

Rápido Restabelecimento de Parque Eólico com Utilização de Sensores de Falta para Identificação do Trecho Sob Defeito

Afonso César Tavares, *CPFL Renováveis*
Andrei Coelho e Mauro Magalhães, *Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

Resumo—A energia eólica ganha mais espaço a cada dia. A demanda por fontes renováveis cresce e com ela, os novos desenvolvimentos relacionados às particularidades desse tipo de geração. Parques eólicos costumam abranger, conforme projeto e aplicação, uma grande área operacional voltada a Rede de Média Tensão aérea e subterrânea que interligam os vários aerogeradores em seus respectivos *bays* na subestação elevadora principal. Devido às grandes áreas, é possível ter grande dificuldade para percorrer toda a extensão territorial na busca por faltas no sistema. Por tal motivo, soluções inteligentes estão sendo desenvolvidas de forma a otimizar o processo de operação em momentos de contingências e a busca por minimizar tempos de restabelecimentos. Este artigo visa apresentar melhorias nos sistemas de identificação de faltas em plantas eólicas, baseada em sistema inovadores de sensores de falta com comunicação *wireless* [1][2].

Palavras-chave—parques eólicos, indicadores de falta, sistema de comunicação wireless.

I. INTRODUÇÃO

Parques eólicos de grande porte possuem diversos circuitos coletores ramificados, que interconectam os aerogeradores ao SIN – Sistema Interligado Nacional. Quando ocorre um curto circuito na rede de média tensão deste parque, em um dos ramais coletores, é esperada a abertura do disjuntor do respectivo coletor, que desliga todas as máquinas conectadas naquele coletor, sem seletividade com as chaves. Quanto mais máquinas são desligadas, menor a geração do parque e consequentemente menor a receita financeira do empreendimento. Após a abertura do disjuntor do coletor, equipes de manutenção procuram pelo ponto de defeito objetivando isolar a área ao menor trecho possível, e retomar a geração com celeridade. Existe uma grande correlação entre o tempo gasto para encontrar o defeito e a perda de receita do parque. Por tal motivo, existe grande demanda por soluções que visam diminuir os tempos para encontrar os defeitos em parques eólicos.

A Fig. 1 apresenta um diagrama unifilar simplificado de um parque eólico.

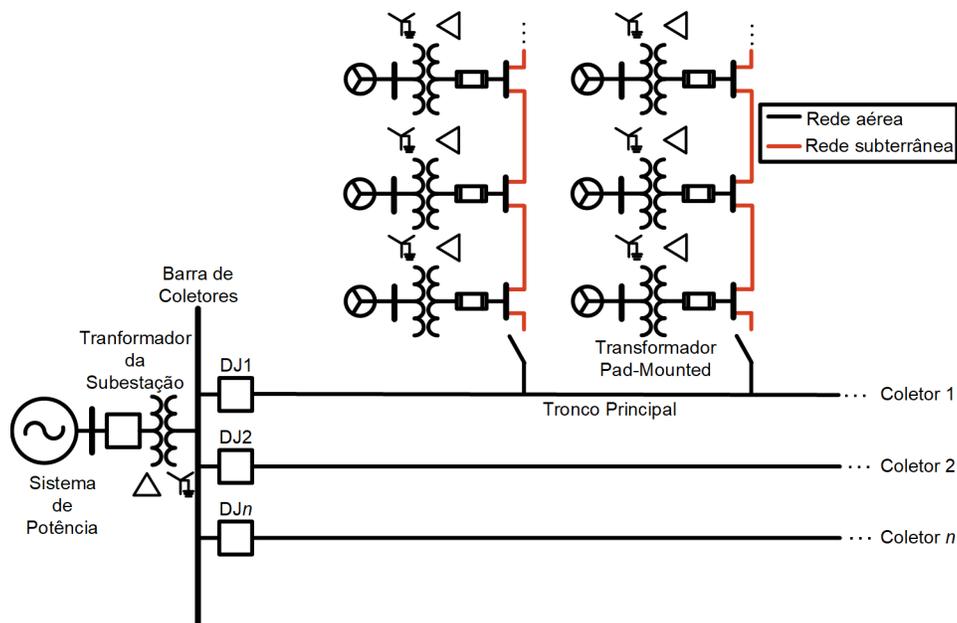


Fig. 1. Diagrama unifilar do parque eólico.

