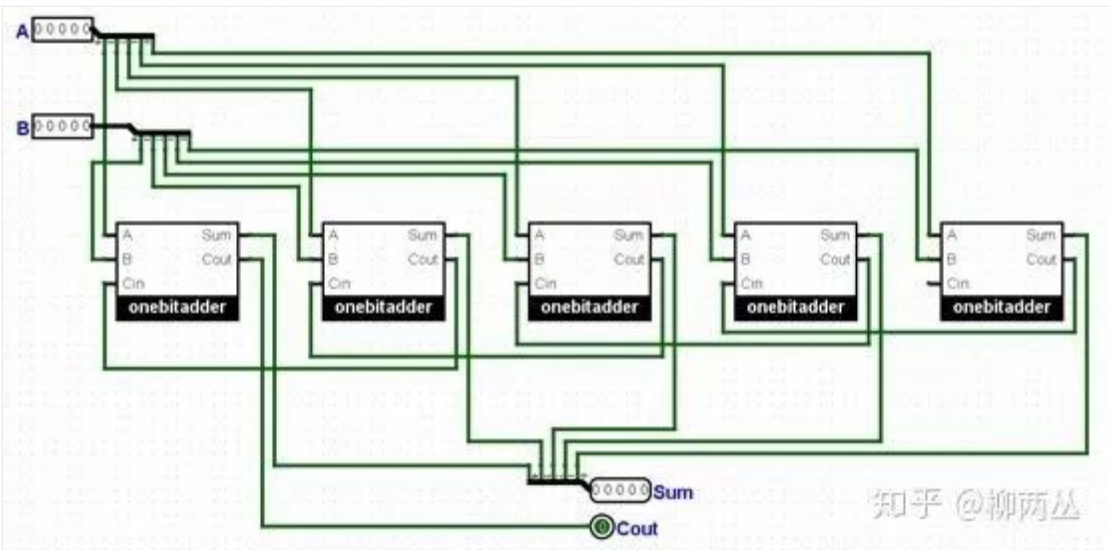
“Absolutely!”小红回答道。

小明又拿过草稿纸，接着画起来：



小明画图中

“把对应的每一位连到每一个adder里...”小明念念有词，“...再汇总一下输出”：



小明画的加法器

“成了！这个东西可以算两只手加法的结果！”小明高兴极了。

“可是离6324和244675还是太远了，输入5位远远不够呀。”小红皱了皱眉头。

“不不不！你在掰手指的时候有没有发现，每多一根指头，能表示的数就会多出来一大堆，我觉得只要加那么十几个就够了！1根指头能表示2个数（0，1），2根指头四个数（0，1，2，3），3根8个...”

“是2的倍数！”小红接道，“小明，我觉得你的这个记数方法很有意思，要不叫小明式吧！”小红凝望小明的目光中有了一丝羞涩。

“二进制。”

身后忽然传来低沉的声音。两人同时回头，发现数学课代表小刚正直勾勾地盯着那张草稿纸。他好像已聆听多时了。

“叫二进制吧，我看蓝猫淘气三千问讲过这个，一模一样，蓝猫说这是二进制。”小刚补充道。

小刚的数学成绩是班里最好的，一入学而思就上的超常班。小红只能上尖子班，小明一般去网吧。

“那就叫二进制吧。”小明说。

他和小红转过身来，老师让小组讨论的时候他们就这么坐。

小刚又道：“可是，怎么造出这个one-bit-adder呢？”他的眉头皱成一团，眼镜片看起来更厚了。

小明和小红也陷入了沉默，三人一筹莫展，陷入僵局。这时，小刚的同桌，物理课代表小兰入局。

她忽然说道：“我听物理办公室的陈老师吹牛，他当年在大学里读电子工程，GPA一直是4.3，用实验室的导线开关和小灯泡就能造一个32位的加法器，不知道是怎么做到的。他还说什么与门是and，或门是or，再加一个非门not，用它们表示逻辑，就能造出世间千千万万的计算机。”

