



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

ELOI RUFATO JUNIOR	CARLOS M V TAHAN
Copel Distribuição S.A.	Universidade de São Paulo
eloi.ruffato@copel.com	cmvtahan@pea.usp.br

**REQUISITOS DE PROTEÇÃO PARA CONEXÃO DE MINI E MICRO GERAÇÃO NA REDE DE
BAIXA TENSÃO TESTES E PROCEDIMENTOS CASO COPEL**

Palavras-chave

Geração Distribuída
Micro Geração
Proteção
Relé Salto de Vetor

Resumo

Um projeto pioneiro no país para a geração descentralizada de energia elétrica com a utilização de biodigestores a partir de dejetos animais. O propósito da experiência é estudar a viabilidade técnica e econômica de implantação de biodigestores em propriedades rurais dedicadas à suinocultura para, com o gás metano produzido pela decomposição da matéria orgânica coletada, produzir eletricidade para consumo na própria instalação e, até, para venda do excedente à distribuidora local dos serviços.

Trata-se da geração de energia através da utilização de micro e minis geradores conectados na rede de baixa tensão a partir dos dejetos dos suínos usando biodigestores.

Para que possam estar conectados às redes da empresa distribuidora, essas unidades de geração distribuída, normalmente de baixa potência, requerem alguns cuidados especiais quanto à sua proteção elétrica e segurança – semelhantes aos sistemas e dispositivos que são instalados nas grandes usinas geradoras.

Para chegar ao protótipo instalado na Granja Colombari, região de Foz do Iguaçu, a Copel investiu em ensaios de campo, de laboratório e tecnologia sofisticada de estudos elétricos para garantir que a solução proposta de conexão dos micro-geradores à rede da empresa não resulte em problemas, mas que constitua uma solução.

1. Introdução

1. INTRODUÇÃO

O projeto está sendo desenvolvido e monitorado há cerca de três anos em uma Granja, na região de Foz do Iguaçu, e seu sucesso significa um triplo benefício. “Para os suinocultores, a geração de eletricidade em biodigestores seria uma fonte de receita adicional na sua atividade, enquanto a Copel teria reforçada as suas disponibilidades de energia para atendimento ao mercado”, tendo também como grande beneficiado o equilíbrio do meio ambiente, pois o aproveitamento dos dejetos animais em câmaras biodigestoras evita que esse material acabe indo para os rios, lagos e reservatórios e altere as propriedades da água, facilitando a proliferação de algas e de outros microorganismos nocivos à saúde.

O principal problema ambiental decorrente da criação de suínos é que seus dejetos são muito ricos em fósforo, que vem a ser justamente o principal nutriente das chamadas “algas azuis”, um tipo de floração que contamina e deteriora a água e que pode se ingerida ou mesmo pelo contato, causar sérios problemas à saúde de pessoas e de animais.

Para minimizar ou até eliminar esse problema, a alternativa mais lógica é evitar que tais resíduos cheguem aos cursos d’água. E isso pode ser feito de forma eficiente e produtiva mantendo esse material orgânico enclausurado, confinado em câmaras de biodigestão, onde ele se decompõe produzindo metano. Esse gás, altamente combustível, pode ser usado para aquecer água, produzir vapor e movimentar um gerador de eletricidade.

No caso da propriedade onde foram realizados os Testes, a potência disponível para geração de eletricidade é de 50 quilowatts – o suficiente para gerar energia para uso de 100 domicílios residenciais com padrão médio de consumo.

