

Capítulo 8

CIRCUITOS INTEGRADOS TCA 780 E TCA 785

1 - INTRODUÇÃO

A Icotron lançou no mercado o Circuito Integrado TCA-785 que é uma versão melhorada do TCA-780. Estes circuitos integrados são dedicados ao disparo de TIRISTORES.

Será feito um estudo, comparando os limites do TCA-780 com os do TCA-785 e você perceberá que este último aumentou sua capacidade de manipulação de corrente em relação ao primeiro.

Com o aumento da potência dos SCR's, o sinal de gatilho gerado por um circuito oscilador de relaxação de baixa intensidade, não suficiente para disparar estes tiristores de potência, daí a criação de recursos que tinham facilitar o disparo destes elementos.

O TCA-780 e o TCA-785 são circuitos integrados desenvolvidos para controlar o ângulo de disparo de TIRISTORES, continuamente de 0° a 180°. A estrutura interna e a possibilidade externa de seleção do ponto chaveamento permitem um grande número de opções de funcionamento, evitando um circuito externo luminoso.

Dentre suas excelentes características podem-se destacar:

- Largo campo de aplicações devido à possibilidade de controle externo.
- Operação em circuitos trifásicos utilizando-se 3 CI's.
- Duas saídas com corrente de disparo (TCA-780 = 55mA, TCA-785 = 250mA), duas saídas adicionais complementares.
- Duração do pulso de disparo determinado por um capacitor externo.
- Detecção de passagem de tensão por zero volt.
- Indicado também como "chave de ponto zero".
- Possibilidade de inibição dos pulsos de disparo.
- Faixa de tensão de alimentação de 8V a 18V.
- Consumo interno de corrente até 10 mA.

2 - DESCRIÇÃO DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O CI TCA-780 e o CI TCA-785 possuem o mesmo princípio de funcionamento e a figura 8.1 apresenta a estrutura interna destes CI's, facilitando o entendimento dos mesmos.

O circuito é alimentado pela fonte de tensão interna regulada em 3,1V, assegurando independência dos parâmetros essenciais das variações na tensão Vcc (8-18). O potencial positivo da tensão de alimentação é aplicado ao pino 16 e o terra é o pino 1. A tensão regulada de 3,1V é levada ao pino 8, através de uma resistência interna, possibilitando nos circuitos trifásicos iguais condições para o controle de todas três fases, através da ligação paralela dos circuitos integrados. Para melhorar a supressão de RF um capacitor pode ser colocado entre o pino 8 e terra.

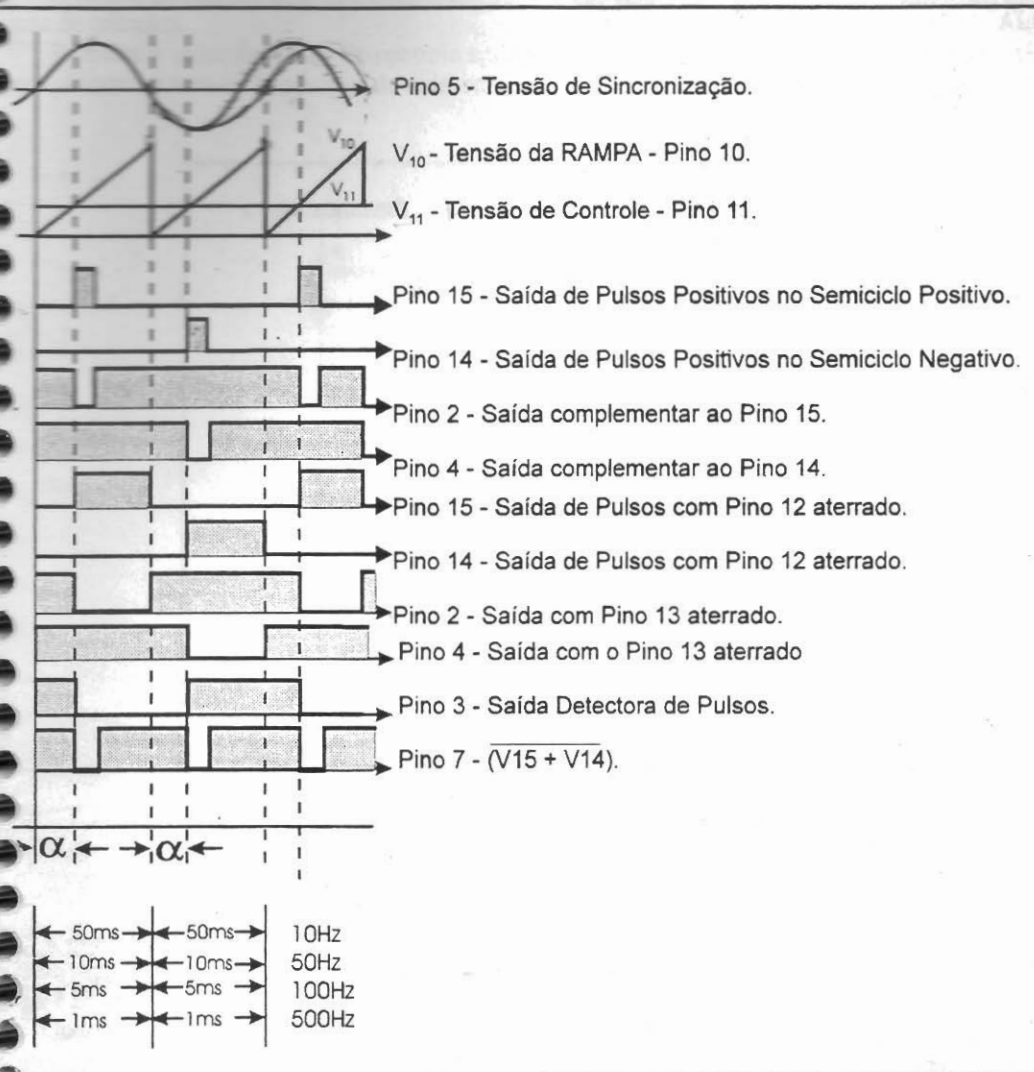


Fig. 8.3 - Formas de ondas de alguns pinos do TCA-780 e TCA-785.

