

ANGEWANDTE METHODEN DER DYNAMISCHEN NETZMODELLREDUKTION – ABBILDUNG VON VERTEILUNGSNETZEN FÜR DIE UNTERSUCHUNG DER TRANSIENTEN STABILITÄT IM ÜBERTRAGUNGSNETZ

Sebastian KRAHMER¹, Alix VON HAKEN¹, Johannes WEIDNER¹,
Peter SCHEGNER¹

Einführung

Die Transformation des Elektroenergiesystems ist allgegenwärtig. Die Energiewende ist gekennzeichnet durch eine Verlagerung der Erzeugungsleistung von den konventionellen Kraftwerken in den Übertragungsnetzen zu den dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA), mehrheitlich angeschlossen in den Verteilungsnetzen. Zum einen wird dabei der Beitrag der großen Synchrongeneratoren zu den Systemdienstleistungen Spannungs- und Frequenzhaltung durch den Beitrag der DEAs, insbesondere der Windenergieanlagen (WEA), schrittweise substituiert. Zum anderen werden die dynamischen Eigenschaften der DEAs und ihre Fähigkeit zur statischen und dynamischen Netzstützung relevant für die Stabilität im Übertragungsnetz. Die Untersuchung der transienten Stabilität im Übertragungsnetz erfolgt durch die Simulation von Störungen (z.B. 3-poliger Sammelschienenfehler) in dynamischen Netzmodellen, in denen die Verteilungsnetze üblicherweise durch vereinfachte Netzäquivalente abgebildet sind. Die verschiedenen Methoden der Netzreduktion sind dahingehend auf ihre Genauigkeit und Praxistauglichkeit zu bewerten und gegebenenfalls weiterzuentwickeln.

Methodik

Nach aktuellem Stand werden die Verteilungsnetze mit Hilfe einer Erweiterung der WARD-Methode [1] reduziert. Dabei werden die klassischen WARD-Elemente, implementiert als statische Ersatzspannungsquellen, durch dynamische 110-kV-Ersatzknoten mit aggregierter Erzeugung und Last substituiert. Jeder Erzeugungstyp wird am Ersatzknoten zudem durch ein dynamisches Anlagenmodell abgebildet. Das Verfahren hat den Vorteil, dass der Zubau von DEAs einfach nachgeführt werden kann. Im Gegenzug ist der Aufwand zur Erstellung der reduzierten Netzäquivalente durch die individuelle Anpassung der WARD-Elemente hoch. Die in diesem Paper untersuchte Verfahrensweise auf Grundlage der dynamischen Netzreduktion nach PODMORE [2] bietet den Vorteil, dass die statische Reduktion des Netzes von der dynamischen Reduktion der Erzeugungsanlagen (EZA) und ihrer Knoten entkoppelt ist. Somit bleiben die dynamischen Eigenschaften der EZAs bei gleichzeitig geringem Anpassungsaufwand erhalten. Das angewandte dynamische Netzreduktionsverfahren erfolgt in fünf Schritten:

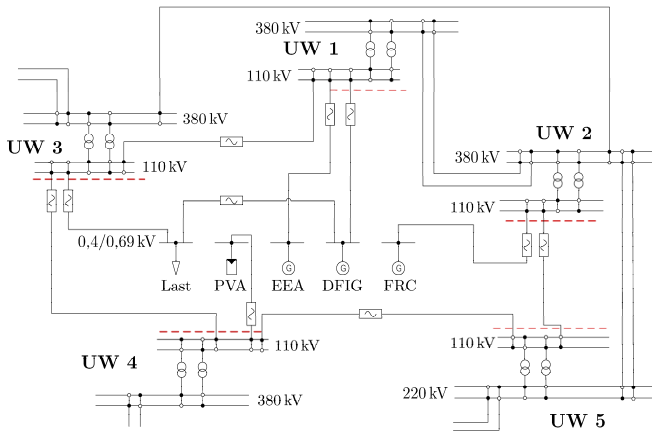
- (1) Unterteilung eines Netzes in ein Untersuchungsnetz und ein zu reduzierendes Netz
- (2) Identifikation von Gruppen kohärenter Generatoren für bestimmte Fehler im Untersuchungsnetz
- (3) Aggregation aller kohärenten Generatorknoten mit der REI-Methode nach DIMO [3] [4]
- (4) Reduzierung des passiven Netzes mit der Methode von WARD [1]
- (5) Aggregation der Gruppen kohärenter Generatoren zu äquivalenten Generatoren mit dynamischem Anlagenmodell

Ergebnisse

Es erfolgte die Implementierung der vorgestellten Methoden an zwei Netzen in *DigSILENT PowerFactory* und eine jeweilige Simulation auslegungsrelevanter Fehler für typische Betriebsfälle. Zusätzlich zum *New England 39-Bus-System* [5] wurde als zweites Netz ein Modell eines realen 110-kV-Netzes mit hoher Durchdringung an DEA aus der 50Hertz-Regelzone gewählt.

