

## STABILIZATION OF THE RF FOR SCRFAQ

Masashi Okada<sup>1</sup>, Shigeaki Arai, Kazuo Shiino  
High Energy Accelerator Research Organization  
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

Tokai Radioactive Ion Accelerator Complex (TRIAC) facility consists of a tandem accelerator, an isotope separator on line, a charge-breeder of electron-cyclotron-resonance type, a split-coaxial RFQ and an interdigital-H linac. In order to improve the beam quality from SCRFAQ, the rf voltage fed to SCRFAQ is stabilized by two methods. Output level from the rf power supply is determined by a control voltage of 0 to 10 volts. As for the slow rf voltage fluctuation with a few minutes period, we stabilize by resetting automatically the control voltage every second. On the other hand, as for the fluctuation synchronized with AC line, we stabilize by modulating the control voltage so as to compensate the fluctuation. As a result, the fluctuation is decreased from 7% to 2%.

## SCRFAQ用RFの安定化

### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構(KEK)と日本原子力研究開発機構(JAEA)は共同研究施設として短寿命核実験施設(TRIAC)を建設した。この施設はKEK田無の短寿命核用重イオン加速器を原子力機構のタンデム施設に移設し、タンデムからのビームを用いて生成した短寿命核を分離・再加速して天体核物理や物質科学等の実験を行うもので、2005年度から共同利用を開始している。<sup>[1]</sup> この施設では短寿命核用の重イオン加速器として分割同軸型RFQ加速器(SCRFAQ)とインターディジタル-H型加速器(IH)の2種類の加速器を運用しているが、このうちSCRFAQは移設後空洞電圧の変動が大きくなりその安定化が課題であった。今回、安定化の為に2つの改善を行ったので、それについて発表する。

### 2. SCRFAQのRF電源

SCRFAQの高周波(RF)電源は固体増幅1段と真空管増幅3段のRF増幅器で、最大出力は30%デューティで350kWである。パルス運転が基本であるが、繰り返し周波数とパルス幅の積を1秒以上にすることで連続運転も可能となっている。通常は繰り返し200Hzでパルス幅が2.5msのデューティ50%で運転している。この繰り返しのタイミングは電源外部から入力されるパルス信号によって制御される。また、RF出力は操作盤の制御入力端子に0~10Vのリモート制御電圧をかけて設定する。電源には出力を安定にするための自動利得制御回路(AGC)が内蔵されているが、十分な機能を果たしていない。

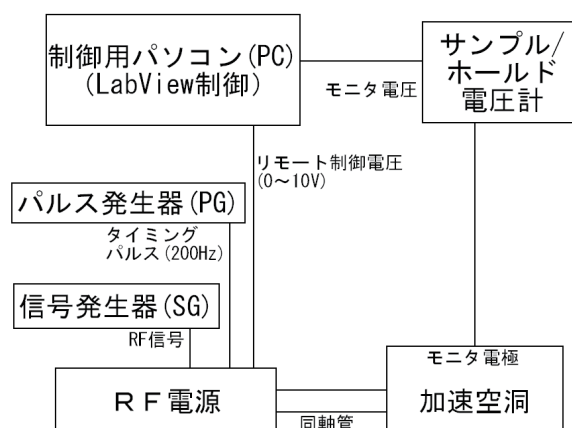


図1 長周期RF安定化システム概要

### 3. 長周期変動の安定化

空洞電圧の変動は大きく分けて数分単位で変動する比較的ゆっくりしたものと、電力ライン(ACライン)からのノイズによる50Hzの短いものの2つがある。そこでまず、図1の様に空洞電圧をモニタしてその値が設定値となるようにRF電源のリモート制御電圧を調整する様にすることで変動を抑えることにした。その結果、1秒毎にモニタ電圧を比較しながら、リモート制御電圧を0.01V単位で調整するようになったところ、図2の様に0.1V程度変動していたものが0.01V以内に収まるようにすることが出来た。

