

Detecção de faltas elétricas por meio de Transformada de Park e Método PELT

***Nota: Informações sobre autores deverão ser informadas apenas na versão final, em caso de aprovação.**

Jairo lins Brandão
Dept. de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas (PEA) -
Universidade de São Paulo, Power
Systems Innovation Hub (RCGI-
InnovaPower)
Universidade de São Paulo, Brasil
São Paulo, Brasil
jairo.brandao@usp.br

Raphael Toshio Sakai
Dept. de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas (PEA) -
Universidade de São Paulo, Power
Systems Innovation Hub (RCGI-
InnovaPower)
Universidade de São Paulo, Brasil
São Paulo, Brasil
raphaeltoshio@usp.br

Silvio Giuseppe Di Santo
Dept. de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas (PEA) -
Universidade de São Paulo, Power
Systems Innovation Hub (RCGI-
InnovaPower)
Universidade de São Paulo, Brasil
São Paulo, Brasil
silviogiuseppe@usp.br

Carlos Frederico Meschini Almeida
Dept. de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas (PEA) -
Universidade de São Paulo, Power
Systems Innovation Hub (RCGI-
InnovaPower)
Universidade de São Paulo, Brasil
São Paulo, Brasil
cfmalmeida@usp.br

Nelson Kagan
Dept. de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas (PEA) -
Universidade de São Paulo, Power
Systems Innovation Hub (RCGI-
InnovaPower)
Universidade de São Paulo, Brasil
São Paulo, Brasil
nelson.kagan@usp.br

Resumo: O objetivo deste trabalho é contribuir para a identificação de faltas em sistemas de média tensão em parques eólicos, utilizando vetores espaciais. Para isso, foram elaborados modelos de circuitos baseados nas características construtivas e operacionais de uma instalação real. Em seguida, diversas situações de faltas elétricas foram simuladas, e um algoritmo de detecção foi desenvolvido. A aplicação desse algoritmo sobre os dados simulados permitiu identificar o momento exato da ocorrência da falta, empregando vetores espaciais em conjunto com o método PELT (Pruned Exact Linear Time), que auxiliou na determinação precisa do instante da falta.

Keywords—detecção, falta elétrica, Transformada de Park, parque eólico, método PELT

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos pode ser observada uma crescente demanda sobre as matrizes energéticas nas sociedades contemporâneas, em especial destaque sobre as matrizes de origem fósseis, elevando o nível de gases do efeito estufa na atmosfera. Nesse contexto, as fontes de energias renováveis, têm ganhado destaque na redução do impacto ambiental, com a energia eólica alcançando uma fatia cada vez maior na composição da matriz energética brasileira, especialmente na região Nordeste do Brasil.

A energia eólica, com o aumento de sua contribuição na matriz energética, busca aumentar seus níveis de eficiência operacional, tanto do ponto de vista técnico, quanto econômico. A rápida identificação de faltas elétricas em parques eólicos constitui um importante fator a incrementar na eficiência, permitindo um restabelecimento ágil da geração de energia, e assim, galgando maiores patamares de confiabilidade operacional do sistema eólico.

Arelado ao desenvolvimento tecnológico, novas abordagens não clássicas envolvendo a aplicação de inteligência artificial e processamento de sinais para detecção de faltas têm sido exploradas, como a Lógica Fuzzy [1] e [2]

e Máquina de Vetores de Suporte – SVM [3]. Essas abordagens visam resolver limitações das técnicas clássicas, especialmente em relação à robustez na presença de ruídos e diferentes condições de operação. No entanto, deve-se levar em consideração a disponibilidade de dados históricos para treinamentos e testes dos algoritmos.

Por outro lado, abordagens clássicas de detecção de faltas, aplicáveis também para redes coletoras de parques eólicos, envolvem técnicas de proteção por distância [4], sobrecorrente [2] e [5], direcional [6] e diferencial [7]. Além disso, há os métodos de detecção do instante de ocorrência das faltas elétricas, dentre os quais podem ser mencionados os métodos que utilizam impedância [8] ou também de sobrecorrente [9], sendo, entretanto, um desafio para tais métodos as faltas elétricas para a terra com alta impedância [9].

