

## パルス変調器用高精度コンデンサ充電器の開発

### DEVELOPMENT OF HIGH-PRECISION CAPACITOR-CHARGING POWER SUPPLY FOR PULSE MODULATORS

秋川 藤志<sup>#, A)</sup>, 遠藤 治<sup>A)</sup>, 佐藤 和行<sup>A)</sup>, 篠原 己拔<sup>A)</sup>, 明本 光生<sup>B)</sup>, 設楽 哲夫<sup>B)</sup>,  
中島 啓光<sup>B)</sup>, 福田 茂樹<sup>B)</sup>, 本間 博幸<sup>B)</sup>, 道園 真一郎<sup>B)</sup>

Hisashi Akikawa<sup>#, A)</sup>, Osamu Endo<sup>A)</sup>, Kazuyuki Sato<sup>A)</sup>, Kibatsu Shinohara<sup>A)</sup>, Mitsuo Akemoto<sup>B)</sup>, Tetsuo Shidara<sup>B)</sup>,  
Hiromitsu Nakajima<sup>B)</sup>, Shigeki Fukuda<sup>B)</sup>, Hiroyuki Honma<sup>B)</sup>, Shinichiro Michizono<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Nihon Koshuha Co., Ltd.

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

#### Abstract

We have developed a high power and high-precision switching power supply to charge a PFN for klystron modulator which is used as an RF source of the KEK electron/positron injector linac. This power supply has a maximum output voltage of 43 kV and a charging power of 35 kJ/s. It consists of two power supplies, a main power supply and a sub power supply to obtain a charging voltage stability of less than 0.03 %p-p.

#### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構電子陽電子入射器の高周波源である、大電力クライストロン用パルス変調器<sup>[1][2]</sup>の PFN (パルス成形回路) コンデンサを充電するためのスイッチング電源について報告する。

#### 2. 仕様

Table 1 に主な仕様を示す。

Table 1: Specifications (for 0.62  $\mu$ F load)

Input voltage	AC 420 V $\pm$ 5 % (3-phase)
Charging power	35 kJ/s (主電源: 30 kJ/s 補電源: 5 kJ/s)
Output voltage	43 kV
Average output current	1.8 A (主電源: 1.6 A 補電源: 0.2 A)
Repetition rate	50 pps
Output voltage stability	0.03 %p-p (at 43 kV)
Cooling water	5 L/min (主電源) 空冷 (補電源)

本電源は、PFN コンデンサ (容量 0.62  $\mu$ F) を 18 ms 以内に 43 kV まで充電する動作を、50 pps の繰り返しで行う。

定格動作時の安定度は、3 相 420 V 入力の変動  $\pm$  5 % に対して 0.03 %p-p 以内である。この電源は、従来単独で使用していた出力 30 kJ/s 安定度 0.2 %p-p の電源<sup>[3]</sup> (以下、主電源) に、新たに開発した出力 5 kJ/s の電源 (以下、補電源) を組み合わせる構成になっており、両者を協調動作させることで速やかな充電と高い安定度の条件を同時に満たす設計になっている。

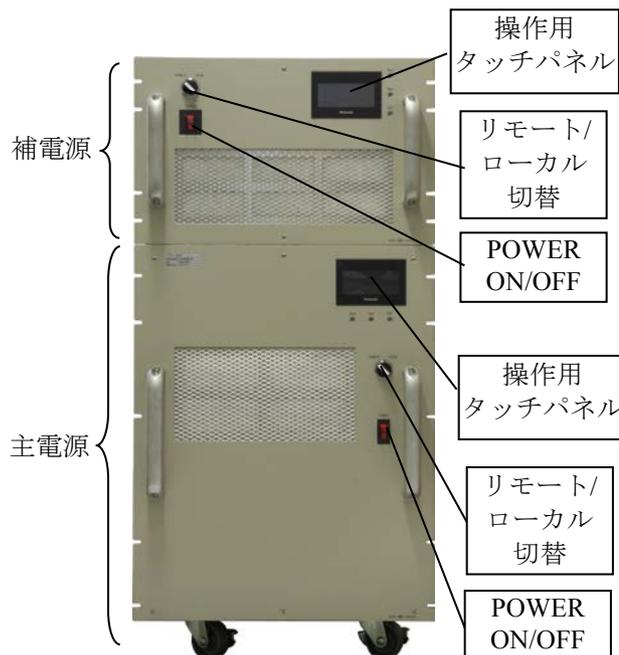


Figure 1: Front view of the power supply.

