

EXEMPLO 3-2

- (a) Desenvolva a tabela-verdade para uma porta AND de 3 entradas.
- (b) Determine o número total de combinações de entrada possíveis para uma porta AND de 4 entradas.

Solução (a) Existem oito combinações de entrada possíveis ($2^3 = 8$) para uma porta AND de 3 entradas. O lado da entrada da tabela-verdade (Tabela 3-3) mostra todas as oito combinações de três bits. O lado da saída é todo de 0s exceto quando todos os bits de entradas são 1s.

► **TABELA 3-3**

ENTRADAS			SAÍDA
A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

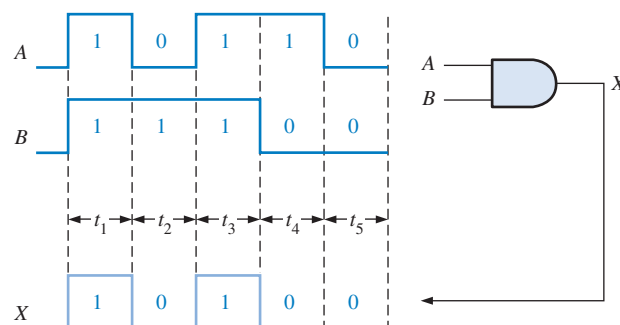
- (b) $N = 2^4 = 16$. Existem 16 combinações binárias possíveis de entrada para uma porta AND de 4 entradas.

Problema relacionado Desenvolva a tabela-verdade para uma porta AND de 4 entradas.

Operação com Formas de Onda nas Entradas

Na maioria das aplicações, as entradas de uma porta não apresentam níveis estacionários mas são formas de onda de tensão que variam freqüentemente entre os níveis lógicos ALTO e BAIXO. Agora vamos analisar a operação das portas AND com formas de onda de pulsos nas entradas, tendo em mente que uma porta obedece a operação de uma tabela-verdade independente se as entradas dela são níveis constantes ou níveis que variam (ALTO e BAIXO).

Vamos examinar a operação com forma de onda nas entradas de uma porta AND observando as entradas uma relativa a outra para determinar o nível de saída num determinado instante. Na Figura 3-10, as entradas A e B são nível ALTO (1) durante o intervalo de tempo t_1 , tornando a saída X nível ALTO (1) durante esse intervalo de tempo. Durante o intervalo de tempo t_2 , a entrada A é

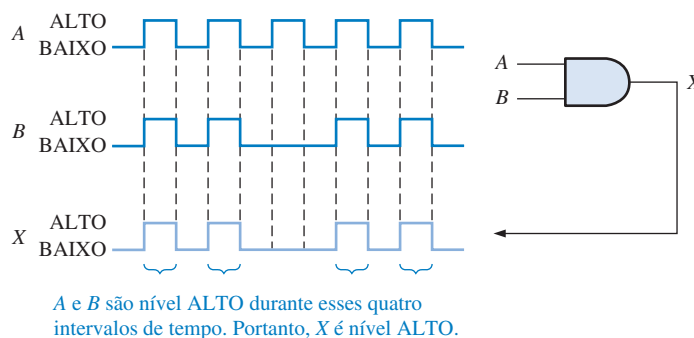
◀ **FIGURA 3-10**

Exemplo da operação de uma porta AND com um diagrama de temporização mostrando as relações entre entrada e saída.

nível BAIXO (0) e a entrada *B* é nível ALTO (1), de forma que a saída é nível BAIXO (0). Durante o intervalo de tempo t_3 , as duas entradas são nível ALTO (1) novamente, portanto a saída é nível ALTO (1). Durante o intervalo de tempo t_4 , a entrada *A* é nível ALTO (1) e a entrada *B* é nível BAIXO (0), resultando num nível BAIXO na saída. Finalmente, durante o intervalo de tempo t_5 , a entrada *A* é nível BAIXO (0), a entrada *B* é nível BAIXO (0), sendo portanto a saída nível BAIXO (0). Assim como sabemos, um diagrama de formas de onda de entrada e saída que mostram as relações temporais é denominado de *diagrama de temporização*.

EXEMPLO 3-3

Se duas formas de onda, *A* e *B*, são aplicadas nas entradas de uma porta AND conforme mostrado na Figura 3-11, qual é a forma de onda de saída resultante?



