

Planung und Umsetzung einer flexiblen Netztopologie für elektrische Energiesysteme

Simulation und Realisierung einer Netztopologie zur experimentellen Analyse zentraler Netzphänomene

Diplomanden



Luca Loop



Luca Schäfer

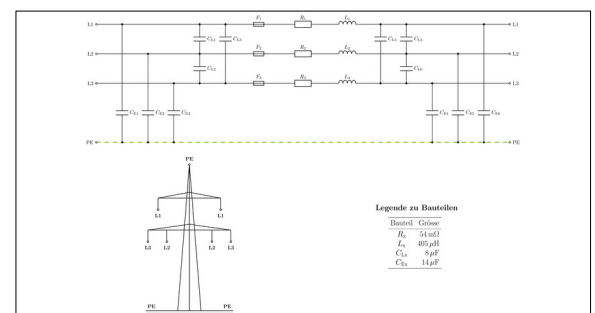
Ausgangslage: Im Zusammenhang mit der Energiewende stehen elektrische Energiesysteme vor tiefgreifenden strukturellen Veränderungen. Der zunehmende Anteil fluktuierender erneuerbarer Energiequellen, der Rückgang konventioneller Kraftwerke sowie eine sinkende Netzträgheit stellen neue Anforderungen an die Stabilität und das Betriebsverhalten zukünftiger Stromnetze. Viele dieser Effekte, wie dynamische Laständerungen, Lastsprünge, extreme Frequenzgradienten oder der Ferranti-Effekt, Spannungsabfälle, Reflexionen ect. lassen sich im realen Übertragungsnetz nur eingeschränkt oder mit hohem Risiko untersuchen. Das Netzlabor der Ostschweizer Fachhochschule bietet mit einem physikalisch nachgebildeten Netz im Massstab 1:1000 eine geeignete Plattform, um solche Fragestellungen experimentell zu analysieren. Voraussetzung dafür ist eine flexible, realitätsnahe und modular aufgebaute Netztopologie, welche unterschiedliche Netzstrukturen und Betriebsszenarien zuverlässig abbildet. Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, eine solche Hochspannungs-Netztopologie zu entwerfen, zu simulieren und physisch umzusetzen, um eine fundierte Grundlage für zukünftige experimentelle Untersuchungen im Netzlabor zu schaffen.

Vorgehen / Technologien: Zu Beginn der Arbeit werden die relevanten theoretischen Grundlagen elektrischer Energiesysteme erarbeitet. Darauf aufbauend erfolgt der virtuelle Entwurf verschiedener Netztopologien mit der Netzberechnungssoftware DigSILENT PowerFactory. Die unterschiedlichen Varianten werden hinsichtlich Stabilität und Flexibilität untersucht, bevor eine geeignete Struktur ausgewählt wird. Anschliessend werden die spezifischen Leitungsparameter Widerstand, Induktivität und Kapazität bestimmt und auf den Labormassstab 1:1000 skaliert. Die physische Umsetzung erfolgt durch den modularen Aufbau eines Leitungselements aus diskreten RLC-Komponenten, bestehend aus selbst gewickelten Zylinderluftspulen sowie Kondensatoren zur Abbildung von Freileitungs- und Erdkabelabschnitten. Nach der Inbetriebnahme des Aufbaus werden umfangreiche Messungen durchgeführt, darunter Leerlauf- und Kurzschlussversuche, dynamische Lasttests sowie statische Temperaturmessungen. Die experimentellen Ergebnisse werden systematisch mit den Simulationen verglichen und dokumentiert.

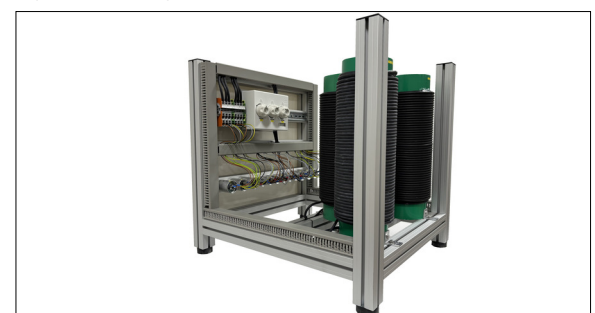
Ergebnis: Das entwickelte Leitungsmodell wird erfolgreich im Labor umgesetzt und in Betrieb genommen. Die durchgeführten Messungen bestätigen eine hohe Übereinstimmung zwischen simuliertem und realem Verhalten der Leitungselemente. Zentrale Netzphänomene wie der Ferranti-Effekt und Spannungsabfälle von Freileitungsabschnitten lassen sich sowohl im Simulationsmodell als auch experimentell

nachweisen. Die Abweichungen der gemessenen RLC-Parameter von den Sollwerten liegen innerhalb der zulässigen Toleranzen und sind physikalisch plausibel erklärbar. Dynamische Versuche wie Lastsprünge und Lastrampen zeigen ein stabiles und konsistentes Systemverhalten. Insgesamt stellt der entwickelte Laboraufbau eine robuste, modulare und skalierbare Grundlage für weiterführende Forschungs- und Ausbildungsaktivitäten im Bereich elektrischer Energiesysteme dar und ermöglicht eine realitätsnahe Untersuchung zukünftiger Netzszenarien unter kontrollierten Bedingungen.

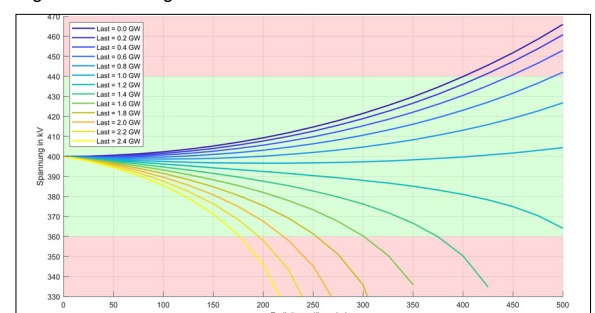
Elektrisches Ersatzschaltbild Freileitung 50km
Eigene Darstellung



Hardwareaufbau des Leitungselements
Eigene Darstellung



Spannung am Ende der Freileitung abhängig von Distanz & Last
Eigene Darstellung



Referent
Prof. Dr. Michael Schueller

Korreferent
Prof. Dr. Petr Korba,
ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Themengebiet
Energiesysteme

Projektpartner
IET Institut für Energietechnik, OST - Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil, SG