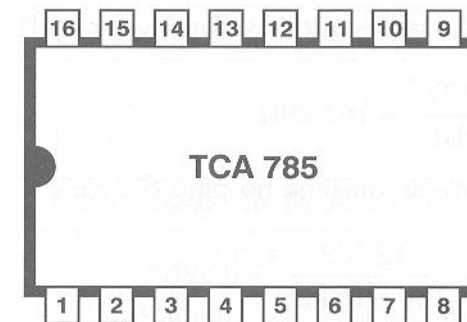


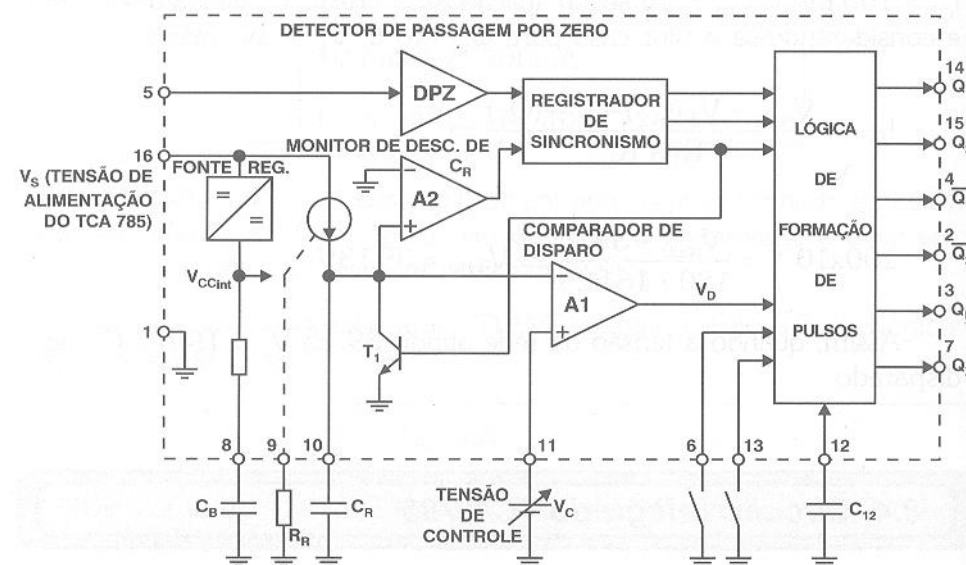
8.4 Circuito Integrado TCA 785

A grande utilização de circuitos tiristorizados, associada à similaridade dos circuitos de disparo, deu margem ao aparecimento de **circuitos integrados de disparo**. A finalidade desses circuitos integrados é a de facilitar o projeto de circuitos de disparo e torná-los mais compactos e confiáveis.

Em muitos aparelhos usados industrialmente, destaca-se a utilização do circuito integrado TCA785 da Siemens, mostrado na Figura 8.8, que será estudado a seguir.



(a) CI - TCA785



(b) Diagrama de blocos

Figura 8.8 - Circuito integrado de disparo TCA785.

Leitor(a) - Que complicado! Como isso funciona? É preciso conhecer tudo o que tem dentro dele?

Autor - Não, logo veremos que seu uso é bem simples.

O circuito interno será explicado apenas para fixar o conceito do disparo por pulsos. Além disso, o conhecimento de como o TCA785 funciona ajuda a entender os circuitos de disparo e como projetá-los.

A Figura 8.9 mostra uma parte do diagrama de blocos do TCA785.

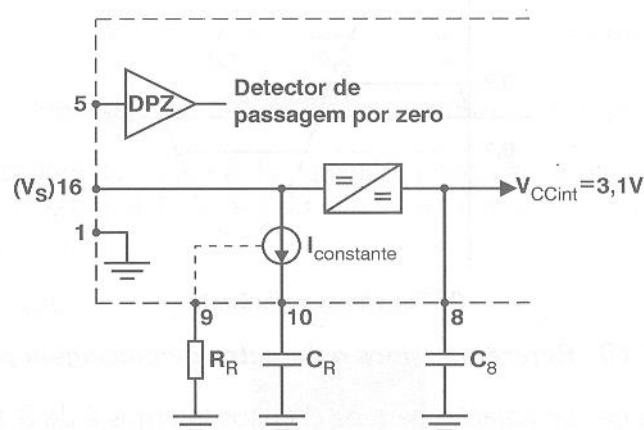
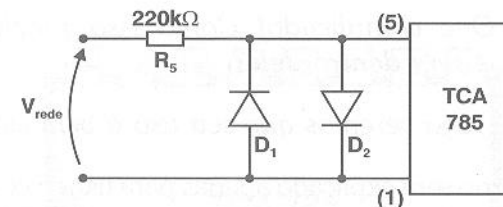