▲ FIGURA 3-11

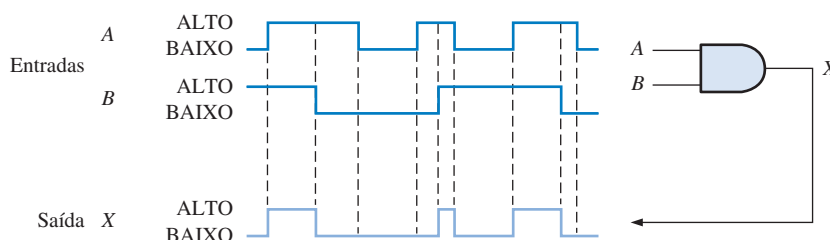
Solução A forma de onda na saída *X* é nível ALTO apenas quando as formas de onda em *A* e *B* forem nível ALTO conforme o diagrama de temporização visto na Figura 3-11.

Problema relacionado Determine a forma de onda de saída e mostre o diagrama de temporização no caso em que o segundo e o quarto pulsos na forma de onda *A* mostrada na Figura 3-11 forem substituídos por níveis BAIXOS.

Lembre-se, quando analisamos a operação de portas lógicas num diagrama de temporização, é importante prestar atenção nas relações temporais de todas as entradas entre si e com a saída.

EXEMPLO 3-4

Para as formas de onda de entrada, *A* e *B*, vistas na Figura 3-12, mostre a forma de onda de saída relacionando-a adequadamente às entradas.



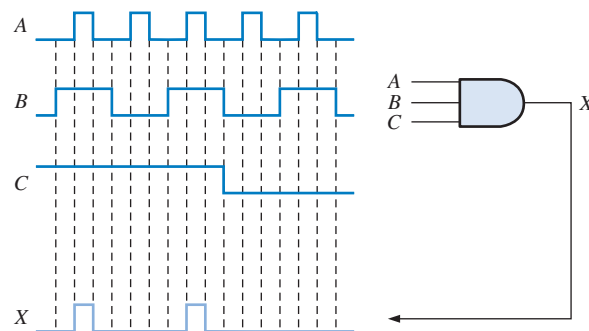
▲ FIGURA 3-12

Solução A forma de onda de saída é nível ALTO apenas quando as duas formas de onda de entrada estiverem em nível ALTO conforme mostra o diagrama de temporização.

Problema relacionado Mostre a forma de onda de saída se a entrada *B* da porta AND vista na Figura 3–12 for sempre nível ALTO.

EXEMPLO 3–5

Para a porta AND de 3 entradas mostrada na Figura 3–13, determine a forma de onda de saída em relação às entradas.



▲ FIGURA 3–13

Solução A forma de onda da saída *X* da porta AND de 3 entradas é nível ALTO apenas quando todas as três formas de onda de entrada (*A*, *B* e *C*) estiverem em nível ALTO.

Problema relacionado Qual é a forma de onda de saída da porta AND vista na Figura 3–13 se a entrada *C* estiver sempre em nível ALTO?

Expressões Lógicas para uma Porta AND

A função lógica AND de duas variáveis é representada matematicamente tanto colocando um ponto entre as duas variáveis, como $A \cdot B$, quanto simplesmente escrevendo as letras adjacentes sem o ponto, como AB . Normalmente usamos a representação por letras porque é mais fácil escrever.

A **multiplicação Booleana** segue as mesmas regras básicas que regem a multiplicação binária, que foi discutida no Capítulo 2 cujas regras são as seguintes:

$$\begin{aligned} 0 \cdot 0 &= 0 \\ 0 \cdot 1 &= 0 \\ 1 \cdot 0 &= 0 \\ 1 \cdot 1 &= 1 \end{aligned}$$

A multiplicação Booleana é o mesmo que a função AND.

