

Zusammenfassung

Mit der Zunahme erneuerbarer Energiequellen, die über leistungselektronische Umrichter oder Wechselrichter ans Stromnetz angeschlossen sind, unterliegen Stromnetze einer Transformation hin zum von Leistungselektronik dominierten System. Diese von der Leistungselektronik dominierten Systeme weisen inhärente Merkmale wie geringe Trägheit und häufige Schaltvorgänge auf, die zu einer schlechten Systemdynamik und Simulationseffizienz führen. Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, diese Herausforderungen mit Hilfe der Entwicklung von geeigneten Reglern und Multiskalenmodellierung von leistungselektronisch dominierten Microgrids anzugehen.

Um die Netzdynamik zu verbessern, werden zwei Reglerentwurfverfahren vorgeschlagen. Das erste Verfahren umfasst das Design einer virtuellen Kondensatorregelung, basierend auf der Beziehung zwischen Leistungs- und Spannungsänderung. Die Idee hinter dem virtuellen Kondensator besteht darin, den Effekt eines realen Kondensators zu emulieren. Die vorgeschlagene Regelung wird anschließend für den Anwendungsfall eines DC-Microgrids auf dessen Effektivität Spannungsschwankungen zu reduzieren getestet.

Das zweite Schema stellt den Entwurf von Statik-Reglern vor, die auf der dynamischen Phasor-Rechnung und der Optimierungsmethode \mathcal{H}_∞ basieren. Das vorgeschlagene Reglerentwurfsschema wird für den Reglerentwurf des Regelsystems von netzbildenden Umrichtern verwendet, um die Leistungsnachführung und die Störungsgrößenunterdrückung zu verbessern. Dank der entworfenen Regler wird das transiente Verhalten von leistungselektronisch dominierten Microgrids verbessert.

Um den Rechenaufwand bei gleichzeitigem Erhalt hoher Simulationsgüte zu reduzieren, wird ein Multiskalen-Simulationsmodell für leistungselektronisch dominierte Microgrids entwickelt. Das Modell wird in die FAST-Methode integriert. In dem entwickelten Multiskalenmodell wird eine neue Schnittstelle vorgeschlagen, die analytische und reale Signale miteinander koppelt. Diese berücksichtigt sowohl den Fortschritt der Phasenverschiebung als auch die Betragsvorhersage. Beide gewährleisten die numerische Genauigkeit und ermöglichen die Verwendung größerer Simulationszeitschritte, bis zu 50 ms im 100% umrichterbasierten Netzwerk. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass das vorgeschlagene Modell verschiedenste Transienten in von Leistungselektronik dominierten Microgrids mit hoher Genauigkeit und reduziertem Rechenaufwand simuliert.

Abstract

With the increase of renewable generation sources interfaced by power electronic converters, power systems dominated by synchronous generators are undergoing a transformation towards power electronic-dominated systems. These power electronic-dominated systems exhibit inherent characteristics such as low inertia and frequent switching actions, which result in poor network dynamics and simulation efficiency. This thesis aims to address these challenges by focusing on the controller design and multi-scale modeling of power electronic-dominated microgrids.

To enhance network dynamic performance, two controller design schemes are proposed. The first scheme involves the design of a virtual capacitor control by analyzing the theoretical relationship between power change and DC voltage variation. The idea behind the virtual capacitor is to emulate the effect of a physical capacitor. The proposed control scheme is incorporated into the multi-level energy storage system and then applied to DC microgrids with the aim of mitigating voltage variations.

The second scheme presents the design of droop controllers based on dynamic phasor calculus and \mathcal{H}_∞ optimization method. The proposed controller design scheme is implemented in the control system of grid-forming converters for the purpose of improving power tracking and disturbance rejection performance. Thanks to the designed controllers, the dynamic performance of power electronic-dominated microgrids is improved.

To improve simulation efficiency, a multi-scale simulation model for power electronic-dominated microgrids is developed. The model is integrated with the Frequency-Adaptive Simulation of Transients (FAST) methodology, which accurately emulates diverse transients across various time scales. In the developed multi-scale model, a new interface that links analytic signals and real signals is proposed. The proposed interface considers both the phase advance term and the magnitude prediction term. These two terms ensure numerical accuracy and enable the use of larger time step sizes, up to 50 ms in the 100% converter-based network. Simulation results demonstrate that the proposed model accurately and efficiently tracks diverse transients in power electronic-dominated microgrids.