

# ELECTRO-STATIC BEAM CHOPPER WITH HIGH VOLTAGE FET SWITCHES FOR 750keV NEGATIVE HYDROGEN BEAM

Akira Takagi, Kiyoshi Ikegami

Accelerator Laboratory

High Energy Accelerator Research Organization

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

## Abstract

An electro-static beam chopper for 750keV LEPT in 12GeV-PS has been developed. The negative hydrogen ( $H^-$ ) ion beam was accelerated up to 750keV and transfer to the 40MeV Linac by the low energy beam transport line(LEBT). Before enter the Linac, the waveform of pulsed  $H^-$  beam was shaped and chopped by the deflector electrode. The high voltage pulses of negative polarity were supply to the chopper deflector electrode from a beam chopper pulse supply. The beam chopper pulse supply consists of two high voltage FET switches. It was achieved that the rise time of negative hydrogen beam was  $\sim 100\text{nec}$ .

## 1. はじめに

KEK-12GeV-PSは、ニュートリノ実験などで高強度の陽子ビームでの加速器運転が要求されてきていた。高強度陽子ビームの加速のためには、ライナックからの負水素イオンビームのパルスビームの先頭値をあげた運転が必要となり、高先頭値で短パルス巾の負水素イオンビームが要求されている。

コッククロフト・ワルトン型の750keV前段加速器に設置された表面生成型負水素イオン源からは最大40mAの負水素イオンビーム ( $H^-$ ) が供給されている。イオン源からのビームパルスの波形の立ち上がり時間および立ち下がり時間は、約 $50\mu\text{sec}$ とかなり緩やかなので、そのままではシンクロトロン入射には適さない。前段加速器の750keVのビーム輸送系 (LEBT) 内に設置された静電偏向型のビームチョッパーによってビームパルスの前後を切り落として急峻な矩形のビームパルスを実現している。

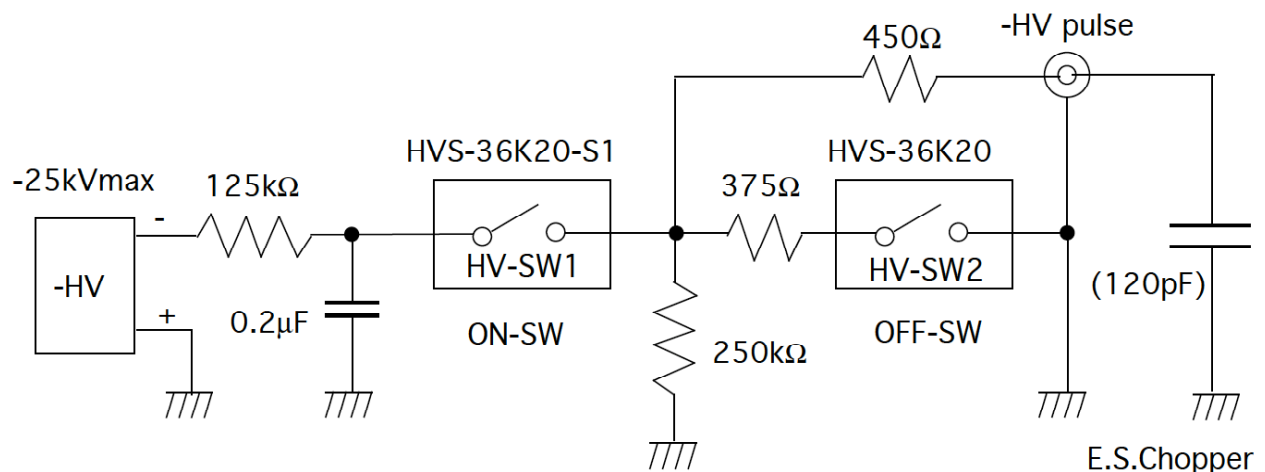
この静電偏向型ビームチョッパーへ高電圧パルスを提供している高電圧パルス電源 (チョッパー電源) は、負極性の高電圧パルス出力である。従来は、

