CHAVE ESTÁTICA PARA COMUTAÇÃO DE BOBINAS PARTICIONADAS PARA TRANSFORMADORES ESPECIAIS

CÓDIGO: 326

Valberto F. da Silva* José A. Cortez* Ângelo J. J. Rezek* José Policarpo G. Abreu**
E-mail: valberto@iee.efei.br rezek@iee.efei.br
cortez@iee.efei.br polica@iee.efei.br

* Grupo de Eletrônica de Potência e Controle Industrial (GEPCI)
** Grupo de Qualidade da Energia Elétrica (GQEE)
Instituto de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Resumo

Com o advento do IGBT, semicondutor de potência controlado por tensão, na década de 80 e o posterior aumento de suas classes de tensão e de corrente para 3500 [V] e 1500 [A], respectivamente, bem como dos tempos de chaveamento para em torno 5 [μs], a partir da década de 90, este tipo de dispositivo passou a substituir os tradicionais SCRs na implementação das modernas chaves estáticas.

Transformadores reguladores com *taps* necessitam de rápida atuação de comutadores para a eficaz correção de variações ocorridas na tensão, de modo a permitir que o valor da tensão entregue a carga seja o mais próximo possível do especificado. Desta forma, modernos esquemas de comutação eletrônica de *taps* (comutadores eletrônicos), com base neste tipo de semicondutores, atende perfeitamente as exigências do sistema, uma vez que o tempo de resposta fica entre 10 e 20 [ms].

1 - Introdução

Comutadores de *taps* eletromecânicos têm sido tradicionalmente utilizados para a regulação de tensão em transformadores de distribuição. Com o surgimento dos novos semicondutores de potência, percebe-se uma forte tendência a substituir comutadores eletromecânicos por comutadores eletrônicos.

Por não possuir, ao contrário de IGBTs, controle para bloqueio da corrente e eficaz proteção contra sobrecorrente, o SCR está sendo substituído pelos mesmos em modernos comutadores eletrônicos.

Recentes trabalhos [1,2,3] apresentam chaves comutadoras de taps implementadas com IGBT, sendo que os secundários de transformador de regulação possuem diversos *taps* de derivação de uma única bobina por cada fase. Em [4] é apresentada uma topologia, com IGBT, que envolve a conversão CA-CC-CA, com a utilização de técnicas PWM e inversores de freqüência.

O presente trabalho utiliza o IGBT para implementação das chaves estáticas que realiza a função de chaves comutadoras para operar com transformador especial [5, 6], desenvolvido no âmbito de um projeto de P&D (patente a ser requerida) com a utilização de bobinas particionadas [7].

2 - Chave Estática com IGBT

A figura 1 ilustra o esquema do circuito da chave estática implementada com o semicondutor de potência do tipo IGBT. O IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor, opera como “chave ideal”, isto é, a chave pode ser fechada com pulso positivo de tensão aplicado ao terminal de base (G). Nessa situação,a tensão entre os terminais de coletor (C) e emissor (E), VCE, assume valor nulo e o IGBT opera com uma chave ideal fechada. A chave pode ser aberta aplicando-se ao terminal de base um pulso negativo de tensão. Dessa forma, a existe uma alta impedância entre os terminais coletor-emissor, passando o IGBT a se comportar com uma chave ideal aberta.

Como o IGBT opera de forma unidirecional, a corrente circula de coletor para emissor e, para aplicações em circuitos de corrente alternada, deve-se utilizar o circuito com topologia do tipo ponte de diodos como na figura 1. Observa-se também um circuito amortecedor colocado entre coletor e emissor para evitar o disparo indevido do IGBT por dv/dt e para amortecer picos de tensão sobre a chave em operações inadequadas do sistema.

