

Kurzfassung

Leistungselektronische Umrichter sind ein wichtiger Bestandteil von Energieversorgungssystemen mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energiequellen. Sie bilden eine steuerbare Schnittstelle zwischen der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen und dem Netz und beteiligen sich an Systemdienstleistungen wie Spannungs- und Frequenzregelung, Lastverteilung und Gewährleistung der Systemstabilität. Eine neue Methode zur Regelung von Wechselrichtern in einer Microgrid Umgebung ist die virtuelle Oszillatorsteuerung (VOC). Die VOC bietet erhebliche Vorteile gegenüber bestehenden Regelungsmethoden, wie eine schnellere Ansprechgeschwindigkeit und eine engere Spannungs- und Frequenzregelung. Darüber hinaus können sich parallele VOC-basierte Wechselrichter ohne Kommunikation synchronisieren und beliebige Ausgangszustände stabilisieren. Beim Betrieb in einer netzgekoppelten Anwendung ist eine genaue Steuerung der Wirk- und Blindleistungsabgabe des Wechselrichters wichtig für das Energiemanagement eines Microgrids. Diese Arbeit konzentriert sich auf die Regelung der Wechselrichterleistung mit dem vor kurzem präsentierten Andronov Hopf-basierten VOC (AH-VOC).

Die Dispatch Fähigkeit des AH-VOC wird theoretisch analysiert und ein Problem mit der Einhaltung von Wirk- und Blindleistungssollwerten herausgestellt. Zur Lösung des diskutierten Problems wird die Einführung eines Spannungssollwerts vorgeschlagen, und Simulationen in Matlab/Simulink bestätigen die Wirksamkeit der Steuerung der Wechselrichterklammenspannung zur Änderung der Ausgangsleistung. Ein Algorithmus zur Bestimmung des Spannungssollwerts wird entworfen. Die Leistungsflussgleichungen für ein äquivalentes Netzmodell werden auf dezentralisierte Weise gelöst, um einen Anfangswert zu erhalten. Simulationen zeigen, dass die Genauigkeit der Leistungsabgabe bei einem berechneten Spannungssollwert stark von der Kenntnis der Systemcharakteristika abhängig ist. Die Abweichungen aufgrund der Systemunsicherheit werden durch ein integrales Regelsystem berücksichtigt, das die verbleibenden Leistungsfehler eliminiert.

Der AH-VOC mit der vorgeschlagenen Modifikation wird in einem Ein- und einem Multi-Bus-System eingesetzt. Im Ein-Bus-System zeigt der entworfene Regler eine exakte Steuerung der Wirk- und Blindleistungsabgabe. Die Unsicherheit über das physische System wird durch den Integrator im stationären Zustand kompensiert, erhöht jedoch die transienten Übergänge nach einer Sollwertaktualisierung. Der Leistungsfluss in einem Multi-Bus-System kann mit dem entworfenen AH-VOC geregelt werden, und die Reduzierung des Leistungsaustauschs am Punkt der gemeinsamen Kopplung wird gezeigt. Die Fähigkeit zur Änderung des Betriebsmodus nach einer Inselbildung und zur Stabilisierung des Multi-Bus-Systems wird demonstriert. Die Spannungs- und Frequenzregelungscharakteristik wird beibehalten, und der vorgestellte Algorithmus ist in der Lage, auf die Funktionalität des konventionellen AH-VOC zurückzugreifen.

Abstract

Power electronic converters are a key asset in power systems with a high share of renewable energy sources. They build a controllable interface between renewable generation and the grid and participate in ancillary services such as voltage and frequency regulation, load power sharing and ensuring system stability. A new method for controlling inverters in a microgrid setting is the Virtual Oscillator Control (VOC). The VOC provides significant advantages over existing control methods, like a faster response and a tighter voltage and frequency regulation. Additionally, parallel VOC based inverters can synchronize without communication and stabilize arbitrary initial conditions. Operated in a grid-connected application, accurate control of the active and reactive power output of the inverter is important for the energy management of a microgrid. This thesis focuses on controlling inverter power output with the recently presented Andronov Hopf based VOC (AH-VOC).

The power dispatching capabilities of the AH-VOC are theoretically analysed and a problem with the tracking of active and reactive power set-points is exposed. To solve the discussed issue, the introduction of a voltage set-point is proposed and simulations in Matlab/Simulink confirm the effectiveness of controlling the inverters terminal voltage to change the power output. An algorithm to determine the voltage set-point is presented. The power flow equations for an equivalent grid model are solved in a decentralized manner to provide an initial value. Simulations show that the accuracy of the power output with a calculated voltage set-point is strongly dependent on knowledge of the systems characteristics. The deviations due to system uncertainty are addressed by an integral control law that eliminates the remaining power errors.

The AH-VOC with the proposed modification is applied in a single- and a multi-bus system. In the single-bus system, the proposed controller demonstrates accurate control of active and reactive power output. Uncertainty of the physical system is compensated by the integrator in steady-state, but increases the transients after a set-point update. The power flow in a multi-bus system can be controlled with the proposed AH-VOC and the reduction of power exchange at the point of common coupling is shown. The ability to change its operation mode after islanding and stabilizing the multi-bus system is demonstrated. Voltage and frequency regulation characteristics are maintained and the introduced algorithm is able to fall back into the functionality of the conventional AH-VOC.

Keywords: VOC, Andronov Hopf, Power Control, Microgrid, Grid-connected