

[12P-41]

Status of the bench-test system for the tubes in the HIMAC DTL linac

^{*)}T. Fujimoto, S. Ishikawa, C. Kobayashi, Y. Sano, H. Ogawa, K. Ueda

*Y. Sato, *A. Kitagawa, *T. Murakami, *M. Muramatsu, *S. Yamada

Accelerator engineering corporation

2-13-1 Konakadai Inage-ku, Chiba 263-8555, Japan

*National Institute of Radiological Sciences

4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263-8555, Japan

ABSTRACT

The tetrode tube of SIEMENS RS2074SK is used for HIMAC DTL 1.4MW final amplifiers. We installed a bench-test system for this tube in 1999. This system can be used under low power operation with CW mainly for filament aging. This system consists of DC sources, drive-amplifier(5kW transistor amplifier) and 3/4 coaxial input and output circuits. We will also use this system to improve the DTL final amplifiers, for example to reduce the parasitic oscillation level. This paper describes status of this system.

HIMAC DTL 用真空管調整装置の現状

1. はじめに

HIMAC 入射器 DTL は質量電荷比 1/7 の重粒子を 800keV/u から 6MeV/u まで加速するが、そのためには 1.4MW の RF 電力が必要となる。DTL 高周波系では1台のトランジスタアンプと2台の真空管アンプをカスケード接続してこの電力を得ている。この最終段アンプの真空管には SIEMENS 製 RS2074SK を使用している。この真空管は 100MHz 付近の大電力増幅に適した真空管であり、その寿命は 20000 時間以上使用しても問題なかったという報告もある。しかし HIMAC では治療照射中のトラブルを防ぐために、メーカー保証時間の 2 倍である 8000 時間を目安に新品と交換し、交換した真空管は予備として保管している。

HIMAC 入射器ではこれら予備の真空管のエイジングを主目的とした真空管調整装置を計画し、HIMAC 棟 B2F に設置した。ここでは真空管調整装置の現状について報告する。

2. 真空管のエイジング

真空管を長時間放置しておくとも真空管内部の真空度が悪化していき、この状態で使用するとエミッションが減退して正常に動作しなかったり、電極間で放電を起こし、最悪の場合真空管を壊す原因となる。よって真空管内部の真空は常に良い状態に保っておく必要がある。一つの方法としては、フィラメントのみを点灯しその熱でガスを放出させる方法や低電圧、低負荷で動作させ電極表面からガスを叩き出す方法がある。放出されたガスは真空管内部のゲッターにより吸着され内部の真空度は向上する。その他プレート電極に数十 kV の高電圧を印加し、内部で放電させることによってガスを叩き出す方法もある。

HIMAC でもしばらく使用していなかった真空管を使用すると、しばらく真空管内放電を起こす頻度が高くなる経験をしているため、なるべく使用前にエイジングをしたいと考えているが、時間の関係で十分にできていなかった。本装置はこれらのエイジン

^{*)} T.Fujimoto,043-251-6440,aec2g@nirs.go.jp

グが可能なように、運転周波数 100MHz、プレート入力電力 36kW の CW 運転が可能な装置に設計されている。

3. 真空管調整装置の構成

真空管調整装置は RS2074SK 用の真空管アンプと drive アンプとなる 5kW 出力トランジスタアンプおよび各直流電源から構成される。図 1 にその概略図を示す。

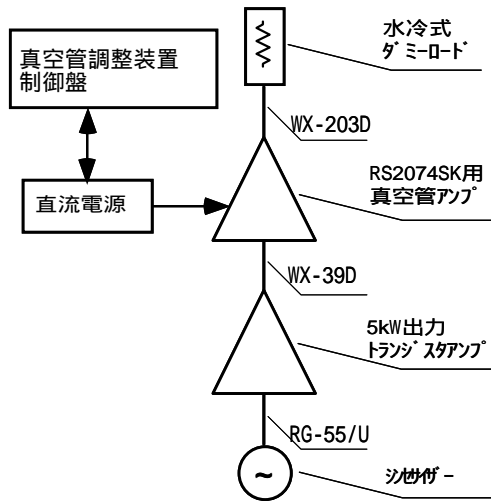


図 1 真空管調整装置の概略図

真空管アンプは DTL 最終増幅器と全く同じ回路構造となっている。この装置を利用して真空管のエイジングだけでなく、現在 DTL 最終増幅器が抱えている問題点の解決にも利用しようと考えた為である。真空管調整装置と DTL 最終増幅器の仕様、構成の違いは以下の通りである。

表 1 真空管調整装置の仕様

	真空管調整装置	DTL最終増幅器
周波数	100MHz	
最大duty	CW	0.36%
回路方式	グリッド接地	
入出力回路	3/4 同軸型	
プレートDC電圧	12kV	21kV
プレートDC電流	3A	100A
SG電圧	500V	1300V
CG電圧	-350V	-700V
ドライブ電力	5kW	100kW
最大出力	28kW(目標)	1.4MW