PINAGEM DOS CI'S TCA-780 E TCA-785

A pinagem do TCA-780 é idêntica a do TCA-785, só que alguns parâmetros são diferentes entre estes. A seguir será apresentada a pinagem para estes CI's e quando houver diferença em algum parâmetro que eles, será feito o comentário correspondente:

- Pino 1:** Terra.
- Pino 2:** Saída complementar ao pino 15. Esta saída apresenta coletor aberto.
Consumo máximo para o TCA-780 - 1,5mA
Consumo máximo para o TCA-785 - 10mA
- Pino 3:** Saída em coletor aberto. Comuta a cada surgimento de pulso.
- Pino 4:** Saída complementar ao pino 14. Esta saída apresenta coletor aberto.
Consumo máximo para o TCA-780 - 1,5mA
Consumo máximo para o TCA-785 - 10mA

- Pino 5:** Tensão de Sincronismo.
TCA-780 - $I_{M\acute{A}X} = 200\mu A$
TCA-785 - $I_{M\acute{A}X} = 1mA$
- Pino 6:** Inibe Pulsos.
TCA-780 - Inibe quando $V_6 < 3,5V$
TCA-785 - Inibe quando $V_6 < 2,5V$
- NOTA:** Caso seja deixado em aberto, o pino 6 também inibe os pulsos, portanto, não devemos esquecer de ligar este pino corretamente.
- Pino 7:** Disparo de TRIAC - Saída coletor aberto.
 $V_7 = (V_{14} + V_{15})$
- Pino 8:** Saída de tensão estabilizada de 3,1V.
 $I_{M\acute{A}X} = 2mA$
- Pino 9:** Resistor de rampa.
TCA-780 - $20K\Omega \leq R_9 \leq 500K\Omega$
TCA-785 - $3K\Omega \leq R_9 \leq 300K\Omega$
- Pino 10:** Capacitor da Rampa.
TCA-780 - $C \leq 500nF$
TCA-785 - $500pF \leq C \leq 1\mu F$
- Pino 11:** Tensão de Controle. Tensão máxima de controle = $V_{CC} - 2V$.
Resistência Interna = $15K\Omega$.
- Pino 12:** Controla a largura de pulso dos pinos 14 e 15. Quando este pino é aterrado o pulso dura até o final do semiciclo da rede.
- NOTA:** Consulte a tabela da figura 8.2, para verificar o capacitor C_{12} e a respectiva largura de pulso, quando for colocado um capacitor entre o pino 12 e o pino 1.
- Pino 13:** Controla largura de pulsos dos pinos 2 e 4. Quando aterrado, os pulsos duram até o final do semiciclo da rede.
- Pino 14:** Saída de pulso positivo para o semiciclo negativo da rede.
TCA-780 - $I_{M\acute{A}X} = 55mA$ $V_{M\acute{A}X}$ do pulso = V_{CC}
TCA-785 - $I_{M\acute{A}X} = 250mA$ $V_{M\acute{A}X}$ do pulso = V_{CC}
- Pino 15:** Saída de pulso positivo para o semiciclo positivo da rede.
TCA-780 - $I_{M\acute{A}X} = 55mA$ $V_{M\acute{A}X}$ do pulso = V_{CC}
TCA-785 - $I_{M\acute{A}X} = 250mA$ $V_{M\acute{A}X}$ do pulso = V_{CC}
- Pino 16:** +VCC (8VCC à 18VCC).
- NOTA:** Os CI's TCA-780 e TCA-785 operam com uma frequência máxima de 500Hz.

8.4 - CIRCUITO COM O TCA-780/785

O circuito da figura 8.4 apresenta o TCA disparando um SCR. Analisando o funcionamento do mesmo, temos:

Ao pino 5, será levada uma amostra do sinal da rede que atuará como tensão de sincronismo do CI, ou seja, os pulsos não serão gerados de forma aleatória, pois a rampa do pino 10 será gerada em sincronismo com a tensão da rede (pino 5).

Os diodos D_2 e D_3 estão presentes para limitar a tensão no pino 5 em $\pm 0,7V$.

A rampa gerada por este CI é controlada através dos valores de R_9 e C_{10} , como será visto mais adiante na parte de cálculos.

P_1 altera o valor da tensão de controle aplicada ao pino 11. No pino 15, temos a retirada de pulsos positivos, durante o semiciclo positivo da rede, sempre que a tensão da rampa se igualar à tensão de controle.

