Braunschweig, 21.06.2025

Autoren: Fabian Benedikt Witt, M.Sc.
Lars Claaßen, M.Sc.
Dirk Fischer, M.Sc.
Frederik Anspach, M.Sc.
Patrick Vieth, M.Sc.
Martin Harm, M.Sc.
Altan Akar, M.Sc.
Frank Gerdinand, Dr.-Ing.
Johann Meisner, Dr.
Tim Christoph Schlüterbusch, M.Eng.

Kurzbericht zum Teilprojekt

'SMART MODULAR SWITCHGEAR II' Modulares Schutzsystem zur selektiven Fehlerabschaltung in Mittelspannungs-Gleichstrom-Netzkonfigurationen

Technische Universität Braunschweig
im Projekt

SMS-II

Förderkennzeichen: 03EK3058A

Projektlaufzeit: 01.01.2019 - 31.12.2024

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Problem- und Aufgabenstellung, Stand der Technik

Im Zuge der Energiewende werden an die Schutzsysteme der Zukunft höhere Anforderungen gestellt. Durch die Integration von erneuerbaren Energien und Energiespeichern sowie durch die stetige Digitalisierung (z. B.: Industrie 4.0) ist eine Weiterentwicklung aktueller Schutzsysteme zwingend erforderlich. Insbesondere bei Netzen, die durch mehrere unterschiedlichen Energiequellen gespeist werden, sind die Schutzfunktionen mit vielen neuen Herausforderungen verbunden. Diese wären z.B. bidirektionale Stromflüsse, steile Fehlerstromanstiege im unteren Millisekunden-Bereich und neuartige Fehlerstrom-Charakteristiken. Deshalb ist speziell in Fehlerfällen die korrekte Auslegung, Konfiguration und Koordination der Schutz- und Schalttechnik relevant, damit nur im Fehlerfall und allein der fehlerhafte Teilbereich durch die Schalthandlungen isoliert wird. Hierdurch wird der Weiterbetrieb des Netzes auch bei Störungen ermöglicht.

Im vorangegangenen Forschungsprojekt „Smart Modular Switchgear I“ wurde ein neuartiges Schutzkonzept für Niederspannungs-Gleichstromnetze erforscht, entwickelt und untersucht. Fehlerdetektion, -charakterisierung, -lokalisierung und selektive Fehlerabschaltung konnten im Laufe der Projektphase vom Schutzkonzept zu eigens entwickelten Schutzalgorithmen für Schutzsysteme umgesetzt werden. Speziell im Bereich der 380 V Spannungsebene konnten so neue Erfahrungen und Knowhow bei allen teilnehmenden Projektpartnern gesammelt werden. Durch die Abschaltmöglichkeit einzelner Teilbereiche konnte eine verbesserte und erweiterte Verfügbarkeit, Effizienz und Sicherheitsfunktion des Netzes nachgewiesen werden.

Das Forschungsprojekt „Smart Modular Switchgear 2“ beschäftigt sich mit der Entwicklung und Integration eines Schalt- und Schutzkonzepts in Mittelspannungs-Gleichstrom-Netzkonfigurationen. Zu diesem Zweck werden Untersuchungen für Systemspannungen bis 12 kV durchgeführt. Es werden neuartige Schutzkonzepte – welche über die Nieder- und Mittelspannungsebene hinweg greifen, oder auch Inselbetrieb ermöglichen – geplant, entwickelt und umgesetzt. Diese Flexibilität und Konfigurationsvielfalt des Schutzsystems werden mithilfe des in SMS-I entwickelten Konzepts der Schaltergruppen bzw. Cluster umgesetzt. Mittels Simulationen und neuartiger Mess- und Prüftechnik werden daraufhin Wechselwirkungen der Betriebsmittel untersucht. Die Untersuchungen werden anhand unterschiedlicher Betriebsszenarien durchgeführt. Diese werden das Verhalten des Schutzkonzepts z.B. bei fehlerfreiem Betrieb (bei Laständerungen und Regelungseingriffen oder im stationären Betrieb) oder im Fehlerfall (Überstrom oder Kurzschluss) betrachten. Speziell in diesen Fällen sind die Auswirkungen der Leistungselektronik (Steller, Umrichter), Filter, Stützkondensatoren, Kabel, etc. in Wechselwirkung zum Schutzsystem entscheidend und bestimmen die Definition der technischen Randbedingungen. Auf Grundlage der technischen Randbedingungen erfolgt dann die Umsetzung eines MVDC-Schutzsystems zur raschen Fehlerdetektion, Fehlercharakterisierung, Fehlerlokalisierung und selektiver Fehlerabschaltung. Das Schutzsystem beinhaltet digitale Schutzeinheiten, Messsysteme für Strom, Spannung und Energie, Bussystem basierte Kommunikation und Schalterdemonstratoren. Die Schutzeinheiten verwenden eine Weiterentwicklung des Schutzkonzepts für Teilnetze im Niederspannungsbereich aus „Smart Modular Switchgear 1“. Um die definierten technischen Randbedingungen zu verifizieren, werden die simulierten Netztopologien mithilfe experimenteller Aufbauten innerhalb von LV- und MVDC-Prüffeldern und anhand eines Schutzsystem-Prüfstands nachgestellt. In

