



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO -GDA

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GDS

**COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA:
ABERTURAS INDEVIDAS DE DISJUNTORES DE MAQUINA POR SURTO DE TENSÃO NA SE 500KV NOVA
PONTE**

**Marcos Baeta Miranda
CEMIG GT**

**Clovis Edson Alves
CEMIG GT**

RESUMO

A partir de meados de 2009, iniciou-se uma série de ocorrências na Casa de Força e SE 500kV da UHE Nova Ponte de propriedade das concessionárias Cemig GT e Plena, com desligamentos aleatórios de geradores durante faltas externas nas LTs de 500kV da região. Em nenhuma dessas ocorrências foram verificadas atuações de proteções dos geradores e LTs curtas de 500kV. Simultaneamente não houve também nenhum comando intencional de parada manual dos referidos geradores. Em todas as ocorrências os geradores ficaram operando a vazio na condição *spread no load*, com tensão e frequência nominais. A SE 500kV de Nova Ponte possui 3 geradores de 179MVA, 2 LTs de 500 kV da CEMIG GT (LT 500 kV NP- Jaguara, LT1 500 kV NP-Emborcação) e 4 LTs da PLENA (LT 500 kV NP-Estreito, LT 500 kV NP-Itumbiara, LT 500 kV NP-São Gotardo 2, LT2 500 kV NP-Emborcação) e de novembro de 2009 a setembro de 2010 aconteceram 9 ocorrências com abertura indevida de disjuntores de máquinas. Inicialmente, foram levantadas as hipóteses de operação indevida das proteções com falha de indicação das mesmas no sistema de supervisão da UHE. Essa hipótese foi rapidamente descartada após uma série de testes e verificações nos referidos circuitos tendo como referência os alarmes provenientes dos registros do SOE indexados pelo tempo do GPS. Um GRUPO DE ESTUDO foi formado, envolvendo equipes técnicas multidisciplinares, que teve como atribuição a busca de contribuições de conhecimentos recíprocos e esclarecimentos para solução dos problemas verificados, trabalhando no caso até a sua solução final. Todos os critérios de análises, levantamentos de prováveis causas, reuniões com as equipes de estudos de proteção, controle, de compatibilidade eletromagnética e de manutenção de campo, pertencentes às referidas empresas, bem como os intercâmbios de informações entre elas, gerou a realização de um grande estudo para eliminação do problema através dos contornos do fenômeno da compatibilidade eletromagnética, verificados e confirmados como causadores principais dos desligamentos indevidos dos geradores da UHE. Em função do nível de monitoramento dos RDPs da SE-500kV/UHE Nova Ponte houve a necessidade de instalação de registradores digitais adicionais conectados ao sistema de supervisão local e osciloscópios de última geração, bem como foram necessárias várias modificações nos circuitos envolvidos, resultando em subsídios para estudos mais aprofundados de compatibilidade eletromagnética para as atuais instalações e projetos futuros no que se refere às questões relacionadas ao aterramento, blindagens de cabos de proteção/controle e surtos de tensão provocados pelo aumento dos níveis de curtos-circuitos fase-terra externos à usina, como os verificados nas LTs de 500kV da região, provocados principalmente por um elevado número de queimadas durante um período intenso de seca na região do triângulo mineiro.

Esse trabalho tem a finalidade de mostrar o difícil caminho percorrido desde o início do aparecimento do problema até sua completa identificação e eliminação, através de atuação na sua causa básica, relacionada com a questão de compatibilidade eletromagnética, responsável pelos diversos desligamentos indevidos dos geradores da UHE Nova Ponte. Graças à moderna tecnologia de aquisição de dados foi possível registrar vários sinais de tensão induzida nas bobinas dos reles auxiliares observadas por oscilografias durante várias faltas próximas e distantes da UHE Nova Ponte possibilitando assim convergir os esforços para a solução do problema.

PALAVRAS-CHAVE

Compatibilidade eletromagnética, supervisão, aterramento, blindagens, curto-circuito