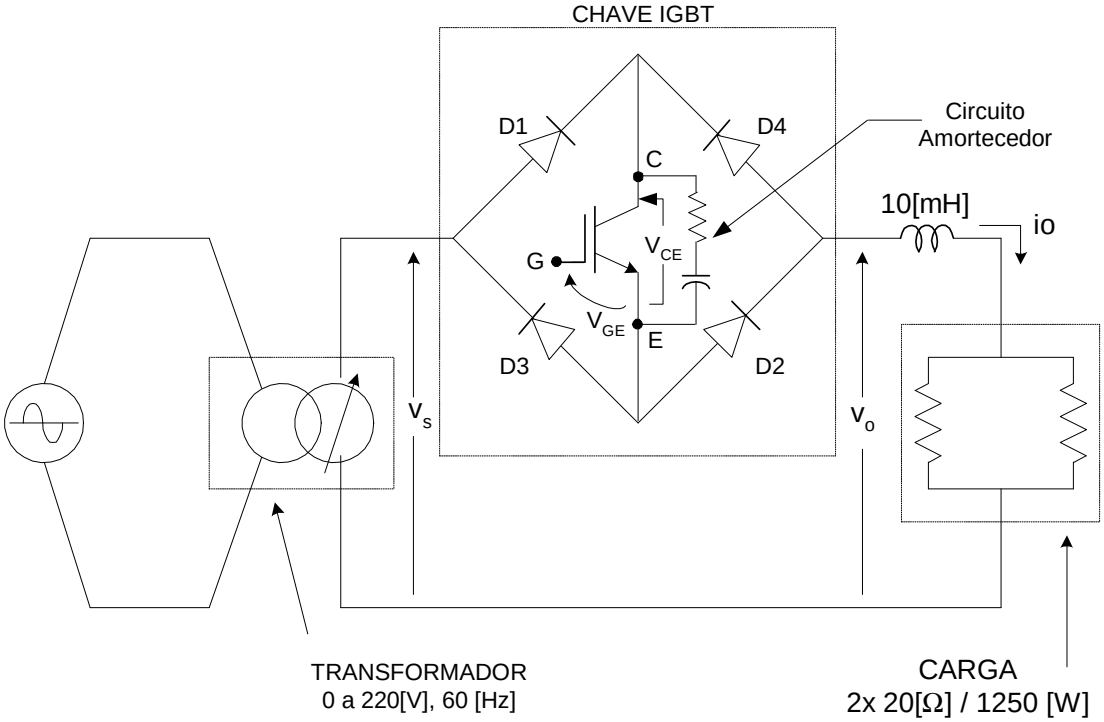


Fig. 1 - Esquema para conexão do IGBT em circuito de corrente alternada

3 - Diagrama em Blocos do Módulo de Controle

A lógica que supervisiona o controle dos disparos e bloqueios da chave IGBT, é implementada em um PLC, que é parte integrante do módulo de disparo, objeto principal deste trabalho.

A figura 2 ilustra o diagrama em blocos do módulo disparador. A estratégia de controle da chave, utiliza o conceito do disparo pelo cruzamento por zero do sinal de tensão e bloqueio pelo cruzamento por zero do sinal de corrente, ambos na chave, de modo a minimizar as solicitações dinâmicas sobre a chave. Os módulos indicados por "circuito de sincronismo de tensão" e "circuito de sincronismo de corrente" são os responsáveis por estas informações, sendo implementados com transformador de tensão e sensor tipo Hall, respectivamente.

O comando liga/desliga é feito por um contato do tipo seco através do cartão I/O do PLC. O módulo "lógica de liga/desliga", é que efetua o processamento da respectiva lógica de disparar/bloquear o IGBT. Existe também, um módulo denominado de "circuito de *reset*" que permite liberar a lógica de disparo quando existe a atuação da proteção de sobrecorrente.

