



SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GSC 14
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO X

GRUPO DE ESTUDO DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO - GSC

DISCUSSÃO SOBRE A INFLUÊNCIA DO ACOPLAMENTO MAGNÉTICO ENTRE FASES NA MODELAGEM DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA TRIFÁSICOS

Elise Saraiva*
UFU

Marcelo Lynce Ribeiro Chaves
UFU

Herivelto de Souza Bronzeado
CHESF

RESUMO

Em geral, a representação de transformadores trifásicos em programas do tipo ATP (*Alternative Transient Program*) tem sido realizada através de uma associação de três transformadores monofásicos, sem contemplar, portanto, o acoplamento magnético entre as três fases produzido pelo núcleo ferromagnético. Este acoplamento é de fundamental importância para estudos da ocorrência de fenômenos desequilibrados em sistema de potência. O Informe Técnico mostra os resultados de um estudo comparativo entre os dois tipos de representações de transformadores trifásicos: um onde o transformador é modelado por um banco de transformadores monofásicos, e outro que leva em consideração o acoplamento magnético entre as fases. Várias situações típicas no sistema elétrico são simuladas e discutidas.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores trifásicos; Modelagem de transformadores; Acoplamento magnético; Desequilíbrio.

1.0 - INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica tem disponibilizado aos engenheiros e técnicos do setor elétrico, computadores com alta capacidade de memória e velocidades de processamento. Com isso, programas computacionais que trabalham no domínio do tempo vêm se destacando como uma ferramenta bastante fundamental para estudos de transitórios eletromagnéticos, como é o caso do programa denominado ATP (*Alternative Transient Program*).

Para representar os equipamentos elétricos neste programa, existem diversos modelos matemáticos na literatura técnica especializada, cada um deles enfatizando as características que se mostram mais relevantes para cada tipo de estudo. A escolha adequada da modelagem a ser empregada deve ser feita com base no tipo de estudo que se pretende realizar, de forma que os resultados das simulações possam ser considerados satisfatórios.

Com relação à representação de transformadores de potência trifásicos, a grande maioria dos estudos é realizada utilizando-se uma associação de três transformadores monofásicos para compor a unidade trifásica, normalmente justificada pela dificuldade da obtenção de dados dos fabricantes para modelar adequadamente estes transformadores. Esta representação não considera, portanto, o forte acoplamento magnético que existe entre as fases do transformador produzido pelo núcleo ferromagnético. Este acoplamento, no entanto, é muito importante em alguns tipos de estudos, principalmente quando se pretende investigar o comportamento de fenômenos desequilibrados em transformadores trifásicos com núcleo de três colunas. É importante ressaltar que este tipo de transformador é comum nos sistemas de transmissão com tensão de 230kV.

Este Informe Técnico tem como objetivo principal apresentar um estudo comparativo entre os dois tipos de modelos de transformadores trifásicos: aquele onde o transformador é representado por uma associação de três transformadores monofásicos (**Mod. 1 - S/acoplamento**), o qual tem sido bastante utilizado nos estudos de comportamento de sistemas elétricos, e aquele que representa o transformador tal como ele é, considerando as colunas e culatras do núcleo ferromagnético. Este último levando em consideração o acoplamento magnético entre as fases (**Mod. 2 - C/acoplamento**). Simulações de vários casos, incluindo situações de operação desequilibrada, curtos-circuitos e transitórios de energização, foram realizadas utilizando-se ambos os modelos de transformadores, com os resultados sendo comparados.

2.0 - SISTEMA ELÉTRICO ESTUDADO

A figura 1 mostra o diagrama esquemático (*ATPDraw*) do sistema elétrico estudado. As simulações foram realizadas com programa ATP (*Alternative Transient Program*) na plataforma *ATPDraw*, utilizando os modelos de transformadores, com e sem o acoplamento magnético entre fases, concomitantemente. Utilizou-se um transformador de 100 MVA; 230/138 kV; com ambos enrolamentos de alta e baixa tensão conectados em estrela-aterrada, com as impedâncias de dispersão e de seqüência zero da ordem de 10%.

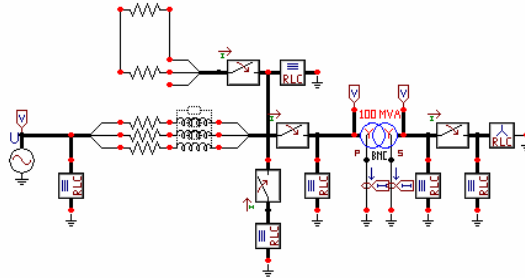


FIGURA 1 – Sistema elétrico simulado para comparar as representações do transformador trifásico, com e sem o acoplamento magnético entre fases.

A fonte de alimentação do sistema simulado é trifásica, com tensão nominal de 230 kV. A indutância série representa um sistema elétrico com um nível de curto-circuito de 1000 MVA, cuja resistência série tem 10% do valor ôhmico da indutância. Uma carga de 50 MVA, com um fator de potência 0,8 indutivo e ligada em estrela-aterrada pode ser conectada no lado de baixa tensão (secundário) do transformador através de uma chave. As chaves são manobradas em tempos convenientemente definidos de forma a simular as diversas situações escolhidas. Os blocos “RLC” são circuitos elétricos de alta impedância utilizados para reduzir as possíveis instabilidades numéricas.

