



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

GPC - 12
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

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

**NOVA METODOLOGIA DE ENSAIOS PARA SISTEMAS DE PROTEÇÃO BASEADA EM ARQUIVOS DE
FALTA NO FORMATO COMTRADE.**

Gilberto Luiz Kanning

COPEL GERAÇÃO

RESUMO

A crescente aplicação dos sistemas de proteção digital e seus inúmeros recursos determinaram que os modos de testes de suas funções fossem reavaliados no sentido de se adaptar não somente as necessidades destes novos sistemas de proteção, mas também a filosofia de manutenção aplicada pela Copel baseada na confiabilidade. Por estas razões, elaboramos uma metodologia de ensaio para sistemas de proteção que tem como principais características a praticidade, a confiabilidade e a rapidez de execução, garantindo desta forma, o teste de todas as funções de proteção e seus recursos nas condições mais próximas possíveis das perturbações que acontecem na prática.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção – Ensaios – Comtrade – Confiabilidade - Metodologia

1.0 - TERMINOLOGIA

No texto usaremos com freqüência os seguintes termos:

Confiabilidade: Conjunto de atributos que evidenciam a capacidade do sistema de proteção de manter seu nível de desempenho sob condições estabelecidas durante um período de tempo estabelecido.

Teste de Sistema: Processo de testar um sistema integrado de hardware e software para verificar se o sistema satisfaz seus requisitos especificados.

RDP: Registrador Digital de Perturbação. Equipamento que registra no formato COMTRADE e/ou outro formato proprietário, a evolução das tensões, correntes e saídas digitais na ocorrência de uma perturbação no sistema elétrico.

Arquivos de Falta: São os transitórios gravados, que representam uma falta no sistema elétrico, gerados por software, registradores digitais e relés. Com estes arquivos podemos além de visualizar a evolução do defeito para uma análise da ocorrência, reproduzi-lo novamente no sistema de proteção através de um ensaiador de relés, o que facilita sobremaneira a avaliação do sistema de proteção para os diferentes defeitos a que o sistema está sujeito.

COMTRADE: Termo criado pela IEEE - Power Engineering Society- para designar o formato com que os arquivos de falta são gravados pelos softwares, registradores digitais e relés, capazes de serem reproduzidos e/ou editados

*Rua José Izidoro Biazzetto, 158 - Bloco A - CEP 81200-240 - Curitiba - PR - BRASIL
Tel.: (041) 331-3673 - Fax: (041) 331-3666 - e-mail: gkanning@copel.com

por equipamentos e softwares comerciais de diversos fabricantes. Este padrão já está consolidado mundialmente e praticamente qualquer dispositivo de proteção digital, registrador, ensaiador, etc. opera com este formato. Em inglês: IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange for Power Systems.

2.0 - INTRODUÇÃO

Conforme citado anteriormente, a metodologia de teste de sistemas de proteção que será apresentada, está baseada nos critérios de confiabilidade, visando assim garantir que, após os testes todas as funções dos relés de proteção e seus equipamentos auxiliares sejam verificados. Para isso, foi necessária a criação de uma planilha de testes que verificasse a resposta ou o comportamento deste sistema de proteção para todos os possíveis modos de falha do sistema elétrico.

Na simulação dos modos de falha do sistema elétrico, tentamos inicialmente aplicar os recursos disponíveis pelos fabricantes nas caixas de teste digitais, mas com o tempo percebemos que alguns deles estavam muito limitados neste sentido, e por esta razão não atendiam completamente aos objetivos dos testes, além do que, diferentes fabricantes exigiriam diferentes modelos de teste prejudicando assim a padronização dos ensaios. Para contornar estes problemas, passamos a aplicar os recursos de reprodução de arquivos em COMTRADE, disponíveis nestes equipamentos, e desenvolvemos os softwares necessários para a criação destes arquivos. A metodologia de ensaio desenvolvida, que é o objeto deste trabalho, permitiu padronizar totalmente os ensaios e garantiu a execução dos mesmos com qualquer equipamento que seja apto a reproduzir sinais neste formato.

