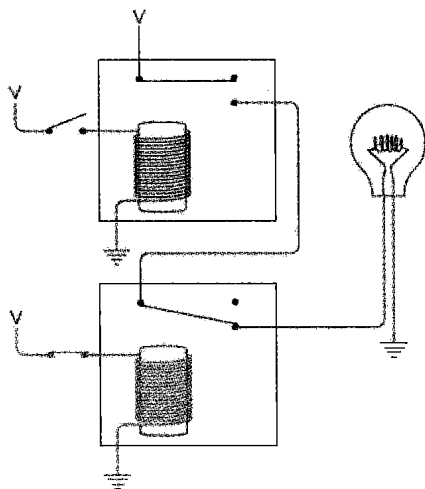
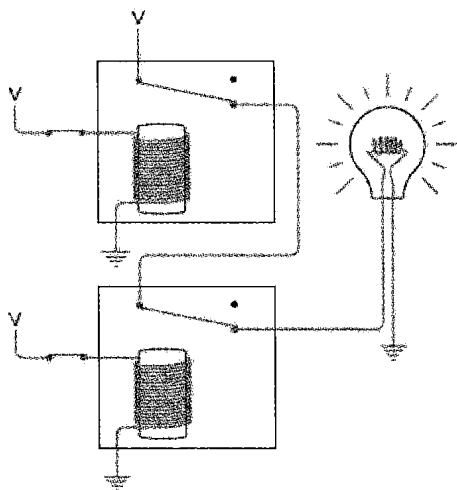


灯泡仍然不亮，因为下面的开关一直是断开的，这个继电器没有被触发。我们现在断开上面的开关，并闭合下面的开关。



灯泡仍然不亮。由于上面的继电器没有被触发，电流无法流过灯泡。只有两个开关都闭合的时候灯泡才会被点亮。



这时，两个继电器都被触发，电流从 V 流经灯泡后流入到地中。

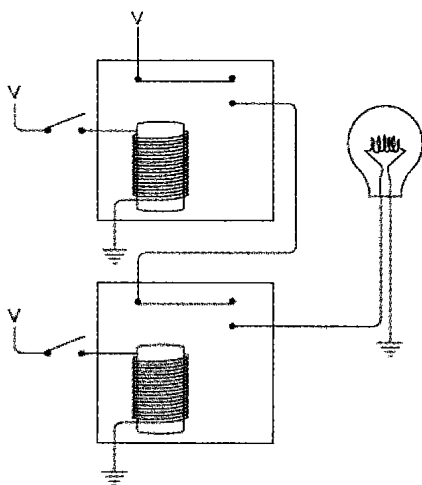
就像两个开关串联一样，这两个继电器也执行了逻辑操作。只有当两个继电器都被触发的时候灯泡才会亮。这样两个继电器的串联被称为一个“与门”。为了避免复杂的图

示，电气工程师用如下专门的符号表示一个与门。

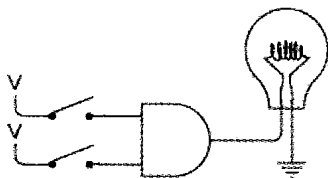


这是四个基本逻辑门中的一个。与门有两个输入端（上图中的左端）和一个输出端（上图中的右端）。这样表示的与门通常输入在左边，输出在右边。这是因为人们习惯于由左向右的阅读方式，在读电路图的时候也会由左向右。但与门也可以画成输入在上端、右端或者下端。

有两个继电器、两个开关和一个灯泡的原始电路图如下所示。

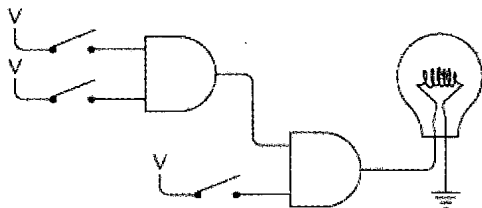


使用“与门”符号，上图可以画为如下所示的图。



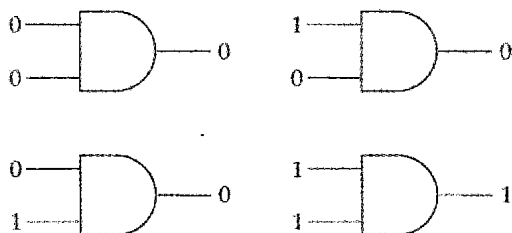
注意，与门的符号不仅仅代替了两个串联的继电器，而且还暗示着上面的继电器与电源相连，两个继电器都接地。只有当上面的开关与下面的开关都闭合的时候，灯泡才会发光。这就是称它为“与门”的原因。

