

X-BAND HIGH POWER PULSED KLYSTRON

Kazutaka Hayashi, Toshiji Tanaka, Kazuhisa Hemmi, Hiroshi Iyeki, Toshio Onodera

Mitsubishi Electric Corporation, CEW

1-1 Tsukaguchi Honmachi 8-chome, Amagasaki, Hyogo, 661 JAPAN

ABSTRACT

An X-band pulsed klystron is a key device to make a compact medical and industrial electron linear accelerator system. A 4 MW (average 4 kW), 5 μ s, 9.3 GHz klystron is described in this paper. A prototype klystron had been built, and 4.6 MW peak power was measured at the 151 kV, 60A beam input. Typical electrical and mechanical characteristics of production-type klystrons are presented.

X-バンド クライストロンの開発

1. はじめに

電子線型加速器は、工業及び医療の分野に広く用いられている。しかし、現在のシステムではS-バンドあるいはそれより低い周波数のRF源を用いているため、装置及びシールドルームを含む設備はかなり大型となっている。XバンドのRF源を用いた加速器システムが実現できれば、装置は小型・軽量にでき、設備も小さくできる。このことは市場の拡大、また、線型加速器の応用範囲を広げる可能性をもっている。現在のところ入手できるX-バンドの高出力RF源は、マグネトロンか、CFAに限られ、しかも、その出力も1MW程度(将来的にも、2MWどまりと考えられる)しか得られず、加速器システムには不十分である。一方、クライストロンは、マグネトロンやCFAに比べ高出力が期待できるが、市販されていない。そのため、X-バンドの高出力クライストロンの開発を始めた。

2. 開発目標

X-バンドとS-バンドの波長比は約1/3であることにより、基本的にクライストロン寸法比は1/3となる。しかし、(1) 細く均一な大電力ビームを作ること、(2) 高い電力密度に耐えられること、(3) 高電界に耐えられること、等の困難により、大巾なスケールダウンはできない。またこれらの困難のため、X-バンドのクライストロンの出力電力はS-バンドに比べて約1桁下げて考える必要がある。

Table. 1に主な目標パラメータを示す。動作周波数は、信号源やRF部品の豊富な9.3GHzとした。尖頭マイクロ波出力は4MWを目標に選んだ。S-バンドの高出力クライストロンの出力レベルに対応するとともに、加速器システムからの高出力要求に対して最小限対応できる出力レベルである。RFパルス幅とくりかえし数は、それぞれ、5 μ s、200ppsとした。RF前段アンプとして固体アンプが利用できるように、飽和利得は60dBを目指した。

3. 試作クライストロンの設計

Table. 2に試作クライストロンの電気的特性の設計値をしめす。

(1) 電子銃

低パービアンスでは陰極の電流密度を下げることで、細く均一ビームを作りやすい。また、クライストロンの効率も良くなる。しかし電子銃、出力空洞の電界強度が大きくなり放電を起こしやすくなる。また、高電圧の絶縁にかかる大型化・コストアップをとまなう。最大電圧は150kVと定め、効率を45%~50%と仮定してパービアンス1.1 μ AV^{-3/2}を選択

Table. 1 X-バンドクライストロン
開発目標

動作周波数	9.3GHz
ピーク出力	4MW
RFパルス幅	5 μ s
パルスくりかえし	200pps
飽和利得	60dB

Table. 2 試作クライストロン
電気的特性(設計値)

ビーム電圧	146kV
ビーム電流	61A
パービアンス	1.1 μ AV ^{-3/2}
空洞数	6
効率	45%
電子銃最大電界強度 (146kV印加時)	21kV/mm
出力空洞最大電界強度 (4MW出力時)	81kV/mm
ブリルアン磁界強度	1110G

した。電極表面電界を抑え、高収れん型の電子銃を設計した。含浸型陰極に要求される電流密度はSバンドクライストロンに比べ1.5倍となった。また、高抵抗ヒータを用いてヒーター電流の値を抑えているのも一つの特徴である。

(2) 空胴

一次元ディスクモデル計算にて空胴パラメータを決定した。十分な利得を得るため、6空胴と決めた。また、発振をふせぐために高周波共振周波数がそれぞれ別の値になるように選んだ。

