

DESIGN AND MANUFACTURING OF THE L-BAND PULSE KLYSTRON FOR JHP

S.FUKUDA, Y.TAKEUCHI, H.HISAMATSU, A.ANAMI, M.KIHARA
AND *A.TAKAHASHI

NATIONAL LABORATORY FOR HIGH ENERGY PHYSICS
OHO 1, TSUKUBA, IBARAKI, JAPAN

*MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

ITOZAKI 5007, MIHARA, HIROSHIMA, JAPAN

ABSTRACT

A L-band high power klystron for JHP (6 MW output power and 600 usec pulse width) was designed in KEK and is under manufacturing in MHI. An design of the klystron and test results of a diode test tube and a high power klystron window were described. Status of manufacturing was also described.

JHP用Lバンド大電力パルスクライストロンの設計と製作

(1) 始めに

大型ハドロン計画では1 GeV陽子線形加速器が用いられる。その高 β セクションのマイクロ波源として 周波数1296 MHz、パルス幅600 μ sの大電力クライストロンが33本使用される。必要な電力は ビーム加速、導波管系でのロス、各種マージンを見積ると 出力電力6 MWが必要とされる [1]。KEKではそのマイクロ波源の研究のために、クライストロンの設計、試作が計画されている。本稿はそのクライストロンの設計、試作に関する報告である。

(2) クライストロンの仕様

(1) 節で述べたように出力電力6 MW、ビームパルス幅600 μ sのクライストロンが必要である。繰り返し50 ppsで パルス幅が長いことを考慮すると、デューティは3%と高いのが特徴である。効率40%以上を見込んで 尖頭パルス電圧140 kV、尖頭ビーム電流10.4 A (マイクロパービアンズ $2 \mu\text{A}/\text{V}^{3/2}$) が供給できるパルサーが 既に完成している。120 kV以上ではモジュレーション・アノード方式のクライストロンは動作上問題があるので、この電源はラインタイプパルサーとなっている [2]。従ってクライストロンの電子銃は二極管方式である。必要な利得はRFシステム全体を考えると 50 dB程度となり、5空洞クライストロンで十分である。以上を総合すると、クライストロンの仕様は表1のようになる。

(3) クライストロンの設計

このクライストロンの印加電圧は140 kVと高くはないが、パルス幅が600 μ sと長い

ために設計上CW動作に近いことを考慮する必要がある。電子銃は実績を考慮して5045管のBIカソードを用いた電子銃とした。短パルス(3.5 μ s)で350kV運転の実績があるが[3]、Stapransらによる経験的な実効耐電圧因子[4]から考えると、600 μ sの場合180kV印加と同等となるので、ある程度電圧マージンがある勘定になる。電子銃及びコレクターの設計については既に報告されている[5][6]のでここでは省略する。ドリフト管径も5045管と同じにとると3倍の高調波迄カットオフとなり、高調波に起因する不安定現象も除けて都合がよい。空洞の配置や離調周波数については、まず既存の5空洞クライストロンでパラメータの解っているものについて、低減プラズマ波長及び動作周波数でスケージングした値から出発して、JPNDISKコード[7]及びFCIコード[8]を用いてシミュレーションを行って決めた。シミュレーションで最適であった集束磁場は、大ざっぱには5045管の集束磁界を0.7倍したものに出力空洞付近の磁場を若干修正したものであった。ドリフト管径を細くしても集束磁界としては余り強くない磁場(最大約1000ガウス)で使用できる結果となっている。効率を上昇させるために、第3~第4空洞間距離を少し長めに取り($L_{34}/\lambda_0 \sim 0.21$)第二高調波空洞は使用しなかった。FCIシミュレーションの結果では、140kV, 104Aのときに出力 $P_0 \sim 8.7$ MW, 効率60%という値を得た(図1)。2マイクロパービアンスの管については効率60%という予測値は大き過ぎると思われるのでテストとの対応が興味深い。その他設計上では以下の点に留意した。(イ)空洞の冷却: デューティが高いので冷却は空洞の側面のみならず上下方向についても冷却水路を設け、冷却効率を上げた。(ロ)マルチパクターの防止: 第1~第3空洞のギャップ先端でのマルチパクターリングを防ぐためにクラウン構造を採用した。(ハ)窓: セラミック表面でのマルチパクター放電を防ぐためにTiNコーティングを行った(5節参照)。(ニ)窓の保護: 出力空洞ギャップで発生した二次電子やX線が直接窓に入射して窓を破損しないように、出力導波管をステップ付き導波管として、ギャップから窓が見えないような構造とした。(ホ)重要な構成要素である電子銃、コレクター及び窓についてはそれぞれ大電力テストで評価を行った。これらについては(4)(5)節で述べる。