与门的输入未必一定要和开关相连，而且输出也不一定只能与灯泡相连。我们真正要处理的是输入端的电压和输出端的电压。例如，一个与门的输出可以作为另一个与门的输入，如下所示。



只有当三个开关全部闭合的时候，灯泡才会亮。只有当上面两个开关全闭合的时候，第一个与门的输出才会触发第二个与门中的第一个继电器。而最下面的开关闭合会触发第二个与门中的第二个触发器。

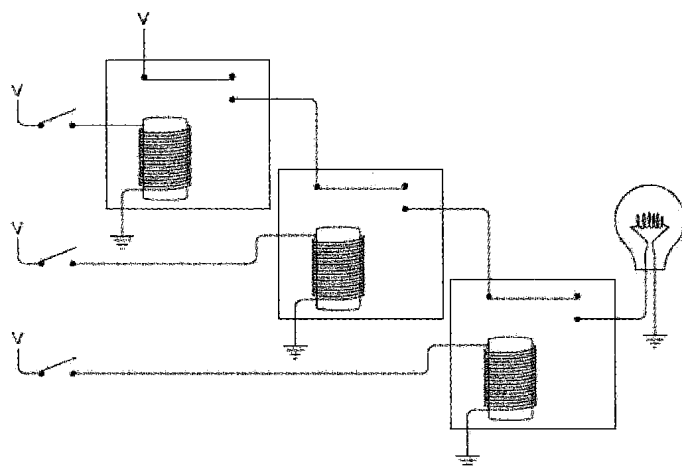
如果我们将低电平视为 0，将高电平视为 1，那么与门的输入和输出之间的关系如下所示。



