

同軸型マルクスゼネレーターによる相対論的大強度電子ビームの発生

名大プラズマ研 名大工^A 久保田雄輔、高木憲一^A、宮原昭

REB発生用のビーム・ソースとして一般に Marx-Generator からの出力を、ブルームラインのような、同軸ケーブルにチャージ・アップして、インピーダンスを下げ、かつ立ち上がりの早いパルスを得る形式が用いられているが、この場合、ブルーム・ラインの出力電圧 (V_B) は、

$$V_B = \frac{C_M}{C_M + C_B} V_0$$

C_M : Marx-G. の合成容量

C_B : ブルーム・ラインの合成容量

V_0 : Marx-G. の出力電圧

となり、 C_B と C_M によって、capacitive divide されてしまう。我々は、これをさけるため、同軸タイプにした Marx G. を各種作製し、非常に立ち上がりの早い (~ 10 ns) パルスを得る事に成功した。特に、一層新しく作製した、電子ビームの Collective な効果をみるために、電流も多くとも目的の、720 kV Marx G. により、フラット・トップをもった、6 ns の立ち上がりの電圧波形 (17 Ω 負荷で) を得、その内部インピーダンスも低くおさえる事が出来たので (11 Ω)、ここに、既存の、300 kV, 600 kV, 2 MV Marx G. とあわせて、その特性を比較検討し、さらに、720 kV Marx G. により、20 kA, 450 keV の電子ビームが得られた事を報告する。

テーブル1は、300 kV, 600 kV, 720 kV および、2 MV の Marx G. についてその特性を比較したものである。この表において、内部インピーダンス、内部インダクタンスは、簡単な LC R 集中定数回路モデルにもとづいて、Load 抵抗に対する出力電圧波形から得たものである。この表において精緻的な事は、720 kV Marx G. は、そのサイズのわりには、stored energy が大きく、内部インピーダンスが小さい事、又、2 MV, 720 kV Marx G. に共通して、他の2つのマルクスに比して、jitter time が小さいという事である。内部インピーダンスの要因としては、色々とお、一概にはいえないが、いくつかの同軸型のマルクスを作るにつれて構造的に同軸配置の技術が進んだ事、Gap 間隔を短かくした事等により、マルクスの特性インピーダンス ($\sqrt{L/C}$) を小さく出来るようになったためと考えられる。又、jitter time が小さくなった原因は、720 kV, 2 MV Marx G. の場合、多段トリガー方式を採用した事によるものである。今後さらに、内部インピーダンスをさげるためには、一般あたり、複数 Gap をとり入れる事、完全同軸配置にする事、充電電圧をあげて Gap 数をへらす事等が考えられ、又、jitter time を小さくするためには、多段トリガー方式を徹底する事 (現在2段) レーザー・トリガー方式の採用等を行なえばよいが、技術的に克服すべき多くの問題を念でいえる。

Fig. 1 は、Load 抵抗に対する、Marx G. の出力電圧のピーク値のグラフである。この場合、

$$V_0 = V_{00} - \frac{V_0}{R_L} Z_{in}$$

V_{00} : 無負荷の場合の出力電圧

V_0 : Marx G. の出力電圧

R_L : Load 抵抗

Z_{in} : Marx G. の内部インピーダンス

という様に、簡単なモデルで、Marx G. の出力電圧も、よく説明出来る事がわかる。

Fig. 2には、600 kV, 720 kV, 2 MV の Marx G. の Load 抵抗 $1 \text{ k}\Omega$ の場合の、出力電圧波形である。我々の、同軸型の Marx G. の出力電圧の立ち上がり時間は、10 ns 前後で、非常によい事がわかる。この場合、内部インピーダンスは、それぞれの場合で異なるため、簡単には、比較出来ないが、720 kV Marx G. の場合、6 ns という、さらに早い立ち上がり時間を示している。立ち上がり時間の問題は、内部インピーダンスのそれとも密接に関連してくるのだが、同軸配置の徹底、Gap 間隔を狭くし、Gap 数をへらす事、多段トリガー方式等の採用により、さらに早い立ち上がりのパルスを得る事が期待される。

600 kV, 2 MV Marx G. とともに、その出力電圧波形は、LCR 集中定数回路モデルにより、比較的良好にシミュレーション出来るのだが、720 kV Marx G. の場合、Fig. 3 に示すように、出力波形の立ち上がり、立ち下がりについては、そのモデルで、傾向は、よく一致しているが、フラット・トップのある事により、前二者ほどうまくは、シミュレーション出来ない。この原因は、特性インピーダンス ($\sqrt{L/C}$) と、内部インピーダンスの測定値とがこの場合、近い値を示している事、つまりは、同軸配置の徹底により、集中定数回路のような簡単なモデルではもう追従出来なくて、より分布定数回路モデルに近くなっているのではないかと考えているが、更に将来、解決せねばならない課題がある。

最後に、720 kV Marx G. を使って cold emission cathode で、電子ビームを出した時の出力電圧、ダイオード電流、ダイオード・インピーダンス、および、ファラデーカップ電流の時間的な変化の様子を Fig. 4 に示す。この場合、我々は、最高エネルギー 450 keV, 最高ビーム電流 20 kA のビームを得る事が出来た。Faraday cup 電流と、ダイオード電流との間隔の大きい原因もまだよくわかっていなくて、これも早急に解決を要する問題である。なお、ダイオード・インピーダンスの時間的な変化のようすは、我々のダイオードの場合、Child-Langmuir の式により、よく説明される事がわがっている。