<sup>#</sup>h\_akikawa@nikoha.co.jp



Figure 2: Rear view of the power supply.

Figure 1 に主電源と補電源を組み合わせた状態の外観写真を、Figure 2 に背面写真を示す。補電源のサイズは幅 480 mm (19 インチラックマウント)、高さ 300 mm、奥行き 650 mm (端子等の出っ張り含まず) であり、主電源と組み合わせた状態では高さ 980mm (キャスター含む) となる。正面側には、主補電源それぞれに、電源スイッチ、リモート/ローカル操作切り替えスイッチ、各種設定を行うためのタッチパネル、モニタ信号出力コネクタを有する。背面側には、主補電源それぞれに、電源入力端子、高圧出力コネクタ、リモート制御用コネクタ、モニタ信号出力コネクタがある。加えて補電源の背面には、主電源制御用コネクタ、電圧プローブ信号入力コネクタがある。

### 3. 回路構成

Figure 3 に補電源の模式図を示す。本電源は、整流部、高速インバータ、高電圧発生部より成る。整流部は入力の 3 相 AC420 V 入力を DC600 V に変換する。インバータ部は IGBT を用いた直列共振回路となっている。高電圧発生部は、高周波トランスとダイオードブリッジ回路より成り、最大 43 kV を出力する。

主電源も基本的に同様の回路であるが、こちらのインバータ部は電流が大きいので 2 並列となっており、設定電圧に近くなると片側の回路を止めることでステップ電圧を小さくし電圧安定度を高めている。インバータのスイッチング周波数は、主電源が 20 kHz、補電源が 35~17.5 kHz の可変となっている。

Figure 4 に主補電源を組み合わせたブロック図を

示す。負荷や上位制御との接続はすべて補電源に集約されている。主電源の出力は補電源内部を経由する。また、主電源の制御用信号も補電源が生成するようになっている。主電源で発生したインターロック信号なども補電源を経由して一括して上位に送られる。

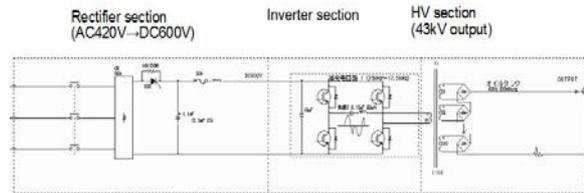


Figure 3: Schematic diagram of the sub power supply.

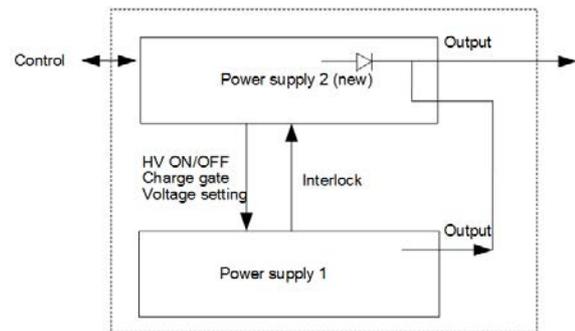


Figure 4: Block diagram of the power supply.

### 4. 制御

充電中の電源動作状態としては、電圧が設定電圧に近付くにつれ、以下の 5 段階を遷移するような制御を行っている。

- 第 1 段階: 充電ゲート ON  
…主電源と補電源が同時に動作開始
- 第 2 段階: 設定電圧の約 1 kV 手前  
…主電源の片方のインバータ停止
- 第 3 段階: 設定電圧の約 250 V 手前  
…主電源停止、補電源のみ動作
- 第 4 段階: 設定電圧の約 30 V 手前  
…補電源スイッチング周波数低下
- 第 5 段階: 設定電圧到達  
…補電源停止

充電ゲート入力により主電源と補電源が共に出力動作を開始し、設定より少し低い電圧でまず主電源の動作が停止する。その後、設定電圧に達すると補電源の動作も停止する。電圧が上がるにつれ順に充電電流が少なくなり、第 4 段階では充電電流は約 0.1 A まで減る。これにより高精度の電圧制御が可能となっている。

状態遷移条件は設定電圧との電圧差によって決ま

り、これは使用条件に応じて変更することも可能である。また、制御に用いる電圧信号としては、PFNの電圧プローブ信号を入力して使用するようになっている。

本電源は、負荷や電源自身を保護するための各種インターロック機能を備えており、異常が生じた場合は出力を停止しタッチパネルに状態表示を行う。Table 2 にインターロック機能の一覧を示す。