12GeV-PS建設時にプロトンビーム入射用に設計された真空管式チョッパー電源を $H^-$ 用の長パルス発生用に改造して使用していたが、この真空管式ビームチョッパー電源はビームパルスの切れが悪く立ち上がり特性が悪かった。

陽子シンクロトロンの高強度運転に対応して、高強度短パルス $H^-$ ビームの生成を実現する為に、新たに高電圧半導体スイッチを用いた高速スイッチ型のチョッパー電源を開発して使用し現在に至っている。

## 2. 静電チョッパー電源

第1図にチョッパー電源と静電偏向電極の構成を示す。静電偏向電極は、直径200mmの円盤型対向電極であり、電極間隔は40mmである。偏向電極部の静電容量は、電極間容量、真空電流導入端子および接続同軸ケーブルを含めて約120pF程度である。チョッパー偏向電極に印可される電圧の極性は後で説明する理由により負極性を選択してある。



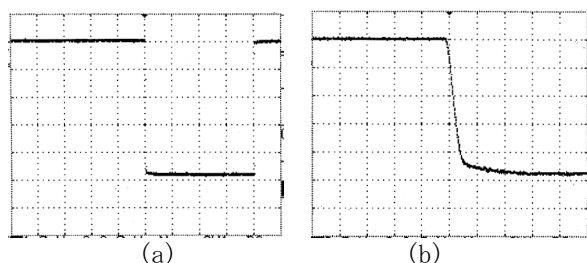
第1図 高電圧FETチョッパー電源

第1表 高電圧半導体スイッチ仕様[1]

型式	HVS-36K20
最大電圧	36kV DC
ピーク電流	15A ( $T_w \leq 10\text{msec}$ , $DF \leq 0.01$ )
オン抵抗	120 $\Omega$
ターンオン時間	250nsec
立ち上がり時間	250nsec
ターンオフ時間	800nsec
最大繰り返し	10kHz ( $DF \leq 0.01$ )
許容損失	12W
供給電源	+24V
信号入力	+10~15V PULSE (50 $\Omega$ )

第2表 チョップパ電源仕様

出力パルス電圧	25kVp
出力パルス電流	15A (0.5 $\mu\text{sec}$ 瞬時最大値)
出力波形	方形波
波形裕度	a) 立ち上がり時間 0.5 $\mu\text{sec}$ 以下 b) 立ち下がり時間 0.5 $\mu\text{sec}$ 以下 c) オーバーシュート 5% 以下 d) アンダーシュート 1% 以下 e) サグ 5% 以下
パルス幅	10 $\mu\text{sec}$ ~ 500 $\mu\text{sec}$
繰り返し	20pps
デューティー	0.01 以下

第2図 チョッパー高電圧出力パルス波形  
(出力-20kV時)

(a) 出力電圧波形 (負極性)

Ver.: 4kV/div., Hor.: 100  $\mu\text{sec}/\text{div.}$ 

(b) 立ち上がり部分拡大

Ver.: 4kV/div., Hor.: 0.5  $\mu\text{sec}/\text{div.}$ 

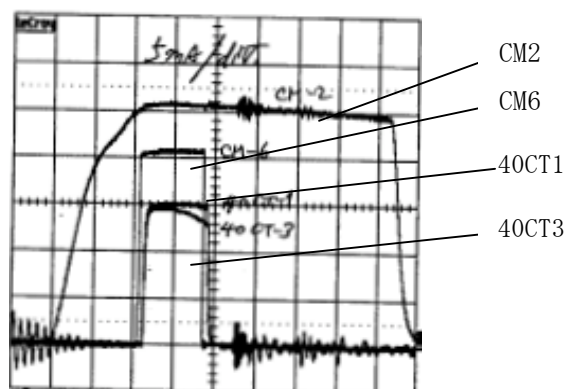
チョッパー電源本体の高電圧半導体スイッチは、パルス電子技術(株)製の市販品を使用している。その仕様は、第1表のとおりである[1]。また、チョッパ電源の出力仕様は、第2表に示す様に最大25kVの負極性高電圧パルスが可能である。通常の加速器運転中は、-15kV出力で使用している。

