



Grupo de Estudo de Proteção, Medição, Controle e Automação em Sistemas de Potência-GPC

Adequações da proteção de barramentos e suas interfaces com o transformador de corrente em subestações existentes do sistema Interligado Nacional.

JULIANA KELLY CASTRO DE SÁ(1);
TRACTEBEL(1);

RESUMO

Este artigo apresenta estudos de casos onde a proteção de barramentos em subestações existentes do SIN é adequada corretamente e casos onde uma adequação não é possível sendo necessário a substituição da proteção de barramentos. Para essa proteção ser efetiva não basta apenas estar bem parametrizada, os transformadores de corrente devem apresentar relações de transformação e classes de exatidão em sua correta definição para que o sistema fique imune aos diferentes níveis de saturação dos transformadores de corrente. Atualmente houve uma reformulação dos requisitos mínimos do ONS para a proteção de barras que serão consideradas neste artigo.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção de Barramentos, Transformadores de Corrente, Saturação, Operador Nacional do Sistema Elétrico –ONS, Sistema Interligado Nacional – SIN.

1.0 - INTRODUÇÃO

As subestações existentes pertencentes ao Sistema Interligado Nacional estão em constantes ampliações com entradas de novos agentes e a proteção que merece uma atenção especial é a proteção de barramentos. Nos casos onde ocorre complementações de travessões em subestações existentes, uma correta adequação da proteção de barramentos é de fundamental importância.

O barramento de uma subestação é o principal elemento a ser protegido, uma vez que este é um ponto de convergência de alguns circuitos elétricos como linhas de transmissão, geradores, transformadores e carga. Uma falta em um barramento leva a várias faltas simultâneas e envolve elevados valores de corrente de curto-circuito devido à quantidade de circuitos conectados (1). Dessa forma a proteção de barramentos deve ser seletiva para desligar apenas os disjuntores conectados à seção defeituosa do barramento.

Nos últimos anos houve uma crescente demanda de acessos a subestações existentes do SIN devido ao crescimento econômico e desenvolvimento do país. Muitos desses acessos são de investidores que não atuam na área do sistema elétrico de potência. Para estes acessos são necessários atender pré-requisitos o que ocasiona em adequações da proteção de barramentos de forma não ferir a concessionária acessada, desde a parte física (IED – Intelligent Electronic Device, TC's – transformadores de corrente, cabos) até a revisão de estudos de seletividade, não afetando de forma errônea os ajustes das proteções de barramento já instaladas.

Nestes casos, também é de fundamental importância verificar para que não ocorra a saturação do núcleo do transformador de corrente conectado a proteção de barramentos, uma vez que este fato faz com que as correntes no secundário do TC não sejam uma réplica perfeita do primário. A proteção de barramentos baseia-se nas Leis de Kirchhoff, onde: Segundo a Lei dos nós, o somatório de todas as correntes que entram é igual aos somatórios de

(1) Avenida dos Andradas, 3.000 - 11º ao 13º andares - CEP 30.260-070 Belo Horizonte, MG - Brasil
Tel: (+55 31) 3249- 7619 – Email: juliana.castro@tractebel.engie.com

todas as correntes que saem. Se esta Lei não se verificar é sinal que existe um defeito dentro da zona de proteção do barramento. Dessa forma é de fundamental importância que todos os transformadores de corrente tenham a mesma razão de transformação e seja evitado o uso de transformadores de corrente auxiliares de ajuste, uma vez que estes introduzem assimetrias. Nos relés diferenciais de barras digitais não é necessário que os TC's possuam a mesma relação de transformação.

Atualmente o Operador Nacional do Sistema Elétrico-ONS estabelece que cada barramento da instalação, com exceção dos barramentos com arranjo em anel, deve ser protegido localmente por dois sistemas de proteção independentes. Em subestação com qualquer tipo de arranjo de barramento, exceto barramento em anel, é permitida a utilização de proteções de barra do tipo adaptativa que englobem os dois barramentos da instalação, devendo a mesma ser duplicada (2). O atendimento a este novo pré-requisito para os projetos de adequações das proteções de barras em subestações existentes, tem gerado algumas dúvidas, pois em determinadas situações pode vir a ser necessário a substituição do transformador de corrente existente para adequação ao novo procedimento de rede do ONS revisão 2016.12 (2), uma vez que agora são necessários dois sistemas de proteção independentes. Para os casos que é necessário fazer a substituição da proteção de barramentos, é imprescindível que o novo acessante faça adequações em todos os demais vãos existentes da subestação, isto pode implicar desde revisões em TC's compostos por menores núcleos como também em painéis instalados nas casas de comando existentes. Outro detalhe importante também é que o tempo total de eliminação de faltas – incluindo o tempo de operação da proteção do barramento, dos relés auxiliares e o tempo de abertura dos disjuntores – não deve ser superior a 100 ms.

2.0 - PORQUE DUPLICAR A PROTEÇÃO DE BARRAS?

