

Capítulo IV

Avaliação da sensibilidade dos equipamentos com a entrada em operação de um sistema de geração eólica

Por Rusângela Rodrigues Cavalcanti e Ricardo Marques Soares*

Este trabalho apresenta e analisa a entrada em operação da central geradora eólica Vale dos Ventos, com capacidade instalada de 45 MW, conectada ao sistema elétrico da Energisa Paraíba, quanto à sensibilidade e à suportabilidade de equipamentos, quando da ocorrência de curto-circuito no sistema em condição normal de operação.

São ainda discutidas as medidas adotadas para evitar a operação ilhada da central geradora eólica Vale dos Ventos, evitando assim problemas de qualidade de energia no sistema elétrico da Energisa Paraíba.

Com entrada em operação de novas centrais geradoras distribuídas no sistema elétrico, pode ocorrer a superação dos disjuntores existentes, em termos da capacidade nominal e de interrupção de suas correntes de curto-circuito.

Cabe lembrar ainda que, em caso de curtos-circuitos com a abertura do terminal remoto da concessionária, a central geradora deve abrir seus terminais, evitando a operação ilhada e, conseqüentemente, o possível

prejuízo na qualidade de energia fornecida às unidades consumidoras em suas vizinhanças.

Dessa forma, para garantir a atuação das proteções associadas ao relé de conexão das centrais geradoras em caso de curtos-circuitos, a Energisa solicita entre outras a ativação das proteções de sobrecorrente com restrição de tensão – 51VR e sobretensão residual – 59N, as quais são sensíveis para curtos-circuitos entre fases e monofásicos, respectivamente.

Descrição da tecnologia

A central geradora eólica Vale dos Ventos – CGE VDV está conectada na subestação Mataraca por meio de uma linha 69 kV de 12,6 km Mataraca/CGE VDV, no sistema regional Mussurê II, o qual é suprido por três linhas de 230 kV Goianinha/Mussurê II, com capacidade contratada de 48 MW e subestação 69/13,8 kV – 2X41 MVA.

Os geradores eólicos são síncronos com potência nominal de 800 kW a 32 rpm (ver Figura 1). Os

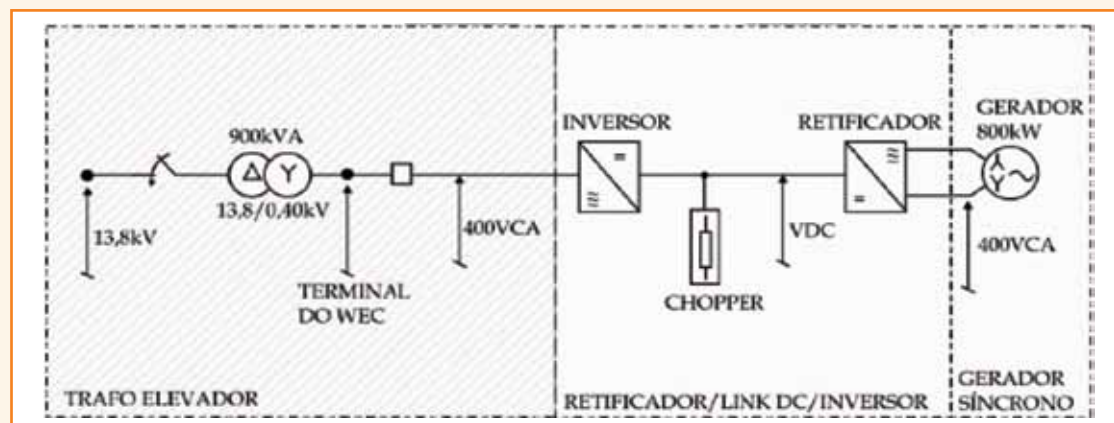


Figura 1 – Modelo simplificado dos Wind Energy Converters (WEC). Fonte: Wobben/Enercon.

inversores têm potência nominal de 800 kW a 32 rpm e máxima potência aparente igual a 930 kVA. Cada inversor contribui com uma corrente de sequência positiva de 500 Arms, resultando em 1.500 Arms a contribuição de cada aerogerador para o sistema elétrico, dentro da faixa de tensão terminal do WEC de 1,0 pu a 0,15 pu. Para tensão inferior a 0,15 pu, não há contribuição, pois os aerogeradores serão desenergizados em 100 ms.