Para a verificação da resposta dos relés de proteção frente aos modos de falha do sistema elétrico, como é o caso de curtos-circuitos, subtensões, power-swing, sobrecorrentes, perda de excitação, etc, utilizamos os arquivos de falta ou transitórios gerados por softwares no formato IEEE COMTRADE, ou obtidos do sistema elétrico através dos RDP's, conforme comentado acima, que simulam estas condições de defeito e ao mesmo tempo verificam os ajustes das respectivas funções de proteção. Na verificação dos ajustes estabelecemos inicialmente uma tolerância máxima para a resposta de cada função. Por exemplo: Ao definir uma tolerância máxima de +/- 2,5% significa dizer que no final dos testes, o sistema está respondendo corretamente dentro deste limite. O limite considera a soma dos erros intrínsecos da função de proteção testada, do equipamento utilizado no ensaio e da tolerância admitida para a resposta. Por esta razão a planilha de ensaios não solicita a anotação dos valores de operação das funções, apenas se a função atuou corretamente (dentro da tolerância adotada) ou não.

Para a verificação dos modos de falha dos componentes auxiliares da proteção utilizamos estes mesmos testes simultaneamente para confirmar as atuações esperadas de cada ensaio.

Diferentemente dos testes convencionais onde os ensaios estão focados apenas no relé de proteção, com a metodologia apresentada, os sinais de tensão e corrente são aplicados diretamente nas entradas do painel, e a atuação das funções de proteção ocorre diretamente nos seus dispositivos auxiliares, descartando, desta forma a utilização de contatos para medição dos tempos, que nem sempre estão disponíveis no campo. Assim como nas ocorrências reais do sistema elétrico, todo o sistema de proteção fica envolvido com os testes, o que garante ainda mais a confiabilidade dos resultados. Procedendo desta forma, conseguimos uma substancial economia de tempo e simplificamos os ensaios.

De um modo geral, esta metodologia de ensaio caracteriza-se por permitir a realização do teste do sistema de proteção completo, portanto um "teste de sistema", simples e rápido na execução, e com um nível de confiabilidade superior aos testes convencionais justamente por estar sendo realizado nas condições mais próximas possíveis dos casos reais de defeito do sistema elétrico, sem a necessidade de troca de ajustes ou bloqueio de funções, e com a mínima intervenção necessária nos circuitos elétricos da proteção.

3.0 – DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS:

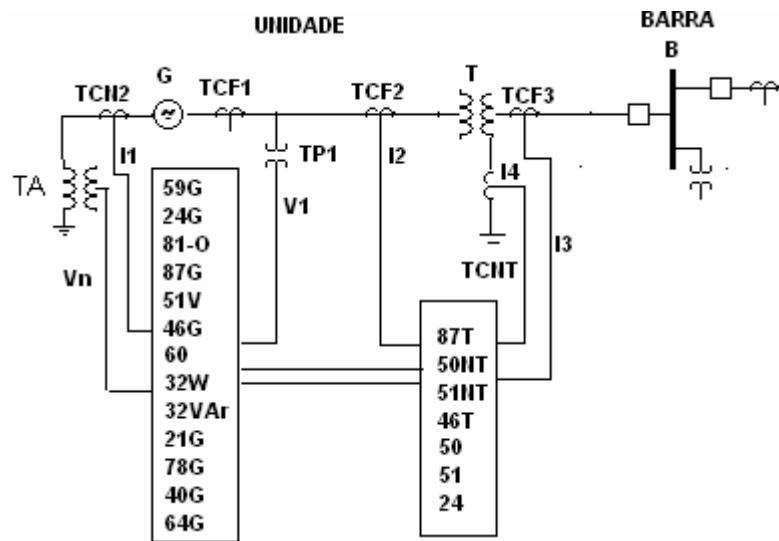
No ensaio de um sistema de proteção precisamos verificar o ajuste das funções nos seus valores de partida e disparo, além do que, certificar-se de que o disparo destas funções esteja atuando corretamente nos equipamentos determinados pela lógica operacional aplicada a este sistema. Para isto são efetuados três tipos de ensaios conforme descritos na seqüência.

3.1 – ENSAIO DOS AJUSTES DAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO EM SEUS VALORES LIMITES DE NÃO OPERAÇÃO:

Este primeiro ensaio irá simular, no sistema de proteção, o comportamento do sistema elétrico nas condições limites de não operação, ou seja, aplicar os sinais de tensão e corrente numa seqüência definida, de tal forma que não ocorra a sensibilização das funções. Neste ensaio os valores aplicados estão abaixo do valor de operação na tolerância adotada.