Pode-se observar que um dos principais motivos para o ONS solicitar a redundância da proteção de barras é que está se tornando prática pelas concessionárias não ajustar a 3ª zona para proteção da barra remota para não ocasionar trip indevido e um desligamento em cascata, uma vez que uma atuação indevida da zona 3 implica em desligamento de grande impacto. A eliminação da terceira zona, aumenta-se a necessidade de confiabilidade para que uma falta seja eliminada pelas proteções da própria SE, haja vista que não há mais retaguarda remota. Dessa forma a função de falha de disjuntor passa a ser essencial e consequentemente precisa ser duplicada. Dessa forma, como na maioria das subestações existentes as funções dos falhas de disjuntores estão concentrados nas proteções de barras, pode vir acontecer do disjuntor na barra remota falhar e a proteção de falha de disjuntor não atuar ocasionando o não desligamento que deveria ocorrer. Sendo assim esse seria um dos motivos para uma redundância da proteção de barras, principalmente quando esta realiza a função de falha de disjuntores.

2.1 Requisitos ONS

Dentre os requisitos do ONS para o sistema de proteção de barramentos, três chamam atenção para a correta adequação desta proteção em uma determinada ampliação de uma subestação existente do SIN:

- Conexão a núcleos independentes dos transformadores de corrente (2);
- Imunidade para os diferentes níveis de saturação dos transformadores de corrente, com estabilidade para faltas externas e sensibilidade para faltas internas (2);
- As proteções de novos vãos instalados em subestações existentes devem se adaptar à proteção do barramento existente. Caso isso não seja possível, a proteção do barramento deve ser substituída (2).

2.1.1 Núcleos Independentes dos Transformadores

Quando o ONS solicita núcleos independentes de transformadores de corrente para o sistema de barramentos, logo imaginamos que será necessário trocar todos os TC's dos vãos existentes da subestação a qual estou acessando para adequar ao novo procedimento de rede uma vez que agora as proteções de barras são redundantes e os TC's dos vãos existentes não possuem núcleos suficientes. Recentemente tivemos o primeiro encontro de proteção e controle onde o ONS respondeu aos questionamentos dos agentes e um esclarecimento muito importante foi realizado durante este evento: As proteções de barras têm que ser instaladas com núcleos independentes, porém uma das proteções pode compartilhar o mesmo núcleo de TC com a proteção de outro equipamento, desde que não seja uma proteção diferencial de alta impedância (3). No item 2.2.1 será apresentado um estudo de caso que demonstre essa situação.

2.1.2 Imunidade a Saturação

A solicitação de imunidade para os diferentes níveis de saturação dos transformadores de corrente está diretamente relacionada com a confiabilidade do ajuste da proteção de barras, pois uma vez que o TC apresente saturação, uma distorção ou redução da corrente secundária, para um determinado nível de surto, dependendo do ajuste adotado pode ocasionar uma falha na atuação da proteção de barras.

O transformador de corrente (TC) é responsável por fornecer a proteção informações sobre o módulo e o ângulo da corrente do sistema primário e ao mesmo tempo garantir o isolamento da tensão do sistema e a redução da

corrente primária para valores adequados. A condição de curto-circuito assimétrico, em que as componentes contínuas associadas aos parâmetros do sistema e do secundário do TC interagem, é a pior condição para a especificação do TC (4).

A correta especificação do TC define a exatidão e o bom desempenho do sistema de proteção, principalmente em situações que envolvem elevada assimetria da corrente de curto-circuito primária. Nessas condições extremas de curto-circuito, é essencial conhecer os parâmetros do sistema de potência, as características do TC e os tempos de atuação da proteção para que se possa realizar a especificação adequada do TC (5).

Além do curto circuito, a corrente nominal do TC deve ser maior que a corrente máxima prevista para os barramentos da subestação. Muitas vezes são instalados novos vãos na subestação e os TC's existentes não sofrem uma avaliação das novas características do sistema para suportar os novos níveis de curto circuito. Em subestações compostas por arranjo de disjuntor e meio é imprescindível verificar se o TC do vão central do travessão a qual o acessante está conectando se este irá saturar para os novos níveis de curto.

Para a especificação de transformadores de corrente de proteção são utilizadas normalmente as normas NBR 6856 (2015), IEC 61869-2 (2012). A norma NBR 6856 (2015) classifica o TC de proteção pela máxima tensão de saturação no seu secundário. Para isso, multiplica a impedância máxima secundária pela corrente nominal secundária e também por um fator de segurança, menor ou igual a 20.

