

## **Sumário**

<b>Introdução</b>	<b>5</b>
<b>Multivibrador astável</b>	<b>6</b>
<b>Princípio de funcionamento</b>	<b>6</b>
<b>Correção da borda de subida dos pulsos</b>	<b>14</b>
<b>Apêndice</b>	<b>17</b>
<b>Questionário</b>	<b>17</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>17</b>



**Espaço SENAI**

### **Missão do Sistema *SENAI***

Contribuir para o fortalecimento da indústria e o desenvolvimento pleno e sustentável do País, promovendo a educação para o trabalho e a cidadania, a assistência técnica e tecnológica, a produção e disseminação de informação e a adequação, geração e difusão de tecnologia.

# Introdução

Nos fascículos anteriores foram estudados os multivibradores biestável e monoestável. Conforme a análise anterior demonstrou, a alteração dos estados daqueles circuitos requer o emprego de um gerador de pulsos aplicados às entradas de cada circuito.

Este fascículo tratará do multivibrador astável, cuja principal utilização é justamente na geração de uma seqüência de pulsos retangulares semelhantes àqueles aplicados à entrada de cada circuito multivibrador estudado anteriormente.

O multivibrador astável é largamente empregado em circuitos digitais como, relógios, calculadoras etc., o que demonstra a importância do estudo de seu funcionamento e do conhecimento de suas características.



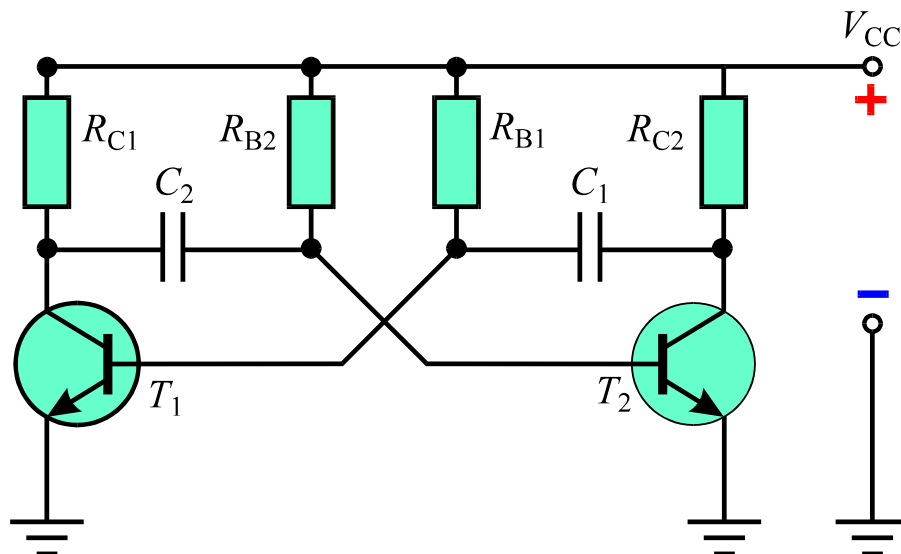
***Para a boa compreensão do conteúdo e desenvolvimento das atividades contidas neste fascículo, o leitor deverá estar familiarizado com os conceitos relativos a:***

- Dinâmica de carga e descarga em capacitores.
- Multivibrador biestável.
- Multivibrador monoestável.

# Multivibrador astável

O multivibrador astável é um circuito que possui dois estados semi-estáveis. Em outras palavras, o circuito exibe uma alternância de estados como função do tempo, **mesmo na ausência de estímulos externos**.

A **Fig.1** mostra um circuito típico do multivibrador astável, onde se pode notar a existência dos capacitores  $C_1$  e  $C_2$  conectados às bases dos dois transistores. Esses capacitores são elementos essenciais para manter o circuito alternando entre seus dois estados possíveis, conforme examinado a seguir.

