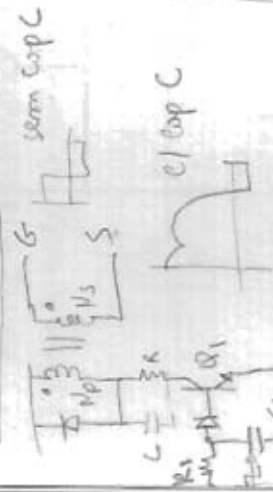
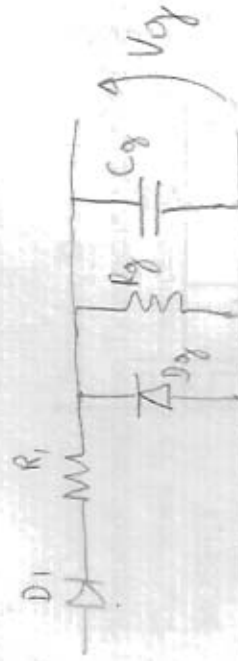


Quando T_1 é fechado, é lançada uma corrente de Gatilho, cujo valor depende de R_1 . D_1 limita a tensão V_{GS} . O MOSFET entra em condução.

Quando T_1 é aberto, V_S inverte de polaridade e D_1 entra em condução no sentido SG; a energia acumulada na indutância de magnetização do transformador é dissipada no diodo Zener D_2 .

Outros circuitos isolados por transformador podem ser empregados.



MVIR UFMG

CAPÍTULO 7

CIRCUITOS AUXILIARES DAS FONTES CHAVEADAS

7.1 - A questão do isolamento

Uma fonte chaveada que alimenta um equipamento eletrônico a partir da rede possui duas funções básicas:

- Propiciar à carga uma tensão (ou várias) que satisfaça determinadas especificações.
- Propiciar o isolamento de blocos mostrados nas Figs. 7.1 e 7.2.

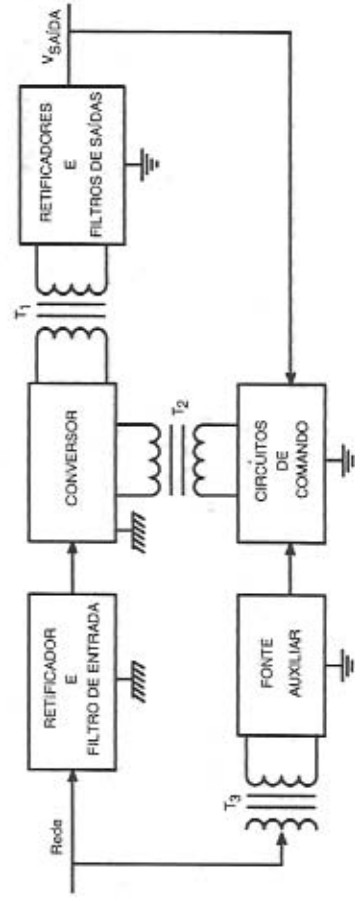


Fig. 7.1: Diagrama de blocos de uma fonte chaveada.

Observando a Fig. 7.1 constata-se a existência de duas massas:

- massa de alta tensão, na qual está conectado o interruptor de chaveamento.
- massa de baixa tensão, na qual está conectada a saída, os circuitos de comando e controle e a fonte auxiliar.

Para assegurar a separação das duas massas são necessários três transformadores:

- T_1 - Transformador principal;
- T_2 - Transformador para o comando de base ou de gatilho;
- T_3 - Transformador da fonte auxiliar.

O que caracteriza a estrutura da Fig. 7.1 é a existência de uma massa comum entre a saída e os circuitos de comando e controle.

No diagrama representado na Fig. 7.2, podem ser evidenciadas 3 características:

- Os circuitos de comando de base ou gatilho encontram-se na massa do interruptor;
- O isolamento entre a baixa e a alta tensão é assegurado pelo transformador principal T_1 e pelo isolador óptico;
- O circuito de controle é alimentado pela própria tensão de carga;
- A fonte auxiliar tem massa comum à alta tensão. Desse modo ela não necessita de transformador de isolamento.

