



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

FI/GSE/03
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTO DE ALTA TENSÃO - GSE

**A RESPOSTA DE TRANSFORMADORES DE CORRENTE (TPX, TPY e TPZ) PARA REGIME TRANSITÓRIO
APÓS APLICAÇÃO DE FILTROS EXISTENTES EM RELÉS DE PROTEÇÃO.**

**CARVALHO, T.S.(*)
ALSTOM GRID**

**OLIVEIRA, R.G.
ALSTOM GRID**

**ROKISKEI, I.V.
UNIFEI**

**SILVEIRA, P.M.
UNIFEI**

**SPRESSOLA, F.E.
ALSTOM GRID**

**BONATTO, B.D.
UNIFEI**

**SILVA, R.C.O.
ALSTOM GRID**

RESUMO

Esse trabalho apresenta o funcionamento e a aplicação de transformadores de corrente (TPX, TPY e TPZ) projetados para não saturarem frente a curtos-circuitos assimétricos, conforme norma IEC 61869-2.

Com o auxílio do ATP, um estudo de caso de falta assimétrica com religamento automático foi realizado e a resposta destas três classes transitórias comparadas entre si. Em seguida, foi estudado o desempenho destes TC após passagem por um filtro DFT projetado no Matlab, similar aos existentes em relés digitais de proteção.

Os resultados mostram que existe a possibilidade de otimização do projeto do TC utilizando a classe transitória TPZ.

PALAVRAS-CHAVE

Transformador de Corrente, Classes Transitórias (TPX, TPY e TPZ), ATP, Filtro DFT, Relés Digitais.

1.0 - INTRODUÇÃO

Transformadores de corrente (TC) são empregados no sistema elétrico de potência, tendo duas funções principais: Medição de corrente com alta exatidão nas condições nominais de operação em regime permanente e proteção do sistema elétrico, fornecendo sinais de corrente aos relés de proteção também em condições de curto-circuito. Para a segunda aplicação, os requisitos de exatidão são menos rigorosos, porém devem ser suficientes para não comprometer o correto funcionamento do sistema de proteção.

A norma brasileira NBR 6856/2015 (1) define os requisitos de especificação para TC. De uma forma geral, segundo esta norma, para a especificação dos enrolamentos de proteção são suficientes: exatidão para condições de curtos-circuitos simétricos, sendo este definido como 20 vezes a corrente nominal, a carga que será conectada aos terminais secundários do TC e a relação de transformação. Esta norma não considera curtos-circuitos assimétricos como requisitos de entrada, apesar de esta ser uma característica do sistema elétrico. Para atender tal condição, normalmente a carga especificada conectada ao secundário do TC é majorada.

A norma IEC 61869-2/2012 (2), por sua vez, além de ter requisitos de especificação de enrolamento de TC destinados à proteção equivalentes à norma brasileira, também possui classes de proteção que consideram a assimetria do curto-circuito e religamentos automáticos do sistema elétrico. Estas classes na norma IEC são o foco deste trabalho e são definidas como TPX, TPY e TPZ. São chamadas de classes transitórias neste artigo.

(*) Avenida Nossa Senhora da Piedade, 1021 – CEP 37.504-358 - Itajubá, MG – Brasil
Tel: (+55 35) 3629-7046 – Fax: (+55 35) 3629-7007 – Email: tulio.sallum@alstom.com

Um estudo de comparação de tais classes transitórias foi desenvolvido através de simulações computacionais em softwares baseados no EMPT – *Eletromagnetic Transients Program*, como o ATP – *Alternative Transients Program* e Matlab (*Matrix Laboratory*). O presente trabalho dissertará sobre as principais diferenças entre as três classes de regime transitório e os parâmetros de influência definidos pela norma IEC 61869-2/2012.

Em termos de dimensionamento, para os mesmos requisitos de entrada, os núcleos magnéticos para as classes TPX, TPY e TPZ são diferentes, sendo que o TPX possui uma seção transversal maior que o TPY e que por sua vez é maior que o TPZ. Dessa forma, esse trabalho também considera esse fator, visto sua importância em aspectos construtivos, econômicos e de aplicação dos transformadores de corrente.

A concepção da classe TPZ demanda a utilização de um filtro de componente DC na entrada do relé, por isso este trabalho também aborda o tema e compara as respostas das diferentes classes transitórias após passagem por um filtro cossenoidal baseado na Transformada Discreta de Fourier (DFT).

