

10. CIRCUITOS INTEGRADOS DEDICADOS AO ACIONAMENTO E CONTROLE DE FONTES CHAVEADAS COM CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

Nos últimos anos, uma variedade de circuitos integrados dedicados ao controle de fontes chaveadas com correção de fator de potência foi desenvolvida.

Diferentes tipos de controle são possíveis:

- a) No modo de condução descontínuo, circuitos que produzem sinal PWM a partir do erro da tensão de saída são usados. Neste caso o CI pode ser o mesmo utilizado em fontes chaveadas normais.
- b) No modo de condução crítico, o CI deve prever a detecção de corrente nula, operando em frequência variável e largura de pulso fixa.
- c) No modo de condução contínuo o CI deve ter um circuito multiplicador a fim de gerar a referência de corrente, corrente esta que deve ser realimentada.

Além disso, a maioria possui um amplificador de erro e uma referência interna, permitindo a implementação da malha de controle.

Dada a dinâmica do mercado de fabricantes de CIs, é possível que os circuitos apresentados neste capítulo tenham sido descontinuados, ou tenham alterado a denominação. No entanto, o objetivo é o de apresentar características distintivas dos diversos CIs. Mesmo em caso de descontinuidade, certamente outros dispositivos semelhantes estão disponíveis no mercado.

As características específicas de cada CI variam em função da aplicação, do grau de desempenho esperado, das proteções implementadas, etc. Em linhas gerais pode-se dizer que os atuais CIs possuem as seguintes características [10.1,10.2]:

- oscilador interno ou programável (frequência até 500 kHz);
- sinal MLP linear, com ciclo de trabalho de 0 a 100%;
- amplificador de erro integrado;
- referência de tensão integrada;
- inibição por subtensão e sobretensão;
- elevada corrente de saída no acionador;
- "soft start";
- limitação de corrente;
- capacidade de sincronização com outros osciladores.

10.1 Realimentações de tensão e de corrente

Os pré-reguladores de fator de potência, via de regra, apresentam sua tensão CC não isolada eletricamente da tensão de entrada. Eventuais isolamentos são feitos no estágio posterior.

Desta forma é possível ter sempre um ponto comum entre a tensão na saída do retificador (onde se faz a medida da tensão de entrada a qual definirá a forma da corrente de entrada) e a tensão CC de saída, permitindo as realimentações necessárias.

A figura 10.1 indica duas possibilidades de implementação destas realimentações, num conversor elevador de tensão e num conversor Cuk.

Diferentes métodos de se observar a corrente podem ser usados. O método resistivo é o mais simples, embora em geral, para diminuir a dissipação de potência, tenha-se uma tensão reduzida. Um filtro RC é recomendado para eliminar ruídos espúrios, os quais poderiam acionar proteções de maneira errada. Um acoplamento via transformador permite isolamento e aumento de eficiência, embora aumente a complexidade e o custo do sistema. A figura 10.2 mostra algumas possibilidades de medida da corrente.

O uso de sensores tipo Hall permite uma medição de valores CC e CA, com ampla faixa de resposta e isolada eletricamente.

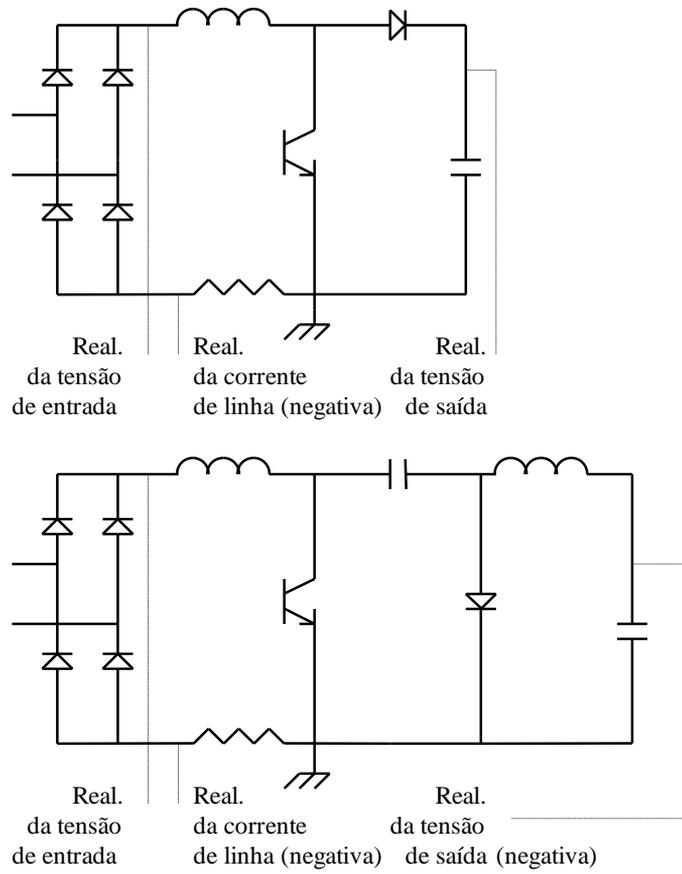


Figura 10.1 Realimentações de tensão e de corrente.