Nos cálculos dos parâmetros para os dois modelos procurou-se ter o cuidado para que ambos representassem rigorosamente o mesmo transformador, ou seja, apresentassem as mesmas características tomadas como base para os cálculos dos parâmetros, diferindo apenas pelo detalhe do acoplamento magnético entre fases. Para isto, foram realizadas simulações com os transformadores em vazio, em curto-circuito, e em vazio com excitação de seqüência zero, cujos resultados ficaram bastante próximos àqueles indicados no relatório de ensaios de fábrica. Utilizou-se um ciclo de histerese que representasse 50% das perdas no ferro.

O acoplamento magnético entre fases (Modelo 2) teve como base os dados construtivos do transformador e a distribuição do fluxo magnético interna ao transformador. Os cálculos dos parâmetros do circuito elétrico equivalente, incluindo as não-linearidades do núcleo ferromagnético (saturação e histerese) foram baseados nestes dados. A implementação do modelo no programa ATP não apresentou dificuldades. Observa-se que uma das características principais desta modelagem é que a mesma permite um caminho diferenciado para o fluxo de seqüência zero.

3.0 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Foram realizadas simulações de várias situações típicas no sistema elétrico com objetivo evidenciar as principais diferenças entre os modelos utilizados. A comparação entre os dois modelos é feita através da análise de resultados. Os casos simulados contemplaram as seguintes situações:

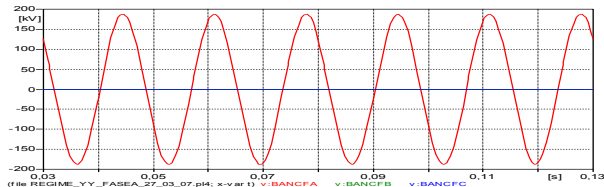
- Regime Permanente Desequilibrado;
- Curto-circuito Desequilibrado;
- Transitório de Energização;

3.1 Regime Permanente Desequilibrado

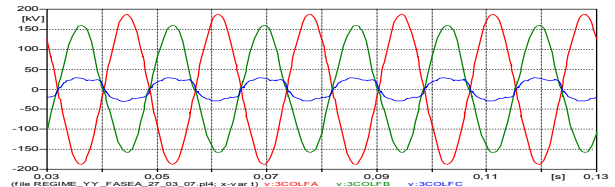
As simulações de regime permanente desequilibrado são aquelas onde o transformador é alimentado por somente uma, e duas fases. Foram considerados os casos com o transformador em vazio e também alimentando uma carga trifásica de 50MVA, equilibrada, conectada no secundário do mesmo, através do fechamento simultâneo das três fases da chave.

3.1.1 Caso RG-1A (Transformador alimentado por somente uma fase – Fase A, lateral)

Neste caso, ambos os modelos de transformador são alimentados somente pela fase A, associada ao enrolamento da coluna lateral no transformador trifásico de três colunas. A figura 2 mostra as formas de onda das tensões obtidas nos enrolamentos primários nos dois modelos. Como era de se esperar, observa-se uma diferença significativa no desempenho dos mesmos: o modelo com acoplamento entre fases apresenta tensões induzidas nos terminais das fases B e C, enquanto que o sem acoplamento não induz tensões nos outros enrolamentos. As tensões nos enrolamentos secundários seguem a mesmo comportamento do primário. A tensão induzida na fase C é menor do que a da fase B devido ao caminho magnético (relutância magnética) entre as fases A (fonte magnetomotriz) e C ser maior do que o caminho entre a fase A e B.



Enrolamento primário – Mod. 1 – S/acoplamento

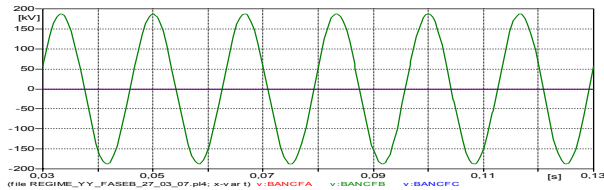


Enrolamento primário - Mod. 2 – C/acoplamento

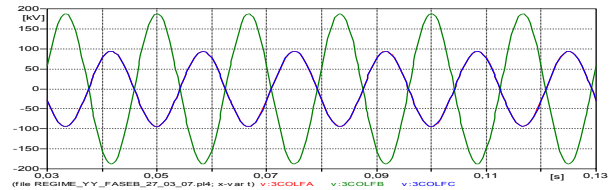
FIGURA 2 – Tensões nos enrolamentos primários dos modelos do transformador - Caso RG-1A

3.1.2 Caso RG-1B (Transformador alimentado por somente uma fase – Fase B, central)

Neste caso, dos modelos são energizados somente pela fase B. A figura 3 mostra as tensões nos enrolamentos primário dos dois modelos. Novamente observa-se que no modelo com acoplamento magnético entre as fases, existem tensões induzidas nas fases A e C, as quais apresentam o mesmo valor uma vez que os caminhos magnéticos entre as fases B e A, e B e C são iguais. Isto ocorre por que a fase B energizada (força magnetomotriz) é associada à coluna central, com o fluxo se dividindo igualmente entre as fases A e C. O modelo sem acoplamento não induz tensão nas outras fases.



