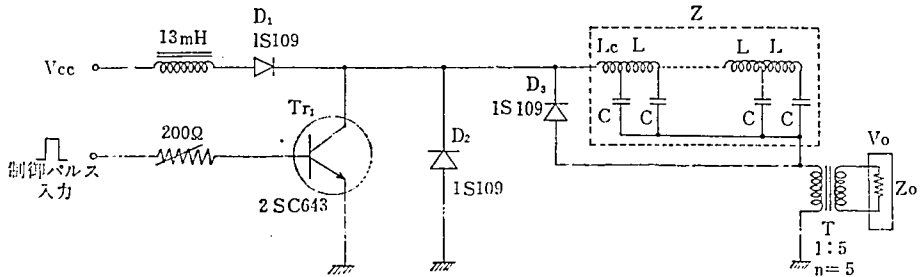


## トランジスタによる大電力パルス発生装置

植村 辰久

## 梗概

現在大電力のパルスゼネレータは各種製作されているが、いずれも通常の真空管式にはマグネトロンを用いるものである<sup>(1)</sup>。半導体式のパルスゼネレータは小電力か或は立上り、立下り時間を問題にしない低周波帯域にしか用いられて居ない。筆者らはトランジスタを用いて立上り時間が $1\mu\text{s}$ 程度で出力電圧 $3\text{kV}$ 、出力電力 $1\text{kW}$ 以上のパルスゼネレータの設計および試作を行ない好結果を得たのでここに発表する次第である。



第1図 パルス発生器回路図

## 回路

パルス発生回路は第1図に示した通りである。原理的にはレーダの変調回路等と同じく遅延線を用いるもので、トランジスタ $\text{Tr}$ のスイッチングによりパルスが発生させるものである。パルスゼネレータとして備えなければならない条件として、パルス幅、出力電圧を連続的に可変しうることがあげられるが、これは入力制御パルス幅により、発生する出力パルス幅を任意に変えることができ、かつ電源電圧を変化させることに他の条件を何等変更させることなく出力を制御できるので問題はない。

## 要求性能

大電力パルスゼネレータとして与えられる要求性能は大略次に示す通りである。

出力：2.8kV以上（波高値）	パルス巾：最大 $20\mu\text{s}$ （可変）
デューティ：最大20%	繰返し周波数：20Hz～20kHz
立上り時間： $1\mu\text{s}$ 程度以下	
負荷：容量性、等価的に $7.5\text{k}\Omega\sim 25\text{k}\Omega$ の純抵抗に20PF～40PFの容量の並列接続	

これらの条件は実用上の見地から要求されるものである。

設 計

トランジスタとして東芝製 2SC643 を用いた。理由としては  $V_{CBO}$  および  $V_{CES}$  が1100V と非常に高く、 $I_{Cmax} : 2.5A$ 、 $P_C : 60W$ 、と高周波用として比較的大きいためである。又使用温度は  $-65^{\circ}C \sim 150^{\circ}C$  となっているので問題はない。使用に際しては、トランジスタに流れる尖頭電流を安全のため 2A と設定した。従ってデューティが 20% (max) であるから、平均コレクタ損失がその最大値の 60W まで許容し得ることより、

$$\text{パルス発生時のコレクタ損失} : P_{CP} = P_C \times \frac{1}{Df} = 60 \times 5 = 300(W) \dots\dots\dots(1)$$