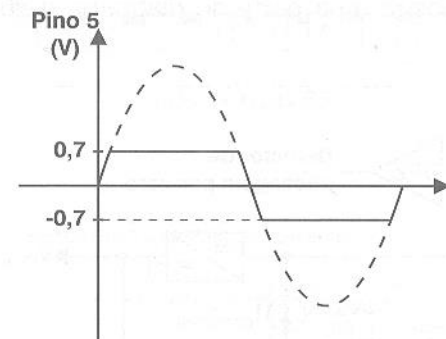
Figura 8.9 - Detalhe parcial do TCA785.

Todo circuito de disparo, em retificadores controlados, deve ser **sincronizado** com a rede, ou ocorrerá o disparo aleatório dos tiristores, uma vez que cada pulso será aplicado num instante diferente, que não está relacionado com a tensão da rede.

Um ponto de referência para sincronismo é a **passagem da rede por zero**. Isso ocorre a cada 8,33 ms, aproximadamente, em redes de 60Hz. No TCA785 existe um **detector de passagem por zero** (bloco DPZ), que gera um pulso de sincronismo toda vez que a tensão da rede passa por zero. A entrada para a tensão de referência de sincronismo é no pino 5, como mostra a Figura 8.10.



(a) Conexão da referência



(b) Tensão de referência

Figura 8.10 - Referência para o detector de passagem por zero.

A fonte de alimentação para os circuitos internos é de 3,1V, regulada pelo próprio TCA785, a partir da tensão de alimentação do circuito integrado (V_S). Isso permite que o CI possa ser alimentado com diversos níveis de tensão ($8V \leq V_S \leq 18V$).

A tensão de 3,1V está também disponível externamente (pino 8), podendo ser filtrada (por C_8 , na Figura 8.9) para reduzir a ondulação.

A base de sincronismo é um **gerador de rampa**, cuja característica é ajustada por R_R e C_R , nos pinos 9 e 10 respectivamente.

Leitor(a) - O que é gerador de rampa?

O gerador de rampa fornece uma tensão que varia **linearmente** com o tempo (reta). Ou seja, a tensão dobra se o intervalo de tempo dobrar. Em outras palavras, a tensão cresce proporcionalmente ao aumento do tempo, como se vê, por exemplo, na Figura 8.11.

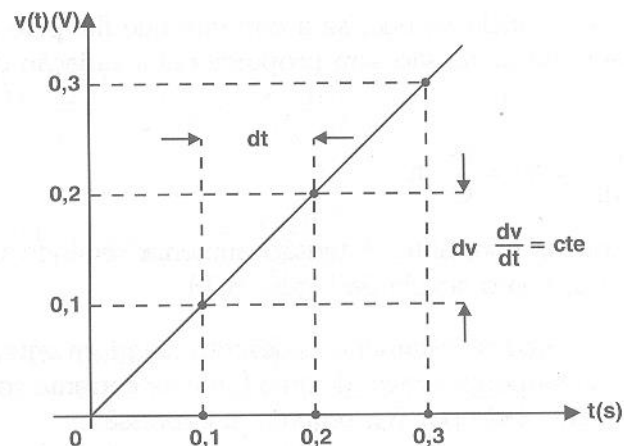


Figura 8.11 - Saída de um gerador de rampa.

Pelo gráfico da Figura 8.11, quando a variação de tempo for de 0,1s (por exemplo, de 0s a 0,1s ou de 0,2s a 0,3s), a variação de tensão será sempre a mesma (0,1V).

Um capacitor é regido pela expressão:

$$i_C = C \cdot \frac{dv}{dt}$$

sendo **dv** uma pequena variação de tensão e **dt** uma pequena variação de tempo.

A interpretação da equação do capacitor é que, havendo variação da tensão no tempo (dv/dt), haverá corrente circulando pelo capacitor. Além disso, essa corrente será proporcional ao valor do capacitor.

