

Aula 10

Circuitos Multivibradores

Introdução

Há dois tipos de multivibradores: monoestável e astável. O multivibrador monoestável tem um estado estável, no qual permanece indefinidamente. Ele possui outro estado *quase-estável* para o qual pode ser disparado. O multivibrador monoestável pode permanecer no estado quase-estável por um tempo predeterminado T , após o qual ele volta ao estável automaticamente. Desse modo, o multivibrador monoestável gera um pulso na saída de duração T . A duração desse pulso não está relacionada à largura do pulso de disparo, conforme indicada na figura A.10.1. O multivibrador monoestável é chamado também de **monodisparador**, ou simplesmente de **monoestável**.

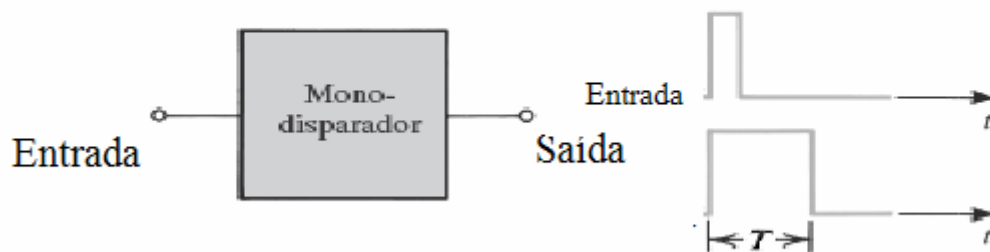


Figura A.10.1 O multivibrador monoestável na forma de bloco funcional, mostrando que pode ser disparado por um pulso positivo.

O **multivibrador astável** não tem estado estável. Ao contrário, tem dois estados quase-estáveis e permanece em cada um por intervalo

de tempos, T_1 e T_2 , predeterminados. Portanto, após T_1 segundos em um dos estados instáveis, o astável comuta para o outro estado e nele permanece por T_2 segundos, após volta ao estado anterior e assim por diante. Desta forma, o multivibrador astável oscila com um período $T = T_1 + T_2$ ou na frequência $f = 1/T$ e pode ser usado para gerar pulsos periódicos, como os necessários para o relógio.

A figura A.10.2 mostra um circuito astável na forma de bloco funcional. Note que o circuito é autônomo, isto é, não necessita de nenhum sinal de entrada para funcionar.

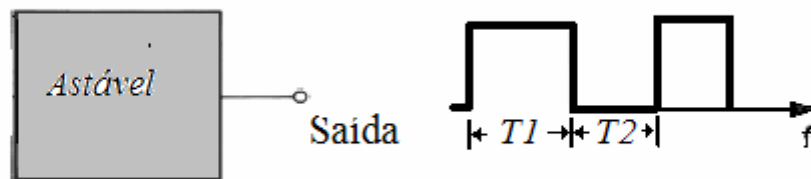


Figura A.10.2 O multivibrador astável na forma de bloco funcional.

Um circuito monoestável com CMOS

A figura A.10.3 mostra um circuito simples, mas comum, para um multivibrador monoestável. Esse circuito é composto de duas portas NOU CMOS de entradas, P_1 e P_2 , um capacitor C e um resistor R .

A fonte de entrada v_I fornece os pulsos de disparo para o multivibrador monoestável.

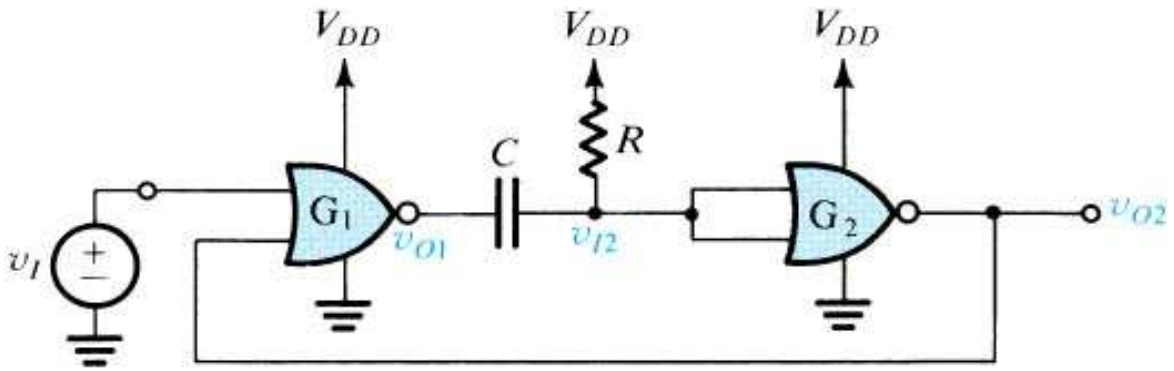


Figura A.10.3 Circuito monoestável utilizando portas NOU CMOS.

