

[P7-29]

Development of Microwave Waveguide Components for UHF Klystron of JHF

Z. Fang, *S. Yamaguchi, *H. Nakanishi, *S. Fukuda, *S. Anami,
**K. Suzuki, **M. Matsuo, **Y. Niimura, **K. Shinohara

The graduate university for advanced studies, *High energy accelerator research organization (KEK),
1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801, Japan,
**Nihon Koshuha Co., LTD.,
1119, Nakayama-cho, Midori-ku, Yokohama, 226-0011, Japan

Abstract

The high power 324MHz klystron is being developed as the microwave source of the 200MeV proton Linac for the JHF project. The waveguide components of WR-2300 have been manufactured in order to test the klystron; a directional coupler, a T-divider, two T-bar type coaxial-to-waveguide transitions, two dummy loads, and four low power coaxial-to-waveguide transitions which are used only for measurement, are developed. The HFSS code is used for the design.

JHF 用 UHF クライストロン試験のための立体回路の製作

1. はじめに

JHF 計画の 200MeV 陽子線形加速器の高周波源として、周波数 324MHz、rf パルス尖頭出力 3.0MW、パルス幅 650 μ s、繰り返し 50pps、最大平均 rf 出力 97.5kW のクライストロンが開発されている[1]。

このクライストロンから出力された大電力高周波は、まず T-bar 同軸導波管変換器、導波管サーキュレータ、電力分割器 (3dB Hybrid Coupler) を経由して、別々に導波管から同軸へ変換され、加速空洞に供給される。

周波数 324MHz で使用する矩形導波管 WR-2300 (584.2mm \times 292.1mm) には安価である、軽量である、放熱性が良い等の理由からアルミ合金を使用し、4つのアルミの板を溶接して導波管を作っている。

クライストロンの出力電力の仕様から、T-bar 同軸導波管変換器、導波管サーキュレータ、分割器の仕様は入力最大電力 3MW 以上、最大平均入力 97.5kW 以上である。導波管同軸変換器の仕様は入力最大電力 1.5MW 以上、最大平均入力 48.75kW 以上である。又、それぞれの立体回路の仕様は周波数 324 \pm 1MHz で VSWR1.1 以下である。なお、200MeV 陽子線形加速器は低 β section であり、加速構造は各部毎に供給される電力とそれによるビームの加速速度によって決められている。クライストロンからの電力は、分割器を経由して、2つの加速管に供給されるので、分割器の結合度が設計値と違うと、ビームとマイクロ波の位相は正しく同期なくなる。従って 3dB Hybrid 電力分割器の分割比は厳しい仕様となっている。今回の T 分岐は少し仕様がゆるくて、周波数 324 \pm 1MHz で結合度は 3.01 \pm 0.1dB である。

今回はクライストロンの評価試験用として矩形導波管 WR-2300 を使用した方向性結合器、T 分岐、同軸

導波管変換器、ダミーロード、等の立体回路を製作した。いずれも HFSS によるシミュレーションで設計を行い、高方向性や低 VSWR 等をめざしたものとなっている。

2. クライストロン試験装置の構成

クライストロン試験装置の構成を図 1 に示す。大電力高周波は、T-bar 同軸導波管変換器、方向性結合器、T 分岐等からなる立体回路を経由して2つのダミーロードに供給される。

クライストロン供給者によれば、設計に用いた複数の simulation code は異なる出力空洞の Q_c を与えるので、実験的に最適な Q_c を決める必要がある。それで、この評価試験のためには、更に3stub 付きの移相器を図 1 の装置に取り付け、大電力におけるリーク線図を測定する予定である、この試験により最適な出力空洞の Q_c を実験的に決める事ができ、次のクライストロン製作に役立つ事が出来る。

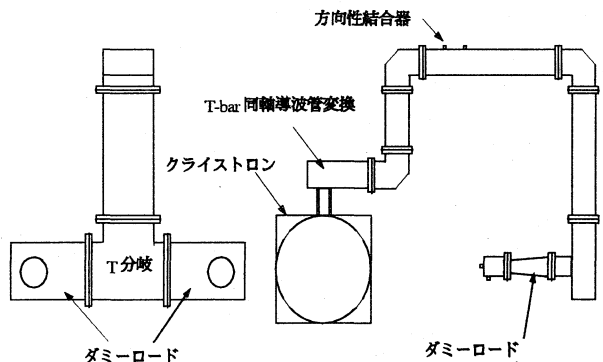


図 1. クライストロン試験装置の構成

3. 測定用同軸導波管変換器

クライストロン試験用の立体回路の調整、測定のために、測定用同軸導波管変換器を製作した。これはN型同軸接栓とWR-2300導波管の変換器である。図2に測定用同軸導波管変換器の模式図を示す。ここでは4つのMatching postによって同軸と導波管のimpedanceの整合を実現している。この4本のpostと同軸の内導体は銅で作られている。