ここに Df : デューティ (負荷率) である。

コレクタ損失の最大は動作線上において、 $I_C/2$ 、の位置であるから、

$$V_{CC} \times I_C / 2 = P_{CP} = 300(W) \dots\dots\dots(2)$$

$I_C = 2(A)$  であるから、

$$V_{CC} = 2I_C \cdot P_{CP} = 600(V) \dots\dots\dots(3)$$

として、コレクタ電源電圧  $V_{CC}$  が決定される。

出力電力 (パルス尖頭値) は、

$$V_{CC} \times I_C \times \eta = 1200\eta(W) \dots\dots\dots(4)$$

である。ここに  $V_{CC} \times I_C$  は尖頭コレクタ入力、 $\eta$  は回路の能率である。

トランス(T)は、要求出力電圧 2.8kV 以上であるから、出力電圧の最大値を 3kV と設定した。従って昇圧比(n)は、

$$V_{CC} \times n = V_{Omax} \dots\dots\dots(5)$$

より、

$$n = V_{Omax} / V_{CC} = 3000 / 600 = 5 \dots\dots\dots(6)$$

として決定される。ここに  $V_{Omax}$  は出力電圧の最大である。

ここに問題となるのはインピーダンスの整合をとるか否かということである。レーダなどでは、負荷が一定であるから整合をとることは可能であるし、現にその様にしている場合も存在するが、この場合、負荷は一定ではないので、全ての状態について整合をとることは不可能である。この様なときについては、遅延線の特性インピーダンスZは、

$$Z < Z_0 / n^2 \dots\dots\dots(7)$$

として選定する。(7)式において等号が成立する場合が整合の条件である。

なお  $Z_0$  は負荷インピーダンスである。

$Z_0$  の最小値は 7.5k $\Omega$ 、 $n=5$  であるから

$$Z < 7500 / 25 = 300(\Omega) \dots\dots\dots(8)$$

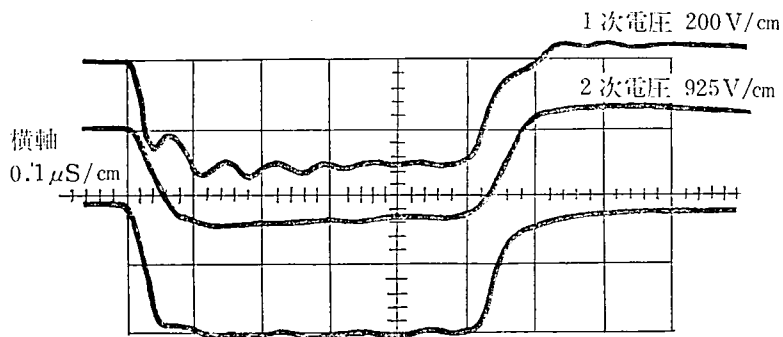
より  $Z=50(\Omega)$  と決定した。理由は(7)式を満足し、かつ変圧器Tの動作試験に際して遅延線として、ほぼ理想的な 50 $\Omega$  の高周波同軸線を使用し得る実用上のことより生じた。

変圧器は国際変圧器製のパルストランスを 6ヶ直列にして用いた。その 1つ当りの定格は次の通りである。

1次電流の最大値 : 2A	1次電圧 : 1kV
---------------	------------

1次インピーダンス：50Ω	
2次電流の最大値：1A	2次電圧（最大値）：8kV
2次インピーダンス：1250Ω	
定格：2kW	

変圧器の動作試験の結果は第2図として掲げた通りである。これは変圧器1個についての例であり、整合をとった状態で測定して居る<sup>(2)</sup>。1次側約300V、2次側は約1400Vを得ており、立上り時間、立下り時間も0.1μs以下の優れた特性を有している。



第2図 パルス変圧器製作試験結果  
 図中・上1次電圧200V/cm 中2次電圧925V/cm 横軸0.1μs/cm

遅延線の設計は次に示した通りである。問題点としては、通常のこの種のパルス成型回路においてはパルス幅 $\tau$ が一定であるのに反し、パルスゼネレータにおいては当然のことであるがパルス幅は可変である点である。これは、遅延線の伝送時間 $\tau$ を、

$$\tau \geq \tau_{\max} \dots\dots\dots(9)$$

にとる。ここに $\tau_{\max}$ は要求される出力パルス幅の最大値(20μs)である。筆者らは等号が成立するように選定したので20μsである。その上で、逆起電力によって生ずる波型のアンダーシュートおよびトランジスタ $T_T$ のブレークダウンを防止するためダイオード $D_1$ 、 $D_2$ および $D_3$ を挿入した。これらのダイオードは何れもIS109を使用した。定格として、尖頭逆電圧：1kV、サージ電流：20Aであるので、この回路用として充分である。

