

高電圧パルス電源の出力特性と 昇圧トランスの構成に関する検討

前岡宏信* 野口季彦 (長岡技術科学大学)

Study on Output Characteristics and Step-up Transformer Configuration of High-Voltage Pulse Power Supply
Hironobu Maeoka, and Toshihiko Noguchi (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、高電圧パルス電源はレーザ発振器やプラズマ発生装置のほか、環境保全のため自動車の排気ガスに含まれる NO_x の浄化装置にまで応用範囲が広がっている。本稿では排気ガス処理を目的としてトロイダルコアを利用した高電圧パルス電源の開発を行い、特殊な実装法を採用してトロイダルトランスの段数と巻数比により立ち上がり時間や出力波高値がどのように変化するかを検討した。これにより目標パラメータを的確に示すことができたので報告する。

2. 主回路の構成と制御法

図 1 に主回路の構成を示す。本パルス電源では DC-DC コンバータにより入力電圧を昇圧し、高電圧パルス発生回路の直流電源としている。高電圧パルス形成するため IGBT を周期 1 (ms)、パルス幅 500 (ns) でスイッチングする。トランスは一次側を並列、二次側を直列としており、一次側と二次側の巻数比を任意に変えることにより所望の出力電圧を得る。これを式で表わすと(1)のようになる。 N_1 は一次側の巻数、 N_2 は二次側の巻数、 n はトランスの段数である。

$$V_2 = V_1 \frac{N_2}{N_1} n \quad (1)$$

同図のようにトランスを 10 段としたとき巻数比が 1 : 2 であるならば二次側出力には一次側の 20 倍の電圧を取り出すことができる。トランスのコアにはトロイダルフェライトコア (TDK 製 HC10) を使用して漏れインダクタンスの低減を図っている。図 2 は主回路の実装状態を示したものである。このようにトロイダルコアを二次巻線が貫通しており、一次巻線は各コアに巻きつけられた特殊な実装法を採用している。この主回路は直径 100 (mm)、高さ 130 (mm) の円筒容器に収納することができる。

3. 昇圧トランスの構成に依存するパラメータ

本方式を用いるとトランスの段数や巻数比によって出力波形の特性が変化する。(1)からわかるようにトランスの段数を多くするほど高い二次電圧を得られるが、それに伴って立ち上がり時間が長くなる。これは段数を多くすると各トランスの漏れ磁束の総和が大きくなるので出力パルスの

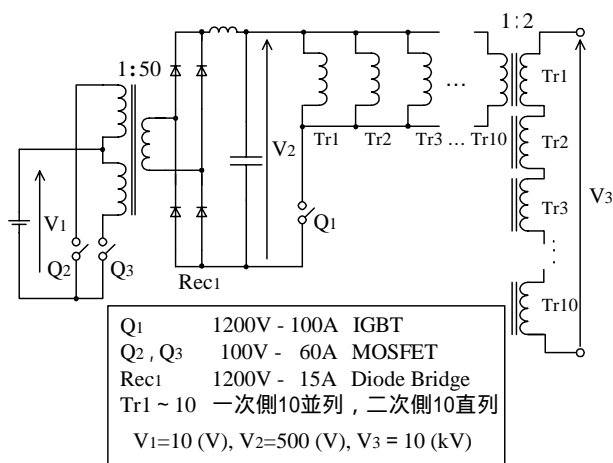


図 1 主回路の構成

Fig. 1. Configuration of power circuit.

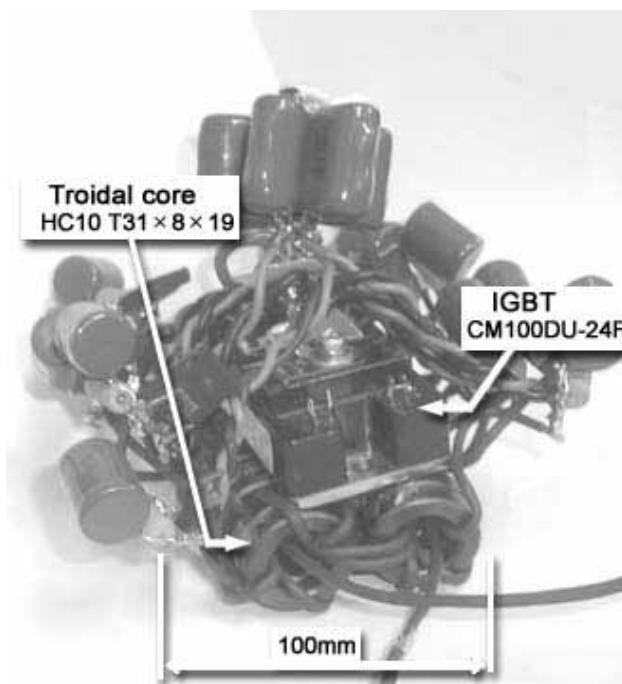


図 2 主回路の実装状態

Fig. 2. Implementation of power circuit.

