

## **Abstract**

Methods to stabilise real-time based power hardware-in-the-Loop (PHIL) simulation systems and a novel multi-rate interfacing topology are developed. The multi-rate partitioning (MRP) interface provides enhanced system stability and simulation accuracy for investigations on electromagnetic power system equipment. A new stabilisation concept for PHIL simulation systems is introduced by the partial shifting impedance (PSI) method. The behaviour of digital real-time systems and analogously employed hardware components is modelled accurately. Continuous time domain analysis is applied to model real-time latencies, system impedances, amplification units, or measurement devices of the simulation setup as well as to elaborate precise statements on system stability and simulation accuracy. Measurements prove that the introduced methods are applied, implemented and tested in low voltage networks which are simulated under strict adherence to real-time system requirements. On the basis of this concept, simulation applications for the purpose of testing electromagnetic power system equipment for alternating current network are realised in a stable and accurate manner.

## **Kurzfassung**

Stabilisierungsmethoden für Power Hardware-in-the-Loop (PHIL) Echtzeitsimulationssysteme und eine neue, multi-rate Interfacetopologie wurden entwickelt. Das multi-rate partitioning (MRP) Interface ermöglicht verbesserte Systemstabilität und Simulationsgenauigkeit für Untersuchungen von elektromagnetischen Netzkomponenten. Ein neues Konzept zur Stabilisierung von PHIL Simulationssystemen wird mit der Partial Shifting Impedance (PSI) Methode vorgestellt. Das Verhalten des digitalen Echtzeitsimulators und der eingebundenen, analogen Hardwarekomponenten ist in präziser Weise modelliert worden. Für die Modellierung von im Simulationsaufbau auftretenden echtzeitbasierten Latenzzeiten, Systemimpedanzen, Leistungsverstärkern oder Signalmessungen ist eine zeitkontinuierliche Analyse im Zeitbereich angewendet worden, mit welcher exakte Aussagen bezüglich Systemstabilität und Simulationsgenauigkeit erarbeitet werden konnten. Die gezeigten Ergebnisse bestätigen, dass die eingeführten Methoden unter Einhaltung aller geltenden Anforderungen an Echtzeitsysteme in Niederspannungsnetzen angewendet, implementiert und getestet wurden. Auf diesem Konzept aufbauend wurden Simulationsanwendungen für Untersuchungen von elektrischen Geräten in Wechselspannungsnetzen in einer stabilen und präzisen Weise realisiert.