

Y. Otake, Y. Ogawa, N. Kaneko\*, S. Fukuda, S. Ohsawa, K. Nakahara and A. Asami

National Laboratory for the High Energy Physics

\* Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co. Ltd.

Abstract

Electron beams of the positron generator must have a width less than 2 nsec and a peak current of 10 A. Therefore, an output of a short pulse grid pulser should have a width of 1.5 nsec and a peak voltage of 500 V.

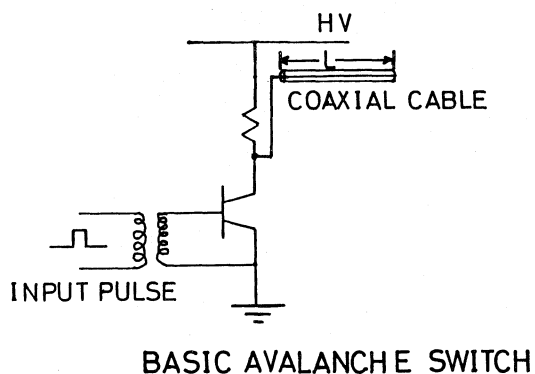
This pulser is under development and uses avalanche effect of a transistor and a coaxial cable for the charging element. A pulser width of 10 nsec was chosen for convenience of the initial beam test. The pulser has been stably operated with a peak voltage of 300 V.

## I、概要

高エネルギー物理学研究所の放射光実験施設入射器（以下放射光入射器）では、トリスタン計画の一貫として陽電子発生装置の建設に3年程前から取り組んできた。トリスタン計画では衝突ビーム実験のさいに、高い時間分解能を得る必要性から電子及び陽電子ビームはリングの加速周波数である500MHzの単バンチビーム（2nsec以下）である必要がある。又陽電子のコンバーターでの変換効率は1/1000程度と低いのでコンバーターに当てる電子ビームは強い必要がある。このため陽電子発生装置では2nsec・10Aと言う電子ビームを加速し、このビームを用いて2nsec・10mAの陽電子を作り出すことを目標としている。この様な電子ビームをカソードから取り出すためには、カソードとグリッド間に半値幅1.5nsec・500V（負荷が50Ωの場合）相当のパルスを加えなければならない。このため放射光入射器で2nsecビームを作り出すために用いてる、トランジスタのアバランシェ効果を利用した短パルスグリッドパルサーに改良を加え、目標の特性のものを得るための開発を行っている。現在、段数や入力の方法を変えた3種類のパルサーを製作しテストを行っている段階である。パルス幅はテストに便利のように10nsecとし、300V（負荷が50Ω）出力パルスが得られた。実際のビームテストでは4から5A程度の電子ビームが得られている。

II、パルサーの動作原理と等価回路による解析<sup>1)</sup>

アバランシェ効果を利用したグリッドパルサーは、図1に示す様な形が基本的である。アバランシェ効果はトランジスタのエミッター・ベースとコレクターの間に加わる電圧が、一定値以上（通常数百ボルト以上）になると電子などが起り電流が流れる現象である。これをスイッチング素子とし、同軸ケーブルにチャージした電荷を短絡することにより速いパルスを発生するものである。このパルサーの出力電圧はトランジスタのアバランシェ電圧に依存しており、これによりトランジスタの段数を増すことで出力電圧を上げることが出来る。

図1<sup>2)</sup>

アバランシェ電流  $I_A$  は次式で与えられる。(  $V_A$  はアバランシェ電圧、  $Z_{SYS}$  は回路のインピーダンス、  $n$  はトランジスタの段数)