1.0 - INTRODUÇÃO

A UHE Nova Ponte situa-se no rio Araguari na região do Triângulo Mineiro próxima as cidades de Uberlândia e Araguari. A partir de meados de 2009, iniciou-se um série de ocorrências na UHE Nova Ponte da CEMIG e SE 500kV de propriedade das concessionárias CEMIG GT e PLENA, com aberturas indevidas dos disjuntores dos geradores durante faltas externas nas LTs de 500kV que partem da SE 500kV de Nova Ponte. Em nenhuma dessas ocorrências foram verificadas atuações de proteções dos geradores ou das LTs curtas de 500kV. Simultaneamente não houve também nenhum comando intencional de parada manual dos referidos geradores. Em todas as ocorrências os geradores ficaram operando a vazio na condição *spread no load*, com tensão e frequência nominais. A Se 500kV de Nova Ponte possui 3 geradores de 179MVA, 2 LTs de 500 kV da CEMIG GT (LT 500 kV NP- Jaguará, LT1 500 kV NP-Emborcação) e 4 LTs da PLENA (LT 500 kV NP-Estreito, LT 500 kV NP-Itumbiara, LT 500 kV NP-São Gotardo 2, LT2 500 kV NP-Emborcação) e de novembro de 2009 a setembro de 2010 aconteceram 9 ocorrências com abertura indevida de disjuntores de máquinas.

2.0 - ANÁLISE DO PROBLEMA

Identificar, interpretar e solucionar o problema de aberturas indevidas de disjuntores de máquinas sem atuação do sistema de proteção ou controle durante faltas nas LTs de 500kV de Nova Ponte. Relés auxiliares instalados nos circuito de abertura dos disjuntores de máquinas estariam susceptíveis a indução devido a questões compatibilidade eletromagnética.

2.1 - Histórico do problema

A partir da primeira ocorrência dia 12/11/09 que foi considerada como marco-zero do objeto desse estudo, houve uma falta na fase B para terra próximo a SE NOVA PONTE na LT NP_ITUM 500kV seguido de religamento satisfatório. É importante salientar que dentro da filosofia de seletividade de proteção, um gerador não pode desligar para uma falta externa, há não ser que haja uma falha da proteção de linha. Todavia para essa ocorrência, houve abertura correta dos disjuntores de linha 6U4 e 5U4 por atuação correta do sistema de proteção e também houve abertura indevida dos disjuntores 10U4 e 11U4 do Gerador 2, sem qualquer atuação do sistema de proteção da máquina. O gerador 2 não tem relacionamento com os circuitos de proteção ou controle da LT NP-Itumbiara 500kV. Não existe gerador ligado nesse bay como pode ser observado na figura 1.

Tabela 1 – HISTORICO E CLASSIFICAÇÃO DO PROBLEMA

LOCAL (500kV)	TIPO DE CURTO	LOCALIZAÇÃO	PROPR./DATA
LT NP-ITUMB - G2	FASE B/G	<20km NP	PLENA 12/11/09
LT NP-EMB1 - G2	FASE B/G	<20km NP	CEMIG 25/01/10
LT NP-ITUMB - G2	FASE C/G	<20km NP	PLENA 03/02/10
LT NP-ITUMB - G2	FASE A/G	<20km NP	PLENA 06/02/10
LT NP-EMB2 - G2	FASE B/G	<20km NP	PLENA 20/03/20
LT NP-ESTR - G2	FASE A/G	<20km NP	PLENA 25/7/10

Como historicamente nunca houve ocorrências similares em Nova Ponte, um grupo de estudo envolvendo a equipe de manutenção da SE e da Usina, técnicos da operação, planejamento e projeto, foi convocado para analisar a causa da abertura indevida dos disjuntores 10U4 e 11U4 sem atuação de nenhuma proteção do gerador 2. Um plano de ação foi formatado tendo como fatos iniciais os seguintes itens:

1-Analisar o circuito de proteção e controle da SE ou da Casa de Força buscando falhas de projeto que pudessem estar interligando o circuito de abertura dos disjuntores 10U4 e 11U4 (G2) com o bay de 500kV Itumbiara.

2-Buscar uma relação entre as ocorrências e o aumento dos níveis de curtos-circuitos no 500kV da SE em função da entrada dos novos bays de 500kV.

3- Reavaliar possíveis falhas no circuito de aterramento da SE NP

4- Reavaliar a possibilidade de problemas de compatibilidade eletromagnética

5- Observar qualquer tipo de anormalidade, a partir dessa data, usando o sistema de alarmes do sistema supervisor da SE, casa de força e COS da CEMIG.