A operação realizada por uma porta AND de 2 entradas pode ser expressa na forma de equação como podemos ver a seguir: se uma variável de entrada for *A*, a outra variável for *B* e a variável de saída for *X*, então a expressão Booleana é:

$$X = AB$$

NOTA: COMPUTAÇÃO



Os computadores são capazes de utilizar todas as operações lógicas básicas quando é necessário manipular seletivamente certos bits em um ou mais bytes de dados. As manipulações seletivas de bits são feitas com máscaras. Por exemplo, para limpar (tornar todos os bits 0s) os quatro bits à direita num byte de dados, mantendo os quatro bits à esquerda, fazemos uma operação AND do byte de dados com 11110000 para obter o resultado desejado. Observe que a operação AND de qualquer bit com 1 resulta num bit que tem o mesmo valor do primeiro. Se fizermos a operação AND de 10101010 com a máscara 11110000, o resultado é 10100000.

Tabela-Verdade da Porta OR

A operação de uma porta OR de 2 entradas é descrita na Tabela 3-5. Essa pode ser expandida para um número qualquer de entradas; porém independente do número de entradas, a saída será nível ALTO quando uma ou mais entradas estiverem em nível ALTO.

Para uma porta OR, se pelo menos uma entrada for nível ALTO, a saída será nível ALTO.

ENTRADAS		SAÍDA
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

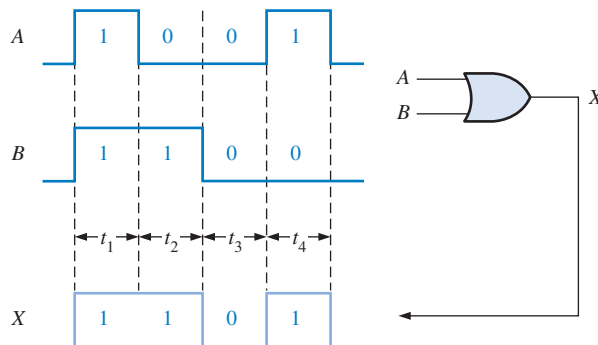
I = ALTO, 0 = BAIXO

◀ TABELA 3-5

Tabela-verdade para uma porta OR de 2 entradas

Operação com Formas de Onda nas Entradas

Agora vamos analisar a operação de uma porta OR com formas de onda digitais nas entradas, tendo em mente a operação lógica dessa porta. Novamente, o mais importante na análise da operação da porta com formas de onda digitais é a relação temporal de todas as formas de onda envolvidas. Por exemplo, na Figura 3-19, as entradas *A* e *B* estão em nível ALTO (1) durante o intervalo de tempo t_1 , fazendo com que a saída *X* seja nível ALTO (1). Durante o intervalo de tempo t_2 , a entrada *A* está em nível BAIXO, porém, devido à entrada *B* estar em nível ALTO (1), a saída está em nível ALTO (1). Durante o intervalo t_3 , as duas entradas estão em nível BAIXO (0), de forma que a saída está em nível BAIXO durante esse intervalo de tempo. Durante o intervalo de tempo t_4 , a saída é nível ALTO (1), pois a entrada *A* está em nível ALTO (1).



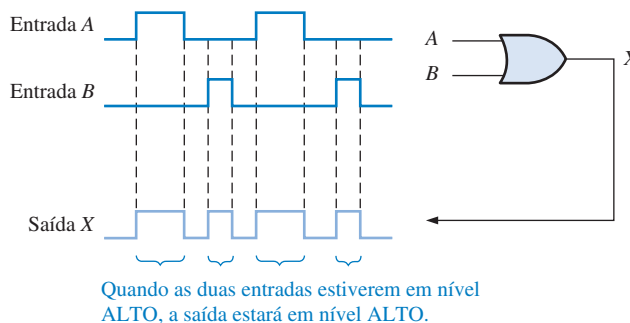
▲ FIGURA 3-19

Exemplo da operação de uma porta OR com um diagrama de temporização mostrando as relações temporais entre entradas e saída.

Nessa ilustração, aplicamos a operação da porta OR segundo a sua tabela-verdade para cada um dos intervalos de tempo nos quais os níveis permanecem estáveis (não mudam). Os Exemplos 3-6 a 3-8 ilustram a operação da porta OR com formas de onda nas entradas.

EXEMPLO 3-6

Se as duas formas de onda de entrada, *A* e *B* (Figura 3-20), forem aplicadas na porta OR mostrada, qual é a forma de onda resultante na saída?



