

V-1. THE RF SYSTEM OF PF LINAC

S. Anami, J. Tanaka, I. Sato and S. Fukuda

National Laboratory for High Energy Physics

Abstract

The report describes layout of RF system of the Photon Factory injector linac. As a result of investigation, the construction was decided as follows, the PF system consists of (1) a master oscillator providing 476 MHz (1/6 subharmonic frequency of 2856 MHz); (2) a main booster klystron amplifying the 476 MHz rf power to 2 kW (cw); (3) a main drive line transmitting the 476 MHz 2 kW rf power to the respective frequency multiplier in the five sectors; (4) the multiplier multiplying 476 MHz to 2856 MHz; (5) a sub-booster klystron at each sector amplifying the 2856 MHz rf power to 10 kW (pulse); (6) a sub-drive line transmitting the 2856 MHz 10 kW rf power to each of the eight high-power klystrons in the sector; (7) the high-power klystron amplifying the 2856 MHz rf power to 30 MW; (8) a high power waveguide system transmitting the 2856 MHz 30 MW rf power to each of the four accelerator guides. Also, some of these components were specified already, and are now being fabricated as proto type, however, the others still are open to further investigation.

(1) RFシステムの概略

放射光実験施設 (PF) 入射器用電子線型加速器は、全長 400m にわたる 160 本の加速管によって、ビーム電流 50 mA の電子を 2.5 GeV まで加速する。このリニアックの RF システムは 160 本の加速管に対して出力 30 MW のクライストロンを 40 台使用して、それぞれの加速管に 7.5 MW の高周波電力を供給するものである (Table 1)。現在、RF システム全体の構想は SLAC の方式を参考にして Fig. 1 に示すようなものが考えられている。すべてのクライストロンに対して coherent な RF 信号を供給するためのドライバーシステムは、その全長が 400m と非常に長い為、その損失を考慮して加速周波数である 2856 MHz を直接伝送せず、まず 6 分の 1 の周波数である 476 MHz (2 kW, CW) を同軸ラインで 400m 伝送し、この途中の途中 5ヶ所に置かれた方向性結合器によって RF 電力をそれぞれ取り出す。次に、これを

Master oscillator frequency	476 MHz
Main booster amplifier frequency	476 MHz
power output (cw)	2 kW
Sub-booster amplifier frequency	2856 MHz
number of klystron	5
power output	10 kW
High power klystron amplifier frequency	2856 MHz
number of klystron	40
power output	30 MW
RF pulse length	3 μs
RF pulse repetition rate	50 pps

Table 1 Out line of RF system specification

6進倍しパルスクライストロン (sub-booster klystron) で10kWまで増幅して8本の
主クライストロンをドライブする。

この8本の主クライストロン及び
1本のサブブースタークライストロン
は他のシステム(例えば"phasing,
transport, vac. system など")
と同じ様に1つのブロック単位
(sector と呼ぶ) として取扱わ
れ、衛星化された control system
(local control system) によって
制御される。

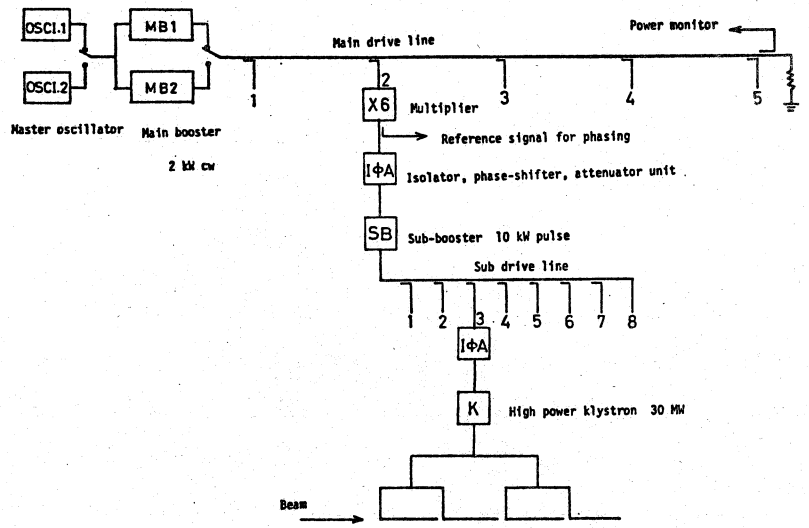


Fig.1 RF system

(2) サブブースター増幅器

ここでは高安定なシンセサイザーによる476MHzのRF信号を発生し、これをトランジ
スター増幅器及びクライストロン増幅器によってCWで2kWまで増幅する(Fig.2)。

