

HIGH-POWER TEST OF A PROTOTYPE OF POWER SUPPLIES FOR UHF KLYSTRONS

M. Kawamura, S. Anami, M. Ono, K. Kudo, T. Kubo, C. Kubota, E. Takasaki,
T. Takenaka, and M. Kihara

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

ABSTRACT

Modulating-anode type UHF klystrons will be used as rf power sources for an RFQ linac and drift-tube-linacs (DTL) in the JHP. We designed and constructed a prototype of the power supplies which provide high-voltage pulse power to the klystrons. A high-power test of the prototype was carried out using a UHF klystron (THOMSON TH2134) as a load. In this report, the test results are described.

UHFクライストロン電源の大電力試験

1. はじめに

JHP 1 GeV陽子リニアックのうちRFQリニアックおよびドリフトチューブリニアック (DTL) 用RF源としてUHF帯のモジュレーティングアノード型クライストロンが採用される。我々はそのクライストロンに高圧パルス電力を供給する電源を開発した⁽¹⁾⁽²⁾。そしてその実負荷試験は、UHF帯クライストロンとして入手したトムソン社のTH2134を用い、その最大定格であるカソード電圧93kVで行なった⁽³⁾。

本報告書では、当初の設計から変更を行なった部分について述べたのち、クライストロン接続前に行なったクローバ試験の結果、およびクライストロン接続後の大電力試験の結果を報告する。

クライストロン電源の全体写真を図1、図2に、その回路図を図3に示す。

2. クローバ動作時の対策

クローバが動作するとき、クローバ回路には立上りの速い大電流が流れる。一例として、当初の設計時の回路で無負荷のとき、直流電圧40kVで動作中にクローバ回路を短絡すると、短絡回路を流れる電流の立上りは $10\mu\text{s}$ で7000Aに達した(図4参照)。クライストロン電源の主回路は+側をクライストロンタンクに接続し、種々のきょう体や電源、モジュールのグラウンドとともにケーブルを介して接地しているが、上記のような電流が流れると主回路のグラウンドと他のグラウンドとの間に瞬間的に電位差が生じることになり、その結果回路素子や外部に影響を与える恐れがある。特に、主回路のグラウンド側に

クライストロンカソード電流の電流値および波形観測用として 0.02Ω のシャント抵抗を用いているが、シャント抵抗出力を小電力のモジュールに入力しており、クローバ動作時に主回路のグラウンドとモジュールのグラウンドとの間に大きな電位差が生じると、モジュール内の素子に過電圧がかかって破損する恐れがある。実際直流電圧40kVでクローバを動作させると、クローバ盤内のシャント抵抗出力ケーブルと制御盤のグラウンドとの間には最大約2kVで周期が $3\mu\text{s}$ 程度の電位差の変動が見られ(図4参照)、またAVR盤内のシャント抵抗出力部につながる絶縁アンプが破損した。

対策として、大電力部ではクローバ電流を減少させるためクローバ盤内側に抵抗を挿入した。抵抗値はクローバ動作時の消費エネルギー等を考慮して 2Ω とした。

また、小電力部ではシャント抵抗出力ケーブルとモジュールのグラウンドとの間にコンデンサを挿入して電位差変動の速い成分を取り除くようにした。

これらの対策を行なった後、もう一度試験を行なったが、直流電圧60kVでクローバ回路を短絡したときに再びAVR盤内の絶縁アンプが破損した。コンデンサバンクには 6Ω の抵抗があり(図3参照)、上記のクローバ盤内の抵抗 2Ω と合わせるとコンデンサバンクのコンデンサに蓄積された電荷の放電には十分だが、ケーブルに蓄積された電荷に対しては 2Ω では少ないと見られる。そして小電力部で種々の対策を試みた結果、信号ラインに直列抵抗を追加し、さらに絶縁アンプ入力とモジュールのグラウンドとの間にZNRを、入力の2線間にツェナーダイオードをそれぞれ追加(図5参照)すると電位差