小明听迷糊了，“等会等会，什么门？金拱门？”另两人也露出迷茫的表情。

小兰从桌子里掏出一个黑盒子。“这是下节课要用的教具，陈老师让我先拿着。”

她打开盒子，取出三个零件和一个说明书。

“喏，你们看看这个”，她拿起第一个零件，“这个叫与门，有两个输入和一个输出。如果我们把输出连上小灯泡，接上电源，两个输入分别连上开关，那么是这么个情况：”

开关 1	开关 2	小灯泡
关	关	灭
开	关	灭
关	开	灭
开	开	亮

小兰画的表格

“就是说，只有两个开关都闭合了，小灯泡才亮，有点像串联电路。”小兰补充道。

“诶，有意思了...”小刚扶了扶眼镜，似乎打算说什么，大家都看向他。

“没，没什么，我还在想，小兰你接着说。”

“那好。”小兰接着拿起第二块零件。“这个叫或门，有一个开关开着灯泡就会亮...”

“等下！”小刚忽然打断，拿起笔在自己的白纸上画起来：

输入 1	输入 2	输出
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

小刚画的表格

“是不是这样！”小刚激动地说，“如果0是关1是开，0是灭1是亮的话，或门的输入输出是不是这样？”

小兰看了看道：“正是”。

她拿起第三个零件，“最后这个叫非门，只有一个输入，一个输出。它会输出一个相反的结果：输入有电流，输出就没有；输入没有电流，输出就有电流。用小刚的话来说，输入0输出则为1，输入1输出则为0。太简单了，懒得画表了。”

小兰把非门放在桌上。小刚说道：“这三个门可以表示三种逻辑。如果A、B是输入， $A \text{ or } B$  就是经过或门的结果， $A \text{ and } B$  就是经过与门的结果， $\text{not } A$  则是A经过非门的结果。”

三人纷纷点头。“可是，这和加法有什么关系呢？”小明问道。

四人再度陷入沉默。

沉默。

忽然，小明拿起笔，一边画一边说道：“如果我们回去看小红画的表格，”

A	B	Cin	Sum	Cout
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

左三列是输入，右二列是输出

“Sum可以写成A、B、Cin的逻辑关系！”

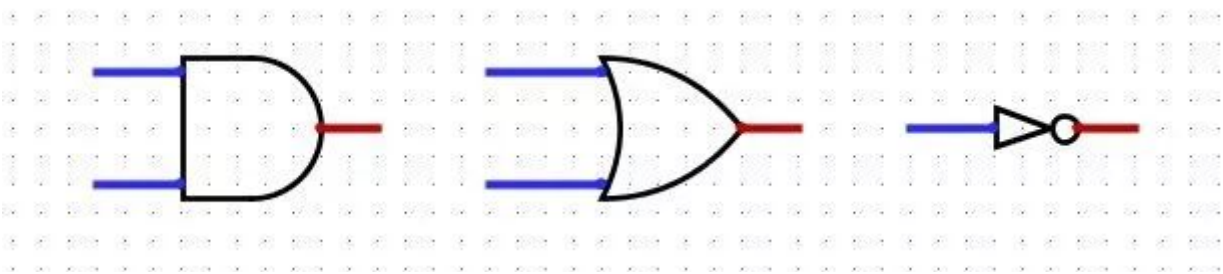
$$Sum = \bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}C + ABC$$

“你们看，把  $A \text{ and } B$  记作  $AB$ ， $A \text{ or } B$  记作  $A + B$ ， $\text{not } A$  记作  $\bar{A}$  上面画个横线。Sum 输出为1只出现在表格的2、3、5、8行，也就是三个输入中1的个数为奇数的时候。我们把这4种情况记下来，那么这个式子...”



