

1GeV SPring-8 電子銃及びクライストロン用モジュレータの改良 IMPROVEMENT OF MODULATORS FOR GUN AND KLYSTRON AT 1-GEV SPRING-8 LINAC

小林利明, 安積隆夫, 花木博文, 鈴木伸介

Toshiaki Kobayashi, Takao Asaka, Hirofumi Hanaki, Shinsuke Suzuki

JASRI

Abstract

In the user experiments, the fault rates of the modulators for the gun and klystron have been reduced less than 10 events during 4 weeks by the improvements of the modulators. Since the instruments such as heater power supplies of klystron and thyatron have been become decrepit, we replaced with new one. The thyatron has the drift of switching time due to H₂ density variation. Therefore, its density has to keep constant. Since a keep-alive current, which is regulated as parameter in the thyatron has correlation with the H₂ density, setting of the H₂ reservoir voltage is used to stabilize the switching time. In addition, we developed a IGBT switch for the electron gun modulator.

1. はじめに

SPring-8 の 1GeV 線型加速器は、2 台の電子銃(1 台は待機号機)と 13 台の 80MW クライストロンのための変調器電源が設置されている。蓄積リングへの Top-up 運転では、線型加速器から数秒毎のビーム入射が行われるので、これら電源のインターロックによる停止は、蓄積ビーム電流安定性に影響する。これまで、電源の停止頻度を下げるために、インターロック原因調査と、その対象機器の改良が行われ、安定化、並びに高精度化を実現してきた[1]。現在では、構成機器の老朽化を念頭においた予備部品調達等を行っている。

スイッチング素子であるサイラトロンは、一定期間の使用で動作不良となるため、交換を余儀なくされる。サイラトロンが安定に使用できる期間を延長するため、各種パラメータと安定動作点の依存性を調査している。

サイラトロンの動作不良のひとつにタイミングドリフト・ジッターの増大がある。これを安定にするためには、動作タイミングを決める管内水素圧力の変動を抑えることが重要である。管内水素圧力とキープアライブ電流の相関関係から、水素リザーバ電源を制御し、キープアライブ電流安定化の予備試験を実施した。

また、サイラトロンに代わるスイッチング素子として、新たに電子銃用変調器電源のための半導体スイッチを製作した[2]。その特性試験結果についても報告する。

2. 変調器電源の運転状況

線型加速器の電子ビーム運転を開始して以来、変調器電源で使用している高電圧素子、各種モニター回路などの改良と整備を行ってきた。特にクライストロン制御 PLC の更新では、タッチパネルによるローカル制御とし、印加電圧・電流測定など、運転に重要なパラメータの安定度評価が可能となる機能を設けた。また、周辺機器に対してサイラトロンからの空間ノイズ対策を施した結果、誤動作による停止が抑制された。以上の対策を施したク

ライストロンの変調器電源について、昨年度の運転サイクル毎のインターロックによるビーム停止頻度を Figure 1 に示す。昨年度のビーム運転では、1 サイクル運転期間(4 週間)で最大 10 回の停止があった。

その停止原因は、加速管、導波管の真空悪化であり、変調器電源由来のインターロック停止はほぼ無くなっている。

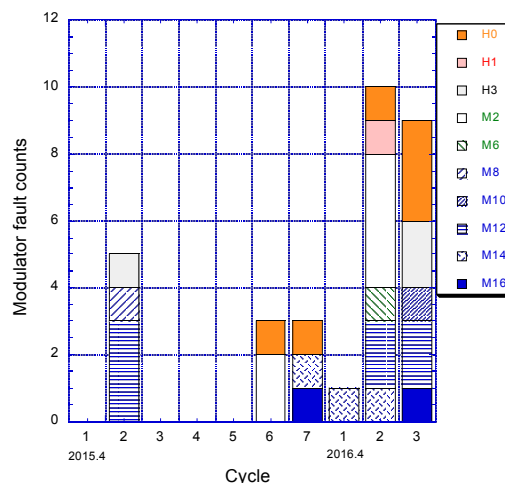


Figure 1: Fault rates in the 1-GeV linac during one year. H0-H5 and M2-M18 are klystron modulators.