O software "PROTEÇÃO" gera uma seqüência de eventos formando um arquivo de falta, em formato COMTRADE, que simula o comportamento do sistema elétrico em condições de excitação da unidade, sobretensão, curto-circuito, sincronismo, rejeição de carga, etc.

Tomando como exemplo o sistema mostrado abaixo:



Ensaio nas proteções do gerador:

Para todas as funções de proteção mostrada acima serão efetuados os testes, através de um arquivo de falta composto dos eventos listados abaixo.

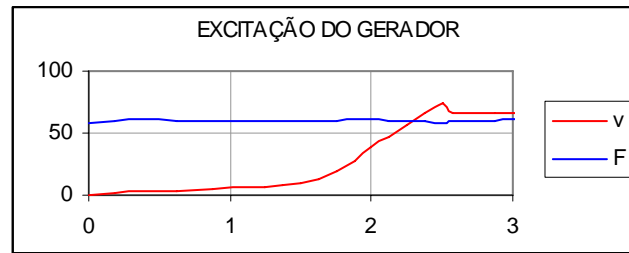
- 1- EXCITAÇÃO DO GERADOR – utilizando as curvas de excitação gravadas pelos RDP's que fazem parte do banco de dados do software "PROTEÇÃO";
- 2- Duas sobretensões para teste de partida das funções 59-1 e 59-2;
- 3- Uma condição de sobre-excitação para o teste de partida das funções 24;
- 4- Uma condição de sobrefrequência para o teste de partida das funções 81 O;
- 5- SINCRONISMO DO GERADOR COM O SISTEMA - utilizando as curvas de sincronização gravadas pelos RDP's que fazem parte do banco de dados do software "PROTEÇÃO", e a partir deste momento uma saída digital simula a condição de disjuntor fechado;
- 6- Uma condição de corrente diferencial para teste do ajuste de "mínimo Id";
- 7- Duas condições de corrente diferencial para teste dos ajustes de "slope 1 e 2";
- 8- Uma condição de sobrecarga para o teste de partida da função 51V;
- 9- Duas condições de desequilíbrio de corrente para o teste de partida da função 46T e 46DT;
- 10- Uma condição de falha de fusível para o teste da função 60;
- 11- Uma condição de inversão de potência ativa o teste de partida da função 32W;
- 12- Uma condição de inversão de potência reativa para o teste de partida da função 32Var;
- 13- Duas condições de curto circuito para o teste de partida das funções 21G-Z1 e 21G-Z2 que pode ser gerada pelo software "CURTO-CIRCUITO" ou gravada pelos RDP's disponíveis no banco de dados;
- 14- Uma condição de balanço de potência, ou perda de sincronismo para o teste da função 78, que pode ser gerada pelo software "IMPEDÂNCIA" ou gravada pelos RDP's disponíveis no banco de dados;
- 15- Duas condições de perda de excitação para o teste de partida das funções 40G-1 e 40G-2; com o software "IMPEDÂNCIA";
- 16- Duas condições de falha a terra no gerador para o teste de partida das funções 64G 95% e 64G 100%;
- 17- E finalmente uma REJEIÇÃO DE CARGA (100%) - utilizando as curvas de rejeição gravadas pelos RDP's que fazem parte do banco de dados do software "PROTEÇÃO", sendo que neste momento uma saída digital irá simular a abertura do disjuntor.

Todos os eventos listados acima serão reproduzidos no sistema de proteção na seqüência mostrada, sem interrupção entre eles, através de um único arquivo em COMTRADE com o qual serão atingidos os limites máximos de não operação das funções (ensaio 1 denominado PG_n na planilha).

Na seqüência comentaremos os aspectos importantes acerca de alguns eventos.