2.1.1 Análise da configuração da SE Nova Ponte 500kV

Trata-se de uma subestação com configuração de disjuntor e meio e para cada gerador existe sempre uma linha conectada no mesmo vão. Logo existe sempre um mesmo disjuntor de meio para acoplamento de linha e gerador.FIG(2)

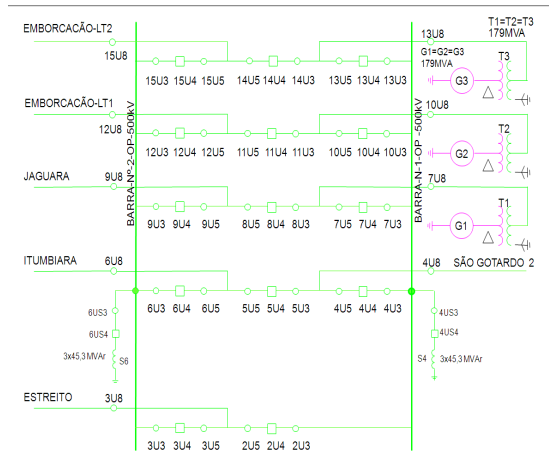


FIGURA 1 – Diagrama da SE 500kV de Nova Ponte

O projeto inicial da UHE Nova Ponte era constituído de uma Usina com 3 geradores de 179MVA e 2 linhas de 500kV interligando Nova Ponte com as Usinas de Emborcação e Jaguara de propriedade da CEMIG. No ano de 2009 foram executadas várias modificações na SE de 500kV para a expansão do pátio de 500kV para entrada em operação de mais 4 LTs de 500kV do agente acessante PLENA, interligando a UHE Nova Ponte às usinas de Itumbiara, Estreito, São Gotardo 2 e mais uma linha paralela de 500kV para a Usina de Emborcação.

2.1.2 Análise da filosofia de proteção de Nova Ponte 500kV

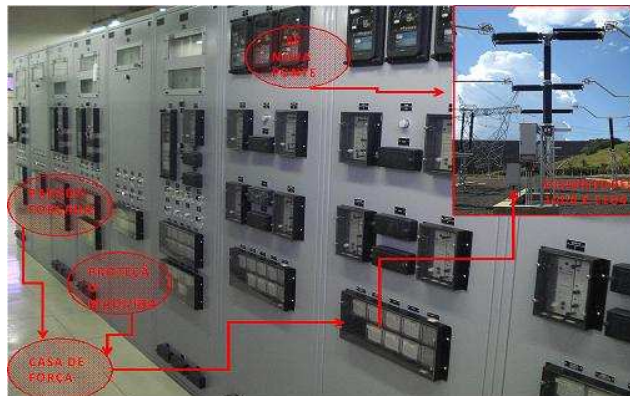


FIGURA 2 – Diagrama simplificado de um circuito típico de proteção e controle de disjuntor da SE Nova Ponte

A figura 2 mostra que qualquer atuação de proteção ou comando de abertura de gerador originados na casa de força da UHE Nova Ponte envia um sinal através de cabos de controle a uma distância de aproximadamente 1km, distância essa entre a Casa de Força e a SE 500kV NP. Entretanto todos os possíveis relés do circuito de proteção de gerador são monitorados pelo sistema digital, e em nenhuma ocorrência houve indicação de qualquer proteção da máquina 2. Um estudo dos circuitos de proteção, controle e comando dos disjuntores 10U4 e 11U4 foi minuciosamente elaborado buscando possíveis caminhos de um provável sinal de trip indevido, todavia, verificamos que todos os possíveis caminhos são bloqueados por diodos, os quais após inspeções, não apresentavam queima, danos ou rupturas que possibilitassem passagem para esse sinal de trip.

Cronologicamente é importante mostrar que quando há uma falta externa os relés de ABERTURA MANUAL (COMANDO) dos disjuntores 10U4 e 11U4 são sempre acionados incorretamente. Nesse ponto é importantíssimo frisar que esses relés só atacam quando há efetivamente um comando efetuado pela operação da Usina. Um outro ponto a ser observado é que seria impossível ocorrer um comandado pela casa de força de forma coincidente com o mesmo instante da ocorrência de falta externa nas LTs de 500kV. No caso exposto acima o sinal do SOE do comando 11U4AM_ABERTURA MANUAL-OPEROU teve uma duração de aproximadamente 60ms figura(3).

Para ocorrer a possibilidade de atuação indevida de algum relé de proteção do gerador, essa atuação teria que ser instantânea e não temporizada, contrariando nesse caso a filosofia de coordenação e seletividade do sistema de proteção dos geradores entre a casa de força e a subestação de 500kV.