$$I_A = n V / Z_{SYS} \quad 2) \quad 3)$$

この回路の特性を調べるために、図2に示す様な等価回路を考え解析を行った。

$L_0$ 、  $R_0$  をトランジスタ回路のインダクタンスと抵抗。

$L$ 、  $R$ 、  $C$ 、  $Q$  は同軸ケーブルのインダクタンスと抵抗、静電容量、電荷量。

とすると

$$(L + L_0) di/dt + (R + R_0) i = Q/C$$

が成立する。この式の解は

$$I = E_0 / R' \beta (-e^{-\alpha_1 t} + e^{-\alpha_2 t})$$

$$\alpha_1 = R(1 + \beta) / 2L'$$

$$\alpha_2 = R'(1 - \beta) / 2L'$$

$$\beta = 1 - 4L' / CR'^2$$

$$R' = R + R_0, \quad L' = L + L_0$$

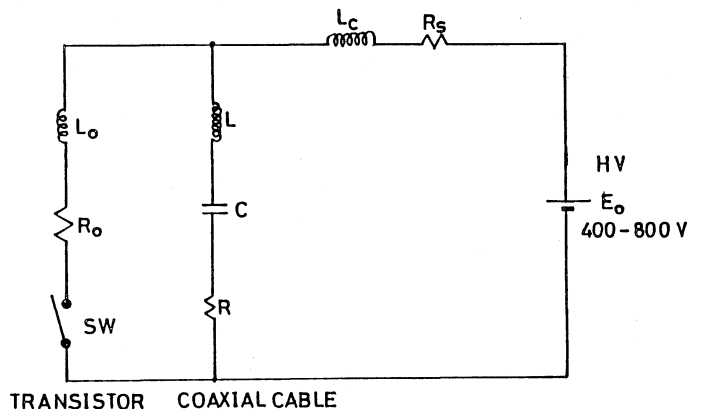
以上の計算結果からパルスの立ち上がりをプロットすると図3のグラフになる。

この結果からパルサーのパルスの立ち上がりを速くするためには、 $L_0$  及び  $L$  を低くする必要があり  $L_0$  の少ないトランジスタを使用する必要がある。又それは回路を並列にすること及びチャージング素子を並列にすることでも実現できる。しかしカソードとのインピーダンス整合の問題で、チャージング素子の並列化はインピーダンスが下がるので注意しなければならない。

以上の結果からパルサーの開発方針としては、トランジスタの段数を上げること及び並列化すること、又リード線等のインダクタンスの少なトランジスタを探しだすこととした。

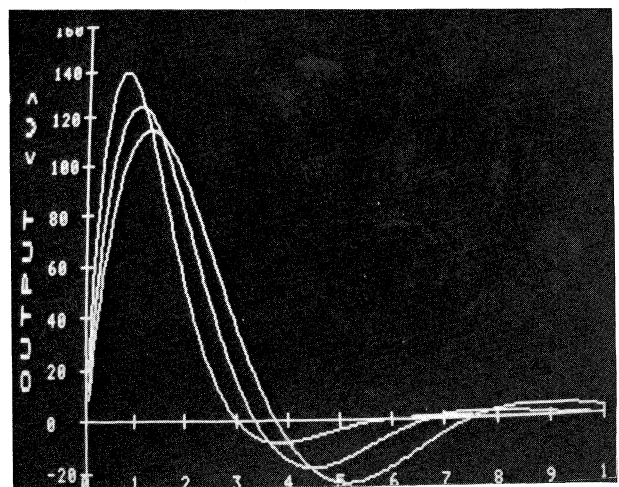
(RF用トランジスタ等)

並列化によりトランジスタ回路は  $n$  本並列で  $L_0 = L_0 / n$ 、  $R_0 = R_0 / n$  になり、チャージング素子は  $m$  本並列で  $L = L / m$ 、  $C = mC$ 、  $Z = Z / m$  になる。



EQUIVALENT CIRCUIT OF THE SHORT PULSE GRID PULSER

図2



$$C = 100 \text{ pF}$$

$$R = 50 \Omega$$

$$n \text{ sec}$$

図3

$$R_0 = 40 \Omega$$

$$L_0 = 20, 50, 80 \text{ nH}$$

$$L = 29 \text{ nH}$$

### Ⅲ、製作したパルサーと実験データ

陽電子発生装置の試験に際し陽電子ビーム検出が容易な様に、パルスの半値幅が10 nsecのパルサーを3台製作した。放射光入射器ではトランジスタが3段のものをパルサーとして使っているが、陽電子発生装置では4段のものを1号機とし、5段のものを2号機、5段でトランジスタが並列のものを3号機として製作した。3号機の回路を図4に示す。以上の回路は全て外部トリガーをトランジスタの2段まで同時に加えることや、基板をストリップライン化する等の工夫をしている。又トランジスタの並列化によりスイッチングのタイミングがくわらないように、基板の裏表で同じ部品配置にした。この結果2号機、3号機は高圧入力が500から700Vで、300V・8nsec(50Ω負荷)の出力を得ている。