像两个开关串联一样，与门的输入与输出之间的关系同样可用下表来描述。

AND	0	1
0	0	0
1	0	1

同样可以让与门有多个输入端。例如，将三个继电器串联，如下图所示。

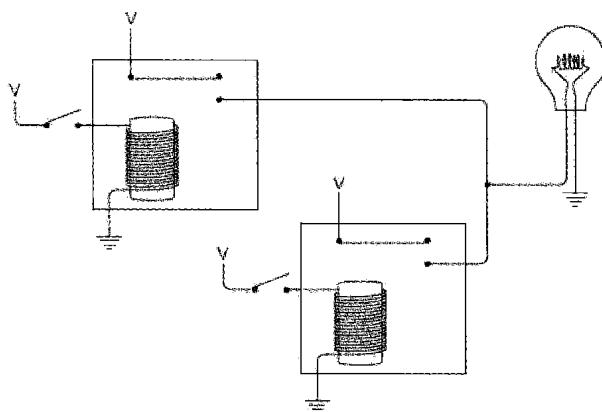


只有当三个开关全部闭合时灯泡才会发光。这个结构可以用如下符号来表示。

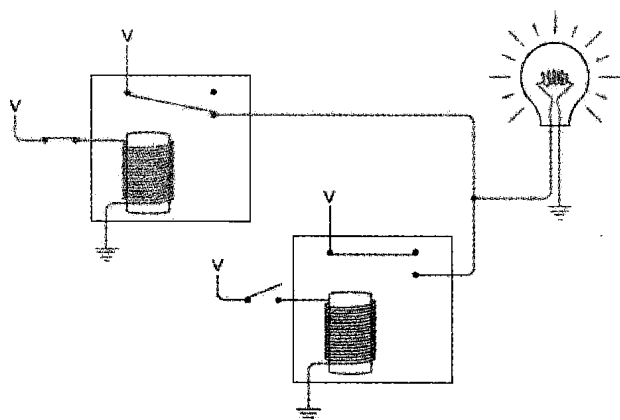


它被称为三输入端与门。

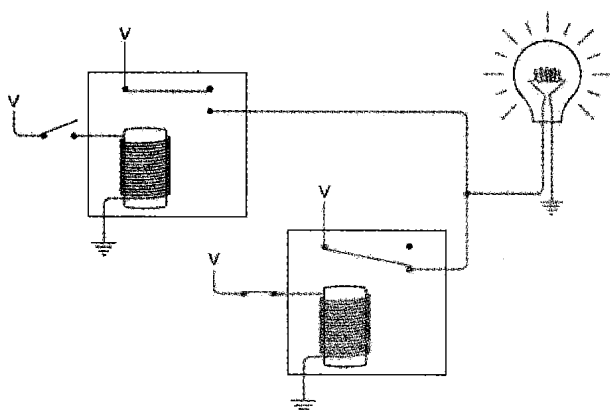
以下逻辑门是由两个继电器并联而成。



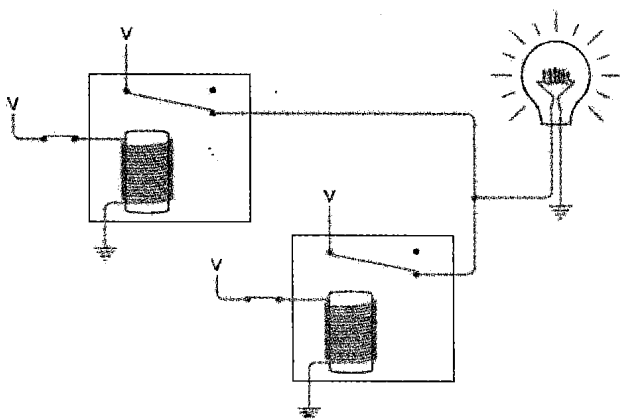
注意两个继电器的输出是接在一起的，这个连在一起的输出为灯泡提供了电源。任何一个继电器都能点亮灯泡。例如，如果闭合上面的开关，灯泡会亮。这时，灯泡从左边的继电器得到了电源供应。



同样的，如果我们将上面的开关断开，并闭合下面的开关，灯泡也会发光。



如果两个开关都闭合，灯泡也会亮。

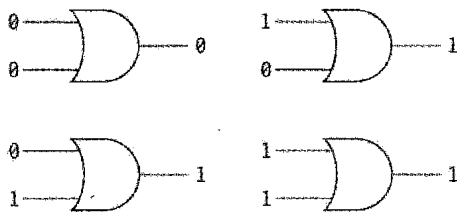


显而易见，当上面的开关或下面的开关闭合，灯泡都会发光，这里的关键词是“或”，因此这样的门被称为“或门”。电气工程师用如下符号表示或门。



它与与门的符号稍微有点相似，但是输入端的一边是弧线，像英文单词“OR”中字母“O”一样（这样可以帮你分清它们）。

或门的两个输入中，只要有一个加上电压，输出就是高电平。如果将低电平看做0，高电平看做1，那么或门也有四种可能的组合状态。

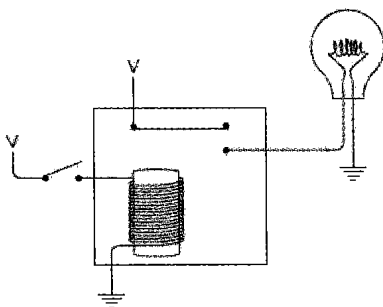


像总结与门一样，我们可以将或门的输入和输出关系总结为一个表，如下所示。

OR	0	1
0	0	1
1	1	1

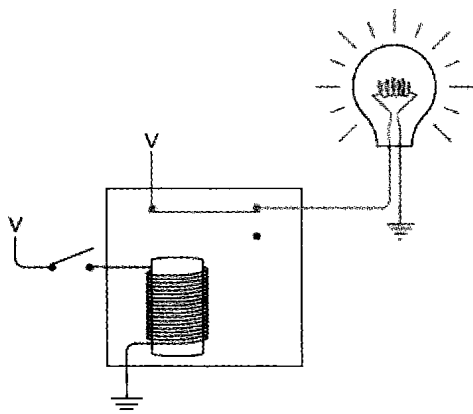
或门也可以有多个输入端（只要任一个输入端为1，其输出端就为1，只有所有的输入端都为0时，输出端才为0）。