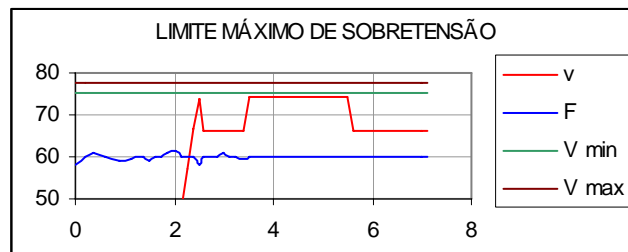
PRIMEIRO EVENTO: Excitação do gerador:

Na representação abaixo temos uma curva típica de excitação de gerador representando a tensão terminal. O transitório relativo a este evento foi obtido por um RDP:



SEGUNDO EVENTO: Sobretensão

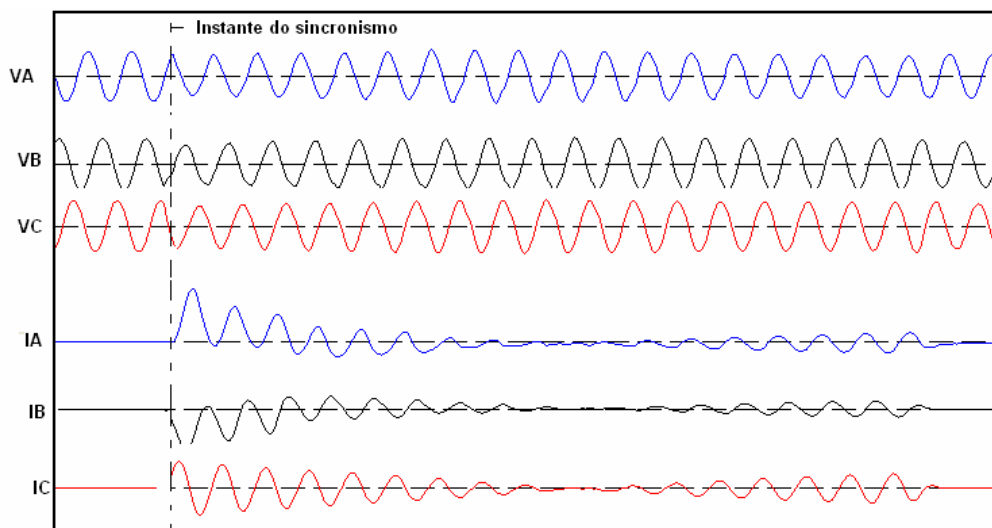
Após a excitação, é gerada uma sobretensão conforme mostrado abaixo que se aproxima do seu limite mínimo de operação, representado pelo sinal V min.



O TERCEIRO E QUARTO EVENTO, sobreexcitação e sobrefrequência, são executados na seqüência, da mesma forma que mostrada acima para a função 59.

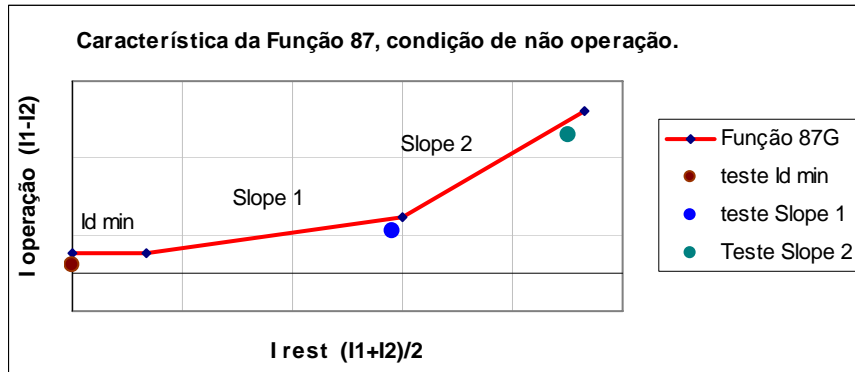
QUINTO EVENTO: Sincronismo do gerador com o sistema:

Após o quarto evento, ocorre o sincronismo do gerador, e uma saída digital informa o sistema de proteção que o disjuntor fechou. Abaixo representamos graficamente um sincronismo que aconteceu acidentalmente, (fora de fase em aproximadamente 40 graus), obtido pelo RDP. Nesta ocorrência houve a atuação indevida da função diferencial pela presença da componente contínua nas correntes IA e IB. Portanto este registro passou a fazer parte dos ensaios das proteções, pela importância que representa.



EVENTOS 6, 7 e 8: TESTE DOS LIMITES DE NÃO OPERAÇÃO DA FUNÇÃO DIFERENCIAL.

