

CIRCUITOS DE DISPARO DE TIRISTORES

- INTRODUÇÃO

O circuito de disparo de TIRISTORES representa uma das partes mais importante nos circuitos de controle. Um correto funcionamento do circuito de disparo, assegurará um bom funcionamento do tiristor e com eficiência no controle a ser realizado.

Os TIRISTORES podem ser disparados com sinal C.C., com sinal CA ou com pulsos. Faremos o estudo de diversos tipos de circuitos de disparo para TIRISTORES, bem como uma análise das suas vantagens e desvantagens.

- DISPARO DE TIRISTORES COM SINAL C.C. NO GATE

Para dispararmos um tiristor, podemos aplicar no gate um sinal CC, conforme é mostrado na figura 7.1.

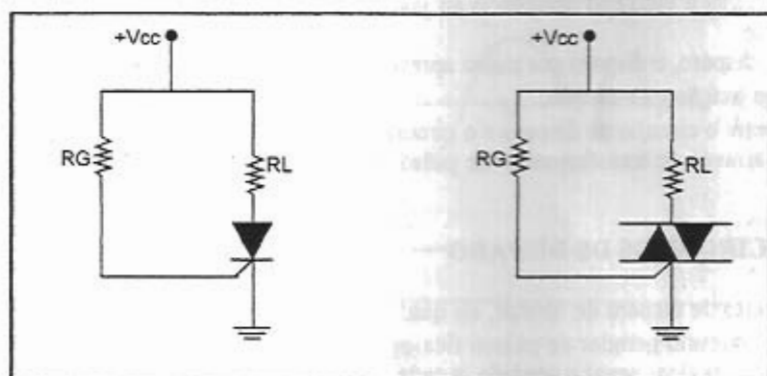


Fig. 7.1 - Disparo de Tiristores com sinal C.C.

Para o correto funcionamento do tiristor, será necessário fornecer um sinal no gate abaixo do IGT_{MAX} e acima do IGT_{MIN} .

Esta forma de disparo faz com que o tiristor fique com IG presente no gate o tempo todo. Isto não é necessário, visto que a necessidade da corrente no gate é só na hora do disparo, depois a mesma pode ser retirada. Neste caso, estamos dissipando energia no gate além do necessário, o que não é conveniente.

- DISPARO DE TIRISTORES COM SINAL C.A. NO GATE

No caso de alimentarmos o tiristor com o sinal C.A., é possível pegar uma amostra do sinal da rede para ser usada para o disparo, como está apresentado na figura 7.2.

Podemos observar, como já foi analisado anteriormente, que o sinal é aplicado ao gate para realizar o disparo do tiristor e depois que este entra em condução, o sinal do gate não existe, pois o tiristor, ao conduzir, curto-circuita o circuito do gate (vide figura 7.2).

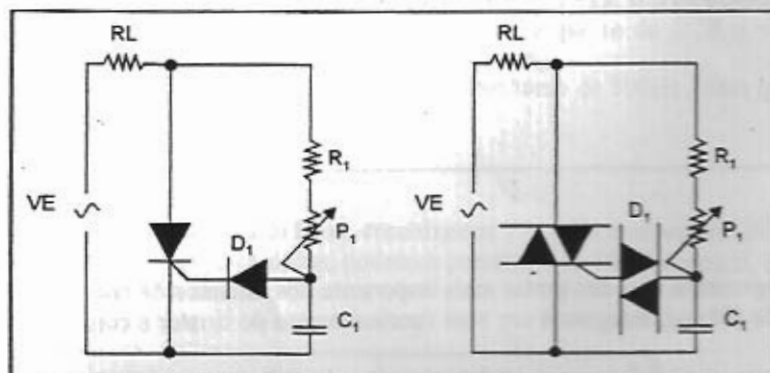


Fig. 7.2 - Disparo de TIRISTORES com sinal CA no gate.

7.4 - DISPARO DE TIRISTORES ATRAVÉS DE PULSOS

Para que o tiristor entre rapidamente em condução, é necessário que a corrente de gate seja aplicada com uma frente o mais íngreme possível. Atinja, portanto, instantaneamente o valor desejado.

Por estas razões, o disparo dos tiristores é efetuado aplicando ao gate, através de circuitos adequados, impulsos de tensão e, portanto, de corrente.

Em comparação as outras formas de disparo, o disparo por pulso apresenta as seguintes vantagens:

- Redução da potência dissipada na junção gate-catodo.
- Possibilidade de obter isolamento entre o circuito de disparo e o circuito de potência.

A isolamento elétrico pode ser obtida através de transformador de pulso ou acopladores óticos, como será estudado mais adiante.

7.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CIRCUITOS DE DISPARO

Na figura 7.3 é apresentado um circuito de disparo de tiristor, no qual aparece um pequeno problema: o ângulo de disparo (α) é aleatório, pois o circuito gerador de pulsos fica oscilando independente do sinal da rede. Quando isto ocorre, os pulsos enviados podem pegar a senóide, a cada ciclo, em momento diferente.