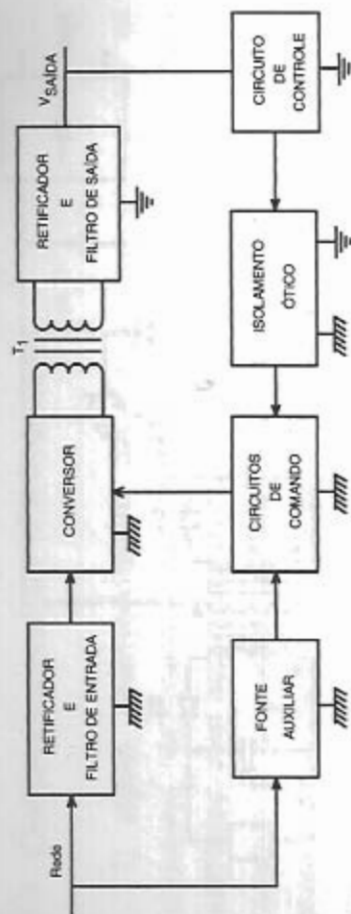


Fig. 7.2: Diagrama de blocos de uma fonte chaveada.

Geralmente a estrutura apresentada na Fig. 7.2 é empregada em fonte do tipo *Flyback*, de baixa potência, com MOSFET.

7.2 - A fonte auxiliar

A fonte auxiliar representada no diagrama da Fig. 7.1 está mostrada na Fig. 7.3, e é do tipo convencional.

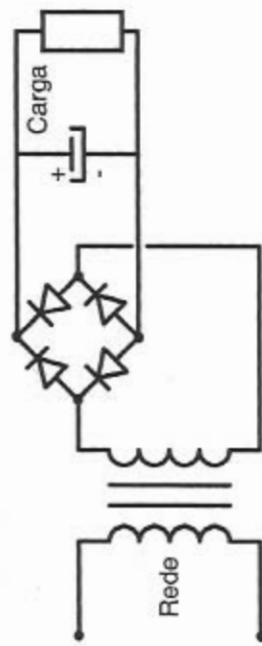


Fig. 7.3: Fonte auxiliar com isolamento.

Nos casos onde não há isolamento, é recomendado o circuito representado na Fig. 7.4.

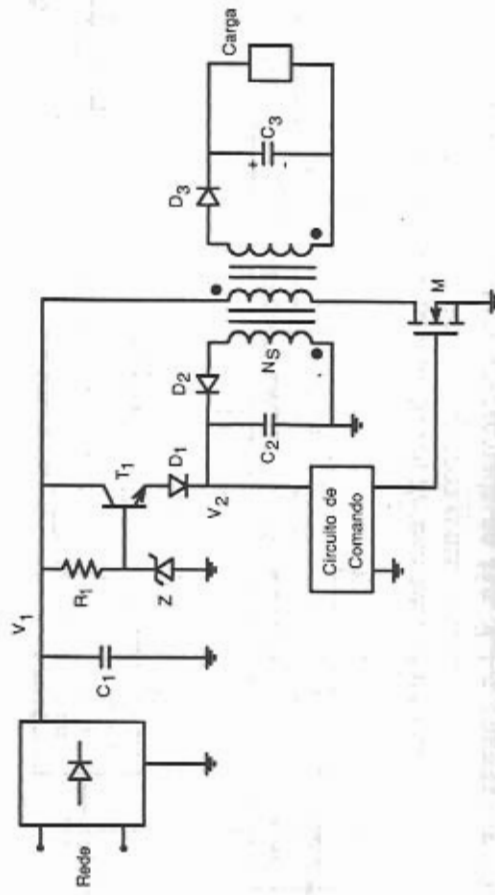


Fig. 7.4: Conversor Flyback com fonte auxiliar não isolada.