As portas CMOS têm um arranjo especial de diodo conectados em seus terminais de entrada, conforme indicado na Figura A.10.4. A finalidade desses diodos é evitar que a tensão do sinal de entrada seja maior que a tensão da fonte de alimentação V_{DD} (além do que uma queda de diodo). Esses diodos de grampeamento têm um efeito importante na operação do circuito monoestável.

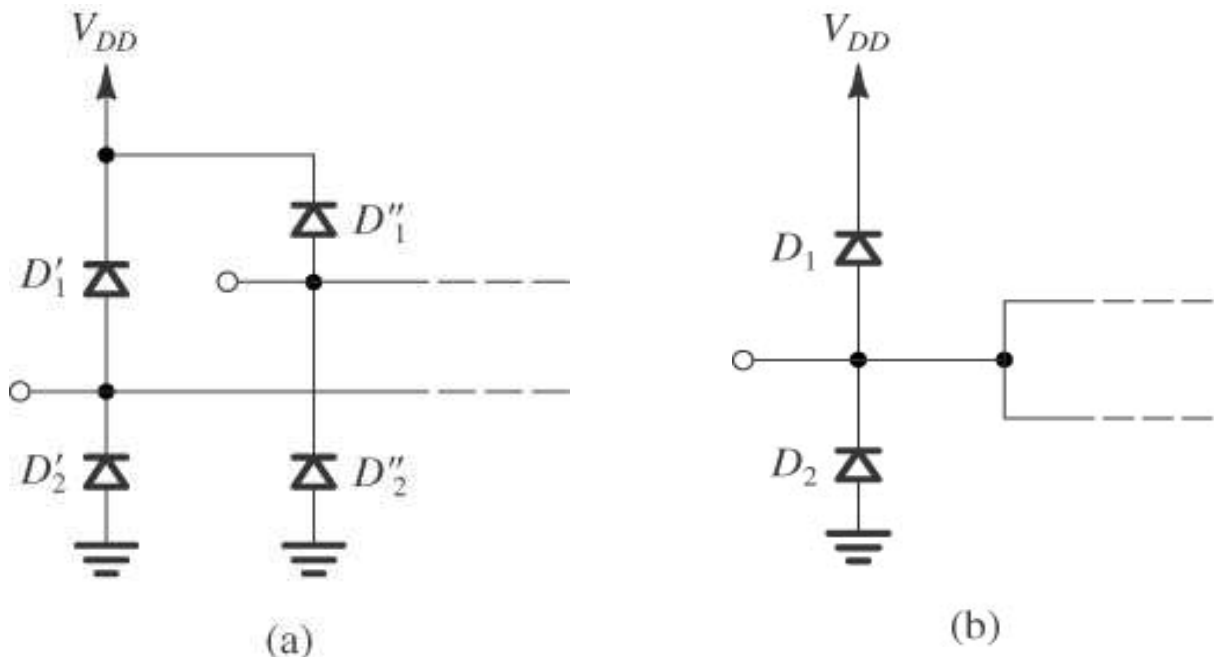


Figura A.10.4 a) Diodos de entrada de uma porta CMOS de duas entradas. b) Circuito equivalente quando as duas entradas da porta estão curto-circuitadas.

Enquanto os diodos fornecem um caminho de baixa resistência à fonte de alimentação para tensões que excedem os limites da fonte de alimentação, a corrente de entrada para tensões intermediárias é essencialmente zero.

Funcionamento do monoestável

Considere o circuito monoestável mostrado na figura A.10.1. Um pulso de disparo de curta duração τ é mostrado na figura A.10.5 a). Considere primeiro o estado estável do circuito monoestável – isto é, o estado do circuito antes do pulso ser aplicado. A saída de Q_1 é alta (V_{DD}), o capacitor está descarregado e a tensão de entrada de Q_2 é alta (V_{DD}). Portanto, a saída de Q_2 é baixa. Essa tensão baixa é realimentada em Q_1 ; visto que v_I é baixa, a saída de Q_1 é alta, conforme suposto inicialmente.

