

ABSTRACT

This thesis proposes new power flow control solutions for relieving congestions in distribution and transmission networks with a high share of renewable energy. All developed solutions refer to a market environment, in which congestions are not dealt with through locational marginal pricing. Coordinated approaches are thus selected to activate flexibility services for congestion relief, taking into account the roles of all the involved stakeholders. For the provision of flexibility services, a virtual power plant (VPP) is formulated as a service-centric aggregator. Through this service-centric operation, the market integration of distributed energy resources is enabled and simultaneously the cooperation with the distribution and transmission system operators is supported in addressing the issue of network usage. A solution based on a bilateral agreement is first developed between one service-centric VPP and the distribution system operator (DSO). The VPP optimally adjusts the real and reactive power injection of its resources while maximizing renewable energy integration across the pool under management. A rolling horizon approach for the planning stage is developed in order to employ the latest forecasts and reduce uncertainty affiliated with input data. Second, taking into account a larger number of market actors and extending the congestion relief to both the DSO and the transmission system operator (TSO), a flexibility market platform for congestion relief is developed. This market offers an integrated solution for congestion relief at both the transmission and distribution network levels. The selection of the suitable flexibility solution emerges through the cooperation between both system operators, the flexibility platform, and the market actors offering flexibility. To relieve congestions, flexibility from node pairs with resources that have a significant impact on the congestion is deployed. In this market environment, the data privacy of all involved stakeholders is respected, exchanging only the minimum required information to facilitate the overall solution. Finally, the role of a service-centric VPP is explored within the aforementioned flexibility market environment. The VPP offers flexibility by rescheduling the resources within its portfolio, taking into account limited information exchange in comparison to the one exchanged in the bilateral solution with the DSO. Thanks to the flexibility offers of the VPP, it becomes possible to refrain from undesirable curtailments. All aforementioned solutions are validated using benchmark and realistic German transmission and distribution networks. The obtained results confirm the added value of the developed methodologies in enhancing the integration of wind and solar power.

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit werden innovative Lösungen für die Steuerung von Leistungsflüssen entwickelt, um Netzengpässe in Übertragungs- und Verteilnetzen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien zu entschärfen. Diese Lösungen beziehen sich auf ein Marktumfeld, in welchem Netzengpässe nicht über standortabhängige marginale Preise gelöst werden können. Aus diesem Grund werden koordinative Ansätze ausgewählt, in welchen die Rollen aller involvierten Akteure mitbetrachtet werden. Es wird ein virtuelles Kraftwerk als ein dienstleistungsorientierter Aggregator entwickelt, um Flexibilitätsdienstleistungen bereitzustellen. Durch diesen dienstleistungsorientierten Betrieb wird einerseits die Marktintegration dezentraler Erzeugungsanlagen unterstützt. Andererseits wird die Zusammenarbeit mit dem Verteil- und Übertragungsnetzbetreiber verstärkt, um Netzkapazitätsprobleme zu lösen. In einem ersten Schritt wird eine Lösung zwischen einem virtuellen Kraftwerk und dem Verteilnetzbetreiber erarbeitet, welche sich auf einen bilateralen Vertrag bezieht. Das virtuelle Kraftwerk passt die Wirk- und Blindleistungsinjektion seiner Anlagen optimal an und maximiert gleichzeitig die Integration erneuerbarer Energien innerhalb seines Pools. Mit Hilfe eines rollierenden Zeithorizontes werden aktuelle Prognosen verwendet und die Unsicherheit der Eingangsdaten minimiert. Des Weiteren wird eine Flexibilitätsplattform entwickelt, um mehrere Marktakteure zu betrachten und das Engpassmanagement sowohl für den Übertragungs- als auch für den Verteilnetzbetreiber bereitzustellen. Diese Plattform stellt eine integrierte Lösung für die Übertragungs- und Verteilnetzebene zur Verfügung. Die geeigneten Flexibilitätslösungen resultieren aus der Kooperation der beiden Netzbetreiber, der Flexibilitätsplattform und der Marktakteure, die Flexibilität bereitstellen. Um die Engpässe zu entschärfen, werden die Knotenpaare ausgesucht, welche einen großen Einfluss auf die identifizierten Engpässe haben. Der Datenschutz aller Akteure wird gewährleistet, indem nur die minimal erforderlichen Daten ausgetauscht werden. Zuletzt wird die Rolle eines virtuellen Kraftwerks in dem genannten Marktumfeld untersucht. Das virtuelle Kraftwerk passt die Fahrpläne seiner Erzeugungsanlagen an, unter Berücksichtigung des begrenzten Informationsaustausches, im Gegensatz zu den Informationen, welche in der bilateralen Lösung mit dem Verteilnetzbetreiber ausgetauscht werden. Durch die Flexibilitätsangebote des virtuellen Kraftwerks ist es dann möglich, die Abregelung von erneuerbaren Energien zu reduzieren. Alle Lösungen sind auf Benchmarks oder reale deutsche Netzmodelle validiert. Die erzielten Ergebnisse beweisen den Mehrwert der entwickelten Lösungen, um die Integration von Wind- und Solarenergie zu erhöhen.