

# 小型パルス電源の特性と今後の課題

中島 啓光<sup>1</sup>、本間 博幸、明本 光生、設楽 哲夫、福田 茂樹  
高エネルギー加速器研究機構  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

## 概要

KEKB 計画では、より高いミノシティーを目指した Super KEBK 計画が検討されている。Super KEBK 計画では、陽電子のエネルギーを現行の 3.5GeV から 8GeV にするため、入射器の増強が必要となる。入射器の増強は、後半の 24 の加速ユニットを S-band から C-band にし 48 ユニットとする。それには、スペース的な問題から、クライストロン用パルス電源の小型化が必要となる。

パルス電源の小型化については、昨年度検討を行い、現行の約 1/3 の寸法にした新規電源が製作された。本稿では、完成した小型パルス電源について報告する。

## 1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器では、Super KEBK 計画に向けて陽電子のエネルギーを 3.5GeV から 8GeV に増強することが検討されている。陽電子のエネルギーの増強は、後半の 24 の加速ユニットを S-band から C-band にし 48 ユニットとする<sup>[1]</sup>。それに伴い、現在の 1 ユニットのスペースに 2 ユニットの配置することになり、パルス電源の小型化が必要となる。

昨年度、本研究会で報告したように、新規の小型パルス電源は、保守、予算面などから、現行の電源を元にし、充電方式をインバーター充電方式として検討した<sup>[2]</sup>。その結果、現行の電源の約 1/3 の寸法にした電源が完成した。現行の電源を元にし、組み込みユニットの大半も現行のものを使用したため、製作は、比較的順調に行われた。しかし、試験の結果から幾つか改善すべき点もあり、今後の課題となっている。

現在、この電源は、クライストロンの試験等<sup>[3,4,5]</sup>に使用されており、順調に稼動中である。以下では、電源の製作、試験結果、課題について述べる。

## 2. 電源の製作

### 2.1 パルス電源の電気的仕様

主な電気的特性の仕様を表 1 に、回路図を図 1 に示す。設計値は、負荷側のクライストロンから要求されている性能である。また、表 1 の括弧内は、完成後の実測値である。特に重要な充電電圧、出力電圧に関しては、測定結果を含め、3 章で詳しく述べる。

表 1：小型パルス電源電気的仕様

尖頭出力電力	最大 109MW
平均出力電力	最大 23kW
出力電圧範囲	5 ~ 23.5kV
出力インピーダンス	4.8Ω
負荷インピーダンス	5.0Ω
パルス幅 (半値幅)	4.3μs (4.5μs)
パルス幅 (平坦部)	2.0μs 以上 (2.0μs)
パルス立ち上がり時間	1.0μs 以下
繰り返し	10~50pps
パルス平坦度 (p-p)	0.3% 以下 (1.3%)
パルス電圧安定度 (短時間)	0.2% 以下
パルス電圧安定度 (長時間)	0.5%/H 以下

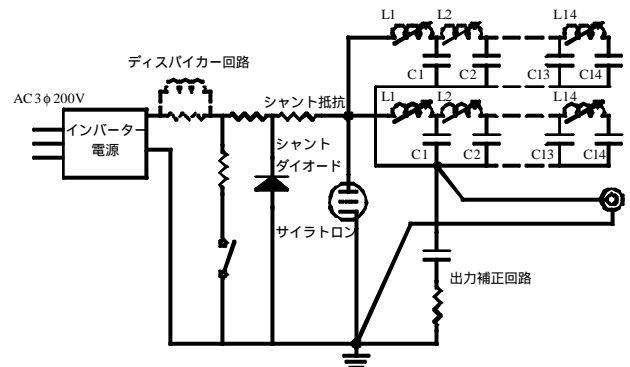


図 1：パルス電源の回路図

インバーター電源の仕様を表 2 に示す。このインバーター電源は、縦 0.53m、幅 0.45m、奥行き 0.63m と非常に小型で、パルス電源の小型化に大きく貢献している。

