

# RF SOURCE FOR THE JHP 1-GeV PROTON LINAC

S. Anami, I. Abe, F. Hanaki, Z. Igarashi, M. Kawamura, T. Kubo, C. Kubota,  
K. Kudo, M. Ono, E. Takasaki, T. Takashima, T. Takenaka and M. Kihara  
KEK, National Laboratory for High Energy Physics

## ABSTRACT

The 1-GeV proton linac for the JHP requires 14 UHF klystron amplifiers for a RFQ and 13 DTL's, and 36 L-band klystron amplifiers for 36 CCL's. The UHF amplifier uses a modulating anode type klystron capable of producing an output power of 2 MW, and will generate an output power of 1.5 MW. An L-band klystron used needs capability of a peak power of 6MW. A line type modulator for L-band klystrons was fabricated as a prototype and tested with a klystron load (TH-2104A). A dc power supply with a crowbar circuit and an anode modulator for UHF klystrons were fabricated. An outline of the rf system is described here.

## 大型ハドロン1 GeV陽子リニアックのRF源

### 1. はじめに

大型ハドロン1 GeVリニアックの高周波源は、加速空洞からの要請に対応して、RFQ及びDTL用となるUHF (432 MHz)系が飽和出力1.5 MWのクライストロン増幅器14台で、CCL用となるLバンド (1296 MHz)系が飽和出力4.5 MWのクライストロン増幅器36台でそれぞれ構成される。これら増幅器当たりのピーク出力は3%と言う高いデューティ (パルス幅600  $\mu$ s、繰り返し50 Hz)のもとで実現する事は決して容易なものではない。又、これら50台の増幅ユニット全てが、同時に、且つある定められた設定値の狭い許容範囲内で安定に動作しなければならないと言う陽子リニアック特有の厳しい要求に対して、今日ある加速器と同じ程の稼働率を達成しようとする事は更に困難なことである。この様な事から、特にクライストロンに対しては、高い完成度と信頼性を強く求めるのはもとより、出力能力に対して十分な余裕を持たせる為に使用値の1.3倍を要求仕様値としている。この結果、この開発期に製作されるパルス電源等の試作器については、それがクライストロンの評価試験器をも兼ねなければならない事から、その出力容量を実機に比べやはり1.3倍にしなければならないことになる。

高周波源の主要構成機器となるクライストロンやパルス電源などの開発は、87年度より始まり、現在満3年が経過したところである。この間、Lバンド系は、パルス電源を製作し、クライストロンを購入した。そして、これらの大電力試験ではほぼ目標値に近い結果を得る事が出来た。又、UHF系については、高圧電源とクライストロン低圧電源の製作を昨年度ほぼ終了させ、本年度よりクライストロン本体や励振器、また立体回路などの準備が開始したところである。

### 2. クライストロン

UHFクライストロンに求められる性能は、使用値の1.3倍という事からピーク出力2MW、平均出力65kW（デューティ3.25%）になる。この要求性能を満たすクライストロンは、多数使用を前提としない現段階においてその完成度はともかくとするならば、既製品の中から求める事が出来る。又、この程度の出力であれば、カソード電圧が110KV程度で、カソードの直流印加も耐圧上余り問題とならず、大電力を必要とするカソード電源が直流ですむことになる。この様な事から、4MW出力以下の長パルス用クライストロンは変調アノード（M・アノード）型となるのが一般的傾向の様である。本高周波源で用いるUHFクライストロンも後々の事を考慮してこの一般性に合わせ、又1台の電源で多数のクライストロンを動かす事が出来ると言う有利さもあるため、M・アノード型を採用する事にした。この様な方針の基に今春トムソンTH-2134の購入を決めた。その入荷は91年3月の予定なので、性能評価はそれ以降となる。TH-2134の特性は表1で示している。又、性能上からはこのクライストロンが我々の求める最終要求を全て満足している。

Lバンドクライストロンについては、ピーク出力6MW、平均出力180kW（デューティ3%）が求められる性能である。このピーク値、平均値の両者を満たすクライストロンは、Lバンドと言うことでなくても、既存の中から求めることは出来ない。しかし、ほぼこれに近いものとしてトムソン社が最近FEL用として開発したものがある。このクライストロンは、TH-2104と呼ばれ、周波数は1.3GHz、パルス幅200 $\mu$ s時のピーク出力は10MW、平均100kWと言うものである。本高周波源で88年度に購入したクライストロンは、このTH-2104を小変更したものである（TH-2104A、表2）。この購入クライストロンはパルス幅600 $\mu$ sでピーク5MWと、最終要求性能を僅かに満たしてないが、敢えてその性能を求めなかったのは、価格的理由も大きい。最初に購入するクライストロンには出来るだけ開発的な要素を入れず、完成された

