

サイラトンドライバの故障対策

中島啓光¹、本間博幸、明本光生、設楽哲夫、福田茂樹
高エネルギー加速器研究機構
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

KEKB 入射器大電力クライストロン用パルス電源では、サイラトンドライバ(トリガーII)の故障が非常に多く問題となっている。故障箇所はSCRユニット内のSCR本体、スナバー回路のコンデンサーなどであった。

そこで、SCRに印加される電圧波形の測定とコンデンサーの故障原因の調査を行った。その結果、スナバー回路の抵抗値とコンデンサーを変えることによって、故障原因を取り除けることが分かった。

1. はじめに

KEKB 入射器大電力クライストロン用パルス電源では、サイラトンドライバ(トリガーII)の故障が非常に多く問題となっていたため、99年にSCRのゲート信号のパルス幅を狭める対策を行った^[1]。その結果、故障数は約半分程度まで減少した。しかし、それでも長期シャットダウン後の立上げ時には、故障が多発し問題となった。その故障箇所の多くは、SCRユニット内のSCR本体、スナバー回路のコンデンサーなどである。

SCRの故障は、メインサイクロンの異常放電時などのリアクションが原因と考えられている。そこで、実際にSCRに印加される電圧波形を測定した。また、コンデンサーの故障については、その原因を調査するために分解調査をメーカーに依頼した。

本稿では、SCRに印加される電圧波形の測定結果とメーカーに依頼したコンデンサーの分解調査の結果について述べ、最後に現在の使用状況について述べる。

2. トリガーIIの構成

トリガーIIはメインサイクロンのドライバーであり、交流電源からの入力を直流に変換する直流電源部、PFNに充電するための充電回路部、パルス電圧を出力するためのPFN、PFNを放電させるためのSCRユニットによって構成されている。

今回の故障は、全てSCRユニット内におけるものであり、故障箇所はSCR本体、あるいはスナバーコンデンサーであった。SCRユニットは、直列に接続された2個のSCR、同数のゲート回路、スナバー回路と電圧バランス抵抗によって構成されていて、3.5kVに充電されるPFNからパルス出力を得るためのスイッチの役割を果たしている。SCRユニットの

回路図を図1に示す。スナバー回路で現在使用しているSCRとコンデンサーの耐圧は2.5kVであり、コンデンサーの静電容量は0.033μFである。また、スナバー回路の抵抗値は120Ωである。

