

HIGH POWER RF WATER - LOAD

Norio Kai, Tomokazu Yamagishi, Satoshi Asari, Toshio Maki
SPC ELECTRONICS CORPORATION
2-1-3 Shibasaki, Chofu-city, Tokyo, 182-8602

Abstract

Some of RF water-load for high power application to protect amplifier is presented^[1]. In this paper, the water-load is designed as type of water jacket. The water-load builds water jacket into waveguide. It is designed by electromagnetic field analysis to absorb at 500MHz. The evaluation shows good performance at 400kW, CW.

大電力高周波水負荷終端器

1. はじめに

高周波帯の大電力終端器は発熱対策のため、以下の2つの方式^{[2][3][4]}が一般的に採用されている。

第1の方式は、誘電体電波吸収体に高周波電力を整合吸収させ、その電波吸収体の発熱対策として、水冷を含む様々な方法で冷却する方式である。

第2の方式は、水そのものを電波吸収体として作用させ、高周波電力を整合吸収するもので、水の流量により、耐電力性能を決定する方式である。

UHF帯(500MHz)における水の電波吸収率は約13dB/m(標準矩形導波管に水を充満した場合)と低い。(2.5GHz帯では約250dB/m、5.8GHz帯では約1330dB/mである。)^{[3][5][6]}

このため、前記第2の方式をUHF帯に採用した場合、機器の大型化は避けられないが、高い耐電力性能を満たすには最も確実な方式であるため、第2の方式を採用した。

水を電波吸収体とした時の、消費電力と流量と水温上昇の関係を式(1)、式(2)により求めると、1kWの消費電力に対して1 liter/minの流量で約15℃の水温上昇になる。

$$\begin{cases} Q = mc\Delta T & (1) \\ Q = 0.24Wt & (2) \end{cases}$$

Q : 発熱量(cal) m : 質量(g) c : 比熱(cal/g・℃)
ΔT : 温度(℃) W : 電力(w) t : 時間(s)

この数値を今回試作した500MHz帯大電力水負荷終端器の基本動作性能として採用した。

2. 構造

表1に今回試作した500MHz帯大電力水負荷終端器の性能を示す。

水負荷終端器の構造は、一般的には「RF窓構

造」や「ウォータージャケット構造」が知られているが、水温の変化に対し複素誘電率の変化が大きいという水の特性を考慮すると、「RF窓構造」は原理的にインピーダンス整合が狭帯域になるので反射特性(VSWR)に不利である。

このため、今回の試作においては「ウォータージャケット構造」を採用し、インピーダンス整合はできるだけ広帯域になるよう構造を工夫した。

ウォータージャケットの材質は誘電損失の低いものを選定し、その構造はインピーダンス整合が広帯域にとれるようなテーパ形状^{[2][3][4]}とし、電磁界解析により寸法を決めた。

表1 500MHz帯大電力水負荷終端器の性能

項目	性能
周波数	508.58±2.5MHz
VSWR	1.20 (max)
耐電力	400kW (CW) (max)
流量	400 liter/min
耐水圧	1MPa (10 kgf/cm ²) (max)
導波管サイズ	WR1500 (381×190.5mm)
フランジ	UDR-6
流入水温	24℃～30℃

