

Desenvolvimento de Chave Estática em Estado Sólido para Sistemas de Distribuição

Anderson H. de Oliveira; Carlos G. Bianchin; Ivan J. Chueiri; Bruno R. Moeller; João R. Pasqualin.

RESUMO

Esse artigo apresenta uma opção na utilização de EPLDs para o acionamento de chaves em estado sólido aplicados aos sistemas de distribuição em alta tensão, 13,8kV. Devido a pouca pesquisa envolvendo as duas tecnologias, a flexibilidade e precisão no projeto de circuitos de comando envolvendo dispositivos de lógica programável tornam esta solução extremamente interessante na comutação de cargas em corrente alternada. Transientes como sobretensões, durante abertura de circuitos indutivos e, sobrecorrentes, no acionamento de cargas capacitivas, podem ser minimizadas através da monitoração das características da linha de distribuição. Além disso, a memorização dos estados da chave nos instantes anteriores a alguma anomalia no fornecimento de energia, a utilização de um controle remoto ou qualquer outro meio de acionamento a distância, tornaram-se possíveis devido ao uso de uma EPLD em um circuito de comando isolado para controlar todo o sistema.

PALAVRAS-CHAVE

Acionamento, passagem por zero, sistema de distribuição, controle.

I. INTRODUÇÃO

A grande maioria dos sistemas de comutação em redes de distribuição em 13.8kV utiliza equipamentos mecânicos, com todos os inconvenientes de uma comutação física, além do problema do óleo altamente poluente que envolve grande parte das chaves. O emprego de tecnologias em estado sólido em substituição aos aparelhos eletromecânicos constitui uma solução de elevado custo. Entretanto a precisão e a confiabilidade no acionamento, facilidade de incorporação a sistemas de automação e, principalmente ausência de arcos elétricos na comutação de cargas de característica indutiva e capacitiva, torna essa solução atrativa.

A EPLD tem papel fundamental no comando desta, pois a necessidade de precisão no momento do acionamento, a memorização do estado anterior em caso de queda de energia, e a utilização de módulos óticos para isolamento, são facilitadas com o uso da EPLD.

Este projeto foi contratado pela concessionária ELETROPAULO Metropolitana – Eletricidade de São Paulo S.A., e desenvolvido no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Curitiba – PR – Brasil.

II. DESCRITIVO OPERACIONAL DO PROJETO

Devido à questão de isolamento elétrica, o circuito de comando é alimentado por uma rede de 220V independente do ponto onde será comutado o 13.8kV, e dessa rede auxiliar é retirado o sinal de amostra para o acionamento na passagem por zero da rede. Caso seja constatada alguma defasagem entre o sinal da rede e o sinal comutado, podem-se ajustar os sinais colocando o circuito de controle em modo de calibração, para que a EPLD compense essa diferença. Este ajuste é necessário para que a comutação seja feita em 0 (zero) V na rede de 13.8kV. A EPLD pode compensar uma diferença de até $\pm 90^\circ$, sendo que este processo deve ser feito em bancada.

O acionamento das chaves semicondutoras é feita através de 8 cabos óticos, pois são usados 8 LTTs (Light Triggered Thyristors) de 7200V ligados em série (4 para condução no semiciclo positivo e 4 para o negativo). A figura 1 apresenta um diagrama simplificado da estrutura implementada. A interface com o usuário pode ser feita através de um controle remoto infravermelho onde existem 2 botões (liga e desliga). Se for necessário, pode-se configurar um controle remoto para cada chave ou utilizar um *push bottom* localizado no circuito. Também, existe a possibilidade de interligar o circuito em um sistema de automação. Através de um LED é indicado o estado atual de acionamento da chave (ligado vermelho, desligado verde).

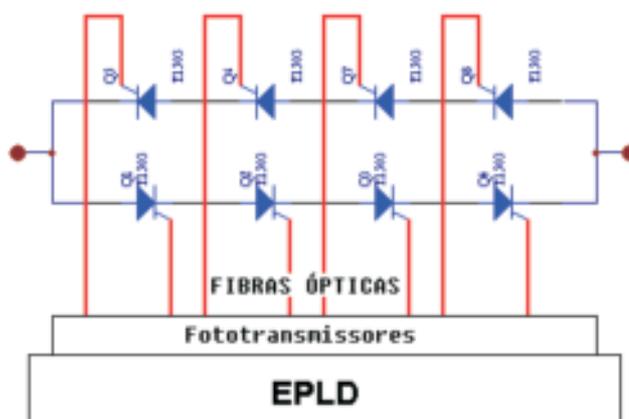


FIGURA 1. Ligação das chaves ao sistema.

