

DEVELOPMENT OF HIGH SPEED AVALANCHE PULSER

K. Takami

Research Reactor Institute, Kyoto University
Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-04, Japan

ABSTRACT

By making the pulse risetime fast, it can be expected that single bunching beams were generated without using sub-harmonic buncher. In the present study to develop the fast risetime pulsers, following characteristics of the risetime and the amplitude were achieved as a step pulse by using the surface mount type transistor 2SC3736(NEC): ~ 200 ps and ~ 250 V at 6 stages, ~ 240 ps and ~ 340 V at 8 stages, ~ 270 ps and ~ 470 V at 12 stages, respectively.

超高速アバランシェ・パルサの開発

1. はじめに

昨年、本研究会で報告したパルサ⁽¹⁾を東大ライナック(18L)において実装テストをした時、サブ・ハーモニック・バンチャーを使わずに加速して得られたビーム電流をストリーク・カメラで観測した波形を図1に示す。この波形は、入射電子が3つのマイクロ波位相に入り、その多くが中心の位相にバンチされている。この結果から、パルス巾をもう少し狭くすれば、高額なサブ・ハーモニック・バンチャーを導入しない、パルサだけの単バンチ・ビームを期待できる。また、数ナノ秒巾のビームでもパルサの高速化、大振幅化で、加速ビーム電流を大きくできるところもあり、パルサ高速化の要望がある。

今回、立上がり時間 200ピコ秒クラスのステップ・パルサを開発したので報告する。

2. アバランシェ・トランジスタ (アバランシェTr)

表面実装型トランジスタは、リード線が短くパルサの高速化を期待できる。今回、評価した表面実装型トランジスタを表1に示す。

表1. 今回テストした表面実装型トランジスタ

ローム社:	2SC2411, 2SC2412, 2SC3722, 2SC3906, 2SC4642, 2SD1484, 2SD1781, 2SD1782, 2SD2114
日本電気:	2SC1623, 2SC1653, 2SC1654, 2SC3360, 2SC4173
MOTOROLA:	MMBT5551L, MMBT2222AL
ZETEX社:	ZTX415
日立製作所:	2SC2462, 2SC2463, 2SC2618, 2SC4050, 2SC4366

輝度カウント (リア)

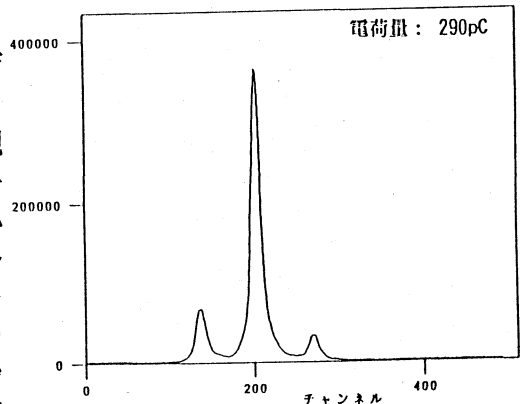


図1. ストリーク・カメラで観測したビーム形状

一昨年、約40種類の汎用トランジスタをテストした。この結果から、アバランシェTrの一般的傾向をまとめると、

- ① 2SA型, 2SD型の中に、アバランシェ・パルスが発生するものは見当たらなかった。
- ② 二次降伏電圧は、一次降伏電圧の約 $1/3$ である。
- ③ トリガを加えない時のコレクタ電流（以下、バイアス電流）を広い範囲で変えても、アバランシェ・パルス特性があまり変化しないトランジスタ(2SC2462, 2463等)もあるが、バイアス電流を変える（供給電圧を変える）と、パルス波形が変化したり、自走発振するもの(2SC2618, 2SC2412, 2SC3736等)がある。変化の大きいトランジスタの多段化では、選別やバイアス電流にも注目して動作させないと、ミス・パルスの発生や、タイム・ジッタの増加が生じる。
- ④ 耐圧の大きなもの程、単独でテストすると立上りが遅い傾向がある。また立上りの遅いものは、トリガ信号からアバランシェ・パルスを発生する時間も一般に遅い。
- ⑤ 初期経時変化の認められるものがあり、時間と共に高速化、大振幅化する。この傾向は、低速のものほど変化も大きい。この変化は、一次降伏電圧の変化に起因する。
- ⑥ トリガ信号を小さくするとアバランシェ・パルスの発生は遅れるが、立上がり時間が速くなる傾向がある。
- ⑦ 製造ラインに変更がなくとも、ロットによってアバランシェ・パルス特性がかなり違うものがある。比較評価時に入手した2SC4173(Lot No. 93)は、振幅の小さい欠点を持つが、高速で使い易いトランジスタであった。ところが、購入したLot No. 1X は、初期にはアバランシェを生じないほど低速であったため、2SC4173による多段高速化⁽²⁾を断念した。

