

MODELL FÜR NIEDERSPANNUNGSNETZE MIT AKTIVER SPANNUNGSREGELUNG FÜR LANGZEITSPANNUNGSSTABILITÄTSANALYSEN IN VERTEILNETZEN

Robert SCHMIDT¹, Sophia TEPE^{2(*)}, Julia RUSSEK^{3(*)}, Albert MOSER⁴

Kurzfassung

Bedingt durch die Integration dezentraler Erzeugungsanlagen (DEA) auf Verteilnetzebene werden Verteilnetzbetreiber (VNB) in den nächsten Jahrzehnten zunehmend vor der Herausforderung stehen, einen stabilen Netzbetrieb zu gewährleisten. Historisch wurden insbesondere Niederspannungs- (NS) und Mittelspannungsnetze (MS-Netze) größtenteils passiv, mit einem Minimum an Messungen und Steuerung betrieben. Dies war möglich, da sich der tägliche Energieverbrauch nur geringfügig änderte und typische Netzsituationen somit leicht vorhersehbar waren. In Zukunft jedoch wird die Volatilität der Einspeisung aus DEA mit hoher installierter Leistung zu einem dynamischen Netzbetrieb führen, der leicht zu unvorhergesehenen Netzzuständen führen kann. Dies erfordert verstärkt eine manuelle und automatisierte Steuerung in NS- und MS-Netzen.

In diesem Zusammenhang wird die Q(U)-Regelung im Allgemeinen als vorteilhaftes Konzept für die Blindleistungsregelung betrachtet. Durch Anpassung an die aktuelle Netzsituation wird die Spannungsstabilität unterstützt. Die Q(U)-Regelung ist sowohl für NS- als auch MS-Netze definiert und soll Blindleistung innerhalb weniger Sekunden bereitstellen. Daher eignet sie sich zur Spannungsstützung bei schnell veränderlichen Netzsituationen sowie bei Ausfällen oder Störungen. Die Regelung ist nicht nur für DEA und Speicherkraftwerke, sondern auch für leistungselektronische Lasten wie Ladestationen für Elektrofahrzeuge definiert [1, 2]. Aus Fachkreisen wird empfohlen, diese Möglichkeit zunehmend zu nutzen, um Blindleistung für das Netz im Rahmen der statischen Spannungshaltung bereitzustellen [3].

Mögliche Wechselwirkungen mit anderen spannungsregelnden Anlagen wie beispielsweise Stufentransformatoren bleiben jedoch unklar. Die Tatsache, dass an jedem Netzpunkt zukünftig DEA mit Q(U)-Regelung aktiv sein könnten, macht detaillierte Untersuchungen zu möglichen Wechselwirkungen bei schnell veränderlichen Netzsituationen erforderlich. In der Vergangenheit wurden bereits Untersuchungen zur Spannungsstabilität in NS-Netzen bei Q(U)-Regelung von DEA durchgeführt [4]. Hierbei konnte keine Beeinträchtigung der Stabilität in NS-Netzen festgestellt werden. Jedoch zeigen weitere Untersuchungen, dass die Wahl der Regelung in NS-Netzen deutliche Auswirkungen auf den Blindleistungsaustausch zwischen NS- und MS-Netzen hat [5]. Hierbei bleibt offen, welche Auswirkungen dies bei hoher Integration von DEA hat. Insbesondere bei schnellen Änderungen der Einspeiseleistung von DEA könnten spannungsabhängige Regelungen zu Wechselwirkungen zwischen den Netzebenen führen. In Zukunft müssen VNB somit in der Lage sein, mögliche Wechselwirkungen zu identifizieren und die Parametrierung von Q(U)-Regelungen und anderen spannungshaltenden Maßnahmen abzustimmen.

Aufgrund des spannungs- und zeitabhängigen Verhaltens Q(U)-geregelter Anlagen müssten zur Berücksichtigung der Interaktionen Zeitbereichssimulationen durchgeführt werden. Angesichts der hohen Anzahl von Knoten auf NS-Ebene würde eine knotenscharfe Zeitbereichssimulation beider Spannungsebenen jedoch einen enormen Rechenaufwand verursachen. Dies gilt insbesondere bei Berücksichtigung mehrerer Netzsituationen. Ein möglicher Lösungsansatz ist die Modellreduktion von NS-Netzen.