2.0 - MODELAGEM DO TC

A Figura 1 abaixo mostra o modelo de TC utilizado nas simulações apresentas no decorrer do artigo:

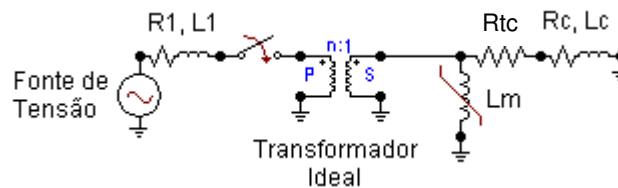


Figura 1 – Modelo de TC no ATP

Sendo:

- R1, L1: Resistência e indutância lineares representativas do sistema ligado ao primário do TC;
- Transformador Ideal: Transformador monofásico ideal que possui como entrada apenas a relação de transformação, não possui indutância interna, nem saturação. É um modelo baseado em um arranjo de resistências;
- Lm: Indutância saturável do ramo magnetizante ("Type" 98), a entrada de dados provém da curva Tensão x Corrente (em rms) fornecida pelo fabricante e convertida para Fluxo Enlaçado x Corrente (pico) através da rotina SATURA do ATP. Seu modelo é constituído por setores lineares de indutâncias ("piecewise linear") e sua lógica é baseada em um arranjo de indutores em paralelo. Esta indutância não leva em consideração a histerese do núcleo ferromagnético, e pode ser utilizada para casos em que este fenômeno não é relevante para o estudo.
- Rtc: Resistência secundária linear, interna ao TC;
- Rc e Lc: Resistência e indutância lineares da carga conectada aos secundários do TC.

A entrada de dados da curva V_{xl} do indutor Lm influencia significativamente a resposta do TC. Desta forma duas recomendações são importantes para o bom funcionamento do modelo: Limitar o número de pontos para representar a curva de saturação a fim de evitar instabilidades numéricas, considerando neste conjunto os pontos necessários para caracterizar a região de saturação de forma adequada, e acrescentar um ponto, após o último medido, com corrente 10 vezes maior e tensão aproximadamente igual, para garantir a extrapolação da curva de magnetização com baixa inclinação.

A indutância de dispersão do secundário tem um efeito desprezível, uma vez que os enrolamentos secundários são considerados uniformemente distribuídos em um núcleo toroidal.

O modelo foi validado por comparação, em (3), para curtos-circuitos simétricos e assimétricos utilizando-se como referência ensaios reais realizados no CEPEL/RJ (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica).

3.0 - CLASSES TRANSITÓRIAS CONFORME NORMA IEC 61869-2/2012

Transformadores de corrente especificados conforme as classes transitórias da norma IEC 6189-2/2012 (2), definidas como TPX, TPY e TPZ, consideram em seus projetos a assimetria do curto-circuito e, quando aplicável, religamentos automáticos do sistema elétrico.

A figura 2 mostra o ciclo de funcionamento de um disjuntor quando há ocorrência de religamento automático e o fluxo magnético no núcleo de um TC de proteção qualquer submetido a tal condição de falta. É possível perceber que no religamento sob defeito o TC ainda possui um fluxo remanescente, levando-o a um aumento de fluxo significativo em relação à primeira falta, podendo ocorrer uma saturação indevida se este fenômeno não for considerado em seu projeto.

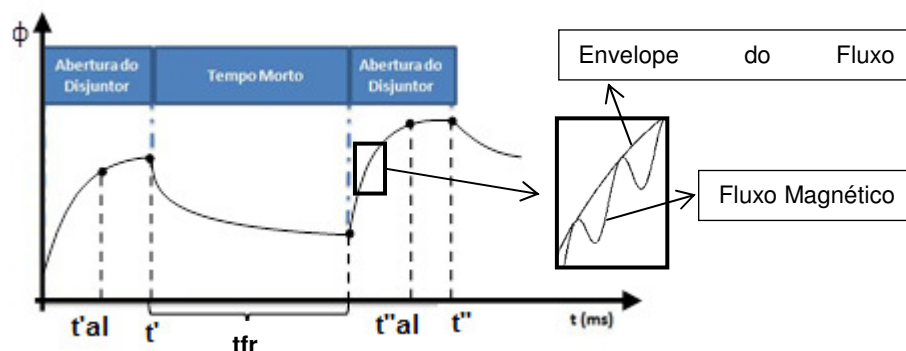


Figura 2 - Ciclo de um Religamento Automático Sob Defeito e Envelope do Fluxo Magnético de um TC

Existem duas soluções possíveis para evitar a saturação no curto-circuito após religamento: Aumento do tamanho do núcleo ferromagnético do TC, permitindo maior quantidade de fluxo magnético sem saturação, e/ou inserção de entreferros, resultando em uma desmagnetização mais rápida do TC.

t'_{al} = tempo limite de exatidão (momento até o qual a classe de exatidão deve ser mantida);

t' = duração total da falta;

t_{fr} = tempo de repetição da falta ou tempo morto; (tempo no qual o disjuntor se encontra aberto).

As definições com o símbolo ' reference ao primeiro ciclo do religamento, já o símbolo '' está ligado ao segundo ciclo.

Nos próximos itens são apresentados as definições de cada um dos três tipos de TC de classe transitória e um estudo de caso para ilustrar suas principais diferenças. Tal estudo foi realizado através de simulações de TC frente a um religamento automático sob defeito.

Os dados do sistema elétrico e do curto-circuito considerados no estudo são apresentados na tabela 1, os mesmos são comuns às três classes a fim de possibilitar uma comparação da resposta de cada transformador, bem como avaliar o custo-benefício das soluções.

