

IMPROVEMENT TO THE OUTPUT CHARACTERISTIC OF A THYRATRON GRID PULSE DRIVER

H. Honma, T. Shidara, S. Anami

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

Abstract

SLED (Stanford Linac Energy Doubler) is utilized to increase the peak power of the rf pulse in the KEKB injector linac. Since SLED is strongly dependent on its timing, it is important to decrease the time jitter of the modulator output pulses as well as that of input rf pulses to obtain the beam with a very small variation of accelerated energy. In order to decrease the time jitter of modulator output pulses, the dependence of thyatron anode time delay and jitter on the thyatron reservoir voltage were investigated by changing an output impedance of the thyatron driver and an input impedance of the thyatron input circuit under repetition rates of 25 pps and 50 pps. The values of 56.25Ω , 22Ω were adopted as driver's output impedance and thyatron grid input impedance, respectively.

サイラトロンドライバの特性改善

1. はじめに

KEKB 入射器マイクロ波源では、50MW クライストロンとマイクロ波パルス圧縮器として SLED を使用する。平坦でないパルス波形のマイクロ波電力で加速されるビームのエネルギー変動 (pulse to pulse) を出来るだけ小さくするためには、先ずクライストロン入力マイクロ波のジッタを抑えることが必要だが、クライストロンへの印可電圧パルスが完全な矩形波でないため、このパルスのジッタも十分に小さな (少なくとも 20ns 以下) ものとしなければならない [1]。

印可電圧パルスの時間安定性(ジッタ及び遅延時間のドリフト)に関する大電力パルス電源側での要素としては、サイラトロンの水素ガス圧を決めるリザーバ電圧、サイラトロンドライバ(ここではトリガ II と呼ぶ) 出力のパルス電圧、立ち上がり時間、インピーダンス、そしてサイラトロングリッド入力回路にある直列抵抗の値などがある。

この度、SLED の使用を契機にドライバのジッタ性能について見直しを行い、特性の改善を図った。

2. 旧トリガIIの出力特性

印可電圧パルスの時間安定性はサイラトロンの時間特性そのものであり、二つの量、即ちアノード遅延時間 (t_{ad})、アノードパルスジッタ (t_{pj}) で与えられる。これらの量とドライバの出力特性との関係については、例えばトリトン社 (旧 ITT 社) のカタログに依ると、『最少の t_{ad} 、 t_{pj} を得るためには、出力インピーダンスの値を 10Ω から 100Ω までの出来るだけ小さい値にすること、及び出力電圧レベルを 1 kV から 4 kV のできるだけ高い値にすることが必要である』と書かれている。又、 t_{pj} に関しては出力電圧の立ち上がり時間も重要と考えられる。

放射光施設入射器マイクロ波源の初期のトリガ

II では、スイッチ素子として小型サイラトロン 5C22 を用いていた。このドライバでは上記のカタログを参考にし、PFN の充電電圧、特性インピーダンス、出力パルス電圧の昇圧比をそれぞれ、 5 kV 、 25Ω 、 $1:1$ として、出力電圧 2.5 kV 、出力インピーダンス 25Ω を得ていた。

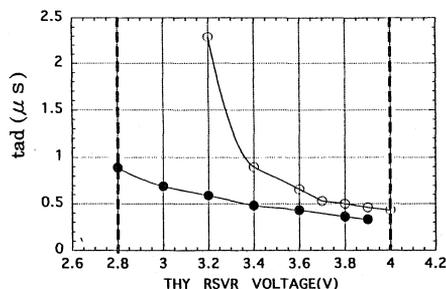
その後、長寿命化を図るため素子を日本インター製 SCR 68RS160 に置き換えたが、耐圧が 1.6 kV と低く 2 直列として用いても、余裕をみると 2.5 kV までしか PFN を充電することができないため、パルス電圧の昇圧比を $1:2$ としていた。この結果、出力電圧 2.5 kV 、出力インピーダンス 100Ω となっていた。

3. ドライバのジッタ性能

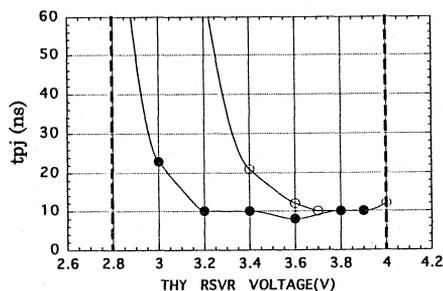
(1) 100Ω ドライバの場合

図 1 (a)、(b) は、従来出力インピーダンス 100Ω ドライバを用いて、トリトン社製サイラトロン F175 をアノード電圧 40 kV で動作させ、測定した t_{ad} 、 t_{pj} の値をリザーバ電圧値に対してプロットしたものである。測定は 25 pps (黒丸)、 50 pps (白丸) の繰り返し周波数で行った。リザーバ電圧は 2.8 V から 4.0 V までの 1.2 V 変化させた。上限値以上ではサイラトロンに連続放電が起り、又、下限値以下では t_{pj} が非常に大きくなり、サイラトロンを安定に動作させることができなくなる [2]。本稿では、図中の 2 本の点線により、上、下限値を示すことにする。

