



**XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GPC/09
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO -V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

LIMITADORES DE CORRENTE ELÉTRICA UTILIZANDO MATERIAIS SUPERCONDUTORES

**Fernando Cardoso Fajoni (*)
FEEC-UNICAMP**

**Ernesto R. Filho
FEEC-UNICAMP**

**Carlos A. Baldan
EEL-USP**

**Carlos Y. Shigue
EEL-USP**

**Jérrika S. Lamas
Univ. GHENT-BE**

RESUMO

Neste trabalho são apresentados alguns tipos importantes de limitadores de corrente elétrica utilizando materiais supercondutores em desenvolvimento no exterior e no Brasil. Apresenta-se dados e resultados de ensaios de um limitador de corrente elétrica supercondutor resistivo, demonstrando sua eficiente atuação em baixa tensão (220 V) para correntes de falta de até 10kA, com fator de limitação de 10 vezes. Apresenta-se também os princípios de funcionamento, os dados de projeto e resultados de simulações usando o método de elementos finitos de um limitador de corrente elétrica de núcleo magnético saturado.

PALAVRAS-CHAVE

Supercondutor, Limitador de corrente elétrica, Núcleo magnético saturado, Elementos finitos.

1.0 - INTRODUÇÃO

Com a expansão dos sistemas de energia elétrica, os projetistas têm se deparado com um problema clássico, que é o da elevação dos níveis das correntes elétricas de curto circuito. Ao se substituir os transformadores por outros de maior potência, há a necessidade de se substituir também outros equipamentos, como barramentos, chaves, disjuntores, condutores e outros, que se tornam sub-dimensionados. Dentre esses equipamentos, um que sofre muito com o aumento do nível da corrente de falta é o disjuntor, pois, na ocorrência de um curto circuito com uma corrente muito elevada, este pode não atuar devidamente tornando-se um curto circuito, ocasionando danos aos outros equipamentos, inclusive ao transformador e à linha de transmissão. Para evitar esse tipo de situação, uma solução consiste em empregar limitadores de corrente, que normalmente atuam em 100ms.

Os limitadores de correntes são equipamentos desenvolvidos para que, em operação normal, apresentam um valor mínimo de impedância. No momento em que ocorre uma falta, ele insere no circuito uma impedância para que o valor da corrente de curto circuito não atinja valores elevados e o disjuntor possa se abrir em seu tempo de atuação sem problema. Outro aspecto desejável é que essa transição se dê da maneira mais rápida possível e que após a falta, o tempo de recuperação do limitador de corrente elétrica seja muito pequeno, de modo que o sistema elétrico possa entrar em operação novamente. Os limitadores de corrente elétrica convencionais disponíveis no mercado atualmente e com boa experiência de uso são os do tipo reator série com núcleo de ar e dispositivos pirotécnicos.

O reator de núcleo de ar consiste em enrolamentos de cobre ou alumínio, formando uma ou várias bobinas que são montadas em suportes isolantes. O núcleo desse reator é de ar para manter sua reatância fixa, possibilitando uma larga abrangência de limites de corrente circulante. Esse limitador de corrente elétrica é geralmente o mais utilizado pelo fato de ter baixo custo, porém, ele apresenta algumas desvantagens: a) fica permanentemente inserido em série com a rede, adicionando assim, uma indutância no circuito, ocasionando perdas e interferindo na estabilidade de tensão, o que implica também na necessidade de se fazer compensação na linha, utilizando capacitores; b)

(*) Av. James Maxwell, n° 30 – sala LE 27- Bloco A – CEP 13083-852 Campinas, SP, – Brasil
Tel: (+55 19) 3521-0244 – Fax: (+55 19) 3289-1395 – Email: fernandofajoni@yahoo.com.br

após um surto de corrente, esse tipo de limitador de corrente elétrica demanda muito tempo para se resfriar e voltar à operação, o que acarreta indisponibilidade de proteção para a linha durante esse período de tempo; c) O espaço ocupado por esse limitador de corrente elétrica é muito grande, devido ao fato do campo magnético ser muito intenso, inviabilizando sua utilização em subestações com espaço limitado.

Os dispositivos pirotécnicos são equipamentos capazes de interromper correntes de curto circuito elevadas com muita rapidez (cerca de 1/4 de ciclo), através da combinação de cargas explosivas com elementos fusíveis. Apesar desse dispositivo não interferir na impedância do circuito e ter velocidade de atuação alta, ele tem a desvantagem de necessitar a substituição do conjunto elemento explosivo/fusível a cada atuação, deixando o circuito indisponível durante esse período. Porém, pela sua rápida atuação, ele pode evitar que equipamentos sejam danificados (1) e (2) na ocorrência de apenas um curto-circuito, sem repetição.

2.0 - LIMITADORES DE CORRENTE ELÉTRICA SUPERCONDUTORES (LCES)

Os limitadores de corrente elétrica supercondutores podem ser divididos em três categorias principais: indutivos, resistivos e híbridos.

