

13

Capítulo

Multivibradores com transistores bipolares

Meta deste capítulo

Entender o princípio de funcionamento dos diversos tipos de multivibradores a transistores bipolares.

objetivos

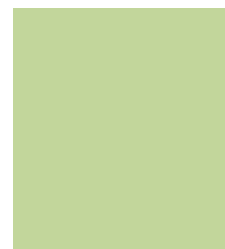
- Entender o princípio de funcionamento dos multivibradores com transistores bipolares;
- Analisar os diversos tipos de multivibradores montados com transistores bipolares.

Pré-requisitos

Ter estudado o capítulo sobre transistores bipolares e introdução a multivibradores.

Continuidade

A continuidade no estudo dos multivibradores se dará pelo estudo do Schmitt Trigger e VCO.



1 Introdução

Os multivibradores podem também serem implementados com transistores bipolares, que são polarizados para sempre permanecerem em corte ou saturação, ou seja, enquanto um transistor está em corte e disponibilizando nível lógico alto em sua saída, um segundo transistor será forçado para a saturação, levando a saída desse ao nível lógico baixo. Essa condição de corte e saturação deverá se alternar entre os dois transistores durante um período que poderá ser pré-estabelecido no projeto.

2 Multivibrador Monoestável

No capítulo anterior foi discutido sobre o funcionamento do multivibrador monoestável, que apresenta apenas um estado estável e que após um pulso no terminal de gatilho do circuito, ocorre a mudança para o estado instável se mantendo assim durante um período pré-determinado. O circuito do multivibrador monoestável que utiliza transistores bipolares é representado na figura 1.

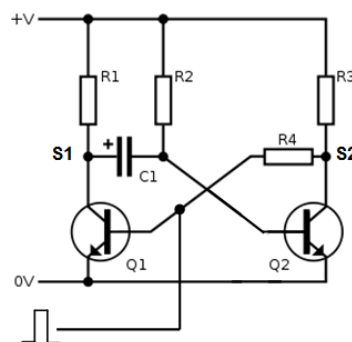


Figura 1 – Esquemático do circuito multivibrador monoestável.

No estado inicial o transistor Q_2 estará no estado de saturação, devido a corrente de base mantida pela resistência R_2 , e o transistor Q_1 estará em corte. Nesse momento as saídas S_1 e S_2 estarão respectivamente em nível lógico alto e nível lógico baixo. Quando um pulso de transição positiva (+V) é introduzido no circuito, o transistor Q_1 será forçado à condição de saturação e consequentemente a saturação de Q_2 (S_1 está no nível lógico baixo e S_2 no nível lógico alto). Neste momento o capacitor C_1 se descarregará através de R_2 , condição essa imposta por Q_1 saturado, até que R_2 volte novamente a fornecer a corrente de base para o transistor Q_2 (Capacitor C_1 totalmente descarregado). Nesse período do funcionamento do multivibrador monoestável o transistor Q_1 volta para o estado de corte, o transistor Q_2 volta para o estado de saturação e o capacitor C_1 volta a ser carregado. As saídas S_1 e S_2 voltarão para o nível lógico alto e baixo respectivamente.

Pode-se projetar o circuito multivibrador monoestável levando em consideração as especificações dos transistores a serem utilizados.

Como exemplo, será projetado um circuito multivibrador monoestável considerando as seguintes especificações:

$$V_{CC} = +V = 10 \text{ V};$$

$$I_{c(sat)} = 10 \text{ mA};$$

$$V_{CE(sat)} = 0,2 \text{ V};$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V};$$

$$\beta = 100;$$

$$T_{instável} = 0,1 \text{ ms}.$$

Considerando que inicialmente o transistor Q_1 está saturado e o transistor Q_2 está em corte:

$$V_{R1} = V_{CC} - V_{CE(sat)} = 10 - 0,2 = 9,8 \text{ V}$$

$$I_{C1} = V_{R1} / R_1 \rightarrow R_1 = 9,8 / 10 \times 10^{-3} = 980 \Omega \text{ (valor comercial de } 1 \text{ k } \Omega)$$