遅延線としてはリップルが少ないことより第1図中に示してある様にE型を用いた。この場合

$$Z = \sqrt{L/C} \dots\dots\dots(9)$$

$$\tau = 2m\sqrt{LC} \dots\dots\dots(10)$$

$$L_C/L = 1.1 \sim 1.2 \dots\dots\dots(11)$$

である。

ここに  $z$ : 特性インピーダンス,  $L$ : セクション当りのインダクタンス,  $C$ : セクション当りの容量,  $m$ : セクションの数である。

セクション数  $m$  は多い程良いのは明らかであるが, 実用的には製作上の問題もあるので筆者らは  $m=10$  に選定した。この程度ならば相当良い波型を期待し得る。

(9)式および(10)式より,  $L$  を消去して  $C$  を求めると

$$C = \tau/2mz \dots\dots\dots(12)$$

更に(9)式より

$$L = Cz^2 \dots\dots\dots(13)$$

として, 各セクション当りの容量およびインダクタンスが定まる。この様にして求めたインダクタンスを実際にポビンに捲いて製作するには,

$$L = dN^2/(102S+45) \dots\dots\dots(14)$$

より (但しポビンの直径は線径より充分大であるとしている。)

$$N = \sqrt{L(102S+45)/d} \dots\dots\dots(15)$$

として捲数を求めればよい。ここに  $N$ : 捲数,  $d$ : ポビンの直径 (cm),  $S$ :  $l/d$  ただし  $l$  は捲幅 (cm) である。また  $L$  の単位はこの式中は  $\mu H$  である。

試作した遅延線は,  $z=50\Omega$ ,  $\tau=20\mu S$ ,  $m=10$  より

$$C = 20/1000 = 0.02(\mu F) \dots\dots\dots(16)$$

$$L = 0.02 \cdot 50^2 = 50(\mu H) \dots\dots\dots(17)$$

ポビン径: 5cm, 銅線径: 0.5mm,  $S$ : 1.1 と選定したので,

捲数は

$$N = \sqrt{50(102 \times 1.1 + 45)/5} = \sqrt{1572} = 39.8 \approx 40 \dots\dots\dots(18)$$

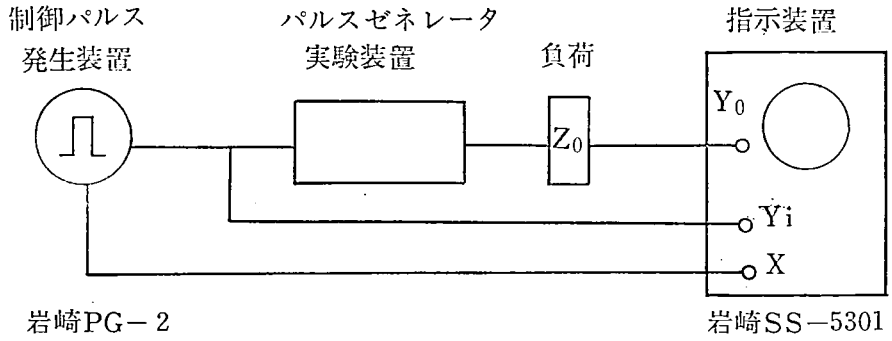
となる。 $L_C$  についても同様に  $L_C = 1.2L$  として,  $N_C = 44$  を得る。

実験結果

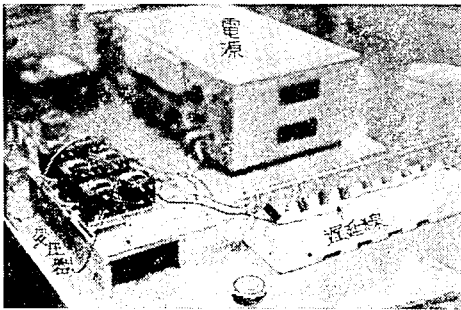
測定装置のブロック図は第3図, 実験装置の写真は第4図としてそれぞれ示したとおり