Os indutivos apresentam várias configurações, de tal modo que, quando ocorre um surto de corrente eles, quase que instantaneamente, introduzem uma impedância em série no circuito. Na Figura 1 (a) apresenta-se o limitador de corrente elétrica com núcleo saturado, que é constituído de um reator de núcleo ferromagnético em paralelo com uma fonte de corrente contínua. Esse conjunto é conectado em série com o circuito da rede elétrica. Durante a operação normal, o núcleo magnético permanece saturado e o dispositivo eletromagnético apresenta baixa impedância para a corrente alternada da rede elétrica. Quando ocorre um curto circuito, retira-se a corrente contínua através de uma chave rápida e o núcleo magnético sai da zona de saturação, aumentando a sua impedância para a corrente alternada. Durante o surto de corrente é necessário utilizar um circuito de proteção para descarregar a energia armazenada no circuito magnético e não causar danos à fonte de corrente. Após a falta o núcleo magnético é novamente saturado, permitindo a operação normal do sistema elétrico.

Nos limitadores de corrente elétrica resistivos, o elemento supercondutor é inserido em série com o circuito. Normalmente o material supercondutor está associado com um resistor *shunt*, para permitir a recuperação do mesmo, Figura 1 (b). Esse tipo de limitador, durante operação normal, não introduz impedância alguma ao circuito, porém, no momento de falta, o supercondutor transita para o estado condutor aumentando sua resistência elétrica rapidamente, desviando parte da corrente para o resistor *shunt* permitindo a abertura do circuito pelos dispositivos de proteção (3) bem como a recuperação do estado supercondutor.

Os limitadores de corrente elétrica híbridos, Figura 1 (c), são caracterizados por ter o elemento supercondutor em série com o circuito a ser protegido e, em paralelo a esse elemento, há um limitador de corrente convencional. Em operação normal, a corrente do sistema flui através do supercondutor, não acarretando perda alguma. Durante a condição de falta, o supercondutor transita para o estado normal, aumentando sua resistência e parte da corrente é desviada para uma bobina de acionamento de chaves, que retiram o limitador de corrente supercondutor do circuito, inserindo o limitador de corrente convencional no sistema (4) e (5), que permite a limitação da corrente por até 0,5s.

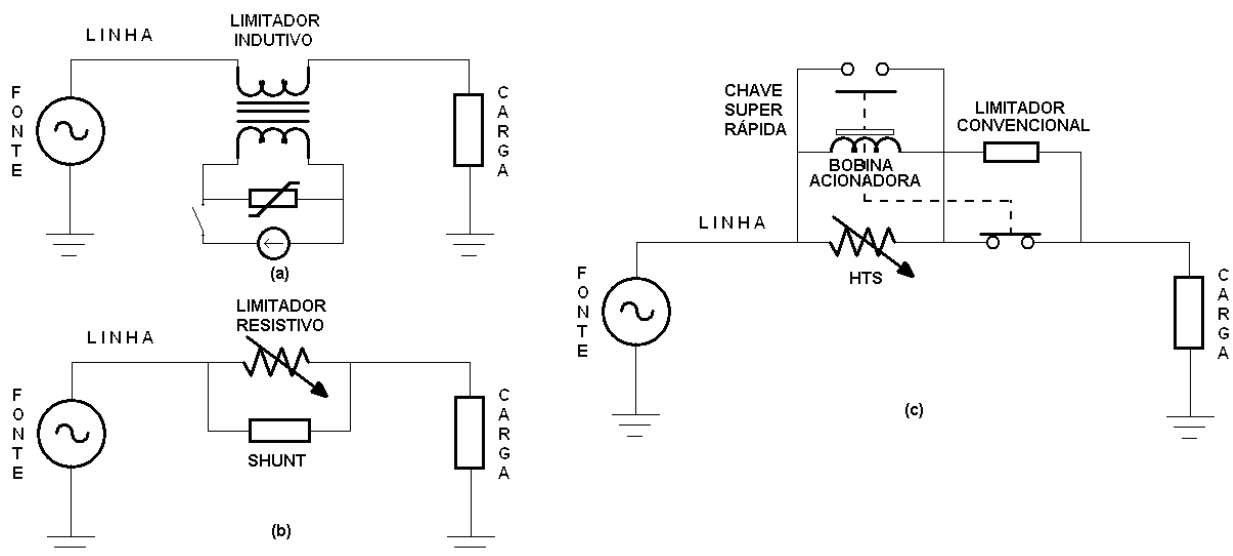


FIGURA 1 – Limitadores de corrente elétrica supercondutores. (a) Indutivo; (b) Resistivo; (c) Híbrido.

2.1 Limitador de corrente elétrica supercondutor do tipo resistivo

Na literatura é apresentado o desenvolvimento de várias configurações de limitadores de corrente do tipo resistivo. Este tipo de limitador funciona de maneira que, quando a corrente elétrica apresenta um valor superior à corrente máxima admissível no material supercondutor (80% da corrente crítica contínua) ele transita para o estado normal, simultaneamente o aumento da resistência elétrica inserida desloca parte da corrente para um resistor *shunt*, limitando assim, a onda prospectiva de corrente do circuito. O valor do resistor *shunt* é ajustado para reduzir o tempo de recuperação do estado supercondutor na fita após a falta ser extinta.