Pode-se considerar que:

$$R_1 = R_3 = 1 \text{ k } \Omega \text{ (resistências de coletor)}$$

$$I_{b(on)} = I_c / \beta = 10 \times 10^{-3} / 100 = 100 \times 10^{-6} \text{ ou } 100 \mu\text{A}$$

$$V_{R4} = V_{CC} - V_{R3} - V_{BE} = V_{CC} - (R_3 \cdot I_{b(on)}) - V_{BE} = 10 - (1 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-6}) - 0,7 = 9,2 \text{ V}$$

$$R_4 = V_{R4} / I_{b(on)} = 9,2 / 100 \cdot 10^{-6} = 92 \cdot 10^3 \text{ ou } 92 \text{ k } \Omega \text{ (valor comercial de } 91 \text{ k } \Omega)$$

Considerando agora que o transistor Q_1 está em corte e o transistor Q_2 está em saturação:

$$V_{R2} = V_{CC} - V_{BE} = 10 - 0,7 = 9,3 \text{ V}$$

$$R_2 = V_{R2} / I_{b(on)} = 9,3 / 100 \cdot 10^{-6} = 93 \times 10^3 \Omega \text{ ou } 93 \text{ k } \Omega \text{ (valor comercial de } 91 \text{ k } \Omega)$$

O tempo do estado instável (S_2 no nível lógico alto) pode ser determinado pela constante RC, da mesma forma em que foi abordado no multivibrador monoestável do capítulo anterior:

$$t = 0,9 \cdot R_2 \cdot C_1$$

Considerando o exemplo descrito anteriormente, e determinando um tempo de 1 segundo na transição, pode-se determinar que C_1 deverá possuir um valor de 16 μF .

O comportamento das saídas S_1 e S_2 em relação ao disparo do gatilho está ilustrado no gráfico da figura 2.

