

[P 1 – 22]

1.25GHz RF Source for the High Power Electron Linac Injector

K. Hirano, Y. Tanimoto, T. Emoto, Y. L. Wang,
I. Sato*, Y. Enomoto**, H. Kobayashi**

PNC, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation
4002 Narita, Oarai-machi, Ibaraki-ken, 311-13, Japan
*Atomic Energy Research Institute, Nihon University
Narashinodai 7-24-1, Funabashi 274, Chiba-ken, Japan
**National Laboratory for High Energy Physics
Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

大電力電子線形加速器入射部の1.25GHz RF源

ABSTRACT

The high power CW L-band klystron and klystron power supply has been developed as the RF source of the PNC high power CW electron linac (10MeV, 20mA). The RF source has been able to operate both 4msec pulse for beam voltage of 90kV and 0.1msec pulse for beam voltage 147kV. An Rf control system with feed back is developed for stabilizing the RF field.

1. はじめに

大電力CW電子線形加速器のLバンド進行波還流型加速管の要素開発を進めている。この加速器の入射部は電子銃、チョッパ、プリバンチャ、バンチャ加速管、No1加速管、1台のクライストロン、クライストロン電源および立体回路等から構成されている。現在、これらの入射部試験を行っている。入射部試験終了後、6本の加速管の据付けを行い、システム全体が完成するのは今年度末の予定である。本論文ではクライストロン、クライストロン電源およびRF制御システムに関するRF源について、製作が完了した部分の概要と現状を報告する。

2. クライストロン

開発中のLバンドクライストロンは出力電力1.2MWの連続波(CW)動作および4.1MWのショートパルス動作の両方を行える特徴がある。クライストロンの基本仕様を表1に示す。ベリリアを窓材に使用したロング窓を有するクライストロン(No.2)を製作し、高周波出力試験をクライストロン工場で実施した。

CW動作の場合、クライストロン(No.2)の出力空洞付近の集束コイル電流 I_{mag5} を12.3Aから8.5Aに下げビーム径をひろげることによって、ビーム電圧75kVで最大出力電力782kW(CW)が得られ、出力効率を57%に高めることができた。出力電力特性を図1に示す。この時、窓上昇温度によってその出力が制限された。

表1 クライストロンの基本仕様

Operation Mode	CW	Short Pulse
RF Power	1.2MW	4.1MW
Efficiency	65%	50%
Beam Voltage	90kV	147kV
Cathode Current	25A	56.5A
Beam Power	1.86MW	8.3MW
Drive Power	12W	15W
Pulse Width	-	100 μ sec
Repetition Rates	-	50Hz

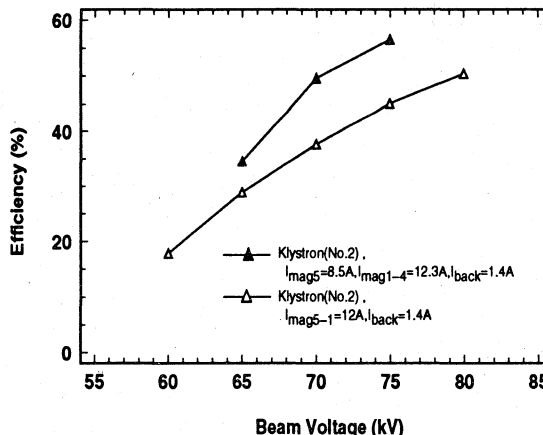


図1 ビーム電圧に対する出力効率
ビームパービアンス $0.9 \mu AV^{-3/2}$

ショートパルス動作の場合、VSWR=3の反射体を窓上部に設置し、ビーム電圧150kV、パルス幅3 μ secで最大出力電力4.55MWが得られた。出力電力特性を図2に示す。出力空洞のギャップの電場が最小になり、かつ、窓セラミックスが定在波の節の位置にくるように反射体を配置した。これらの位置を電磁界解析コード(MAFIA)を用いて求めた。

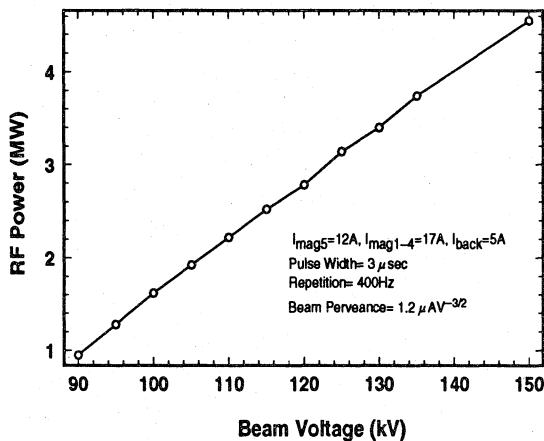


図2 ビーム電圧に対する出力電力

3. クライストロン電源

クライストロン電源は3種類のモードで運転でき、基本仕様を表2、クライストロン電源構成を図3に示す。直流電源部は高圧受電盤、位相変圧器、サイリスタスイッチ、変圧整流器、コンデンサ、クローバ回路部で構成されている。6.6kV受電、3相サイリスタ逆並列接続の2重構成であり、サイリスタで制御された電圧は変圧整流器の昇圧トランスの1次側に印加され、変圧整流器の整流電圧は12相整流電圧となる。

