

**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO - UNICAMP
EE 833 ELETRÔNICA DE POTÊNCIA**

MÓDULO 6

**CONVERSORES CC-CA: INVERSORES OPERANDO EM
FREQUÊNCIA CONSTANTE**

ASPECTOS TEÓRICOS

6.1 Introdução

A obtenção de uma tensão alternada (senoidal ou não) a partir de uma fonte CC ou mesmo de uma fonte CA de frequência diferente é muitas vezes necessária para o acionamento de diversas cargas ou alimentação de sistemas.

Os conversores que realizam a transformação CC-CA são chamados inversores, enquanto a conversão CA-CA para distintas frequências é feita pelos cicloconversores.

Como exemplos de aplicações pode-se citar:

- Controle de velocidade de motores de corrente alternada,
- Fontes de alimentação ininterrupta,
- Sistemas de alimentação embarcados (navios, aviões, etc).

Geralmente os sistemas de alimentação operam a frequência fixa, gerando a tensão alternada a partir de fontes CC, utilizando, portanto, inversores. Por exemplo, o sistema de distribuição de energia em aviões comerciais opera a 400Hz.

Serão estudados nesta experiência os conversores CC-CA que fornecem em sua saída tensões com frequência fixa, para aplicação como fonte de tensão, especialmente em fontes de alimentação ininterrupta (chamadas de “no-break” ou “UPS - Uninterruptible Power Supplies”).

Qualquer sistema no qual o fornecimento da energia elétrica não pode ser interrompido deve prever uma fonte de emergência para supri-lo. Quando a potência instalada é muito grande tem-se, em geral, um sistema de acionamento imediato, alimentado a partir de baterias, e um sistema motor-gerador que, por necessitar de alguns minutos para estar em condições ideais de operação, não pode ser usado de imediato. Tal arranjo é usado, por exemplo, em centrais telefônicas, hospitais, etc.

Quando as cargas críticas são distribuídas, como no caso de microcomputadores, podem-se usar UPSs modulares, de acionamento imediato, e capazes de manter a operação do equipamento por um tempo suficiente para que não sejam perdidas operações que estavam em curso (tipicamente os tempos são da ordem de dezenas de minutos).

Além disso, os sistemas mais modernos devem ter a capacidade de trocar informações com os computadores, de forma a otimizar seu funcionamento.

Interessam aqui as topologias empregadas na realização dos conversores de potência que, a partir de uma fonte CC produzem uma saída alternada, seja ela senoidal ou não.

6.2 Requisitos de qualidade na alimentação de equipamentos sensíveis

Especialmente para os equipamentos de computação, são estabelecidos limites em termos da qualidade da energia a ele suprida. Não existem, ainda, padrões industriais reconhecidos. No entanto, graças à ação de grandes usuários (especialmente militares), a CBEMA (Computer Business Equipment Manufacturer's Association) e posteriormente a ITIC (Information Technology Industry Council) adotou as curvas mostradas na figura 6.1. Estas curvas aparecem na

norma IEEE 446 como “prática recomendada para sistemas de alimentação de emergência, em aplicações industriais e comerciais”.

As curvas definem um envelope dentro do qual deve estar o valor eficaz da tensão suprida ao equipamento. Ou seja, quando os limites forem violados, o sistema de alimentação ininterrupta deve atuar, no sentido de manter a alimentação dentro de valores aceitáveis.

Em outras palavras, se a tensão de alimentação estiver dentro dos limites não devem ocorrer mau-funcionamentos do equipamento alimentado. Violações dos limites podem, então, provocar falhas, que devem ser evitadas.

Via de regra, quem suporta a alimentação do equipamento na ocorrência de falhas de curta duração são as capacitâncias das fontes de alimentação internas, de modo que, eventualmente, mesmo violações mais demoradas do que aquelas indicadas podem ser suportadas.

Nota-se na figura 6.1 que, em regime, a tensão deve estar limitada a uma sobretensão de 10% e uma subtensão de 10%. Quanto menor a duração da perturbação, maior a alteração admitida, uma vez que os elementos armazenadores de energia internos ao equipamento devem ser capazes de absorvê-la. Assim, por exemplo, a tensão pode ir a zero por um ciclo, ou ainda haver um surto de tensão com 2 vezes o valor nominal (eficaz), desde que com duração inferior a 1ms.

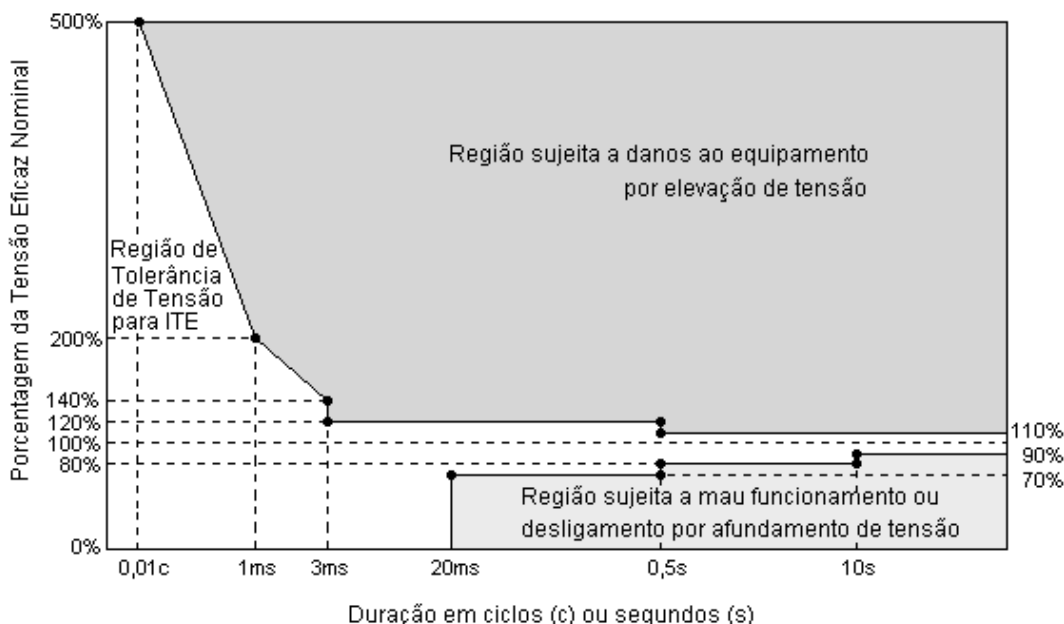


Figura 6.1 Envelope de tolerância de tensão típico para sistema computacional (adaptado da norma IEEE 466).

