

PHIL testet die Integration von Energietechnologien in das Energiesystem unter realen Bedingungen.



Power-Hardware-in-the-Loop-Labor

Verfügbare Testsysteme

- 1 MVA-Egston-Leistungsverstärker
- 3 Linearverstärker bis zu 45 kW Leistung
- 1 DC-Emulator bis zu 250 kW Leistung und bis zu 1 kV Gleichspannung
- Digitale Echtzeitsimulatoren zur Simulation tausender Netzwerkknoten in Echtzeit (Zeitintervall $< 50 \mu\text{s}$)

Verfügbare Energietechnologien

- 120 kW-Hochgeschwindigkeits-Schwungradspeicher
- 500 kW-Superkondensator-Energiespeichersystem
- 3,5 kW-(elektrisch) und 15 kW-(thermisch) Mikrogasturbine
- 50 kW-Wasserstoff-Speicherkraftwerk (Inbetriebnahme 2024)

Das Power-Hardware-in-the-Loop-Labor (PHIL-Labor) ist ein großes Testfeld zur Erforschung von Hochleistungs-Energietechnologien mit höchster Genauigkeit und Flexibilität. Mit einer Höchstleistung von 1 MW bei bis zu 1,5 kV Spannung ermöglicht es die Validierung von Energietechnologien unter realistischen Netzbedingungen. Dazu werden reale Anlagen zum Testen über eine Leistungsschnittstelle mit einem in Echtzeit simulierten Stromnetz verbunden. Das PHIL-Testverfahren bietet die Flexibilität, Umgebungsbedingungen in kürzester Zeit zu ändern, indem die Parameter des simulierten Netzes variiert werden, während die hohe Genauigkeit der Tests durch das Verwenden echter Hardware weiter sichergestellt ist. Dies macht das PHIL-Verfahren interessant für alle Forschenden, Hersteller und Netzbetreiber, die Lösungen für zukünftige Energiesysteme entwickeln, analysieren und testen.

Testbetrieb mit der Mikrogasturbine:
Installation eines Wasser-Durchflusssensors.





Power-Hardware-in-the-Loop-Labor



Hochgeschwindigkeits-Schwungradspeicher von Stornetic: Innenansicht der Anlage mit dem Schwungrad (grün), Stromrichter (links) und Kühlsystem (rechts).

Echtzeitsimulation der Sektorkopplung bei Nutzung einer Mikrogasturbine

In zukünftigen Energiesystemen werden Komponenten, die mehrere Energieträger wie Strom, Wärme und Gas verbinden können, eine elementare Rolle für das Energiemanagement spielen. Im PHIL-Labor wurde eine Mikrogasturbine mit 3,5 kW elektrischer und 15 kW thermischer Leistung entwickelt und mit vielfältiger Sensorik für Strom, Wärme und Gas ausgestattet. Diese Turbine kann die im Gas enthaltene Energie in Strom und Wärme umwandeln, was zu einem Gesamtwirkungsgrad von 90 Prozent führt. Ihr Anwendungsgebiet umfasst das Energiemanagement und die Regelung energieautarker, das heißt nicht mit dem Versorgungsnetz verbundener Stromnetze. Mit dieser Anlage entwickeln die Forschenden datengesteuerte Modelle zur Simulation von Gasturbinen, angefangen bei der Erhebung von Messdaten, und optimieren sie für die höchst genaue Echtzeitsimulation.

Power-Hardware-in-the-Loop-Analyse eines Hochgeschwindigkeits-Schwungradspeichers

Schnelle Frequenzregelung wird essenziell in zukünftigen Energiesystemen mit volatilen regenerativen Energieträgern sein. Schwungradspeichersysteme bieten solche schnellen Frequenzregelungsleistungen. Die Leistungsfähigkeit eines 120 kW-Hochgeschwindigkeits-Schwungradspeichers der Firma Stornetic wurde mit dem PHIL-Testverfahren evaluiert. Dazu wurde ein Standard-Microgrid im digitalen Echtzeitsimulator OPAL-RT implementiert, mit dem das Schwungrad über die 1 MVA-Egston-Leistungsverstärker virtuell verbunden wurde. Die Bereitstellung von Frequenzregelleistung wurde eingehend untersucht, verschiedene Regelstrategien für Microgrids wurden implementiert und getestet. Die Ergebnisse zeigen klare Verbesserungen in der Frequenzhaltung. Sowohl die Frequenzabweichung als auch ihre Steilheit sind im Vergleich zum Netz ohne Schwungradspeicher deutlich geringer.



TT-Prof. Dr.-Ing. Giovanni De Carne
Institut für Technische Physik

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

giovanni.carne@kit.edu



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



HELMHOLTZ
RESEARCH FOR GRAND CHALLENGES



DLR



Stadtwerke
Karlsruhe
Besser versorgt, weiter gedacht.



PTJ
Prozessorientierter
Technologietransfer



SIEMENS



JÜLICH
Forschungszentrum



tennet



ABB