

Abstract

In the operation of multi-energy networks, electricity, heating, cooling, and gas are optimally integrated and coupled with each other. For the interaction of multi-energy networks, combined heat and power is an efficient approach to generating on-site electric power and useful thermal energy from a specific fuel source. The Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) may be configured for combined heat and power. The SOFC uses the chemical energy of hydrogen or other fuels to efficiently produce electricity. If hydrogen is the fuel, the only products are electricity, water, and heat. In particular, a large amount of thermal energy is generated from the SOFC due to its high operating temperature. The thermal energy may be transferred through the pipes and used for district heating. The stability of the district heating system integrated with the SOFC-based combined heat and power should also be investigated. For the multi-energy networks powered by SOFC, it is necessary to establish accurate and efficient thermal transient pipe models and SOFC models.

The investigations for the multi-energy networks powered by the SOFC cover the pipe models, the stability analysis, and the multi-scale transients SOFC model. A consistent and comprehensive modeling framework that links pipe models to specific applications is developed for accurate analysis of district heating. The pipe models based on the lumped-parameter and distributed-parameter approaches are presented and compared. The resulting models are implemented through a state-space representation and a transfer function, respectively. For district heating, droop control may be used to regulate the supply temperature. However, it is possible to introduce instability into the system due to an inappropriate droop coefficient. Therefore, a small-signal state-space model is proposed for analyzing the stability of the district heating system. The impact of the droop coefficient on the stability of the district heating system is evaluated based on eigenvalue analysis. The effect of different droop coefficients on the dynamic response of the system is furthermore investigated. An appropriate droop coefficient is obtained.

Particular attention has been attributed to the modeling of the SOFC. The multi-scale SOFC model is established here including a detailed SOFC model and an averaged SOFC model. For improving the simulation efficiency, the multi-scale transients SOFC model can be adaptively switched between the detailed SOFC model and the averaged SOFC model according to a specific simulation task and transients of interest. For the multi-scale transients SOFC model, modularization is implemented in order to achieve a flexible connection to other possible multi-scale transients models.

Zusammenfassung

Beim Betrieb von Multi-Energie-Netzwerken werden Strom, Wärme, Kälte und Gas optimal integriert und miteinander gekoppelt. Für das Zusammenspiel mehrerer Energienetze ist die sogenannte Kraft-Wärme-Kopplung eine effiziente Methode, um Strom und wertvolle Wärmeenergie aus einem bestimmten Brennstoff vor Ort zu erzeugen. Festoxidbrennstoffzellen (SOFC) können für die Kraft-Wärme-Kopplung konfiguriert werden. SOFC wandeln die chemische Energie von Wasserstoff oder anderen Brennstoffen in Strom um. Wenn Wasserstoff als Brennstoff verwendet wird, entstehen lediglich Strom, Wasser und Wärme. Durch die hohe Betriebstemperatur der SOFC wird viel Wärme erzeugt. Diese Wärme kann durch Rohrleitungen übertragen und als Fernwärme genutzt werden. In diesem Zusammenhang soll die Stabilität des Fernwärmesystems mit integrierter SOFC-basierter Kraft-Wärme-Kopplung untersucht werden. Für das mit SOFC betriebene Multi-Energie-Netzwerk ist es notwendig, Modelle für Rohrleitungen und SOFC zu erstellen, mit denen die thermischen Ausgleichsvorgänge genau und effizient simuliert werden können.

Die Untersuchungen für die Multi-Energie-Netzwerken, die mit SOFC betrieben werden, umfassen die Modellierung von Rohrleitungen, die Stabilitätsanalyse und das Multiskalen-Transienten-SOFC-Modell. Für die detaillierte Analyse von Fernwärmenetzen wurde ein konsistenter und umfassender Modellierungsrahmen entwickelt, der die Rohrleitungsmodelle mit spezifischen Anwendungen verknüpft. Die Modelle der Rohrleitungen, basierend auf konzentrierten sowie verteilten Parameter-Modellen, werden vorgestellt und verglichen. Die Modelle werden jeweils mittels Zustandsraumdarstellung sowie mittels Übertragungsfunktionen implementiert. Zur Regelung der Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz kann Droop Control verwendet werden. Durch die Wahl von ungeeigneten Droop-Koeffizienten ist es jedoch möglich, dass das System instabil wird. Daher wird ein Kleinsignal-Zustandsraummodell zur Analyse der Stabilität des Fernwärmesystems entwickelt. Der Einfluss des Droop-Koeffizienten auf die Stabilität des Fernwärmesystems wird anhand einer Eigenwertanalyse bewertet. Weiterhin wird der Einfluss unterschiedlicher Droop-Koeffizienten auf die Dynamik des Systems untersucht. Somit ergibt sich ein geeigneter Droop-Koeffizient.

Besonderes Augenmerk wurde auf die Modellierung von SOFC gelegt. Das mehrskalige SOFC-Modell besteht aus einem detaillierten und einem gemittelten SOFC-Modell. Zur Verbesserung der Simulationseffizienz kann das mehrskalige und transiente SOFC-Modell abhängig von der spezifischen Simulationssaufgabe und der benötigten Transienten adaptiv zwischen dem detail-

lierten und dem gemittelten Modell umgeschaltet werden. Das mehrskalige und transiente SOFC-Modell wird modular implementiert, um eine flexible Verbindung zu anderen mehrskaligen Modellen zu erreichen.