

Development of High Voltage Capacitor Charger for XFEL/SPring-8

A.Kawasaki^{A)}, T.Aoki^{A)}, A.Tokuchi^{A)}, T.Shintake^{B)}, T.Inagaki^{B)}, H.Takebe^{B)}, C.Kondo^{B)}

^{A)} Nichicon Kusatsu

2-3-1 Yagura, Kusatsu City, Shiga, 525-0053

^{B)} SPring-8/RIKEN

1-1-1 Kouto, Sayo-Cho, Sayo-Gun, Hyogo, 679-5148

Abstract

As for an X-ray Free Electron Laser, it is one of the national key technologies, and this achievement, the charger named 0.01% or less that charges a high voltage with the capacitor in high accuracy extremely is needed. The accuracy of the high voltage charger is about 0.1% in the prior art, and accuracy that is one digit higher has been demanded. Our company developed the super-highly accurate high voltage charger that adopted the circuit and the structure of a new method this time, and achieved this demand performance.

The stability operation of an X-ray Free Electron Laser greatly improves by completing this device, the valuable experimental data is obtained, and it can be said that a big contribution was accomplished aiming at the establishment of the national key technology.

X-FEL/SPring-8向け高電圧充電器の開発

1. はじめに

X線自由電子レーザー(X-FEL)はその動作媒体として高エネルギーの電子ビームを使用するが、電子ビームの性能が発生するX線レーザーの性質に大きく影響する。電子ビームを加速する線型加速器における加速エネルギーの安定性は、主にその電源の安定性で決定される。X線自由電子レーザーの実現のためには、0.01%以下という極めて高精度でコンデンサを高電圧に充電する充電器が必要であった。

2. 従来方式の課題

従来、線型加速器の安定性は、蓄積リング型よりも格段に悪く0.1%程度にとどまっていた。これはクライストロン(高周波増幅管)である大電力パルス電源のパルスジッタが大きかったためである。

電子線形加速器は1秒間に60回のパルス動作をするが、パルス動作ごとに約10msでエネルギー蓄積用のコンデンサに50 kVの高電圧を高速充電する必要がある。

従来、このコンデンサに充電するためにピーク出力が35 kWの大容量のインバータ回路を使用していたが、安定性が0.1% (1000 ppm)程度に制限されていた。

これは、大容量のインバータ回路のスイッチング素子として使用するIGBTのスイッチング周波数が、その素子に付随する大きな寄生容量が存在することにより20kHz程度が限界である為、充電の間にインバータ回路が200回/パルス程度しかスイッチングできず、充電電圧の誤差が生じることが課題であった。

ここで、安定性とは設定電圧に対するDC~数百kHz帯域の電圧揺らぎの度合いを意味する。

3. 新方式

3.1 新方式

従来方式に比べて、一桁以上(0.01%以下)の高安定性を実現するため、出力電力容量が大きく急速充電が可能な大容量のインバータ回路部と、出力電力容量が小さく100kHz程度の高速スイッチング動作が可能な小容量のインバータ回路を並列接続する方式を用いた。

3.2 動作説明

図1に新方式のブロック図を示す。

まず、大型のインバータ回路によって任意の設定電圧の直前(設定電圧値の99.7%程度)までコンデンサが充電され、その後、出力電力容量が小さく100kHz程度の高速スイッチング動作が可能な小容量のインバータ回路に切り替わり設定電圧までの充電、および充電後のコンデンサの定電圧制御が行われる。

小容量のインバータ回路には、ドロップ回路によって充電電圧が設定電圧と等しくなるように調整された直流電圧が供給されるようになっている。

また、この高い周波数で駆動しても十分な効率、力率が得られるように、高周波変圧器の2次巻線及び整流回路部分を基板化とする構造を採用し、巻線部の浮遊容量を従来比1/10以下を実現した。

また、ドロップ回路を制御するためのフィードバック信号部分(誤差アンプ等)は±0.5に温度管理された恒温槽に収納しており、周囲温度変化の影響による安定性の変化を抑えた。

