

Aktualisierungen und Neuerungen des Netzmodells für einen Netzbetriebsführungsorientierten Simulator mittels Open-Data

Alexander von Auw ^{*1}, Dirk Lehmann¹, Prof. Mario Schenk¹

Hintergrund und Einordnung in die Forschung

Das Fachgebiet Hochspannungstechnik und elektrische Anlagen betreibt seit 2016 einen Netzsimulator 2-ter Generation mit dem Fokus auf die Netzbetriebsführung in Höchstspannungsnetzen. Nachgebildet wird dabei die Regelzone der 50 Hertz Transmission GmbH und die unterlagerte Verteilnetzbereiche. Für die Visualisierung und Bedienung wird die Netzeleittechnik PSI PRINS 7.13 verwendet. Die Netzberechnung erfolgt mittels RealTime PowerFactory von DIgSILENT. Dies hat den Vorteil, dass Erzeugungseinheiten als reglungstechnische, massebezogene Momentenmodelle nachgebildet werden können. Eine detaillierte Beschreibung ist in [1] und [2] nachzulesen.

Innerhalb des Energieinnovationszentrum-Projekts zur Strukturförderung der Lausitz wurden für eine Retrofitmaßnahme Fördermittel zur Verfügung gestellt. Damit erfolgen umfassende Modellanpassungen und Neumodellierung um die zukünftigen Anforderungen in der Netzbetriebsführung mit der Durchdringung leistungselektronischer Erzeuger gerecht zu werden.

Ein Netzsimulator lebt von den verwendeten Modellen und den zur Verfügung stehenden Anlagen- und Netzparametern. Um die Forschungsergebnisse der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, werden die jeweiligen Spezifikationen aus Open-Data-Quellen entnommen. Die aktuellen Ergebnisse und Arbeitsstände werden weiterführend kurz vorgestellt.

Update der Netzstruktur und Netzdaten

Veröffentlichungen zur Netztransparenz aus dem statischen Netzmodell [3], aus der Online-Stromnetzkarte [4] oder Standardwerten aus der Norm [5] sind die Hauptquellen, für die im Simulator hinterlegen Anlagen- und Netzinfrastrukturen.

Leitungen, Transformatoren und Kompensationsanlagen

Leitungen und Transformatoren werden symmetrisch im Mitsystem als π - und T-Ersatzschaltung für die Leistungsflussrechnung abgebildet und mit authentischen Namenskonventionen für die Umspannwerksnamen, die Transformator- und Leitungsnummer nach [3] für das Übertragungsnetz versehen. Für das unterlagerte Verteilnetz sind Parameter für die Leitungen und Transformatoren öffentlich nicht zugänglich und entstammen der Norm [5] und den Ausführungen von Oswald in [8] und [9]. Kompensationsanlagen sind identifizierbar, aber deren Bemessungsgrößen bleiben unveröffentlicht und müssen bei den Netzbetreibern konkret abgefragt werden.

Umspannwerke

Die exakte Nachbildung der Umspannwerke im Übertragungsnetz entstammt der Stromnetzkarte [4] und wird feinabgestimmt durch die Auswertung öffentlich zugänglicher Luftbilder. Sammelschienenanordnungen, Kupplungen, Leitungs- und Transformatorabgänge sind unverfälscht, aber die exakte Namenskonventionen sind in der Stromnetzkarte nicht hinterlegt und können abweichend sein.

Lasten

Lasten und Einspeisungen der 110 kV-Verteilnetzebene setzen sich aus einem Mix von Abnehmerlasten und EE-Einspeisungen zusammen. Die Last- und Einspeisezeitreihen der unterlagerten Regionalnetzbetreiber sind aus den Veröffentlichungen nach EnWG² § 23c anteilig

¹ BTU Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Hochspannungstechnik und elektrische Anlagen, Siemens-Halske-Ring 13 DE-03046 Cottbus, <https://www.b-tu.de/fg-hochspannungstechnik-und-elektrische-anlagen>

+49 355 694884, alexander.vonauw@b-tu.de; +49 355 694032, dirk.lehmann@b-tu.de;
+49 355 694503, mario.schenk@b-tu.de

² Energiewirtschaftsgesetz – Stand 01.01.2025

rückführbar. Die Einspeisungsgänge der Erneuerbaren Energien wie Wind, Solar, und Biomasse können mittels Skalierungsfaktoren während der Simulation angepasst werden.

Leistungselektronische Modelle

Im Übertragungsnetz steigt der Anteil leistungselektronischer Anlagen wie HGÜ-, Batterie-Umrichter sowie STATCOM zum Blindleistungsausgleich. Die schnellen Ausregelzeiten der Umrichter wie z.B. STATCOM-Anlagen mit Bereitstellungsduern von 2,5 s oder Blindleistungsgradienten $\frac{\Delta Q \text{ p.u.}}{\Delta t} = 5 \frac{1}{s}$ sind Systemreaktionen in der Netzelektrotechnik mit einer Aktualisierungszeit von 2 .. 5 s kaum zu erkennen.

Für Simulationen zur Netzbetriebsführung mit realitätsnahen Systemreaktionen ist ein zeitliches Abbild von Schaltvorgängen der Umrichterhalbleiter im μs -Sekunden-Bereich bei den langen Aktualisierungszeiten nicht erforderlich. Systemstabile Rechnungsläufe für die Netzbetriebsführung liegen etwa bei 100 ms und bilden das außenliegende Regelverhalten in ihrer Dynamik ausreichend ab und zeigen auch gut aufgelöst die heutigen niederfrequenten Netzpendelungen von Spannung und Netzfrequenz.

