

## **Betriebsführung dezentraler Photovoltaik-Anlagen für optimierte Spannungshaltung und stabilen Betrieb in elektrischen Verteilungsnetzen**

**Yehia Tarek Mohammed Salah Eldin Fawzy**

Tag der mündlichen Prüfung: 28.11.2014

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

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

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

Der Großteil der PV-Anlagen speist ins elektrische Verteilungsnetz ein und sorgt damit für eine immer mehr dezentrale Energieversorgung. Ein begrenzender Faktor für den Ausbau dezentraler Energieversorgungsanlagen in Verteilungsnetzen ist die mögliche negative Auswirkung auf die Spannungs- bzw. Versorgungsqualität. Gegenstand dieser Arbeit ist daher die Bewertung und Optimierung des Beitrags von PV-Anlagen zur Spannungshaltung. Des Weiteren werden Betriebsführungsstrategien zur aktiven Nutzung der PV-Anlagen im Netzbetrieb vorgestellt. Hierbei liegt der Blindleistungshaushalt im Netz im Fokus.

Eine gezielte Zusammenarbeit mehrerer PV-Anlagen wird zur Spannungshaltung und demzufolge zur Erhöhung der Netzaufnahmekapazität genutzt. Auf Basis dieser Zusammenarbeit werden Ansätze und Empfehlungen zur Parametrierung von autarken Kennlinien-Verfahren, wie bspw.  $Q(U)$  und  $\cos\varphi(P)$ , zur optimierten Spannungshaltung in Verteilungsnetzen vorgestellt. Mit „Optimierung“ ist hierbei eine Minimierung des Blindleistungsflusses bei gegebener Nutzung der Netzaufnahmekapazität gemeint. Die Effektivität und Effizienz des Verfahrens werden anhand einer dynamischen Simulation für ein reales Mittelspannungsnetz gezeigt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine optimierte Spannungshaltung zu einer erheblichen Reduktion der benötigten jährlichen Blindarbeit führt.

Damit trotz Dezentralisierung der Energieversorgung kurze, schnelle Entscheidungswege für die Netzbetriebsführung erhalten bleiben, sollten PV-Anlagen in einem intelligenten Verteilungsnetz koordiniert und in die Betriebsführung eingebunden werden. Ergänzend zur autarken Verfahren werden daher Ansätze einer koordinierten Spannungshaltung untersucht. Hierbei werden Verfahren zur Einbindung der PV-Anlagen in die Netzbetriebsführung vorgestellt. Diese Verfahren beruhen auf einer optimierten Lastflussberechnung zur Erfüllung von diversen Zielvorgaben des Netzbetriebs. Durch den Einsatz der eingeführten Verfahren wird gezeigt, dass PV-Anlagen in der Lage sind, neben Spannungshaltung, den Blindleistungsbedarf der Lasten im betrachteten Netz abzudecken. Die Ergebnisse zeigen, dass der Blindleistungsimport aus dem überlagerten Netz durch Bereitstellung kapazitiver Blindleistung durch die PV-Anlagen verhindert wird. Als

Folge dessen wird eine Verbesserung des Verschiebungsfaktors am Übergabepunkt zum Übertragungsnetz erzielt.

Mit der vorliegenden Arbeit wird ein Beitrag zur besseren Nutzung dezentraler erneuerbarer Energien im Netzbetrieb und zur Verzögerung von Netzausbaumaßnahmen geleistet.

### **Operational strategies of distributed Photovoltaic-Plants for an optimized voltage regulation and stable operation in distributed grids**

The majority of PV systems are connected into the electrical distribution network, allowing for a more decentralized energy supply. A limiting factor for the expansion of decentralized energy systems is their possible negative effect on the voltage and power quality of the distribution network. The purpose of this work is therefore to evaluate and optimize the contribution of PV systems for voltage regulation. Furthermore, management strategies for active use of PV systems in the network operation control are presented. The focus is laid on reactive power management.

A strategic cooperation of PV systems is used to regulate voltage and hence used to increase network hosting capacity. Based on this cooperation, methods and recommendations for the parameterization of stand-alone characteristic methods such as  $Q(V)$  and  $\cos\phi(P)$ , are presented allowing for an optimized voltage regulation in distribution networks. In this context "optimization" means the minimization of reactive power flow for a given use of network hosting capacity. The effectiveness and efficiency of the parameterization method are shown on the basis of a dynamic simulation of a real medium voltage grid. The results show that an optimized voltage regulation leads to a significant reduction in the required annual reactive energy of the investigated network.

In order to preserve short and fast decision-making paths for the grid operation control despite of the decentralization of energy supply, PV systems should be coordinated and involved in the operational management of intelligent distribution networks. Hence, in addition to the stand-alone methods and approaches are examined for coordinated voltage regulation. In this context, methods for integration of PV systems into the network management are introduced. These methods are based on an optimized power flow calculation to meet various objectives of network operation. By using the introduced methods PV systems are able, in addition to voltage regulation, to supply the reactive power demand of the loads in the investigated network. The results show that the reactive power import of the upstream network is prevented by providing a capacitive reactive power from the PV systems. Consequently an improvement in the power factor at the interfacing point to the transmission network is achieved.

The methods and approaches developed in the present work allows for a better use of decen-tralized renewables in grid operation control and indicate possible contributions from PV sys-tems to avoid or postpone grid reinforcement.