Quando a fonte é energizada, o regulador linear formado pelo circuito R_1 , Z e T_1 alimenta o circuito de comando da fonte com a tensão V_2 . Depois que a fonte inicia o funcionamento, o enrolamento N_s fornece energia para alimentar o comando, polarizando D_1 reversamente e bloqueando o transistor T_1 . Desse modo só há consumo de potência em T_1 nos primeiros ciclos de funcionamento. Valores dos parâmetros a título de exemplo:

$$\begin{array}{lll} R_1 = 100k\Omega / 10W & T_1 = \text{TIP 47} & V_1 = 160V \\ Z = 12 V / 1W & C_2 = 10\mu F & \end{array}$$

7.3 - Circuitos integrados PWM dedicados

O rápido desenvolvimento das fontes chaveadas levou os fabricantes de componentes eletrônicos a produzirem circuitos integrados, com múltiplas funções, capazes de realizar o controle, o comando e a proteção dessas fontes, com a adição de alguns componentes externos. O mais popular e de maior disponibilidade no nosso mercado é o 3524 *PWM Control Circuit*, produzido por vários fabricantes.

A estrutura básica do 3524 está representada na Fig. 7.5.

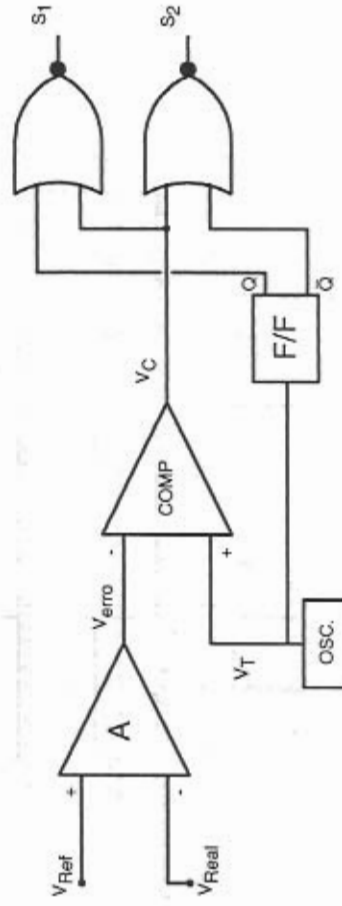


Fig. 7.5: Estrutura básica de um integrado PWM.

A - Amplificador
OSC - Oscilador
COMP - Comparador
F/F - Flip-Flop

As formas de onda associadas à estrutura em questão estão representadas na Fig. 7.6.

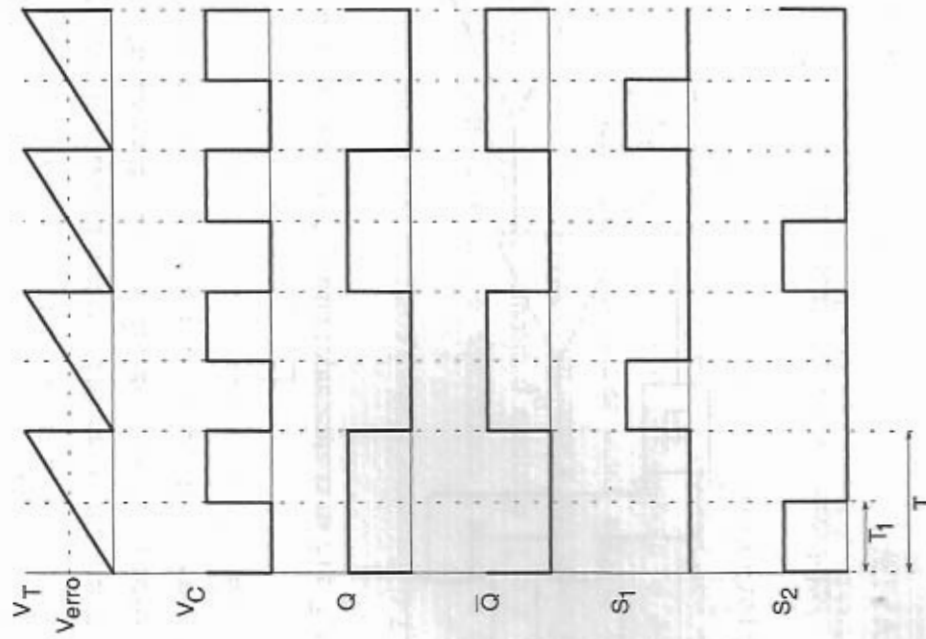


Fig. 7.6: Sinais relativos ao integrado PWM.