立ち上がりが遅くなるためである。また、トランスの二次巻線も長くなるため漏れインダクタンスが増加する。これは巻数を増やした場合でも同様である。実際の設計ではトランスの漏れインダクタンスを考慮することは難しく、厳密に占有率を計算しても目標とするパラメータが確実に得られるとは限らない。しかし、トロイダルコアは巻き方が簡単であるため特性のばらつきが少なく、巻数と段数を変えるだけで目標とするパルス波高値と立ち上がり時間をもつ出力を容易に推察することができる。

4. 実験結果

トランス一次側電圧を 400 (V) , 巻数を 4 として、トランスの段数を 5 段と 10 段, 二次側の巻数を 4, 6, 8, 10 とした。それぞれの場合に対する電圧波高値の特性を Fig. 3, 立ち上がり時間特性を Fig. 4 に示す。Fig. 3 よりトランス 10 個の場合では一次側と二次側の巻数比が 1 : 1 となる 4 で理論通りに約 4 (kV) の電圧が発生している。また、トランス 5 個の場合では巻数比が 1 : 2 となる 8 で約 4 (kV) を出力している。全体的にトランスの段数が少なくなるほど理論通りに電圧波高値が下がる。また、Fig. 4 より出力パルスの立ち上がり時間はトランスの段数と巻数に大きく依存することがわかる。巻数が半分になると立ち上がり時間もほぼ半分の時間となっている。参考として、Fig. 5 にトランス 10 段, 巻数 4 のときの出力波形を示す。同図は上からゲート電圧, 一次側電圧, 二次側電圧を示している。

5. まとめ

本稿では一次側を並列, 二次側を特殊な巻線方法で直列接続したトロイダルトランスを採用し, 高電圧パルスを簡単な回路で発生させるシステムを提案するとともに, そのトランス構成について検討した。その結果, 100 (ns) の立ち上がり時間を得たい場合はトランスを 10 個として二次側の巻数を 8 とするか, トランスを 5 個とすればよいことがわかった。また, 本方式では主回路が直径 100 (mm) と小型で, 予備放電などの機械的な動作を起こさずに高電圧のパルスを発生させる回路としているため再現性が良い。今後は本稿で示したトランスの構成を使用し, 一次側電圧を高くすることにより立ち上がり時間 100 (ns), 最大電圧 20 (kV) のパルス出力を目指す。

文 献

- (1) 高橋勲:「次々世代スイッチング電源の開発」H15 年電気学会全国大会, 36-37
- (2) 竹重隆正・高橋勲:「簡単な高電圧パルス電源の開発」H14 年電気学会産業応用部門大会, 387-388
- (3) 前岡宏信・野口季彦:「小型 10kV パルス電源の開発」H15 年電気学会北陸支部大会, 34

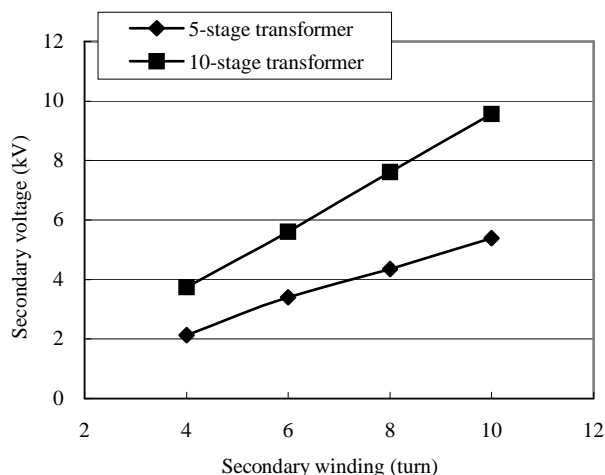


図 3 二次側電圧波高値の変化

Fig. 3. Secondary peak voltage characteristics.

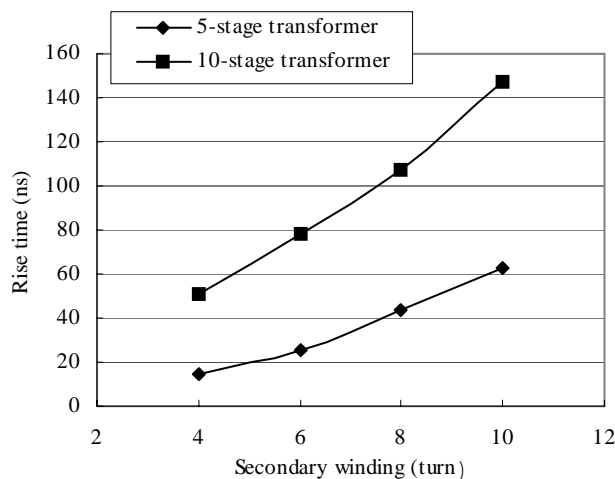


図 4 二次側電圧立ち上がり時間の変化

Fig. 4. Secondary voltage rise time characteristics.

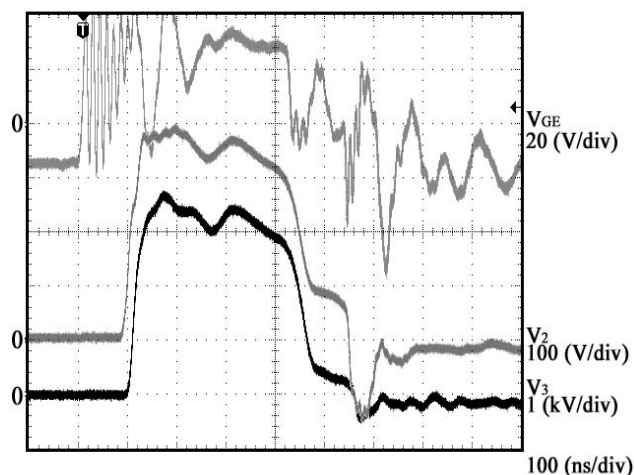


図 5 出力パルス波形

Fig. 5. Output pulse waveform.