Exemplo

Se $dv = 100\text{mV}$ e $dt = 0,1\text{ms}$, isso significa que, em 0,1ms, a tensão nos terminais do capacitor variou de 100mV. Neste caso, sendo o capacitor de $1\mu\text{F}$, de acordo com a expressão anterior, a corrente pelo capacitor será de:

$$I_C = C \cdot \frac{dv}{dt} \Rightarrow I_C = 1 \times 10^{-6} \times \frac{100 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-3}} \Rightarrow I_C = 1\text{mA}$$

De tudo isso conclui-se que, se a corrente que flui pelo capacitor for constante, a variação de tensão será proporcional à variação do tempo, ou seja:

$$I_C = C \cdot \frac{dv}{dt} \Rightarrow dv = \frac{I_C}{C} \cdot dt$$

Assim, com I_C constante, a tensão aumenta segundo uma reta em relação ao tempo, como aquela da Figura 8.11.

No TCA785 ocorre justamente o descrito anteriormente. O capacitor C_R é carregado linearmente através de uma fonte de corrente constante, cujo valor pode ser controlado por R_R , segundo a expressão:

$$I_{CR} = \frac{V_{CCint} \cdot K}{R_R}$$

em que $K = 1,1$ e $V_{CCint} = 3,1\text{V}$.

Os valores mínimo e máximo de I_{CR} , respectivamente, $10\mu\text{A}$ e $1000\mu\text{A}$, devem ser observados. O mesmo ocorre com R_R , que deve estar entre $3\text{k}\Omega$ e $300\text{k}\Omega$.

Finalmente, a tensão V_{CR} da rampa, no capacitor C_R , cresce linearmente com o tempo, conforme a equação:

$$V_{CR} = \frac{I_{CR}}{C_R} \cdot t$$

Para o correto funcionamento do circuito devem ser considerados os valores mínimo e máximo de C_R , respectivamente, 500pF e $1\mu\text{F}$. Um valor elevado de C_R tornaria a descarga dele muito lenta, comprometendo o novo ciclo de carga e, conseqüentemente, o sincronismo do disparo.

Exemplo

Se $R_R = 100\text{k}\Omega$ e $C_R = 0,1\mu\text{F}$, tem-se:

↓

$$I_{CR} = \frac{V_{CCint} \cdot K}{R_R} \Rightarrow I_{CR} = \frac{3,1 \times 1,1}{100 \times 10^3} \Rightarrow I_{CR} = 34,1 \mu A$$

$$V_{CR} = \frac{I_{CR}}{C_R} \cdot t \Rightarrow V_{CR} = \frac{34,1 \times 10^{-6}}{0,1 \times 10^{-6}} \cdot t \Rightarrow V_{CR} = 341 \cdot t$$

Leitor(a) - Muito bem! Agora que eu já sei como gerar a rampa, o próximo passo é gerar o pulso de disparo, não é?

Autor - Sim, mas vamos devagar.

A tensão da rampa V_{CR} é comparada com a tensão de controle V_C , no pino 11 do TCA785, como mostra a Figura 8.12.

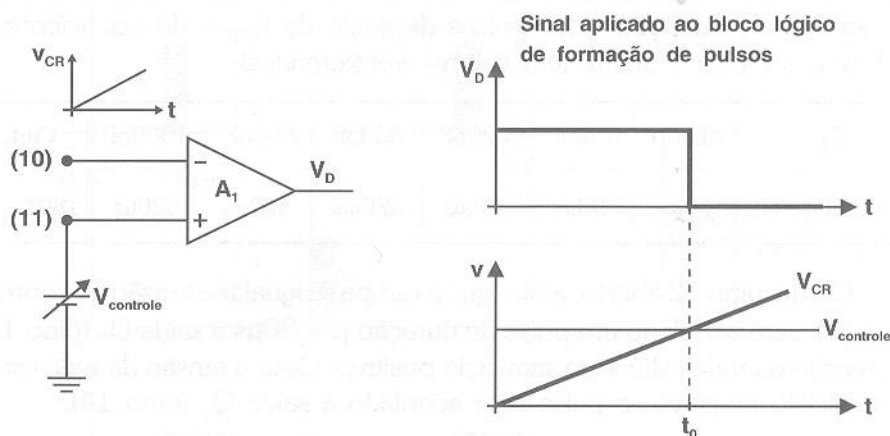


Figura 8.12 - Comparador de disparo do TCA785.

No instante t_0 , correspondente ao ângulo de disparo α em relação ao sinal da rede, quando as tensões se igualarem ($V_{CR} = V_C$), a **mudança** de estado na saída V_D do bloco Comparador de Disparo indicará ao bloco **Lógica de Formação de Pulsos**, que um pulso de disparo deve ser acoplado a uma de suas saídas.