Uma das principais funções dos sistemas de proteção de geradores distribuídos conectados em redes de subtransmissão ou de distribuição de energia elétrica é desconectá-los tão logo uma situação de ilhamento seja detectada. O ilhamento ocorre quando parte da rede elétrica é desconectada do restante do sistema da concessionária, mas continua a ser energizada por um ou mais geradores distribuídos conectados a ela, formando um subsistema isolado da concessionária. Esta ocorrência deve ser evitada porque coloca em risco a segurança de pessoas e equipamentos e pode deteriorar a qualidade da energia entregue pela concessionária aos seus clientes. Este trabalho analisa e mostra os principais ajustes e testes realizados para avaliar e ajustar relés de proteção anti-ilhamento de geradores síncronos. [Viera, José Carlos, 2006]

Os principais relés utilizados para este tipo de conexão de geração de pequeno porte compreendem os relés de deslocamento de fase ou “salto de vetor”, relés de sub/sobrefrequência convencionais, relé 81 dF/dT e relés de sub/sobretensão.

Os projetos de geração descentralizada no meio rural historicamente esbarravam num sério problema de ordem operacional e de segurança: a geração em paralelo com as redes de distribuição da concessionária. Colocaria os eletricitas ao risco de grandes acidentes, pois a empresa perderia completamente o controle sobre o fluxo de energia elétrica em suas instalações.

Esse é o principal trabalho das equipes de técnicos e engenheiros da Companhia que participam do projeto: desenvolver um sistema ao menor custo possível capaz de gerar energia elétrica com segurança para o produtor rural e também para os eletricitas e demais encarregados de operar e manter as redes de distribuição.

Para que possam estar conectados às redes da empresa distribuidora, essas unidades de geração distribuída, normalmente de baixa potência, requerem alguns cuidados especiais quanto à sua proteção elétrica e segurança – semelhantes aos sistemas e dispositivos que são instalados nas grandes usinas geradoras.

Para chegar ao protótipo instalado na Granja Colombari, região de Foz do Iguaçu, a Copel investiu em ensaios de campo, de laboratório e tecnologia sofisticada de estudos elétricos para garantir que a solução proposta de conexão dos micro-geradores à rede da empresa não resulte em problemas, mas que constitua uma solução. A partir dos dejetos dos 3 mil suínos mantidos na granja, a operação do gerador é monitorada por oscilógrafos

A instalação vem sendo submetida a ensaios de campo, de curto circuitos e de operações nas Linhas de

Distribuição, com acompanhamento de técnicos da Copel, e os resultados obtidos têm sido bastante satisfatórios.

2. Desenvolvimento

1.1. DETECÇÃO DE ILHAMENTOS

Através das simulações em laboratórios e da realização de testes reais de campo buscou-se um melhor entendimento do comportamento dinâmico dessas proteções e dos principais fatores que as influenciam quando os geradores são conectados em paralelo com o sistema de distribuição.

2. PROBLEMAS COM A OPERAÇÃO ILHADA DE GERADORES

Os problemas que a operação ilhada de pequenos geradores, que se conectam aos sistemas elétricos de distribuição das concessionárias de energia está relacionada com a segurança operacional, segurança de pessoas, tanto das concessionárias como de terceiros, problemas técnicos e comerciais, no que diz respeito à variação dos valores nominais de fornecimento de energia (tensão e frequência) e problemas jurídicos, dentre os quais são enumerados os seguintes:

- Devido a nova configuração que surgirá, resultante do ilhamento do gerador, após a abertura do disjuntor da subestação do circuito alimentador, poderão ocorrer diminuição da sensibilidade, descoordenações entre os equipamentos de proteção que permanecerão no sistema, entre os quais: elos fusíveis, chaves fusíveis repetidoras, religadores e disjuntores com relés de proteção,
- Com a nova configuração resultante, poderão ocorrer variações nos valores de tensão e frequência de fornecimento para os demais consumidores que permanecerem alimentados pelo gerador ilhado, sendo que estes valores poderão ultrapassar, tanto para cima como para baixo, os valores estabelecidos pelo órgão regulador.
- Como os equipamentos de proteção da concessionária, possuem relés de religamento, que permitem com que o circuito possa ser religado, em caso de ocorrência de curto circuitos, por até 3 vezes, se faz necessário a instalação de dispositivos que possibilitem a reconexão dos geradores somente após a verificação do sincronismo e a presença de tensão nos terminais do disjuntor de conexão do gerador.
- Se os geradores permanecerem alimentando parte do circuito de distribuição, após a ocorrência de uma falta, e devido a não atuação da proteção do ponto de conexão do gerador com o sistema de distribuição, poderão ocorrer problemas de segurança com o pessoal técnico das empresas de energia, assim como a de terceiros, pois haverão cabos energizados ao solo, sem a atuação da proteção para eliminar este tipo de defeito.