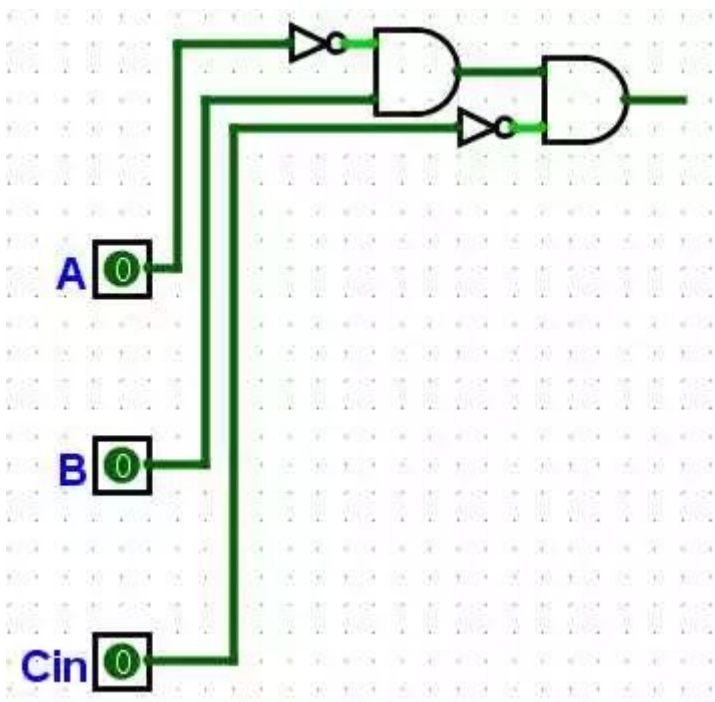
“可以拿逻辑门实现！！！”四人异口同声的叫道。

小红抢过草稿纸，又看了看物理教具的说明书，边画边说了起来：“说明书上写，这个火车头形状的符号表示 and gate；这个B2轰炸机形状的是or gate；这个小人形状的是not gate...”



小红画的与门，或门，非门

她又看了一眼小明的式子，说道：“这个式子的第一项可以这样...”



