

Sumário

Introdução	5
O disparador Schmitt	6
Princípio de funcionamento	8
Caso 1: sem sinal de entrada	8
Caso 2: com sinal de entrada	10
Curva de transferência	16
Alteração do ciclo de histerese no disparador schmitt	18
Aplicações do disparador schmitt	21
Apêndice	27
Questionário	27
Bibliografia	28



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

Existe um grande número de circuitos constituídos basicamente por um par de transistores e seus elementos polarizadores. Alguns desses circuitos, com larga aplicação, já foram apresentados, discutidos e estudados. É o caso dos multivibradores astável, biestável e monoestável.

Este fascículo trata de um circuito eletrônico denominado de **disparador Schmitt**, que também apresenta a configuração básica de um par de transistores. Esse circuito, simples na sua essência, é muito utilizado para a conversão de sinais analógicos variantes no tempo, em sinais digitais exibindo dois níveis distintos.

Os conceitos relacionados ao princípio de funcionamento do disparador Schmitt, juntamente com aqueles tratados no fascículo intitulado *Sensores*, desta Série de Eletrônica, permitirão ao leitor a utilização de circuitos de controle de iluminação, temporização e outros.



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

- Multivibrador biestável.
- Multivibrador monoestável.
- Multivibrador astável.

O disparador Schmitt

O **disparador Schmitt** ou *Schmitt trigger*, como também é conhecido, é um tipo de circuito biestável largamente empregado nos circuitos eletrônicos digitais. Sua diferença básica em relação ao multivibrador convencional reside nas condições de disparo.

Se por um lado a troca de estados no circuito convencional requer uma **transição rápida** aplicada à entrada, como ilustrado na **Fig.1a**, a troca de estados no disparador Schmitt ocorre no momento em que **o sinal de entrada atinge um determinado nível, independentemente de sua forma de variação no tempo**, conforme ilustrado na **Fig.1b**.

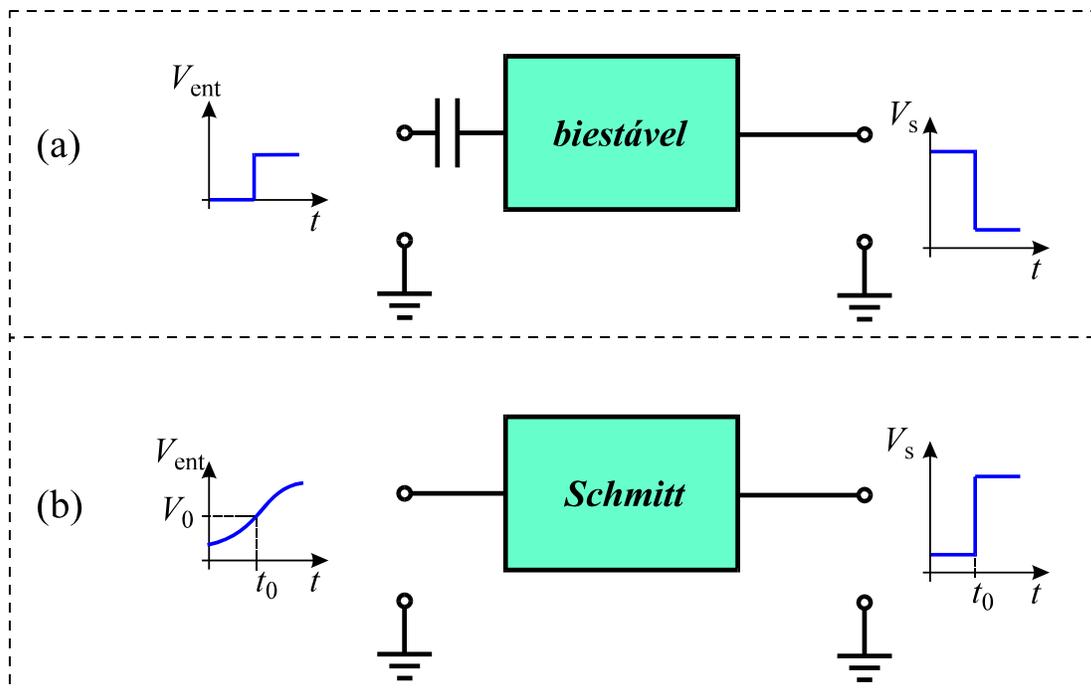


Fig.1 (a) Troca de estados em um multivibrador biestável convencional, a partir da aplicação de uma transição abrupta na entrada. (b) Troca de estados em um disparador Schmitt submetido a uma variação arbitrária de tensão na entrada.

Conforme mostra a **Fig.1b**, a saída do disparador Schmitt se mantém em um estado estável **até que a tensão de entrada atinja o valor limite V_0** no instante de tempo $t = t_0$. Quando isso ocorre, a tensão de saída muda abruptamente de valor, o que corresponde à mudança de estado do disparador.

Esse tipo de característica, inerente ao disparador Schmitt, permite sua aplicação na conversão de um sinal analógico, que pode assumir qualquer nível de tensão ao longo do tempo, em um sinal digital de apenas dois níveis distintos.

Em diagramas de circuito, o disparador Schmitt é geralmente representado pelos blocos mostrados na **Fig.2**.

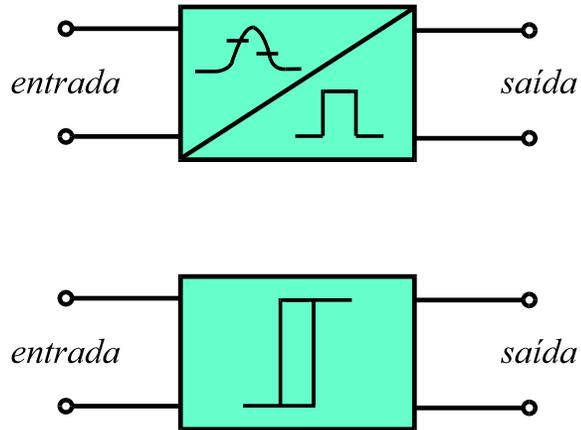


Fig.2 Duas formas de representação do disparador Schmitt.

A **Fig.3** mostra o circuito básico do disparador Schmitt, onde se pode notar que a diferença em relação ao multivibrador biestável convencional ocorre na ausência de realimentação do coletor de T_2 para a base de T_1 .

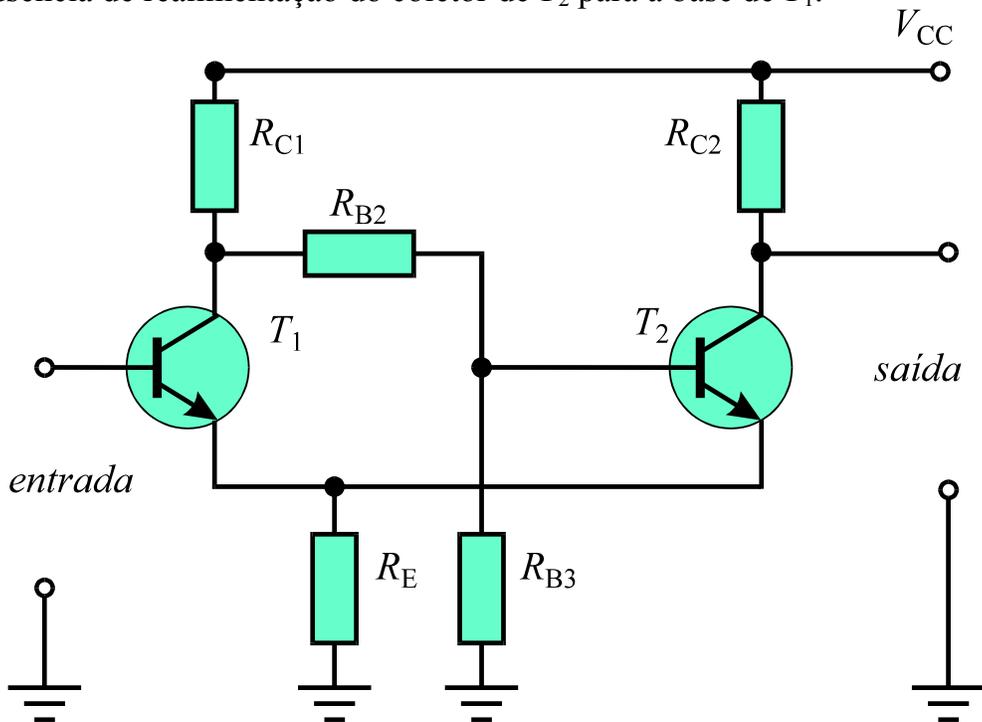


Fig.3 Circuito básico do disparador Schmitt.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

CASO 1: SEM SINAL DE ENTRADA

O funcionamento do disparador Schmitt pode ser analisado considerando a entrada do circuito inicialmente desligada.

Com a base desligada, o transistor T_1 está no regime de corte. A Fig.4a ilustra essa condição, com T_1 sendo representado por um interruptor aberto. Isso equivale ao transistor T_1 estar ausente no circuito. Dessa forma T_2 fica polarizado por divisor de tensão, a partir da tensão V_{C1} , indicada na Fig.4.

