

RANDNETZMODELLIERUNG FÜR DYNAMISCHE FREQUENZUNTERSUCHUNGEN IM VERTEILNETZ

Anna PFENDLER¹, Lukas JUNG¹, Jutta HANSON¹

Motivation

Im elektrischen Energiesystem ist die Frequenz ein zentraler Parameter für das Gleichgewicht aus Wirkleistungserzeugung und -verbrauch. Die Frequenzstabilität ist damit ein wesentlicher Aspekt zur Wahrung eines stabilen Netzbetriebs. Im eingeschwungenen Zustand ist die Frequenz des kontinentaleuropäischen Verbundsystems näherungsweise im gesamten Netzgebiet identisch und wird in einem engen Toleranzband gehalten. Das Wirkleistungsgleichgewicht kann durch Ereignisse im System gestört werden, z.B. durch den Ausfall von Erzeugungsanlagen. Transiente Vorgänge beeinflussen nach der Störung die Frequenz, und Regelmechanismen, die einer Frequenzabweichung entgegenwirken, werden aktiv. [1]

Mit dem zunehmenden Anteil von dezentralen Erzeugungsanlagen, Speichern, etc. und den verbundenen leistungselektronischen Komponenten auf der Verteilnetzebene und dem gleichzeitigen Abschalten konventioneller Kraftwerke basierend auf Synchrongeneratoren im Übertragungsnetz wird die Frequenzregelung anspruchsvoller: Das inhärente Trägheitsverhalten von rotierenden Maschinen, welches durch Ein- oder Ausspeichern kinetischer Energie einer Frequenzänderung entgegenwirkt, nimmt ab. Zahlreiche umrichterbasierte Anlagen müssen mit ihrer Regelung zur Systemstabilität beitragen und Systemdienstleistungen erbringen, die zuvor durch wenige konventionelle Kraftwerke bereitgestellt wurden. Um diese Regelungen und den Beitrag umrichterbasierter Anlagen zur Frequenzstabilität zu untersuchen, müssen dynamische Frequenzuntersuchungen im Verteilnetz durchgeführt werden. Zur Durchführung dieser Untersuchungen muss in Netz-simulationen das überlagerte Netz mit seinen Frequenzcharakteristiken modelliert werden.

Literaturüberblick

In der Literatur finden sich zur Untersuchung der Frequenzstabilität verschiedene Ansätze für die Nachbildung des überlagerten Netzes:

- 1) Aggregierte Modellierung der Verteilnetze: Die umrichterbasierten Anlagen werden zu einer Anlage zusammengefasst und auf Übertragungsnetzebene angeschlossen. Dadurch ist eine Modellierung des überlagerten Netzes nicht notwendig.
- 2) Simulation eines Phasensprungs: Statt der Frequenz wird die Reaktion von umrichterbasierten Anlagen auf einen Phasensprung der Netzspannung untersucht. Hierzu kann das externe Netz als Spannungsquelle abgebildet werden.
- 3) Spannungsquelle mit Frequenzrampe: Mithilfe einer regelbaren Spannungsquelle wird eine generische Frequenzänderung als Rampe mit konstanter Steigung simuliert.
- 4) Synchrongenerator: Das externe Netz wird als Synchrongenerator mit Last nachgebildet, sodass das dynamische Frequenzverhalten, insbesondere die Trägheit, nachgebildet werden können. Der Ausfall eines Generators oder das Zuschalten einer Last rufen in diesem Fall eine Frequenzänderung hervor.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dynamischen Simulationen im Zeitbereich und umfasst daher die letzten beiden Ansätze.

¹ Technische Universität Darmstadt, Institut für Elektrische Energiesysteme, Fachgebiet Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien (E5), Landgraf-Georg-Straße 4, 64283 Darmstadt, +49 6151 16-24663, anna.pfendler@tu-darmstadt.de, www.e5.tu-darmstadt.de

Methodik

Der Einfluss der Modellierung des externen Netzes wird für eine einfache Testbench simuliert. Dabei wird die Modellierung als Ward-Äquivalent einem aggregierten Synchrongeneratormodell gegenübergestellt. Das Ward-Äquivalent ist als Spannungsquelle mit Innenimpedanz modelliert. Für die Untersuchung wird eine Frequenzrampe der Spannungsquelle vorgegeben. Der aggregierte Synchrongenerator setzt vereinfachend kohärentes Verhalten aller Generatoren [2] im überlagerten Netz voraus und wird anschließend parametrisiert. Für beide Fälle wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, sodass Einflussgrößen auf die Frequenzverläufe identifiziert werden und die Unterschiede zwischen den beiden Randnetznachbildungen aufgezeigt werden. Zuletzt wird die Auswirkung auf die Frequenzregelung einer umrichterbasierten Erzeugungsanlage (EZA) im Verteilnetz untersucht, welche eine Frequenzmessung mittels Phase-Locked Loop (PLL) verwendet.

Ergebnisse

Der Vergleich der beiden Ansätze zur Modellierung des externen Netzes ist in Abbildung 1 gezeigt. Mithilfe einer proportionalen Frequenzregelung folgt die Wirkleistung der umrichterbasierten Erzeugungsanlage P_{EZA} antiproportional dem Frequenzverlauf f am Netzanschlusspunkt mit einer anfänglichen Verzögerung entsprechend des eingestellten Totbandes. Zudem werden in Form einer Sensitivitätsanalyse weitere Unterschiede zwischen der Nachbildung als Ward-Äquivalent, d.h. als Spannungsquelle mit Innenimpedanz, und als aggregierter Synchrongenerator aufgezeigt, etwa bei einer Änderung des R/X-Verhältnisses sowie der Kurzschlussleistung am Netzanschlusspunkt der umrichterbasierten Erzeugungsanlage.

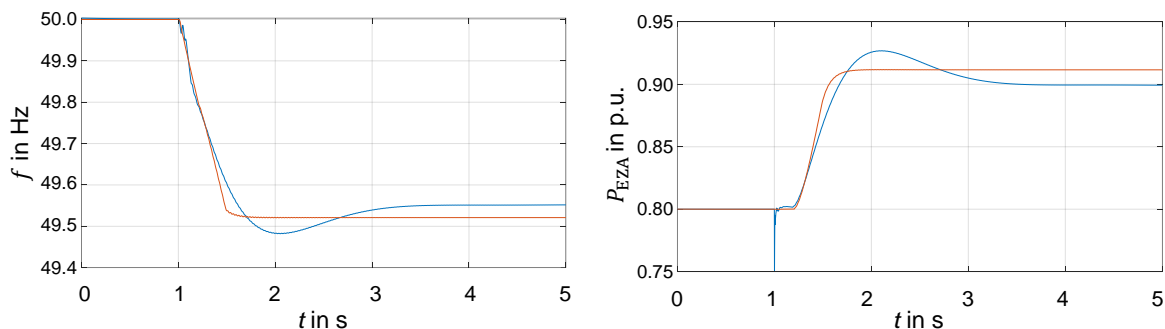


Abbildung 1: Netzfrequenz und Wirkleistungseinspeisung der dezentralen Erzeugungsanlage (EZA), rot: Ward-Äquivalent, blau: Synchrongenerator

Referenzen

- [1] P. Kundur, "Power System Stability and Control". 25th reprint. McGraw Hill Education, 1994.
- [2] R. Podmore, "Identification of Coherent Generators for Dynamic Equivalents," in *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-97, no. 4, pp. 1344-1354, July 1978, doi: 10.1109/TPAS.1978.354620.