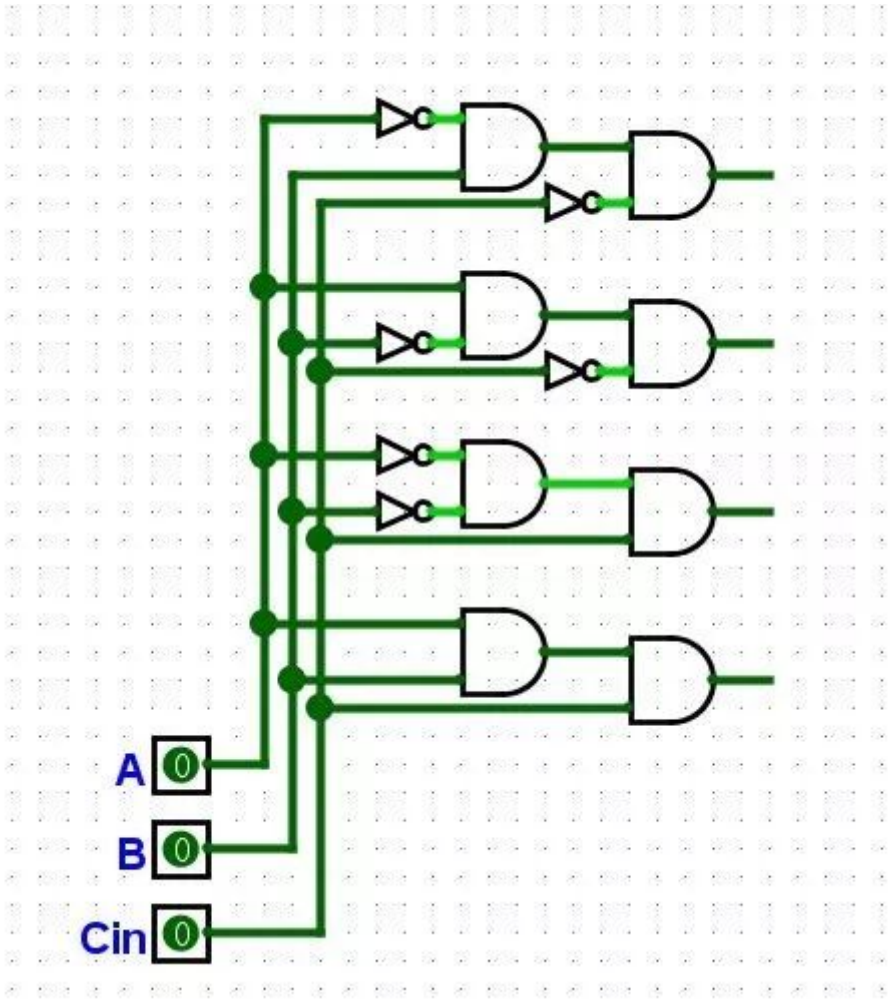
小红画的输出和的第一项

"你们看你们看，这个不就是

$$\bar{A}B\bar{C}$$

嘛！"小红自豪地说。

小明补全了电路：

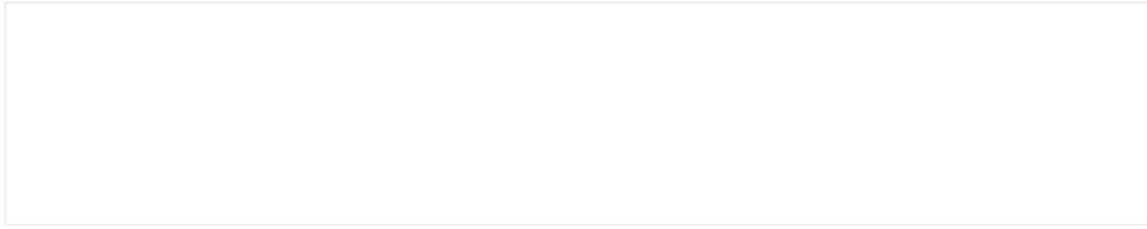


“先把与门都画了”



“再把或门都加上，搞定。这东西可以算出Sum了，接下来用一样的办法把C-out弄出来。”小明准备继续画。

“你们看，这里还有几个零件。”小兰指着说明书说道：



与非，或非，异或，同或

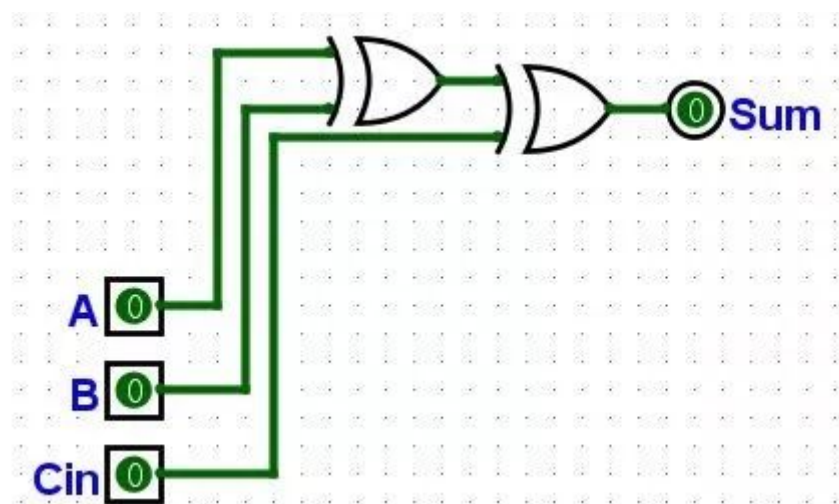
“与非门：一个与门的输出和一个非门相连，英文是not and，NAND gate。那个小圈圈代表一个非门。

或非门是或门 + 非门，not or，NOR gate。

第三个叫异或门，只有两个输入中一个为1一个不为1时，才会输出1，exclusive-or，XOR gate。

第四个是同或门，也就是一个异或门加上一个非门。”