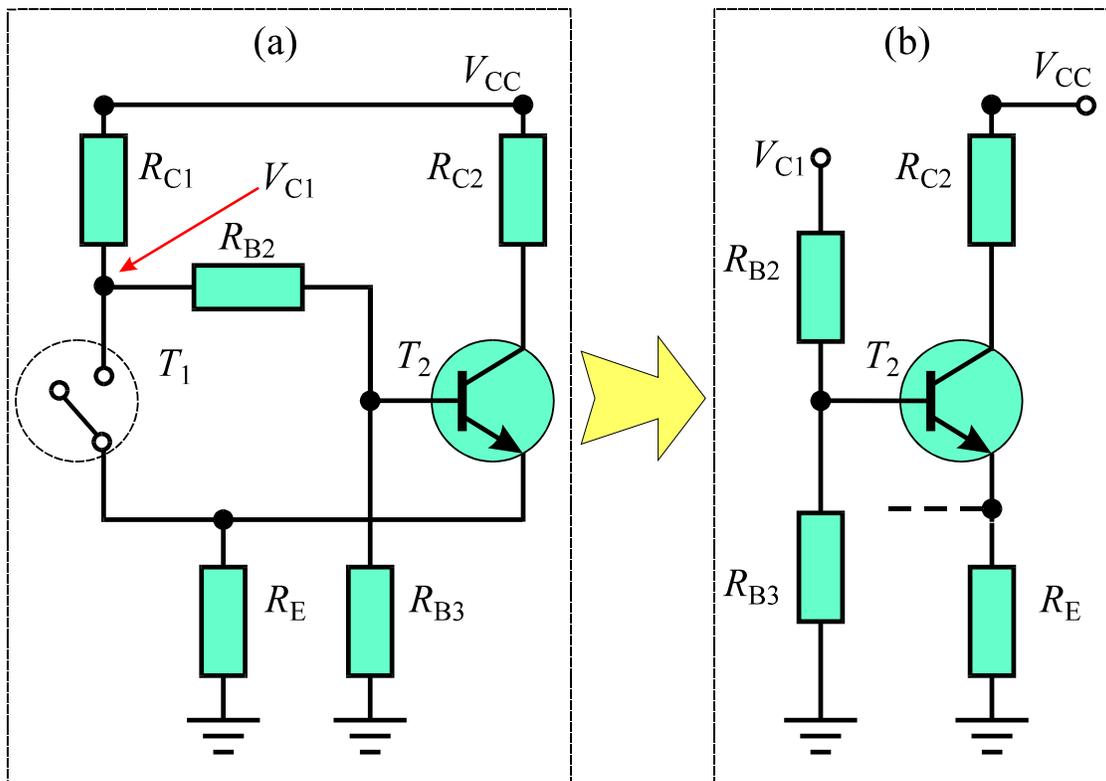


Fig.4 (a) Disparador Schmitt com T_1 no regime de corte. (b) Circuito equivalente.

No disparador Schmitt as resistências associadas a R_{B2} e R_{B3} são dimensionadas de forma que, com T_1 no regime de corte, a corrente de base em T_2 seja **muito maior que aquela necessária para sua saturação**.

Tomando como base um disparador Schmitt padrão, as tensões no circuito, medidas em relação ao terra do circuito, assumiriam os valores típicos indicados na Fig.5.

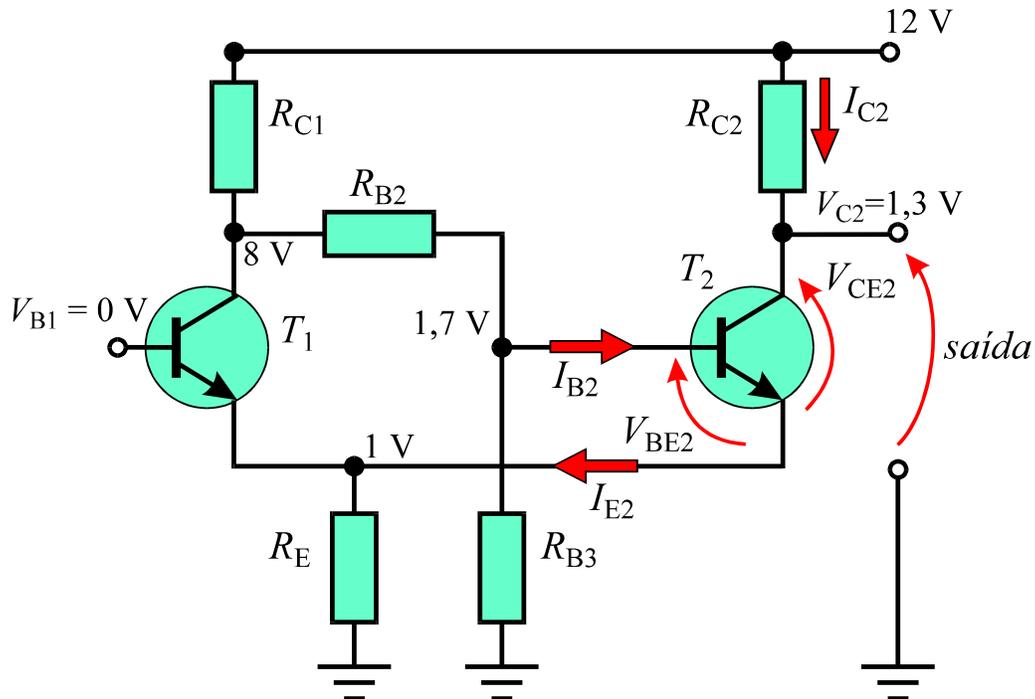


Fig.5 Valores típicos das tensões em alguns pontos do circuito de um disparador Schmitt convencional.

Com base na **Fig.5**, $V_{BE2} = 0,7 \text{ V}$ e $V_{CE2} = 0,3 \text{ V}$, o que implica a saturação de T_2 . Enquanto persistir a condição $V_{B1} = 0 \text{ V}$, a tensão de saída será mantida no valor $V_{C2} = 1,3 \text{ V}$.

A **Fig.6** ilustra a dependência temporal da tensão de saída para $V_{B1} = 0 \text{ V}$.

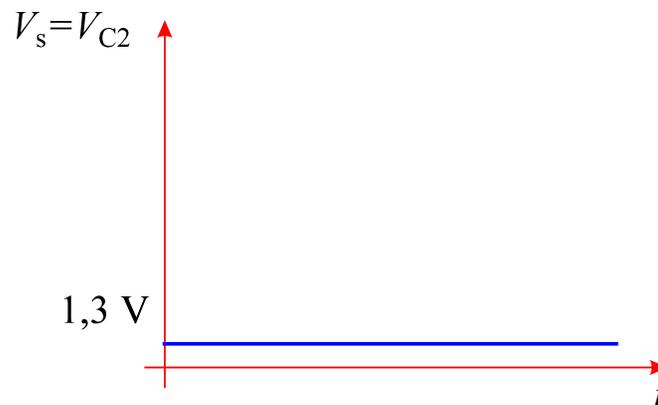


Fig.6 Dependência temporal da tensão de saída na condição $V_{\text{ent}} = V_{B1} = 0 \text{ V}$.

Na condição de saturação de T_2 , a corrente I_{E2} , indicada na **Fig.5**, pode ser determinada pela expressão

$$I_{E2} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{C2} + R_E} \quad (1)$$

onde $V_{CE,sat} = 0,3V$ para transistores de silício.

CASO 2: COM SINAL DE ENTRADA

O estado do circuito mostrado na **Fig.5** é estável e só pode ser alterado pela aplicação de um determinado valor de tensão na base de T_1 . Esse valor de tensão pode ser obtido, por exemplo, com o emprego de um potenciômetro conectado à base de T_1 , conforme ilustrado na **Fig.7**.

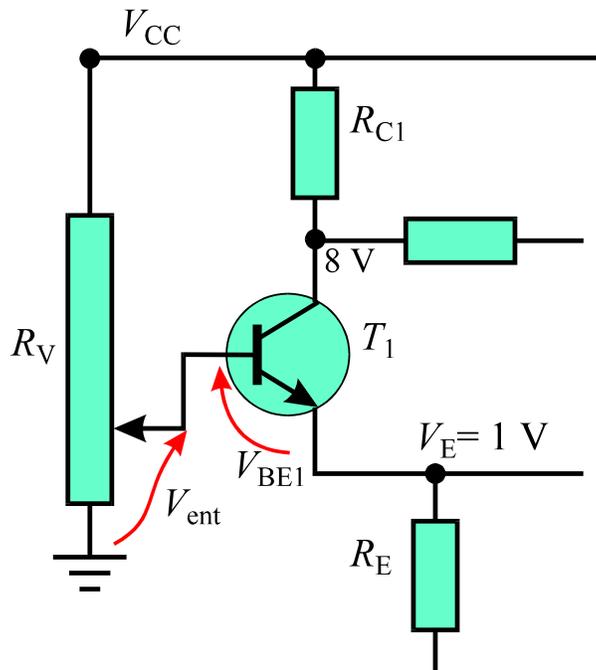


Fig.7 Emprego de um potenciômetro para se obter uma variação de tensão na base do transistor T_1 .

