

# Abstract

The methodology of Frequency-Adaptive Simulation of Transients (FAST) for the multi-scale modeling of power systems supports accurate simulation of diverse transients that cover various time scales. In this dissertation, the capabilities of FAST are utilized and an algorithm for modeling the short-circuit faults in multi-scale simulation is developed. The limitation of phasor signals for representing switching discontinuities such as short-circuit faults is overcome. The zero-crossing point of the fault current following the fault occurring point can be accurately detected even if the fault occurs during a period when the algorithm processes phasor signals. Meanwhile, the overall simulation efficiency is maintained at a high level.

The method of FAST is extended to also include models of phase-domain frequency-dependent transmission lines. The multi-scale modeling presented is able to accurately emulate the full frequency-dependent effects during high-frequency transients and efficiently simulate slow transients. This line model is extended by an interface for integrating different partitions with flexible simulation algorithms at opposite terminals. The electromagnetic transients (EMT) or phasor-mode simulations can be applied to one or both partitions depending on the transients observed in the corresponding partitions. The computational efficiency in simulating large-scale power systems is improved.

Particular attention is attributed to obtain a simultaneous solution for integrating nodal-analysis and state-space methods in multi-scale simulation. The shiftable analytic signals are introduced to the network modeled with the state-space solution. The resulting frequency-adaptive companion model enables compatibility with the simulation drivers based on nodal analysis. The interfacing method is validated with application to a nonlinear network model. A wind energy conversion system (WECS) based on permanent magnet synchronous generator (PMSG) is presented with state-space equations and integrated with different nodal-analysis-based network models. The proposed interfacing method offers effective solution when energy conversion systems are included in multi-scale simulation.

# Kurzzinhalt

Die Methode der „Frequency Adaptive Simulation of Transients (FAST)“ für die mehrskaligen Modellierung von Energiesystemen ermöglicht die genaue Simulation von Ausgleichsvorgängen, die über unterschiedliche Zeitskalen stattfinden können. In dieser Dissertation werden die Fähigkeiten von FAST genutzt und ein Algorithmus zur Modellierung von Kurzschlussfehlern für Multiskalensimulationen entwickelt. Die Einschränkung von Zeigergrößen für die Darstellung von Schaltdiskontinuitäten wie Kurzschlussfehlern wird überwunden. Der Nulldurchgangspunkt des Fehlerstroms nach dem Fehlerauftrittspunkt kann genau erfasst werden, selbst wenn der Fehler während einer Periode auftritt, in der der Algorithmus Zeigersignale verarbeitet. Die Gesamtsimulationseffizienz bleibt auf einem hohen Niveau. Das Methodik von FAST wird erweitert, um auch Modelle von frequenzabhängigen Übertragungsleitungen in der Phasor-domäne zu entwickeln. Die vorgestellte Multiskalenmodellierung ist in der Lage, die vollständigen frequenzabhängigen Effekte im Hochfrequenzbereich genau zu emulieren und die langsamen Ausgleichsvorgänge effizient zu simulieren. Dieses Übertragungsleitungenmodell wurde mit Hilfe eines Interfaces zur Integration verschiedener Teile mit flexiblen Simulationsalgorithmen an gegenüberliegenden Terminals erweitert. Die elektromagnetischen Transienten oder Phasor-Mode-Simulationen können in Abhängigkeit der in den entsprechenden Teilen beobachteten Ausgleichsvorgänge auf einen oder beide Teile angewendet werden. Die Recheneffizienz der Simulation von Energiesystemen in großem Maßstab wird verbessert. Besondere Aufmerksamkeit wird darauf gelegt, eine gleichzeitige Lösung der Integration von Knotenanalyse und Zustandsraummethoden in der Multiskalensimulation zu erhalten. Die verschiebbaren analytischen Signale werden in mit Phasor modellierte Netzwerkmodell eingeführt. Das daraus entstandene frequenzadaptive Begleitmodell ermöglicht die Kompatibilität mit den auf dem Knotenpotentialverfahren basierenden Simulationstreibern. Die Methode mit Interface wird durch Anwendung auf ein nichtlineares Netzwerkmodell validiert. Das auf einem Permanentmagnet-Synchrongenerator basierende Windenergieumwandlungssystem wird mit Zustandsraumgleichungen dargestellt und in verschiedene auf Knotenpotentialverfahren basierende Netzwerkmodelle integriert. Die vorgestellte Schnittstellenmethode bietet eine effektive Unterstützung, wenn Energieumwandlungssysteme in die Mehrskalensimulation einbezogen werden.