前面解释了为什么我们所用的继电器叫双掷继电器，这是因为其输出有两种不同的连接方式。通常在开关断开的时候，灯泡不会亮。

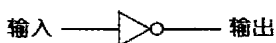


当开关闭合时，灯泡发光。

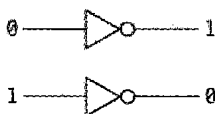
也可以用另外一种连接方式，使开关断开时灯泡被点亮。



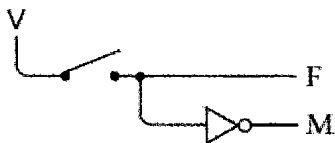
这样的话，开关闭合，灯泡就会熄灭。以这种方式连接的继电器叫做反向器 (**inverter**)。反向器不是逻辑门（一个逻辑门通常有两个或多个输入），尽管如此，它的用处还是很广。反向器可以用如下的专门符号来表示。



由于它能将 0（低电平）转换为 1（高电平），因此被称为反向器，反过来也是一样的。

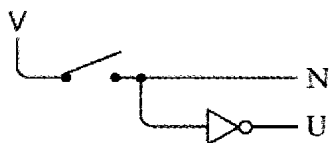


利用反向器、与门和或门，我们就可以着手去设计一个自动选择理想猫咪的控制面板了。首先从开关开始，第一个开关闭合表示母猫，断开表示公猫。因此，我们可以得到两个信号，把它们分别叫做 F 和 M，如下图所示。

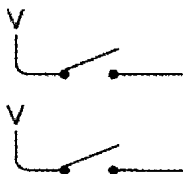


当 F 为 1 时，M 为 0，反之亦然。同样，第二个开关闭合表示这只猫已绝育，断开则

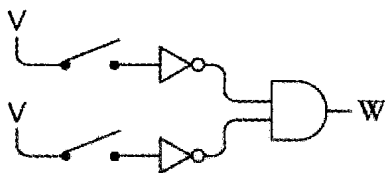
表示这只猫未绝育。



下面两个开关更加复杂。两个开关的不同组合分别表示四种不同的颜色。以下为两个接有电源的开关。

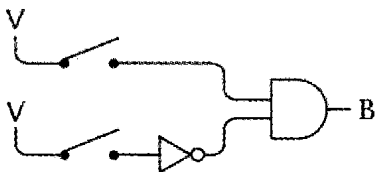


当两个开关都断开时（如上图所示），表示白色。以下就是如何运用两个反向器和一个与门来得到  $W$  信号的方式。如果你选择一只白猫， $W$  就为高电平（1）；否则，就为低电平（0）。



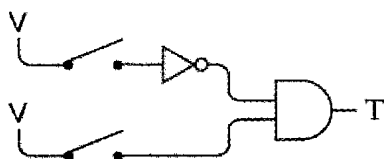
当两个开关断开时，两个反向器的输入均为 0，两个反向器的输出（也就是与门的输入）都为 1。这就意味着与门的输出为 1。如果有一个开关闭合，与门的输出就为 0。