Tabela 1 - Dados do Sistema Elétrico Simulado – Simbologia Conforme Norma IEC-61869/2012 (2)

Relação de transformação	2000-5 A	Falta Simétrica	40 kA	t' / t''	67 / 67 ms
Frequência	60 Hz	I_{dyn}	104 kA	t_{fr}	500 ms
Tensão primária	245 kV	K_{ssc}	20	Carga	12,5VA FP=1
Constante de Tempo Primária	80 ms	t'_{al} / t''_{al}	17 / 17 ms		

3.1 Classes Transitórias TPX, TPY e TPZ

Em relação aos parâmetros de especificação, as classes transitórias diferenciam entre si em cinco pontos principais: O limite de erro de relação em regime permanente e transitório, o limite de erro de fase, o máximo fluxo remanescente permitido 3 minutos após desligamento do circuito e a forma de calcular o erro instantâneo (transitório). A Tabela 2 compara estes parâmetros para as três classes transitórias.

Tabela 2 - Características das Classes Transitórias

Classe	Na corrente primária nominal		Na condição limite de exatidão (tal)	Máximo fluxo remanescente	Cálculo do erro instantâneo
	Erro relação	Erro fase	Erro máximo		
TPX	$\pm 0,5\%$	± 30 min	$\varepsilon = 10\%$	Sem Limite	$\varepsilon = (k_r \cdot i_s - i_p) / \sqrt{2} \cdot I_{psc}$
TPY	$\pm 1\%$	± 60 min	$\varepsilon = 10\%$	$K_R \leq 10\%$	$\varepsilon = (k_r \cdot i_s - i_p) / \sqrt{2} \cdot I_{psc}$
TPZ	$\pm 1\%$	180 ± 18 min	$\varepsilon_{ac} = 10\%$	$K_R \leq 10\%$	$\varepsilon_{ac} = (k_r \cdot i_{sac} - i_{pac}) / \sqrt{2} \cdot I_{psc}$

No cálculo do erro instantâneo, k_r é a relação de transformação, i_s o valor instantâneo da corrente secundária, i_p o valor instantâneo da corrente primária e I_{psc} o valor rms da corrente primária multiplicada pelo K_{ssc} (fator de curto-circuito simétrico). O símbolo ac indica que apenas a componente alternada deve ser considerada.

Como consequência destes requisitos de especificação os transformadores destas três classes transitórias possuem núcleos majorados com o objetivo de não saturarem frente a correntes de curto-circuito assimétricas e religamentos automáticos.

O TPX é a única classe que não possui limite para o valor de fluxo remanescente após desligamento do circuito, portanto não há necessidade de inserção de entreferros como as classes TPY e TPZ. O efeito do entreferro no núcleo magnético de um TC é justamente reduzir a indutância de magnetização e, por consequência, reduzir a constante de tempo secundária, levando o TC a desmagnetizar mais rapidamente (3). Tal fenômeno pode ser visualizado na figura 3, referente ao estudo de caso.

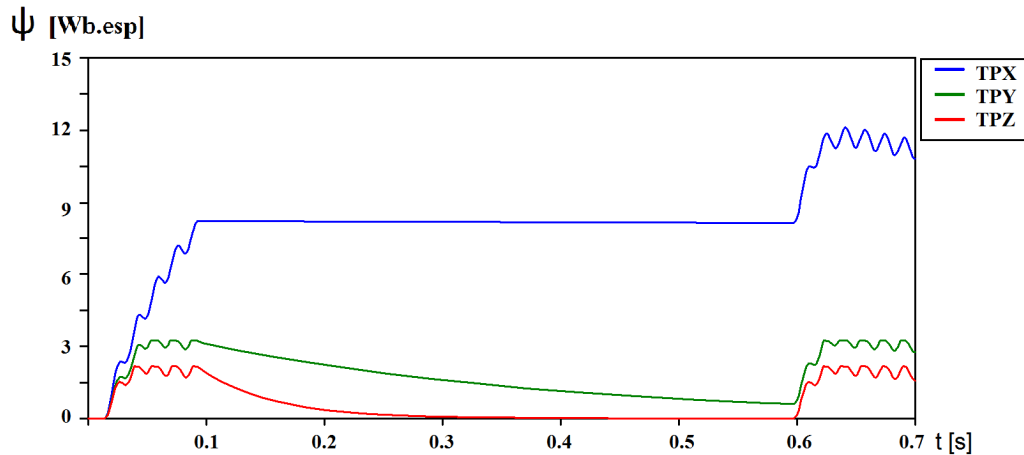


Figura 3 – Ciclos de Magnetização TPX, TPY e TPZ - Fluxo Enlaçado x Tempo

A Figura 4 mostra a curva de saturação das três classes transitórias, suas características construtivas justificam as diferenças entre as curvas, ou seja, o aumento do ponto de saturação está ligada à maior seção de núcleo ferromagnético (curva se desloca para cima) e o aumento da corrente de magnetização representa a inserção e/ou aumento da quantidade de entreferros no núcleo (curva se desloca para a direita). O aumento desta última representa também um maior erro de relação do transformador, resultantes do seccionamento no núcleo.