Uma outra definição em termos da tensão suprida é a Distorção Harmônica Total (THD) que tem um limite de 5%. Além disso, para alimentação trifásica, tolera-se um desbalanceamento entre as fases de 3 a 6%. No que se refere à frequência, tem-se um desvio máximo admissível de $\pm 0,5$ Hz (em torno de 60 Hz), com uma máxima taxa de variação de 1 Hz/s.

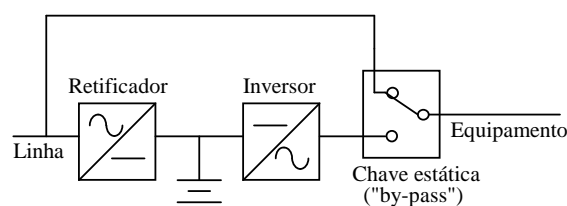
6.3 Classificação das UPS

São definidas três configurações, indicadas, simplificada, na figura 6.2:

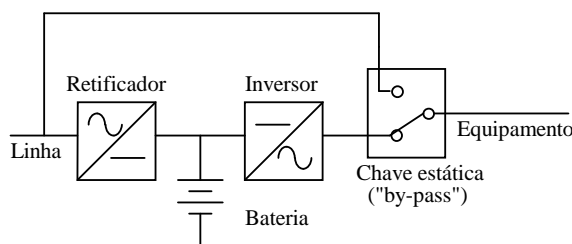
- linha prioritária;
- inversor prioritário;
- interativo com a linha.

Todas as estruturas contém um elemento armazenador de energia que é, tipicamente, um banco de baterias.

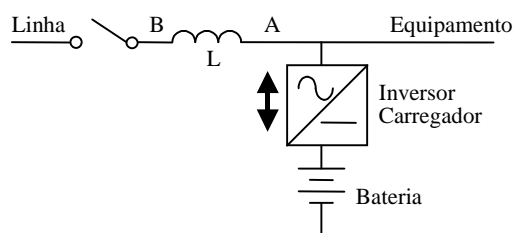
A configuração de linha prioritária (também chamado de *off-line*) possui um retificador, que fornece a carga para as baterias, um inversor (conversor CC-CA) e uma chave que transfere automaticamente a alimentação da carga da linha para o inversor, em caso de falha. Quando o inversor for conectado à carga deve fazê-lo de modo a que sua tensão tenha a mesma amplitude e fase da tensão esperada na linha. Como o inversor não realiza nenhuma função de regulação da tensão enquanto a alimentação provier da linha, alguns equipamentos podem possuir um estabilizador de tensão a jusante da chave. A detecção da falha e a transferência da alimentação podem ser feitas em menos de 1/4 de ciclo, o que garante a alimentação do equipamento crítico. Uma vez que este sistema não apresenta uma efetiva isolamento e proteção da carga contra distúrbios na linha e dado que ele altera seu funcionamento exatamente quando ocorre uma falha, tal estrutura é utilizada principalmente para sistemas de baixos custo e potência, quando a operação não é altamente crítica.



(a) Linha Prioritária



(b) Inversor Prioritário



(c) Interativo com a linha

Figura 6.2 Configurações de UPS.

A configuração com inversor preferencial (também chamado de *on-line* ou dupla conversão) é padrão para equipamentos críticos, uma vez que a carga é alimentada por uma tensão controlada e estabilizada pelo inversor, estando isolada (não necessariamente galvanicamente) da rede. Neste caso a alimentação provém sempre do inversor, cuja alimentação CC virá da rede (através do retificador) ou da bateria, em caso de falha. O conversor não altera sua operação na ocorrência da falha e não existe nenhuma descontinuidade na tensão suprida. Como o retificador deve suprir a carga, e não apenas recarregar as baterias (como no caso anterior), ele é dimensionado para a potência do equipamento alimentado. A presença da chave (by-pass) é para,

em caso de falha da UPS, passar a alimentação à rede em menos de 1/4 de ciclo. O inversor pode possuir ainda uma limitação automática de corrente contra sobrecargas.

A configuração interativa com a linha possui apenas um conversor CC-CA e tem aplicação principal para cargas de potência elevada e que não sejam altamente críticas. Há aparelhos que operam com o inversor desligado na presença da rede (semelhante ao *off-line*). Mas a principal vantagem deste tipo de UPS é com o inversor operar em conjunto com o a rede, mas sem ter que fornecer a potência ativa da carga, o que reduz significativamente as perdas no processamento da energia.

Este sistema possui a vantagem (sobre a configuração linha preferencial) de permitir um condicionamento da tensão aplicada à carga. Normalmente o fluxo de potência vai, através do indutor L, da rede para a carga, e o conversor mantém as baterias carregadas. Em caso de falha, a chave se abre e o inversor passa a alimentar o equipamento crítico. Quando existe tensão na linha, o inversor produz uma tensão no ponto A com a mesma frequência da linha, mas com amplitude controlada. Se as tensões nos pontos A e B forem idênticas em frequência, fase e amplitude não haverá corrente pelo indutor e toda energia da carga será fornecida pelo inversor. Alterando-se a fase da tensão no ponto A pode-se controlar o fluxo de corrente por L. Assim, controlando a fase da tensão em A pode-se fazer com que provenha da linha toda a energia ativa necessária para alimentar a carga, ficando a carga do inversor fornecer a energia não ativa (reativos e harmônicos). Neste caso, como o inversor não fornece potência ativa, a condição de carga das baterias não se altera. Adicionalmente, tem-se que a corrente absorvida da linha é senoidal e em fase com sua tensão, ou seja, o UPS opera como um compensador de fator de potência, independente da carga.

6.3.1 Forma de onda da saída

A obtenção de uma onda senoidal (em um conversor cc-ca) é mais complexa do que uma tensão de forma quadrada. Por este motivo, as UPS de baixa potência e para cargas não altamente críticas, podem fornecer uma tensão quadrada em sua saída e utilizam uma configuração do tipo Linha preferencial. Como, normalmente, alimentam pequenos computadores de uso pessoal, os quais tem um estágio de entrada com um retificador a diodos e filtro capacitivo, o parâmetro principal é que a tensão possua o mesmo *valor de pico* da tensão normal (rede). Comparativamente a uma onda senoidal, tal tensão apresentará um maior valor eficaz, mas que não traz maiores consequências. Dado o espectro da onda produzida, haverá um maior aquecimento em transformadores e indutores eventualmente presentes, mas que, dado o curto prazo de atuação da UPS, em geral não causam maiores problemas.

Em sistemas de maior porte e criticidade são usados inversores com saída senoidal.

6.3.2 Inversor

O inversor é o principal constituinte de uma UPS, uma vez que é ele quem determina a qualidade da energia fornecida à carga.

Deve fornecer uma tensão alternada, com frequência, forma e amplitude invariantes, a despeito de eventuais alterações na alimentação cc ou na carga.