A norma IEC 61869-2 (2012) é mais abrangente para desempenho em condições transitórias, e a que melhor define os parâmetros do transformador de corrente em função da proteção e do sistema. Os fatores aplicados no dimensionamento do TC são definidos considerando-se a condição simétrica ou assimétrica da corrente de curto-circuito. Em condições de curto-circuito simétrico é aplicado o fator limite de precisão (ALF) e o fator de dimensionamento (Kx), dependendo da classificação do TC. Para as condições de curto-circuito assimétrico é utilizado um fator para o dimensionamento do curto-circuito simétrico, definido como (Kssc), e outro para o dimensionamento do curto-circuito assimétrico, definido como fator de dimensionamento a transiente nominal (Ktd) ou fator de transiente Ktf. Para o cálculo destes fatores é necessário que sejam informados dados da proteção, como o tempo de atuação da proteção, os tempos de religamentos, o tempo entre um religamento e o seu subsequente (tempo morto) e os dados do sistema e do TC através das constantes T1 e T2 (4). As equações e nomenclaturas mencionadas acima serão apresentadas no item 2.4 deste artigo.

Ainda se tratando da especificação do TC para que não ocorra a saturação tem que se avaliar também o fluxo remanescente. Uma vez que quando ocorre um surto no sistema e este desliga, no núcleo do TC permanece um fluxo remanescente que quando você religar pode ocorrer do TC saturar rapidamente pelo fato de a tensão já está em valor mais alto devido ao fluxo remanescente. Para a grande maioria das subestações tem se especificado o TC do tipo TPY, pois este possui um gap que diminui o fluxo remanescente, impedindo que no religamento permaneça um alto valor de fluxo evitando que o TC alcance o estado de saturação rapidamente em comparado ao TC sem o gap. O TC composto por este gap necessita de uma força eletromotriz maior, dessa forma precisa ser composto de um material magnético de melhor qualidade, sendo assim os TC's do tipo TPY possuem custos mais elevados que um TC normal.

Já sabemos que os TC's devem suportar os níveis de curto circuito da subestação, sem saturação de seus núcleos. Outro fator importante na especificação do TC é o valor limite que se determina para a assimetria das correntes de curto-circuito. Normalmente é limitada a 100% da máxima componente CC do curto-circuito previsto, porém sabemos da baixa probabilidade de faltas deste tipo com tensões de valor instantâneo próximas ao zero. No item 2.4 deste artigo considera-se 80% da máxima componente CC do curto-circuito previsto.

2.1.3 Substituição da Proteção de Barras

O procedimento de rede do ONS deixa claro que os novos vãos instalados em subestações existentes devem se adaptar à proteção do barramento existente. Caso isso não seja possível, a proteção do barramento deve ser substituída. Portanto, deve se observar a necessidade de substituição ou não da proteção de barras da subestação acessada, pois uma vez que a proteção de barras da subestação que você está acessando possui possibilidade de expansão, a filosofia pode ser mantida não sendo necessário instalar um hardware redundante para a proteção de barramentos.

Agora caso a proteção de barras não seja expansível é necessário a substituição desta e instalação redundante para o sistema de barramentos. E consequentemente revisões nos demais vãos existentes da subestação que você está acessando. Quando se trata de proteção de barramentos concentrada de alta impedância, normalmente verifica-se se esta tem a possibilidade de instalação de mais um cartão de entradas analógicas de correntes para o novo vão ou se o cartão reserva já encontra-se disponível em campo. O termo alta impedância se refere à alta impedância imposta ao fluxo de corrente no secundário dos TCs. A fim de garantir que a soma vetorial das correntes secundárias que entram e saem da zona de proteção seja nula em condições normais de operação, os TCs devem ser conectados em paralelo e possuir a mesma relação de transformação e ligação de polaridade.

Quando se trata de proteção de barramentos do tipo distribuída com unidade central e unidades de bays, é importante verificar quantos vão a unidade central de barras suporta. Normalmente verifica-se a quantidade de portas de comunicação da unidade central.

2.2 Estudos de Casos

Os estudos de casos apresentados neste item seguem uma direção para que ocorra uma correta adequação da proteção de barras em ampliação de uma subestação existente do SIN. No processo de adequação identificamos 4 importantes passos que dão uma direção aos novos agentes, são os seguintes:

1º Passo: Verificar a necessidade da substituição da proteção de barras;

2º Passo: Verificar as características dos TC's dos vão existentes;

3º Passo: Definir as características do TC do novo vão;

4º Passo: Verificar a saturação dos TC's. Caso o novo vão for complemento de travessão em arranjo disjuntor e meio, é imprescindível verificar as características do TC do disjuntor central existente para que não ocorra saturação para faltas no novo vão e faltas no barramento.

