

DEVELOPMENT OF RF DRIVER SYSTEM FOR 50 MW C-BAND (5712 MHz) KLYSTRON

K. Watanabe and T. Shintake⁽¹⁾

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University, Sendai, 982, Japan

⁽¹⁾High Energy Accelerator Organization, Tsukuba, 305, Japan

Abstract

C-band (5712 MHz) RF driver system has been developed to drive 50 MW high power klystron. It mainly consists of a frequency doubler, a low power solid state amplifier and a driver klystron (Thomson-TH2409 500 W). For the moment, a maximum output RF power obtained up to 336 W with 3 mW of an input RF power. A band width is 5712 ± 4.25 MHz at -3 dB. This paper will describe design of a pulse modulator and verification of performances of the RF driver system.

C-band (5712 MHz) 50 MW クライストロン用 RF ドライバ・システムの開発

1. はじめに

'96年度より KEK において e^+e^- リニアコライダー・メインリニアックのための C-band (5712 MHz) RF システムのハードウェアの開発研究が開始された[1]。5 MW C-Band クライストロンによる Traveling Wave Resonator (TWR)の大電力試験(90 MW, 2.5 μ s)が行われている。また、50 MW C-Band クライストロンも間もなく完成する予定である[2]。これらの大電力クライストロンを駆動するためには、300 W 程度の RF ドライバが必要である。本研究では C-Band 50 MW クライストロンの RF ドライバ・システムの開発を行った。本装置は、最初の C-band 50 MW クライストロンの性能評価に使用するの、安定かつ平坦な矩形波を出力する事が重要である。

2. RF ドライバ・システム

図1に C-band RF ドライバ・システムの構成を示す。現在所有しているシンセサイザの上限周波数が 4200 MHz のため、RF ドライバ・システム内で 2 倍倍器にて 5712 MHz の信号を生成し、その後ソリッドステートアンプと小型クライストロンにより順次増幅し 300 W 程度のパワーを出力する。RF 信号のパルス化はシンセサイザのパルスモードにて行っている。

3. TH2409 用パルス変調器電源

図2に C-band 小型クライストロンとそのパルス変調器電源を示す。ここで使用される小型クライストロンは Thomson 製 TH2409 クライストロンである。これは出力電力 500 W、ゲイン 40 dB、ビーム電圧 7.5 kV、ビーム電流 0.47 A、パービアンス 0.728 μ A/V^{1.5} であり、ビームの収束には永久電磁石が使用されている。

表1に TH2409 用パルス変調器電源の仕様を示す。TH2409 クライストロンのビーム電圧は 7.5 kV である。ここでは、クライストロンの出力電力に余裕

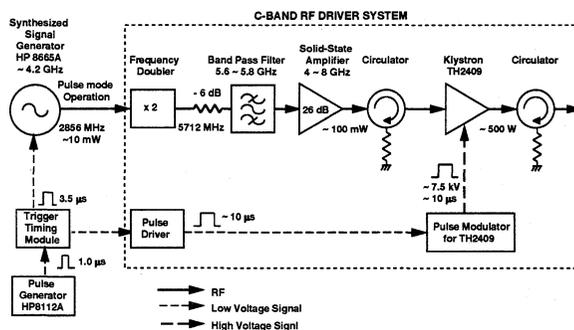


図1 C-band RF ドライバ・システムの構成

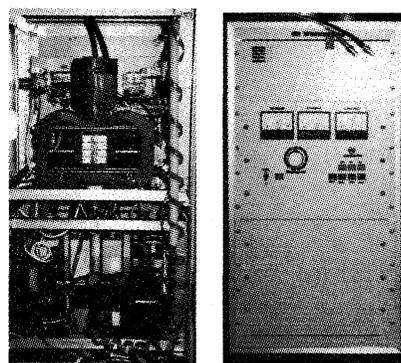


図2 TH2409 クライストロンとパルス変調器電源

表1 TH2409 用パルス変調器電源の仕様

パルス変調方式	半導体スイッチ
出力電圧	10 kV
出力電流	0.7 A
パルス幅	< 10 μ s
パルス立ち上がり	< 0.5 μ s
パルス繰り返し	< 25 pps
パルス電圧平坦度	0.05 %未満