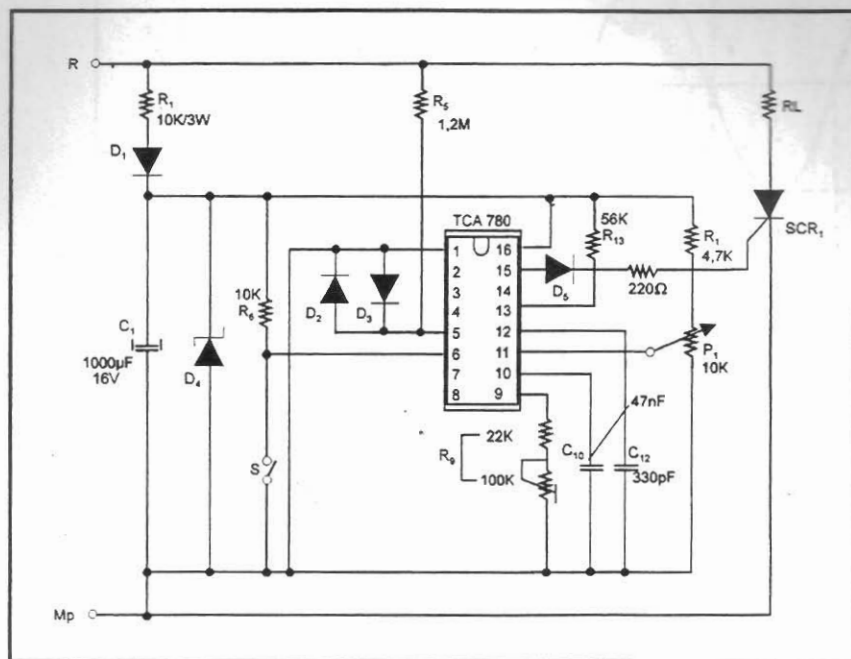


Fig.8.4 - Circuito de disparo para SCR com o TCA-780/785.

A alimentação do CI (Pino 16 = +VCC e Pino 1 = Terra) é retirada a partir da retificação, filtragem e estabilização do sinal da rede, conseguida através de R_1 , D_1 , C_1 e D_4 . O controle da potência dissipada pela carga é feito através da alteração do valor da tensão de controle (pino 11).

Quando aumentamos o valor da tensão de controle, o momento do encontro desta tensão com a tensão da rampa é mais demorado, daí o surgimento do pulso se dará mais tarde, o ângulo de disparo (α) será maior e a potência na carga será menor.

Ao variarmos o valor da tensão de controle, estamos variando o momento de surgimento do pulso e com isto o ângulo de disparo e a potência dissipada pela carga.

Na figura 8.5 é apresentado o efeito da variação da tensão de controle sobre o ângulo de disparo.

Notamos que se a tensão de controle é menor, o encontro da tensão da rampa com esta ocorre mais cedo e por este motivo o pulso é gerado mais cedo para o disparo do TIRISTOR, o que faz o mesmo disparar com um ângulo de disparo (α) menor e com isto mais potência será dissipada pela carga.

C_{12} é responsável pela largura dos pulsos gerados nos pinos 15 e 14 e a chave S, ao ser acionada, permite $V_6 = 0V$ e isto inibe a geração de pulsos pelo CI.

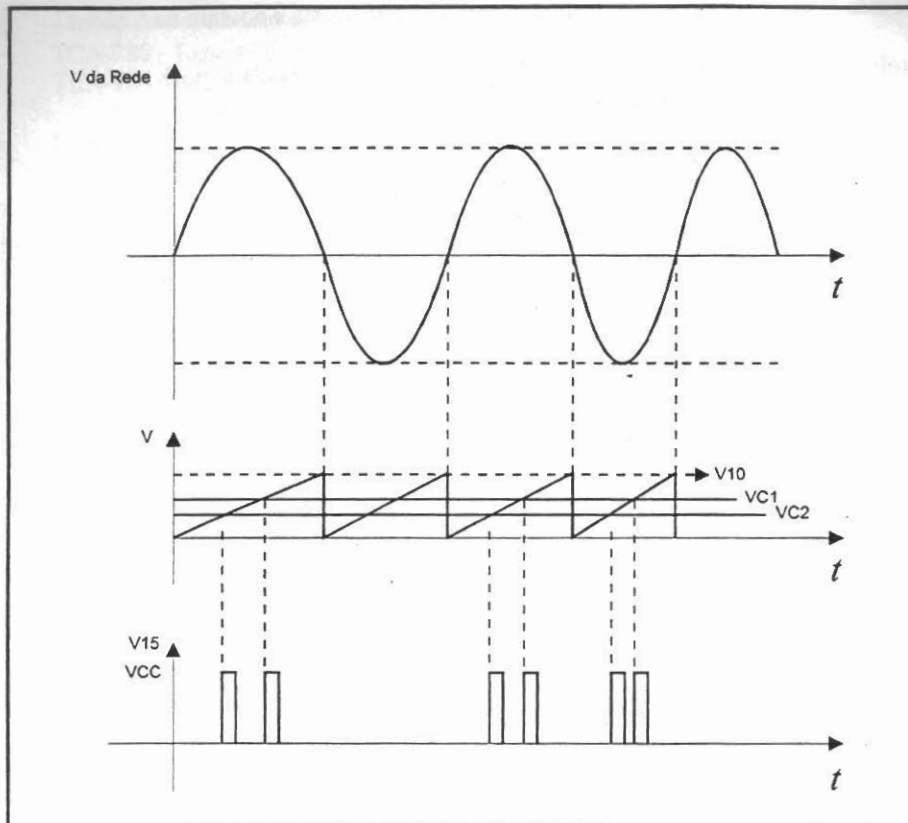


Fig. 8.5 - Efeito da variação da tensão de controle sobre o momento de surgimento do pulso.