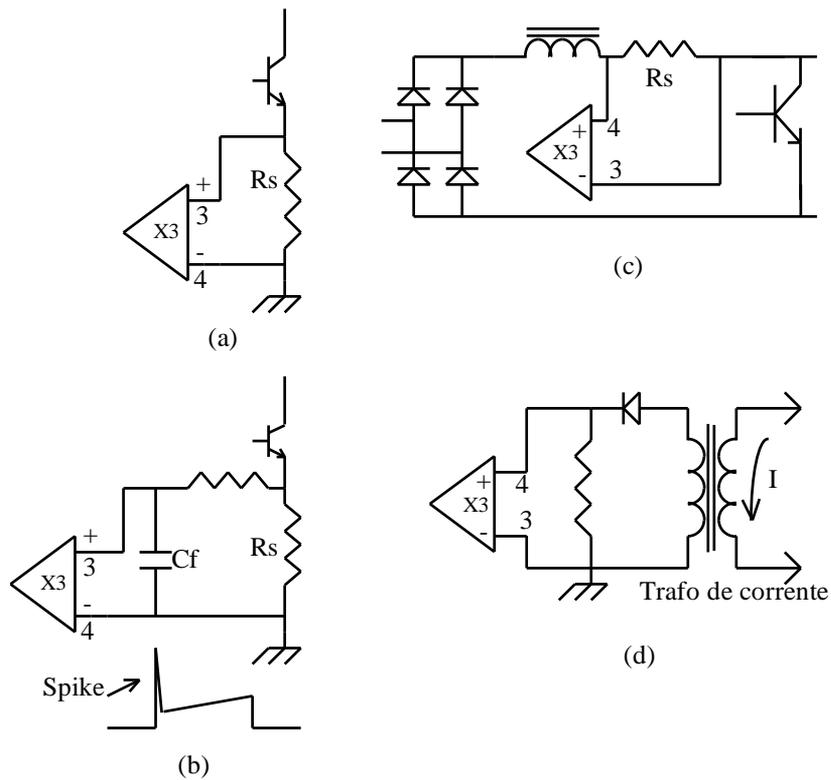


Figura 10.2 Métodos para medição da corrente

10.2 UC1524A (ou 2524 ou 3524)

O circuito integrado UC1524A é uma versão melhorada dos primeiros controladores MLP, o SG1524. O diagrama de blocos está mostrado na figura 10.3.

Como se trata de um CI que produz um sinal MLP, sua aplicação se dá em conversores que operam no modo descontínuo, com ciclo de trabalho constante.

Um gerador de onda dente de serra tem sua frequência determinada por um par RC conectado externamente. O limite usual é de 500 kHz. A rampa gerada tem uma excursão de aproximadamente 2,5 V. O comparador MLP tem uma entrada (positiva) proveniente deste gerador de rampa e a outra pode ser fornecida pelo amplificador de erro da tensão de saída ou pelo limitador de corrente da saída.

O integrado possui uma fonte interna de referência de 5 V, $\pm 1\%$. Desta forma, tal tensão pode ser usada no amplificador de erro como referência direta para saídas de 5 V. Caso a saída seja de maior valor, usa-se um divisor de tensão. O amplificador de erro é do tipo transcondutância, ou seja, apresenta uma elevada impedância de saída, comportando-se como uma fonte de corrente. O compensador pode ser utilizado tanto entre a saída (pino 9) e a entrada inversora ou entre a saída e o terra, ou seja, conectada apenas ao pino 9. O amplificador limitador de corrente pode ser usado no modo linear ou com limitação pulso a pulso. Sua tensão de limiar é de 200 mV.

Um sensor de subtensão inibe o funcionamento dos circuitos internos, exceto a referência, até que a tensão de entrada (V_{in} , pino 15) seja superior a 8 V.

O sinal do oscilador aciona um flip-flop de modo a selecionar a qual das saídas será enviado o sinal MLP. Este sinal passa por um *latch*, de modo a garantir um único pulso por ciclo, podendo ainda ser inibido pela entrada de *shutdown* (pino 10), o qual atua em 200ns. A saída dupla permite o acionamento de uma topologia *push-pull*. Os transistores podem fornecer 200mA, suportando 60 V, podendo ser paralelados.