S_1 e S_2 são os sinais de saída destinados a comandar a base ou o gatilho de um interruptor (transistor, MOSFET, etc.).

Um exemplo de emprego do integrado 3524 está representado na Fig. 7.7. Trata-se de um conversor CC-CC buck com transistor principal do tipo PNP.

R_T e C_T - definem a frequência de operação.

R_1 e R_2 - formam um divisor resistivo de tensão, a partir da tensão estabilizada do pino 16 e geram V_{REF} para o regulador de tensão A_1 .

C_1 - capacitor de desacoplamento.

R_3 e R_4 - estabelecem o ganho do controlador A_1 .

R_{Sh} - sensor da corrente de carga. V_{Sh} é levado para os pinos 4 e 5, entrada do regulador de corrente A_1 . Quando I ultrapassa um determinado valor A_2 bloqueia os sinais de saída, desativando a fonte.

R_6 - limita a corrente de base de T_P .

Quando o integrado comanda o transistor de um conversor *Flyback* ou *Forward* os dois transistores de saída são associados em paralelo. Nas estruturas do tipo *Bridge*, *Half-Bridge* e *Push-Pull*, cada transistor de saída comanda um transistor de potência.

O controlador emprega o amplificador A_1 , de transcondutância que em sua forma mais geral tem a configuração mostrada na Fig. 7.8.

$$\text{onde } V_{\text{out}} = \frac{Z_2}{Z_1} (V_{\text{in}} - V_{\text{REF}}) \quad (7.1)$$

Z_1 e Z_2 podem ser resistências ou combinações de resistências e capacitâncias.

Informações detalhadas sobre o integrado 3524 estão contidas nos dados técnicos fornecidos pelo fabricante.

7.4 - Soft-Start (Partida Progressiva)

Quando se energiza uma fonte chaveada, é imperativo que a razão cíclica progrida lentamente, desde o valor nulo até o valor necessário para suprir a potência de carga. Caso contrário há o risco de destruição do interruptor, saturação do transformador e overshoot de saída.

Um circuito recomendado para ser empregado com o 3524 está representado na Fig. 7.9 cujo funcionamento é o seguinte: quando a fonte é energizada, $V_9 = V_C = 0$ e a razão cíclica é nula. Na medida que C se carrega pelo resistor R_1 a razão cíclica progride exponencialmente enquanto D_1 se mantiver polarizado. Quando $V_C = V_9$, o sistema passa a ser comandado pelo controlador A_1 . O circuito *Soft-Start* fica isolado pelo diodo D_1 . Quando a fonte é desligada, C se descarrega rapidamente via D_2 .

7.5 - Circuitos para limitação da corrente

Geralmente os fabricantes dos equipamentos alimentados por fontes chaveadas exigem que mediante um curto-circuito a fonte seja desativada. A reativação só é permitida após o desligamento e religamento do equipamento. O método de limitação de corrente apresentado na Fig. 7.7, não é indicado para esses casos, particularmente quando o comando do interruptor é isolado.

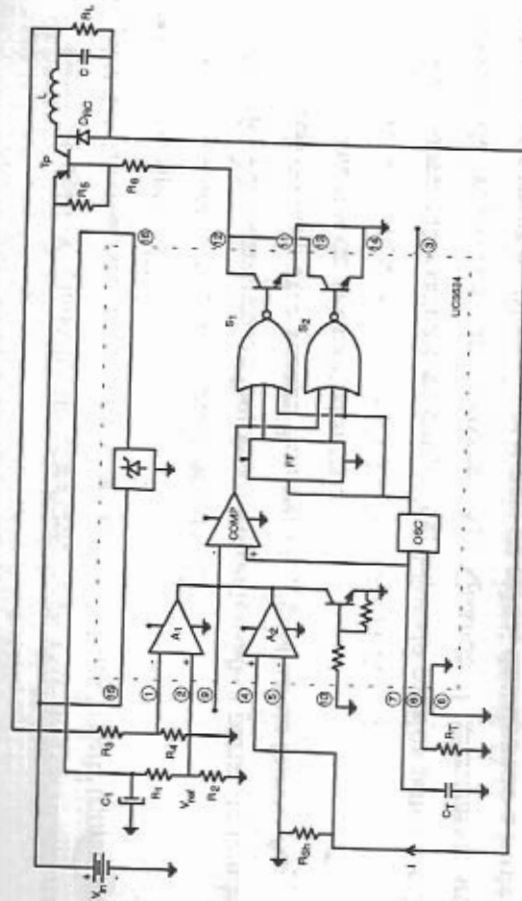


Fig. 7.7: Exemplo de emprego do integrado 3524.