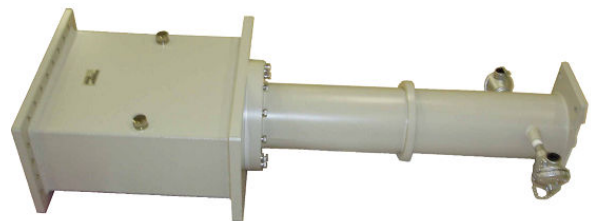


図1 : 500MHz帯大電力水負荷終端器外観写真

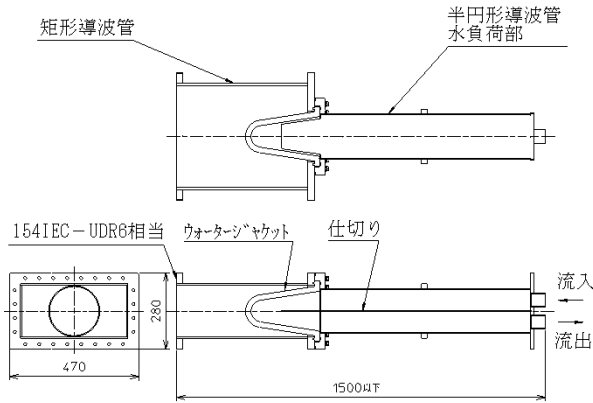


図2：500MHz帯水負荷終端器構造図

図1に外観写真、図2に構造を示す。

接続相手の4ポートサーキュレータのアイソレーションポートへは、長辺381mm、短辺190.5mmの矩形導波管で接続される。この矩形導波管に導かれた加速空洞からの反射波はウォータージャケットを介して一定流量の水により吸収減衰する。この際、ウォータージャケットの後方に半円形導波管水負荷部を配設した。この伝送路を前記流水の経路とし、電波吸収作用をもたせている。

電波吸収作用をする水は半円形導波管水負荷部の端部に配設した流入口により注入し、電波吸収後の温水は、流出口から排出し、循環機構により、冷却され、再利用のため流入口へ導かれる。

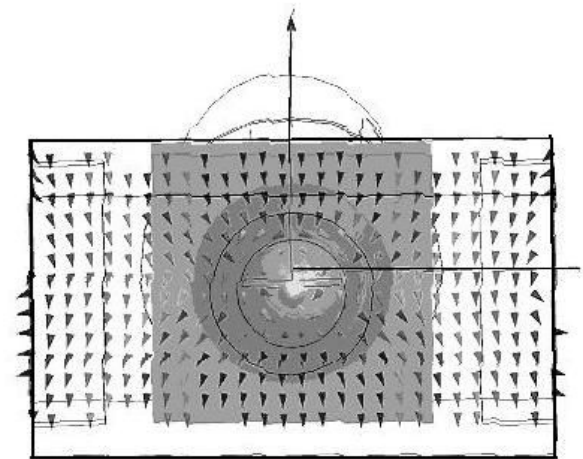


図3：ウォータージャケット内の電界ベクトル

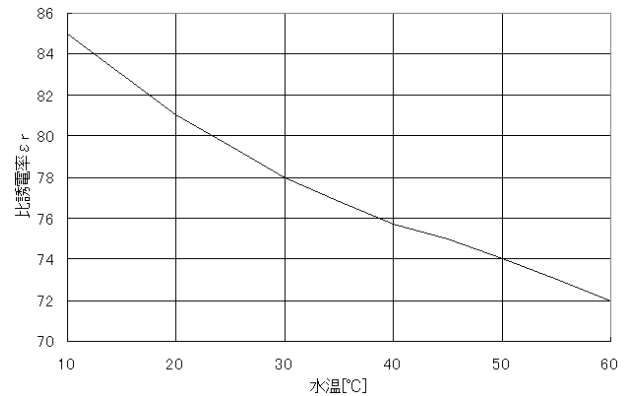


図4：水の比誘電率の温度依存性

3. 電気性能

図3に今回試作した500MHz帯大電力水負荷終端器の電磁界解析結果の一部を示す。

同図はウォータージャケット内部に突出した半円形導波管水負荷部の仕切り板先端部における電界ベクトルを示しており、水の誘電率の影響を受け、仕切り板(金属)と平行な電界成分が発生していることが分る。設計においては、この仕切り板と平行な電界成分に起因する不整合も含み、広帯域にインピーダンス整合を施している。

図4は水の比誘電率の温度依存性を示している。15°Cの水温上昇に対し、水の比誘電率は80(25°C)~76(40°C)の変化をする。

図5に今回試作した500MHz帯大電力水負荷終端器の小電力入力時の反射特性(リターンロス)を示す。

使用帯域(508.58±2.5 MHz)、水温20°C~40°Cにおいてリターンロスは-25dB(VSWR1.12)が得られた。

図6は図5で示した特性において周波数をクライストロン動作周波数(508.58MHz)に固定した時の反射特性(VSWR)を示している。

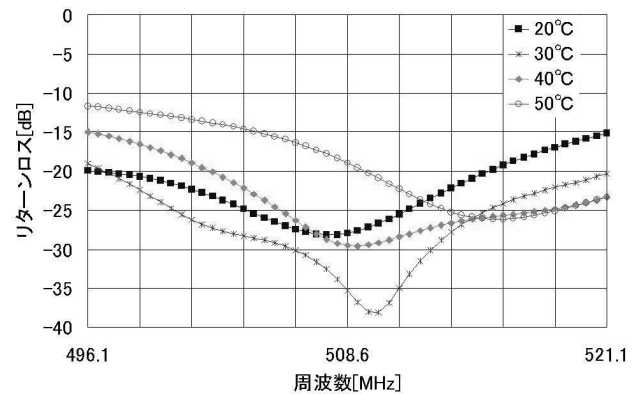


図5：500MHz帯大電力水負荷終端器の反射特性(周波数特性の水温依存性、小電力試験)