Se a tensão V_{ent} , derivada do potenciômetro da **Fig.7** satisfaz à condição

$$V_{ent} < 1,5 V$$

obtém-se uma tensão base-emissor no transistor T_1 satisfazendo à condição

$$V_{BE1} = V_{ent} - V_E < 1,5 V - 1 V \Rightarrow V_{BE1} < 0,5 V$$

A condição $V_{BE1} < 0,5 \text{ V}$ mantém o transistor T_1 no regime de corte, e conseqüentemente, o circuito permanece estável com T_2 saturado, e com uma tensão de saída $V_{C2} = V_s = 1,3 \text{ V}$. Ou seja:

$$V_{\text{ent}} < 1,5 \text{ V} \Rightarrow V_{BE1} < 0,5 \text{ V} \Rightarrow V_{C2} = V_s = 1,3 \text{ V}$$

No momento em que a tensão de entrada atinge o valor $V_{\text{ent}} = 1,5 \text{ V}$, tem-se que $V_{BE1} = V_\gamma = 0,5 \text{ V}$. O parâmetro $V_\gamma = 0,5 \text{ V}$ se refere ao valor limite da tensão base-emissor de um transistor de silício que o coloca na iminência de condução. Um exame da **Fig.8** indica que, a iminência de condução de T_1 produz dois efeitos:

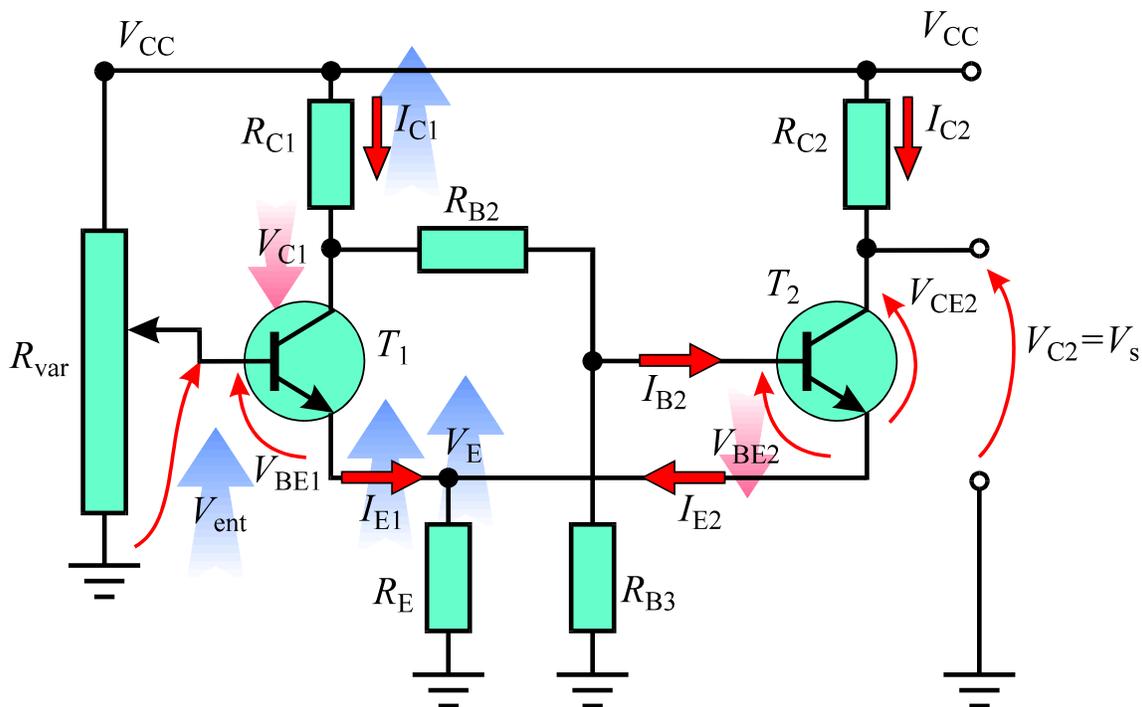


Fig.8 Efeitos produzidos no circuito da **Fig.7** na iminência de condução de T_1 .

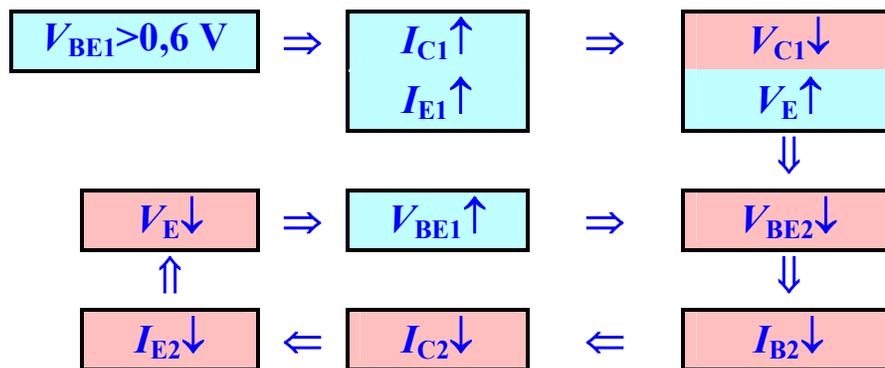
- A corrente no resistor R_E aumenta devido ao aumento da corrente I_{E1} proveniente de emissor de T_1 . Ocorre, portanto, um pequeno aumento na tensão V_E indicada na **Fig.8**.
- Aumenta a corrente de coletor I_{C1} o que provoca um acréscimo na tensão sobre o resistor R_{C1} . Dado que $V_{C1} = V_{CC} - R_{C1}I_{C1}$, a tensão V_{C1} diminui.

Uma vez que o regime de operação de T_2 é determinado pelas tensões V_E e V_{C1} , à medida que V_E aumenta, V_{C1} diminui, o que provoca um decréscimo na

tensão V_{BE2} , conforme ilustrado na **Fig.8**. O transistor T_2 permanecerá saturado enquanto a corrente de base I_{B2} for superior ao valor de saturação.

Com base na **Fig.8**, quando a tensão de entrada atingir um valor tal que T_1 conduza mais fortemente, o que ocorre para $V_{BE1} \cong 0,6$ V, a tensão V_{C1} começa a diminuir rapidamente, provocando um rápido decréscimo na corrente I_{B2} , o que a torna insuficiente para manter T_2 saturado. Isso faz que T_2 comece a sair da saturação em direção ao regime de corte, o que provoca uma rápida diminuição na corrente I_{E2} e conseqüentemente na tensão V_E . Com a redução na tensão V_E , aumenta o valor de V_{BE1} o que coloca T_1 ainda mais no regime de condução.

Essa seqüência de eventos leva rapidamente T_2 ao regime de corte e T_1 à saturação, conforme ilustrado no diagrama seguinte.



O ciclo de realimentação indicado no diagrama anterior prossegue até que T_1 esteja plenamente saturado, com $V_{BE1} \approx 0,7$ V e T_2 , no regime de corte com $V_{CE2} \approx 0,3$ V.

Dessa forma, o circuito se mantém estável mesmo que a tensão de entrada continue aumentando, conforme ilustrado na **Fig.9**.

Antes de prosseguir na análise, é necessário observar um aspecto importante na escolha dos elementos de polarização dos dois transistores do disparador Schmitt, mostrado na **Fig.10**.

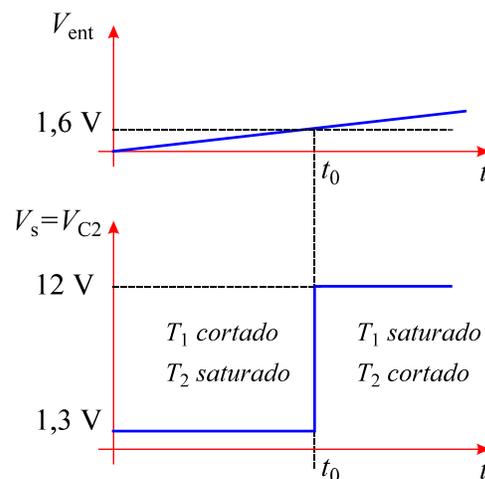


Fig.9 Tensões de entrada e saída no circuito da **Fig.8**.