Após uma criteriosa investigação e estudos detalhados dos circuitos de proteção e controle, tendo como referência o plano de ação, eliminamos qualquer hipótese de erro no projeto envolvendo a entrada de operação

das novas LTs de 500kV de Nova Ponte. A partir de então, a idéia de problema de proteção foi descartada e a idéia de se ter problemas vinculados a indução de tensão no cabo de controle de 1km entre a Casa de Força e a Casa de Controle da SE NP tornou-se a provável causa da abertura indevida dos disjuntores de máquina para faltas externas à UHE Nova Ponte. Entretanto um estudo mais aprofundado seria necessário e a implementação de uma monitoração adicional usando osciloscópios digitais rápidos e precisos foi previsto para os circuitos envolvidos, com o objetivo de capturar o provável sinal de trip indevido nos geradores

Normal	03/02/10 22:43:06.991	ALARM	11U	11U4AM_ABERTURA MANUAL - NORMAL
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.990	SOE	LT_12U	12U79_SC RELIG. UNID. VERIF. SINCRONISMO - LIGADA
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.989	SOE	LT_9U	9U79_SC RELIG. UNID. VERIF. SINCRONISMO - LIGADA
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.980	ALARM	10U	10U4 PARTIDA MOTO BOMBA FASE BR - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.976	SOE	10U	10U8T INTERTRAVAM. -COMANDO REMOTO - NORMAL
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.971	ALARM	11U	11U4 PARTIDA MOTO BOMBA FASE BR - OPEROU
Normal	03/02/10 22:43:06.970	ALARM	7U	7U8T INTERTRAVAM. -COMANDO REMOTO - NORMAL
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.965	4SDIG	11U	DISJUNTOR 11U4 - ABERTO
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.963	ALARM	11U	11U4 PARTIDA MOTO BOMBA FASE AZ - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.962	ALARM	10U	10U4 PARTIDA MOTO BOMBA FASE AZ - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.962	ALARM	11U	11U4 PARTIDA MOTO BOMBA FASE VM - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.959	TRIP	LT_9U	9U85S_R1 TELEPROT. SUPL. REC. CANAL C - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.959	4SDIG	10U	DISJUNTOR 10U4 - ABERTO
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.958	SOE	10U	10U3 INTERTRAVAM. -COMANDO REMOTO - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.958	SOE	10U	10U5 INTERTRAVAM. -COMANDO REMOTO - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.957	SOE	11U	11U3 INTERTRAVAM. -COMANDO REMOTO - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.957	SOE	11U	11U5 INTERTRAVAM. -COMANDO REMOTO - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.954	ALARM	LT_12U	12U85S_R1 TELEPROT. SUPL. REC. CANAL C - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.953	4SDIG	10U	DISJUNTOR 10U4 - INVÁLIDO
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.953	4SDIG	11U	DISJUNTOR 11U4 - INVÁLIDO
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.944	TRIP	LT_9U	9U85P_R1 TELEPROT. PRINC. REC. CANAL A - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.944	ALARM	LT_12U	12U85P_R1 TELEPROT. PRINC. REC. CANAL A - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.939	SOE	LT_9U	9U79_SC RELIG. UNID. VERIF. SINCRONISMO - DESLIGADA
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.939	SOE	LT_12U	12U79_SC RELIG. UNID. VERIF. SINCRONISMO - DESLIGADA
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.929	ALARM	11U	11U4AM_ABERTURA MANUAL - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.928	SOE	10U	10U8T INTERTRAVAM. -COMANDO REMOTO - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.927	ALARM	7U	7U8T INTERTRAVAM. -COMANDO REMOTO - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.923	ALARM	LT_9U	9U21P_LB BLOQUEIO P/ FALTA REVERSA - FALHA
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.917	TRIP	LT_9U	9U21S_LB BLOQUEIO P/ FALTA REVERSA - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.917	ALARM	LT_12U	12U21P_LB BLOQUEIO P/ FALTA REVERSA - OPEROU
Ocorrência	03/02/10 22:43:06.917	ALARM	LT_12U	12U21S_LB BLOQUEIO P/ FALTA REVERSA - OPEROU

FIGURA 3 – Seqüência de eventos (SOE) de uma ocorrência com abertura indevida dos disjuntores 10U4 e 11U4

3.0 - ESTUDO DA MALHA DE ATERRAMENTO E COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

A casa de força da Usina de Nova Ponte possui uma malha de aterramento própria e a nova malha de aterramento do agente acessante PLENA foi totalmente integrada a antiga malha da SE 500kV Nova Ponte. A malha de aterramento da Casa de Força é ligado ao neutro solidamente aterrado de tres trafos de 170MVA –sendo fortes fontes de corrente de sequencia zero durante um curto-circuito fase-terra externos.

3.1 Estudo do curto circuito pela antiga configuração da se nova ponte (3 geradores e 2 lts 500KV)

Simulação via programa de curto circuito ASPEN : Para um CC fase Terra na barra de 500kV de Nova Ponte tem-se uma corrente de aproximadamente 10kA e cada gerador contribui com 1,5kA como fonte de 3I0 para esse curto circulando pela malha de aterramento da casa de força.