Na seqüência do quinto evento, são aplicadas as seis correntes de tal forma que representem, para a função diferencial, os pontos indicados no gráfico abaixo, situação em que não deverá ocorrer a atuação desta função.

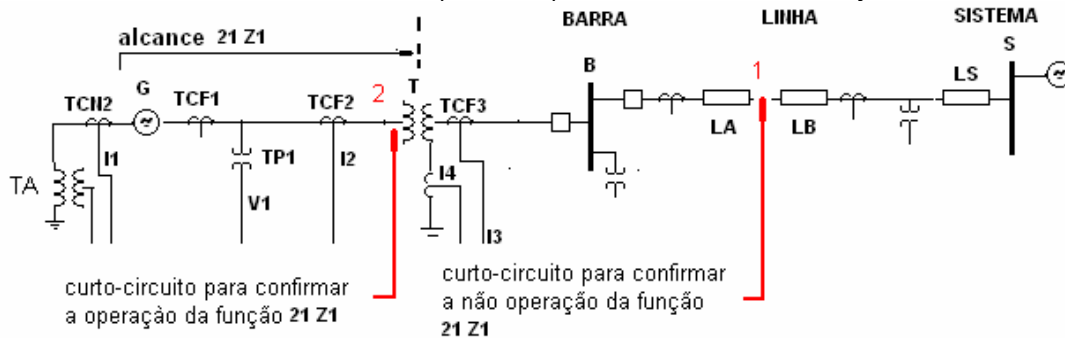


Os demais eventos seguem o mesmo tratamento dos anteriores, porém vale a pena comentar sobre os recursos disponíveis para a simulação de curto-circuito, e das condições dinâmicas do sistema.

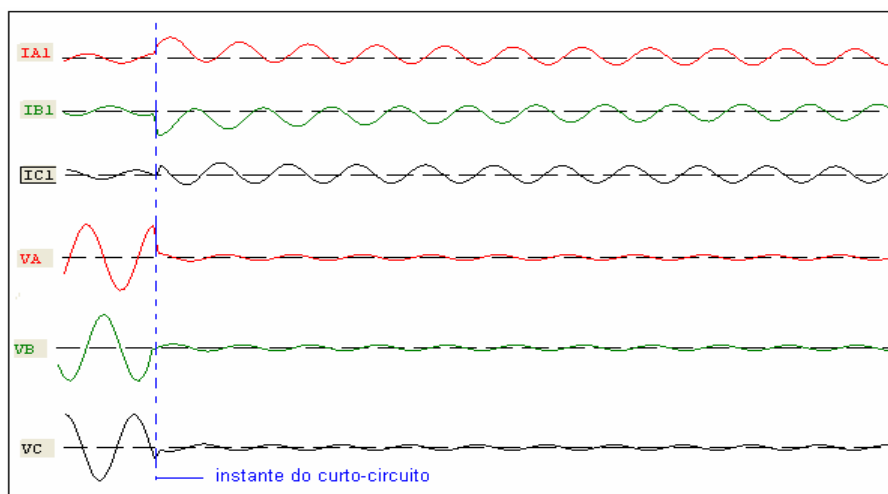
EVENTO 13: Teste das funções 21G-Z1 e 21G-Z2

Com o software "CURTO-CIRCUITO" podemos gerar os transitórios para este evento.

Considerando o sistema mostrado abaixo em que está representado o alcance da função 21 Z1:

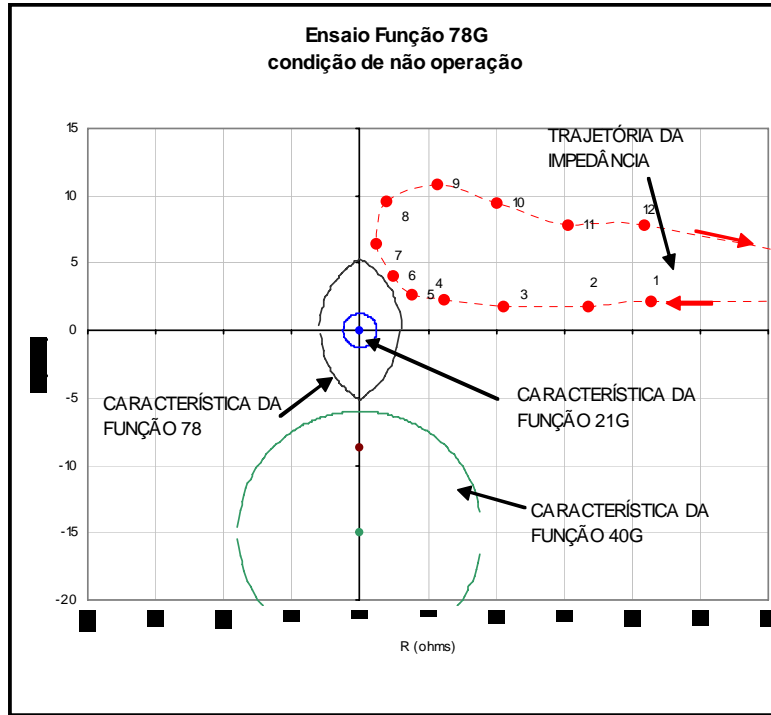


Sendo o alcance da função 21 até o transformador, escolhemos o ponto 1 por estar fora do alcance da função 21 Z1 afim de simular um defeito na linha próximo a barra. O defeito será reproduzido no sistema de proteção da forma mostrada abaixo:



EVENTO 14- Teste da função 78G, Perda de Sincronismo ou balanço de potência:

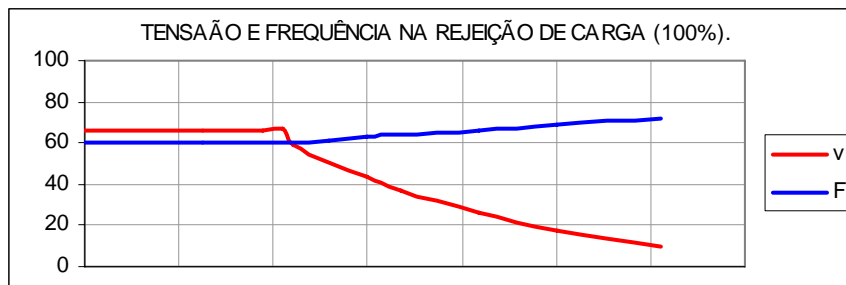
Todos os testes são criados a partir da característica gráfica das funções. Cada função de proteção, por mais complexa que seja, em sua representação gráfica permite criar os testes necessários, inclusive das funções que operam de forma dinâmica como por exemplo a função 78 ou pole-sleeping. Para estas funções desenvolvemos o software "IMPEDÂNCIA" que reproduz o formato COMTRADE em sinais de tensões e correntes, a variação precisa de um vetor no plano RX (em seqüência positiva), conforme mostrado no gráfico abaixo.



No gráfico acima, estão representadas as características das funções 21, 78 e 40. Em vermelho, tracejado, a trajetória do vetor impedância. Com este software podemos variar livremente os pontos em vermelho, que representam a trajetória da impedância através do mouse, e entre cada um dos pontos podemos definir o tempo do percurso independentemente. Este é um recurso muito útil para ensaiar as funções de proteção que operam de forma dinâmica, permitindo testar qualquer parâmetro do ajuste. No caso mostrado acima este transitório será utilizado para a confirmação da não operação da função 78 pois o vetor impedância não ultrapassa a característica. O nível de precisão na reprodução deste sinal com o software IMPEDÂNCIA é excelente e permite ensaiar as mais diversas condições de ajustes das funções mostradas acima. Com este mesmo recurso, criamos o transitório para a função 40 do evento 15.

EVENTO 17: REJEIÇÃO DE CARGA

A curva abaixo representa uma rejeição de carga de 100% para uma máquina de 340MVA. A tensão decresce e a frequência aumenta com o tempo e atinge os valores ajustados para a função 81. Porém devem estar agora bloqueadas pelo status do disjuntor, assim como uma função 27 ou subtensão. Como o ensaio simula o estado do disjuntor, este teste de rejeição permite confirmar estes bloqueios.



Conforme comentado anteriormente, todos os 17 eventos listados fazem parte de um único arquivo de falta, que tem aproximadamente 90s de duração total e foi denominado de "PG_n" na planilha mostrada no item seguinte.

