

[P8-20]

INSTABILITY OF THE PULSE MODULATORS FOR FEL LINAC AT NIHON UNIVERSITY

T.Sakai*, K.Hayakawa, T.Tanaka, Y.Hayakawa, K.Sato, H.Nakazawa*, K.Yokoyama*, K.Kanno*,
I.Sato, K.Shinohara**, N.Matunaga**, S.Anami*** and S.Fukuda***

Atomic Energy Research Institute, Nihon University,
7-24-1, Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

*College of Science and Technology, Nihon University,
7-24-1, Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

**Nihon Koshuha Co., Ltd.,

1119, Nakayama-cho, Midori-ku, Yokohama, 226-0011, Japan

***High Energy Accelerator Research Organization, KEK,
1-1, Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

Abstract

The fluctuation of the output pulse voltage from the klystron pulse modulator has been investigated for various output voltages. The analysis of the waveform of the output pulse simulated with SPICE suggests that the fluctuation may be caused by a charge up of PFN capacitors in negative voltage at the end of the previous pulse. The waveform has been reproduced by assuming that the thyatron is turned on again in a very short period after once turned off.

日大FEL用リニアックパルスモジュレータの不安定性

1. はじめに

日本大学原子力研究所電子線利用研究施設では、1998年に電子線の加速、アンジュレータ放射光の発生に成功した^[1,2]。しかし現在日大FEL用リニアックは、電子線を十分安定に加速できず、安定なビームが得られていないという問題がある^[3]。この不安定の原因の一つとして、クライストロン用パルスモジュレータの出力パルス電圧の変動がある。このことは、サイラトロンの動作が安定していないことに起因しているようだ。そこで何が起きているのかを再現するために、出力パルス電圧のシミュレーションを行い、結果と実際に観測した出力パルス電圧の変動との比較から推測した。以下にパルス出力電圧の変動の測定結果とパルスモジュレータのシミュレーション結果を報告する。

2. パルスモジュレータ出力の変動

パルスモジュレータ放電部の概略図を図1に示す。パルスモジュレータは主に、30段のPFN、サイラトロン、バックダイオード、シャントダイオードなどで構成されている。パルスモジュレータで作られたパルス電圧をパルストランスで12倍に昇圧し、クライストロンに送っている。

パルス出力電圧の変動はパルスモジュレータ1号機、2号機ともに起きている。図2(a)、(b)にその変動する時と、安定な時の波形を重ねて表現した(パルストランスの2次側を1:7500のモニター用Cデ

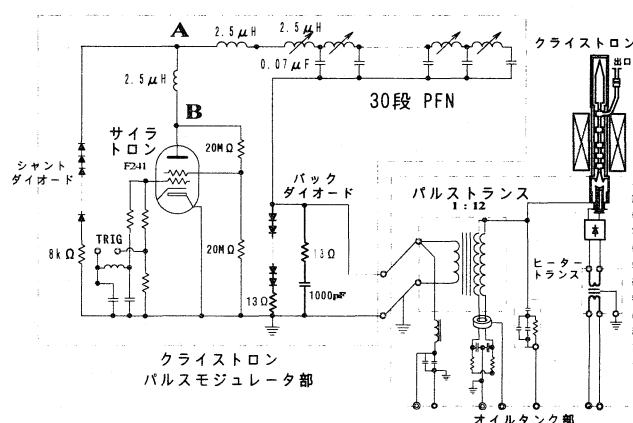


図1：パルスモジュレータ放電部概略図。30段PFN、サイラトロン、バックダイオード、シャントダイオードなどから構成されている。

バイダーで測定した)。

②部分は、パルス出力電圧が変動しない間は上側の波形となっており、変動するときには下側の波形に変化する。そして、②部分の波形が下側の波形となったときには、次のタイミングにおいてパルス出力電圧①が変動を起こす、という因果関係がある。