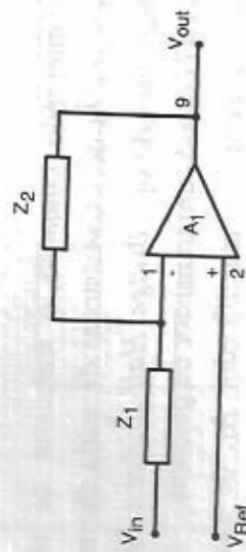


Fig. 7.8: Controlador da tensão.

O pino 10 pode ser empregado para desativar a fonte. Quando V_{10} é positiva, o transistor T_1 satura, aterrando o pino 9 e inibindo os sinais de comando. Quando não estiver sendo empregado deve ser aterrado.

O fato de se aterrar o pino 9 não danifica os amplificadores, visto que por serem de transcondutância possuem alta impedância de saída.

Um circuito muito robusto e preciso está representado na Fig. 7.10.

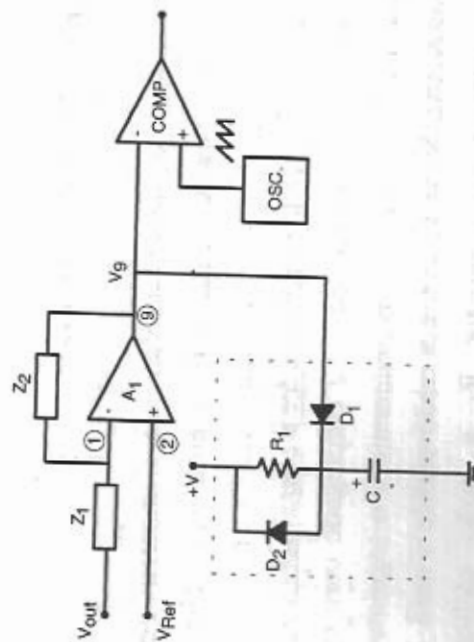


Fig. 7.9: Circuito para realizar a perda progressiva.

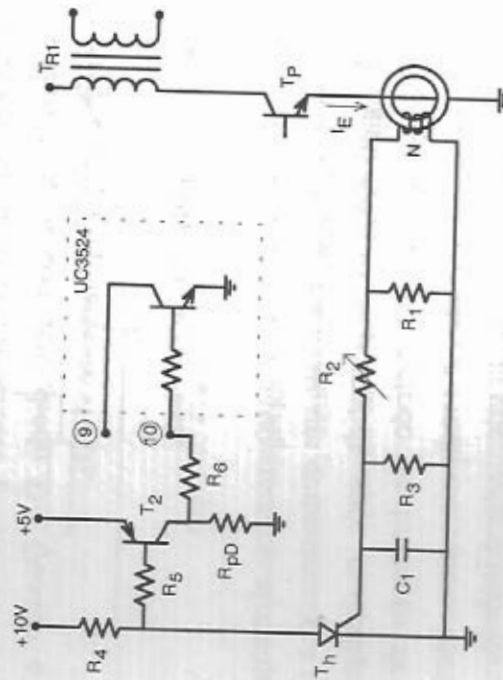


Fig. 7.10: Circuito de proteção contra sobrecorrente.

Uma sobrecorrente em T_P provoca o disparo de um pequeno tiristor T_h que satura T_2 , coloca o pino 10 em nível alto e aterriza o pino 9. A fonte fica desativada até o instante que seja desligada e T_h se bloqueia. O circuito apresentado pode ser empregado em qualquer tipo de fonte chaveada.