表 2：インバーター電源の電気的仕様

最大充電電圧	50kV
充電電流 (ピーク)	1.5A
定格充電電力	30kJ/s
充電可能繰り返し	50pps
安定度	±0.2% 以下
トリガー信号	システムトリガー CHARGE GATE
充電電圧設定電圧	0~10V (0~50kV)

<sup>1</sup> E-mail: hiromitsu.nakajima@kek.jp

## 2.3 パルス電源の構成

新規電源の検討段階では、制御筐体部に組み込むユニットが多く、高さがかかなり高くなってしまふこと及び端子盤が配置できないのではないかと懸念があった。しかし、BNCモニターユニットの小型化、端子盤の小型化などにより、当初予定していた高さよりも低くなり、端子盤の配置も可能となった。しかしながら、背面に制御器ユニット、トリガーIユニット、コントロール電源ユニットを配置することは避けられず、端子盤を含めて背面に配置された。また、放電回路部は、現行の電源を改造することを視野に入れ、現行の電源と同じ高さとした。

完成した電源の写真を図2に示す。完成した電源の寸法は高さ3.1m(制御筐体:2.4m)、幅1.8m、奥行き1.5mとなった。放電筐体部を現行の電源と同じ大きさとしたため、高さと奥行きは変わらないが、幅は、4.7mから1.8mへと大幅に小型化されている。

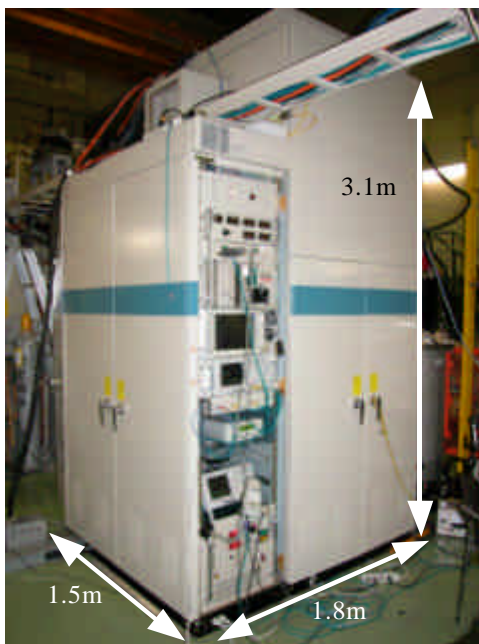


図2：完成後の小型パルス電源

## 3．性能試験

### 3.1 充電電圧の安定度

充電電圧は、出力電圧に大きな影響を与え、特にその安定度は重要である。現行の電源では、de-Q'ing回路が用いられ、充電電圧の安定度は0.2%以内に収められている。今回、充電方式をインバーター充電方式としたことにより、充電電圧の安定度は、現行の電源とは異なり、インバーター電源の安定度によってほぼ決定される。そのため、インバーター電源の安定度は、非常に重要である。

今回使用したインバーター電源の出力安定度は、 $\pm 0.2\%$ 以下である。しかし、当初、充電電圧を測定した所、その安定度はインバーター電源の安定度よ

りも大幅に悪く、原因の調査が行われた。その結果、デイスパイカーコイル(図1参照)のインダクタンスが、インバーター電源のスイッチング周波数に対しては、インピーダンスが大きくなってしまふことが原因であることが明らかとなった。

充電電圧の安定度は、デイスパイカー回路を取り外すことにより改善された。図3は、安定度の改善後、42kVの充電電圧波形を測定した結果である。測定結果から安定度は約 $\pm 0.15\%$ となり、インバーター電源の安定度( $\pm 0.2\%$ 以下)とほぼ等しく、現行の電源と同程度の安定度が得られた。