A tensão da rampa V_{CR} está limitada a $(V_S - 2) V$, ou seja, 2V abaixo da tensão de alimentação.

O capacitor continua a se carregar até que, no próximo cruzamento por zero, o **Detector de Passagem por Zero** informe o evento ao **Registrador de Sincronismo**. Esse registrador gera um pulso de sincronismo que satura T_1 . Com T_1 saturado o capacitor do pino 10 (C_R) descarrega-se rapidamente, ficando preparado para o início da próxima rampa. A informação de passagem por zero só é liberada após a descarga de C_R , que é monitorada pelo bloco **A₂** (Monitor de Descarga de C_R).

Leitor(a) - Esse circuito integrado tem mais de uma saída?

O TCA785 possui uma saída Q_1 (pino 14) e outra Q_2 (pino 15) defasadas em 180° . Enquanto Q_1 serve para disparar um SCR no semiciclo positivo, Q_2 pode ser usada para disparar um segundo SCR no semiciclo negativo. Mas há ainda outras saídas, que logo serão explicadas.

Com as informações dos circuitos anteriores, o bloco **Lógica de Formação dos Pulsos** encarrega-se de colocar nas saídas a forma de pulso selecionada. A **duração** dos pulsos depende de C_{12} e do coeficiente β , conforme a tabela seguinte (em valores aproximados):

C_{12}	Aberto	150pF	220pF	330pF	680pF	1000pF	Curto
$\beta = 620 \mu s/nF$	$30 \mu s$	$93 \mu s$	$136 \mu s$	$205 \mu s$	$422 \mu s$	$620 \mu s$	$180^\circ - \alpha$

Com o pino 12 aberto, assim que a rampa se igualar à tensão de controle (pino 11), será acoplado um pulso de duração $\beta = 30 \mu s$ à saída Q_2 (pino 15), se a tensão da rede estiver no semiciclo positivo. Caso a tensão da rede esteja no semiciclo negativo, o pulso será acoplado à saída Q_1 (pino 14).

Se o pino 12 estiver curto-circuitado à terra, a largura dos pulsos será fixa, estendendo-se do instante do disparo até o início do próximo semiciclo. Com isso consegue-se um pulso longo, de duração $180^\circ - \alpha$, que é utilizado para garantir o disparo do tiristor em aplicações com carga indutiva.

Para cada valor de C_{12} mostrado na tabela, têm-se pulsos com outras durações, dadas pelo parâmetro β .

A Figura 8.13 mostra a formação dos pulsos em duas opções de duração.

