



ABSTRAK

Stabilitas dan keandalan sistem tenaga listrik sangat bergantung pada kemampuan dalam memantau dan mengendalikan kondisi dinamis generator sinkron. Estimasi keadaan dinamis menjadi komponen penting dalam sistem monitoring modern, terutama dalam menghadapi ketidakpastian dan gangguan operasional yang terjadi secara waktu nyata. Oleh karena itu, diperlukan metode estimasi yang adaptif dan akurat untuk memastikan kesinambungan operasi sistem.

Penelitian ini mengevaluasi kinerja tiga metode pemfilteran Bayesian, yaitu Extended Kalman Filter (EKF), Unscented Kalman Filter (UKF), dan Particle Filter (PF), dalam estimasi keadaan generator sinkron. Simulasi Monte Carlo digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi laju pencuplikan, karakteristik derau proses dan pengukuran, serta gangguan transien pada tegangan eksitasi terhadap akurasi estimasi. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan akurasi, konvergensi, dan ketahanan masing-masing metode terhadap skenario gangguan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa EKF memberikan hasil estimasi yang baik pada kondisi nominal dengan derau rendah, namun akurasinya menurun secara signifikan dalam kondisi derau tinggi atau non-Gaussian. UKF mampu menjaga keseimbangan antara akurasi estimasi dan kompleksitas komputasi, namun performanya terbatas pada skenario ekstrem. Sementara itu, PF menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap distribusi derau yang kompleks, menjadikannya lebih unggul untuk sistem dengan ketidakpastian tinggi. Temuan ini memberikan rekomendasi pemilihan metode estimasi yang sesuai berdasarkan karakteristik gangguan dan kondisi operasional sistem generator sinkron.

Kata kunci—Estimasi Keadaan Dinamis, Penyaringan Bayesian, Particle Filter (PF), Unscented Kalman Filter (UKF), Extended Kalman Filter (EKF), Simulasi Berbasis Monte Carlo, Proses Stokastik, Akurasi Estimasi.



ABSTRACT

The stability and reliability of power systems are critically dependent on the ability to monitor and control the dynamic behavior of synchronous generators. Dynamic state estimation plays a key role in ensuring system security, especially under uncertain operating conditions and transient disturbances. Therefore, accurate and adaptive estimation methods are essential to support reliable system operation.

This study evaluates the performance of three Bayesian filtering methods—Extended Kalman Filter (EKF), Unscented Kalman Filter (UKF), and Particle Filter (PF)—for dynamic state estimation of synchronous generators. Monte Carlo simulations are conducted to analyze the effects of varying sampling rates, process and measurement noise characteristics, and excitation voltage faults on estimation accuracy. The assessment focuses on estimation accuracy, convergence behavior, and robustness under different operational scenarios.

The results show that EKF performs well under nominal conditions with low noise levels but experiences significant accuracy degradation in high-noise or non-Gaussian environments. UKF offers a balance between estimation accuracy and computational demand but faces limitations in extreme conditions. In contrast, PF demonstrates superior robustness to complex and non-Gaussian noise, making it more suitable for systems with high uncertainties. These findings provide practical insights for selecting appropriate estimation techniques to support the reliable operation of synchronous generators.

Keywords—Dynamic State Estimation, Bayesian Filtering, Particle Filter (PF), Unscented Kalman Filter (UKF), Extended Kalman Filter (EKF), Monte Carlo-based Simulation, Stochastic Processes, Estimation Accuracy