

## UPGRADE OF THE PF LINAC KLYSTRON MODULATOR FOR THE KEK B-FACTORY PROJECT

Hiroyuki HONMA, Tetsuo SHIDARA, Katsumi NAKAO, Shinichiro MICHIZONO  
and Shozo ANAMI

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

### ABSTRACT

In the microwave source of the PF linac, two modulators were modified for doubling the output power required for B-factory. We have carried out full-rate high power test using them as well as 50 MW klystron. In this report, an outline of the modulator modification and the results of high power tests are described.

### Bファクトリーのための50MWクライストロン用パルス電源

#### 1. はじめに

放射光入射器ライナックでは、Bファクトリーのためにビームエネルギーの増強（電子で8 GeV、陽電子で3.5 GeVまで）を進めている[1]。この増強でクライストロンはピーク出力電力27 MW（最大33 MW）、出力パルス幅2  $\mu$ sのものから、同41 MW（最大46 MW）、4  $\mu$ sのもの（50 MWクライストロン）へ置き換えられることになっている[2]。更に、RFパルス圧縮方式としてSLEDが導入される[3]。クライストロンの増強とこの方式の導入により、2 m長加速管4本からなるライナックの1加速ユニット当たり160 MeVのエネルギー利得が得られ、8 GeVの加速には実用運転上必要な余裕分も含め55台以上のユニットが必要となる。加速ユニット数は現在48台であり、上記の増強をまず、これら全てに施さなければならない。又、クライストロン増強にはパルス電源の電力強化が当然必要である。

本稿ではこのための電源改造と、50 MWクライストロンを用いて行なった試験運転の結果について報告する。

#### 2. パルス電源の改造

パルス電源の改造に該って考慮したのは次の2点である。

(1) 改造費用を安く抑えるため、できるだけ多く部品を再利用できる様にする。

(2) 改造はクライストロンギャラリーに既設の他の機器と干渉しない範囲にとどめる。

現在の電源では、使用されている碍子、PFNコンデンサー、サイクロトンの耐圧、及び、部品、配線の耐圧空間距離にはほとんど余裕がないので、PFNの充電電圧を変えることはできない。その代わりPFNコンデンサーの総容量を増やすことにし、それが2倍までは可能であった[4][5]。

この結果、出力パルスの1パルス当たりのエネルギーは、現在の2倍となる。

図1は改造後のパルス電源の回路図である。PFN総容量2倍化による電力増のために、トランス類（IVR、高圧整流、平滑チョーク、充電チョーク）は新規に製造されることになった。しかしこれらの冷却を水冷式にすることにより、油タンクは再利用できるので、収納筐体は拡張の必要がない。又、充電チョークのインダクタンスは充電時間を変えないように、従来の半分の値とした。ダイオード類（整流、ホールドオフ、シャント）は元々許容電流に対して余裕のある使い方しており、今回の改造でも、平均電流で尚2倍以上の