1号機では5nsec(半値幅)・245Vの出力に止まったが、トランジスタの段数を増やすことによる出力電圧の上昇の効果は顕著である。またトランジスタ回路の並列化に当たっては部品配置を工夫した効果により、トランジスタのスイッチングタイミングのずれはなくせたようで1nsec程度、立ち上がり時間が向上した。

トリガー入力を2段にした効果は顕著でないが、パルスの立ち上りに対しては多少の効果はあったと思われる。基板をストリップライン化した効果はあまりなかった。3号機を用いて実際に電子銃を動作させた場合に得られる電子ビームの波形を図5に示す。

以上からトランジスタ回路のインダクタンスを減らすことにより、パルサーのスピードアップにつながる事が証明されたことになった。これにより今後のパルサーの開発方向として、パルサーのチャージング素子をカソードに直結する様なハウジングを考え、光によるトリガー回路等を一体化する方向やチャージング素子を分布定数化し円柱状にすることに依り、インダクタンスを減らすことを考えている。又500MHz程度にトランジスタ回路を共振させてパルス幅2nsec程度の電圧の高いパルスを得ること及び、他のトランジスタをテストしてみる事等が上げらる。

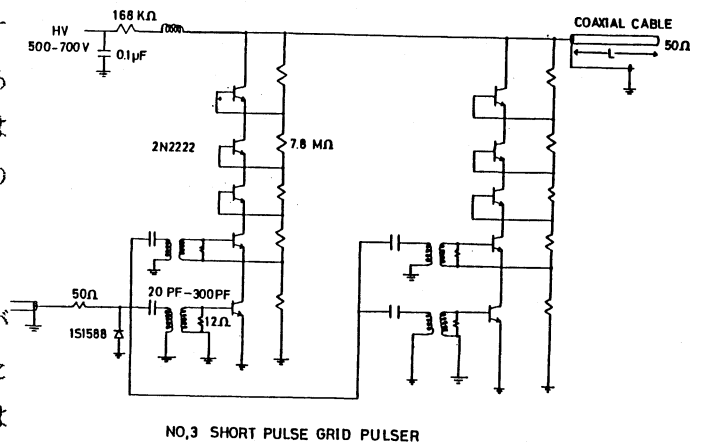


図4

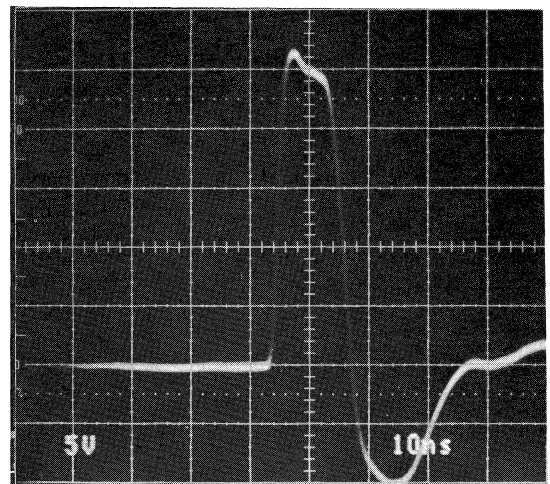


図5

#### 参考文献

- 1) 大沢 哲 ; 短パルス用電子銃グリッドパルサーとその動特性。内部報告。
- 2) Y.HOSONO AND K.HASEGAWA ; A LARGE CURRENT ns PULSER USING AVALANCHE TRNASTISTOR.  
PROCEEDINGS OF THE 9TH MEETING ON LINAC IN JAPAN AT KYOTO.
- 3) MILLMAN AND TAUB ; PULSE AND DIGITAL SWICHING WAVE FORM. P198.