Enrolamento primário – Mod. 1 – S/acoplamento

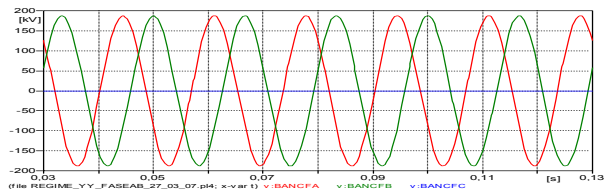


Enrolamento primário - Mod. 2 – C/acoplamento

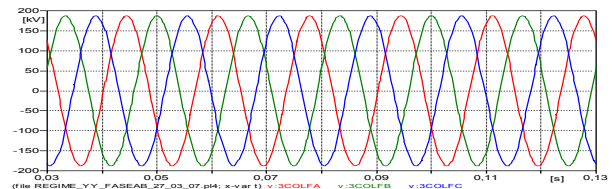
FIGURA 3 – Tensões nos enrolamentos primários dos modelos do transformador - Caso RG-1B

3.1.3 Caso RG-2AB (Transformador alimentado por duas fases – Fases A e B)

Neste caso, os modelos são alimentados pelas fases A e B, simultaneamente. A figura 4 mostra as tensões nos enrolamentos primário nos dois modelos. Observa-se que no modelo com acoplamento magnético a tensão induzida na fase C é plena, com as (três) tensões no enrolamento primário (e também no secundário) apresentando-se equilibradas. O modelo sem acoplamento não induz tensão na fase C, apresentando somente as tensões nas fases A e B, que são alimentadas pela fonte.



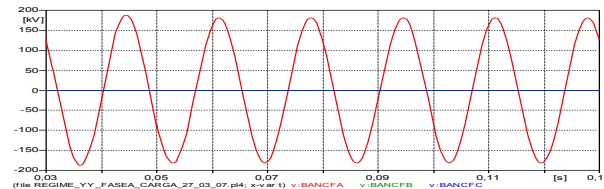
Enrolamento primário - Mod. 1 – S/acoplamento



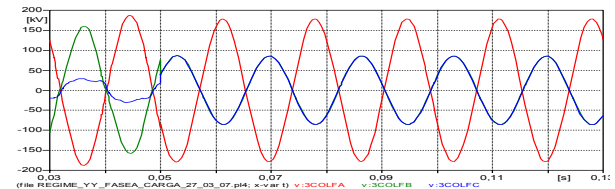
Enrolamento primário - Mod. 2 – C/acoplamento

FIGURA 4 – Tensões nos enrolamentos primários dos modelos do transformador - Caso RG-2AB

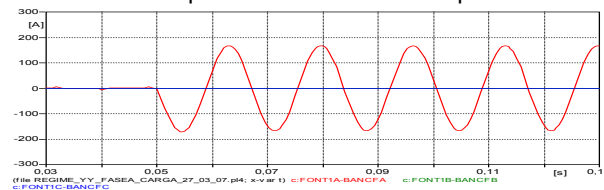
3.1.4 Casos RG-1A com carga



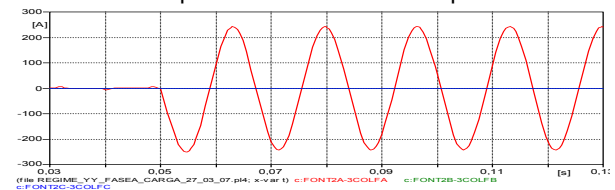
Tensão no primário - Mod. 1 – S/acoplamento



Tensão no primário - Mod. 2 – C/acoplamento



Corrente no primário - Mod. 1 – S/acoplamento



Corrente no primário - Mod. 2 – C/acoplamento

FIGURA 5 – Tensões e correntes no primário dos modelos do transformador - Caso RG-1A

Neste caso os modelos são alimentados somente pela fase A, e após um certo tempo (50 ms) uma carga trifásica, equilibrada é inserida através do fechamento simultâneo dos três polos de uma chave. A figura 5 mostra as tensões e correntes nos enrolamentos primários do transformador. Observa-se que aparece corrente na fase A em ambos os modelos. Antes da entrada da carga, a corrente nesta fase era a corrente de magnetização. Na modelo com acoplamento magnético entre as fases, as tensões das fases B e C após a entrada da carga ficam em fase.

A figura 6 mostra as tensões e correntes no enrolamento secundário do transformador obtidas nos dois modelos. No modelo sem acoplamento só aparece corrente na fase A, enquanto no modelo com acoplamento magnético entre as fases, além da corrente na fase A, existe correntes nas fases B e C, de mesmo valor e defasadas 180 graus em relação a corrente na fase A.