8.5 - CÁLCULO COM TCA-780 E TCA-785

A fim de colocarmos os resistores e capacitores de forma correta na configuração com o TCA-780 e TCA-785, iremos analisar os critérios para cálculo dos referidos componentes.

8.5.1 - Cálculo da Tensão de Controle:

A tensão de controle pode ser obtida através do pino 8 ou de um divisor de tensão a partir de VCC, conforme está apresentado na figura 8.6.

Caso a tensão de controle seja retirada do pino 8, o valor máximo desta tensão será de 3,1V e a corrente máxima que o pino 8 poderá fornecer será de 2mA.

Devemos lembrar que a resistência interna do pino 11 é de 15kΩ, logo temos que P₁ deve ter no mínimo o valor calculado abaixo, quando a tensão no pino 11 for a máxima (3,1V).

A corrente máxima do pino 8 é de 2mA, logo, a resistência equivalente mínima é :

$$REQ_{min} = \frac{3,1v}{2mA} = 1,55k\Omega$$

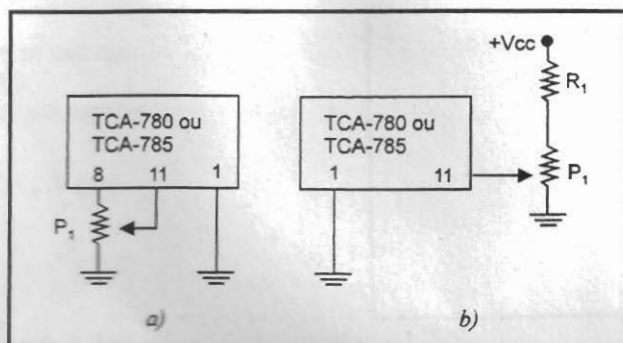


Fig.8.6 - a) Tensão de controle obtida através do pino 8.

b) Tensão de controle obtida através de \$V_{CC}\$.

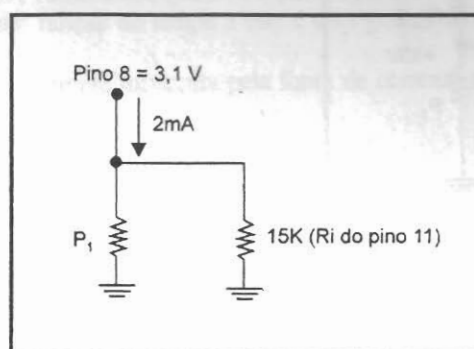


Fig.8.7 - Tensão de controle a partir do pino 8.

Pelo fato de \$P_1\$ estar em paralelo com a resistência do pino 11, quando a tensão de controle for máxima (3,1V) teremos:

$$\begin{aligned} \frac{P_1 \cdot 15k}{P_1 + 15k} &= 1,55k \\ P_1 \cdot 15k &= 1,55k(P_1 + 15k) \\ P_1 \cdot 15k - 1,55kP_1 &= 23,25M\Omega \\ 13,45k \cdot P_1 &= 23,25M\Omega \\ P_1 &= 1,73k\Omega \end{aligned}$$

O valor de \$P_1=1,73k\Omega\$ é o menor valor que o circuito admite, podendo ser utilizado um valor comercial acima do calculado.

No caso de alimentarmos o pino 11 com um divisor de tensão a partir de \$V_{CC}\$, não podemos esquecer que \$V_{CONTROLE\ M\acute{A}XIMO} = V_{CC} - 2V\$, ou seja, no mínimo 2V deve ficar em cima de \$R_1\$.

Supondo que temos um \$V_{CC} = 15V\$ e desejamos uma tensão de controle máxima igual a 10V, o divisor ficará assim arrumado. Vide figura 8.9.

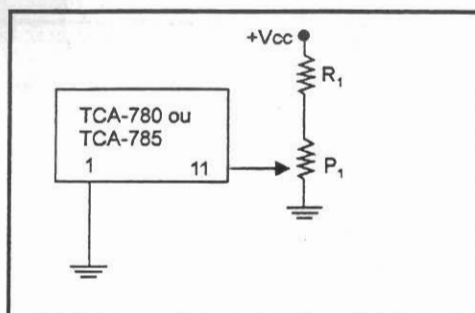


Fig.8.8 - Tensão de controle a partir de divisor de tensão.

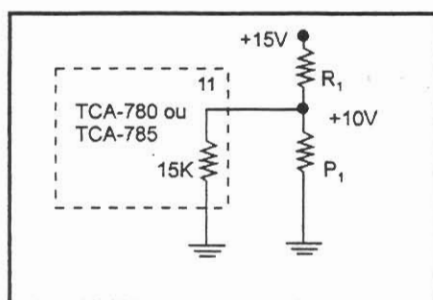


Fig.8.9 - Influência da resistência interna do pino 11 no divisor de tensão.