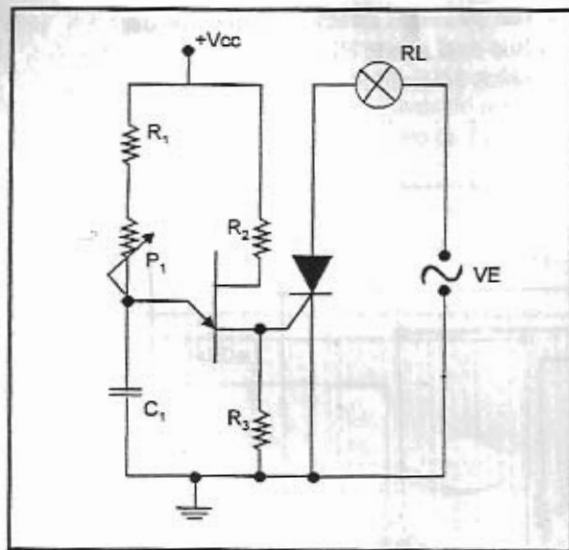
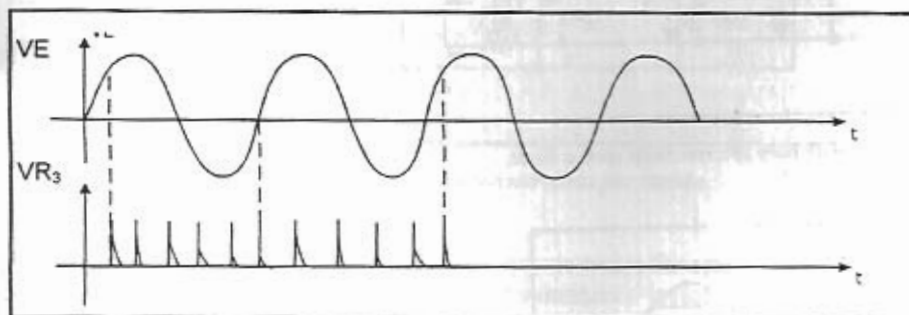
Nas formas de ondas apresentadas na figura 7.4, é mostrado o efeito sobre o ângulo de disparo, quando o circuito de disparo possui uma alimentação independente do circuito de potência.

Para evitar o problema do α ficar aleatório, devemos sincronizar o funcionamento do circuito de disparo com o sinal que alimenta o circuito de potência.

Pelo exposto, normalmente os circuitos de disparo de tiristores devem ter duas etapas:

Etapas de Sincronização: Esta etapa do circuito de disparo normalmente é obtida retificando e recor-tando o sinal da rede. É utilizada para alimentar o circuito gerador de pulsos, a fim de que o mesmo gere os pulsos em sincronismo com a rede.

Etapas Geradora de Pulsos: Esta etapa é responsável pela geração de pulsos para o disparo do(s) tiristor(es). Estes pulsos são gerados em sincronismo com a rede, a fim de evitar que a cada ciclo o(s) tiristor(es) seja(m) disparado(s) aleatoriamente.

Fig.7.3 - Circuito de Disparo de Tiristor com α aleatório.Fig. 7.4 - Disparo com α aleatório.

CIRCUITO DE DISPARO SINCRONIZADO COM A REDE

Na figura 7.5, apresentamos o circuito de disparo de um SCR com a etapa de sincronização composta transformador, diodo D_1 , R_4 e o diodo Zener.

O papel do transformador é reduzir a tensão, a fim de que o circuito de disparo possa trabalhar com tensões menores do que a da rede.

O diodo D_1 retifica o sinal, ou seja, a etapa geradora de pulsos só irá operar durante o semiciclo positivo da rede. Não há necessidade, no caso apresentado, do circuito gerador de pulsos operar durante o semiciclo negativo da rede, pois o SCR não irá conduzir neste período.

O Zener irá manter a tensão, no circuito gerador de pulsos, estabilizada no valor de V_Z .

A etapa geradora de pulsos é composta pelo circuito oscilador de relaxação, onde ao variarmos P_1 , estamos variando a corrente de carga do capacitor e com isto o tempo que o mesmo leva para atingir V_P (tensão de disparo do UJT). Quanto maior P_1 , menor a corrente de carga do capacitor, mais tempo o mesmo leva para atingir V_P . O ângulo de disparo (α), neste caso, será maior, o ângulo de condução (θ) será menor e a

potência dissipada na carga será menor. Neste circuito, não podemos utilizar o capacitor de filtro, pois o mesmo retiraria a sincronização do circuito gerador de pulsos com a rede e o α voltaria a ficar aleatório. Na figura 7.6 apresentamos as formas de ondas para alguns pontos do circuito e para um determinado ajuste de P_1 .

