

DEVELOPMENT OF POWER SUPPLY FOR 30kW CW IOT/KLYSTRON AT THE cERL

Hiromitsu Nakajima^{#, A)}, Mitsuo Akemoto^{A)}, Tetsuo Shidara^{A)}, Hiroyuki Honma^{A)}, Takako Miura^{A)}, Shigeki Fukuda^{A)}, Shinichiro Michizono^{A)}, Kazuyuki Sato^{B)}, Kibatsu Shinohara^{B)}, Nobuhiko Kumazawa^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Nihon Koshuha Co., Ltd.

1119, Nakayama-cho, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa, 226-0011

Abstract

The DC power supply for (CW) 30kW class RF sources, IOT (-36kV, 1.6A) and klystron (-20kV, 2.5A), has been developed. The RF sources are used to drive 1.3GHz superconducting cavities at the Compact ERL (cERL) in KEK. The details of the DC power supply are reported in this paper.

cERL における 30kW CW IOT/クライストロン用電源の開発

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構では、次世代の放射光源としてエネルギー回収型リニアック (ERL) を検討しており、現在、ERL 開発棟 (旧東カウンターホール) にて、ERL の実現に必要な要素技術の実証を目的としたコンパクト ERL (cERL) ^[1] の建設が進められている。

cERL では、入射器及び主リニアックの超伝導空洞を駆動するために 1.3GHz の RF 源が用いられ、30kW クラスの RF 源として、IOT とクライストロンが用いられる。本電源は、IOT、クライストロンのどちらが負荷となっても使用できるように開発された。

2. 電源の仕様と構成

2.1 電源の仕様

本電源の主な電氣的仕様を表 1 に示す。ヒーター電源は、IOT、クライストロン共用、グリッド電源、イオンポンプ電源は IOT 用となる。

電源に要求される最大出力電圧、最大出力電流は、負荷によって決まり、本電源の負荷としては、30kW IOT (CPI, L3)、または、30kW クライストロン (東芝) が接続される。IOT 負荷では、最大出力電圧-36kV、最大出力電流 1.6A、クライストロン負荷では、それぞれ、-20kV、2.5A である。本電源は、出力回路の接続を変更することで、それぞれの負荷に対応する。

cERL における RF 源に要求される安定度は、電力の振幅安定度 0.1%、位相安定度 0.1 度であり、LLRF 系でフィードバックをかけることで実現され^[2]、RF の安定度に影響を与える電源のリップルは、0.3% (p-p) 以下が要求される。

表 1 : 電源の主な電氣的仕様

受電電圧	AC440V
電圧の安定化方式	スイッチング方式
最大出力電圧	-36kV (IOT) -20kV (クライストロン)
最大出力電流	1.6A (IOT) 2.5A (クライストロン)
出力電圧のリップル	0.3% (p-p) 以下
出力電圧の安定度	0.3% (p-p) 以下
負荷短絡時の保護回路	クローバ回路
ヒーター電源	DC 10V、30A
グリッド電源	DC -200V、1A
イオンポンプ電源	DC 3.5kV

2.2 電源の構成

本電源のブロック図を図 1 に、写真を図 2 に示す。本電源の全体の制御は、PLC によって行われ、ローカルでの操作は、タッチパネルから行う。PLC は、横河のものを使用し、ラダープログラム用の CPU (F3SP66-4S) と Linux 対応の CPU (F3RP61) を使用している。F3RP61 を使用することで、EPICS を PLC 上で実行でき、上位側との接続が容易に行えるものとなっている。

高圧直流電源部は、スイッチング方式であり、AC440V を受電し三相全波整流によって直流に変換し平滑する直流回路と IGBT をスイッチとしたフルブリッジ構成の共振回路を低圧部に収め、高圧トランス及び整流回路を高圧部としてオイルタンクに収めている。負荷放電時には、IOT またはクライストロンへのエネルギーの注入を高速で遮断する必要があり、本電源では、サイラトロンをスイッチとした