3. RELÉ DE SALTO DE VETOR

O relé Salto de Vetor ou de deslocamento de fase, “vector jump relay” ou “voltage jump relay” é instalado para atuar no disjuntor de acoplamento do gerador ao sistema de distribuição e tem seu princípio de funcionamento baseado no deslocamento do ângulo de fase entre a tensão interna ao gerador “Eg” e a tensão dos terminais do gerador “Vtg”.

Conforme se observa na Figura 1, em regime permanente, há uma queda de tensão dV_i entre a tensão

terminal do gerador “ V_{tgi} ” e a tensão interna do gerador “ E_{gi} ”, devido à queda de tensão provocada pela corrente do gerador na sua reatância síncrona “ X_d ”. Existe uma defasagem angular “ θ ” entre a tensão terminal do gerador e a tensão interna do gerador conforme mostrado no diagrama vetorial da Figura 1 “a”.

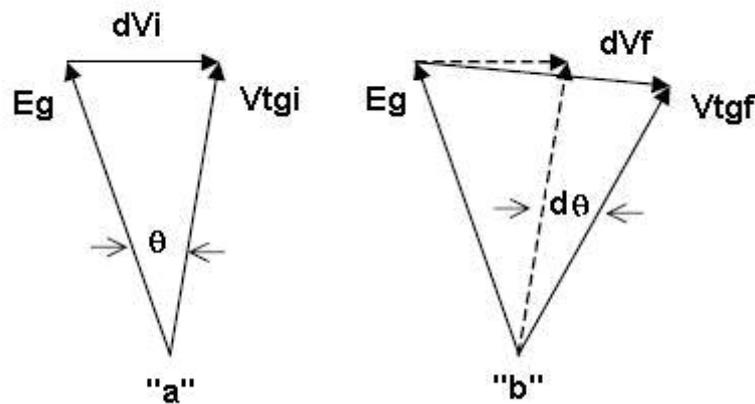


Figura 1 – Diagrama vetorial do Relé de Salto de Vetor

Quando ocorre a abertura do Disjuntor de Acoplamento, devido a curto circuito no alimentador, deixando o gerador que antes estava em paralelo com o sistema, operando de forma ilhada, ficando o gerador como sendo a fonte de alimentação da carga. Com esta variação de potência no gerador síncrono, assumindo ou rejeitando a carga, tem-se a variação da defasagem angular “ $d\theta$ ” entre a tensão “ E_g ” e “ V_{tgf} ”, conforme Figura 1 “b”. Esta alteração da tensão terminal “ V_{tgi} ” para “ V_{tgf} ” é conhecida como “salto de vetor”.

A recomendação de fabricantes destes relés admitem valores entre 4 e 12 graus, dependendo do tipo de gerador e rede a que os mesmos vão se conectar.

4. CONFIGURAÇÃO EM ESTUDO

O sistema de distribuição, com nível de tensão de 34,5 KV objeto dos testes, situa-se na região de Foz do Iguaçu, conforme diagrama unifilar da figura 2, sendo constituído dos seguintes elementos.

