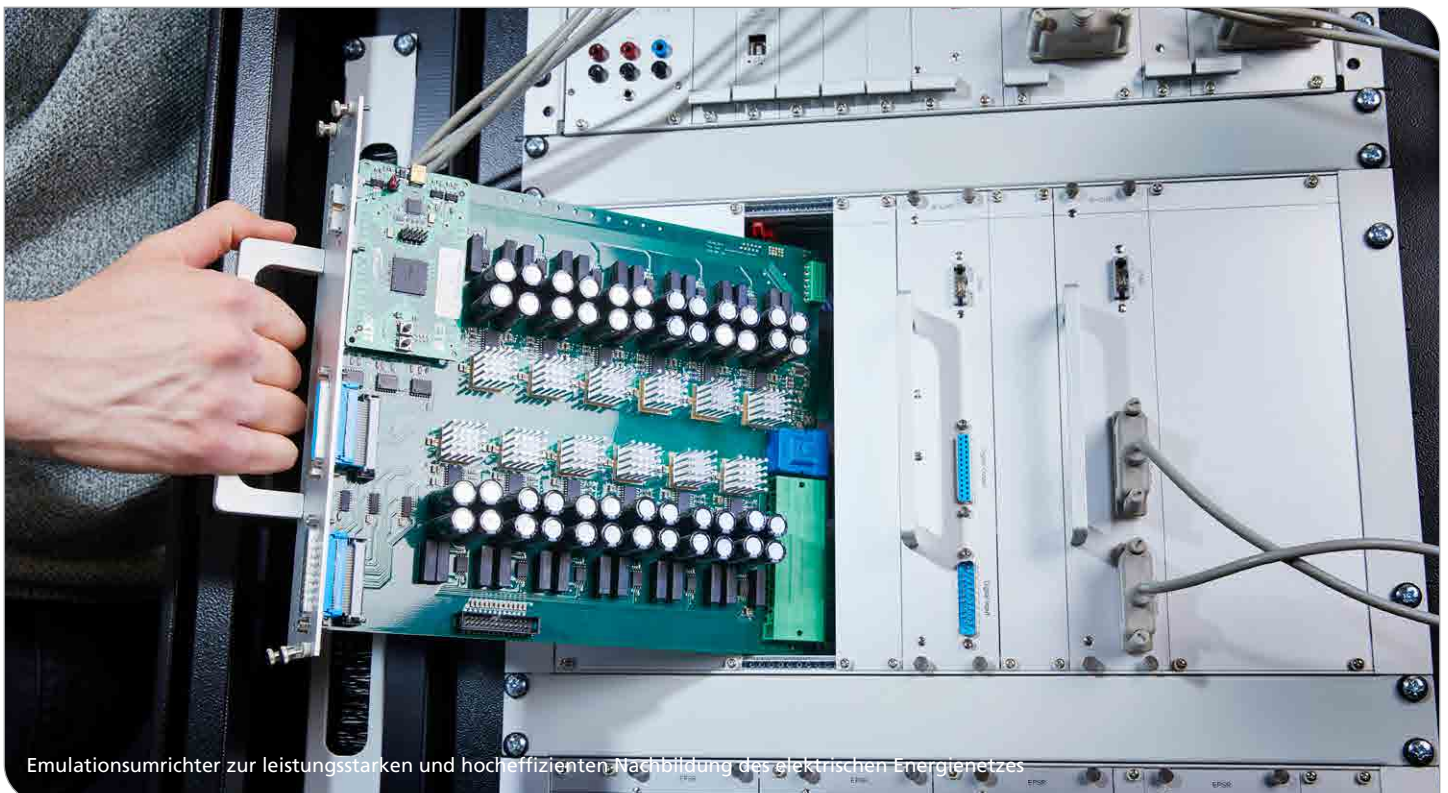


PHiL – Power-Hardware-in-the-Loop Flexibles Testfeld für die zukünftige Leistungselektronik