Em um projeto realizado no INEP, numa fonte do tipo *Flyback*, em condução descontínua, foram empregados os seguintes valores:

$$\begin{aligned} T_h &= \text{TIC 106D} & C_1 &= 56\text{nF} \\ R_1 &= 2,2\Omega & R_5 &= 120\Omega \\ R_2 &= 1\text{k}\Omega & R_4 &= 150\Omega \\ R_3 &= 1\text{k}\Omega & R_6 &= 2,2\text{k}\Omega \end{aligned}$$

$$N = 10 \text{ espiras}$$

Núcleo - Toroidal, Ferrite, da Thornton.

O circuito empregado desativa a fonte com 15A de corrente no transistor.

7.6 - O isolador ótico

Como já ficou estabelecido, quando se deseja atacar diretamente a base do transistor principal com o integrado PWM, sem isolamento, há necessidade de se empregar um isolador ótico entre a tensão de saída e os sinais de comando.

Seja o circuito representado na Fig. 7.11.

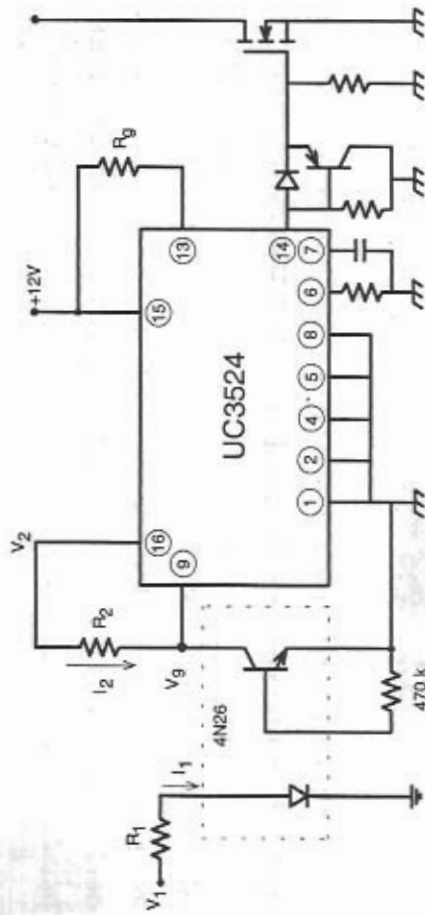


Fig. 7.11: Exemplo de emprego de isolamento ótico.

Seja a tensão V_1 oriunda do controlador, com valores de 3V a 10V.

A rampa gerada pelo oscilador do CI 3524 varia de 0,6 a 4V como está representado na Fig. 7.12.

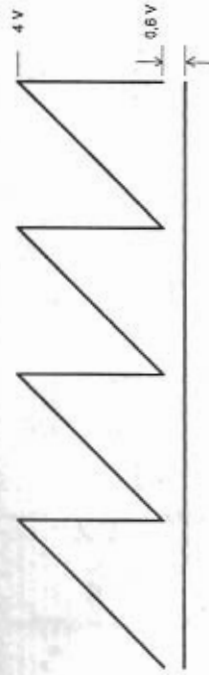


Fig. 7.12: Rampa interna do CI 3524.

Desse modo a tensão V_9 no coletor do fototransistor deve variar entre 0,6 e 4V para cobrir todas as razões cíclicas possíveis.

Nas Figs. 7.13, 7.14 e 7.15 estão apresentados resultados experimentais obtidos com o circuito apresentado na Fig. 7.11, com o fotoacoplador 4N26, no INEP.

A curva mais adequada para o projeto em questão é a representada na Fig. 7.15 com $R_1 = R_2 = 1,5k\Omega$. Uma das dificuldades do emprego do isolador é a insuficiência de informações de catálogos técnicos.

A partir da Fig. 7.15, constata-se que o ganho do isolador na configuração implementada varia com o ponto de operação.

