

65 MW TEST OPERATION WITH THE 5045 KLYSTRON

H.Honma, T.Shidara, K.Nakao, S.Anami and A.Asami

National Laboratory for High Energy Physics
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan

ABSTRACT

A 65 MW test operation with the 5045 klystron was accomplished to provide for the future microwave source upgrade of the KEK 2.5 GeV linac. A klystron modulator was modified to increase the peak output power. A peak output power of 58 MW was successfully obtained. In this report, The modifications of the modulator and the consideration about the output voltage waveshape are described.

5045クライストロンの65MW試験運転

1. はじめに

KEKでは、Bファクトリー計画、放射光3GeV運転等いくつかの将来計画が検討されている。これに伴って、入射器マイクロ波源増強の必要性は益々高まっている。又、現在の2.5GeV運転にとってもマイクロ波源の出力向上は運転に余裕を与えるものである。

このようなことから、現稼動中のパルス電源の小変更で65MW級クライストロン運転の可能性を確認するために、短時間の試験を行なった。

2. パルス電源の変更

65MW級クライストロンとしては、KEK-JLCでATF用として購入したSLAC製5045クライストロンを用いることにした。

現パルス電源を65MW級用とするためには、そのパルス出力を二倍近くにする必要がある。現パルス電源を大きく変更する事なくこのピーク出力を得るためにPFNの充電電圧とPFNコンデンサーの総容量は変えないで、パルストランスの昇圧比を現在の1:12から1:15に変更することにした。表1に変更前後のパルス電源のパルス特性の比較を示す。

| | 変更前 | 変更後 |
|-------------------|------|------|
| 最大ピーク電力 (MW) | 84 | 145 |
| 最大平均電力 (kW) | 14.7 | 14.7 |
| トランス昇圧比 | 1:12 | 1:15 |
| 出力パルス電圧 (kV) | 23.5 | 23.5 |
| 出力パルス電流 (A) | 3600 | 6150 |
| PFN インピーダンス (Ω) | 6.0 | 3.6 |
| PFN 総容量 (μF) | 0.3 | 0.3 |
| PFN 段数 | 20 | 10 |
| パルス 幅 (μs) | 3.5 | 2.2 |
| 立ち上がり時間 (μs) | 0.7 | 0.8 |
| 立ち下がり時間 (μs) | 1.2 | 1.5 |
| パルス繰り返し (pps) | 50 | 50 |
| 平坦度 (%) | 0.3 | 0.5 |
| 最大パルス高変動 (%/hour) | 0.3 | 0.5 |
| サイラトロンアノード電圧 (kV) | 47 | 47 |

表1 変更前後のパルス電源パルス特性の比較

PFNインピーダンスの6オームから

3.6オームへの変更は、現PFNコンデンサーを2個並列にし、1セクション当たりの容量を0.03μFにする事により行なった。この時の可変コイルインダクタンスの値は0.4μHである。これに伴いPFNは10セクションになり、パルス半値幅は3.5μsから2.2μsに減少する。電流が大幅に増加したので、サイラトロンにはITT社製F175を用いた。

3. 動作試験

動作試験には、運転用クライストロンを準備、試験するためのパルス電源を用いることにした。クライストロン設置場所は現クライストロン用に整備されたものに大幅な変更を加えることができないので、5045用として新しい設置場所を設けた。設置場所からパルス電源までの距離は約10mある。この間の給電線にはインピーダンス整合を考慮して、インピーダンス50オームの同軸ケーブル(20D-2V)を13本並列にしたものを使用した。写真1に設置の様子を示す。

図1にクライストロンビーム電圧に対するビーム電流、RF出力電力の関係を示す。ビーム電圧345 kV、電流380 Aでピーク58 MWのRF出力が得られた。写真2にビーム電圧波形と電流波形を示す。これらのパルス半値幅は前述の2.2 μ sより広く、頂上も平坦にすることができなかった。平坦にできなかったのは、PFNコイルのインダクタンスが0.4 μ Hと小さく、コンデンサの残留インダクタンスや配線のインダクタンスのために、可変量が小さく、調整しきれなかったためと思われる。また、非平坦性の発生原因としては、変更したPFNの構造が、離れたセクション間で容量性及び誘導性結合が起り易い配置になっていた事が挙げられる。しかし、この試験で使わざるを得なかった同軸ケーブルの長さが長いので、この影響が重畳されているとも考えられ、以下にケーブル長の波形に及ぼす影響を調べた。

