

HIGH-POWER TEST OF L-BAND KLYSTRON FOR SUPER-CONDUCTING RF TEST FACILITY (STF) AT KEK KLYSTRON TEST HALL

K. Nakao¹, M. Yoshida, S. Michizono, T. Takenaka, S. Fukuda,
High Energy Accelerator Research Organization(KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801

Abstract

L-band 5MW klystrons are required to use for the KEK STF (Super-conducting RF Test Facility) RF source. In order to save the cost and to construct the test facility quickly, reuse of a klystron, which was operated in the JHP more than 10 years ago, was considered. Evaluation test was conducted using the modulator in the S-band linac under the condition of the short rf pulse of 2 μ s in the KEK klystron test hall. Cathode activity and the capability to output 5MW were confirmed in this test.

KEKクライストロンテストホールにおける大電力Lバンドクライストロンの大電力試験

1. はじめに

2004年のITRPの勧告によりILCは超電導技術により進められることになり、KEKでも超電導による技術開発が進められることになり、超電導RF試験装置(STF)のPhase1・2計画[1]が立案された。

このSTF・Phase-1のRF源[2]に関しては2005年末までにカップラー試験(RF電力1MW程度)を、2006年末までにはクライオモジュールまで建設を終えRF試験を終えることが要求されている。続いて2007年3月にビーム試験を行う予定である。このSTFを立ち上げるに際して、技術的、費用的に負担を軽くするためにKEKが持っているLバンドの資産の活用を試みている。その一つが10年前に展開されたJ-PARCの前身であり周波数1.296GHzを採用していたJHP(Japanese Hadron Project)の資産[3]である。特にLバンド大電力クライストロンとしては出力5MW、周波数1.3GHz、RFパルス幅2ms、繰返し5Hzの仕様のものが要求されているが、新規に購入すると納期が11ヶ月かかり、早くから準備するのは困難である。一方で10年間倉庫入りしていた周波数が1.296GHzのクライストロン(旧トムソン社; TH2104A)がKEKにあるので、これを再評価することはSTF-RF源にとっては重要な位置付けになる。本論分はこのLバンドクライストロンの再評価試験に関するものである。

STF-RF源は電子陽電子入射器のRFグループで低電力RF、モジュレータ、クライストロン試験、電力分配系(立体回路系)まで受け持っている。それぞれの部分が現在進行形で進んでいる。Lバンドのクライストロンを再評価するに当たってSTF-RF源の仕様で試験する必要はない。目的は10年間倉庫入りしていた管が問題なく使用できるかどうか、及びJHP計画とSTFでは周波数が若干異なるのでそ

の違いがOKかどうか等を確認することである。この確認試験を電子陽電子入射器のRF装置を用いて行ったのが本稿の報告である。試験は電子陽電子入射器のクライストロン試験ホールで、通常Sバンド50MWクライストロン試験装置(最近、50MW・Cバンドクライストロンも試験している)を用いたRFパルス幅数msの試験を行った。本稿でその結果について報告する。

2. Lバンド・クライストロン-TH2104Aについて

前章で述べたように今回試験したLバンドクライストロンは1986年から始まったJHP計画のために購入され他者で1994年にLバンド仕様に変更になった時点でお蔵入りしたものである。表1にTH2104AとSTF-RFの2台目として購入中のTH2104Cの諸元をまとめた。JHPでは文献[3]にある通り、周波数1.296GHzで最大140kV、RFパルス幅100 μ s、繰返し5Hzの試験が行われた。

計画		JHP	Phase-I-1	Phase-I-2
クライストロン		TH2104A	TH2104A	TH2104C
運転周波数	MHz	1296	1300	1300
マイクロパービアン	μ P	2.1	2.1	2.1
動作電圧	kV	136	136	128
ビーム電流	A	100	100	95
ビームパルス幅(70%-70%)	μ s	650	1700	1700
RFパルス幅(90%-90%)	μ s	600	1370	1370
繰返し	Hz	50	5	5
出力電力(先頭値)	MW	5	5	5
出力電力(平均値)	kW	150	37.5	37.5
利得	dB	47	47	50
効率	%	45	45	46