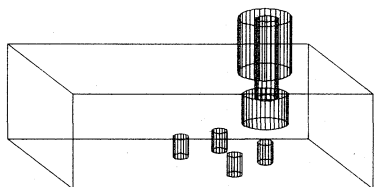


図2. 測定用同軸導波管変換器

製作後、4本のMatching postの長さを調整して、HP8753A Network Analyzerで測定した。その結果最終VSWRは周波数 $324\pm 1\text{MHz}$ で1.015以下であった。図3に4台の測定用同軸導波管変換器の最終のVSWR結果を示す。

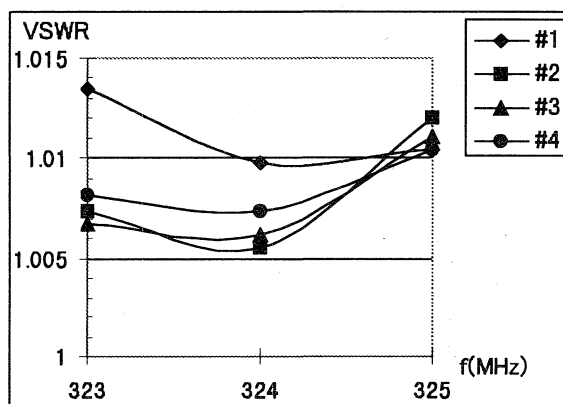


図3. 測定用同軸導波管変換器(4台)の最終のVSWR結果

4. T-bar同軸導波管変換器

これは203D同軸管とWR-2300導波管の変換器である。周波数が 324MHz と低いいためdoor knob方式かT-bar方式かの二つの方法が考えられるが比較的製作の簡単なT-bar方式を採用した。図4にT-bar同軸導波管変換器の概略を示す。T-barの形と位置を調整して同軸と導波管のimpedanceの変換を実現した。T-barと同軸は銅で作られている。

この設計はHFSSを用いて行った。図5にsimulation結果を示す。計算VSWRは周波数 $324\pm 1\text{MHz}$ で

1.034以下であった。

製作後、端板の位置を調整して、HP8753A Network Analyzerで測定した。その結果、最終VSWRは周波数 $324\pm 1\text{MHz}$ で1.074以下であった。図5に2台のT-bar同軸導波管変換器の最終のVSWR結果を示す。

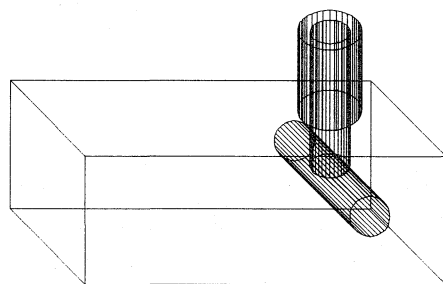


図4. T-bar同軸導波管変換器

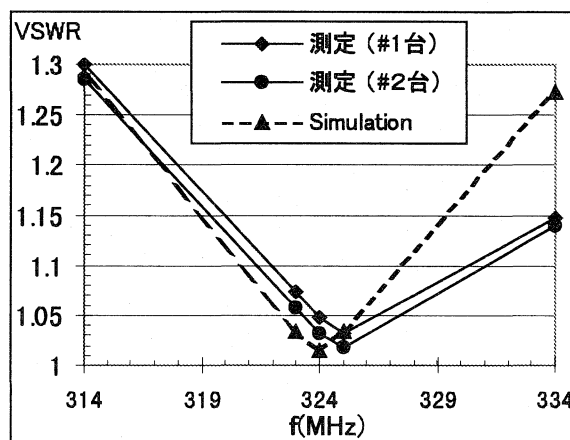


図5. 2台のT-bar同軸導波管変換器の測定とHFSSのsimulationの結果

5. 方向性結合器

入射波と反射波の電力を測定するために、方向性結合器を製作した。仕様値は周波数 $324\pm 1\text{MHz}$ で結合度は $60\pm 0.5\text{dB}$ 、方向性は 35dB 以上である。

矩形導波管のE面の中央に小孔をあけて、終端抵抗を繋いでいるループにより一部の電力をピックアップしている。このループの大きさや位置を調整して、結合度と方向性を調整した。この時磁界により誘起される起電力と電界により誘起される起電力を等しくしてやると方向性が得られる。

今回、この方向性結合器を製作して、高精度ネットワークアナライザHP8753Cで測定した。図6に方向性結合器の結合度の測定結果を示す。周波数 $324\pm 1\text{MHz}$ で結合度は $60\pm 0.15\text{dB}$ 以内である、方向性は入射側は約 36dB 、反射側は約 40dB であった。

