

MODELLE ZUR ANALYSE DES FREQUENZVERHALTENS AUSGEDEHNTER ÜBERTRAGUNGSNETZE

Denis MENDE¹, Holger BECKER¹, David Sebastian STOCK¹,
Walter SCHITTEK¹, Lutz HOFMANN²

Einleitung

Der fortwährend zunehmende Anteil von volatil einspeisenden Erzeugungsanlagen auf Basis von erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung führt in steigendem Maß zu einer Verdrängung der auf fossilen Brennstoffen basierenden Erzeugungsstruktur mit Synchronmaschinen. Darüber hinaus ergibt sich u. a. aufgrund des beschlossenen Kernenergieausstiegs in Deutschland eine geänderte Zusammensetzung des konventionellen thermischen Kraftwerksparcs. Diese Veränderungen in der Erzeugung – aber auch in der Verbraucherlandschaft (z. B. durch leistungselektronisch gesteuerte Lasten) – führen durch die Reduzierung der großen rotierenden Massen der Synchronmaschinen im System zu einer entscheidenden Veränderung des dynamischen Schwingungs- und Frequenz/Wirkleistungsverhaltens mit entsprechenden Auswirkungen auf die Wirkleistungs/Frequenzregelung (vgl. [1]).

Stand der Technik

Für vereinfachte prinzipielle Untersuchungen des Frequenzverhaltens in Synchrongebieten sind aggregierte Bilanzmodelle weit verbreitet. Die Frequenzänderungen in Folge von Laständerungen werden in diesen Modellen über die im System vorhandene Trägheit der rotierenden Massen und die Kopplung ihrer aggregierten Winkelgeschwindigkeiten mit der Netzfrequenz nachgebildet. Der klassische Modellierungsansatz, z. B. nach [2, 3], fasst sämtliche direkt mit dem Netz gekoppelten elektrischen Maschinen (Synchron- und Asynchronmaschinen) in einer einzigen rotierenden Masse zusammen. Darüber hinaus werden in der Regel der Selbstregelleffekt der Last (z. B. durch die frequenzabhängige Leistungsaufnahme von direkt gekoppelten Asynchronmaschinen) sowie der Primärregelleistungseinsatz als Reaktion auf Frequenzänderungen berücksichtigt. Dies kann durch entsprechende Blockschaltbilder in der Laplace-Ebene beschrieben werden. Ebenso wie die thermischen Kraftwerke verfügen auch erneuerbare Erzeugungsanlagen über verschiedene Möglichkeiten der Beteiligung an der Wirkleistungs-/Frequenzregelung. Um die skizzierten Veränderungen im Erzeugungsmix und insbesondere die durch die variierende Einspeiseleistung hervorgerufenen Auswirkungen auf das Frequenzverhalten untersuchen zu können, kann das Modell durch die Nachbildung der dynamischen Primärregelung unterschiedlicher Erzeugungsanlagen, unterschiedlicher Durchdringungen sowie variierender Massenträgheit im System weiter detailliert werden.

Inhalt und Methodik

Durch die Variation der Parameter unterschiedlicher Erzeugungsanlagen im klassischen Modell kann der große Einfluss der Höhe der Trägheit des Netzes auf das dynamische Frequenzverhalten direkt im Anschluss an ein Störungsereignis gezeigt werden. Diese Modellierung liefert durch die reine Kopplung der Leistungsänderung mit der mechanischen Rotation – als Äquivalent für die Frequenz – im Bereich weniger Sekunden nur begrenzte Genauigkeit und Aussagekraft, da transiente Effekte und Ausgleichsvorgänge in der Modellierung keine Berücksichtigung finden. Insbesondere im Anschluss an eine störungsbedingte Auftrennung des Verbundnetzes in zwei oder mehrere Netzinseln (System-Split) ergeben sich in den einzelnen Teilsystemen im Vergleich zum Normalbetrieb hochdynamische Frequenzverläufe, weshalb Maximalgradienten von 2 Hz/s diskutiert werden. Bei einem schweren Störfall mit Netzaufteilung ist sogar mit Werten von 4 Hz/s bis 8 Hz/s zu rechnen [4]. Solche Situationen können bislang noch nicht ausreichend genau nachgebildet werden. Die Untersuchung im Kurzzeitbereich erfordert daher eine Ergänzung des klassischen Bilanzmodells, weshalb hier zwei weiterführende Modellansätze skizziert werden:

¹ Fraunhofer / Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik, Königstor 59, 34119 Kassel, denis.mende@iwes.fraunhofer.de, Tel.: +49 561 7294-425

² Leibniz Universität Hannover, Institut für Elektrische Energiesysteme, Appelstrasse 9A, 30167 Hannover

- Der erste Ansatz baut auf dem eingeführten aggregierten Bilanzmodell auf und erweitert dieses um das prinzipielle transiente elektromechanische Verhalten der Synchronmaschine. Dadurch kann der Zeitbereich der Betrachtungen in die ersten Sekunden nach dem Leistungssprung erweitert werden. Einen möglichen Ansatz zur Umsetzung zeigt Abb. 1 links.
- Im zweiten Ansatz werden anstelle von Leistung und Frequenz die momentanen Werte von Strom und Spannung als Koppelgrößen verwendet. Dies ermöglicht die Betrachtung der Frequenzänderungen und Simulationen nicht nur in den ersten Sekunden, sondern sogar im Kurzzeitbereich unmittelbar im Anschluss an das Störungsereignis. In Verbindung mit der detailgetreuen Abbildung stromrichterbasierter Einspeiseanlagen rücken in einer solchen Modellierung Verfahren zur Frequenzerkennung sowie deren Geschwindigkeit in den Mittelpunkt.