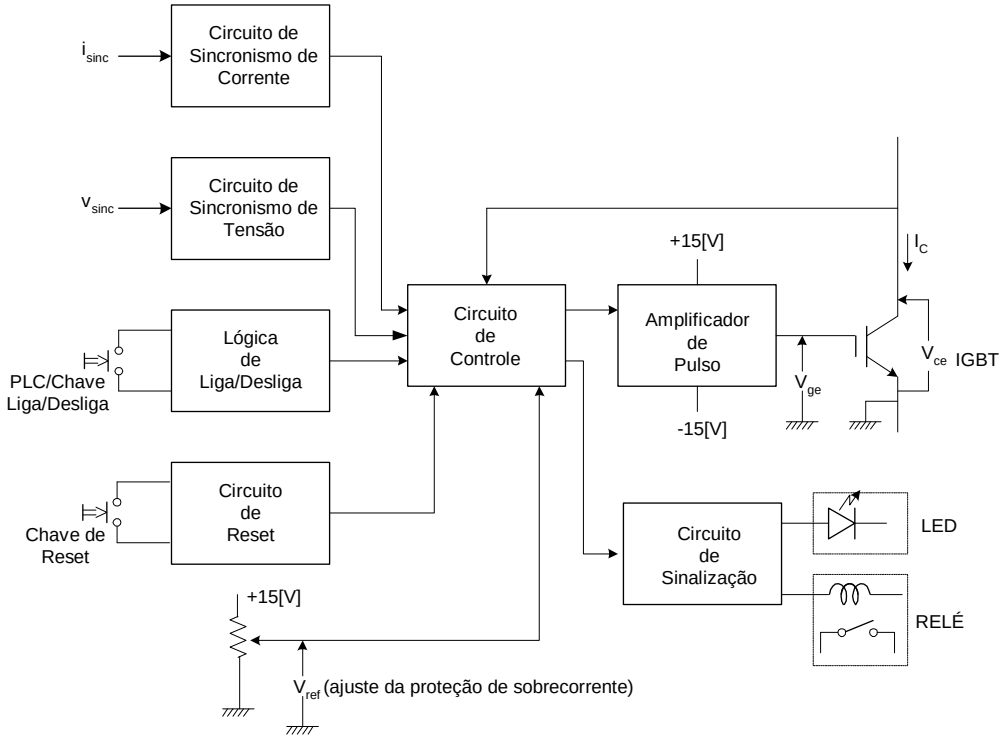


Fig. 2 - Diagrama em blocos do módulo de disparo

Os sinais, provenientes dos módulos citados anteriormente, alimentam o módulo do circuito de controle, o qual recebe ainda, a informação da tensão VCE do IGBT, de modo a efetuar, em caso de sobrecorrente, o bloqueio instantâneo do IGBT, evitando assim, que seja ultrapassado o valor I^2t do mesmo. Finalmente este módulo alimenta o módulo do amplificador de pulso, que libera um sinal de +15 volts DC para disparar o IGBT ou -15 volts para bloquear o IGBT. Existe ainda no cartão, um circuito de sinalização para o PLC, via terminais de um relé que indica as operações do tipo disparo ou bloqueio do IGBT.

As formas de onda teóricas esperadas na operação da chave, relacionando o sinal de sincronismo com os sinais de controle produzidos pelo módulo de disparo, estão ilustradas na figura 3.