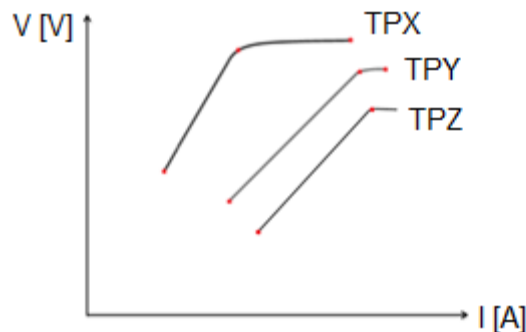


Figura 4 - Curvas de magnetização – Tensão x Corrente de Magnetização

O cálculo do erro instantâneo \mathcal{E} para um TPX e TPY leva em consideração a componente contínua e alternada da forma de onda da corrente do TC, já o erro do TPZ é calculado apenas com a componente AC da mesma. Como consequência, um TPZ apresentará, para um mesmo limite de 10% de erro, um projeto mais otimizado em relação ao tamanho do núcleo que as outras classes, em outras palavras, ele permite que o erro total (componente AC + DC) seja maior que 10% desde que a componente alternada esteja limitada a este valor. A figura 5 abaixo mostra a influência das componentes AC e DC do fluxo magnético no erro instantâneo de um TPY, para um curto-circuito com 100% de assimetria, frequência 50Hz, constante de tempo primária de 50ms e constante de tempo secundária de 400 ms (4).

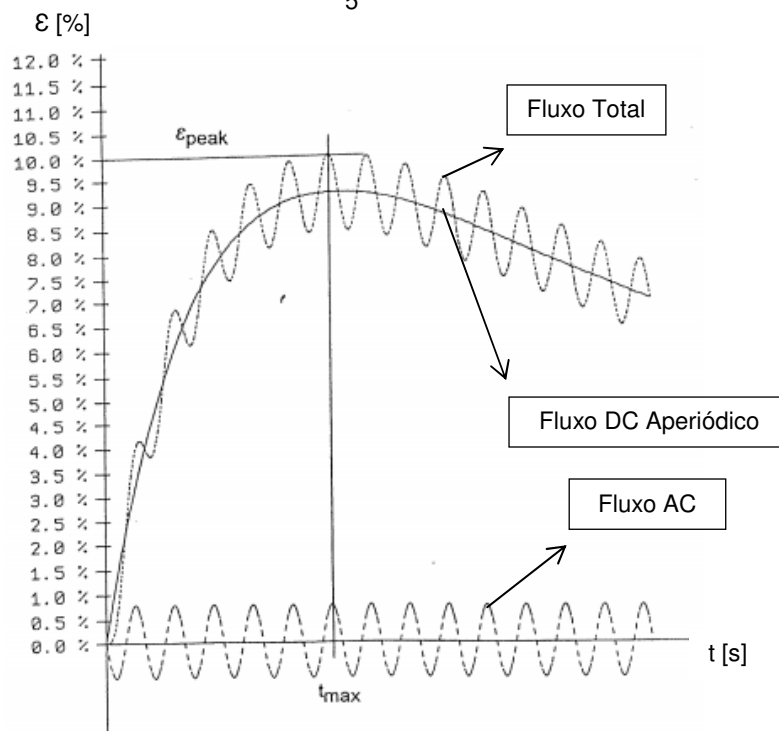


Figura 5 - Influência da Componente DC do Fluxo no Erro Instantâneo
Fonte: Guia de Aplicação da Norma IEC 44-6 (4)

Dessa forma, para esta classe ter um desempenho adequado é necessário que exista um filtro que remova a componente DC da corrente secundária do TC, tornando a qualidade de sua resposta similar a do TPY, mesmo possuindo menores núcleos e consequentemente entrar em saturação de forma mais rápida.

Apesar de mais otimizado em relação à quantidade de material ferromagnético, outra característica construtiva do TPZ é a necessidade de uma quantidade maior de entreferros que o TPY, tornando sua fabricação a mais complexa dentre as classes transitórias.

3.2 Estudo de Caso

Para o caso em estudo, onde os dados do sistema elétrico estão na Tabela 1, a curva de magnetização dos TC na figura 4 e o fluxo enlaçado na figura 3, a seção do TPZ é reduzida de 80% em relação ao TPX e de 30% em relação ao TPY, como mostra a figura 6. Esta redução de seção pode indicar um bom custo-benefício de TC fabricados com classe transitória TPZ (desde que ocorra a filtragem da componente DC do secundário), pois o custo de material é reduzido significativamente, uma vez que a diminuição de seção no núcleo ferromagnético pode resultar em menores tanques de armazenamento do secundário, menos volume de óleo e estruturas de sustentação menos reforçadas. Porém, é importante ressaltar que a fabricação e ajuste dos entreferros do TPZ é complexa e, por isso, o ganho construtivo por sua utilização deve ser estudado caso a caso. Em casos com religamento automático nos quais a construção do núcleo TPZ é complexa ao ponto de encarecer a fabricação do TC, o TPY é a solução mais viável.