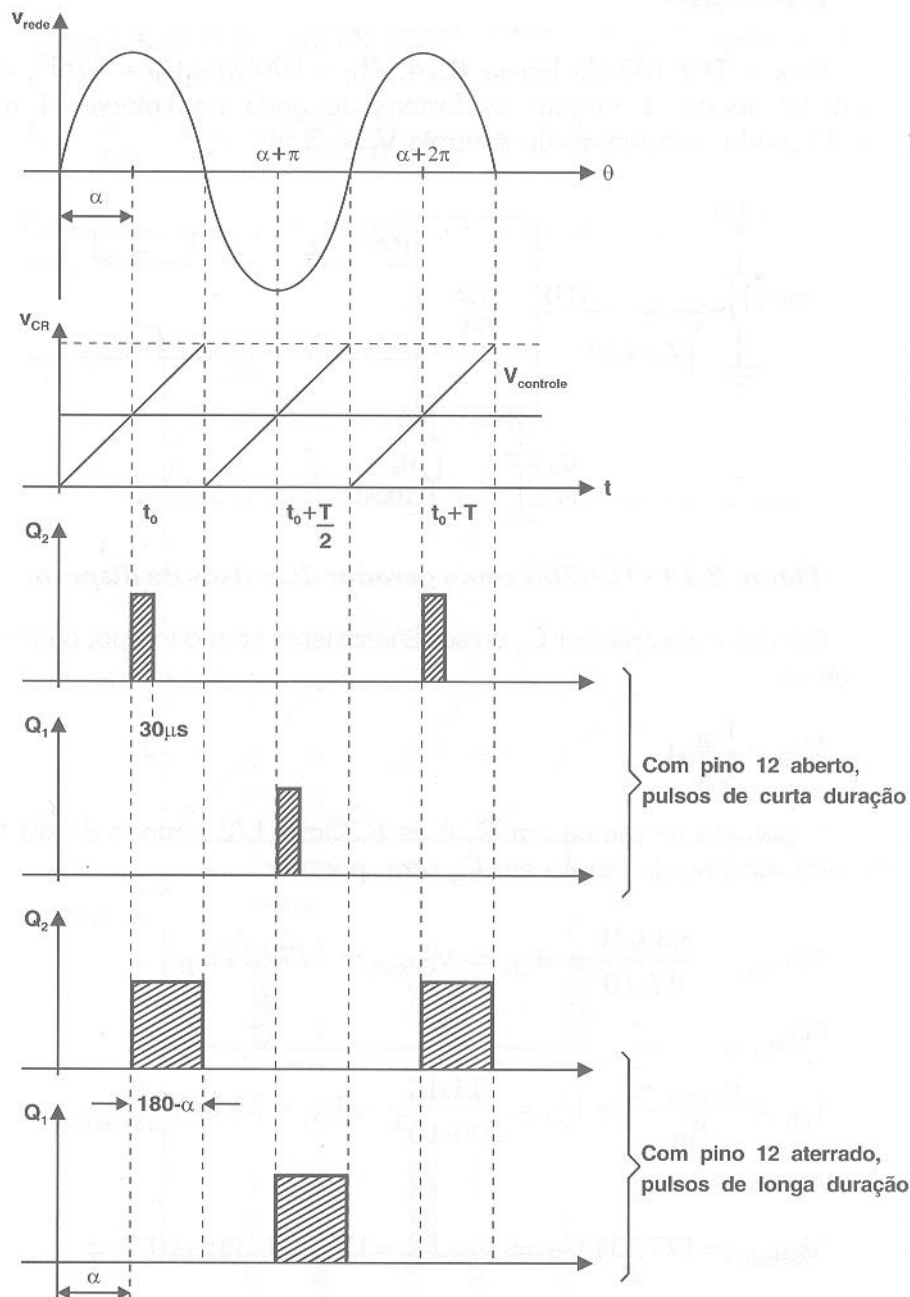


Figura 8.13 - Formação dos pulsos de disparo.

Exemplo

Para o TCA785 da Figura 8.14, $R_R = 100\text{k}\Omega$ e $C_R = 47\text{nF}$, com pino 12 aberto. Desenhar as formas de onda nos pinos 14 e 15, considerando uma tensão de controle $V_C = 3,5\text{V}$.

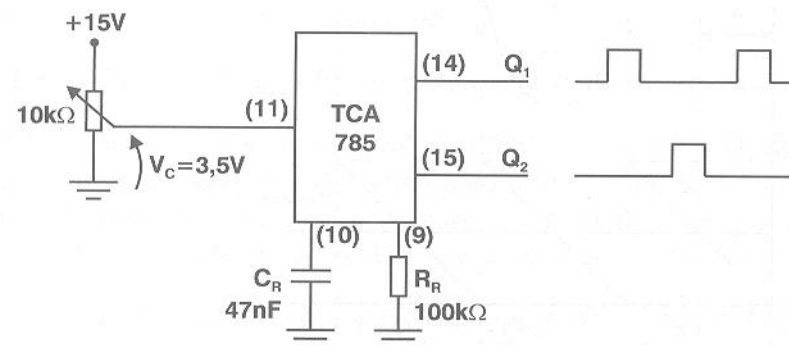


Figura 8.14 - TCA785 como gerador de pulsos de disparo.

A tensão no capacitor C_R cresce linearmente com o tempo, conforme a equação:

$$V_{CR} = \frac{I_{CR}}{C_R} \cdot t$$

O período da rampa em C_R é de 8,33ms (1/2 período de 60 Hz). O valor máximo da tensão em C_R será, portanto:

$$V_{CR\text{máx}} = \frac{8,33 \times 10^{-3}}{47 \times 10^{-9}} \times I_{CR} \Rightarrow V_{CR\text{máx}} = 177234 \cdot I_{CR}$$

Mas,

$$I_{CR} = \frac{V_{CC\text{int}} \cdot K}{R_R} \Rightarrow I_{CR} = \frac{3,1 \times 1,1}{100 \times 10^3} \Rightarrow I_{CR} = 34,1 \mu\text{A}$$