既存品に近いものを、と言う基本的な考えによるものである。クライストロンは、それ自身が十

表1. UHFクライストロンの特性

		最終性能	H-2134	使用値
構造		5空洞内臓、カソード下方		
窓、導波管		ビルボックス、加圧可(1kg/cm <sup>2</sup> )、WR-1800		
周波数 (MHz)		432	←	←
ピーク出力 (MW)		2	←	1.5
平均出力 (kW)		65	←	49
パルス幅 ( $\mu$ s)		650	←	←
繰り返し (pps)		50	←	←
デューティ (%)		3.25	←	←
カソード電圧 (kV)	MAX.	110	95	98
カソード電流 (A)	MAX.	45	40	38
Mアノード電圧 (kV)	MAX.	95	80	85
効率 (%)		40	55	40
利得 (dB)		42	46	42

表2. Lバンドクライストロンの特性

		最終性能	H-2104A	使用値
構造		5空洞内臓、カソード下方		
窓、導波管		ビルボックス、加圧SF <sub>6</sub> (2kg/cm <sup>2</sup> )、WR-650		
周波数 (MHz)		1296	←	←
ピーク出力 (MW)		6	5	4.5
平均出力 (kW)		180	150	135
パルス幅 ( $\mu$ s)		600	←	←
繰り返し (pps)		50	←	←
デューティ (%)		3	←	←
カソード電圧 (kV)		140	120	126
カソード電流 (A)		105	85	90
パービアンス ( $\mu$ A/V <sup>3/2</sup> )		2 $\times$ 10 <sup>-6</sup>	←	←
効率 (%)		40	48	40
利得 (dB)		43	46	43

分な性能を持ち、それが確認されることが最も重要な事であるが、試作された電源の負荷として、又、耐電力性試験の必要な立体回路部品や加速空洞等に対する高周波発生源としても、その重要な役割を果たさなければならない。現段階は総合的な開発の進行が先ず第一であり、たとえ性能的に十分でなくても、ある程度確実に動作することを優先した。

### 3. クライストロン高圧電源

UHFクライストロンはMアノードを内蔵するタイプであり、カソード電極用としては出力110 kV、パルス負荷電流45 Aの高圧直流電源、又Mアノード電極用としては出力パルス電圧85 kV（カソードに対して正極性、外部クランプ電源により可変）のパルス変調器がそれぞれ必要になる。これら一式は昨年度（89年度）製作された。このうち高圧直流電源は、構成的にトリスタンで使用されているCWクライストロン用とほとんど同じものとなるため、その基本的な設計はトリスタン電源を手本とした。一方のMアノード用パルス電源は、その方式をいかにするか検討に多くを費やしたが、結局、最も通常的な電子管を用いた方式となった。この製作されたUHF用電源は、負荷となるクライストロンが未入手のため、まだ実際の試験が行われていない。今後、抵抗負荷による部分的な試験を行うとともに、不十分な制御、監視系も仕上げていくことにしている。なお、この電源の設計及び製作についてはその詳細が今研究会で発表されている。

Lバンドクライストロンは、カソード電圧が140 kVになることから、カソード変調タイプのものになり、カソード電極用としていわゆるパルス変調器が必要になる。この変調器の出力電力は、ピーク15 MW、平均450 kWと今までにない大きな値である。将来的にこのタイプのものが36台必要になり、建設費に占める割合も多く、高周波源の開発で最も力を注がなければならない重要なところである。このようなことから、本開発の検討段階から真っ先に取り掛かれ、開発初年度にその試作器の製作を行った。この試作器の基本性能は、後にPFNを追加することによってパルス幅600  $\mu$ sまで可能としているが、経済的な理由と技術的な困難さを段階的に解消して行こうとする考えから、最初のPFNは200  $\mu$ sであった。その後400  $\mu$ sに強化され、来年度（91年度）には最終パルス幅600  $\mu$ sに拡張される予定となっている。この試作変調器については、その具体的な設計、製作、そして試験結果など、既に多くが発表されているので、ここでは製作後の変更と改良について述べることに止める。

本パルス変調器が高デューティという事で最も苦労したのは、やはりスイッチング素子であった。幸い、ITT社で新たに開発された高デューティサイラトロンF-259を入手出来、所定のパルス出力を得る事が出来た。現在このサイラトロンを2本並列にして600  $\mu$ sのパルス幅強化時に備えている。しかし、長パルスで、しかも平均出力電流が20 Aを越える本電源のスイッチング素子としては、サイラトロンは不向きであり、通常的な寿命も期待出来ず、固体化する事が必須である。大電力パルス電源でSCRスイッチを用いる場合、問題となるのが許容される $di/dt$ である。しかし、繰り返し使用での寿命試験の結果、200 A/ $\mu$ s以下では一般のSCRでも使用できる事が分かった。現在、3.5 kV、300 Aの素子を6個スタックしたものを9 kVで評価しているところであり、最終的にはこのスタックを5直列にして常用耐圧45 kVとする予定で、その製作準備を進めている。