Die Energiewende erfordert die Entwicklung neuer Energienetzstrukturen, Anpassung der elektrischen Energieversorgung sowie eine stärkere Kopplung verschiedener Energieträger. Es ist zu erwarten, dass durch dieses Vorhaben der Anteil leistungselektronischer Frequenzumrichter infolge der wachsenden regenerativen Energieerzeugung und dem Aufschwung der Elektromobilität deutlich zunehmen wird. Die Frequenzumrichter übernehmen dabei die Umwandlung elektrischer Energie und ermöglichen somit eine sichere sowie hocheffiziente Erzeugung, Verteilung und Nutzung elektrischer Energie. Zur Einhaltung der geforderten Spannungsqualität sowie der Sicherstellung eines stabilen Netzbetriebs sind durch die eingesetzten Frequenzumrichter anspruchsvolle Grenzwerte einzuhalten und Netzdienstleistungen bereitzustellen, die bis heute überwiegend durch konventionelle Kraftwerke übernommen werden.

Netzseitige Frequenzumrichter werden in zahlreichen Anwendungen wie der regenerativen Energieerzeugung, der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ), Batteriespeichern, Ladesäulen für die Elektromobilität uvm. eingesetzt. Die Erfüllung der Anforderun-

gen von Netznormen und netzdienlichen Aufgaben wie z.B. Fault Ride Through (FRT) oder der Spannungs- und Frequenzhaltung erfordert einen geeigneten Entwurf der eingesetzten Frequenzumrichter. Dabei erschweren stark variierende Netzbedingungen an den Netzanschlusspunkten die Auslegung und die Erprobung der entwickelten Frequenzumrichter, sodass der Test über den gesamten Betriebsbereich unter Berücksichtigung aller möglichen Fehlerfälle bisher unmöglich ist. Das Elektrotechnische Institut des Karlsruher Instituts für Technologie entwickelt zur Lösung dieser Problemstellung Power-Hardware-in-the-Loop (PHiL) Systeme, die eine zuverlässige Nachbildung des elektrischen Energienetzes und aller darin auftretenden Fehlerfälle ermöglichen. Dabei wird einem für diese Anwendung optimierten Emulationsfrequenzumrichter per Softwaremodell ein elektrisches Klemmenverhalten vorgegeben, das im Idealfall mit dem des elektrischen Energienetzes übereinstimmt. Für die Modellbildung besteht dabei die Anforderung, das physikalische Systemverhalten des elektrischen Energienetzes am zu untersuchenden Netzanschlusspunkt umfassend und mit hoher Genauigkeit mathematisch zu beschreiben. Die modellbasierte Vorgabe durch einfach austauschbare Software ermöglicht die Nachbildung des



Emulationsumrichter zur leistungsstarken und hocheffizienten Nachbildung des elektrischen Energienetzes

Klemmenverhaltens beliebiger Netzanschlusspunkte und Fehlerfälle durch nur einen Emulationsumrichter, was einen wesentlichen Vorteil von PHiL-Systemen darstellt. Dies ermöglicht kostengünstige und effiziente Tests von netzseitigen Frequenzumrichtern bereits während der Entwicklung, wobei gegenüber bisherigen Erprobungsverfahren auch die Nachbildung von schweren Netzstörungen problemlos möglich ist.