2.2.1 Substituição da proteção de barras e TC's dos vão existentes com 3 e 4 núcleos de proteção

Este caso ocorre quando se trata de proteção de barras concentrada de alta impedância, e não tem a possibilidade de instalação de mais um cartão de entradas analógicas de corrente para o novo vão, ou quando a proteção de barras é distribuída e a unidade central não possui mais portas de comunicação. Neste caso instala-se duas novas proteções de barras atendendo os novos requisitos do ONS. Sendo assim, o próximo passo é verificar os núcleos dos TC's de corrente dos vão existentes. Conforme mencionado anteriormente pode se compartilhar o mesmo núcleo do TC com a proteção de outro equipamento, neste caso a LT (Linha de Transmissão) conforme demonstrado na Figura 1. Nesta figura, a proteção principal de Barras encontra-se em um núcleo independente do TC e a proteção alternada de Barras compartilha o mesmo núcleo da proteção alternada da LT. Com esse novo requisito do ONS, podemos verificar que quando detectada a necessidade da substituição da proteção de barras, o acessante terá que revisar os painéis dos vão existentes da subestação. Anteriormente ao novo requisito, era necessário que o acessante revisasse somente os painéis dos vão que haviam interface com seu vão e o painel da proteção de barras que é comum a todos os vão. Os passos 3 e 4 serão realizados e apresentados para uma LT de 500kV em arranjo disjuntor e meio nos itens 2.3 e 2.4 deste artigo.

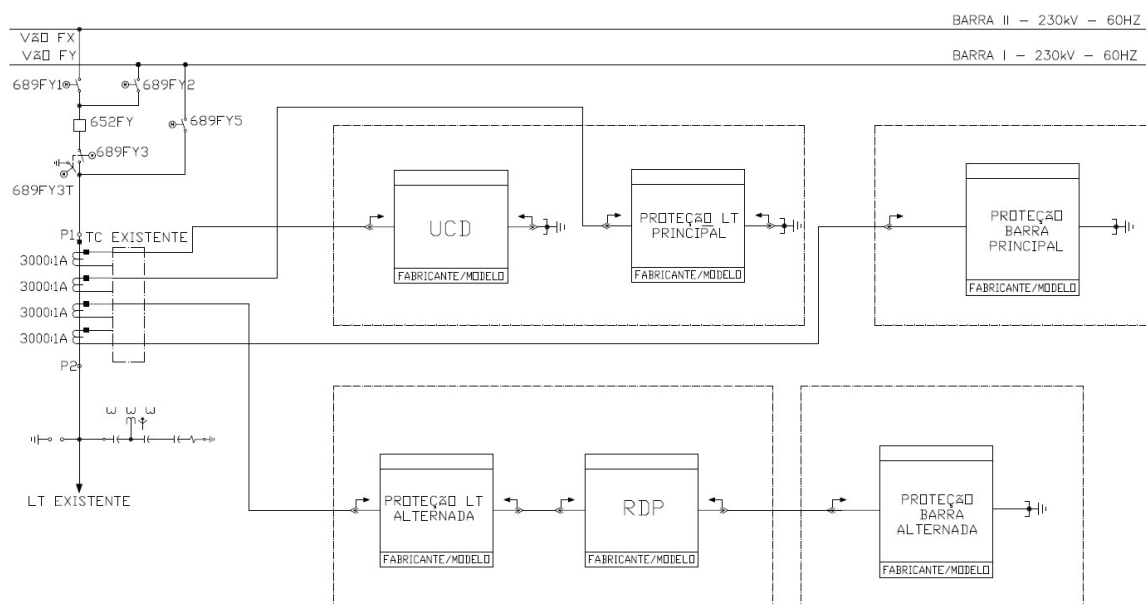


FIGURA 1 – LT 230 KV - TC's dos vão existentes com 3 núcleos de proteção, compartilhando o núcleo da proteção alternada da LT.

A Figura 2, apresenta outra possibilidade que ocorre quando os TC's existentes possuem 4 núcleos de proteção, neste caso as proteções da LT e das barras são instaladas totalmente em núcleos independentes.

