

Supraleitende Strombegrenzer und Supraleiterentwicklung für die Energietechnik

P. Komarek, W. Goldacker, M. Noe, ITP

Supraleitung ermöglicht den Stromtransport fast ohne Verluste. Dieser Gedanke fasziniert Wissenschaftler und Ingenieure seit der Entdeckung der Supraleitung im Jahre 1911. Jedoch erst für die 1986 entdeckten keramischen Hochtemperatur-Supraleiter (HTSL) genügt eine preiswerte und effiziente Kühlung mit flüssigem Stickstoff, was für einen Einsatz in der Energietechnik entscheidend ist.

Einen Schwerpunkt der Forschungsarbeiten im Institut für Technische Physik (ITP) bildet die Entwicklung von supraleitenden Betriebsmitteln der Energietechnik. Insbesondere bei neuen Betriebsmitteln, wie einem supraleitenden magnetischen Energiespeicher und einem supraleitenden Strombegrenzer (SSB), wurden am ITP wichtige Meilensteine in der Entwicklung erzielt.

Da sich Kurzschlüsse in elektrischen Netzen nicht vermeiden lassen, müssen alle installierten Betriebsmittel so beschaffen sein, dass sie den elektrischen und mechanischen Beanspruchungen durch die im Vergleich zum Normalbetrieb 50 bis 100 mal größeren Kurzschlussströme standhalten. Dies erfordert einen hohen technischen und finanziellen Aufwand, der durch den Einsatz eines SSB erheblich reduziert werden könnte. Weitere technische Vorteile des Einsatzes von SSB sind die Erhöhung der Netzstabilität, die Verringerung von Netzrückwirkungen und Spannungsabfällen, der flexiblere Anschluss von Generatoren und geringere Netzverluste.

Im Normalbetrieb hat der SSB einen vernachlässigbaren Widerstand und nahezu keine Verluste, die Impedanz des Begrenzers ist sehr gering. Durch einen hohen

Kurzschlussstrom verliert der Supraleiter innerhalb weniger tausendstel Sekunden selbsttätig seine Supraleitfähigkeit und wird zum Widerstand, der den Strom wirksam und sicher begrenzt.

In der Mittelspannungsebene bis zu 36.000 Volt hat der SSB, gegenüber den bisher eingesetzten Betriebsmitteln zur Strombegrenzung wie Sicherungen und Is-Begrenzern, den Vorteil der schnellen und automatischen Wiedereinsatzbereitschaft nach einer nur kurzen Erholungszeit zum Rückkühlen des Supraleiters. In der Hochspannungsebene von mehr als 100.000 Volt gibt es kein konventionelles Betriebsmittel zur Begrenzung von Kurzschlussströmen. Hier zeigen Untersuchungen und Netzstudien neben den technischen Vorteilen ein sehr hohes wirtschaftliches Einsparpotenzial durch den SSB.

Im Rahmen eines BMBF-Verbundprojektes wurde gemeinsam mit ACCEL, Nexans Superconductors und anderen Partnern ein 10 kV, 10 MVA SSB entwickelt und erfolgreich getestet (Abb. 1). Von April 2004 bis März 2005 fand im Netz der RWE bei Siegen der bisher weltweit erste Feldtest dieses Strombegrenzers statt. Dabei konnte erstmals die Tauglichkeit des Konzepts in der rauen Umgebung eines Feldtests eindrucksvoll demonstriert werden. Am ITP waren die Materialcharakterisierung und die Entwicklung der supraleitenden Komponenten Schwerpunkte der Arbeiten. Derzeit befindet sich dieser 10-MVA-Begrenzer zu einem abschließenden Langzeittest im ITP.



Abb. 1: Aufbau eines 10 MVA, 10 kV supraleitenden Strombegrenzers.

In einem weiteren Verbundprojekt unter Federführung von Nexans SuperConductors wird zur Zeit der weltweit erste SSB für die Hochspannungsebene von mehr als 100.000 Volt entwickelt. Der Einsatzort ist die Kupplung von Netzgruppen in dieser Spannungsebene. Das Hochspannungsnetz wird heute in galvanisch getrennte Netzgruppen unterteilt, um zu hohe Kurzschlussströme zu verhindern. Diese Netzgruppen werden über Transformatoren aus dem Höchstspannungsnetz gespeist. Die Zahl dieser Transformatoren wird so gewählt, dass bei Ausfall eines Transformators noch ausreichend Redundanz besteht. Durch den Einbau von SSBs könnten Netzgruppen gekuppelt werden und somit Transformatoren entfallen. Das birgt sehr hohe Einsparpotenziale. Das ITP entwickelt in diesem Projekt die Hochspannungstechnik und führt spezielle Tests an Komponenten durch. Eine zentrale Frage ist dabei unter anderem die elektrische Isolation von Materia-

lien in flüssigem Stickstoff, denn die Isolierstoffe dürfen im Laufe der Betriebszeit von bis zu 30 Jahren nicht nennenswert altern.

