

(F17p15)

TEST OPERATION OF THE KLYSTRON MODULATOR USING INVERTER POWER SUPPLY

Seiki Morita, Seishi Takeda*, Hitoshi Hayano*

E-CUBE Co., Ltd.

1077-158 Hino, Hino-shi, Tokyo, 191, Japan

*High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibarakiken, 305, Japan

Abstract

The ECS pulse klystron of the ATF linac needs very stable and low-noise power supply. We tried to use an inverter power supply for this klystron. The design, specification and results are described in this paper.

インバーター電源を用いたクライストロン変調器の試運転

1. はじめに

リニアコライダの要素研究開発を目的に、高エネルギー加速器研究機構において試験加速器(ATF)の運転が現在行われている[1]。シングルバンチでのビーム加速運転には9台4機種のカリストロン電源を現在使用している[2][3]。マルチバンチビームの加速運転では、ビーム負荷によるエネルギー減少を補償する必要がある。これを周波数の異なる加速管2台にて補償する。高周波供給源のカリストロン用変調器(ニチコン製)が新たに開発された。この電源はインバーター直流充電を採用し、小型で高安定、かつ低ノイズを目標に設計された。また、リニアコライダの前段加速器での使用を考慮して開発された。ここでは電源仕様、インバーター1台にてパルス繰り返し25Hzで行ったSLAC製5045カリストロン実負荷での運転試験、及びノイズ計測比較、安定度の評価について報告する。

2. 変調器の仕様

今回開発されたパルス変調器製作仕様を表1に示した。カリストロンはSLAC製5045を使用するECSユニットと東芝製E3712を使用するATFレギュラーユニットの両方に使用できるように回路を構成した。また充電部は将来にインバータ6台の合成で150Hz運転が出来るようにシャースを製作し、ピーク出力電力193MW平均出力電力216kW、パルス繰り返し150Hzでの運転を定格として設計された。JLC前段加速器での予定仕様を満たす物とし、トンネル内に設置する事を考慮して小型化し、抵抗やインバータの冷却を水冷方式にした。PFNに使用したSH型コンデンサーは150Hz運転の仕様を満たすように新たにニチコンにて開発された[4]。PFN放電部の内部写真を図1に示した。寸法はH2.3m x D3m x W1.8mである。電磁輻射パルスノイズを遮蔽するように放電回路を2重シールドとし、入出力は貫通型フィルタを取付けサイクロン駆動回路は光ケーブルにてアイソレートした。電源とカリストロンを接続する高圧パルスケーブルの輻射ノイズを遮蔽するフレキシブルアルミ管を使用した。回路部品配置についても保守性を考慮して取付や接続を決定した。

3. 回路構成

カリストロン変調器回路構成を図2に示す。水冷式インバーター直流電源よりPFNコンデンサー総容量が最大1.26μFへ36msec間にHVフィルターを介し50kVまで充電を行う。負荷の保護目的に変調器出力パルスの始動時、ランピング制御にて充電電圧を徐々に上昇させる回路を採用した。放電回路は2重シールドを採用し、電磁ノイズの遮蔽を考慮した。

	ATF-ECS用	ATF-ACC用
サイクロンノード電圧	44 kV	50 kV
サイクロンノード電流	5.7 kA	7.8 kA
パルス幅(半値)	6.5 μsec	7.5 μsec
パルス平坦部幅	2.0 μsec	4.5 μsec
パルス平坦度(p-p)	1.0%pp以下	1.0%pp以下
パルス振幅ジッター	0.2%pp以下	0.2%pp以下
パルス時間ジッター	5.0 ns以下	5.0 ns以下
パルス繰り返し	25 Hz	25 Hz
負荷インピーダンス	3.86 Ω	3.2 Ω
PFNインピーダンス	3.7 Ω	3.0 Ω
PFN回路構成	9段2並列	14段2並列
ピーク出力	125 MW	193 MW
平均出力	20 kW	36 kW
サイクロン	CX1937A	CX1937A
カリストロン	SLAC5045	東芝E3712
パルストランス比	1:15	1:16
カリストロン電圧	330 kV	397 kV
カリストロン電流	379 A	485 A

※JLC前段加速器仕様では電源平均出力電力216kW(150Hz)

