真空大電力サーキュレーターの開発

DEVELOPMENT OF HIGH POWER VACUUM CIRCULATOR

三浦厚[#, A)], 鶴岡茂嗣 [B)], 篠原己拔 [A)], 谷内努 [C)], 鈴木伸介 [C)], 花木博文 [C)]
Atsushi Miura [#, A)], Shigetsugu Tsuruoka[B)], Kibatsu Shinohara[A)],
Tsutomu Taniuchi[C)], Shinsuke Suzuki[C)], Hirofumi Hanaki[C)]
[A)] Nihonkoshuha.co.ltd
[B)] N･K･S
[C)] Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

Abstract

We have developed high power vacuum circulator for useful exchanging from pressure type (SF_6) waveguide to vacuum type component. High power tests of Y-junction type vacuum circulator were performed. No discharge was occurred at input power level of 30MW and vacuum level was reached at $1.3x10^{-5}$ Pa for short aging time. The results show also us that isolation value is depended on input rf power. In case of Y-junction type circulator maximum power range is limited 20 MW under isolation value of 20dB. This phenomena caused by tune shift of ferrite which occurred by high magnetic field strength of input rf power. Two vacuum circulators were installed and operated at injector linac of SPring-8.

1. はじめに

SF_6 等を使用した加圧型の立体回路はコストが安価なメリットがある反面、放電後のメンテナンスや位相の安定度の問題があり真空導波管への切り替えを検討する場合がある。しかしながら真空仕様のサーキュレーターは存在せず、これが切り替えの障害となることが多い。筆者らはまず S バンド真空型単向管を試作し大電力試験を行った。フェライトの真空中でアウトガスの測定、フェライトと金属の接合方法の開発等を行った。試作機は 50MW の大電力試験でも放電なく安定に運転できることを確認した[1,2]。高磁場中に置かれた導波管でもマルチパクタ等の異常がないことがわかり、製作技術も確立したと判断し S バンド Y 型真空大電力サーキュレーターの試作を行った。本稿では試作機・実機の製作及び大電力試験について報告する。また真空型単向管の実機も製作・大電力試験したので報告する。

2. フェライトと金属の接合

単向管の場合フェライト形状は一般的に長方形である一方、大電力 Y 型サーキュレーターの場合は一般的に丸型である。金属とセラミックの接合は丸型の方が圧倒的に有利と考えられたが本件の場合は上手くいかなかった。単向管と同じ接合方法[1]で試したがフェライトが割れてしまう。フェライトが割れないような荷重では熱伝導が悪くなることが分かりまた新たな接合方法の開発が必要になった。円形の場合鏡面加工が安易にできるためフェライト及び無酸素銅を鏡面にして接触させ、更に鏡面面間に金箔を挟み込むことで更に熱伝導を改善できることがわかった。

今回 SPring-8 入射器で使用する真空型単向管と真空サーキュレーターの仕様を Table 1 に示す。今回の仕様ではフェライトでのロスは 11.3W 以下である。鏡面加工＋金箔では真空ハンダに比べ熱伝導は劣るが可能であると判断した。

Table 1: Specifications of Vacuum Circulator and Isolator for SPring-8 Injector Linac

	Y-junction vacuum circulator	Isolator
Operation frequency	2856MHz	2856MHz
Peak power	10MW	10kW
Pulse width	2.5 μ sec	2.5 μ sec
Repetition rate	10pps	10pps
Isolation	>20dB	>20dB
Insertion loss	<0.6dB	<0.2dB
Input VSWR	<1.1	<1.1
Loss of Ferrite	11.3W (in case of 0.2dB of insertion loss and perfect reflection)	0.25W

3. 真空サーキュレーターの制作

3.1 真空サーキュレーターの構造

Photo 1 に Y 型真空サーキュレーターの外観写真を示す。内部構造は大気型サーキュレーターとほぼ

miura@nikoha.co.jp

同じである。フェライトは水冷機能を持った丸フランジに接合される。そのフランジを Y 分岐の中心の E 面両側にヘリコフレックスシールにてボルト止めする。大気型サーキュレーターと唯一異なる部分である。

VSWR 及びアイソレーションはスタブで補正をする。磁石は高磁界が必要なためネオジウム磁石を使用した。Y 型分岐部分は無酸素銅ブロックから切削加工し導波管を形成する。分岐部分は軸対象とし T 型にするためのコーナー部とは別々の設計をしている。試作器の大電力試験後、実機として同じものを２台目として製作した。

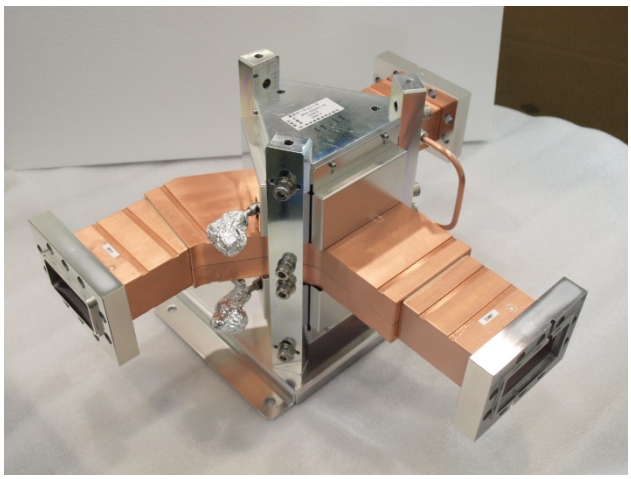

Photo 1: External view of Y-junction type high power vacuum circulator.