3.2 Estudo do curto circuito pela atual configuração da se nova ponte (3 geradores e 6 lts 500KV)

Simulação via programa de curto circuito ASPEN : Para um CC fase Terra na barra de 500kV de Nova Ponte tem-se uma corrente de aproximadamente 20kA e cada gerador contribui com 1,6kA como fonte de 3I0 para esse curto circulando pela malha de aterramento da casa de força .

As simulações mostradas acima indicam que a entrada de mais 4 linhas de 500kV na barra de NP duplicou o nível de curto-circuito fase-terra, porem a contribuição de corrente de sequencia zero pelos geradores praticamente não se alterou.

3.3 Malha de aterramento em 500kv (casa de força e SE NP)

A casa de força da Usina possui uma malha de aterramento própria e a nova malha de aterramento do agente PLENA foi totalmente integrada à antiga malha da SE 500kV Nova Ponte.

Os cabos para-raios das torres das LTs de 500kV são conectados na malha de aterramento da SE NP e prolongam-se ate a casa de força da Usina onde terminam sem serem conectados a malha de terra da Casa de Força. Para interligação das malhas entre a casa de força e SE 500kV é usada a canaleta dos cabos de controle e comando e são utilizados Cabos de 70mm² de cobre. Um outro caminho de interligação das malhas é o aterramento do circuito auxiliar de 13.8kV, todavia, esse circuito possui uma impedância relativamente maior do que cabos de aterramento via cabos de 70mm². Outro caminho de interligação das malhas são as blindagens dos cabos de controle nos casos onde as duas extremidades das blindagens são aterradas



FIGURA 4 – ESQUEMA DA MALHA DE ATERRAMENTO

3.4 Inspeção das malhas de aterramento da casa de força de da se np e medidas para eliminação do problema

Foi realizada uma completa inspeção e medição nas malhas, conexões, bindagem das canaletas e aterramentos das canaletas metálicas da galeria de cabos das malhas de aterramento e nada de anormal foi encontrado. Entretanto após uma segunda inspeção com retirada de todas as tampas da canaleta entre a malha de terra da casa de força e o início da galeria de cabos descobriu-se que parte do cabo de aterramento da conexão com a malha da se 500kv se encontrava interrompido.

Diante desse fato e em função de novas ocorrências com aberturas indevidas dos disjuntores de máquina como é mostrado na tabela 1, várias ações e medidas subsequentes foram tomadas, entre elas destacam-se:

- Elaboração de estudo de indução de tensão circulante devido a corrente 3io em blindagem de cabos de controle.
- Implementação de temporização no campo, dos reles de comando de abertura dos disjuntores de máquinas (G1,G2 e G3).
- Instalação de osciloscópio digital para monitoração do sinal de indução na blindagem e bobinas dos reles de comando de abertura dos disjuntores dos geradores.
- Inspeção e retirada de qualquer duplo aterramento de blindagens em cabos de controle entre a Casa de Força e a SE Nova Ponte.
- Lançamento e reconexão dos cabos de aterramento de interligação das malhas de terra, conforme projeto original.

3.4.1 Estudo de indução de tensão por circulação de corrente 3io em blindagem de cabos de controle

Elevação do Potencial de Terra e Tensões Induzidas Eletromagneticamente:

Quando ocorre uma falta à terra, a corrente de falta de sequência zero se distribui através das fontes do sistema de aterramento do sistema de potência, tais como enrolamentos de transformador conectados em Y aterrado, capacitores derivação e a própria resistência de terra. A corrente de falta também retorna através de trajetos alternativos, tais como condutores de neutro, cabo de aterramento aéreo e blindagem dos cabos metálicos. As faltas à terra produzem tensões de elevação do potencial de terra (GPR), que a malha de terra de uma subestação alcança em

relação a um ponto de aterramento remoto. A Norma IEEE 80, "Guide for Safety in AC Substation Grounding", não especifica uma GPR máxima segura. No entanto, algumas concessionárias permitem GPR de até 20 kV. Além do mais, faltas à terra produzem tensões induzidas eletromagneticamente que podem ser transmitidas para cabos de comunicações metálicos. A magnitude depende da separação e da extensão da exposição indutiva entre a fonte e as linhas de comunicação, magnitude da corrente de falta e resistividade de terra. Mesmo sob condições normais, o ruído elétrico pode ser transmitido para os cabos de comunicação. O cabo blindado melhora a proteção contra ruído elétrico, porém não é imune às tensões induzidas, que são perigosamente altas para o equipamento ou pessoal, ver Figura 1. Em medições efetuadas de correntes circulantes em cabos de controle localizados dentro de conjuntos de manobra blindados sob condições de carga normais podemos observar que 10 amperes de desequilíbrio de corrente do primário resultaram em 0,1 ampere de corrente circulante na blindagem do cabo de proteção e controle. Portanto, durante uma falta desbalanceada de 10.000 amperes, 100 amperes circulariam no terra do cabo de comunicação. Esse grande fluxo de corrente poderia destruir as blindagens do cabo de controle, induzir tensões que podem romper o dieletrico de contatos de reles situados nas extremidades desses cabos, etc.