また、パルス電圧の変動とともに、PFN充電波形の変動も1/5000の抵抗分割器で測定した。その様子を図3に示す。PFN充電波形のうち、パルス終了直後の電圧が図2の②部分の変動と連動してI、II、

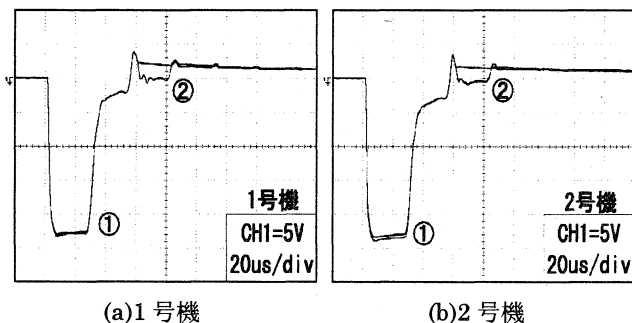


図2：パルス出力電圧の変動（DC 電圧 14kV の時）。パルス出力電圧①部分が変動している。②の部分での変動がある特徴を持つ。②の上側が安定な時で、下側に変動する。②の変動が起きて次のパルスで①の変動が起きる。

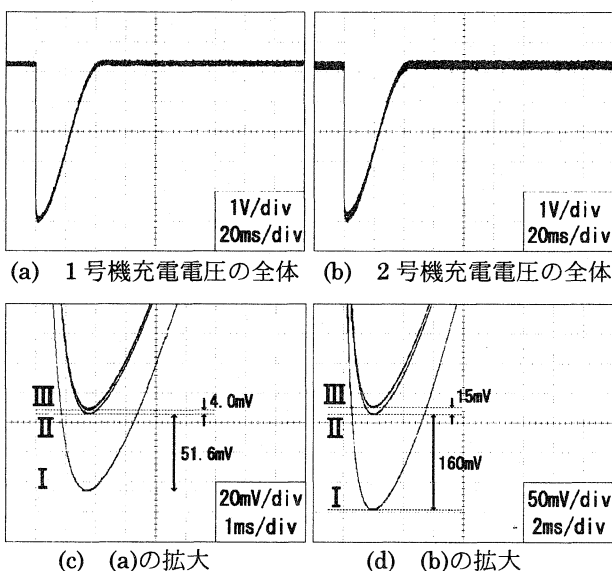


図3：PFN 充電電圧の変動（DC 電圧 14kV の時）。(a)(b)は PFN 充電電圧の全体。(c)(d)はサイラトロンで放電し終えたタイミングの拡大波形。I、II、IIIの順で変動する。IIIの位置が安定しているときの波形。1号機、2号機ともに変動は、負の方に振れる。

IIIの順で変動していることが確認された。安定な時の波形はIIIの位置にある。また充電電圧は DC 電圧が 14kV の時 1号機は 2.1%、2号機は 6.5%も変動をしていることがわかった。図2の②部分の波形が下側の波形となったときには、充電波形のうちパルス終了直後の電圧が負になる。つまり、このときにはコンデンサーに負極性の電荷が蓄えられ、その後の共振充電によって余計に充電されるため次のタイミングのパルス出力電圧が高く出てしまう。そこで、図2のパルス出力電圧変動の観測結果をシミュレーションする事にした。

3. パルスモジュレータのシミュレーション

パルスモジュレータのシミュレーションは、回路

シミュレータの SPICE を用いて行った。図4にパルスモジュレータに対する等価回路を示す。ここでは、パルス電圧の変動に関する図2の②部分を再現するようにシミュレーションした。シミュレーションにあたり図2を見ると、②の変動が見られる直前までの波形は、安定なときの上側も変動したときの下側も全く同じである。そのため変動する場合も変動しない場合も②の変動の直前までは全く同じ回路動作が行われていると考えられる。そこでサイラトロンのスイッチング動作に問題があると考え、サイラトロンのスイッチング動作で波形を再現するために、まったく同じスイッチを2個つけた。図4のSW1は正常に導通させるために、SW2は特定のタイミングで導通させるために付けた。このシミュレーションでは、コンデンサーに完全に充電された状態から始め、出力波形としては図4のクライストロンのVで示した位置の電圧を求めた。