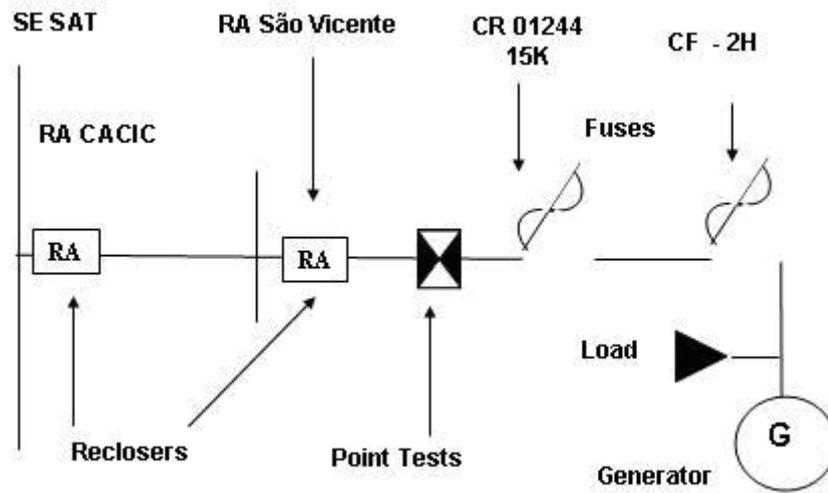


Figura 2 - Diagrama Unifilar dos Alimentadores com a conexão do gerador distribuído

4.1. SISTEMA DE PROTEÇÃO PARA CONEXÃO DE GERADORES EM BAIXA TENSÃO EM ALIMENTADORES DE 34,5 kV

O diagrama da figura 3 mostra o sistema de proteção, mínimo, com os pontos de atuação (Trip), para o acoplamento dos pequenos geradores ao Sistema de Distribuição da Copel em alimentadores de 34,5 KV. OBS – Não estão consideradas as proteções do gerador, que deverão ser estudadas e instaladas pelo autprodutor.