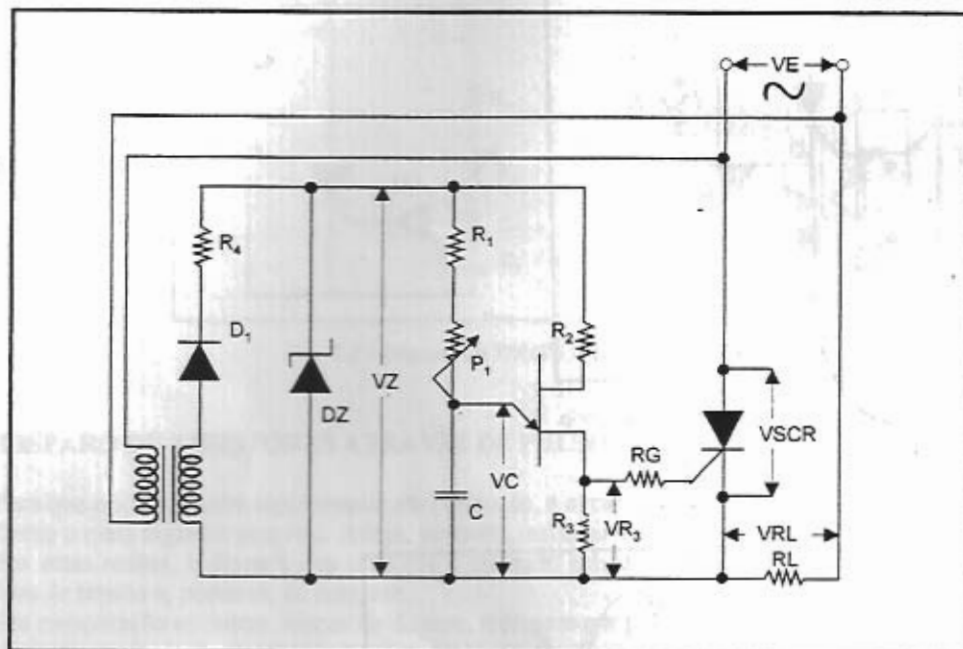


Fig.7.5 - Circuito de disparo sincronizado com a Rede.

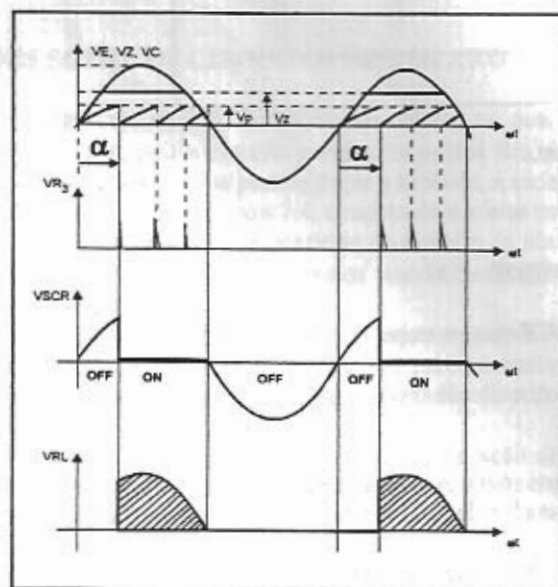


Fig. 7.6 - Formas de ondas para o circuito de disparo sincronizado com a rede.

O transformador de pulso de dois enrolamentos é constituído de um enrolamento primário e um enrolamento secundário, sendo utilizado para o disparo de apenas um tiristor ou de triacostores com catodo comum.

Na figura 7.9 são apresentados os símbolos do TP de dois enrolamentos, onde os pontos indicam a relação de fase, ou seja, em um mesmo instante, os terminais que estão com a mesma polaridade.