Os parâmetros para o dimensionamento do limitador de corrente resistivo são obtidos a partir do ensaio de amostras curtas do material para determinar a máxima corrente admissível para cada valor de resistência elétrica *shunt*. Estes parâmetros também são determinados pela resistividade da fita supercondutora em estado normal, pelo tempo a que a fita supercondutora deve suportar a corrente elétrica e pelo campo elétrico desenvolvido ao longo do seu comprimento durante o momento da falta. As fitas supercondutoras comerciais de YBCO (óxido de ítrio, bário e cobre) atendem às características técnicas para construção de limitadores de corrente supercondutores. As limitações de sua utilização estão disponíveis em (6), (7) e (8), demonstrando que o campo elétrico máximo suportável no estado supercondutor está entre 40 a 50V/m de fita. A resistência efetiva inserida no circuito varia com a espessura da proteção de prata da fita (*cap layer*), que é uma camada estabilizadora de temperatura, que define basicamente o tempo que a fita, no estado normal, conduz a corrente de falta, podendo variar entre 20 a 100ms.

Quando se dimensiona um limitador de corrente elétrica supercondutor para um dado circuito de distribuição ou de transmissão é necessário ajustar a quantidade de fitas que deverão ser associadas em paralelo para suportar a corrente de regime permanente e a corrente de falta por um dado período de tempo. Esta definição está baseada na Equação [1], (9):

$$\frac{P_r}{A} = \frac{U}{L} \cdot \frac{I_c}{\sqrt{2} \cdot w} \quad [1]$$

Onde P_r é a potência nominal do limitador supercondutor, A é a área total de fita supercondutora (largura vezes o comprimento), U/L é o campo elétrico ao longo da fita que deve ser de valor alto para se ter um limitador de dimensões compactas, I_c é a corrente crítica (corrente contínua) da fita supercondutora, $I_c/(\sqrt{2} \cdot w)$ é o valor eficaz de uma corrente alternada que aproximadamente corresponde à corrente máxima do supercondutor por unidade de largura da fita, já que U é o valor máximo de tensão.

Deve-se levar em consideração também a resistência por unidade de comprimento das fitas supercondutoras em estado normal, com a finalidade de dimensionar o limitador para que suporte correntes elevadas por até 100 ms sem que o material supercondutor se degrade. A Tabela 1 apresenta valores obtidos em experimentos realizados em amostras de fitas supercondutoras para temperaturas próximas a T_c e a 300K comparados com valores obtidos na literatura (3).

Tabela 1 – Valores de R/I para temperaturas próximas a T_c e a 300K (medido e literatura)

HTS	R/I_{T_c} [Ω/m] Medido	R/I_{300K} [Ω/m] Medido	R/I_{300K} [Ω/m] Literatura
YBCO AMS	0,14	0,359	0,367
YBCO SP SCS12050	0,02	0,079	0,11
YBCO SP SF12100	0,17	0,442	0,40

Um protótipo foi construído utilizando-se fitas do tipo YBCO CC 344S com 4,4mm de largura, 0,15mm de espessura e corrente crítica $I_c = 72 \pm 2A$ fabricadas pela empresa American Superconductor (3). O substrato dessa liga é Ni5%W com alta resistividade elétrica, inserindo uma resistência elétrica equivalente a $0,354\Omega/m$. O campo magnético desenvolvido mantendo o supercondutor em condições seguras foi de 0,5V/cm utilizando um resistor *shunt* de resistência elétrica $R_{sh} = 180m\Omega$ por elemento. O módulo limitador é constituído por 16 elementos, cada um contendo quatro fitas de 40cm de comprimento associadas em paralelo e com os seus terminais soldados em um barramento de cobre com uma liga de Sn-In.

O protótipo foi submetido a vários testes de curto circuito, apresentando os resultados mostrados na Tabela 2. A Figura 2 apresenta a comparação entre a prospectiva de 7,4kA eficazes, com uma corrente simétrica limitada a 695A, que é correspondente a uma limitação de 10,6 vezes. O sinal de tensão de $202V_{eficaz}$ nos terminais do limitador mostra que houve uma transição homogênea em todos os elementos de fita supercondutora, de tal maneira que o campo elétrico alcançasse o valor de 0,47V/cm, ficando abaixo do valor de segurança de 0,5V/cm.

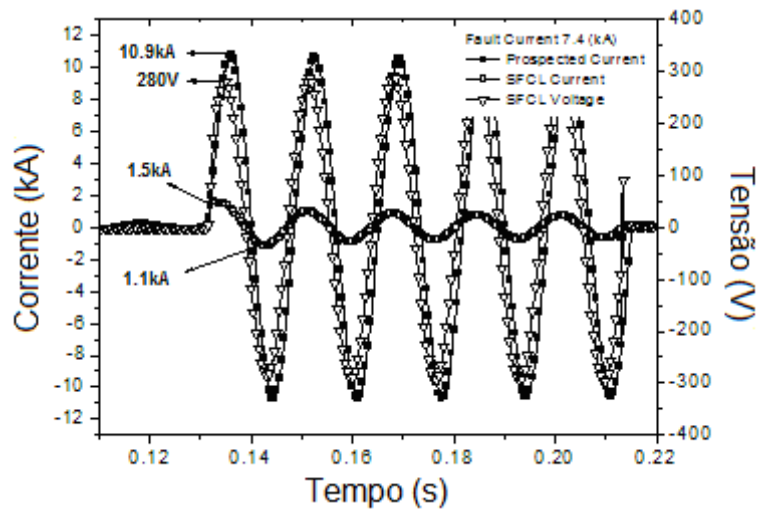


FIGURA 2 – Curva (V,I) x t do LCES sob corrente de 1,5kA durante 5 ciclos (10).