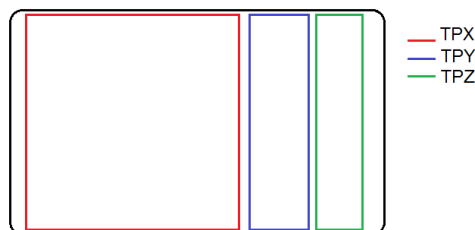


Figura 6 - Comparação das Seções dos Núcleos do TPX, TPY e TPZ.

O TPX normalmente não é utilizado para aplicações que envolvem religamentos automáticos, pois seu fluxo remanescente é muito alto e demanda um elevado fator de majoração do núcleo para atender os requisitos de exatidão. Para casos sem religamento ele é uma boa opção, pois apresenta erros menores que as outras classes, núcleos mais simples de serem fabricados e fator de majoração similar.

A figura 7 ilustra o comportamento do erro instantâneo (componente AC e DC) em função do tempo para as três classes transitórias antes da aplicação do filtro. O tempo $t'al$ e $t''al$ representa o tempo até o qual os TC não podem saturar e devem permanecer com erro transitório menor que 10%.

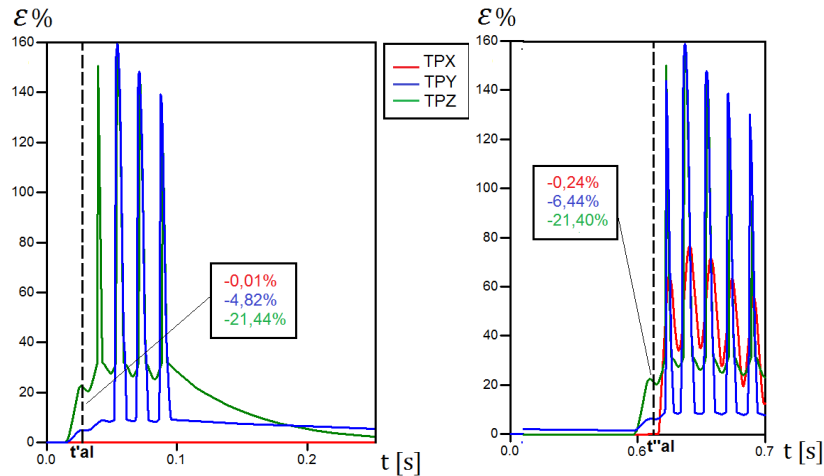


Figura 7 – Erro instantâneo x Tempo, para o Primeiro e Segundo Ciclo do Religamento

No caso do TPZ, de modo a possibilitar a comparação entre todas as classes, o cálculo do erro apresentado no gráfico está diferente do normalizado. A norma informa que a componente DC da corrente primária e secundária não deve ser considerada em seu cálculo, porém no gráfico esta componente é considerada, de modo a apresentar a mesma fórmula de cálculo que as classes TPX e TPY. Desta forma, os erros são crescentes na seguinte ordem: TPX, TPY e TPZ. Os picos de erro ilustrados no gráfico representam a saturação do transformador.

Com o objetivo de mostrar que, se a componente DC da corrente do TC for eliminada, os erros do TPZ ficam muito parecidos com o do TPY e dentro do especificado por norma, mesmo permitindo uma saturação precoce do núcleo. A figura 8 mostra o processo adotado para esta análise, na qual uma simulação de curto-circuito foi realizada no ATP, as saídas dos TC foram extraídas e importadas pelo Matlab, onde um filtro DFT cossenoidal com 96 amostras por ciclo foi implementado para eliminar as frequências diferentes da fundamental e, inclusive, a componente DC.



Figura 8 - Fluxograma Análise Erros Antes e Após Filtro

As figuras 9 e 10 mostram as correntes secundárias antes e após passagem pelo filtro cossenoidal. Como esperado, este demora cerca de 1 ciclo para estabilizar a forma de onda da corrente, porém como os tempos $t'al$ e $t''al$ do estudo de caso são pouco maiores que 1 ciclo, o cálculo do erro próximo a este ponto é válido. Este tipo de filtro é projetado para sinais discretos e periódicos, como a componente DC é exponencial e a saturação do TC não é contínua, ou seja, são sinais aperiódicos, este tipo de filtro apresenta um erro intrínseco que deve ser considerado na análise final.