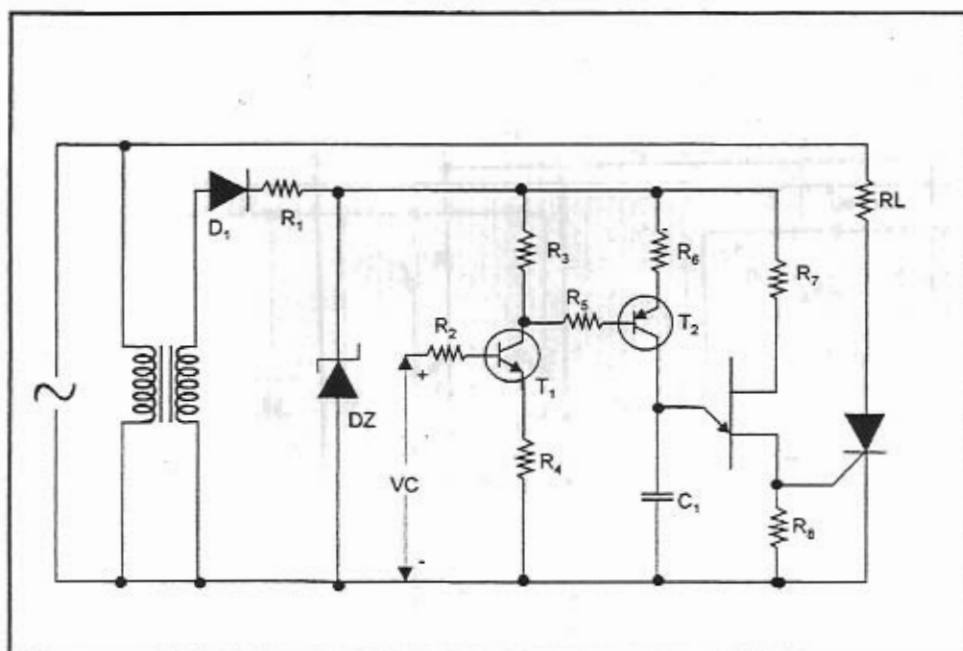


Fig. 7.8 - Circuito de disparo controlado por tensão.

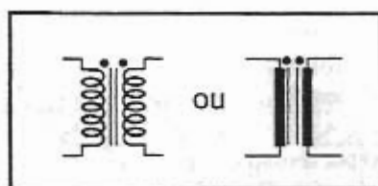


Fig. 7.9 - Símbolos para o TP.

Podemos ter relação de fase de 0° ou de 180° entre o sinal do primário e o sinal do secundário. Esta relação é discriminada através dos pontos colocados no símbolo.

Na figura 7.10 é apresentado o símbolo de um TP com defasagem de 0° e outro com defasagem de 180°

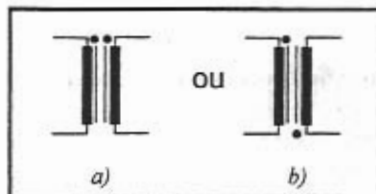


Fig. 7.10 - a) TP com defasagem de 0° .
b) TP com defasagem de 180° .

Na figura 7.11 é apresentado um circuito de disparo sincronizado e isolado para o disparo de apenas um tiristor.

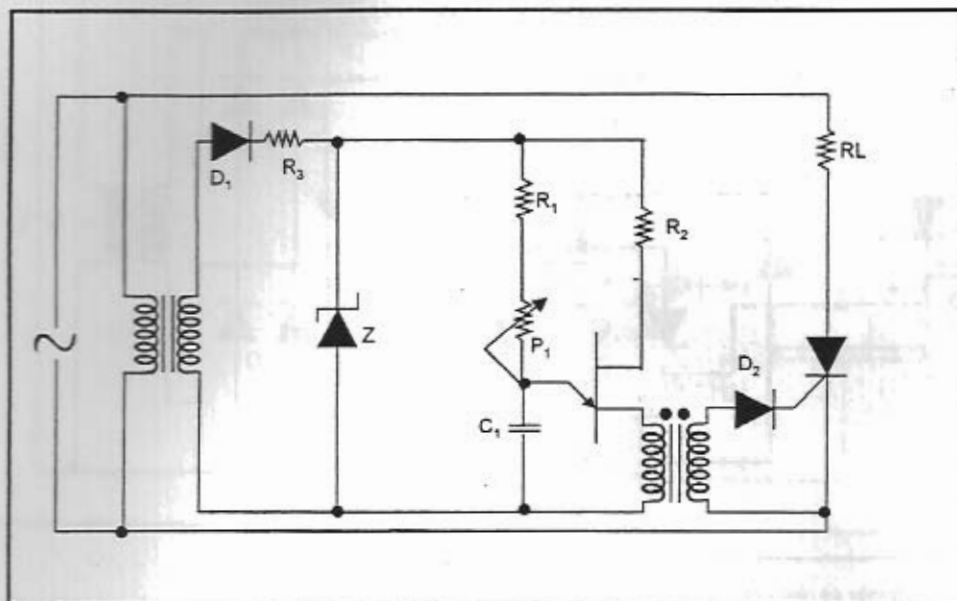


Fig.7.11 - Circuito de disparo isolado e sincronizado.

A presença do diodo D_2 é para proteger a junção gate-cátodo das tensões reversas geradas pelo TP. Na figura 7.12 é apresentado o circuito de disparo sincronizado e isolado para o disparo de TRIAC.