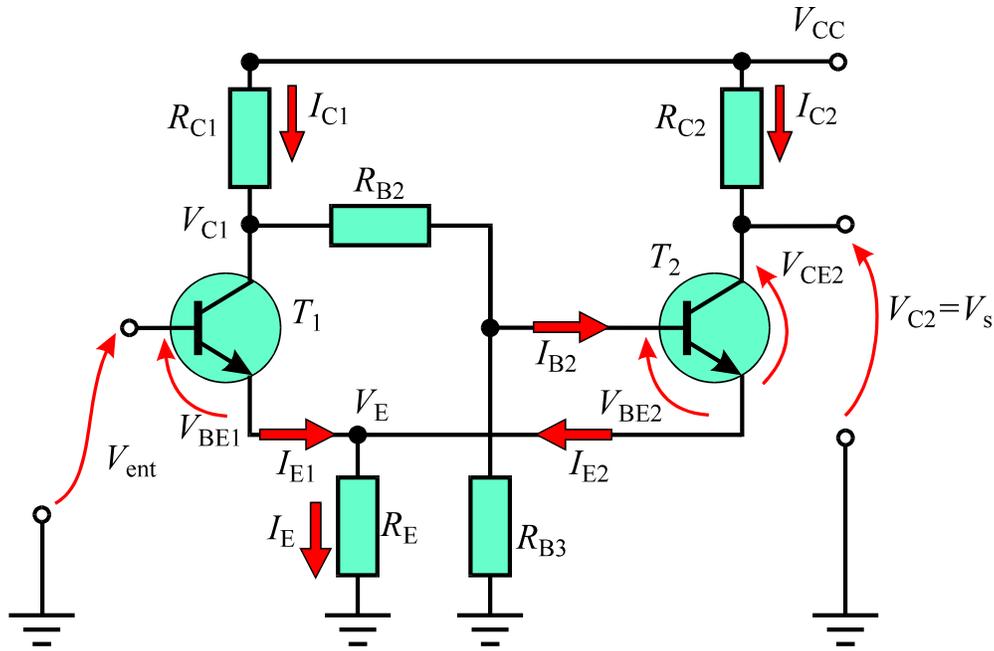


Fig.10 Circuito do disparador Schmitt.

Em geral, a resistência do resistor R_{C1} é 4 a 5 vezes maior que aquela do resistor R_{C2} . Dessa forma, nos dois estados possíveis do circuito, tem-se que:

T_1 saturado e T_2 no regime de corte

Denotando-se a corrente e a tensão no resistor R_E por I_{E12} e V_{E12} , respectivamente, da **Fig.10** tem-se que:

$$I_{C1} \approx I_{E1} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{C1} + R_E}$$

$$I_{E2} \approx 0$$

$$\Rightarrow I_E \equiv I_{E12} = I_{E1} + I_{E2} \approx \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{C1} + R_E}$$

$$\Rightarrow V_E \equiv V_{E12} = R_E I_{E12} = R_E \left(\frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{C1} + R_E} \right)$$

T_2 saturado e T_1 no regime de corte

Denotando-se a corrente e a tensão no resistor R_E por I_{E21} e V_{E21} , respectivamente, da **Fig.10** tem-se que:

$$I_{C2} \approx I_{E2} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{C2} + R_E}$$

$$I_{E1} \approx 0$$

$$\Rightarrow I_E \equiv I_{E21} = I_{E1} + I_{E2} \approx \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{C2} + R_E}$$

$$\Rightarrow V_E \equiv V_{E21} = R_E I_{E21} = R_E \left(\frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{C2} + R_E} \right)$$

Os dois resultados obtidos anteriormente implicam a seguinte conclusão:

$$\begin{array}{c} \boxed{R_{C1} > R_{C2}} \\ \Downarrow \\ \boxed{R_E \left(\frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{C1} + R_E} \right) < R_E \left(\frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{C2} + R_E} \right)} \\ \Downarrow \\ \boxed{V_{E12} < V_{E21}} \end{array}$$

Assim, para $R_{C1} > R_{C2}$, a queda de tensão no resistor R_E assume seu menor valor com T_1 saturado e T_2 no regime de corte.

A **Fig.11** mostra um exemplo de valores de tensão que poderiam estar presentes em alguns pontos do disparador Schmitt no estado correspondente a T_1 saturado e T_2 no regime de corte. Nesse exemplo, $V_E = 0,3$ V, o que corresponde a um valor cerca de 3 vezes inferior àquele indicado na **Fig.5**.

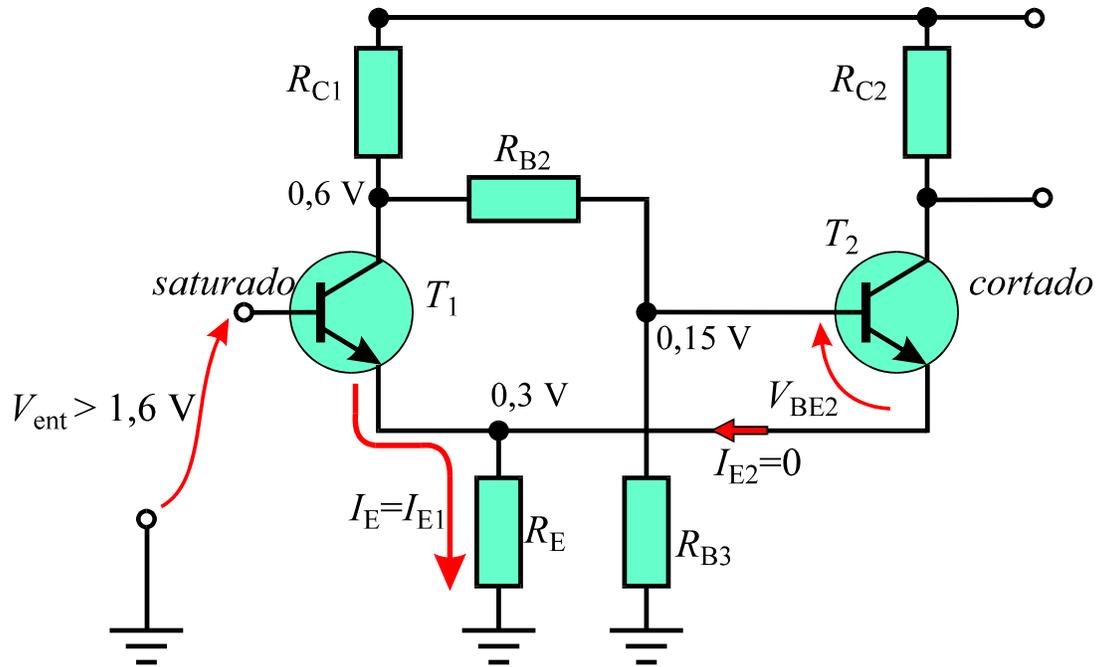


Fig.11 Exemplo de valores típicos de tensão em pontos do circuito da **Fig.10** após a transição de T_1 do corte à saturação.

Para que o circuito volte ao estado inicial, com T_2 saturado, é necessário que a tensão de entrada diminua o suficiente para levar o transistor T_1 ao regime de corte. Isso implica a obtenção de uma tensão $V_{BE1} < 0,5 \text{ V}$. Com base nos valores indicados na **Fig.11**

$$V_{\text{ent}} = V_{BE1} + V_E \Rightarrow V_{BE1} = V_{\text{ent}} - V_E = V_{\text{ent}} - 0,3 \text{ V}$$

de modo que

$$V_{BE1} < 0,5 \text{ V} \Rightarrow V_{\text{ent}} - 0,3 \text{ V} < 0,5 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{\text{ent}} < 0,8 \text{ V}$$

Dessa forma, a partir do instante de tempo em que a tensão de entrada se torna inferior a $0,8 \text{ V}$, o transistor T_1 entra rapidamente no regime de corte, o que provoca a saturação de T_2 . A **Fig.12** ilustra o tipo de sinal obtido na saída do disparador Schmitt, para variações lineares da tensão de entrada como função do tempo.

CURVA DE TRANSFERÊNCIA

A **Fig.13** mostra a **curva de transferência** do circuito, que representa a dependência da tensão de saída com relação à tensão de entrada. A seta para cima por sobre a linha tracejada indica que um aumento na tensão V_{ent} além do valor limite de 1,6 V provoca a transição de estados, que corresponde a uma mudança brusca na tensão de saída de 1,3 V para 12 V. A seta para baixo indica que uma redução na tensão V_{ent} abaixo do valor limite de 0,8 V provoca a segunda transição de estados, que corresponde a uma mudança brusca na tensão de saída de 12 V para 1,3 V.

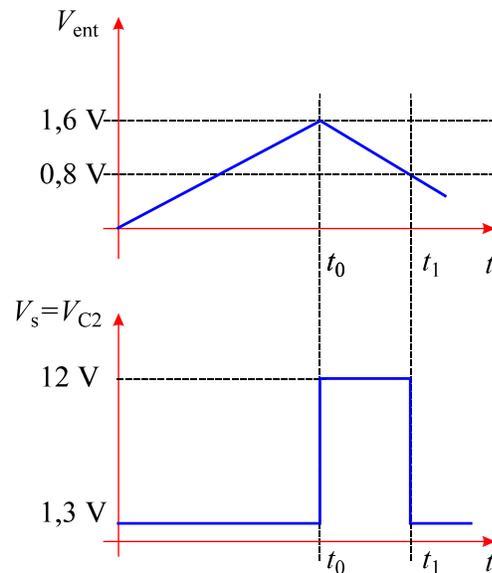


Fig.12 Sinal de saída do disparador Schmitt, para variações lineares no tempo da tensão de entrada.