使用するシンセサイザーと各増幅器の特
性はTable 2に示している。クライストロン
増幅器の高圧電源は、振巾変調と位相
変調を小さくするために、 10^{-4} 程度に
安定化されているが、更にRF出力
レベルの drift とおさえるために、検波
されたRF出力の一部が高圧電源の
コンパレータ回路に帰還されている。

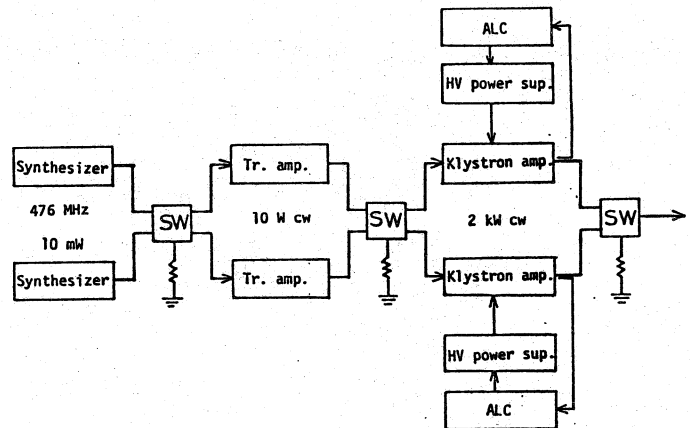


Fig.2 Block diagram of main booster amplifier

(3) 主ドライブライン

主ドライブラインはサブブースター増幅器からの電力を400mにわたって伝送し、途中
80m間隔に置かれた方向性結合器によって各セクターセクションにそれぞれ5W~15W
の電力を供給する。温度による位相の変化を少なくするために、ここで使用する同軸
ケーブルは温度補償(2ppm)された15/8インチのセミフレキシブルタイプである。

更に、温度変化をゆもゆを少なくする
ために、このケーブルは冷却水(30℃)
のパイプを通したダクトの中に入れて
られている。またケーブル内には常に
大気と同じ圧力になる N_2 ガスが充填
されている。

(4) 周波数逡倍器

ここでは主ドライブラインから
供給される 476 MHz の RF を 6 逡倍
して加速周波数である 2856 MHz に
変換する。必要とされる 2856 MHz の
電力はサブマースタークライストロン

の利得、この入力側に入る
I 中 A 2 ユニット (isolator,
Phase shifter, attenuator
unit) のケーブルの
損失によって決められ、
ほぼ 2 W 程度と予測され

る。従って、もし途中に増幅器を入れず、逡倍器の効率を 15% とすると、逡倍器の入力
は 13.5 W が必要になり、残りの 11.5 W が発熱することになる。SLAC の例によると、
逡倍器での温度変化による位相変化はかなり大きく、相当に嚴重な恒温槽が必要とされて
いる。ここでこの 11.5 W の発熱量を考えると、一般的に加熱式の恒温槽では白く、冷却
水による冷却式の恒温槽の方が、使用するダイオード(スナッフオフダイオード)の rating の
安定性などの点から、たとえその設置する場所が制限されるとしても得策であると考えら
れる。又、別なやり方としてその出力側に利得 10 dB 位の増幅器を入れるならば、通常の
加熱式を使用できるが、active な素子が RF のラインに更にもう一つ入って来ることにな
る。この位相安定性はセクター全体(クライストロン系)に影響を与えるため非常に

Frequency synthesizer	
frequency range	0.1 - 500 MHz
frequency resolution	10 Hz
frequency stability	2×10^{-9} /day
spurious	≤ -60 dB
maximum power output	10 mW
Transister amplifier	
frequency	476 \pm 1 MHz
power output	10 W
gain	30 dB
spurious	≤ -30 dB
CW klystron amplifier	
klystron	Varian 3kM300LA
frequency range	385 - 585 MHz
cavity	3 external cavities
focusing	4 electromagnets
operating frequency	2856 MHz
power output	2.3 kW
drive power	2 W
gain	30 dB
band width	0.8 MHz
efficiency	43 %
beam voltage	9 kV
beam current	0.6 A

Table 2 Specification of frequency synthesizer, transister amplifier and cw klystron amplifier.