要想用闭合第一个开关表示一只黑猫，可以利用一个反向器和一个与门实现。

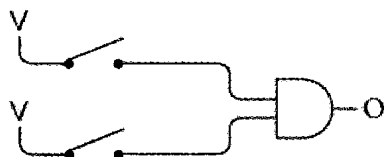


只有当第一个开关闭合而第二个开关断开的时候，与门输出才为 1。同样，如果第二个开关闭合而第一个开关断开，与门的输出也为 1，我们用此来表示褐色的猫。

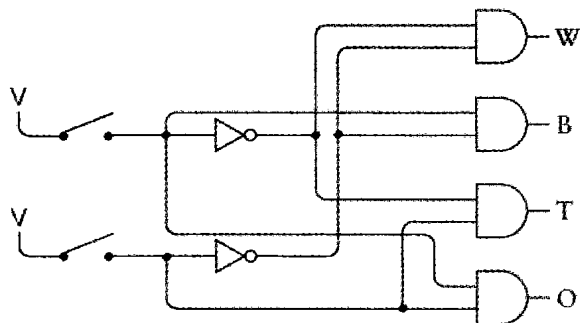




如果两个开关同时闭合则表示其他颜色的猫。



现在，我们将四个小电路合并成一个大电路（按照惯例，黑实心点表示交叉线之间是连接的，没有黑实心点的交叉线则表示仅仅是穿过，没有连接）。



这个电路看起来非常复杂，但是如果你仔细地沿着线路走，看清每个与门的输入是从哪来的，而暂不论这些输入去向何方，电路的工作原理就会一目了然。如果两个开关都断开，输出信号  $W$  就为 1，其他都为 0。如果第一个开关闭合，则输出信号  $B$  为 1，其他为 0，依此类推。

在连接门和反向器的时候有一些规则，影响它们的连接方式：一个门（或反向器）的输出可以作为一个或多个其他门（或反向器）的输入。但是两个或多个门（或反向器）的输出是不可以相互连接的。

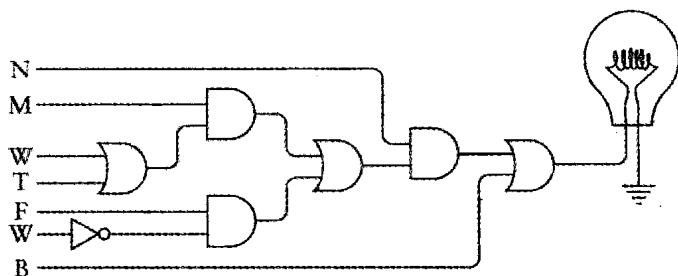
这个由 4 个与门和 2 个反向器连接成的电路叫做“2-4 译码器”。输入为 2 个二进制位，各种组合共表示 4 个不同的值。输出是 4 个信号，任何时刻只能有一个是 1，至于哪一个为 1 取决于两个输入。利用同样的原理，我们可以构造出 3-8 译码器或者 4-16 译码

器，等等。

简化过的选择猫咪的表达式为：

$$(N \times ((M \times (W + T)) + (F \times (1 - W)))) + B$$

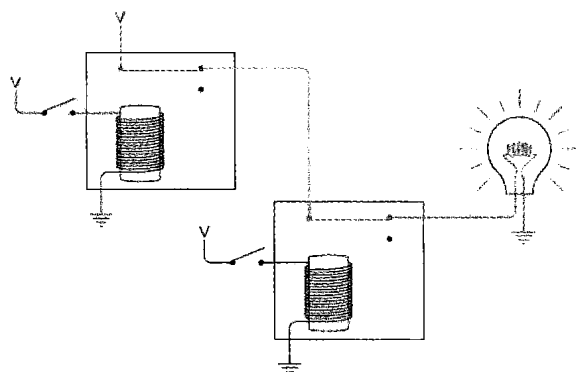
在这个表达式中，每个加号(+)，必定对应电路中的一个或门。对于每一个乘号(×)，则对应一个与门，电路图如下所示。



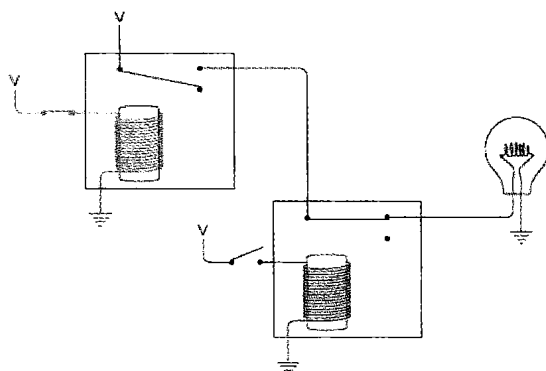
电路图左侧的字母由上到下的顺序与它们表达式中出现的顺序一样。这些信号来源于与反向器相连的开关和 2-4 译码器的输出。请注意用来表示表达式中  $(1 - W)$  部分的反向器的用法。