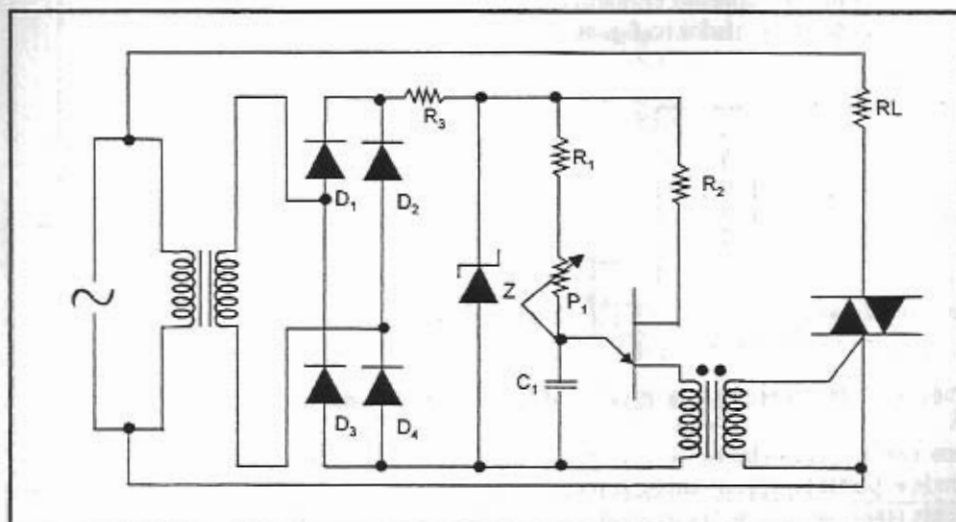


Fig.7.12 - Circuito de disparo isolado e sincronizado.

No caso do tiristor sendo TRIAC, há a necessidade do aproveitamento dos dois semiciclos da rede e por este motivo o circuito de disparo deve funcionar durante estes dois semiciclos, daí a necessidade da retificação ser em onda completa no estágio de sincronização.

7.7.2 - Transformador de Pulso de 3 Enrolamentos

No caso de desejarmos disparar dois SCR's que não possuem catodo comum, a utilização de um TP de dois enrolamentos não é viável como está mostrado na figura 7.13.

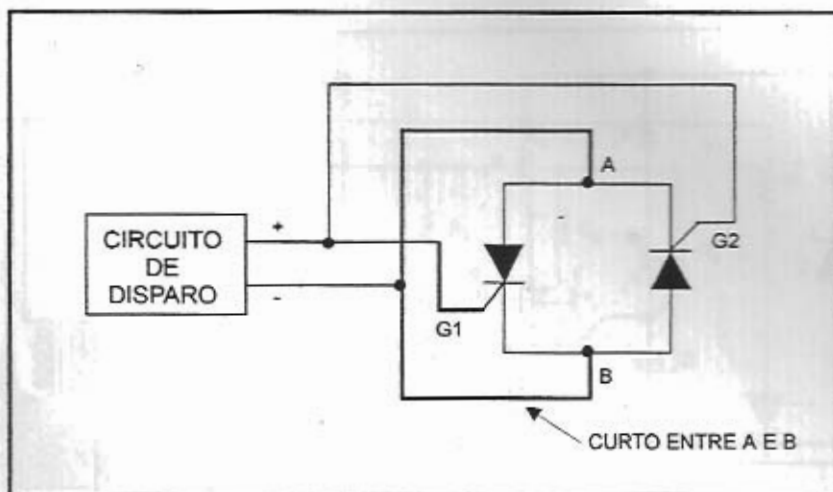


Fig.7.13 - Problemas de disparo com SCR's em antiparalelo.

O fato da saída do circuito de disparo só possuir dois fios (no caso de se usar TP de dois enrolamentos), quando ligarmos os mesmos ao gate e ao catodo de cada SCR, terminaremos curto- circuitando os terminais A e B do circuito (vide figura 7.13), ou seja, curto - circuitaremos os SCR's. Para o disparo de SCR's ligados em antiparalelo, se faz necessária a utilização de TP de três enrolamentos.

O TP de três enrolamentos é constituído de um enrolamento primário e de dois enrolamentos secundários. Os símbolos para o TP de três enrolamentos são apresentados na figura 7.14.

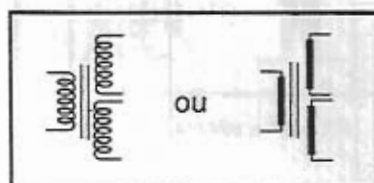


Fig.7.14 - Símbolos para o TP de três enrolamentos

No circuito da figura 7.15, utilizamos o TP de três enrolamentos para o disparo de SCR's em antiparalelo.

O pulso é induzido simultaneamente nos dois secundários, só que apenas um SCR estará polarizado diretamente a cada semiciclo do sinal da rede e, portanto, apenas um SCR irá disparar.

No caso do tiristor exigir uma corrente maior no gate, se faz necessária uma amplificação da corrente gerada pelo oscilador.

Na figura 7.16 é apresentado o estágio de amplificação de corrente para o pulso gerado pelo oscilador de relaxação.