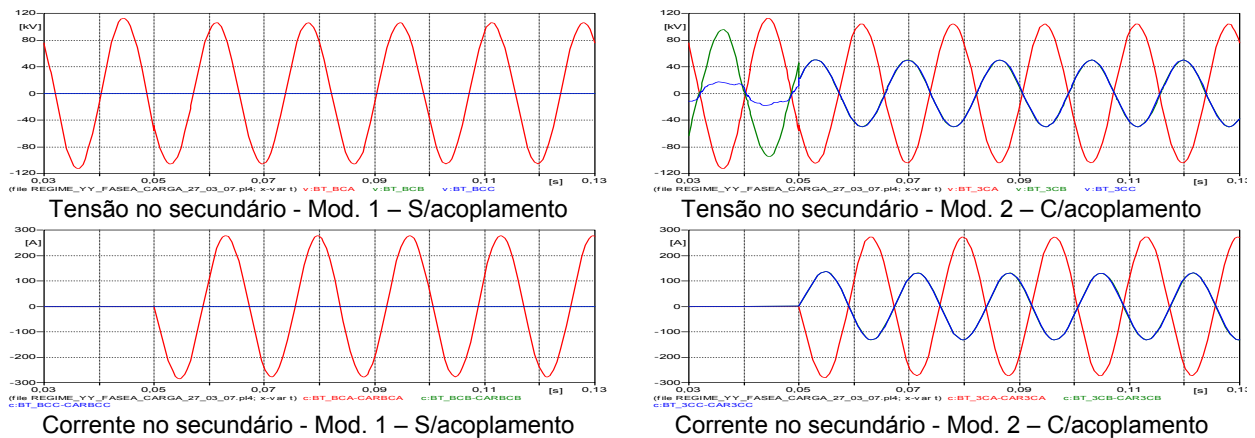


FIGURA 6 – Tensões e correntes no secundário dos modelos do transformador – Caso RG-1A com carga

3.1.5 Caso RG-1B com carga

Neste caso, os modelos são alimentados só pela fase B, com uma carga trifásica equilibrada sendo inserida através do fechamento trifásico simultâneo de uma chave conectada no secundário. O desempenho de cada um dos modelos se mostrou semelhante àquele no caso RG 1A com carga, com o comportamento da fase A, neste caso, se assemelhando ao da fase B no caso anterior. O comportamento da fase C permaneceu idêntico em ambos os casos.

3.1.6 Caso RG-2AB com carga

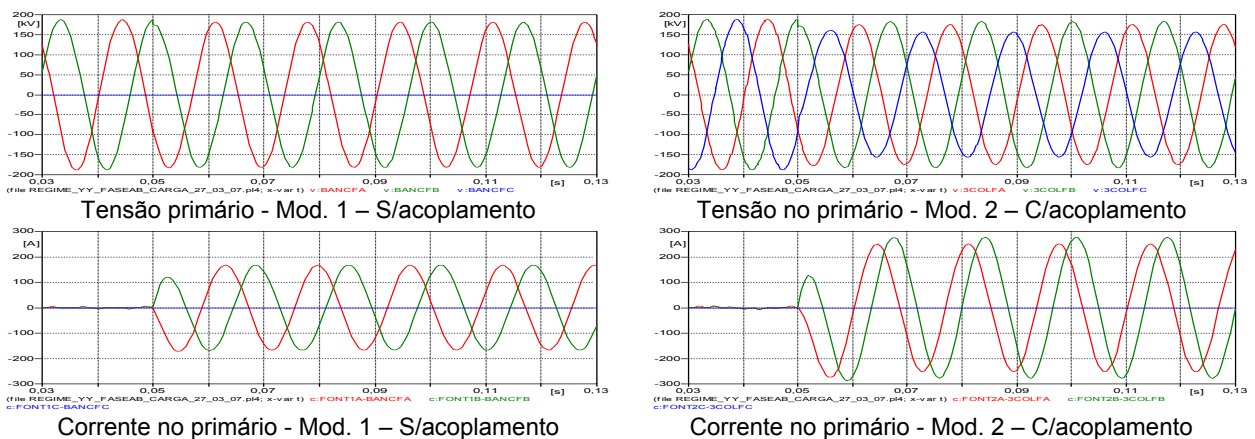


FIGURA 7 – Tensões e correntes no primário dos modelos do transformador – Caso RG-2AB com carga

Neste caso, ambas as fases A e B alimentam os modelos, com a carga sendo inserida no tempo de 50 ms. A figura 7 mostra as tensões e correntes no lado primário para os dois modelos. A corrente nos enrolamentos primários só ocorre nas fases em que estão ligadas à fonte. Após a entrada da carga, as duas tensões no modelo sem acoplamento permanecem praticamente inalteradas. Já as três tensões no modelo com acoplamento magnético, sendo uma delas (fase C) induzida, tornam-se desbalanceadas.

No lado secundário, a diferença entre os modelos é visível. A figura 8 mostra as tensões e correntes nos enrolamentos secundários, onde se pode observar a existência de correntes nas três fases da modelagem com acoplamento magnético, enquanto só existe duas correntes no modelo sem este acoplamento.