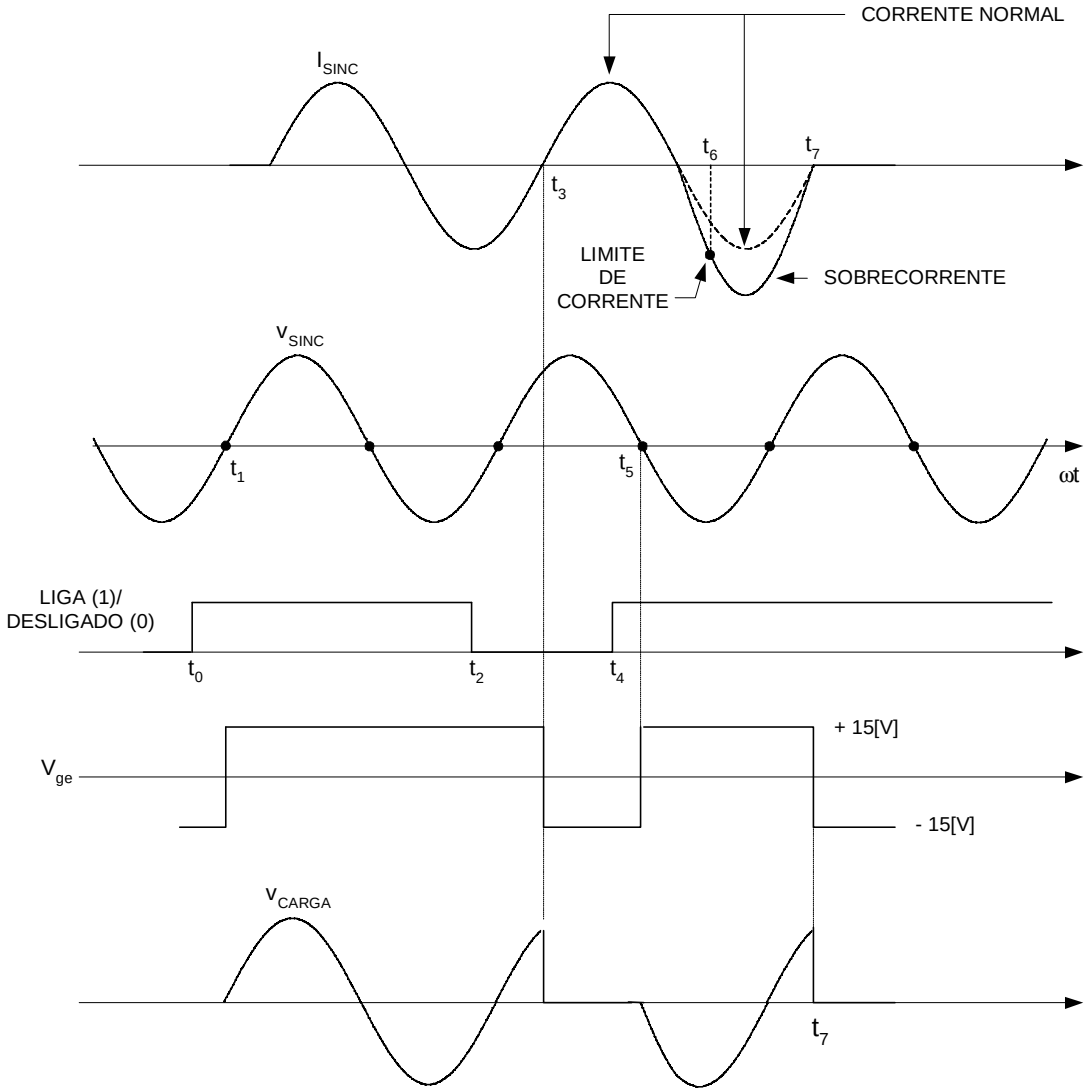


Fig. 3 - Formas de onda esperadas

Com relação às formas de onda da figura 3, no instante t_0, é dada uma ordem de disparar/fechar uma chave, a qual se encontrava em estado de bloqueio/aberta. Somente no instante t_1, no cruzamento por zero do sinal de tensão vsinc, é que ocorre o disparo do IGBT. No instante t_2 ocorre uma ordem de bloqueio do IGBT porém, somente no instante t_3, correspondente ao cruzamento por zero do sinal de corrente isinc, é que ocorre o bloqueio propriamente dito.

Uma outra situação ilustrada, além da operação de bloqueio/disparo, em operação normal, comentada anteriormente, é a atuação da proteção contra sobrecorrente. No instante t_4 é dada outra ordem de disparo, sendo que o disparo efetivo só ocorre no instante t_5, que corresponde ao cruzamento por zero do sinal de tensão vsinc. No instante anterior a t_6, ocorre a sobrecorrente, sendo que esse limite é detectado imediatamente no instante t_6. No entanto, o sinal Vge bloqueará o IGBT somente no instante t_7, correspondente ao cruzamento por zero do sinal de corrente isinc.

4 - Fotos com Detalhes Construtivos do Gabinete e do Painel

As fotos 1 e 2 mostram, respectivamente, a vista frontal e a vista interna dianteira, do equipamento implementado.

