

PULSE MODULATOR FOR 80MW KLYSTRON IN SPring-8 LINAC

T.Hori, A.Mizuno, H.Yoshikawa, S.Suzuki, K.Yanagida, H.Sakaki,
M.Kodera, Y.Itoh, H.Kotaki, A.Kuba, T.Taniuchi and H.Yokomizo

JASRI-JAERI-RIKEN SPring-8 Project Team
Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo-ken, 678-12

Abstract

The pulse modulators have been designed and constructed to drive 80MW Klystrons (TOSHIBA E3712) for SPring-8 linac. They are the conventional line type pulsers which consist of four parallel pulse forming networks (PFN) with 14 sections. The capacitors of PFN are low inductance, compact size and NH (No-Healing) type. The tunable inductors of PFN are composed of two parts. One is for adjusting the waveform of klystron voltage, the other is for cancelling a stray inductance of PFN capacitors. ITT F157 thyratron has been used as the switch tube which discharges the PFN. In order to achieve high efficiency and high degree of regulation in charging circuit, we selected a high efficiency deQ'ing system. This paper describes the design, specification and results of performance tests of the first modulator.

SPring-8 リニアックの80MWクライストロン用パルス変調器

1 はじめに

SPring-8 リニアックでは現在、線型加速器棟1階加速管室でのアライメント用の軸出し作業が完了し、ビームライン機器架台やQ電磁石の精密据え付け作業が進行している。一方、マイクロ波系では励振系と立体回路の最終設計が行われており、これと並行して80MWクライストロンとパルス変調器の製作が最盛期を迎えている⁽¹⁾。パルス変調器は本年11月中旬をめぐりに合計13台の製作を行う予定で、6月末にはその初号機が完成した。本報告では仕様性能を満足すると共に、商用運転を行うための高い信頼性を目標に設計したパルス変調器の回路構成や初号機で行ったクライストロン負荷での試験結果等について報告を行う。

2 大電力RF系の概要

加速管用の主クライストロンには、KEKのJLCでSバンドリニアック用に開発された東芝E3712型クライストロン⁽²⁾を使用する。クライストロンと加速管の構成は、高電界加速を行うバンチャ直後の第1加速管と、陽電子発生部に設置される1本の加速管は1:1であり、これらを除いた他の24本は1:2である。1:2の構成での立体回路には2本の加速管

の位相関係を確保するため、ビーム下流側の加速管入口に大電力位相器を設けた⁽³⁾。通常のオペレーションは、加速管1本当たり26MW (クライストロン出力で約60MW)、16MV/mの加速電界で行う予定である。これは、最大2本のクライストロンがダウンした場合でも1GeVビームを確保するために、余裕をもった設計となっている。

3 80MWクライストロン用パルス変調器

表1にパルス変調器の主な仕様を示す。パルス変調器は直流部、充電回路、放電回路、パルストランスタンク、及び制御ラックから構成される。回路構成の概略を図1に示す。筐体のサイズは高圧部の実装密度を高めることで、幅3.9m、奥行1.9m、高さ2.3mと小型化された。制御はVMEによる遠隔操作を行うが、今回実機対応のソフトウェアを開発し初号機で連結試験を行った⁽⁴⁾。機器のステータスやモニタ表示、状態遷移、PFN電圧設定等が遠隔モードで正常に動作することを確認した。

