

Kurzfassung

Der zunehmende Einsatz von Erneuerbaren Energieanlagen (EEA) mit leistungselektronischer Netzkopplung im elektrischen Energieversorgungsnetz in Deutschland hat einen deutlichen Einfluss auf die Netzqualität. Es treten verstärkt Oberschwingungsströme auf, die abhängig von der frequenzabhängigen Netzimpedanz zu unerwünschten Oberschwingungsspannungen führen. Die frequenzabhängige Netzimpedanz stellt eine messbare Systemgröße dar. Sie kann zur Berechnung der möglichen Einspeiseleistung und objektiven Bewertung der Entstehung und Ausbreitung von Oberschwingungsströmen sowie von weiteren auftretenden Netzurückwirkungen an einem Netzanschlussknoten genutzt werden, so dass das dort vorhandene Potential voll ausgeschöpft werden kann. Filteranlagen und die eingesetzten Stromregler der EEA können mit der Kenntnis der frequenzabhängigen Netzimpedanz besser an die jeweiligen Netzgegebenheiten angepasst werden. Insgesamt kann die gemessene Netzimpedanz als objektive Planungsgrundlage einen Beitrag zu einer genaueren Netzplanung für den notwendigen Netzausbau und einer verbesserten Netzintegration von EEA liefern.

Diese Arbeit ist im Rahmen eines Forschungsprojekts entstanden, in dem erfolgreich ein neuartiger mobiler Messcontainer zur Bestimmung der frequenzabhängigen Netzimpedanzen in 10- und 20-kV-Mittelspannungsnetzen realisiert wurde. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit liegt zunächst auf der Analyse der relevanten Normen und Richtlinien sowie der Zusammenhänge zwischen den EEA und ihren Netzurückwirkungen in Abhängigkeit von der Netzimpedanz. Bisherige Verfahren zur Bestimmung der Netzimpedanz werden vorgestellt. Es wird ein erweitertes Messverfahren entwickelt, basierend auf leistungselektronischen Bauelementen sowie einem einzelnen Lastwiderstand. In diesem Verfahren werden unterschiedliche Verschaltungen umgesetzt, mit denen eine gezielte Anregung der Außenleiter und des Neutralleiters durchgeführt werden kann, um auch bei einem asymmetrischen Netzaufbau die frequenzabhängigen Netzimpedanzen bestimmen zu können. Aus den gemessenen Spannungs- und Stromverläufen während der erzeugten Netzanregung werden die Frequenzverläufe und zeitlichen Veränderungen der Netzimpedanzen und des Neutralleiters bestimmt. Dieses neuentwickelte Verfahren stellt ein wesentliches Alleinstellungsmerkmal dieser Arbeit dar. Es wird ein neues rauschunterdrückendes Auswerteverfahren entwickelt und durch Messungen verifiziert und optimiert. Des Weiteren werden Kopplungen zwischen den Leitern und zum Erdreich eingehend untersucht sowie die mögliche Bestimmung von Kopplungsimpedanzen beschrieben. Um eine flexible Netzanregung auf der

Mittelspannungsebene umzusetzen wird ein neuartiger Anregeschalter mit einer sehr hohen Gesamtperrspannung basierend auf Siliziumcarbid-Sperrschicht-Feld-effekttransistoren entwickelt, mit dem hohe Taktfrequenzen möglich sind. Zusätzlich wird die thermische Auslegung unterschiedlicher Lastwiderstände präsentiert, die zu dieser flexiblen Netzanregung beitragen.

Anschließend wird die Entwicklung des mobilen Netzimpedanzmesscontainers für die Mittelspannungsebene, der zur verbesserten Netzintegration von EEA eingesetzt werden kann, ausführlich beschrieben. Im Rahmen dieser Arbeit wird die thermische und mechanische Auslegung des Messcontainers, die Berechnung der möglichen Fehlerströme und daraus resultierende Spannungsauslegung des Messcontainers, die Dimensionierungen der Kabel, Leistungsschalter, Klimaanlage und Spannungsversorgung sowie die Auslegung des Erdungskonzepts entwickelt und realisiert. Es folgen Messergebnisse sowohl auf der Nieder- als auch auf der Mittelspannungsebene. Ein Konzept für eine verbesserte Netzintegration von EEA schließt diese Arbeit ab.

Abstract

The increasing use of renewable energy plants that are connected to the power grid in Germany by using power electronics influences the power quality. The harmonic currents that are fed into the grid cause undesired harmonic voltages in relation to the frequency dependent grid impedance. The frequency dependent grid impedance can be used as a measurable system parameter to assess the occurring grid-feedback. The calculation of the possible feed-in capacity and of harmonic currents at a point of common coupling is achieved to tap its full potential. An objective assessment of the occurring harmonics and their propagation and of additional grid-feedback is possible. The design of filters and current controllers for renewable energy plants can be improved and adjusted to the corresponding grid situation using the measured frequency dependent grid impedance. Altogether a more specific grid planning for the necessary grid expansion as well as an improved grid integration of renewable energy plants can be achieved.

This work has been developed within a research project in which a new mobile measurement container for the determination of the frequency dependent grid impedance on the 10 and 20 kV voltage-level was successfully realized. One focus of this work is the analysis of the relevant standards and guidelines and the relations between renewable energy plants and their grid-feedback dependence on the frequency dependent grid impedance. Existing measures for the determination of the grid impedance are presented. An extended measurement method based on power electronics and a single load resistor is developed. Within this method different interconnections are realized for a specific excitation of the line conductors and the neutral line. Using the measured voltages and currents during the grid excitation, the frequency characteristics and changes over time of the impedances of the line and neutral conductor can be gained even if the grid is asymmetric. This newly developed method represents an essential attribute of this work. A new noise minimizing evaluation method is developed and then verified and optimized by measurements. Furthermore couplings between the line conductors and to ground are analyzed in detail and the identification of coupling impedances is described. In order to achieve a flexible grid excitation at the medium-voltage-level a new switch with a very high total blocking voltage, based on silicon carbide junction-field-effect transistors, that allows high pulsing frequencies is developed. Additionally the thermal dimensioning of different load resistors that contribute to the flexible grid excitation is presented.

Next the development of the new mobile measurement container for the deter-

mination of the frequency dependent grid impedances in medium-voltage-grids is described in detail. It can be used for an improved grid integration of renewable energy plants. Within this work, the thermal and mechanical construction of the measurement container, the calculation of the possible fault currents and the hence resulting voltage dimensioning of the measurement container as well as the dimensioning of the cables, power switches, air conditioning and voltage supply plus the earthing concept were developed and realized. Thereafter measurement results on the low- and medium-voltage-level are shown. This work concludes with a concept for an improved grid integration of renewable energy plants.