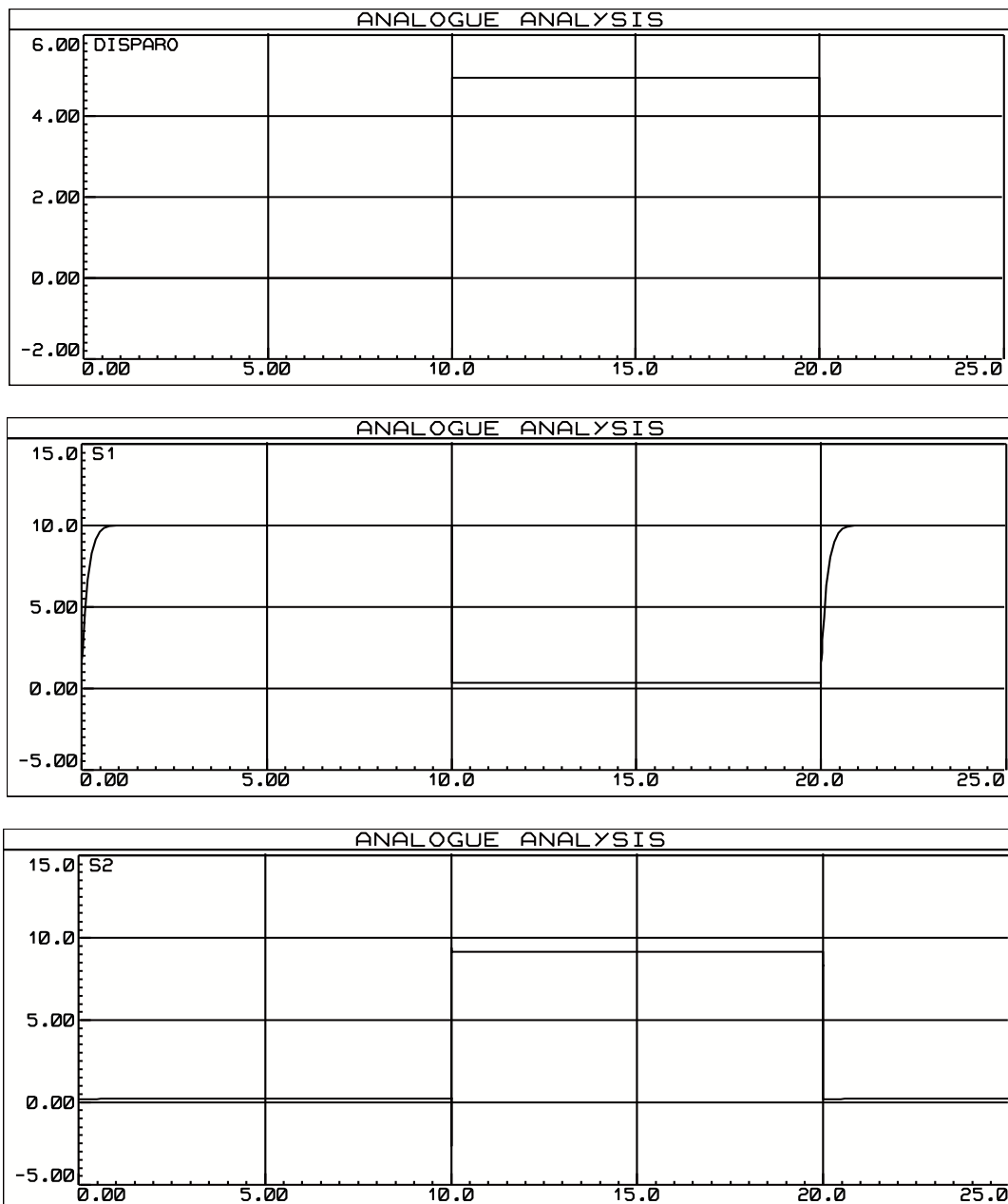


Figura 2 – Gráfico do circuito multivibrador monoestável com transistores bipolares (saídas com relação ao disparo do gatilho).

3 Multivibrador Biestável

O multivibrador biestável como visto no capítulo anterior, apresenta em sua saída dois estados estáveis que se alternam conforme o disparo no gatilho. Esse circuito também pode ser chamado de flip-flop. A figura 3 mostra o esquemático do circuito multivibrador biestável com transistores bipolares.

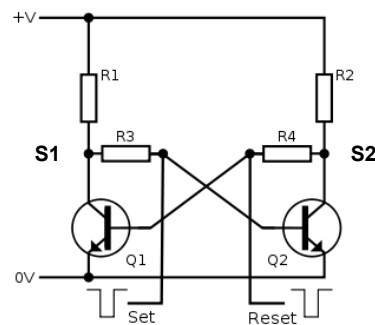


Figura 3 – Esquemático do circuito multivibrador biestável (com set e reset).

Esse circuito funciona introduzindo sinais nos terminais chamados de Set e Reset. Quando é inserido o nível lógico baixo no terminal Set, o transistor Q_2 vai para o estado de corte levando a saída S_2 para o nível lógico alto. Quando é inserido o nível lógico baixo no Reset, o transistor Q_1 vai para o estado de corte levando a saída S_1 para o nível lógico alto. Nesse caso existem estados proibidos, quando o Set e Reset recebem os mesmos sinais, como em um flip-flop RS.

Outra configuração de circuito multivibrador biestável é a ilustrada na figura 4, que possui apenas um terminal de gatilho. Para demonstrar o funcionamento desse circuito supõe-se que o estado inicial do circuito apresente o transistor Q_1 cortado e Q_2 saturado, quando existir a transição do sinal de gatilho para o nível lógico baixo, o diodo D_2 estará momentaneamente polarizado diretamente até carregar o capacitor C_2 . Essa condição deverá forçar o transistor Q_2 para o corte e consequentemente o transistor Q_1 para a saturação, pois receberá uma corrente na base gerada pelas resistências formadas pelas por R_2 e R_6 . Essa condição deverá resultar nas saídas S_1 e S_2 , o nível lógico baixo e nível lógico alto respectivamente. Na próxima transição do sinal de gatilho para o nível lógico alto, o diodo D_1 estará momentaneamente polarizado diretamente até carregar o capacitor C_1 . O Transistor Q_1 ficará em corte e o Q_2 em saturação, resultando nas saídas S_1 e S_2 no nível lógico alto e baixo respectivamente.