A configuração básica é mostrada na figura 6.3, para um inversor trifásico. Uma saída monofásica pode ser obtida utilizando-se apenas dois ramos, ao invés de três.

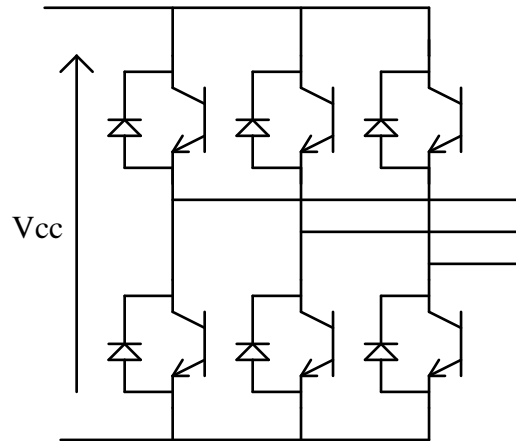


Figura 6.3 Inversor trifásico.

6.3.2.1 Inversor com saída quadrada

Consideremos o circuito de um inversor monofásico como mostrado na figura 6.4.

As leis de modulação são numerosas, a mais simples talvez seja a que produz uma onda retangular, na própria frequência de saída que se deseja. Em tal caso, uma tensão positiva é aplicada à carga quando T1 e T4 conduzem (estando T2 e T3 desligados). A tensão negativa é obtida complementarmente. O papel dos diodos é garantir um caminho para a corrente em caso de a carga apresentar característica indutiva. Note que a condução dos diodos não afeta a forma da tensão desejada e que durante sua condução há retorno de corrente para a fonte. Este tipo de modulação não permite o controle da amplitude nem do valor eficaz da tensão de saída.

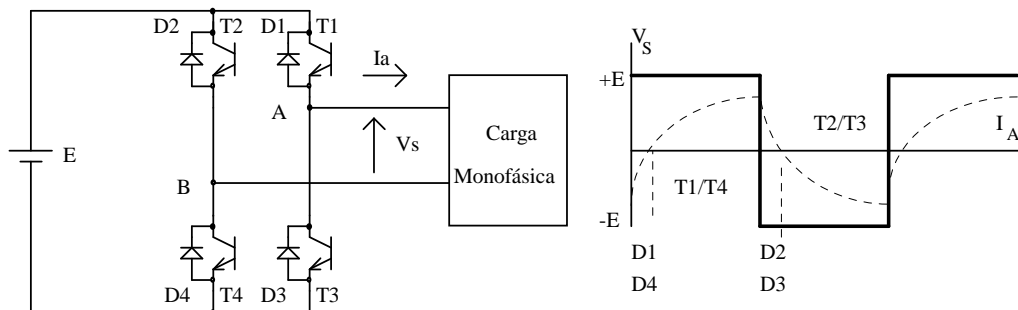


Figura 6.4. Inversor monofásico e forma de onda quadrada de saída (carga indutiva).

6.3.2.2 Inversor com saída quase-quadrada.

Uma alternativa que permite ajustar o valor eficaz da tensão de saída e eliminar algumas harmônicas é a chamada onda quase-quadrada, na qual se mantém um nível de tensão nulo sobre a carga durante parte do período, como mostrado na figura 6.5 com o respectivo espectro.

Para obter este tipo de onda, uma possibilidade é a seguinte: quando se deseja tensão positiva na carga mantém-se T1 e T4 conduzindo (T2 e T3 desligados). A tensão negativa é obtida complementarmente. Os intervalos de tensão nula são obtidos mantendo T1 conduzindo e desligando T4. Com corrente positiva, D2 entrará em condução. Quando T1 desligar D3 entra em condução, aguardando o momento em que T2 e T3 conduzem, o que ocorre quando a corrente se inverte. O intervalo de tensão nula seguinte é obtido com o desligamento de T3 e a continuidade de condução de T2. Durante a condução do par de diodos há retorno de energia da carga para a fonte.

Nota-se que estão presentes os múltiplos ímpares da frequência de chaveamento, o que significa que a filtragem de tal sinal para a obtenção apenas da fundamental exige um filtro com frequência de corte muito próxima da própria frequência desejada. Este espectro varia de acordo com a largura do pulso. Para este caso particular não estão presentes os múltiplos da terceira harmônica.

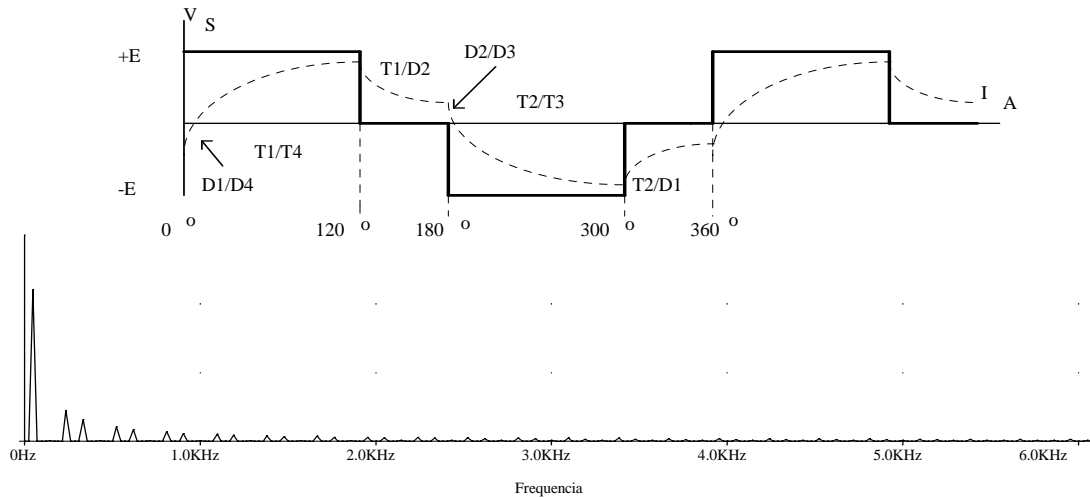


Figura 6.5 Forma de onda e espectro da onda quase-quadrada.

6.3.2.3 Inversor Modulação por Largura de Pulso - MLP

Outra maneira de obter um sinal alternado de baixa frequência é através de uma modulação em alta frequência. Obtém-se este comportamento ao comparar uma tensão de referência (que seja imagem da tensão de saída buscada), com um sinal triangular simétrico cuja frequência determine a frequência de chaveamento. A frequência da onda triangular (portadora) deve ser, no mínimo 10 vezes superior à máxima frequência da onda de referência, para que se obtenha uma reprodução aceitável da forma de onda sobre a carga, após efetuada a filtragem. A largura do pulso de saída do modulador varia de acordo com a amplitude relativa da referência em comparação com a portadora (triangular). Tem-se, assim, uma Modulação por Largura de Pulso.