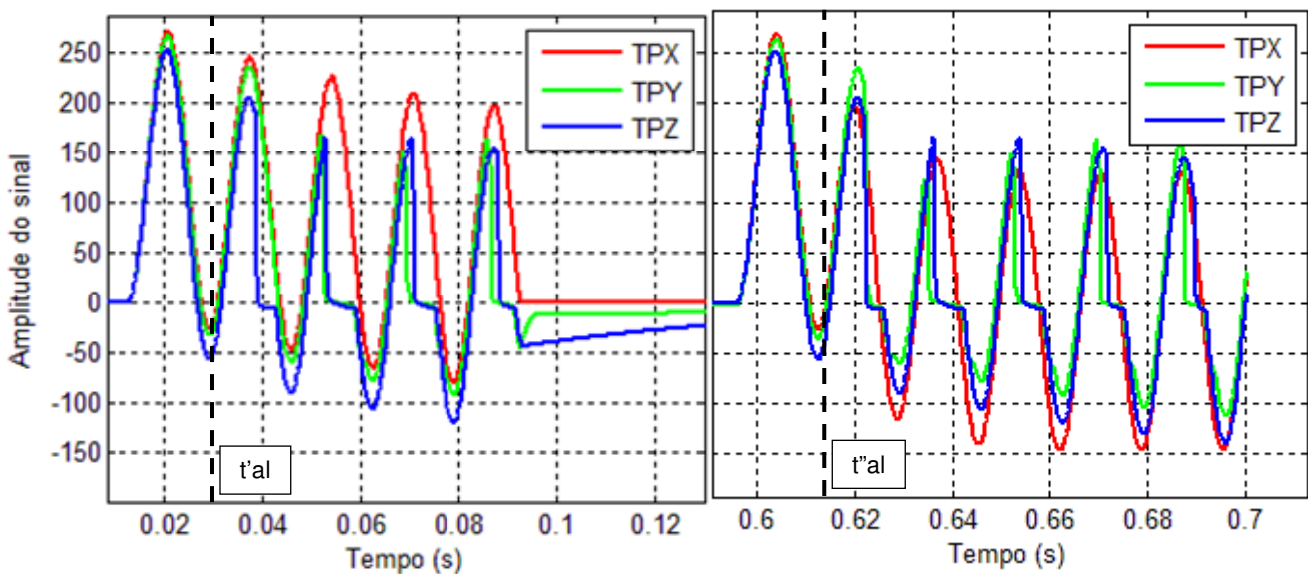


Figura 9 – Corrente Secundária do TC (TPX, TPY e TPZ) Sem Filtro e Tempos Limites de Exatidão

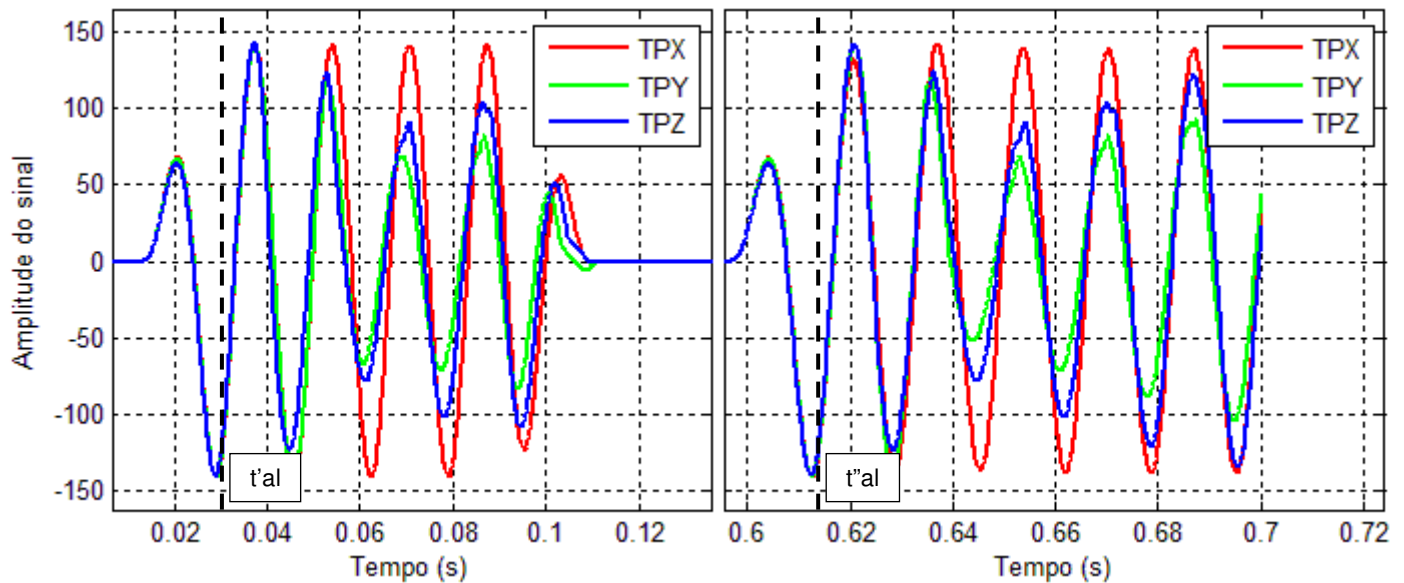


Figura 10 – Corrente Secundária do TC (TPX, TPY e TPZ) Com Filtro e Tempos Limites de Exatidão

É possível perceber que o filtro reproduz muito bem a corrente do TC sem a componente DC até o momento da saturação, a partir do qual a onda se torna muito distorcida e a resposta do filtro permanece com aspecto senoidal e amplitude reduzida.