<sup>1</sup> E-mail: masashi.okada@kek.jp

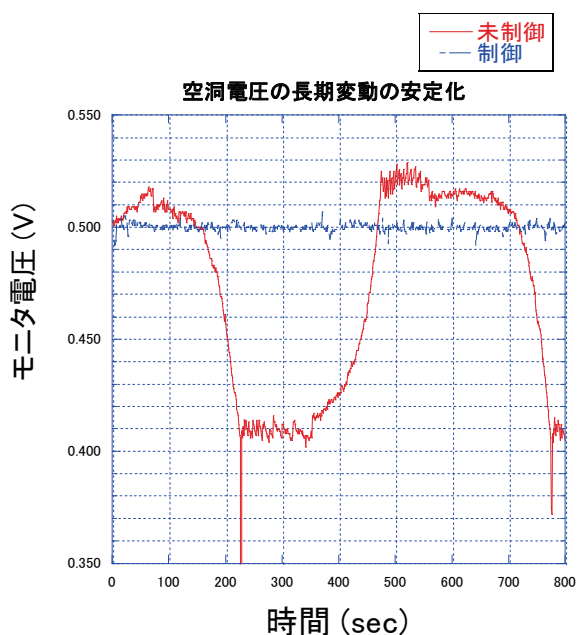


図2 長周期変動の安定化

#### 4. 短周期変動の安定化

次に、短周期の変動に対してもフィードバック制御を行うことを検討したが、1周期が20msと速いために長周期変動の時の装置を使った制御では間に合わない為、CAMACのモジュールを使ったシステムを新たに製作した。その概要を図3に、また実際の機器を図4に示す。このシステムはノイズとRFパルスのタイミングを同期させたいうで、モニター電圧をサンプリングA/D変換器(SADC)モジュールで取り込み、制御用パソコン(PC)でフィードバック制御の為の処理をした補正波形をD/A変換器(DAC)モジュールから出力する。これをミキサーでリモート制御電圧に重ね合わせる事でノイズを打ち消し空洞電圧の安定化をはかるものである。

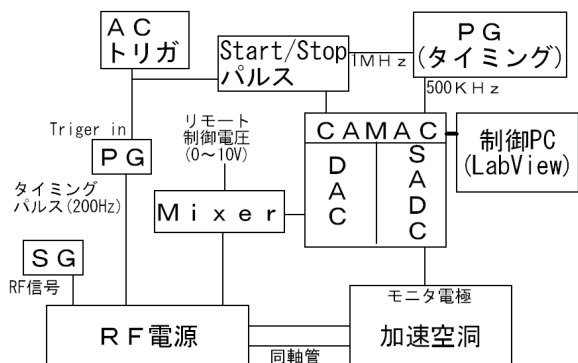


図3 短周期RF安定化システムの概要

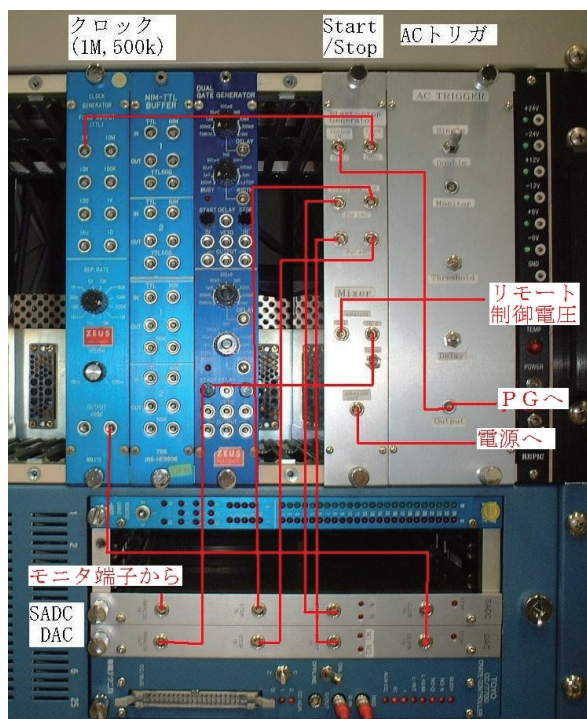


図4 安定化システム

##### 4.1. ACトリガーモジュール

RF電源のパルス運転の為のトリガ信号として従来パルス発生器(PG)からのパルス信号を使っていた。ノイズ周期の50Hzと電源の繰返周期の200Hzは整数比の関係であるが、特に同期を取っていたわけではなかった為、タイミングに微妙なずれがありノイズそのものには変化が無くてもRF波形に乗るノイズ波形は一定しなかった。そこで、ACラインから50Hzのパルス信号を生成し、PGはこれをトリガにして1トリガ毎に200Hzのパルス信号を4つ出力する事にした。これにより、RFのタイミングとノイズの波形を同期させることが出来、リモート制御電圧を用いた制御が出来るようになった。

##### 4.2. Start/Stopモジュール

Start/StopモジュールはACトリガモジュールからの信号でSADC・DACのスタート信号を生成、19.88ms後にストップ信号を生成する。ストップ信号から次のスタート信号まで0.12msの時間があるのは、コマンドの処理時間を確保する為とACトリガに揺らぎがあるのでストップ信号と次のスタート信号がぶつからないようにする為である。