余裕があるので、そのまま使うことができた。

ことから $5.6 \mu\text{s}$ と決まってくる。

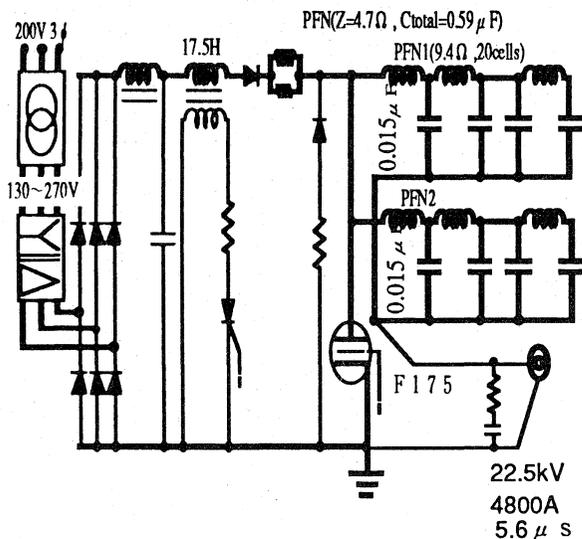


図1 改造電源の回路図

PFNでは、現在20個使用されているコンデンサーが更に同数追加され40個となった。そのため取り付け架台の大きさも今までの $87 \text{ cm} \times 112 \text{ cm}$ から $89 \text{ cm} \times 210 \text{ cm}$ となり、収納筐体の高さも80 cm高くなっている。写真1はクライストロンギャラリーの通路側から見たPFN収納筐体を、クライストロン、SLED空胴と共に示している。写真2は大きくなったPFN構造を示すものである。全体は配置、配線が左右対称な二つのPFNから構成されており、両者は並列に接続されている。20個のコンデンサーからなるそれぞれのPFNは、互いが半個分上下にずれた縦2列に配列され、PFNコイルを通じてジグザグに接続されている。このような形にしたのは、収納のスペースファクターを良くすると同時に、特定なセル間での結合により起こるパルス波形の歪みを少なくし、波形調整をスムーズにするためである。又、それぞれのPFNのインピーダンスは全体のインピーダンスの2倍であるため、コイルインダクタンスを大きくでき、波形調整時にコンデンサーの残留インダクタンス、配線のインダクタンス等の影響を受けることが少なくなっている [6]。