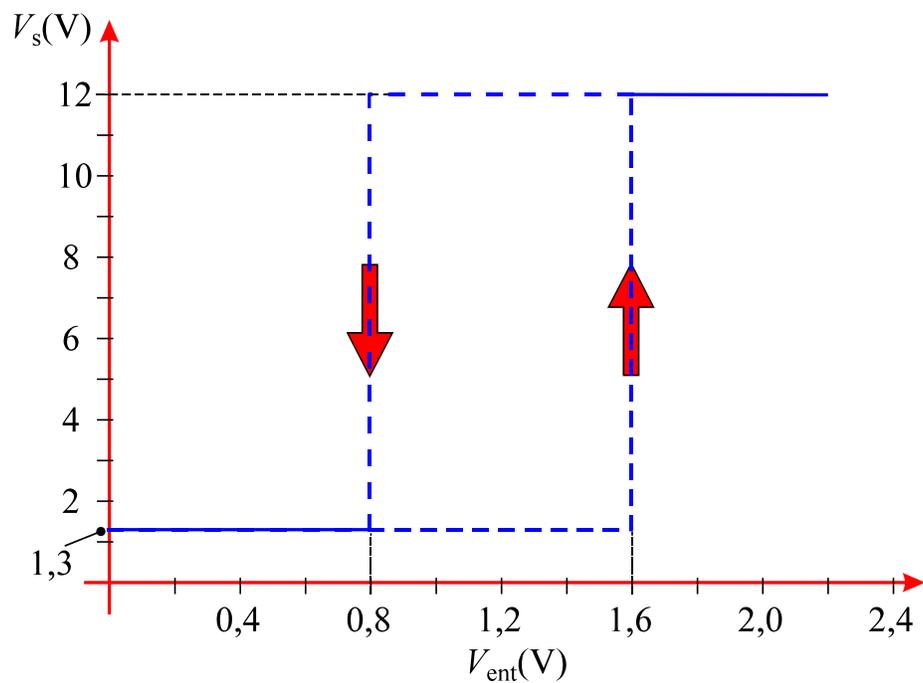


Fig.13 Curva de transferência de um disparador Schmitt.

Existe uma peculiaridade na curva de transferência mostrada na **Fig.13**, uma vez que o simples conhecimento do nível de tensão na entrada não é suficiente para determinar o valor da tensão de saída.

Por exemplo, para a tensão de entrada de 1,2V indicada na **Fig.14**, a saída poderia ser 1,3 ou 12 V. Se fosse conhecido, por exemplo, que a tensão de entrada foi variada de um valor inicial de 0,7 V até o valor de 1,2 V, poder-se-ia afirmar, com segurança, que a tensão de saída no circuito seria de 1,3 V. Se por outro lado, fosse já conhecido que a tensão de entrada estivesse diminuindo de um valor de 2 V, até atingir o valor de 1,2 V, a resposta com certeza seria uma tensão de saída de 12 V.

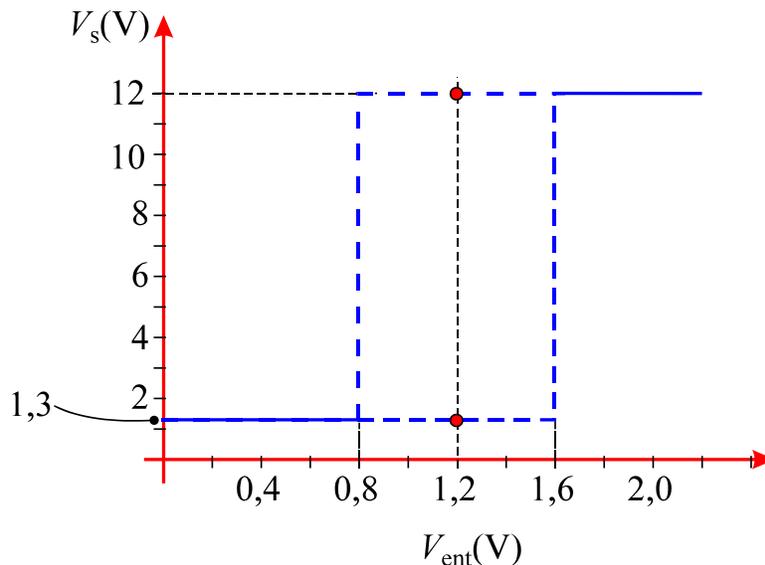


Fig.14 Incerteza na determinação da tensão de saída do disparador Schmitt, para uma tensão de entrada de 1,2 V.

Esse exemplo serve para demonstrar que o disparador Schmitt tem **memória**, ou seja, o tipo de resposta do sistema depende da **história passada do sinal de entrada**.

Pode-se, portanto, dividir a característica de transferência mostrada na **Fig.14**, em três regiões:

- $V_{ent} > 1,6 \text{ V} \Rightarrow V_s = 12 \text{ V}$;
- $V_{ent} < 0,8 \text{ V} \Rightarrow V_s = 1,3 \text{ V}$;
- $0,8 \text{ V} < V_{ent} < 1,6 \text{ V} \Rightarrow V_s$ poderá assumir dois valores, cuja determinação só poderá ser feita, conhecendo-se a história passada do sinal de entrada.

Quando mais de um nível de entrada provoca troca de estados em um sistema, conforme evidenciado na característica de transferência do disparador Schmitt, diz-se que o sistema exibe **histerese**.

ALTERAÇÃO DO CICLO DE HISTERESE NO DISPARADOR SCHMITT

Em muitas ocasiões a existência de histerese em um sistema pode ser indesejável, tornando-se necessário reduzi-la ao máximo.

Uma das formas de reduzir a histerese no disparador Schmitt é alterando o ganho do circuito através do resistor de coletor de T_1 . Entretanto, esse procedimento pode tornar o circuito instável.

Uma outra possibilidade consiste em acrescentar um resistor em série com o emissor de apenas um dos transistores. A **Fig.15** mostra uma possível configuração do disparador Schmitt, tendo um resistor em série com o emissor de T_1 .

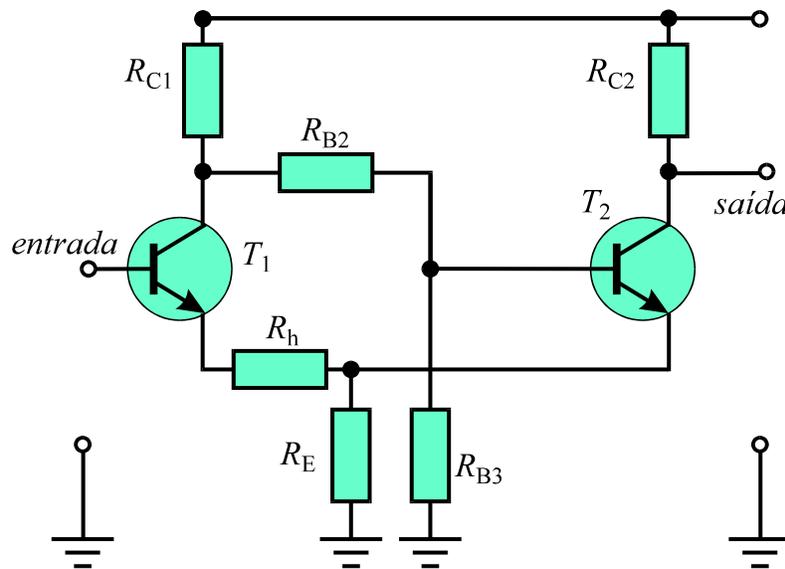


Fig.15 Configuração alternativa do disparador Schmitt para redução da histerese do circuito.

Na forma indicada na **Fig.15**, o resistor adicional não altera o comportamento de T_2 . Permanece assim inalterado o valor V_1 da tensão de entrada que promove a transição de T_2 da saturação ao corte.

Já o nível de tensão V_2 que promove a transição de T_1 da saturação ao corte torna-se maior com o acréscimo do resistor, resultando em uma redução da histerese.

A **Fig.16** ilustra a alteração na histerese de um disparador Schmitt, resultante da adição de um resistor em série com o emissor de T_1 .

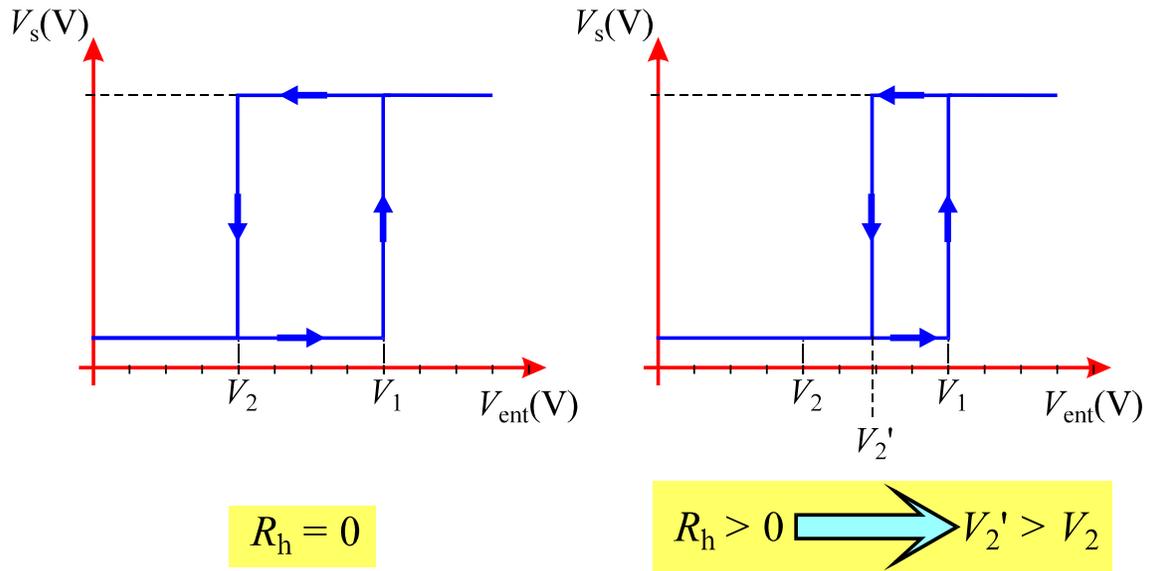


Fig.16 Alteração da histerese de um disparador Schmitt a partir da modificação indicada na **Fig.15**.

