

BEWERTUNG VERSCHIEDENER REGELUNGSANSÄTZE FÜR SPEICHERSYSTEME ZUR VERBESSERUNG DER KURZZEIT- FREQUENZSTABILITÄT

Florian RAUSCHER^{*1}, Julia SEIDEL², Björn Oliver WINTER³, Bernd ENGEL⁴

Inhalt

Mit der stetigen Zunahme des Anteils an erneuerbaren Energien am Energiemix werden konventionelle Kraftwerke fortlaufend verdrängt. Dies führt neben der Veränderung der Primärenergie auch zu einer Veränderung der im Netz dominierenden Einspeisetechnologie und hat somit Einfluss auf die Fragestellung der Netzstabilität.

Konventionelle Kraftwerke werden in der Regel mittels Synchrongeneratoren direkt am Verbundnetz betrieben. Durch diese direkte Kopplung beeinflusst das Wirkleistungsgleichgewicht der Synchrongeneratoren unmittelbar das Frequenzverhalten des Verbundnetzes. Bei einer plötzlich auftretenden Störung des Leistungsgleichgewichtes kompensieren die Synchronmaschinen diese durch die vorhandene Energie aus ihren rotierenden Massen in Form der Momentanreserve. Die Entnahme der Energie aus der rotierenden Masse wird durch die Drehzahländerung der Synchronmaschine und folglich auch der Zunahme des Frequenzgradienten zum Zeitpunkt des Störungseintritts deutlich. Die anschließend einsetzende Primärregelung stabilisiert dann mit Verzögerung die Drehzahl und somit auch die Frequenz. Das Wirkleistungs-Frequenz-Verhalten ist bei direkt gekoppelten Synchronmaschinen unmittelbar mit dem des Verbundnetzes verknüpft. Daher werden diese auch als synchrone Erzeugungsanlagen beschrieben. [1] Die leistungselektronischen Systeme zur Einspeisung der erneuerbaren Energien, als nicht-synchrone Erzeugungsanlagen, tragen hingegen aktuell nicht zur Kurzzeitfrequenzstabilität bei. [2] Die dort für die Einspeisung von erneuerbaren Energien verwendete Regelung ist primär darauf ausgelegt, die Anlage möglichst zu jedem Zeitpunkt im Punkt maximaler Einspeisung zu betreiben. Bei einer prozentualen Zunahme an erneuerbaren Energien gegenüber dem Gesamtverbrauch hat dies zur Folge, dass der Anteil synchroner Erzeugung mit einem Einfluss auf die Kurzzeitfrequenzstabilität abnimmt. Dies führt zu einer verringerten Netzanlaufzeitkonstante und damit zu größeren Abweichungen sowohl beim Frequenzgradienten als auch bei der maximalen dynamischen Frequenzabweichung.

Um die Netzfrequenz auch zukünftig im Rahmen der Frequenzgrenzen im Verbundnetz zu halten, müssen zukünftige Komponenten im Verbundnetz beim Ausgleich von Wirkleistungsungleichgewichten unterstützt werden. Da es sich häufig um symmetrische Abweichungen in positiver und negativer Richtung handelt und die Dauer für die Leistungsungleichgewichte verhältnismäßig gering ist, eignen sich Speichersysteme wie z.B. Batteriespeichersysteme für die Bereitstellung von Maßnahmen zur Verbesserung der Frequenzstabilität. Zusätzlich kann durch den Einsatz von Speichersystemen beispielsweise bei Überfrequenz eine Abregelung von erneuerbaren Energien bei einem stetig steigenden Bedarf an elektrischer Energie vermieden werden.

Zur Verbesserung der Kurzzeitfrequenzstabilität werden folgende ergänzende Regelungsansätze für Speichersysteme betrachtet:

- 1) Angepasste Wirkleistungsreaktion auf eine gemessene Frequenzänderung $P(f)$ analog zu einer schnellen Primärregelungsbereitstellung
- 2) Angepasste Wirkleistungsreaktion auf eine gemessene Raumzeigerwinkeländerung $P(\theta)$ [3]
- 3) Inhärente Wirkleistungsreaktion eines netzbildenden Wechselrichters mit virtueller Synchronmaschinenregelung [4]

¹ TU Braunschweig, Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - elenia, Schleinitzstraße 23, +49 531 391 7760, +49 531 391 8106, f.rauscher@tu-braunschweig.de

² TU Braunschweig - elenia, Schleinitzstraße 23, j.seidel@tu-braunschweig.de

³ TU Braunschweig - elenia, Schleinitzstraße 23, bjoern.winter@tu-braunschweig.de