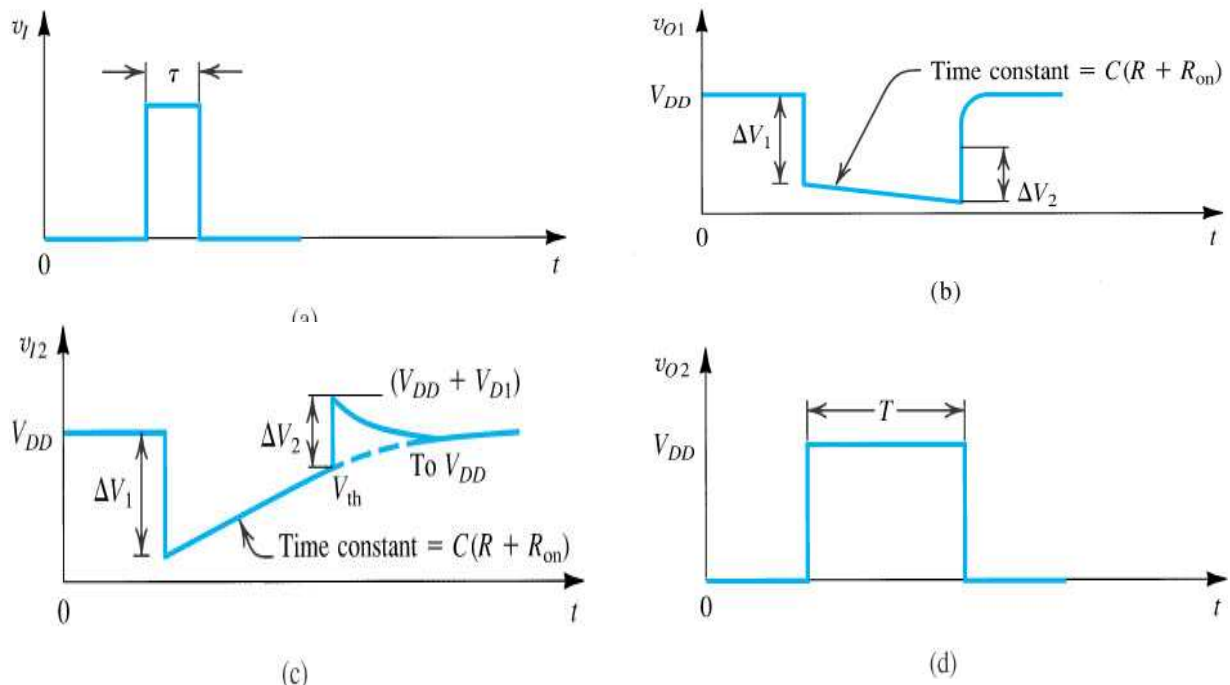


Figura A.10.5 Sinais sincronizados no tempo para o circuito monoestável da figura A.10.1

Considere agora o que ocorre se um pulso de disparo for aplicado. A tensão na saída de Q_1 será baixa. Porém, como Q_1 drenará alguma corrente e por causa de sua resistência de saída finita (R_{ON}), sua saída não será totalmente igual a 0 V. Em vez disso, a saída de Q_1 cai por um valor ΔV_1 , que rapidamente podemos calcular.

A queda de ΔV_1 está acoplada por meio de C à entrada de Q_2 . Portanto, a tensão de entrada Q_2 cai (a partir de V_{DD}) por uma quantidade idêntica a ΔV_1 . Aqui, observamos que durante o transitório deve haver uma corrente instantânea que circula de V_{DD} através de R e C e pelo terminal de saída de Q_1 para o terra. Temos, portanto, um divisor de tensão formado por R e R_{ON} , do que podemos determinar ΔV_1 como

$$\Delta V_1 = V_{DD} \frac{R}{R + R_{ON}} \quad (\text{A.10.1})$$

Como pode ser observado o sinal de saída de Q_2 retorna a entrada de Q_1 e mantém a sua saída baixa mesmo após o pulso de disparo ter sido retirado.