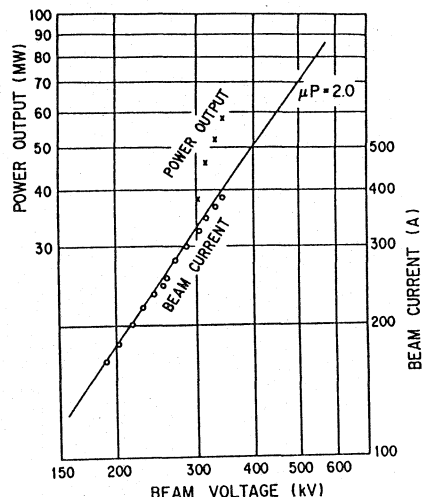


図1 ビーム電圧とビーム電流、RF出力電力の関係

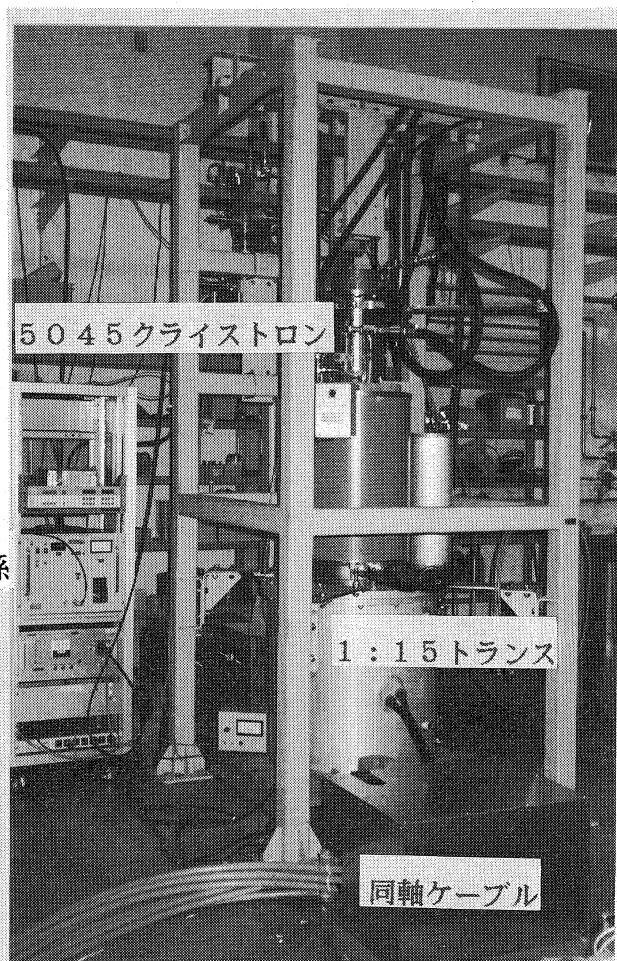


写真1 5045 クライストロンアセンブリ

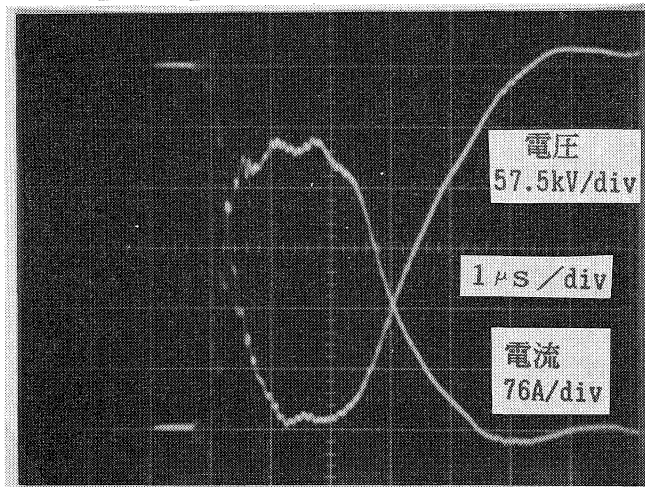


写真2 出力電圧、電流波形

図2 (a)は、ケーブルの長さをパラメーターとして、回路解析プログラム「SPICE」で計算した出力電圧波形（Z_Lの両端の電圧）である。計算に使用した回路の出力部分を図3に示す。ここでトランスの等価回路にはSLAC製トランスのものが分からなかったので、現使用1:12トランスのものをを用いた。同軸ケーブル未使用（0 m）の波形に比べて、それを使用すると平坦部にリップルが現われ、ケーブルの長さを長くするにしたがって、その周期が長くなり、その大きさも大きくなっていく。これは同軸ケーブルの容量、トランスの分布容量と漏れインダクタンスとに依る回路の振動がパルスに重畳したものと解釈できる。図2 (b)は、PFNの出力回路で実際に使用されているRC補正回路（抵抗13.2オーム、容量10 nF）を入れて計算した波形である。これによると、いずれの長さの場合でも同じ定数の補正回路で、上記のリップルはほとんどなくなっていることがわかる。この様なことから、前述の非平坦性の理由としてはケーブルによるものは小さく、PFNに依る

ものが大きいと考えられる。このPFNについては、今後、素子の配置、配線に関する変更を行ない、パルス特性の優れたダミー抵抗を用いて、パルストランス負荷と切り離れた形で、波形調整を試みる予定である。尚、本5045クライストロン増幅ユニットはクライストロンギャラリーに移し、長時間の運転試験を行なう予定である。