Lógicas de proteção convencionais podem não ser aplicáveis em redes elétricas contendo geração distribuída [10]. Tendo isso em vista, o presente trabalho, em fase de desenvolvimento, busca desenvolver um algoritmo inovativo para detecção de faltas elétricas aplicando-se a Transformada de Park juntamente com o método PELT, visando a detecção de faltas elétricas para redes coletoras de parques eólicos em sistemas de média tensão, com intuito de construir um algoritmo de bom desempenho tanto para faltas elétricas de baixa como de elevada impedância.

O método de detecção de faltas elétricas do presente trabalho foi submetido a 4650 simulações de faltas elétricas. Tais simulações foram realizadas a partir de parâmetros reais de uma rede de média tensão (34kV) com derivações, por meio do programa PSCAD - Power Systems Computer Aided Design. Foram variados os seguintes parâmetros nas simulações:

- Tipo de falta: AN, BN, CN, ABN, ACN, BCN, AB, AC, BC, ABC;
- Ângulo de incidência do defeito: 0°, 45° e 90°;

- Impedância de defeito: 0, 10, 25, 40 e 50Ω;

As faltas elétricas foram distribuídas ao longo de 31 locais, denominadas de Flt_1 a 31 (cf. figuras 2 a 5), em distintos circuitos, com os aerogeradores apresentando fator de potência unitário e 75% da sua potência nominal. As linhas de distribuição de média tensão foram dispostas na configuração trifásico a três fios e utilizado o modelo pi. As simulações foram realizadas em tempo total de 0,3 segundos, com instante da falta aplicada em 0,1 segundos em todos os casos.

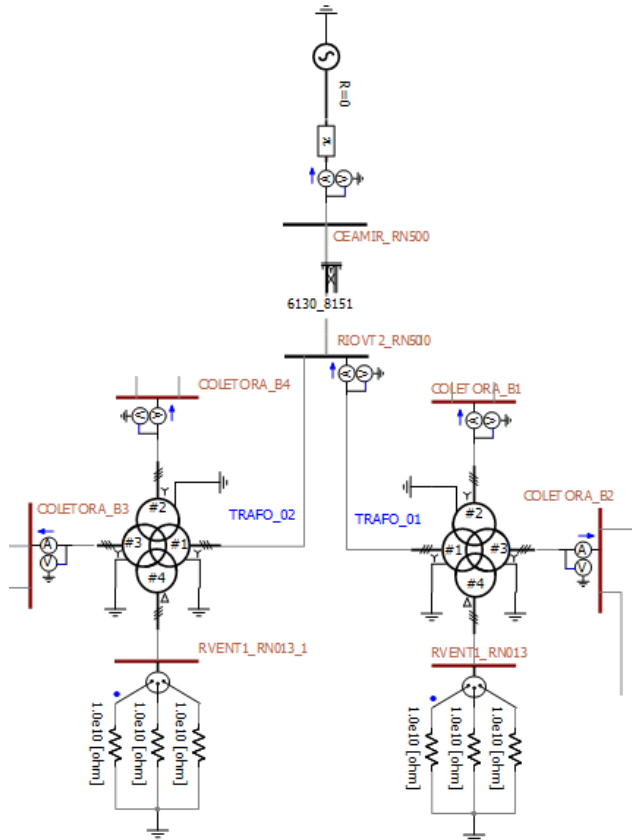


Fig. 1. Trecho de alta tensão os transformadores 1 e 2

A Fig. 1 representa o trecho de alta tensão bem como os transformadores 1 e 2, com suas respectivas barras coletoras (B1, B2, B3 e B4). Cada coletora está ligada a uma rede de média tensão, como observado na Fig. 2, relativo à coletora B1.

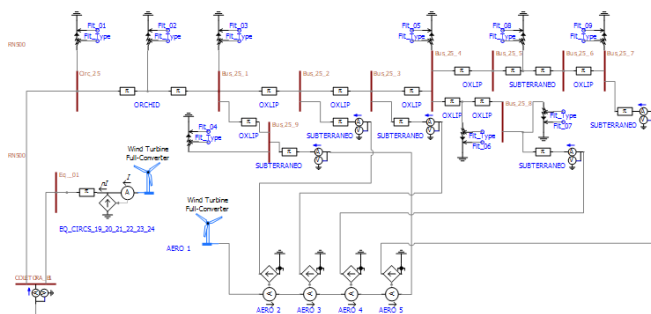


Fig. 2. Trecho de média tensão referente a coletora B1.

