

PROJETO DE UM CIRCUITO DE CROWBAR PARA PROTEÇÃO DE UM BARRAMENTO CAPACITIVO

Antônio de Bruns Bordini Junior

Acadêmico do Curso de Eng. Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria - GEPOC - UFSM
abbordini@gmail.com

Fabricio Emmanuel Cazakevicius

Acadêmico do Curso de Eng. Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria - GEPOC - UFSM
fabriciocazakevicius@gmail.com

Fabrcio Hoff Dupont

Doutorando em Eng. Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria - GEPOC - UFSM
fhdupont@gmail.com

José Renes Pinheiro

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria - GEPOC- UFSM
jrenes@gepoc.ufsm.br

Resumo. *O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia e resultados acerca do projeto de um circuito de crowbar, aplicado na proteção de um barramento capacitivo de 10 mF @ 400 VCC.*

O crowbar deste projeto consiste, basicamente, de um resistor de potência que, sob determinadas condições, será posto em paralelo com o barramento, de forma que a energia do mesmo seja desviada e dissipada rapidamente. Um circuito eletrônico, baseado em uma chave de estado sólido, entra em funcionamento automaticamente pela sobretensão do barramento ou por um gatilho externo.

O projeto abrange a modelagem térmica do resistor de potência e o circuito eletrônico de manobra do dispositivo. Resultados experimentais validam a metodologia aplicada e comprovam a eficiência do dispositivo.

Palavras-chave: Crowbar. Capacitor Eletrolítico. Resistor de potência.

1. INTRODUÇÃO

Em conversores estáticos de energia, o capacitor eletrolítico é um dos componentes mais significativos, tanto no orçamento final

do produto quanto no comprometimento à confiabilidade do sistema (RASHID., 2006). Em vista dessa afirmação, se faz necessário um circuito que faça a proteção desses componentes a fim de evitar maiores danos e gastos.

O circuito de *crowbar* é um sistema de proteção relativamente simples e barato que, em sua concepção mais simples, consiste em uma chave que produz um curto-circuito em paralelo com a carga, de forma que o fusível para proteção da entrada do conversor se rompa, abrindo o circuito e diminuindo assim o tempo de sobrecorrente (RASHID., 2006).

Usualmente a literatura apresenta o emprego de tiristores em circuitos de *crowbar*, pois se trata de um dispositivo de estado sólido, rápido e robusto, que necessita apenas de um pulso de disparo e bloqueia com a extinção da corrente em seus terminais de potência (BARBI., 2005). Um tiristor comumente disponível no comércio local é o BTA41-600B, que se trata de um TRIAC (dispositivo bidirecional que pode operar em barramentos CC e CA) de 40 A e 600 V. O circuito em questão consiste de um sistema de disparo e um resistor de potência, que terá a função de descarregar os capacitores de um barramento de 10 mF @ 400 VCC de forma segura.

O sistema de disparo projetado permite que o *crowbar* atue a partir de três situações distintas: disparo automático por sobretensão, disparo por gatilho instantâneo isolado e disparo por gatilho retardado isolado.

Devido a importância do correto dimensionamento do resistor de potência, é feito, também, uma modelagem térmica do mesmo o que permite uma avaliação mais fidedigna de seu comportamento diante do estresse térmico. Não raras vezes esse componente é mal dimensionado para a aplicação. A partir do conhecimento de seu modelo térmico é possível executar uma simulação computacional que permite seleccionar o dispositivo mais adequado.

2. CIRCUITO E FUNCIONAMENTO

O circuito do sistema de *crowbar* pode ser visualizado integralmente na Fig.1.

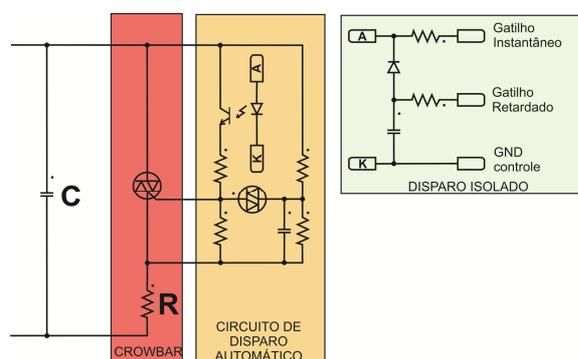


Figura 1: Circuito completo do crowbar

2.1 Aspectos gerais

O circuito mostra a totalidade do sistema de *crowbar*, onde o resistor de potência "R" é responsável por dissipar a energia do barramento capacitivo, representado por "C", quando qualquer um dos circuitos de disparo forem ativados. Em qualquer uma das formas de disparo é injetado um sinal de controle no TRIAC de forma que ele manobre o resistor de potência em paralelo com o barramento.

