

▪ **Modellierung und Optimierung der Kleinsignalstabilität von Mikronetzen**

M. Sc. Simon Eberlein

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. K. Rudion

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. D. Westermann

TU Ilmenau

Tag der mündlichen Prüfung:

15.06.2021

Die zunehmende Integration erneuerbarer Energien führt zu neuen Herausforderungen für elektrische Energienetze. Mikronetze sind eine Blaupause für zukünftige elektrische Netze mit einem hohen Anteil an verteilten Erzeugungsanlagen und geringer synchroner Erzeugung. Diese Arbeit behandelt die Kleinsignalstabilität von Mikronetzen im Inselbetrieb.

Die Modalanalyse wird als geeignete Methode zur Bewertung der Stabilität herangezogen, auf Grund der größeren Flexibilität im Vergleich zu anderen Ansätzen, wie beispielsweise der Impedanzmethode. Modelle von Wechselrichtern, Diesel-Synchronmaschinen und Windturbinen mit doppelt-gespeister Asynchronmaschine sowie deren netzbildende oder netzstützende Regelkonzepte werden implementiert. Die Mikronetze werden im dq0-Referenzsystem modelliert, um die numerische Effizienz zu erhöhen, ohne die Genauigkeit des Modells zu beeinträchtigen, sowie um stabile Betriebspunkte und die Linearisierung zu ermöglichen.

Ein evolutionärer Algorithmus, der speziell auf Optimierungsprobleme mit rechenintensiven Fitnessfunktionen zugeschnitten ist, wird entwickelt. Der evolutionäre Algorithmus wird dazu verwendet, die Reglerparameter in verschiedenen Szenarien, von kleinen Mikronetzen mit wenigen Knoten bis hin zu großen Benchmark-Systemen, zu optimieren.

Es wird gezeigt, dass Mikronetze, welche durch netzbildende Wechselrichter dominiert werden, sehr stabil sind, wenn sorgfältig ausgelegte und optimierte Regler verwendet werden. Die Verwendung einer virtuellen Impedanz ist von entscheidender Bedeutung für die Stabilität. Der Einfluss verschiedener Varianten und Erweiterungen der Droop-Regelung, welche in der Literatur zu finden sind, ist dagegen vergleichsweise gering.

Unter realistischen Bedingungen, d.h. mit den optimierten Parametersätzen, werden anschließend Ansätze zur Modellreduktion validiert bzw. überprüft. Es zeigt sich, dass die Vernachlässigung der inneren Spannungs- und Stromregelschleifen von netzbildenden Wechselrichtern, welche in der Literatur häufig vorzufinden ist, wegen des Einflusses der Spannungsregelschleife keine gültige Vereinfachung ist. In dieser Arbeit wird stattdessen ein Modell fünfter Ordnung hergeleitet, welches die dominanten Modi nahezu unbeeinflusst lässt.

- **Small-Signal Stability Modelling and Optimization of Microgrids**

M. Sc. Simon Eberlein

The growing penetration of power systems with distributed energy resources entails new challenges for power systems. Microgrids are a model of future low inertia power systems due to the large share of distributed energy resources. This work focuses on the small-signal stability of islanded microgrids.

Modal analysis is selected as the most appropriate method to assess the stability of microgrids due to its enhanced flexibility compared to other approaches, such as the impedance method. Models for inverters, diesel synchronous machines and wind turbines with doubly-fed induction generators with grid-forming and grid-supporting droop controllers are implemented. Microgrids are modelled in the dq0 reference frame to enhance the numerical efficiency without losing accuracy and to establish stable operating points for linearization and modal analysis.

An evolutionary algorithm tailored to optimization problems with a computationally intensive fitness evaluation is proposed. The evolutionary algorithm is used to optimize the controller parameters in various scenarios, ranging from small microgrids with only a few nodes to large benchmark microgrids.

It is shown that microgrids dominated by grid-forming inverters are very stable systems if well-designed and if optimized controllers are used. In particular, the implementation of a virtual impedance is crucial for the stability. The impact of droop control variants and extensions found in literature, such as the transient or frame transformation droop, is small in comparison. Furthermore, the share of synchronous machines in the microgrid has a strong influence on the stability and the optimized values of the controller parameters.

Model order reduction approaches are reviewed and validated under realistic condition, i.e. using the optimized parameter sets. It is seen that the neglect of the inner voltage and current control loops of grid-forming inverters, as often applied in literature, is not a valid assumption due to the influence of the voltage controller. Instead, a fifth order model is proposed in this work, which is shown to preserve the dominant modes. Simplifying the network lines with the phasor model or a first order Taylor expansion is feasible in LV networks due to the low time constants of LV lines.

Finally, the impact of inaccurate synchronization of the microgrid at the transition from islanded to grid-connected mode of operation is investigated. The loadings of microgrid components are particularly large when the voltage angles are not aligned in the moment the breaker closes. The impact of frequency or magnitude deviations is comparatively low.