A partir do circuito, o ganho pode ser calculado do seguinte modo:

$$V_9 = V_2 - R_2 I_2 \quad (7.2)$$

$$I_1 = \frac{V_1 - 1}{R_1} \quad (7.3)$$

$$I_2 = \beta I_1 \quad (7.4)$$

Assim:

$$V_9 = V_2 - R_2 \beta I_1 = V_2 - \frac{R_2}{R_1} \beta (V_1 - 1) \quad (7.5)$$

$$V_9 = V_2 - \frac{R_2}{R_1} \beta V_1 + \frac{R_2}{R_1} \beta \quad (7.6)$$

$$G = \frac{\partial V_9}{\partial V_1} = -\frac{R_2}{R_1} \beta \quad (7.7)$$

$$\text{Se } R_2 = R_1 \Rightarrow \boxed{G = \beta}$$

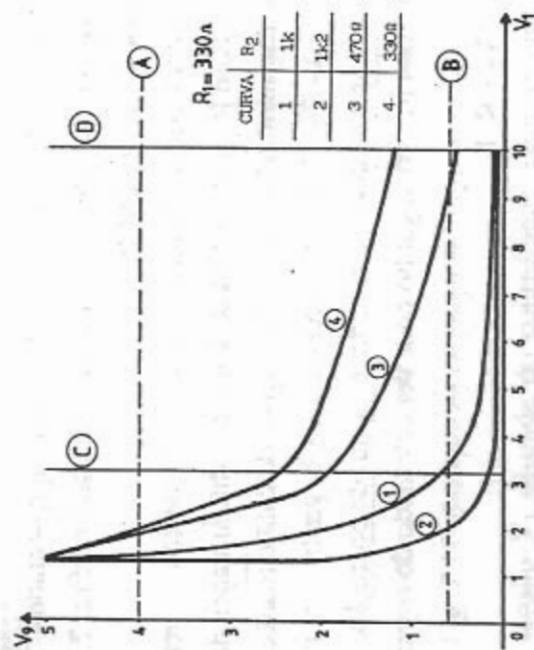


Fig. 7.13: Características experimentais.

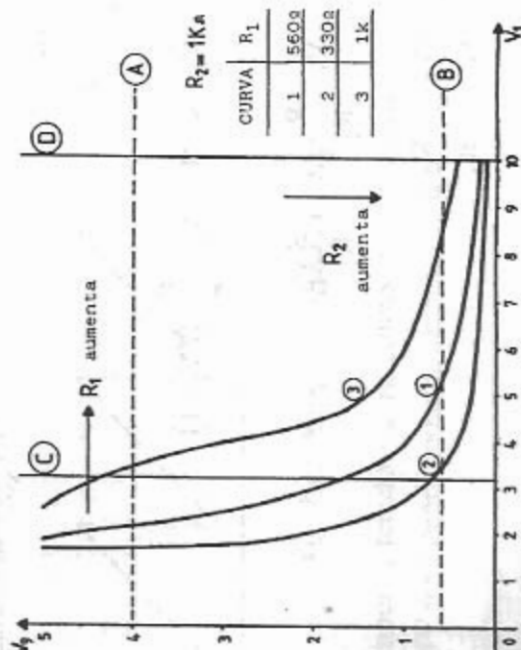


Fig. 7.14: Características experimentais.

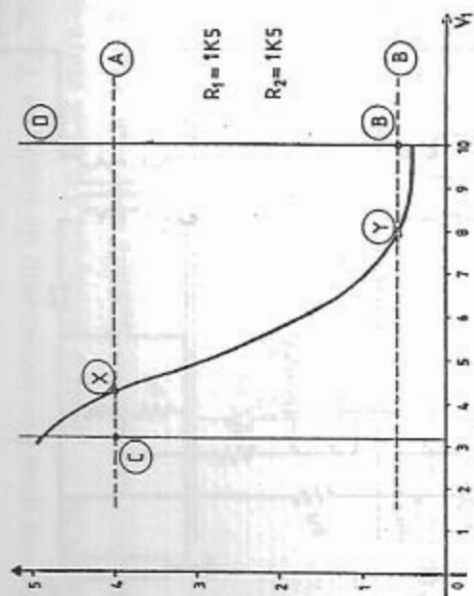


Fig. 7.15: Características experimentais.

7.7 - Regulador de saída

Quando se emprega o isolador ótico, é fundamental que se situe o controlador da tensão de saída da fonte antes dele para evitar a influência da temperatura no erro estático da tensão de saída.