Als Hochtemperatursupraleiter in den genannten Strombegrenzer-Projekten kam bisher „BSCCO(2212)“ ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$) als Massivkörper mit einer kritischen Temperatur von 85 Kelvin zum Einsatz. In Hochstromkabeln oder Wicklungen (z.B. Motoren, Generatoren) ist „BSCCO(2223)“ als Band mit Silberhülle und einer kritischen Temperatur von 110 K der Standard. Ein entscheidender Nachteil dieses Leiters und einschränkend für die Anwendungsbreite ist der relativ hohe Preis des Materials und die begrenzte Magnetfeldverträglichkeit bei Kühlung mit flüssigem Stickstoff.

Als Konsequenz konzentriert sich gegenwärtig nahezu die gesamte weltweite Leiterentwicklung auf die zweite Generation der Hochtemperatursupraleiter, die „YBCO-Bandleiter“ ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$), mit einer

kritischen Temperatur von 92 Kelvin, die im flüssigen Stickstoff betrieben eine wesentlich bessere Magnetfeldverträglichkeit aufweisen. Ein entscheidender Schritt für die Anwendung wird die erfolgreiche Entwicklung einfacher und ökonomischer chemischer Beschichtungsverfahren in den nächsten drei bis fünf Jahren sein, die diesem Leitertyp einen deutlichen Preisvorteil bringen sollen. In einem vom ITP koordinierten virtuellen Institut der Helmholtz-Gemeinschaft werden solche Leiter intensiv entwickelt. Erste Untersuchungen von YBCO-Bandleitern, z. B. in Strombegrenzern oder Magneten zeigen bereits viel versprechende Resultate.

Der erst seit 2001 bekannte Supraleiter Magnesiumdiborid besitzt zwar eine kritische Temperatur von nur 39 Kelvin, jedoch sehr vorteilhafte andere Supraleitereigenschaften und kann als preiswerter Runddraht hergestellt werden. Diese Drähte werden im ITP

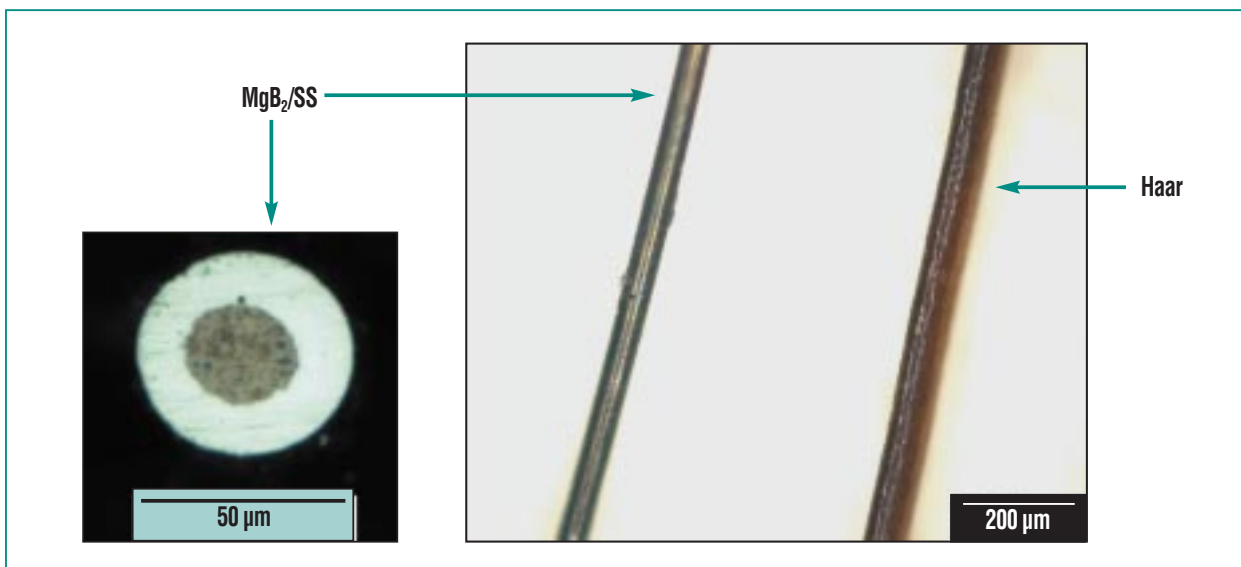


Abb. 2: Ultradünner (0,05 mm) MgB_2 -Draht (Querschnitt zeigt MgB_2 im Stahlrohr) für Sensoranwendung in flüssigem Wasserstoff.

entwickelt und bieten sich für die Flüssig-Wasserstofftechnologie und für Anwendung im Weltraum an mit einer Betriebstemperatur im Bereich 4 bis 20 Kelvin. Erste Anwendungen im Satellit und in Wasserstofftanks wurden bereits vom ITP mit den Partnern NASA und TU Dresden realisiert (Abb. 2).

Perspektiven

Die Anwendung der Supraleitung in der Energietechnik erscheint bei vielen Betriebsmitteln sehr attraktiv. Eine zukünftige erfolgreiche Markteinführung wird jedoch entscheidend davon abhängen, inwieweit es gelingt, leistungsfähige und

preiswerte Supraleiter herzustellen und eine zuverlässige und sichere Kryokühlung zu gewährleisten. Die bisher erzielten Fortschritte sind außerordentlich erfolgversprechend.