Tabela 2 – Falta aplicada no limitador de correntes elétricas (10).

Corrente prospectiva de falta kA_{eficaz}	Corrente Limitada A_{eficaz}	Tensão no limitador V_{eficaz}	Tensão por elemento V_{eficaz}
0.8	506	87	4.9
1.0	552	113	5.9
2.0	618	153	8.0
3.4	634	176	9.9
4.2	673	187	10.5
5.7	673	194	11.0
6.2	692	201	11.3
7.0	696	203	11.5
7.4	695	202	11.4

2.2 Limitador de corrente elétrica supercondutor com núcleo saturado

O princípio de funcionamento desse limitador é a introdução de uma impedância indutiva na rede através de um circuito magnético que, quando no estado saturado, não apresenta indutância significativa, porém quando fora do estado de saturação, introduz uma reatância capaz de limitar em até 84% o valor da corrente elétrica de falta.

Esse tipo de limitador de corrente elétrica tem sido amplamente estudado e já foi implementado em alguns países como China, Austrália, Reino Unido, e Estados Unidos. Devido aos resultados obtidos por diversos autores (11), (12), resolveu-se estudar o modelo para a construção de um protótipo, partindo de uma simulação realizada utilizando um software de elementos finitos que é aqui apresentada. Os dados do protótipo simulado são apresentados na Tabela 3 (11).

Tabela 3 – Especificações e dimensões dos circuitos dos enrolamentos do limitador de corrente supercondutor indutivo com núcleo saturado.

Parâmetros	Valores
Fases	3
Tensão nominal (linha)	380 V_{eficaz}
Corrente nominal de operação	30 A_{eficaz}
Máxima corrente de falta	1000 A_{eficaz}
Limitação de corrente	84%
Altura do núcleo magnético	270 mm
Largura do núcleo magnético	240 mm
Diâmetro da perna do núcleo	35 mm
Voltas do enrolamento CA de cobre	50/cada
Secção transversal do condutor de cobre	15 x 2 mm^2
Voltas do enrolamento CC de material supercondutor	300
Dimensões da fita supercondutora YBCO	4,2 x 0,22 mm^2
Corrente nominal do circuito CC	60A

2.2.1 Características construtivas.

O limitador de corrente elétrica supercondutor com núcleo saturado consiste de dois núcleos de material ferromagnético por fase, com dimensões iguais e dispostos um ao lado do outro, de maneira tal que suas pernas fiquem paralelas, formando assim um ramo central que deve ter um espaçamento entre as pernas para evitar trepidação e danos mecânicos aos núcleos (Figura 3). A Figura 3 mostra apenas uma fase do limitador de corrente elétrica supercondutor com núcleo saturado. O arranjo das seis pernas, no limitador trifásico, será envolvido por essa bobina cilíndrica percorrida por corrente contínua com fita supercondutora criando um fluxo magnético contínuo que os leva ao estado de saturação magnética. A finalidade do material supercondutor nesse limitador de correntes elétricas é diminuir as perdas na criação do campo magnético gerado pela corrente contínua. Os enrolamentos de corrente alternada são dispostos nos núcleos, e são enrolados de maneira a criar fluxos magnéticos iguais, porém em sentidos opostos, dependentes do semiciclo em que se encontra a corrente da rede elétrica. Os fluxos magnéticos criados serão concordantes ou não com o sentido do fluxo magnético criado no ramo central criado pela corrente contínua, como ilustrados na Figura 3.

2.2.2 Funcionamento.

Em operação normal, o enrolamento de corrente contínua é percorrido por uma corrente que gera um campo magnético tal que leva os núcleos à saturação, que é o ponto M da curva de magnetização do material do núcleo magnético (Figura 4). A corrente elétrica de linha dos enrolamentos de corrente alternada gera campos magnéticos que não são suficientes para tirar os núcleos do estado de saturação, mantendo a curva BH entre os pontos L e N da Figura 4 (a). Quando ocorre um surto de corrente, o ramo CA, que no momento da falta estiver se opondo ao campo CC, conseguirá tirar o núcleo do estado de saturação, Figura 4 (b), aumentando assim a impedância vista pelo circuito CA. No mesmo instante, através de um transformador de corrente instalado no circuito CA, detecta-se o curto circuito e a fonte CC é desconectada para evitar que a tensão induzida pela corrente de curto circuito danifique a fonte, levando o núcleo magnético do limitador de corrente elétrica supercondutor na direção do ponto O da curva BH onde não há saturação, aumentando ainda mais a sua impedância sob o ponto de vista de corrente alternada.