Type	1 8/5-inch semi-flexible coaxial cable
Phase stability	2×10^{-6} /°C
Impedance	50 Ω
Attenuation	1.5 dB/100 m
Length	400 m
Input power	2 kW (allowable 6 kW)
Frequency	476 MHz
Output power to each multiplier	5 - 15 W

Table 3 Main drive line specification

重要な事柄である。現在、これらめりづれにちまかはまひ定まっていりか、両者の試作、測定によって決める方針で進められていりる。またこれらの問題はサブブースタークライストロンの利得が小さい(45dB)ことに起因するため、この点についても更に検討されていりる。

(5) サブブースター増中器

この増中器は遮倍器からの出力を10kWに増中して、8本の主クライストロンを励振するためのものである。このクライストロンとしては既製品(TH 2047P, Table 4)を使用するため、最大出力が10kWであり、ほとんど余裕がなり。この為、2本を並列にして20kW出力にするか、または新規に製作するかが検討されていりる。この出力はダブルパルスとなっていりるか、これは主クライストロンの調整時(例えば *phasing*, *maintenance*, *aging* など)にビーム加速に寄与しなりのタイミングでもドライブ出来る様にするためである。本クライストロン用パルス電源は出力がダブルパルスでその間隔が比較的接近($\sim 50\mu s$)ていりること及びパルス巾が可変にたりることなどの理由によって *hard tube type* の *pulsar* となっていりる。尚、本年度1台製作する予定でその備準が進められていりる。

Klystron	Tomson TH2047P
frequency range	2800 - 3050 MHz
cavity	4 integral cavities
focusing	permanent magnet
Operating frequency	2856 MHz
Power output	10 kW
Drive power	200 mW
Gain	45 dB
Beam voltage	16 kV
Beam current	2.2 A
Pulse width	3.5 μs
Pulse repetition rate	50 pulse-pairs/sec

Table 4 Sub-booster klystron specification

(6) サブドライブライン

この伝送ラインはサブブースターからの出力を10m間隔に置かれた主クライストロンの入力回路にそれぞれ650Wを供給するにめりものである。使用するケーブルは主ドライブラインと同一のめりを使用することになていりる。

(7) 主クライストロン

ここで使用するクライストロンは表5で示すような特性をもつためりであり、現在、試作のための準備が進められていりる。最大出力は30MW以上、集束は永久磁石によるめりであり、基本的には最近SLACで開発された38MW出力のXK-5を基にしためりである。

このXK-5は長年におたす開発によって初めて得られたもので、出力、効率ともに世界最高で、しかも構造面についても製作コストを下げるためにかなりの検討がなされているようである。従って、これから限られた期間と費用で同程度のものを製作するには、このXK-5を模範としこれに近いものを作るのが得策だと考えられる。また、このXK-5の集束磁石及びソケット類はSLACで以前

Number of cavity	5
Focusing	permanent magnet
Perveance	$2.1 \pm 0.1 \times 10^{-6} \text{ A/V}^{3/2}$
Operating frequency	2856 MHz
RF pulse width	3.5 μs
Repetition rate	50 pps
Peak power output	>30 MW
Drive power	300 W
Gain	$\geq 51 \text{ dB}$
Efficiency	$\geq 43 \%$
Peak beam voltage	270 kV
Peak beam current	300 A
Amplitude modulation	$\leq 0.5 \%$
Pulse modulation	≤ 10

Table 5 High power klystron specification

使用していたITT社の8568用のものと同一と思われるため、これから製作するクライストロンの外形寸法をXK-5に合わせてことによって、ITT-8568とも互換性を持たせることが出来る。

(8) ホルス モジュレーター

主クライストロン用パルス電源は、SLACの原研などを参考にして既に基本設計は終り、1台機がメーカーに発注された。その電気的特性はTable 6に示されている。特に位相変動を考慮して出力パルスの安定度と平坦度はかなり厳しい仕様となっている。機構については、それぞれ回路を出来るだけユニット化し、メンテナンスと故障時に容易に交換出来るような構造にしている。又、制御回路については、コンピューターやマニュアルによる遠隔操作は勿論可能であるが、基本制御は全て電源本体で行っている。また故障した場合、その原因と場所を早期に発見出来るようにするためにインターロックの状態は全てコンピューターに入力され、しかも電源本体にも表示されている。

(9) 大電力導波管

クライストロンからの出力30 MWは3つのハイブリッドによって4等分されそれぞれ加速管4本に供給される。この立体回路には制御系を簡略化するためと製造コストの理由から初相器は使用しないことになっている。このため、導波管部品の機械的寸法はかなりの高精度が要求されることになる。現在、ベンダーについての試作は終り、ハイブリッド、RF窓、モニター用方向性結合器、フレンジの結合機構などの検討が進め

5 水, それぞれ試作が行なわれている。
 尚, 導波管内は温度による位相の変化を出来るだけ少なくするために加圧せずに上げて高真空にあることになっている。

Peak power output (max.)	84 MW
Average power output (max.)	15 kW
Output pulse voltage (max.)	23 kV
Output pulse current (max.)	3600 A
Output impedance	6.0
Pulse width (flat top)	2.3 μ s
Rise time	0.5 μ s
Fall time	0.8 μ s
Repetition rate	50 pps
Pulse amplitude flatness	0.1 %
Pulse amplitude drift	
short term	0.2 %
long term	0.5 %/hour

Table 6 Modulator specification