[#] hiromitsu.nakajima@kek.jp

クローバ回路を備えている。また、IOT 負荷では、ヒーター電源、グリッド電源、イオンポンプ電源は、カソード電位に固定されるため、フローティング電源となっている。

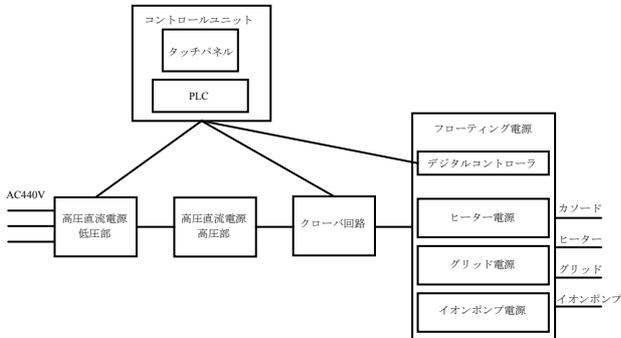


図 1：電源のブロック図



図 2：電源の写真

2.3 フローティング電源

本電源では、電源の小型化のために 19 インチラックマウントタイプの松定プレジジョン製フローティング電源を使用している。フローティング電源は、デジタルコントローラ、各電源（ヒーター電源、グリッド電源、イオンポンプ電源）、絶縁トランスで構成されており、PLC からデジタルコントローラを介して、各電源の ON/OFF、設定電圧の変更、出力電圧及び出力電流のモニターが可能となっている。ヒーター電流、グリッド電圧のインターロックに関しては、デジタルコントローラを介して得たモニター値から、PLC 上で処理しており、インターロック値の変更等も含めて総合的な制御が行えるようになっている。ただし、真空のインターロックに関しては、その重要性からイオンポンプの電流をデジタルコントローラ内のアナログのメーターリレーでもモニターしており、接点信号として PLC に入力している。

2.4 IOT 負荷とクライストロン負荷の切り替え

IOT 負荷、クライストロン負荷の切り替えの際は、高圧トランスの二次側の配線を切り替え、IOT 負荷では、20 直列接続とし、クライストロン負荷では、10 直列 2 並列接続とする。また、タッチパネル上で IOT モードとクライストロンモードの切り替えボタンを用意し、負荷に応じて、フローティング電源のグリッド電源、イオンポンプ電源の出力の ON/OFF、グリッド電源、イオンポンプ電源に関するインターロックの有効/無効の切り替えが容易に行えるものとなっている。ただし、クライストロン負荷の場合は、別途イオンポンプ電源を用意し、真空のインターロックは、外部インターロックとして PLC に入力する必要がある。

3. 試験結果

3.1 抵抗負荷試験

IOT 負荷とクライストロン負荷を想定して、22kΩ と 8kΩ の抵抗を負荷として、試験を行った。22kΩ の抵抗負荷で出力電圧-36kV のときの電圧、電流波形を図 3 に示す。図 3 より、リップル電圧は 12.6Vp-p であり、0.04% で仕様を十分満たしていることが分かる。

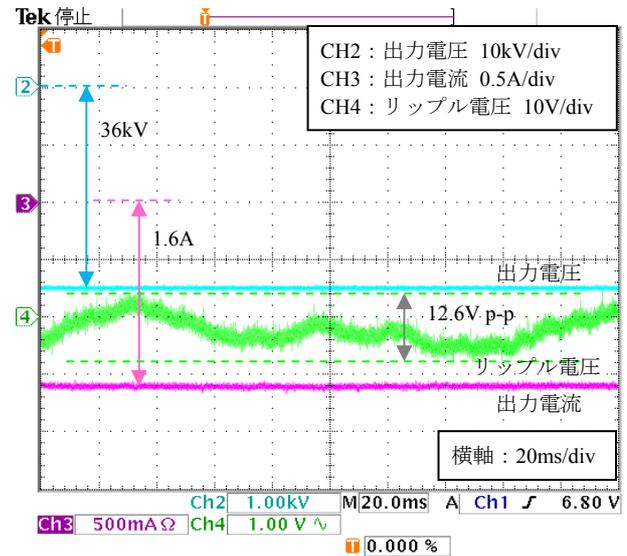


図 3：出力電圧波形（負荷抵抗：22kΩ）

8kΩ の抵抗負荷で出力電圧-20kV のときの電圧電流波形を図 4 に示す。図 4 より、リップル電圧は 60Vp-p であり、0.3% で 22kΩ の抵抗負荷のときに比べるとリップルが大きいが、仕様は満たしている。8kΩ の抵抗負荷のときにリップル電圧が大きくなっているのは、スイッチング周波数が低くなったことと高圧トランスを並列接続としたことが影響を与えているのではないかとと思われる。