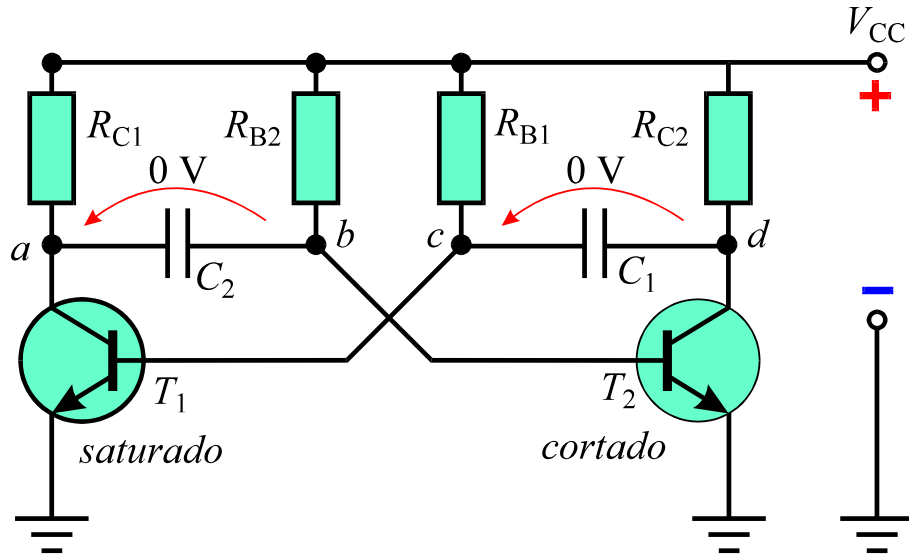


**Fig.1** Circuito típico de um multivibrador astável.

## PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

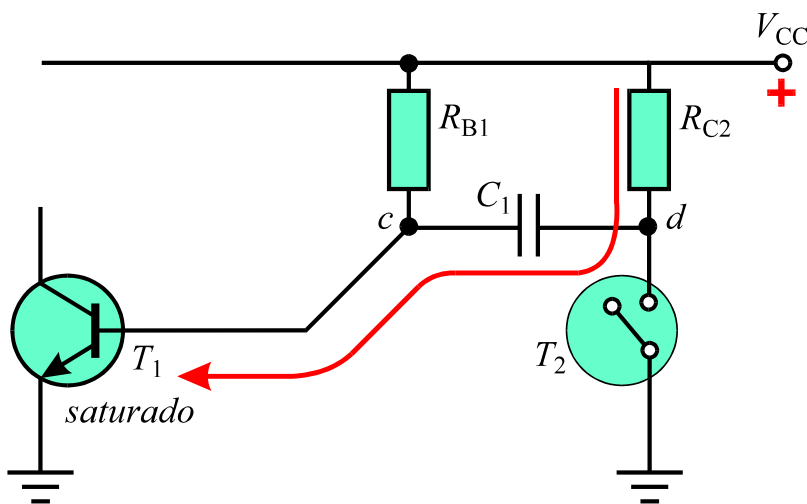
Não é possível prever o estado inicial do multivibrador astável imediatamente após a aplicação da tensão externa de alimentação. Uma forma de analisar o princípio de funcionamento do circuito é admitir um determinado estado inicial. Para isso, considera-se que o circuito esteja inicialmente no estado indicado na **Fig.2**, que corresponde a:

- $T_1$  saturado e  $T_2$  no regime de corte.
- Capacitores  $C_1$  e  $C_2$  descarregados.



**Fig.2** Multivibrador astável submetido a um dado estado inicial.

O transistor  $T_2$  estando no regime de corte, comporta-se como um interruptor aberto. O terminal  $d$  do capacitor  $C_1$  está conectada ao pólo positivo da fonte através de  $R_{C2}$  e o lado  $c$  ao terra através da junção base-emissor de  $T_1$ . Assim, o capacitor  $C_1$  começa a carregar-se. A **Fig.3** mostra o caminho percorrido pela corrente de carga de  $C_1$ , com  $T_2$  sendo representado por um interruptor aberto.



**Fig.3** Início do processo de carga de  $C_1$  no multivibrador astável.

Como os resistores de coletor são geralmente de baixa resistência (tipicamente centenas de ohms a alguns kilohms), e com a junção base-emissor em condução exibindo baixa resistência, o processo de carga de  $C_1$  ocorre rapidamente. Assim, a tensão  $V_{CE2}$  atinge rapidamente o valor da tensão  $V_{CC}$ , conforme ilustrado na Fig.4.

Considerando-se a situação indicada na Fig.4, em que  $V_{CC} = 10\text{ V}$ , o potencial do terminal  $c$  do capacitor  $C_1$  se torna  $9,3\text{ V}$  inferior ao potencial do terminal  $d$ .

O transistor  $T_1$  saturado, por sua vez, mantém o potencial do terminal  $a$  de  $C_2$  próximo ao potencial de terra, conforme indicado na Fig.5. Como o terminal  $b$  de  $C_2$  é alimentado através de  $R_{B2}$ , inicia-se um processo de carga sobre  $C_2$ . Como a resistência  $R_{B2}$  tem valor alto (tipicamente dezenas ou centenas de kilohms), o processo de carga de  $C_2$  ocorre lentamente, conforme mostrado na Fig.5.

À medida que o tempo passa, o terminal  $b$  do capacitor vai **lentamente** se tornando positivo em relação ao terminal  $a$ . Como o terminal  $b$  está conectado à base de  $T_2$ , quando a tensão no capacitor atingir cerca de  $0,5\text{ V}$ ,  $T_2$  estará na iminência de sair do regime de corte para o regime de saturação conforme ilustrado na Fig.6

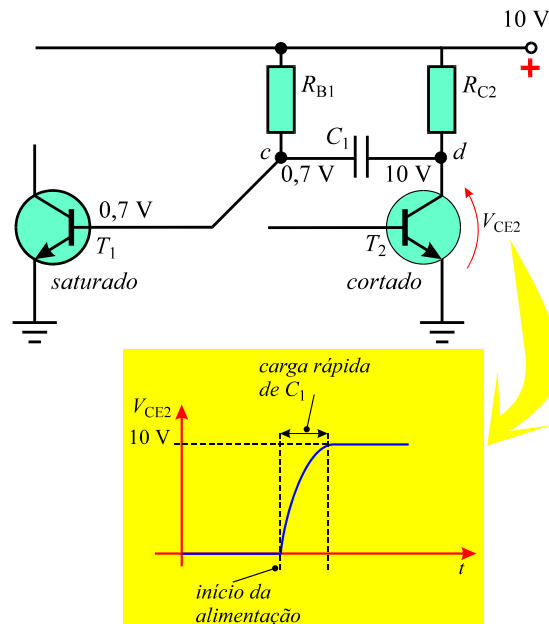


Fig.4 Processo de carga de  $C_1$  e evolução no tempo da tensão  $V_{CE2}$ .