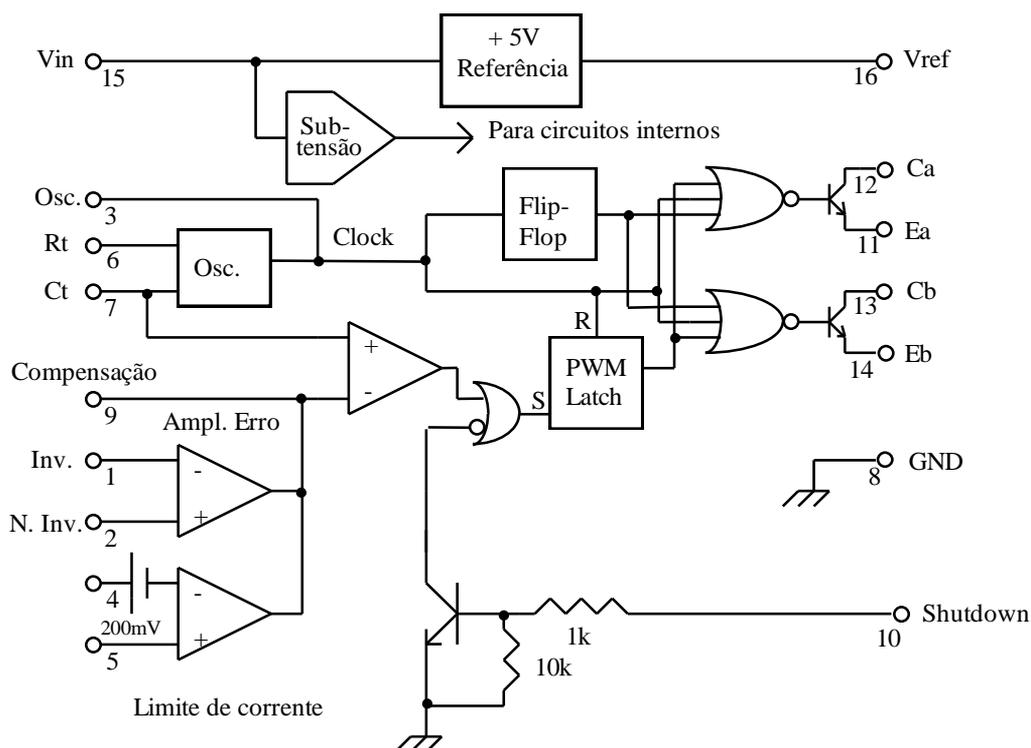


Figura 10.3 Diagrama de blocos interno do UC1524A

10.3 LT1249

Este CI [10.3] possui apenas 8 pinos, de modo que os recursos acessíveis ao usuário são restritos. Dedicar-se ao acionamento de conversores tipo elevador de tensão no modo contínuo, com controle da corrente média.

São ajustes internos: a referência de tensão (7,5 V) e a frequência de chaveamento (100 kHz). O multiplicador apresenta um ganho quadrático para a corrente CA, de modo a reduzir as distorções que tendem a ocorrer nas proximidades do cruzamento com o zero e manter a estabilidade para situações de baixa corrente de carga.

Além disso, como nesta região o ciclo de trabalho tende à unidade, existe a possibilidade de ocorrerem instabilidades. Tais instabilidades são possíveis quando a largura de pulso se torna maior do que 50% e ocorre uma perturbação na carga ou na alimentação. Este é um comportamento típico do controle no modo corrente.

O CI prevê a implementação de proteções contra sobre-tensão e limitação da corrente.

O amplificador de erro de tensão possui um ganho de 100 dB (CC) e uma faixa de ganho unitário de 1,5 MHz. O amplificador de corrente é do tipo transcondutância (320 μ mho e ganho de 60 dB com saída em aberto). A resistência de saída é de 4 M Ω .

Este CI pode ser sincronizado por um sinal externo na faixa de 127 kHz a 160 kHz. Sincronização é possível quando a tensão no pino 2 é levada abaixo de 5,5 V.

A proteção contra sobretensão é necessária devido à lenta resposta do sistema a variações na carga (o filtro de saída é projetado para atenuar 120 Hz). Ela é implementada colocando-se uma rede RC entre a entrada e a saída do amplificador de erro de tensão (pinos 6 e 5, respectivamente), de modo que rapidamente o sistema atue no sentido de limitar a sobre-tensão.

Como o consumo de corrente do CI é baixo (250 μ A, sem que ocorra acionamento da saída), a partida pode ser feita com uma alimentação obtida da própria rede, através de um resistor de elevado valor (90 k Ω). Com o funcionamento da fonte, a alimentação pode ser provida por um circuito auxiliar, como se vê na figura 10.4.