⁴ TU Braunschweig - elenia, Schleinitzstraße 23, bernd.engel@tu-braunschweig.de

Methodik

Die verschiedenen Regelungsansätze zur Unterstützung der Kurzzeitfrequenzstabilität und ihre prinzipielle Wirkungsweise werden formal beschrieben. Anschließend wird die Funktionsweise der Ansätze mittels Komponententests untersucht. Hierfür werden die Regelungsansätze auf einem frei programmierbaren Wechselrichter implementiert und anschließend im Labor die Sprungantwort der Wirkleistung aufgenommen. Hierfür wird ein Netzsimulator mit einem definierten Frequenzsprung verwendet. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Frequenzen werden diese mittels eines Phasenwinkelmessgerätes (engl. Phase-locked-loop, PLL) mit einer festen Parametrierung gemessen.

Zum Nachweis der Verbesserung der Kurzzeit-Frequenzstabilität wird ein Systemtest mittels Simulationen durchgeführt. Die Bewertung der Frequenzstabilität wird in der Regel in einem Bilanzmodell durchgeführt, wo das Verhalten aller Synchronmaschinen in einem Netz durch eine einzelne Ersatzsynchronmaschine abgebildet werden kann [5]. Analog hierzu wird eine einzelne Synchronmaschine im Testnetz der Simulation verwendet, um den Einfluss auf das Frequenzverhalten qualitativ bewerten zu können. Die verschiedenen Regelungsansätze werden in der Simulation auf einem einzelnen zentralen Wechselrichter implementiert. Vor Eintritt der Störung wird das Testnetz parallel zu einem externen Netz betrieben, welches sich dann zum Störungseintritt trennt und damit das Testnetz inselt. Durch den Wegfall der Austauschleistung des externen Netzes tritt ein Leistungsungleichgewicht auf, welches durch die vorhandenen Komponenten kompensiert werden muss. Die Simulation werden als Momentanwert-Simulationen durchgeführt, um die Wirkleistungseffekte hinreichend gut beschreiben zu können. Die Frequenzen werden analog zu den Labor Messungen über eine simulierte PLL mit gleicher Dynamik bestimmt. Die verschiedenen Frequenzverläufe nach den eingesetzten Regelungen werden anschließend verglichen. In der abschließenden Diskussion wird zudem das Umsetzungspotential der verschiedenen Regelungen bewertet.

Ergebnisse

Eine schnellere Wirkleistungsreaktion auf eine Störung des Leistungsgleichgewichtes führt prinzipiell zu einer Verringerung der maximalen dynamischen Frequenzabweichung. Da die Bestimmung der Frequenz selbst über einige Perioden erfolgt, reagiert die frequenzabhängige Wirkleistungsanpassung verzögerter als die winkelabhängige Wirkleistungsanpassung. Der kombinierte Einsatz aus der frequenz- und winkelabhängigen Wirkleistungsanpassung führt in den Simulationen zu geringen Abweichungen beim Einsatz von konventionellen stromeinprägenden Wechselrichter-Regelungen.

Netzbildende Wechselrichter mit virtueller Synchronmaschinenregelung stellen inhärent Leistung aufgrund ihres synchronen Netzverhaltens bereit. Daher reagieren diese unmittelbar auf Störungen des Leistungsgleichgewichtes. Neben der Fähigkeit, die maximale dynamische Frequenzabweichung zu begrenzen, können diese ebenfalls auch den Frequenzgradienten begrenzen.

Referenzen

- [1] 50Hertz, Amprion, TenneT, TransnetBW, Frequenzstabilität Notwendiges Zeitverhalten bei Über- und Unterfrequenz, Juni 2018.
- [2] D. Nelles, Netzdynamik - Elektromechanische Ausgleichvorgänge in elektrischen Energieversorgungsnetzen, Berlin, VDE Verlag, 2009.
- [3] S. Laudahn, Dynamisches Verhalten von wechselrichterbasierten Erzeugungsanlagen im Kontext eines sicheren und stabilen Netzbetriebs, Dissertation, Braunschweig, 2017.
- [4] S. Laudahn, J. Seidel, T. Bülo, D. Premm, B. Engel, Substitution of Synchronous Generator Based Instantaneous Frequency Control Utilizing Inverter-coupled DER, 7th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems, Vancouver, 2016.
- [5] D. Oeding, B. R. Oswald, Elektrische Kraftwerke und Netze, Berlin, Springer-Verlag, Auflage 8, 2016.