3.2 真空型単向管

Photo 2 に真空型単向管の外観を示す。試作機の制作と大電力試験については既に報告している[1]。試作機のフェライト長を倍にして仕様を満たす様に設計した。これも２台製作した。

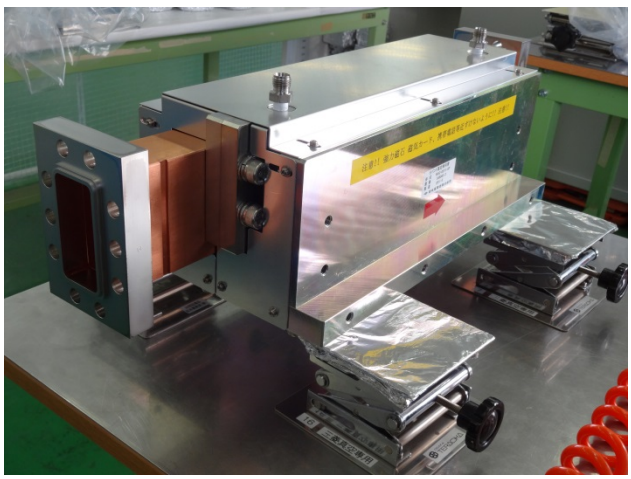

Photo 2: External view of vacuum isolator.

3.3 低電力試験

Table 2 に２台の真空サーキュレーターと単向管の低電力試験結果を示す。

Table 2: The Results of Low Power Measurement for Vacuum Circulator and Isolator at 2856MHz

At 2856MHz	Vacuum circulator 1	Vacuum circulator 2	Vacuum isolator 1	Vacuum isolator 2
Input VSWR	1.02	1.02	1.05	1.05
Isolation	35.7dB	76.9dB	14.6dB	26.0dB
Insertion loss	0.13dB	0.2dB	0.12dB	0.32dB

真空型単向管は入力１０kW 時にアイソレーションが最適値になる様磁場調整されているため低電力測定では仕様を満たしていない物もある。

4. 大電力試験

4.1 大電力試験セットアップ

大電力試験のセットアップを Figure 1 に示す。真空サーキュレーターのダミーポートには SiC ダミーロードを設置した。順方向と逆方向は真空サーキュレーターを逆に接続し挿入損失、アイソレーションの測定を行った。

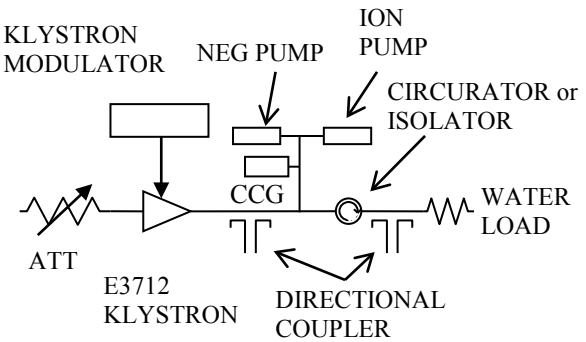

Figure 1: Set up of high power test for vacuum circulator and isolator.

4.2 大電力試験結果

真空サーキュレーター試作機の大電力試験を行った。繰り返しは 10Hz で、パルス幅 0.7μsec と 2.5μsec で夫々透過電力を増していった。試作機は低電力でアイソレーションが最大になる様磁場設定されているものである。

順方向エージングの様子はセラミック等の場合と酷似しており、数 MW 以下で多くのアウトガスを放出し、それ以上では比較的順調に電力増加できた。

見出し評価を行っているところである。今後は更に大電力の Y 型真空サーキュレーターの開発を行う。
　また位相型の 4 ポート真空サーキュレーターの検討依頼もあり位相型真空サーキュレーターの開発も今後行う予定である。

謝辞

本大電力試験にあたり JASRI 加速器部門加速器第 1 グループと SPring-8 極限荷電粒子ビーム研究開発チームの方々に多大なご尽力を承り深く感謝申し上げます。

参考文献

[1] A. Miura, et al., “大電力真空サーキュレーターの開発”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010
[2] T. Taniuchi, et al. , "S-band Vacuum Isolator and Circulator for Injector System of SPring-8 Linac", Proc. of the 2nd International Particle Accelerator Conference, San Sebastian, Spain, 95 (2011).
[3] T. Taniuchi, et al. "Vacuum Waveguide System for SPring-8 Linac Injector Section", Proc. of the 5th International Particle Accelerator Conference, Dresden, Germany, June 15-20, 2014, 3863-3865 (2014).