A elevada corrente circulante também poderia causar falhas ou erros de comando indevido de relés durante grandes correntes de falta.

Figura 3 ilustra a condição na qual a corrente circulante é induzida a partir de um condutor com alta corrente em um cabo de controle metálico paralelo. Suponha que haja uma corrente I circulando em um condutor, tal como uma linha principal de força dentro do conjunto de manobra blindado. Também supomos que o cabo de controle que liga os dois dispositivos esteja aterrado nas duas extremidades. A corrente I que circula no condutor que leva a corrente produz fluxo magnético (Lei de Ampere). A força eletromotriz (fem) é produzida quando uma malha metálica fecha o fluxo magnético (Lei de Faraday). Tendo em vista que a malha é metálica, uma corrente circula na mesma e a magnitude desta corrente é proporcional à fem e à resistência da malha.

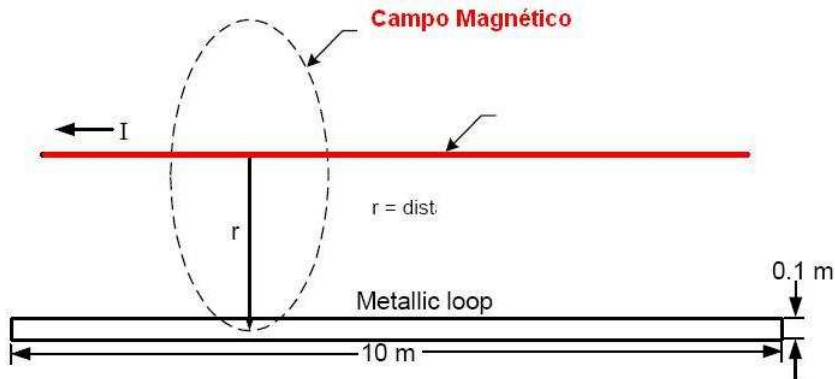


FIGURA 5 – Corrente em um Condutor induzindo tensão no circuito paralelo

A Lei de Ampere declara que o fluxo magnético produzido pelo condutor é proporcional à corrente no condutor e inversamente proporcional à distância em relação ao condutor.

Para calcular a corrente da malha, divida a fem induzida pela resistência da malha.

$$i_{loop} = \frac{\mu_0 \cdot f \cdot I \cdot s}{r \cdot R_{loop}} \quad [A] \quad i_{loop} = \frac{7,54 \cdot 10^{-5} \cdot I \cdot s}{r \cdot R_{loop}} \quad [A] \quad (8)$$

para 60HZ

A título de exemplo, vamos supor que $I = 10 \text{ A}$, $f = 60 \text{ Hz}$ (f), $s = 1 \text{ m}^2$, $r = 1 \text{ m}$, e $R_{loop} = 0,01\Omega$. Para este exemplo, a corrente induzida na malha metálica é 0,0754 A.

Para uma magnitude de corrente de falta de 10 kA e usando a mesma área da malha e distância em relação ao condutor de corrente, **$i_{loop} = 75 \text{ A}$** !

3.4.2 Temporização dos relés de comando de abertura dos disjuntores de máquinas (G1,G2 E G3)

Como foi mostrado, os relés que estavam atuando indevidamente eram exclusivos da linha de controle e comando de parada forçada de máquina, isto é, sua função é exclusivamente enviar comando de abertura dos disjuntores de máquina somente depois de todas as funções relacionadas a parada de máquina terem sido realizadas. A ultima função dessa sequência é abrir os disjuntores de máquina, uma função que no mínimo demora mais de 10 segundos. Nesse momento é importante lembrar que no registro digital de informações esse sinal aparece por menos de 100ms, durante as operações indevidas para faltas externas nas LTs de 500kV.

Analizando esse circuito foi realizada uma modificação acrescentando um timer por PICKUP de 1 segundo na saída dos contatos dos relés que estavam atuando indevidamente, isso significa que caso um sinal indevido provocado por indução de tensão durante um curto-circuito venha a provocar a energização do rele, o seu contato só ira atracar caso o sinal se mantenha ativo por mais de 1s. Essa solução agiria como um filtro evitando sempre a abertura indevida dos disjuntores. Essa solução, solucionaria o problema, porém, a origem do problema exigiria ainda um estudo mais apurado buscando eliminar sua causa.

