

2309 車両用超電導主変圧器の開発 (二次巻線模擬コイルと冷凍システム)

Development of a superconducting transformer for rolling stock

(A secondary winding coil and a refrigeration test equipment)

正 [電] ○秦 広 (鉄道総研) 正 [電] 上條 弘貴 (鉄道総研) 正 [電] [機] 藤本 浩之 (鉄道総研)

戸来 年樹 (鉄道総研) 池田 和也 (鉄道総研)

榊 喜善 (富士電機システムズ) 正 [電] 富岡 章 (富士電機アドバンステクノロジー)

吉田 茂 (大陽東洋酸素)

正 [電] 岩熊 成卓 (九州大) 正 [電] 船木 和夫 (九州大)

HATA Hiroshi, KAMIJO Hiroki, Fujimoto Hiroyuki, HERAI Toshiki, IKEDA Kazuya

Railway Technical Research Institute 2-3-22, Hikari-Cho, Kokubunji-city

SAKAKI Kizen, Fuji Electric Systems Co. TOMIOKA Akira, Fuji Electric Advanced tech.Co.

YOSHIDA Shigeru, Taiyo Toyo Sanso Co.

IWAKUMA Masataka, FUNAKI Kazuo, Kyushu Univ.

We have been studying a superconducting transformer for rolling stock. From the result of a design study for 25kV 4MVA superconducting transformer, we have fabricated a secondary winding superconducting coil to investigate its performance. We used bi2223 superconducting wire for the coil. Furthermore, we have fabricated refrigeration test equipment, which is made up of a stainless still coil and a refrigerator including a heat exchanger and a pump to circulate liquid nitrogen.

Keyword: transformer, superconducting, refrigerator,

1. はじめに

われわれは、車両用主変圧器の巻線に超電導線材を使用する超電導主変圧器の研究開発を行っている。その目的は、超電導線材の高電流密度という特性を生かして主変圧器を小型・軽量化することと、低損失という特性を生かして主変圧器の効率を向上することである。昨年度までに、新幹線電車の仕様を前提とした容量 4MVA の超電導主変圧器の詳細設計検討を行い、上記のメリットを定量的に評価した。これをふまえて、昨年度末に主変圧器二次巻線模擬コイルと冷凍システム試験装置を製作したので、これについて報告する。

2. 超電導主変圧器の設計検討結果の概要

先に超電導主変圧器の設計検討を行った際の前提とした仕様を表 1、超電導線材の仕様を表 2 に示す。また、超電導主変圧器の外観図を図 1、巻線配置を図 2 に示す。

設計検討の結果、最も軽量になるように 1 ターン電圧を選んだ場合、冷凍機を含めた質量が約 4300kg、効率は 97.5% になると見込まれた。これは現在技術の主変圧器で製作した際の推定質量 3000kg、効率約 96% と比べると、効率で勝るものの、質量でのメリットはない。現在超電導線材の交流損失は、理論値の 5 ないし 10 倍になっている。

Table 1 Specification for superconducting transformer

一次巻線	4MVA, 25kV, 160A
二次巻線	3.6MVA, 1.2kV, 750A × 4 巻線
三次巻線	400kVA, 440V, 909A
周波数	60Hz
設置場所	床上

Table 2 Specification of a superconducting wire

材料	Bi2223
母材	Ag (Mn 添加)
絶縁	PVF
臨界電流	200A (66K) 自己磁界中

これはフィラメント間に接触があるためと考えられている。これを理論値なみに改善できると仮定 (現在の測定値の 5 分の 1 になると仮定) して設計検討すると、質量は約 2500kg、効率は 99.3% に改善されるという結果を得た。

