

MOS-FETs ベースの LTD を用いた両極性パルス発生器の開発

A DEVELOPMENT OF A BIPOLAR PULSE GENERATOR USING MOS-FETS BASED LTD.

黄瀬圭祐^{#, A)}, 徳地明^{A)}, 江偉華^{B)}

Keisuke Kise ^{#, A)}, Akira Tokuchi^{A)}, Weihua Jiang^{B)}

^{A)} Pulsed Power Japan Laboratory Ltd. (PPJ)

^{B)} Nagaoka university of technology

Abstract

We are developing a bipolar pulse generator using MOS-FETs based LTD. A out put pulse with +/- 10 kVp, 300 ns each, 1 kHz was generated. Maximum output voltage of each LTD board is 1 kV. We used 15 LTD boards for positive pulse and 15 LTD boards for negative pulse.

1. はじめに

現在、LTD(Linear Transformer Drivers)をベースにした、パルス電源の開発を行っている。本発表は最大出力電圧が 1 kV の LTD 基板を正のパルス発生に15段、負のパルス発生に15段を使用し、出力電圧±10 kVp、パルス幅 300 ns、繰り返し 1 kHz を実現した、両極性パルス発生器の開発に関するものである。

2. LTD 電源とは

LTD とは、半導体スイッチと誘導電圧重畳回路を組み合わせることで、高電圧、大電流でナノ秒オーダーでの波形制御可能なパルス電源である。パソコンと組み合わせることでリアルタイムで任意の波形の高電圧パルスを発生することができる従来にない画期的な電源システムである。

基板に多数の FET や IGBT といった半導体スイッチング素子を並列に配置し、電流を増やし、基板を直列に積み上げることで電圧を増やして出力する電源である。各基板と出力端子は非接触とし、基板に実装したパルスパワーコアにより、パルストランスを形成している。MARX 回路と違い充電部分に絶縁が不要なことも LTD 電源の特徴である。(LTD 電源の概略回路と特徴を Figure 1 に示す。)

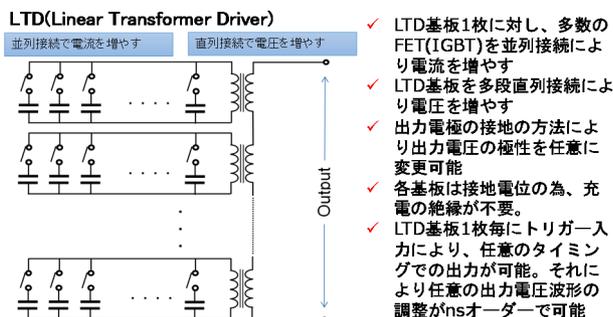


Figure 1: LTD Circuit.

LTD 電源を用いることで、出力電圧を 100 ns の高電圧パルスを 5 ns ごとに調整し任意波形の高電圧極短パルスの発生によりプラズマを長時間安定に生成することが可能。(Figure 2)。

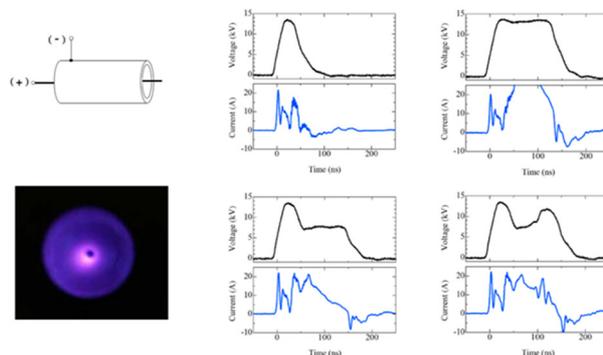


Figure 2: Plasma generation test corrugation.

現在までに複数仕様の LTD 基板を開発している。開発した LTD 基板の性能を Table 1 に示す。

Table 1: LTD Boards Performance List

Device Name	PPJ-FET-LTD-2	PPJ-FET-LTD-3	PPJ-FET-LTD-4	PPJ-IGBT-LTD-1
Vdss	1000 V	1000 V	1000 V	900 V
Idc	6 A	15 A	22 A	165 A
Ip	25 A	45 A	144 A	360 A
Turn on time	8.6 ns	10 ns	5 ns	103 ns
Devices Board	24	24	25	36
Board current	576 A	1,100 A	3,600 A	13,000 A
Board size	φ 300 mm	φ 300 mm	φ 360 mm	φ 360 mm