3.1 PFN

PFNは14段4並列で構成されており、特性インピーダンスは3.3Ω、ポジティブミスマッチで設計

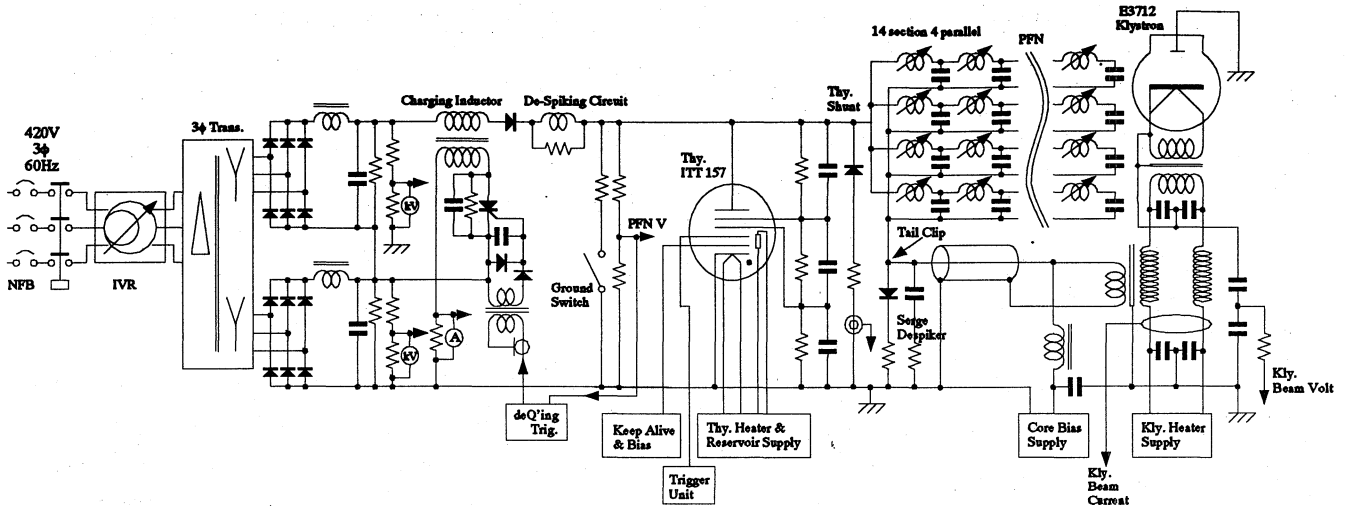


図 1: 80MW クライストロン用パルス変調器の回路構成

表 1: パルス変調器の主な仕様

パルス出力電圧	391 kV
パルス出力電流	474 A
パルス幅	5 μ sec
パルス平坦部	> 2 μ sec
パルス平坦度	< $\pm 0.5\%$
deQ'ing 率	> 7%
出力電圧安定度 (8 時間連続運転)	< $\pm 0.5\%$
パルス変調器の昇圧比	1:16
繰り返し	最大 60 pps

された。PFN用コンデンサーには定格容量0.03 μ F、定格電圧55 kV、270 mm \times 93 mm \times 230 mmの箱形金属ケース入りNHコンデンサー(マルコン電子)を採用した。紙・フィルム複合誘電体、箔電極方式のもので、残留インダクタンス値は約160 nHである。パルス平坦度を確保するため、当初の設計段階では残留インダクタンスの値が議論の中心となった。そこで、手持ちの碍管型と金属ケース型の両方を、放電法と高周波インピーダンスアナライザ法の異なった測定方法で比較した。結果、両者に有為な差は認められず、コストや実装の容易さを考慮しこのタイプを選択した。パルス平坦度の向上は、残留インダクタンスの影響は副次的で、PFN回路構成上の問題が大きいとの検討結果を反映し、PFNコイルを波形調整用と隣接するコイル間の結合度調整用とで構成した。

3.2 deQ'ing回路

deQ'ing率を7%以上確保し、商用電力の有効利用と電圧安定度を向上するための高効率deQ'ing回路を採用した。deQ'ing時に蓄えられているチャージングチョークトランスの残留エネルギーを、電源トランス側にリターンする方式で、KEKのATFパルス変調器⁽⁵⁾で最初に採用された回路方式と同様である。

3.3 サイラトロン

2グラジエントグリッド構成で最大アノード電圧、電流が75 kV、15,000 Aの性能をもつITTのF157を採用した。チューブ温度の不均一性を改善するため、冷却ファンは下部に取り付けた。

3.4 パルス変調器

タンクは開放型リザーバタンク付きのアルミ合金製で、パルス変調器本体、変調器2次側の電圧・電流モニタ、コア磁気バイアス回路、巻線間の均圧コンデンサ等より構成されている。パルス変調器は1次側インピーダンスが3.3 Ω 、電圧昇圧比が1:16のSTANGENES INDUSTRIES, INC.社製である。