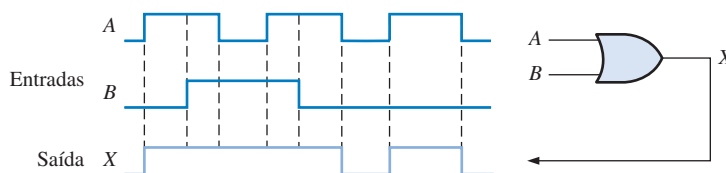
▲ FIGURA 3-20

Solução A forma de onda na saída *X* de uma porta OR de 2 entradas é nível ALTO quando uma das entradas, ou ainda ambas, estiverem em nível ALTO conforme mostra o diagrama de temporização. Nesse caso, as formas de onda das duas entradas nunca estão em nível ALTO simultaneamente.

Problema relacionado Determine a forma de onda de saída e mostre o diagrama de temporização se a entrada *A* for alterada de forma que ela seja nível ALTO a partir do início do primeiro pulso até o término do segundo pulso.

EXEMPLO 3-7

Para as formas de onda *A* e *B*, vistas na Figura 3-21, mostre a forma de onda de saída relacionando-a adequadamente as das entradas.



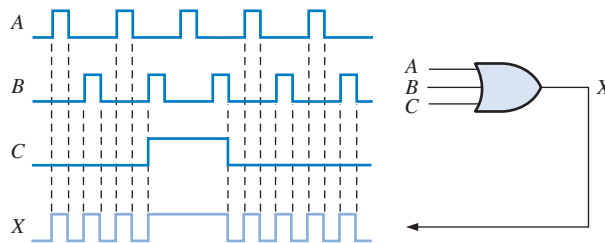
▲ FIGURA 3-21

Solução Quando uma ou ambas as entradas estiverem em nível ALTO, a saída estará em nível ALTO conforme mostra a forma de onda da saída *X* no diagrama de temporização.

Problema relacionado Determine a forma de onda de saída e mostre o diagrama de temporização se o pulso intermediário da entrada *A* for substituído por um nível BAIXO.

EXEMPLO 3-8

Para a porta OR de 3 entradas mostrada na Figura 3-22, determine a forma de onda de saída relacionando-a adequadamente com as formas de onda das entradas.



▲ FIGURA 3-22

Solução A saída será nível ALTO quando uma ou mais formas de onda nas entradas estiverem em nível ALTO conforme indicado pela forma de onda da saída X no diagrama de temporização.

Problema relacionado Determine a forma e onda de saída e mostre o diagrama de temporização se a entrada C estiver sempre em nível BAIXO.

Expressões Lógicas para uma Porta OR

A função lógica OR de duas variáveis é representada matematicamente por um sinal “+” entre as duas variáveis, por exemplo, $A + B$.

A adição na álgebra Booleana envolve variáveis cujos valores são o binário 1 ou o binário 0. As regras básicas para a **adição Booleana** são:

$$\begin{aligned} 0 + 0 &= 0 \\ 0 + 1 &= 1 \\ 1 + 0 &= 1 \\ 1 + 1 &= 1 \end{aligned}$$

Quando variáveis são separadas pelo sinal +, elas estão submetidas à operação OR.

A adição Booleana é o mesmo que a função OR.

Observe que a adição Booleana difere da adição binária no caso em que dois 1s são somados. Não existe carry na adição Booleana.

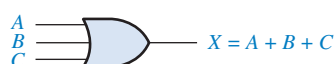
A operação de uma porta OR de 2 entradas pode ser expressa como segue: se uma variável de entrada for A , se a outra variável for B e se a variável de saída for X , a expressão Booleana é:

$$X = A + B$$

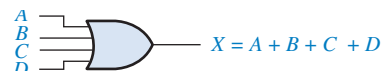
A Figura 3-23(a) mostra o símbolo lógico da porta OR com as identificações das duas variáveis de entrada e da variável de saída.



