

[12P-28]

TROUBLES ABOUT OPERATION OF THE KEKB INJECTOR LINAC KLYSTRON MODULATOR

H.Honma^{*)}, M.Akemoto, T.Shidara, S.Anami

High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801 Japan

Abstract

The klystron modulators of the KEKB injector linac were stably operated for about 12,000 hours during 1998/9-2000/5. The major troubles were failures in the rectifier transformers, the charging transformers and the driving trigger pulsers(TRIG-II) for main thyratrons. The reinforcement of insulation for both transformers is being performed. In the trigger pulsers, the width of input gate pulses to SCR's was reduced to half that of old ones, in order to prevent the unwanted power loss at the gate.

KEKB 入射器クライストロンモジュレーターの故障

1. はじめに

KEKB 入射器大電カクライストロン用パルス電源は、1998年10月のコミッショニング開始以来2000年5月まで、約12,000時間運転されている。本稿では、この間の主要部品と組み込み回路ユニットの故障の概況を紹介し、対策を立てるのに比較的時間を要した故障を選んで、詳しく述べる。

2. 故障の概況

図1は98年10月から2000年5月までにパルス電源の主要部品で発生した故障について、発生部品とその発生数を示している。但しトランス類だけは次節での説明の都合上、98年3月からの統計となっている。

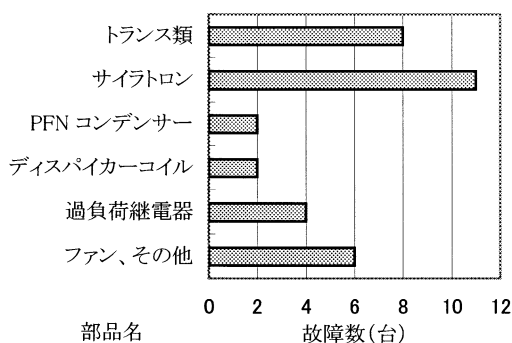


図1 主要部品と故障数

主要部品では、トランス類（高圧整流電源ユニッ

トの3相トランスと、充電チョークトランス）の故障が大きな問題であった。これについては、次節で詳しく述べる。ディスパイカーコイル、過負荷継電器、ファン等の故障についてはパルス電源が製造されてから約20年になるので、経年劣化によるものと考えられる。サイラトロン故障統計については、本研究会の別稿〔1〕で報告がある。

組み込み回路ユニットに関しては図2に示した。回路ユニットの故障では、サイラトロンドライバであるトリガーIIの故障数が非常に多かった。これについては4節で詳しく報告することにする。

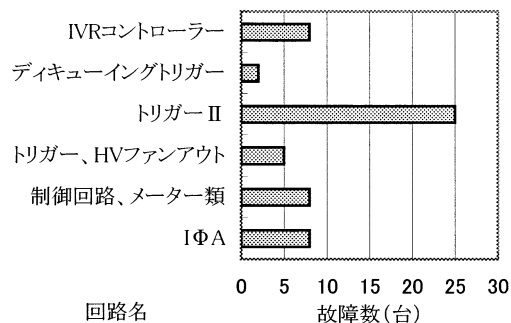


図2 組み込み回路ユニットと故障数

3. トランス類の故障

この期間、高圧整流電源ユニットで2台、充電チョークトランスユニットで4台の故障が起きている。これは交換に時間を要するもので、重故障である。この他、トランス類の故障には誘導電圧調整器の故障2台があった。

^{*)} H.Honma,0298-64-5200-4404, h.honma@post.kek.jp

充電チョークトランスユニット 4 台の故障部分は全て 1 次側（高圧側）であった。図 3 は充電チョークトランスの断面を示すものである。1 次側のコイルは 20 個のブロックに分けられているが、図中に 4 台の故障で一番損傷の激しかった（炭化が著しい）ブロックの位置の分布を示した。この図から、それは充電チョークトランスの入力端（25 kV）から出力端（50 kV）まで広く分布していることがわかる。高圧側に集中しているということもないので、これらのブロックは、高圧側からのサージ電圧のために壊れたということとはできない。

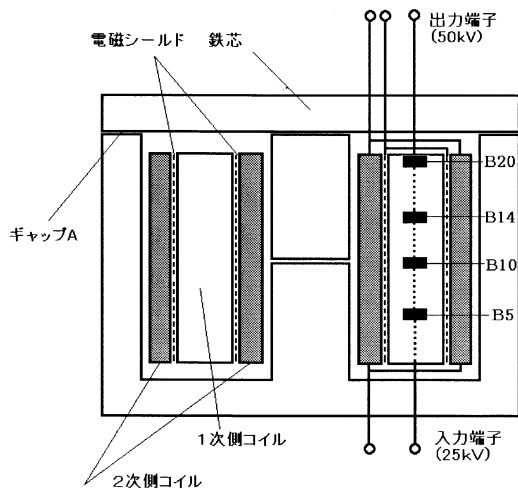


図 3 充電チョークトランス断面と故障ブロックの分布

使用材料に関しては、分解調査時に損傷の一番激しいブロックの内部で 1 本のエナメル線が途中で溶断しているものが発見された。更に、溶けて細くなった先端付近に 10mm 程の長さでエナメル線の軸方向に伸びる傷が存在していた。この傷が原因となり絶縁不良が起きた可能性も考えられたため、エナメル線のメーカーに調査を依頼したが、これは材料の段階でできたものではなく、トランスの故障時に発熱により溶けたものであることが明らかとなった。他に材料で特に問題のあるものは見つからなかった。