このうち、異常充電インターロックはサイラトロンの誤爆などによって発報するが、パルス変調器の運転稼働率を上げるため、一度の異常検知だけでは発報しないように設定することも可能である。正面のタッチパネルより回数を設定すると、繰り返し毎に異常充電を監視し、それが設定回数以上に連続して起こった場合にのみ出力が停止する。連続回数は1~5回の範囲で設定可能である。

Table 2: Interlocks

Power line	入力電圧異常
Over voltage	出力電圧異常
Abnormal charging	異常充電
Under current	充電電流低下
Fan	冷却ファン停止
Temperature	内部温度上昇
Door	メンテナンスパネル 開放
Fuse	内部ヒューズ断
External interlock	外部インターロック

## 5. 試験と結果

模擬負荷を接続したパルス変調器に本電源を接続し、PFNコンデンサを繰り返し充放電させる試験を行った。

PFNを0Vから43kVまで充電した時の充電電流と充電電圧を測定した図がFigure 5である。充電開始より約13ms後までが第1段階、約14ms後までが第2段階、約15ms後までが第3段階、約15.5ms後までが第4段階の充電状態となっており、設定電圧に近づくごとに充電電流が段階的に小さくなっているのが確認できる。

電圧安定度を測定するため、定格の43kV、50ppsでの繰り返し充放電を行い、充電電圧波形を10,000回重ね合わせたピーク付近の拡大図がFigure 6である。ピーク電圧の変動は10,000回繰り返し時

で9.3Vp-pであり、充電電圧43kVに対して0.022%p-pの電圧安定度が得られた。

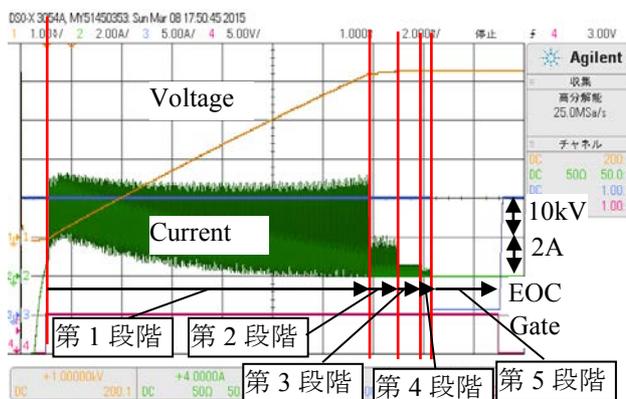


Figure 5: Charging voltage and current waveforms at 43 kV, 50 pps.

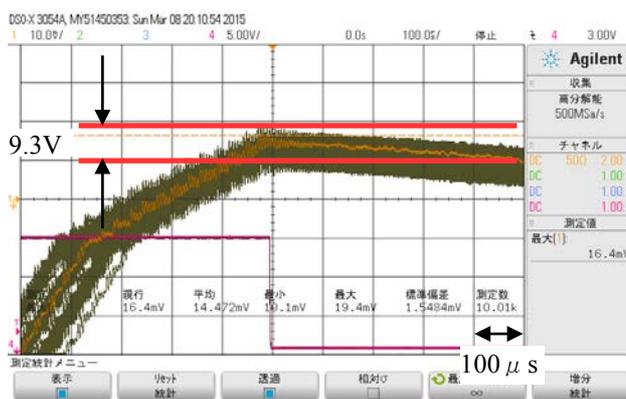


Figure 6: Charging voltage stability for 10,000 times.

## 6. まとめ

大電力クライストロン用パルス変調器のPFNコンデンサを充電するのに用いるスイッチング電源を開発した。従来使用していた出力30kJ/s安定度0.2%p-pの電源に、新たに開発した出力5kJ/sの電源を組み合わせる構成とすることで、0.03%p-p以下のピーク電圧安定度が得られた。

## 参考文献

- [1] 中島啓光 他. “小型パルス電源の特性と今後の課題”, Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp. 48-50, 2003.
- [2] 明本光生 他. “KEK 電子・陽電子入射器用クライストロン電源の現状”, Proceedings of the 33th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp. 892-894, 2008.
- [3] 遠藤治 他. “大電力スイッチング電源の開発”, Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan in Japan, pp. 621-623, 2013.