

Abstract

Electromagnetic Transients (EMT)-type simulators are widely used for emulating electromagnetic transients in power-electric and electronic systems by electrical engineers. With the increasing integration of renewable energy in district heating systems through the power-to-heat technologies, the interaction between electric networks and district heating networks becomes an important subject. It is beneficial to extend the EMT-type simulation to include district heating networks. In this dissertation, methods for co-simulation of electric networks and district heating networks based on the nodal analysis for EMT-type simulation are developed.

Based on the analogies between electric, fluid, and thermal quantities, the proposed methods adopt electric circuit equivalents to model district heating networks in EMT-type simulators. This facilitates the co-simulation of electric networks and district heating networks in the same EMT-type simulation environments. Through the modeling of enthalpy transfer affiliated with free convection in pipes, the model can cope with the fluctuating and intermittent nature of renewable energy sources. This further facilitates the co-simulation of future energy systems with a high penetration rate of renewable energy sources.

Special attention is attributed to the multirate co-simulation of energy systems. A novel method for assessing the numerical stability of multirate simulation is proposed. With this method, the numerical stability that affiliated with different time step sizes can be analyzed. The proposed method is validated and tested. The proposed method offers the capability to assess the numerical stability in the co-simulation of different energy systems.

Kurzfassung

Mit zunehmender Integration von erneuerbaren Energien in Fernwärmesystemen durch die Power-to-Heat Technologien wird die Wechselwirkung zwischen elektrischen Energiesystemen und Fernwärmesystemen zu einem wichtigen Thema im Bereich der Elektrotechnik. In dieser Dissertation werden Methoden zur Co-Simulation von elektrischen Systemen und Fernwärmesystemen mit Hilfe des Knotenpotentialverfahrens für Electromagnetic Transients (EMT) Simulatoren entwickelt.

Mit Hilfe von Analogien zwischen elektrischen, thermischen und mechanischen Größen werden Fernwärmesysteme durch elektrische Ersatzschaltbilder in EMT-Simulatoren modelliert. Dies ermöglicht die Co-Simulation von elektrischen Systemen und Fernwärmesystemen in demselben EMT-Simulator. Durch die Modellierung der Übertragung von Enthalpie in Verbindung mit freier Konvektion in Rohren kann die fluktuierende und intermittierende Eigenschaft von erneuerbaren Energiequellen dargestellt werden. Dies erleichtert die Co-Simulation von zukünftigen Energiesystemen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energiequellen.

Besondere Aufmerksamkeit wird auf die Multirate Simulation von Energiesystemen gerichtet. Es wird eine neue Methode zur Bewertung der numerischen Stabilität der Multirate Simulation entwickelt. Mit dieser Methode kann die numerische Stabilität in Verbindung von verschiedenen Zeitschrittgrößen analysiert werden. Die Methode wurde validiert und angewandt. Die entwickelte Methode bietet die Möglichkeit, die numerische Stabilität der Co-Simulation von verschiedenen Energiesystemen zu bewerten.