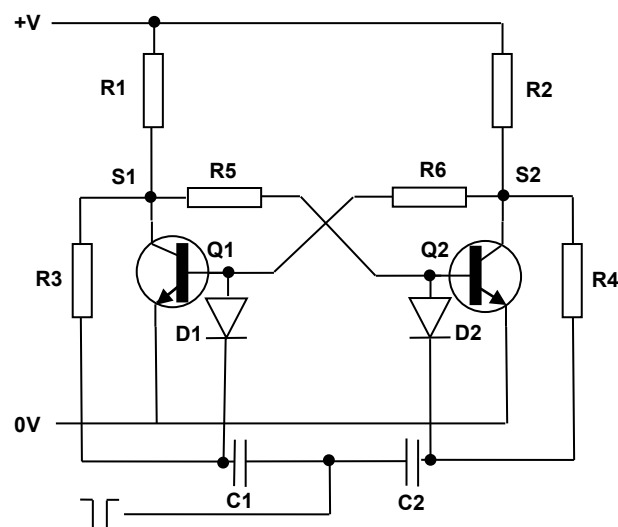


Figura 4 – Esquemático do circuito multivibrador biestável (com gatilho).

Pode-se projetar o circuito multivibrador biestável das figuras 3 e 4, levando em consideração as especificações dos transistores a serem utilizados.

Como exemplo, será projetado um circuito multivibrador biestável considerando as seguintes informações:

$$V_{CC} = +V = 10 \text{ V};$$

$$I_{C(sat)} = 10 \text{ mA};$$

$$V_{CE(sat)} = 0,2 \text{ V};$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V};$$

$$\beta = 100.$$

Considerando que inicialmente o transistor Q_1 está saturado e o transistor Q_2 está em corte:

$$V_{R1} = V_{CC} - V_{CE(sat)} = 10 - 0,2 = 9,8 \text{ V}$$

$$I_{C1} = V_{R1} / R_1 \rightarrow R_1 = 9,8 / 10 \times 10^{-3} = 980 \Omega \text{ (valor comercial de } 1 \text{ k } \Omega)$$

Pode-se considerar que:

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ k } \Omega \text{ (resistências de coletor)}$$

$$I_{b(on)} = I_C / \beta = 10 \times 10^{-3} / 100 = 100 \times 10^{-6} \text{ ou } 100 \mu\text{A}$$

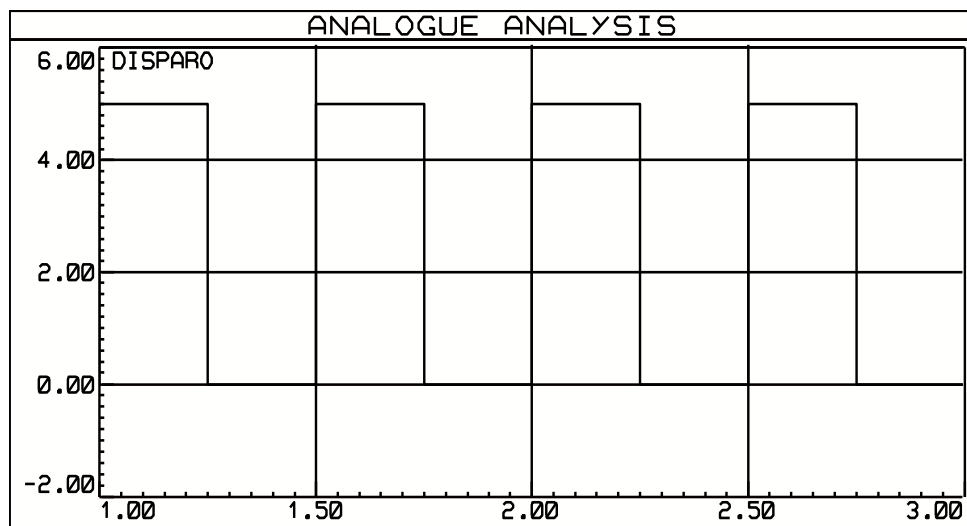
$$V_{R4} = V_{CC} - V_{R2} - V_{BE} = V_{CC} - (R_2 \cdot I_{b(on)}) - V_{BE} = 10 - (1 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6}) - 0,7 = 9,2 \text{ V}$$

$$R_4 = V_{R4} / I_{b(on)} = 9,2 / 100 \times 10^{-6} = 92 \times 10^3 \Omega \text{ ou } 92 \text{ k } \Omega \text{ (valor comercial de } 91 \text{ k } \Omega)$$