Na Figura 2 está mostrado o comportamento do WEC sob condição de curto-circuito, em que o setpoint da proteção da subtensão ($U_{\min, temp}$) é igual a 80% U, o tempo de espera de proteção de tensão é menor que 5 segundos, o ponto de desconexão da subtensão (U_{du}) é 15% U e o ponto de desconexão da sobretensão ($U_{\max, temp}$) é igual a 120% U.

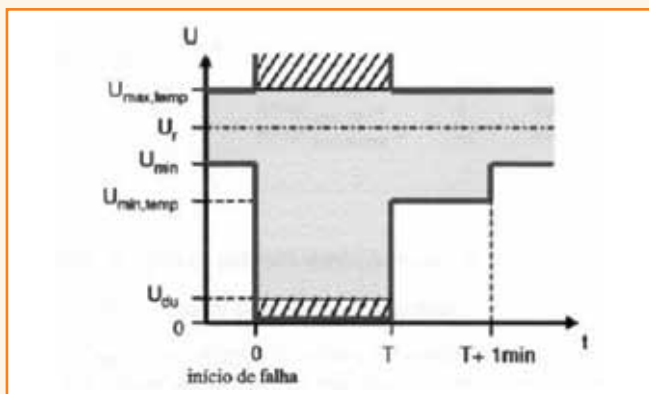


Figura 2 – Comportamento do WEC, curva U (tensão) x T (tempo).

O WEC continuará conectado se a tensão nos terminais U_r , durante ou após a falta, continuar dentro da área cinza. Nas áreas hachuradas, o WEC irá abrir os disjuntores de potência e, mesmo assim, continuará operando. Se a tensão retomar entre U_{\min} , temp e U_{\max} , temp o WEC irá sincronizar novamente e se reconectar instantaneamente dentro de 400 ms. Fora das áreas marcadas, o WEC irá desligar/parar.

Os ajustes das proteções dos aerogeradores recomendados pela fabricante estão descritos na Tabela 1.

TABELA 1 – AJUSTES DAS PROTEÇÕES DOS AEROGERADORES		
FUNÇÃO	AJUSTE	TEMPO (SEGUNDOS)
Sobretensão	120%	0,1
Subtensão	80%	0,1 – 5
Sobrefrequência	57 Hz	0,1
Subfrequência	43 Hz	0,1

O WEC é desenergizado quando a tensão terminal (400 V) é inferior a 0,15 pu, no entanto, poderá haver desenergização da CGE VDV quando a tensão variar de 0,166 pu a 0,153 pu.

A Figura 3 mostra a configuração do sistema considerada para o desenvolvimento deste trabalho no qual constam às subestações de Mataraca – MAA, Rio Tinto – RTT, a unidade consumidora Millennium – MLN e a central geradora eólica Vale dos Ventos.

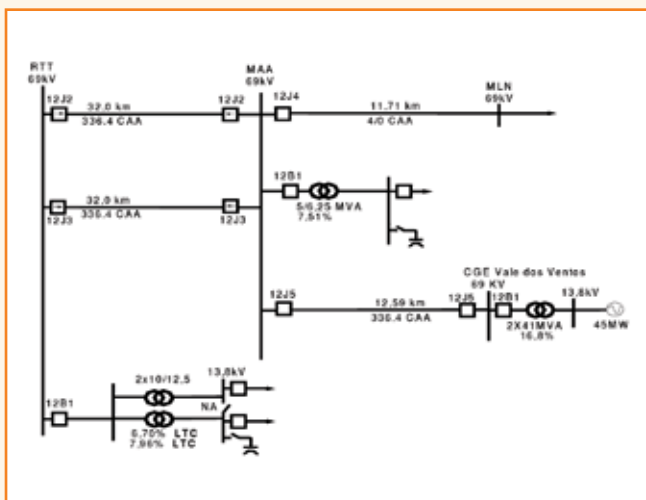


Figura 3 – Trecho do regional Mussurú II com CGE VDV.