¹ E-mail: katsumi.nakao@kek.jp



図1 Lバンドクライストロン(右)とソケット



図3 Lバンド・クライストロンアッセンブリと導波管系・大電力水負荷

3. クライストロン低圧試験

図1に今回試験を行ったLバンドのクライストロンを示す。使用するクライストロンは、前述の通り1986年に購入し、JHPで運転後、10年以上倉庫に保管されていたものである。型名は、旧トムソン社(現タレス社)製のTH2104Aで諸元値については表1に示した通りである。試験は現在陽電子・電子ライナックのSバンド・クライストロンで使用しているパルストランス、ヒータトランス及びパルストランスタンクを用いて行った。Sバンド・クライストロンのヒータとヒータトランスとのコンタクトはスプリングを用いているがTH2104Aではコンタクトの方法が異なっているため図1のカソード下部にあるソケットを製作してコンタクトを図った。STFにおける装置でも脱着の容易さを考慮しここで用いた方法を採用する。

通常のSバンド・クライストロンの受け入れ試験においては高圧試験を行う前にカソードの活性度を確認するために低圧(直流1 kV)でのエミッション特性やマイクロパービアンスを測定してクライストロンの状態を事前に把握するようにしている。このLバンド・クライストロンの試験においても同様の測定を行なった。図2にその測定結果を示す。概ね正常な結果がえられた。ヒータ電力の動作点(2次側で約600W)も空間電荷制限領域内である。マイクロパービアンスはメーカーでの値より高くなっているが、これは印加電圧が1 kVと低い為である。低圧試験の結果クライストロンが正常である事を確認した。

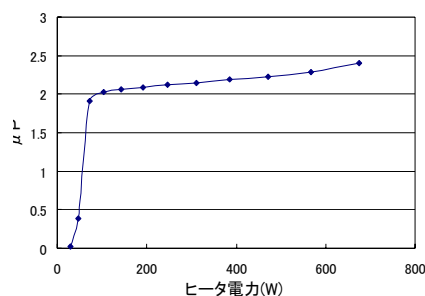


図2 直流1 kV印加によるエミッション試験結果。縦軸はマイクロパービアンス。

4. クライストロン高圧試験

図3にLバンド・クライストロンアッセンブリと導波管及び大電力ウォーターロード(水負荷)を示す。前述の通りこのクライストロン・アッセンブリは電磁石を除いてSバンドクライストロン用の装置を使用している。クライストロンに電力を供給するモジュレータはXTF用に製作され、現在Cバンド・クライストロンのテスト等で使用しているインバータ電源を用いたモジュレータである[4]。当然PFNと負荷間にはミスマッチであるのでその対策としてPFNコンデンサー並列回路を直列にしてマッチングをはかった。完全にミスマッチの解消はならなかったが、試験には支障のないレベルであった(図4)。

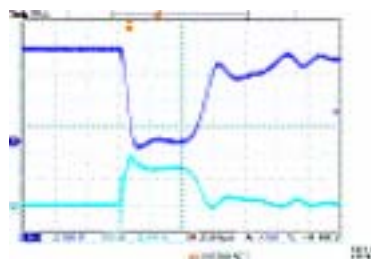


図4 高圧電圧パルス波形(上)及び電流パルス波形(下)

試験は、動作の確認(周波数依存性及び先頭出力値)なので、繰り返し1Hz、高電圧のパルス幅 $4\mu\text{s}$ 、RF出力のパルス幅 $2\mu\text{s}$ の条件で行った。ウォーターロードの前に方向性結合器付の導波管を取り付けた。これは予めネットワークアナライザによりその結合度を測定してあり[5]、その値をギガトロンクス電力計に入力して出力を測定した(図5)。測定は1300MHz、1296MHzの2ヶ所の周波数について行った。図6に各印加電圧に対する出力を示す。周波数による差は殆どなく電圧125 kV近辺で5MW以上を確認した。この時のパービアンスは各測定点でも約2.3で、低圧試験時のそれとほぼ同じ値となった。仕様は2.1なので若干の誤差が含まれているものと思われる。詳しくはSTF-RFステーションで再度確認する予定である。