##### 4.3. SADCモジュール

±5V入力の12bit SADCは外部からのクロック信号の1/10の時間間隔でサンプリングしメモリにデータを保存する。今回はノイズの1周期20msを1000データに分解する為500kHzのクロック信号を入力して使用している。スタート信号でデータ集録をはじめ、ストップ信号を受信するかメモリ一杯になる

までデータを保存する。保存したデータはCAMACのバスからPCに転送されるが、その間データの集録は行わない。

#### 4.4. DACモジュール

±5V入力の12bit DACは、メモリのデータをクロック信号の1/10の時間間隔で出力する。スタート信号で出力をはじめ、ストップ信号を受信するかメモリ領域を超えるまで出力をつづける。メモリは2バンク用意しており、切替コマンド受領後ストップ信号で切替えられる。これはメモリバンクが1つだとPCからデータを転送している間はDACからの出力が止まってしまうが、2つのバンクにしてPCからデータを転送するバンクとDACが読み出すバンクを分けることでPCからのデータ転送中でもDACの出力を続けられる様にする為である。

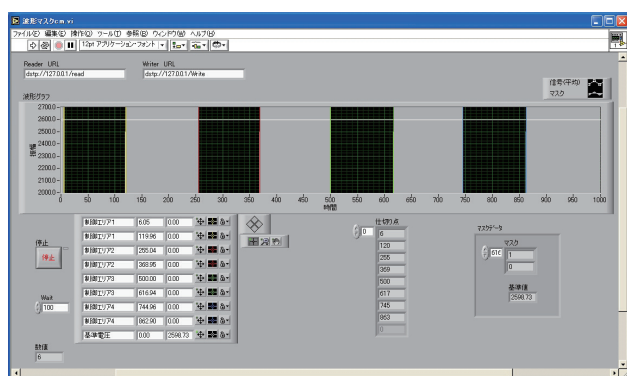


図5 短周期安定化制御プログラム

#### 4.5. 制御プログラム

SDACから取り込んだモニタ電圧がプログラムで設定した値と等しくなるようにリモート制御電圧に重ねる補正波形を生成する。RF電源がパルス運転の場合、RFの出力が出ていない時間やRF出力の立ち上がり立ち下りなど設定値に合わせようの無い部分がある。そこを無理にあわせようとするとリモート制御電圧に異常な値を重ねてしまいRF電源を破損する危険があるので、そのような制御出来ない部分についてはプログラム上でDACの出力を0Vにするようになっている。

#### 4.6 動作テスト

このシステムを用いて実際にRFが安定するかのテストを行った。

空洞電圧は $A/q=9.6$ のイオン加速に必要なモニタ電圧で0.6Vに設定された。RFデューティは繰り返し200Hz、パルス幅2.5msの50%に設定された。この状態で安定化制御を行っていない状態と行った状態のモニタ電圧を比較した。その結果を図6に示す。未制御の状態では約0.04Vの変動幅がありRFの立ち上がりでスパイクが生じていたものが、制御する事

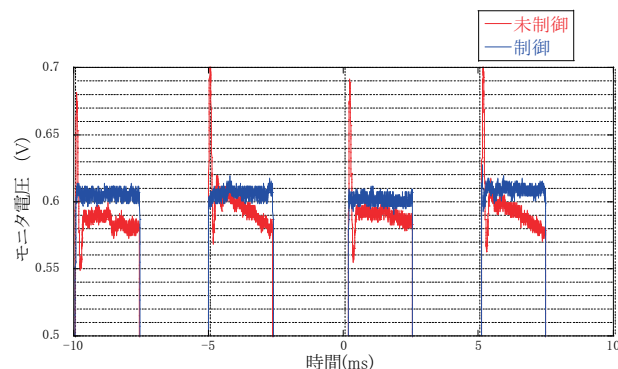


図6 短周期変動の安定化

によりスパイクがなくなった上、変動幅も約0.01Vまで低減させることが出来た。

## 5. まとめ

TRIAc加速器において懸案だったSCRfQのRFの安定化を行った。空洞のモニタ電圧を監視しながらリモート制御電圧を自動調整することで長周期の変動を抑える事ができるようになった。次に高速なSADC・DACを用いたシステムによりACラインから乗った50Hzの短周期変動を0.6Vの設定に対し0.01V程度の変動幅に抑えることが出来るようになった。

## 参考文献

- [1]. 岡田雅之 他, "短寿命核用重イオンリニアック (TRIAc) の建設", Proceedings of the 30<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, P233-235, 2005