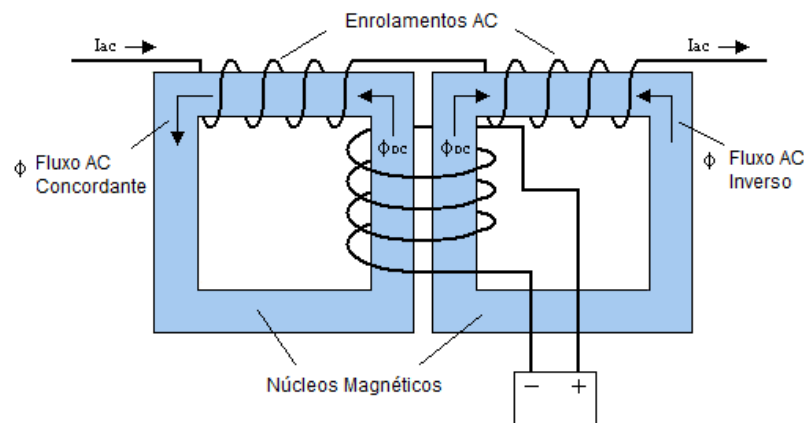


FIGURA 3 – Característica construtiva do limitador de corrente elétrica supercondutor com núcleo saturado.

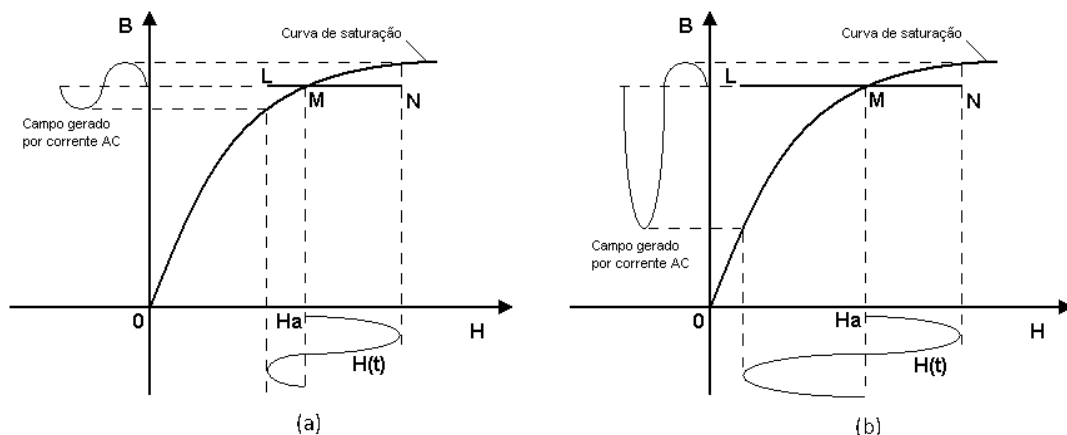


FIGURA 4 – Curvas BxH de regime normal e de curto circuito do limitador de corrente elétrica supercondutor com núcleo saturado (11).

Na referência (13) foi apresentada uma formulação matemática dessa metodologia que parte das equações de circuitação de Ampère [2] e [3] escritas para os dois núcleos magnéticos.

$$N_d I_d + N_c i_c = H_1 l \quad [2]$$

$$N_d I_d - N_c i_c = H_2 l \quad [3]$$

Onde N_d é o número de espiras do enrolamento CC, I_d é a corrente elétrica no enrolamento CC, N_c é o número de espiras de cada enrolamento CA, i_c é a corrente do circuito CA, l é o comprimento médio dos núcleos e H_1 e H_2 são as intensidades dos campos magnéticos dos núcleos 1 e 2 respectivamente. Percebe-se que o sinal negativo corresponde ao enrolamento CA que cria o campo magnético inverso ao campo magnético CC e o sinal positivo é correspondente ao enrolamento que cria o campo concordante, resultando nas intensidades de campo magnéticos H_1 e H_2 , satisfazendo as condições mostradas nas Figuras 4 (a) e 4 (b).

2.2.3 Resultados de simulação

Para o limitador de correntes elétricas com núcleo saturado foi utilizado o aplicativo computacional de simulação usando elementos finitos (Ansys - Maxwell). Na Figura 5 (a) são apresentados os núcleos magnéticos de uma das fases do limitador e seus respectivos enrolamentos CC e CA. Nessa figura mostra-se a distribuição do campo magnético no núcleo magnético antes da falta. Nota-se que o circuito CC mantém os dois núcleos magnéticos saturados com um campo magnético de 1, 87T. Na Figura 5 (b) apresenta-se o momento onde ocorre o curto circuito e a corrente do circuito CA tira um dos ramos do núcleo da saturação de acordo com a equação [3] e o gráfico da Figura 4 (b), diminuindo o campo magnético para o valor de aproximadamente 0,8T.

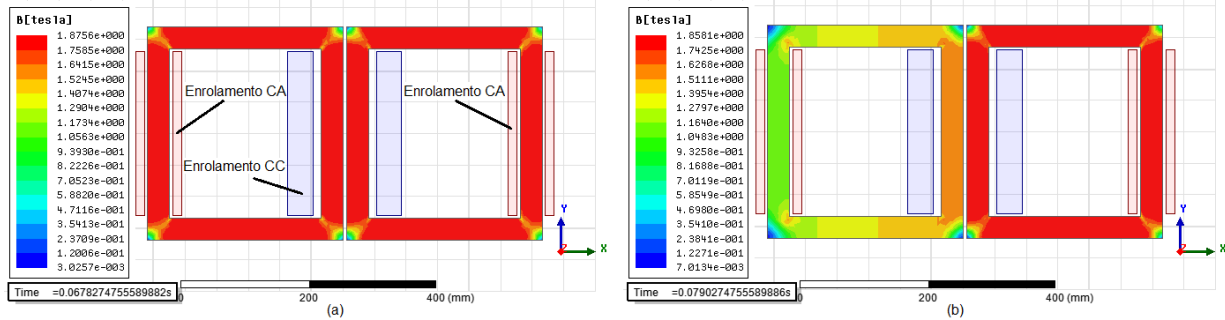


FIGURA 5 – Gráfico do campo magnético nos núcleos do limitador de correntes.