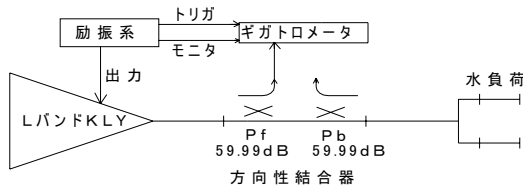


図5 入出力測定の概要

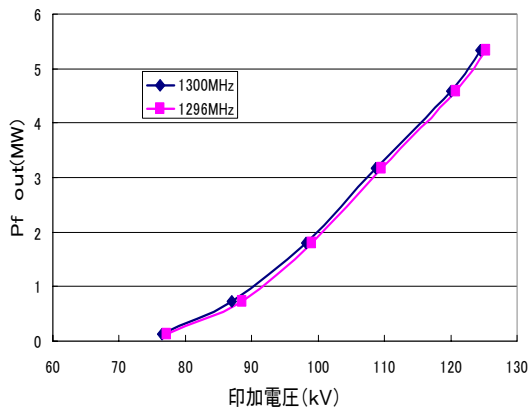


図6 電圧対RF出力特性

図7に入力電力を変化させた時の出力電力の変化を示す。1296MHzのほうが1300MHzよりも利得が高く、飽和特性もクリアに現れている。過去の試験結果との比較は、資料が散逸しているためにきちんと出来てはいないが、TH2104Aが今後使用できるかどうかに関する確認としては十分な試験であり、STFのRF源として十分使用できることが確認された。

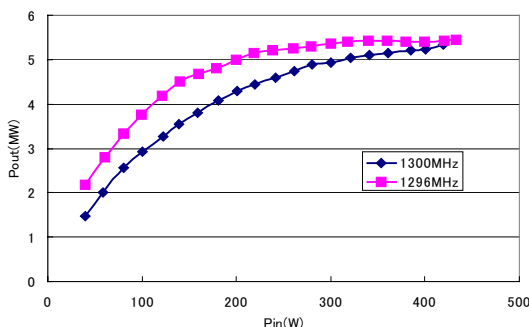


図7 入力電力対出力電力特性

5. まとめ

まず今回の試験の第一の目的である長期間放置していたクライストロンの高圧印加時の動作については何ら問題なく正常に機能した。高圧投入時に若干のクライストロンの内部真空の悪化は有っ

たが直ぐに引き戻して試験中の真空悪化は無かった。次に各種パラメータについてであるが高圧は125 k Vまでかけた。これはJHPでの試験時の先頭出力値確認の目安の値であるので、それ以上の電圧印加も可能である。マイクロ・パービアンスについては約2.3と若干高めの数値になっているが、これは容量分割器の分割比の誤差の問題であり、クライストロン自身の問題では無いと思われる。入力は最高450Wまでの入力であった。その時の出力は5.4MWでJHPの運転条件を概ね再現したと思われる。このクライストロンの以前の動作周波数は1296MHzであるがSTFで使用予定のLバンド・クライストロンの動作周波数である1300MHzでの試験結果においてもほぼ同様の結果が得られた。

今回のLバンド・クライストロンの再評価試験によって、今後のSTFの高周波源の運転に対して有用なデータが得られた。

参考文献

- [1] H. Hayano, "Superconducting RF Test Facility(STF) for ILC", presented in this meeting.
- [2] S. Fukuda, et al., "RF Source Development of Superconducting RF Test Facility(STF) in KEK", presented in this meeting.
- [3] JHP Design Report, JHP-10/KEK Internal 88-8(1988)
- [4] M. Akemoto, et al., "Pulse Modulator for X-band Klystron at GLCTA", Proc. of 1st Annual Meeting of Particle Acc. Soc. of Japan, Aug.4-6, Funabashi, Japan, pp.87-pp.89, (2004).
- [5] T. Takenaka, et al., "Plan of the Power Distribution System for KEK Superconducting RF Test Facility (StF)", presented in this meeting.