

10 kV-IGCT-Leistungshalbleiter

10kV-Integrated Gate Commutated Thyristor (IGCT)–Technologieentwicklung als neuer Meilenstein im Bereich der Hochleistungshalbleiter

Ladenburg, 17. November 2009 – Heutzutage ist die Leistungselektronik ein zentraler Bestandteil in der Energieübertragung, -verteilung und auch bei der Nutzung von Energie. Von leistungselektronischen Großsystemen zur Stabilisierung des Energieflusses in unserem Hochspannungsnetz bis zu Frequenzumrichtern, die beispielsweise den produzierten Gleichstrom eines Photovoltaik-Moduls als Wechselstrom in unser Verteilstromnetz einspeisen, moderne Leistungselektronik liefert dafür die technische Lösung. Die Wissenschaftler am ABB Forschungszentrum im schweizerischen Baden haben nun in Zusammenarbeit mit Kollegen aus einer Geschäftseinheit die kommende Generation sogenannter IGCT's entwickelt: Die maximale Blockierspannung des Halbleiters wurde von 6.500 V auf beeindruckende 10.000 V gesteigert.

In einer großen Anzahl von Anwendungen, zum Beispiel bei der Regelung von Motoren die Pumpen antreiben, erlauben drehzahlgeregelte leistungselektronische Antriebe eine genaue Kontrolle der Pumpleistung und helfen, im Vergleich zu direkt netzgekoppelten Motoren, kostbare Energie einzusparen. Bei der Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) hilft die Leistungselektronik große Mengen an elektrischer Energie mit minimalen Verlusten über lange Distanzen zu transportieren. Welche dieser Lösungen man sich auch anschaut, zentrale Elemente sind Halbleiterbauteile, die die gesamte Energie bei der Frequenzumrichtung sicher handhaben müssen.

Seit der Entdeckung des pn-Übergangs, der Grundlage der Halbleitertechnologie, im Jahr 1940, hat im Bereich der Silizium Leistungshalbleiter eine nachhaltige und tiefgreifende Entwicklung stattgefunden: die ersten Leistungs-Thyristoren wurden 1960 vorgestellt, das erste Leistungs-MOSFET-Bauteil im Jahr 1975 (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor), der erste IGBT (insulated-gate bipolar transistor) im Jahr 1985 und das erste „Hyperjunktions-Bauteil“ mit horizontalen Kompensationsstrukturen zur weiteren Minimierung des Durchlasswiderstandes im Jahr 1997. Signifikanter Forschungsaufwand wurde in dieser Zeit unternommen, um die Stromtragfähigkeit, die Sperrspannungsfestigkeit und das Schaltverhalten in immer höhere Leistungsklassen zu führen. Leistungshalbleiter mit einer Sperrspannung von 8,5 kV und einer maximalen Stromtragfähigkeit von einigen kA sind bereits heute am Markt erhältlich.

Seit der Markteinführung im Jahr 1996 hat der IGCT-Leistungshalbleiter stetig an Bedeutung gewonnen; als Halbleiter, der sich durch niedrige Durchlassverluste und schnelle Schalteigenschaften auszeichnet und erlaubt, mit einem einzelnen Bauteil maximale elektrische Ströme von mehreren tausend Ampere zu schalten. Der IGCT ist ähnlich einem Thyristor aufgebaut und zeichnet sich ebenso durch einen minimalen elektrischen Widerstand im durchgeschalteten Zustand aus. Der IGCT verwendet die sogenannte „free-floating“ Silizium-Gehäusetechnologie, eine von ABB entwickelte und patentierte Struktur: Das Bauteil, das aus einem Silizium-Wafer besteht, ist dabei in einem kompakten und robusten Druckkontakt-Gehäuse verpackt. Diese etablierte und bewährte Gehäuseform wird mit relativ großer Kraft zwischen zwei Kühlern eingepresst, die Kühlelemente leiten zugleich den Strom zum Bauteil. Die Elektronik zum Ansteuern des Bauteils, die sogenannte Gate-Elektronik, ist um das Bauteil herum aufgebaut. Dieses minimiert Streuinduktivitäten und erlaubt eine schnelle, harte Ansteuerung des Halbleiterelements, bei der extrem hohe Ströme in kürzester Zeit abgeschaltet werden. Im Abschaltvorgang werden Stromtransienten von mehreren tausend Ampere pro Mikrosekunde (10^{-6} Sekunden) zuverlässig gehandhabt.

