

SPRING-8 1GeV 線型加速器クライストロンモジュレータの改良

IMPROVEMENT OF KLYSTRON MODULATOR AT THE SPRING-8 1GEV LINAC

小林 利明, 出羽 英紀, 馬込 保, 鈴木 伸介, 谷内 努, 水野 明彦, 柳田 謙一, 花木 博文

Toshiaki Kobayashi, Tamotsu Magome, Hideki Dewa, Shinsuke Suzuki, Tsutomu Taniuchi, Akihiko Mizuno,
Kenichi Yanagida, Hirohumi Hanaki
Spring-8/JASRI

Abstract

We have been improving the following failures with the klystron modulator circuits: 1) instability of PFN probe. 2) instability of the thyatron heater and reservoir power supplies. 3) line voltage fluctuations at the thyatron trigger drivers. We can success to stabilize these circuit. And then we found the fluctuation in the klystron heater power supplies.

1. はじめに

SPRING-8 1GeV 線型加速器では、モジュレータ電源の保守の簡易化、電源の高安定化[1] [2]を目指し、改造、改良を進めてきている。主な保守の簡易化については、

- サイラトロン交換時のサイラトロンスタンドの改造。
- サイラトロンヒータ・リザーバ電源等の調整のための小窓設置。
- 電源筐体内放電対策として、ブスバー等のエッジ除去などがある。

また、電源の高信頼化については、

- PFN 電圧プローブの交換（経年劣化対策）。
- サイラトロンヒータ・リザーバ電源の直流化。
- IVR 制御の幅を $\pm 2\%$ から $\pm 1\%$ に制御幅を高精細化。

などを行ってきている。

電源の高安定化に対して、昨年の加速器学会年會でも報告したように PFN 電圧プローブの全数交換及びサイラトロンヒータ・リザーバ電源直流化によって、電源の安定度が増した[3]。さらに高安定化を目指し、IVR の制御を 1kV のステップの制御だった物を 200V の制御と、細かく制御できるようにしていた。

2014 年の夏停止期間にはサイラトロンヒータ・リザーバ電源に使用していた CVT トランスが全て予備になったので、全く安定化されていないサイラトロントリガアンプ及びキープアライブ電源の電源ラインの安定化に用いるように進めている。

2. 新 PFN 電圧プローブ設置後の安定度

2.1 新 PFN 電圧プローブの試験設置結果

M16 号機の PFN 電圧が特に不安定であった。Fig. 1 に示すように、PFN 電圧の SET 値は変化していないのに PFN 電圧プローブ電圧はゆっくりとした変動していた。しかし温度ドリフトなどの長期安定度を検査した新規購入した PFN 電圧プローブ設置後の M16 号機の電圧安定度は改善している。そこで全号機の PFN プローブを交換したが、Fig. 2 のように PFN 電圧の長期安定度は依然として小さな変動は残った。原因は判らないまま、いろいろ調査していると、商用電源変動に起因する電源変動が全ての号機で観測された。

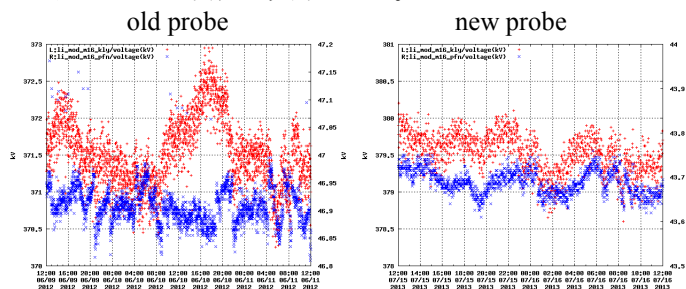


Figure 1: Klystron voltage stability measurements of m16 modulator. (blue: PFN voltage, red: Klystron voltage)

そこでモジュレータの IVR の制御が $\pm 2\%$ の制御だったものを、 $\pm 1\%$ の制御に変更した。またそれぞれの電圧調整の最小ステップは 1kV を 200V に変更している。変更時の試験制御では、ノイズ等の誤動作で、IVR の回転数が極端に増え、使用を止めていた。試験的に 1 台のみ IVR $\pm 1\%$ 制御試験を行うと動作に問題なく、PFN 電圧も安

