

PRESENT STATUS OF 80MW KLYSTRON MODULATOR FOR SPring-8 LINAC

T.Hori,A.Mizuno,H.Yoshikawa,T.Asaka,H.Yokomizo,
H.Misawa,H.Teramura,Y.Ohnishi

JASRI-JAERI-RIKEN SPring-8 Project Team Kamigori-cho,Ako-gun,Hyogo-ken,678-12
Toshiba Corporation,1-1-6 Uchisaiwaicyo,Ciyodaku,TOKYO,100

Abstract

The SPring-8 Linac has been achieved the purpose beam energy using 80MW klystron modulators. However, when the operating for the beam injection, it have often caused the over current protection of one's high voltage station, and the thyatron misfire. It took us many times to investigate the source of this trouble.

In this paper, we report mainly the measurement of this trouble and the present status of modulators.

SPring-8 線型加速器の80MWクライストロン用モジュレータの現状

1 はじめに

SPring-8線型加速器に設置されている13台の80MWクライストロン(TOSHIBA E3712型)用モジュレータは昨年8月の初ビーム加速から約1年が経過し、現在運用上は問題なく稼働している。しかし、サイラトロンのミスファイヤーによる高圧部過電流インターロックが多発した経緯があり、この原因究明や対策に多くの時間を費やした。この報告では、過電流対策を中心にモジュレータの現状報告を行う。

2 運転状況

シンクロトロンへの1GeVビーム入射を達成するため、第一加速管にRFを供給しているH0号機を除いた12台のモジュレータは、42~45kVのPFN電圧で運転している。クライストロンのビーム電圧に換算すると330~360kVとなり、クライストロン出力電力で約60MWである。短期間ではあるがM14号機(昨年12月)とH5号機(本年3月)が故障した際には、全号機のPFN電圧を通常値から2~3kV上昇することでビームオペレーションを再開した。再ビーム調整には1時間程度を要するが、PFN電圧を変化したときのRF位相の補正值10.5 degree/kVを実験的に求めており、全系のRF位相調整の簡略化に役立っている。

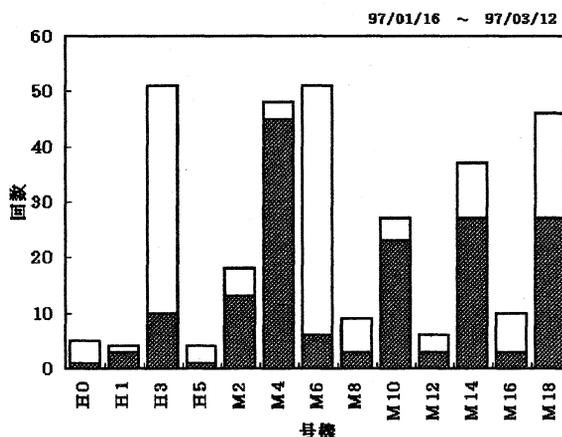


図1: モジュレータの号機別フォルト回数

3 モジュレータのフォルト状況

図1に本年の1~3月にかけて発生したモジュレータの号機別「HV OFF」回数を示す。ただし、この期間内に2度週末にモジュレータを停止しているが、その他の期間は夜間のRFエージングのみを含めて24時間稼働している。1日に数回フォルトが発生しその度にビーム運転が中断するため、継続的にビームを供給するには問題である。フォルト要因は大きく2つの場合の分けられる。一つはモジュレータが外部インターロック要因で強制的に「HV OFF」になるケース