Metodologia

A partir da solicitação de acesso da central geradora eólica Vale dos Ventos, a Energisa Paraíba requisitou os estudos de qualidade de energia, regime permanente e dinâmico, além dos estudos de proteção, os quais avaliarão a entrada em operação desta geração sem que haja prejuízo para o sistema elétrico.

Este artigo visa a analisar os resultados dos estudos de proteção encaminhados, em que o objetivo básico de aplicação das proteções corretas no disjuntor de conexão da central geradora pode ser resumido conforme se segue:

- evitar danos nos equipamentos e instalações;
- proporcionar o desligamento do menor trecho que contém o defeito, evitando desligamentos desnecessários;
- evitar a operação ilhada da central geradora, prejudicando a qualidade de energia fornecida aos clientes da concessionária.

Visando atender estes objetivos, dois conceitos básicos devem ser verificados:

- a suportabilidade dos disjuntores instalados nas vizinhanças da central geradora em termos da capacidade nominal e de interrupção de curto-circuito;
- a sensibilidade do relé de proteção no ponto de conexão da central geradora para curtos-circuitos entre fases e monofásicos que ocorram nas vizinhanças da central.

A suportabilidade dos equipamentos visa a verificar se, em condições normais de operação e em condição de falha após a entrada em operação da central geradora, os equipamentos continuam atendendo às suas capacidades de corrente nominal e de interrupção de curto-circuito de acordo com os dados fornecidos pelos fabricantes em seus catálogos.

Quanto à sensibilidade, o relé tem de ser suficiente

sensível para operar com segurança quando da ocorrência de uma falha ou anormalidade para os quais ele foi projetado para supervisionar.

Para avaliação e análise desses estudos de proteção, a Energisa utilizou o software Computer-Aided Protection Engineering – CAPE. Com relação à suportabilidade dos equipamentos, primeiro se obtém os valores de corrente nominal e de interrupção simétrica dos disjuntores em seus catálogos (ver Tabela 2), depois faz-se o levantamento das correntes que circularão por meio destes equipamentos em condição normal de operação (ver Tabela 3) e em condição de falta (ver Tabela 4) considerando a CGE VDV no máximo da geração.

TABELA 2 – VALORES DE REFERÊNCIA PARA DISJUNTORES E RELIGADORES

SUBESTAÇÃO	EQUIPAMENTO	CORRENTE NOMINAL (A)	CORRENTE DE INTERRUÇÃO (A)
Mataraca	12B1	2.000	25.000
	12J2	2.000	25.000
	12J3	2.000	25.000
	12J4	2.000	25.000
	12J5	2.000	25.000
Rio Tinto	12B1	2.000	25.000
	12J2	2.000	25.000
	12J3	2.000	25.000

TABELA 3 – VALORES DE REGIME VERIFICADOS COM A CGE VDV EM OPERAÇÃO

SUBESTAÇÃO	EQUIPAMENTO	CORRENTE NOMINAL (A)
Mataraca	12B1	32,6
	12J2	131
	12J3	131
	12J4	41
	12J5	378
Rio Tinto	12B1	84,5
	12J2	131
	12J3	131

TABELA 4 – VALORES DE CURTOS-CIRCUITOS TRIFÁSICOS VERIFICADOS

SUBESTAÇÃO	CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO COM CGE VDV (A)	CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO SEM CGE VDV (A)
Mataraca	2.159	1.761
Rio Tinto	3.131	2.758
Millennium	1.558	1.336

Em seguida, é feita uma comparação entre os valores encontrados nas Tabelas 3 e 4 com os valores do fabricante contidos na Tabela 2. No nosso caso em estudo, não há correntes de regime e curto-circuito superiores às correntes da Tabela 2, logo, os equipamentos de disjunção não estão

superados.