Considerando que:

$$R_4 = R_3 = 91 \text{ k } \Omega$$

O comportamento das saídas S_1 e S_2 em relação ao disparo do gatilho está ilustrado no gráfico da figura 5.



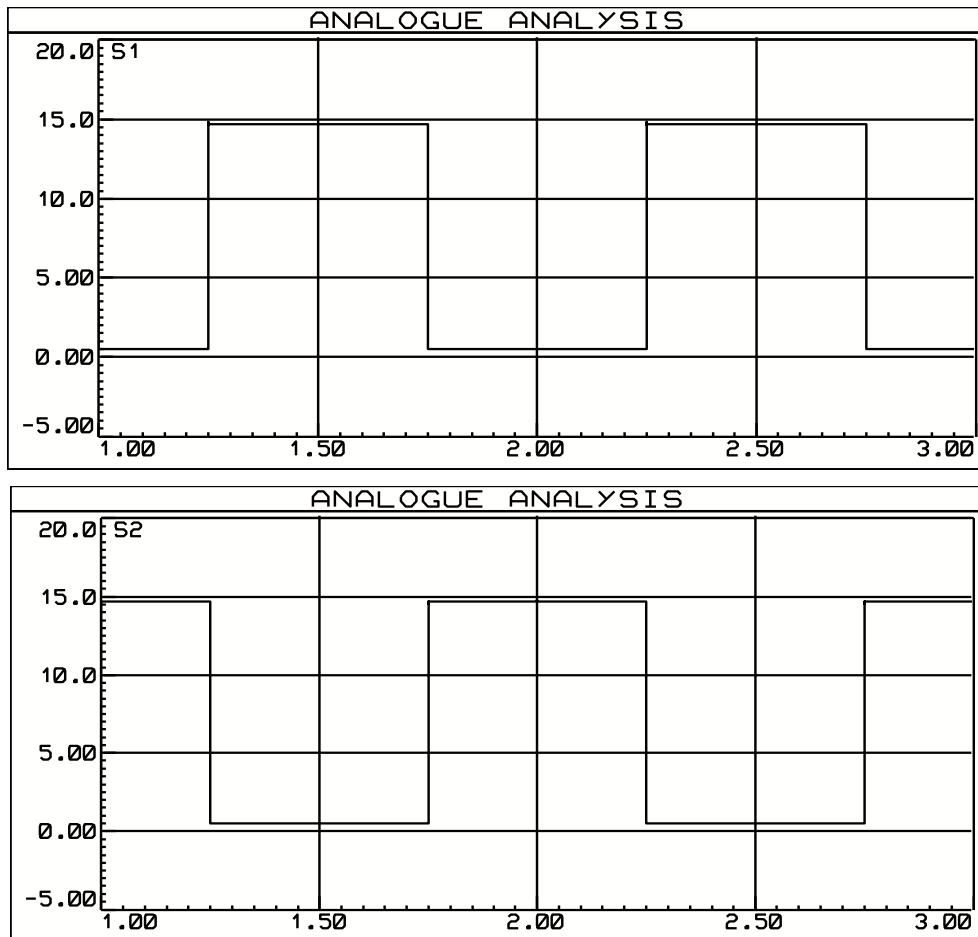


Figura 5 – Gráfico do circuito multivibrador biestável com transistores bipolares (saídas com relação ao disparo do gatilho).

4 Multivibrador Astável

O multivibrador astável é um circuito que possui dois estados instáveis que se alternam em um determinado tempo. A sua característica principal é gerar uma forma de onda quadrada sem a necessidade de utilização do gatilho. A figura 6 mostra o esquemático do circuito multivibrador astável com transistores bipolares.