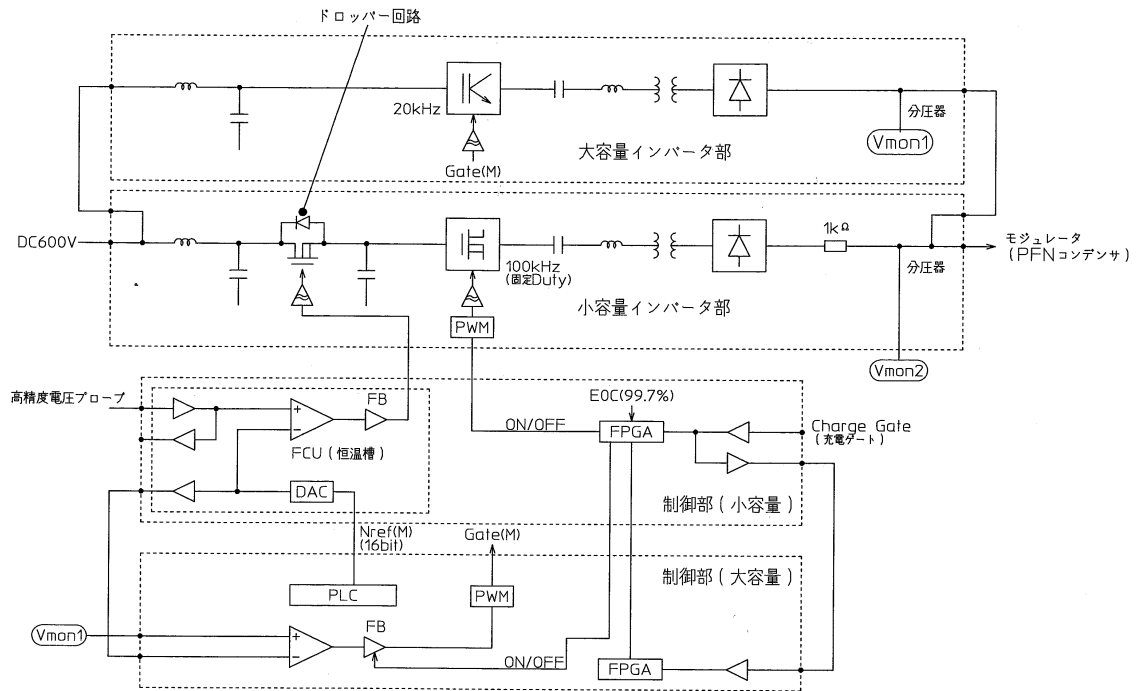


図1：新方式ブロック図

3.3 充電器の緒元

本充電器の仕様は下記の通り。

- 出力電圧 50kV
- 出力電流 1.5A
- 最大充電繰り返し 60Hz
- 充電電圧安定度 0.01%(100ppm)以下

3.4 測定結果

図2にPFNコンデンサ470nF、充電電圧45.5kV、繰り返し60Hzでの運転時の充電電圧、充電電流、充電ゲート、充電電圧の拡大波形を示す。充電電圧安定度は0.006% (60ppm)であり、仕様の0.01% (100ppm)以下を達成した。