Com relação à sensibilidade das proteções, alguns aspectos ainda devem ser levados em consideração:

- estes geradores eólicos mantêm uma contribuição fixa para a corrente de curto-circuito independente da configuração do sistema;
- o pickup de fase do 12J5 da CGE VDV é alto (500 A), visando escoar toda a potência gerada pela central geradora;
- a entrada em operação da CGE VDV não altera o desempenho das proteções de neutro, pois não contribui com a corrente de sequência zero.

Devido às baixas contribuições da CGE VDV para a corrente de curto-circuito diante do ajuste do pickup das proteções de fase, é necessária, para obter a sensibilidade adequada para defeitos entre fases, a ativação da função de proteção 51 VR a qual varia o pickup de fase de acordo com o afundamento de tensão verificado (ver Figura 4). De acordo com a curva característica desta função, para um afundamento de tensão de até 10%, a corrente de pickup será 10% do ajuste, isto é, 50 A. Para um afundamento de tensão entre 10% e 90%, a corrente varia linearmente com a tensão e, para um afundamento superior a 90%, a corrente de pickup será o ajustado, isto é, 500 A.

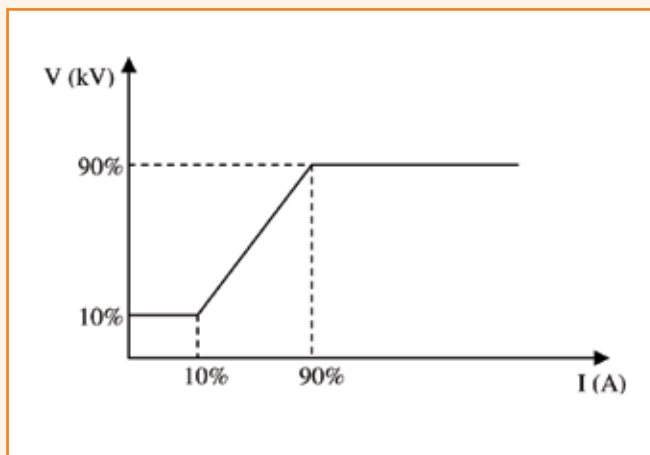


Figura 4 – Curva $V \times I$ da função 51 VR.

O ajuste implantado na função 51 VR é de 500 A e a curva de fase 0,38 NI.

O valor de contribuição de corrente de curto-circuito trifásico para o barramento de Mataraca 69 kV é de 413 A, logo, com o pickup de fase ajustado em 500 A e considerando apenas a função 51 sobrecorrente de fase ativada, para este valor de corrente o relé não atuaria, continuando, desta forma, a alimentar o defeito. Com a função 51 VR ativada, quando da ocorrência de um curto entre fases no barramento de 69 kV da subestação Mataraca, a tensão verificada pelo relé 12J5 da CGE VDV foi de 4,46 kV (fase-fase), o que equivale a 6% da

tensão nominal, logo, o pickup de fase reduzirá para 50 A e o relé atuará com um tempo de 1,23 segundos.

Da mesma forma para um curto-circuito trifásico no barramento de Rio Tinto 69 kV, a contribuição de corrente é de 373 A, considerando a função 51 VR ativada e que a tensão verificada pelo relé 12J5 da CGE VDV atingiu um valor de 10,6 kV (fase-fase) equivalente a 15,4% da tensão nominal, o pickup de fase reduzirá para 77,1 A e o relé atuará com um tempo de 1,65 segundos. Conforme pode ser visto no diagrama de corrente x tempo da Figura 5, em que a corrente está em Amperes e o tempo está em segundos.