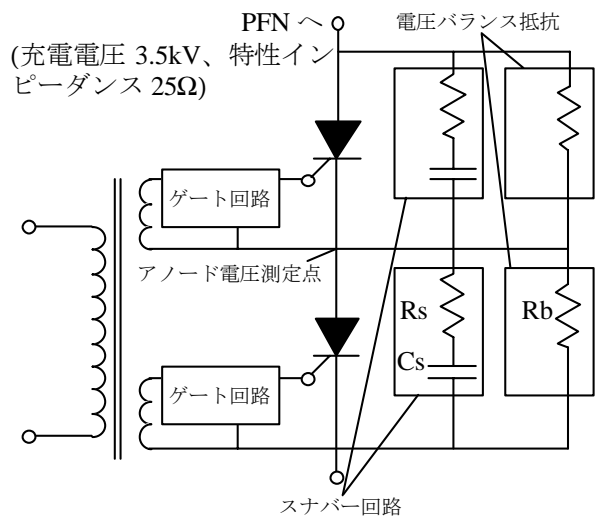


図1: SCRユニット回路図

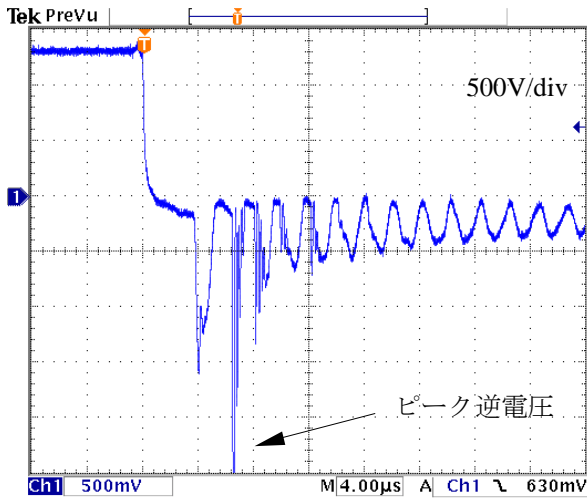
3. SCRに印加される電圧波形

3.1 スナバー回路の効果

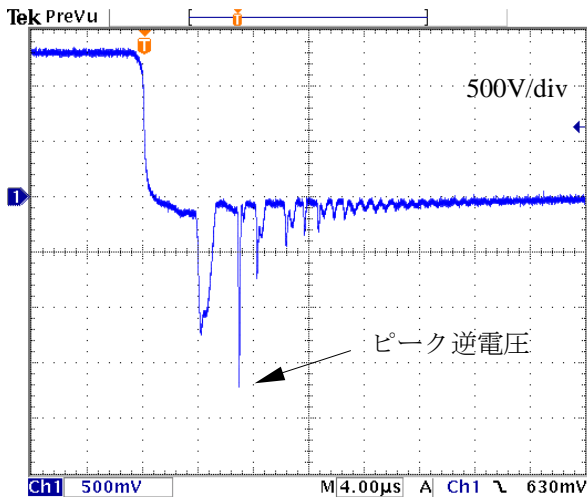
スナバー回路は、SCR点弧後のピーク逆電圧を抑えてSCRを保護するための回路である。そこで、スナバー回路の効果を確認するために、スナバー回路がない時の低圧側SCRのアノード電圧波形を測定した。図2(a)がその測定結果であり、図2(b)はスナバー回路がある時の電圧波形である。スナバー回路がない時のピーク逆電圧は2.8kVであった。それに対して、スナバー回路がある時では1.7kVと約1kVも低くなっている。この結果から、スナバー回路はピーク逆電圧を抑えるのに有効であることが分かる。

次に、スナバー回路の抵抗値を変化させて、低圧側SCRのアノード電圧波形を測定した。スナバー回路の抵抗値とピーク逆電圧の関係を図3に示す。この結果から、スナバー回路の抵抗値が小さいほどピーク逆電圧を抑えられ、抵抗値が100kΩになるとスナバー回路の効果はかなり小さくなってしまふことが分かる。

¹ E-mail: hiromitsu.nakajima@kek.jp



(a) スナバー回路なし



(b) スナバー回路あり (抵抗値 120Ω)

図 2 : SCR のアノード電圧波形 (時間軸 4.0μs/div)

