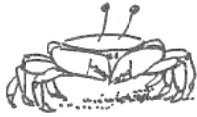


超高速・大出力パルスの発生



研究ノート

津守邦彦*

1. はじめに

パルスと云う言葉は日常の生活ではあまりなじみはないが、辞書によれば鼓動・脈動とあるように、心臓の検査で記録紙に描かれる心電図のあの鋭い信号もパルスの一種である。また、コンピュータ、ワープロ、ロボットなど数多くのデジタル機器は、さまざまな形をしたパルスによって高速で且つ極めて正確に動作している。このようにパルス信号は、その大きさと形が目的によって異なるけれども、我々の身近なところで広く利用されている。

筆者らはこのパルスに関して、サブナノ秒 ($<10^{-9}$ sec) の立上り時間で、数1000V の出力が得られる超高速・大出力パルサーの開発を行い、原子核・プラズマ・レーザー・加速器などの分野に貢献しようとしている。以下にその概要と技術上の問題点などを述べることにする。

2. パルサーの概要

パルス発生装置 (パルサー) の性能は、波形の立上り時間・出力・平坦度・立下り時間・繰返し周波数などによって評価され、特に前の2項目は重要である。パルサーの出力は完全な矩形波が望ましいが、実際には立上り・立下り時間のために台形状になる。従って、高性能なパルサーを開発するには、これらの時間をいかに小さくして、しかも大きい出力を得るかが回路設計の重要なポイントになる。幅が数100ns以下のパルスを発生させる場合は、パルスフォーミングネットワークに同軸ケーブルを用い、ここに充電された電荷を高速のスイッチング素子

で放電させて負荷に電流を流す回路方式が用いられる。この時、前に述べたパルス特性の優劣は、主にスイッチング素子の性能によって決定される。一般には短パルス用に作られたサイラトロン、あるいはクライトロン (ガス封入格子制御放電管) が用いられるが、管内のイオン生成時間に限界があり立上り時間を3~4 ns以下にすることは困難である。これに対してアバランシェ・トランジスターをスイッチング素子に用いると1 ns程度の立上り時間が容易に実現できるので、最近の超高速パルサーにはもっぱらこの方式が用いられ、これをアバランシェ・パルサーと呼んでいる。

2. アバランシェ・トランジスター

トランジスターのベースにトリガー信号を入力しながらコレクター・エミッター間の電圧を徐々に上昇させると、低い電圧では通常のスイッチング動作を行っているが、ある電圧 (V_a) 以上になるとコレクター電流は急激に変化するようになり、さらに増加させるとツェナー電圧 (V_z) に達する。この V_a — V_z の範囲 (一次降伏領域) で動作しているトランジスターを特にアバランシェ・トランジスターと呼ぶ。この時はコレクター・ベース間の電位は 10^5 V/cm に達しているため、アバランシェ動作によるスイッチング時間は極めて早くなる。但し、パワー・トランジスターや三重拡散型はアバランシェを起こさず、又シリコンPNPも起こりにくい。良く動作するのはシリコンNPNのエピタキシャルプレーナー型である。パルサーに最適なトランジスターはアバランシェ開始電圧が高く (出力が大きい)、スイッチング時間が早く、パワーの大きいものを選択する。市販のトランジスターにはこれらを全て満足したものはなく、使えるも

*津守邦彦 (Kunihiko TSUMORI), 大阪大学産業科学研究所, 放射線実験所, 助教授, 加速器工学

のは極く限られている。

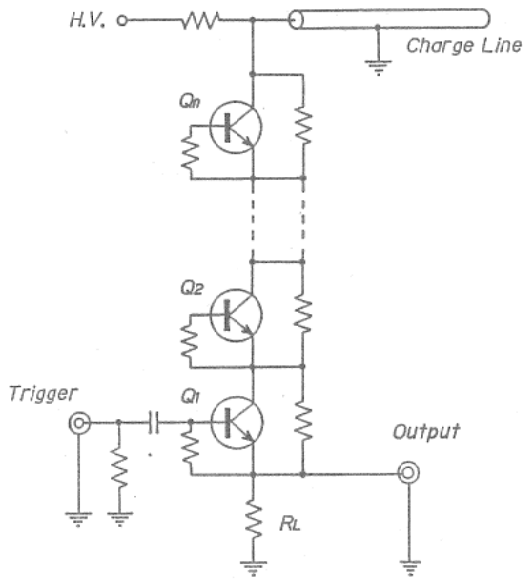


図1 標準的なアバランシェ・パルサーの回路

3. アバランシェ・パルサー

図1は標準的なアバランシェ・パルサーの回路を例示したものである。このパルサーはすでに述べた高速性の外に、トランジスタを何段にも積み重ねることで、出力電圧を段数倍に増加させることが出来る特徴を持っている。この回路の動作は、まずトリガー信号が Q_1 のベースに入力されると急速に導通され負荷抵抗 R_L に電流が流れはじめる。そのため Q_2 のエミッターがアース電位に近くなりこの段もブレイクダウ

ンする。同様に順次 Q_n まで導通されてチャージラインの電荷が無くなるまで電流が流れパルスが出力される。

この回路でアバランシェ特性の良い2N5551のトランジスタを用いて13段のパルサーを作り、1450Vのパルスを発生させたが、図2 aに示すように段数が増えるにしたがって立上り時間が悪くなり、1段の時の約2倍にあたる8.3 ns になった。これは主にパルサー回路のリードインダクタンス、あるいはストレーキャンパシタンスが増加するためで、その対策としてハイブリッド集積回路でパルサーを作り、回路のL・Cを徹底的に減少させる試みが始められている。