Pode-se também diminuir o efeito da histerese pela adição de um resistor em série com o emissor de T_2 , conforme indicado na **Fig.17**.

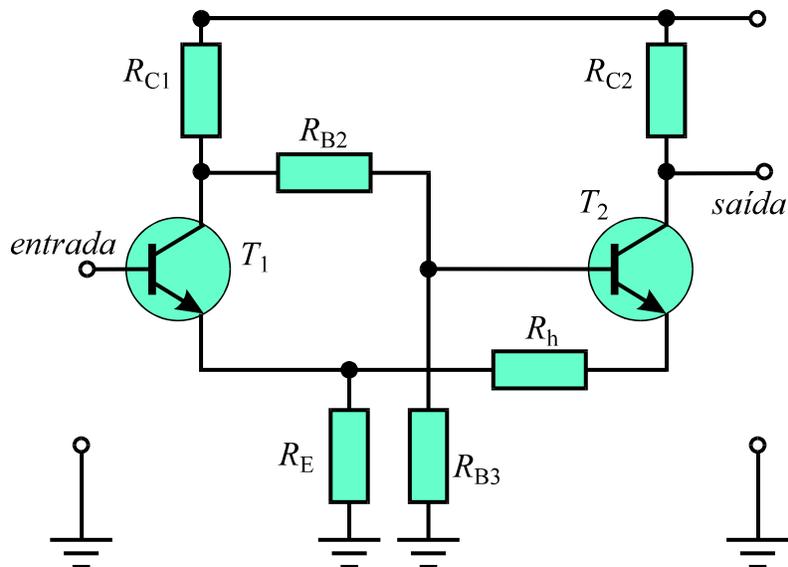


Fig.17 Disparador Schmitt com a adição de um resistor em série com o emissor de T_2 para redução da histerese.

Nessa situação V_2 permanece inalterada, ao passo que V_1 diminui, conforme mostrado na **Fig.18**.

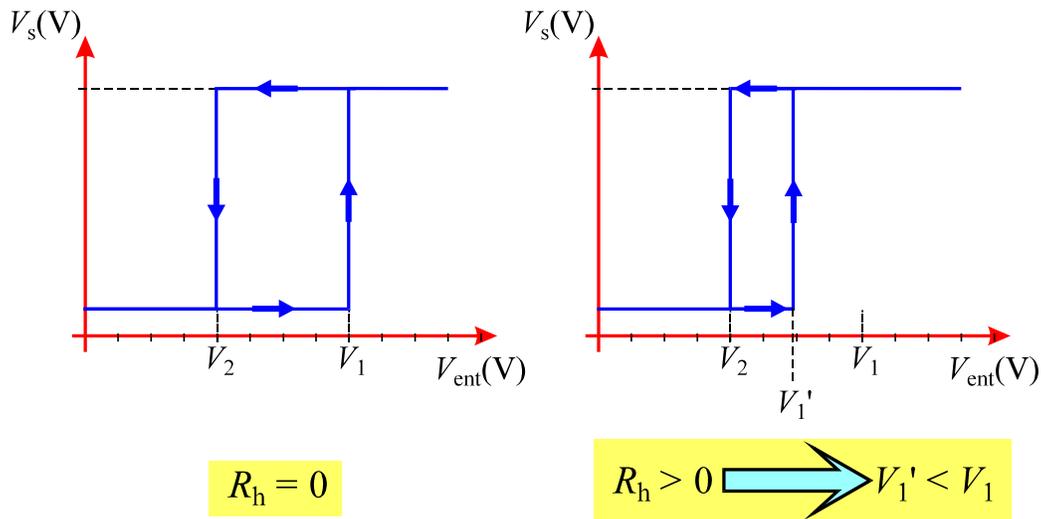


Fig.18 Alteração da histerese de um disparador Schmitt a partir da modificação indicada na **Fig.17**.

O valor de resistência R_h do resistor série adicionado ao circuito, pode ser determinado aproximadamente a partir da expressão,

$$R_h = \frac{\Delta V_{original} - \Delta V_{desejado}}{I_E} \quad (2)$$

onde:

- $\Delta V_{original}$ é a largura da histerese, obtida da característica de transferência do circuito original.
- $\Delta V_{desejado}$ é o valor desejado da largura da histerese.
- I_E é a corrente de emissor associada ao transistor cujo emissor é conectado ao resistor R_h .

Exemplo 1: Determinar o valor da resistência R_h de forma a alterar a histerese de um disparador Schmitt, de acordo com as informações contidas na **Tabela 1**.

Tabela 1 Dados referentes ao **Exemplo 1**.

Parâmetro	Circuito original	Circuito com resistor R_h
V_1	2,5 V	2,5 V
V_2	1,8 V	2,3 V
I_E	3 mA	

De acordo com os dados da **Tabela 1**, V_1 permanece inalterado, e conseqüentemente R_h deve ser adicionado em série com o emissor de T_1 . A corrente I_E indicada na **Tabela 1** corresponde, portanto, à corrente de emissor de T_1 . Com esses dados, tem-se que:

$$\Delta V_{\text{original}} = 2,5 - 1,8 = 0,7 \text{ V}$$

$$\Delta V_{\text{desejado}} = 2,5 - 2,3 = 0,2 \text{ V}$$

e utilizando a **Eq.(2)**, obtém-se

$$R_h = \frac{0,7 - 0,2}{0,003} = \frac{0,5}{0,003} = 166 \Omega$$

É virtualmente impossível eliminar completamente a histerese, devendo-se, no máximo, procurar a melhor solução possível. Se os valores desejados fossem $V_1 = V_2 = 2,5 \text{ V}$, o valor da resistência R_h seria

$$R_h = \frac{0,7 - 0}{0,003} = \frac{0,7}{0,003} = 233 \Omega$$

Neste último caso, o arredondamento no valor de R_h deve ser realizado para menos, de forma a garantir uma histerese mínima e evitar instabilidades no circuito.

APLICAÇÕES DO DISPARADOR SCHMITT

O disparador Schmitt é utilizado principalmente na conversão de sinais analógicos em digitais. Considere-se, por exemplo, um disparador Schmitt exibindo a curva de transferência mostrada na **Fig.19**.

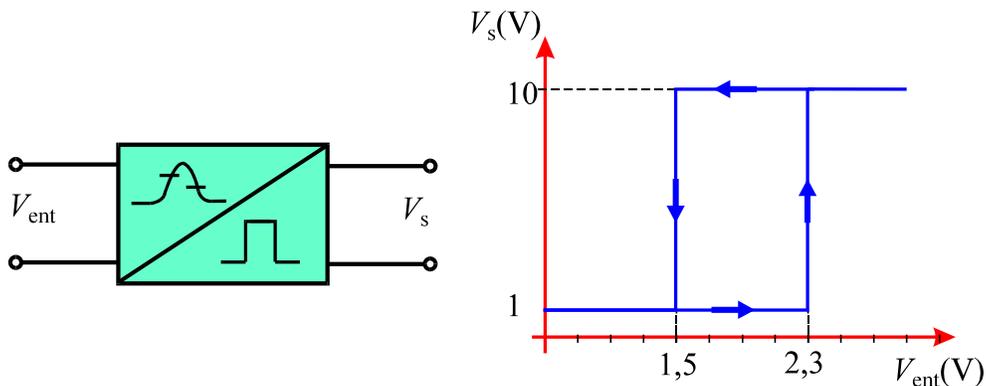


Fig.19 Disparador Schmitt e sua curva de transferência.

Se fosse aplicada na entrada do disparador uma tensão *ca* com $V_{\text{máx}} = 3 \text{ V}$, com base na curva de transferência mostrada na **Fig.19**, a saída do disparador forneceria uma seqüência de pulsos retangulares, conforme indicado na **Fig.20**. Verifica-se que para $V_{\text{ent}} \geq 2,3 \text{ V}$, é gerado um pulso de 10 V na saída. Quando a entrada é inferior a 1,5 V a saída se mantém em 1 V. Como se pode observar na **Fig.20** o trem de pulsos tem a mesma freqüência do sinal de entrada.