変動がクランプされ (図6 参照)、以後直流電圧 93 kV (クライストロンの最大定格値) でクローバが動作しても絶縁アンプは破損しなかった。

その後、制御盤内のモジュールにも同様の対策を施して現在に至っている。

3. その他の製作後の変更点

設計の段階ではクライストロンの候補としてトムソン社の TH2134 とリットン社の L5773 が挙がっていて未確定であり、どちらのクライストロンの要求も満足するように、モジュレーティングアノード電圧 (以下、Mアノード電圧とする) の最大値がカソード電圧の 60% を越えないように設計し、分圧抵抗の値をクライストロンのコレクタ側 30 k Ω 、カソード側 100 k Ω とした。そして最終的に TH2134 に決定し、定格がカソード電圧 93 kV、Mアノード電圧 77 kV (カソード電圧の 82.8%) であり、上記の分圧抵抗の値では Mアノード電圧の定格値を満足しないため見直しが必要となった。そして分圧抵抗のカソード側を設計当初のものと同タイプで抵抗値が最大のものに変更して 220 k Ω とした。

クライストロン短絡時にクライストロンに流れ込むピーク電流を制限する抵抗を、設計当初は 6 Ω としていたが、さらに電流を減らすために大きくした。この抵抗はオイルタンク内に設置されるため、タンク内部のスペースなどを考慮して 27.5 Ω (330 Ω 、12-parallel) とした。

Mアノード逆バイアス電源の出力は設計当初、タップの切替により DC -1.0 kV、-1.2 kV、-1.4 kV を選択できるものとしていたが、クライストロン TH2134 からの要求に合わせて DC -2.0 kV、-2.5 kV、-3.0 kV を選択できるように変更した。

4. クローバ試験

クライストロンを接続する前に短絡試験器を用いてクローバ試験を行なった。短絡試験器内には負荷として直径 0.35 mm の銅線が備えられている。図7にクローバ試験時の出力波形の一例を示す。カソード電圧は 91 kV である。負荷短絡後 5 μ s 以内にクローバが動作し、銅線は切れなかった。これは負荷に流れ込むエネルギーが 10 J 以下であることを示し、製作時の仕様を満足している。クローバ回路に流れる電流および短絡試験器に流れる電流のピーク値はそれぞれ約 11400 A、約 1200 A である。

5. 大電力試験

上記の変更および試験を行なった後クライストロンを接続して大電力試験を行なった。設定条件はカソード電圧 93 kV、パルス幅 600 μ s、繰り返し 10 pps で、クランプ電源は OFF である。図8から図12に各部分の波形

を示す。

図8はクライストロンビーム電流およびMアノード電圧で、波形から観測される各々の peak-bottom の値は 40 A、79 kV であり、Mアノード電圧の値から逆バイアス電源出力 3 kV を除いた値とビーム電流値を用いて計算されるクライストロンのパービアンスは 1.91×10^6 である。ちなみにカソード電圧の値を様々に変えたときのパービアンスの平均値は 1.8×10^6 である。Mアノード電圧について、立上り時定数は $23 \pm 3 \mu$ s、立下り時定数は $178 \pm 7 \mu$ s となり、フラットトップの幅は約 460 μ s である。これらのデータから、図3に示すような浮遊容量 C_d は約 1000 pF と見られる。電子管用補助電源およびMアノード逆バイアス電源を導体のケースの中に収納しており、このケースとオイルタンクとの間にできる浮遊容量が C_d の主な要因になっていると考えられる。ビーム電流の波形で顕著に見られるのだが、パルス内で右下がりになっている。これはクランプ回路のコンデンサー (0.68 μ F) の充電により、Mアノード電圧が減少するためである。

図9および図10はMアノード電圧およびカソード電圧である。カソード電圧が歪んでいるのは平滑コンデンサ (10.8 μ F、図3参照) の充放電によるものであり、その変動幅は約 4 kV である。

図11、図12はMアノード電圧およびMアノード電流、電子管電流であり、パルス出力中にMアノード電流と電子管電流はそれぞれ約 160 mA、約 500 mA 流れていると見られる。

7. まとめ

上に述べたようにクライストロン負荷をつないでの電源の大電力試験を行ない、所期の性能を満たしていることが確認された。今回は触れていないが、繰り返し 50 pps での試験も行なっており、性能も確認している。

今後の方針は、近いうちにMアノード電源の2台目を制作し、1台のカソード電源で parallel に運転を行なうこととする。そしてクライストロン出力をキャビティに導入し、陽子の加速実験を行なう予定である。

参考文献

- (1) 大型ハドロン計画推進作業部会編、「大型ハドロン計画陽子リニアックワーキンググループ報告II」第6章7節、JHP-14, KEK-INTERNAL 90-16, 1990.
- (2) M.Kawamura et al., 第15回本研究会予稿集 (1990), p. 147.
- (3) M.Ono et al., "432-MHz RF Source For The JHP Proton Linac", submitted to 1993 Particle Accelerator Conference, Washington, D.C., U.S.A..