表1に改造後の電源の仕様を現在のものと比較して示す。出力電圧のパルス幅は、パービアンスが2.1のクライストロンを304 kVで使用する

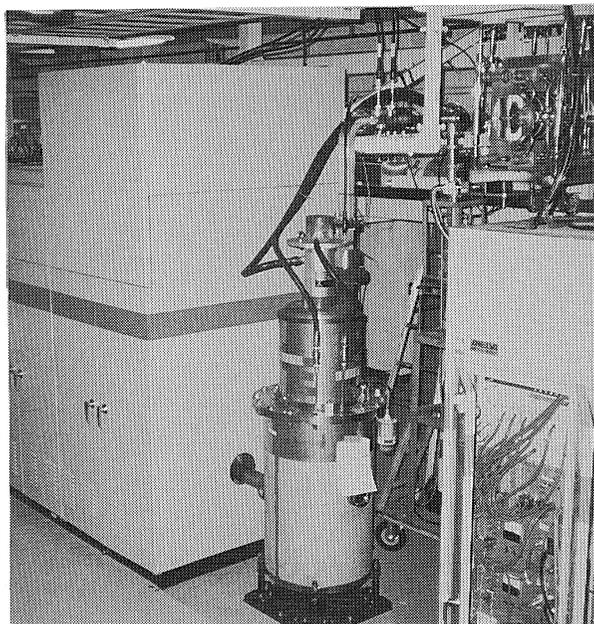


写真1 拡張されたPFN収納筐体

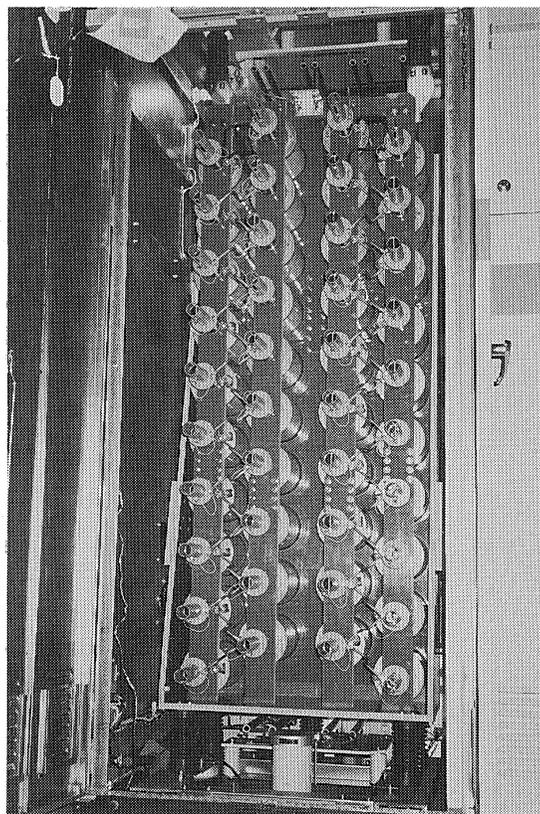


写真2 新PFNの構造

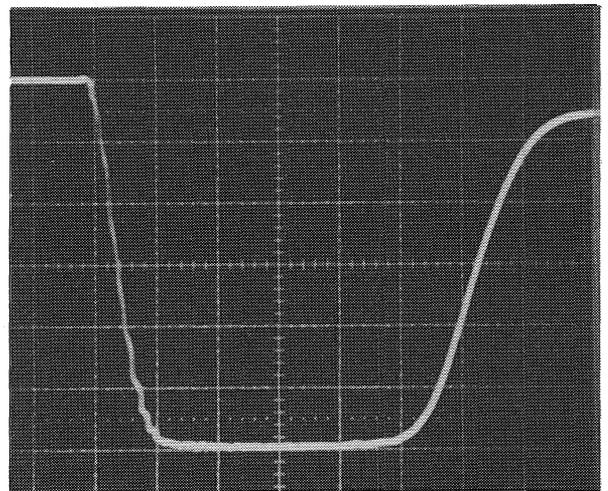
表1 改造パルス電源と現電源の仕様の比較

	現電源	改造電源
最大ピーク電力 (MW)	8.4	10.7
最大平均電力 (kW)	14.7	30
パルストランス昇圧比	1 : 1.2	1 : 1.3.5
出力パルス電圧 (kV)	22.5	22.5
出力パルス電流 (A)	3600	4800
PFNインピーダンス ( $\Omega$ )	6.0	4.7
PFN全容量 ( $\mu\text{F}$ )	0.3	0.6
パルス幅 ( $\mu\text{s}$ )	3.5	5.6
立ち上がり時間 ( $\mu\text{s}$ )	0.7	0.8
立ち下がり時間 ( $\mu\text{s}$ )	1.2	1.3
パルス繰り返し (pps)	5.0	5.0
パルス平坦度 (%) (ピークからピーク)	0.3	0.3
パルスレベル変動 (%)	0.3	0.3
サイラトロン アノード電圧 (kV)	4.5	4.5
クライストロン パービアン ( $\mu\text{A}/\text{V}^{1.5}$ )	2.1	2.1
効率 (%)	4.1	4.3

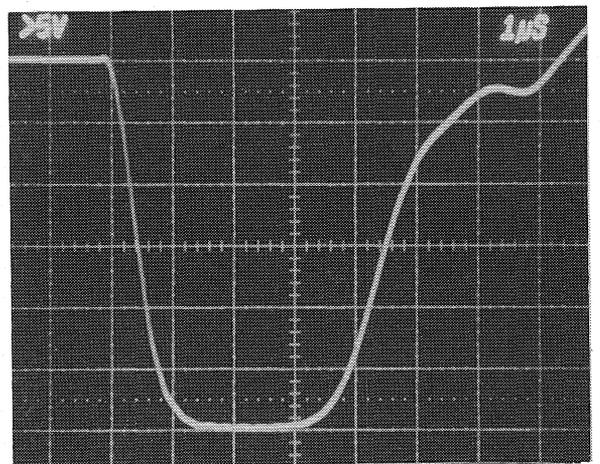
### 3. 50 MWクライストロンを用いた出力試験の結果

パルス電源の改造は、クライストロン準備室とクライストロンギャラリーの#4-6ユニットの2台の電源で行われた。現在、前者では50 MWクライストロンの性能試験が、後者ではそれを用いたSLEDの試験が継続しているが、ここではパルス電源自体の出力特性について述べる。