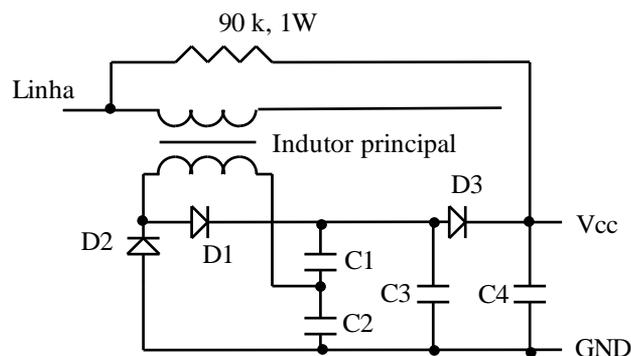


Figura 10.4. Esquema para alimentação do CI.

O diagrama esquemático do CI em uma aplicação está mostrado na figura 10.5.

Os pinos têm as seguintes funções:

Pino 1: Terra

Pino 2 (CA_{OUT}): É a saída do amplificador de corrente, a qual sensora e força a corrente de linha a seguir o sinal de referência que vem do multiplicador. Isto é feito controlando o modulador de largura de pulso. Quando CA_{OUT} é baixo, o modulador apresenta um ciclo de trabalho nulo.

Pino 3 (M_{OUT}): A corrente de saída do multiplicador sai por este pino através de um resistor de 4 k Ω (R_{MOUT}). A tensão sobre este resistor é a referência para o laço de corrente, estando limitada a 1,1 V. A entrada não inversora do amplificador de corrente também está conectada ao mesmo resistor. Em operação M_{OUT} tem normalmente um valor negativo e apenas sinais CA aparecem neste ponto.

Pino 4 (I_{AC}): Este pino é o que sensora a tensão CA da alimentação, servindo como entrada para o multiplicador. Esta é uma entrada em corrente, que é polarizada em 2 V para minimizar a zona morta que ocorre nos cruzamentos com zero. Um resistor de 25 k Ω é colocado em série com a entrada e um pequeno capacitor (externo) é usado para filtrar os ruídos de chaveamento. Note-se que a ondulação produzida pelo chaveamento chega ao multiplicador através do pino I_{AC} e pode causar instabilidades.

Pino 5 (V_{AOUT}): É a saída do amplificador de erro de tensão. A tensão é limitada a 12 V. Quando a saída cai abaixo de 1,5 V, a saída do multiplicador é zero.

Pino 6 (V_{SENSE}): É a entrada inversora do amplificador de erro de tensão, pino no qual se faz a realimentação da tensão de saída.

Pino 7 (GTRD): É a saída de acionamento, capaz de fornecer 1,5 A, com tensão limitada a 15 V. Cargas capacitivas como um *gate* de MOSFET podem provocar uma sobre-tensão, que pode ser eliminada por uma resistência série de, no mínimo, 5 Ω .

Pino 8 (V_{CC}): É o pino de alimentação do CI, cujo valor máximo é de 27 V. O CI entra em condução para uma tensão superior a 16V, desabilitando-se para uma tensão inferior a 10 V. Para permitir o suprimento do pico de corrente necessário na saída (pino 7), deve-se usar um capacitor de "bypass" tipo cerâmico (100 nF), associado a um eletrolítico (maior que 56 μ F) com baixa resistência série equivalente.