Foto 1 - Vista frontal do gabinete

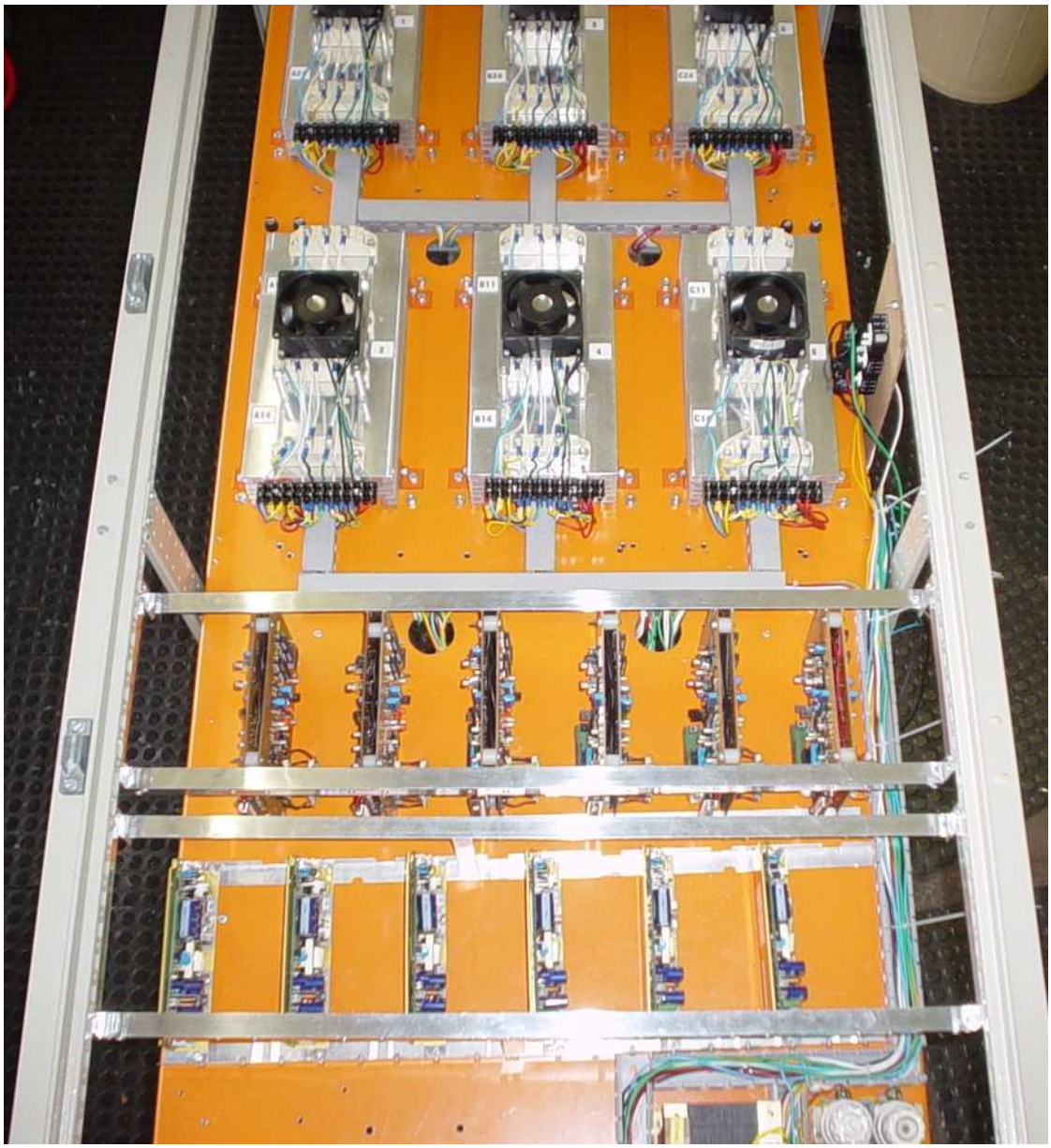
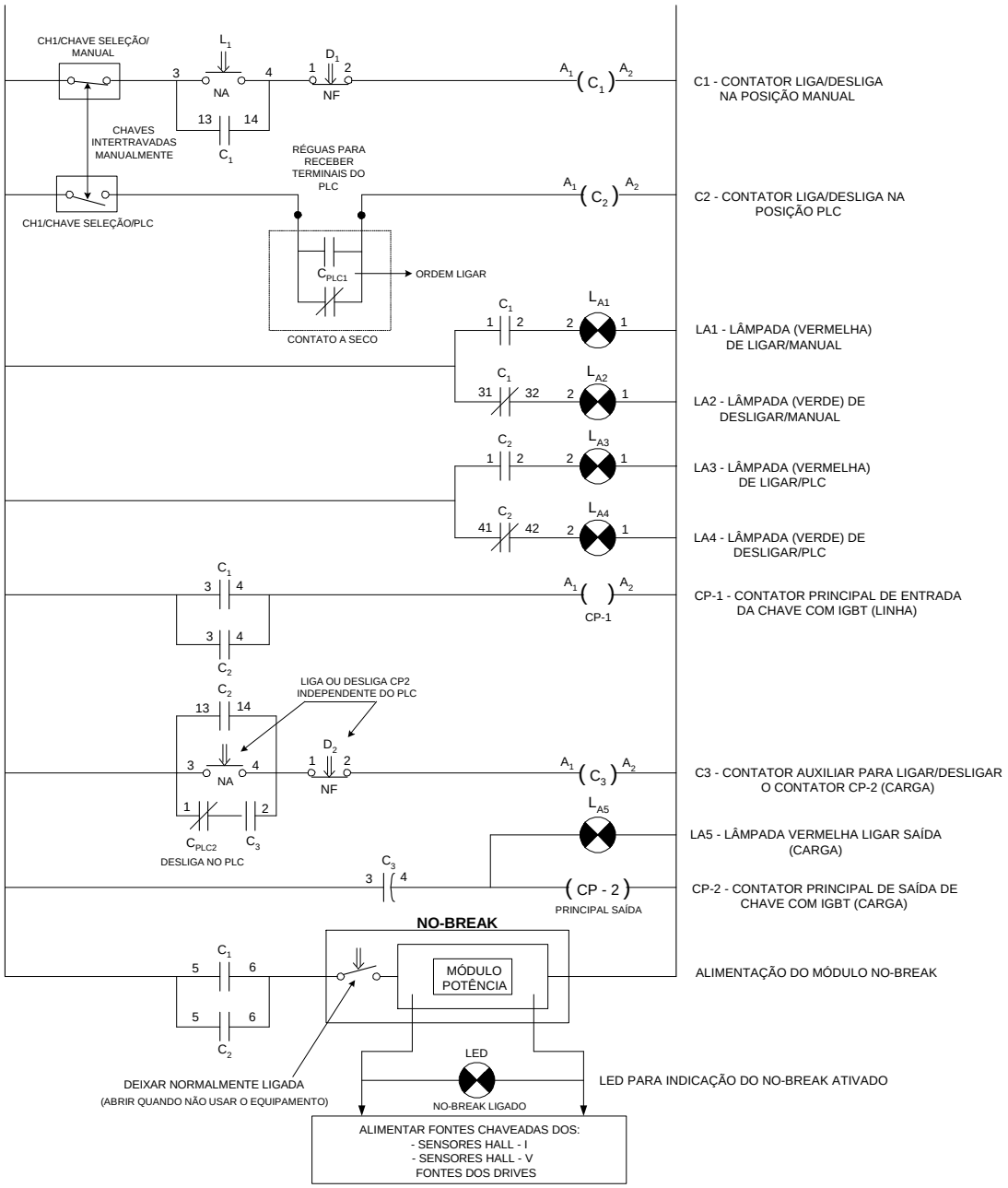