TABLE. 1.
COAXIAL MARX GENERATOR

| | 300 kV | 600 kV | 720 kV | 2000 kV |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| CHARGING VOLTAGE | 30 kV | 60 kV | 60 kV | ± 60 kV |
| NUMBER OF THE STAGE | 10 | 10 | 12 | 17 |
| CONDENSER | Ceramic con. 30 kV, 2000 PF | \simeq | \simeq | \simeq |
| NUMBER OF THE CON. | 60 | 160 | 624 | 990 |
| CHARGING RESISTOR | 100 k Ω | 10 k Ω | 10 k Ω | INDUCTOR 10 μ H |
| TOTAL CAPACITANCE | 1200 PF | 800 PF | 2200 PF | 450 PF |
| INTERNAL IMPEDANCE | 50 Ω | 39 Ω | 11 Ω | 25 Ω |
| JITTER | 40 ns | 50 ns | 10 ns | 3 ns |
| DIMENSIONS | 40 cm $^{\phi}$ \times 170 cm | 30 \times 150 | 40 \times 170 | 60 \times 300 |
| STORED ENERGY | 54 J | 144 J | 560 J | 900 J |
| INTERNAL INDUCTANCE | 300 nH | 100 nH | 150 nH | 200 nH |

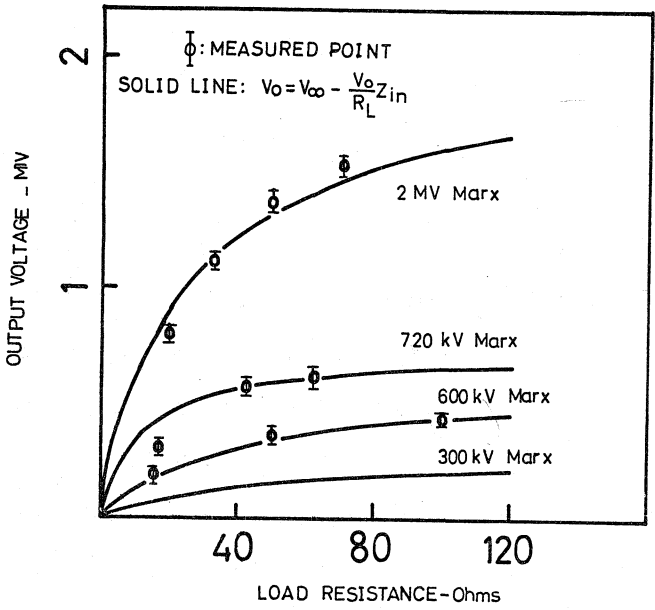


Fig. 1

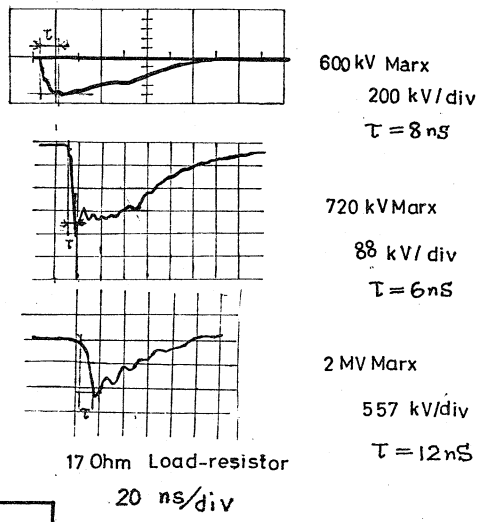


Fig. 3

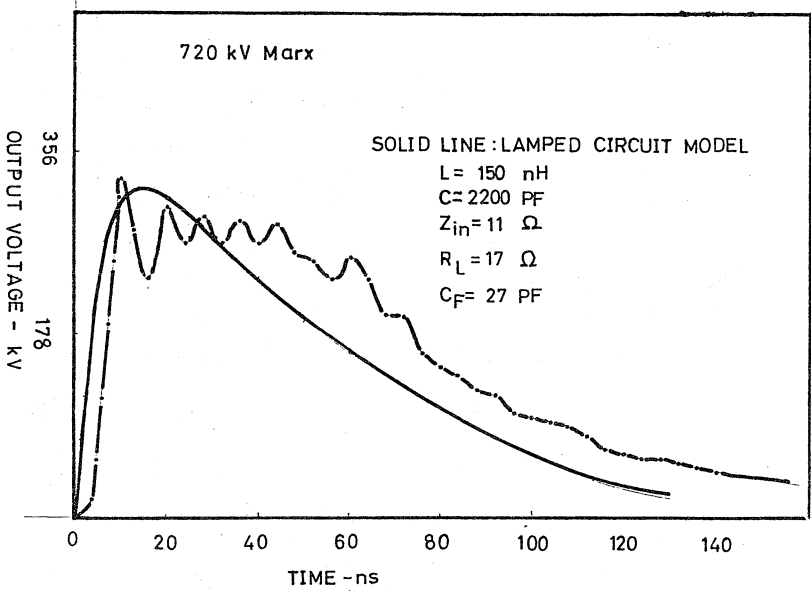


Fig. 2

Fig. 4.

