

Effizienter Einsatz von verteilten Flexibilitätsoptionen unter Verwendung eines stückweise linear approximierten Verteilnetzmodells

Themenbereich 3 – Sektorkopplung und Flexibilität
Daniel MÜLLER⁽¹⁾, Manuela MCCULLOCH⁽¹⁾, Dietmar GRAEBER⁽¹⁾
⁽¹⁾Technische Hochschule Ulm

Motivation und zentrale Fragestellung

Die zunehmende Integration dezentraler Energiequellen wie Photovoltaikanlagen, Batteriespeicher und elektrischer Wärmeerzeuger sowie die Elektrifizierung des Individualverkehrs führen zu signifikanten Herausforderungen für elektrische Verteilnetze. Variable Lastprofile und das steigende Risiko von Netzengpässen machen präzise und zugleich effiziente Netzmodelle unverzichtbar, auch um die vorhandene Infrastruktur optimal zu nutzen. Detaillierte Wechselstrom(AC)-Lastflussmodelle sind zwar akkurat, deren Lösung ist jedoch rechenintensiv und daher nur eingeschränkt für zeitkritische Anwendungen wie dem Congestion-Management oder Markt-Clearing geeignet. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines stückweise linearisierten Modells des AC-Lastflusses, das gegenüber einer einfachen Linearisierung genauere Ergebnisse liefert und die Integration in ein Optimierungsmodell zur Bestimmung einer kostenoptimalen Aktivierung von Flexibilitätsoptionen unter Berücksichtigung der Netzrestriktionen erlaubt.

Methodische Vorgangsweise

Basis bildet der Power Transfer Distribution Factor in Matrixform (PTDF-Matrix), dessen Berechnung sich aus den Gleichstrom(DC)-Lastflussgleichungen ableiten lässt. Während diese Methodik im Bereich der Übertragungsnetze seit langem etabliert ist, gewinnt sie zunehmend für Verteilnetze an Bedeutung [1]. Die zugrunde liegenden Annahmen (Konstante Knotenspannungen, Vernachlässigung von Blindleistung und Verlusten, kleine Winkelunterschiede) der Linearisierung von AC- zu DC-Lastflussgleichungen sind in Verteilnetzen häufig nicht erfüllt, was die Genauigkeit der DC-PTDF-Matrix erheblich einschränkt [2].

Um dies zu verbessern, wird eine AC-PTDF-Matrix auf Basis einer Taylor Expansion erster Ordnung um einen (Referenz-)Betriebspunkt bestimmt. Die Genauigkeit dieser Approximation nimmt mit zunehmender Entfernung zum Referenzbetriebspunkt ab. Daher wurde eine stückweise lineare Approximation eingeführt, die mehrere Referenzpunkte verwendet, um das Netzverhalten präziser abzubilden. Die Auswahl geeigneter Referenzbetriebspunkte stellt dabei eine zentrale Herausforderung dar, da sowohl die Anzahl als auch der Netzzustand des Betriebspunktes maßgeblich die Balance zwischen Approximationsgenauigkeit und Rechenaufwand bestimmen. Zur Identifikation charakteristischer Betriebssituationen werden historische Daten analysiert und mit Cluster-Methoden gruppiert. Dies ermöglicht eine systematische Reduktion des Approximationsfehlers bei gleichzeitig kontrolliertem Berechnungsaufwand.

In dieser Arbeit wird das stückweise linearisierte Modell für eine techno-ökonomische Optimierung genutzt, andere Anwendungen sind aber denkbar. Konkret wird die soziale Wohlfahrt maximiert, in dem die Kosten durch (Teil-)Aktivierung von Flexibilitätsoptionen in einem Verteilnetz unter Berücksichtigung der Netzrestriktionen minimiert werden. Dazu wird ein auf den stückweisen Linearisierungen basierendes gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem formuliert.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die entwickelte stückweise lineare Approximation auf Basis der AC-PTDF-Matrix zeigt gegenüber der klassischen DC-PTDF-Matrix einen geringeren Approximationsfehler und bestätigt damit die Eignung des Ansatzes für präzisere Netzmodellierungen in Verteilnetzen. Für die Abbildung dynamischer Netzsituationen bietet diese Methode ein hohes Potenzial, da sie eine flexiblere und realitätsnähere Modellierung der Netzcharakteristika gegenüber einfachen Linearisierungen erlaubt. Eine zentrale Erkenntnis ist, dass kritische Betriebspunkte nahe physikalischer Netzgrenzen, die potenziell zu Überlastungen führen können, besonders präzise abgedeckt werden müssen. Dieser Aspekt steht im Kontrast zu dem genutzten Clustering-Ansatz, da die ermittelten Referenzbetriebspunkte meist Betriebspunkte mit geringerer Netzbelastung oder weniger kritischen Betriebszuständen beschreiben. Eine Methodik zur Identifizierung von Referenzbetriebspunkten, die sowohl auf Basis von

Clusterzentren als auch Extrema nahe physikalischer Netzgrenzen basiert, könnte zukünftig die Genauigkeit und Effizienz der Modellierung weiter verbessern. Das entwickelte Modell bietet eine praktikable Lösung für präzisere Netzmodellierung in Verteilnetzen, insbesondere bei dynamischen Szenarien.

Literatur

- [1] P. Wiest, *Probabilistische Verteilnetzplanung zur optimierten Integration flexibler dezentraler Erzeuger und Verbraucher*, 1. Auflage. in Schriftenreihe des Instituts für Energieübertragung und Hochspannungstechnik, IEH, no. Band 24. Göttingen: Sierke Verlag, 2018.
- [2] K. Dvijotham and D. K. Molzahn, "Error Bounds on the DC Power Flow Approximation: A Convex Relaxation Approach," in 2016 IEEE 55th Conference on Decision and Control (CDC), Las Vegas, NV, USA: IEEE, Dec. 2016, pp. 2411–2418. doi: 10.1109/CDC.2016.7798623.