

## SiC デバイスを使用した高電圧パルス発生器の開発

### DEVELOPMENT OF HIGH VOLTAGE PULSE GENERATOR WITH SiC DEVICES

中田 恭輔<sup>#, A)</sup>, 虫邊 陽一<sup>A)</sup>, 森 均<sup>A)</sup>, 徳地 明<sup>A)</sup>

Kyosuke Nakata<sup>#, A)</sup>, Yoichi Mushibe<sup>A)</sup>, Hitoshi Mori<sup>A)</sup>, Akira Tokuchi<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Pulsed Power Japan Laboratory Ltd. (PPJ)

#### Abstract

We have developed a high-voltage pulse generator that assumes a capacitive load using a high-speed, high-withstand voltage SiC semiconductor with small switching loss. In order to apply a high voltage pulse to the capacitive load, two high withstand voltage switches for charging and discharging are required. This time, we conducted a test of a small power supply in which eight series SiC-MOSFET for charging and discharging, respectively, were applied to a load of 10 pF with a peak voltage of 8 kV repeatedly at 1 kHz.

#### 1. はじめに

現在、ほとんどのスイッチは半導体に置き換わっている。しかし、パルスパワーの分野では未だに真空管が用いられている。真空管は半導体とは比較にならないほど耐圧が高く、立ち上がり時間が短いためである。しかし、損失が大きく、劣化による寿命があるという欠点がある。

近年開発された SiC 半導体は、従来の Si 半導体と比較して高耐圧・高繰り返し特性を持つ。また、スイッチング損失は小さく、寿命は半永久的である。この SiC 半導体単体では真空管に匹敵するほどの耐圧はないが、直並列に接続することで、十分な耐圧、耐電流を得ることができる。

今回は耐圧 1.7kV の SiC-MOSFET を 8 直列することで、最大 8 kV の電圧を出力の小型容量負荷想定電源の開発を行った。

#### 2. 開発の目標と内容

電子銃や静電キッカー等の高電界を利用する装置は、高電圧を出力可能な電源を要求する。また、電界を生じさせるために平行金属板を用いるため、容量負荷とみなすことができる。また、負荷電圧の立ち上がりや立ち下がりも早い方が好ましい。

今回開発する電源は、広い応用範囲を備えるため出力電圧は最大 8 kV、立ち上がり・立ち下がり時間 100 ns 以下を目標とする。また、出力波形のパルス幅や出力周波数を設定でき、卓上に置いて操作できる小型のパルスパワー電源の制作を目標とする。

抵抗負荷は電荷を貯めることがないため、スイッチが一つあれば矩形波を出力できる。しかし、容量負荷は電荷を貯めてしまうためスイッチ一つでは矩形波を出力できない(Fig. 1)。容量負荷の場合は、何らかの方法を用いてコンデンサの電荷を放電する回路が必要になる。

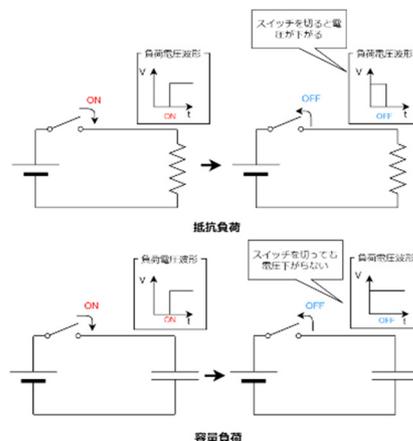


Figure 1: Difference between resistance and capacity.

そこで、本電源では充電用のスイッチ回路とは別に、電荷放電用のスイッチ回路を作ることによって負荷の電荷を放電する(Fig. 2)。こうすることで、容量負荷に矩形波を加えることができる。

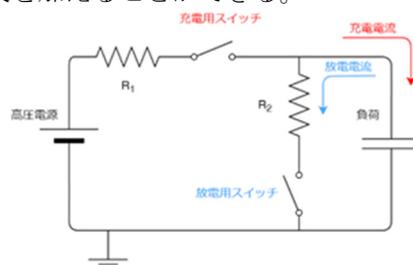


Figure 2: Charge and discharge circuit.