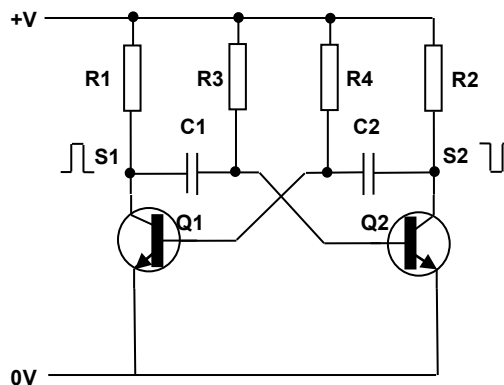


Figura 6 – Esquemático do circuito multivibrador astável.

O funcionamento do multivibrador astável consiste no constante corte e saturação dos transistores de forma alternada, ou seja, quando o transistor Q_1 está em corte o transistor Q_2 está em saturação e vice e versa. Considerando que inicialmente o transistor Q_1 está em corte e o transistor Q_2 em saturação (saídas S_1 e S_2 estão em nível lógico alto e nível lógico baixo respectivamente), o capacitor C_1 nessa condição, será carregado com o valor da tensão de alimentação (+V), mantendo o transistor Q_2 na saturação através da resistência R_3 . Já o capacitor C_2 se carrega através da resistência R_4 até o valor de 0,7 V, ou seja, valor de tensão V_{BE} necessária para forçar a condição de saturação de Q_1 . Essa nova condição faz com que o capacitor C_1 se descarregue e leve a tensão V_{BE} do transistor Q_2 a zero, forçando a condição de corte no transistor. Nesse momento a condição do transistor Q_1 é de saturação e do transistor Q_2 de corte, promovendo na saída S_1 o nível lógico baixo e na saída S_2 o nível lógico alto. O capacitor C_2 se carregará com o valor de tensão (+V), mantendo agora o transistor Q_1 na saturação através da resistência R_4 e o capacitor C_1 também se carregará através da resistência R_3 até chegar ao valor de 0,7 V no V_{BE} do transistor Q_2 . Então, o transistor Q_1 ficará no corte e Q_2 na saturação e as saídas S_1 e S_2 ficarão no nível lógico alto e nível lógico baixo respectivamente, com o ciclo sempre se repetindo.

Pode-se projetar o circuito multivibrador astável da figura 6, levando em consideração as especificações dos transistores a serem utilizados.

Como exemplo será projetado um circuito multivibrador astável considerando as seguintes informações:

$$V_{CC} = +V = 10 \text{ V};$$

$$I_{C(sat)} = 10 \text{ mA};$$

$$V_{CE(sat)} = 0,2 \text{ V};$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V};$$

$$\beta = 100.$$

Considerando que inicialmente o transistor Q_1 está saturado e o transistor Q_2 está em corte:

$$V_{R1} = V_{CC} - V_{CE(sat)} = 10 - 0,2 = 9,8 \text{ V}$$

$$I_{C1} = V_{R1} / R_1 \rightarrow R_1 = 9,8 / 10 \times 10^{-3} = 980 \Omega \text{ (valor comercial de } 1 \text{ k } \Omega)$$

Pode-se considerar que:

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ k } \Omega \text{ (resistências de coletor)}$$

$$I_{b(on)} = I_C / \beta = 10 \times 10^{-3} / 100 = 100 \times 10^{-6} \text{ ou } 100 \mu\text{A}$$

$$V_{R4} = V_{CC} - V_{BE} = V_{CC} - V_{BE} = 10 - 0,7 = 9,3 \text{ V}$$

$$R_4 = V_{R4} / I_{b(on)} = 9,3 / 100 \times 10^{-6} = 93 \times 10^3 \Omega \text{ ou } 93 \text{ k } \Omega \text{ (valor comercial de } 91 \text{ k } \Omega)$$

Considerando que:

$$R_4 = R_3 = 91 \text{ k}\Omega$$

Pode-se também alterar o tempo de oscilação modificando os valores RC do circuito, conforme as expressões abaixo:

$$t_1 = 0,69 \cdot R_4 \cdot C_2$$

$$t_2 = 0,69 \cdot R_3 \cdot C_1$$

$$t_{total} = t_1 + t_2$$

Considerando o exemplo descrito anteriormente, e determinando um período de 1 segundo na transição, pode-se determinar que C_1 e C_2 deverá possuir o valor de $8 \mu\text{F}$.