充電波形の全体図 1秒間の波形を重ね書きしている。

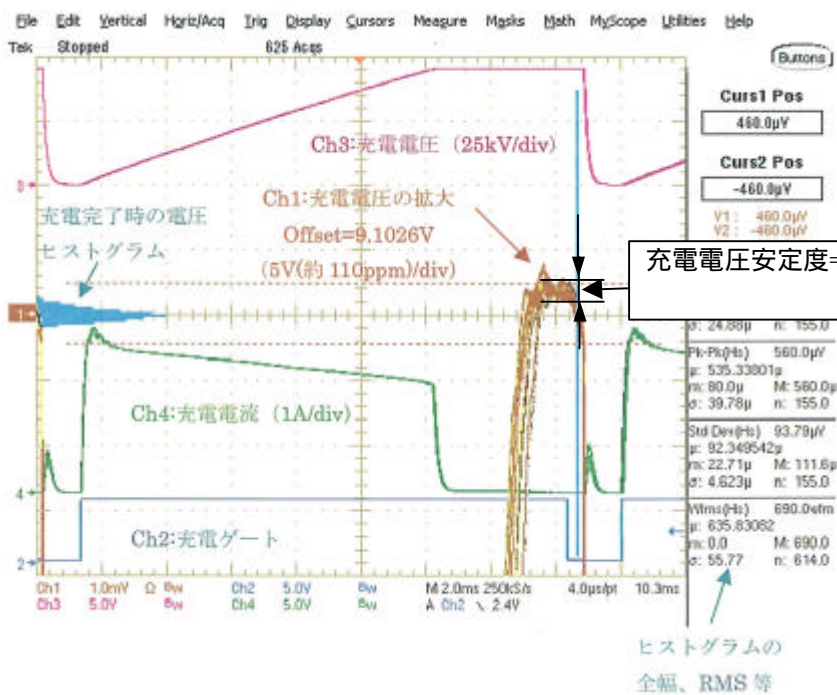


図2：運転時各部波形

4. まとめ

本充電器では、当社の高電圧発生技術と高精度制御技術を駆使して、高電圧充電器の、高安定化に成功し、X-FELの実現に必要な充電電圧安定度0.01%以下の要求性能を達成した。

本充電器は完成後、約1年間の実負荷連続運転を行い、安定に動作することが確認できた。この装置の完成により、X-FELの安定動作が大幅に改善し、貴重な実験データが得られており、国家基幹技術の確立に向けて大きな貢献を果たしたといえる。

また、X-FELの様に、ますます高精度化が要求される高エネルギー加速器分野において、幅広く貢献するものと期待する。

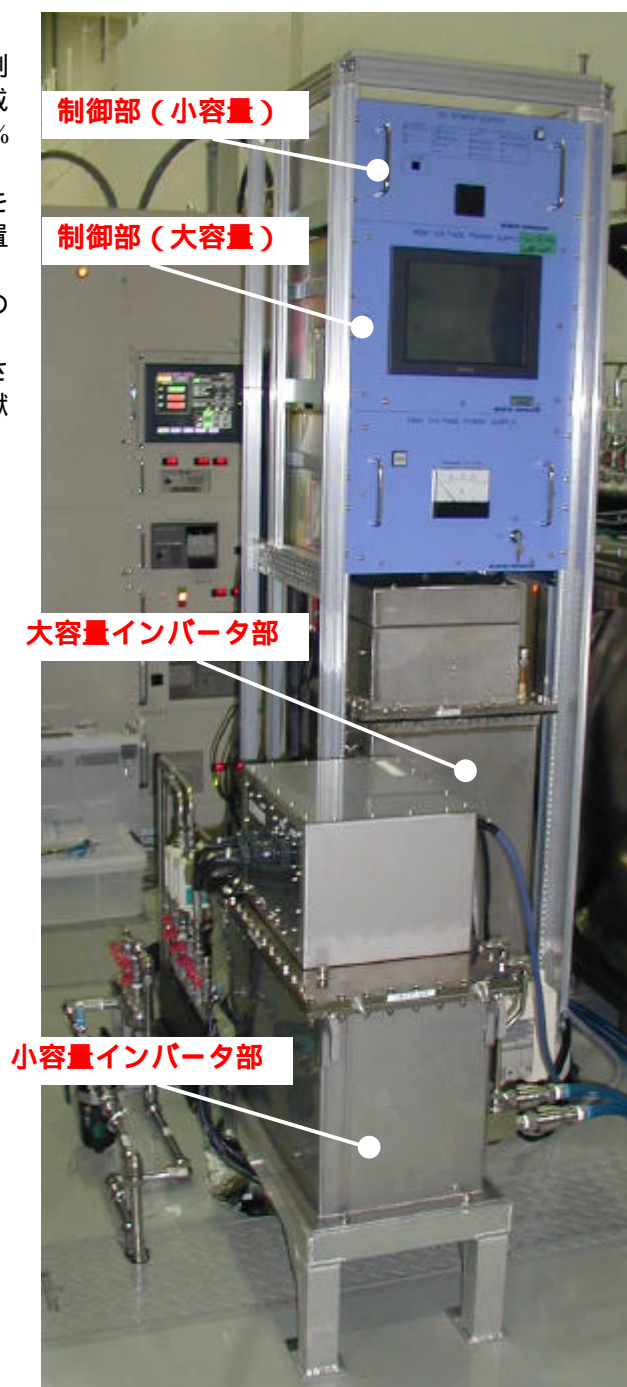


図3：高電圧充電器の外観写真