

Diss. ETH No. 17463

Current Control Strategies for Multilevel Grid Connected Inverters

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES

presented by
LEONARDO AUGUSTO SERPA
E.E., M.Sc.

born 07. January 1980
citizen of Florianópolis, Brazil

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Johann W. Kolar, examiner
Prof. Dr. Frede Blaabjerg, co-examiner

2007

Abstract

The economical and environmental impact of fossil fuels have forced governments and society to investigate sustainable solutions. The interest has focused principally on the green and clean benefits provided by renewable energy sources. The growth rate of new renewable energy supplies being installed has reached the incredible yearly mark of approximately 30% over the last few years. Consequently, investments in research and development in the field of power electronics have increased proportionally, especially in high voltage and high power grid connected systems.

This thesis investigates and proposes new control techniques to properly regulate the power flow between renewable source and the utility network. Special attention is given to systems which demand a third order *LCL* filter as interface between converter and grid. This filter configuration is widely employed in high power systems, in which the switching frequency is typically limited by the switching devices. The *LCL* filter has the ability to reduce the level of harmonic distortion with less inductance, when compared to the first order *L* filter. On the other hand, it introduces undesirable characteristics, such as resonance, that must be compensated by the controller.

The Virtual-Flux Direct Power Control (VF-DPC), traditionally implemented in the classical two-level inverter with a first order *L* filter configuration, is initially adapted to take advantages of the third order filter. New power based active damping and individual harmonic control loops act directly on the power reference signals to damp the filter resonance and to compensate for the influence of existing harmonics on the grid.

This thesis presents a new grid voltage sensorless control strategy de-

nominated Virtual-Flux Decoupling Hysteresis Control (VF-DHC). The control scheme is based on the conventional hysteresis control, however a decoupling network is applied to avoid the interference that is inherent between phases in three-phase systems with an isolated neutral. The decoupling loop allows a near constant switching frequency to be achieved when the hysteresis boundaries are correctly modulated over one fundamental cycle.

Additional improvements in the area of high voltage systems are achieved with newly proposed control concepts, which extend the VF-DPC and VF-DHC schemes to operate with the industry standard three-level NPC and the recently proposed five-level ANPC topologies. The benefits of both structures are only valid if the dc-link capacitors in the three-level and dc-link and floating capacitors in the five-level inverter are properly balanced. In addition the controllers shall be able to permit the inverter to switch among all voltage levels available in multilevel structures.

The performance of both control techniques are tested experimentally under different grid conditions for the two and five-level approaches and via simulation for the three-level NPC method.

Zusammenfassung

Der ökologische und ökonomische Druck aufgrund der herrschenden Krise um fossile Brennstoffe hat Regierungen und die Gesellschaft dazu bewegt, in die Erforschung umweltverträglicher Alternativen zu investieren. Der Fokus der Forschung lag hierbei hauptsächlich auf sauberen erneuerbaren Energiequellen. Die Wachstumsrate der Neuinstallationen von Konvertern im Bereich erneuerbarer Energien hat in den letzten Jahren die unglaubliche jährliche Marke von 30% erreicht. Dementsprechend haben sich die Investitionen in Forschung und Entwicklung im Bereich der Leistungselektronik proportional erhöht, insbesondere bei Hochspannungs- und Hochleistungssystemen am Netz.

Diese Dissertation untersucht und erstellt neue Regeltechniken, um den Leistungsfluss zwischen den erneuerbaren Energiequellen und dem Netz genau zu regulieren. Besondere Aufmerksamkeit gilt hierbei Systemen, die ein LCL-Filter dritter Ordnung als Schnittstelle zwischen Konverter und Netz benötigen. Diese Filterkonfiguration ist im Bereich der Hochleistungssysteme weit verbreitet, wobei die Schaltfrequenz typischerweise durch die Ventilbauelemente limitiert ist. Das LCL-Filter ist im Vergleich zu einem L Filter erster Ordnung einerseits in der Lage, die Höhe der harmonischen Störungen mit weniger Induktivität zu reduzieren. Andererseits werden durch das Filter unerwünschte Charakteristiken eingeführt, wie zum Beispiel Resonanzen, die dann durch den Regler kompensiert werden müssen.

Einleitend wird die Virtual-Flux Direct Power Regelung (VF-DPC), welche konventionell für klassische Zwei-Level Inverter mit Filtern erster Ordnung implementiert wurde, angepasst, um von den Vorteilen der Filter dritter Ordnung zu profitieren. Die neue aktive leistungsabhängige Dämpfung und die neuen Reglerschleifen für die einzelnen Harmonis-

chen wirken direkt auf die Leistungssollsignale, um die Filterresonanzen zu unterdrücken bzw. um den Einfluss der vorhandenen Netzharmonischen zu kompensieren.

Die vorliegende Dissertation stellt eine neuartige Reglerstrategie ohne Netzspannungssensoren vor, welche als Virtual-Flux Decoupling Hysteresis Control (VF-DHC) bezeichnet wird. Das Reglerschema basiert auf der klassischen Hystereseregelung, allerdings wird zusätzlich ein Entkoppelnetzwerk beigefügt, um die Störungen zwischen den Phasen, wie sie bei drei-phasigen Systemen mit isoliertem Neutralleiter auftreten, zu vermeiden. Mit dem Entkoppelnetzwerk kann eine annähernd konstante Schaltfrequenz erreicht werden, wenn die Hysteresebegrenzen über eine Netzperiode entsprechend moduliert werden.

Ein weiterer Fortschritt im Bereich der Hochspannungssysteme wird durch die vorgestellten neuen Regelkonzepte erzielt, welche die VF-DPC und VF-DHC erweitern, um so den Betrieb mit dem Industriestandard der Drei-Level NPC Topologie und der kürzlich vorgestellten Fünf-Level ANPC Topologie zu ermöglichen. Die Vorteile beider Strukturen sind nur dann zu erreichen, wenn die Zwischenkreiskondensatoren des Drei-Level Inverters und die Spannungen der erdfreien Kondensatoren des Fünf-Level Inverters genau abgeglichen werden. Zusätzlich soll der Regler in der Lage sein, dem Inverter das Umschalten zwischen allen Spannungsebenen der Multi-Level Struktur zu ermöglichen.

Die Leistungsfähigkeit beider Reglertechniken wird unter verschiedenen Netzbedingungen für den Zwei-Level und den Fünf-Level Ansatz experimentell überprüft, die Drei-Level NPC Topologie wird mittels Simulation evaluiert.