第2図にチョッパー出力電圧波形を示す。チョッパー出力電圧の立ち上がり時間は、チョッパー電極に接続した状態で100~200nsec程度であった。

### 3. チョップビームの観測

前段加速器(750keV)のイオン源からのビームは第3図のCM2の様に立ち上がりが悪い波形である。これが、チョッパー偏向電極によってビームパルスの前後を切り落とすとCM6の様になり、立ち上がりおよび立ち下がり特性の良いビーム波形に整形される。このようにしてビームパルス巾が厳密に決定されたビームがライナックに入射される。

シンクロトロンのビーム強度は、このライナックビームのパルス巾によって制御される。ライナックビームパルスの立ち上がり特性を以前の真空管式のもの比べると、第4図のように大きく改善されたことがわかる。旧電源では、ビーム立ち上がりに5  $\mu\text{sec}$  ほど掛かっていたが、新FET-SW式電源では、

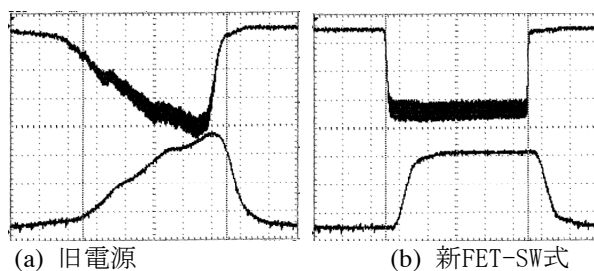
第3図 前段加速器・ライナックビーム  
電流モニター信号波形

CM2: イオン源(750keV)

CM6: チョップ後(750keV)

40CT1: ライナック出口(40MeV)

40CT3: シンクロトロン入射(40MeV)



(a) 旧電源

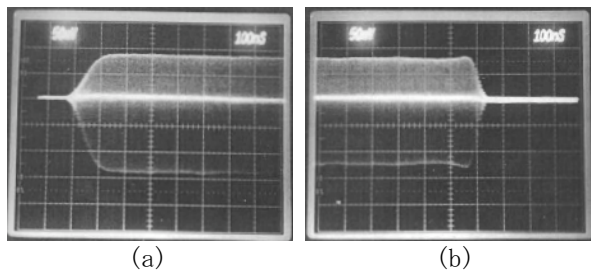
(b) 新FET-SW式

第4図 チョップされたライナックビーム波形  
(ビームパルス巾: 5  $\mu\text{sec}$ )

U: 40MeV-FaradayCup, L: 40CT3,

Ver.: 5mA/div., Hor.: 1  $\mu\text{sec}/\text{div.}$ 

100nsec程度までに改善された。ライナックのビーム立ち上がり時間が実際に高速化されたために、もはや既設のライナック電流モニターの応答速度では、実際のビーム立ち上がりを観測できなくなった。ライナックのビームダンプとして使用している第4図の上の波形で示すFaraday Cupによるビーム波形の観測では、より実際に近いビーム波形を再現している。



第5図 ライナックバンチモニター信号  
Hor, :100nsec/div.

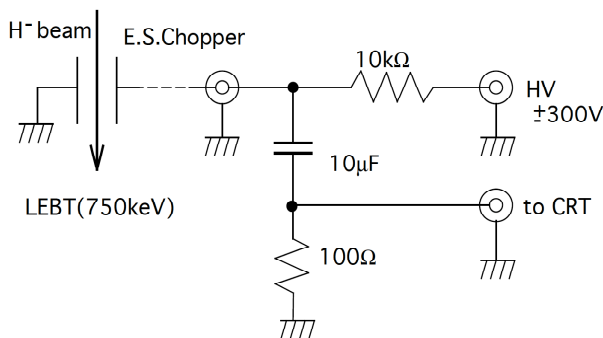
さらに、ライナックビームの立ち上がり時間を精度良く計測するために、ライナックバンチモニターの信号を観測してみた。第5図に示す波形がバンチモニター信号である。この観測結果から、ビームの立ち上がりおよび立ち下がり時間は、共に100nsec以内に収まっていると確認された。新FET-SW式電源によって、ライナックビーム巾の最小値は、 $1\mu\text{sec}$ までが実現可能となった。