Assim:

$$V_{CR\text{máx}} = 177234 \cdot I_{CR} \Rightarrow V_{CR\text{máx}} = 177234 \times 34,1 \times 10^{-6} \Rightarrow$$

$$V_{CR\text{máx}} = 6\text{V}$$

Como a tensão de controle é $V_C = 3,5V$, o disparo ocorrerá em:

$$t_0 = \frac{V_C \cdot C}{I_{CR}} \Rightarrow t_0 = \frac{3,5 \times 47 \times 10^{-9}}{34,1 \times 10^{-6}} \Rightarrow t_0 = 4,82ms$$

Finalmente, as formas de onda nos pinos 14 e 15 são apresentadas na Figura 8.15:

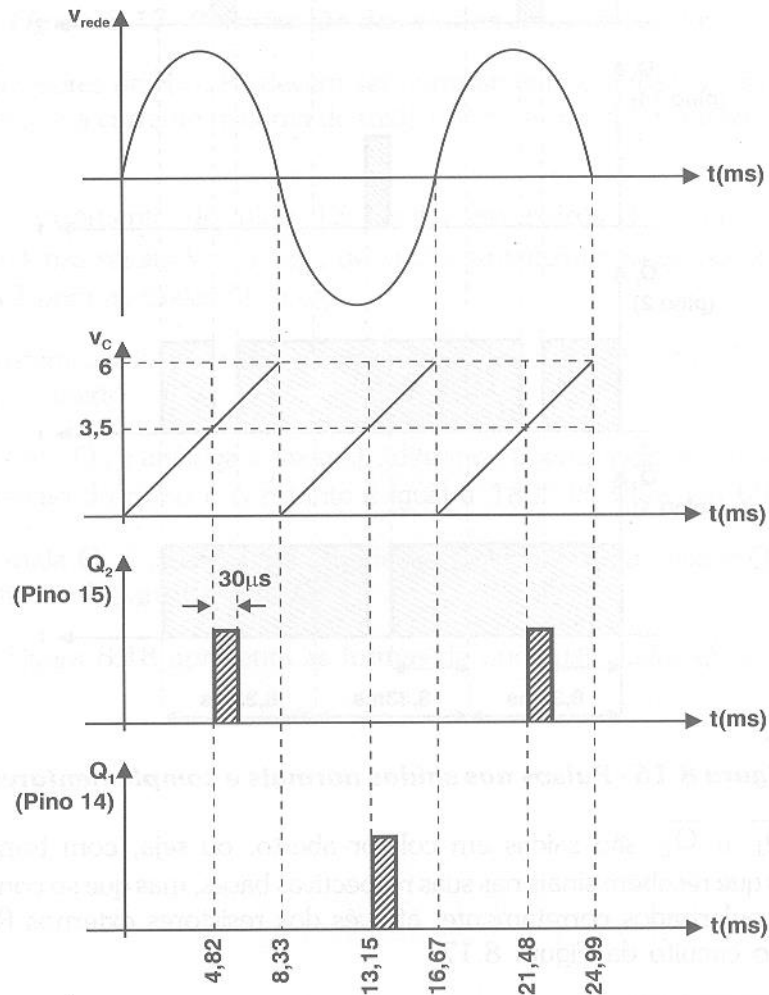


Figura 8.15 - Formas de onda nas saídas Q1 e Q2 do TCA785.

O TCA785 tem outras opções para os pulsos de saída. As saídas $\overline{Q_1}$ (pino 4) e $\overline{Q_2}$ (pino 2) são complementares (com sinal lógico invertido) em relação às saídas Q_1 (pino 14) e Q_2 (pino 15) respectivamente. A Figura 8.16 mostra os pulsos Q_1 , Q_2 e os seus complementares $\overline{Q_1}$ e $\overline{Q_2}$.