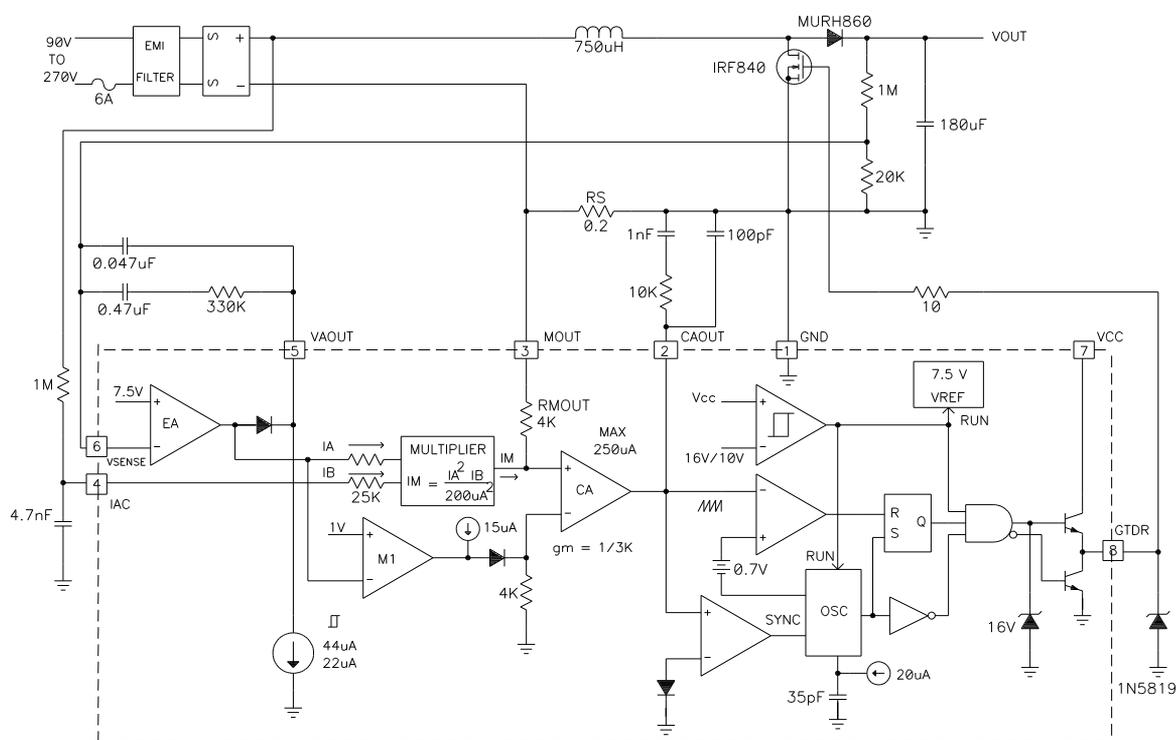


Figura 10.5 Diagrama esquemático do LT1249 em aplicação típica.

10.4 LT1248

Este CI [10.3] possui recursos mais amplos que o LT1249, mantendo características de operação do mesmo tipo, como o multiplicador quadrático, as tensões de operação, a referência interna, a possibilidade de sincronização, as proteções contra sobretensão e picos de corrente. As características dos amplificadores de erro, do acionador de saída e do modulador MLP também se mantêm.

Neste CI a frequência é definida por um par RC conectado externamente, operando até 300 kHz.

O diagrama esquemático e uma aplicação estão mostrados na figura 10.6.

A pinagem tem as seguintes funções:

Pino 1: Terra

Pino 2 (PK_{LIM}): Estabelece o limite de corrente (valor de pico), utilizando um divisor resistivo conectado à referência interna.

Pino 3 (CA_{OUT}): É a saída do amplificador de corrente, a qual sensora e força a corrente de linha a seguir o sinal de referência que vem do multiplicador. Isto é feito controlando o modulador de largura de pulso. Quando CA_{OUT} é baixo, o modulador apresenta um ciclo de trabalho nulo.

Pino 4 (I_{sense}): É a entrada inversora do amplificador de corrente. A tensão é grampeada em -0,6 V por um diodo de proteção.