Aufgrund all dieser Vorteile ist zusammenfassend festzustellen, dass der IGCT ein am Markt sehr erfolgreich etabliertes Bauteil ist und als Halbleiterelement in Mittelspannungs-Frequenzumrichtern bei verschiedenen Herstellern eingesetzt wird. Schwerpunkt dabei sind drehzahlgeregelte Antriebe für Mittelspannungsmotoren. Aber auch in Frequenzumrichtern für Bahnnetzkopplungen und Energie-Management-Systemen mit Leistungen typischerweise größer als 2 MW leisten IGCT's erfolgreich ihren Dienst. Dabei ist herauszustellen, dass das Verhältnis von der sogenannten aktiven Fläche,

durch die der Strom fließt, zur Fläche des Randabschlusses, die das elektrische Feld des Halbleiters absteuert, sehr groß ist; die eingesetzte Siliziumfläche wird somit maximal genutzt. Heutzutage sind IGCT-Bauelemente von ABB mit einer Spannungsfestigkeit und nominalen Stromschaltfähigkeit von 4.500 V und einigen hundert Ampere bis 6.500 V und 4.000 A erhältlich.

In enger Zusammenarbeit haben nun die Wissenschaftler am schweizerischen ABB Forschungszentrum mit den Kollegen aus der Leistungshalbleiter produzierenden Geschäftseinheit die kommende Generation von IGCT's entwickelt: Die maximale Blockierspannung des Halbleiters wurde von 6.500 V auf beeindruckende 10.000 V gesteigert. Ein Schwerpunkt der Entwicklung in diesem Technologieprojekt wurde auf die Robustheit gegen kosmische Höhenstrahlung gelegt – ein sehr kritischer Punkt bei Hochleistungshalbleitern. Bei einer einfachen Skalierung der existierenden IGCT-Bauteiltechnologie auf eine erhöhte Blockierspannung, hätten sich die Schalteigenschaften des Bauteils stark verschlechtert. Insbesondere wäre es dann nur möglich gewesen, geringe Ströme zu schalten. Ein – in der Sprache der Leistungshalbleiter-Experten ausgedrückt – geringerer sicherer Arbeitsbereich (sogenannte "Safe Operating Area" (SOA)) wäre die Folge gewesen. Die ABB Wissenschaftler und Ingenieure haben dieses Problem erkannt und erfolgreich gelöst: Vom Team wurde eine neue Bauteilstruktur entwickelt und so eine signifikante Erhöhung des "SOA's" erreicht: Das einzelne Bauteil schaltet elektrische Ströme größer 2.000 A sicher ab. Mit diesen Strom- und Spannungsschalteigenschaften zeigt die IGCT-Technologie auch das zukünftige Potenzial als idealer Halbleiter in Mittelspannungsanwendungen auf.

