

Figure 2: Timing variation of klystron pulse voltage.

サイラトロン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 社製のサイラトン(L-4888C)を使用している。このサイラト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 にはサイラトロン周辺機器のブロック図を示す。サイラトロン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、サイラトロン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。

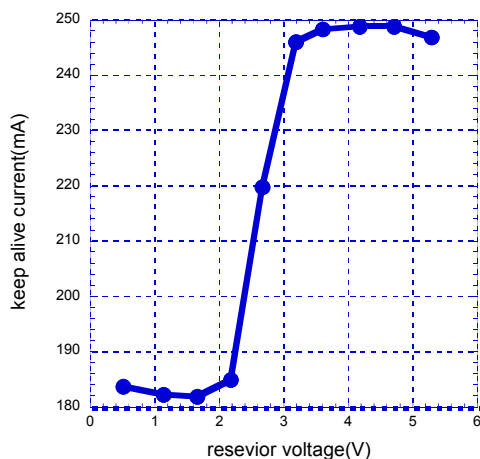


Figure 3: Keep-alive current as functional of H<sub>2</sub> reservoir voltage of thyatron.

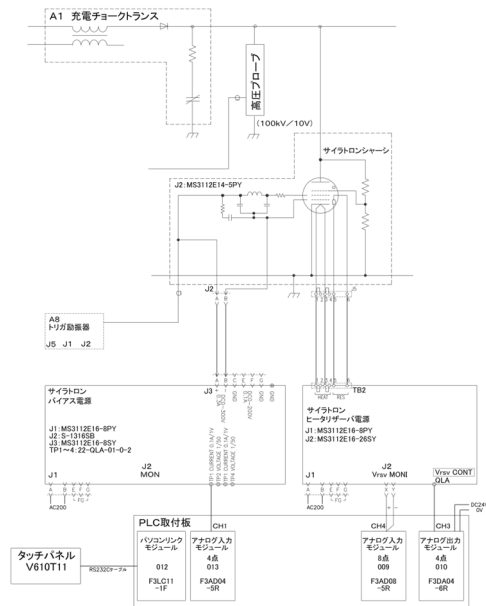


Figure 4: Block diagram of control system for thyatron.

#### 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ラトロン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、サイラトロン代替として、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。

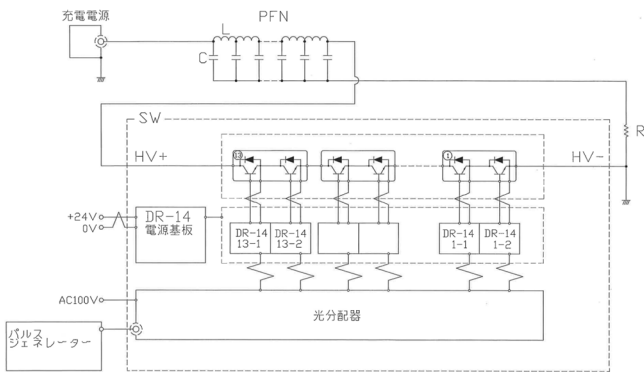


Figure 5: Block diagram of IGBT switch test stand.

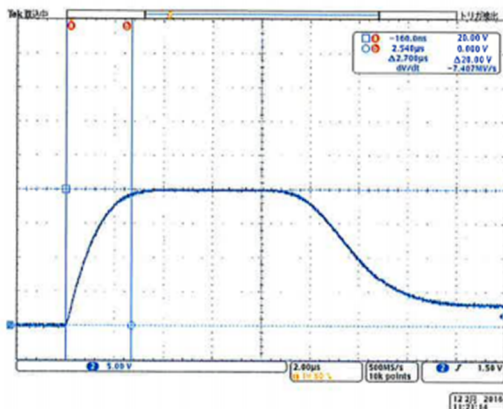


Figure 6: Current waveform of IGBT switch.

## 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ブ電流トリガー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.