A tensão de saída, que é aplicada à carga, é formada por uma sucessão de ondas retangulares de amplitude igual à tensão de alimentação CC e duração variável. A figura 6.6 mostra a modulação de uma onda senoidal, produzindo na saída uma tensão com 2 níveis, na frequência da onda triangular.

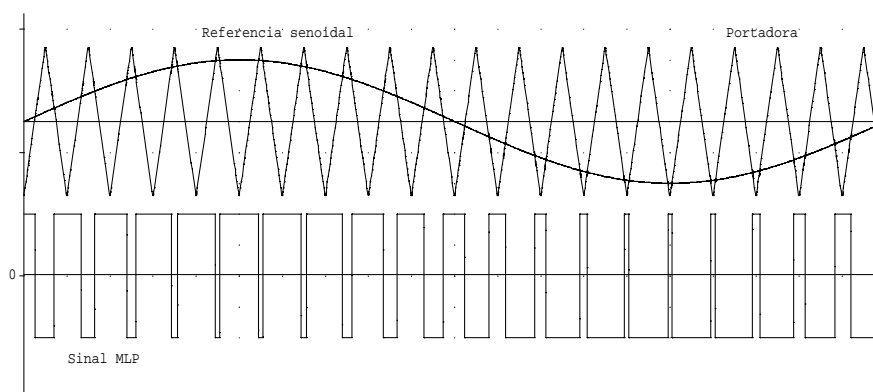


Figura 6.6. Sinal MLP de 2 níveis.

Como o processo de desligamento do transistor é sempre mais lento do que a entrada em condução, deve-se sempre prever um atraso nas bordas de subida em todas as comutações do sinal

MLP. Com isso evita-se a ocorrência de um (breve) intervalo de curto-circuito aplicado no barramento CC devido à condução simultânea do transistor superior e daquele inferior, de um mesmo ramo. Estes atrasos introduzem uma pequena distorção no sinal MLP, uma vez que pulsos muito estreitos serão absorvidos pelo atraso imposto, além dos atrasos do circuito acionador.

É possível ainda obter uma modulação a três níveis (positivo, zero e negativo). Este tipo de modulação tem como vantagem apresentar um menor conteúdo espectral, como ilustra a figura 6.7.

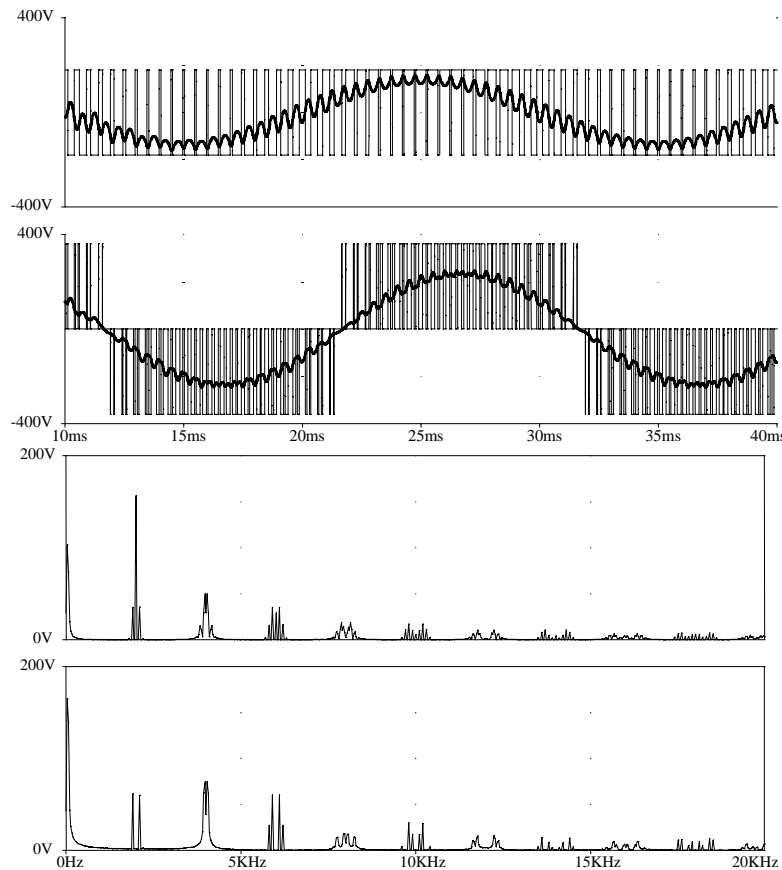


Figura 6.7 Comparação de modulação de dois e de três níveis. Formas de onda e respectivos espectros.

A recuperação da onda de referência é facilitada pela forma do espectro. Note-se que, após a componente espectral relativa à referência, aparecem componentes nas vizinhanças da frequência de chaveamento. Ou seja, um filtro passa baixas com frequência de corte acima e 50/60 Hz é perfeitamente capaz de produzir uma atenuação bastante efetiva em componentes na faixa dos kHz. Na figura 6.7 tem-se também as formas de onda filtradas (filtro LC, 2mH, 20 μ F). Uma redução ainda mais efetiva das componentes de alta frequência é obtida com o uso de filtro de ordem superior.

Em relação ao comportamento do filtro passivo na saída do inversor, seu projeto deve ser cuidadoso. O uso de um filtro não amortecido pode levar ao surgimento de componentes oscilatórias na frequência de ressonância, que podem ser excitadas na ocorrência de transitórios na rede ou na carga. Em regime elas não se manifestam, uma vez que o espectro da onda MLP não as excita. Os menores valores dos elementos de filtragem tornam a resposta dinâmica deste sistema mais rápida que as anteriores.

Há diferentes maneiras de se obter uma modulação de três níveis. Duas maneiras de fazê-lo são apresentadas a seguir.

Um dos modos faz uso de dois sinais PWM, um obtido com a própria referência e outro o inverso da referência, como mostra a figura 6.8. Cada um dos sinais PWM é usado para comandar

um par de transistores (T1/T4 e T2/T3, na figura 6.4). A tensão resultante sobre a carga se apresenta com os três níveis esperados. Todos os transistores comutam na frequência da portadora.