4 クライストロン負荷での特性試験結果

実機相当のクライストロンを負荷として接続し、ピーク電圧が391 kVの時に得られたクライストロン電圧波形を図2に示す。図3には、この時のパルス平坦

部のリップルを拡大したものを示す。パルスの立ち上がり時間が $1.5 \mu\text{s}$ 、 $\pm 0.5\%$ 以内のパルス平坦部が $2.1 \mu\text{s}$ 、パルス半値幅が $5.8 \mu\text{s}$ 、8時間連続運転時のクライストロン電圧安定度が $\pm 0.42\%$ のデータを得、仕様を満足する結果を確認した。

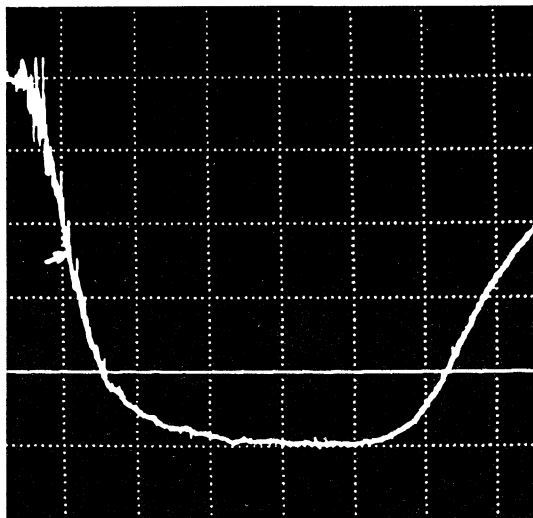


図2: クライストロン電圧波形
(縦軸 80 kV/div , 横軸 $1 \mu\text{s/div}$)

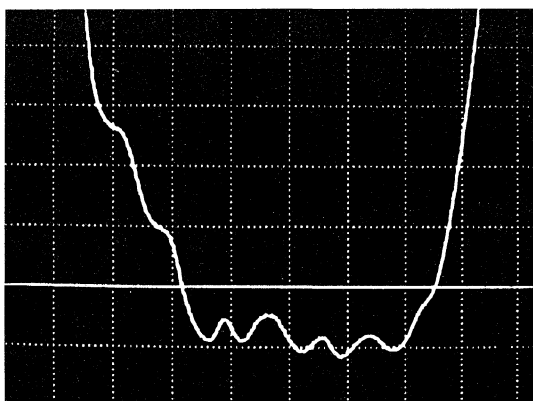


図3: パルス平坦部の拡大図
(縦軸 $1.03\%/div$, 横軸 $0.5 \mu\text{s/div}$)

5 検討

E3712クライストロンをドライブするパルス変調器としては、ATF、PLS⁽⁶⁾に続いてSPRING-8が3件目のリニアックである。過去に行われた試験や調整結果を反映し、信頼性のある回路素子の選

択、小型化、アースラインの処理とノイズレベルの低減については十分考慮し設計を行った。しかし、我々のパルス変調器の場合もサイラトロンの動作については十分な信頼性が得られなかった。動作の不安定原因を現在究明中であるが、EEV等他社のサイラトロンの採用も含め再検討中である。

6 謝辞

本パルス変調器を設計、製作するにあたり東芝・新エネルギー技術開発部の大西嘉道氏、小向工場の赤繁直樹氏、三沢英夫氏、寺村弘氏、並びに東芝電波特機・恵庭工場の方々に協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

7 参考文献

- [1] H.Yokomizo et al., Proc. of this meeting.
- [2] H.Yonezawa et al., "Development of a 100MW S-band Pulse Klystron", Particle Accelerators, 1990, Vol 30, pp219-224.
- [3] S.Suzuki et al., "Construction of SPring-8 Linac", Proc. of Fourth European Particle Accelerator Conference, 1994, Vol 1, pp733-735
- [4] H.Yoshikawa et al., Proc. of this meeting.
- [5] M.Akemoto et al., "Pulse Modulator for 85MW Klystron in ATF Linac", Proc. of the 17th International Linac Conference, 1994, Vol 1, pp415-417
- [6] S.H.Nam et al., "HIGH POWER PULSE MODULATOR FOR PLS LINAC", Proc. of 1993 Particle Accelerator Conference, Vol 1, pp1315-1317