“啊哈！”小刚灵机一动，抓起笔来道：“我有一个绝妙的点子。”

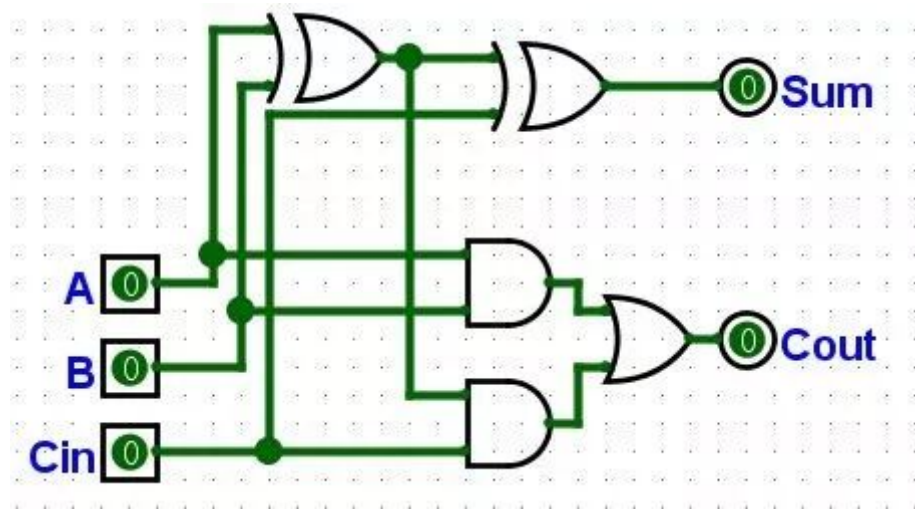


小刚简化后的电路

“小明的方案，要用17个门。我只要2个异或门就搞定了，牛逼吧？”

三人瞪大了眼睛，仔细思考后纷纷点头道：“牛逼，牛逼。”