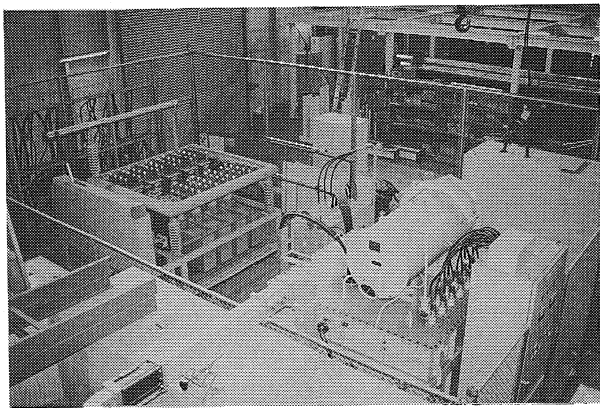


図1. 左よりコンデンサバンク、降圧変圧器、高圧直
流電源、右奥高圧受電盤

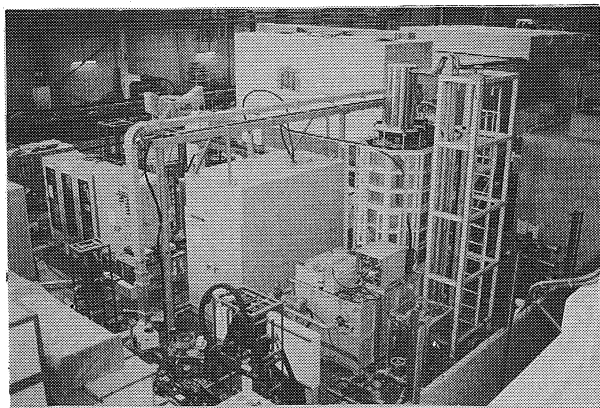


図2. 左より制御盤、クローバ盤、クライストロン TH
2134 およびMアノード電源タンク

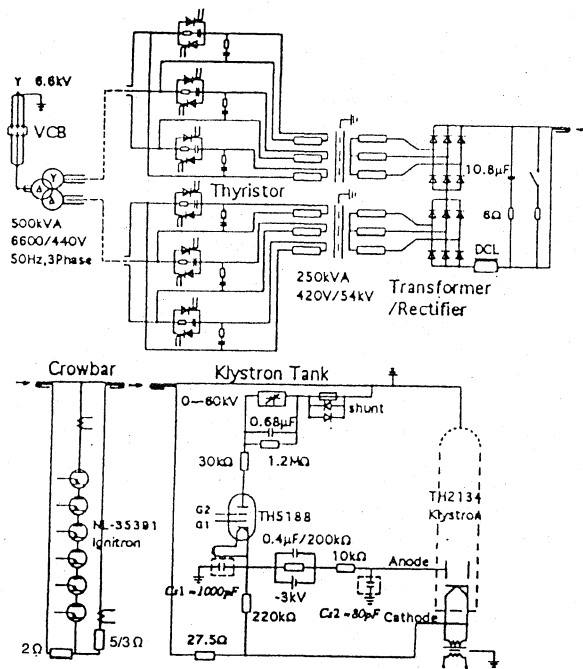


図3. クライストロン電源回路図

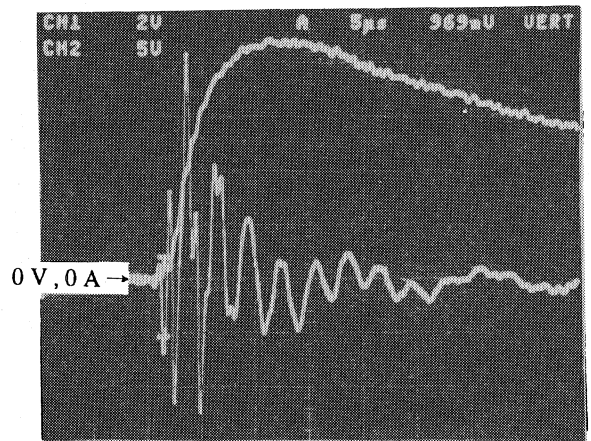


図4. クローバ動作時の波形 (カソード電圧 40 kV)
上: クローバ電流 (1600 A/div.)
下: クローバ盤内シャント抵抗出力ケーブルと
制御盤きょう体との電位差 (500 V/div.)
5 μs/div.