Na operação do estado quase-estável a corrente através de R , C e R_{ON} faz com que o capacitor C carregue e a tensão v_{I2} aumente exponencialmente em direção a V_{DD} com uma constante de tempo $C(R+R_{ON})$, conforme indicado na figura A.10.5 c). A tensão v_{I2} continua a aumentar até atingir o valor da tensão de transição V_{th} do inversor Q_2 . Nesse instante, Q_2 chaveará e sua saída v_{O2} vai para 0 V, que por sua vez, fará Q_1 chavear. A saída de Q_1 tentará aumentar até V_{DD} , mas, como se tornará obvio, seu aumento será limitado a uma quantidade ΔV_2 . Esse aumento em v_{O1} será transmitido através de C para entrada Q_2 . Assim, a entrada de Q_2 aumentará por uma quantidade igual a ΔV_2 . Observe aqui que, por causa do diodo D_1 entre a entrada de

Q_2 e V_{DD} , a tensão v_{I2} pode aumentar apenas $V_{DD} + V_{D1}$ ($\sim 0,7$ V). Portanto,

$$\Delta V_2 = V_{DD} + V_{D1} - V_{th} \quad (\text{A.10.2})$$

Pelo fato de que agora v_{I2} é maior do que V_{DD} , a corrente circulará da saída de Q_1 através de C e então da combinação de R e D_1 em paralelo. Essa corrente descarrega C até que v_{I2} caia para V_{DD} e v_{O1} aumente para V_{DD} . A figura A.10.6 mostra o circuito de descarga, da qual observamos que a existência do diodo faz a descarga ocorrer por um processo não linear.

Este circuito não deve ser disparado até o capacitor ter sido descarregado; caso contrário, a saída pode apresentar um pulso não pradroneado, como deve ser em um monoestável. Diz, que este circuito é não *triggered* (não ‘retrigável’).

O intervalo de tempo T pode ser facilmente encontrado e é dado pela expressão:

$$T = C(R + R_{ON}) \ln \left(\frac{R}{R + R_{ON}} \frac{V_{DD}}{V_{DD} + V_{th}} \right) \quad (\text{A.10.3})$$

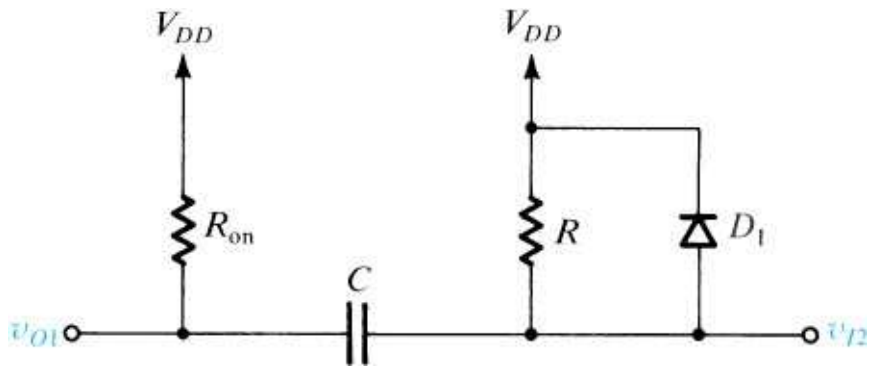


Figura A.10.6 Circuito equivalente para a descarga de C .

Um circuito astável com CMOS

A figura A.10.7 mostra um circuito astável comum composto de dois inversores com portas NOU, um resistor e um capacitor. Os efeitos das resistências de saída finita portas e a idealização dos diodos de grampeamento podem ser desprezados para fim de análise. Isso, na prática leva a erro pequeno na determinação da frequência de oscilação do multivibrador astável.

É fácil mostrar que o período de T do multivibrador astável é dado por

$$T = RC \ln \left(\frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{th}} \frac{V_{DD}}{V_{th}} \right) \quad (\text{A.10.4})$$