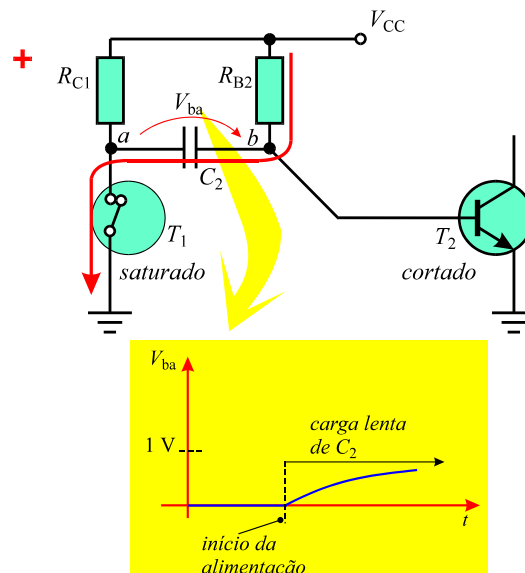
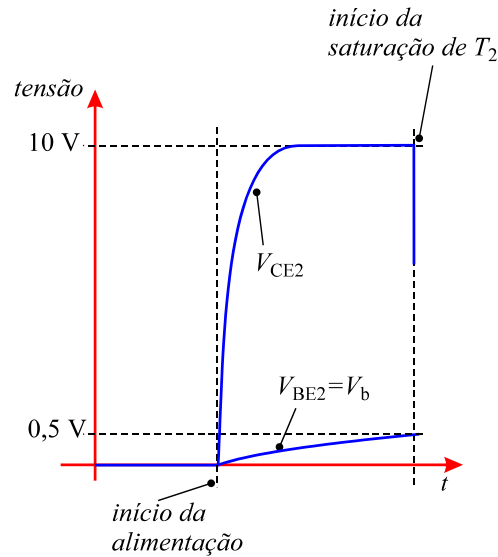


Fig.5 Processo de carga e evolução no tempo da tensão sobre  $C_2$ .

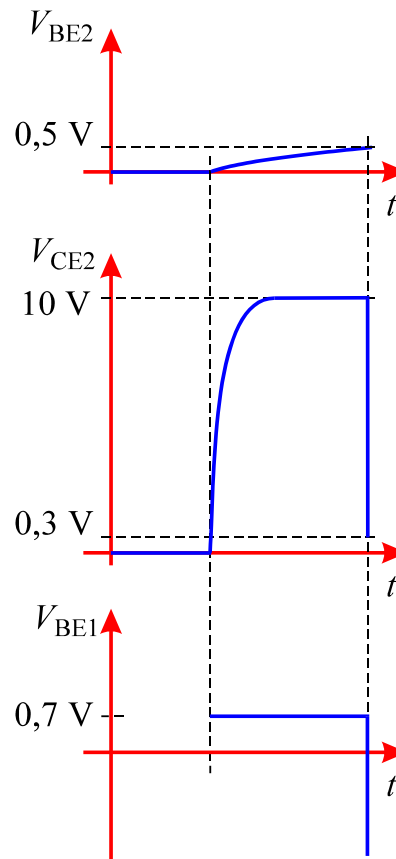


**Fig.6** Evolução no tempo das tensões  $V_{BE2}$  e  $V_{CE2}$  durante a carga de  $C_2$ .

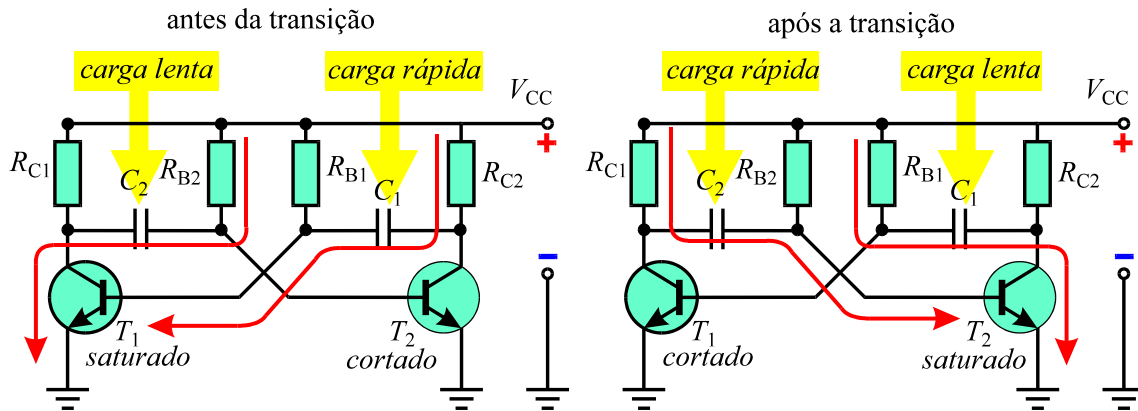
Com base na **Fig.2**, à medida que  $T_2$  satura, o terminal  $d$  do capacitor  $C_1$  se torna cada vez mais próximo do potencial de terra.