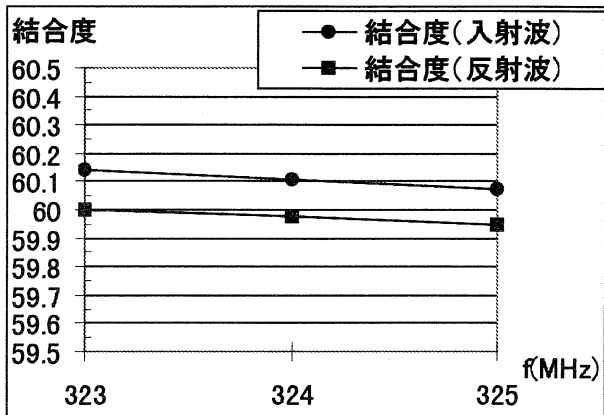


図 6. 方向性結合器の結合度の測定結果

6. T分岐

クライストロンからの高周波の最大平均電力は 97.5kW である。1つの水冷式同軸ダミーロードの電力の capability は 80kW ぐらいで不足である。それで、クライストロンからの大電力高周波は、T 分岐を経由して 2つのダミーロードに供給される。図 7 に T 分岐を示す。

この設計には HFSS を用いて行った。図 8 に simulation 結果を示す。図 8 に於いて、 ϕ は Matching post の直径を表す。L は Matching post の中心と導波管の側面の間の距離である。Matching post の直径と位置を変更することによって、VSWR は変化する。simulation 結果により、post の直径は 50mm が採用された。

製作後、Matching post の位置を調整し、最終的には L は 282.7mm であり、VSWR は周波数 324±1MHz で 1.03 以下であった。図 9 に T 分岐の測定と simulation の VSWR の結果を示す。

7. その他

ダミーロードは絶縁管に抵抗体として抵抗ペーストを焼付け、絶縁管内部に水を流し冷却している。一つのダミーロードの電力の capability は約 80kW である。現在2つの水冷式同軸ダミーロードを製作中である。2項で述べた移相器については現在製作中である。

8. まとめ

クライストロンの試験用として矩形導波管 WR-2300 を使用した方向性結合器、T 分岐、同軸導波管変換器、測定用同軸導波管変換器等の立体回路を製作した。これらは高方向性や低 VSWR 等が特徴となっている。今後、これらの立体回路素子を組み上げてクライストロンの試験を行う予定である。

参考文献

- [1] 'JHF Design Report', JHF Project Office, KEK Report 97-16, 1998.

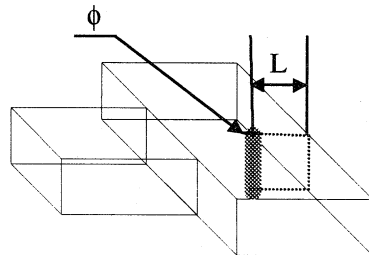


図 7. T分岐

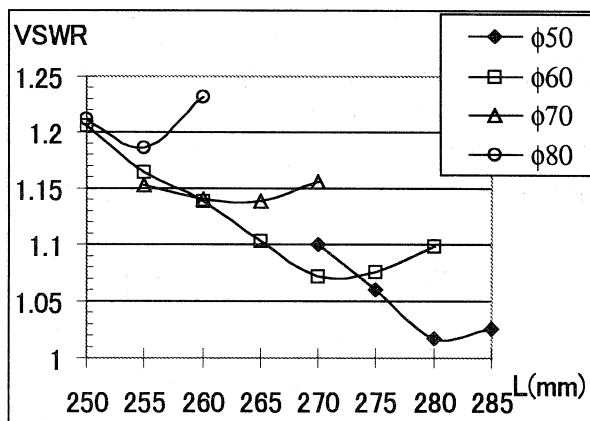


図 8. T分岐の HFSS の simulation 結果

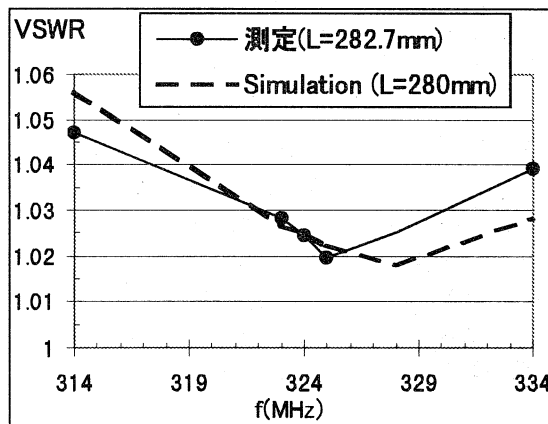


図 9. T分岐の測定と simulation の VSWR の結果