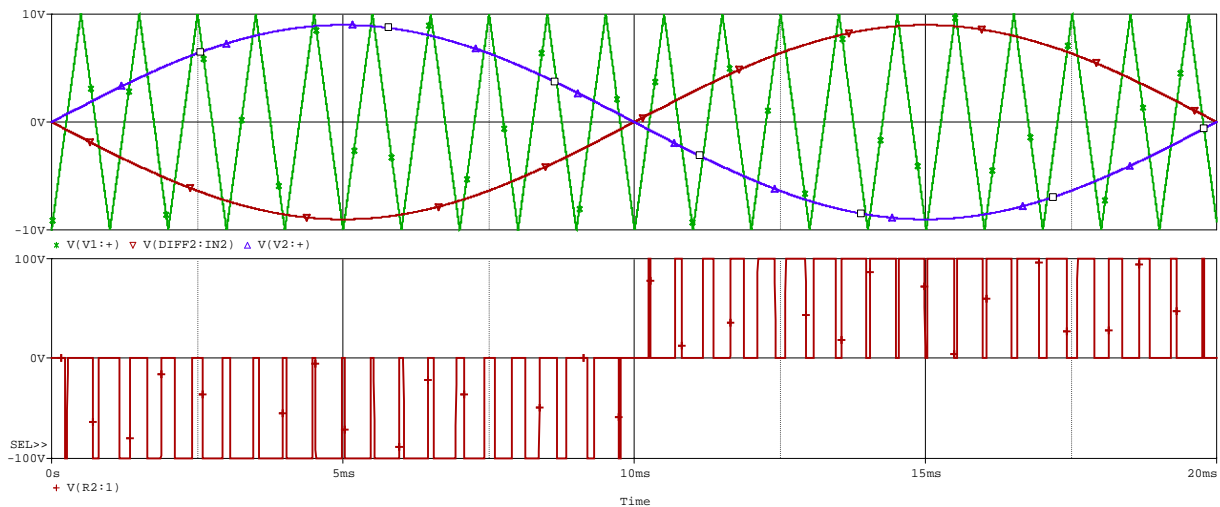


Figura 6.8 Produção de modulação PWM de 3 níveis, para inversor monofásico.

A mesma forma de onda de saída pode ser obtida, alternativamente, mas com metade das perdas de comutação, com um comando na seguinte sequência:

- durante o semiciclo positivo, T1 permanece sempre ligado;
- o sinal MLP é enviado a T4 e o mesmo sinal *barrado* é enviado a T2.
- no semiciclo negativo, quem permanece conduzindo é T3,
- o sinal MLP é enviado a T2 e o sinal *barrado* vai para T4.

6.3.2.4 Inversor Trifásico PWM

Considerando o inversor trifásico mostrado na figura 6.3, são necessárias três referências, uma para cada fase. Para uma saída senoidal, serão três senoides na frequência desejada, com defasagem de 120° . Como em um sistema trifásico a soma das tensões é, a todo instante, nula, basta ter duas referências pois a terceira é calculada algebricamente. Cada referência é usada como na figura 6.6 para produzir sinais de comando complementares para os transistores de cada ramo. Quando se observa a tensão de linha, ou seja aquela que se tem entre duas fases, a forma de onda resultante é, “naturalmente” de três níveis, como mostra a figura 6.7.

6.3.3 A chave estática ou “by-pass”

Como outro elemento eletrônico (ou eletromecânico) constituinte de uma UPS tem-se a chave estática, também chamada de “by-pass”. Sua função é permitir a comutação da tensão de saída do inversor para a rede e vice-versa, em caso de falha. Pode ainda ter um papel de isolar o inversor para fins de manutenção.

Basicamente existem 2 possibilidades de implementar tal chave: usando tiristores ou relés eletromecânicos.

Soluções de baixo custo usam, em geral, relés. Sua comutação deve ser rápida, de modo a não interromper a alimentação por mais de $1/2$ ciclo.

Quando a potência cresce, o uso de tiristores é o usual. Uma preocupação, neste caso, é garantir que as tensões da UPS e da rede tenham a mesma fase e amplitude no momento da comutação, para evitar a existência de uma corrente que circule de uma fonte para outra. Como o desligamento de um tiristor se dá quando sua corrente vai a zero, este deve ser o momento de

inibir os pulsos que acionam o tiristor que conecta a UPS à carga e de acionar aquele que a conecta à rede. A figura 6.9 mostra um arranjo típico.

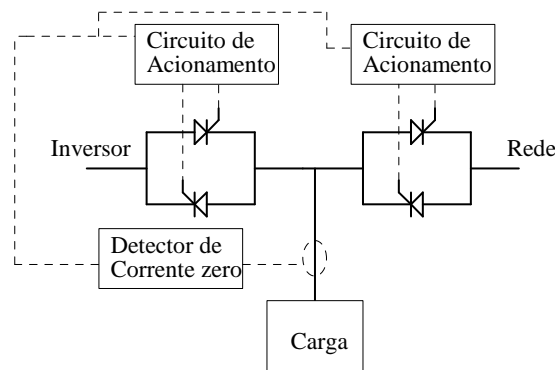


Figura 6.9. Sistema de acionamento de “by-pass”.

6.4 Referências Bibliográficas

David C. Griffith: “Uninterruptible Power Supplies”, Marcel Dekker, Inc., NY, USA

R. Fratta ed I. Toigo: “Sistemi di Continuità: Problematiche es Applicazioni”, in 11° Corso Componenti e Sistemi Elettronici di Potenza, TecnoPolis, 21-25 Settembre 1992, Italia.

J. A. Pomilio, “Conversores CC-CA Como Fontes de Alimentação com Frequência Fixa”, Apostila da disciplina IT302 – Eletrônica de Potência I, Disponível em: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/eltpot/cap6.pdf>

J. A. Pomilio, “Conversores CC/CA – Inversores”, Apostila da disciplina IT744, Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica”, Disponível em <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/cap5.pdf>

Parte Experimental

1ª AULA

Material:

- Fonte $\pm 12V$ (isolada da rede)
- Gerador de funções com saídas senoidal, triangular e quadrada
- Osciloscópio, duplo traço
- Circuito eletrônico de controle.

O diagrama de blocos do circuito de controle está mostrado na figura 6.9. O circuito de geração do sinal modulado em MLP está mostrado na figura 6.10. O inversor e os circuitos de acionamento são mostrados na figura 6.12. Todas as medições são feitas em relação ao ponto 0 (“terra” da placa).