(a)



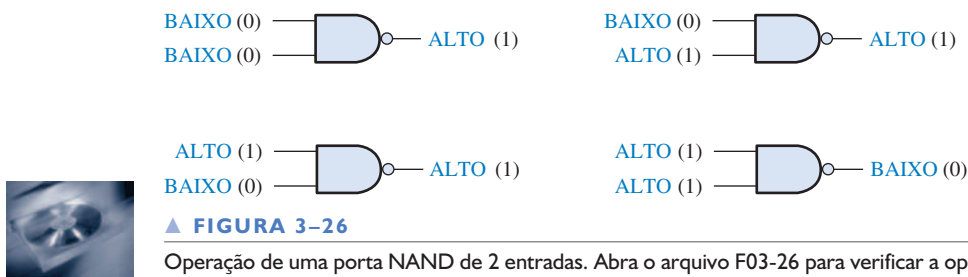
(b)



(c)

▲ FIGURA 3-23

Expressões Booleanas para portas OR de duas, três e quatro entradas.



► **TABELA 3-7**

Tabela-verdade para uma porta NAND de 2 entradas

ENTRADAS		SAÍDA
A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

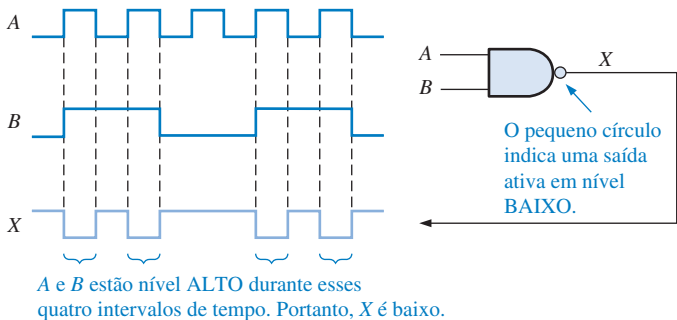
I = ALTO, 0 = BAIXO

Operação com Formas de Onda nas Entradas

Agora analisaremos a operação de uma porta NAND com formas de onda digitais nas entradas. Lembre-se, da tabela-verdade, de que a única vez que a saída é nível BAIXO ocorre quando todas as entradas estão em nível ALTO.

EXEMPLO 3-9

Se as duas formas de onda *A* e *B* mostradas na Figura 3-27 forem aplicadas nas entradas de uma porta NAND, determine a forma de onda de saída resultante.



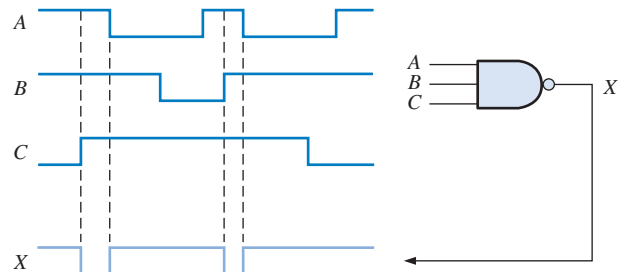
▲ **FIGURA 3-27**

Solução A forma de onda na saída *X* é nível BAIXO apenas durante os quatro intervalos de tempo em que as duas formas de onda *A* e *B* estão em nível ALTO conforme mostra o diagrama de temporização.

Problema relacionado Determine a forma de onda de saída e mostre o diagrama de temporização se a forma de onda da entrada *B* for invertida.

EXEMPLO 3-10

Mostre a forma de onda de saída para uma porta NAND de 3 entradas, conforme a Figura 3-28, estabelecendo a relação temporal com as entradas.



▲ FIGURA 3-28

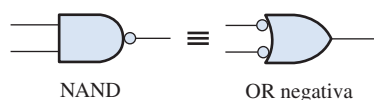
Solução A forma de onda da saída X é nível BAIXO apenas quando todas as três formas de onda das entradas estiverem em nível ALTO como mostra o diagrama de temporização.

Problema relacionado Determine a forma de onda de saída e mostre o diagrama de temporização se a forma de onda da entrada A for invertida.

Operação Equivalente OR Negativa de uma Porta NAND Inerente à operação da porta NAND é o fato de que uma ou mais entradas em nível BAIXO, produzem uma saída de nível ALTO. A Tabela 3-7 mostra que a saída X será nível ALTO (1) quando qualquer uma das entradas, A e B , for nível BAIXO (0). A partir dessa análise, uma porta NAND pode ser usada para implementar uma operação OR que necessita que uma ou mais entradas de nível BAIXO produza uma saída de nível ALTO. Esse aspecto da operação NAND é referenciado como **OR negativa**. O termo negativa nesse contexto significa que as entradas são definidas para estarem no estado ativo ou acionado quando em nível BAIXO.