LTD 電源はエンジンの燃焼効率改善、排ガス処理、排水処理などの環境応用研究にも活用されることが期待できる。又、アオコ駆除、植物の生育促進などバイオ応用にも期待されている。

[#] kise@myppj.com

3. バイポーラ電源

3.1 目標仕様

出力端子より出力電圧 ± 10 kVをパルス幅 300 ns、繰り返し 1 kHz で出力する。立ち上がり時間は 100 ns 以下にする。負荷は容量性で 100 pF。目標仕様を Table 2 に示す。

Table 2: Target Specification

Output Voltage	± 10 kV
Pulse Width	300 ns
Repetition	1 kHz
Rise Time	100 ns

3.2 設計仕様

LTD 基板は FET(耐電圧 1kV,15A)を 24 個使用した PPJ-FET-LTD-3 をベースに内部負荷 27.5 Ω を実装し 30 枚(各極性 15 枚)使用。パルス幅が 300 ns と従来の LTD 電源と比較し長い為、パルスパワーコアは厚さ 13.5 mm を使用している。パルスパワーコア実装後の基板外観写真を Figure 3 に示す。

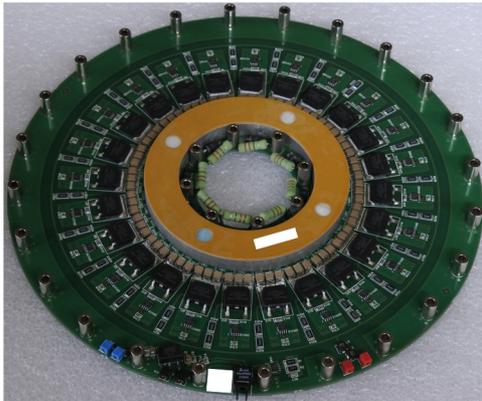


Figure 3: LTD board (PPJ-FET-LTD-3-B).

充電器は DC800 V(1 kW)出力の電源を2台使用し、それぞれの極性ごとに充電電圧を制御できるようにした。LTD 基板15枚に 700 V 充電し、出力端子より 10 kV を出力する。

トリガは光信号を入力している。光トリガ送信器として E/O 変換可能な電気信号1入力(コモン出力モード時。基板間伝送用に1出力。個別出力モード時は最大8入力)-光信号8出力の光送信基板 PPJ-LTD-EO8-2 を4枚使用している。各極性は2枚ずつ使用し、基板間は短い同軸ケーブルで配線し、パルスジェネレータより同じトリガを入力する。外観写真を Figure 4 に示す。

出力1端子より両極性のパルス電圧を出力する為、基板の電流が流れる向きを正負極性で裏表に15段重ねる(すなわちトランスの1次巻線の方向を逆に巻く)ことで実現した。負極は中段フランジより下に15枚配置し、正極は中段フランジより上に15枚配置している。高圧の出力端子は中心の棒の先端である。

電源本体の組立図を Figure 5 に外観写真を Figure 6 に

示す。

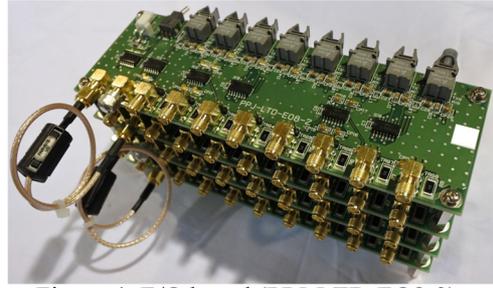


Figure 4: E/O board (PPJ-LTD-EO8-2).

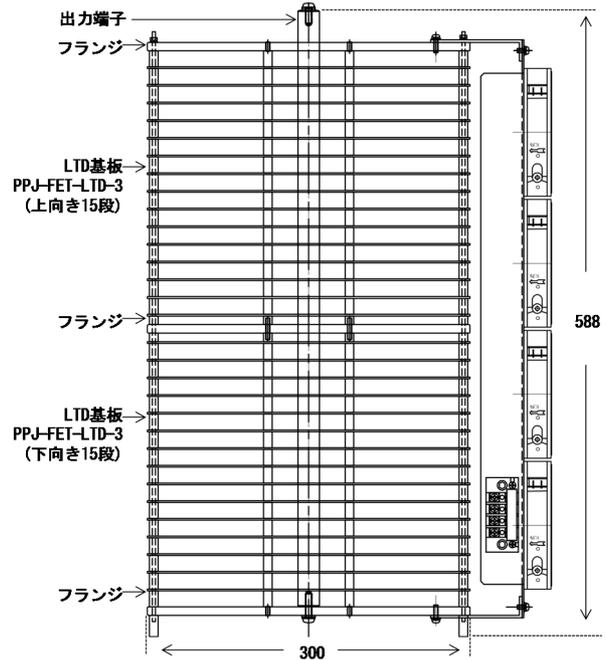


Figure 5: Bipolar pulsed power supply assembly drawing.