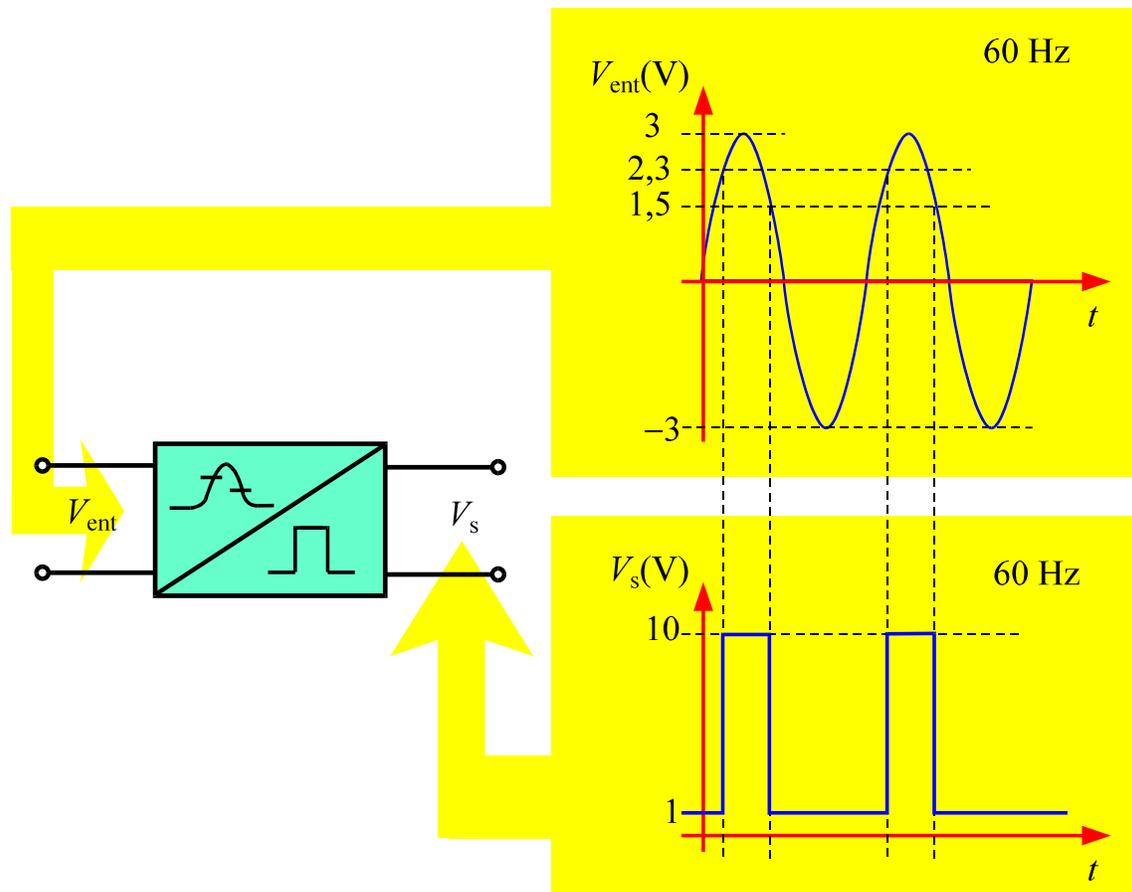


Fig.20 Sinal gerado na saída do disparador Schmitt da **Fig.19**, para um sinal senoidal aplicado à entrada.

Para proteger a entrada do circuito quando a tensão de entrada se torna negativa, pode-se utilizar um retificador de meia onda na entrada do disparador, conforme ilustrado na **Fig.21**.

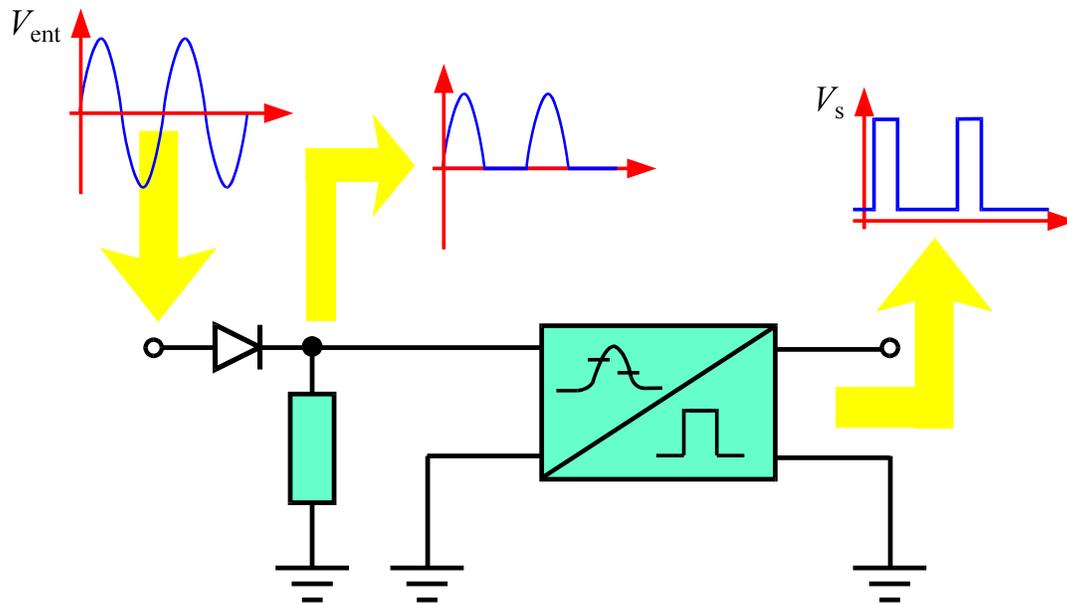


Fig.21 Uso de um retificador de meia onda para proteção do disparador Schmitt.

O circuito mostrado na **Fig.21** é muito utilizado para servir como gerador de pulsos para relógios eletrônicos, que utilizam a rede elétrica de 60 Hz. O mesmo circuito pode ser utilizado para disparar em valores mais altos da tensão de entrada utilizando um divisor de tensão, na forma indicada na **Fig.22**.

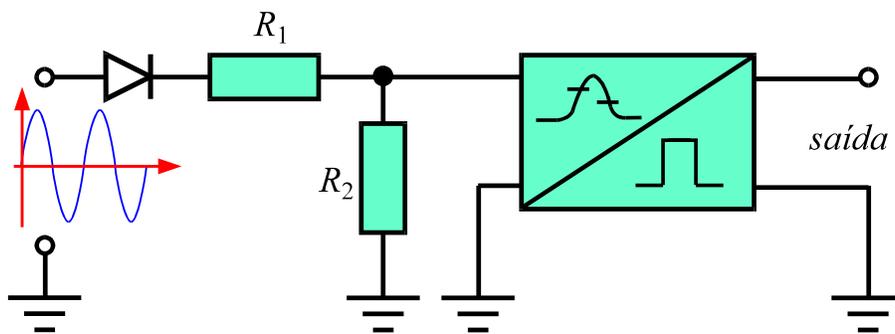


Fig.22 Circuito da **Fig.21** com a adição de um divisor de tensão para permitir o disparo do circuito em níveis mais altos da tensão de entrada.

A adição dos resistores do divisor de tensão da **Fig.22** não altera as tensões de disparo V_1 e V_2 . No entanto, os níveis de tensão de entrada para provocar os disparos dependem da relação entre R_2 e R_1 .

O disparador Schmitt pode também ser utilizado no acionamento de relés, largamente empregados no controle de cargas de alta potência. A **Fig.23** mostra um disparador Schmitt com um relé substituindo o resistor de coletor de T_2 .

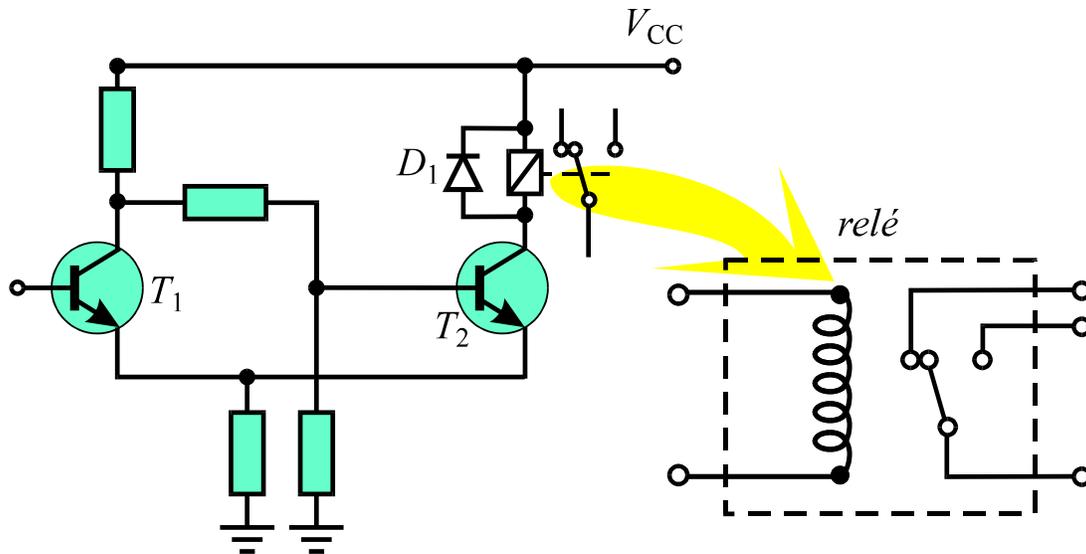


Fig.23 Disparador Schmitt utilizado para o acionamento de um relé.