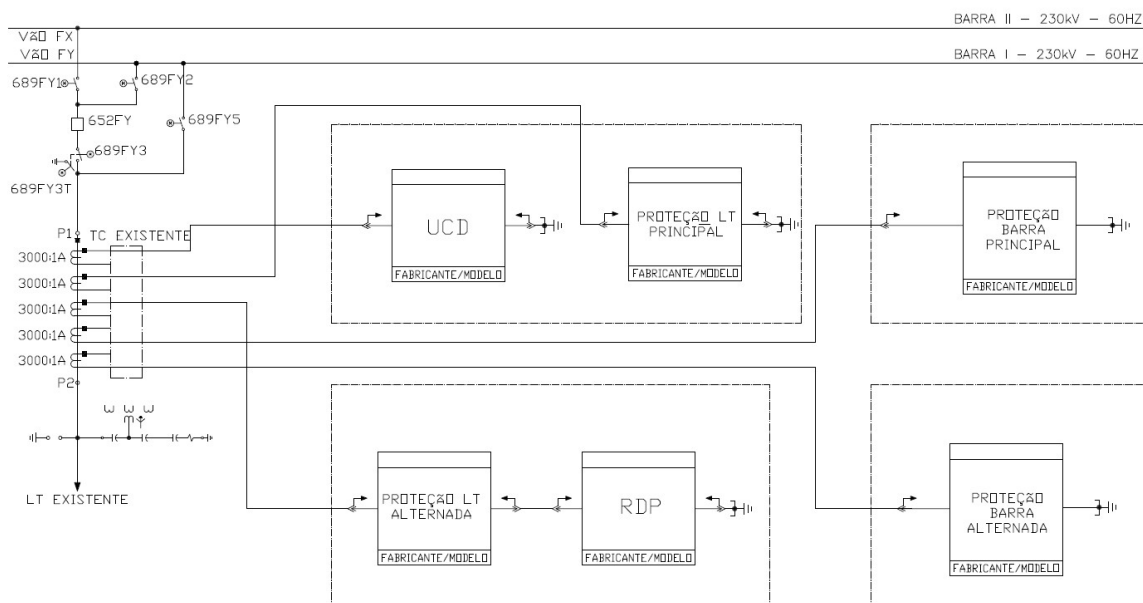


FIGURA 2 – LT 230 KV - TC's dos vãos existentes com 4 núcleos de proteção sem compartilhamento de núcleos

2.2.2 Proteção de barras existente com capacidade de expansão e TC's dos vãos existentes com 3 núcleos de proteção

Este caso ocorre quando se trata de proteção de barras concentrada de alta impedância, e esta possui capacidade de expansão. Normalmente a proteção concentrada possui a capacidade para atender até 8 vãos. Uma vez confirmado as entradas analógicas reservas ou a possível instalação de um novo cartão, mantém-se a filosofia da proteção de barras existente e não é necessário a instalação das proteções de barras redundantes conforme Figuras 3 e 4. É importante verificar se o painel possui espaço para as novas chaves de testes. Ocorre também quando a proteção de barras é distribuída e a unidade central possui porta de comunicação para o novo vão. Definido uma vez que não é necessário a substituição da proteção de barras, verifica-se as características do TC's existentes da subestação para especificar o novo TC com características semelhantes desde que os TC's existentes atendam o nível de curto atual, caso contrário deve-se fazer uma reavaliação dos TC's dos vãos existentes. Este fato dificilmente ocorre, uma vez que as subestações já são planejadas para um nível de curto-circuito futuro, mesmo diante disto é importante conferir. Os passos 3 e 4 serão realizados e apresentados para uma LT de 500kV em arranjo disjuntor e meio nos itens 2.3 e 2.4 deste artigo.

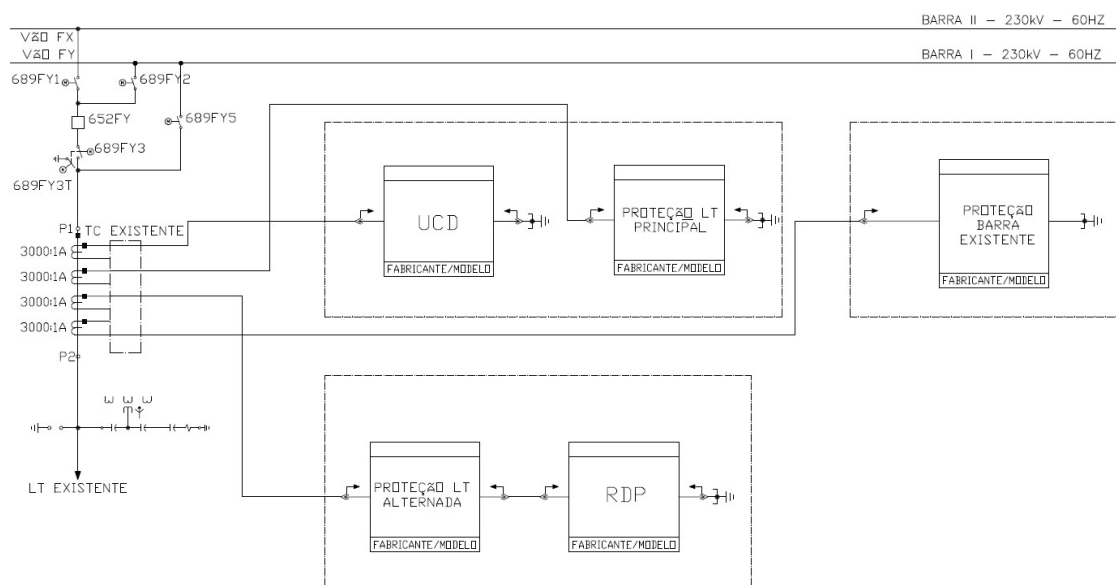


FIGURA 3 – LT 230 KV – Proteção de barras existente com capacidade de expansão e TC's dos vãos existentes com 3 núcleos de proteção