4. 真空管調整装置の動作および運転

4.1 真空管調整装置の動作

真空管調整装置は DTL 最終増幅器と同じ回路構成になっており、出力の結合方式も電磁結合で同じである。DTL のプレートインピーダンスは 100 程度であるが、調整装置ではプレート DC 電流のリミットが 3A のため、目標の出力を得るにはプレートインピーダンスを 2000 程度まで上げなければならない。そのため出力導波管の改造を行ったが、現状の構造では出力導波管への磁束のしみ込みが在ることから十分にインピーダンスを上げることができず、最大でも 1200 弱となった。よって真空管調整装置はアンプとして以下のような動作を行い、CW での最大出力は 18kW となっている。

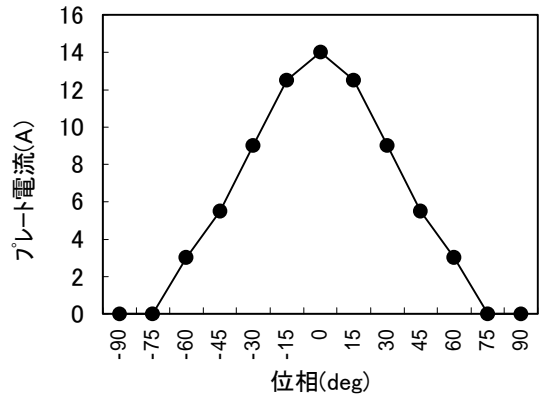


図 2 CW 運転時のプレート電流

表 2 CW 運転時の真空管動作

プレート基本波電流	5.419 A
2次高調波電流	3.431 A
3次高調波電流	1.411 A
プレート入力電力	40 kW
出力	17.2 kW
プレート損失	22.8 kW
効率	43 %
プレートインピーダンス	1172
プレート励振電圧	6348 V
トランジスタ 進行波	1244 W
反射波	116 W
Drive power	1128 W
カソード励振電圧	265 V
入力インピーダンス	31.13

また、アンプ調整の際 CW 出力では熱の問題があり、寄生振動対策として出力回路に接地してあるエレマ抵抗に大きな負担がかかり、連続運転は難しかった。そこでアンプ調整のほとんどをパルス運転で行った。現状のプレート電源はパルス対応になっていないが、電源内の平滑用コンデンサーがバンクコンデンサーの役割を果たし、duty0.1%で14A程度のDC電流を流すことが可能であった。パルス運転では140kW程度の出力を取り出すことができている。

4.2 運転の現状

HIMACには現在RS2074SKの予備が4本あり、このなかには以前電極間の放電が多発するため使われなくなったものもある。これらのプレート電極の耐圧を調べてみると、35kV程度で放電を起こす、もしくは1mA流れてしまう結果であった。DTLでは1.4MW運転時、プレート直流電圧21kV、RF電圧が17kV程度なのでこの耐圧での高出力運転は不可能である。測定に使用している高圧試験器は100kV、1mAのものであるが、これまでの経験からこの試験器で42kV、1mA以下、更に長時間の高圧試験で放電を起こさない状態でないと1.4MWの運転は難しいことが分かっている。よって今後エージングの目標としては高圧試験で42kVが安定に掛かるかどうかを目安に行っていきたいと考えている。よって、どの位の頻度でエージングを行っていくかもこの高圧試験によるプレート電極の耐圧をみて見極めたいと考えている。

これまで予備である4本の真空管に対してエージングを開始しており、そのうちの1本に関してはプレート電極の耐圧が復旧したため実際にDTL高周波アンプに組み込んで高出力運転を行った。この真空管は以前200kW出力程度の運転でも真空管内放電を起こしていたものであり、高圧試験でも40kV弱で放電を起こしていたが、エージングによって42kVが安定にかかるようになり、高出力運転でも1.2MW以上の運転が可能であった。

5. その他の利用

現在HIMAC DTLでは高出力運転時に多少の問題を

抱えている。1.2MW以上の高出力運転時、出力回路で火花することがあり、場合によっては真空管内で放電を起こし、各電極の過電流でFaultを起こすこともある。これについては高出力運転時に寄生振動を起こしての可能性が考えられる。RS2074SKの寄生振動は真空管の個性により多少の違いはあるかもしれないが1.27GHz付近で起こる。DTLでは出力回路にエレマ抵抗を配置してこの対策を行っているが、まだ高いレベルで寄生振動が発生している可能性がある。よって寄生振動の調査および寄生振動を減衰させる改良等が必要となるが、HIMACでは昼間の癌治療、夜間は物理実験等があり、2週に1回あるメンテナンス日以外装置に直接ふれて調査できる機会は少ない。そこでこの調査に真空管調整装置を利用したいと考えている。そのためにも現状では低出力のCW運転しかできない本装置をDTL最終段増幅器と同じ1.4MW出力(パルス運転)化したいと考えている。各電源はすでに1.4MW化を見据えて作られており、実現のためにはdrive ampとなる70kW出力程度のアンプが必要となる。

その他にもDTLにおける高出力運転を安定に行えるような改造等を、この装置を利用して調査したいと考えている。

6. 今後の予定

今後も予備真空管にエージングを行っていくとともにその結果をデータ化し、最適なエージング時間、頻度の見極めをしていきたいと考えている。また出力の1.4MW化の実現に向けて、まずは以下の検討を行っていきたいと考えている。

RF漏洩対策

70kWアンプの増設

プレート電源クローバー回路、バンクコンデンサの増設