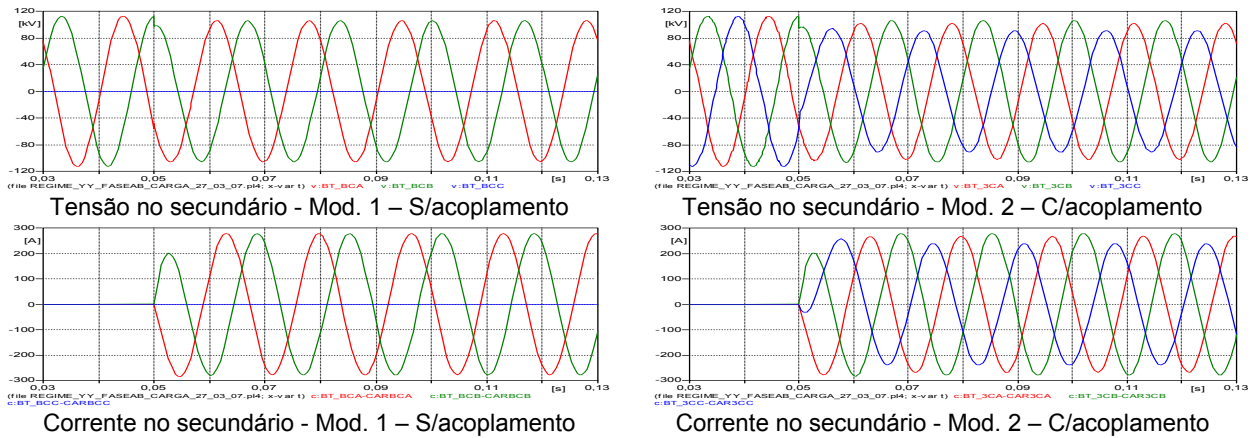


FIGURA 8 – Tensões e correntes no lado secundário dos modelos do transformador – Caso RG-2AB com carga

3.2 Curto-Circuitos Desequilibrados

As simulações dos curtos-circuitos foram realizadas através da inserção de uma pequena resistência (10 ohms) entre do fechamento dos pólos de uma chave conectada no sistema elétrico (230 kV), com o transformador operando em regime permanente equilibrado. Foram aplicados curtos-circuitos fase A-terra, fase B-terra, fases A-B-terra e fases A-B.

Em todos estes casos simulados, observou-se que o Modelo 1 do transformador (sem o acoplamento magnético) não alimentou o curto-circuito através das outras fases do transformador, como era de se esperar. Já no Modelo 2 (com o acoplamento magnético entre fases), os curtos-circuitos envolvendo a terra foram alimentados pelas outras fases, através desse acoplamento. As correntes nestes casos são mostradas na figura 9.

Como pode ser observado, as correntes nas fases têm características de seqüência zero, somando-se no neutro do transformador. É importante ressaltar que estas correntes podem causar a operação indesejada da proteção diferencial de transformadores, caso não sejam filtradas.

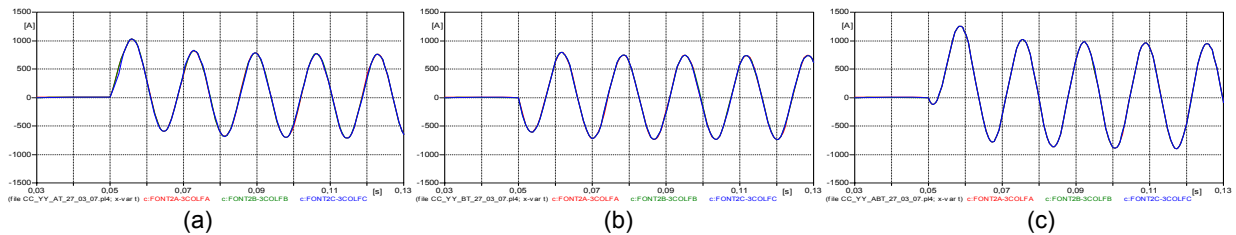


FIGURA 9 – Correntes no enrolamento primário dos modelos de transformador (Mod. 2 – C/acoplamento).
(a) Curto-circuito fase A-terra; (b) Curto-circuito fase B-terra; (c) Curto-circuito fase A-B-terra.

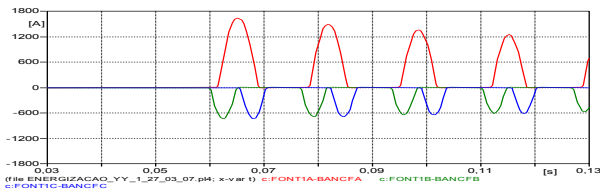
3.3 Transitórios de Energização

Foram realizadas várias simulações de energização do transformador, com e sem a presença de fluxo residual, o qual não poderia ser considerado caso o ciclo de histerese não tivesse sido implementado nos modelos investigados. É necessário lembrar que as simulações foram realizadas considerando os mesmos critérios para ambos os modelos, com e sem o acoplamento magnético entre as fases, de forma a identificar as diferenças entre os mesmos para esse tipo de transitório. A energização dos modelos de transformadores sempre será realizada pelo enrolamento primário (alta tensão) do mesmo.

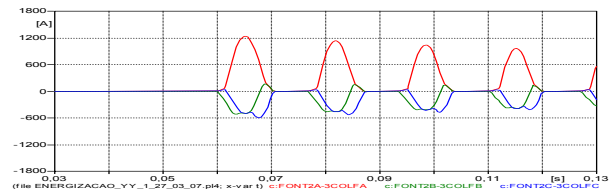
3.3.1 Caso 1 -TR FR=0-SIM-A (Fluxo residual zero, fechamento simultâneo das fases)

Neste caso, considerou-se o fluxo residual zero em todas as fases, com a energização do transformador sendo realizada através do fechamento simultâneo dos três pólos da chave conectada ao primário do transformador, após aproximadamente 50 ms do início da simulação. O fechamento da chave, neste caso, se deu no momento em que a tensão na fase A estava passando pelo zero. A Figura 10 mostra as correntes no lado primário nos dois modelos de transformador. Uma análise das formas de onda das correntes na figura 10 mostra que o maior valor de pico foi atingido pela fase A, o que era de se esperar, uma vez que a energização daquela fase foi efetuada no zero da tensão e fluxo residual também zero.