III. HARDWARE

O Hardware pode ser dividido em 4 blocos periféricos à EPLD EPM7064SLC44-10:

- Amostragem da rede
- Memória
- Interface
- Controle Remoto
- Chaves

3.1 Amostragem da rede

Conforme constatado em testes de algumas linhas, podem existir pequenas defasagens entre a alta tensão (13,8 kV) e a baixa tensão (220V), considerando ainda que a amostra da rede é retirada no secundário do transformador de alimentação do circuito por motivo de isolamento. Para gerar este sinal foi usado um comparador LM311 que aceita alimentação simétrica e gera um sinal de 0 (zero) V quando a rede está em semiciclo negativo e 5V quando a rede esta no semiciclo positivo. A alimentação simétrica desta parte do circuito é necessária para que haja uma maior precisão do acionamento. O momento de acionamento das chaves pela EPLD é feito na borda positiva da subida da rede. Ajustando-se o *duty-cycle* da rede pode-se variar o momento de acionamento para que seja o mais próximo do instante em que a rede de 13.8kV passa por 0 (zero) V, garantindo assim que não ocorram surtos de corrente.

3.2 Memória

Para memorizar o estado anterior em caso de falta de energia foi empregado um relé biestável. Quando são acionadas as chaves, a EPLD manda um sinal ao relé fazendo com que o mesmo coloque nível alto (1) em um pino da EPLD e quando são desacionadas as chaves, a EPLD manda outro sinal fazendo que o relé mude de posição, enviando nível baixo (zero) nessa entrada. Em caso de queda de energia, logo após o *reset*, é feita uma leitura do sinal que o relé está e enviando à EPLD.

3.3 Interface

Apesar de existir um botão tipo *push-bottom* ligado a EPLD para acionar as chaves, este comando pode ser feito através de um controle remoto infravermelho microcontrolado, que manda um código de 3 bytes para acionamento e outros 3 bytes para desacionamento, que são enviados de acordo com a figura 2.



FIGURA 2. Códigos enviados pelo controle remoto

A necessidade de um código extenso é devido à possibilidade de ruídos externos interferirem no acionamento das chaves. Por determinação do manual do receptor de infravermelho IRM8751 foi utilizado 500ms para cada bit enviado, em uma frequência de 38kHz. Este receptor

demodula o sinal chaveado e envia um código invertido para EPLD, e esta identifica o código e aciona ou desaciona as chaves de acordo com o código enviado. A utilização de um cristal foi necessária para gerar uma frequência de 32,768kHz para fazer a amostragem e processamento do sinal IR.

De acordo com a concessionária, pode-se empregar uma outra forma de acionamento, desde que ela tenha disponível algum sistema de comando remoto previamente ligado ao sistema de distribuição de energia elétrica.

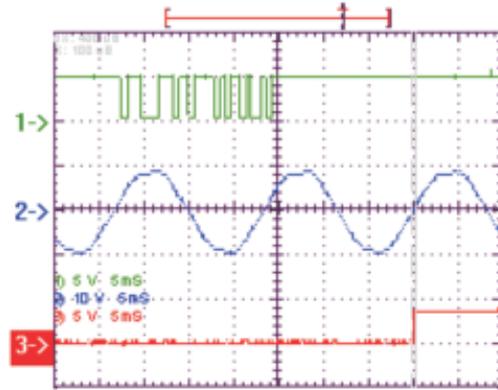


Figura 3. Código enviado pelo controle remoto invertido (Ch1-5V/div) e acionamento da chave (Ch3-5V/div) no momento da passagem da rede por 0(zero)V (Ch2).

3.4 CONTROLE REMOTO

Para enviar os códigos ao circuito de controle foi usado um microcontrolador de 8 pinos Atmel (ATTiny12), que é ligado somente quando é acionado um dos botões. Este circuito está sendo alimentado por uma bateria de 6V.

3.5 Chaves

Através de uma fibra óptica ligada a um fototransmissor para fibras de 1mm, modelo IF-E91A, foram acionados os LTTs que devem estar a uma distância mínima de 2 metros para que não ocorram interferências, e para minimizar os riscos de operação. Também foi ligado uma rede de resistores em paralelo com cada chave para equalizar a alta tensão em todos os LTTs.