Foto 2 - Vista interna dianteira do gabinete

5 – Diagrama Esquemático do Circuito de Comando e Proteção

A figura 4 ilustra o diagrama esquemático do circuito de comando e proteção. Tem-se a possibilidade de comandar em modo manual ou através de controladores lógicos programáveis (PLC).

O *No-Break* existente, destina-se a alimentação das fontes chaveadas que alimentam os circuitos de disparo dos IGBTs.



LEGENDA

L_1 - BOTOEIRA (VERMELHA) DE LIGAR NA POSIÇÃO MANUAL

L_2 - BOTOEIRA (VERMELHA) DE LIGAR O CONTATOR PRINCIPAL CP-2 INDEPENDENTE DO PLC

D_1 - BOTOEIRA (VERDE) DE DESLIGAR NA POSIÇÃO MANUAL

D2 - BOTOEIRA (VERDE) DE DESLIGAR O CONTATOR PRINCIPAL CP-2 INDEPENDENTE DO PLC

CH_1 - CHAVE DE SELEÇÃO - DEFINE O MODO DE SELEÇÃO MANUAL OU PLC

Fig. 4 - Circuito de comando e proteção

6 - Resultados Experimentais

Os testes executados com o protótipo em laboratório, permitiram que se registrassem as seguintes formas de onda:

- Na figura 5 observa-se o sinal de tensão e corrente registrados no secundário do transformador em regime permanente;
- Na figura 6 apresenta-se o sinal de tensão e corrente registrados na carga em regime permanente;
- Na figura 7 mostra-se o sinal de tensão e corrente registrados na carga quando do comando de disparo pelo PLC;
- Na figura 8 é mostrado o sinal de tensão e corrente registrados na carga quando do comando de bloqueio pelo PLC;
- Na figura 9 são apresentados os sinais de tensão e corrente registrados na carga quando da atuação da proteção de sobrecorrente;
- Na figura 10 são mostrados os sinais de tensão VCE e corrente na carga quando da atuação da proteção de sobrecorrente;
- Na figura 11 estão mostrados os sinais de tensão VCE e corrente na carga quando do comando de disparo pelo PLC.

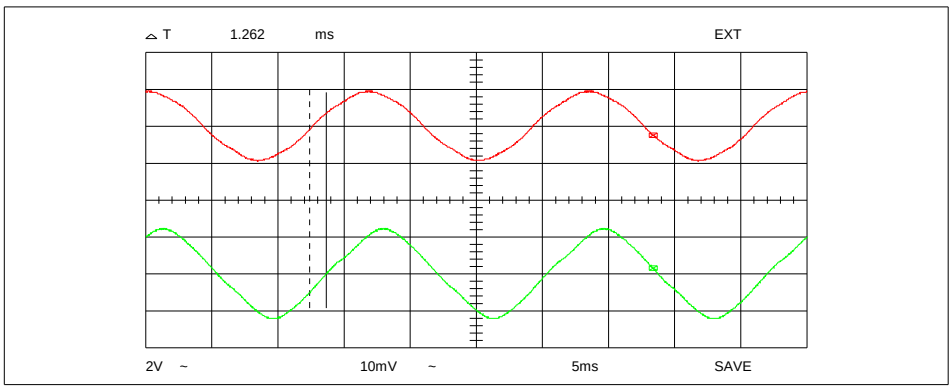


Fig. 5 - Sinal de tensão e corrente registrados no secundário do transformador em regime permanente