É importante observar que as correntes no Modelo 2 (com acoplamento magnético) interagem entre si, reduzindo, neste caso, o valor de pico da corrente de energização (*inrush*). Observa-se também uma total independência entre as correntes no Modelo 1 (sem o acoplamento magnético).



Mod. 1 – S/acoplamento

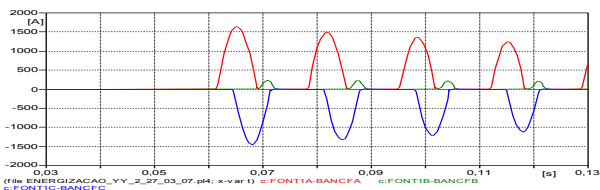


Mod. 2 – C/acoplamento

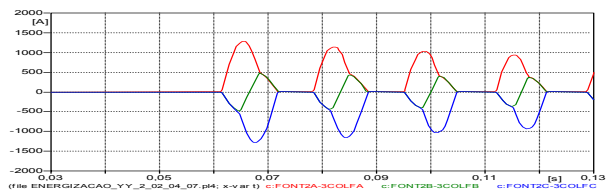
FIGURA 10 – Correntes no lado primário dos modelos do transformador - Caso 1 - TR FR=0-SIM-A

3.3.2 Caso 2 - TR FR=0-NSIM-A (Fluxo residual zero, fechamento não-simultâneo das fases)

Este caso é diferente do caso anterior apenas nos tempos de chaveamento das fases B e C, que agora não fecham simultaneamente com a fase A. Arbitrou-se uma diferença de 2 ms entre as fases A e B, e 4 ms entre as fases A e C. A figura 11 mostra as correntes no lado primário para os dois modelos.



Mod. 1 – S/acoplamento

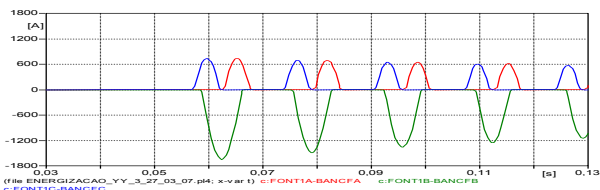


Mod. 2 – C/acoplamento

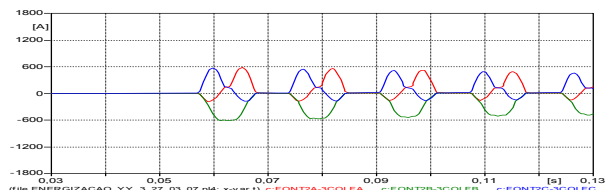
FIGURA 11 – Correntes no primário dos modelos de transformador - Caso 2 - TR FR=0-NSIM-A

3.3.3 Caso 3 - TR FR=0-SIM-B (Fluxo residual zero, fechamento simultâneo das fases)

Este caso difere do caso 1 (TR FR=0-SIM-A) apenas pelo fechamento no zero da tensão da fase B, a qual é associada à coluna central do transformador com três colunas. A figura 12 mostra os resultados obtidos na simulação. Observa-se uma forte interação entre as correntes no Modelo 2 (com acoplamento magnético).



Mod. 1 – S/acoplamento

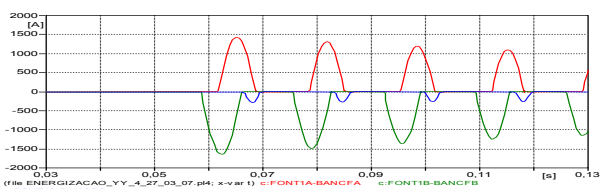


Mod. 2 – C/acoplamento

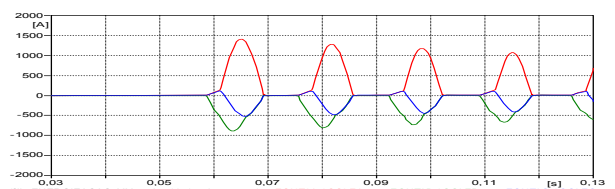
FIGURA 12 – Correntes no primário dos modelos do transformador - Caso 3 - TR FR=0-SIM-B

3.3.4 Caso 4 - TR FR=0-NSIM-B (Fluxo residual zero, fechamento simultâneo das fases)

Este caso é diferente do caso anterior (TR FR=0-SIM-B) apenas nos tempos de chaveamento das fases A e C, que agora não fecham simultaneamente com a fase B. Arbitrou-se uma diferença de 2 ms entre as fases A e B, e 2 ms entre as fases B e C. A figura 13 mostra as correntes no lado primário para os dois modelos. No Modelo 2 (com o acoplamento magnético), fica evidenciado a influência deste acoplamento, com as correntes de energização iniciando-se basicamente no mesmo instante.