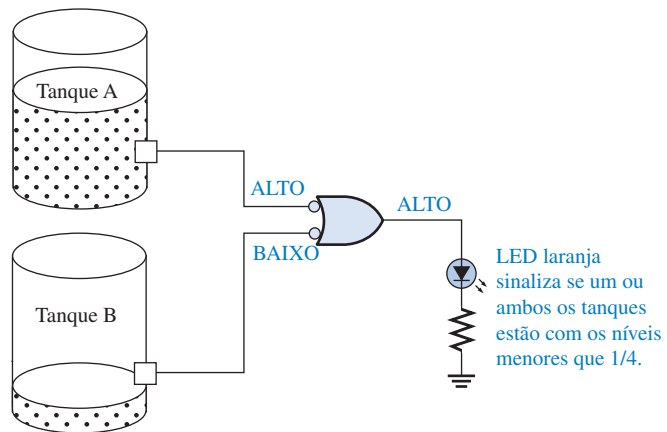
Para uma porta NAND de 2 entradas realizando uma operação OR negativa, a saída X será nível ALTO quando a entrada A ou B for nível BAIXO ou quando ambas as entradas estiverem em nível BAIXO.

Quando uma porta NAND é usada para detectar uma ou mais entradas de nível BAIXO em vez de ser todas em nível ALTO, ela está realizando a operação OR negativa e é representada pelo símbolo lógico padrão mostrado na Figura 3-29. Embora os dois símbolos mostrados na Figura 3-29 representem a mesma porta física, eles servem para definir o seu papel ou modo de operação numa aplicação particular, conforme ilustrado pelos Exemplos 3-11 a 3-13.



◀ FIGURA 3-29

Símbolos-padrão representando duas operações equivalentes de uma porta NAND.



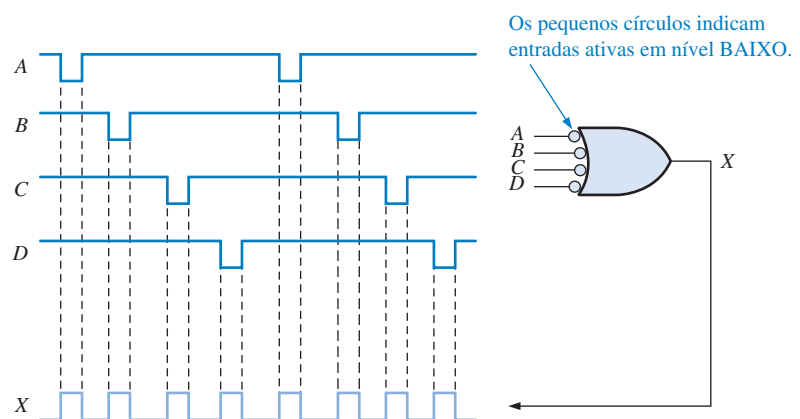
▲ FIGURA 3-31

Observe que, aqui e no Exemplo 3-11, a mesma porta NAND de 2 entradas é utilizada, porém, é usado no diagrama um símbolo de porta diferente, ilustrando as formas nas quais as operações NAND e OR negativa equivalente são usadas.

Problema relacionado Como o circuito mostrado na Figura 3-31 pode ser modificado para monitorar quatro tanques em vez de dois?

EXEMPLO 3-13

Para a porta NAND de 4 entradas vista na Figura 3-32, operando como uma OR negativa, determine a saída em relação às entradas dadas.



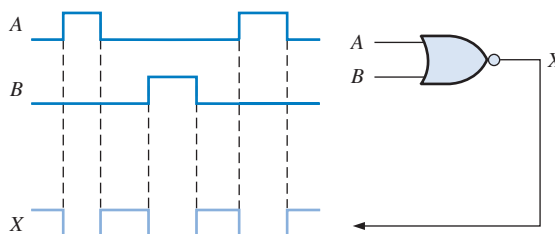
▲ FIGURA 3-32

Solução A forma de onda na saída X será nível ALTO em qualquer momento que a forma de onda numa entrada for nível BAIXO conforme mostra o diagrama de temporização.

Problema relacionado Determine a forma de onda de saída se a forma de onda na entrada A for invertida antes de ser aplicada na porta.