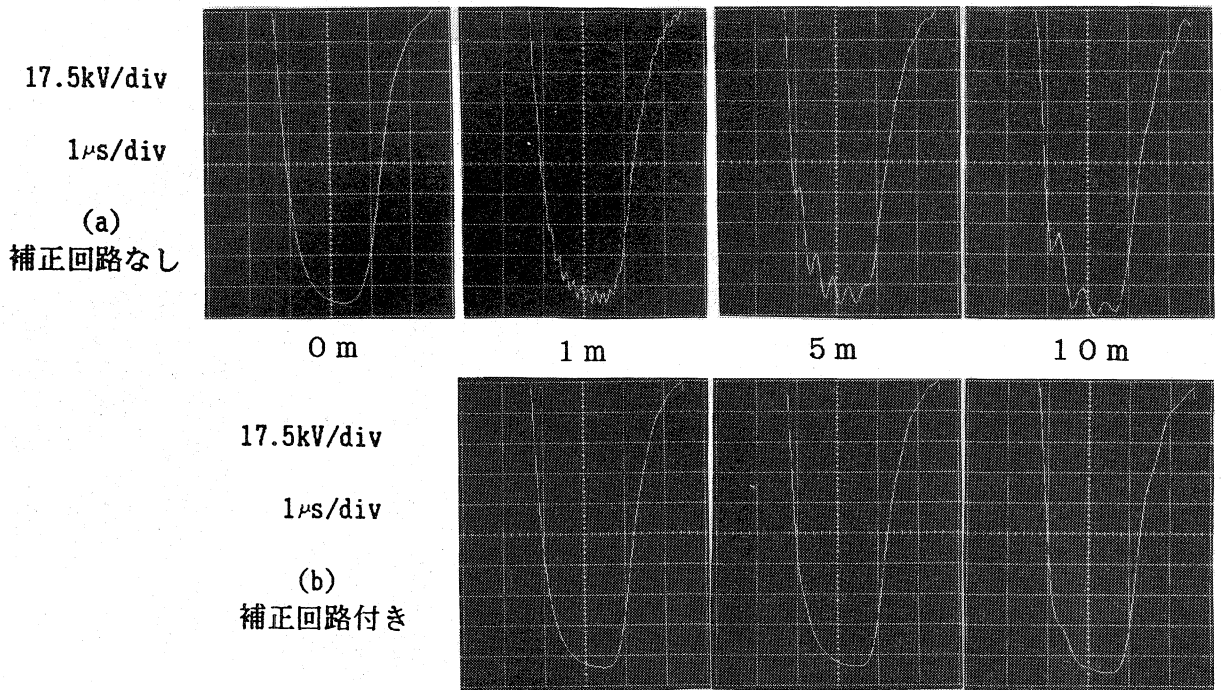
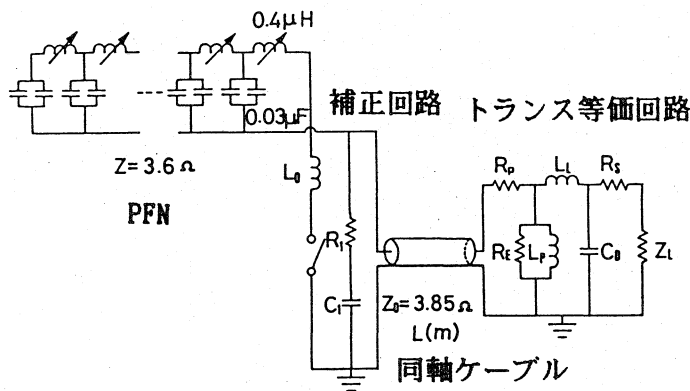


図2 出力電圧波形の同軸ケーブル長依存性 (シミュレーション)



| | |
|-----------------------|--------------|
| 1次側インダクタンス (L_p) | 600 μ H |
| 漏洩インダクタンス (L_t) | 1 μ H |
| 分布容量 (C_D) | 15.8 nF |
| 1次側抵抗 (R_p) | 0.006 オーム |
| 2次側抵抗 (R_s) | 0.006 オーム |
| 負荷抵抗 (Z_L) | 3.74 オーム |
| リード線インダクタンス (L_o) | 1.85 μ H |
| 補正回路抵抗 (R_i) | 13.2 オーム |
| 補正回路容量 (C_i) | 10 nF |
| 同軸ケーブル長 (L) | 0mから10m |

図3 シミュレート用等価回路図

4. 謝辞

終わりに、5045クライストロンを提供して下さったKEK JLCグループの高田教授、並びに竹田助教授に感謝します。

5. 参考文献

- (1) T. Shidara et al., "Performance Test of a 65-MW Klystron Unit Relevant to the Microwave Source Upgrade of the KEK 2.5GeV Linac", KEK Preprint 91-18, April 1991
- (2) 田中治郎 その他, "Line type パルス電源の Pluse Forming Network", INS TH-48, 1965.3.1
- (3) 田中治郎, 馬場 斎, "大電力パルストランス", INS-TH-69, Jan. 8. 1971.