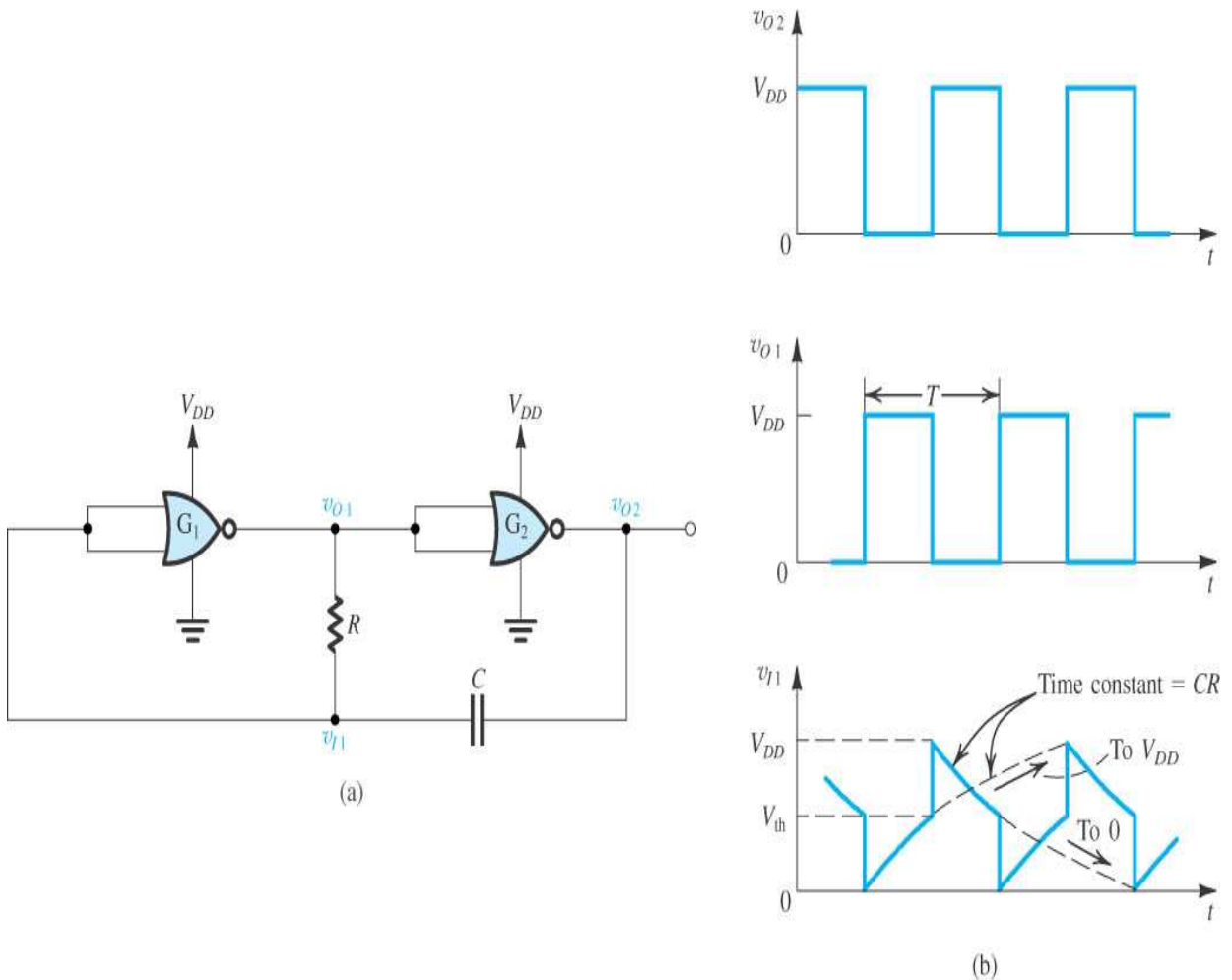


Figura A.10.7 a) Um circuito multivibrador astável com portas CMOS.
b) Formas de ondas.

Exercício:

Faça uma análise do circuito multivibrador astável mostrada na figura A.10.7 e verifique que as formas mostradas realmente se aplicam.

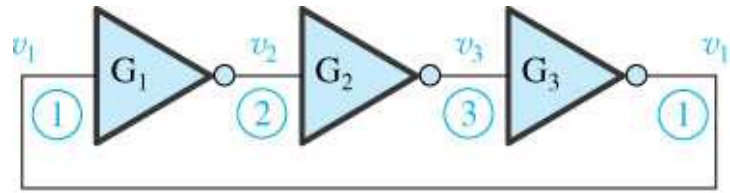
O oscilador em anel com CMOS

Um tipo muito utilizado para determinação dos tempos de atraso na propagação de porta é o chamado Oscilador em anel. Ele consiste de um conjunto ímpar de inversores conectados em cascata em uma malha fechada. A figura A.10.8 mostra esse oscilador juntamente com as formas de onda.