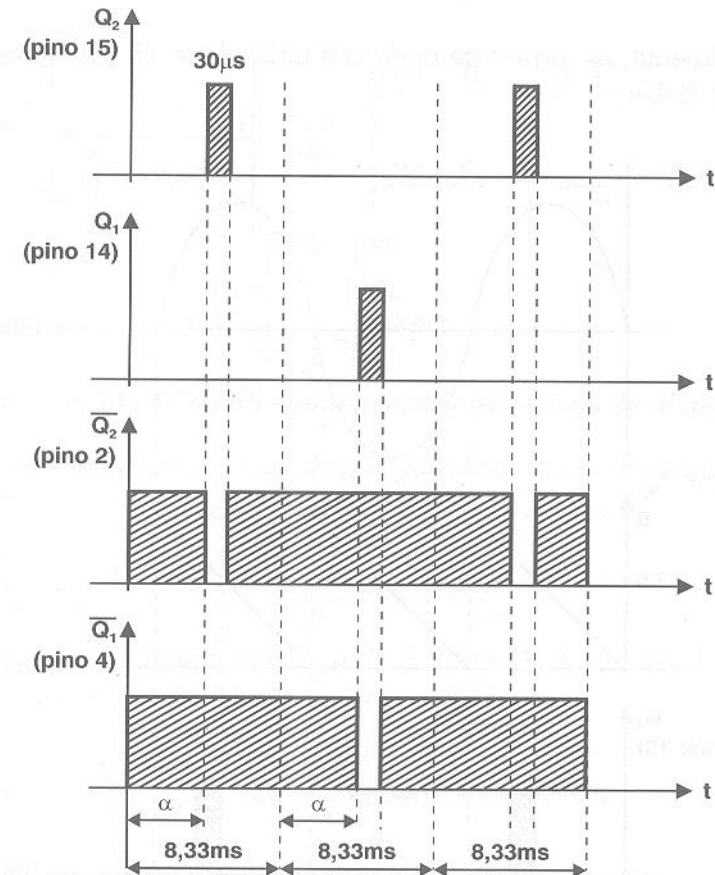


Figura 8.16 - Pulsos nas saídas normais e complementares.

$\overline{Q_1}$ e $\overline{Q_2}$ são saídas em coletor aberto, ou seja, com transistores internos que recebem sinais nas suas respectivas bases, mas que só conduzirão quando polarizados corretamente, através dos resistores externos R_2 e R_4 , como no circuito da Figura 8.17.

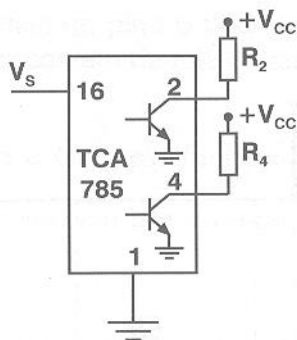


Figura 8.17 - Polarização das saídas complementares.

Os valores de R_2 e R_4 devem ser corretamente calculados, levando-se em conta que a corrente máxima de saída nos coletores dos transistores é de -10mA .

O aterramento do pino 13 resulta em pulsos de longa duração ($180^\circ - \alpha$) nas saídas Q_1 e Q_2 , de modo semelhante ao que ocorre com o pino 12 para as saídas Q_1 e Q_2 .

Existem, ainda, duas saídas auxiliares Q_U (pino 3) e Q_Z (pino 7), também em coletor aberto.

A saída Q_U é análoga à saída Q_1 , diferindo apenas pelo fato de que em Q_U a duração do pulso é constante e igual a 180° ($8,33\text{ms}$ em 60Hz).

A saída Q_Z é igual a uma associação lógica NOR das saídas Q_1 e Q_2 , sendo útil no disparo de TRIACs.

A Figura 8.18 apresenta as formas de onda das saídas Q_U e Q_Z .