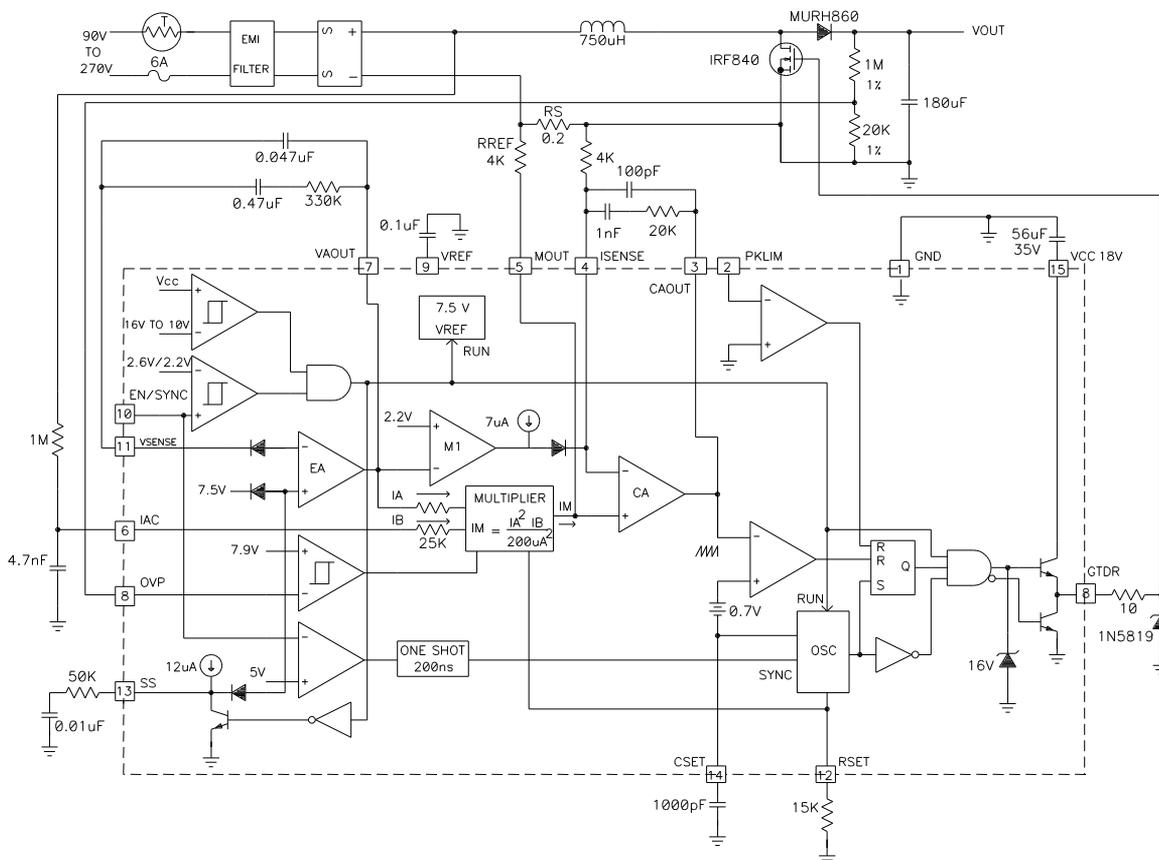


Figura 10.6. LT1248 em aplicação típica.

Pino 5 (M_{out}): É a saída de alta impedância do multiplicador de corrente e a entrada não inversora do amplificador de corrente. A tensão é limitada entre -0,6 V e 2 V.

Pino 6 (I_{ac}): Este pino é o que sensora a tensão CA da alimentação, servindo como entrada para o multiplicador. Esta é uma entrada em corrente, que é polarizada em 2 V para minimizar a zona morta que ocorre nos cruzamentos com zero. Um resistor de 25 k Ω é colocado em série com a entrada e um pequeno capacitor (externo) é usado para filtrar os ruídos de chaveamento.

Pino 7 (VA_{out}): É a saída do amplificador de erro de tensão. A tensão é limitada a 13,5 V. Quando a saída cai abaixo de 2,5 V, a saída do multiplicador é zero.

Pino 8 (OVP): É a entrada do comparador de sobre-tensão. O limiar é 1,05 vezes o valor da tensão de referência. Quando o comparador atua, o multiplicador é rapidamente inibido.

Pino 9 (V_{ref}): É a referência interna de 7,5 V. Esta tensão será nula quando a alimentação for menor do que a mínima especificada ou quando EN/SYNC estiver em um nível baixo. Esta fonte pode fornecer 5 mA.

Pino 10 (EN/SYNC): Com uma tensão inferior a 2,6 V o CI está inibido, drenando uma corrente mínima da fonte. Pulsos neste pino abaixo do limiar de 5 V sincronizam o funcionamento do CI com outra referência de frequência. Os pulsos de sincronismo devem ter, no mínimo 200 ns.

Pino 11 (V_{sense}): É a entrada inversora do amplificador de erro de tensão, pino no qual se faz a realimentação da tensão de saída.

Pino 12 (R_{set}): Um resistor colocado para o terra determina a corrente de carga do oscilador e a máxima corrente de saída do multiplicador, que estabelece a máxima corrente da linha $I_{M(max)} = 3,75V/R_{set}$

Pino 13 (SS): Partida suave. Quando V_{cc} ou EN/SYNC estiver em nível baixo, o pino SS estará em zero. Com um capacitor deste pino para o terra, uma corrente (12 uA) lentamente traz esta tensão até 8 V; abaixo de 7,5 V, SS funciona como a referência para o amplificador de tensão. Com a queda na alimentação ou a inibição do CI este capacitor rapidamente se descarrega.

Pino 14 (C_{set}): Juntamente com R_{set} determina a frequência de oscilação. A rampa observada sobre o capacitor tem amplitude de 5V. A frequência de oscilação é dada por $f = 1,5/(R_{set} \cdot C_{set})$

Pino 15 (V_{cc}): É o pino de alimentação do CI, cujo valor máximo é de 27 V. O CI entra em condução para uma tensão superior a 16 V, desabilitando-se para uma tensão inferior a 10 V. Para permitir o suprimento do pico de corrente necessário na saída (pino 7), deve-se usar um capacitor de "bypass" tipo cerâmico (100 nF), associado a um eletrolítico com baixa ESR (maior que 56 uF).