A Fig. 3 apresenta os trechos de média tensão referentes à coletora B2.

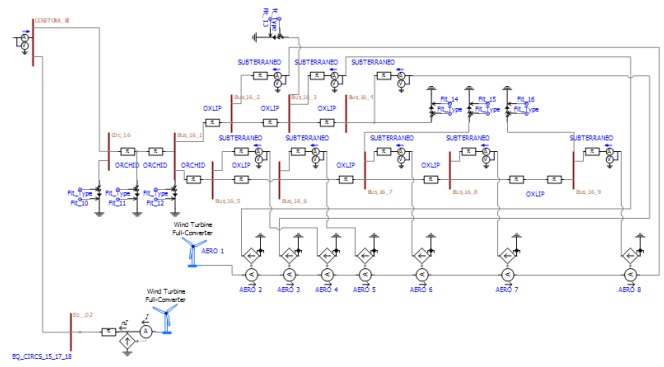


Fig. 3. Trechos de média tensão referentes a coletora B2.

Com intuito de simplificar os aspectos de simulação, ao invés de utilizar diversos aerogeradores no circuito foi mantido um único aerogerador e os demais substituídos por fontes de corrente.

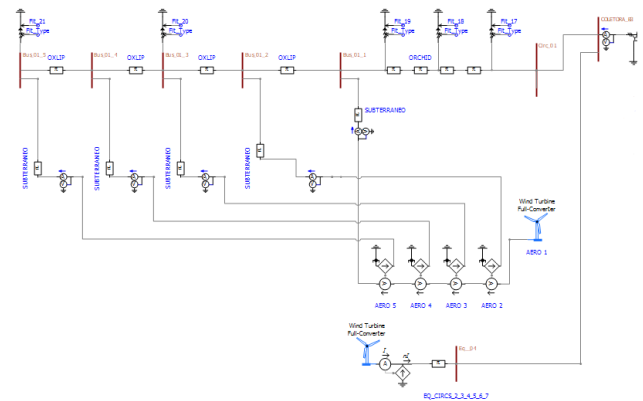


Fig. 4. Trecho de média tensão referente a coletora B3.

Nas figuras 4 e 5 estão representados os circuitos referentes às coletoras B3 e B4.

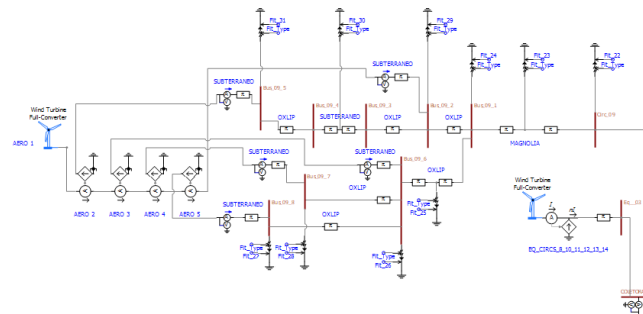


Fig. 5. Trechos de média tensão referentes à coletora B4.

II. ALGORITMO DE DETECÇÃO DO INSTANTE DE FALTA

Para o algoritmo de detecção do instante de faltas elétricas, desenvolvido em linguagem de programação Python, foi elaborado um método dividido nas seguintes etapas: (i) entrada de dados; (ii) processo de amostragem; (iii) processo de filtragem do sinal amostrado; (iv) aplicação da Transformada de Park nos sinais trifásicos; (v) aplicação do método PELT e extração do instante de falta. Tal sequência pode ser vista no fluxograma da Fig. 6.