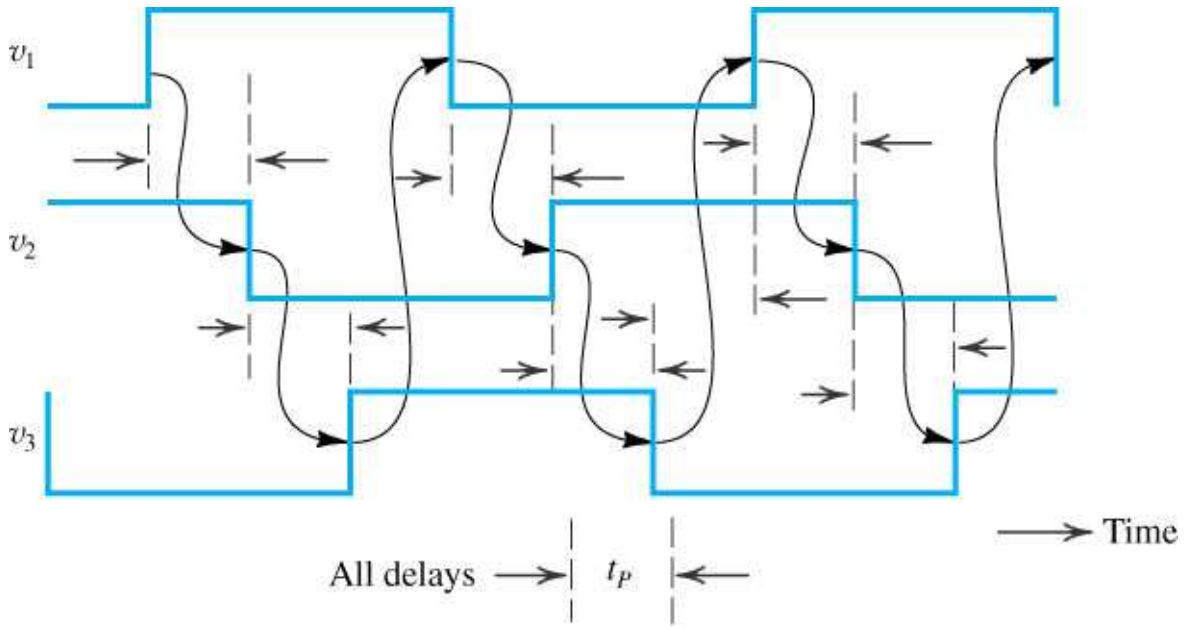
A figura mostra um oscilador em anel utilizando apenas três inversores, mas, normalmente um número mínimo de cinco inversores é necessário ser utilizado para operação correta destes.

Observe que a borda de subida no nó 1 propaga-se através das portas 1, 2 e 3 para retornar invertida depois de um atraso de $3t_p$. Essa borda de descida então propaga-se e retorna com a polaridade original depois de um intervalo de $3t_p$. Segue que o circuito oscila com período de $6t_p$ ou, correspondentemente, com frequência de $1/6 t_p$. Em geral, um anel com N inversores oscilará com um período de $2Nt_p$ e frequência e $1/2N t_p$.

Assim, o tempo de atraso na propagação do inversor (cada um dos inversores tem t_p praticamente idênticos) é determinado facilmente determinando a frequência de oscilação do oscilador em anel.



(a)



(b)

Figura A.10.8 a) um oscilador em anel com porta CMOS. b) Formas de ondas resultantes.

O Timer 555

Existe disponível comercialmente um “timer” ou *temporizador* de uso geral sob a forma de CI (circuito integrado) em uma tecnologia TTL que estudaremos mais adiante. Este CI, o timer 555, pode ser conectado de modo a funcionar como multivibrador a estável ou monoestável ou para desempenhar muitas outras funções.

O circuito básico desse CI é mostrado na figura A.10.9. O temporizador é composto de dois comparadores (C_1 e C_2), um flif-flop RS e um transistor bipolar.