クライストロンの90kVモードのパルス変調にアノードモジュレーション電源方式を採用した。パルスの立ち上りおよび立ち下がりのスイッチングに4極管を使用した。アノード・カソード間電圧と基準電圧とを比較し、その信号をアノード・カソード間電圧を制御する4極管に負帰還をかけて安定制御している。ヒータ電源や電子管補助電源や制御回路をオイルタンクのブッシング上部に設置した。クライストロン1台の90kVモード試験結果を表3に示す。

147kVモードでは、1台のシリーズスイッチで2台のクライストロンを動作させる。シリーズスイッチに大電力スイッチ素子IGBT($I_c=600A$ 、 $V_{ces}=1200V$)を採用し、パルス化を行った。クライストロンタンクの24.5kVの1次電圧をパルストランスで147kVに昇圧し、147kV、54A、100 μ sec、50Hzを得る事を目標としている。

4. RF制御システム

RF制御システムはクライストロン励振用増幅器、フィードバックによる出力電力レベル及び位相の安定化制御装置、異常時にRFを遮断するインターロック装置で構成されている。図4にRF制御システムを示す。チョッパシステムに基準周波数1.249135GHz (f系)を2逡倍した2.49827GHz(2f系)を用いている。f系の位相検出器は基準RF電力とバンチャ加速管レゾナントリング入力電力をフリークエンシーコンバータにより20MHzに変換し、さらにデジタル信号に変換してから、フェーズディテクタによって位相検出を行っている。

ビームエネルギーの安定性 $\pm 0.3\%$ 以下を得るためにはRF電力変動を $\pm 0.6\%$ 以下とし、ビームに対する位相変動を $\pm 1^\circ$ 以下にする必要がある。f系および2f系に関する測定結果を表3に示す。2f系のRF電力変動が大きいのは2fクライストロン電源電圧の変動に起因していると考えられる。

表4 RF変動測定結果

周波数 (GHz)	RF電力変動 (%)	位相変動 (deg.)
1.249135	± 0.81	± 0.13
2.49827	± 3.1	± 0.34

5. RFエージング

当初、真空度悪化が著しく、エージングが進まなかった。そこで、クライストロン電源のパルス変調信号と入力電力のRF変調信号とを別系統にした。アノード電圧のパルス幅1~4msec、繰り返し1~20Hzのパルス変調信号中にパルス幅50 μ sec~100 μ sec、パルス間隔100 μ sec以上のRF変調信号を入れ、エージングを行った。図5にエージングに用いたパルス波形を示す、図6に示したレゾナントリング内進行波電力の波形からエージングが短時間で進む様子が分る。これによって、パルスの幅、間隔および数を調整することによって真空度の悪化を抑えながら効率よくエージングを進めることができた。

6. まとめ

入射部に関するRF源の動作試験を実施した。90kVモード、クライストロン1台の電源動作結果は仕様を満たしていた。今後、RFの詳細データを測定するとともに、RF電力変動の安定化を行う。また、65kVモードおよび147kVモードに関しては入射部試験終了後に動作試験を行う予定である。

表3 90kVモード試験結果

運転モード	1
クライストロン動作台数	1台
出力電圧	90kV
カソード電圧安定度	0.3%
カソード電圧サグ	1.5%
カソード電圧リップル量	0.19%
アノード電圧	76.2kV
カソード電流	22A
アノード電圧パルス幅	4msec
パルス繰り返し	50Hz
アノード電圧安定度	0.0%
パルス立ち上がり	400 μ sec
パルス立ち下がり	280 μ sec