第8回 第5~7図の実験データ

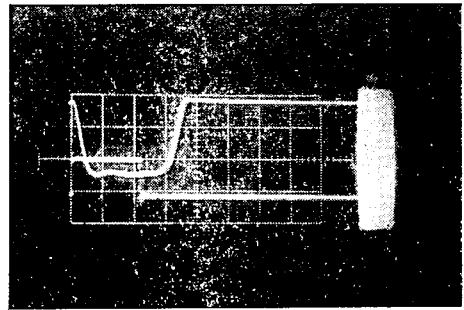
図	V <sub>CC</sub> (V)	V <sub>0</sub> (V)	$\tau$ ( $\mu S$ )	負荷 (PF)	X-軸 感度 $\mu S/div$	Y-軸 感度 1V/div	図	V <sub>CC</sub> (V)	V <sub>0</sub> (V)	$\tau$ ( $\mu S$ )	負荷 (PF)	X-軸 感度 $\mu S/div$	Y-軸 感度 1V/div
5-A	250	1300	4	50	2	600	5-B	250	1250	1.5	50	2	600
6-A	400	2000	4	50	1	500	6-B	400	2000	1	50	1	500
7-A	500	2500	4	50	2	600	7-B-1	500	2500	1.5	50	2	600
7-C	500	2450	2	25	1	600	7-B-2	500	2400	1	50	1	600
							7-D	500	2200	2	純抵抗 7.5k $\Omega$	1	600



第3図 測定回路

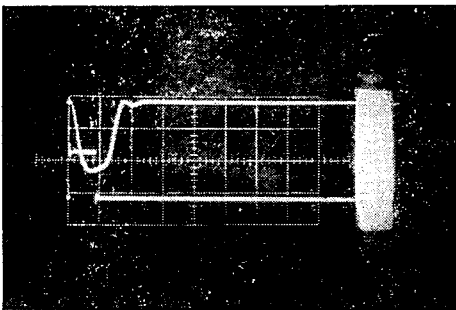


第4図 実験装置



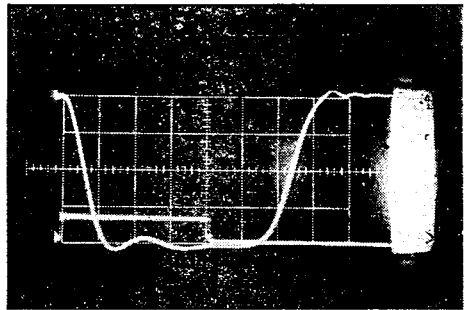
第5-A図 実験結果の例

$V_{CC} : 250V$   
 $\tau : 4\mu S$   
 $V_o : 1,300V$   
 X軸 :  $2\mu S/div$   
 $z_0 : 50PF$



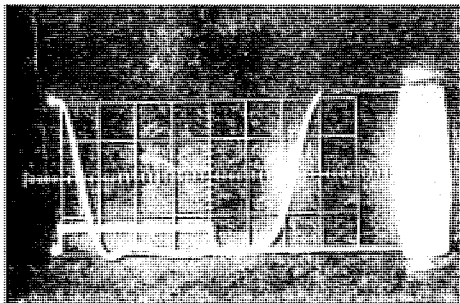
第5-B図 実験結果の例

$V_{CC} : 250V$   
 $\tau : 1.5\mu S$   
 $V_o : 1250V$   
 X軸 :  $2\mu S/div$   
 $z_0 : 50PF$