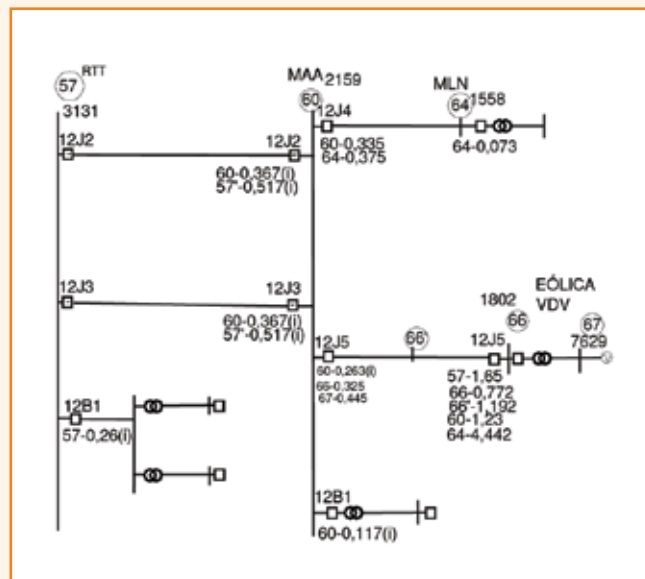


Figura 5 – Diagrama de proteção de fase.

Conforme verificado, a utilização da função de proteção 51 VR torna-se efetiva para evitar a operação ilhada da CGE VDV, para um curto-circuito entre fases, após a eliminação da falta pela fonte de corrente do regional Mussurú II.

Devido à não contribuição de corrente de sequência zero para os curtos-circuitos monofásicos e também devido ao lado de alta tensão do transformador de força estar ligado em delta (sistema isolado), é necessária a ativação da função de proteção 59N (3V0) associada ao disjuntor de conexão 12J5 da CGE VDV.

Quando se tem uma falta monofásica num sistema isolado, não haverá corrente suficiente para acionar uma proteção de sobrecorrente tipo 50/51N. Assim sendo, haverá necessidade de medir a tensão residual ou 3V0, que aparece em valores maiores que aqueles para um sistema aterrado, por uma função de tensão. O relé digital, que tem a função 59N, faz o cálculo da tensão $V_N = 3V_0 = V_{aN} + V_{bN} + V_{cN}$, quando recebe as três tensões fase-terra dos TPs.

A seguir, na Figura 6, está mostrada a curva característica da função 59N, em que, para valores acima da tensão de atuação ajustada e a partir de um tempo previamente definido, o relé atuará.

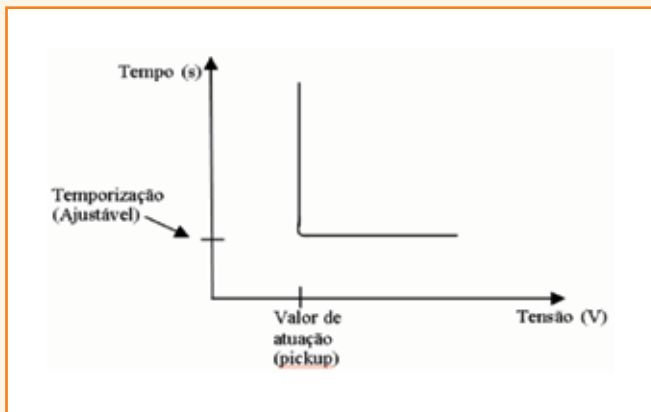


Figura 6 – Curva característica da função 59N.

Para defeitos monofásicos, após a desenergização da fonte Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf) atuará o 59N com um pickup de 30 kV (primário) fase/terra e um tempo definido de 1,5 segundos, caso a CGE VDV não esteja eletricamente desconectada.

Na Tabela 5 estão relacionados os valores de tensão 3V0 esperados nas subestações analisadas neste estudo, quando da ocorrência de uma falta monofásica.

