

Minoru KANDA Kibatsu SHINOHARA  
Hiroshi HOSHI Hirofumi MATSUMOTO

NIHON KOSHUHA CO., LTD.

#### ABSTRACT

A high voltage and high speed pulsed power supply for the cyclotron beam chopper is described. The equipment designed to meet the performance requirements of the -6.5 kV output voltage, 120 nano sec. rise and fall time, and up to 1 MHz repetition frequency. Our discussion and experimental results for selection on the capacity on load electrode, load resistance, switching electron tube in the final stage etc. are also described in detail.

この度、高電圧・高速のビームチョッパー用・パルス電源を製作する機会を得、装置を完成しました。本報告書は、装置の概要を紹介するとともに、性能おとび設計方針とその結果を報告します。

#### (1) 概要

本装置は、サイクロトロン、ビームトランスポートの一部に設置され、直流電圧によってバイアスされた平行電極にパルス電圧を印加することによって、サイクロトロンで発生した粒子群の中から特定周期のものだけを通過させるものであり、同期（サイクロトロンの加速高周波信号に同期）および非同期信号により駆動することが出来るように設計されたものである。

#### (2) 主要性能

##### (2-1) 同期パルス

1.	パルス出力電圧	-6.5 kV
2.	立上り、立下り時間	120 ns
3.	パルス幅	50~100 ns
4.	繰り返し周波数	500 kHz以下 (出力電圧 = -6.5 kV)
		500 kHz~1 MHz (出力電圧 = -4 kV)
5.	入力周波数	2.5 MHz~5 MHz (分周比 1/5~1/999)
6.	振幅安定度	$1 \times 10^{-2}$ 以下

##### (2-2) 非同期パルス

1.	パルス出力電圧	-6.5 kV
2.	立上り、立下り時間	120 ns (パルス幅 1 $\mu$ s の時)
		1 $\mu$ s (パルス幅 1 $\mu$ s~1 s の時)
3.	繰り返し周波数	デューティ 1/10以下
4.	振幅安定度	$1 \times 10^{-2}$

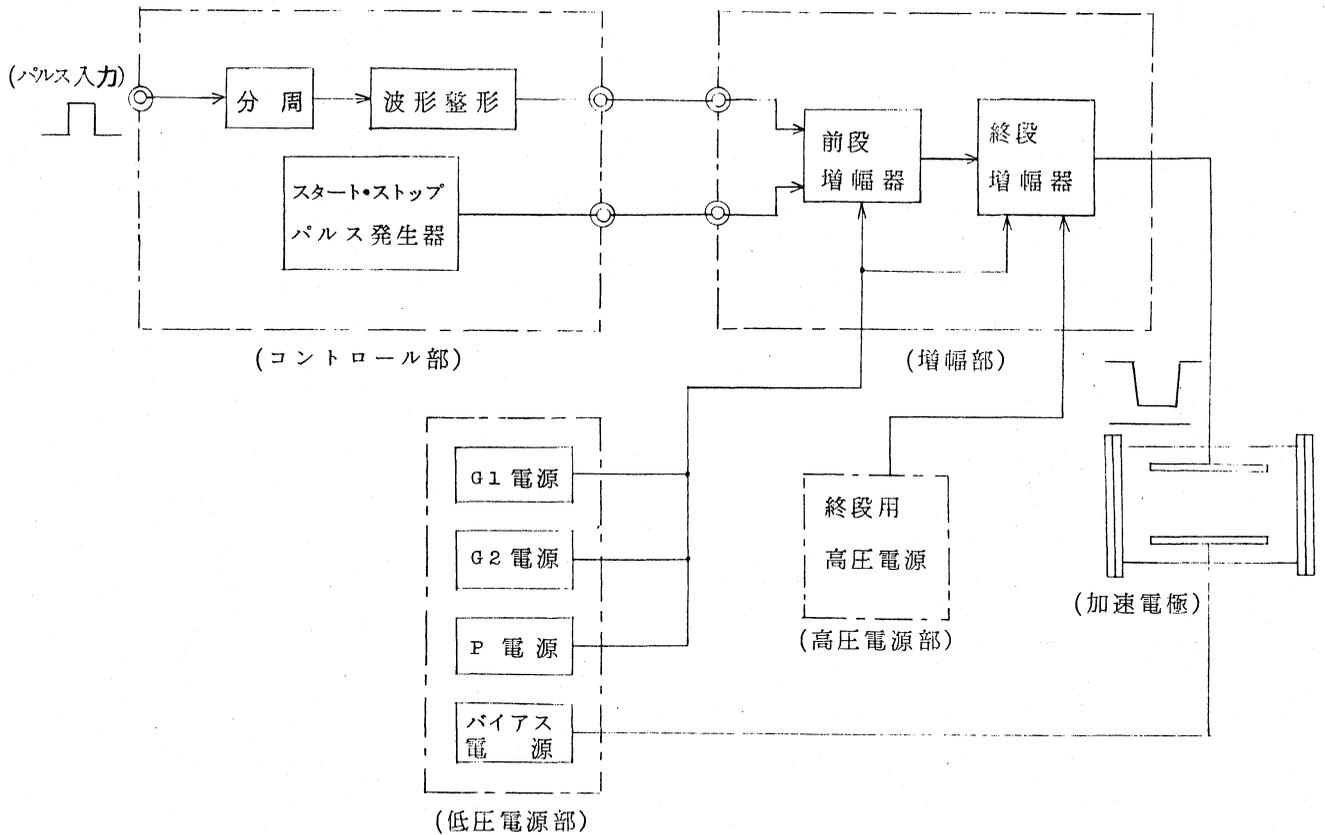
(2-3) 真空タンク

1.	電極の長さ	1700 mm
2.	" 幅	70 mm
3.	" 間隔	20 ~ 70 mm
4.	" 分解度	±0.1 mm
5.	" 平衡度	±0.2 mm
6.	" 真空度	$10^{-2}$ Torr