Beispiel E-STATCOM

Die 4 deutschen Übertragungsnetzbetreiber haben sich im Positionspapier von 2020 [6] über eine einheitliche Auslegung von E-STATCOM für die Blindleistungskompensation und Wirkleistungsstabilisierung verständigt [7]. Ausgehend von den Rahmenbedingungen für die Auslegung lassen sich die Arbeitsbereiche und Anlagendimensionen für STATCOM mit $\pm 300 \text{ Mvar}$ für die Blindleistungskompensation ableiten und durch die Grundschaltelelemente vereinfacht nachbilden. Für die Momentanreserve ist ein Speichervolumen von 375 MWs vorgesehen und deren Aktivierung eine maximale Wirkleistungsstatik von 150 MW bei 2 Hz/s angedacht. Regelalgorithmen für die virtuelle Synchronmaschine E-STATCOM sind in [10] vorgestellt und entnommen.

Ausgehend von diesen Rahmenbedingungen entstammt ein vereinfachter Ansatz für die vereinfachte Modellierung von (E)-STATCOM-Anlagen nach **Error! Reference source not found.** als Kombination von Grundschaltelelementen und idealen Einspeisern für Simulationen zur Netzbetriebsführung. Mit der Fokussierung auf systemstabile Berechnungszyklen im Bereich von 100 ms entfallen die rechenintensiven Umrichternachbildungen und verschieben den Blickwinkel auf das netzdienliche Regelverhalten aus [10] im Systemverbund aller Einspeiser und Kompensationsanlagen.

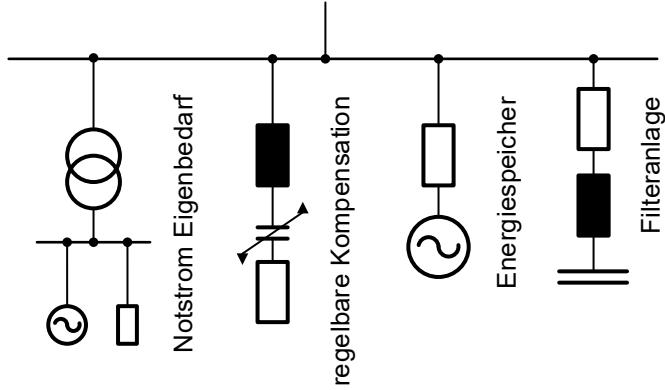


Abbildung 1: Schema des allgemeinen Modells einer (E)-STATCOM-Anlage für den Netzsimulator

Ziele der Modellerweiterungen

Ein Schwerpunkt im Retrofit des Netztrainingssystem liegt in der vereinfachten Modellbildung für die Netzbetriebsführung aus der Perspektive einer offenen Grey-Box-Modellierung mit den normativen oder zukünftigen Regelverhalten.

Im aktuellen Umfeld für die Systemstabilität bei Schwachlast bei hohem Anteil von Erzeugern und Kompensationen auf Umrichterbasis im Verbund mit untererregten Turbosätzen mit Synchrongeneratoren sind niederfrequente Netzpendelungen schon beim aktuellen System sichtbar. Bei den derzeitigen konventionellen Umrichtererzeugern mit bleibender Regelabweichung in Spannungen und Frequenz zur Inselnetzerkennung entstehen frequenzstabile Spannungsanhebungen.

Niederfrequenten Netzpendelungen sind zu untersuchen und die Betriebsführer für die Vermeidung zu sensibilisieren.

Referenzen

- [1] N. Brose, "Ein Beitrag zur betriebsrealistischen Simulation des Netzbetriebes", Cottbus, pp.60-127, Januar 2020
- [2] N. Brose, "Real-Time Dispatcher Training Simulation System for Future Requirements of Grid Operation", 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2020, pp. 1-6, doi10.1109/REEPE49198.2020.9059100123
- [3] 50Hertz, "Statisches Netzmodell ODG - Datentabelle 2024", <https://www.50hertz.com/de/Transparenz/Kennzahlen/Netzdaten/StatischesNetzmodell>, 29.09.2025
- [4] map GmbH & CO.KG, "Stromnetz mit Umspannwerken und detaillierte Infrastruktur", <https://www.flosm.org/de/Stromnetz.htm> (Aufgerufen zuletzt 20.Okttober.2025)
- [5] DIN EN 60909-4, "Kurzschlussströme in Drehstromnetzen - Teil 4: Beispiele für die Berechnung von Kurzschlussströmen", VDE Verlag GmbH, 2021
- [6] 50Hertz, Amprion, TenneT, TransnetBW, Notwendigkeit der Entwicklung Netzbildender STATCOM-Anlagen, 2020
- [7] netztransparenz.de, „Einheitliche Auslegung von E-STATCOM“, <https://www.netztransparenz.de/de-Systemdienstleistungen/Spannungshaltung/Einheitliche-Auslegung-von-E-STATCOM> (Aufgerufen zuletzt am 27.102025)
- [8] D. Oeding, B. R. Oswald – Elektrische Kraftwerke und Netze – 7. Auflage – Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1978, 2004, 2011
- [9] B. R. Oswald – Vorlesungsskript „Elektrische Energieversorgung“ – DOI: <https://doi.org/10.15488/9913> (12.11.2020) – Leibniz Universität Hannover, Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik, 2005
- [10] P. Unruh, „Netzreglung 2.0 – Regelung und Stabilität im Stromrichter-dominierten Verbundnetz“, Kassel pp 34-38, August 2022