O circuito elétrico da Figura 6 foi desenvolvido usando o aplicativo computacional (Ansys - Simplorer) que é dedicado à simulação de circuitos elétricos e se comunica com o aplicativo Maxwell que é dedicado à simulação de dispositivos eletromagnéticos usando elementos finitos. Este circuito apresenta um barramento infinito trifásico representado pelas fontes de tensão E1, E2 e E3, que operam em 380V linha/linha, 60Hz. O limitador de corrente elétrica (desenvolvido usando o software Maxwell) é o bloco central com os enrolamentos de 1 a 9, sendo os enrolamentos de 1 a 6 os correspondentes aos circuitos CA e os enrolamentos de 7 a 9 os correspondentes aos circuitos CC, os resistores R22, R23 e R24 juntamente com os indutores L1, L2 e L3 constituem uma carga trifásica indutiva de 11,5kVA com fator de potência 0,85 indutivo.

As chaves S11, S12 e S13 e os resistores R25, R26 e R27 realizam o curto circuito da carga no sistema. A fonte I1 é a que alimenta o circuito CC, as chaves de S4 a S9 retiram a fonte de corrente contínua do circuito do limitador e R16 é um resistor de descarga da energia armazenada no núcleo magnético durante a falta. Os outros resistores envolvidos têm valores desprezíveis e foram empregados somente por motivos numéricos exigidos pelo aplicativo Simplorer.

Na Figura 7 (a) são apresentadas as correntes trifásicas em função do tempo durante a operação do sistema. No momento da falta, que ocorre no instante 70ms elas são limitadas simultaneamente pela inserção de uma indutância em série com o circuito devido à saturação do núcleo magnético do limitador de corrente elétrica. O curto circuito tem duração de aproximadamente 5 ciclos (83,333ms) e, após a sua eliminação a corrente CC volta a circular na bobina do limitador de corrente elétrica fazendo com que a corrente do sistema volte ao seu valor normal.

A Figura 7 (b) apresenta uma comparação entre uma das correntes de linha com limitação e sem limitação. Observa-se que a corrente prospectiva tem um valor de pico de aproximadamente 1450A e a corrente limitada apresenta o valor de pico de 221A, indicando que o limitador teve um fator de limitação de 6,55 vezes, reduzindo a corrente elétrica em aproximadamente 84%.

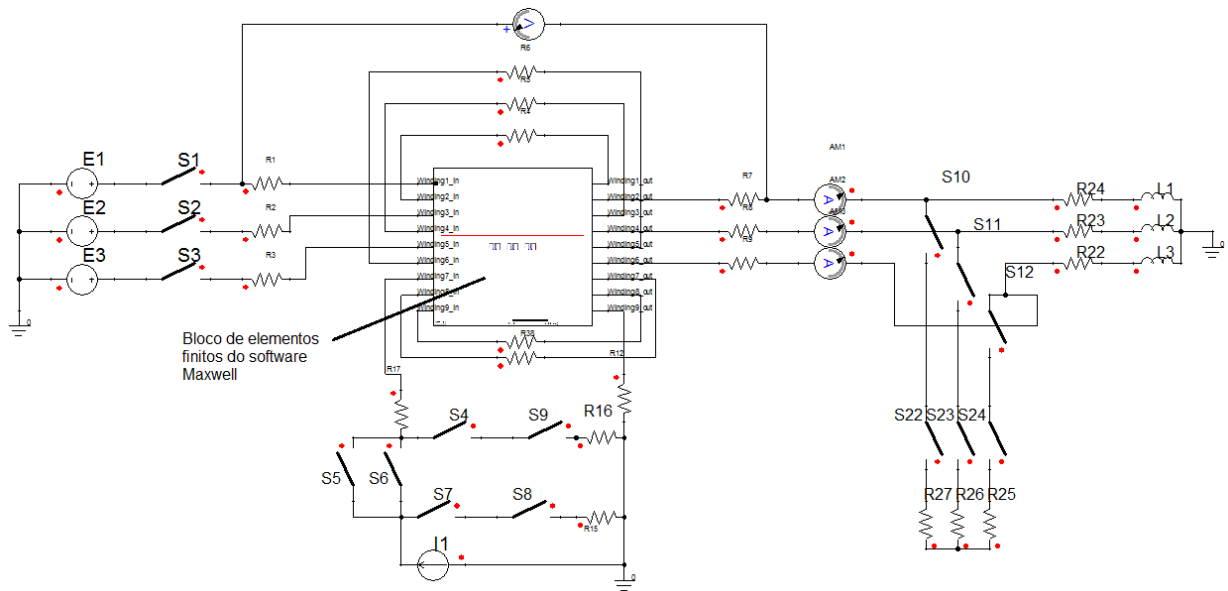


FIGURA 6 – Circuito elétrico utilizado na simulação do sistema elétrico usando o software Simplorer