A tabela 3 mostra o maior erro transitório desde o momento do curto-circuito até o tempo limite de exatidão (t'_{al} e t''_{al}) de cada ciclo do religamento para as três classes, calculados antes e após o filtro.

Tabela 3 – Comparação dos Erros Transitórios Antes e Após Filtragem

	Erro Transitório (ϵ)					
	TPX		TPY		TPZ	
	Pré-filtro	Pós-filtro	Pré-filtro	Pós-filtro	Pré-filtro	Pós-filtro
Maior ϵ até t'_{al}	-0,02%	0,00%	-4,95%	-0,89%	-22,68%	-4,23%
Maior ϵ até t''_{al}	-0,24%	-0,02%	-6,57%	-0,89%	-22,65%	-4,23%

Vale ressaltar novamente que o erro apresentado acima foi calculado pela fórmula abaixo:

$$\epsilon = \frac{k \cdot i_s - i_p}{\sqrt{2} \cdot 40000}$$

Os valores de i_s e i_p são os valores instantâneos da corrente secundária e primária, respectivamente. Portanto, antes de passar pelo filtro, este erro é o erro total (componente AC + DC) e, após passar pelo filtro, representa o erro referente apenas à corrente alternada.

O erro do TPX é muito baixo independente da passagem pelo filtro, isto ocorre devido a não possuir influência de entreferros, uma vez que sua inserção causa aumento no erro. O TPY, no entanto, apresentou redução do erro após passagem pelo filtro, porém mesmo antes ele já apresentava valores de erros menores que 10%, já estando em conformidade com a norma independente da filtragem do sinal. O TPZ, por outro lado, há melhora acentuada do erro após passagem pelo filtro, saindo de um erro maior que 10% e indo para um valor bem abaixo após a filtragem do sinal, apresentando, portanto, um desempenho similar ao do TPY.

Os valores de erro transitório encontrados após aplicação do filtro DFT estão de acordo com o esperado, visto que atendem aos requisitos determinados pela norma.

4.0 - CONCLUSÃO

Transformadores de corrente para classes transitórias projetados conforme norma IEC 61869-2 são uma alternativa à norma brasileira NBR 6856/2015 quando se deseja considerar a assimetria do curto-circuito em sua especificação.

Apenas as classes TPY e TPZ apresentam entreferros em seus núcleos que, por consequência, contribui para sua rápida desmagnetização e redução de seção para casos de religamento automático. Para estes casos, a classe TPX normalmente não é utilizada devido à necessidade de majoração extrema de seu núcleo. O TPY é uma boa opção, com a seção menos majorada em relação ao TPX, apresenta erros transitórios relativamente maiores que este, contudo, ainda dentro do limite normalizado de 10%. O TPZ, para aplicações com relés digitais, pode ser a opção economicamente mais viável, pois possui seção ainda menor que a do TPY e erros dentro do limite de 10% após aplicação de filtros de componente DC. A fabricação de seus entreferros, por sua vez, pode encarecer o projeto e uma análise de custo-benefício deve ser feita para cada caso. Tal conclusão é demonstrada pelo estudo de caso, através da diferença de seção entre as três classes (figura 6) e da tabela de erros (tabela 3).

Neste estudo de caso, o TPZ apresentou melhora significativa do erro após passagem pelo filtro DFT cossenoidal, saindo de um erro de -22,68% e indo para -4,23% após a filtragem do sinal, apresentando, portanto, um desempenho similar ao do TPY.

Para casos sem religamento automático o TPX é a melhor opção em relação ao TPY e TPZ, uma vez que praticamente não há diferença entre seus fatores de majoração de núcleo, possui erros com menores magnitudes devido à ausência de entreferros e, pelo mesmo motivo, sua fabricação é a mais simples dentre as classes transitórias.