Devido à rápida carga do capacitor C_1 por R_1 e C_2 por R_2 , existirá uma deformação na forma de onda das saídas S_1 e S_2 conforme mostra a figura 7.

Para evitar essa distorção indesejada, pode-se utilizar um resistor em paralelo com as resistências de coletores e um diodo retificador, como mostra a figura 8. Agora são essas resistências que promoverão a carga de C_1 e C_2 em um menor tempo, quando o diodo estiver bloqueado.

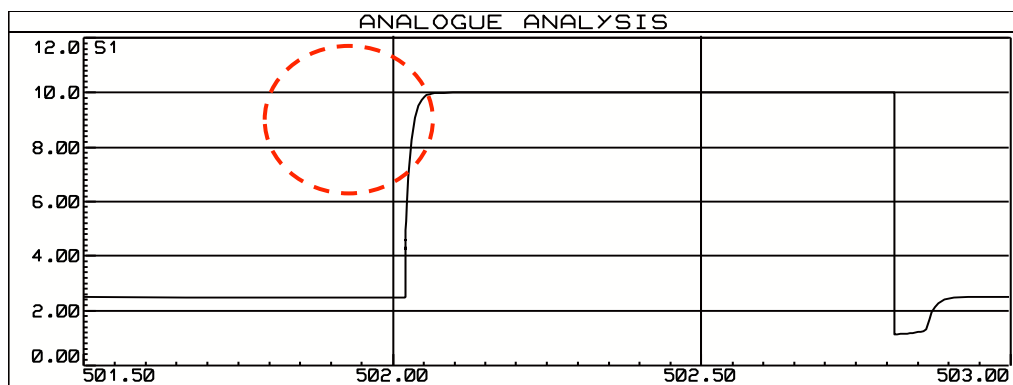


Figura 7 – Detalhe da deformação do sinal de saída do multivibrador astável com transistores bipolares.

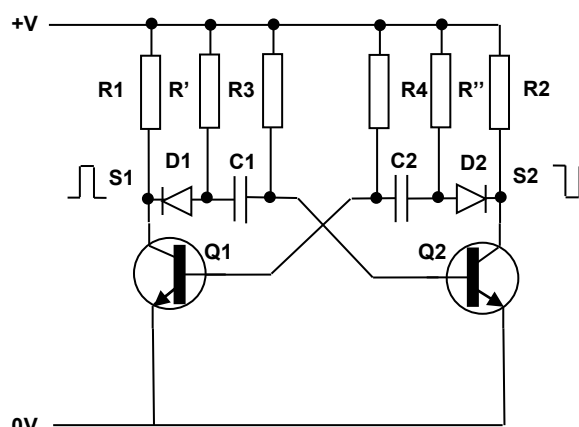


Figura 8 – Esquemático do circuito multivibrador astável com diminuição da distorção do sinal de saída.

O comportamento das saídas S_1 e S_2 em relação ao disparo do gatilho está ilustrado no gráfico da figura 9.