这时，你可能会说：“这一堆继电器太多了！”，是的，确实如此。每个与门和或门中有两个继电器，一个反向器中有一个继电器。但是我在这里要说的就是你必须习惯它。之后的章节中我们还会用到更多的继电器。还好你不用真的买来并在家中自己连接它们。

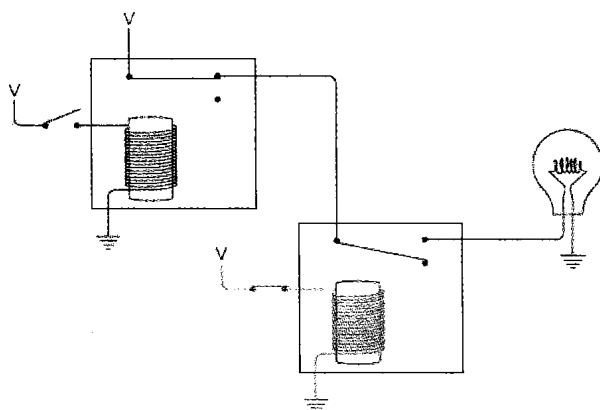
下面要介绍另外两种本章要用到的逻辑门。这两个门都会用到这样一个继电器，该继电器在未被触发时，其输出为高电平（这是用在反向器中的输出）。例如，在下面这种配置中，第一个继电器的输出为第二个继电器提供电源。当两个继电器全都断开时，灯泡发光。



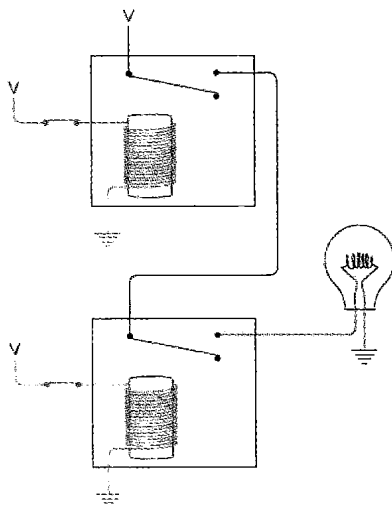
如果上面的开关闭合，灯泡就会熄灭。



灯泡熄灭是由于第二个继电器没有电源供应。同样的，如果下面的开关闭合，灯泡也会熄灭。



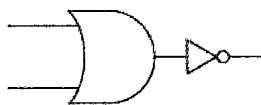
如果两个开关全部闭合，灯泡也不亮。



这些结果恰恰与或门相反，这个门称为“或非门”，简称 **NOR**，用以下符号表示。



除去输出部分的小圆圈，这个符号与或门非常相像。小圆圈表示“反向”，所以或非门也可用下面的符号表示。

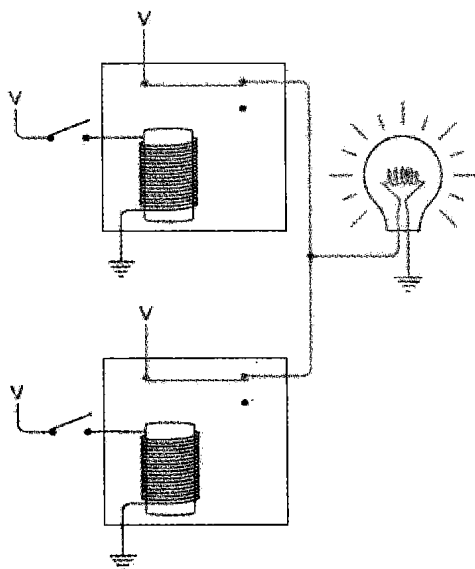


或非门的输出如下表所示。

<b>NOR</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>0</b>	1	0
<b>1</b>	0	0