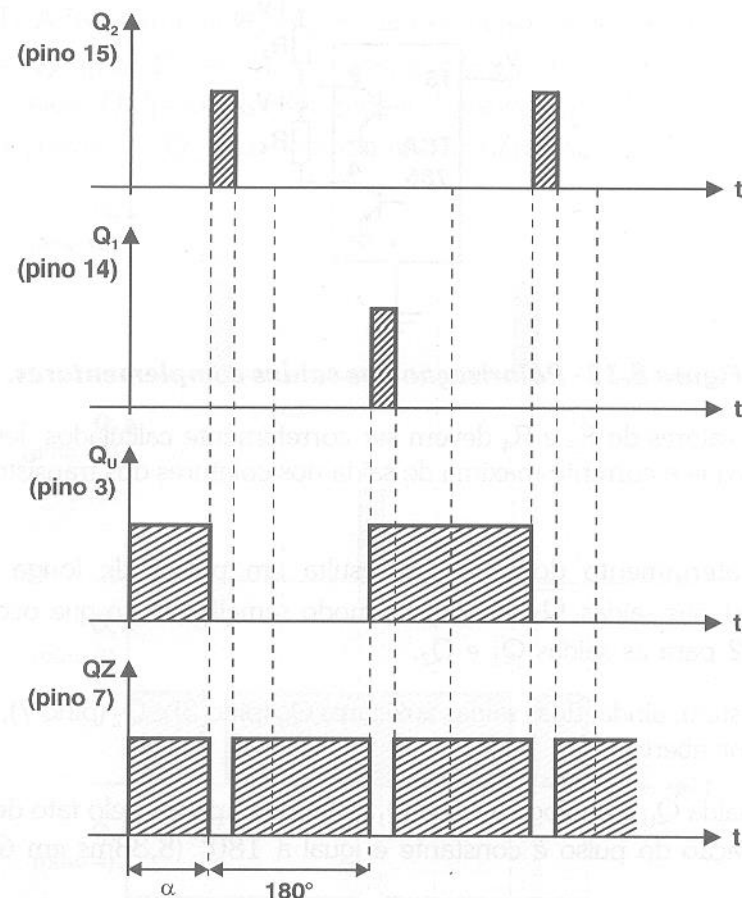


Figura 8.18 - Saídas auxiliares Q_U e Q_Z .

Uma opção muito importante no TCA785 é a possibilidade de bloqueio das saídas. As saídas estarão liberadas apenas se o pino 6 tiver tensão superior a 4V . Por outro lado, estará garantido o bloqueio dos pulsos se a tensão no pino 6 for inferior a $2,5\text{V}$.

Leitor(a) - Quando isso é útil?

Quando há defeito em um equipamento que use tiristores, ou no sistema por ele controlado, é muitas vezes interessante bloquear o funcionamento dos tiristores. A ideia é que um alarme, que indique uma condição defeituosa, possa atuar no pino 6 do TCA785, evitando causar maiores danos ao equipamento ou ao sistema.

A condição de bloqueio no pino 6 pode ser feita com uma chave de operação manual, com um contato de relê ou ainda, usando a saída de um transistor NPN.

Leitor(a) - E como o bloqueio funciona?

Autor - Vamos ver isso em um exemplo.

Exemplo

A Figura 8.19 mostra um circuito para o bloqueio das saídas do TCA785.

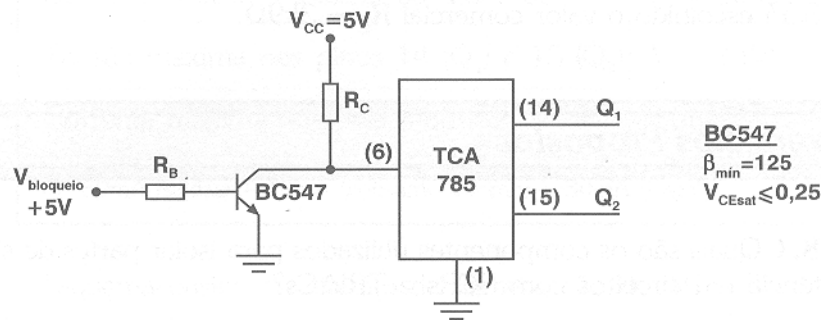


Figura 8.19 - Bloqueio do TCA785 com transistor NPN.

Enquanto não chegar nenhum sinal de bloqueio, o transistor permanece cortado, fazendo com que a tensão no pino 6 seja de 5V, deixando as saídas do TCA785 liberadas. Com o sinal de bloqueio, o transistor satura e a tensão no pino 6 cai abaixo de 2,5V, bloqueando as saídas do TCA785.

Portanto, basta calcular R_C e R_B para que o circuito satisfaça essas condições.

A corrente de base será:

$$I_B = \frac{V_{\text{bloq}} - V_{BE}}{R_B} \Rightarrow I_B = \frac{5 - 0,7}{R_B} \Rightarrow I_B = \frac{4,3}{R_B}$$

↓

Para $I_B = 10\mu\text{A}$, obtém-se $R_B = 430\text{k}\Omega$. Escolhendo um valor comercial próximo, $R_B = 390\text{k}\Omega$, resulta em $I_B = 11\mu\text{A}$.

A corrente de coletor mínima será:

$$I_{C\text{mín}} = \beta_{\text{mín}} \cdot I_B \Rightarrow I_{C\text{mín}} = 125 \times 11 \times 10^{-6} \Rightarrow I_{C\text{mín}} = 1,38\text{mA}$$

O valor de $R_{C\text{mín}}$ para garantir a saturação do transistor e o bloqueio do TCA785 será:

$$R_{C\text{mín}} = \frac{V_{CC} - V_{CE\text{sat}}}{I_{C\text{sat}}} \Rightarrow R_{C\text{mín}} = \frac{5 - 0,25}{1,38 \times 10^{-3}} \Rightarrow R_{C\text{mín}} = 3.442\Omega$$

Será escolhido o valor comercial $R_C = 3\text{k}9\Omega$.