

Dynamisches Verhalten von wechselrichterbasierten Erzeugungsanlagen im Kontext eines sicheren und stabilen Netzbetriebs

Stefan Laudahn

Tag der mündlichen Prüfung: 24.05.2017

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Witzmann

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Regine Mallwitz

Der elektrische Energieverbrauch in Deutschland wurde im Jahr 2016 zu etwa einem Drittel aus regenerativen Erzeugungsanlagen gedeckt. Zeitweise wurde fast der gesamte deutsche Strombedarf von erneuerbaren, dezentralen Erzeugungsanlagen bereitgestellt. Ein Großteil dieser Erzeugungsanlagen speist die elektrische Leistung über Wechselrichter in das Netz ein. Das genaue dynamische Verhalten dieser Wechselrichter, in Netzfehlersituationen wie Kurzschlussituationen oder ungewollten Inselnetzbildungen, ist abhängig von der jeweiligen Programmierung und häufig nur unzureichend bekannt.

Zur Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Wechselrichtern wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Labor aufgebaut, das detaillierte Labormessungen in unterschiedlichsten Netzsituationen ermöglicht.

Mit detaillierten Labormessungen in diesem Labor wird am Beispiel von zwei Photovoltaik-Wechselrichtern ein Simulationsmodell erstellt, welches die üblichen Netzfunktionen statische Spannungshaltung, frequenzabhängige Wirkleistungsreduktion, dynamische Netzstützung, Inselnetzerkennung und den Netz- und Anlagenschutz in EMT-Simulationen nachbildet.

Dieses Simulationsmodell wird in Simulationen eingesetzt, um am Beispiel von Inselnetzbildungen, auch in Verbindung mit Kurzschlüssen und Kurzunterbrechungen, Wechselwirkungen der einzelnen Netzfunktionen aufzuzeigen, die einen sicheren und stabilen Netzbetrieb gefährden könnten. Es werden resultierend Parametrierungshinweise gegeben, die einen sicheren Betrieb von Verteilungsnetzen mit hohem Anteil von Wechselrichtern gewährleisten sollen.

Da sich bei einem weiteren Ausbau wechselrichterbasierter Erzeugungsanlagen die Frage nach der Systemstabilität stellt, wird abschließend das Potenzial von netzbildenden, spannungsstellenden Wechselrichtern und erweiterten Funktionen für übliche stromstellende Wechselrichter zur Erbringung von Momentanreserve untersucht. In Laborversuchen werden die Frequenzregelung in einem beispielhaften

Netz dargestellt und die prinzipiellen regelungstechnischen Zusammenhänge erläutert.

Die Arbeit liefert grundsätzliche Werkzeuge und Methoden zur Beurteilung der Stabilität und des sicheren Betriebs von Netzen mit hohem Anteil wechsellrichterbasierter Erzeugungsanlagen.

Dynamic Behaviour of Inverter-Based Generation Units in the Context of a Secure and Stable System Operation

In 2016 the whole electric energy consumption in Germany was covered by renewables by about a third. In a few hours of the year, renewables were nearly able to provide the complete electric load. Most of the renewables are using inverters to provide the electric power to the grid. Unfortunately, the dynamic behavior of these inverters mainly depends on software components and is often unknown.

A laboratory has been designed in order to facilitate investigations regarding the dynamic behavior of inverter-based renewable energy resources.

This laboratory has been used to conduct extensive measurements with two different photovoltaic inverters. The measurement results have been used to generate an EMTsimulation model of the high-level active and reactive power controller of an inverter.

The model considers the usual grid functions volt-var-control, limited frequency sensitive mode for overfrequency (LFSM-O), Fault-Ride-Through, active islanding detection and grid and plant protection mechanisms.

The model is used in simulations to identify interactions between different grid functions and possible negative effects on the system operation regarding safety and robustness. The investigations have been conducted using the example of unintentional islanding in combination with short circuit events and automatic reclosing. As a result of these simulations, recommendations for the parameterization of inverters are given, which shall ensure a safe and robust operation of distribution grids.

With the continuously rising share of renewables, the stable system operation of inverter-dominated systems – especially with respect to the frequency control – becomes more and more important. A frequency controller for voltage control mode inverters is designed in order to substitute the inertia of synchronous generators which currently stabilize the grid frequency. Furthermore, a new grid function for state-of-the-art inverters has been designed which enables inverters to provide virtual

inertia. Laboratory measurements with experimental inverters have been conducted to show the principle functionality of inverter based frequency control.

This thesis delivers the basic tools and methods for investigations regarding the stable and safe operation of electric power systems with high share of inverter-based generation.