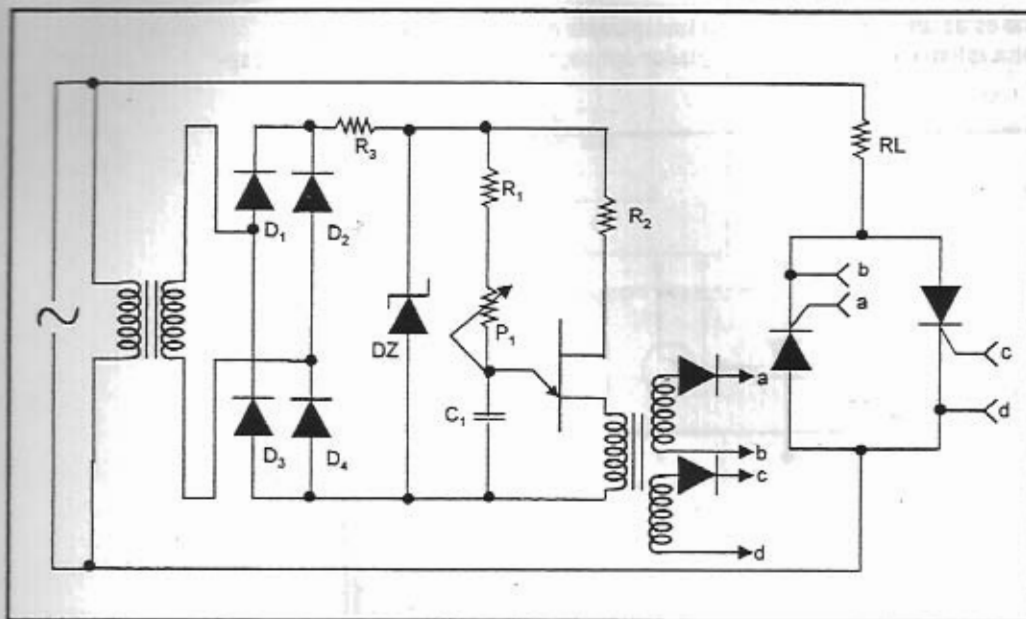


Fig.7.15 - Circuito de disparo isolado e sincronizado.

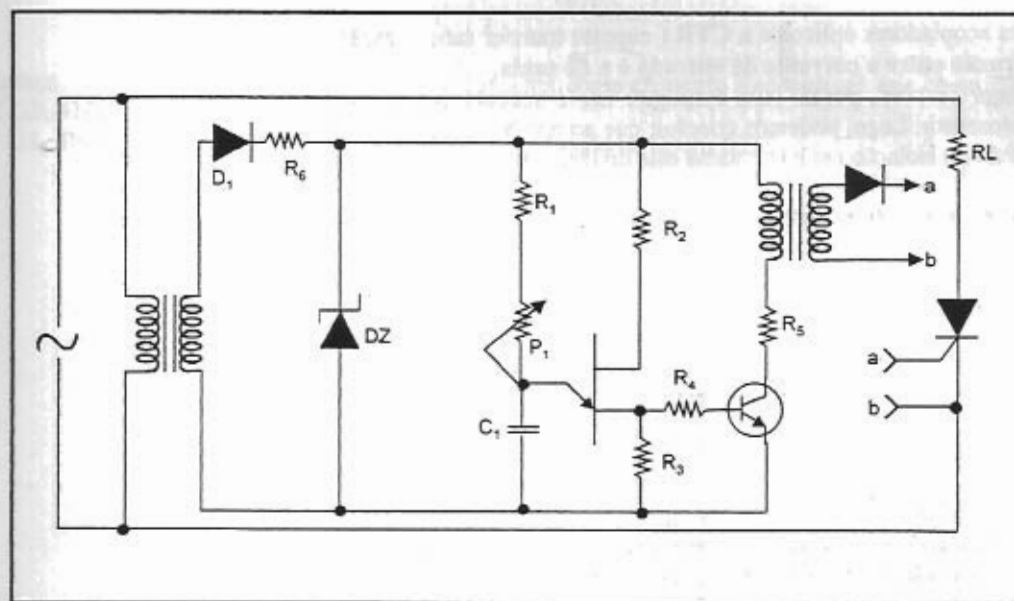


Fig.7.16 - Circuito de disparo com amplificação de corrente de gate.

7.8- Acopladores ópticos ou isoladores ópticos

Os acopladores ópticos surgiram na década de 70 e são utilizados na eletrônica para acoplar dois circuitos que operam com níveis diferentes de potência.

Os acopladores ópticos consistem em uma fonte de luz (fotoemissor) e um fotosensor, que deve ter alta sensibilidade na faixa de frequência de luz emitida pelo fotoemissor.

A luz é acoplada ao sensor através de um material dielétrico transparente ou através do próprio ar.

Na figura 7.17 temos a estrutura interna de um tipo de acoplador óptico, seu símbolo e o tipo de encapsulamento.