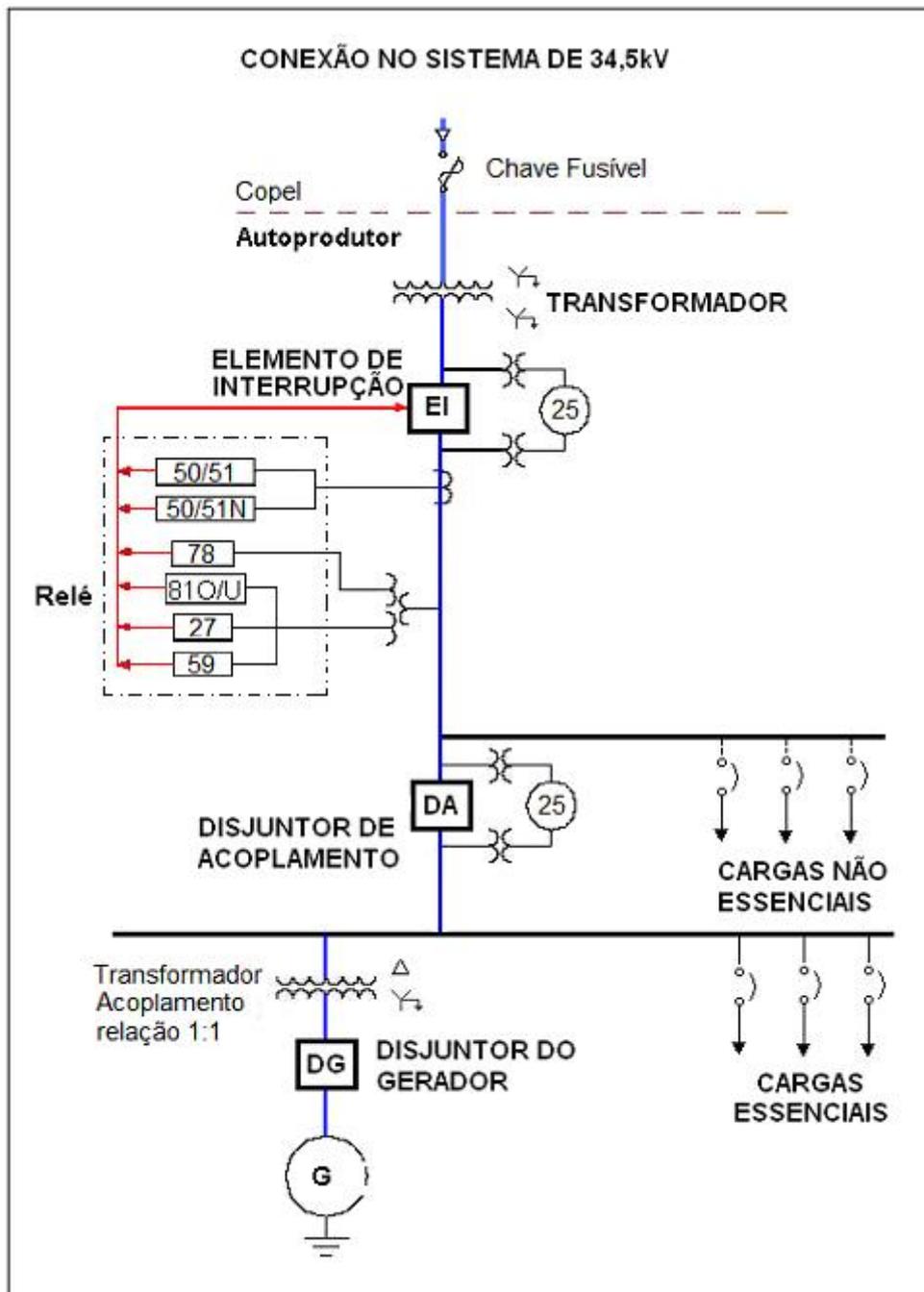


Figura 3 – Proteções Mínimas para conexão em baixa tensão de Autoprodutor em circuito de 34,5 kV

- Funções de Proteção que devem incorporar o sistema da Figura 3:

- Sobrecorrente de corrente alternada de fase e de neutro, instantâneas e temporizadas – 50/51 – 50/51N;
- Sobre tensão (3 fases) – 59;
- Sub Tensão (3 fases) - 27
- Sobre e Sub Frequência 81 O/U e 81 dF/dt;
- Relé de Tempo - 62;
- Relé Check de Sincronismo – 25
- Vetor Jump (Salto de Vetor) – 78

5. REALIZAÇÃO DOS TESTES DE FUNCIONALIDADE DA PROTEÇÃO

Para que se pudesse comprovar a eficácia e funcionalidade do sistema de proteção proposto, para a conexão de micro e mini geradores a rede de baixa tensão, com custos reduzidos, foram, primeiramente realizadas todas as simulações dos defeitos e curto circuitos em simuladores computacionais como o ATP (Alternative Transients Program), após com os arquivos gerados por este programa, foram simulados os casos em laboratório e finalmente todos os casos foram realizados na prática, realizando testes de curto circuito no próprio alimentador onde se encontra conectado o gerador, na baixa tensão.

5.1. TESTES EM LABORATÓRIO

Os ensaios foram realizados utilizando-se os casos desenvolvidos em ATP (Alternative Transients Program), com a utilização de fontes ativas para aplicação dos sinais de corrente e tensão, fornecidos como saídas das simulações. Estes sinais foram aplicados ao sistema de proteção proposto (painel de proteção de baixo custo) simulando-se as condições operacionais e testes programados de curto circuito a serem realizados em campo, verificando para cada teste, os tempos e as unidades de proteção que atuaram, sendo tabulados na tabela 1.

Na figura 4 pode-se visualizar a realização dos testes em laboratório, com a aplicação dos sinais de corrente e tensão.



Figura. 4 – Equipamentos Utilizados para as Oscilografias das grandezas

Na figura 5 tem-se a utilização da fontes ativas para aplicação dos testes emulados no ATP, no painel de

proteção contendo todos os relés de proteção especificados para este tipo de conexão.