Pino 16 (GTRD): É a saída de acionamento, capaz de fornecer 1,5 A, com tensão limitada a 15 V. Cargas capacitivas como um *gate* de MOSFET pode provocar uma sobre-tensão, que pode ser eliminada por uma resistência série de no mínimo 5 Ω .

10.5 MC34262

O MC34262 é um CI [10.4] adequado ao acionamento de um conversor elevador de tensão, operando no modo crítico corrente, ou seja, permitindo que a corrente atinja o zero, mas não a deixando neste nível, como pode ser visto na figura 10.7.

O diagrama de blocos do circuito, em uma aplicação típica, está mostrado na figura 10.8.

O amplificador de erro é do tipo transcondutância, ou seja, tem elevada impedância de saída, o que permite realizar a função do controlador conectando-se os componentes adequados apenas em sua saída (pino 2). A entrada não inversora deste amplificador não é acessível, dispondo internamente de uma tensão de referência de 2,5 V. O sinal da tensão de saída, por meio de um divisor de tensão adequado, é conectado à entrada inversora (pino 1). Este mesmo sinal é usado pelo sensor de sobretensão de saída, o qual inibe a liberação de pulsos para o transistor de potência.

A saída deste amplificador de erro é uma das entradas do bloco multiplicador, o qual permite adequar a amplitude da referência da corrente para que se obtenha a potência desejada na saída. A outra entrada do multiplicador vem da tensão de entrada, após o retificador de onda completa (pino 3). A saída do multiplicador determina o nível de tensão utilizado no comparador de corrente, definindo assim o comportamento da corrente, em sua forma e amplitude. Ao ser detectado um erro na tensão de saída, o multiplicador atua no sentido de modificar a largura do pulso, a fim de corrigir o desvio.

A corrente média consumida pelo pré-conversor passará a seguir uma forma senoidal, estando em fase com a tensão, o que garante o fator de potência elevado.

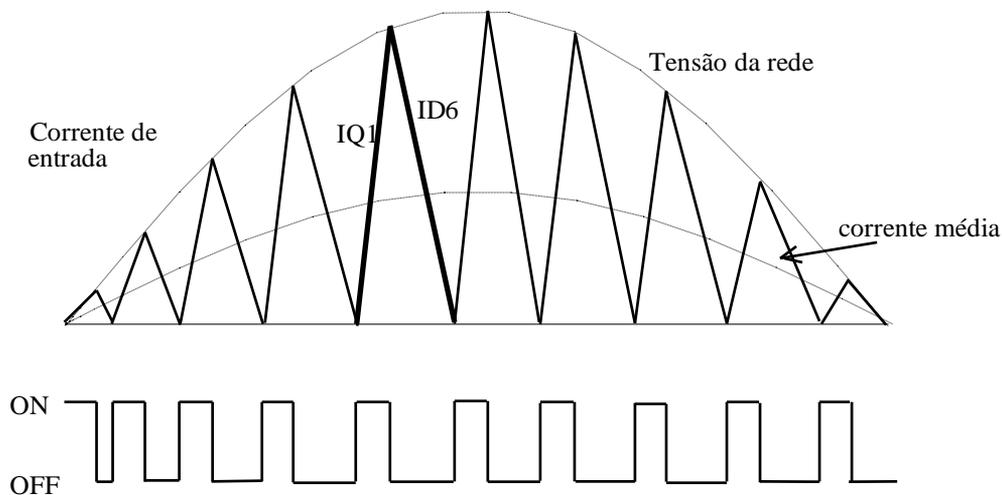


Figura 10.7 Formas de onda no modo de condução crítico.

O transistor de saída permanece em condução até que o valor instantâneo da corrente atinja o limite estabelecido pela saída do multiplicador. Com seu desligamento, a corrente circula pelo diodo D5, diminuindo, até atingir zero. A detecção do zero é feita por um comparador com histerese, a partir de um sinal vindo de um enrolamento auxiliar acoplado ao indutor. Quando se verifica tal situação, o *latch* RS libera a saída de um novo e único pulso para acionamento do transistor de potência.

O mesmo enrolamento auxiliar possibilita a alimentação do CI, sendo a partida determinada pela carga do capacitor C4 através do resistor R6.

O temporizador permite o início ou reinício de funcionamento do conversor caso a saída fique em nível baixo por 400us após a corrente do indutor ter atingido zero. Isto pode ocorrer, por exemplo, se um ruído for detectado pela entrada do pino 4, levando ao desligamento incorreto da saída.

O detector de subtensão fica monitorando a tensão CC de alimentação do CI, a qual deve ficar entre 8 e 14 V (comparador com histerese). Um diodo zener interno de 36 V protege o integrado contra sobretensões.