Deve ser escolhida uma corrente para o divisor, a fim de calcularmos o mesmo. Supondo esta corrente igual a 1mA temos:

$$R_1 = \frac{5V}{1mA} = 5k \Rightarrow \text{comercial} = 4k7$$

$$\frac{P_1 \cdot 15k}{P_1 + 15k} = Req.$$

$$Req = \frac{10V}{1mA} = 10k$$

$$\frac{P_1 \cdot 15k}{P_1 + 15k} = 10k$$

$$P_1 \cdot 15k = 10k(P_1 + 15k)$$

$$P_1 \cdot 15k = 10k \cdot P_1 + 150M$$

$$P_1 \cdot 15k - 10kP_1 = 150M$$

$$5kP_1 = 150M$$

$$P_1 = 30k \Rightarrow \text{comercial} = 22k\Omega$$

Podemos notar que **não devemos esquecer** a presença da **resistência interna de 15k** para os cálculos que envolvem o pino 11.

8.5.2 - Cálculo da Rampa

O capacitor, quando se carrega com corrente constante, gera rampa (subida linear) em vez de dente-de-serra (subida exponencial).

Podemos comprovar este aspecto através da seguinte expressão:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (8.1)$$

$$I = \frac{Q}{\Delta T} \quad (8.2)$$

Substituindo a expressão 8.2 na expressão 8.1 temos:

$$C = \frac{I \cdot \Delta T}{V} \quad (8.3)$$

Analisando a expressão 8.3, verificamos que se a capacitância for a mesma, se a corrente for constante, a tensão do capacitor irá variar em função do tempo e este é uma grandeza linear, ou seja, a tensão irá crescer linearmente.

Temos que a expressão da corrente fornecida pela fonte de corrente constante é dada pelo fabricante e vale:

$$I = \frac{3,1 \cdot 1,1}{R_9} \quad (8.4)$$

Substituindo a expressão 8.4 na expressão 8.3 temos:

$$C = \frac{3,1 \cdot 1,1 \cdot \Delta T}{R_9 \cdot V} \quad (8.5)$$

$C = C_{10}$, valor do capacitor responsável pela rampa.

ΔT = Semiciclo do sinal da rede.

R_9 = Resistor responsável pela rampa.

V = Tensão máxima da rampa, ou seja, tensão máxima adquirida pelo capacitor.

Podemos, agora, utilizar a expressão 8.6 para o cálculo da rampa:

$$\rightarrow C_{10} = \frac{3,1 \cdot 1,1 \cdot \Delta T}{R_9 \cdot V} \quad (8.6)$$

Alguns comentários devem ser feitos em relação à rampa:

a) A duração da rampa é a mesma de um semiciclo da rede e, portanto, este tempo só é alterado se for alterada a frequência da rede, vide figura 8.10.

b) A tensão máxima da rampa deve ser igual a tensão máxima de controle, a fim do controle poder chegar a $\alpha = 180^\circ$.

Caso a tensão da rampa fique acima da tensão máxima de controle, o ângulo de disparo não chegará a 180° .

Vide figura 8.11.

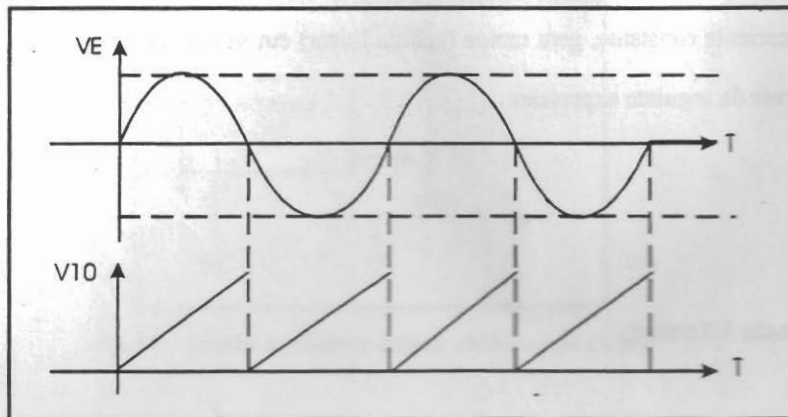


Fig. 8.10 - Tensão da rampa em sincronismo com a rede.

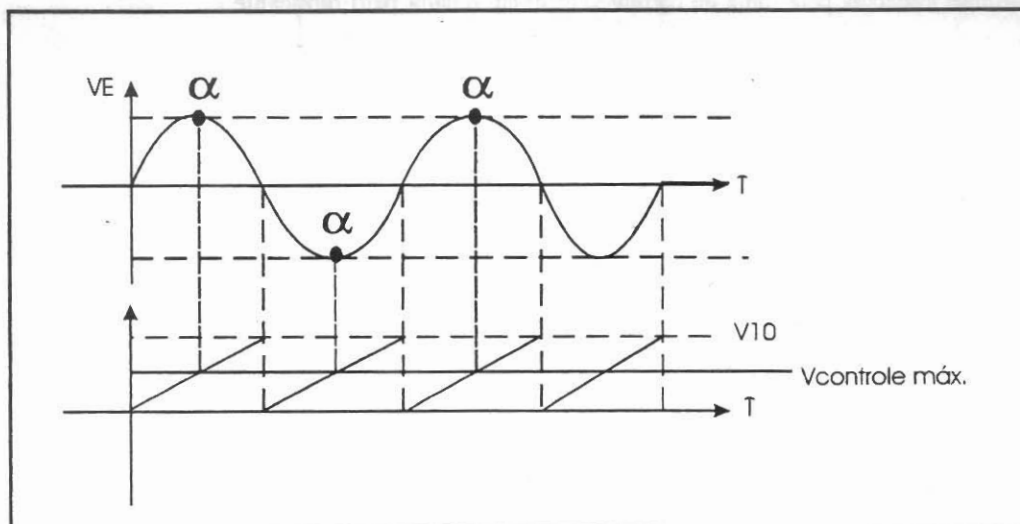


Fig. 8.11 - Efeito da tensão de controle máxima abaixo da tensão máxima de rampa.