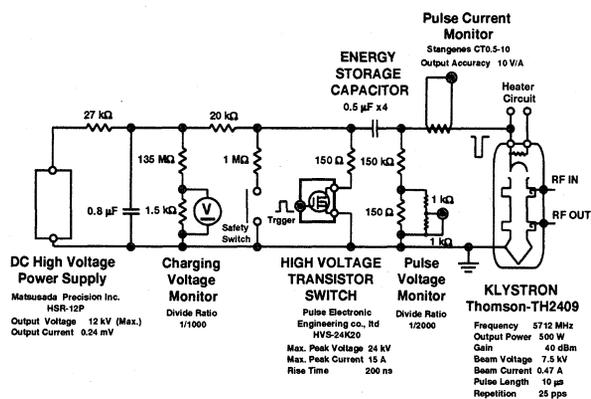


図3 パルス変調器電源の回路構成

を持たす為、10 kV 程度まで印加できるように設計した。また、クライストロンのデューティ内でのパルス幅と繰り返しを自由に変更可能とする設計とした。

図3 にパルス変調器電源の回路構成を示す。TH2409 クライストロン用パルス変調器電源はエネルギー蓄積コンデンサと高圧スイッチ素子でパルスを形成する。パルス変調器電源を製作する際に、最も注意しなければならないのは、出力パルス電圧の平坦度である。電圧の平坦度はクライストロンの出力 RF の振幅及び位相に影響する。振幅の変動は、大電力クライストロンの飽和特性で緩和されてしまうが、位相の変動は保存されてしまう。このため小型クライストロン出力の RF 位相変動は 0.1° 以下とした。この場合、電圧の変動は 0.05% 以下に抑えなければならない。小型クライストロンビーム電圧を 10 kV、パルス幅を $10 \mu\text{s}$ として、エネルギー蓄積コンデンサの容量を $2 \mu\text{F}$ に決定した。

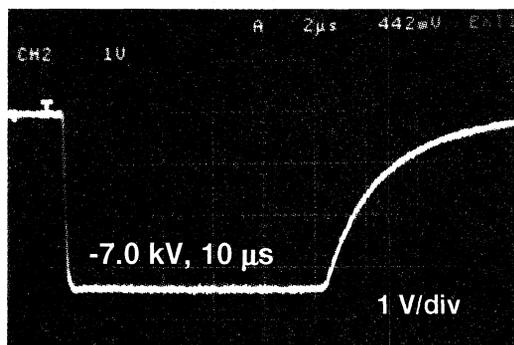
高圧スイッチ素子は KEK-PF のサブプスタークライストロン用変調器電源において既に使用されているパルス電子技術製の高圧半導体スイッチ (HVS24-K20) を採用した[3]。この仕様は定格電圧 24 kV、ピーク電流 15 A 立上がり時間 200 ns オン抵抗 80Ω 、許容損失 8 W であり十分な性能である。直流高電電源は松定プレジジョン製高性能安定化モジュール HSR-12P を使用した。この高圧電源はリップル 0.02% PP、変動率 0~100% 負荷変動に対し 0.01%、 $\pm 10\%$ の入力変動に対し $\pm 0.01\%$ であり、十分な安定度をもつ。パルス電圧モニター回路の抵抗は電圧を分割し測定する以外に、エネルギー蓄積コンデンサへの充電にも使用される。このため充電時間がパルスの繰り返し時間に対して十分に短くなるように抵抗値を決定した。パルス電流モニターは Stangenes 製 CT0.5-10 を使用した。

4. TH2409 試験結果

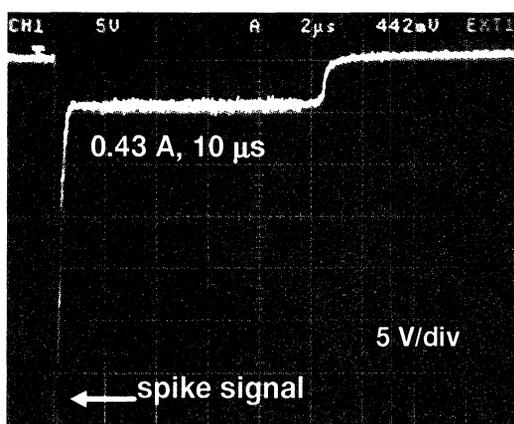
4.1 ビーム電圧・電流の測定

TH2409 クライストロンをパルス変調器電源に接続し動作させた。図4 にビーム電圧・電流波形を示す。電圧波形は高電圧プローブをクライストロンのカソード・グランド間に接続し測定し、電流波形は変調器電源のパルス電流モニターで測定した。電流の立ち上がり時に観測されるピークは回路の浮遊容量を充電するために生じたものである。平坦部の電流値が 0.43 A に対して、このピークは約 3 A になる。電圧波形から判断するとクライストロンのカソードに流れる電流ではないと判断できる。また、クライストロン電極間の浮遊容量を測定したところ 30 pF であった。配線の浮遊容量を計算したところ約 15 pF であった。これらの値からシミュレーションを行ったところ、電流の平坦部に対し約 5 倍の電流が流れることがわかった。

図5 にビーム電圧・電流曲線を示す。この曲線からパービアンス $0.73 \mu\text{A}/\text{V}^{1.5}$ が得られ、定格値とほぼ一致することがわかった。