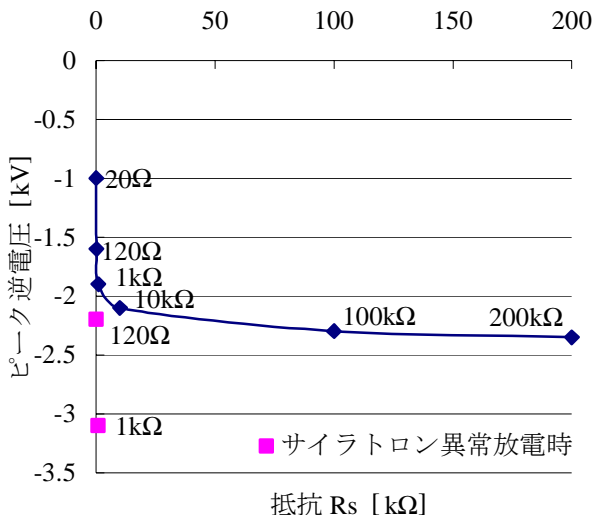


図 3 : 抵抗値とピーク逆電圧

3.2 サイラトロン異常放電時

サイラトロンを意図的に異常放電させた時のピーク逆電圧を測定した。その結果、ピーク逆電圧は、スナバー回路の抵抗値が 120Ωの時は 2.2kV、1kΩの時には 3.1kV であった (図 3 参照)。この値は、サイラトロンが正常に動作をしている時と比較するとかなり高くなっている事が分かる。SCR ユニットにて使用している SCR の逆耐圧は 2.5kV であるから、抵抗値を 120Ωにすれば SCR を保護することができるはずである。しかし、実際には、抵抗値が 120Ωであっても SCR が壊れることがあった。これは、より高いピーク逆電圧が発生することがある可能性を示している。従って、抵抗値はできるだけ小さくした方が良くことになる。ただし、抵抗値を小さくすると、ピーク電流が大きくなってしまいうために、コンデンサーの許容ピーク電流を超えないように注意する必要がある。

4. コンデンサーの分解調査結果

4.1 故障状況

スナバーコンデンサーの故障の症状は、焼損、静電容量の減少などであった。低圧側のコンデンサーが壊れた場合には、高圧側の SCR が壊れるといったように、コンデンサーが故障するとその反対側の SCR も壊れてしまうことが多かった。

故障原因としては、ピーク逆電圧、あるいはピーク電流が考えられたが、どちらが原因か特定することはできなかった。そこで、故障原因を解明するためにメーカーに分解調査を依頼した。

4.2 調査結果

焼損したコンデンサーと静電容量が減少したコンデンサーの分解調査をメーカーに依頼したところ、以下のことが分かった。

まずこのコンデンサーは繰り返し充電用に作られたものではなく、誘電体 (ポリエステル) の $\tan \delta$ は大きいとのことであった。図 4 は、コンデンサーの分解調査結果である。この図から隣り合う誘電体フィルム間でコロナ放電が起こり、蒸着金属が後退していることがわかる。この後退箇所は 1 箇所だけであった。他の故障要因であるサージ電流の場合ではリード線につながる蒸着金属の部分 (コンデンサーの容量とならない部分) が剥がれることが一般的だそうである。また、コンデンサーの正負間に過電圧が印加された場合には、何箇所ものところで、蒸着金属の剥離が起こると言うことであった。

分解調査結果から、コンデンサーの故障原因は、繰り返し充放電用でないコンデンサーを長期間トリガー II の図 5 に示す様な充放電条件で使用したために、誘電体が経年変化を起こし、蒸着電極付の誘電体フィルムの隣同士でコロナ放電が起き、電極が剥がれ後退していったためと判明した。このことで静電容量の減少は説明される。また、焼損したコンデ

ンサーがあったのは、この時一部の蒸着金属（図4の(A)）が残って、誘電体との間で接触不良を起こし、電流による発熱のため、誘電体が炭化しそれが拡大していったためとのことであった。