Figura 5 - Painel de Proteção com relés testados em Laboratório e Campo

Tabela 1 – Testes Realizados no sistema de proteção proposto

TIPO DE DEFEITO	PONTO DE DEFEITO	
	FCZ 34,5 kV	SÃO MIGUEL 34,5 kV
Curto fase/terra	CASO 1	CASO 2
Curto fase/fase/terra	CASO 3	CASO 4
Curto trifásico à terra	CASO 5	CASO 6
Uma fase aberta	CASO 7	CASO 8
Duas fases abertas	CASO 7A	CASO 8A
Alimentador adjacente - curto fase/terra		CASO 9

5.1.1. Teste 1

Simulação 1 - Rele salto de vetor XG2

Tipo de Teste – Curto Fase/Terra no Alimentador São Vicente

Resultado esperado: Deve ocorrer a atuação das proteções no disjuntor do gerador, provocando sua saída de

operação antes do religamento automático do alimentador, conforme mostra a figura 6.
Atuação do disjuntor KG em 89ms

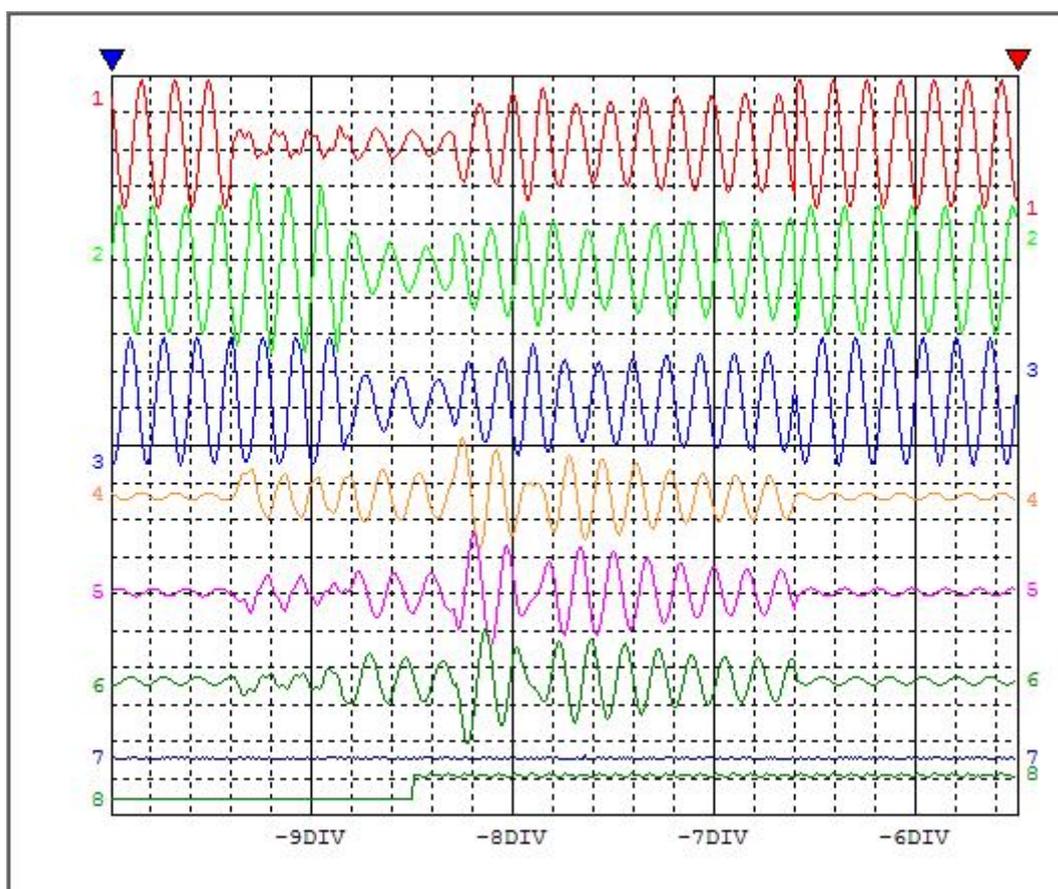


Figura 6 – Oscilografia de tensões e corrente durante o teste 1

5.2. TESTES EM CAMPO

Com os resultados dos ensaios executados em laboratórios considerados aprovados, foi realizada a instalação do painel, com os equipamentos de proteção, na granja Colombari onde se encontra instalado o grupo motor gerador conectado na baixa tensão (127/220V) e a rede de distribuição da Copel.