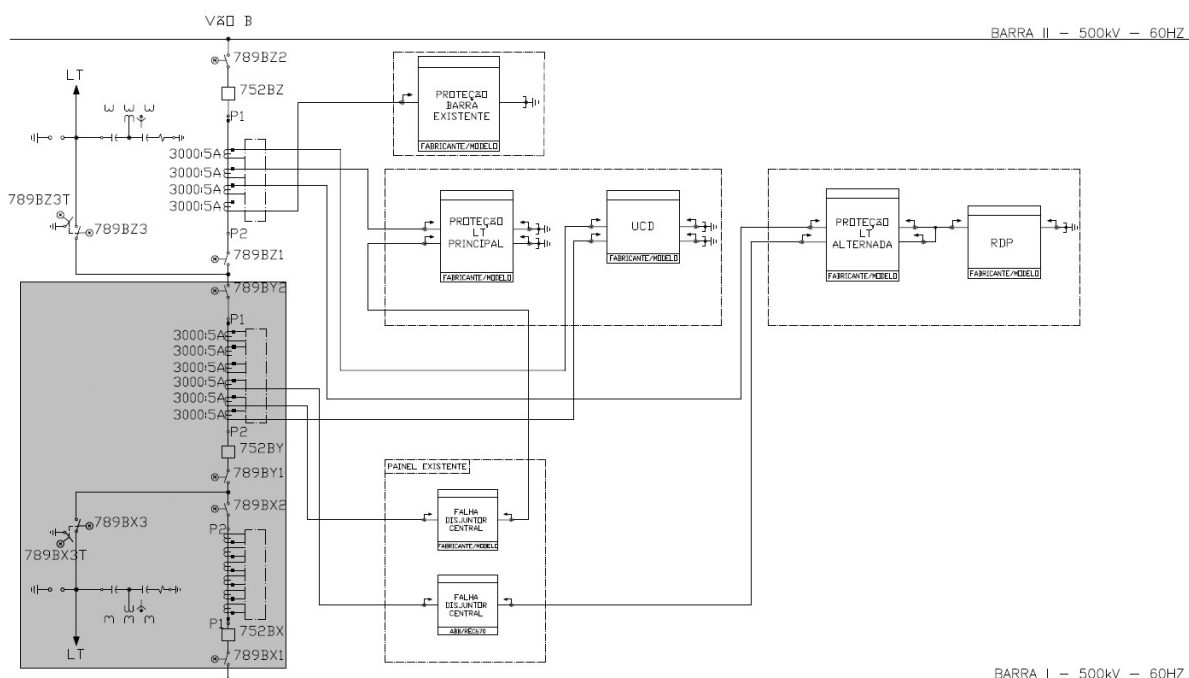


FIGURA 4 – LT 500KV - Proteção de barras existente com capacidade de expansão e TC's dos vãos existentes com 3 núcleos de proteção

Como o caso acima é o mais comum quando se trata de ampliação de travessão de uma subestação de 500KV, apresentaremos no item 2.3 a metodologia de cálculo com este exemplo. Neste caso iremos considerar uma LT de 500kV típica em arranjo disjuntor e meio, assim iremos especificar o TC do novo vão e também verificar a saturação para o TC central existente. Conforme mencionamos anteriormente utilizaremos as equações da norma IEC 61869-2 (2012) uma vez que esta considera o desempenho em condições transitórias.

2.3 Especificação do novo TC

As correntes nominais secundárias dos TC's existentes da subestação foram definidas em 5A. Dessa forma adotaremos 5A para os cálculos do novo TC. O limite de carregamento das LTs é de 2100 A, portanto a corrente nominal primária mínima dos TCs deve ser de 3000A. A Tabela 1, apresenta as simulações de curto circuito que foram realizadas utilizando o software ANAFAS - Análise de Falhas Simultâneas, com a Base de dados do ONS e mostra os curtos previstos nas barras de uma subestação típica de 500kV.

Tabela 1 – Curto-circuito Trifásico, Monofásico e Bifásico – Terra – Subestação Típica 500kV

Subestação	Tensão (kV)	Trifásico		Monofásico		Bifásico-Terra	
		kA	X/R	kA	X/R	kA	X/R
Barramento SE Típica	500,00	19,23	18,58	19,11	18,98	19,19	18,77
LT SE Típica	500,00	15,30	12,13	15,10	12,60	15,15	12,50

Considerando que no edital da Aneel solicita uma corrente mínima de 3000A para os barramentos. Além do curto circuito, a corrente nominal do TC deve ser maior que a corrente máxima prevista para os barramentos da subestação. Dessa forma adotaremos um TC novo com as características indicada na Tabela 2:

Tabela 2 – Dados especificados para o novo TC– Subestação Típica 500kV

Subestação	ESPECIFICAÇÃO - DADOS MÍNIMOS PARA TPY								
	K_{SSC}	X/R	$t' \text{ e } t''$ (ms)	$t'_{al} \text{ e } t''_{al}$ (ms)	t_{fr} (ms)	Assimetria	RB (Ω)	RTC	I_p
Típica	6,41	18,98	70	20	500	100%	2	600	3000

Sendo que:

K_{SSC} : Razão entre a corrente de curto circuito e a corrente nominal primária do TC,

RTC: Razão da corrente primária pela corrente secundária,

RB: Impedância da carga (Cabos e IED),

t' al: Tempo no qual a precisão da medição deve ser mantida para atuação do relé de proteção no primeiro ciclo de atuação,

t' : tempo para eliminação da falta no primeiro ciclo de abertura (ONS, máximo de 100ms no 500kV),

t_{fr} : tempo morto de religamento,

t'' al: Tempo no qual a precisão da medição deve ser mantida para atuação do relé de proteção no segundo ciclo de atuação.

