

Forschungsprogramm "Elektrizität"



Hochtemperatur-Supraleiter-Transformator

Verfasser : Harry Zueger, ABB Sécheron AG

Im Auftrag des

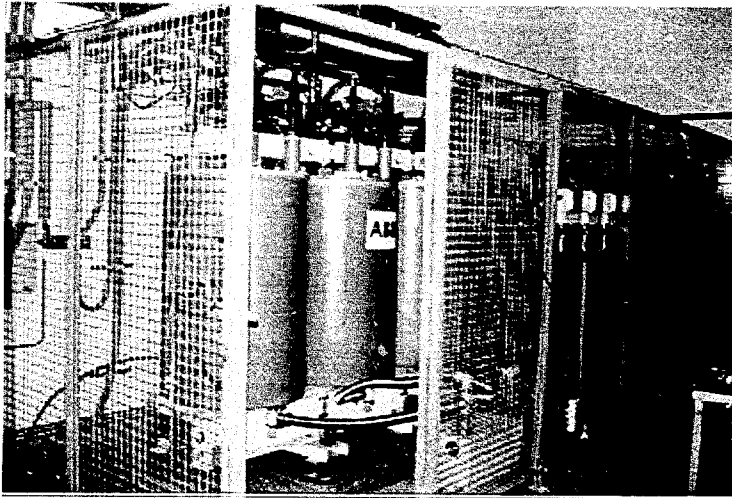
Bundesamtes für Energiewirtschaft

Auftrag Nr:95 51845

Juni 1997

Hochtemperatur Supraleiter Transformator

Schlussbericht 94-97



Summary :

The goal of this project was to define the performance and potentials of the HTSC technology for transformers. From the prestudy, started late 94, to the implementation of the first 630 KVA (18.7 kV) HTSC transformer in the Geneva utility grid in march 97, we could demonstrate that such a transformer was feasible and that it can operate for long term. The project partners of ABB are Electricite de France (EDF), American Superconductors Corp. (ASC) and the Swiss federal institute of technology in Lausanne (EPFL). The project was supported by the Swiss Federal Office of Energy and Swiss utilities study funds (PSEL, RDP-CREE).

Zusammenfassung:

Das Projektziel war die Qualifizierung der HTSL-Technologie und ihre Anwendung an Transformatoren. Durch die Vorstudie (Ende 94) und die Inbetriebsetzung im Netz von SI Genf des ersten 630 kVA (18.7 kV) HTSL Transformators (März 97) konnten wir die Machbarkeit und Dauerbetriebsfähigkeit solcher Transformatoren beweisen. Die Projektpartner von ABB sind die Electricite de France (EDF), American Superconductors Corp. (ASC) und die Eidgenössische Technische Hochschule, Lausanne. Das Projekt wurde vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), dem Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL) und der Electricité Romande (RDP-CREE) finanziell unterstützt.

1. Projektziele :

Das Projekt der Realisierung eines 630 kVA Verteiltransformators wurde in fünf Stufen aufgeteilt:

- Konzeption und Machbarkeit
- Aufbau einen Einphasentransformators
- Test des Einphasentransformators
- Bau der Dreiphasen-Einheit
- Netzbetrieb

2. Geleistete Arbeiten und Ergebnisse 1994-1997:

Die erste Stufe 'Konzeption und Machbarkeit' zeigte, dass die HTSL-Transformatoren ein ökonomisches Potential ab 40 MVA zeigen. Die Machbarkeit des Prototyps wurde nachgewiesen und das Grundkonzept enthält einen warmen luftgekühlten Eisenkreis mit drei Schenkeln, auf denen je ein Epoxy-Kryostat liegt. Der HTS-Draht-Lieferant wurde auf dem öffentlichen Markt ausgewählt. Es handelt sich um die American Superconductor Corp.. Die Wicklungsanordnung ist konzentrisch und der Wicklungsblock liegt in einem 77K Stickstoffbad. Die Kühlung wird durch Verdampfung (ohne Wiederverbrauch) des Ln_2 ermittelt. Die elektrische Festigkeit wurde in dieser Zeit mit Spulenmodellen überprüft. Um die Einschaltströme des Transformators stark zu reduzieren, wurde eine Vormagnetisierungsstrategie anhand einen Stromwandlers empfohlen.

Während der zweiten Phase des Projektes 'Einphasentransformator' traten Fertigungsprobleme auf. Nach dem Wickeln war wegen der Sprödigkeit der HTS-Leiter ein Teil der Wicklungen nur wenig supraleitend. Dies führte zu einer zweimonatigen Verspätung des Projekts. Der Fertigungsprozess wurde durch Qualitätssicherungsmassnahmen abgesichert. Der erste abgelieferten Kryostat wurde nach den Verlustmessungen abgenommen. Der erste Wicklungsblock wurde auf den dreiphasigen, magnetischen Kreis aufmontiert und im ersten Drittel 1996 nach Paris zum EDF-Testlabor 'Les Renardières' geliefert.

Die Dritte Stufe 'Test der einphasigen Einheit' wurde aus zwei Gründen durchgeführt. Mit dem dynamischen Kurzschlussstromtest soll die mechanische Festigkeit überprüft und mit den dielektrischen Tests die elektrische Auslegung bestätigt werden.