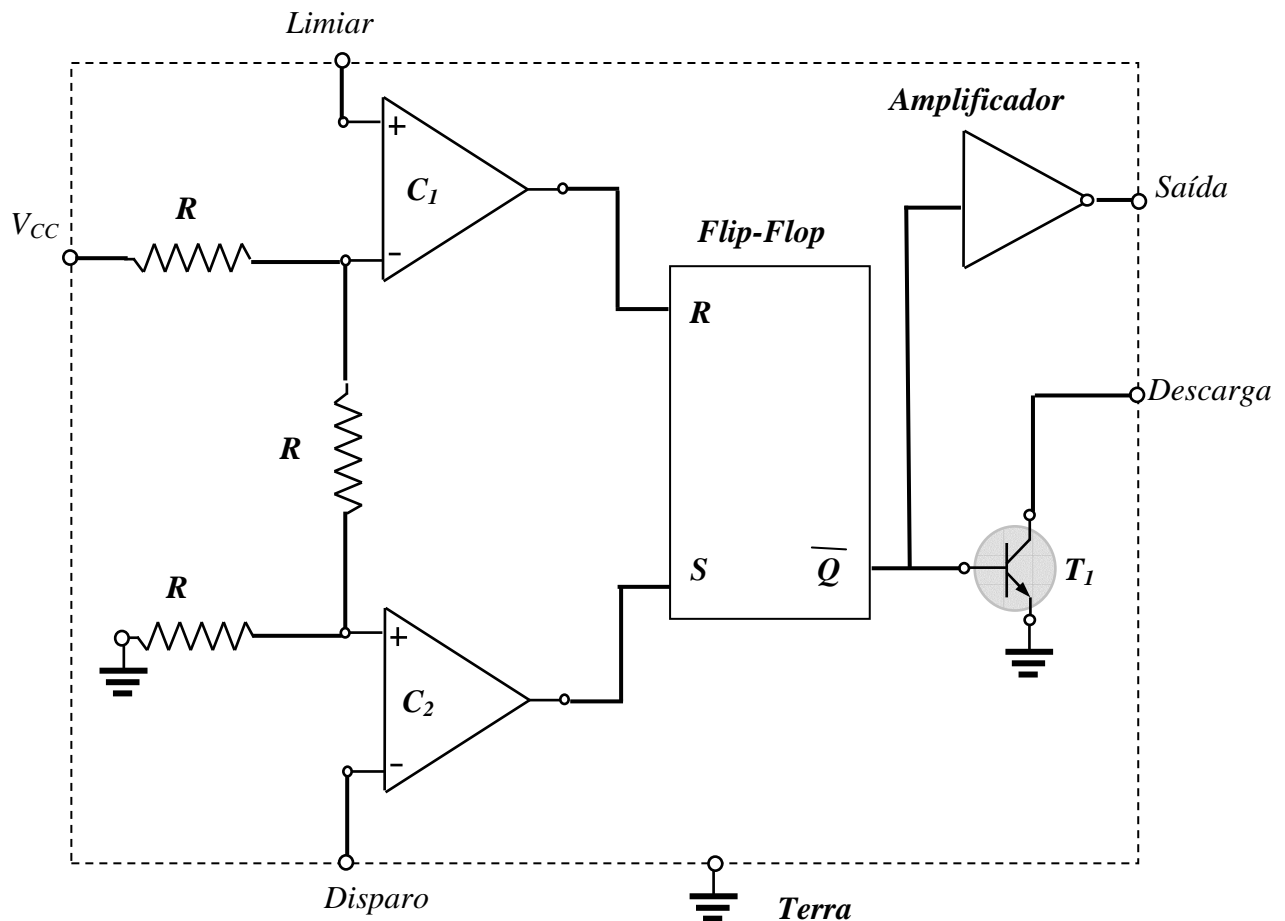


Figura A.10.9 Temporizador 555

A figura A.10.10 mostra o temporizador 555 conectado como multivibrador monoestável. Inicialmente o capacitor C_d está descarregado. A operação de inicia quando é aplicado um pulso negativo de disparo. A saída do comparador C_2 , então, muda para o estado alto, ativando o *flip-flop* RS. A saída \overline{Q} do *flip-flop* muda para o estado baixo, cortando o transistor T_1 . O capacitor C_d começa, então, a se carregar, através do resistor R_d , na direção de V_{DD} . Quando a sua tensão atinge $2/3$ de V_{DD} , a saída do comparador C_1 torna-se alta, zerando o *flip-flop*, de modo que \overline{Q} se torna alta, saturando o transistor T_1 ; em consequência, C_d descarrega-se.

