

VERGLEICH VERSCHIEDENER WECHSELRICHTERREGELUNGEN IN NETZFEHLERSITUATIONEN IM NETZDYNAMIKLABOR

Timo SAUER*¹, Florian RAUSCHER¹, Frederik TIEDT¹, Bernd ENGEL¹

Inhalt

Zur Einhaltung der Klimaziele wird der Anteil an erneuerbaren Energien an der Gesamtheit des deutschen Strommix immer weiter zunehmen. Gleichzeitig werden konventionelle Großkraftwerke aufgrund des beschlossenen Ausstiegs aus der Kernkraft und der Kohleverbrennung stark abnehmen. Dies führt zu einem voranschreitenden Strukturwandel der Erzeugungstechnologien. [1] Während konventionelle Kraftwerke über Synchrongeneratoren an das Verbundnetz angeschlossen werden, speist der Großteil der erneuerbaren Energien die elektrische Leistung über Wechselrichter in das Stromnetz ein. Historisch bedingt erfolgt die Netzregelung vor allem mittels Synchrongeneratoren. Zukünftig müssen Wechselrichter die Aufgaben der Netzregelung übernehmen und einen stationär und transient stabilen Netzbetrieb gewährleisten. Die bereits im Verbundnetz eingesetzten Wechselrichter sind so geregelt, dass sie vorrangig die erzeugte Leistung effizient in das Netz einspeisen, sodass diese Stromquellenverhalten aufweisen. Sie werden als netzstützende Wechselrichter (engl. Grid Supporting Inverter, GSI) bezeichnet, da diese zusätzlich Netzfunktionen wie beispielsweise Fault-Ride-Through oder frequenzabhängige Wirkleistungsreduktion erfüllen müssen. Allerdings können diese Wechselrichter aufgrund ihrer Regelung nicht instantan auf Änderungen des Netzzustandes reagieren, sodass diese keine Momentanreserve bereitstellen können. Da die Betriebsweise von Wechselrichtern jedoch maßgeblich von der übergeordneten Regelungsstrategie abhängt, ist es grundsätzlich möglich, Wechselrichter so zu regeln, dass diese wie Synchrongeneratoren Spannungsquellenverhalten aufweisen und so u.a. die Momentanreservebereitstellung von Synchrongeneratoren ersetzen können. Diese werden als netzbildende Wechselrichter (engl. Grid Forming Inverter, GFI) bezeichnet, da sie eine Spannung mit definierter Amplitude und Phasenlage stellen. [2]

Netzfehlersituationen, zu denen beispielsweise Kurzschlüsse zählen, rufen einen trichterförmigen Spannungseinbruch um die Fehlerstelle hervor, der bei netzbildenden Wechselrichtern infolge der Regelung als Spannungsquelle zu instantan höheren Ausgangsströmen der Anlage führt. Aufgrund der Stromtragfähigkeit der Leistungselektronik sind Wechselrichter im Gegensatz zu Synchrongeneratoren allerdings nicht in der Lage, mehrfache Überströme in das Netz einzuspeisen, ohne dass dies zur Beschädigung der Erzeugungsanlage führt. Zur Wahrung der Versorgungskontinuität müssen die Erzeugungsanlagen Netzfehler jedoch durchfahren und zur transienten Netzstabilität beitragen, weshalb die Ausgangsströme bei Netzbildnern begrenzt werden müssen. [3] Netzstützende Wechselrichter besitzen die Problematik der zusätzlich notwendigen Strombegrenzungsfunktion nicht, da aktiv der Ausgangstrom geregelt wird. Es ist vorgegeben, dass diese im Fehlerfall einen geeigneten Blindstrom einspeisen, um die Netzspannung zu stützen (Fault-Ride-Through) [4].

Methodik

Um das netzdynamische Verhalten beider Wechselrichterregelungen zu analysieren sowie zu vergleichen, werden im Netzdynamiklabor des *elenia Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme* unter Anwendung normativer Prüfvorschriften Untersuchungen durchgeführt. Dazu erfolgt zunächst eine detaillierte Beschreibung der für die Untersuchung relevanten Komponenten des Labors. Da Netzfehlersituationen im Bereich von Millisekunden wirken, wird hierbei die Eignung der eingesetzten Komponenten für solche Untersuchungen aufgezeigt. Konkret wird ein Testaufbau verwendet, der aus einem Echtzeitsimulator in Kombination mit einem Netzsimulator im Verstärkerbetrieb besteht. Mit diesem Power-Hardware-in-the-Loop System können die Vorgaben an dezidierte Spannungseinbruchstests nach Prüfvorschrift umgesetzt werden. Während für die Untersuchungen des netzstützenden Wechselrichters ein marktüblicher Wechselrichter aus

¹ TU Braunschweig, elenia Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme, Schleinitzstraße 23, +49 531 391 7721, t.sauer@tu-braunschweig.de

Serienproduktion verwendet wird, wird für den netzbildenden Wechselrichter das entsprechende Regelungsmodell auf einem freiprogrammierbaren Prototypen-Wechselrichter implementiert [3]. Diese werden über eine Netznachbildung mit dem Netzsimulator gekoppelt.