EXEMPLO 3-14

Se as duas formas de onda mostradas na Figura 3-35 são aplicadas em uma porta NOR, qual é a forma de onda de saída resultante?



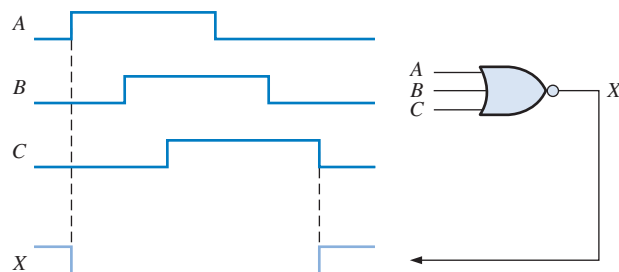
▲ FIGURA 3-35

Solução Todas as vezes que qualquer entrada de uma porta NOR for nível ALTO, a saída será nível BAIXO, conforme mostra a forma de onda da saída X no diagrama de temporização.

Problema relacionado Inverta a entrada B e determine a forma de onda da saída em relação às entradas.

EXEMPLO 3-15

Mostre a forma de onda de saída para a porta NOR de 3 entradas vista na Figura 3-36 com a relação temporal adequada com as entradas.



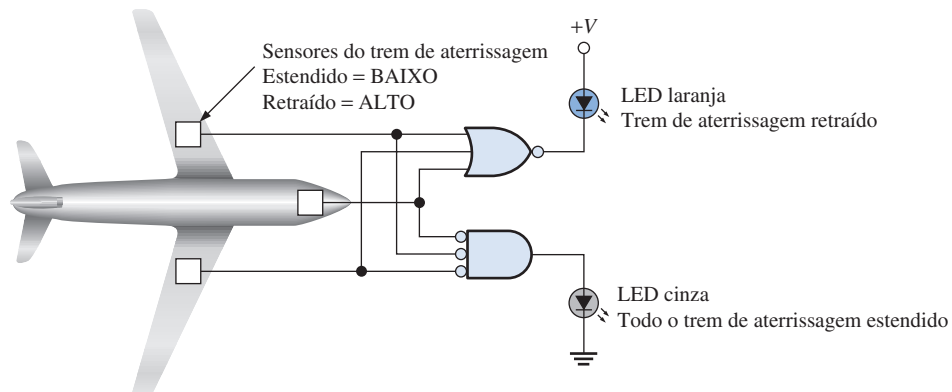
▲ FIGURA 3-36

Solução A saída X é nível BAIXO quando qualquer entrada for nível ALTO, conforme mostra a forma de onda da saída X no diagrama de temporização.

Problema relacionado Com as entradas B e C invertidas, determine a saída e mostre o diagrama de temporização.

Operação Equivalente AND Negativa de uma Porta NOR Uma porta NOR, assim como uma NAND, tem um outro aspecto de sua operação que é inerente à forma com que ela funciona logicamente. A Tabela 3-9 mostra que um nível ALTO é produzido na saída da porta apenas quando todas as entradas estiverem em nível BAIXO. A partir dessa análise, uma porta NOR pode ser usada para uma operação AND que necessita que todas as entradas estejam em nível BAIXO para produzir uma saída em nível ALTO. Esse aspecto da operação NOR é denominado **AND nega-**

rissagem permanecerem retraídos, o nível ALTO resultante a partir do sensor é detectado pela porta NOR, a qual produz uma saída de nível BAIXO para ligar o LED laranja de advertência.



▲ FIGURA 3-39

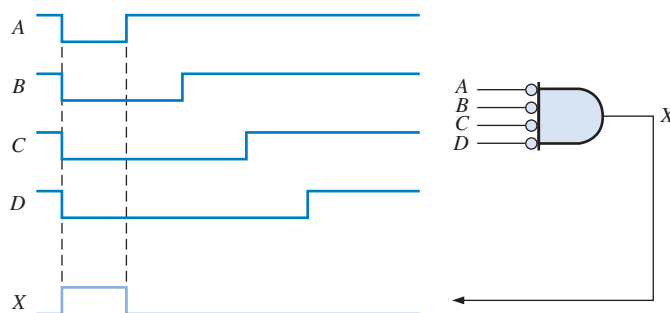
Problema relacionado Que tipo de porta deve ser usada para detectar se todos os três trens de aterrissagem estão retraídos após levantar voo, considerando que é necessário uma saída em nível BAIXO para ativar um LED?