3. サイラトロンキープアライブ電流の安定化

Figure 2 に M14 号機のサイラトロンの点弧タイミング変化を示す。2011 年 6 月にサイラトロンを交換して以来、現在に至るまで、印加電圧のスイッチングタイミングが 2us 以上変化している。この変化に対して、ビーム運転サイクル開始時にサイラトロンのトリガー信号の遅延時間調整が行われている。これはサイラトロン管内の水素圧力の経年変化によるものと考えられる。

#tkoba@spring8.or.jp

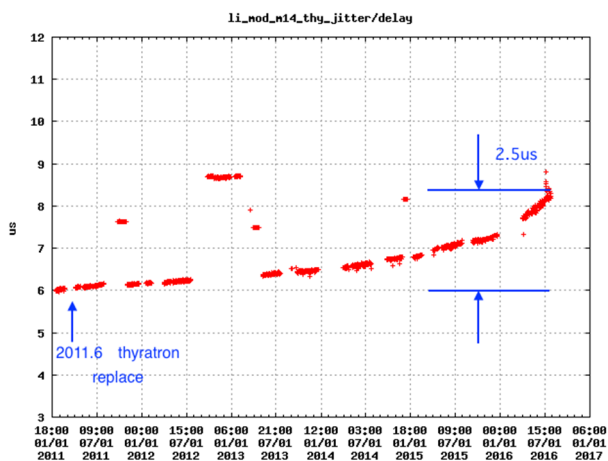


Figure 2: Timing variation of klystron pulse voltage.

サイクロンの安定動作のためには、リザーバ電圧を適切に設定しなければならない。管内の水素圧力に依存して、キープアライブ電流が変化する。

本加速器では、L3 COM 社製のサイクロン(L-4888C)を使用している。このサイクロンに於けるリザーバ電圧とキープアライブ電流の応答特性を取得した。その結果を Figure 3 に示す。リザーバ電圧が 2~3V で、キープアライブ電流が線形特性を持つ。これを利用してキープアライブ電流をリザーバ電圧で制御し、管内水素圧力を調節する。これより印加電圧の点弧タイミングの安定化を図る。

Figure 4 にはサイクロンの周辺機器のブロック図を示す。サイクロンのキープアライブ電流測定、およびリザーバ電圧制御は 16bit ADC/DAC を装備する PLC にて制御、データ取得がおこなわれる。また、サイクロンの点弧時のノイズによる影響を避けるタイミングでデータ収集がおこなわれる。

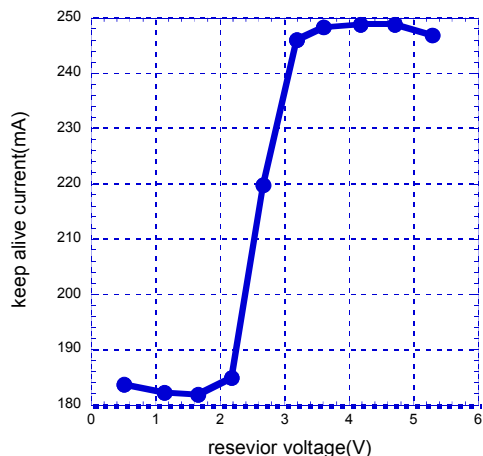


Figure 3: Keep-alive current as functional of H₂ reservoir voltage of thyatron.

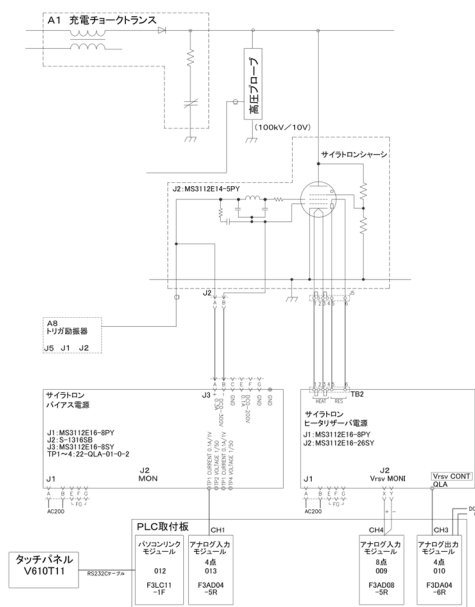


Figure 4: Block diagram of control system for thyatron.