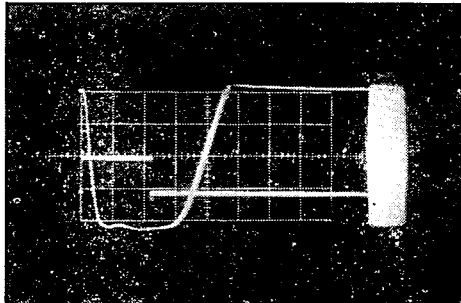
第6-A図 実験結果の例

$V_{CC} : 455V$   
 $\tau : 3\mu S$   
 $V_o : 2000V$   
 X軸 :  $1\mu S/div$   
 $z_0 : 50PF$



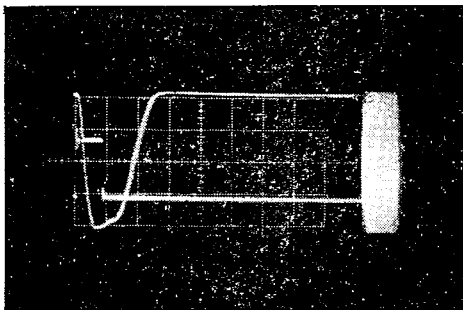
第6-B図 実験結果の例

$V_{CC} : 400V$   
 $\tau : 4\mu S$   
 $V_o : 2000V$   
 X軸 :  $1\mu S/div$   
 $z_o : 50PF$



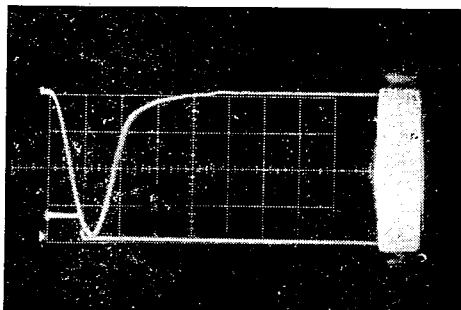
第7-A図 実験結果の例

$V_{CC} : 500V$   
 $\tau : 4\mu S$   
 $V_o : 2500V$   
 X軸 :  $2\mu S/div$   
 $z_o : 50PF$



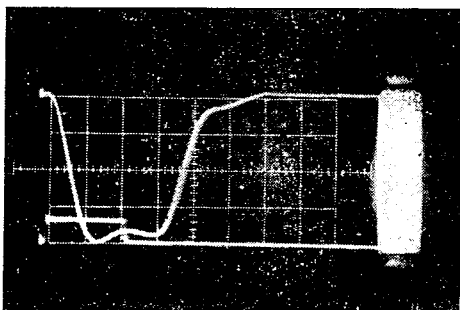
第7-B-1図 実験結果の例

$V_{CC} : 500V$   
 $\tau : 1.5\mu S$   
 $V_o : 2500V$   
 X軸 :  $2\mu S/div$   
 $z_o : 50PF$



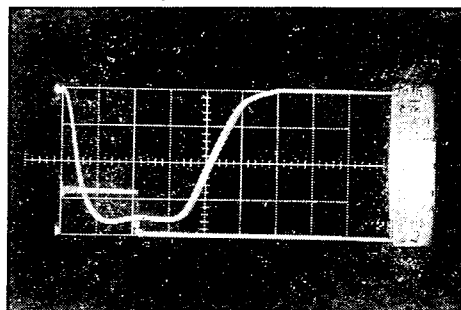
第7-B-2図 実験結果の例

$V_{CC} : 500V$   
 $\tau : 1\mu S$   
 $V_o : 2400V$   
 X軸 :  $1\mu S/div$   
 $z_o : 50PF$



第7-C図 実験結果の例

$V_{CC} : 500V$   
 $\tau : 2\mu S$   
 $V_o : 2450V$   
 X軸 :  $1\mu S/div$   
 $z_o : 25PF$

