

Zur Beherrschung von
Stoßstromereignissen bei Fehlerfällen
in Submodulen von Modularen
Mehrpunktumrichtern

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Junghans

Rostock, 2021

Kurzfassung

Modulare Mehrpunktumrichter (MMC) hoher Leistung nehmen einen wachsenden Anteil bei Netzkupplungsanwendungen im Bereich der Höchstspannung ein. Die fehlerfallbedingte schlagartige Entladung des Energiespeichers eines Submoduls führt zu Stoßströmen, magnetischen Störfeldern und Explosionen von Leistungshalbleitern, welche Folgeschäden an weiteren Anlagenkomponenten hervorrufen können. Für weitere Leistungssteigerungen der Submodule sind weiterentwickelte Schutzmaßnahmen zur Fehlerfallbeherrschung erforderlich.

Zusatzbeschaltungen im Zwischenkreis können die Auswirkungen von Fehlerereignissen signifikant reduzieren ohne die Arbeitsweise des Submoduls merklich zu beeinträchtigen. Art und Auslegung der optimalen Zusatzbeschaltung sind von den elektrischen Kennwerten des Submoduls und der Bauart der verwendeten Leistungshalbleiter abhängig. Die Zusatzbeschaltungen lassen sich auf die beiden Zielstellungen Stoßstromreduktion im Zwischenkreis und Explosionsschutz für Halbleitermodule optimieren. Hochgeschwindigkeitssicherungen können beide Ziele erfüllen, besitzen jedoch technische und wirtschaftliche Einschränkungen.

Der neu eingeführte RL-Transformator erweist sich als optimale passive Zusatzbeschaltung zur Stoßstromreduktion für Leistungshalbleiter im Scheibenzellengehäuse, wenn keine einschränkenden Randbedingungen vorliegen.

Aktive Zusatzbeschaltungen sind das Mittel der Wahl für den Explosionsschutz von Leistungshalbleitern im Modulgehäuse. Das Auslösen der aktiven Zusatzbeschaltung lässt sich mit wenigen Bauteilen und ohne Stromversorgung erreichen. Das beobachtete parasitäre Verhalten des Nebenschlussthyristors stellt für die aktive Zusatzbeschaltung keinen Nachteil dar. Die quantitative Beurteilung von Zusatzbeschaltungen für den Explosionsschutz von Halbleitermodulen wird durch das neu eingeführte Explosionsintegral XI verbessert. Die Verbindung aus RL-Transformator und Nebenschlussthyristor gewährleistet den höchsten Explosionsschutz für Halbleitermodule samt Reduktion des Stoßstroms.

Die Auswirkungen von Zusatzbeschaltungen auf die Stromschienen des Submodulzwischenkreises und benachbarte Komponenten lassen sich mit transienten FEM-Simulationen abbilden. Die Nutzung der FEM-Analyse erleichtert die Gestaltung der Zusatzbeschaltungen und reduziert den experimentellen Untersuchungsaufwand.

Abstract

High power Modular Multilevel Converters (MMC) present an increasing share in high voltage grid interconnection applications. The fault related sudden discharge of the submodule's energy storage leads to surge currents, magnetic interference fields and explosions of power semiconductors, which may cause subsequent damage to further components of the facility. Onward performance enhancement of the submodule requires advanced protective measures for fault containment.

Additional protective circuits in the intermediate circuit are capable of significantly reducing the impacts of faults without distinctly impairing the operation of the submodule. Type and dimensioning of optimum protective circuits depend on electrical parameters of the submodule and design of the power semiconductors. The additional protective circuits may be optimized for the both purposes of surge current reduction in the intermediate circuit and explosion protection of power semiconductors modules. High speed fuses comply with both purposes but have technical and economical restrictions.

The newly introduced RL-Transformer proves to be the optimum passive additional protective circuit in reducing surge currents for power semiconductors in disc housings, if no limiting boundary conditions are on hand.

Active protective circuits are the first choice for explosion protection of power semiconductors in module housings. The triggering of the active protective circuit may be achieved with few components and without a power supply. The observed parasitic behaviour of the shunt thyristor represents no disadvantage to the active protective circuit. The newly introduced explosion integral XI improves the quantitative evaluation of additional circuits for semiconductor module explosion protection. The conjunction of RL-Transformer and shunt thyristor provides the highest grade of explosion protection for semiconductor modules along with surge current reduction.

Transient FEM simulations can reproduce the effects of additional protective circuits on bus bars of the submodule's intermediate circuit and adjacent components. The utilisation of FEM analysis facilitates designing of additional protective circuits and diminishes the effort of experimental research.