De forma a garantir que os sensores efetivamente comuniquem com o concentrador, é necessário fazer um estudo de enlace. Este estudo visa determinar a altura da antena do concentrador de forma que a visada entre a antena do receptor e as antenas dos sensores seja suficiente para vencer as imperfeições da topografia do local da instalação. Para realizar este estudo, é necessário fornecer as coordenadas geográficas dos sensores assim como as coordenadas geográficas da antena do concentrador. Após análises da característica geográfica da região é possível determinar a altura mínima da antena. A Fig. 3 representa uma imagem aérea da instalação.



Fig. 3. Imagem aérea da instalação dos equipamentos.

Na Fig. 3, canto superior esquerdo está representada a subestação e conseqüentemente os pontos de instalação dos relés, do concentrador e de sua antena. No canto inferior direito é possível encontrar os pontos de instalação dos três trios. Para esta aplicação, o trio mais distante está a 1,82 km da subestação, em linha reta. Para estes dados, calculou-se a altura da antena e obteve-se o valor de 4,2 metros.

A Fig. 4 apresenta a instalação dos sensores nos cabos de média tensão (à acima) e a antena do concentrador na subestação (à abaixo).

IV. AJUSTES

A. Ajustes do Sensores

Os dispositivos sensores possuem 8 níveis de ajuste para a função de sobrecorrente, o que permite obter seletividade nas atuações. Percebe-se que existem diversos geradores no sistema, um deles representado pela interconexão ao sistema (um gerador com muita inércia) e diversos aerogeradores internos ao parque, que são conectados ao sistema AC através de inversores de frequência. Os aerogeradores não contribuem para os curtos circuitos da mesma forma que o sistema elétrico convencional, e esta verdade permite escolher um *pick-up* onde os sensores não respondam para correntes em alimentadores vizinhos.

Normalmente, as contribuições dos aerogeradores estão limitadas entre 1 e 1.5 vezes a corrente nominal destes equipamentos. Nesta aplicação, considerou-se um fator de 2 vezes a corrente nominal do ramal como corrente máxima de curto circuito, para ajustar os *pick-ups* dos elementos sensores.



Fig. 4. Instalados dos sensores na rede de média tensão (à acima) e antena do receptor (à abaixo).

Considerando-se as correntes nominais dos ramos descritas anteriormente, estima-se que as correntes máximas de contribuição para curto circuito seriam 424 A, 150 A e 428 A respectivamente. É necessário também considerar as margens de tolerâncias dos sensores, que variam de acordo com o *pick-up*:

Tolerâncias de 50%, se $\text{Sensor}_{\text{pickup}} \leq 50$

Tolerâncias de 30%, se $50 < \text{Sensor}_{\text{pickup}} < 400$

Tolerâncias de 20%, se $\text{Sensor}_{\text{pickup}} \geq 400$

Considerando-se as margens de erro, optou-se por escolher os ajustes de *pick-up* iguais a 600 A, 400 A e 600 A para cada um dos ramos monitorados. Estes valores são, sensíveis o suficiente para detectar as faltas no sistema e também seguros para não prover indicações incorretas.

Outra supervisão necessária é implementada para prover segurança em situações de *inrush* do sistema. Quando um dos disjuntores é fechado, são energizados diversos transformadores a jusante, que drenam uma elevada corrente de magnetização. Estas correntes podem sensibilizar os sensores e esta sensibilização não é desejada. Correntes de *inrush* são ricas em harmônicos [5] e é possível usar de elementos específicos do relé para fazer o correto bloqueio deste tipo de indicação. Para a instalação em Morro dos Ventos em específico, este bloqueio por *inrush* não foi aplicado porque o relé que executa as lógicas não possui medição de correntes.

B. Ajustes do Relé de Proteção

O relé de proteção recebe os dados do concentrador, que recebe as informações provenientes dos sensores. A comunicação rápida entre os equipamentos é feita através de protocolo de alta velocidade, que envia 8 bits em ambas as direções, ou seja, em meio *full-duplex*. As 8 informações transmitidas no protocolo são identificadas por TMB1 – 8 e as correspondentes recepções por RMB1 – 8.