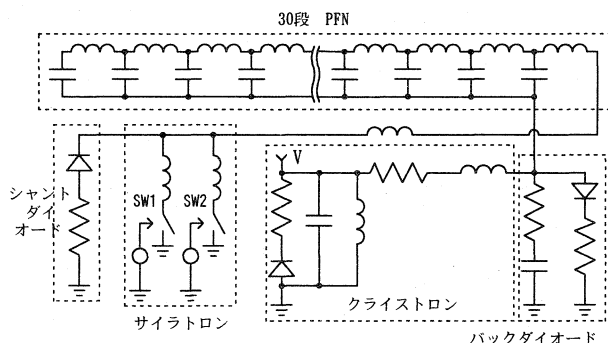


図4：シミュレートしたパルスモジュレータ等価回路。サイラトロンのスイッチ SW1は正常な導通をし、SW2は特定のタイミングで導通させるためのもの。30 段 PFNは一部省略してある。

4. 回路シミュレーション結果

パルスモジュレータのシミュレーション結果を図5に示す。SW1だけの導通の場合は上側の波形になった。このとき、SW1は出力パルス電圧が 0V 以下になるタイミングで OFF している。正常な SW1 の動作に加えて SW2 を特定のタイミングで導通させると下側の波形になる。図5のシミュレーション結果では、実際の観測波形と同じ配置になるように、変動する場合と変動しない場合の波形を描いてある。シミュレーションによって、図2の実際に観測した②部分の変動を非常に良く再現させることができた。

このシミュレーション結果は、サイラトロンを2度、別々のタイミングで導通することで得られたものである。スイッチのタイミングは、SW1をAの時刻で ON、0Vを切る時刻 B(Aから 52.6μs 後)で OFF し、SW2を図2の変動と似たタイミング C(Bから 2μs 後)で ON、D(Cから 20μs 後)で OFF した。したがって SW2は、サイラトロンが一旦 OFF になった後再び導通状態になることに対応している。

このように、シミュレーションの結果からパルスモジュレータのパルス電圧変動が起きている原因と

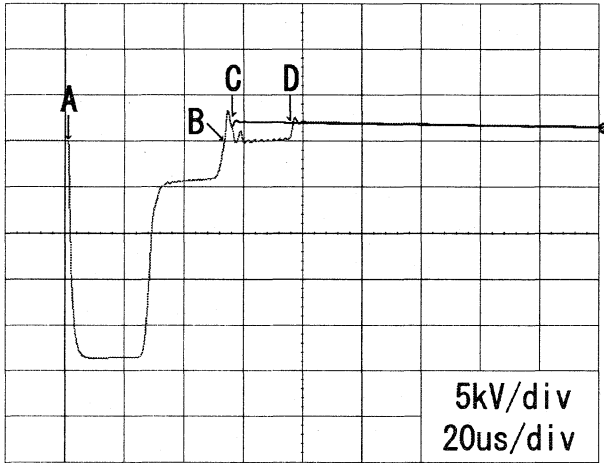


図5：パルスモジュレータパルス出力電圧のシミュレーション波形。上側が正常な導通の場合。下側が正常な導通に特定のタイミングで導通させた場合。1度の導通と2度の導通の違いが表れている。

して、一旦サイラトロンが OFF になってから再び ON になっていることが考えられる。

このパルス電圧変動の起きる理由を調べるにあたり、パルスモジュレータにおける配線を見直した。2号機のパルスモジュレータは、図1のAB間が短絡されていた。そこで、短絡した場合、しない場合それぞれの状態でパルスモジュレータを動作させ、DC電圧を変えて図2の②部分の変動が起こる頻度を調べた。その結果を図6に示す。測定方法としては、パルスモジュレータを2Hzで運転し、各DC電圧に対して15分間ずつ測定した。