¹ Institut für elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft (IAEW), Schinkelstraße 6, 52062 Aachen, +49 (241) 80 9247, r.schmidt@iaew.rwth-aachen.de, www.iaew.rwth-aachen.de

² Institut für elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft (IAEW), Schinkelstraße 6, 52062 Aachen, s.tepe@iaew.rwth-aachen.de, www.iaew.rwth-aachen.de

³ Institut für elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft (IAEW), Schinkelstraße 6, 52062 Aachen, julia.russek@westnetz.de, www.iaew.rwth-aachen.de

⁴ Institut für elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft (IAEW), Schinkelstraße 6, 52062 Aachen, a.moser@iaew.rwth-aachen.de, www.iaew.rwth-aachen.de

Dabei werden Modelle von NS-Netzen für Spannungsstabilitätsuntersuchungen im Zeitrahmen von Sekunden bis Minuten erstellt, die sowohl die NS-Q(U)-Regelung als auch andere spannungsregelnde Anlagen berücksichtigen.

Das vorliegende Paper präsentiert eine Analyse verschiedener Faktoren in NS-Netzen, die das aggregierte dynamische Blindleistungsverhalten am NS-MS-Verbindungsknoten beeinflussen. Auf Grundlage dieser Analyse wird ein generisches Grey-Box-Modell von NS-Netzen mit hoher Durchdringung von DEA mit Q(U)-Regelung abgeleitet. Das entwickelte Modell wird mittels Zeitbereichssimulationen für verschiedene NS-Netze mit unterschiedlichen Erzeugungs- und Lastsituationen sowie für verschiedene Störungssituationen validiert, sodass es auch bei stark und schnell veränderlichen Netzsituationen gültig ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass das individuelle Verhalten der angeschlossenen DEA und Lasten einen großen Einfluss auf das aggregierte Verhalten der NS-Netze hat. Dennoch sind auch Netztopologie und -komponenten in NS-Netzen nicht völlig zu vernachlässigen, da Verluste und der Spannungsfall zwischen dem NS-MS-Verbindungsknoten und den DEA die Q(U)-Regelung in NS-Netzen beeinflussen.

In dem abschließenden Modell werden alle DEA und Lasten daher an einem äquivalenten Knoten aggregiert, der über ein vereinfachtes NS-Netz mit dem NS-MS-Verbindungsknoten verbunden ist. Die Parameter dieses Netzes werden unter Verwendung eines gewichteten Durchschnitts der Parameter der originalen Netzkomponenten berechnet. Verschiedene Erzeugungs- und Lastsituationen werden simuliert, um die Robustheit des abgeleiteten Modells gegenüber Änderungen in der Netzsituation zu prüfen. Im Vergleich zum Blindleistungsfluss am NS-MS-Verbindungsknoten des originalen Netzwerkes kann ein maximaler relativer Fehler von 4,8 % über verschiedene Erzeugungs- und Lastsituationen festgestellt werden. Folglich ist der hier abgeleitete Modellierungsansatz grundsätzlich für die Abbildung des dynamischen, spannungsabhängigen Verhaltens von NS-Netzen geeignet.

Literatur

- [1] Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Niederspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Niederspannung), VDE-AR-N 4100, VDE, Apr. 2019.
- [2] Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz: Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz, VDE-AR-N 4105, VDE, Nov. 2018.
- [3] VDE, FNN Studie Statische Spannungshaltung. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vde.com/de/fnn/arbeitsgebiete/sicherer-betrieb-dez/studien/studie-statische-spannungshaltung> (Zugriff am: 1. Dezember 2023).
- [4] R. Witzmann und P. Esslinger, "Experimental study on voltage dependent reactive power control Q(V) by solar inverters in low-voltage networks" in 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), Stockholm, Sweden, 2013, S. 644, doi: 10.1049/cp.2013.0852.
- [5] N. Hemdan, D. Unger und M. Kurrat, "Reactive power concepts in the future distribution networks" in 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), Stockholm, Sweden, 2013, S. 1293, doi: 10.1049/cp.2013.1165.