(3) 装置の構成

本装置は、コントロール部、増幅部、低圧電源部のブロックから成り、各ブロックは50m離れた場所に設置され、装置全体の操作はすべてコントロール部で出来る様に設計されています。

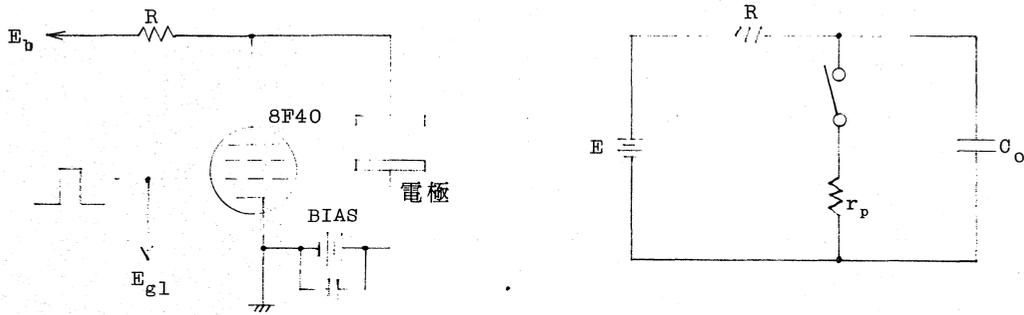
ブロック図を下記に示します。



(4) 設計方針

(4-1) 負荷抵抗

終段増幅器の出力回路、および真空管をスイッチと考えた時の等価回路を下図に示す。



ここで $r_p$ は真空管の内部インピーダンスであり、 $c_o$ は負荷電極および負荷抵抗、真空管、その他のストレージを合計したものである。

この時、出力パルス波形の立上りは $R$ と $r_p$ と $c_o$ により、立下りは $R$ と $c_o$ で決まり、下記のように表わされる。

$$\text{立上り}(t_r) = \frac{E}{R+r_p} \cdot (r_p + R \cdot \epsilon^{-\frac{R+r_p}{Rr_p}t}) \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{立下り}(t_f) = E - (E - E_o) \cdot \epsilon^{-\frac{1}{Rc_o}t} \dots\dots\dots(2)$$

$t_r, t_f$ を120nsとするために、 $c_o \div 250\text{PF}$ と考えられるので $R \div 200\Omega$ となる。

この時、式(1)(2)により、出力電圧 $-6.5\text{kV}$ 、繰返し $f = 500\text{kHz}$ 、パルス幅 $200\text{ns}$ では抵抗のロス約 $24\text{kW}$ となり、今回は高周波特性の良い抵抗を水冷する方式で設計した。

(4-2) 終段の出力真空管

上記の様に負荷抵抗 $R = 200\Omega$ 、出力電圧 $-6.5\text{kV}$ の時、上式(1)(2)の様な指数関数的な波形として真空管のロスを計算すると約 $17\text{kW}$ となるのでJRC製の陽極損式 $30\text{kW}$ の蒸発冷却4極管8F40を使用することにした。

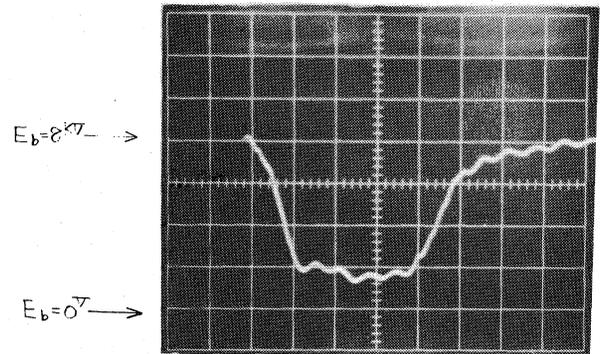
(4-3) 前段増幅器 (ドライブ回路)

真空管はEimax社製の4CX-350Aを5本並列とし、同期パルスの場合はパルス幅が比較的にせまいので入出力ともトランス結合とし、非同期パルスはパルス幅が1secまでと広いので入力側は $F, F$ によりドライブし、出力側は抵抗負荷とし8F40のグリットに直結とした。

(5) 試験結果

同期パルス時で一番条件のきびしい、出力電圧 = -6.5kV、繰返し周波数 = 500kHzの時の総合動作での波形写真と各部のデータを下記に示します。

パルス出力電圧	-6.5kV
繰返し周波数	500kHz
パルス幅	150ns
立上り	50ns
立下り	100ns
8F40の $E_b$	8.2kV
8F40の $I_b$	2.55A
バイアス電圧	850V
電極間隔	70mm



V : 2kV/div

H : 50ns/div

真空管8F40と負荷抵抗との全損式は、計算値で24kW、上記データから $E_b \times I_b = 8.2kV \times 2.55A = 21kW$ となり、だいたい一致した。

パルス波形の立上り、立下りも仕様の120nsを十分に満足しサイクロトロンビームチョッパーとしての動作も初期の目標値を達成出来た。

最後に本電源の設計、製作にあたって種々の御配慮を頂きました東北大学サイクロトロンRIセンターのセンター長・森田教授を初め、藤岡、織原、理学部の石松、林部、川村の各先生方に深く感謝いたします。