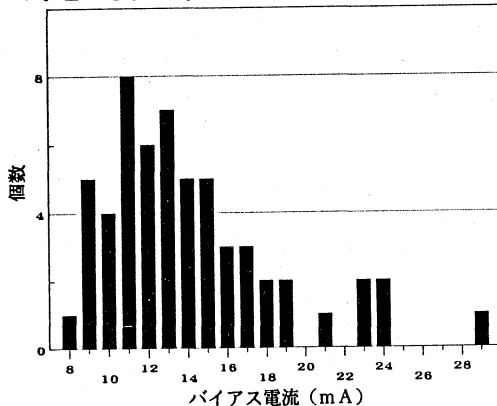
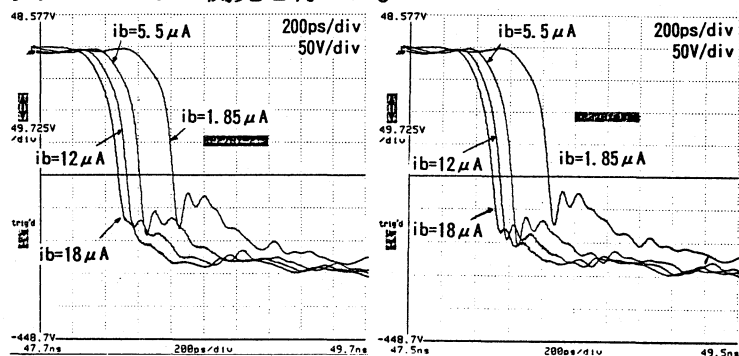


図2. 2SC3736(Lot No. 1Z, OKH) の安定に動作する最高バイアス電流の分布

今回、使ったトランジスタは、2SC3736(Lot No. 1Z)で、昨年、報告したパルサに使ったトランジスタ2SC3733Kの表面実装型であるが、2SC3733(Lot No. 09)と比べ、立上がりは少し遅いが安定に動作するバイアス電流が大きい。60個のテストであるが、安定に動作するバイアス電流のばらつきを図2に示す。この電流値は、テスト回路に依存するので絶対値ではない。このトランジスタにも初期経時変化があり、パルスを発生させてから約90分以上経過後に、その値を測定した。

3. 多段化ステップ・パルス発生回路
アバランシェTrを多段化するとパルスの立上がりは速くなるが、段間のインピーダンスのために、どうしても立下りが遅くなる。しかし、短パルスを実現するには、立下がりも高速化する必要がある。そこで、2台のステップ・パルサを使い、片方でパルスを立ち上げ、もう一方で立ち下げる回路方式を採用することにした。そこで、今回、高速ステップ・パルサの開発を行った。

2SC3736 の多段化では、特性のばらつきが少なくなるようにトランジスタを組み合わせ、バイアス電流を同じにするために、並列抵抗を無くした。また、より大きなバイアス電流で安定に動作できるように充電抵抗を $\sim 200M\Omega$ と大きくした。



