

BEDEUTUNG VON PHIL-TESTS ALS SIMULATIONS-COCKPIT

Carina LEHMAL^{1*}, Ziqian ZHANG², Philipp HACKL², Robert SCHÜRHubER²

Hintergrund

Mit der verstärkten Integration erneuerbarer Energien, wie Solarenergie und Windkraft, gewinnt die Rolle von Wechselrichtern im Stromnetz zunehmend an Bedeutung. Wechselrichter sind nicht nur für die Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom verantwortlich, sondern spielen auch eine Schlüsselrolle in der Sicherstellung der Spannungsqualität und der Aufrechterhaltung der Netzstabilität. Ihre Verbreitung kennzeichnet nicht nur die Modernisierung der Stromnetze, sondern spiegelt auch den Trend zu einer saubereren und nachhaltigeren Energieinfrastruktur wieder.

Die Regelungsalgorithmen in Wechselrichtern haben jedoch Auswirkungen auf die Netzstabilität. Dies führte bereits zu Stromausfällen in Australien 2016 [1], im Vereinigten Königreich 2019 [2] und in China 2015. Selbst gewerbliche Stromnetze von Unternehmen sind von Spannungsqualitätsproblemen betroffen, was zu Produktionsausfällen durch Wechselrichter führt.

Angesichts dessen sind eine sorgfältige Bewertung und umfassende Prüfung unerlässlich. Die OVE R25 beschreibt die üblichen Prüfanforderungen an Erzeugungseinheiten, wobei alle in Österreich zugelassenen Wechselrichter dieser Prüfung unterzogen werden. Mittels idealer Spannungsquelle werden die Fähigkeiten des Wechselrichters gemäß Netzstandards in verschiedenen Szenarien überprüft. Allerdings vernachlässigt diese Methode die Wechselwirkung zwischen Wechselrichter und Stromnetz durch die fehlende Auswirkung der Veränderung der Netzanschlussspannung durch den eingespeisten Strom des Wechselrichters. Dadurch verringert sich das Anforderungsniveau für die Testkriterien der Wechselrichter. Positive Ergebnisse einer Prüfung mit idealer Spannungsquelle könnten nicht das Verhalten in einer realen Umgebung mit tatsächlicher Netzimpedanz widerspiegeln.

Methodik

Mittels Power-Hardware-in-the-Loop (PHIL) Prüfmethode und Einsatz von Echtzeitsimulatoren in Kombination mit Leistungsverstärkern kann eine Testumgebung erzeugt werden, die reale Netzbedingungen einschließlich Nachbildung verschiedener Fehlerszenarien ermöglicht. Es wird die Interaktion des Netzes nachgestellt, wodurch Wechselrichter unter realen Netzbedingungen präziser bewertet werden können [3]. Vergleichbar damit ist ein Simulations-Cockpit, in dem Systeme einer umfassenden Prüfung unterzogen werden, bevor sie in der Realität implementiert werden. Im PHIL-Testsetup bietet sich jedoch die Gelegenheit, die tatsächliche Leistung und das authentische Verhalten des getesteten Geräts, in diesem Kontext der Wechselrichter, zu beobachten.

Als Vergleich der Testmethode mittels idealer Spannungsquelle und PHIL-Testmethode wurde die transiente Stabilität während Fehlerbedingungen untersucht. Dabei wird das Fault-Ride-Through (FRT) Verhalten der Wechselrichter in beiden Testfällen analysiert. Während der Tests mit idealer Spannungsquelle wird wie in den Richtlinien beschrieben keine zusätzliche Netztopologie verwendet, sondern der Wechselrichter nur mit dem Worst-Case eines dreiphasigen Spannungseinbruchs überprüft. In den PHIL-Tests wird das CIGRE Benchmark-Verteilnetzmodell integriert und derselbe Fehlerfall analysiert.

Ergebnisse

Wechselrichter unterschiedlicher Hersteller wurden dem Test mit idealer Spannungsquelle und dem PHIL-Test unterzogen. Dabei wurde festgestellt, dass jeder Wechselrichter ein unterschiedliches Verhalten aufweist. Der Ausgangsstrom des Wechselrichters während und nach eines Fehlerfalles hängt stark von der Regelung des Wechselrichters ab, welche zu starker Beeinflussung der

¹ Carina Lehmal, IEAN-TU Graz, Inffeldgasse 18, 8010 Graz, +436644063588, carina.lehmal@tugraz.at

² IEAN-TU Graz, Inffeldgasse 18, 8010 Graz, +433168737551, office.iean@tugraz.at

Spannungsqualität führt. Ein THD im Bereich von 2,55 % bis zu 12,39 % wurde in den zahlreichen durchgeführten Tests festgestellt.

