



Universidade de Pernambuco (UPE)
Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
Instituto de Ciências Biológicas (ICB)

Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas

Proposta de Dissertação de Doutorado

Área: Cibernética
Linha de Pesquisa: Sistemas Energéticos
Título Provisório: Proteção Diferencial Baseada em Álgebra Geométrica para Redes Elétricas Modernas com Alta Penetração de Renováveis Intermitentes
Orientador: Prof. Dr. Roberto Feliciano Dias Filho
Co-orientador: Prof. Dr. José Raimundo Lima Júnior

Descrição:

Este projeto de pesquisa de doutorado propõe o desenvolvimento de um método inovador para proteção diferencial em sistemas elétricos com alta penetração de fontes renováveis intermitentes. O objetivo principal é aumentar a sensibilidade, assertividade e a rapidez na discriminação de falhas internas e externas em ambientes complexos, caracterizados por distorções harmônicas e desafios associados à integração de geração renovável. A metodologia baseia-se em técnicas de álgebra geométrica, ou álgebra de Clifford, aplicada aos vetores de Clarke representativos de sistemas trifásico, explorando os padrões geométricos das correntes de operação sem dependência de filtros ou temporizadores configuráveis, comuns em métodos tradicionais de proteção [1].

O método fundamenta-se na análise direta dos produtos geométricos, produtos escalares e produtos wedge dos vetores especiais das correntes diferenciais, os quais refletem características como alinhamento angular e compatibilidade de magnitude [2, 3, 4]. Pesquisas preliminares têm sugerido que é possível discriminar, de maneira robusta e confiável, falhas internas e externas sem necessidade de processamento adicional para remoção de harmônicos. Essa robustez é particularmente relevante em sistemas elétricos modernos, onde a presença de fontes renováveis, como eólica e solar, pode gerar distorções, instabilidades e elevados tempos de extinção de anormalidade que desafiam métodos convencionais de proteção.

A implementação do algoritmo deve ser realizada em linguagem ATP MODELS, a fim de viabilizar a simulação em ATPDraw de rede elétricas sob cenários representativos de operação e falha em transformadores, linhas de transmissão e barras de subestações, componentes aos quais a proteção



Universidade de Pernambuco (UPE)
Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
Instituto de Ciências Biológicas (ICB)

diferencial é aplicada. A modelagem em MODELS será posteriormente traduzida para Python ou C para uma possível implementação de um protótipo em hardware.

Dentre as principais vantagens do método, destaca-se a eliminação da necessidade de parametrização complexa e ajustes de proteção, uma vez que os limites para discriminação de falhas podem ser diretamente associados à geometria vetorial dos componentes protegidos. Além disso, o emprego da álgebra geométrica dispensa a estimação fasorial, simplificando o algoritmo de processamento, o que resulta em uma resposta mais rápida e eficiente, além de estar alinhada com a linha de relés comerciais, que têm priorizado algoritmos no domínio do tempo.

Em um contexto de redes elétricas modernas com alta penetração de fontes renováveis intermitentes, como eólica e solar, a integração desse método à infraestrutura de proteção se apresenta como uma solução promissora. A abordagem alinha-se às tendências de digitalização dos sistemas de Proteção, Automação e Controle (PAC), sendo particularmente adequada para cenários onde a estabilidade e a eficiência da proteção são críticas. Estudos futuros podem explorar a integração desta metodologia com sistemas de proteção adaptativos baseados em inteligência artificial, ampliando sua aplicabilidade em redes elétricas inteligentes.

Do Candidato: Formação de graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrotécnica

Referências Bibliográficas: Não foram encontrados nenhum artigo científico em revistas científicas relevantes tratando do tema. As referências abaixo relacionadas são correlatas ao tema:

[1] F. G. Montoya e A. H. Eid, “Formulating the geometric foundation of Clarke, Park, and FBD transformations by means of Clifford's geometric algebra,” *Math. Meth. Appl. Sci.*, vol. 45, pp. 4252–4277, 2022.

[2] F. G. Montoya, F. de León, F. M. Arrabal-Campos, e A. Alcayde, “Determination of Instantaneous Powers From a Novel Time-Domain Parameter Identification Method of Non-Linear Single-Phase Circuits,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 37, no. 5, pp. 3608–3616, Oct. 2022.

[3] A. H. Eid e F. G. Montoya, “A Systematic and Comprehensive Geometric Framework for Multiphase Power Systems Analysis and Computing in Time Domain,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 132725–132738, 2022.

[4] A. H. Eid e F. G. Montoya, “Developing GA-FuL: A Generic Wide-Purpose Library for Computing with Geometric Algebra,” *Mathematics*, vol. 12, no. 2272, 2024.



Universidade de Pernambuco (UPE)
Escola Politécnica de Pernambuco (POLI)
Instituto de Ciências Biológicas (ICB)