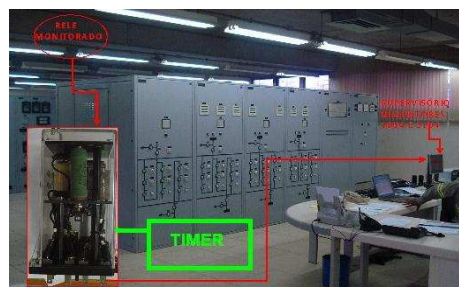


FIGURA 6 – Circuito de comando de parada de máquina

3.4.3 Inspeção e retirada de qualquer duplo aterramento em cabos de controle entre a casa de força e a SE NOVA PONTE.

Foram retirados todos os duplo aterramento das blindagens dos cabos que conectam sinais da Casa de Força à SE Nova Ponte

3.4.4 Instalação de osciloscópio digital para monitoração do sinal de indução na blindagem e bobinas dos relés de comando de abertura dos disjuntores dos geradores

Um grande passo para o entendimento do problema de indução de tensão durante um curto-circuito foi a instalação de osciloscópios digitais na SE Nova Ponte na extremidade dos cabos com comprimento de 1km. Ao invés de monitorar somente os contatos dos relés pelo sistema digital, foi monitorado a bobina do relé. Essa monitoração buscou efetivamente registrar exatamente o comportamento da onda de tensão na qual teria possibilidade de atracar um relé de características elétricas no qual exigisse uma relativa potência e manter essa potência para que a bobina mantivesse atracada com uma tensão acima de 70V, suficiente para ocorrer o seu pickup. Usando os RDPs das LTs obtemos também o registro e o tipo do curto-circuito, de forma que quando comparassemos os registros haveria uma confirmação de que a tensão induzida seria proporcional a intensidade do curto-circuito.

Caso ocorresse um curto-circuito muito próximo de Nova Ponte a tensão induzida seria muito alta e capaz de atracar e manter o rele atracado, isso seria explicado devido ao alto valor da contribuição de corrente de sequência zero passando pela blindagem dos cabos de comando provenientes da Casa de Forção em direção a malha de aterramento da SE Nova Ponte. Caso o curto-circuito fosse mais distante de Nova Ponte a tensão induzida seria muito baixa e incapaz de atracar e manter o rele atracado, isso seria explicado devido ao baixo valor da contribuição de corrente de sequência zero passando pela blindagem dos cabos de comando provenientes da Casa de Forção em direção a malha de aterramento da SE Nova Ponte.

Abaixo mostramos exatamente um registro de um curto-circuito na LT 500kV, circuito de saída para Estreito, fase B para terra a menos de 10km de Nova Ponte provocada por queimada. No mesmo tempo temos em seguida um registro da tensão induzida na bobina do rele de abertura do disjuntor 10U4.

É importante notar que a tensão induzida tem exatamente 60HZ e seu nível de tensão passa dos 70V necessários para atracar o rele e mante-lo operado.

O tempo de duração do curto-circuito foi de aproximadamente 50ms.