A. Entrada de dados (etapa i)

Na etapa inicial do algoritmo de detecção, os 4650 casos de faltas simuladas foram disponibilizados, separadamente, em arquivos no formato CSV. Para que o estudo tivesse um

amplo horizonte de cenários simulados, os parâmetros como: tipo de falta; ângulo de incidência; impedância de curto circuito e local de falta foram variados para cada um dos casos, formando assim uma ampla base de dados nos distintos cenários de simulação para posterior teste e validação do algoritmo proposto.

B. Amostragem dos sinais I_A , I_B , I_C .

Após a leitura dos sinais de correntes no início do alimentador de média tensão (I_A , I_B , I_C) no arquivo CSV, o processo de amostragem dos sinais é iniciado. Para o presente trabalho, foi adotado uma frequência de amostragem de 64 amostras por ciclo, pois esta é uma taxa de amostragem típica de relés inteligentes e IEDs (*Intelligent Electronic Devices*). Submeter o algoritmo a tal taxa de amostragem permite avaliar condições mais próximas das operacionais atualmente praticadas.

C. Transformada de Park

O estudo da Transformada de Park foi publicado em 1929 por Ralph H. Park em seu artigo “*Two-Reaction Theory of Synchronous Machines*”, no *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers (AIEE)*, com o objetivo de estudar motores de pólos salientes [11]. Através dessa transformada, é possível converter um sistema trifásico (a, b, c) em um sistema dq0.

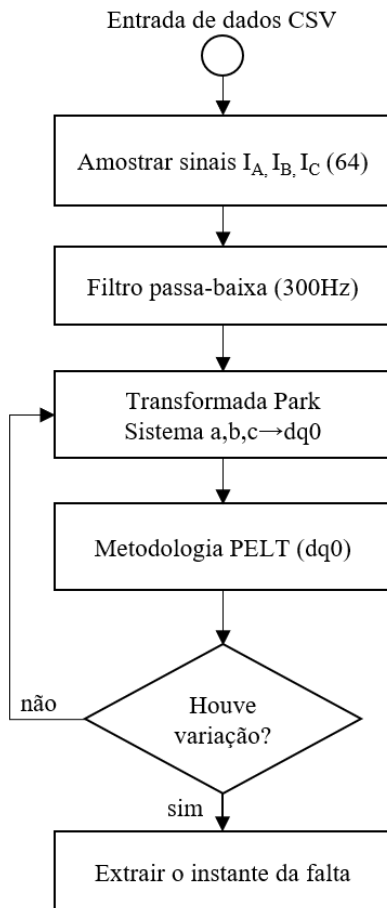


Fig. 6. Fluxograma do algoritmo de detecção do instante de falta.

O sistema dq0 é constituído de dois eixos girantes, denominados de eixo direto e de eixo de quadratura, os quais giram com mesmo sentido e frequência angular (ω) à frequência nominal, das correntes trifásicas. Seus eixos bem como suas fases foram representados na Fig. 7.

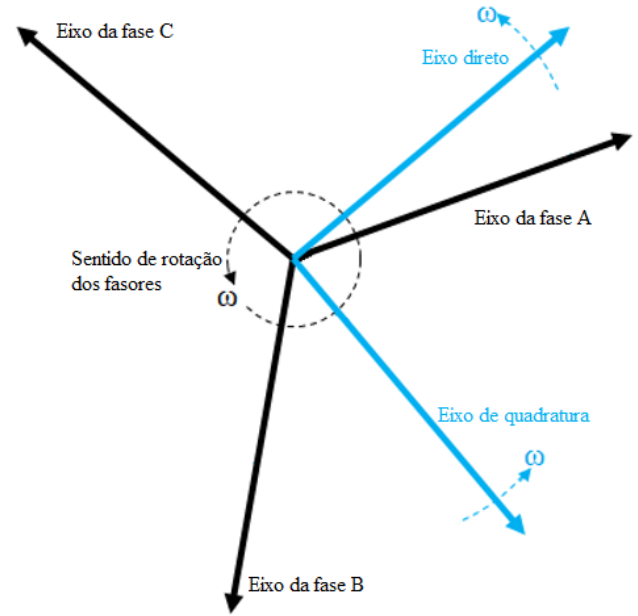


Fig. 7. Transformada Park com os eixos de fase e eixos direto e de quadratura.