ジッタに比べてあまり本質的ではないが、 t_{ad} の測定結果から F175 のカタログ値である $0.3\mu\text{ s}$ を得るためには 25 pps ではともかく、 50 pps では上限値付近にリザーバ電圧値を設定しなければならないことがわかる。又、 3.4 V 以下のリザーバ電圧では、繰り返しを変えることにより、値が大きく異

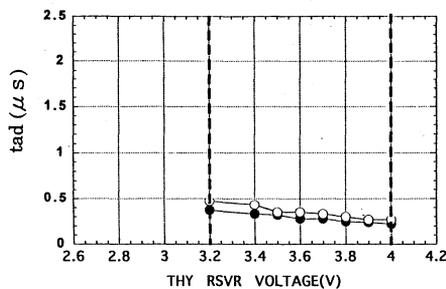


(a) t_{ad} のリザーバ電圧依存性

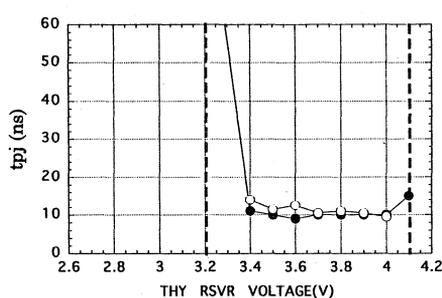


(b) t_{pj} のリザーバ電圧依存性

図 1. 100 Ω ドライバに依る印可電圧時間特性
(入力抵抗値 100 Ω)



(a) t_{ad} のリザーバ電圧依存性



(b) t_{pj} のリザーバ電圧依存性

図 2. 100 Ω ドライバに依る印可電圧時間特性
(入力抵抗値 22 Ω)

なることがわかる。 t_{pj} の測定結果でも、リザーバ電圧の高いところで 10 ns 程度の値となっていたものが、少し低くなると t_{ad} と同様な現象が起きている。

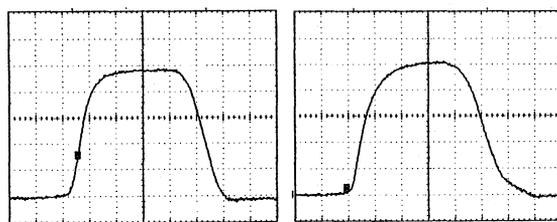
この時のサイラトロン入力抵抗の値はパルスの反射がない様に、100 Ω に等しくしている。上記の測定結果の理由として、出力インピーダンスがメーカーカタログ値の上限の値であり、入力抵抗もそれに合わせて大きくなっているため、サイラトロン点弧前に、十分電流が流れ込んでいないことが考えられる。

そこでサイラトロン入力抵抗値を 100 Ω から 22 Ω に下げて特性を調べることにした。図 2 (a)、(b) は、この場合の t_{ad} 、 t_{pj} のリザーバ電圧特性である。図 2 (a) と図 1 (a) とを比較すると、 t_{ad} 値の繰り返しによる差は、ほとんどなくなっており、値自体も小さくなっていることがわかる。しかし、サイラトロンが安定に動作するリザーバ電圧範囲が減っていることを見逃すことができない。図 2 (b) と図 1 (b) との比較から、 t_{pj} の特性でも安定動作範囲が減少していることがわかる。しかも、 t_{pj} の値自体は 100 Ω の入力抵抗時と変わっていない。この結果から、出力インピーダンスの高いドライバの特性は、サイラトロン入力抵抗値を下げるだけで、完全に改善できないことがわかった。

(2) 56.25 Ω ドライバの場合

ドライバの出力電圧を変えないで、出力インピーダンスを低くするため、SCR 68RS160 をより

耐圧の高い 78RT250 に置き換え、出力パルストランスの昇圧比を 1 : 1.5 とすることにした。PFN は従来そのままなので、このドライバの出力インピーダンスは 56.25 Ω となる。図 3 は 100 Ω ドライバと 56.25 Ω ドライバの出力電圧波形を比べたものである。この図から後者の立ち上がりが多少遅くなっているが、ほぼ同等の出力電圧が得られていると言える。