Com este gerador conectado em paralelo com o sistema, foram planejados e executados vários tipos de testes e simulações reais de curto circuito e anomalias no sistema de distribuição da COPEL no ponto de conexão, no primeiro elemento de proteção a montante, no ponto de derivação do tronco do alimentador e próximo a subestação que alimenta o circuito onde se conecta este gerador. Foram programados e realizados 10 ensaios de campo.

5.3. RESULTADOS DOS TESTES

O Teste 4 consiste em colocar o grupo gerador em paralelo com a rede de distribuição da COPEL.

AÇÃO: Promover um curto circuito monofásico na rede de distribuição 34,5 KV, circuito São Vicente, no

ponto escolhido para teste, conforme diagrama unifilar da figura 1, no lado fonte do circuito.

RESULTADO ESPERADO – deverá ocorrer à atuação das proteções no disjuntor do gerador provocando sua saída de operação, antes do religamento automático do alimentador.

RESULTADO DO TESTE - Ocorreu a abertura do contator KG_52A por atuação do relé “salto de vetor”, com tempo de atuação de 61 mili segundos, conforme mostra a oscilografia da figura 7, onde ocorreu a interrupção da corrente do gerador. O gerador continuou a girar a vazio e isolado da rede da COPEL.

Houve a abertura do religador do Alimentador por atuação da proteção de sobrecorrente de neutro.

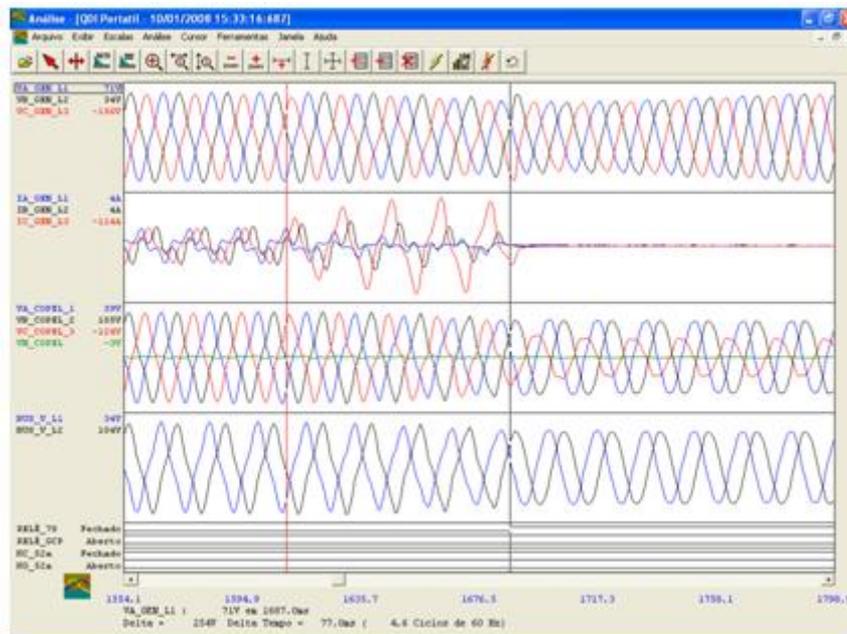


Figura 7 – Oscilografia de correntes, tensões e relé salto de vetor.