Para gerar os eixos direto e de quadratura a partir dos valores das correntes fases A, B e C foi utilizado, neste trabalho, a expressão da Eq. 1.

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = T_p \cdot \begin{bmatrix} i_0 \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde a matriz de Transformação de Park (T_p) é dada pela Eq. 2:

$$T_p = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 & 0,5 \\ \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2*\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4*\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2*\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4*\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

O termo i_0 , refere-se ao fato, quando as correntes I_A , I_B , I_C forem defasadas de 120° entre si e equilibradas no regime permanente, a sua soma será igual a zero. Assim, além de possibilitar que a transformação do sistema a, b, c em dq0 possa assumir caminho reverso [12], a corrente i_0 terá valor numérico não nulo apenas para as situações de falta para a terra; nas demais situações, seu valor é nulo.

Com relação ao ângulo θ , este foi determinado a partir de um sinal de referência implementado no algoritmo, dentro da etapa da Transformada de Park, garantindo assim que as correntes trifásicas e ao sinal de referência tenham a mesma variação e atualização de θ em cada iteração.

Um aspecto importante das correntes direta e de quadratura está em que uma vez as correntes de fase (I_A , I_B , I_C) estiverem equilibradas e defasadas entre si em 120° , os sinais do sistema dq0 vão apresentar uma resposta linear e constante ao longo do tempo [12]. Porém, caso tal condição seja alterada, em função de um curto-circuito do tipo fase terra ou fase-fase, as correntes direta e de quadratura apresentarão um comportamento variável.

D. Método PELT aplicado ao Sistema dq0

O método PELT (*Pruned Exact Linear Time*) foi publicado pela primeira vez no artigo "Optimal Detection of Change-points With a Linear Computational Cost", pelos autores Killick, Fearnhead e Eckley na revista "Journal of the American Statistical Association" e desenvolvido para detectar múltiplos pontos de mudanças em séries temporais [13].

Tal método, ao segmentar um conjunto de dados, atribui uma função de custo a cada um dos segmentos. Tal função de custo retorna um valor numérico que reflete a penalidade associada à segmentação. Portanto, quanto menor seu valor, maior será a sinalização para recomendar uma segmentação [13].

O método PELT elimina segmentações que não contribuem para uma melhor solução, o que reduz o custo computacional. Assim, o algoritmo retorna a melhor segmentação possível para um dado conjunto de dados, garantindo eficiência e exatidão na detecção nos pontos de mudança [13].

Portanto, para o método PELT, o modelo adotado da função de custo é fundamental durante a segmentação, pois determina os critérios no qual o segmento de dados será submetido e, mediante os critérios aplicados pelo modelo escolhido, os pontos de mudança podem ser distintos quanto à sua localização e também quanto à sua quantificação sob um mesmo conjunto de dados. Além disso, faz com que, dentro de um segmento, os valores sejam o mais semelhantes possível entre si, e os segmentos sejam o mais distintos possível entre si [13].

Neste estudo em desenvolvimento foi adotado a função de custo de modelo "l1" conforme apresentado [14] e [15]. Comparado com outros métodos de segmentação, como a segmentação binária (Binary Segmentation, BS), que oferece uma solução de segmentação iterativa, embora seja rápida, esta não possui uma precisão superior o método PELT, pois a BS pode não encontrar a melhor solução em todos os segmentos. Outra abordagem de segmentação de dados que busca uma segmentação ótima é a *Optimal Partitioning* (OP), a qual, entretanto, possui um elevado custo computacional, inviabilizando para um grande conjunto de dados [13].

O método PELT foi aplicado sobre um sinal composto pelas correntes direta e de quadratura para detecção do instante de falta, denominado de sinal dq. Tal sinal é composto pela raiz quadrada da soma do quadrado entre as correntes direta e de quadratura, fazendo com que qualquer mudança em um de seus termos apresente uma variação resultante significativa, conforme exemplificado na Fig. 8, o que facilita a detecção do instante de falta pelo método. Esta etapa ocorre de maneira iterativa sobre todo o sinal e, caso encontre uma variação apontada pelo método PELT, retorna o instante de detecção.