Daneben lässt sich bei geringerer rotierender Masse und damit einhergehendem stärkerem Einfluss lokaler Erzeugungs- und Primärregelleistungserbringung darauf schließen, dass die räumliche Frequenzausbreitung (in Form von inkohärenten Winkeländerungen der Spannungsvektoren in unterschiedlichen Netzgebieten, siehe z. B. Abb. 3.49 aus [5]) bei Störungsereignissen nicht mit einem konzentrierten Modell dargestellt werden kann. Der Einfluss eines durch elektrische Leitungen gekoppelten, ausgedehnten Systems kann in beiden Ansätzen berücksichtigt werden. Mehrere der skizzierten Modelle können über entsprechende Verbundleitungen miteinander gekoppelt werden (Abb. 1 rechts), wodurch Untersuchungen von räumlichen Wechselwirkungen möglich sind.

Im Ergebnis stehen Modelle für die Simulation des Schwingungsverhaltens von Erzeugungsanlagen in mehreren über Kuppelleitungen verbundenen Regionen zur Verfügung, die sowohl eine detaillierte Analyse der Schwingungsvorgänge im Sekundenbereich als auch die Nachbildung der länger andauernden Regelvorgänge im Minutenbereich mit ausreichender Genauigkeit ermöglichen. Die Simulationsmodelle sollen perspektivisch die spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Arten von Erzeugungsanlagen (Synchronmaschinen, Vollumrichter und doppelgespeiste Asynchrongeneratoren) einschließlich ihrer Wirkleistungs-/Frequenz- und Spannungs-/Blindleistungsregeleigenschaften in aggregierter Form auf Basis dieser Modellierungsansätze nachbilden. Ebenso kann der Einfluss verschiedener Frequenzerkennungsverfahren auf das Systemverhalten durch die Berücksichtigung im zweiten Modellierungsansatz analysiert werden.

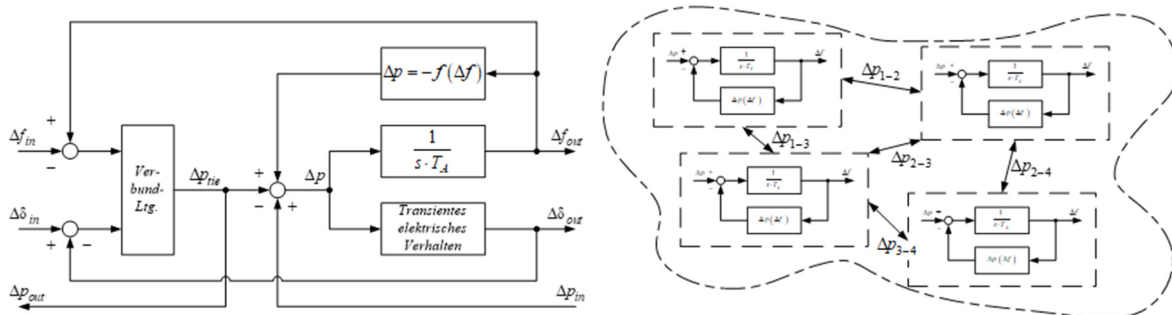


Abbildung 1: Erweiterungsmöglichkeit des aggregierten Bilanzmodells um das prinzipielle transiente Verhalten der Synchronmaschine mit Verbundleitungen zu benachbarten Netzgebieten (links) sowie Kopplung mehrerer aggregierten Bilanzmodelle in einem ausgedehnten Verbundsystem (rechts).

Literatur

- [1] M. van der Straeten, W. Lisin, Einfluss reduzierter rotierender Masse auf den Netzbetrieb (re-duMa), Projektposter, Stuttgart, 2016. <http://forschung-stromnetze.info/projekte/einfluss-reduzierter-rotierender-masse-auf-den-netzbetrieb>. Zugriff 25.11.2017.
- [2] E. Handschin, El. Energieübertragungssysteme, 2. Auflage, Hüthig Verlag, Heidelberg, 1987.
- [3] B.R. Oswald, Skript Netzregelung, Elektrische Energieversorgung II, Universität Hannover, 2005. https://www.iee.uni-hannover.de/professoren_im_ruhestand.html. Zugriff 21.12.2017.
- [4] Forum Netztechnik / Netzbetrieb im VDE (FNN), Ermittlung und Bewertung der Netzfrequenz – Auswirkungen netzseitiger Störeinflüsse, 2017.
- [5] V. Crastan, D. Westermann, El. Energieversorgung 3, 3. Auflage, Springer, Heidelberg, 2012.