6.5 Geração de sinal MLP

- Utilizando a placa do circuito de comando, coloque o *jumper* situado junto ao ponto 1. Alimente este circuito com $\pm 12V$. Observe o ponto 2. Conecte ao circuito o gerador de funções com saída senoidal em 120 Hz e 4,0V (valor de pico-a-pico, sem off-set). Este sinal é a referência (**modulante**) para a produção de um sinal modulado em largura de pulso (MLP).
- No ponto 5 tem-se a onda triangular que servirá como **portadora** do sinal MLP. Meça a sua frequência. Com os **trimpots** da placa, ajuste sua amplitude e o *off-set* para que a onda triangular (portadora) varie entre 0 e 3 V.
- No ponto 3 tem-se uma saída retificada do sinal de referência. Lembrando que o sinal MLP é feito através de uma comparação entre o sinal de referência (senóide) e a onda triangular, explique por que é feita a retificação?
- Verifique o ponto 4, identificando como é produzido o sinal observado.
- No ponto 6 tem-se o sinal MLP (PWM) *barrado*, obtido pela comparação dos sinais dos pontos 3 e 5. Observando os pontos 3 e 6, verifique a variação da largura de pulso em relação à amplitude do sinal de referência.
- Os sinais PWM e VP (polaridade da tensão) são entradas de um circuito lógico que faz a distribuição dos pulsos para os transistores. Veja a figura 6.12 com o respectivo circuito. Observe os pontos 4 e 7 e descreva suas funções dentro da lógica de acionamento descrita na apostila (à página 8). Use uma base de tempo de 1 ms/div.

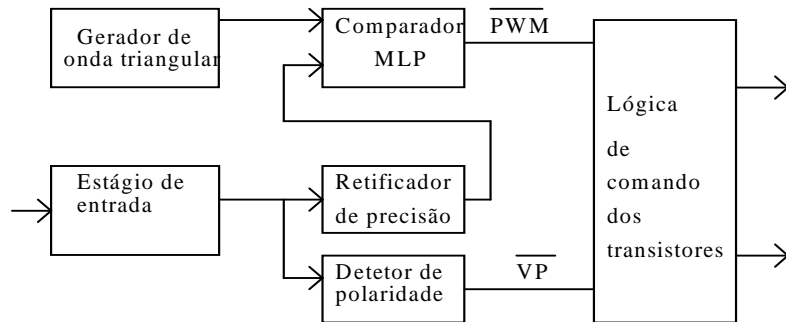


Figura 6.9 Diagrama de blocos do circuito de controle.

- g) Observe os pontos 3 e 6, varie a amplitude do sinal de entrada senoidal e verifique seu efeito sobre o sinal modulado. Fala o sinal 6 atingir uma amplitude superior à da onda portadora e comente o comportamento do sinal PWM.
- h) Usando sinal de referência (no ponto 3) com valor de pico de 2 V, altere a onda de referência para triangular. Verifique e comente as alterações no sinal MLP (ponto 6).
- i) Usando sinal de referência (no ponto 3) com valor de pico de 2 V, altere a onda de referência para quadrada. Verifique e comente as alterações no sinal MLP (ponto 6).

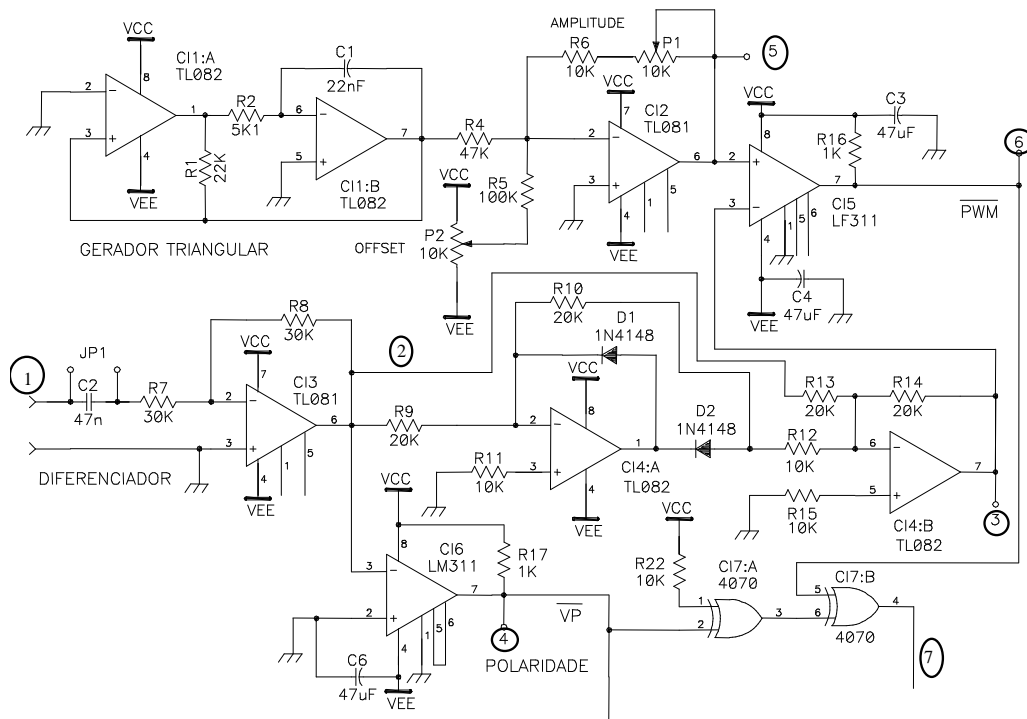


Figura 6.10 Circuito de controle.

Parte Experimental

2ª AULA

Material:

- fonte de 100V, 3A (ou fonte de 60V, 3 A)
- Fonte $\pm 12V$ (isolada da rede)
- Gerador de funções com saídas senoidal, triangular e quadrada
- Osciloscópio, duplo traço
- Resistor 1 ohm / 5 W
- Módulo inversor
- Circuito eletrônico de controle
- Conjunto de filtro LC
- Retificador monofásico com filtro capacitivo
- Lâmpada 127V/40W

O circuito de geração do sinal modulado em MLP está mostrado na figura 6.10. O circuito de acionamento está mostrado na figura 6.12, enquanto o módulo inversor está mostrado na figura 6.13.

6.6 Descrição do funcionamento do circuito de acionamento

Uma fonte de alimentação local fornece 5 V para o funcionamento destes circuitos eletrônicos, através de um transformador montado junto ao inversor.

O circuito prevê a implementação de um inversor trifásico. Como, nesta experiência, tem-se um inversor monofásico, apenas dois dos três braços do inversor serão comandados.

Conforme mostra a figura 6.12, os sinais provenientes do circuito de controle (sinais dos pontos 4 e 7) são aplicados a isoladores óticos. O motivo desta isolação é o de aumentar a proteção dos circuitos eletrônicos em caso de falha no circuito de potência.

Tais sinais de comando são reproduzidos na saída do isolador ótico, assim como os respectivos sinais *barrados*, os quais são enviados para os pinos de entrada do módulo inversor para o comando dos transistores da parte superior (entradas HIN) e da parte inferior (entradas LIN).

Há também uma entrada de inibição (T/I_{trip}), a qual não está ativada externamente.

Os capacitores conectados entre os pontos indicados como VB e VS (um para cada braço do inversor) funcionam como fonte de alimentação para o acionamento dos transistores da parte superior do inversor. Recorde-se que, para garantir a condução, é preciso manter a tensão entre *gate* e emissor de cada IGBT em valor elevado, o que exige uma fonte separada para cada transistor da parte superior.