表1 クライストロンの仕様

最大ビーム電圧	140 kV
最大ビーム電流	104 A
(パービアンス)	2.0 μ A/V ^{3/2}
ビームパルス幅	600 μ s
繰り返し	50 pps
尖頭ビーム電力	15 MW
平均ビーム電力	450 kW
最大RF出力(目標値)	6 MW以上
平均RF出力	180 kW以上
効率	40%以上
利得	50 dB以上
空洞数	5
電子銃	二極管方式、BIカソード
集束方式	電磁石集束

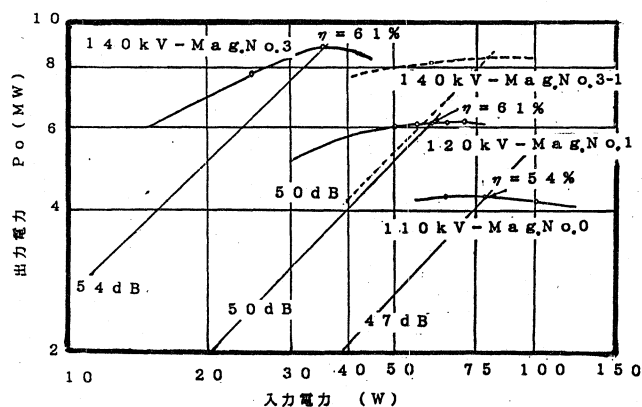


図1. FCIシミュレーションの結果

(4) テストダイオード

前述のようにパルス幅 $600\mu\text{s}$ と長いために 電子銃の耐圧は短パルスの時よりも厳しい。またデューティ3%と比較的高いので 平均ビーム電力も 450kW に達しコレクターの負荷も厳しい。そのためにテストダイオードを製作してそのテストを続けて来た。パルサーの制限でビームパルス幅 $400\mu\text{s}$ であった時点でのテストは終了した[6]。今年度パルサーのPFNが增強されたので[9] $600\mu\text{s}$ のビームパルス幅でのテストも行い、ほぼ終了した。

(5) 大電力窓の試験

RFの平均電力も 180kW と高いので 大電力窓の開発も重要である。当初HA95(純度95%のアルミナセラミック)を用いた大電力窓の試験を行った。RFパルス幅 $375\mu\text{s}$ 、 5MW のRFの時、窓の中央部の温度は 100°C を越えた(外周部は 25°C の水で冷却)。このデータから 最大定格の時のセラミックの温度を見積ると 200°C 弱となりかなり厳しい条件であることが判明した[10]。その後UHA997セラミック(純度99.7%)のメタライズが通常のMo-Mn法で出来るようになったので、このアルミナを用いた窓の開発も進めている。TiN薄膜層も含めた実効 $\tan\delta$ を測定する測定空洞[11]を製作して測定したところ、HA95に比べて実効 $\tan\delta$ は1桁小さいことが解り、実用化に期待が持てそうである。TiN膜厚 60\AA と 100\AA の2種類の窓が完成し今期、夏期に試験を行う予定である。

(6) クライストロン本体の製作

クライストロン1号機は細部の設計を終え、現在製作中である。これは(4)節で述べた電子銃とコレクター、(5)節で述べたHA95セラミックを用いた窓を採用している。製造は三菱重工三原製作所で行っているが、この種の製作は初めてと言うこともあり、諸般の事情で製作スケジュールは遅れ気味である。今まで経験したものとしてはロー付けの失敗、ロー付け後の空洞の共振周波数のずれ、段付き導波管の製作や出力空洞の結合度と同調のプロセスの手間どりなどがある。本体は今年度、秋期に納入され、KEKでのベーキング、チップオフ、エージングを納入後行う予定である。集束磁石及びRF測定(出力電力の測定やリーケダイアグラムの測定)のコンポーネントは一応準備されている。今後1号機のテストを行い、次のステップに進む予定である。

参考文献

- [1] 大型ハドロン計画陽子ライナックワーキンググループ報告II, JHP-14 (1990)
- [2] S.Anami et al., Proc. of 1989 Particle Acc. Conf., Chicago, IL, USA(1989)
- [3] G.T.Konrad, Proc. of 1984 Linear Acc. Conf., Seeheim/Darmstadt, West Germany(1984)
- [4] A.Staprans, Presented at the 1985 High Voltage Workshop, Monterey, Ca, USA(1985)
- [5] S.Fukuda et al., Proc. of the 15th Linear Acc. Meeting in Japan, 306(1990)
- [6] S.Fukuda et al., Proc. of the 16th Linear Acc. Meeting in Japan, 84(1991)
- [7] H.Yonezawa et al., SLAC-TN-84-5, May(1984)
- [8] T.Shintake, KEK Report 90-3, May 1990 A/D
- [9] M.Kawamura et al., presented to this meeting
- [10] Y.Takeuchi et al., Proc. of 1991 Symp. On Acc. Sci. And Tech., Wako, Japan(1991)
- [11] S.Michizono et al., presented to this meeting