(a) 100 Ω (b) 56.25 Ω

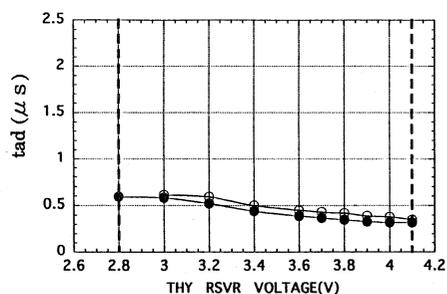
横軸 : 0.5 μs/div 縦軸 : 0.5 kV/div

図 3. ドライバ出力電圧波形

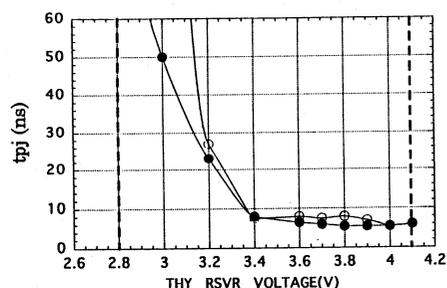
図 4 は 56.25 Ω ドライバ用いた時間特性試験結果を示すものである。この試験でのサイラトロン入力抵抗は、出力インピーダンスに対する割合が、5C22 を用いた初期のドライバでの割合と等しくなる様に 22 Ω を用いている。 t_{ad} (図 4 (a)) の測定結果から、図 1 (a) に比べてサイラトロンの安定に動作する範囲が大きく増え、繰り返しに依る値の差がリザーバ電圧の全可変範囲に渡ってほとんどなくなっていることがわかる。 t_{pj} (図 4 (b)) の測定結果でも、3.2 V 以下の領域を除き同様のことが

言え、その値自体も図 1 (b) に比べて小さくなった。

以上のことから出力電圧の立ち上がり時間が多少遅くなっても、出力インピーダンスを十分下げれば良好な時間安定性が得られることがわかる。



(a) t_{ad} のリザーバ電圧依存性



(b) t_{pj} のリザーバ電圧依存性

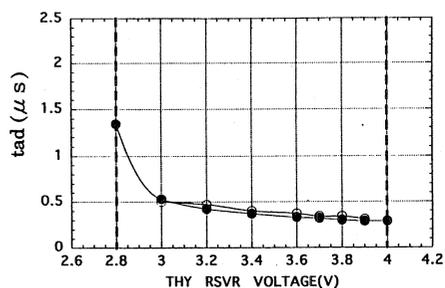
図 4. 56.25 Ω ドライバに依る印可電圧時間特性 (入力抵抗値 22 Ω)

(3) 28 Ω ドライバの場合

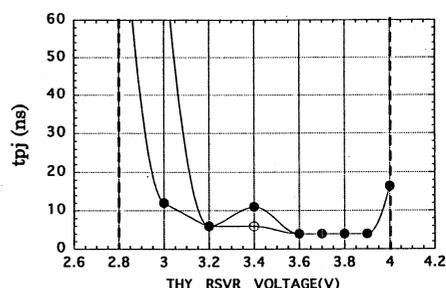
更にインピーダンスを下げた場合の特性を調べるために、出力インピーダンスが 56.25 Ω のドライバでの PFN を 2 並列として特性インピーダンスを 12.5 Ω とし、出力インピーダンスを 28 Ω とした。この場合も入力抵抗値は初期のもの割合にすべく 10 Ω としている。図 5 はこの場合の測定結果を示すものである。この図より、t_{ad}、t_{pj} の値そのものは図 4 に比べ僅かに小さくなってはいるが、リザーバ電圧依存性は 56.25 Ω の結果と大差ないことがわかる。28 Ω とするのはシャーシも変更する必要がありコスト高となるので、今回の改善では、56.25 Ω の値を採用することとした。

サイラトロン入力抵抗の値に関しては、(2)、(3) の場合共、出力インピーダンスに対する割合を初期のドライバのものと同様になる様に単に決めた値である。しかし、これらの値による結果は(1) の場合の 22 Ω の抵抗で起きた、サイラトロン安定動作範囲の減少を起こしていない。又、ここで整合性にこだわるなら、(2) の場合では抵抗値を 56.25 Ω にすべきであるが、56.25 Ω の出力インピーダンスはメーカーカタログ値の推奨範囲のそれ程低いところにはないので、点弧前十分に電流を流せないことが予想される。この意味からも 22 Ω

の抵抗値は妥当な値と考えられる。



(a) t_{ad} のリザーバ電圧依存性



(b) t_{pj} のリザーバ電圧依存性

図 5. 28 Ω ドライバに依る印可電圧時間特性 (入力抵抗値 10 Ω)

4. まとめ

本稿では、クライストロン印可パルス電圧時間特性の測定をサイラトロンリザーバ電圧を変化させながら行い、ドライバの出力インピーダンス、サイラトロン入力抵抗値の検討を行った。出力インピーダンスは、56.25 Ω に、入力抵抗は 22 Ω に改め、クライストロン印可電圧の時間安定性を高めることができた。これを実現するために、高圧電源トランス、SCR を新しい物に置き換え、出力パルストランスを 1 : 1.5 の昇圧比に巻き直した。現在までのところ、KEKB の 58 台のパルス電源の内、24 台の電源で、改善されたドライバが動き始め、特に問題は起きていない。

参考文献

- [1] H. Hanaki, "高周波圧縮システムのパラメータ設計と特性", Design Report on PF Injector Linac Upgrade for KEKB, KEK Report 95-18, March 1996, pp.78
- [2] H. Iijima, et al., "Hydrogen Thyatron Ranging(Tuning Method of Reservoir Voltage) of Klystron Modulators", Proc. 16 th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokyo, 1991, pp.139-141.