Um circuito típico está representado na Fig. 7.16.

A tensão V_{REF} é produzida pelo Zener Z, compensado em temperatura. A imagem da tensão de saída é obtida pelo divisor resistivo R_1/R_2 . A é um amplificador operacional convencional. R_4 , R_5 e C_3 definem a função transferência do controlador. A saída do operacional alimenta o fotodiodo do isolador ótico.

Normalmente a fonte é de múltiplas saídas. Desse modo duas saídas de tensões mais elevadas podem ser empregadas para alimentar o amplificador operacional.

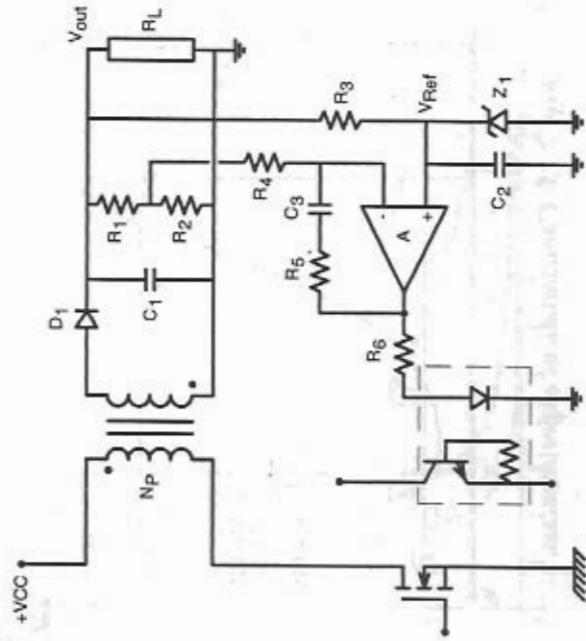


Fig. 7.16: Regulador para fonte com isolador ótico.

7.8 - Proteção contra sobretensão na saída

Há certas situações em que uma falha de um estágio de uma fonte chaveada ou um erro no ajuste na linha de produção pode provocar o aparecimento de uma tensão excessiva na saída. Tais excessos de tensão podem provocar danos nas cargas e portanto devem ser evitados.

Um circuito de proteção muito difundido, por ter um custo muito baixo, está representado na Fig. 7.17.

Normalmente $V_{out} < V_Z + V_{GK}$. Desse modo o gatilho do SCR se mantém aterrado e o tiristor bloqueado.

Diante de um mau funcionamento da fonte, se $V_{out} \geq V_Z + V_{GK}$, a tensão de avalanche do zener é alcançada e o SCR entra em condução, curto-circuitando o barramento de saída e zerando a tensão na carga.

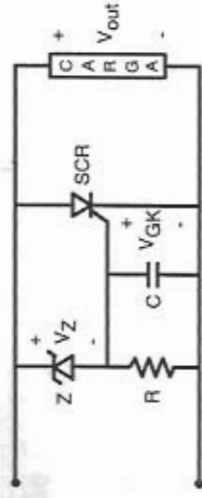


Fig. 7.17: Circuito de proteção contra sobretensão.

Obviamente a fonte é colocada em curto e a proteção contra sobrecorrente é acionada e desativa a fonte. No caso de a sobretensão na saída ter sido provocada por uma falha no interruptor de chaveamento da fonte, há impossibilidade de bloqueio e o circuito de proteção contra sobrecorrente não atua. Desse modo deve abrir o fusível situado na entrada da fonte e que deve estar corretamente dimensionado.

Após tais incidentes, o operador desligará o sistema e substituirá a fonte. O mais importante de tudo é que a carga fica preservada.

O circuito RC colocado em paralelo com o SCR impede o disparo acidental por ruído.

Devido à tolerância nas tensões V_Z e V_{GK} , o circuito apresentado pode não ser suficientemente preciso para algumas aplicações. Nesses casos o Zener pode ser substituído por um comparador integrado com tensão de referência compensada em temperatura.

É importante que o SCR empregado tenha capacidade térmica para suportar a corrente de curto-circuito durante o tempo necessário para a proteção contra sobrecorrente reagir.