Leistungshalbleiter in Frequenzumrichtern benötigen eine sogenannte Freilaufdiode, die den Strom während des Abschaltvorganges leitet. Daraus folgend war für das 10kV-Projekt auch eine entsprechende Diodentechnologie zu entwickeln – eine fast noch größere Herausforderung als die Entwicklung des Schaltelements. Eine Standard-Hochspannungsdioden wird bei hohen Spannungen oft oszillierend ("snappy"), was in der Anwendung zu gefährlich hohen Überspannungsspitzen und hochfrequenten Stromschwingungen im Abschaltvorgang und während der Sperrverzögerung führt. Um diese Herausforderung zu lösen, führten die ABB-Forscher einige neue innovative Änderungen in der Diodenstruktur ein. Das Resultat liegt vor und erfüllt mit einer Minimierung der Oszillationen und sehr geringen elektrischen Verlusten alle Anforderungen. Das neue Diodendesign erlaubt, die Diode monolithisch in den Silizium-Wafer des Schalters zu integrieren, dass heißt Schalter und Diode bilden ein Bauteil, eine runde Scheibe. Dieses bezeichnet man als rückwärtsleitenden RC-IGCT. Der Hauptvorteil dieser monolithischen Integration liegt in der Anwendung; sie erlaubt eine signifikante Reduktion der Komponentenzahl im Frequenzumrichter, zum Beispiel werden im Vergleich zu einem Aufbau mit separatem IGCT und Diode weniger Kühlkörper und Verbindungselemente benötigt.

Die neue Technologieentwicklung des IGCT-Schalters sowie der Diode haben hohes Potential. Heutzutage basiert bereits ein Grossteil der elektrischen Motorantriebe für Mittelspannungsanwendungen auf dem IGCT als Schaltelement. Diese sogenannten spannungsgeführten drehzahlregelten Antriebe treiben Motoren für Pumpen, Gebläse, Förderbänder, Pressen und Kompressoren in verschiedensten Industrieanwendungen an. Diese elektrischen Mittelspannungsantriebe regeln zuverlässig Drehzahl und Drehmoment von Induktionsmotoren mit Leistungen von typischerweise 300 kW bis 5 MW und liefern Spannungen von 2,3; 3,3; 4,0 und 4,16 kV. Mit der Entwicklung des neuen 10 kV-IGCT kann man die Leistungsklasse dieser Antriebe relativ einfach auf 12 MW verdoppeln und Motoren mit 7,2kV-Eingangsspannung antreiben. Der 10 kV-IGCT macht auch die Serienschaltung von Leistungshalbleitern geringer Spannungsklasse überflüssig. Das Ersetzen von seriell geschalteten Halbleitern mit dem 10kV-Bauteil führt zu einer Reduktion an benötigten Komponenten im Umrichter, resultierend in effizienteren und zuverlässigeren Systemen im Vergleich zu heutigen Designs. Nach den Abschätzungen der ABB-Forscher kann die Anzahl der benötigten Komponenten im Umrichter um bis zu 70 Prozent reduziert werden, was eine signifikante Auswirkung auf Kompaktheit und letztendlich Systemkosten haben wird.

Mit dem exzellenten Spannungssperrverhalten von größer 10 kV, und dem signifikant erhöhtem Arbeitsbereich (SOA), ist die 10 kV-IGCT-Technologieentwicklung ein wichtiger Meilenstein im Bereich zukünftiger Hochleistungs-Leistungshalbleiter. Zusammen mit der Technologieentwicklung

der Hochspannungsfreilaufdiode mit ihrem „sanften“ Schaltverhalten, werden zukünftige Frequenzumrichter und Mittelspannungsantriebe von diesem Siliziumbauteil profitieren können. Die Vorstellung des 10kV-IGCT als Produkt basierend auf diesem Technologieentwicklungsprojekt ist für das Jahr 2011 geplant.

Bilder:

7.1_Pressetag 2009_10kV-IGCT.jpg:

ABB IGCT-Leistungshalbleiter für den Einsatz in Mittelspannungsantrieben.

7.2_Pressetag 2009_10kV-IGCT.jpg:

Arbeiten im Reinraum bei ABB Semiconductors in Lenzburg.

7.3_Pressetag 2009_10kV-IGCT.jpg:

Leistungselektronischer Standardbaustein (PEBB – Power Electronics Building Block)) basierend auf IGCT-Leistungshalbleitern.

Weitere Informationen:

ABB-Pressestelle:

Alexander Sonneck

Tel: +49 621 4381 443

Mobil: +49 172 7268 083

Mail: presse@de.abb.com