4. クライストロン収束コイル用電源の更新

節電、並びに老朽化対策として、クライストロン収束コイル用電源の更新が進められている。これまで使用していた電源は、リップルなどの安定性の観点から、シリーズレギュレータ式を採用してきた。昨今のスイッチング電源の安定度、並びに信頼性は大幅に向上し、電源効率も 80~90%と高い。さらに電源のサイズは、従来電源の 4 分の 1 程度となり、重量も 6 分の 1 と軽量化される。こうした利点をもつスイッチング電源の採用を検討している。

現在、試験的にクライストロン収束コイル用電源としてスイッチング電源を導入し、クライストロン動作をおこなっている。クライストロンの rf 電力振幅、位相の安定性に関して精密測定を実施し、その結果を踏まえて、すべてのクライストロンに対して交換を行う予定である。

5. 電子銃半導体スイッチ化

電子銃用変調器電源では、インバータ直流電源で PFN 回路への充電をおこなう。そして昇圧比が 30 倍のパルストランスにより 200kV のカソード・アノード電圧を発生する。パルス電圧の平坦部の時間領域は、300ns 程度である。これは先に述べたようなサイクロンの動作時間変化が影響する量である。電子銃用変調器電源においては、サイクロンの代替として、長寿命で運用可能な半導体スイッチを開発している。

その要求される性能は、繰り返し時間が 10pps、ピーク電流が 1kA である。これに対して製作した半導体スイッチは、ピーク電流が 2kA、印加電圧が 25kV である。半導体スイッチは、Figure 5 に示した試験回路を用いて性能評価を行った。取得した電流波形を Figure 6 に示す。評価試験の条件は、電圧が 4kV、電流が 2kA、繰り返し周波数が 25pps である。試験中、スイッチング素子の温度は、最大 45°C まで上昇した。

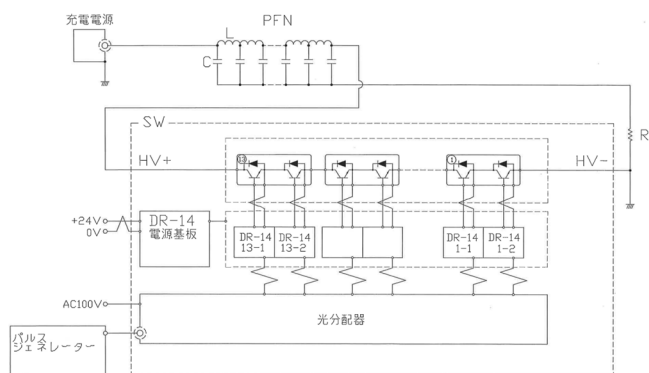


Figure 5: Block diagram of IGBT switch test stand.

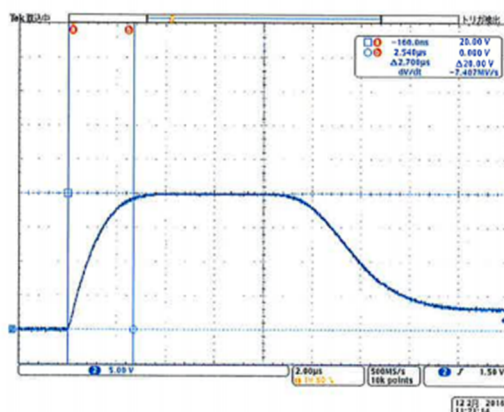


Figure 6: Current waveform of IGBT switch.

6. まとめ

2015年度のビーム運転において、クライストロン変調器電源のインターロックによる停止は31回であった。

数年におよぶ変調器電源運転で、サイラトロン点弧タイミング変化が生じている。サイラトロンのキープアライヴ電流とリザーバ電圧との相関を利用し、このタイミング変化を抑制するための制御を計画している。本年夏期停止期間に1台の変調器電源を導入し、長期間の試験運転を計画している。また、電子銃用変調器電源においては、開発した半導体スイッチを導入し、長期運転での評価を行う予定である。

参考文献

- [1] T. Kobayashi *et al.*, “PRESENT STATUS OF KLYSTRON MODULATOR OF 1-GEV SPRING-8 LINAC DEVELOPMENT OF SEMICONDUCTOR SWITCH FOR MODULATOR”, Proceedings of the 10th annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 3-5, 2013, Nagoya, Japan.
- [2] S. Harada *et al.*, “DEVELOPMENT OF SEMICONDUCTOR SWITCH FOR MODULATOR”, Proceedings of the 12th annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 5-7, 2015, Tsuruga, Japan.