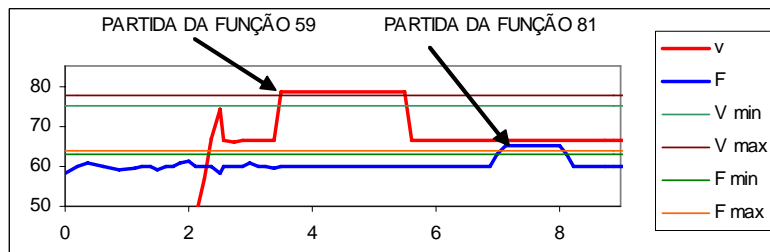
3.2 – ENSAIO DOS AJUSTES DAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO EM SEUS VALORES DE PARTIDA:

O arquivo de falta denominado “PG_p” irá compor os testes de partida para as funções temporizadas. Abaixo estão representadas algumas delas:

PARTIDA DA FUNÇÃO 59 e 81

Observe que o nível de sobretensão ultrapassa o limite máximo adotado e permanece pelo tempo necessário para que ocorra a sinalização de partida desta função sem que ocorra o disparo conforme mostrado abaixo.

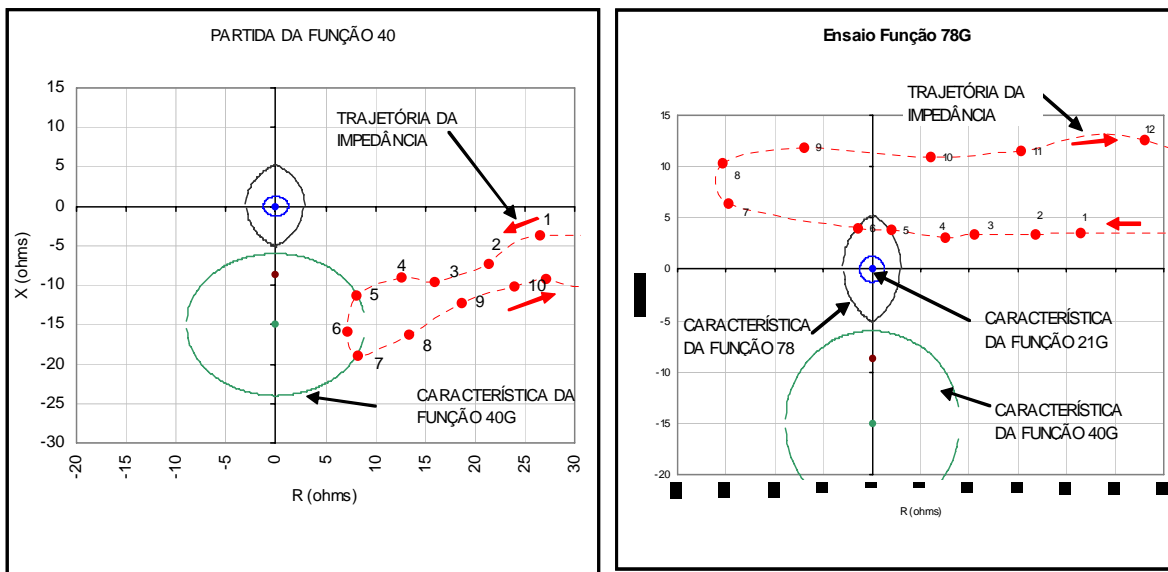
Na linha azul do gráfico, o valor da frequência ultrapassa o seu limite máximo para que ocorra a partida na tolerância adotada.



PARTIDA DA FUNÇÃO 40 e 78:

Para que ocorra a partida desta função, através do software “IMPEDÂNCIA”, criamos um transitório no qual a trajetória do vetor impedância entra na característica da função 40 através dos pontos 5, 6 e 7, com um tempo inferior ao tempo de disparo, Figura 1. Este transitório irá compor o arquivo de falta “PG_p” no evento 15.

Para a função 78, faremos com que a trajetória da impedância cruze a característica da função por um determinado tempo através dos pontos 5 e 6, Figura 2. Este transitório irá compor o arquivo de falta “PG_p” no evento 14.