O método PELT é aplicado em um vetor com dimensão de um quarto da frequência de amostragem, ou seja, em um vetor de 16 posições, em que, ao preencher todas as suas posições, se elimina a última posição e recebe o novo valor, atualizando assim o vetor e aplicando novamente o método em cada nova iteração.

Com relação ao aspecto da detecção, um fator importante a mencionar que se trata do valor de referência limite (*threshold*) utilizado pelo método PELT. Assim, caso este

valor seja excedido durante a variação do sinal dq, o método aponta tal situação como uma falta elétrica. O valor dessa variável deve estar ajustado de tal modo que o algoritmo capture apenas as variações características de faltas elétricas, ou seja, se o valor for muito baixo, qualquer variação será entendida pelo algoritmo como uma falta, se o valor for muito alto a ocorrência da falta elétrica não será detectada. Portanto, tem-se dois critérios do método PELT, cuja escolha depende do tipo de dados a ser analisado. Diversos tipos de função de custo e valores de referência limite do método deve ser testados, avaliados e selecionados.

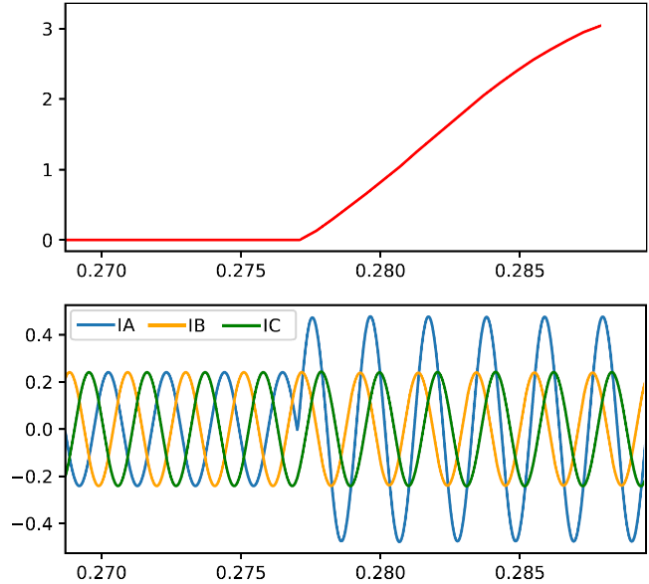


Fig. 8. Relação do sinal dq, no quadro superior, e a respectiva oscilografia de suas correntes I_A , I_B , I_C , no quadro inferior, no instante de falta elétrica do tipo AN.

III. RESULTADOS PRELIMINARES

Dentro dos casos simulados através do algoritmo apresentado e, considerando os valores e critérios anteriormente mencionados, foram obtidos os valores de detecção, distribuídos por coletoras, conforme mostrado na Tabela 1.

TABELA 1. DISTRIBUIÇÃO DAS DETECÇÕES POR COLETORA

	B1	B2	B3	B4	ND ^a
B1	1336				
B2		1050			
B3			744		
B4				1493	
ND ^a					27

^a. ND – Não detectado

A Tabela 1 mostra que o algoritmo, em todos os casos testados, não retornou de maneira errônea a coletora onde houve a ocorrência da detecção da falta. Além disso, a porcentagem de detecção apresentada foi de 99,42% com apenas 0,58% dos casos não detectados, um valor de detecção satisfatório para sinais em regime permanente.

Ao observar os dados sob o ponto de vista do tipo de falta elétrica, a Tabela 2 apresenta os percentuais de detecção e não ocorrência de detecção, em relação ao total de casos, para cada tipo de falta.

TABELA 2 - TAXA DE DETECÇÃO POR TIPO DE FALTA

Tipo de falta	Taxa de detecção (%)	Taxa de erro (%)
AN	98,49%	1,51%
BN	98,06%	0,19%
CN	97,63%	2,37%
ABN	100,00%	0,00%
ACN	100,00%	0,00%
BCN	100,00%	0,00%
AB	100,00%	0,00%
AC	100,00%	0,00%
BC	100,00%	0,00%
ABC	100,00%	0,00%

A Tabela 2 mostra que todos os tipos de falta obtiveram detecção acima de 97%, com um pequeno número de faltas não detectadas para o tipo fase terra.