4. アバランシェ・パルサーの高速化

図1の回路方式では、 Q_1 から Q_n まで導通していく過程が(殆どが悪化させる要素)すべて結果として出力に表われ、図2 aに示すような特性の低下が生じた。もし途中の経過がどのようであっても、最後のトランジスタが導通した時に初めて負荷抵抗に電流が流れて出力が取り出せるような回路を作れば、立上り時間の改善が行えるはずである。そこで図1の回路を少し変更して、トリガー信号を Q_n 側から与え、また Q_1 以外の各段のエミッターには小容量のチャージングコンデンサを付加したパルサーを作っ

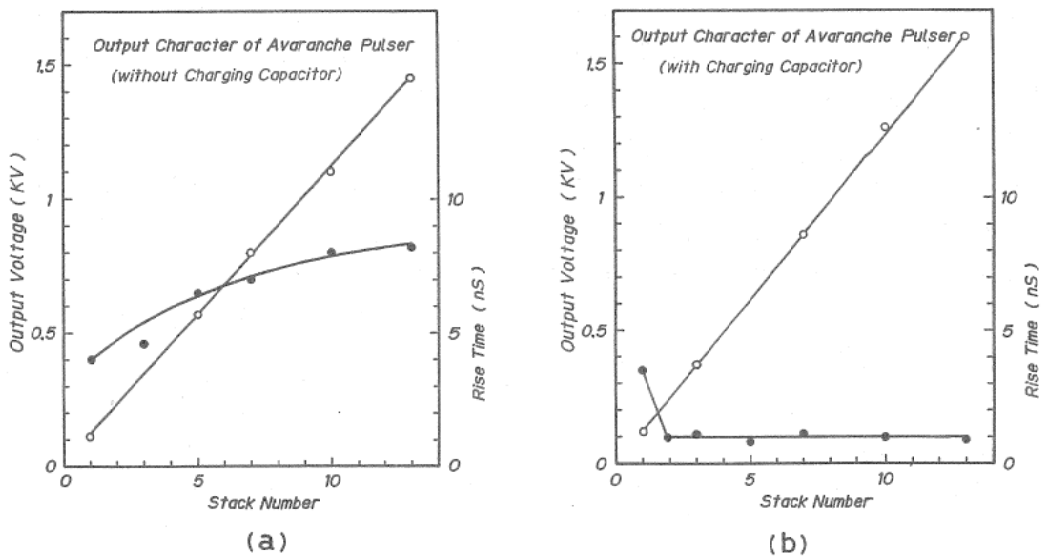


図2 アバランシェ・パルサーの出力特性

a) 標準的なアバランシェ・パルサーの場合、段数が増えるにつれて立上り時間が遅くなる。

b) 改良されたパルサーの立上り時間は、1段よりも複数段の方がはるかに速くなり、しかも一定である。

た。この回路にトリガー信号が入力されると Q_n は導通され、エミッターに接続されているコンデンサーを充電する。 Q_n はこの間に完全な導通状態になり、また充電電圧が次段のトランジスターをブレイクダウンさせる電圧に達すると、その段を導通しこれに接続されているコンデンサーを充電する。このようにして最後の Q_1 が導通した時は、すでに $Q_2 \sim Q_n$ が導通状態にあるため、チャージラインの電荷は直ちに負荷抵抗に流れる。すなわちこの回路の立上り時間は Q_1 の特性にのみ依存し、それ以前の $Q_2 \sim Q_n$ の動作には関係がなくなる。

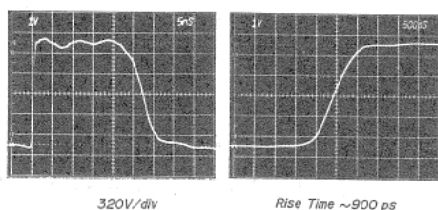


図3 改良されたアバランシェ・パルサーの出力波形。

図2 b, および図3には、この回路の出力特性ならびに出力波形をそれぞれ示したが、パルスの立上り時間は一段の時よりはるかに良くなり900psが得られた。又、この時間は従来のパルサーとは非常に異なり、当初回路の動作解析で予想したとおり段数が増えても全く影響を受

けなかった。このパルサーの出力電圧とデューティファクターは、トランジスターのパワーと負荷抵抗の値にそれぞれ関係して単純ではないが、2000V以上の出力電圧、100nsのパルス幅、300ppsの繰り返しは可能である。又、タイムジッターはトリガー電圧に依存するが、5V以上であれば約20psであった。

4. ま と め

多段式アバランシェ・パルサーの回路を改善して、サブナノ秒の立上り時間で大出力のパルスの発生を可能にした。このパルサーは産業科学研究所・放射線実験所に設置されている世界で最も強力なシングルバンチ・ライナックの電子銃システムに取付けて、ピコ秒電子ビームの電荷量を更に増大させる予定である。またこの新しいパルスの発生技術は、レーザーの光パルス抽出器への応用、あるいはストリークカメラのトリガー回路など各方面でも用いられることと思う。

最後にこの研究を行うにあたり、(株)ユニコンシステムの末峰昌二氏に協力して頂いたことを感謝し、厚くお礼を申し上げる。