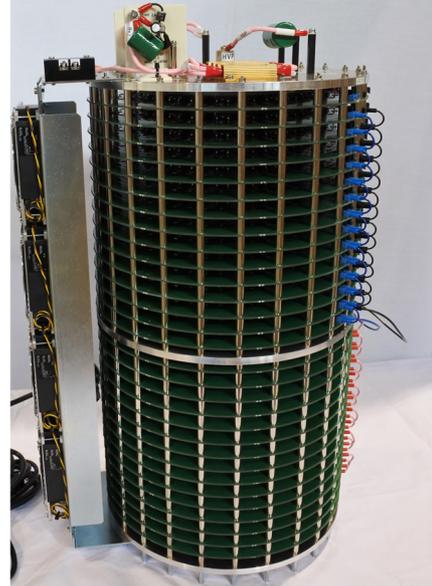


Figure 6: Photographs of a bipolar pulsed power supply.

全体回路図を Figure 7 に示す。

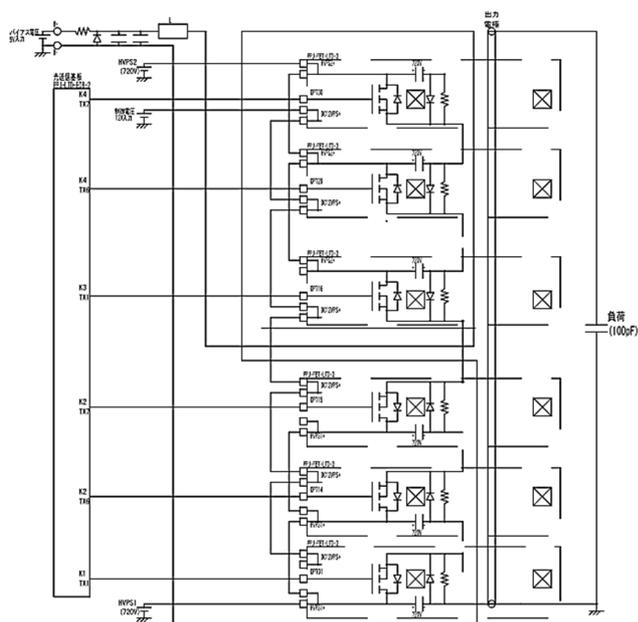


Figure 7: Bipolar pulsed power supply summary circuit diagram.

とで、コンパクトで高性能な高電圧バイポーラパルス電源を実現することができた。更なる高効率、高繰り返し試験を今年度中に実施予定である。性能向上により、環境応用研究等の装置により最適な電源を作り、LTD電源の普及に努めたいと考える。

参考文献

- [1] Weihua Jiang, “Repetitive Linear Transformer Driver Using Power MOSFETs”; IEEE Transactions on Plasma Science (Volume:40, Issue: 10).

3.3 評価試験結果

模擬負荷(100 pF)での試験結果を以下に示す。充電電圧 700 V、ファンクションジェネレータよりパルス幅 300 ns、繰り返し 1 kHz を入力し、出力電圧 ±10 kV であることを確認した。出力電圧波形は高電圧プローブにて出力端子で測定実施した。電圧波形を Figure 8 に、試験結果を Table 3 に示す。

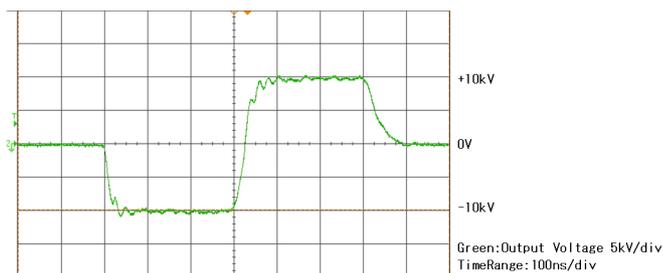


Figure 8: Output voltage waveform.

Table 3: Test Result

Output Voltage	+10 kV -10 kV
Pulse Width	300 ns
Repetition	1 kHz
Rise Time	25 ns

4. 今後の展望

産業利用可能な本電源は実負荷に接続しての評価中である。今回当社独自開発の LTD 基板を使用するこ