Observando o comportamento do algoritmo em relação aos diversos tipos de impedância, a Tabela 3 apresenta os valores percentuais de detecção, em relação ao total dos casos, para cada valor de impedância de curto circuito podem ser visualizados abaixo.

TABELA 3 - FALTA POR IMPEDÂNCIA DE CURTO CIRCUITO

Impedância de cc	Taxa de detecção (%)	Taxa de não detecção (%)
50	100,00%	0,00%
40	100,00%	0,00%
25	97,10%	2,90%
0	100,00%	0,00%

É possível observar, na Tabela 3, que apenas para o valor de impedância de 25 Ω houve 2,90% de casos não detectados. Comparando com os dados da Tabela 2, os casos no qual não ocorreram detecção foram as situações de faltas do tipo fase-terra com impedância de 25 Ω . Isso mostra a necessidade de adequações no modelo adotado para a função de custo e do valor de referência limite durante a aplicação do método PELT. O erro médio relativo ao tempo de detecção apresentado pelo algoritmo foi de 0,00898 segundos, o que representa em termos percentuais valor de 8,98%.

IV. CONCLUSÃO

Como resultados preliminares no estudo de detecção do instante de faltas elétricas, o algoritmo proposto apresentou resultados promissores mesmo para altos valores de impedância de defeito, a partir de diferentes tipos de critérios variados ao longo do estudo. Os bons resultados em diferentes cenários de faltas elétricas mostram a robustez da solução na detecção do instante das faltas.

Mesmo com resultados satisfatórios no contexto de um estudo preliminar, o algoritmo ainda apresenta alguns aspectos para melhorias, a partir do estudo e análise dos diferentes métodos disponíveis para a função de custo e valores limite de referência do método PELT, adequando

melhor essa ferramenta para a análise de sinais elétricos. Outro aspecto positivo do estudo é a possibilidade de detecção sem ter que realizar cálculos fasoriais dos sinais de corrente, dado que tais cálculos demandam filtros para remover componentes não oscilatórios, bem como a aplicação da transformada rápida de Fourier para extrair a amplitude e fase dos sinais de pré e pós falta, o que demanda maior esforço computacional e tempo de processamento. O presente método utiliza apenas a Transformada Park e o método PELT para obter resultados semelhantes as técnicas que utilizam de fasores.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Greenhouse Gas Innovation (23.1.8493.1.9), sediado pela Universidade de São Paulo (USP), patrocinado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2020/15230-5) e patrocinado pela TotalEnergies, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) por meio da regulamentação da taxa de P&DI.

REFERÊNCIAS

- [1] Z. Lv, B. Ning, W. Luo, W. Liu, W. Deng, Z. Hu, K. Yu, X. Zeng, G. Zhao, and Z. Zhao, "A novel protection method of wind farm collector line based on FCM clustering analysis," in *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP)*, 2019, pp. 750–754.
- [2] K. Yu, Z. Liu, G. Zhao, J. Li, X. Zeng, and Z. Wang, "A novel protection method for a wind farm collector line based on FCM clustering analysis," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 129, p. 106863, 2021.
- [3] M. Manohar, E. Koley, and S. Ghosh, "A reliable fault detection and classification scheme based on wavelet transform and ensemble of SVM for microgrid protection," in *2017 3rd Int. Conf. on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATcT)*, 2017, pp. 24–28.
- [4] J. Ma, W. Zhang, J. Liu, and J. S. Thorp, "A novel adaptive distance protection scheme for DFIG wind farm collector lines," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 94, pp. 234–244, 2018.
- [5] T. Zheng, Y. Zhao, and Y. Zhu, "Overcurrent protection scheme for collector lines in wind farm based on fault component current correlation analysis and multiagent system," *IET Renewable Power Gener.*, vol. 14, no. 2, pp. 313–320, 2020.
- [6] X. Li, Y. Lu, W. Jin, and D. Lu, "Accelerated protection scheme for collector power line in DFIG-based wind farm," in *2020 IEEE PES Transmission and Distribution Conf. and Exposition (T&D)*, 2020, pp. 1–5.
- [7] W. Jiang, X. Li, Y. Lu, and J. Qin, "A directional protection scheme for collector lines of DFIG-based wind farm using positive-sequence equivalent impedance comparison," in *2021 IEEE 5th Conf. on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, 2021, pp. 2478–2483.
- [8] A. G. Phadke and J. S. Thorp, *Computer Relaying for Power Systems*, 2nd ed. Tauton: Research Studies Press, 1988.
- [9] E. C. Senger, "Proteção digital de sobrecorrente," Ph.D. dissertation, Univ. de São Paulo, São Paulo, Brazil, 1990.
- [10] J. Ding et al., "An innovative protection method for power collector lines in wind farms," in *2023 IEEE 4th China Int. Youth Conf. on Electrical Engineering (CIYCEE)*, Chengdu, China, 2023, pp. 1–5, doi: 10.1109/CIYCEE59789.2023.10401832.
- [11] R. H. Park, "Two-reaction theory of synchronous machines generalized method of analysis-part I," *Trans. Amer. Inst. Electr. Eng.*, vol. 48, no. 3, pp. 716–727, Jul. 1929, doi: 10.1109/T-AIEE.1929.5055275.
- [12] L. Matakas Jr., "Implementação de controladores para conversores trifásicos, sem transformações de coordenadas: análise geométrica através de vetores espaciais," Livre Docência thesis, Univ. de São Paulo, São Paulo, Brazil, 2012. Available: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-163756/>. Accessed: Dec. 16, 2024.