Mod. 1 – S/acoplamento



Mod. 2 – C/acoplamento

FIGURA 13 – Correntes no primário dos modelos do transformador - Caso 4 - TR FR=0-NSIM-B

3.3.5 Caso 5 - TR FR≠0-SIM-A (Fluxo residual diferente de zero, fechamento simultâneo das fases)

Neste caso, considera-se um fluxo residual de +0,6 pu na fase A, 0 pu na fase B e -0,6 pu na fase C, com o fechamento simultâneo dos três pólos da chave conectada ao primário do transformador, exatamente no zero da tensão da fase A. A figura 14 mostra os resultados obtidos na simulação.

A diferença deste caso para o Caso 1 (TR FR=0-SIM-A) são os valores dos fluxos residuais que, naquele caso eram zero. Como era de se esperar, as correntes de energização, neste caso, são bem maiores que as do Caso 1, uma vez que o fluxo magnético no transformador já parte de um valor razoável de fluxo residual.

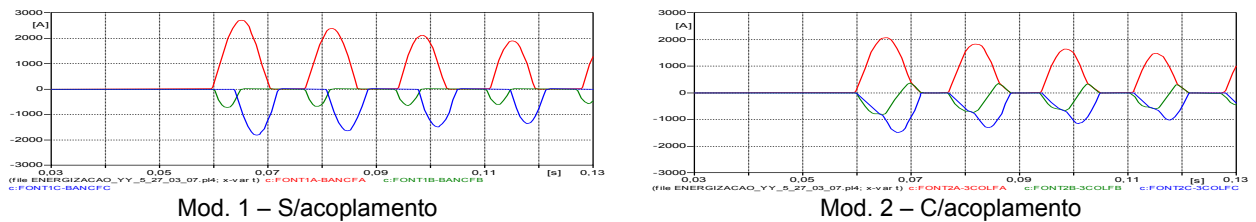


FIGURA 14 – Correntes no primário dos modelos do transformador - Caso 5 - TR FR≠0-SIM-A

3.3.6 Caso 6 - TR FR≠0-NSIM-A (Fluxo residual diferente de zero, fechamento não-simultâneo das fases)

Este caso é diferente do caso anterior (TR FR≠0-SIM-A) apenas nos tempos de chaveamento das fases B e C, que agora não fecham simultaneamente com a fase A. Arbitrou-se uma diferença de 2 ms entre as fases A e B, e 4 ms entre as fases A e C. A figura 15 mostra as correntes no lado primário para os dois modelos.

É importante ressaltar que o valor do fluxo residual no modelo de transformador com acoplamento magnético entre fases só tem sentido no momento de fechamento do primeiro pólo da chave, uma vez que a interação magnética entre as fases modifica o valor inicial do fluxo residual nas outras fases. Já no modelo sem o acoplamento magnético, isto não ocorre, com o fluxo residual inicial permanecendo até que o polo da chave associada àquela fase seja fechado.

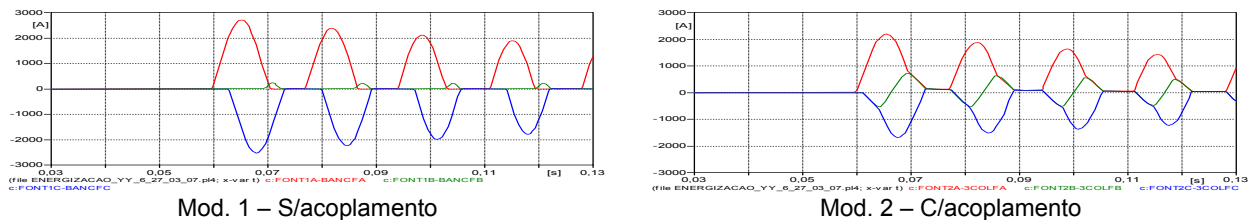


FIGURA 15 – Corrente no primário dos modelos do transformador - Caso 6 - TR FR≠0-NSIM-A

3.3.7 Caso 7 - TR FR≠0-SIM-B (Fluxo residual diferente de zero, fechamento simultâneo das fases)

Neste caso, é considerado um fluxo residual de -0,3 pu na fase A, +0,6 pu na fase B e +0,3 pu na fase C, com fechamento simultâneo dos três pólos da chave conectada ao primário do transformador, exatamente no zero da tensão da fase B. A figura 16 mostra os resultados obtidos em tal simulação.

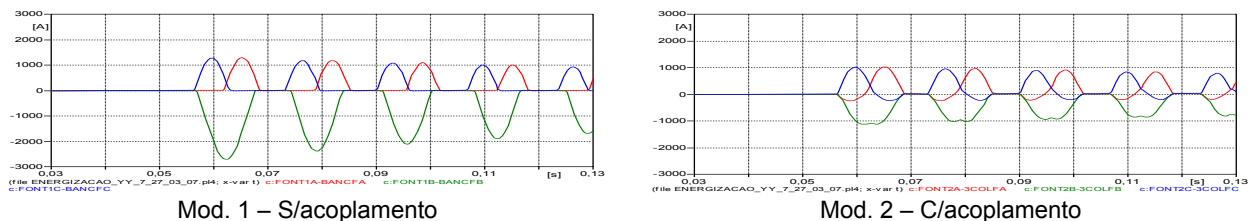


FIGURA 16 – Correntes no primário dos modelos do transformador - Caso 7 - TR FR≠0-SIM-B