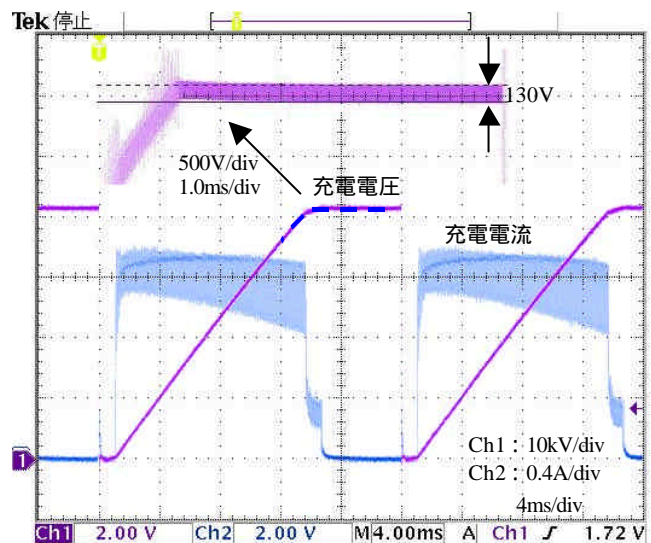


図3：充電電圧波形(充電電圧：42kV)

### 3.2 出力電圧波形

出力電圧のパルス幅は、PFNのコンデンサーの容量、インダクタンス及び段数によって決まる。PFNのパラメーターは、コンデンサーの容量が0.0155 $\mu$ F、コイルのインダクタンスが1.55 $\mu$ H(可変範囲-30%~+20%)で14段2並列である。

出力電圧の測定結果を図4、図5に示す。測定結果は、負荷にC-bandクライストロンを用いたパルストランスの2次側の電圧波形であり、充電電圧を42kVとしたものである。出力電圧の半値幅は4.5 $\mu$ sであり、ほぼ設計通りの波形が得られている。

出力電圧のフラットトップは、平坦度が0.3%(p-p)で2.0 $\mu$ sが要求されている。フラットトップの平坦度は、PFNのコイルのインダクタンスを可変範囲内で変更することにより調整できる。

実際の測定結果からフラットトップを求めると、今回のPFN調整がクライストロンの出力位相安定性を重視して行われたこともあり、平坦度が悪く1.3%(p-p)で2.0 $\mu$ s幅のフラットトップであった。

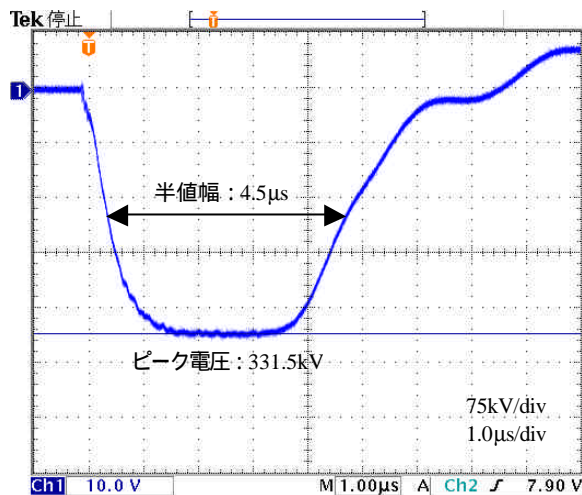


図 4 : 出力電圧波形 (充電電圧 : 42kV)

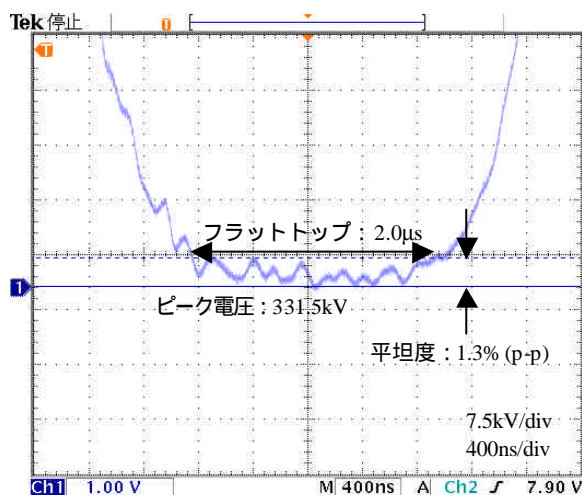


図 5 : 出力電圧のフラットトップ波形 (充電電圧 : 42kV)