Como o terminal  $c$  de  $C_1$  tem um potencial  $9,3V$  inferior ao terminal  $d$ , a tensão  $V_{BE1} = V_c$  torna-se cada vez menor à medida que  $V_d \rightarrow 0$ , tornando-se eventualmente negativa, conforme mostrado na **Fig.7**.

Com a tensão  $V_{BE1}$  tornando-se negativa,  $T_1$  que estava saturado entra rapidamente no regime de corte e com a troca de estados dos dois transistores os resistores de carga dos capacitores se alteram, conforme ilustrado na **Fig.8**.



**Fig.7** Evolução no tempo de  $V_{BE2}$ ,  $V_{CE2}$  e  $V_{BE1}$  durante a saturação de  $T_2$ .

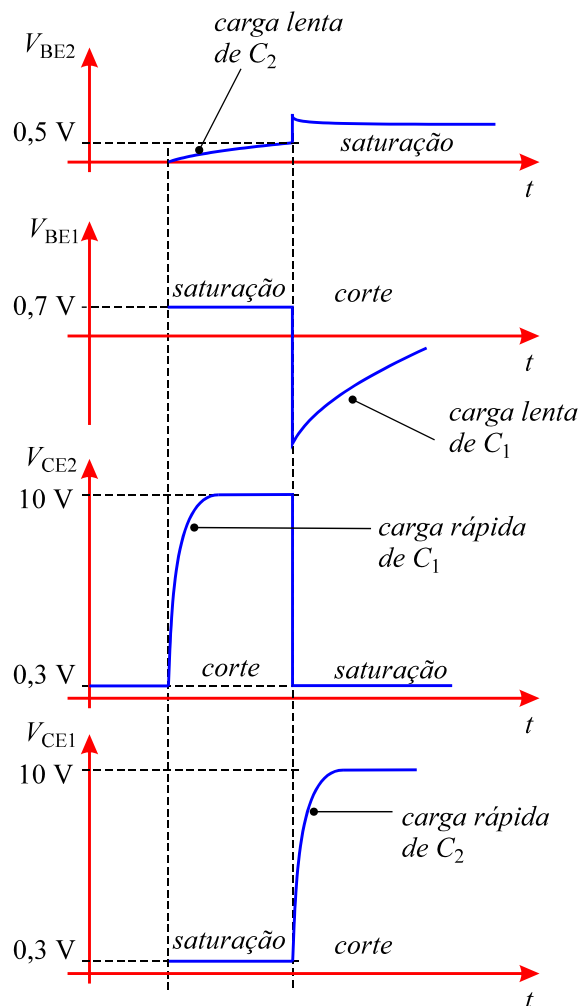


**Fig.8** Processos de carga dos capacitores do multivibrador astável durante a permanência dos estados semi-estáveis.

A corrente de carga rápida de  $C_2$  através de  $T_2$  completa o processo de saturação de  $T_2$  elevando a tensão  $V_{BE2}$  ao valor de  $0,7V$ , enquanto o potencial negativo na base de  $T_1$  o mantém no regime de corte.

A **Fig.9** mostra a evolução no tempo das tensões base-emissor e coletor-emissor em ambos os transistores.

Durante o processo de carregamento lento de  $C_1$ , a tensão negativa  $V_{BE1}$  que mantém  $T_1$  no regime de corte aumenta até se tornar positiva, conforme ilustrado na **Fig.10**. Como pode ser aí observado, quando a tensão na base de  $T_1$  se torna