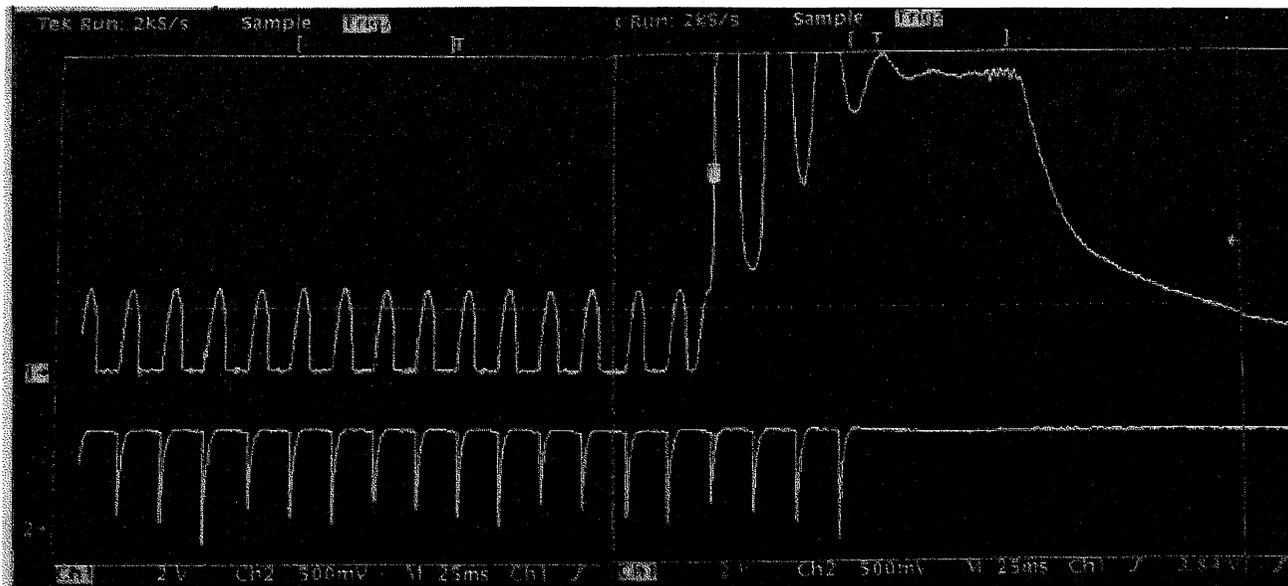


図 2: 過電流インターロック発生時の電流モニタ波形とサイラトロントリガー駆動ユニット内 PFN 電圧波形

で、もう一つはモジュレータ回路内部で異常が発生し「HV OFF」となるケース（図中斜線部）である。外部インターロック要因でフォルト頻度の高いのが、クライストロン出口から約 3 m の距離に設置されている導波管の真空引用 50 l/s イオンポンプが RF の高調波成分で誤動作するものである。同位置に設置されているコールドカソードゲージの指示値は変化していないため、現在はイオンポンプのインターロックレベルを一桁下げて対応している。夏期のマシン停止時には恒久対策として高調波防止用ガスケットを装着する。一方モジュレータ回路内部でのインターロックが多発している要因は「HV DC CURRENT OVER」すなわち高圧部の過電流である。

4 過電流発生状況

過電流要因としてサイラトロンの連続通弧が考えられたため、リザーバ電圧を下げフォルト頻度の相違を監視したが効果はなかった。この調整と平行して過電流発生時の電流モニタデータを収集していたところ図 2 に示す波形が得られた。図中上側が電流波形で下側がサイラトロントリガー駆動ユニットの PFN 電圧波形である。60 p p S の正規トリガータイミングとは異なるタイミングで充電が開始しており、この充電時間内に正規トリガーが入力され充電電流がサイラトロンの流れるため消弧せず、直流短絡にまで移行している

ことが判明した。しかし、このデータだけではトリガー系統のミストリガーの可能性があるため、サイラトロンのコントロールグリッドに直接高圧プローブを取り付けデータの収集を行ったが異状は発見されなかった。次に、フォルト頻度が多い号機（M4, M10, M14, M18）と他の号機との相違を調査するため、サイラトロンの製造番号やリザーバ電圧の再チェック、時間別・日別フォルト頻度のデータ解析等を行ったが、これらにも何等の相関関係はなかった。そこで、製作メーカーも交え原因の検討を行った結果、KEK ATF のモジュレータでも多発しているサイラトロンのミスファイヤーによるものと結論づけた。我々が採用したモジュレータは ATF で開発されたモジュレータを基に営業運転用に製作されたものである。しかし、回路構成が異なることやサイラトロンの機種が異なっているにも関わらず同様の現象が発生し、ミスファイヤー原因を特定することや正常に動作するサイラトロンを選択することは非常に困難である。

5 過電流対策

サイラトンに関して本質的な改善が困難なため、1) メータリレーのインターロック設定値を運用値の 1.1 倍に再設定、2) より高速に高圧を遮断するためのメータリレー内積分定数の変更、並びにシーケンサソフトの割り込み処理、を行い従来より 2.5 ms 程度