定傾向に改善された。そこで全号機の IVR $\pm 1\%$ に変更し、長期間運転を行うと、Fig. 2 のように全号機が PFN 電圧プローブ交換後の全ての号機の PFN 電圧が同期した変動はなくなり、電圧安定した。また IVR の制御頻度は $\pm 2\%$ 制御時とほぼ変わらない数値で推移しており、長期運転にも耐えられる。

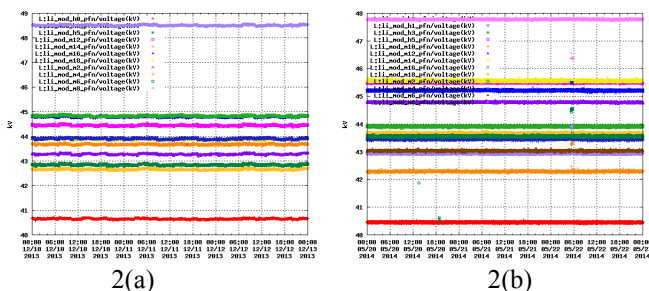


Figure 2(a): All PFN voltage stability measurements with new probe. 2(b): All PFN voltage stability measurements with new probe and $\pm 1\%$ IVR fine control.

例えば M16 号機のための調査であるが、Fig. 3 に 24 時間のクライストロン電圧の安定度を示す。2013年7月の電圧安定度は、まだ改良前で $1\sigma = 0.09\%$ であったが、2014年7月には $1\sigma = 0.03\%$ まで種々の改造等により、クライストロン電圧は安定になってきている。

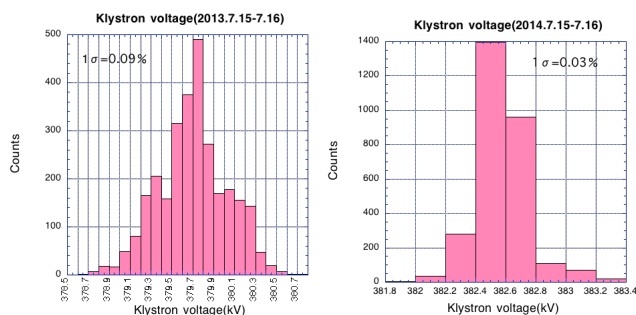


Figure 3: Histograms of the Klystron voltage at the M16 modulator.

3. サイラトロンヒータ・リザーバ電源 直流化後の安定度

3.1 サイラトロンヒータ・リザーバ電源直流化

2014年1月に既に設置済みの M10、M14 を除く 11 台のヒータ・リザーバ電源を直流化した。もともとはスライダックを用いた電源コントロールでスライダック端子の接触不良と思われる変動が生じ、例えば Fig.4 のように年に数回急な変動があったが、このような変動は改修後に生じ

ていない。右の縦軸がリザーバ電圧、左の縦軸が、サイラトロン点弧までの時間である。この時にはリザーバ電圧約 0.25V で、約 0.2us の時間変動があった。このような変動があると、サイラトロンの通弧の不安定や点弧まで時間が変動し、クライストロンパルス電圧のサグ、リングングなどで加速電圧などが変動し、電子ビームが不安定になる。

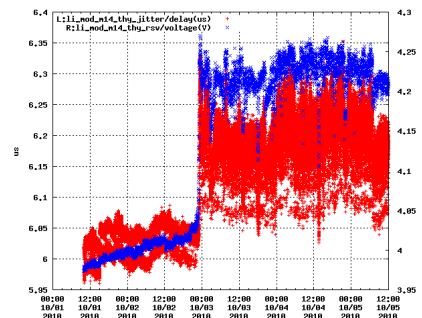


Figure 4: Fluctuation of heater-reservoir voltage versus time jitter. Red line: time jitter, Blue line: reservoir voltage.