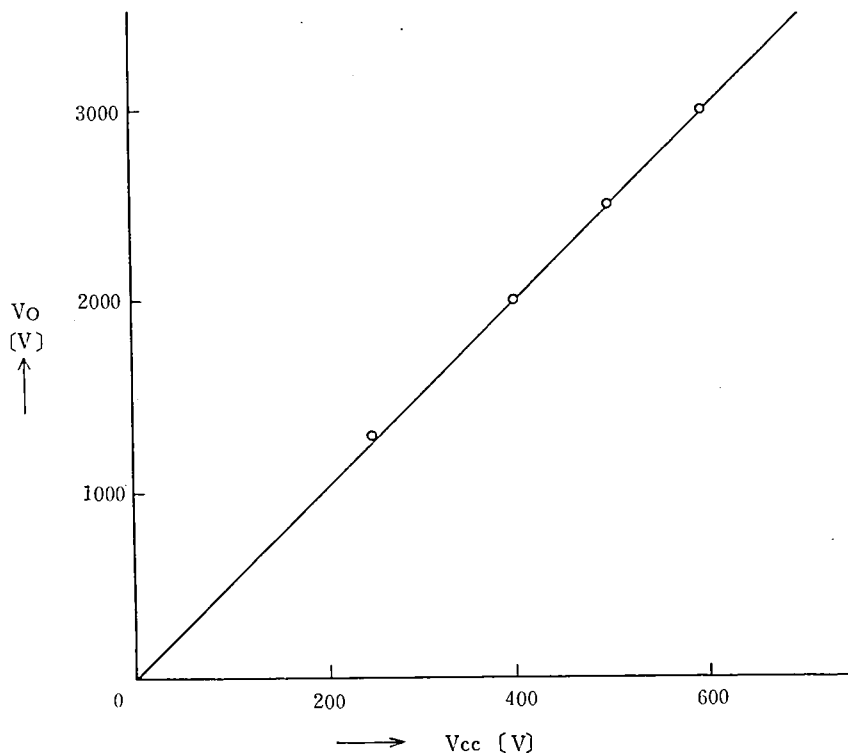


第7-D図 実験結果の例

$V_{CC} : 500V$   
 $\tau : 2\mu S$   
 $V_o : 2200V$   
 X軸 :  $1\mu S/div$   
 $z_o : 7.5k\Omega$ (純抵抗)

である。制御パルス発生装置は岩崎通信機製 PG-2, 指示装置として同社製シンクロスコープ SS-5302 を用いた。装置は写真に見られる様に本体, 変圧器, 遅延線, の三部に分かれていて, 電源部と負荷を付けて用いる。

実験結果の波型は第5図より第7図として示した通りである。そのデータの一覧は第8図として掲げた通りである。図中の下方のパルスは入力波形である。電源電圧  $V_{CC}$  を変化させた場合の結果は, 添字にAのついているグループおよびBのグループ別に比較すれば明らかであるが, これら  $V_{CC}$  に対する出力電圧  $V_o$  の関係は第9図に示した通りであり良好な直線性が得られておる。



第9図 電源電圧に対する出力電圧の関係

パルス幅を変化させた場合の波型は第5図AとBおよび第7図AとBを比較して明らかのように, パルス幅を変化させても出力電圧, 立上り時間も変動は5%以内であるという。良好な結果を得ている。負荷を変化させた場合についても第7図A~Dを比較すれば安定に動作しており波型も極端に変化はしていない。この場合, 負荷が異なっているので波型が変化するのは当然であり従って良好に動作していると言えよう。なを我々の実験では, 負荷  $7.5k\Omega$  に対し  $V_{CC}$  600V で出力 3kV, 出力電力 1.2kW を得た。

#### 緒言および謝辞

以上の結果より明らかのように。本装置は要求性能をほぼ満たしており立上りの早い大電力のトランジスタ化に満足すべき結果を得たと言えよう。立下り時間は飽和したキャリアの再結合の時間が加わるので多少長びく傾向があり, 入力制御パルスの波高によって

異なるが、この点に関しては現在吸収回路を設けて実験中であるのでその結果は追って発表する。

末尾ながら本研究に際して御指導たまわった本学志方助教授，また御援助たまわった三和電子製作所鴨下社長，同製造部長中原氏に深謝致します。

#### 文献

- (1) 例えば三和電子製作所製 SLP-2000A
- (2) 国際変圧器よりの私信