小刚随即画出了完整的one-bit-adder电路：



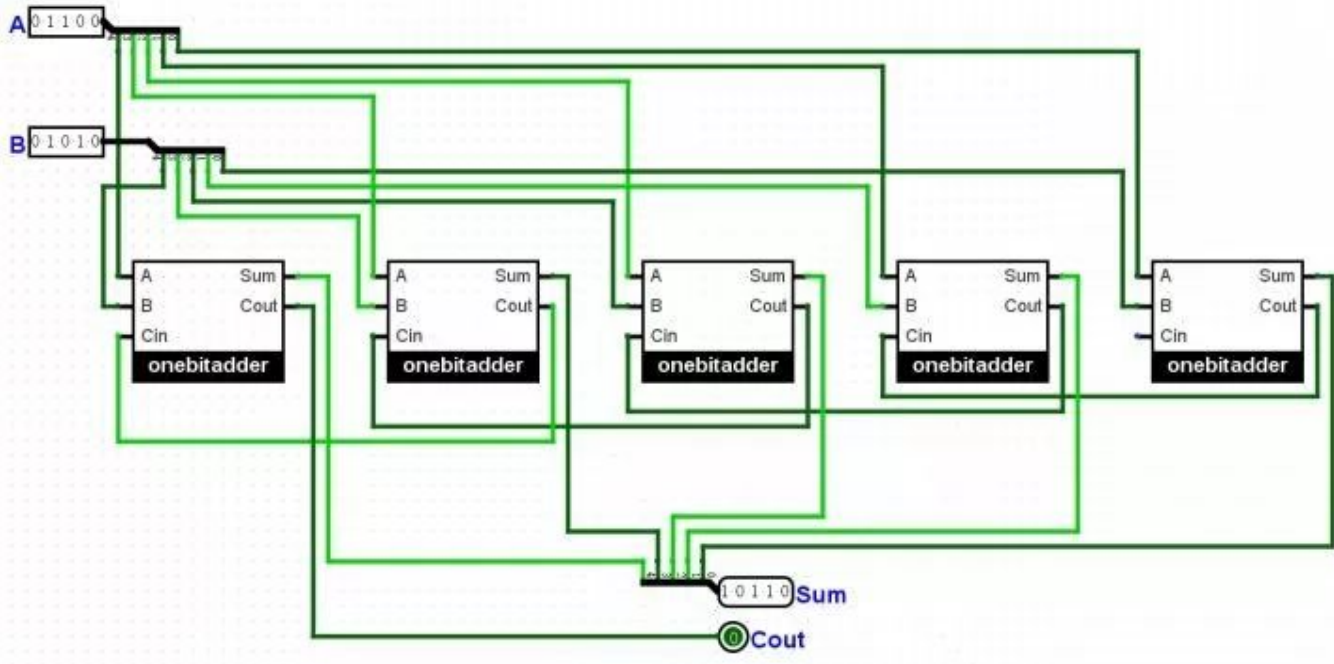
小刚的one-bit-adder

小明从教具盒里拿出电源、小灯泡、开关和逻辑门，按照设计图制作出了全加器：

00:09

看到小刚的设计被完整的实现，小明欣喜：“啊哈哈，吾有上将小刚，则霸业可成，汉室可兴啊！”

他把黑盒子里的零件全拿了出来，四人忙碌地工作着。很快，他们拥有了5个全加器，基于小红的设计连了起来：



小红设计实现

“二进制的01100等于十进制的12，01010等于10， $12+10=22$ ，等于 $16+4+2$ ，也就是二进制的10110...”

四人人往代表输出结果的5个小灯泡望去：亮，灭，亮，亮，灭；正是10110！

“成了！！！”

大家激动的拍打课桌为了计算黑板上那道题，四人一共制作了32个一位全加器，将它们连接后，一个三十二位加法器便诞生了:CPU如何进行数字加法。他们历经艰辛，踩着自然规律和人类智慧的肩膀，把自己从枯燥的加法计算中解放出来！

窗外的蝉鸣渐渐平息，头顶的吊扇不再转动。

“刘老师，答案是250999！”小明站了起来，声若洪钟大吕，震慑天地。

他和小红、小刚、小兰分别对视了一眼，收获了坚定的目光。

这目光，连同面前的32位加法器，如同新的转机和闪闪星斗，正在缀满没有遮拦的天空。

刘老师点了点头，欣慰的说道：“很好，看来四位同学对这部分知识掌握的不错！我们再来看几道题！”

他转过身，拿起板擦，把黑板擦了个精光，又从黑板槽里拾起半截粉笔，写了起来：

1.  $244675 - 6324 = ?$
2.  $3.14159 + 5.535897 = ?$
3.  $17 * 45 = ?$
4.  $3 / 2 = ?$

一连四道题，让四人组陷入了深思：如何让自己的机器运算减法？乘法？除法？浮点数？

刘老师并没有停下，手中的粉笔运动得越来越快：

5. Fibonacci 数列的第103项？
6. 一圈共有N个人，开始报数，报到M的人出列，然后重新开始报数，问最后出列的人是谁？.

.....

疑惑越来越多了：如何存储？怎样实现分支？保证效率？

刘老师仍未停下，黑板快被写满了：

103. 方程 $\zeta(s)=0$ 的所有有意义的解都在一条直线上吗？
104. 大于2的偶数都可以写成两个质数的和吗？

.....

134. 生命，宇宙及所有事物的答案？

刘老师放下了粉笔，半截粉笔已经变成硬币的厚度。

“这些问题，我们能造个机器回答么？”小明撑着头，喃喃自语。



## 单片机与嵌入式

单片机，嵌入式，C语言，电路PCB，半导体

5篇原创内容

公众号

喜欢此内容的人还喜欢

CPU是如何工作的？我们得听一个故事！

嵌入式资讯精选

单片机开发中，传感器的数据处理算法

STM32嵌入式开发