### 3.3 インターロックの改善

定電流電源では、過電流に相当するインターロックのかけ方が難しく、今回は、充電許可区間内 (Charging Gate の範囲内) で充電が完了しない場合を異常充電とし、インターロックをかける方式 (図 6 参照) とした。

その結果、HV ON のまま、トリガーを OFF すると、しばらくして、HV も OFF してしまうという問題が起きた。パルス電源の使用時には、HV ON のままトリガー系のインターロックによって、TRIG OFF されることがしばしば起きる。この時に、充電電圧が自然放電され、ある一定の電圧よりも低くなると、インバーター電源が再充電するようになっている。このときのタイミングによっては、Charging Gate の範囲内で充電が完了せずに、異常充電のインターロックが働いてしまう。現在、解決策としては、組み込みユニットの Charging Gate モジュールを改造して、TRIG OFF で Charging Gate の出力を OFF することを検討している。Charging Gate が OFF になれば、再充電されることはなくなり、問題は解決する。

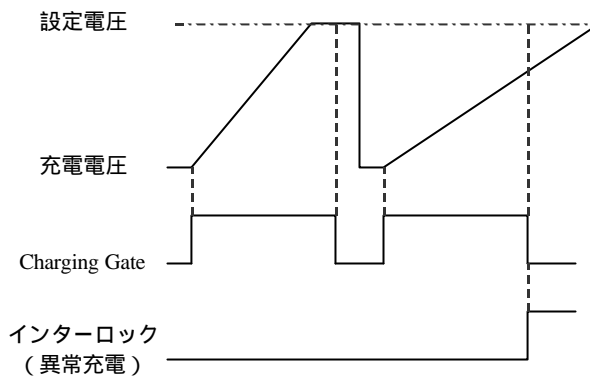


図 6 : タイミングチャート (異常充電時)

## 4 . 今後の課題

### 4.1 インバーター電源の信頼性の向上

インバーター電源については、何度か故障することがあった。インバーター電源の故障は、IGBT が破損するものであり、フルブリッジで使用している IGBT が、ノイズ等の影響で両導通となったためである。インバーター電源の修理時には、予想される原因についての対処を行っており、現在では、順調に稼働中である。しかし、原因が完全に解明されたわけではなく、現在、調査中である。現在は、順調に稼働中であるが、インバーター電源の信頼性の向上が、今後の重要な課題である。

### 4.2 出力電圧フラットトップ

今回、PFN 調整を行った結果、フラットトップの平坦度を 0.3% (p-p) 以下とすることはできず、設計値に及ばないものとなった。その原因としては、PFN の段数の不足、測定系のノイズ等が考えられる。また、現在の PFN では、フラットトップの幅は 2.0μs が限界である。しかし、今後、フラットトップを 2.0μs 以上要求されることも考えられる。これらのことから、今年度製作を予定している 2 号機では、PFN の段数を増やすことができるような架台を使用することで検討を進めている。しかし、まずは、フラットトップの正確な測定を行うことが重要である。

## 参考文献

- [1] 福田 茂樹 他, "SuperB 計画の為の KEK 電子陽電子ライナック C バンド化計画", These Proceedings.
- [2] 中島 啓光 他, "将来計画用小型パルス電源", Proceedings of the 27<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug. 7-9, 2002.
- [3] 松本 利広 他, "C バンド 50MW クライストロンを用いた大電力高周波源 (I) - 低電力励振系の構築 -", These Proceedings.
- [4] 松本 利広 他, "C バンド 50MW クライストロンを用いた大電力高周波源 (II) - 大電力試験 -", These Proceedings.
- [5] 竹中 たてる 他, "C バンド-レゾナントリングを用いた大電力試験", These Proceedings.