

Diss. ETH No. 17277

# On the Control of Distributed Generation in Power Systems

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by  
MIRJANA MILOŠEVIĆ  
Master of Science, Northeastern University  
born August 8<sup>th</sup>, 1975  
in Novi Sad, Serbia

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Göran Andersson, examiner  
Prof. Dr. Math Bollen, co-examiner

2007

# Abstract

Many new primary energy sources in distributed generation systems are interfaced with the electric grid through power electronic inverters. If several of these are present in proximity of each other, interactions between them could arise. Part I of the thesis presents a study of the interaction between hysteresis controlled voltage source inverters connected to the same power network. The coupling between the inverters results in an interdependence of their switchings. It is shown that this interdependence is not detrimental, and a reduction of the ripple in the resulting current supplied to the network as compared to the single inverter case is obtained. The effects of various parameters of the inverters are analyzed.

Interest in isolated power systems is rapidly increasing. When the system operates in isolation then load tracking problem will arise which can cause voltage and frequency instabilities. Part II of the thesis presents a study of power generation control in a small isolated network with Photovoltaic (PV) panels as the main power generation. It is shown that a possible solution to keep power balance in the system and to have generation control is to use battery storage.

In small isolated power networks without storage units and with PV panels operating at their Maximum Power Points (MPPs), no frequency control is possible. Therefore, to control the grid frequency with PV panels only, a new algorithm was developed and simulated, where the PV panels bus is specified as a reference node. This algorithm allows operating the PV panels not only at their MPPs, but at an operating point where the needed power is produced. This operating mode is called "MPPT off mode", in contrast to "MPPT on mode", in which the PV panels always deliver the maximal possible power.

# Kurzfassung

Viele neue Primärenergiequellen in verteilten Erzeugungsnetzen sind durch leistungselektronische Wechselrichter an das elektrische Versorgungsnetz gekoppelt. Wenn mehrere von diesen innerhalb einer begrenzten Umgebung vorhanden sind, können Interaktionen zwischen diesen auftreten. Der erste Teil dieser Arbeit präsentiert eine Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Hysterese-geregelten Spannungsquellen-Wechselrichtern, welche an das gleiche Netz angeschlossen sind. Die Kopplung zwischen den Wechselrichtern führt zu einer Abhängigkeit zwischen deren Schaltungen. Es wird gezeigt, dass deren Abhängigkeit nicht nachteilig ist. Im resultierenden Strom, der ins Netz eingespeist wird, wird im Vergleich zum Fall mit einem Stromrichter sogar eine Reduktion der Welligkeit beobachtet. Die Auswirkungen von verschiedenen Wechselrichterparametern werden analysiert.

Inselnetze gewinnen immer mehr und immer schneller an Bedeutung. Wenn das System als Insel betrieben wird, treten Lastnachführungsprobleme auf, welche zu Spannungs- und Frequenzinstabilitäten führen können. Teil II der Arbeit untersucht die Regelung der Energieerzeugung innerhalb kleiner isolierter Netze mit Solarzellen als Hauptenergieerzeuger. Es wird gezeigt, dass der Einsatz von Batteriespeichern eine mögliche Lösung bietet, sowohl zur Stabilisierung des Netzes als auch zur Regelung der Energieerzeugung.

In kleinen isolierten Energienetzen ohne Speichereinheiten und mit Solarzellen, welche in ihrem Arbeitspunkt mit maximaler Leistungsabgabe (MPP, maximal power point) arbeiten, ist keine Frequenzregelung möglich. Deshalb wurde ein neuer Algorithmus entwickelt und simuliert, welcher die Netzfrequenz nur mit Solarzellen reguliert, wobei der Bus mit den Solarzellen als Referenzknoten festgelegt wird. Dieser Algorithmus erlaubt nicht nur den Betrieb von Solarzellen im MPP, sondern auch

in Arbeitspunkten, in denen exakt die benötigte Leistung erzeugt wird. Dieser Betriebsmodus wird "MPPT off mode" genannt, im Gegensatz zum "MPPT on mode", in welchem die Solarzellen immer die maximal mögliche Leistung liefern.