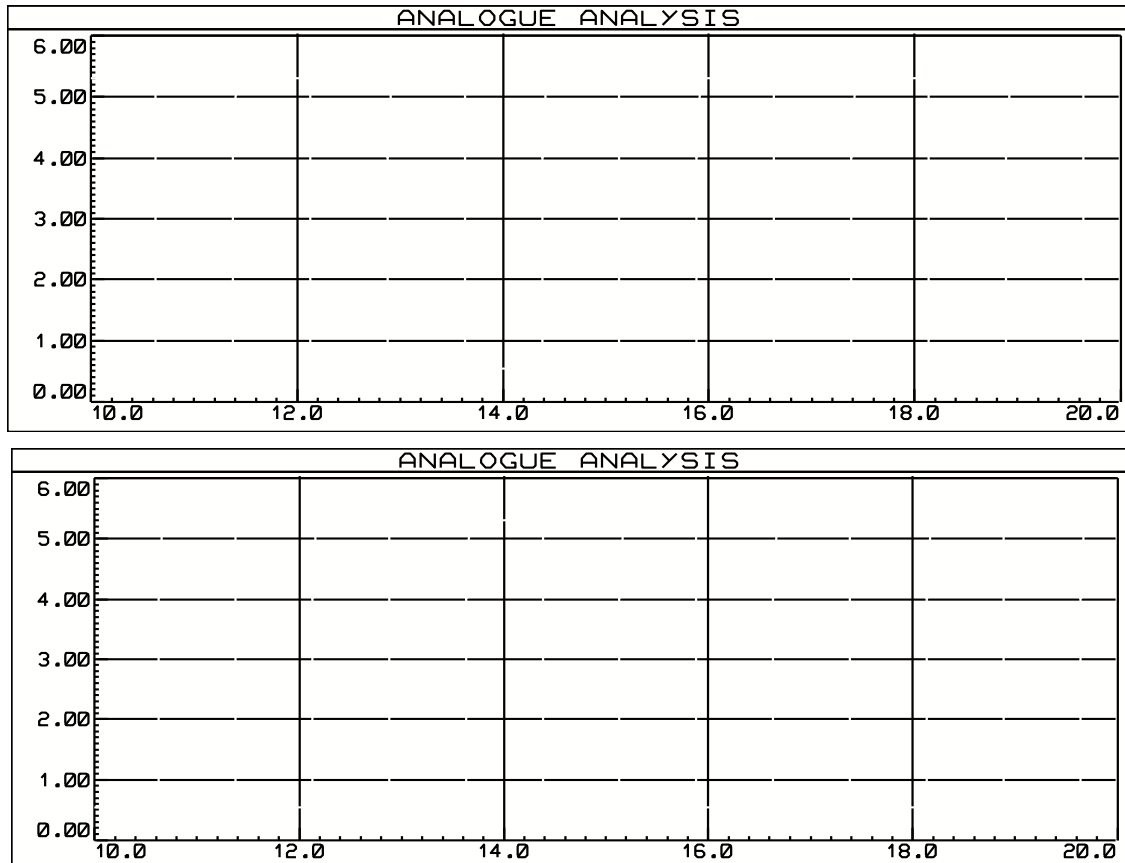


Figura 9 – Gráfico do circuito multivibrador astável com transistores bipolares (saídas em relação ao tempo).

Exercícios Específicos

Exercício 01:

Projete um circuito multivibrador monoestável com transistores bipolares, considerando que o tempo de acionamento (nível lógico alto) de 10 s.

Dados: $V_{CC} = +V = 15\text{ V}$; $I_{C(sat)} = 14\text{ mA}$; $V_{CE(sat)} = 0,2\text{ V}$; $V_{BE} = 0,7\text{ V}$; $\beta = 100$.

Exercício 02:

Projete um circuito multivibrador biestável com transistores bipolares.

Dados: $V_{CC} = +V = 15\text{ V}$; $I_{C(sat)} = 14\text{ mA}$; $V_{CE(sat)} = 0,2\text{ V}$; $V_{BE} = 0,7\text{ V}$; $\beta = 100$.

Exercício 03:

Projete um circuito multivibrador astável com transistores, para que o mesmo oscile em uma frequência de 6 Hz.

Dados: $V_{CC} = +V = 15\text{ V}$; $I_{C(sat)} = 14\text{ mA}$; $V_{CE(sat)} = 0,2\text{ V}$; $V_{BE} = 0,7\text{ V}$; $\beta = 100$.

5 Referências

- [1] A. P. MALVINO. Eletrônica. Volumes 1 e 2. Editora McGraw Hill do Brasil, São Paulo, 1987.
- [2] LALOND, David E.; Ross, John A. Princípios de Dispositivos e Circuitos Eletrônicos – volumes 1 e 2. Makron Books. São Paulo, 1999.
- [4] SOBRINHO, J. P. F.; Carvalho, J. A. D. Osciladores. Editora Érica. São Paulo, 1992.