

# **Analysis and Optimization of Medium Voltage Distribution Networks with Integration of Decentralized Generation**

**Nasser Gamal Abdel-Latif Hemdan**

Tag der mündlichen Prüfung: 28.04.2011

1. Prüfer Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Walter Schumacher

Das Interesse an der Integration Dezentraler Erzeugern (DE) in die Nieder- und Mittelspannungsnetze ist überall auf der Welt größer geworden, weil Wirtschafts- und Umweltfaktoren der DE die Antworten auf Fragen zunehmender Last, Zuverlässigkeit, Verschmutzung und Preis geben sollen. Zur Beantwortung der Fragestellungen muss der Durchdringungsgrad von DE in den Verteilungsnetzen analysiert werden. Bei optimaler Einbindung der Dezentralen Erzeugungseinheiten können die Netze angepasst betrieben werden, sodass die Netzbetreiber davon profitieren. In dieser Dissertation wird eine Analyse und Optimierung der Mittelspannungsverteilungsnetze (MS) in Verbindung mit DE Einheiten durchgeführt. Die präsentierte Arbeit kann hauptsächlich in vier Teile unterteilt werden. Im ersten Teil werden Untersuchungen zu den Einflüssen der Integration von DE-Einheiten auf die Belastbarkeit von MS-Verteilungsnetzen durchgeführt. Die Belastbarkeitsuntersuchung wird in Bezug auf zwei Aspekte bewertet, den Spannungsgrenzen und der Spannungsstabilität. Der Einfluss der Blindleistungseinspeisung von DE im Hinblick auf die Netzverlusten wird ebenfalls untersucht. Diese Einflüsse werden anhand von zwei radialen Verteilungsnetzen bewertet, während die DE an jedem Knoten mit verschiedenen Durchdringungsgraden und verschiedenen Leistungseinspeisungen integriert werden. Es wird die Continuation Power Flow Methode (CPF) verwendet, um die Netzbelastbarkeit in Bezug auf die genannten Aspekte zu bewerten. Der Einfluss der Position und die Größe des DE auf die Spannungsstabilität eines dritten Netzes wird basierend auf einem Spannungsstabilitätsindex bewertet. Für den zweiten Teil dieser Arbeit wird eine Methode der Optimierung dargestellt, die die Integration von dezentralen Erzeugern beschreibt, ohne die zulässigen Spannungsgrenzen zu verletzen. Es wird eine Methodik vorgeschlagen, die auf dem Konzept der CPF beruht. Die Wirksamkeit der präsentierten Methodik konnte in einem Test Netz durch die Integration von verschiedenen Durchdringungsgraden DE demonstriert werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Netzverluste minimiert wurden und eine Vergleich Mäßigung der Spannungsprofile erreicht werden konnte. Im dritten Teil dieser Arbeit, werden Untersuchungen der Dezentralen Wind-Energie-Einspeisungen bezüglich der Spannungsreihen, Spannungsprofile, und Energie-Verluste eines realen MS-Verteilungsnetzes durchgeführt. Es wird die Möglichkeit der Integration einer Windkraftanlage (WKA) in ein bestehendes Netz mit bereits drei WKA basierend auf den Technischen Anschlussbedingungen des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) analysiert. Der Simulation werden Standartlastprofile für

Haushalte an den Niederspannungsabgängen der MS-Station hinterlegt. Der optimierte Betrieb der MS-Netze in Verbindung mit den DE wird für typische Netze dargestellt. Die typischen Netze werden basierend auf echten Daten erstellt. Die Zielfunktion dieser Arbeit besteht darin, die Verluste zu minimieren. Aus diesem Grund werden in einem weiteren Teil dieser Arbeit Last- und Erzeugungsprofile eingeführt. Die VDEW Standardlastprofile für Haushalte, und Gewerbe werden in der Netzberechnung verwendet. Der Konfigurationsprozess der Trennstellen (Trennstellenoptimierung) der Netze wird mit Hilfe der NEPLAN-Software durchgeführt. Aufbauend darauf wird, unter Zuhilfenahme einer C++ Routine, eine Netzberechnung Software für die verschiedenen Durchdringungsgrade von 0 %, 50 % sowie 100 % vorgestellt. Weiterhin werden Erzeugungsprofile verschiedener Typen DE (z.B. Photovoltaik und Blockheizkraftwerke) basierend auf Messdaten in die Untersuchung mit einbezogen. Als Ergebnis der Untersuchung konnte eine verminderte Leistungsauslastung, eine Verbesserung der Spannungsqualität sowie eine Minimierung der Energie-Verluste erzielt werden.

## **Analysis and Optimization of Medium Voltage Distribution Networks with Integration of Decentralized Generation**

The interest in integration of Decentralized Generation (DG) at Low and Medium Voltage (MV) distribution networks has been increased all over the world due to economic and environmental factors which drive DG to be the solution of different problems such as increasing of the load demand, reliability, pollution, and energy price. As the penetration level of DG increases, the performance of the distribution grids has to be analyzed to evaluate the different implications of its interconnection. The DG units are needed to be optimally accommodated and operated; therefore the customers and the utility companies achieve more benefits from their integration. Within the framework of this thesis, an analysis and optimization of MV distribution networks with interconnection of DG units have been introduced. The presented work can be mainly divided into four parts. In the first part, investigations of the impacts of DG unit's interconnection on the loadability of MV distribution networks are introduced. The loadability is evaluated based on two aspects; namely the maximum loading according to the voltage limit and the maximum loading according to the voltage stability limit. Moreover, the influence of the reactive power injection from DG on the grid losses is also investigated. These impacts are evaluated for two radial distribution networks where the DG is integrated at each node with different penetration levels and different reactive power injections. The Continuation Power Flow (CPF) method is used to assess the loadability with respect to the former two aspects. Furthermore, the influence of the location and size of the DG on the voltage stability of a third network is evaluated based on a previously introduced voltage stability index. In the second part a new methodology for integration of the DG units in order to enhance the voltage limit loadability (i.e. the maximum loading which can be supplied by the power system while the voltages at all nodes are kept within the limits) is presented. The proposed methodology is based on CPF. The effectiveness of the presented methodology is demonstrated in a test network with integration of different penetration levels of DG. The proposed method yields efficiency in

obtaining more benefits from the same amount of DG power, decreasing the losses and improving the voltage profiles. In the third part, investigations on the implications of Distributed Wind Power Generation (DWPG) on voltage ranges, voltage profiles, and energy losses of a real MV distribution network are introduced. The availability to integrate a new wind mill into the network that already contains three wind mills is examined with respect to the technical conditions for generation connection to the MV networks of the German Association of Energy and Water Industries (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft - BDEW). In the simulation we used one year measured wind data and German Association for Electricity standard load profiles (Verband der Elektrizitätswirtschaft - VDEW) of the households, which are connected to the LV side at each MV substation. In the last part of the thesis, a new methodology for optimal reconfiguration of a typical MV network with the existence of different DG technologies is presented. The proposed methodology implementing C++ and NEPLAN software is developed for optimizing the switching state of the network where the load and generation profiles are taken into consideration. The objective function of the proposed algorithm is minimizing the energy losses. The VDEW standard load profiles for households and commercials are used in the simulation. The supplied power from the DG units is taken with constant penetration levels of 0%, 50%, and 100% in the first phase of the study. Then the generation profiles of different DG types are taken into consideration based on measurement data. The presented method yields good results in minimizing the energy losses, improving the voltage ranges, and relieving the bottlenecks in the lines.