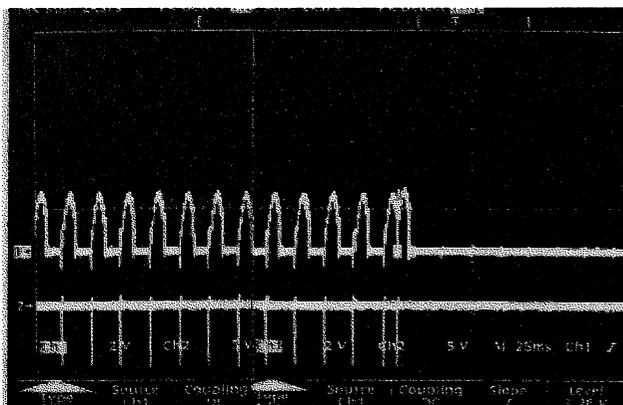


図 3: サイラトロンが自己消弧するケースでの電流モニタ波形とクライストロンビーム電圧波形

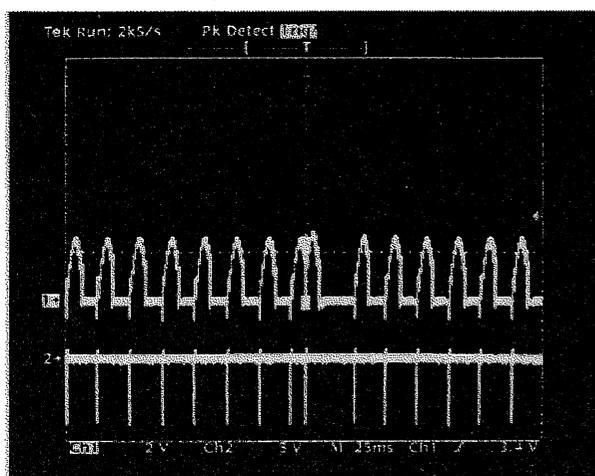


図 4: トリガーインヒビット回路を取り付けた号機で得られた電流モニタ波形とクライストロンビーム電圧波形

速く高圧が遮断されるよう回路の変更を行った。これと平行して過電流波形データの解析を行ったところ、1) 直流短絡まで移行するケースはサイラトロンのミスファイヤーが充電保持時間に発生していること、2) 充電時間内の後半に正規トリガーが入力された場合には、チャージングリアクターが自己飽和せずサイラトロンが自己消弧する(図3)の2ケースあることが判明した。しかし、サイラトロンのミスファイヤーが不規則なタイミングで発生しても、ミスファイヤー直後の一周目目の正規トリガーをインヒビットすることが可能であればサイラトロンは消弧する。この考え方に基づいてクライストロンビーム電圧信号から充電時間の9msに対して余裕を持った12.5ms以内は正

規トリガーを受け付けないトリガーインヒビット回路の試作を行い、フォルト頻度の高いM4、M18号機に取り付け動作試験を行った。結果、再改修はあったものの現在過電流インターロックによる「HV OFF」は一度も発生していない。図4にインヒビット回路を取り付けたM4号機で得られた電流波形を示す。サイラトロンはミスファイヤーしているが直後の正規トリガーはインヒビットされ、モジュレータは継続して動作している。

6 まとめ

現在、SPring-8線型加速器の80MWクライストロン用モジュレータは高圧印可時間で6000時間が経過した。初期故障対策並びに過電流インターロック対策等を行った結果、6月のモジュレータフォルト回数は5月と比較し約1/5にまで減少し、運用上は問題なく稼働している。今後、1) トリガーインヒビット回路試作機は現在6台のモジュレータに付加されているが、夏期マシン停止期間に総合点検と共に正規品を13台全てのモジュレータに取り付ける、2) クライストロンとサイラトロンの予備品は毎年複数本購入予定であるが予備品の健全性及びサイラトロンのミスファイヤー原因調査等を行う試験用モジュレータを新規に製作する、を行う予定である。

7 謝辞

過電流インターロック発生原因やサイラトロンのミスファイヤーに関して有益な助言を頂きましたKEK ATFの竹田誠之、早野仁司、内藤孝先生に感謝いたします。又、過電流波形データを収集する際にはスプリングエイトサービス(株)の方々にご協力いただきました。

8 参考文献

- [1] 水野明彦 他 著, 「SPring-8 線型加速器のモジュレータ」, JAERI-memo 09-122.
- [2] S.Morita et al., "MODURATOR OPERATION IN ATF LINAC", Proc. of The 21th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1996, p177-179.