(a)比較的低速のトランジスタの場合 (b)比較的高速のトランジスタの場合

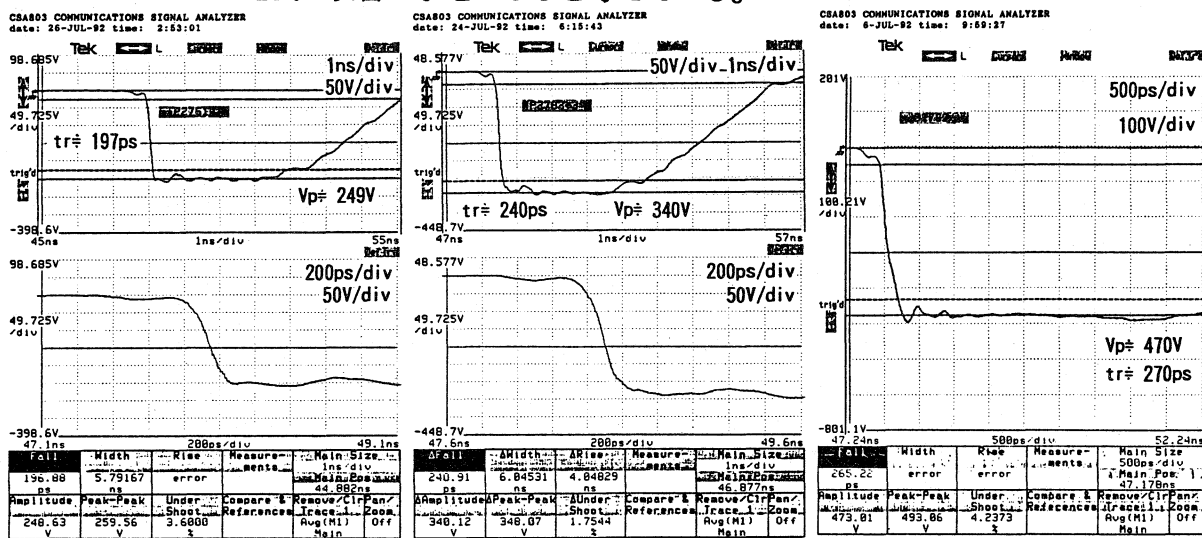
図3. バイアス電流を変えた時の波形変化

同じ8段の回路で、比較的低速のトランジスタで構成した場合と比較的高速のトランジスタ

で構成した場合の、バイアス電流を変えた時の波形の変化を図3に示す。

ステップ・パルスのフラット部を長くするためには、伝送線放電式が便利である。しかし、50Ωケーブルでは、フラットにできず、段間も含め、ストリップ・ラインで回路を構成し、線巾、長さ等の調整でフラットに近づけた。回路調整にはカッター・ナイフや銀ペーストを使用した。測定に使ったサンプリング・オシロスコープは、Tektronix CSA803 + SD26(20GHz)で、減衰器は、米国Lucas Weinschel 社製 Model 1 (20dB, 12.4GHz) + Model 9 (20dB, 26.5GHz) + Model 9(20dB, 26.5GHz) で、減衰比は 5volts パルスの実測比から得た 765 : 1 を使った。

今回、2SC3736 を使って、得られた最も良い出力波形の例を図4に示す。6段では、 $\sim 200\text{pS}$ 、 $\sim 250\text{V}$ 、8段では、 $\sim 240\text{pS}$ 、 $\sim 340\text{V}$ 、12段では、 $\sim 270\text{pS}$ 、 $\sim 470\text{V}$ である。速い立ち上がりと、立ち上がってからのフラット性(小さいリップル)の両立が難しく、十分なフラット性(1~2%のリップル)が確保できていない。これらの波形は、回路パターンやトランジスタの選択で改善の余地はあると考えている。



(a) 6段の波形

(b) 8段の波形

(c) 12段の波形

図4. 6段、8段、12段構成で得られたパルス波形例

4. おわりに

パルス巾可変回路の詳細については研究会で報告する予定である。250 volts で立ち上がり時間 ~ 200 ピコ秒のアバランシェ・パルサを実現できる知見は得られたが、この性能でアバランシェ・パルサの限界速度に到達したと考えていない。今後も、高速化の試みと波形改善の努力に加え、実装テストも行っていきたいと思っている。

アバランシェ Tr の評価テストでは、東大(工)細野氏、ローム株式会社、日本電気株式会社、日本モトローラ株式会社からサンプルの提供を受けました。また、本技術開発の一部は、京都大学原子炉実験所の研究助成費(平成3・4年度)等の援助を受け、行ったものです。ここに深く感謝致します。

参考文献

(1)高見清、吉田陽一、上田徹、小林利明

: Proc. of the 16th Linear Accelerator meeting in Japan 1991, P215

(2)高見清: Proc. of the Meeting on Engineering & Technology in Basic Research

KEK, Feb. 6-7 1992 P125