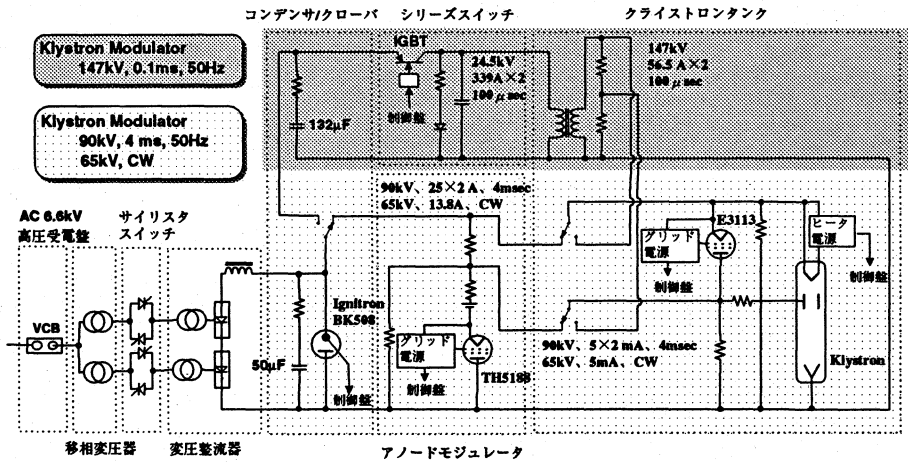


図3 クライストロン電源構成図

表2 クライストロン電源基本仕様

運転モード	1	2	3
クライストロン動作台数	2台	1台	2台
出力電圧	90kV	65kV	147kV
ピーク出力電流	50A	13.8A	113A
パルス出力	4.5MW	0.99MW	16.6MW
パルス幅	1~4msec	CW	100 μ sec
パルス繰り返し	50Hz	—	50Hz
デューティ	20%	CW	4%
パルス立ち上り立ち下がり	<400 μ sec	—	<100 μ sec
電圧サグ	< \pm 1%	—	< \pm 1%
電圧安定度	< \pm 1%	< \pm 1%	< \pm 1%

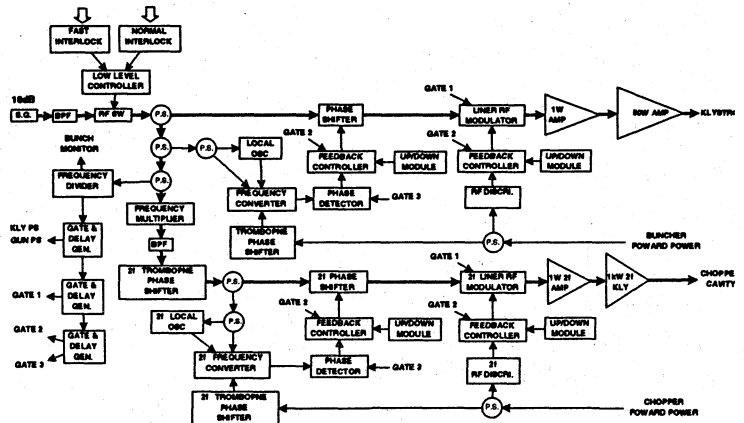
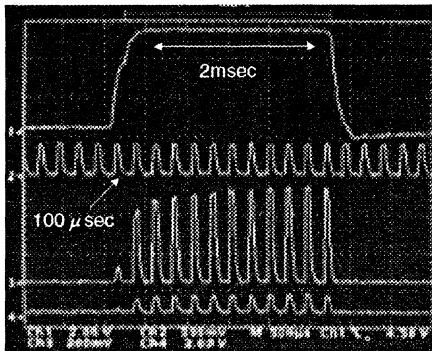
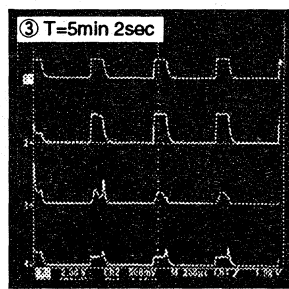
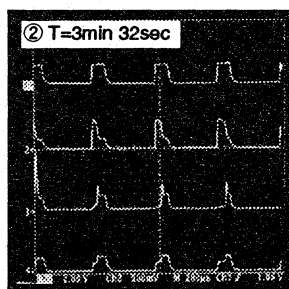
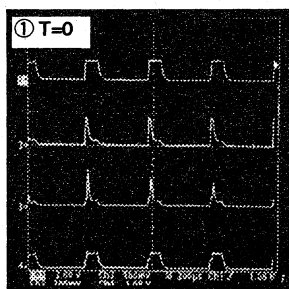


図4 RF制御システム



- 1ch. アノード・カソード電圧、44kV
2msec、1Hz
- 2ch. クライストロン入力電力、16W
- 3ch. クライストロン出力電力、145kW
パルス幅100 μ sec、10 pulses / 2msec
- 4ch. クライストロン反射電力、0.1kW

図5 エージングモード波形



- 1ch. レゾナントリング入力電力
32kW
- 2ch. レゾナントリング内進行波電力
341kW
- 3ch. レゾナントリング内後退波電力
1.2kW
- 4ch. ダミーロード電力、6.7kW

図6 加速管レゾナントリング エージングRF波形