DICA PRÁTICA

Quando for acionar uma carga como um LED através de uma porta lógica, consulte as folhas de dados do fabricante para saber a capacidade máxima de acionamento (corrente de saída) do dispositivo. Uma porta lógica num CI comum pode não ser capaz de operar a corrente necessária requerida por certas cargas tais como LEDs. Existem disponíveis muitos tipos de CIs de portas lógicas nos quais as saídas possuem buffers como saídas de coletor aberto (OC – *open collector*) e dreno aberto (OD – *open drain*). A capacidade de corrente de saída de um CI típico de portas lógicas é limitada a μA ou uma faixa relativamente pequena de mA. Por exemplo, a tecnologia TTL padrão pode operar com correntes de saída de até 16 mA. A maioria dos LEDs requer correntes na faixa de 10 mA a 50 mA.

EXEMPLO 3-18

Para a porta NOR de 4 entradas operando como uma AND negativa (Figura 3-40), determine a saída relacionando-a às entradas.



▲ FIGURA 3-40

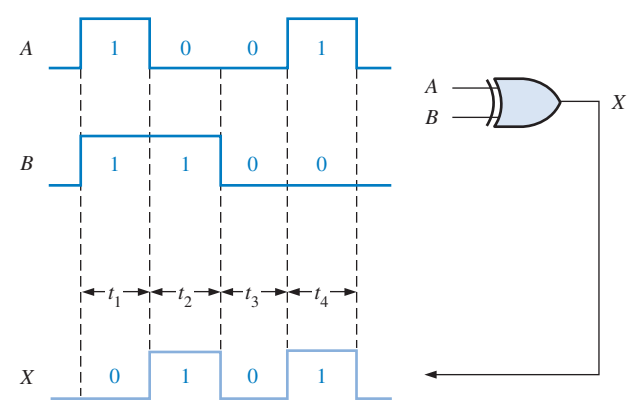
► TABELA 3-12

Tabela-verdade para uma porta EX-NOR

ENTRADAS		SAÍDA
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Operação com Formas de Ondas nas Entradas

Assim como fizemos com as outras portas, vamos examinar a operação das portas EX-OR e EX-NOR com formas de onda nas entradas. Assim como fizemos, vamos aplicar a operação da tabela-verdade durante cada intervalo de tempo distinto das formas de onda digitais de entrada, conforme ilustrado na Figura 3-46 para uma porta EX-OR. Podemos ver que as formas de onda nas entradas *A* e *B* têm níveis opostos durante os intervalos de tempo t_2 e t_4 . Portanto, a saída *X* está em nível ALTO durante esses dois intervalos. Como as duas entradas estão no mesmo nível lógico (ambas em nível ALTO ou ambas em nível BAIXO), durante os intervalos de tempo t_1 e t_3 , a saída está em nível BAIXO durante esses intervalos conforme mostra o diagrama de temporização.

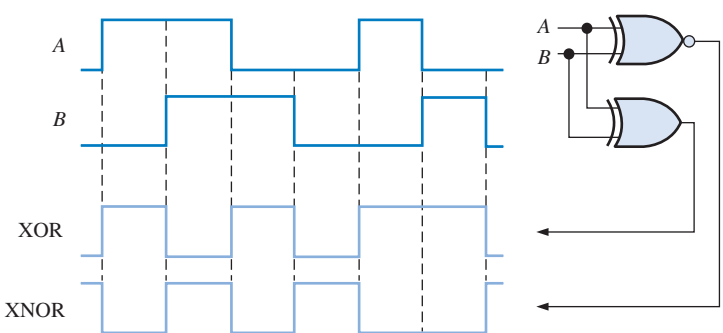


► FIGURA 3-46

Exemplo de uma porta EX-OR operando com formas de onda digitais nas entradas.

EXEMPLO 3-20

Determine as formas de onda das saídas das portas EX-OR e EX-NOR, a partir das formas de onda nas entradas (*A* e *B*), conforme a Figura 3-47.



▲ FIGURA 3-47