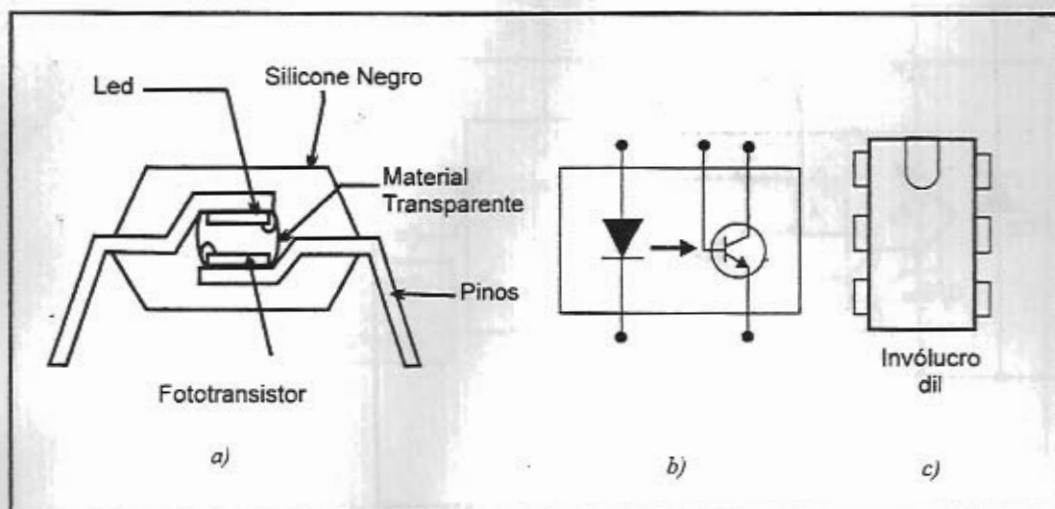


Fig. 7.17 - a) Esquema interno de acoplador óptico.
b) Acoplador óptico com fototransistor.
c) Encapsulamento do componente.

Um dado muito importante dos acopladores ópticos é a **CTR** (^{CURRENT} current transfer ratio = razão de transferência de corrente) que exprime a razão entre a corrente de entrada e a de saída. $CTR = I_s / I_e$

É desejável fazer a CTR a maior possível, porém para conseguir isto é necessária uma diminuição da distância entre o fotoemissor e o fotosensor. Logo, podemos concluir que ao aproximarmos a fonte de luz do sensor, a CTR aumenta, mas a tensão de isolamento cai e isto torna esta distância um parâmetro crítico no projeto dos acopladores ópticos.

Basicamente, todos os acoplados ópticos usam led's infravermelhos, pois são os que melhor se casam com a sensibilidade dos detectores de silício.

7.8.1- Tipos de Acopladores Ópticos

Nos diversos tipos de acopladores ópticos, o elemento fotoemissor é o led, enquanto o elemento fotosensor poderá ser: um fotodiodo, um fototransistor, um fotodiac ou um fotoscr.

7.8.1.1- Acoplador Óptico com Fotodiodo

Na figura 7.18 temos o símbolo do acoplador óptico com fotodiodo.

Os fotodiodos possuem características de velocidade de resposta elevada, sendo este tipo de sensor ideal para transmissão de dados em alta velocidade. Os fotodiodos são pouco sensíveis, exigindo um grande nível de sinal por parte do elemento fotoemissor.

7.8.1.2 - Acoplador Óptico com Fototransistor

Na figura 7.19 temos o símbolo do acoplador óptico com fototransistor que possui uma sensibilidade maior do que os acopladores com fotodiodo, embora a resposta seja mais lenta.

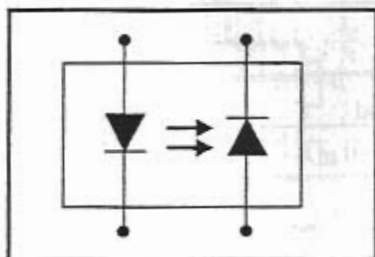


Fig.7.18 - Acoplador óptico com fotodiodo.

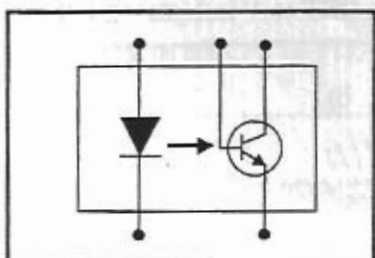
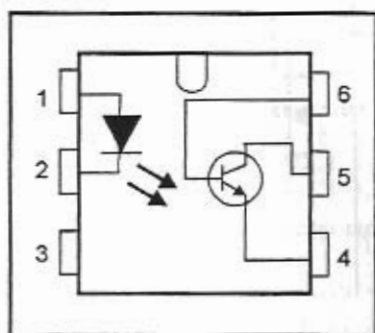


Fig.7.19 - Acoplador óptico com fototransistor.

Na prática, temos acopladores ópticos com fototransistor como elemento fotosensível, tais como: Til 111, 4N25, 4N26, 4N27 e outros.