Die Kurzschluss tests beweisen, dass die Auslegung ausreichend ist. Dieser Test zeigte auch, dass die wicklungsresistive Transition die Kurzschlussimpedanz des Transformators wesentlich erhöht und dass der Scheitelwert des Kurzschlussstromes sich auf nur 41 kA anstatt 61 kA reduziert. Bei der elektrischen Stossspannungsprüfung gab es (wegen einer Delamination der dicken Epoxymasse) einen Überschlag auf die Hochspannungsdurchführungen. Während der vierten Stufe des Projektes haben wir völlig neue Hochspannungsdurchführungen entwickelt. Der Transformator hat alle anderen Prüfungen bestanden.

Die vierte Stufe des Projekts hätte normalerweise eine zweite Wiederholung von Stufe zwei sein sollen. Terminlich sollten wir Zeit einsparen, um das Gesamtprojekt pünktlich zu beenden. Technisch haben wir neue Hochspannungsdurchführungen entwickelt und eine Verbesserung der Kryostatsuperisolation erreicht. Inzwischen wurde die Vormagnetisierungsanlage mit Erfolg auf 'real scale' Transformatoren geprüft.

Im Herbst 1996 entstand der weltweit erste dreiphasige Hochtemperatur-Supraleiter-Verteiltransformator. Die dreiphasige Einheit bestand alle Prüfungen und die Verlustmessung zeigte, dass die HTS-Leiterverluste mit dem vorgerechneten Wert übereinstimmen.

Mit der Einschaltung des 630 kVA HTS Transformators am Netz der SI Genf begann die letzte Projektstufe. Um den Kühlkreis und die Stickstoffregelung zu prüfen, wurden zwei Wochen investiert. Viele Regelungsprobleme traten in dieser Phase auf. Regulatoren wurden ersetzt und die Lage verbesserte sich. Die Einschaltung des Transformators wurde mittels der Vormagnetisierungs-Einrichtung durchgeführt. Keine transiente Einschaltströme waren messbar und das ist der Beweis, dass die Einschaltstrategie erfolgreich war. Die Sicherheit der Transformerzelle wurde von SI Genf auf einem sehr hohen Standard eingerichtet. Der Transformator lief einen Monat parallel geschaltet mit einer klassischen 1000 kVA Einheit und ist zur Zeit die einzige Einspeisung von 11 Einzelgebäuden.

3. Zusammenarbeit

Die Einschaltvormagnetisierungs-Einrichtung und die Strategie wurde von Prof. A. Rufer, Laboratoire d'électronique Industrielle betreut.

Die Kryostaten wurden von der Firma Marti-Supratec AG, Wallisellen gebaut.

Die Hochspannungsdurchführungen wurden von ABB Micafil AG neu entwickelt und gefertigt.

Die stickstoffkalte Anlage und Niveauregelung wurde in Zusammenarbeit mit Carbagas AG, Liebfeld (BE) ausgelegt und installiert.

Die Einphasentests wurden bei Electricité de France durchgeführt.

Die Inbetriebsetzung, die Transformatorzellen-Änderungen und der Netzbetrieb wurden von den 'Services Industriels de Genève' gewährleistet.

4. Transfer von Ergebnissen

Dank dem Erfolg dieses Projektes hat sich ABB für eine neue Entwicklungsphase entschieden. Die Entwicklung von Hochtemperatur-Supraleiter-Transformatoren soll auf höherer Spannung und Leistungsebene durchgeführt werden. Die Ergebnisse dieses Projektes werden direkt für die neue Zielsetzung weiterverwendet.

5. Weitere Perspektiven

Das Projekt hat einen großen Aufschwung aller HTS- Aktivitäten gebracht. Die angewendeten Lösungen können für weitere Entwicklungen im Transformatorenbereich als Basis oder direkt verwendet werden. Eine logische Folge dieses Projekts ist die wesentliche Spannung und Leistungserhöhung. Der HTSL- Transformator bringt dem Netz sekundäre Vorteile wie Brandfestigkeit, ökologisches Kühlmittel und einen Anteil an Kurzschlussstrombegrenzung. Diese letzte Funktionalität könnte einen Hauptvorteil werden, aber sie benötigt noch eine aufwendige Leiterentwicklung.

6. Publikationen 1994-97

- A. Demarmels "Die Aspekte supraleitender Transformatoren", VDI 1187, 195-203, 1995
- ABB Pressemitteilung , 12.3.1997
- D. Huber "Neuer Schritt in der Geschichte der Supraleitung", ASE Bulletin 8/97

Andere Publikationen über dieses Projekt

- Modern Power Systems, April 97
- IEEE spectrum (M. S. Walker) 5.97
- Tribune de Genève ,13.3.97
- The Economist , april 97
- Sonntagszeitung 13.4.97
- ABB Forum (Beat Hügli) No2 4/97
- Bericht in der westschweizer Tagesschau (12.3.97)
- usw.

7. Projektunterstützung

Wir möchten allen Partnern dieses Projekts für ihre finanzielle Unterstützung und Betreuung herzlich danken :

- Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), vertreten durch R. Brüniger
- Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL), vertreten durch T. Gysel
- Electricité Romande commission RDP-CREE, vertreten durch M. Aguet
- ETH Lausanne, vertreten durch Prof. A. Rufer
- Services Industriels de Genève, vertreten durch M. Derron und Bugnon
- Electricité de France, vertreten durch M. Therond.