

JAHRESBERICHT 1998



Über die Arbeiten gemäss Projekt-/Vertragsnummer: 16306/55803

Titel des Projekts: **Entwicklung von Hochtemperatur-Supraleiterkabel für die Energietechnik SULEIKA**

Zusammenfassung:

Ein endgültiges Design-Konzept wurde unter Berücksichtigung der beschlossenen Materialänderung (Lieferung VAC, Vakuumschmelze Hanau) ausgearbeitet.

Weitere Studien für die Kühlung und Sicherheit, sowie eine Vorstudie über Wirtschaftlichkeitsaspekte wurden durchgeführt.

Ein stickstoffgekühltes Kabelmuster wurde hergestellt und ist in der Testphase.

Die Prototyp-Kabelherstellung wurde in Angriff genommen; ebenso der Aufbau des Teststands.

Dauer des Projekts: -

Beitragsempfänger: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, am PSI in Villigen

WEB-Seite des Beitragsempfängers: <http://www.crppepfl.ch>

Berichtersteller: Vécsey, Georg, E-Mail: Georg.Vecsey@psi.ch

Adresse EPFL - CRPP
WMHA C37
5232 Villigen - PSI

Telefon/Fax: ++41 56 310 3272 , Fax ++41 56 310 3729

1. Projektziele 1998

- Auswahl des endgültigen Design-Konzepts
- Erprobung des Fabrikationsprozesses
- Herstellung und Test vom Kabelmuster
- Herstellung des Prototypkabels
- Vorbereitung Teststand

2. Arbeiten und Ergebnisse

Reports

- Design für ein SL-Kabel mit warmem Dielektrikum
- Choice of Cryogenic Refr. Cycle for a 3-phase full size HTSC power transmission cable
- Hochspannungskomponenten für Endverschlüsse HTSC-Kabel mit RT-Dielektrikum
- The neon refrigeration System for SULEIKA
- Auslegung des Funktionsmodells für den Stromtest
- Wirtschaftliche Perspektiven für den Einsatz SL-Kabel

2.1 Design-Konzept

2.1.1 Kabelauslegung

In der Berichtsperiode wurden für die Kabelauslegung zwei wichtige Entscheidungen getroffen.

- Wahl des Supraleiters

Seit Anfang 1997 hat die Produktion von Bi-2223 Bandsupraleiter weltweit beachtliche Fortschritte erzielt: die spezialisierte Industrie ist heute in der Lage Bi-2223 Filamentsupraleiter mit verbesserten elektrischen und mechanischen Eigenschaften kostengünstig herzustellen. Bedenkt man auch, dass bei einer Herstellung von Bi-2212 im Hause CRPP das Risiko eines Materialausfalles und somit einer kostspieligen und zeitaufwendigen Nachfertigung nicht gedeckt ist, wurde entschieden auf eine Herstellung am CRPP zu verzichten und den Bi-2223 Supraleiter bei der Firma Vakuumschmelze zu bestellen.

- Bestätigung der Neon- Kühlung

Der Einsatz von Bi-2223 erlaubt eine höhere Betriebstemperatur für das Kabel als unter Verwendung von Bi-2212. Obwohl die optimale Betriebstemperatur bezüglich Kabelverluste bei etwa 60K liegt, erlauben Bänder im Prinzip auch eine Kühlung mit flüssigem Stickstoff. In diesem Fall wird allerdings etwa doppelt soviel Supraleiter wie bei 60K benötigt. Dies ist unbedingt zu beachten da die Kosten für den Supraleiter den grössten Teil der Investitionskosten für das Kabel ausmachen.

Als wichtiges Kriterium für den Einsatz von Neon für die Kühlung ist die Hochspannungsfestigkeit von Neongas. Bei einem SL-Kabel mit warmem Dielektrikum sind zwischen dem Kabel und dem Kühlkreislauf Potentialtrenner notwendig, da das Kühlmittel nur auf Erdpotential in den Kühlkreislauf eintreten bzw. austreten darf. Für die Prüfung der Hochspannungsfestigkeit von Neon wurde ein Potentialtrenner bei Raumtemperatur konzipiert und im Hochspannungslabor von Brugg Kabel AG aufgebaut. Die durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass in dem geforderten Druckbereich zwischen 5 und 15 bar, Neongas einer Belastung mit Wechselspannung von 160 kV und einer Blitzstossspannung von 550 kV standhält. Somit erfüllt Neon die gestellten Hochspannungskriterien und eignet sich für die Kühlung des Kabels.