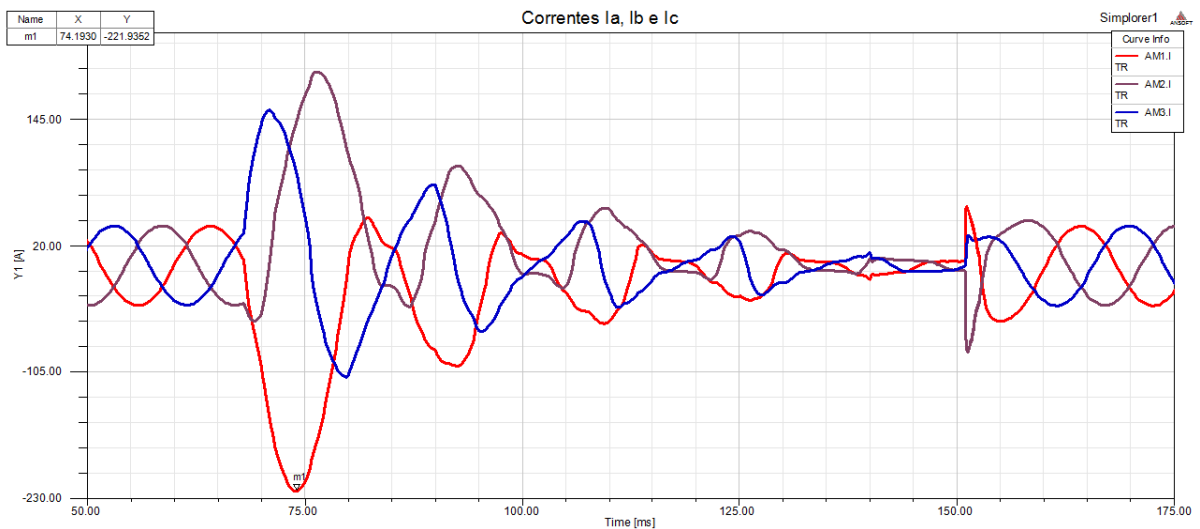


FIGURA 7 – Correntes elétricas de linha no limitador de correntes

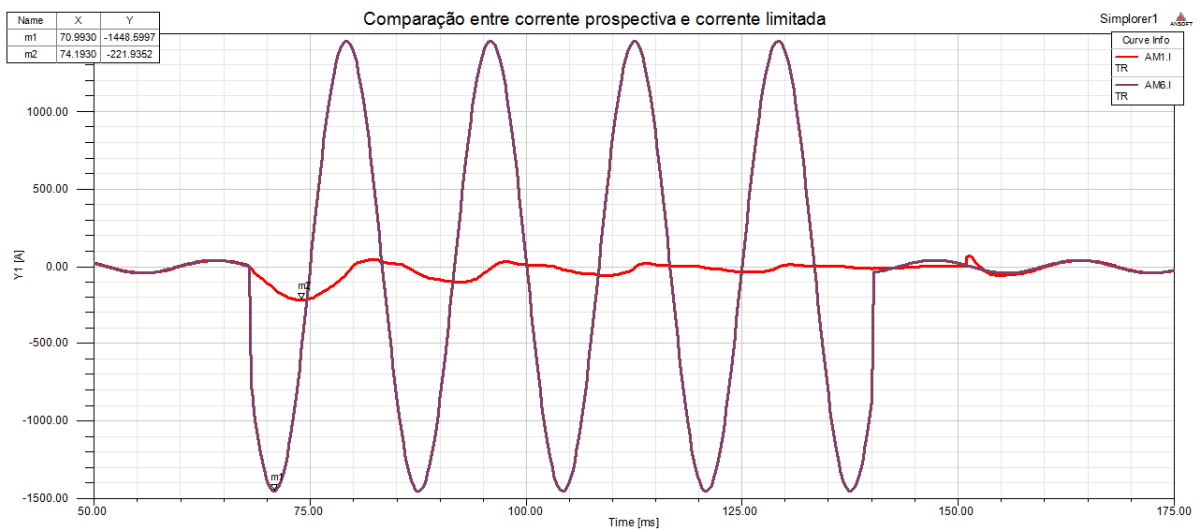


FIGURA 8 – Comparação entre a corrente elétrica de linha prospectiva e a corrente elétrica limitada

3.0 - CONCLUSÃO

Os limitadores de corrente elétrica supercondutores têm sido bastante estudados, principalmente nos últimos dez anos. Vários tipos tem sido desenvolvidos em diversos países e apresentados na forma de limitadores de corrente elétrica resistivos e indutivos usando fitas supercondutoras ou blocos supercondutores (*bulks*).

Recentemente, por volta de 2007, foi apresentada uma proposta de uso do limitador de corrente elétrica de núcleo saturado cujo princípio de funcionamento foi estudado detalhadamente neste artigo juntamente com uma aplicação em sistemas de energia elétrica. Estudou-se, neste artigo, a operação do limitador de corrente elétrica supercondutor de núcleo saturado num circuito elétrico simplificado de um sistema de energia elétrica.