No cálculo da Rampa não podemos esquecer a faixa de R_9 e C_{10} recomendada pelo fabricante:

TCA-780: $20k \leq R_9 \leq 500k$
 $C_{10} \leq 500nF$

TCA-785: $3k \leq R_9 \leq 300k$
 $500pF \leq C_{10} \leq 1\mu F$

Supondo que escolhemos $C_{10} = 100nF$, que V de controle máxima é igual a 10V, que a rede é de 60Hz, o valor de R_9 será:

$$R_9 = \frac{3,1 \cdot 1,1 \cdot \Delta t}{C_{10} \cdot V}$$

$$R_9 = \frac{3,1 \cdot 1,1 \cdot 8,3 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-9} \times 10}$$

$$R_9 = \frac{28,3 \times 10^{-3}}{10^{-6}}$$

$$R_9 = 28,3 K\Omega \text{ comercial} = 27 K\Omega$$

8.5.3 - Cálculo de R5

Para o cálculo do resistor do pino 5, devemos saber o limite deste pino:

TCA-780 - $I_{MAX} = 200 \mu A$

TCA-785 - $I_{MAX} = 1 mA$

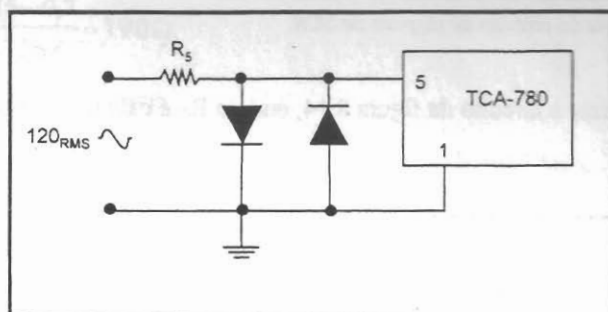


Fig.8.12 - Ligação da tensão de sincronismo ao pino 5.

Calculando para o TCA-780 temos:

$$R_5 = \frac{V_{R5}}{I_{R5}} = \frac{V_{max} - 0,7}{I_{R5} < 200 \mu A}$$

Supondo uma rede de $120V_{RMS}$, o valor de R_5 , supondo $I_{R5} = 100 \mu A$ temos:

$$R_5 = \frac{120 \times \sqrt{2} - 0,7}{100 \mu A}$$

$$R_5 = 1,68 M\Omega \text{ comercial} = 1,5 M\Omega$$

8.5.4 - Cálculos para os pinos 14 e 15

Os pinos 14 e 15 são saídas com limites de corrente de **55mA** para o TCA-780 e **250mA** para o TCA-785. A amplitude dos pulsos de saída é o valor de VCC e a largura dos pulsos depende do capacitor ligado ao pino 12 (vide figura 8.2).

Para o disparo de SCR, devemos saber a corrente necessária no gate do mesmo e especificar o resistor para limitar esta corrente.

Supondo que na figura 8.13 o SCR necessita de 2mA, o valor de R_G será:

$$R_G = \frac{V_{RG}}{I_{RG}} = \frac{V_{CC} - 0,7}{I_{RG}} = \frac{15 - 0,7}{2mA} = 7,15K\Omega \Rightarrow \text{comercial} = 6K8$$

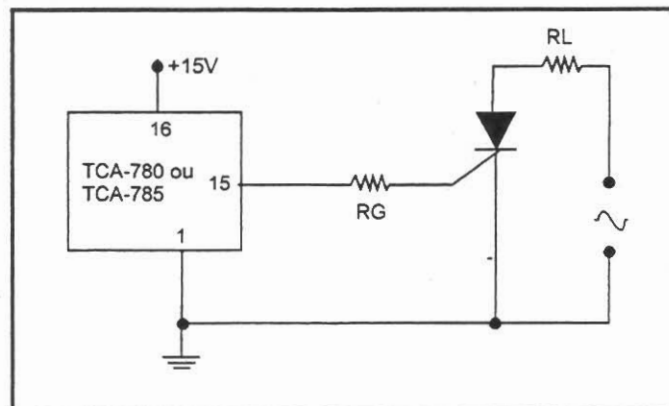


Fig.8.13 - Etapa de saída do circuito de disparo do SCR.

No caso do disparo do TRIAC, podemos utilizar o circuito da figura 8.14, onde o R_G é calculado segundo o mesmo raciocínio anterior.

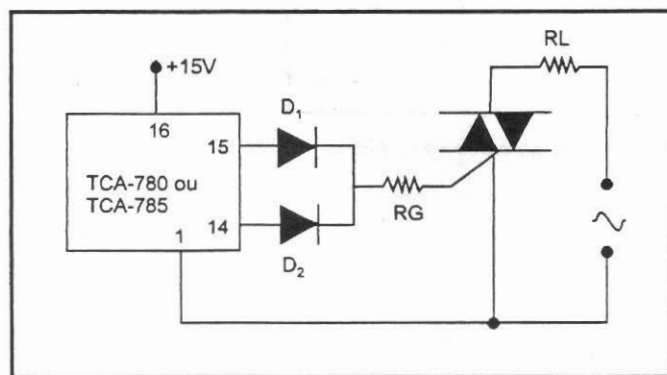


Fig.8.14 - Etapa de saída do circuito de disparo de TRIAC.