4. トリガアンプ・キープアライブ電源 安定化

線型モジュレータ電源のトリガアンプとサイラトロンキープアライブ電源が当初から全く安定化されていない。試験的に M10、M14 号機にトリガアンプとバイアス・キープアライブ電源を 0.5% の安定化を仮設交流安定化電源で行った。この電源安定化で更に PFN 電圧は安定になったが、耐ノイズ性を考慮して、パッシブな素子で構成されている CVT トランスを使用する事を考えている。サイラトロンヒータ・リザーバ電源直流化で使用しなくなった CVT トランスを使い、この夏期停止期間に配線替えを行う予定である。

5. モジュレータ高電圧パルス電圧タイ ミングの変動

PFN 電圧の安定化はビーム安定化には最低条件であるが、ビーム加速電圧に直結するのは、クライストロンに印加されるパルス電圧のジッター及び長期ドリフト等である。

モジュレータ電源で十分な予熱ができていない状態（ヒータ・リザーバ電源オン、バイアス・キープアライブ電源オンの状態）から、全号機のサイラトロンを動作させると、Fig 5 のように 30 分~1 時間程度の時間変動がある。この変動はサイラトロンのビームによるアノード加熱による輻射熱などでリザーバタンクが暖められて、水素ガスの放出が多くなるためではないかと考えているが、明確な原因は掴んでいない。

我々は加速器の立ち上げ時には殆ど調整時間とれないので、この変動を無くしたいと考えてい

る。対処としては、トリガの遅延時間の調整でパルス電圧の時間変動をキャンセルする事を考えている。

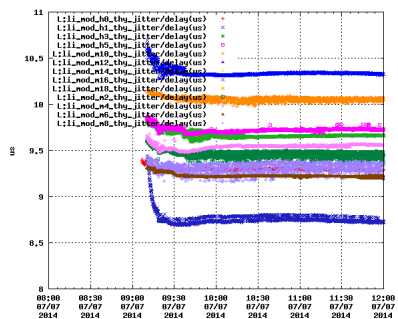


Figure 5: Fluctuation of time jitter just on operating time.

サイラトロンヒータ・リザーバ電源を直流化して安定化したために、リザーバ電圧変動によるディレイタイムの変化も無くなり、クライストロンにかかるパルス電圧、電流とも安定している。

しかし、ある時急に SR への入射が不安定になる事例が生じた。原因はクライストロンのヒータ電源の変動で、当該クライストロン電圧のインピーダンスが変動した。Fig.6 のようにヒータ電流の変動とクライストロンパルス電圧の増加、電流の減少が同時刻に発生している。この時 H3号機の PFN 電圧は、非常に安定している事を確認できている。

クライストロンヒータ電源は AC 200V をスライダックで調整するタイプで、ライン電圧は 1KVA の CVT トランスで電源安定化している。しかしこの安定度では、他の改良等で安定化されてきたモジュレータ電源性能からは、不安定性が目立つ要因になりそうである。

この号機の他にもヒータ電源変動が観測されており、ヒータ電源のモニタ系の変動として片付けてきたクライストロンヒータ電源の変動時にビーム変動が生じた事から、交流安定化電源などの高安定化電源に置き換えるなどの検討も行っていく。

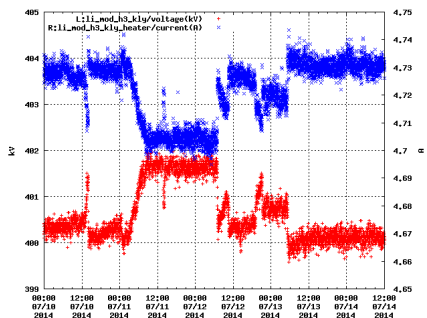


Figure 6: Typical traces of klystron heater currents (blue), klystron pulse voltages (red).

6. まとめ

電子ビームの高安定化のためには、電源の高安定化を欠かす事はできない。特にモジュレータ電

源は、いろいろな電源の組み合わせで出来ており、各パーツを安定化しなければ、希望の安定化は望めない。そこで我々は経年変化を起こし、不安定な PFN 高電圧プローブの全数交換及びサイラトロンヒータ・リザーバ電源の全数直流化及び高精度な IVR 制御を進めている。この安定度はさらにこの夏の夏期停止期間に行うトリガアンプ及びキープアライブ電源の安定化で、更に改善される可能性はある。またクライストロンヒータ電源の安定化は、試験的に 1 台行いたいと考えている。

参考文献

- [1] T.Kobayashi, et al., “twin electron gun system of SPring8 linac”, Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Higashihiroshima, Aug. 6-8, 2008
- [2] T.Kobayashi, et al., “Present status of klystron modulator of 1-GeV SPring8 linac”, Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2001
- [3] T.Kobayashi, et al., “Present status of gun and klystron modulator of SPring8 LINAC”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2012