- [13] R. Killick, P. Fearnhead, and I. A. Eckley, "Optimal detection of changepoints with a linear computational cost," *J. Amer. Stat. Assoc.*, vol. 107, no. 500, pp. 1590–1598, 2012, doi: 10.1080/01621459.2012.737745.
- [14] P. Fryzlewicz, "Unbalanced Haar technique for nonparametric function estimation," *J. Amer. Stat. Assoc.*, vol. 102, no. 480, pp. 1318–1327, 2007, doi: 10.1198/016214507000000860.
- [15] E. Keogh, S. Chu, D. Hart, and M. Pazzani, "An online algorithm for segmenting time series," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Data Mining (ICDM)*, 2001, pp. 289–296.
- [16] Jeongjun Lee, Hyeongcheol Lee, Jihwan Kim and Jiyoel Jeong, "Model-based fault detection and isolation for electric power steering system," 2007 International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, 2007, pp. 2369-2374, doi: 10.1109/ICCAS.2007.4406728.
- [17] Y. Zhang, J. Zhang, J. Ma and Z. Wang, "Fault detection based on discriminant analysis theory in electric power system," 2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, Nanjing, China, 2009, pp. 1-5, doi: 10.1109/SUPERGEN.2009.5347972.
- [18] R. -A. Tîrnovan and M. Cristea, "Advanced techniques for fault detection and classification in electrical power transmission systems: An overview," 2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Cluj, Romania, 2019, pp. 1-10, doi: 10.1109/MPS.2019.8759695.
- [19] Z. Yagang, Z. Jinfang, M. Jing and W. Zengping, "Fault Detection and Identification Based on DFS in Electric Power Network," 2008 IEEE International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling Workshop, Wuhan, China, 2008, pp. 742-745, doi: 10.1109/KAMW.2008.4810597.
- [20] M. Wadi and W. Elmasry, "An Anomaly-based Technique for Fault Detection in Power System Networks," 2021 International Conference on Electric Power Engineering – Palestine (ICEPE- P), Gaza, Palestine, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEPE-P51568.2021.9423479.
- [21] A. -M. Moldovan, S. Oltean and M. I. Buzdugan, "Methods of Faults Detection and Location in Electrical Systems," 2021 9th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/MPS52805.2021.9492549.
- [22] H. Wu, W. Shang, C. He, B. Li and K. Song, "Design of Power Equipment Fault Detection and Diagnosis System Based on Deep Learning," 2024 International Conference on Electrical Drives, Power Electronics & Engineering (EDPEE), Athens, Greece, 2024, pp. 911-916, doi: 10.1109/EDPEE61724.2024.00175.