(3) 窓

マイクロ波出力はピルボックス型窓より導波管(WR-112)を通して伝送される。窓のアルミナ板表面には、Ti酸化膜をコーティングした。

4. 試験結果

Fig. 1に試作クライストロンの写真を示す。

試作クライストロン電子銃特性の測定結果をFig. 2に示す。6 μ sビームパルス幅で、151kV安定に電圧印加された。そのとき、60Aのビーム電流を得た(ヒーター電力70W)、パービアンスは $1.0\mu A/V^{3/2}$ であった。Fig. 3.4.5に高周波特性を示す。RFパルス幅4 μ s、くり返し20ppsでパルス尖頭出力4.6MWが得られた。このときの飽和利得は60dB、効率は50%であった。この最大出力を得るために最適化した磁場強度は最大値2300Gであった。出力電力は、水負荷を用いてカロリメトリックに測定した。Fig. 6にビーム波形とRF出力波形を示す。

一次元ディスクモデルでの計算値と比較すると、効率で4%低く、飽和利得で2dB低かったがほぼ一致したと考えられる。

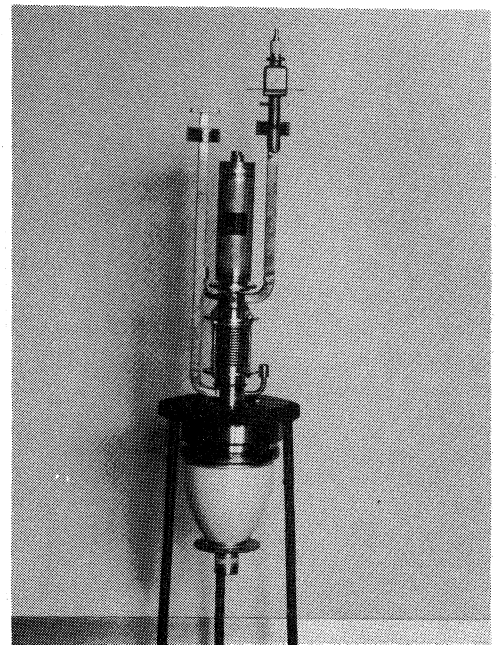


Fig. 1 試作Xバンドクライストロン

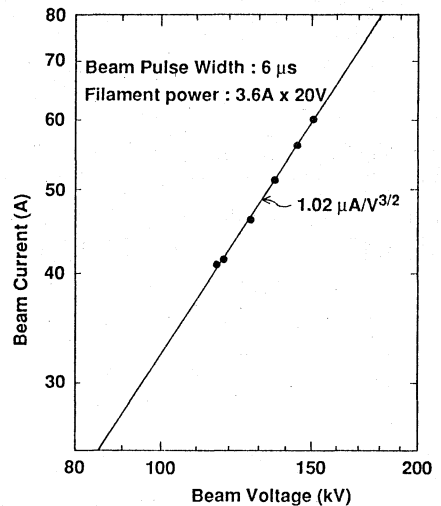


Fig. 2 電子銃特性

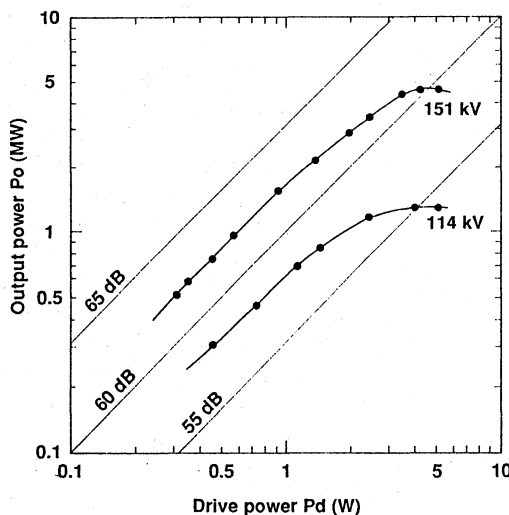


Fig. 3 入出力特性

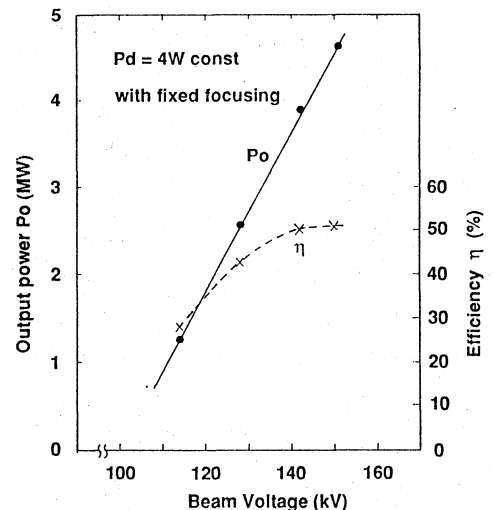


Fig. 4 ビーム電圧に対する出力電力と効率