6.7 Descrição do funcionamento do módulo inversor

O módulo inversor, conforme mostra a figura 6.13, possui, além dos 6 IGBTs de potência, circuitos auxiliares para o acionamento adequado destes transistores.

O bloco denominado “Driver IC” é responsável por receber os pulsos de comando dos transistores (entradas HIN e LIN) e enviá-los aos respectivos transistores. **Neste processamento é incluído um tempo morto entre os comandos complementares de modo a evitar que um transistor ligue antes que o outro, do mesmo ramo, tenha desligado. Isto é importante para evitar um curto circuito na fonte CC de potência. O inconveniente é que tal tempo morto produz uma distorção no sinal MLP.**

Este circuito também implementa outras funções de proteção, como contra sobre carga (através de um sensor térmico) e de falhas no acionamento (transistores em curto).

Informações mais detalhadas podem ser obtidas no manual do fabricante.

6.8 Alimentação de carga resistiva

Mantenha a fonte auxiliar sempre ligada. Não se deve ligar/desligar esta fonte enquanto a fonte de potência estiver ligada, pois ao variar a tensão do circuito acionador, os transistores poderiam ser acionados na região ativa, podendo ser danificados.

- Ajuste como referência (no ponto 2 da placa de controle) uma onda senoidal de 60 Hz e 1,5V (valor de pico). Ajuste a onda triangular no ponto 5 para variar entre 0 e 2 V (ou a menor amplitude possível em seu circuito).
- Faça a conexão da placa de controle com a placa de potência e ligue a alimentação do circuito eletrônico da placa de potência.
- Coloque o filtro LC na saída do inversor. Na *saída* do filtro LC (no borne preto) conecte um resistor de 1 ohm, conforme mostra a figura 6.11, sobre o qual será observada a corrente. Na saída para a carga coloque a lâmpada 127V/40W.
- Ajuste o limite de corrente da fonte de potência para permitir a máxima corrente de sua saída. Conecte esta fonte no módulo inversor.
- Observe simultaneamente as formas de onda na saída do inversor e sobre a carga (os terminais pretos do filtro são um ponto comum, de modo que estes sinais podem ser observados nos bornes vermelhos). Ligue a fonte de potência e suba gradativamente a tensão até o valor máximo.
- No sinal filtrado, explique eventuais distorções nas vizinhanças do cruzamento com o zero (veja o item 6.7)

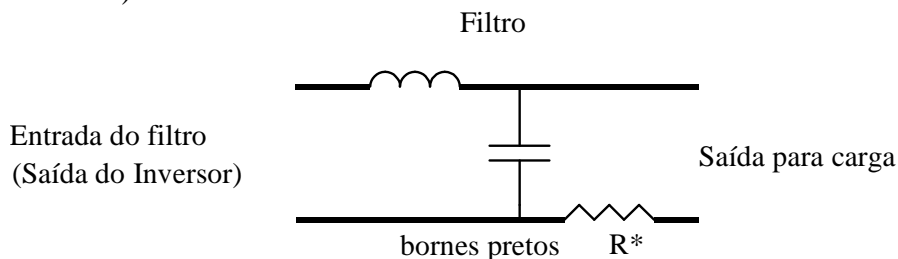


Figura 6.11 Filtro passivo

- Caso necessário, altere o trimpot de “off-set” do oscilador de onda triangular implementado na placa de controle (onda portadora do sinal MLP) para obter uma melhor forma de onda.
- Observe o sinal na entrada do filtro e o seu respectivo espectro (função FFT). Varie a base de tempo de modo a identificar no espectro as frequências do sinal de chaveamento e de referência. Repita este procedimento para o sinal de saída do filtro.
- A partir dos espectros, estime a atenuação produzida pelo filtro na frequência de chaveamento.
- Mude a forma de onda de referência (no gerador de funções) para triangular e quadrada. Registre e comente a tensão sobre a carga.
- Varie a amplitude do sinal de referência (senoidal) e observe a saturação na tensão sobre a carga (a tensão não aumenta seu valor de pico). Justifique.
- Para uma onda quadrada, aumente o valor pico-a-pico da referência para 5 V. Com isso o sinal MLP torna-se contínuo (pois a referência é maior do que a portadora) e temos na

saída do inversor apenas uma onda quadrada na frequência do sinal de referência. Desconecte a carga na saída do filtro LC (com isso a resposta do filtro fica menos amortecida). Observe e comente as formas de onda e os espectros dos sinais de saída do inversor e na carga (após o filtro). A partir dos espectros, estime a frequência de ressonância do filtro passivo.

6.9 Alimentação de carga não-linear

- a) Desligue a fonte do circuito de potência. Na saída do filtro LC conecte o retificador monofásico com filtro capacitivo. Retorne para uma referência senoidal, 60Hz, com tensão pico-a-pico de 4 V (ponto 1 da placa de controle).
- b) Ligando novamente a fonte de potência, observe simultaneamente as formas de onda da corrente (sobre o resistor de 1 ohm) e da tensão na saída do filtro LC, usando como carga (lado CC do retificador) a lâmpada.
- c) Desconecte a lâmpada na saída CC. Observe e explique as alterações nas formas de onda.

RELATÓRIO:

Apresente as formas de onda e *comente* os resultados obtidos na Parte Experimental, incluindo os resultados da 1ª e da 2ª aula.

O relatório deve ser entregue no início da próxima aula experimental.

PREPARAÇÃO PARA A 7ª EXPERIÊNCIA:

Apresente os resultados relativos ao exercício preparatório da 7ª experiência

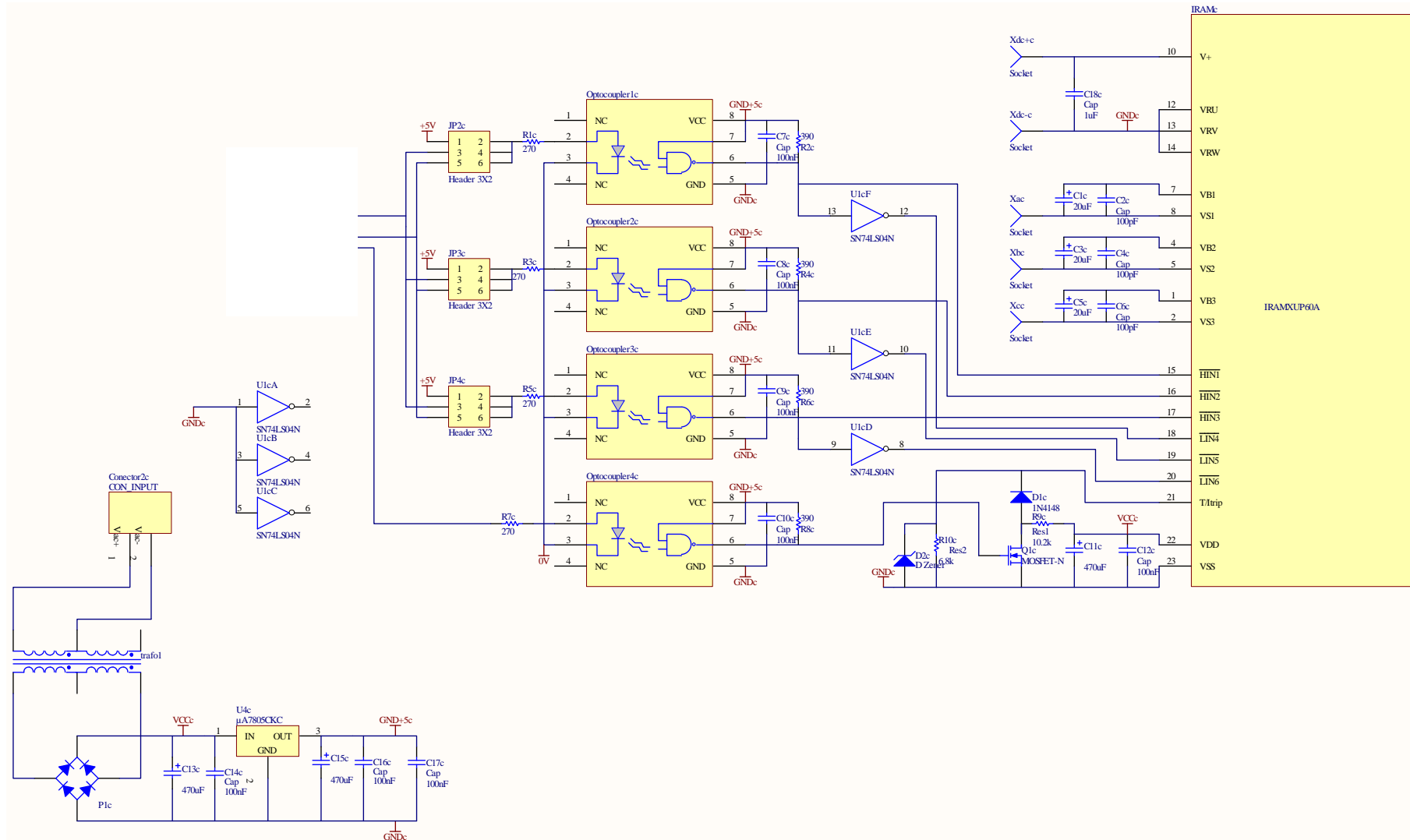


Figura 6.12 Circuitos de acionamento e de potência.

Internal Electrical Schematic - IRAMS06UP60A

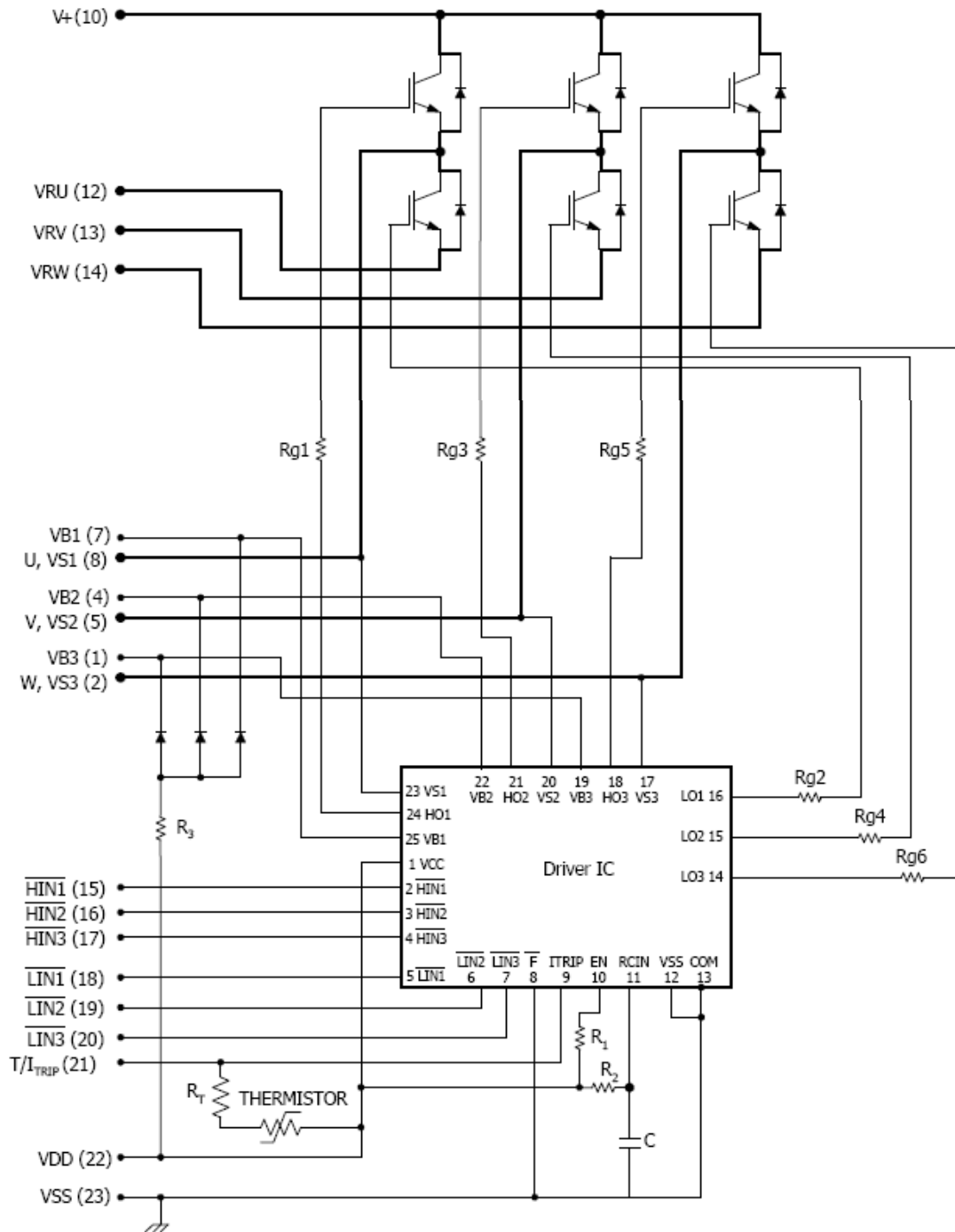


Figura 6.13 Módulo inversor