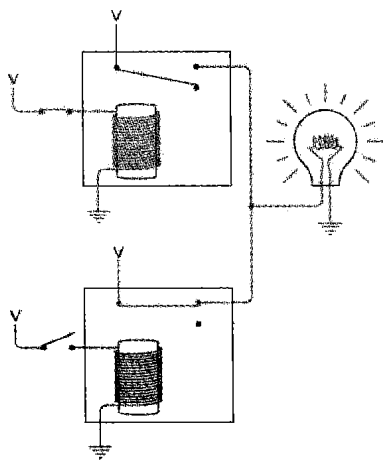
这个表所显示的结果与或门正好相反，在或门中，两个输入中有一个为 1 输出就为 1，只有两个输入都为 0，输出才为 0。

下面是另一种连接两个继电器的方法。

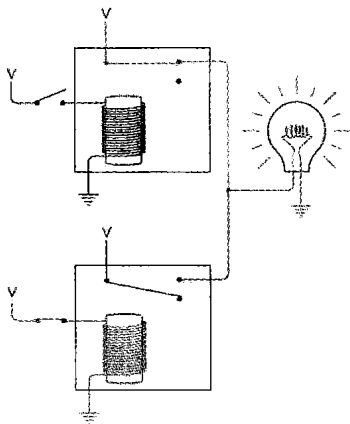


在这种情况下，两个输出连接在一起，与或门的布局类似，但是却采用了另一种输出接法。灯泡在两个开关全断开时被点亮。

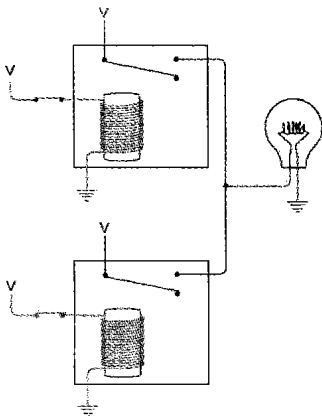
当上面的开关闭合时，灯泡依然是亮的。



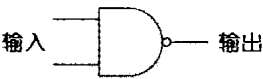
同样，当只有下面的开关闭合时，灯泡也依然是亮的。



只有当两个开关全闭合的时候，灯泡才会熄灭。



这一结果和与门恰恰相反。这种逻辑门被称为与非门，或简称 **NAND**。与非门的符号和与门类似，但在输出部位多了一个小圆圈，意思是输出和与门正好相反。



与非门的输出如下表所示。

NAND	0	1
0	1	1
1	1	0

注意与非门的输出是和与门完全相反的。与门只有当输入全为 1 的时候输出才为 1，否则输出就为 0。

到此为止，我们已经看到可以用四种不同的方式来连接有两个输入、一个输出的继电器，每一种方式的行为功能都不一样。为了避免重复画继电器，我们将它们称为逻辑门，并用电气工程师们所使用的专门符号来表示它们。特定逻辑门的输出取决于它的输入，输出与输入的关系可总结为以下几个表格。

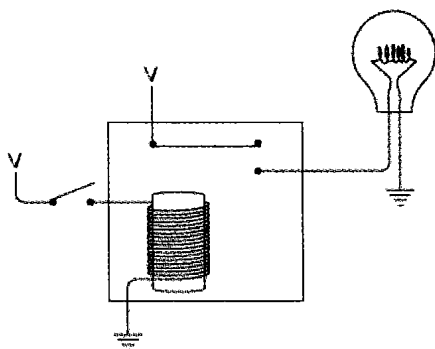
AND	0	1
0	0	0
1	0	1

OR	0	1
0	0	1
1	1	1

NAND	0	1
0	1	1
1	1	0

NOR	0	1
0	1	0
1	0	0

现在，我们已经有四个逻辑门和一个反向器。把这些工具组合到一起其实就是原始的继电器，如下图所示。



这叫做缓冲器 (buffer)，可用如下符号表示。



除了输入端的小圆圈，这个符号与反向器是很相似的。很明显，缓冲器“没有什么作用”，它的输入与输出是相同的。