

- **Optimization of Unit Commitment and Economic Dispatch in Microgrids Based on Genetic Algorithm (GA) and Mixed Integer Linear Programming (MILP)**

M. Sc. Mohsen Nemati

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. S. Tenbohlen

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. M. Braun

Universität Kassel

Tag der mündlichen Prüfung:

12.10.2017

Energy management system (EMS) applications of modern power networks like microgrids have to respond to a number of stringent challenges due to current energy revolution. A high penetration level of renewable energy sources could cause operation difficulties in power networks, with regard to predictability of the renewable generation, the correlation between generation and demand, as well as voltage and frequency stability. Near-optimal resource dispatch tasks in microgrids - namely, the unit commitment and economic dispatch problem - must be handled with specific regard to the addition of new resource types (i.e. battery storage devices and distributed generators etc.) and the adoption of novel modeling considerations. By taking into account the possible ancillary services in microgrids (e.g. peak shaving, reactive power optimization and loss minimization etc.) and high level of flexibility and participation capacity of microgrids in energy market, their EMS has to incorporate such applications more intelligently in order to enhance the supply quality.

In addition, due to the comprehensive changes concerning the distribution grid structure (e.g. the so-called multi cell grid), new policies and objectives should be fulfilled via microgrids' EMS. At the same time achieving a variety of goals - which are in some cases in conflict with each other - in different microgrids requires a universal and a multi criteria/objective optimization tool. Many efforts have been made for developing such sophisticated EMSs; however, few of them have the ability of considering the different perspectives of network operation in the optimization process and in different networks with many objectives, constraints and decision criteria.

Four main contributions of this thesis are as following:

Firstly, this thesis aims to model different relevant microgrid components at steady state. The models contain the technical, economic and ecological characteristics of the different distributed energy resources and battery storage systems. In scope of this work, a new aging model of a Lithium Ion battery based on an event-driven aging behavior has been introduced and implemented in the EMS.

Secondly, after a theoretical investigation of the potential optimization methods, an improved real-coded GA has been developed to schedule the unit commitment and economic dispatch (active and reactive power) of microgrid units. In the proposed genetic algorithm method, both network restrictions (voltages and equipment load-ings) and unit constraints have been considered, and minimization of the operation, aging and pollutant treatment costs have been formulated into the multi-objective functions.

Thirdly, an enhanced MILP based method has been applied to solve the unit commitment and economic dispatch problems. The proposed approach is able to attempt different pre-developed strategies for fixing the potential voltage and loading violations in the grid via active and reactive power readjustments, while simultaneously deriving optimized dispatchable distributed generators, renewable energy sources and battery storage system schedules.

Ultimately, the developed GA-based and MILP-based optimizers have been applied to the predefined microgrid model under different operation policies.

- **Optimierung der Fahrpläne von Generatoren und Speichersystemen in Mikronetzen mit Hilfe genetischer Algorithmen und gemischt-ganzzahliger linearer Programmierung**

M. Sc. Mohsen Nemati

Die Energiemanagementsysteme (EMS) moderner Stromnetze, zu denen Mikronetze zählen, müssen aufgrund der aktuellen Entwicklung auf eine Reihe von Herausforderungen reagieren. Die Optimierung des Komponentenbetriebs in Mikronetzen (Unit Commitment und Economic Dispatch) muss unter Berücksichtigung neuer Netzkomponenten (z. B. Batteriespeichersysteme, dezentrale Generatoren usw.) und der Einführung neuer Modellierungsaspekte behandelt werden. Unter Berücksichtigung möglicher Netzdienstleistungen in Mikronetzen (z. B. Peak-Shaving, Blindleis-

tungsoptimierung, Verlustminimierung etc.) und der hohen Flexibilität und Partizipationskapazität von Mikronetzen im Energiemarkt muss ihr EMS die genannten Anwendungen intelligent umsetzen, um die technischen Möglichkeiten eines Mikronetzes voll auszuschöpfen. Darüber hinaus sollten aufgrund der umfassenden Änderungen in der Verteilnetzstruktur (z. B. das sogenannte Multi-Zellen-Netz) neue Strategien und Ziele durch das EMS von Mikronetzen erfüllt werden. Da diese Ziele in verschiedenen Mikronetzen im Widerspruch zueinander stehen können, wird zur Umsetzung ein universelles multikriterielles Optimierungstool benötigt.

Die Hauptbeiträge dieser Arbeit sind die folgenden:

Im ersten Schritt werden unterschiedliche relevante Mikronetz-Komponenten im stationären Zustand modelliert. Die Modelle enthalten die technischen, ökonomischen und ökologischen Merkmale der verschiedenen dezentralen Energieerzeuger und Batteriespeichersysteme. Im Rahmen dieser Arbeit wurde im EMS ein neues Alterungsmodell einer Lithium-Ionen-Batterie eingeführt, das auf einem ereignisgesteuerten Alterungsverhalten basiert. Darüber hinaus wurden verschiedene interne und externe Marktmodelle der Mikronetze eingeführt und in die Optimierungsalgorithmen integriert.

Anschließend wurde nach einer theoretischen Betrachtung möglicher Optimierungsmethoden ein verbesserter Realzahl-kodierter genetischer Algorithmus entwickelt, um den Erzeugereinsatz und den Economic Dispatch (Wirk- und Blindleistung) von Mikronetz-Steuerungen zu optimieren. In dem vorgeschlagenen genetischen Algorithmus wurden sowohl Netzrestriktionen (zulässiges Spannungsband und Betriebsmittelauslastung) als auch Einheiteneinschränkungen berücksichtigt und eine Minimierung des Betriebskosten, der Alterung und der Schadstoffemissionen in die Multicriteria-Funktionen formuliert.

Im weiteren Verlauf wurde eine verbesserte gemischt-ganzzahlige lineare Optimierung (MILP) angewandt, um das Problem des Unit Commitment und des Economic Dispatch zu lösen. Der vorgeschlagene Ansatz wendet verschiedene vordefinierte Strategien an zur Lösung der potentiellen Spannungs- und Belastungsverletzungen im Netz durch Wirk- und Blindleistungsregelungen unter gleichzeitiger Ableitung optimierter flexibel verteilter Generatoren, erneuerbarer Energieerzeuger und Batteriesysteme.

Zuletzt wurden die entwickelten GA-basierten und MILP-basierten Optimierungsmethoden auf das vordefinierte Mikronetz-Modell bei verschiedenen Betriebsmodi angewendet.