¹ Technische Universität Dresden, Mommsenstraße 10, 01062 Dresden, Fax: +49 351463-37036,
Tel.: +49 351463-{39993|34374}, {sebastian.krahmer|peter.schegner}@tu-dresden.de, alix.haken@posteo.de,
www.tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ieeh

Es wurden die Betriebsfälle „Leerlauf“, „Starkwind-Starklast“, „Hoher Transit“ und eine durchschnittliche Stunde untersucht. Zur Bewertung der Reduktionsverfahren wurden die Verläufe der Knotenspannungen, der Spannungswinkel sowie der Wirk- und Blindströme mit denen des detaillierten Netzmodells verglichen. Das in Abbildung 1 dargestellte Verteilungsnetz hat eine installierte Leistung von 2.670 MW, von der rund 90 % den DEAs zuzuordnen ist. Hiervon werden allein 80 % von WEAs bereitgestellt. Dem gegenüber steht eine maximale Last von rund 375 MW. Abbildung 2 zeigt einen typischen Verlauf des Spannungsbetrages nach einem 3-poligen Kurzschluss an der 380-kV-Sammelschiene des UW 2.



UW - Umspannwerk PVA - Photovoltaikanlage EEA - Sonstige DEA
 DFIG - WEA mit doppeltgespeister Asynchronmaschine FRC - WEA mit Vollumrichteranlage

Abbildung 1: Schema des reduzierten 110-kV-Netzes nach einer Netzreduktion nach PODMORE

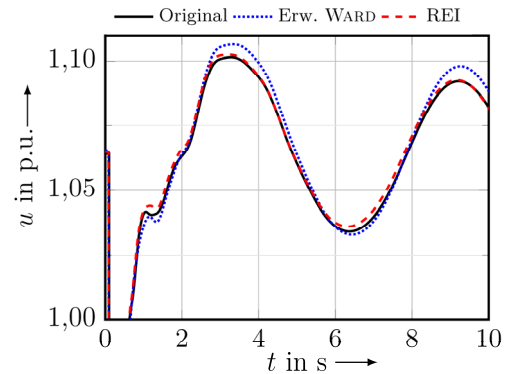


Abbildung 2: Verlauf der Spannung an der 380-kV-Sammelschiene des UW 3

Für stationäre Berechnungen erzielen die hier beschriebenen Netzreduktionsverfahren sehr gute Genauigkeiten; der Einsatz von 110-kV-Ersatzknoten bei der Erweiterung der WARD-Methode führt jedoch zu Abweichungen im Blindleistungsbedarf des Netzes. Für dynamische Berechnungen wird eine gute Übereinstimmung hinsichtlich des Kurvenverlaufes erzielt. Die Erweiterung der WARD-Methode besitzt jedoch oftmals eine große, näherungsweise konstante Abweichung während der gesamten Simulation. Es ist somit festzuhalten, dass Grundlage einer dynamischen Netzreduktion ein möglichst geringer Fehler im stationären Lastfluss des reduzierten Netzäquivalents sein sollte.

Es werden verschiedene Möglichkeiten der Netzreduktion von Verteilungsnetzen mit einem hohen Anteil an DEAs zur Simulation der transienten Stabilität von Übertragungs- und Verteilungsnetzen verglichen. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt dabei auf den Verfahrensweisen und deren praktische Umsetzbarkeit. Als Ergebnis steht eine Empfehlung der Netzreduktion nach PODMORE.

Literatur

- [1] J. B. Ward. „Equivalent Circuits for Power-Flow Studies“. In: Transactions of the American Institute of Electrical Engineers 68.1. Juli 1949.
- [2] R. Podmore. „A Comprehensive Program For Computing Coherency-Based Dynamic Equivalents“. In: IEEE Power Industry Computer Applications Conference (PICA). 1979.
- [3] P. Dimo. Nodal Analysis of Power Systems. Hrsg. von Editura Academiei, Hrsg. von Abacus Press. Bukarest, Kent, 1975.
- [4] J. Stadler und H. Renner. „Application of Dynamic REI Reduction“. In: IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe 2013). Okt. 2013.
- [5] T. Athay, R. Podmore und S. Virmani. „A Practical Method for the Direct Analysis of Transient Stability“. In: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems (PAS) 98.2. März 1979.