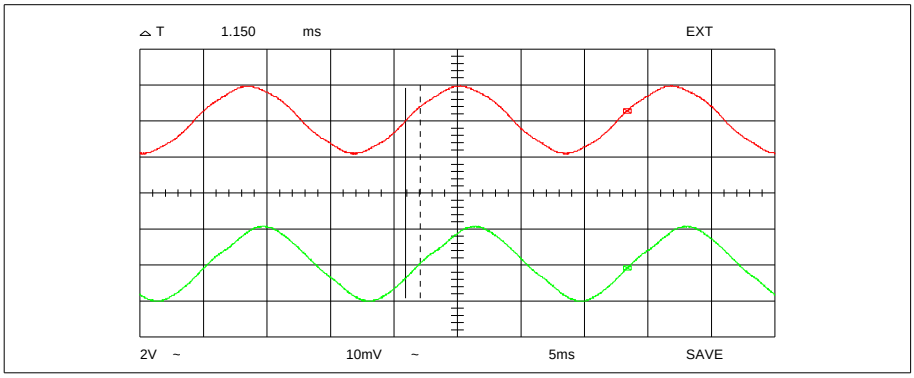


Fig. 6 - Sinal de tensão e corrente registrados na carga em regime permanente

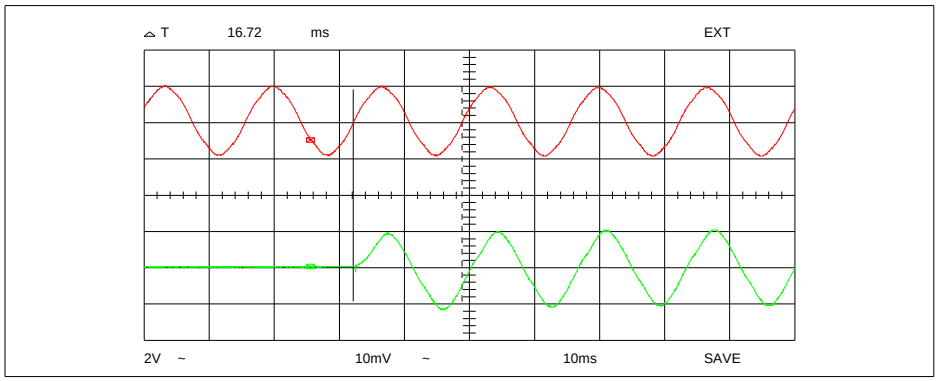


Fig. 7 - Sinal de tensão e corrente registrados na carga quando do comando de disparo pelo PLC

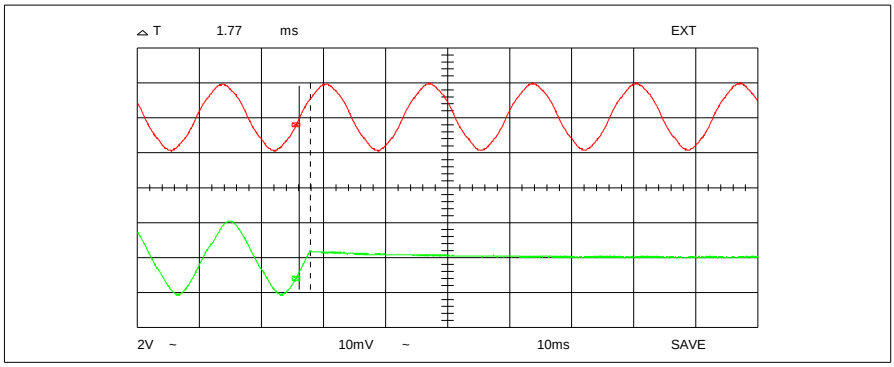


Fig. 8 - Sinal de tensão e corrente registrados na carga quando do comando de bloqueio pelo PLC

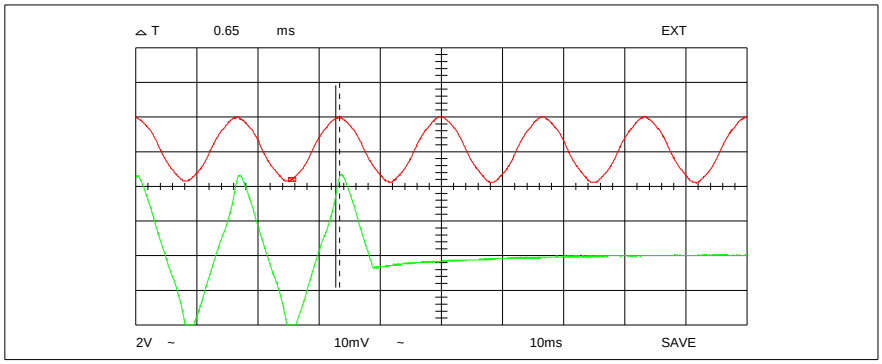


Foto 9 - Sinal de tensão e corrente registrados na carga quando da atuação da proteção de sobrecorrente