Zum Nachweis der technischen Anforderungen bei Unterspannungsereignissen wird anschließend das Prüfverfahren nach FGW TR3 formal beschrieben [4]. Kritische Sensitivitätsparameter sind nach Prüfvorschrift, die Einbruchtiefe und die Dauer des Spannungseinbruchs. Der Prüfling muss in der Lage sein, diese Anschlussbedingungen zu durchfahren. Des Weiteren wird die Fähigkeit zur Spannungsstützung bei Netzfehlern von netzbildenden mit netzstützenden Wechselrichtern verglichen.

Ergebnisse

Erste Laboruntersuchungen haben gezeigt, dass der netzbildende Wechselrichter aufgrund seines inhärenten Spannungsquellenverhalten früher auf die neue Netzsituation durch Einspeisen eines Blindstroms i_q reagiert. Ursächlich hierfür sind die unterschiedlichen charakteristischen Regelungsstrategien der Wechselrichter. Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt der ersten Millisekunden nach Beginn eines Unterspannungsereignisses auf 0,4 p.u. (zum Zeitpunkt $t = 0$ s). Abgebildet sind der Spannungsraumzeiger am Netzanschlusspunkt sowie der Blindstrom i_q des netzbildenden und netzstützenden Wechselrichters.

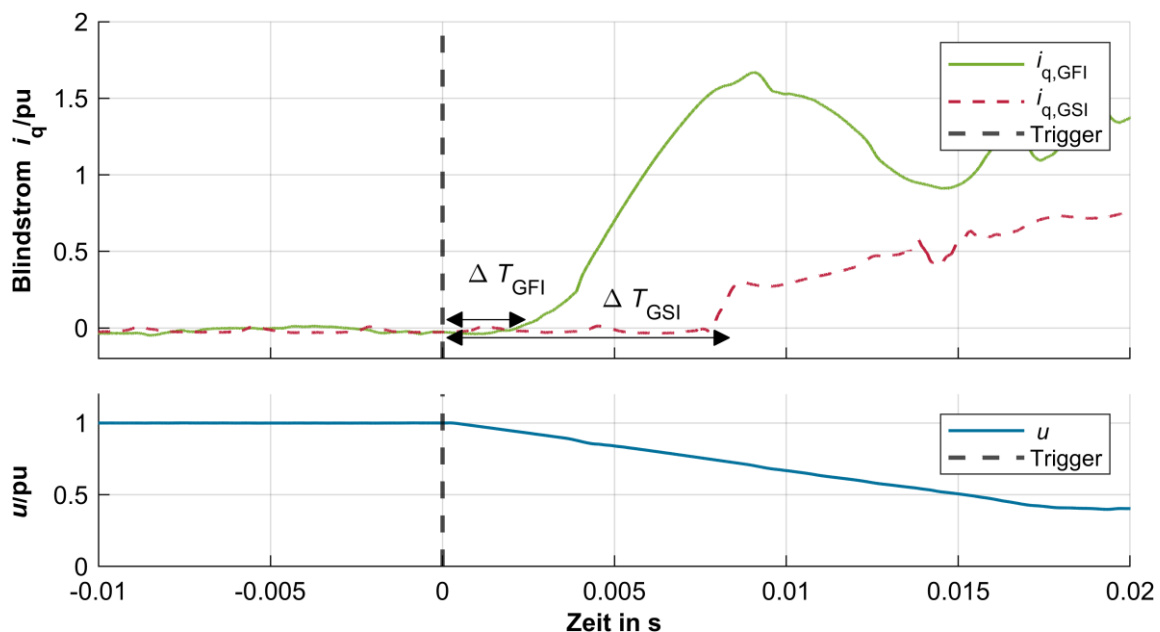


Abbildung 1: Vergleich der Wechselrichterregelungen bei einem Unterspannungsereignis auf 0,4 p.u. hinsichtlich der Reaktionszeit der Blindstromspeisung

In der Abbildung sind die Verzögerungszeiten ΔT_{GFI} und ΔT_{GSI} eingezeichnet, die die Zeit angeben, ab wann eine Reaktion des Wechselrichters auf das Unterspannungsereignis erfolgt. Da netzstützende Wechselrichter periodisch oder halperiodisch die Messdaten auswerten und erst anschließend auf diese reagieren, ergibt sich eine längere Verzögerungszeit als bei netzbildenden Regelungen, die inhärent auf geringe Abweichungen der Spannung am Netzanschlusspunkt reagieren. Der quantitative Nachweis der Eignung zur Durchführung von Untersuchungen im Millisekundenbereich wird in der Langfassung dargelegt werden.

Referenzen

- [1] BMWi, "Öffentlich-rechtlicher Vertrag zur Reduzierung und Beendigung der Braunkohleverstromung in Deutschland", 24.06.2020, [Link](#).
- [2] Unruh, P. et al. "Overview on Grid-Forming Inverter Control Methods", Energies, 2020.
- [3] Rauscher, F., Sauer, T., Engel, B., "Experimental validation of current limitation methods for grid forming inverters", Virtual 19th Wind Integration Workshop, Online, 11.-12. Nov. 2020.
- [4] "Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und -anlagen, Teil 3 (TR3)", FGW e.V. Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien, 01.09.2018.