#### 4. チョッパー電極へのイオンおよび電子電流の測定

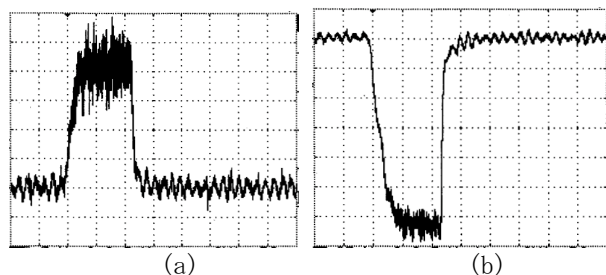
ビームチョッパーの設計に当たって、経験的に正極性電圧が印可困難であることが知られているが、その原因を調査するために、チョッパー電極に流入するイオンおよび電子電流を観測した。前段加速器の750keVの低エネルギービーム輸送系(LEBT)の残留気体のほとんどは、水素ガスであり、その真空度は、 $2.5 \times 10^{-5} \text{Torr}$  (室素校正冷陰極真空ゲージの読み)である。これらのイオンおよび電子はイオンビームと残留気体との衝突による電離等によってビームプラズマとなってビーム経路上に存在するものと予想される。

750keVの負水素イオンビームはパルスビームであるので、第6図のバイアス電圧印可回路によって測定を行った。チョッパー電極からチョッパー電源の結線ははずして、この回路を接続して印可バイアス電圧と流入電流との関係を測定した。第7図は、第6図の回路により観測された信号波形である。

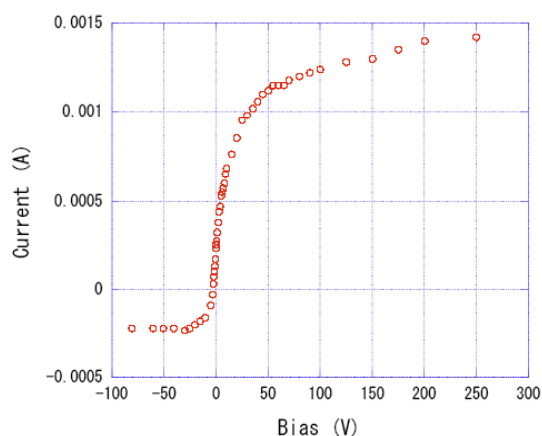
印可電圧を-100V~+300Vの間を変化させた時の観測信号の変化を第8図に示す。第8図の座標では、電子電流の向きを正方向に取っている。



第6図 イオン・電子電流計測回路



第7図 観測されたイオン・電子電流の波形  
(a)イオン電流 0.05mA/div. (Vbias=-100V)  
(b)電子電流 0.2mA/div. (Vbais=+100V)



第8図 チョッパー電極のイオン・電子電流特性  
(パルス電流のピーク値をプロット)

イオン電流が、0.2~0.3mAで急激に飽和しているのに対して、電子電流は、1mA程で飽和傾向が見られるが、バイアス電圧50V以上では、電圧の上昇と共に電流は増加傾向があり、このまま20kVまで単純に外挿すると10mAのレベルまで到達してしまう。

第6図の測定結果は、チョッパー電源の設計に際しての重要な項目の一つを示している。これにより、正極性の高電圧をチョッパー電極に印可する場合には、電子負荷電流の影響を考慮した電源回路設計が要求されることがわかった。

#### 5. まとめ

750keVの負水素イオン ( $\text{H}^-$ ) ビームの為の静電型ビームチョッパー用の高電圧FET-SW電源を開発した。ライナックビームパルスの立ち上がりおよび立ち下がり時間は、100nsecが達成できた。これによりシンクロトロン蓄積ビーム電流の制御が精密化され、12GeV陽子シンクロトロン安定な高強度運転が可能となった。また、チョッパー電極へのイオンおよび電子電流を観測した。

#### 参考文献

[1] パルス電子技術 (株) のカタログより抜粋