É importante perceber que o relé recebe os dados de 12 sensores, porém o protocolo disponibiliza 8 mensagens por vez. É possível fazer com que todas as informações sejam entregues ao relé de proteção, de maneira alternada.

O relé, além de receber 8 mensagens do concentrador, pode também enviar 8 mensagens ao concentrador. Através da alternância de um bit específico no relé de proteção, é possível mudar a composição das mensagens que o concentrador envia ao relé, de acordo com as Tabela I e Tabela II

É feita no relé de proteção uma lógica que alterne o estado do TMB4. Quando TMB4 = 0, as 8 mensagens recebidas pelo relé são relativas aos 6 primeiros sensores, ou seja, aos dois primeiros trios. Dentre as informações, as mensagens 1 e 2 representam se algum trio foi sensibilizado por uma falta e as mensagens de 3 a 8 representam, de forma individualizada por fase, qual dos sensores sensibilizou.

Quando o relé executar a lógica de alternância, a variável TMB=1 faz com que as 8 mensagens sejam agora relativas aos dois últimos trios. As mensagens 1 e 2 serão novamente relacionadas a presença de faltas e os bits 3 a 8 apresentam as informações individualizadas por fase dos últimos sensores 6 sensores.

Portanto, o relé recebe as informações dos 12 sensores através de uma simples lógica que alterna periodicamente o estado da variável digital TMB4.

TABELA I
INFORMAÇÕES RECEBIDAS QUANDO O TMB4 = 0

Comandos no relé							
TMB1	TMB2	TMB3	TMB4	TMB5	TMB6	TMB7	TMB8
0	0	1	0	0	0	Reset Link Status	Target Reset
Dados enviados pelo concentrador							
RMB1	RMB2	RMB3	RMB4	RMB5	RMB6	RMB7	RMB8
Trio 1 Falta	Trio 2 Falta	Falta 1	Falta 2	Falta 3	Falta 4	Falta 5	Falta 6

TABELA II
INFORMAÇÕES RECEBIDAS QUANDO O TMB4 = 1

Comandos no relé							
TMB1	TMB2	TMB3	TMB4	TMB5	TMB6	TMB7	TMB8
0	0	1	1	0	0	Reset Link Status	Target Reset
Dados enviados pelo concentrador							
RMB1	RMB2	RMB3	RMB4	RMB5	RMB6	RMB7	RMB8
Trio 3 Falta	Trio 4 Falta	Falta 7	Falta 8	Falta 9	Falta 10	Falta 11	Falta 12

VI. INDICAÇÕES

Com base nas informações recebidas do concentrador, e consequentemente dos sensores, o relé pode fazer a indicação do circuito sob falta assim como das fases envolvidas no evento. O relé de proteção contém uma lógica que apresenta variáveis que o usuário pode facilmente consultar. A Tabela III apresenta as variáveis utilizadas para representar o trio sob falta:

TABELA III
TRIO SOB FALTA

LT	Falta no Trio
1	1
2	2
3	3
4	4

Portanto, o operador do parque pode, ao perceber a abertura do disjuntor, consultar qual das variáveis (LT01, LT02, LT03 e LT04) estão atuadas. Estas variáveis são as responsáveis por informar qual o trio, e consequentemente, qual a bifurcação presenciou um defeito. Adicionalmente, o sistema apresenta as variáveis descritas na Tabela IV como indicativo da fase sob falta.

TABELA IV
FALTA SOB FALTA

LT	Falta na Fase
5	A
6	B
7	C

Um outro conjunto de indicações é fornecido, de forma que cada um dos sensores possua uma indicação de forma individual. A Tabela V representa a convenção utilizada:

TABELA V
FALTA SOB FALTA

LT	Indicador
8	1
9	2
10	3
11	4
12	5
13	6
14	7
15	8
16	9
17	10
18	11
19	12

Além de uma conferência local por parte do operador do parque, essas variáveis estão disponíveis no sistema SCADA, onde existe portando uma consulta remota do ponto de defeito, de forma automática. Com base nesta indicação, o operador pode optar por abrir a correspondente chave seccionadora e re-energizar o disjuntor e os aerogeradores não afetados pelo curto circuito.