Vale a pena ressaltar que os demais pinos do CI foram omitidos, pois o interesse, no momento, é o estágio de saída. Os diodos D_1 e D_2 , no circuito da figura 8.14, evitam que o nível lógico zero de uma saída interfira na saída que está em nível lógico um.

No caso do CI não ter condições de fornecer a corrente de gate para o tiristor, pelo fato da mesma ultrapassar o limite do CI, passaremos a utilizar um estágio de amplificação como é mostrado na figura 8.15.

No circuito da fig. 8.15, a corrente de saída do TCA-780 é amplificada pelo T_1 . Supondo que o gate do SCR necessite de $75mA$, sabemos que o TCA-780 não é capaz de fornecer esta corrente, pois seu valor máximo de saída é de $55mA$. Calculando R_C e R_B temos:

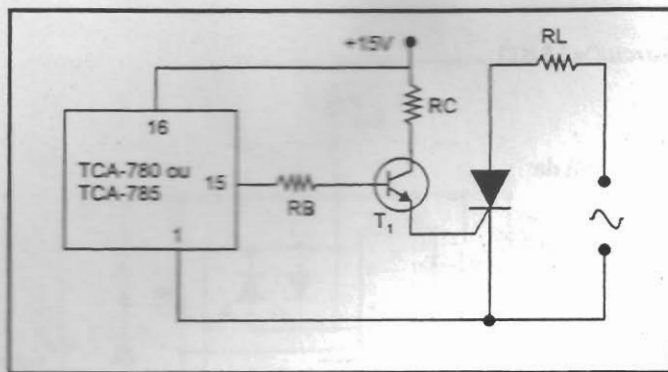


Fig.8.15 - Estágio de saída com amplificação de corrente.

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_C} = \frac{15 - 0,7}{75mA} = 190\Omega$$

$$R_B = \frac{V_{RB}}{I_{RB}} = \frac{15 - 1,4}{0,75mA} = 19K\Omega$$

Obs.: Supondo o B_{MIN} do transistor igual a 100, temos $I_B = 0,75mA$.

8.5.5 - Cálculos para os pinos 2 e 4

Os pinos 2 e 4 são saídas em coletor aberto, logo necessitam da presença de um resistor destes pinos para +VCC (pino 16). Na figura 8.16 é mostrada a ligação dos pinos 2 e 4. Os resistores que são ligados nestes pinos são chamados resistores de **pull - up**.

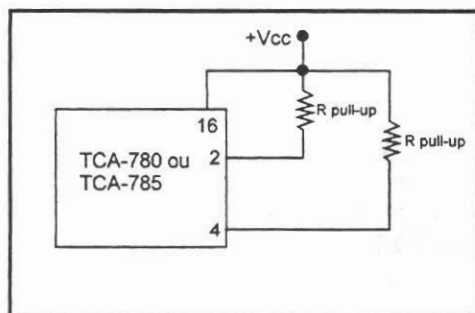


Fig.8.16 - Ligação dos resistores de Pull-Up.

O valor destes resistores deve limitar a máxima corrente que os pinos admitem. No caso do TCA-780 a corrente máxima dos pinos 2 e 4 é de **1,5mA** e no caso do TCA-785 este valor passa para **10mA**, logo:

$$R_{pull-up} > \frac{V_{CC}}{I_{max}}$$

Para o TCA-780, $R_{pull-up}$, supondo $V_{CC} = 15V$, será de :

$$R_{pull-up} > \frac{15}{1,5mA} > 10K\Omega \rightarrow \text{comercial} = \mathbf{15K\Omega}$$

Para o TCA-785, $R_{pull-up}$, supondo $V_{CC} = 15V$, será de:

$$R_{pull-up} > \frac{15}{10mA} > 1,5K\Omega \rightarrow \text{comercial} = \mathbf{2K2}$$

8.5.6 - Cálculos para o pino 7

O pino 7 é uma saída em coletor aberto e sua tensão é igual a: $V_7 = (V_{14} + V_{15})$. Esta saída é utilizada para o disparo de TRIAC e sua ligação encontra-se apresentada na figura 8.17.

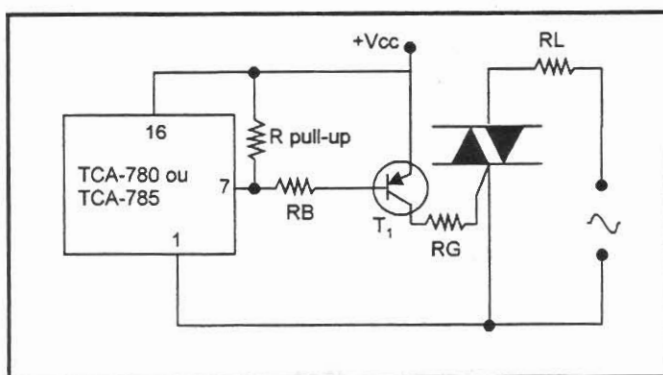


Fig.8.17 - Circuito utilizando o Pino 7 para o disparo de TRIAC.