Als zweiter bedeutender Einflussfaktor ist die Netzimpedanz zu nennen, welche während der Testmethode mit idealer Spannungsquelle außer Acht gelassen wird. Unter schwachen Netzbedingungen mit geringen Kurzschlussverhältnissen schnitten die Wechselrichter signifikant schlechter ab, was bei manchen Typen zu einer schnelleren Instabilität und Abschaltung der Erzeugung führte oder ausgeprägte Harmonische im Strom auslöste.

Abbildung 1 zeigt die dreiphasige Stromkurve eines solchen Tests, wobei auf der linken Seite die ideale Spannungsquelle verwendet wird und auf der rechten Seite der PHIL-Test mit Netzimpedanz. Es ist klar erkennbar, dass es bei den PHIL-Tests durch die Rückkopplung von Spannung und Strom zu höheren Harmonischen kommt. Ebenso zeigt sich, dass die Symmetrie der drei Phasen während und kurz nach der Fehlerklärung nicht vorhanden ist. Zudem ist ersichtlich, dass die beiden getesteten Wechselrichter unterschiedlich auf den Fehler reagieren.

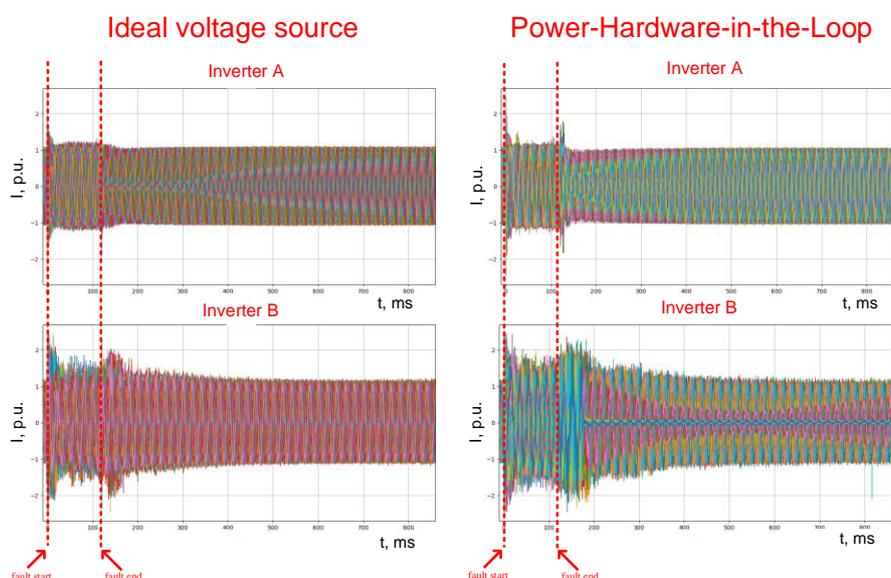


Abbildung 1: Vergleich der Testmethoden. Links: Testmethode Ideale Spannungsquelle, Rechts: Testmethode PHIL-Test.

Fazit:

Im Vergleich zu Tests mit einer idealen Spannungsquelle erweisen sich PHIL-Tests als aussagekräftiger und präziser. Diese Tests ermöglichen eine realistischere Simulation des Verhaltens von Wechselrichtern in komplexen Netzumgebungen und bieten Einsichten in die vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen Erzeugung und Stromnetz. Innerhalb eines PHIL-Testumfelds wurden lediglich 36,7 % der Testfälle erfolgreich absolviert. Diese Ergebnisse veranschaulichen realistisch die Herausforderungen, denen diese Geräte im tatsächlichen Betrieb gegenüberstehen.

Referenzen

- [1] Operator, A. E. M. Integrated Final Report SA Black System 28 September 2016. Australia Energy Market Operator 2017.
- [2] Bialek, Janusz. "What does the GB power outage on 9 August 2019 tell us about the current state of decarbonised power systems?." Energy Policy 146 (2020): 111821.
- [3] Zhang, Z., Schürhuber, R., Fickert, L., Friedl, K., Chen, G., & Zhang, Y. (2021). Systematic Stability Analysis, Evaluation and Testing Process and Platform for Grid-connected Power Electronic Equipment. Elektrotechnik und Informationstechnik, 138(1), 20-30. <https://doi.org/10.1007/s00502-020-00857-y>