3.3.8 Caso 8 - TR FR≠0-NSIM-B (Fluxo residual diferente de zero, fechamento não-simultâneo das fases)

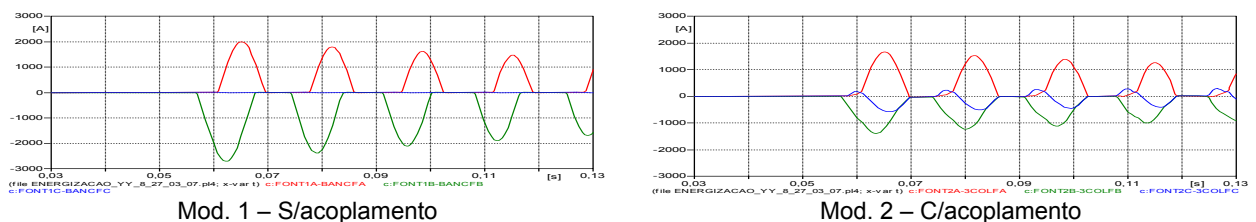


FIGURA 17 – Correntes no primário dos modelos do transformador - Caso 8 - TR FR≠0-NSIM-B

Este caso difere do caso anterior (TR FR#0-SIM-B) apenas nos tempos de chaveamento das fases A e C, que agora não fecham simultaneamente com a fase B. Arbitrou-se uma diferença de 2 ms entre as fases A e B, e 2 ms entre as fases B e C. A figura 17 mostra as correntes no lado primário para os dois modelos.

4.0 - CONCLUSÕES

O Informe Técnico mostrou os resultados de um estudo comparativo entre dois tipos de representações de transformadores trifásicos, com e sem o acoplamento magnético entre fases, com o objetivo de verificar a influência deste acoplamento nos fenômenos eletromagnéticos investigados.

Com base nos resultados das simulações realizadas, com os enrolamentos de alta e baixa tensão do transformador conectados em estrela-aterrada, verificou-se que o acoplamento magnético entre fases é de fundamental importância na representação de transformadores trifásicos, principalmente nas simulações que contemplam fenômenos desequilibrados. Nas simulações de curto-circuito envolvendo a terra, o modelo sem o acoplamento magnético mostrou-se completamente inadequado.

Com relação às simulações de transitórios de energização, de uma maneira geral, o modelo sem o acoplamento magnético entre fases apresentou picos das correntes de energização (*inrush*) maiores do que aqueles obtidos com o modelo com acoplamento, sugerindo a ocorrência de um maior impacto no sistema elétrico. Como consequência, as correntes no neutro também apresentaram valores maiores.

O acoplamento magnético investigado representa basicamente o efeito das culatras do núcleo ferromagnético de um transformador com um núcleo de três colunas. Este tipo de núcleo produz um efeito equivalente a um enrolamento virtual conectado em delta. Este assunto será alvo de investigação futura, considerando ambos o acoplamento elétrico e magnético, concomitantemente.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SARAIVA, E., CHAVES, M. L. R. e BRONZEADO, H. – “Proposta de metodologia para implementação do ciclo de histerese no modelo de transformadores trifásicos no programa ATP”, XVIII SNTPEE, Curitiba – 2005.
- [2] Projeto Chesf de P&D (CHESF /FAU /UFU) – Chaveamento Controlado de Transformadores de Potência Trifásicos; 2002/2004
- [3] YACAMINI, R. and BRONZEADO, H. – “Transformer inrush calculation using a coupled electromagnetic model”, IEE Proc. Sci. Meas. Technol., V.141, no 6, November/1994.
- [4] CHERRY, E. C. – “The Duality Between Interlinked Electric and Magnetic Circuits and the Formation of Transformer Equivalent Circuits”, Proc. Of the Physical Society, V.(B) 62, pgs 101-111, February/1949.
- [5] SARAIVA, E. – “Modelagem de Transformadores de Três Colunas com Base na Distribuição de Fluxos Magnéticos no Núcleo, Considerando o Efeito do Ciclo de Histerese”, Dissertação de Mestrado - UFU - Uberlândia -2004.
- [6] Enright, W. O. B. Nayak; G. D. Irwin; J. Arrillaga “An Electromagnetic Transients Model Transformers Using Normalized Core Concept”

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Elise Saraiva

Nascida em Uberlândia, MG, em 19 de novembro de 1976.

Mestrado (2004): UFU Uberlândia-MG e Graduação em Engenharia Elétrica (2001): UFU Uberlândia-MG

Atualmente é aluna doutoranda pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

Marcelo Lynce Ribeiro Chaves

Nascido em Ituiutaba, MG, em 03 de outubro de 1951.

Doutorado (1995): Unicamp Campinas SP; Mestrado (1985): UFU Uberlândia-MG e Graduação em Engenharia Elétrica (1975): UFU Uberlândia-MG

Empresa: Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

Herivelto de Souza Bronzeado

Nascido em Remígio, PB, em 2 de abril de 1952.

MSc (1993) University of Aberdeen, Escócia e Graduação (1975) UFCG (antiga UFPB), Campina Grande, PB.

Empresa: Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF desde 1975.

Engenheiro da área de qualidade da energia elétrica e gerente de Projetos de P&D da CHESF.

Coordenador do Comitê de Estudos C4 do Cigré-Brasil e do Capítulo PES/IAS/PELS, Nordeste 1, do IEEE.