As demais funções são tratadas da mesma forma que foi mostrada acima. Na seqüência temos a planilha de teste das condições de partida das funções:

Na planilha:

“PG_n” e “PG_p”: identificam os arquivos de falta criados para testar os ajustes de partida das funções de proteção;

NOME: O nome do arquivo de falta que reproduzirá os eventos;

TEMPO DE ENSAIO: O tempo total que o arquivo de falta leva para executar o ensaio;

COMENTÁRIO: Alguma observação importante sobre o ensaio que está sendo executado;

EFEITO ESPERADO: O que deve acontecer durante a execução do ensaio;

RESULTADO: Local para a anotação do resultado do ensaio. Único campo a ser preenchido pela equipe de manutenção.

ENSAIO	NOME	TEMPO DE ENSAIO	COMENTÁRIO	EFEITO ESPERADO	RESULTADO
1	PG_n	90 s	Simulação dos limites máximos permitidos para a operação do gerador sem a ocorrência de partida ou disparo de qualquer função.	nada	
2	PG_p	120 s	Simulação dos limites de operação do gerador em que deverá ocorrer apenas a sinalização de partida das funções listadas na seqüência ao lado.	Partida 59G_1	
				Partida 59G_2	
				Partida 24G_TI	
				Partida 24G_TD	
				Partida 81_O	
				Partida 51V	
				Partida 46_TI	
				Partida 46_TD	
				Partida 32W	
				Partida 32Var	
				Partida 40_Z1	
				Partida 40G_Z2	
				Partida 21G_Z1	
				Partida 21G_Z2	
Partida 78_Z1					
Partida 78_Z2					

3.3 – ENSAIO DOS AJUSTES DAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO EM SEUS VALORES DE TRIP OU DISPARO:

Finalmente, para o teste de disparo ou de trip das funções, são aplicados os transitórios de cada função individualmente a fim de verificar as temporizações dos ajustes, e confirmar os eventos relacionados a cada uma delas baseado no diagrama lógico de operação das funções. No total, para o ensaio das funções apresentadas teremos 19 arquivos de falta e o tempo de execução de todos os testes será inferior a 5 minutos, não contando com o tempo de preparação e ligações, que são comuns aos ensaios convencionais.

4.0 – CONCLUSÃO:

Esta metodologia de ensaios foi exaustivamente testada nos sistemas de proteção de unidades geradoras da Copel, e já está fazendo parte dos testes periódicos das usinas. Sua aplicação em sistemas de proteções de linha aponta as vantagens inerentes.

A simplicidade com que os ensaios são realizados, e sua padronização, independente do equipamento utilizado, atestam a viabilidade de aplicação desta metodologia, tanto pelo ganho real no seu tempo de execução, quanto pelas razões comentadas na seqüência.

O diferencial com relação aos métodos convencionais, está no fato de indicar que as proteções ensaiadas estão respondendo corretamente dentro de uma tolerância especificada (normalmente em torno de 2,0%), dispensando desta forma a medição de valores operacionais para preenchimento de planilhas, e também pelo fato de realizar os testes nas condições mais próximas possíveis do comportamento do sistema elétrico, com o aproveitamento de transitórios reais, sem que com isto o tempo de execução ou de indisponibilidade da unidade seja prejudicado.

Pelo fato dos ensaios estarem sendo executados com arquivos de falta no formato COMTRADE, e por ser este formato o padrão adotado mundialmente, temos a disposição uma infinidade de transitórios ou perturbações dos sistemas elétricos, que podem fazer parte da rotina de testes, e que também podem ser trocados entre as empresas ou áreas de manutenção a fim de otimizar ainda mais o trabalho de manutenção rotineira ou de casos especiais.

5.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.0 IEEE Standard Common Format For Transient Data Exchange, IEEE Standard C37.111-1999, March 1999
- 2.0 M. Kezunovic, Transient Test of Protection Relays: Results, Methodology, and Tools, IPST 2003, New Orleans, USA.
- 3.0 WILSON RADI MAFTOUM, MINORU IKEDA, CELSO FABRÍCIO DE MELO. A Metrologia e os Sistemas de Qualidade, LACTEC, 1999-CURITIBA
- 4.0 PAUL ANDERSON. Analysis of Faulted Power Systems; 1973 Iowa, USA
- 5.0 SIMONE FRAGA. Programando com o Excell 2000 ; Florianópolis 2001
- 6.0 MARCIO SOARES DE SOUZA. Confiabilidade Estratégica-Operação e Manutenção Baseadas em Confiabilidade-O&MBC – I Congresso Mundial de Manutenção- Abraman – Salvador 2002