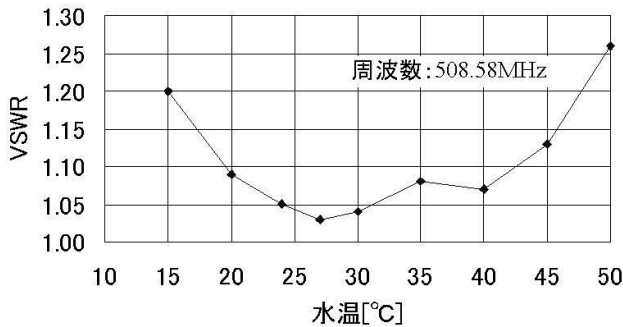


図6：500MHz帯大電力水負荷終端器の反射特性
(周波数固定時の水温依存性、小電力試験)

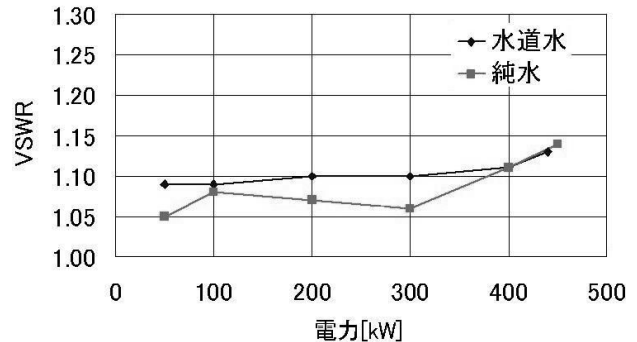


図7：500MHz帯大電力水負荷終端器の反射特性
(大電力試験)

4. 大電力試験

大電力試験^{[5][7]}はKEKの施設を借用して行った。冷却水は水道水、純水の2種類行い、流量400 liter/minを一定とした。図7にVSWRの電力依存性の結果を示す。水道水及び純水でVSWR<1.2以下が確認できた。また、導波管内部で放電が起こらないこと、電波漏洩が0.1mW/cm²以下であること、流出水温の温度上昇は計算値通りであることも確認できた。

小電力試験において大電力入力時の水の温度上昇を想定し、水温を上昇させたときの電気特性の確認をすることによって、大電力入力時の電気特性を推定することができるが、大電力試験では500MHz帯水負荷終端器内部の仕切りを境に流入口側と流出口側で水の温度差があるため反射特性(VSWR)に誤差が生じた。

また、水道水と純水の違いによる反射特性(VSWR)の違いは、複素誘電率が異なるためである。

5. まとめ

「ウォータージャケット構造」の500MHz帯水負荷終端器を試作し、性能評価試験を行った結果、目標性能を満たすことを確認した。

謝辞

500MHz帯水負荷終端器の開発の機会を与えて頂いたKEK中西助教授はじめ関係者には心から感謝致します。

参考文献

- [1] 高エネルギー加速器研究機構、Bファクトリー加速器のホームページ
(URL : <http://www.kek.jp/ja/index.html>)
- [2] 末武国弘、林周一 著”マイクロ波回路” オーム社1958
- [3] 蓮沼博、高木勝 著”マイクロ波基礎回路の設計” オーム社1964
- [4] 橋本修 著”電波吸収体のはなし” 日刊工業新聞社 2001
- [5] K.Ebihara, H.Nakanishi and E.Ezura “RF HIGH POWER WATER-LOADS FOR KEKB” Prc.Second Asian Accelerator Conference,Beijing China,2001
- [6] M.Ebert, F.-R.Ullrichi “GLYCOL SUSTITUTE FOR HIGH POWER RF WATERLOADS” Accelerator Conference,2005
- [7] S.Isagawa et al. “HIGH POWER CW KLYSTRONS AND MAINTENANCE OF WATER QUALITY” Proceedings of APAC98,1998