Ein weiteres Argument für die Neonkühlung liefert eine Vergleichsanalyse der Investitionskosten von Kühlkreisen und vom supraleitenden Material. Danach liegt das Minimum der zu erwartenden Investitionskosten bei Betriebstemperaturen um 30 K. Dieser Wert verschiebt sich gegen 60 K falls die Investitionskosten für den Hochtemperatur-Supraleiter sich günstig entwickeln. Der Temperaturbereich 30-60 K kann nicht von einem Kühlkreislauf mit Stickstoff abgedeckt werden.

Die optimale Kabelgeometrie wurde aus Designkarten für das Kabel auf Basis von Bi-2223 Bändern neu ermittelt. Für eine Betriebstemperatur von 60K liegen die Optimalwerte für den Innenradius der supraleitenden Wicklung in der Nähe von 25mm für übertragene Leistungen zwischen 100 und 120 MW pro Phase. Der bisher vorgeschlagene Metallschlauch Typ BOA PROTEX DN50 ($d_i = 50$, $d_a = 53$ mm) kann somit für den Bandsupraleiter Bi-2223 als Trägerrohr für die supraleitende Wicklung übernommen werden. Auch für das thermische Isolationssystem, begrenzt durch Flexwellrohre vom Typ CNW 60/66 und 98/109 und die extrudierte elektrische Isolation aus Polyethylen sind durch den Übergang von Bi-2212 Drähten zu Bi-2223 Bändern keine Änderungen notwendig. Der Designwert für den Scheitelwert des Stromes ist 2.5 kA.

2.1.2 Betriebskostenoptimierung

Beim Vergleich verschiedener Betriebstemperaturen muss noch die Effizienz der entsprechenden Kühlkreise mit einbezogen werden. In einer Studie wurde der Leistungsbedarf für die Kühlung eines dreiphasigen Kabels mit verschiedenen Neon- bzw. Stickstoffkreisläufen untersucht. Dieser Leistungsbedarf ist ein Mass für die Betriebskosten des Kabels. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass mit einem effizienten Neon-Kühlkreislauf mit niedrigeren Kabelverlusten und somit Betriebskosten zu rechnen ist als bei einer Kühlung mit unterkühltem Stickstoff. Ein Vergleich des Leistungsbedarfs von supraleitenden- und konventionellen Kupferkabeln ergab, dass durch die Stickstoff- bzw. Neonkühlung die Verluste mindestens um einen Faktor 3.6 bzw. 5.7 reduziert werden. Als Referenz für das konventionelle Kabel wurde ein ölgekühltes 110 kV Kabel von Brugg Kabel AG mit einem Kupferquerschnitt von 2000 mm² gewählt.

2.1.3 Sicherheitstechnische Aspekte

Um die Sicherheit und den Schutz des Kabels während dem Betrieb beurteilen zu können, wurde die Wirkung von Überströmen auf den Hochtemperatur-Supraleiter und die Folgen eines Quenches (Auftreten normalleitender Zone) im Supraleiter untersucht.

Für die Spannungsebene von 110 kV ist mit einem Anfangs-Kurzschlusswechselstrom von 10.6 kA zu rechnen. Die maximal erreichte Temperatur im Supraleiter hängt von der Dauer der Kurzschlussbelastung ab. Eine adiabatische Abschätzung des Temperaturanstiegs ergab für den Bi-2212 Supraleiter eine Maximaltemperatur von 100 K nach einer Kurzschlussbelastung von etwa 2 s. Da die Abschaltzeiten bei einem Kurzschluss kleiner als 1 s sind, kann das Kabel diese Art von Überströmen ohne Schaden verkraften. Ebenso stellen die durch Stosskurzschlussströme verursachten Kräfte keine Gefahr für den Supraleiter dar.

Mit den existierenden Quenchdetektionssystemen kann eine Überhitzung des Supraleiters im Quenchfall bei Nennstrom verhindert werden. Das Auftreten einer normalleitender Zone im Supraleiter führt auch zu einer Druckerhöhung beim Neongas. Erste Abschätzungen des Quenchdruckes zeigen, dass bei Überströmen supraleitende Strombegrenzer zum Schutz des Kabels vorgesehen werden müssen.