(a) ビーム電圧波形



(b) ビーム電流波形

図4 TH2409 ビーム電圧・電流波形

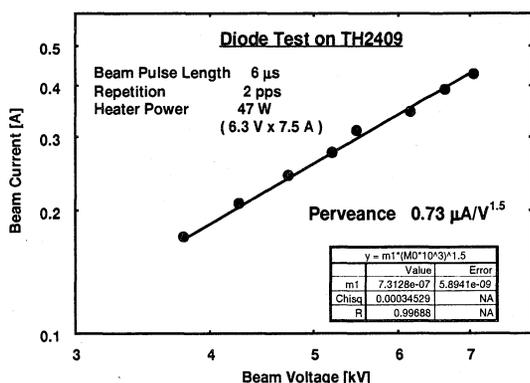


図5 TH2409 ビーム電圧・電流曲線

4.2 RF 電力測定

RF 出力電力の測定は、ドライバ・システムの出電力の一部を方向性結合器で抽出し-50 dB 減衰させ、ピークパワーメーターで測定した。図6に120 W、3.5 μs 時の RF 出力波形を示す。図7に RF 入出力特性を示す。この時のビーム電圧は最大定格値 7.5 kV である。入力電力は 17 mW 程度で飽和に達し、最大出力電力は 336 W であることがわかった。図8に RF 帯域特性を示す。これは入力電力は飽和領域に合わせシンセサイザーの周波数のみを変化させた。このクライストロンは KEK 到着後チューニングを行っていないが、周波数はほぼ 5712 MHz に調整されている事がわかった。

5. まとめ

現在は、この状態で TWR 試験に使用し、安定に動作中である。RF 測定結果よりクライストロンの出力電力が仕様より低いことが判明した。ケーブル等の減衰を考慮すると 50 MW クライストロンをドライブするのに十分な電力が得られるかどうか不明である。50 MW クライストロンをドライブするには、チューニングを行い、さらにビーム電圧を上げて使用することを予定している。このクライストロンは大変古く、また、現在のところ代替品もないため、可能な限りこの状態で使用する予定である。

謝辞

KEK の花木博文氏には、パルス変調器電源の製作の際に高圧スイッチ素子およびそのドライバを御借りしました。また設計の際には貴重な御意見を頂きました。ここに深く感謝いたします。

パルス変調器電源の製作・試験の際に御協力して頂いた PAL/POSTCH の J. S. Oh 氏に深く感謝いたします。

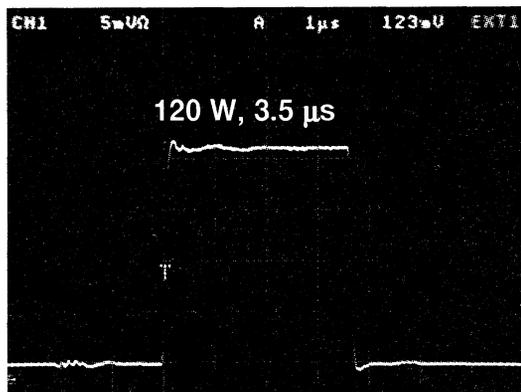


図6 TH2409 RF 出力波形

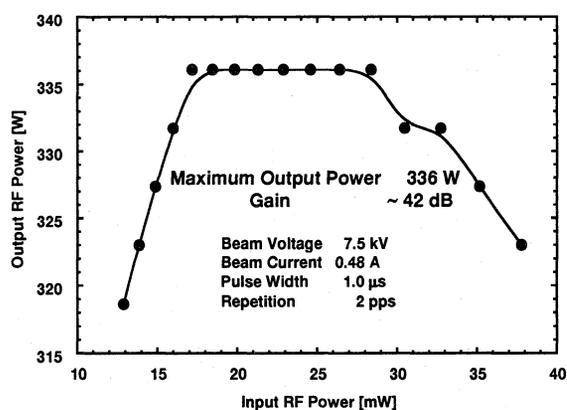


図7 TH2409 RF 入出力特性

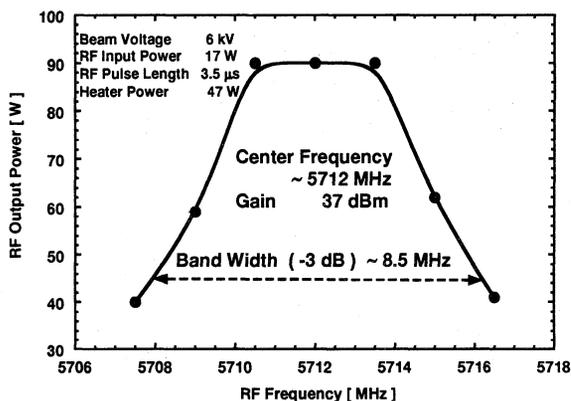


図8 TH2409 RF 帯域特性

参考文献

- [1] T. Shintake, et al., "C-band RF Main Linac System for e⁺e⁻ Linear Collider at 500 GeV to 1 TeV C.M. Energy", Proc. of EPAC96, pp.492-494.
- [2] T. Shintake, et al., "C-band (5712 MHz) RF-System R&D Status", in this meeting.
- [3] I. Sato et al., "Design Report on PF Injector Linac Upgrade for KEKB", KEK Report 95-18, March 1996, A, pp.218-220