Til 111, 4N25, 4N26 e 4N27 possuem a pinagem apresentada na figura 7.20.

Fig.7.20 - Pinagem para os CI's
TIL 111, 4N25, 4N26 e 4N27

Na figura 7.21a temos uma tabela contendo os dados técnicos do Til 111 e na figura 7.21b os dados técnicos relativos aos 4N25, 4N26 e 4N27.

Led	Fototransistor
$I_{m\acute{a}x} = 60 \text{ mA}$	Potência = 150 mW
V direta = 1,1	$V_{ceo} = 30 \text{ V}$
V reversa = 3V	$I_{cm\acute{a}x} = 100 \text{ mA}$
Potência = 100 mW	$V_{ec} = 3 \text{ V}$
	$V_{eb} = 7 \text{ V}$
V isolamento = $\pm 1,5 \text{ KV}$ CTR = 12,5 %	

a)

Led	Fototransistor
$I_{m\acute{a}x} = 80 \text{ mA}$	Potência = 150 mW
V direta = 1,1 V	$V_{ceo} = 30 \text{ V}$
V reversa = 3V	$I_{cm\acute{a}x} = 100 \text{ mA}$
Potência = 150 mW	$V_{ec} = 3 \text{ V}$
	$V_{eb} = 7 \text{ V}$
4N25 \Rightarrow V isolamento = $\pm 2,5 \text{ Kv}$ 4N26 e 4N27 \Rightarrow V isolamento = $\pm 1,5 \text{ Kv}$	

b)

Fig. 7.21- a) Dados do Til 111

b) Dados do 4N25, 4N26 e 4N27.

Para os casos em que se deseja maior ganho, pode ser usado um Darlington no lugar do transistor comum. Como a configuração Darlington apresenta menor velocidade em relação ao transistor comum, são indicados para aplicações de baixa velocidade.

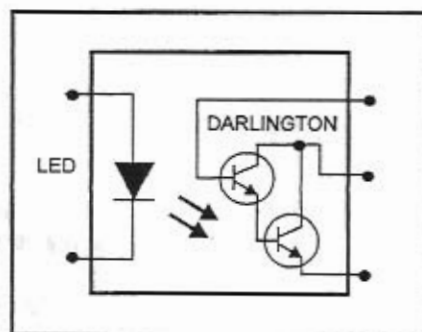


Fig. 7.22 - Acoplador óptico com Darlington.

Dentre alguns conhecidos acopladores ópticos com Darlington temos: Til 113, 4N32 e 4N33. Na figura 7.23 é apresentada a pinagem que é comum a estes acopladores.

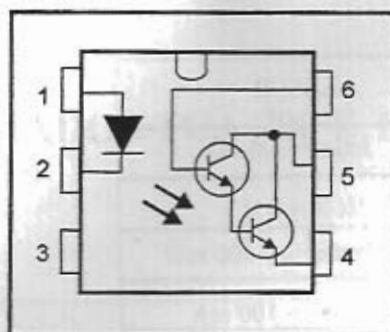


Fig.7.23 - Pinagem para os CI's
TIL 113, 4N32, e 4N33

Na tabela da figura 7.24 são apresentadas os dados dos CI's Til 113, 4N32 e 4N33.

Led	Fototransistor
$I_{m\acute{a}x} = 60 \text{ mA}$	$I_{cm\acute{a}x} = 150 \text{ mA}$
$V \text{ reversa} = 3 \text{ V}$	Potência = 150 mW
Potência = 120 mW	$V_{ceo} = 30 \text{ V}$

Fig. 7.24- Dados do Til 113, 4N32 e 4N33

Os fotoscr (SCR ativados à luz), também conhecido como LASCR, pode ser usado como elemento sível nos acopladores ópticos. Na figura 7.25 é apresentado o símbolo e pinagem para o 4N39 e 4N40.

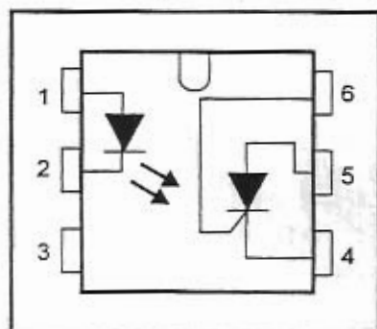


Fig.7.25 - Pinagem do 4N39 e 4N40.

Na figura 7.26 são apresentadas os dados do 4N39 e 4N40.

LED	LASCR
$I_{m\acute{a}x} = 60 \text{ mA}$	$I_{m\acute{a}x} = 300 \text{ mA}$
Potência = 100mW	VGR = 6 V
$V_{r\acute{m}a\acute{x}} = 6 \text{ V}$	Potência = 400 mW
	$I_{Gm\acute{a}x} = 100 \text{ mA}$
	200 V - 4N39
	400 V - 4N40

Fig. 7.26 - Dados dos CI's 4N39 e 4N40.