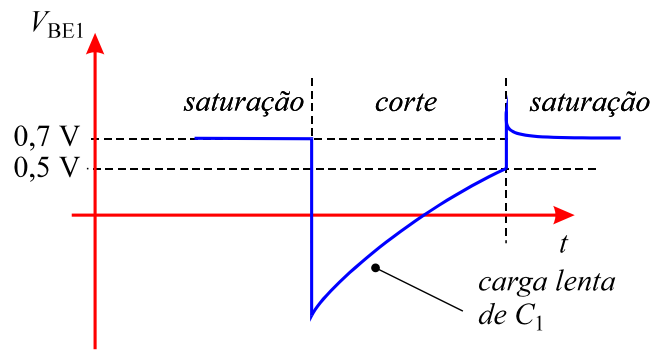


**Fig.9** Evolução no tempo das tensões base-emissor e coletor-emissor nos transistores do multivibrador astável.



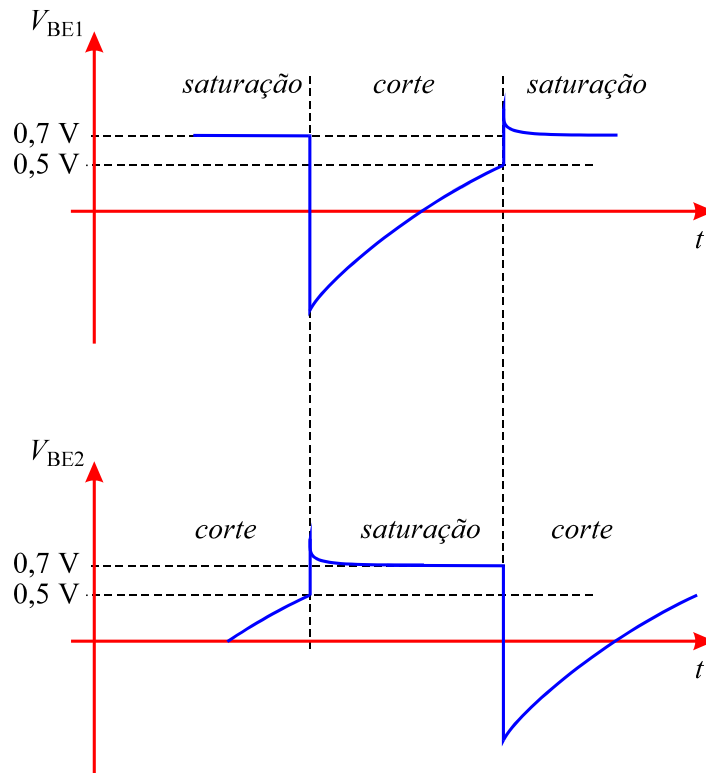
positiva e atinge o valor de  $0,5\text{V}$ ,  $T_1$  entra no regime de condução, eventualmente atingindo o estado de saturação.

Isso faz que a base de  $T_2$  fique submetida ao potencial negativo acumulado no terminal  $b$  do capacitor  $C_2$ , conforme já discutido anteriormente.



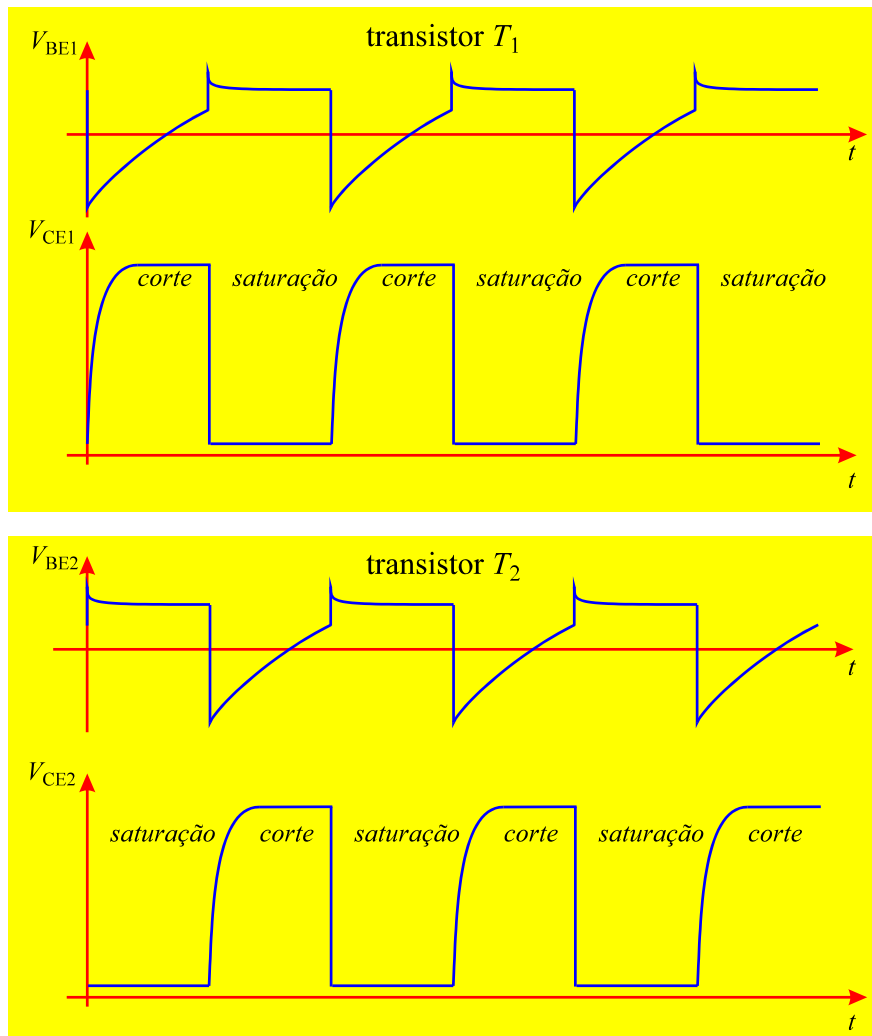
**Fig.10** Evolução no tempo da tensão  $V_{BE1}$ .