No circuito da **Fig.23**, enquanto T_2 está saturado a corrente I_{C2} circula através da bobina do relé que fica acionado. Aplicando um determinado valor de tensão de entrada, T_1 satura e T_2 entra no regime de corte. A corrente I_{C2} torna-se praticamente nula, desativando o relé.

A vantagem no uso do relé reside no fato de seus contatos estarem isolados eletricamente da bobina, conforme ilustrado na **Fig.23**. Isso possibilita que o relé seja acionado por um circuito eletrônico em *cc* e controle cargas em *ca*.

A **Fig.24** mostra um disparador Schmitt utilizado para controlar uma lâmpada incandescente e os gráficos de comportamento da tensão V_{C2} em função das variações da tensão de entrada.

Um aspecto importante a se observar nos circuitos das **Figs.23 e 24** é a presença do diodo em paralelo com a bobina do relé. Esse diodo é utilizado para proteger o transistor das sobretensões geradas, por auto-indução, toda vez que a bobina do relé é desenergizada. O diodo, que normalmente está polarizado inversamente, conduz apenas quando a auto-indução dá origem a uma força contra-eletromotriz na bobina, impedindo que o transistor seja danificado.

 **Toda vez que um indutor for operado em chaveamento por um transistor é mandatório o uso do diodo de proteção.**

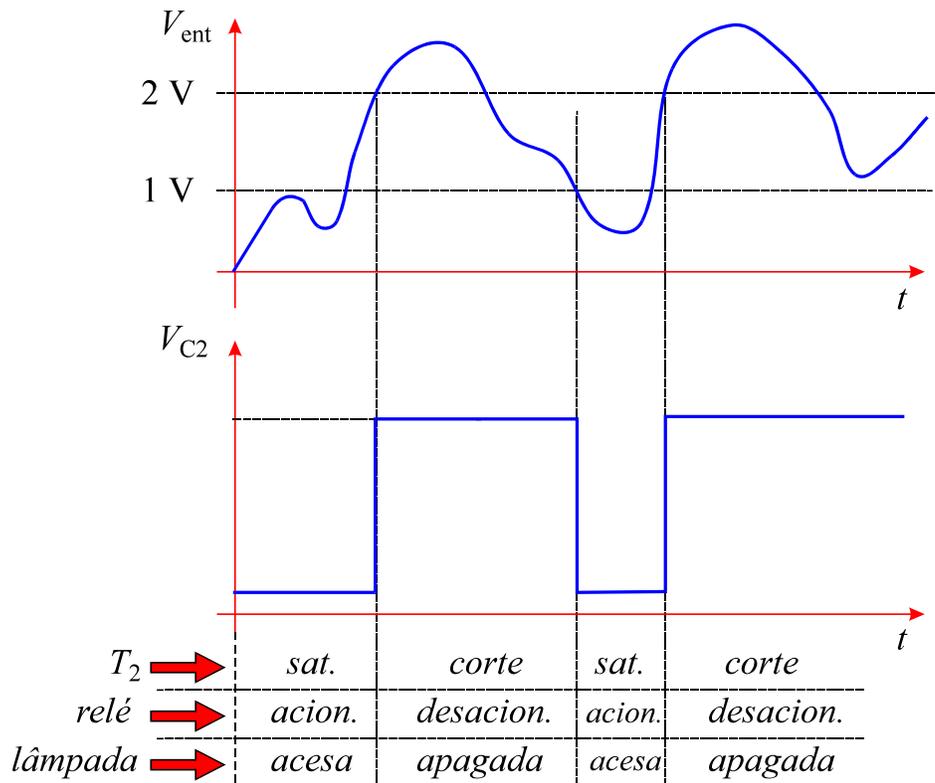
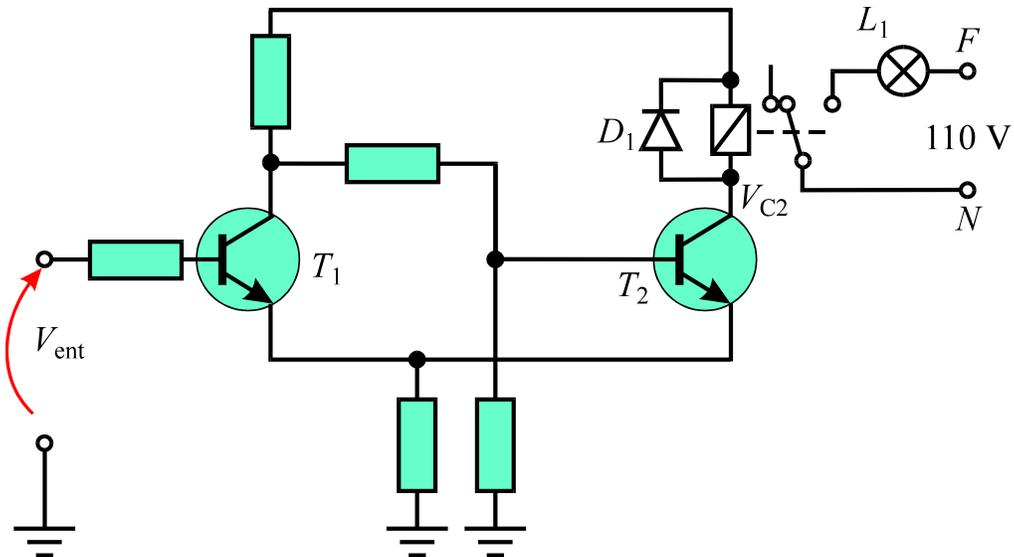


Fig.24 Disparador Schmitt utilizado para o acionamento de uma lâmpada incandescente.

A **Fig.25** mostra as formas corretas de conexão do diodo em paralelo com o indutor, para o caso de transistores *npn* e *pnp*.

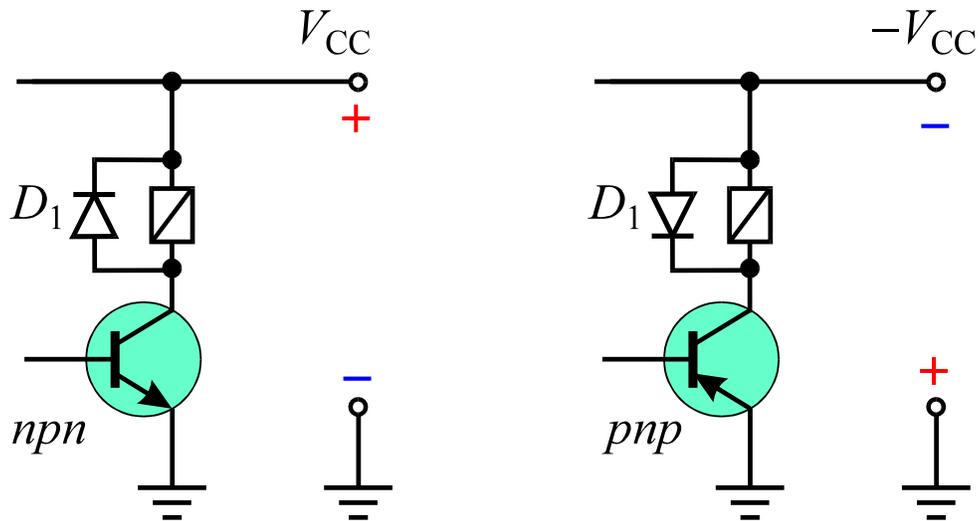


Fig.25 Formas corretas de conexão de um diodo em paralelo com o indutor para circuitos empregando transistores *npn* e *pnp*.

Apêndice

QUESTIONÁRIO

1. Qual é a característica de circuito que diferencia um disparador Schmitt de um multivibrador biestável?
2. Faça um diagrama ilustrativo da curva de transferência de um disparador Schmitt.
3. Para um disparador Schmitt tendo a curva de transferência mostrada na **Fig.13**, determinar a tensão de saída nos seguintes casos:
 - (a) $V_{\text{ent}} = 0,5 \text{ V}$.
 - (b) $V_{\text{ent}} = 3,0 \text{ V}$.
 - (c) $V_{\text{ent}} = 1,4 \text{ V}$.
 - (d) Admitindo que V_{ent} tenha aumentado de um valor inicial nulo até o valor final de $1,4 \text{ V}$.
 - (e) Admitindo que V_{ent} tenha diminuído de $3,0 \text{ V}$ até o valor final de $1,4 \text{ V}$.
4. Qual é a característica principal de um sistema que exhibe histerese?
5. Que técnica é empregada para modificação da histerese de um disparador Schmitt?
6. Cite algumas aplicações do disparador Schmitt.

BIBLIOGRAFIA

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

MILLMANN, Jacob & TAUB, Herbert, Circuitos de pulsos, digitais y de commutacion, México, Libros Mc Graw Hill do Brasil, (1977).

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