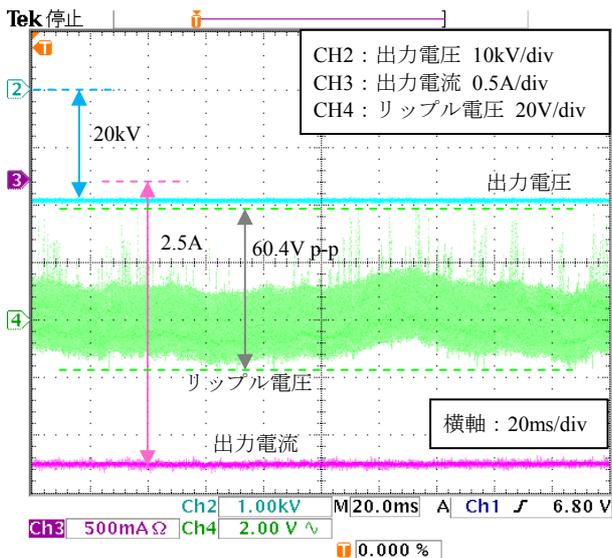


図 4：出力電圧波形（負荷抵抗：8kΩ）

3.2 負荷短絡試験

負荷短絡時のクローバ回路の動作試験は、テストワイヤを使用して行った。電源の負荷側に真空リレーと 20J 相当のエネルギーで切れる直径 0.16mm で長さ 200mm のテストワイヤを取り付けて、クローバ回路の動作試験を行った。

試験の結果、-36kV 出力で真空リレーを動作させてもテストワイヤは溶断しないことが確認された。図 5 にクローバ動作試験時の波形データを示す。真空リレーが閉じてから約 500ns でサイラトロンが動作し、試験用ワイヤの電流は約 3μs で停止している。IOT またはクライストロン短絡中のアーク電圧を 100V で一定であると仮定すると、流入エネルギーは、0.2J 以下となる。クライストロンの仕様は、20J 以下、IOT の仕様は 10J 以下であり、どちらも十分満たしている。

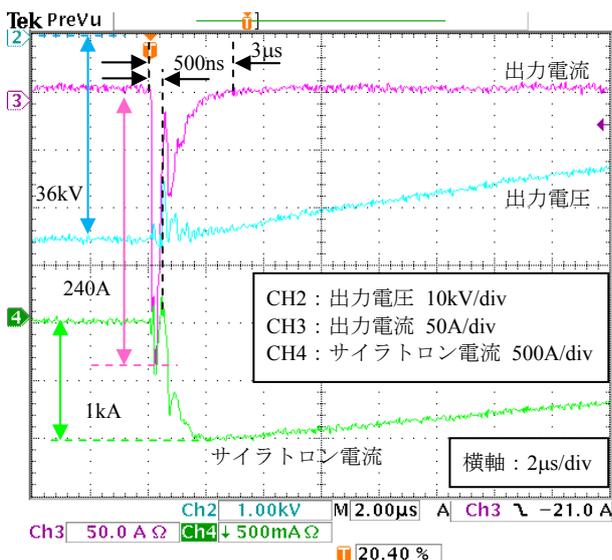


図 5：クローバ動作試験時の波形データ

4. 故障と対策

本電源を実負荷であるクライストロンの受け入れ試験に使用したが、その際に、IGBT の過電流のインターロックで HV OFF となり、-20kV まで電圧をかけられないトラブルがおきた。調査の結果、高圧整流回路内の一部のダイオードが破損していたことが原因であった。ダイオードが破損した原因調査をメーカーに依頼した所、電圧的に壊れたのではないかとの回答を得た。

対策として、ダイオードをブリッジ回路のパッケージタイプ（4HVFWB15KEUF）とし、電圧のマージンを約 1.4 倍から 2 倍、電流のマージンを約 5 倍から 8 倍にした。図 6 に対策前のダイオードと対策後の写真を示す。対策後、再度クライストロンの受け入れ試験に使用され、-20kV まで問題なく動作した。



図 6：故障対策後のオイルタンク

5. 今後の予定

本電源は、すでに、30kW クライストロンの受け入れ試験に使用され、動作が確認された。また、現在、昨年度納品された 20kW IOT (L3) の受け入れ試験に使用されており、IOT の定格である -34kV まで問題なく動作している。IOT の受け入れ試験終了後は、30kW クライストロン用の電源として、cERL の運転に使用される予定になっている。

参考文献

- [1] 羽島良一 他、“コンパクト ERL の設計研究”，KEK Report 2007-7.
- [2] S.Michizono et al., “Tuner control for cERL cavities by digital feedback system”, Proceedings of this Meeting.