O próximo passo seria verificar a saturação do novo TC, no entanto para a exemplificação de complemento de travessão para subestação de arranjo em disjuntor e meio, optamos por apresentar didaticamente a verificação da saturação do TC central existente que também precisa ser verificado, além do novo TC.

2.4 Verificação da saturação TC central existente

Pela análise do fluxo de potência no travessão que será complementado, verificou-se que a corrente máxima verificada para o vão central é de 1300 A.

Na tabela 3, apresentamos as características do TC existente do vão central da subestação típica.

Tabela 3 – Dados TC Existente do Vão Central da Subestação Típica

TC típico (6) (Vão Central Existente – Subestação Típica)	3000(RM)-5A 10B400 <i>Burden</i> – 20VA $E_S = 1218,97V$ $I_m = 2089mA$ $RTC-75^\circ C = 1,47\Omega$
Distância média entre TC existente e o Relé de proteção	TC – 100m
Cabeamento	Externo ao painel: $10mm^2 - Z: 2,19 + j0,13\Omega/km$ Interno ao painel: $2,5mm^2 - Z: 8,87 + j0,15\Omega/km$
Carga: Relé de proteção típico + 1 RDP	$0,2 + 0,015 = 0,215 \Omega$

Para verificação da tensão secundária de TCs, conforme o ciclo de operação, a norma IEC 61869-2 estabelece as seguintes equações:

$$E_{al} = K_{SSC} \times K_{TD} \times (R_{CT} + R_B) \times I_{SR}$$

$$E_{al} \leq E_S$$

Onde:

E_S : Tensão de joelho da curva de saturação do TC.

E_{al} : Tensão secundária necessária que o TC atinja sem saturação para manutenção da precisão,

R_{CT} : Resistência do secundário do TC,

I_{SR} : Corrente nominal secundário do TC,

K_{TD} : Fator de dimensionamento transitório, definido pela equação:

$$K_{TD} = \frac{\omega T_P T_S}{T_P - T_S} \cos \theta \left(e^{-\frac{t_{al}}{T_P}} - e^{-\frac{t_{al}}{T_S}} \right) + \sin \theta e^{-\frac{t_{al}}{T_S}} + 1 \quad \text{Para ciclo CO}$$

$$K_{TD} = \left[\frac{\omega T_P T_S}{T_P - T_S} \cos \theta \left(e^{-\frac{t'}{T_P}} - e^{-\frac{t'}{T_S}} \right) + \sin \theta e^{-\frac{t'}{T_S}} + 1 \right] + \frac{\omega T_P T_S}{T_P - T_S} \cos \theta \left(e^{-\frac{t''_{al}}{T_P}} - e^{-\frac{t''_{al}}{T_S}} \right) + \sin \theta e^{-\frac{t''_{al}}{T_S}} + 1 \quad \text{Para ciclo CO CO}$$

$$\theta = \gamma - \varphi$$

Onde:

γ : Ângulo de início da falta, conforme a cossenoide de corrente de curto definida na norma IEC 61869-2 (4).

φ : ângulo de fase da impedância de curto circuito do sistema,

ω : velocidade angular do sistema,

T_P : Constante de tempo da componente DC do curto circuito primário,

T_S : Constante de tempo do circuito secundário do TC, definida pela equação:

$$T_S = \frac{L_m}{R_B + R_{CT}}$$

Onde:

L_m : Indutância de magnetização do TC, definida pela equação:

$$R_B = 2 \cdot Z_{cabo} + Z_{relé}$$

$$L_m = \frac{V_S}{I_m \omega}$$

Onde:

I_m : Corrente de magnetização do TC no ponto de saturação.

Conforme as equações acima, o máximo fator de dimensionamento ocorrerá quando $\cos(\gamma - \varphi) = 1$.

Contudo, conforme a baixa probabilidade de faltas deste tipo com tensões de valor instantâneo próximas ao zero, a componente CC será limitada a 80%.

Considera-se o ciclo CO (sem religamento) para faltas trifásicas e monofásicas com os valores máximos de curto-circuito nos barramentos da SE típica. Para o ciclo CO considera-se apenas faltas monofásicas na linha, sendo estas as verificadas na barra da SE típica.

Desta forma para faltas no barramento da SE típica, temos:

- Faltas trifásicas – ciclo CO:

$$L_m = 1,55H \quad T_S = 0,70s \quad K_{TD} = 6,47$$

$$(E_{al} = 457) \leq (E_S = 1218,97)$$

TC sem superação para faltas trifásicas.