2.2 Circuitos de disparo

O circuito de disparo automático atua quando há uma sobretensão no barramento. Através de um divisor resistivo é possível calibrar o nível de tensão de disparo adequado à proteção do barramento. Essa tensão pode variar de um dispositivo para outro, mas uma vez ajustada, foi verificado na prática que sua variação com a temperatura é desprezível.

Os circuitos de disparo isolados são utilizados no caso da necessidade de forçar a entrada do *crowbar* no sistema, mesmo sem sobretensão. São dois circuitos independentes, um com retardo e outro instantâneo, ambos conectados a um optoacoplador que faz a isolação e o comando do TRIAC. O retardo é implementado através de um circuito RC. Esse retardo tem como função permitir que elementos de manobra mais lentos, como contactoras, possam ser desabilitados antes de o *crowbar* entrar em funcionamento.

3. MODELAMENTO TÉRMICO DO RESISTOR DE POTÊNCIA

O comportamento térmico do resistor de potência é modelado por um circuito RC paralelo, sendo atacado por uma fonte de corrente, Fig. 2. O resistor do modelo representa a capacidade de arrefecimento, o capacitor representa a capacitância térmica do material e a fonte de corrente corresponde à potência instantânea dissipada (INCROPERA et.al., 2003) e (PINHEIRO et. al., 2003).

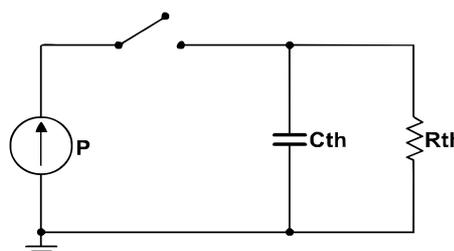


Figura 2: Circuito térmico equivalente

Analisando o circuito da Fig. 2 chegamos à equação diferencial, que o representa, Eq. (1).

$$\frac{d\theta(t)}{dt} + \frac{\theta(t)}{R_{th} \times C_{th}} = \frac{P}{C_{th}} \quad (1)$$

Como solução desta, tem-se a Eq. (2). De onde resulta a Eq. (3).

$$\theta(t) = R_{th} \times P \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (2)$$

$$\tau = R_{th} \times C_{th} \quad (3)$$

É possível modelar o resistor desejado fazendo um ensaio experimental da curva de aquecimento do mesmo juntamente com o emprego das Equações (2) e (3).

3.1 Ensaio da curva de aquecimento

Para o ensaio da curva de aquecimento do resistor são utilizados 3 sensores de temperatura LM-35 em conjunto com um microcontrolador, para aquisição e leitura de temperatura. O resistor, nesse caso de 10 Ω e 225 W devido as características do projeto, é ensaiado sob 40 W de potência desde a temperatura ambiente até a de regime. Aquisições de temperatura foram feitas em intervalos regulares de 1 segundo.

Uma ferramenta computacional matemática calcula a média dos registros obtidos por cada sensor e os pontos resultantes são aproximados por uma curva que segue a Eq. (4), análoga a Eq. (2), de onde se calcula os parâmetros do modelo, como segue nas Equações (5) e (6).

$$f(x) = a \left(1 - e^{-\frac{x}{b}} \right) \quad (4)$$

$$R_{th} = \frac{a}{P} \quad (5)$$

$$C_{th} = \frac{b}{R_{th}} \quad (6)$$

De posse dos valores de R_{th} e C_{th} , é possível realizar uma simulação computacional e verificar o comportamento do dispositivo. Na Figura 3 é apresentado o esquema da simulação, realizada com o software PSIM[®].

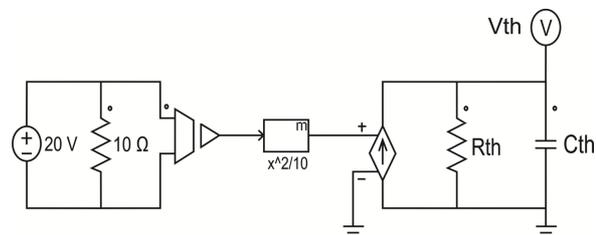


Figura 3: Circuito para simulação da modelagem térmica

4. RESULTADOS E SIMULAÇÕES

Através do processo de modelagem feito anteriormente, obteve-se os parâmetros do circuito térmico equivalente, $R_{th}=2,098$ e $C_{th}=312,059$. Com o objetivo de validar o modelo térmico, realizou-se mais um ensaio, utilizando a mesma instrumentação para capturar os pontos de temperatura.