Como o limitador de corrente elétrica supercondutor de núcleo saturado apresenta núcleos magnéticos que operam em saturação (apresentando-se para o circuito elétrico como uma baixa impedância) ou não saturados (apresentando-se para o circuito elétrico como uma alta impedância), a melhor maneira de simular a sua operação dinâmica dentro do sistema de energia elétrica é usando a metodologia de elementos finitos.

Dessa forma, a simulação da operação dinâmica do sistema de energia elétrica usando limitador de corrente elétrica supercondutor de núcleo saturado foi realizada usando um software que serve tanto à simulação da operação dinâmica da parte de circuitos magnéticos como também da parte de circuitos elétricos.

Os resultados das simulações realizadas mostram o bom desempenho do limitador de corrente elétrica supercondutor de núcleo saturado e constitui uma boa ferramenta para o projeto deste tipo de limitador de corrente elétrica supercondutor do ponto de vista da dinâmica da operação do sistema de energia elétrica.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MONTEIRO, A. M. "Um estudo de dispositivos limitadores de corrente de curto-circuito com ênfase no IPC (Interphase Power Controller)", Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, Fev. 2005.
- (2) ELIAS JUNIOR, A. "Uma contribuição ao estudo de limitadores de corrente elétrica supercondutores usando transformador e fita supercondutora de alta temperatura crítica", Universidade de Campinas, Brasil, Mar. 2011
- (3) LAMAS, J. S. "Projeto e construção de limitador de corrente supercondutor utilizando fitas de YBCO", Tese de mestrado, Escola de engenharia de Lorena - EEL USP, Brasil, 2009.
- (4) Lee, G. -H. et al, "Hybrid superconducting fault current limiter of the first half cycle non-limiting type", *IEEE transactions on applied superconductivity*, Vol. 19, p. 1888-1891, no. 3, June 2009.
- (5) Hyun, O. -B. et al. "Introduction of a hybrid SFCL in KEPCO grid and local points as issue", *IEEE transactions on applied superconductivity*, Vol. 19, p. 1946-1949, no. 3, June 2009.
- (6) EHTS BSCCO, *Data sheet*. Germany: European High Temperature Superconductors, 2003.
- (7) YIM, S. W. et al. "Quench and recovery behaviors of Bi-2223/Ag HTS tapes under pulsed over-currents", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 15, n. 2. p. 2482-2487, 2005.
- (8) ANH, M. C. et al. "Current limiting characteristics of coated conductors with various stabilizers" *Cryogenics*. Vol. 47, p. 425-430, 2007.
- (9) SCHMIDT, W. et al. "Investigation of YBCO coated conductors for fault current limiter applications", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 17n. 2 p. 3471-3474, June 2007.
- (10) BALDAN, C. A. et al. "Test of modular fault current limiter for 220V line using YBCO coated conductor tapes with shunt protection", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 21, n. 3. p. 1242-1245, June 2011.
- (11) XIN, Y. et al. "Development of saturated iron core HTS fault current limiters", *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol. 17, n. 2, p 1760-1763, June 2007.
- (12) Moriconi, F. et al. "Development and deployment of saturated-core fault current limiters in distribution and transmission substations", *IEEE Transactions on superconductivity*, vol. 21, n. 3, p. 1288-1292, June 2011.
- (13) ZHAO, C. et al. "Transient simulation and analysis for saturated core high temperature superconducting fault current limiter", *IEEE Transactions*, vol. 43, n. 4, p. 1813-1816, April 2007.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Fernando Cardoso Fajoni, nasceu em Santo Anastácio, São Paulo, Brasil em 1980. Recebeu diploma de graduação em Engenharia Elétrica em 2005 na Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), o título de mestre em 2010 na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), onde atualmente trabalha para obter título de doutor. Trabalhou como engenheiro de manutenção predial no Hotel Pestana São Paulo. Suas áreas de interesse são: Máquinas síncronas, eletrônica de potência, máquinas elétricas e limitadores de corrente elétrica supercondutores.



Ernesto Ruppert Filho, nasceu em Jundiaí, São Paulo, Brasil em 1948. Recebeu o diploma de graduação em Engenharia Elétrica em 1971, o título de mestre e doutor em 1974 e 1982, sendo todos pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Durante sua vida profissional tem trabalhado em projetos de engenharia e/ou consultoria para grandes empresas. Desde 1972 é professor e pesquisador da Universidade Estadual de Campinas. Publicou diversos artigos em periódicos nacionais e internacionais de prestígio, orientou diversas teses de doutorado e dissertações de mestrado, dirige dois laboratórios de pesquisas na UNICAMP e lecionou mais de quinze disciplinas diferentes em sua vida universitária tanto em nível de graduação como de pós graduação.

Carlos Yujiro Shigue, nasceu em São Paulo, São Paulo, Brasil em 1959. Recebeu o diploma de graduação em Engenharia Química em 1981 na Universidade estadual de Campinas (UNICAMP), o título de Doutor em Engenharia Elétrica em 1997 na Escola Politécnica USP. Durante sua vida profissional tem trabalhado em projetos de Universidades e é professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais; pesquisador nas áreas de materiais e dispositivos supercondutores; modelagem computacional; eletrônica e instrumentação; materiais compósitos