#### 3. 電源の制作と試験

##### 3.1 目標仕様

Table 1 に開発する電源の目標仕様を示す。出力電圧・パルス幅・周波数は可変であり、全て電源の盤面で操作できるものとする。それらの制御は FPGA を用いる。8 kV のスイッチは、1.7 kV 耐圧の SiC-MOSFET を 8 直列したものを用いる。SiC-MOSFET を用いることで、スイッチング素子の削減や立ち上がり・立ち下がり時間の高速化、高いスイッチング効率を目指す。

<sup>#</sup> nakata@myppj.com

Table 1: Requirement of Output voltage

Parameters	Requirement Specifications
Wave Form	Square
Polarity	Positive
Load Capacity	10 pF
10%-90% Rise Time	Under 100 ns
10%-90% Fall Time	Under 100 ns
Voltage	0 V~8000 V
Pulse Width	200 ns~100 $\mu$ s
Frequency	1~1000 Hz

Table 2: Test Conditions

Parameters	Conditions
Load Capacity	10 pF
10%-90% Rise Time	66 ns
10%-90% Fall Time	67 ns
Voltage	8000 V
Pulse Width	100 $\mu$ s
Frequency	1000 Hz

### 3.2 動作試験

Figure 3 に制作したパルス電源の外観を示す。上面に操作ボタン・つまみ等がついており、周波数、パルス幅、出力電圧を設定できる。背面には電源入力端子と電圧出力端子がついている。

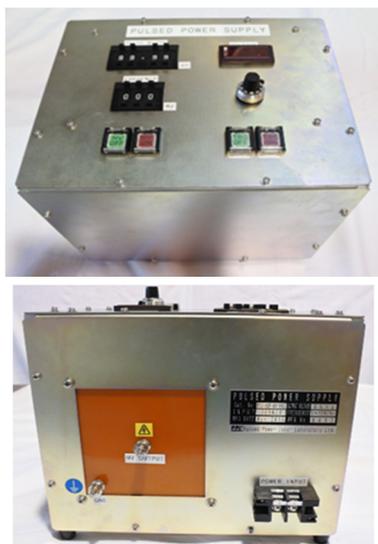


Figure 3: Pulsed power supply.

負荷に 10 pF を接続し、出力電圧波形測定試験を行った時の配線・測定装置の図を Fig. 4 に、測定した条件を Table 2 に示す。また、この条件ときの出力電圧波形を Fig. 5 に示す。



Figure 4: Measurement circuit.

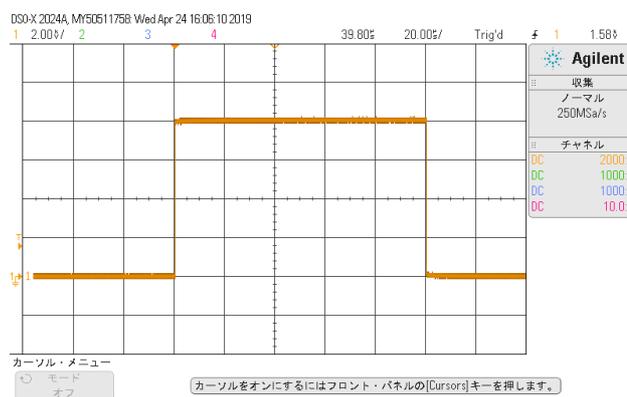


Figure 5: Output voltage waveform.

Figure 5 より設定値通りの波形が出力されていることを確認できる。立ち上がり時間と立ち下がり時間は、それぞれ 66 ns、67 ns であった。これは目標の 100 ns を大きく下回る値である。

### 4. まとめと今後の展望

出力電圧 8 kV、矩形波出力、立ち上がり・立ち下がり時間 100 ns 以下という目標仕様を満たした容量負荷想定電源を開発した。

目標仕様は達成したが、改善できる箇所はいくつか見つかっている。一つは想定している負荷容量が小さすぎることである。より大きな容量に出力できるようにすることで、更なる応用用途に用いることができる電源になるだろう。次に出力電圧である。電子銃や静電キッカーを動かそうとするには、数十 kV ~ 数百 kV の電圧が必要となる。これらの装置を動かすためには更なる出力の高電圧化が望まれる。また、この電源は外部トリガ入力や内部トリガのモニタがないため、それらの端子や機能を追加することでより使いやすくなるを考える。

今後は、主に前述した改良を加えることでより応用範囲の広く使いやすい電源の開発を目指す。