TABELA 5 – TENSÃO RESIDUAL NAS SUBESTAÇÕES EM ANÁLISE	
SUBESTAÇÃO	TENSÃO RESIDUAL 3V0 (kV)
Mataraca	85,37
Rio Tinto	90,53
Millennium	73,36

Logo, conforme disposto acima, quando houver um curto-circuito monofásico, o relé associado ao disjuntor 12J5 da CGE VDV terá sensibilidade e, conseqüentemente, enviará uma ordem de abertura para o disjuntor após um tempo de 1,5 segundos, eliminando, assim, o defeito fonte eólica (ver Figura 7).

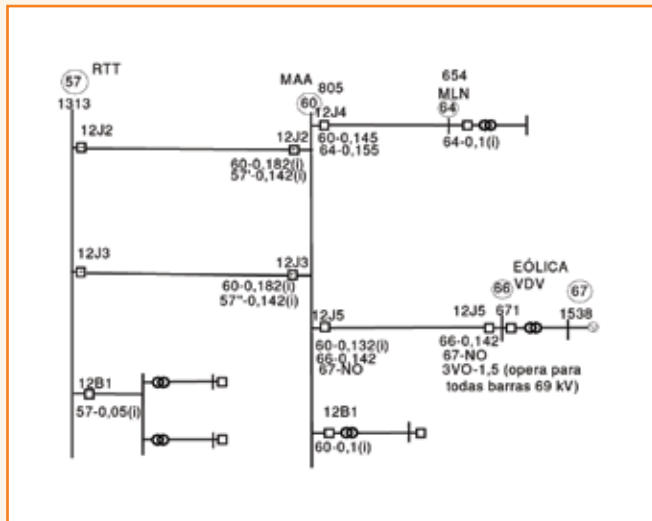


Figura 7 – Diagrama de proteção de neutro.

Conclusões

Este trabalho apresentou a metodologia desenvolvida pela Energisa Paraíba quando da entrada em operação da Central Geradora Eólica Vale dos Ventos em seu sistema elétrico, visando mostrar a estratégia adotada pela concessionária para eliminar a operação em ilha destas fontes de energia e evitar a superação de seus equipamentos de disjunção.

Conforme verificado, a utilização das funções de proteção 51 VR e 59N (3V0) é primordial para a efetiva eliminação de defeitos entre fases e monofásicos que ocorram no sistema, mesmo após a eliminação da falta pela fonte Chesf.

Logo, o estabelecimento de diretrizes pela concessionária para conexão de novas fontes de energia garante o correto funcionamento destas fontes sem que haja prejuízo para o sistema e na qualidade de energia fornecida a seus consumidores.

Referências

- Diretrizes Gerais para Conexão de Geradores ao Sistema Elétrico da ENERGISA – Minuta, jul. 2009.
- Electrocon International Incorporated. Manual eletrônico do CAPE, nov. 2006.
- Engevis – Engenharia de Sistemas Elétricos Ltda. Relatório Técnico do Estudo de Graduação do Sistema de Proteção “Parque Eólico Vale dos Ventos (PE VDV) – 48,0MW – 69/13,8 KV 2x41MVA”, mar. 2009.
- FESP – Universidade de Pernambuco/Escola Politécnica de Pernambuco. Apostila “Controle e Proteção de Sistemas Elétrico – CPSE”, 1985.
- Team Artech, Instruction Manual (v. 1) “PL 300 Multifunction Protection”. Rev. 0, out. 2006.
- Virtus – Consultoria e Serviços Ltda. Apostila do “Curso de Proteção de Sistemas de Subtransmissão”, edição 2-2010.

*Rusângela Rodrigues Guido Cavalcanti é engenheira elétrica e eletrotécnica e Mestre em Engenharia Elétrica pela UFCG. Atualmente, é engenheira de operação, com especialização em Estudos de Proteção, da Energisa.

Ricardo Marques Soares é engenheiro electricista e eletrotécnico, especialista em Operação do Sistema pela UFPE e UFCG e pós-graduado em gestão empresarial. Atualmente, é coordenador de operação da Energisa.

Continua na próxima edição
 Confira todos os artigos deste fascículo em
www.osetoreletrico.com.br
 Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br