高圧整流電源ユニットでは、2 台共三相トランスの 2 次側部分（高圧側）が故障を起こしていた。KEKB 入射器では 59 台使用しているパルス電源の三相トランス結線方式として、 Δ - Δ と Δ -Yを半数ずつ使用しているが、故障品 2 台の方式はいずれも Δ - Δ であった。この方式は同じ直流電圧を取り出す場合、 Δ -Yに比べて大きな相電圧を必要とし、絶縁もそれだけ余分に必要である。又、充電チョークトランスも含め、これらのトランスは、トリスランの時に比べ 2 倍の電流で使われている。KEKB への増強では、冷却を水冷方式に変更するだけで、タンクは同じものをそのまま使っている。限られた

空間を使って絶縁紙を巻くため、特に Δ - Δ 結線のトランスでは耐圧設計の余裕が十分でない可能性が考えられる。

以上のことから故障原因は明らかにはならなかったが、両トランスに共通の対策として、巻き線の層間で用いる絶縁紙の厚みを増やす（高圧整流電源ユニットで 2 倍、充電チョークトランスユニットで 1.5 倍）こととした。充電チョークトランスユニットではこの他に、エナメル線の絶縁線種を現在の 1 種から 0 種に変更し絶縁耐圧を 40%増やし、その上から綿製の 2 重被覆をほどこすこととした。対策は既に始まっており、今までに KECB の運転上重要なパルス電源で用いられている 12 台のトランス（高圧整流電源ユニット 4 台、充電チョークトランスユニット 8 台）で完了し、今年度は 13 台のトランス（高圧整流電源ユニット 5 台、充電チョークトランスユニット 8 台）で実施することになっている。

4. トリガー II の故障と対策

トリガー II の故障箇所は SCR ユニットの SCR 本体であった。このユニットは、特性インピーダンスが 25Ω で 3.5 kV に充電される PFN から、パルス出力（電圧 2.5 kV、幅 2 μ s）を得るためのスイッチの役割を果たしており、直列に接続された 2 個の SCR、同数のゲート回路、スナバ回路と電圧バランス抵抗とから構成されている。

図 4 は KECB のコミショニング開始から、2000 年 5 月までの SCR ユニットの故障数を月別にまとめたものである。この図より 99 年 4 月までの故障数は現在の倍以上あったことがわかる。当初、SCR が点弧した時のアノード電流波形を何台かのユニットで測定したところ、電流上昇率（ di/dt ）がユニットに依っては、200 A/ μ s を越えるものがあった。この値は di/dt の最大定格値である。そこで、ライナックの上流部分のパルス電源で、PFN の充電電圧を下げることにより、 di/dt を小さくする対策をとった。この対策は 98 年 12 月に終了したが、99 年 1 月には依然として 12 月と同数の故障が発生した。

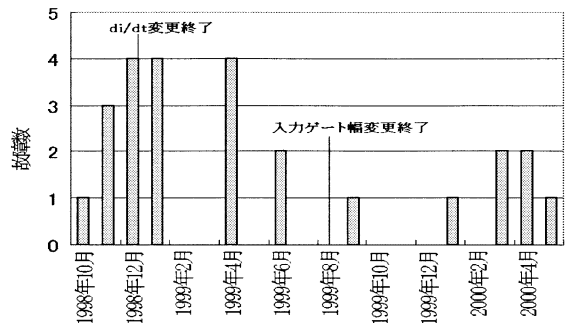


図 4 SCR ユニット月別故障数

SCR 素子のメーカーに故障品の分解調査を依頼したところ、以下のことがわかった。図 5(a)は本 SCR ユニットで使用している日本インター製サイリスタ 78RT250 の断面構造を示すものである。この素子は増幅ゲートを有するサイリスタであり、二つのカソード N_1 層を持つ。同図(b)は (a)での一番上部層を上から見たものである。一番外側の 6 つに分かれた黒いリングはメインサイリスタカソード N_1 層であり、中心のゲートエリア P_1 層を取り囲む黒いリングはサブサイリスタカソード N_1 層である。図 6 (左)は故障品の図 5(b)に相当する部分を示す。同(右)はこれを拡大したものであり、白黒が反転している。この写真で黒くなっている部分 (図 6 (左)では矢印) は熔融痕であり、メインサイリスタカソード N_1 層も少しは熔融しているが、サブサイリスタカソード N_1 層が大きく熔融していることがわかる。