Netznachbildungen wird daraufhin das entwickelte Schutzsystem bezüglich seiner Funktionsfähigkeit geprüft.

Struktur und Ablauf des Vorhabens

Das Verbundprojekt ist in fünf Arbeitspakete aufgegliedert. Die Arbeitspakete 1 (Literatur & Patentrecherche) und Arbeitspaket 2 (SMS in einem Schutzsystem-Prüfstand) erstrecken sich über die gesamte Projektlaufzeit. Die Arbeitspakete 3-5 bauen chronologisch aufeinander auf. Arbeitspaket 3 beinhaltet die Entwicklung eines 1 kV DC-Netzes und Arbeitspaket 4 die Entwicklung eines 3kV Netzes. In Arbeitspaket 5 werden die Ansätze für ein 12 kV DC-Netz, basierend auf Arbeitspaket 3 und 4, entwickelt. Das Vorhaben wurde im Zeitraum vom 01.01.2019 bis zum 31.12.2024 durchgeführt.

Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Das Förderprojekt SMS-II hat zum Ziel das in SMS-I entwickelte Schutzkonzepte auf die Mittelspannungsebene zu überführen, und so ein modulares Schutzkonzept zu entwickeln, dessen Konzept in kleinen bis mittleren DC- und AC- Verteilnetzen Anwendung finden kann. Durch die Fehlerdetektionseinheit werden die mit dem Fehler einhergehenden Veränderungen von Strom und Spannung aufgrund der kontinuierlichen Überwachung messtechnisch erfasst. Liegen die erfassten Werte außerhalb eines zulässig definierten Bereichs, wird dies als Fehler von der Detektionssoftware interpretiert und entsprechende Schutzmaßnahmen eingeleitet. Die Fehlerdetektion erfolgt durch die Kombination von Auslösekriterien wie dem Augenblickswert des Stroms, des Grenzlastintegrals, sowie der Strom- und Spannungsgradienten. Kurzzeitig auftretende, impulsartige Ströme oder schleichend ansteigende Fehlerströme können durch das neuartige Schutzkonzept im Millisekunden Bereich unterschieden werden. Dies gewährleistet eine rasche Bewertung des Ausgleichsvorgangs und kann zu einer schnellen Fehlerdetektion führen. Hierbei sollen Fehler selektiv ausgeschaltet werden. Erreicht wird dies durch eine kontinuierliche Überwachung des Netzes an Verteilstationen mit den Parametern Strom und Spannung.

Jedes der Schaltgeräte bzw. auch Netzknotenpunkte / Sammelschienen sind an einen FPGA-basierten Controller mit Kommunikationsmöglichkeit angebunden. Hierzu wurden die Systeme mit innovativer Mess- und Detektionstechnik ausgestattet. In der aktuell implementierten Lösung können pro FPGA-Controller 5 Sensoren angebunden werden und es können 2 FPGA-Controller über eine einfache Serielle Schnittstelle kommunizieren. Ergebnis des Projektes ist eine funktionierende Demonstratoranlage in den Räumlichkeiten des elenia Instituts an der Technischen Universität Braunschweig und die Integration des FPGA-basierten Schutzsystems in diese Demonstratoranlage.

Die entwickelte Schutzsystemlösung wurde zunächst umfassend auf der 1kV-Ebene erprobt. Anschließend wurde die LV/MV-Demonstratoranlage erfolgreich entwickelt und in Betrieb genommen. Die Funktionalität der FPGA-basierten Schutzsystemlösung konnte abschließend in dieser LV/MV-Laborumgebung demonstriert werden. Auch wurde auf Komponentenebene ein LVDC Hybridschalter getestet und anschließend ein MVDC Hybridschalter entwickelt und erprobt. Ausschalt- und Löschvorgänge wurden charakterisiert und die Funktionalität des Leistungsschalter bewiesen.