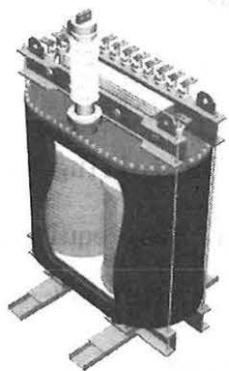


Fig.1 A bird's eye view of a superconducting transformer

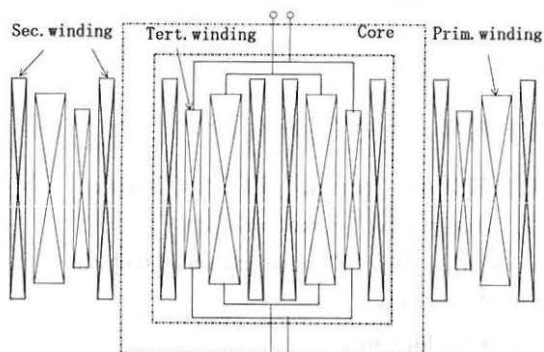


Fig.2 Winding connection

3. 二次巻線模擬コイル

上記の設計検討を踏まえ、電流量が大きい二次巻線の臨界電流、交流損失についての知見を得るため、二次巻線を模擬したコイルを製作した。

車両用超電導主変圧器の二次巻線コイルは次のような特徴をもっている。

- ・交流損失を少なくするため内鉄形とした。(ソレノイドコイルになる。)
- ・小型・軽量化のため巻きピッチをなるべく小さくする。
- ・所要電流量の点から複数導体を並列に重ねて巻く構造となる。
- ・偏流による電流量低下をを起こさないため、並列導体のインダクタンスを一致させる必要がある。
- ・各導体の冷却のため冷媒(液体窒素)の流路を設ける必要がある。

先に行った車両用超電導主変圧器の設計検討の結果、二次巻線の仕様は下記ようになる。

Table 3 Specification for a secondary winding

電圧	1200V
電流	750A
ターン数	96 ターン
導体並列数	8 並列
冷却	液体窒素漬浸冷却

今回 4.1mm×0.25mm のビスマス系超電導線材を使用した。偏流を防止するため、コイルを巻く中で導体を位置を入れ替える転位を 6 ターン毎に計 15 回行った。

製作した二次巻線模擬コイルの外観を図 3 に示す。

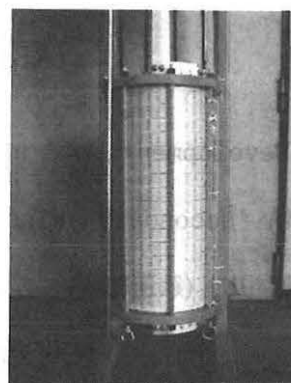


Fig.3 An appearance of a secondary winding coil

このコイルの通電試験を現在行っている。

4. 冷凍システム試験装置

先の、超電導主変圧器の設計検討の結果、現状の技術レベルの超電導線材を使用すると交流損失が約 5kW 発生すると見こまれる。実用化を考えるとこれを 5 分の 1 程度にする必要があるが、これでも現在研究開発されている超電導応用電力機器に比べると発熱密度が大きい。そのため、変圧器内の各部に温度勾配がついてしまう可能性がある。そこで温度勾配が許容範囲に収まるようコールドヘッドの先端に表面積を大きくするために「けんざん」状の突起を多数設けた熱交換器を設けたり、液体窒素を循環させるためのポンプを準備している。これらを確認する実験を行うため、冷凍システム試験装置を試作した。これは、超電導線材を模擬したステンレス線を FRP 巻枠に巻いたコイルの近傍に冷凍機コールドヘッド(熱交換器、循環用ポンプも組み込み)を配置し、これらをクライオスタットに収めて液体窒素に浸したものである。クライオスタットに収める前の装置の外観を図 4 に示す。

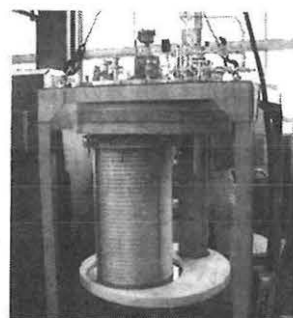


Fig.4 Refrigeration system test equipment

この装置でステンレスコイルに通電して発熱させ、冷凍機を運転して各部の温度を測定する試験を行っている。

5. まとめ

- ・4MVA 超電導主変圧器の二次巻線を模擬したコイルを製作した。通電試験を現在実施中である。
- ・超電導主変圧器の冷凍システムを模擬した試験装置を製作した。これについても現在試験中である。

参考文献

1) 秦、上條、藤木、坊野、井上、伊賀、岩熊、船木：4 MVA 超電導主変圧器の設計検討、J-RAIL2002、2002.11