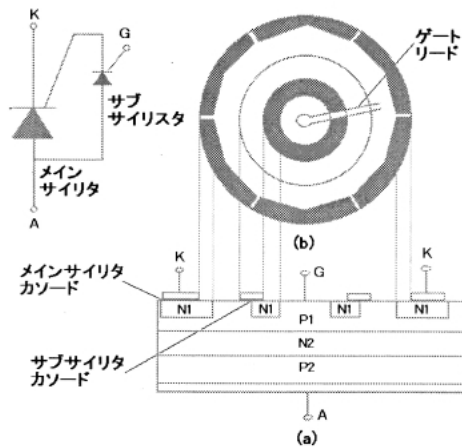


図 5 SCR 断面構造

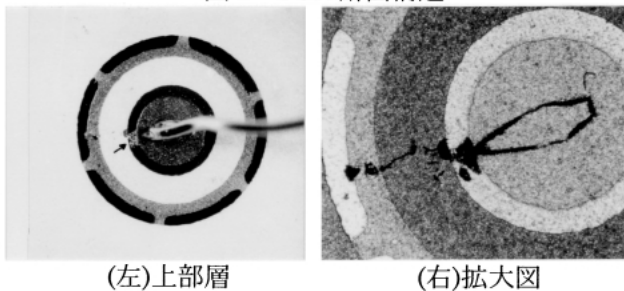


図 6 故障品の上部層と拡大図

図 7 は SCR のサブサイリスタゲート電圧波形、アノード電圧、電流波形を測定したものである。この図から SCR の点弧後の逆電圧ピーク時点でまだゲート電圧が印可されていることがわかる。メーカーの説明に依れば、サブサイリスタカソード N_1 層の大きな熔融痕は、このピーク逆電圧がゲート電圧により増幅され、ゲートエリアが発熱したためできたものであるということであった。これに基づき、99 年 8 月までに、全モジュレータでゲート信号パルス幅を従来の $6 \mu s$ から $3 \mu s$ に狭める対策を

行なった。この結果、ユニットの故障数は月平均 1 回程度に抑えられる様になった。尚、この対策によりトリガー II の出力特性は影響を受けていない。

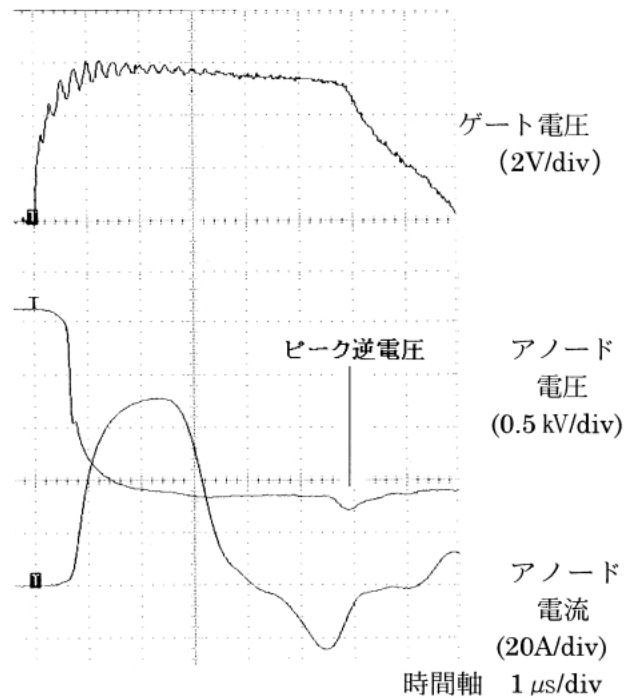


図 7 SCR ユニット各部波形

以上により、SCR ユニット設計上のひとつの問題は克服されたと考えているが、まだ以下のような弱点は残されており、今後も一層の改善に取り組む予定である。

- (1) メインサイラトロン異常放電等の動作不良時にリアクションを受け SCR がこわれることがある。
- (2) スナバ回路のコンデンサーがこわれ、直列接続での反対側の SCR がこわれることがある。
- (3) 電圧バランス抵抗の抵抗値が増加し、直列接続での同じ側の SCR がこわれることがある。

5.まとめ

本稿で述べた故障の対策として、高圧整流電源ユニットの三相トランスと充電チョークトランスでは絶縁の強化が図られることになった。トリガー II の SCR ユニットでは、入力ゲート信号の幅を狭くすることにより、故障数を半分以下にすることができた。

参考文献

- [1] M. Akemoto, et al., "Thyratron Performance in the KEKB 8 GeV linac", Proc. of this meeting.