2.1.4 Entwicklung der Endverschlüsse

Gegenstand dieses Entwicklungsvorhabens war es, ein Konzept für die Endverschlüsse auszuarbeiten das den Hochspannungskriterien genügt und gleichzeitig die Kriterien für verlustarme SL-NL Stromübergänge erfüllt. Im Einvernehmen mit Brugg Kabel AG wurden verschiedene Designkonzepte analysiert und laufend optimiert. Besondere Beachtung galt dem Potentialtrenner bei Tieftemperatur da hier tieftemperaturspezifische Gesichtspunkte mit Hochspannungskriterien in Einklang gebracht werden mussten. Eine wichtige Vorstufe für die Auslegung des Potentialtrenners bei Tieftemperatur war der Bau und Test eines Potentialtrenners für Neon bei Raumtemperatur. Wie bereits erwähnt, wurde mit Hilfe dieser Komponente die elektrische Festigkeit des Kühlmittels Neon gemessen. Soweit wie möglich wurden Standardbauteile aus der Hochspannungs- und Kabeltechnik eingesetzt um Zeit und Entwicklungskosten zu sparen. Zur Zeit ist der Aufbau der Endverschlüsse für ein 6 km langes Kabel festgelegt und die Konstruktionsgrundlagen sind ausgearbeitet.

2.2 Kabelherstellung und Muster

Das SL-Kabel wird mit einer eigens dafür entwickelten Verseilvorrichtung gefertigt, die in einem ersten Schritt für eine Länge von 2 m ausgelegt wurde. Der spätere Umbau wird das Verseilen von Kabeln bis zu 6m Länge ermöglichen. Die Vorrichtung besteht im wesentlichen aus einem statischen Verseilkopf und einer Vorschub bzw. Torsionseinheit. Alle 40 SL-Bänder einer Lage werden in einem Schritt gleichzeitig verseilt. Wie bei einer konventionellen Anlage wird das flexible Trägerrohr mit einer konstanten Geschwindigkeit durch den Verseilkopf gezogen. Anstelle des rotierenden Verseilkorbes dreht sich das Trägerrohr um seine eigene Achse. Die Bänder werden bis einige Zentimeter vor den Auflaufpunkt auf das Trägerrohr geführt. Die Schwierigkeit besteht darin, die mechanisch empfindlichen Bänder reproduzierbar und positionsgenau auf das Trägerrohr aufzubringen. Durch sequentielles Ändern der Drehrichtung des Trägerrohres können mit dieser Vorrichtung mehrlagige Kabel problemlos gewickelt werden

Die von VAC gelieferten 2223-Bänder haben aufgrund vorläufig unvermeidlichen mechanischen Defekten (Blasen) eine Stromtragfähigkeit von 75 % der spezifizierten Werte. Die ausführlichen Qualitätskontrollmessungen ergaben, dass weitere Degradationsrisiken nur mit einem abgeänderten Zugverfahren bei der Verarbeitung vermieden werden können. Trotz dieser lieferungsbedingten Verzögerung konnte nach einigen Dummy-Versuchen ein Kabelmuster von 1 m Länge hergestellt werden. DC und AC Tests dieses Musters mit Flüssigstickstoff-Kühlung sind mit den ersten ermutigenden Resultaten bereits im Gange.

Die Herstellung des Prototypkabels wurde im Dezember 98 in Angriff genommen.



2.3 Teststand

Die zumeist extern gefertigte Kabel-, Endverschluss- und Kühlungskomponenten sind praktisch alle im Haus. Der Aufbau wird voraussichtlich im Januar 1999 abgeschlossen.

3. Perspektiven

Die Versuche am Prototyp sollten nach heutigen Plänen termingerecht etwa bis Ende April 1999 durchgeführt werden.

4. Zusammenarbeit

Neben der laufenden Zusammenarbeit mit der Industrie (Brugg Kabel AG) beteiligen wir uns in der Expertenrunde des Netzstudienprojekts der CH-Hochschulen. Die Projektleitung hat Bereitschaft gezeigt, auch SL-Kabel-Aspekte in die Studien einzubeziehen.