A **Fig.11** ilustra as formas de onda associadas às tensões  $V_{BE1}$  e  $V_{BE2}$ .



**Fig.11** Dependência temporal das tensões base-emissor no multivibrador astável.

O processo descrito anteriormente evolui periodicamente, sem a necessidade de um estímulo externo. As formas de onda geradas pelo circuito estão mostradas em mais detalhe na **Fig.12**.

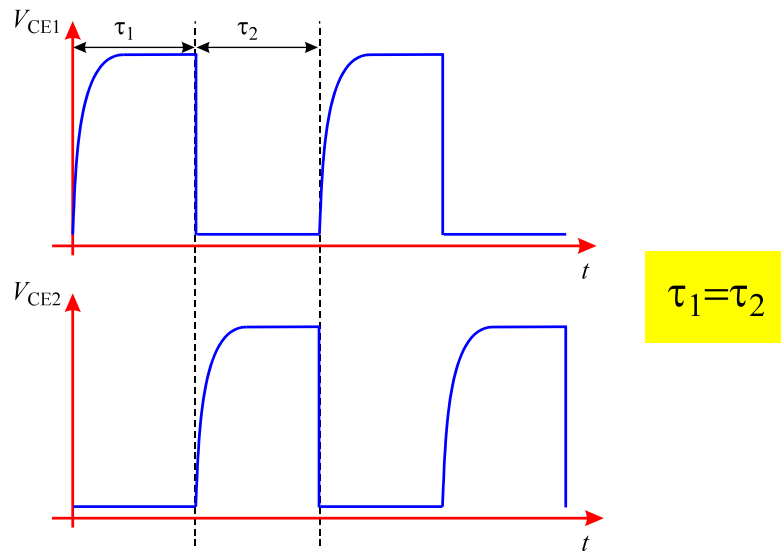


**Fig.12** Gráficos detalhados das formas de onda produzidas pelo multivibrador astável.

O tempo que cada transistor permanece no regime de corte depende da resistência e capacitância associadas à sua base. As formas de onda terão tempos idênticos de corte e saturação, se os resistores e capacitores satisfizerem à condição

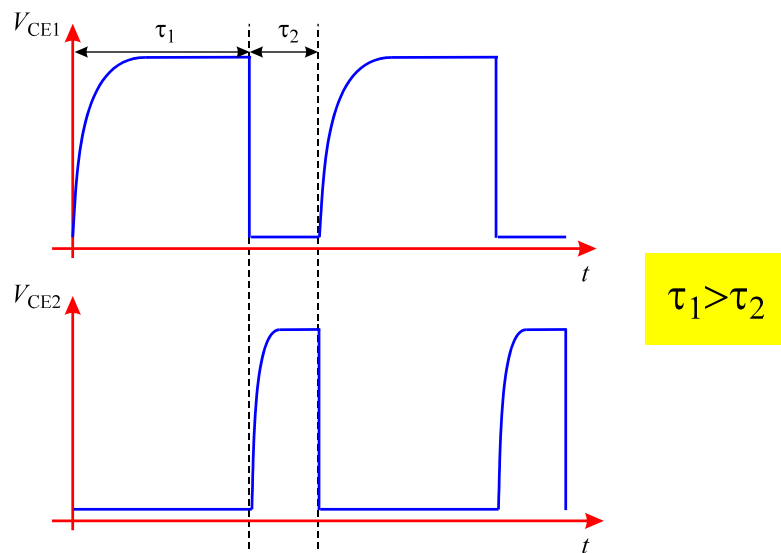
$$R_{B1}C_1 = R_{B2}C_2 \quad (1)$$

Sob essa condição, as tensões  $V_{CE1}$  e  $V_{CE2}$  evoluem no tempo, conforme ilustrado na **Fig.13**.



**Fig.13** Evolução no tempo das tensões  $V_{CE1}$  e  $V_{CE2}$ , em um multivibrador astável tendo  $R_{B1}C_1 = R_{B2}C_2$ .

Se a condição expressa pela **Eq.(1)** não for satisfeita, os tempos de corte e de saturação se tornam distintos. A **Fig.14** ilustra as formas de onda geradas em um multivibrador exibindo  $R_{B1}C_1 > R_{B2}C_2$ .



**Fig.14** Evolução no tempo das tensões  $V_{CE1}$  e  $V_{CE2}$ , em um multivibrador astável tendo  $R_{B1}C_1 > R_{B2}C_2$ .

O tempo de corte de cada transistor pode ser calculado pelas expressões:

Transistor  $T_1$ :

$$\tau_1 = 0,69R_{B1}C_1 \quad (2)$$

Transistor  $T_2$ :

$$\tau_2 = 0,69R_{B2}C_2 \quad (3)$$

Como um ciclo da forma de onda corresponde a um período  $T = \tau_1 + \tau_2$ , a frequência associada à forma de onda pode ser determinada pela expressão

$$f = \frac{1}{0,69(R_{B1}C_1 + R_{B2}C_2)} \quad (4)$$

ou equivalentemente

$$f = \frac{1,45}{R_{B1}C_1 + R_{B2}C_2} \quad (5)$$

Se os valores de resistência e capacitância estiverem expressos, respectivamente, em megaohms e microfarads, as **Eqs.(4)** ou **(5)** fornecem a frequência em hertz.