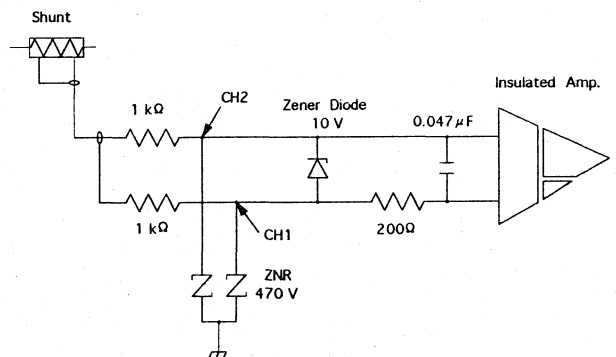


図5. 抵抗、ZNR、ツェナーダイオードの挿入

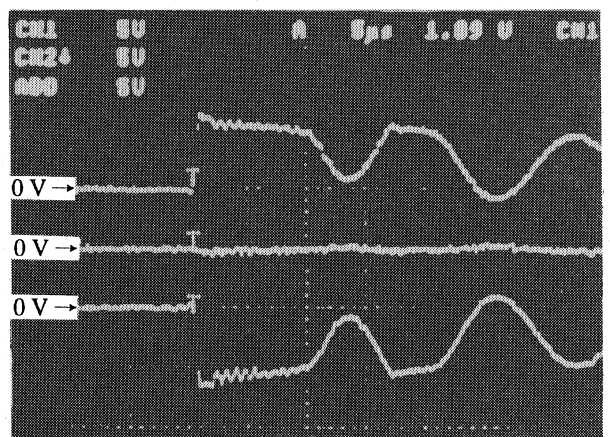


図6. クローバ動作時の波形 (カソード電圧 80 kV)
上: CH1 (500 V/div.)
下: CH2 (同上、反転)
中: CH1-CH2 (同上)
(CH1、CH2は図5参照)
5 μs/div.

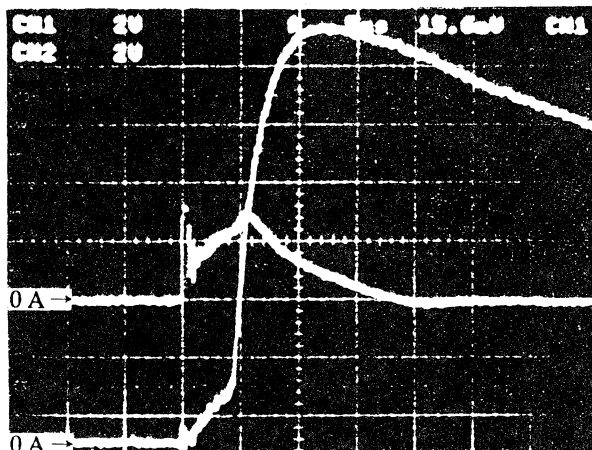


図7. クローバ試験 (カソード電圧 91 kV)
 上: 短絡試験器電流 (800 A/div.)
 下: クローバ電流 (1600 A/div.)
 5 μ s/div.

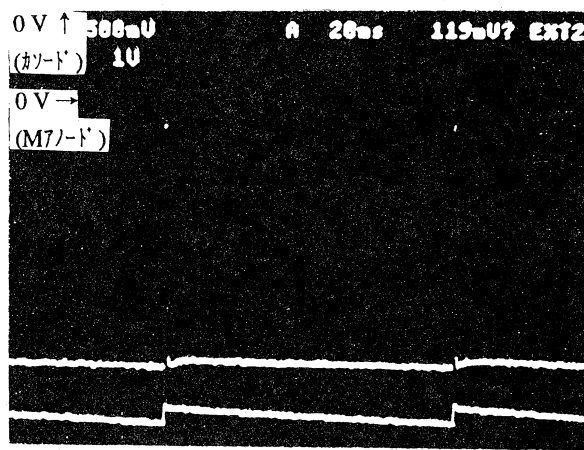


図10. 同上
 20ms/div.