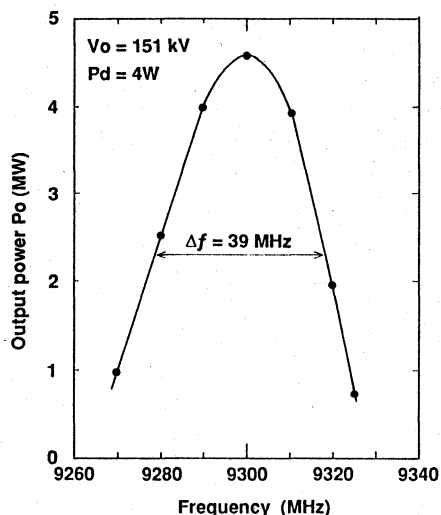


Fig. 5 周波数特性

5. 生産モデル

Fig. 7、Table. 3に生産モデルクライストロンの外形と特性(設計値)を示す。試作クライストロンを基に電子銃や収束コイル部を小型化している。

6. まとめ

線型加速器用途に4MW、9.3GHzの試作クライストロンを設計、製作した。4μsのRFパルス幅にて出力電圧4.6MW、飽和利得60dB、効率50%が得られた。本試作を基に生産モデルの設計製作を行っている。

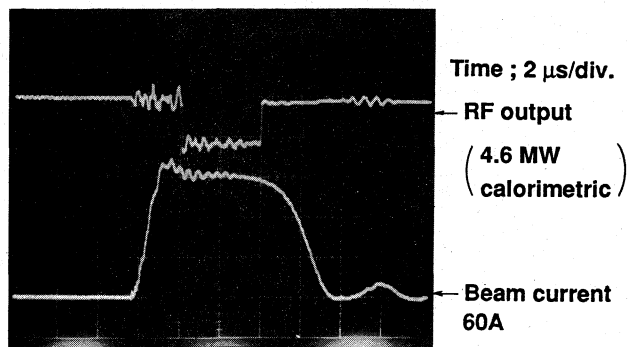


Fig. 6 RF出力とビーム電流波形

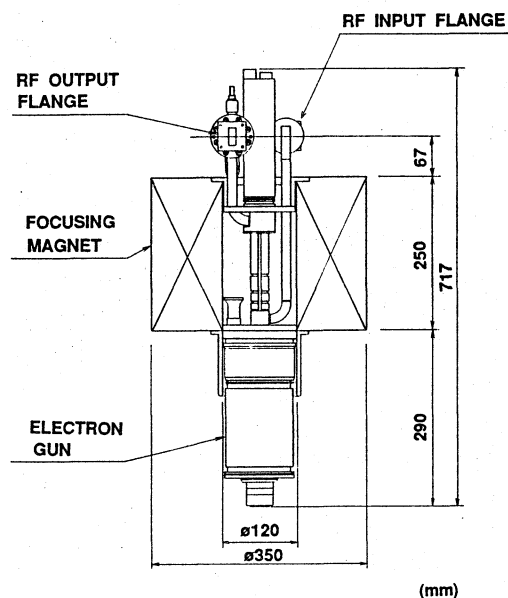


Fig. 7 X-バンドクライストロンPV-9004 目標外形図(収束コイルの外形も示す)

Table. 3 X-バンドクライストロンPV-9004特性(設計値)

出力電力	4MW以上	外形寸法	Fig. 7参照
ビーム電圧	145kV	重量	クライストロン 18kg クライストロン+収束コイル 150kg
ビーム電流	60A	収束方法	電磁石(収束コイル)
ヒーター電圧	20V	冷却水	25ℓ/min
ヒーター電流	4A	入力、出力	UG-1734u
RF入力電力	4W	導波管フランジ	(出力: 2kgf/cm ² g SF ₆ 加圧)
飽和利得	60dB		
効率	50%		
ビームパルス幅	6μs		
RFパルス幅	5μs		
パルスくり返し率	200pps		