IV. RESULTADOS ESPERADOS

Devido aos altos custos e períodos de importação de LTTs para tensões muito altas, todos os testes até o presente momento foram feitos com modelos reduzidos de tensão e corrente (1000V/ 1A), considerando que o protótipo final comutará cargas de até 100A. Pela complexidade e risco ao se trabalhar com altas tensões, está sendo necessário o auxílio de pessoal especializado nessa área.

4.1 Acionamentos em diversas cargas

Foram executados testes em diversos tipos de cargas onde a chave estática será utilizado. Os resultados podem ser observados nas figuras a seguir.

4.1.1 Carga de Comportamento Indutivo

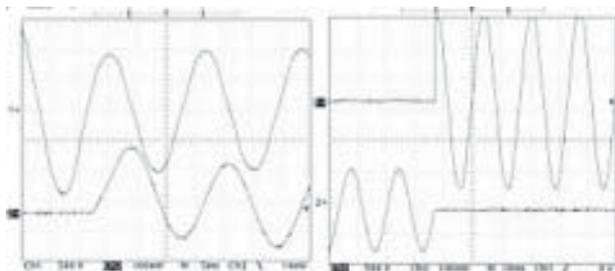


FIGURA 4: tensão (Ch1-100V/div) e corrente (Ch2-1A/div) sob as chaves no momento do acionamento (esquerda) e desacionamento (direita) em carga indutiva.

O problema maior de comutação neste tipo de carga ocorre no desacionamento, conforme figura 4. Devido a energia armazenada no indutor, caso a chave seja desacionada no momento de maior corrente, o semiconductor não será desacionado enquanto a corrente não se anular espontaneamente (devido as próprias características da tecnologia de semiconductor utilizado). Foi empregado um indutor de 1,8H.

4.1.2 Carga de Comportamento Capacitivo

O problema maior de acionamento neste tipo de carga ocorre no momento da entrada em condução, que não pode ser nos instantes de tensão elevada, pois isso resultaria em picos de corrente muito alto (carga do capacitor) e, empregando a técnica de passagem por zero, não resulta em picos de acionamento muito maior que a corrente em regime. Foi utilizado um capacitor de 1 μ F/10kV, em paralelo com um resistor de 2kW para descarregar possíveis resíduos de tensão sobre o capacitor.

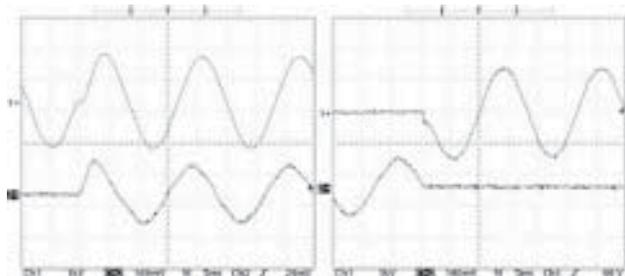


Figura 5. Tensão (Ch1-100V/div) e corrente (Ch2-1A/div) sob as chaves no momento do acionamento (esquerda) e desacionamento (direita) em carga capacitiva em paralelo com carga resistiva.

4.1.4 Protótipo Reduzido

A figura 6 apresenta uma fotografia do circuito de controle e chaves semicondutoras implementado.



FIGURA 6. Foto do circuito subdimensionado.

V. CONCLUSÃO

O ensaio em protótipo subdimensionado foi importante para mostrar o comportamento do circuito comutando cargas de características resistivas, capacitivas e indutivas. Por se tratar de um projeto de 2 anos a próxima, e última etapa, será a implementação do circuito para atuação em cargas nominais (13,8kV/100A).

A utilização de EPLDs permite a implementação de projetos de fácil adaptação a outros fins através da alteração ou inclusão de funções, como sistemas de proteção ou a implementação em sistemas trifásicos.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] ALTERA, Data Books e Max+Plus II Getting Started, 1998.
- [2] ON Semiconductor, Single Comparator LM311. May, 2002
- [3] Siemens, Miniature Relay P1 V23026 Jul/96
- [4] Everlight Eletronics CO. Infrared remote-control Receiver Module, Rev. 1.2
- [5] Lactec, Manual de fibra óptica. Agosto/2002
- [6] Gaboa, Luis R.A., Ensaio de corrente de fuga e perdas em abo de fibra óptica plástica, Lactec, pp 3, Relatório 0939/96.
- [7] Chueiri Ivan J., Localização de Faltas em Redes Aéreas de distribuição de Energia Elétrica, LAC-UFPR/Copel, pp. 15 04/96.
- [8] Atmel, AVR Instruction Set. Jun/99
- [9] Eupec, Phase Control Thyristor, light Trggered With integrated overvoltage protection. Octob, 2001.