写真3にパルストランス2次側で見た出力電圧波形(a)を、従来の電源のもの(b)と共に示した。比較のため電圧は両者共に26.5 kVとしている。改造電源のパルス幅は半値幅で5.9  $\mu\text{s}$ 、平坦部で3.5  $\mu\text{s}$ である。従来のものの4.1  $\mu\text{s}$ 、1.8  $\mu\text{s}$ と比較すると半値幅の増加分がそのまま平坦部の増加につながっていることがわかる。しかしこの幅は目標値(クライストロンの出力パルス幅)にあと0.5  $\mu\text{s}$ 不足している。



(a) 改造電源



(b) 従来の電源

パルス電圧26.5 kV、時間軸：1  $\mu\text{s}/\text{div}$   
写真3 出力パルス電圧波形

図2はPFNの充電電圧を変えて測定した出力電圧(パルストランス2次側電圧)を、PFNインピーダンスの異なる調整(2つのパルス幅)に対してプロットしたものである。これよりパルス幅が6.2  $\mu\text{s}$ となると、30.4 kVの電圧を得るためには46 kV以上の充電が必要であることが分かる。このことはPFNインピーダンスの調整によりパルス幅を広くはできるが、その代わり出力電圧を十分とることができないことを意味する。従って、PFN調整によってこれ以上の幅をとることはできず、コンデンサー容量を今後、更に増やす必要がある。

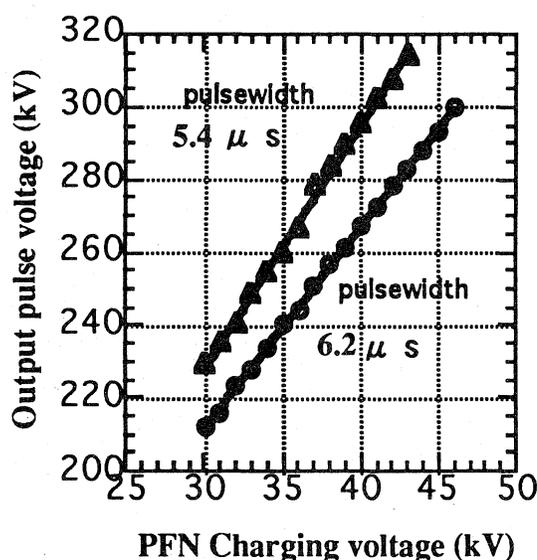


図2 出力パルス電圧のPFN充電電圧特性

#### 4. 今後の改造スケジュール

今年度、パルス電源の改造は8台行われ、そのほかに新規の電源が2台製造される。改造の際、新たに20個ずつ増やされるPFNコンデンサーは、パルスの平坦部幅をできるだけ広げるために、現在の $0.0146\mu\text{F}$ から $0.0155\mu\text{F}$ のものに変更される。又、新規の電源については、全数を $0.0155\mu\text{F}$ とする。これらの結果、それぞれの平均電流は前者で従来の2.03倍に、後者では同じく2.06倍になるが、新規に製造したトランス類の電力容量にはこれらを吸収する余裕がある。又、パルス幅は今回の改造電源よりそれぞれ $0.2\mu\text{s}$ と $0.3\mu\text{s}$ 増えることが期待される。

又、現在までの試験中にITT社製のサイクロロンF175の動作に数回不安定な現象が見られたため、定格電流は変わらないが、長パルスに対して安定なF241を導入することになった。

#### 参考文献

- [1] A.Enomoto et al., "Linac Upgrade Plan for the KEK B-Factory", KEK Preprint 93-23, May 1993
- [2] 道園真一郎 その他、"KEKBファクトリー用4.6MWクライストロンの出力試験"、本研究会予稿集
- [3] 花木博文 その他、"パルス圧縮法による

PFリニアック高周波源の増強"、本研究会予稿集

- [4] 穴見昌三 その他、"BファクトリーのためのPFリニアックRF源の増強"、第17回リニアック研究会予稿集、p177-179、仙台、1992
- [5] T.shidara at al., "Modulator Upgrade of the KEK 2.5GeV Linac", KEK Preprint 93-18, May 1993
- [6] 本間博幸 その他、"5045クライストロン試験用PFN"、第17回リニアック研究会予稿集、p174-176、仙台、1992