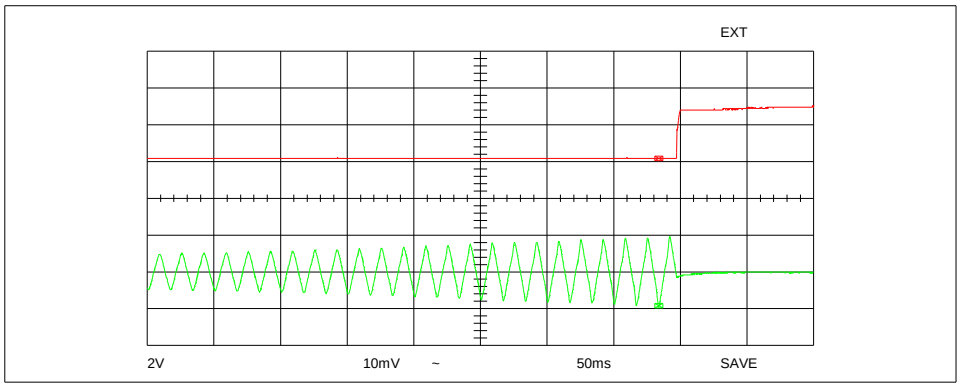


Fig. 10 - Sinal de tensão VCE e a corrente na carga quando da atuação da proteção de sobrecorrente

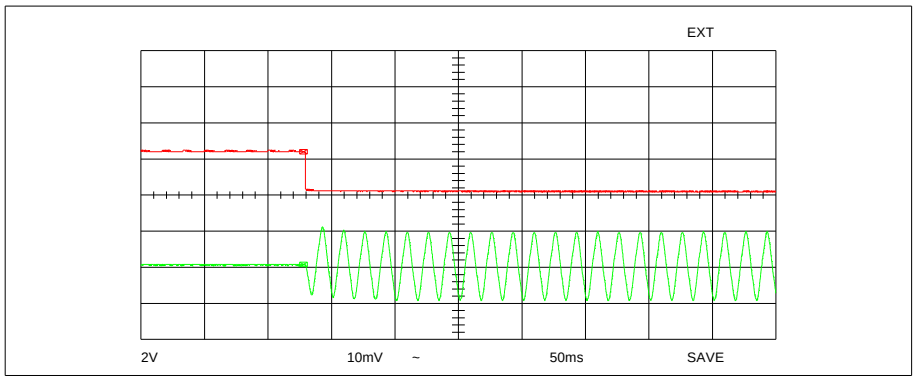


Fig. 11 - Sinal de tensão VCE e a corrente na carga quando do comando de disparo pelo PLC

7 - Conclusões

Conclui-se finalmente que:

- A implementação do protótipo da chave eletrônica é tecnicamente viável e de baixo custo;
- Obtém-se um curto tempo de resposta às solicitações de correção de tensão. Este tempo de operação é da ordem de 10 a 20 ms, os quais são considerados extremamente rápidos;
- A proteção do IGBT, contra efeitos de dv/dt e sobrecorrente instantânea, é efetuada somente no cruzamento pelo zero do sinal de corrente, isinc;
- O disparo é executado, no primeiro meio-ciclo da operação, no cruzamento pelo zero do sinal de tensão, vsinc. Em condições normais de operação, o IGBT sempre estará em condução pelo número de ciclos determinados pelo PLC. O bloqueio, só

acontecerá no cruzamento pelo zero do sinal de corrente, isinc, ao ser solicitado pelo PLC ou quando da atuação da proteção por sobrecorrente;

- Quando do bloqueio do IGBT, seja por operação normal ou por sobrecorrente, não existe nenhum tipo de sobretensão aplicada sobre os terminais de coletor e emissor do IGBT, o que permite a utilização de um circuito amortecedor de baixo custo. Isto evita o emprego de circuitos amortecedores complexos e onerosos, como os indicados em [2, 3].

Bibliografia

[1] - Echavarria, R. et all - Desing and implementation of a fast on-load tap changing regulator using softswitching commutation techniques - Power Electronics Specialist Conference, Pesc 00, 18-23 june, 2000, Galway, Ireland;

[2] - Bauen, P. et all - Electronic tap changer for 10KV distribution transformer - EPE 97, Trondheim, september 97;

[3] - Bauer, P. et all - Solid state control for transformer tap changing - PEMC 96, Budapest, September 96;

[4] - Heinmann, L.; Mauthe, G. - The universal power electronics based distribution transformer, an unified approach - PESC 2001;

[5] - Abreu, J. P. G.; Monteiro, A. J. - Transformadores especiais e o emprego de bobinas particionadas - Nota Técnica 1.3, Ciclo 2001-2002, ELPA-FUPAI-UNIFEI, 2002;

[6] - Silva, V. F.; Cortez, J. A.; Abreu, J. P. G. - Métodos de comutação de bobinas para transformadores especiais - Nota técnica 2.1, Ciclo 2001-2002, ELPA-FUPAI-UNIFEI, 2002;.

[7] - Abreu, J. P. G. - Desenvolvimento e Implementação de um Transformador com Relação de Transformação Complexa Variável - *Phasor Controller* - Tese de Doutorado, Unicamp, 1991.