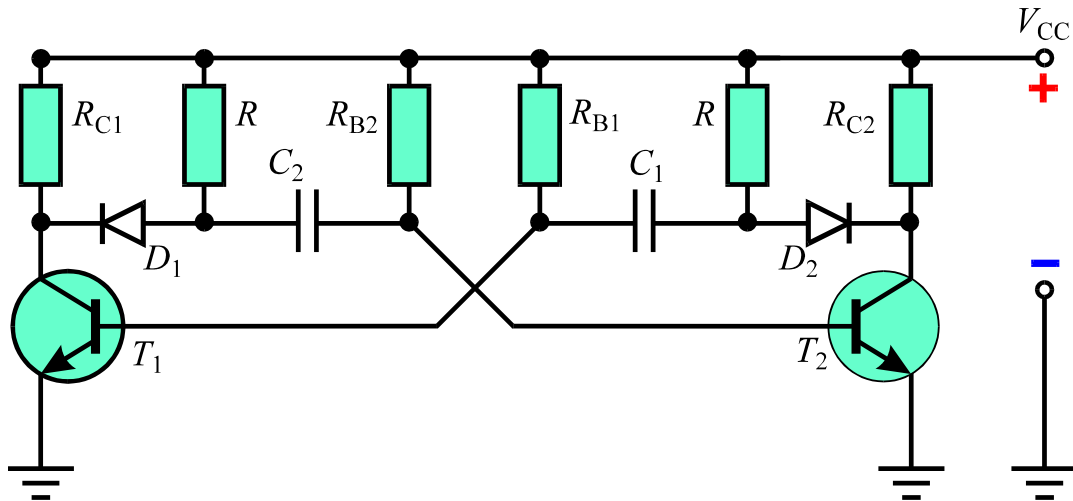
Se o multivibrador obedecer à condição  $R_{B1}C_1 = R_{B2}C_2$ , a **Eq.(5)** pode ser simplificada para

$$f = \frac{0,725}{R_{B1}C_1} = \frac{0,725}{R_{B2}C_2} \quad (6)$$

## CORREÇÃO DA BORDA DE SUBIDA DOS PULSOS

A borda de subida da forma de onda referente a cada tensão coletor-emissor no circuito original do multivibrador astável é arredondada, porque corresponde ao processo de carga dos capacitores através dos resistores de coletor.

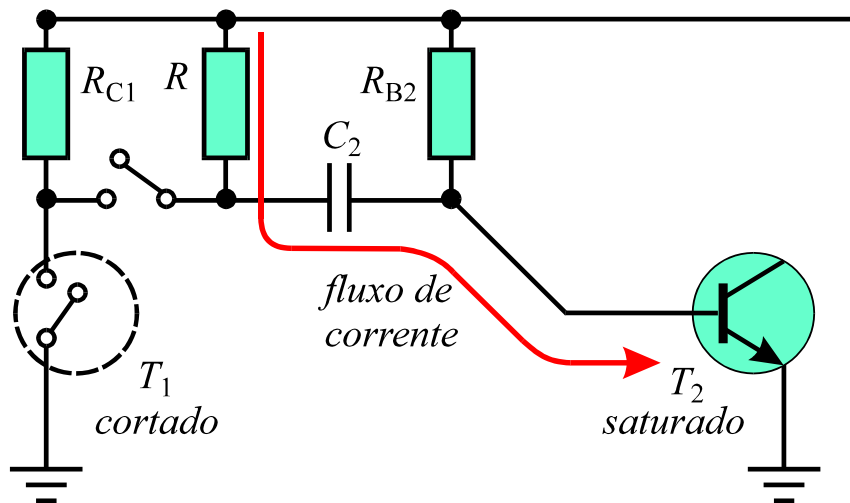
O tempo de subida da tensão coletor-emissor de cada transistor pode ser minimizado acrescentando um diodo e um resistor a cada malha de base do circuito, conforme mostrado na **Fig.15**.



**Fig.15** Multivibrador astável com a inclusão de diodos e resistores para minimização do tempo de subida das tensões coletor-emissor.

Com base na **Fig.15**, quando  $T_1$ , por exemplo, vai para o regime de corte, o potencial do cátodo torna-se superior ao potencial do ânodo de  $D_1$ . Sob essas condições, o diodo  $D_1$  entra em bloqueio.

A **Fig.16** mostra a condição obtida logo após o corte de  $T_1$ , com  $D_1$  e  $T_1$  sendo representados por interruptores abertos.