O resultado da operação acima é um pulso de saída negativo, cuja duração é determinada pelo tempo necessário para C_d se carregar de 0 V a $2/3$ de V_{DD} . É fácil verificar que esse pulso T é dado por:

$$T = RC \ln(3) = 1,1RC \quad (\text{A.10.5})$$

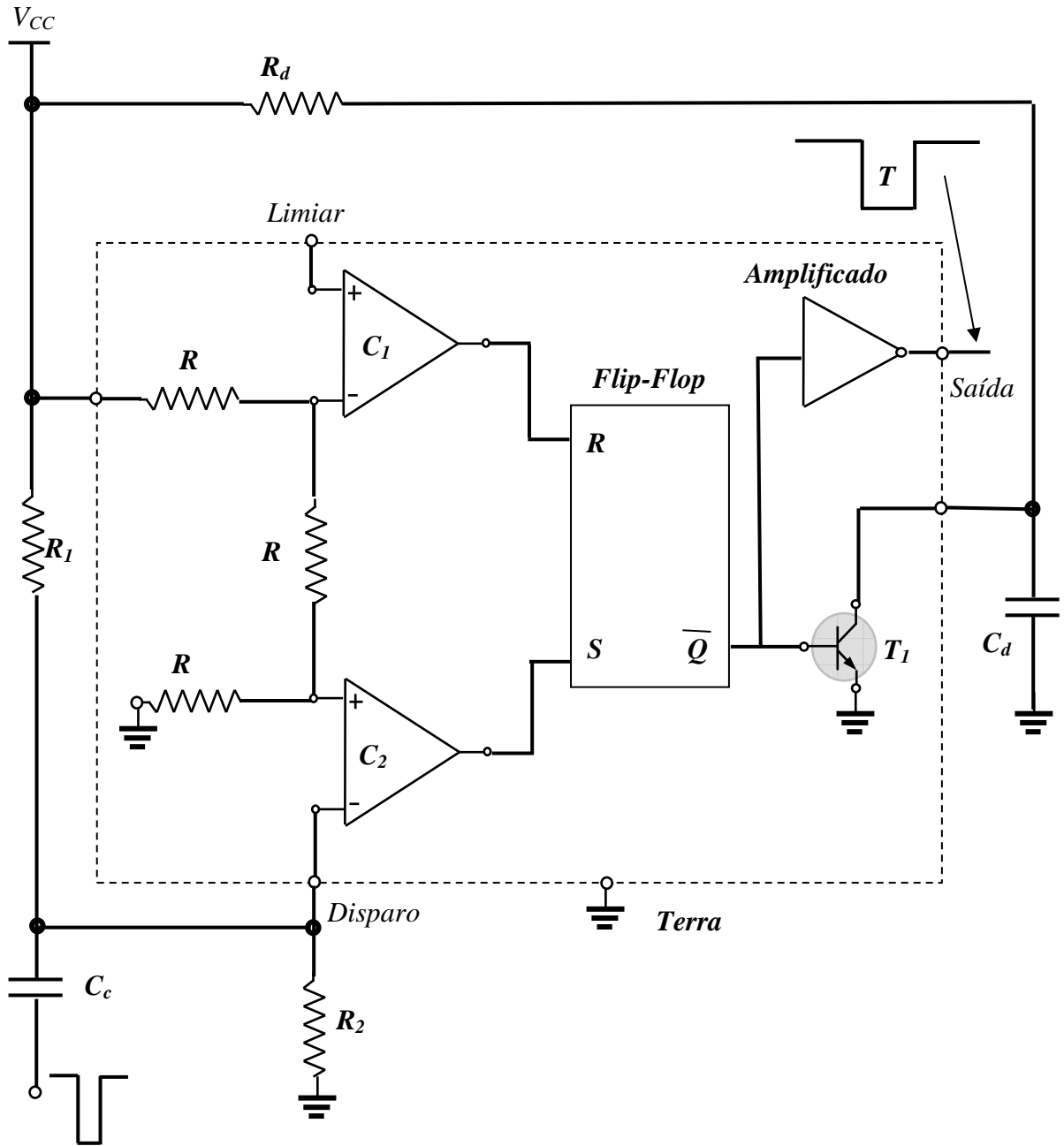


Figura A.10.10 *Timer 555* conectado com multivibrador monoestável.