O "quickstart" carrega o capacitor de compensação, C1, com 1,6 V, o que o coloca no limiar de atuação do multiplicador. Deste modo, assim que o circuito inicia a partida o controle passa a atuar.

Os transistores de acionamento podem fornecer picos de 500 mA, com tempos de subida e descida de 50 ns, com uma carga de 1 nF. Um diodo zener de 16 V protege a junção *gate/source* do MOSFET.

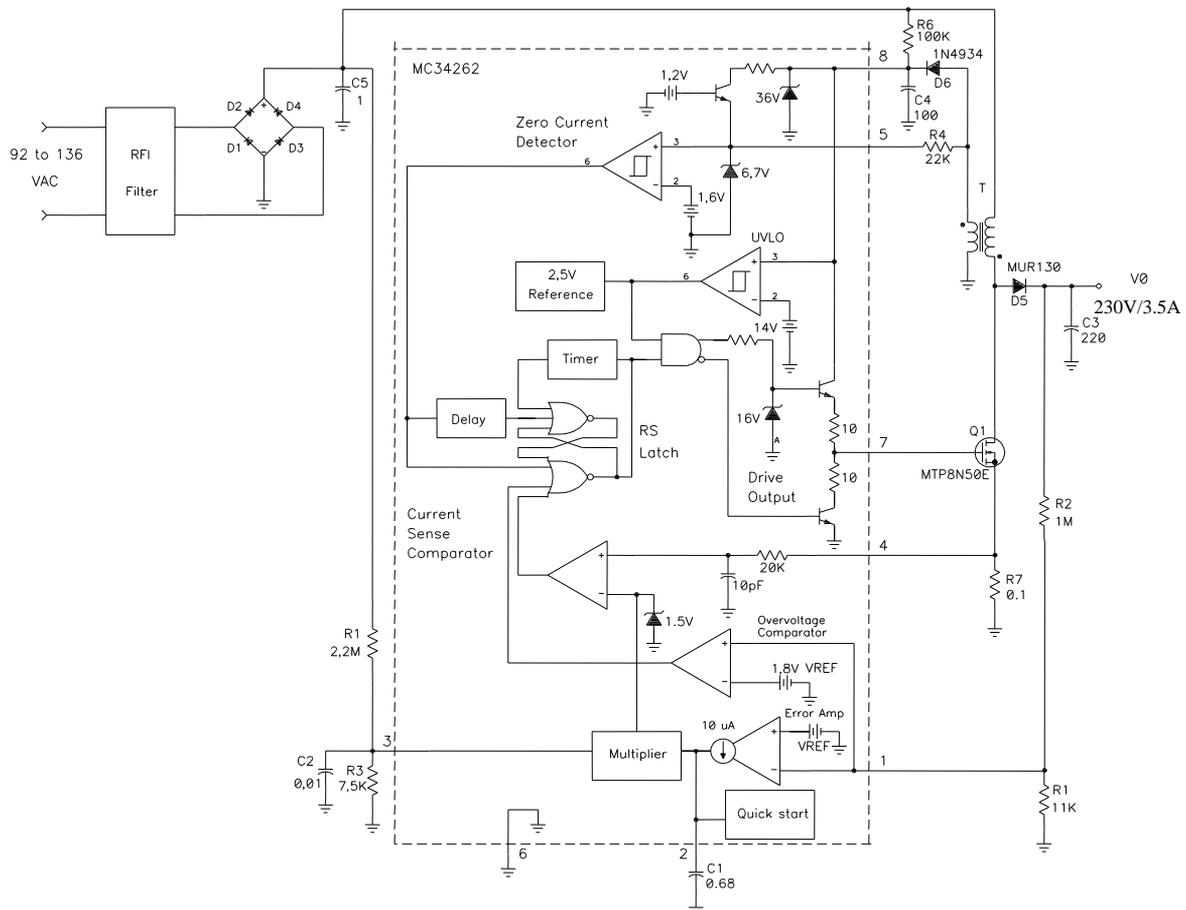


Figura 10.8. Diagrama de blocos e circuito de aplicação do MC34262

10.6 Referências bibliográficas

- [10.1] Linear/Switchmode Voltage Regulator Handbook
Motorola Inc., 4ª Ed., 1989, USA
- [10.2] Alberkrack, J.H.; Barrow, S.M.
Power Factor Controller IC Minimizes External Components. PCIM, Feb. 1993
- [10.3] Linear Technology Corporation, 1993, USA
- [10.4] J. H. Alberkrack e S. M. Barrow, "Power Factor Controller IC Minimizes External Components", PCIM, Fev. 1993, pp. 42-48