1号機では22kV以上、2号機では18kV以上までDC電圧を上げると、パルス電圧変動の頻度は少なくなっていくことがわかった。また2号機においてAB間を短絡した場合は、しない場合に比べ頻度がいくぶん大きな値を示した。しかし、短絡を無くしても変動は治まらず、短絡が元々無い1号機でも頻

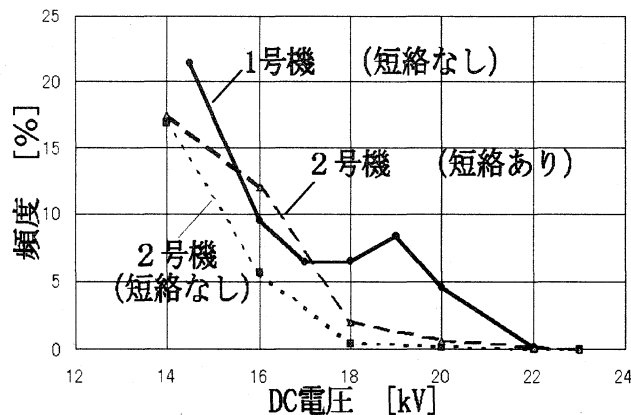


図6：パルス電圧変動の起こる頻度。2号機においてAB間を短絡しないと頻度は少ない。1、2号機ともに、DC電圧を上げていくと頻度は少なくなる。

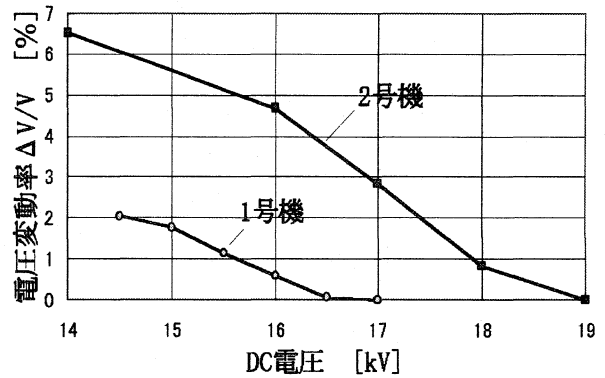


図7：PFN充電電圧の変動の割合。1、2号機ともにDC電圧を上げていくと、充電電圧の上昇とともに、変動の割合が減っていく。1号機では16.5kV、2号機では19kV以上で変動は小さくなる。

繁に起きていたので、他の原因がパルス出力電圧の変動を引き起こしていることになる。

また、DC電圧を変えた場合のPFN充電電圧の変動率も測定した。その結果を図7に示す。

PFN充電電圧の変動もDC電圧の上昇とともに減少していき、1号機は14.5kVで2.1%あった電圧変動が16.5kV以上では明確には観測されなかった。2号機では14kVの時6.5%だった変動が19kV以上では明確には観測されなくなった。

5. まとめ

パルス出力電圧の変動の原因を調べるためにパルスモジュレータのシミュレーションを行った。その結果サイラトロンが一旦OFFした後短時間で再びONしたと仮定すると、パルス電圧変動の前兆現象として現われる図2の②の変動が説明できる。パルスモジュレータを安定に動作させるには、この問題の解決が必要となる。

またDC電圧が高くなると、パルス出力電圧の変動の頻度が少なくなり、同時にPFN充電電圧の変動率も小さくなることが測定から分かったため、これが実際に加速されるビームの安定度にどの程度影響するのか今後調べる必要がある。

参考文献

- [1] I.Sato et al., Proc. of 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, 22(1998).
- [2] I.Sato et al., Proc. of this meeting.
- [3] K.Hayakawa et al., Proc. of this meeting.