- Faltas monofásicas – ciclo CO:

$$L_m = 1,55H \quad T_S = 0,70s \quad K_{TD} = 6,49$$

$$(E_{al} = 455,6) \leq (E_S = 1218,97)$$

TC sem superação para faltas monofásicas.

Desta forma para faltas monofásicas na Linha, temos:

- Faltas monofásicas – ciclo CO CO:

$$L_m = 1,55H \quad T_S = 0,70s \quad K_{TD} = 15,87$$

$$(E_{al} = 880,8) \leq (E_S = 1218,97)$$

TC sem superado para faltas monofásicas.

Verifica-se que para método completo com ciclo de religamento, com tempo morto de 500ms e considerando um cabo de bitola 10 mm², não haverá saturação do TC para os casos de curto-circuito com 80% de assimetria na barra ou LT, na relação 3000/5 A, para curto-circuito mono ou trifásico.

3.0 - CONCLUSÃO

Uma correta adequação da proteção de barramentos com a correta escolha do TC evita atuações indevidas da proteção de barras que possam impactar em desligamentos em cascatas de subestações estratégicas do SIN. Com a entrada de um novo vão os níveis de curto-circuito variam e dependendo pode ocasionar em novos ajustes das proteções de barramentos e dos demais vãos instalados. Sendo necessário revisão dos estudos da

subestação existente de uma forma geral como também uma verificação das relações de transformação dos TC's utilizadas nestes estudos existentes para evitar uma saturação para os novos níveis de curto circuito.

Em subestações existentes que necessitam da substituição da proteção de barras por não possuírem mais expansibilidade para os novos vãos sendo necessário instalar duas novas proteções de barras redundantes e que possuem TC's existentes com somente três núcleos de proteção podem se conectar em série a proteção de barras com uma das proteções da Linha de transmissão em um único núcleo do TC conforme consulta técnica realizada ao ONS (2).

Para as subestações existentes que não necessitam da substituição da proteção de barras por possuírem possibilidade de expansão não é necessário instalar proteções de barras redundantes mantendo-se a filosofia da proteção de barras já adotada pela subestação, evitando revisões em vãos existentes da subestação por motivos desta finalidade.

Para as subestações novas, em arranjo disjuntor e meio, sugerimos para as LT's de 500kV instalação de TC's com 5 núcleos, sendo 4 núcleos de proteção e 1 núcleo para a medição. Sendo que destes 4 núcleos de proteção, 2 seriam para as proteções de barras e os outros dois para proteções da LT. Sendo o único núcleo de medição para a unidade de controle do vão. Também tem-se como opção instalar TC's com 4 núcleos, 3 de proteção e um de medição, considerando pelo menos uma das proteções de barramento em série com uma das proteções das linhas de transmissão em um mesmo núcleo.

Para as subestações novas, em arranjo barra dupla ou barra principal e transferência, sugerimos o mesmo citado no parágrafo anterior para as LT's de 230KV.

Portanto, conhecer as possíveis atividades que podem surgir com o acesso há uma subestação pode auxiliar no planejamento financeiro correto evitando surpresas como elevados custos, gerados simplesmente pela necessidade da troca da proteção de barras e revisão de todos os vãos de uma subestação, além de custos com revisões de estudos de uma forma geral.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABNT NBR 9029: Emprego de relés para proteção de barramento em sistema de potência, 1985.
- (2) SUBMÓDULO 2.6 ONS – REVISÃO 2016.12 - Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção, 2016;
- (3) I ENCONTRO DE PROTEÇÃO E CONTROLE - ONS Julho de 2017 - Questionamentos / contribuições dos Agentes - http://publico.ons.org.br/encontro_protecao_2017.aspx (acesso em 17 de abril de 2019);
- (4) SILVA, S., PAULO, Investigação sobre os efeitos da saturação em transformadores de corrente de proteção, 2014;
- (5) IEC 61869-2 - Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers, 2012;
- (6) THVS SHENYANG CO.LTD, Excitation Characteristic test report, 2013;
- (7) ABNT NBR 6856 – Transformador de corrente – Especificação e ensaios, 2015;

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Juliana Kelly Castro de Sá, nascida em Belo Horizonte, graduada em Engenharia Industrial Elétrica pelo CEFET-MG em 2008 e especialista em Automação de Sistemas Elétricos pela UNA em 2015. Atuante na área de proteção, automação e projetos elétricos de subestações de transmissão e distribuição desde 2008. Experiência como projetista, coordenação de projetos, engenharia do proprietário. Premiação: Apresentação do projeto Impedância de Surto de condutores verticais com variação dos parâmetros (resistividade e frequência) do solo. A pesquisa Impedância de Surto de condutores verticais foi realizada com o incentivo da FAPEMIG. Esse projeto recebeu o prêmio de melhor pesquisa do PIBIC na III Semana de Ciência e Tecnologia do CEFET-MG. (Centro Federal de Tecnologia -CEFET-MG., 2006).