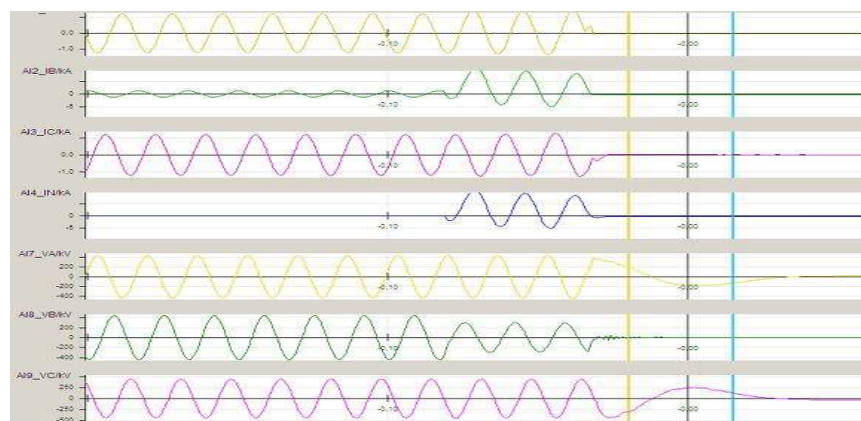


FIGURA 7 – REGISTRO DO CURTO-CIRCUITO NA LT PARA ESTREITO

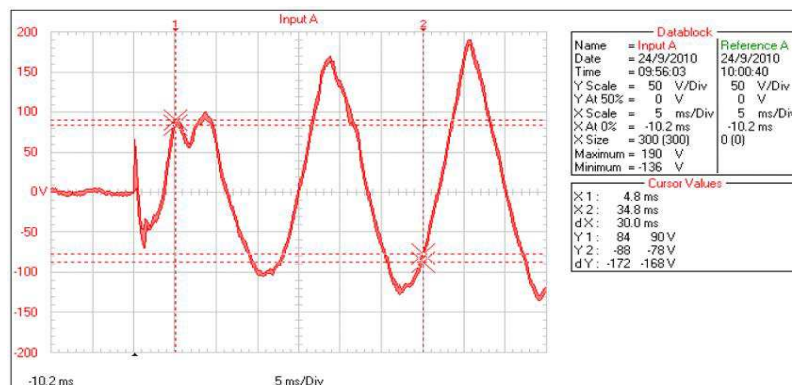


FIGURA 8 – REGISTRO DA INDUÇÃO DA TENSÃO PROVOCA DA CORRENTE NA BLINDAGEM DO CABO DE COMANDO DE ABERTURA DO DISJUNTOR 10U4

3.4.5 Lançamento e reconecção dos cabos de aterramento de interligação das malhas de terra entre a casa de força e SE 500kV.

Cabos de aterramento que estavam faltando por provável furto., finalizando a interligação das malhas de aterramento entre a Casa de Força e a SE 500kV de Nova Ponte.



FIGURA 9 – FOTO DO LANÇAMENTO DE CABO PARA INTERLIGAÇÃO DAS MALHAS DE ATERRAMENTO DA CASA DE FORÇA A SE 500kV DE NOVA PONTE.

4.0 - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A partir do trabalho mostrado acima, podemos notar que a presença de corrente de sequência zero nas malhas de aterramento e principalmente na blindagem de cabos pode induzir uma tensão capaz de sustentar o atracamento de robustos relés de comando e controle. Esse fenômeno pode ser provocado por aterramento das blindagens nas duas extremidades de cabos muito longos quando conectam malhas de aterramento distintas. Caso ocorra alguma ruptura de cabos de aterramento de interligação de malhas, haverá um aumento significativo nas correntes circulantes pelas blindagens dos cabos de comando e controle e como consequência um aumento na tensão induzida podendo provocar atuação indevida de relés que se encontram nessas extremidades.

A partir das ações mostradas acima não houve mais aberturas indevidas de disjuntores de máquinas na SE Nova Ponte desde outubro de 2010 até fevereiro de 2011, sendo que a partir dessa data já aconteceram 12 faltas externas em LTs de 500kV da SE Nova Ponte.

Recomendamos não usar comando com blindagens metálicas fora da casa de controle em uma subestação. Aqui estão algumas das possíveis consequências de fazer isso:

1. Risco de choque ou indução de tensão por corrente de sequência zero.
2. Danos à proteção e controle
3. Danos aos circuitos de comunicações

Uma solução rápida para a diminuição do fluxo de corrente circulante em uma blindagem de cabos de comando e controle é simplesmente desconectar a conexão de terra em uma ou ambas as extremidades de um cabo de comando e controle.

Estabelecer procedimento periódico de monitoração de tensão induzida em longos cabos de comando usando osciloscópio digital.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANSI/IEEE Standart 367-1987, IEEE Recommended Practice for Determining the Electrical Power Station Ground Potencial Rise and Induced Voltage from a Power Fault.
- (2) Graham Clough, Tony Guilante, Jay Gosalia, Basic Communications for the Relay Engineer, 20th Annual Western Protective Relay Conference, October 1993, Spokane, WA, USA
- (3) Prevenção de Problemas de Indução Magnética em Cabos de Comunicação, Jeff Roberts and Mark Weber, SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES.
- (4) Interferência Eletromagnética, Sanches, Durval, Brasil

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Marcos Baeta Miranda

Especialista em Engenharia Elétrica de Proteção de Sistemas Elétricos da área de Planejamento da Operação da GEMIG GT, graduado em Engenharia Elétrica pela UFJF (1987) Pós-Graduação em Sistemas Elétricos de Potência pela UFMG (2010).

Trabalhos publicados no SNPTEE, STPC e no 10th International Conference on Developments in Power System Protection, Manchester, UK

Clovis Edson Alves

Especialista em Engenharia Elétrica de Proteção de Sistemas Elétricos da área de Planejamento da Operação da GEMIG GT, graduado em Engenharia Elétrica pela UFMG (1981) MBA pela FGV.

Trabalhos publicados no SNPTEE e STPC