Neste ensaio aplicou-se 150 V no resistor durante 10 segundos, obtendo a curva apresentada na Fig. 4.

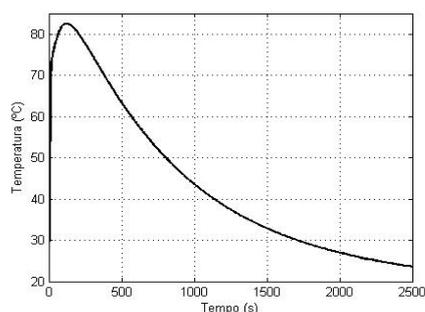


Figura 4: Resultados experimentais do ensaio

Realizando a simulação do modelo térmico, com os mesmos valores de tensão e corrente do ensaio obteve-se a curva representada na Fig.5

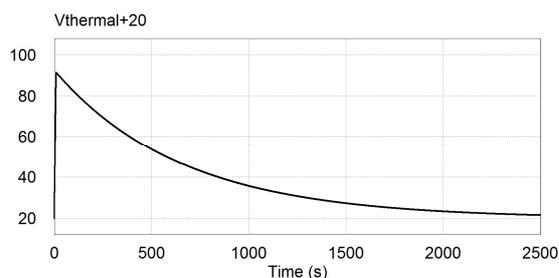


Figura 5: Resultados da simulação

Com base na análise da comparação entre os resultados do ensaio e da simulação, é possível afirmar que o modelo térmico do resistor é válido.

A validade do modelo permite a simulação, com segurança, para outros casos. Devido à aplicação na qual será submetido, existem dois casos fundamentais a serem considerados na simulação: (i) a variação da temperatura durante a excursão de descarga e (ii) o tempo que o resistor irá suportar competindo com os conversores ligados ao barramento até falhar (ao atingir cerca de 400°C). Esse segundo caso é importante, pois na ocorrência de uma falha no sistema o resistor de *crowbar* será submetido a uma sobrecarga de até 18 kW por um período prolongado de tempo, que pode resultar em sua destruição.

Na simulação do caso (i), a variação de temperatura do resistor foi de apenas 3°C, sendo praticamente desprezível.

Realizando a simulação para o pior caso, onde o barramento estivesse com sobretensão (430 Vcc) e com os conversores ligados, fornecendo energia, foi gerada a curva apresentada na Fig. 6.

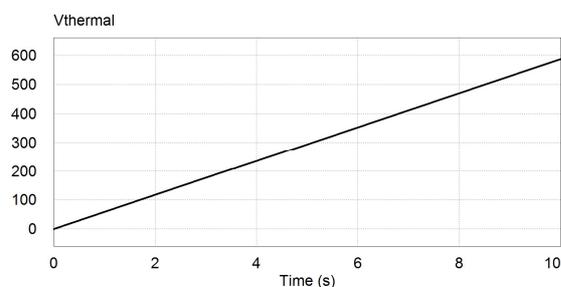


Figura 6: Resultados da simulação do pior caso

A Figura 6 mostra que o resistor suporta cerca de 6 segundos, competindo com os conversores, até atingir a temperatura crítica de 400°C que causaria sua destruição.

5. CONCLUSÃO

O controle do sistema deve atuar no sentido de desabilitar os conversores e abrir as contactoras ou reles que os conectam ao barramento. Devido a alta inércia para efetuar a manobra em dispositivos como contactoras (até 500 ms), cabe ressaltar que o *crowbar* deve suportar esse período para proteger o sistema. A simulação do pior caso foi rodada considerando a tensão do capacitor fixa em 430 V, tensão perigosa para o capacitor eletrolítico, na qual o *crowbar* deve ser acionado.

O resistor de 225 W, além de sofrer uma variação na temperatura de apenas 3°C na descarga livre, levou expressivos 6 s até a temperatura crítica considerando o barramento alimentado pelos conversores. Esse período é mais que o suficiente para todo o desligamento do sistema e proteção do barramento capacitivo.

6. REFERÊNCIAS

RASHID M. H.; **Power Electronics Handbook**. San Diego – EUA: Academic Press, 2ª Edição, 2006.

BARBI, I.; **Eletrônica de Potência**. Florianópolis – Brasil: Editora da UFSC, 5ª Edição, 2005.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Rio de Janeiro – Brasil: LTC, 5ª Edição, 2003.

PINHEIRO M. R.; PINHEIRO J. R. Estudo Térmico de Transientes de Resistores de Potência. In: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, XVIII., 2003, Itajaí-SC.