VII. PRÓXIMAS ETAPAS DO PROJETO

O sistema foi instalado em 2019 e está fazendo o monitoramento das futuras faltas. Espera-se obter consideráveis ganhos operativos e financeiros com esta solução. O ganho financeiro esperado com essa melhoria poderá fomentar um aperfeiçoamento adicional futuramente no sistema: a instalação de chaves seccionadores motorizadas.

Atualmente, as chaves são manobradas unicamente de forma manual, o que exige com que operadores se desloquem em direção às chaves para manobra-las. Quando as chaves atuais forem substituídas por chaves motorizadas, toda a manobra poderá ser efetivada remotamente via SCADA. É possível também avaliar a abertura automatizada a partir do próprio relé de proteção que executa as lógicas de identificação de falta.

VIII. CONCLUSÕES

A demanda por energias renováveis fomenta a instalação de cada vez mais parques eólicos. Estes parques contam com vasta área geográfica, o que dificulta a localização de faltas internas ao parque. Durante o processo de localização dos defeitos, geradores são mantidos desligados o que impacta negativamente nas receitas do empreendimento.

Foi utilizado, no parque de Morro dos Ventos, uma solução inovadora baseada em dispositivos sensores instalados na rede de média tensão que, ao detectar uma falta, informa ao concentrador e ao relé em qual ramal o evento ocorreu, favorecendo a rápida isolamento e potencial incremento de receitas. Os ganhos monetários desta etapa do processo poderão fomentar a implementação de chaves motorizadas futuramente, o que tornará o sistema ainda mais efetivo na isolamento de faltas na rede.

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. V. Achanta, B. MacLeod, E. Sagen, and H. Loehner, "Apply Radios to Improve the Operation of Electrical Protection", originally presented at 37th Annual Western Protective Relay Conference, October 2010
- [2] K. Hao, S. V. Achanta, J. Fowler and D. Keckalo, "Apply a Wireless Line Sensor System to Enhance Distribution Protection Schemes", originally presented at 43rd Annual Western Protective Relay Conference, October 2016.
- [3] *SEL-FT50 e SEL-FR12 - Fault Transmitter and Receiver System Instruction Manual*. Disponível em <https://selinc.com>
- [4] *SEL-FT50 e SEL-FR12 System Installation Sheet*. Disponível em <https://selinc.com>
- [5] *SEL-751 Feeder Protection Relay Instruction Manual*. Disponível em <https://selinc.com>

X. BIOGRÁFICOS

Afonso César Tavares nasceu em 1967 em Jacutinga /MG. É graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), com 27 anos de formado. Concluiu os seguintes cursos de Pós-Graduação: Especialização em Proteção/JICA, e em Sistema Elétrico de Potência pela UNIFEI, pela Fundação Getúlio Vargas FGV fez treinamento em programa de Desenvolvimento Gerencial. Também, fez Especialização de Pequenas Centrais Hidrelétricas pela UNIFEI. Atuou como Engenheiro na Energisa como coordenador de Gestão de Ativo e Estudos da Proteção da Distribuidora Energisa Minas Gerais. Atualmente, é Engenheiro da CPFL Renováveis, como Especialista II de Manutenção Elétrica e Proteção em Linhas e Subestação dos Ativos de Geração dos Parques Eólicos e PCH's. Possui grande experiência em Gestão de Ativo, Estudos de Proteção no setor de Energia.

Andrei Coelho é formado em engenharia elétrica com ênfase em sistemas elétricos de potência na Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI em 2014 e especialista em automação de sistemas elétricos pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL em 2019. Trabalha na engenharia de aplicação e suporte técnico da SEL desde 2014, especialmente com aplicações em transmissão e distribuição de energia, além de diversos ramos industriais, nas áreas de proteção, controle e automação. Contribui com o desenvolvimento de artigos e apresentações técnicas em seminários do setor, além de ser instrutor de cursos da Universidade SEL.

Mauro Magalhães é formado em Engenharia de Produção com Ênfase em Gestão em 2008 pela Faculdade de Ciência e Tecnologia - Areal. Exerceu atividades profissionais na COELBA – Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (de ago/83 a fev/09), como Analista de Manutenção Sistema Elétrico. Desde 2009 exerce o cargo de Especialista em Aplicação de Proteção, na SEL – Schweitzer Engineering Laboratories, Comercial Ltda.