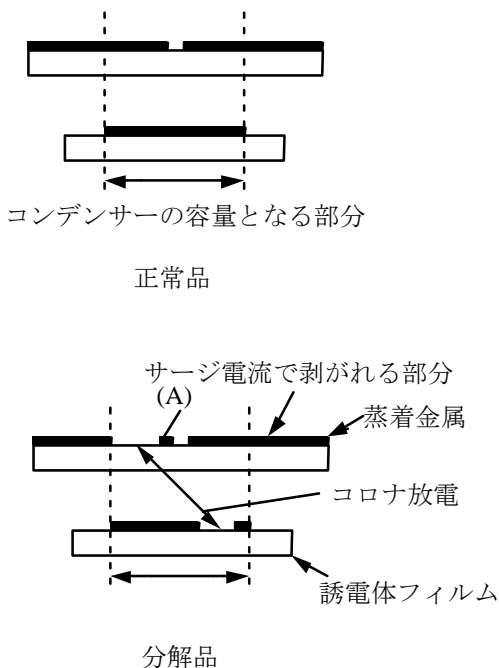


図4：コンデンサーの分解調査結果

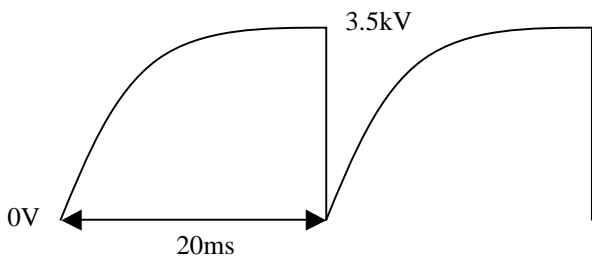


図5：トリガーII 充放電条件

5. 現在の使用状況

コンデンサーの調査結果から、現在使用しているコンデンサーでは、スナバー回路での使用には適していないことが明らかになったため、コンデンサーを新しいものに交換することにした。新しいコンデンサーの静電容量は、現在の3倍程度が適当なため0.1 μ Fにした。

コンデンサーを新しいタイプにしたことによって、コンデンサーの故障はなくなるものと思われる。現在、8台の電源にて、スナバー回路の抵抗値は120 Ω のままで、新しいコンデンサーを試験的に使用しているが、約半年経過した現在、コンデンサー及びSCRの故障はない。新しいコンデンサーを使用したSCRユニットにおいて、サイラトロンが正常に動作している時の低圧側SCRのアノード電圧を測定した結果を図6に示す。

スナバー回路の抵抗値を小さくすると、さらにピーク逆電圧は抑えられるが、現在は、コンデンサーの試験のために抵抗値を以前使用していたのと同じ120 Ω にしている。今回使用したコンデンサーの許容ピーク電流は80Aであるため、高圧側あるいは低圧側にかかる電圧をコンデンサーあるいはSCRの耐圧の2.5kVと考えても抵抗値は約32 Ω まで下げられることになる。しかし、スナバー回路の抵抗値が同じ120 Ω であっても、新しいコンデンサーの方がピーク逆電圧は低く、ひげ状の逆電圧も少なくなっている。そのため、抵抗値が以前と同じ120 Ω であってもSCRの故障は減少すると考えている。

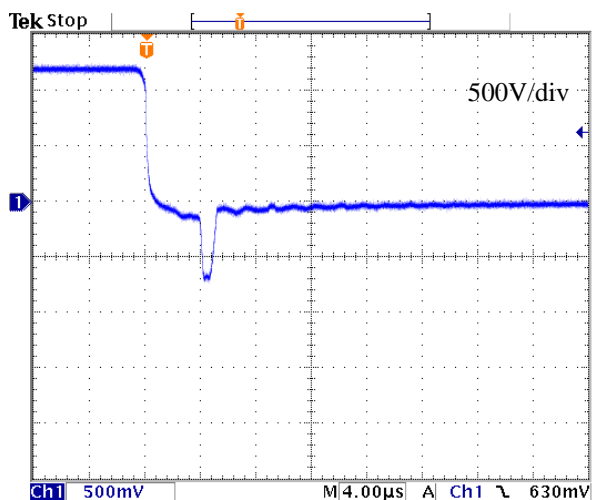


図6：SCRのアノード電圧波形（時間軸 4.0 μ s/div）

6. まとめ

コンデンサーの故障については、今回、スナバー回路のコンデンサーを変えることにより、解決されたと考えている。また、スナバー回路のコンデンサーを変えたことによって、ピーク逆電圧もかなり抑えられるようになり、スナバー回路の抵抗値を下げれば、ピーク逆電圧をさらに抑えることもできる。そのため、SCRの故障についても解決されると考えている。

参考文献

- [1] H. Honma et al., "Troubles about Operation of the KEKB Injection Linac Klystron Modulator", Proceedings of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan, URL: <http://www.spring8.or.jp/JAPANESE/conference/li-me00/PDF/12P-28.pdf>