Em estudos futuros é possível melhorar os resultados obtidos através de simulações. Neste sentido dois pontos podem ser explorados: A melhoria dos projetos de filtros de componentes DC de modo a minimizar seu impacto no cálculo do erro transitório dos TC e a melhoria da modelagem do TC em softwares de transitórios eletromagnéticos, considerando, por exemplo, a histerese de seu núcleo ferromagnético.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABNT/CB-03. Transformador de Corrente – Especificação e Ensaio. NBR 6856, 2015.
- (2) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Additional requirements for current transformers. IEC 61869-2, 2012.
- (3) MORETTI, R.S.; ANTUNES R.; CARVALHO, T.S.; OLIVEIRA, R.G.; SPRESSOLA, F.E.; FABRIS, G.B.; SALENGUE, R.S.; VANIEL, J.F.P. Análise de Superação de TC quanto ao Desempenho em Correntes Assimétricas de Curto-Circuito – Panorama Atual e Refinamento de Especificações Técnicas, XV ERIAC (Encontro Regional Íbero Americano do CIGRÈ), 2013.
- (4) KORPONAY, M.E. Application Guide to IEC Standard IEC 44-6. Instrument Transformers – IT Consult Korponay, 1995.
- (5) KOJOVIC, L.J. A Comparison of Different Current Transformer Modeling Techniques for Protection System Studies, Cooper Power Systems, Fransville, WI 53126, IEEE, 2002.
- (6) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Instrument transformers. IEC 61869-1
- (7) COELHO, V.V. Estudo da avaliação de transformadores de corrente de alta tensão através da curva de excitação, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- (8) MORETTI, R.S.; ANTUNES R.; CARVALHO, T.S.; OLIVEIRA, R.G.; SPRESSOLA, F.E.; FABRIS, G.B.; SALENGUE, R.S.; VANIEL, J.F.P.; SILVA, R.O.C.; GRANDE, W.R.C. Análise de desempenho de TC em correntes de curto-circuito assimétricas com enfoque na proteção diferencial de barras – panorama atual e refinamento de especificações técnicas, XXII SNPTTE (Seminário nacional de produção e transmissão de energia elétrica), 2013.
- (9) HARRIS, H. J.; On the use of Windows for harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform, Proceedings of the IEEE, 1978.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Túlio Sallum de Carvalho, nascido em São Lourenço/MG no ano de 1987. Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Itajubá em 2009. Cursa mestrado com foco em simulações computacionais de transitórios eletromagnéticos de transformadores de corrente na mesma universidade. Atualmente trabalha na Alstom Grid no setor de pesquisa & desenvolvimento de transformadores para instrumento, linha de alta tensão.

Ingrid Valk Rokiskei é graduanda em Engenharia Elétrica pela UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá e estagia na Alstom Grid em Itajubá desde 2014 na área de Projetos de Transformadores de Corrente.

Rodrigo Gomes de Oliveira, nascido em Santa Bárbara d'Oeste/SP em 1984. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá em 2007, cursa mestrado na mesma área e universidade. Trabalha na Alstom Grid, unidade Itajubá, desde 2007. Recebeu o título de Especialista Técnico em Transformadores para Instrumento pela Alstom. Atualmente é Supervisor de Engenharia.

Benedito Donizeti Bonatto é bacharel em Engenharia Elétrica pela UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá (1991), Mestre pela UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas (1995), Doutor pela UBC – *The university of British Columbia* (2001), Especialista em administração pela FGV – Fundação Getúlio Vargas (2005) e Especialista em Segurança no Trabalho pela EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2011). Ele trabalhou para empresas públicas e indústrias e agora é professor na Universidade Federal de Itajubá. Seus campos de interesse são qualidade de energia elétrica, transitórios eletromagnéticos, segurança do trabalho, educação, legislação, regulamentação, modelagem e simulação em mercados elétricos. Ele é membro do IEEE.

Paulo Marcio da Silveira é Bacharel e Mestre em Engenharia Elétrica pela UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá (1984) e (1991) respectivamente, e doutor pela UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina (2001). Durante o ano de 2007 trabalhou como pesquisador visitante (trabalho de pós-doutorado) no *Center for Advanced Power System* (CAPS), na *Florida State University*, EUA. Ele é professor da UNIFEI desde 1993 onde exerce atualmente o cargo de diretor do Instituto de Engenharia Elétrica e coordenador do Centro de Excelência em Redes Elétricas Inteligentes (CERIn). Ele é pesquisador bolsista do CNPq com interesses em áreas de proteção de sistemas elétricos, RTDS – Simulação Digital em Tempo Real, qualidade de energia elétrica e processamento de sinais aplicados à IEDs (Dispositivos Eletrônicos Inteligentes) e redes elétricas inteligentes.

Flávio Eduardo Spressola, nascido em Jardinópolis/SP, em 1975. Graduado em Engenharia Elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 1999, MBA Executivo (2003) e Mestre em Sistemas Elétricos de Potência (2011) pela Universidade Federal de Itajubá. Trabalha na Alstom Grid, unidade Itajubá, desde 2000. Recebeu pela Alstom o título de Especialista Técnico em Transformadores para Instrumento e Ensaio Elétricos. Atualmente é Gerente Técnico do Produto Transformador de Potencial Capacitivo.

Rodrigo Oliveira Coelho da Silva, natural de Volta Redonda/RJ, é graduado em Engenharia Elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI em 2001. Iniciou sua carreira técnica em 2001 como Engenheiro de Projetos de transformadores de potência na Siemens. Na Alstom Grid desde 2002, atuou como Engenheiro de Cálculos e Projetos de TC e TP de média tensão até 2003. Neste ano transferiu-se para a unidade fabril da Alstom de Montrouge, em Paris, onde trabalhou de 2003 a 2006 como Engenheiro de P&D para transformadores AT. Desde 2009, dirige o departamento técnico de Engenharia e P&D da unidade Alstom de Itajubá atuando no projeto, desenvolvimento e aplicação de produtos AT (transformadores de média, disjuntores e seccionadores). Concluiu o MBA da Unifei em 2008 e participa do CRI - Centro de Referência em Inovação Minas da Fundação Dom Cabral.