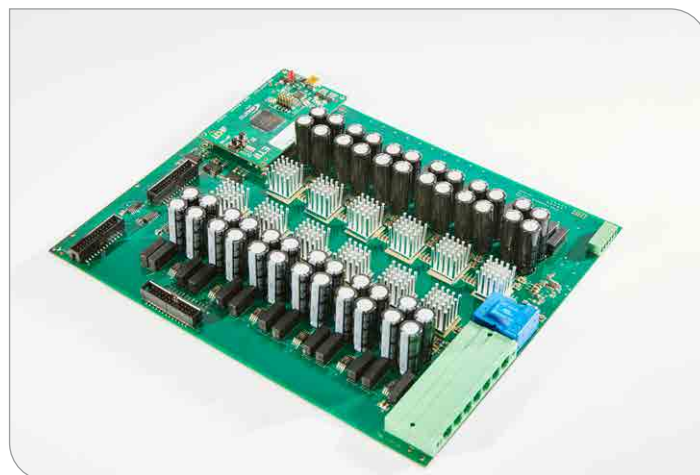
Das durch das softwarebasierte Netzmodell vorgegebene Klemmenverhalten ist durch den eingesetzten Emulationsfrequenzumrichter mit hoher Genauigkeit nachzubilden. Um dies zu erreichen setzt das Elektrotechnische Institut ein neuartiges Schaltungskonzept ein, in dem die leistungsstarken und leistungsschwachen Komponenten des Systems entkoppelt aufgebaut sind. Dabei übernimmt ein leistungsstarker Zweipunkt-Umrichter den Wirkleistungsumsatz, der sich durch geringe Kosten und eine hohe Leistungsdichte auszeichnet. Dieser ist über eine Induktivität an einen hochstufigen

Technische Daten des Emulationsstromrichters

| | |
|---|----------|
| Nennspannung | 400 V |
| Nennleistung Gesamtsystem | 100 kW |
| Ausgangsspannungsstufen | 25 |
| Schaltfrequenz des Multilevelumrichters | 600 kHz |
| Nennleistung des Multilevelumrichters | 10-15 kW |
| Schaltfrequenz des Zweipunkt-Umrichters | 8-20 kHz |



Dreiphasiges Modul eines zweistufigen Frequenzumrichters mit einer Leistung von 25 kW



Einphasiges Modul eines hochstufigen Multilevelumrichters mit 25 Ausgangsspannungsstufen

Multilevelumrichter mit hoher Ausgangsspannungsqualität gekoppelt, der aufgrund seiner direkten Parallelschaltung an den Ausgang das Klemmenverhalten des PHiL-Systems bestimmt. Durch diese Kombination entsteht ein Multilevelumrichter mit bisher unerreichter Leistungsdichte, der einerseits den Test von leistungsstarken Frequenzumrichtern ermöglicht und sich aufgrund der hohen Anzahl an Ausgangsspannungsstufen optimal für die Nachbildung der sinusförmigen Netzspannung eignet. Ferner zeichnet sich das Gesamtsystem durch eine hohe Modularität aus, da alle Komponenten auf identisch aufgebauten Leiterplatten basieren. Die beliebige Variation der Komponentenanzahl führt zu einer einfachen Strom- und Spannungskalierbarkeit und erlaubt somit eine aufwandsarme Anpassung an die Spannungs- und Leistungsklasse des zu prüfenden Frequenzumrichters. Während des Betriebs erfolgt die Berechnung des Klemmenverhaltens entsprechend dem implementierten Netzmodell auf einer echtzeitfähigen Signalverarbeitungsplattform, um beispielsweise auch das transiente Netzverhalten in Fehlerfällen hochdynamisch nachbilden zu können. Durch die inzwischen in dritter Generation entwickelte Signalverarbeitungsplattform können alle Komponenten des Gesamtsystems flexibel angepasst und aufeinander abgestimmt werden. Dadurch bietet der PHiL-Emulationsstromrichter des Elektrotechnischen Instituts die einzigartige Möglichkeit, netzseitige Frequenzumrichter bereits ab der frühen Entwicklungsphase auch bei hohen Ausgangsleistungen unter realistischen Netzbedingungen hinsichtlich Funktionalität, Zuverlässigkeit und Verhalten im Fehlerfall zu untersuchen.

Karlsruher Institut für Technologie
Engelbert-Arnold-Str. 5
76131 Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Marc Hiller
Elektrotechnisches Institut (ETI)
Telefon: +49 721 608-42474
E-Mail: marc.hiller@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) · Präsident Professor Dr.-Ing. Holger Hanselka · Kaiserstraße 12 · 76131 Karlsruhe

Karlsruhe © KIT 2020

ETI
Elektrotechnisches Institut