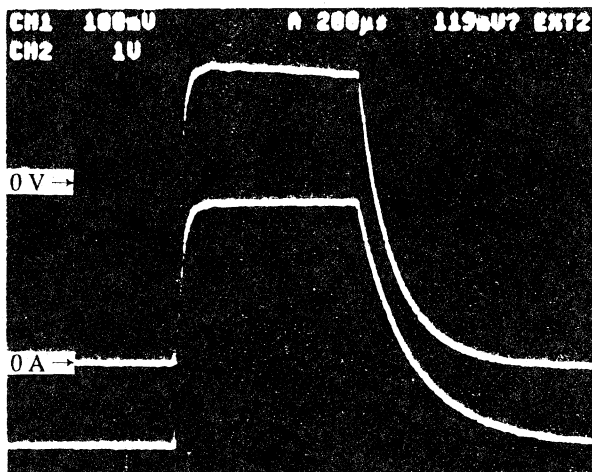


図8. 上: クライストロンビーム電流 (8 A/div.)
 下: Mアノード電圧 (20 kV/div.)
 200 μ s/div.

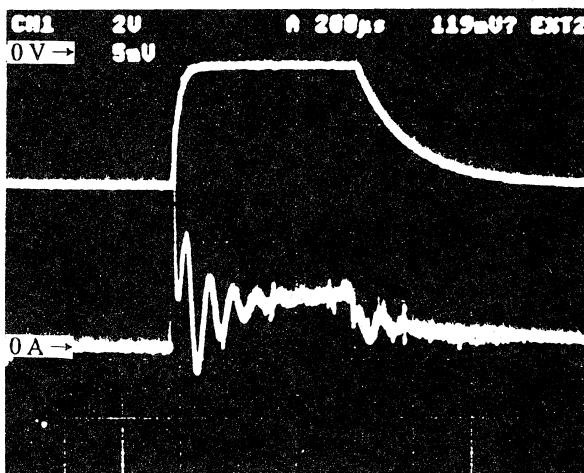


図11. 上: Mアノード電圧 (40 kV/div.)
 下: Mアノード電流 (200 mA/div.)
 200 μ s/div.

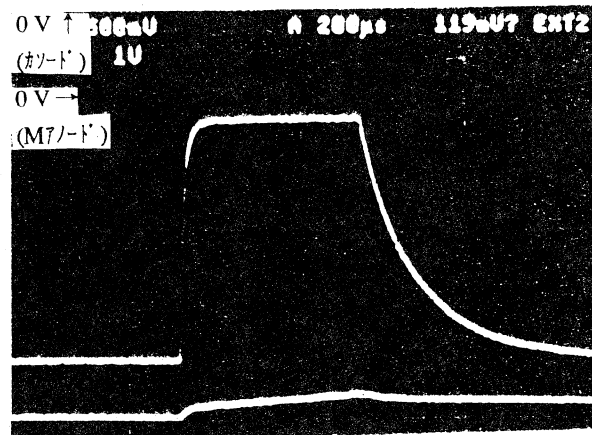


図9. 上: Mアノード電圧 (20 kV/div.)
 下: カソード電圧 (10 kV/div.)
 200 μ s/div.

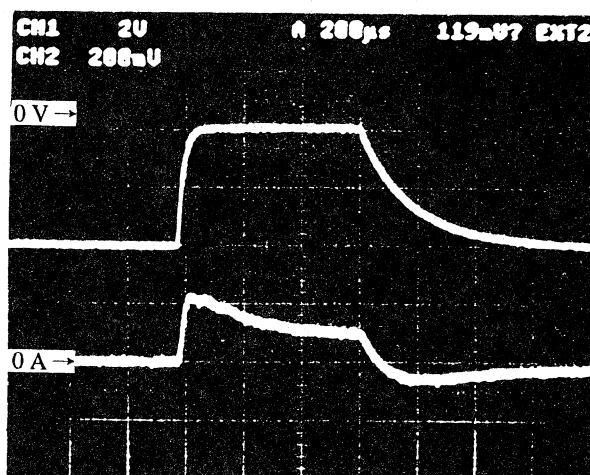


図12. 上: Mアノード電圧 (40 kV/div.)
 下: 電子管電流 (1 A/div.)
 200 μ s/div.