5.4. QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS

Na tabela 2 são apresentados os tempos de atuação das proteções mais o tempo de abertura do disjuntor e qual a proteção que atuou nos testes realizados em campo.

Tabela 2 – Tempos de atuação dos Relés de Proteção

ENSAIO	TEMPO DE SAIDA DO GERADOR DO PARALELO (ms)	PROTEÇÃO QUE ATUOU
TEST 1	76	Relé salto de vetor
TEST 2	00	Os cilindros perdidos
TEST 3	68	Relé salto de vetor
TEST 4	61	Relé salto de vetor
TEST 5	77	Relé salto de vetor
TEST 6	144	Subtensão
TEST 7	64	Relé salto de vetor
TEST 8	64	Relé salto de vetor
TEST 9	157	Subtensão

3. Conclusões

6. CONCLUSÕES

Através da análise dos oscilogramas e dos resultados das medições realizadas e dados levantados durante a realização dos testes de campo, pode-se verificar que em 90 % dos testes realizados, ocorreu a atuação da proteção de “Salto de Vetor” do relé utilizado para os diversos tipos de simulações e testes realizados, dentre os quais, curto circuitos fase-terra do lado da fonte, curto circuitos fase-terra do lado da carga, abertura de fases no circuito alimentador, curto circuitos fase-fase-terra, os quais provocaram a retirada do grupo motor-gerador do paralelo com o sistema de distribuição, sendo o tempo de atuação das unidades de proteção ficaram entre 60 a 80 mili segundos.

Considerando que este tipo de proteção utilizado é de custo reduzido, se comparado com um sistema de proteção completo, no caso de conexão de micro e mini geradores, em paralelo com os sistemas de distribuição, e com embasamento nos resultados verificados durante as simulações e os testes de campo, entende-se que o sistema de proteção adotado, com a utilização dos reles “salto de vetor” e 81 dF/dt tiveram um desempenho considerado dentro das expectativas os quais foram adotados para operação do grupo motor-gerador, com gás metano, em paralelo com os circuitos de distribuição da COPEL no projeto piloto da granja Colombari.

O sistema continua operando em paralelo a mais de dois anos e estão sendo monitoradas as grandezas e as ocorrências no gerador e no alimentador sob teste.

Com base nos resultados obtidos com este projeto Piloto e mais outros cinco projetos de iguais características técnicas, locados em circuitos diferentes, pode-se elaborar uma Norma Técnica de Conexão de Geradores na rede de baixa tensão para estes tipos de geradores, sendo a mesma adotada para a conexão, permitindo com isto definir o sistema empregado como padrão.

Estão sendo desenvolvidos novos projetos pilotos para determinação de novas configurações para a conexão de novas fontes de geração distribuída, como exemplo as fotovoltaicas, micro e mini eólicas.

4. Referências bibliográficas

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] DUGAN, Roger C. & McGRANAGHAN, Mark F. E. & BEATY, Wayne, 1996,. Electrical Power Systems Quality. New York, Ed. MacGraw-Hill, p. 145.
- [2] CEPTEL. Seleção de Sistemas SWER –rer.05.
- [3] DIAS, Guilherme A.D.,2002, Harmônicas em Sistemas Industriais, Porto Alegre, Ed. PUCRS, p.59.
- [4] ALDABO, Ricardo . Qualidade na Energia Elétrica, São Paulo, Ed Artliber, p. 69.
- [5] SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, INC, 2002, SEL 351A, Pullman, USA
- [6] WHIPP&BOURNE, 1999, GVR Auto Recloser, Rochdale, England.
- [7] OMORI, J; RUFATO, E. J. ; ORTEGA, M. R.,2005, Estudo de Interligação entre os circuitos Palmeirinha e Turvo, Curitiba, Copel.,2006
- [8] COPEL, NTC 905100 – Norma Técnica Copel para conexão de geradores, Curitiba, 2010