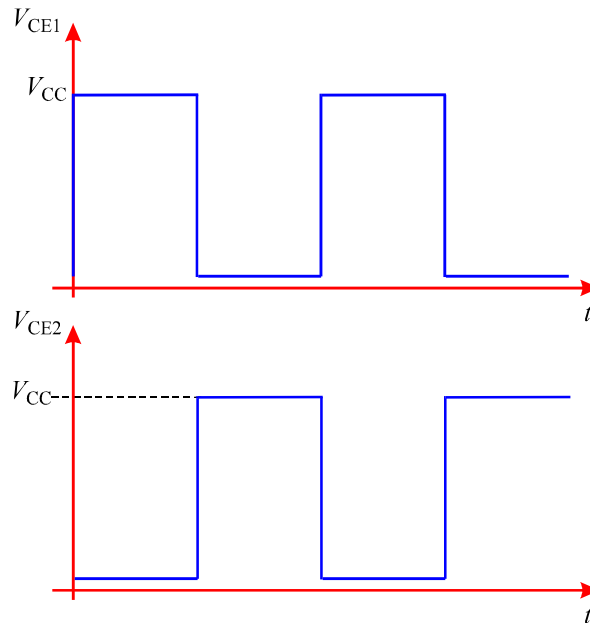


**Fig.16** Circuito equivalente do multivibrador astável imediatamente após a entrada de  $T_1$  no regime de corte.

Conforme ilustra a **Fig.16**, a corrente de carga de  $C_2$  não circula mais através do resistor  $R_{C1}$ , mas sim através de  $R$ . Com isso, a tensão  $V_{CE1}$  aumenta para um valor próximo a  $V_{CC}$  assim que  $T_1$  entra no regime de corte.

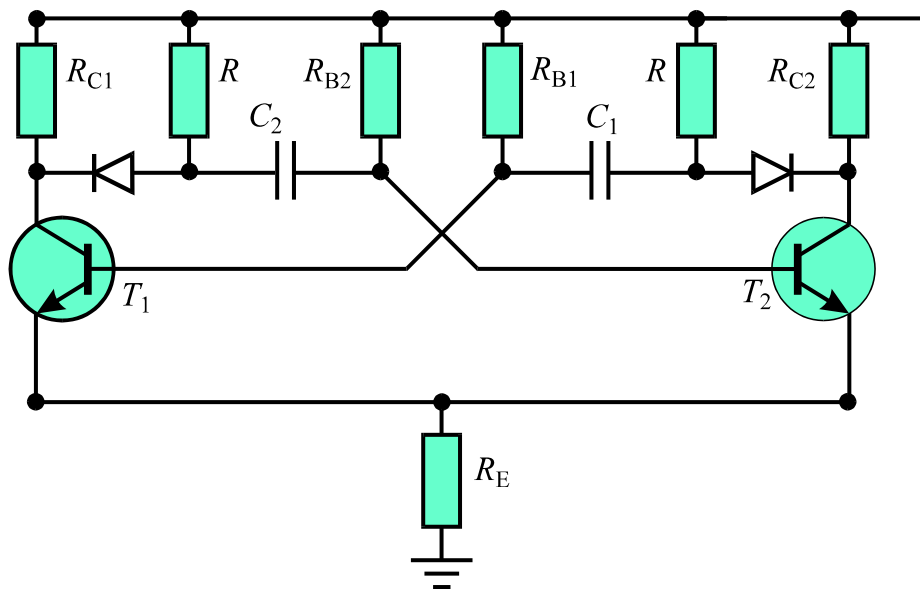
A **Fig.17** ilustra o aspecto qualitativo das formas de onda geradas nos coletores dos transistores a partir da inclusão dos diodos e resistores indicados na **Fig.16**.

A forma de onda quadrada, mostrada na **Fig.17**, é freqüentemente utilizada em circuitos digitais, onde recebe o nome de relógio ou *clock* do circuito.



**Fig.17** Formas de onda relativas às tensões coletor-emissor do multivibrador astável na configuração da **Fig.15**.

É comum, também, encontrar multivibradores astáveis com um resistor de emissor comum aos dois transistores, como ilustrado na **Fig.18**. O resistor é utilizado para propiciar uma transição mais rápida entre os estados de saturação e corte de cada transistor do circuito.



**Fig.18** Configuração alternativa de um multivibrador astável, utilizada para obtenção de transições rápidas entre os estados do circuito.

# Apêndice

## QUESTIONÁRIO

1. Qual é a característica principal de um multivibrador astável?
2. Como devem ser dimensionados os resistores  $R_{B1}$ ,  $R_{C1}$ ,  $R_{B2}$  e  $R_{C2}$  de um multivibrador astável para que ele opere adequadamente?
3. Que condição deve ser satisfeita pelos elementos  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$ ,  $C_1$  e  $C_2$  de forma que um multivibrador astável gere uma seqüência de pulsos simétricos?
4. Cite uma aplicação do multivibrador astável em circuitos digitais.

## BIBLIOGRAFIA

ARNOLD, Robert & BRANDT, Hans, Transistores, segunda parte, São Paulo, EPV (1975).

STRAUS, Leonard, Wave generation and shaping, São Paulo, 2ª edição, McGraw-Hill, Inc. (1970).