Para o cálculo dos elementos acima, iremos admitir, $V_{CC} = 15V$, $I_G = 50mA$, $B_{MIN} = 100$.

$$R_{pull-up} > \frac{15}{1,5mA} > 10K\Omega \rightarrow \text{escolhido} = \mathbf{15K\Omega}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - 0,7}{I_G/B} = \frac{15 - 0,7}{50/100} = 28,6K\Omega \Rightarrow \text{comercial} = \mathbf{27K\Omega}$$

$$R_G = \frac{V_{CC} - 0,7}{I_G} = \frac{15 - 0,7}{50mA} = 286\Omega \Rightarrow \text{comercial} = \mathbf{270\Omega}$$

O transistor a ser escolhido para o circuito deve ser PNP, $V_{CEO} > 15V$, $I_C > 50mA$.

8.6 - CIRCUITOS APLICATIVOS PARA O TCA-780 E TCA-785

Na figura 8.18 é apresentado um circuito de disparo e, neste, a tensão de controle está sendo retirada do pino 8. O controle de potência é feito através de P_1 : Quanto maior for a tensão de controle, mais tempo a rampa leva para atingir esta tensão e com isto temos um α maior e menor potência dissipada na carga.

Na figura 8.19 temos um circuito de disparo utilizando transformadores de pulso. A necessidade destes transformadores se faz em decorrência dos catodos dos SCR's não possuírem um ponto comum.

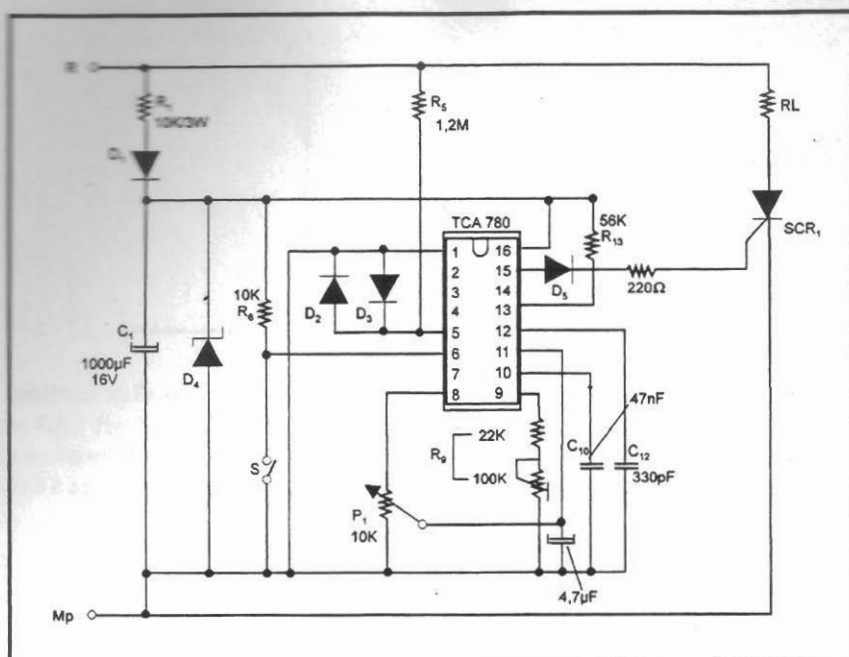


Fig.8.18 - Circuito de disparo de Tiristores.

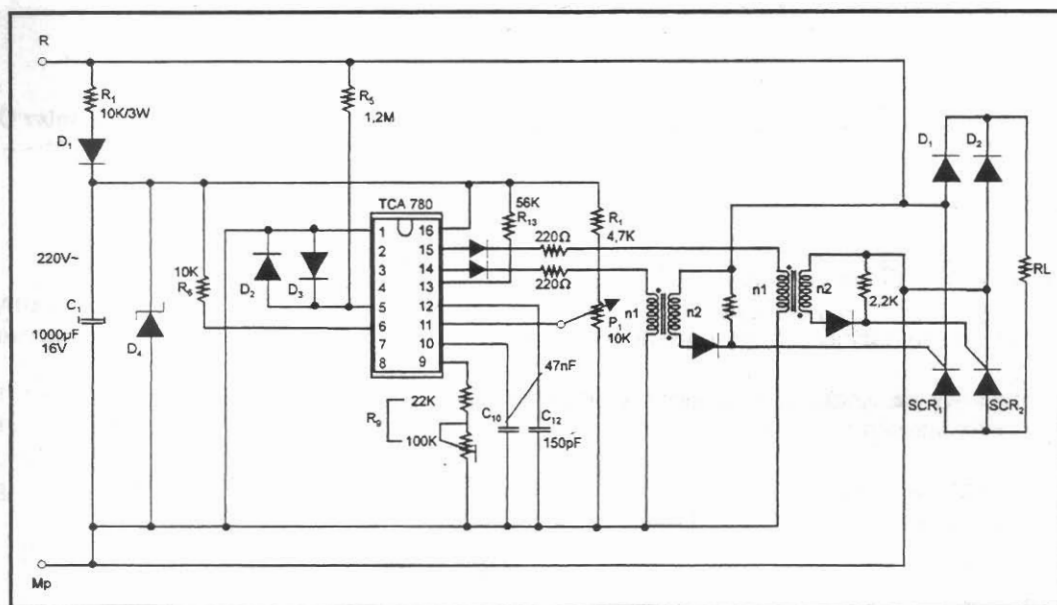


Fig.8.19 - Circuito de disparo utilizando TP.