表1、カリストロン変調器の仕様

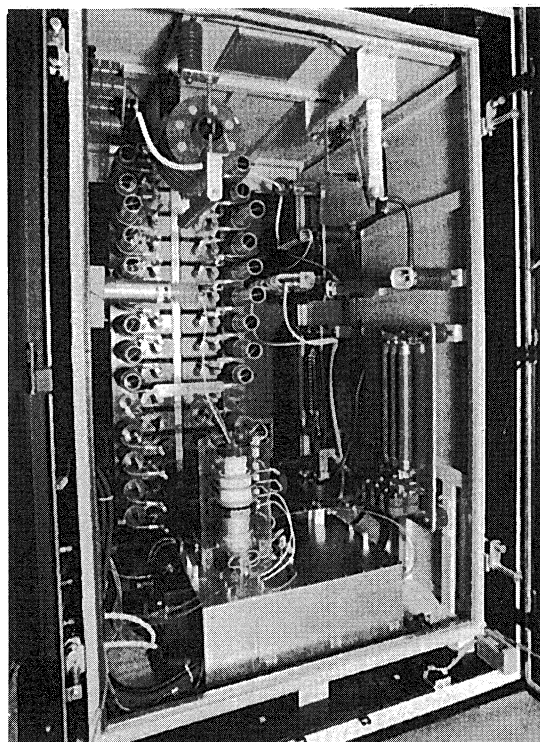


図1、PFN放電部の内部

放電回路より外部接続回路には貫通フィルターを全てに使用し、パルス駆動信号及びインターロックは光ファイバーにてアイソレートをしている。冷却FANの通風口はスロット構造の網にて電磁ノイズの漏洩を防ぐ構造にし、また出力同軸の外導体から外部への電磁ノイズを遮蔽するように、アルミフレキシブル管を高圧オイルタンクの間に取付した。PFN他高圧回路の保護にはEOL回路を採用し、抵抗は水冷タイプで小型化を図った。出力部には逆電圧吸収ダイオードを取付け、パルストランスからの不要なバックスイング電圧を取り除くようにした。またサイラトロンターンオンでの不要高周波ノイズを減衰させるようにスナーバー回路を取り付けした。

サイラトロンヒータ及びリザーバヒータは直流印可を採用し、交流入力電源変動が原因である時間ジッターを改善するようにした。駆動回路はEEV製のトリガ回路を用いた。この入力信号は光ファイバーにてアイソレートされ、ダブルパルス駆動でG1グリッドへは負バイアスを印可する。ATFではキープアライブ方式にてサイラトロンを駆動している旧タイプ変調器が6台あるが、駆動方法による寿命の比較評価はまだ時間が必要であるので調査を継続している。

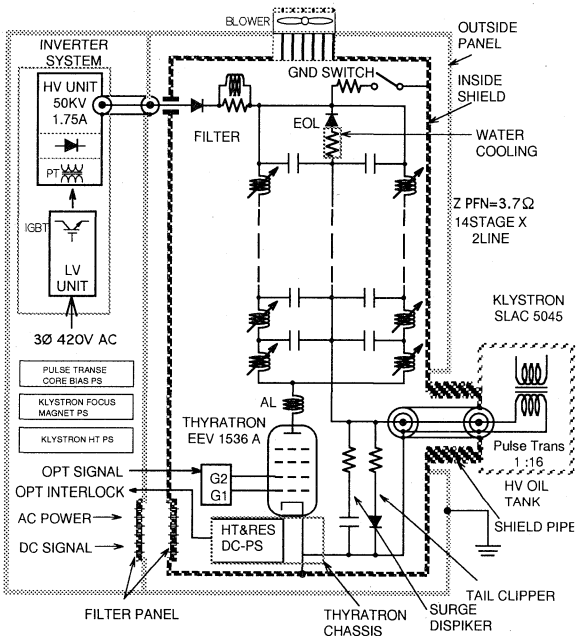


図2、クライストロン変調器システム構成回路図

4. 試運転と安定度評価

SLAC5045型クライストロン実負荷での試験運転を行った。PFN回路のインダクタを交換して負荷整合を行った。ECS加速管運転では平坦部時間幅 $1\mu\text{sec}$ が要求であるが、出力パルス幅は $6.5\mu\text{sec}$ にてPFN段数を9段並列として試験した。又今回はインバータユニットを1台のみで1.75Aの充電での試運転とした。図3にはPFN電圧波形を示した。パルス繰り返しは25Hzである。図4にはC分圧器にてモニターしたクライストロン電圧とCT電流波形と時間軸を拡大した波形を示した。実負荷での運転であるので主にパルストランス回路のリードインダクタンスや浮遊容量での影響が有るが、パルス立ち上がり(0-90%)は $1\mu\text{sec}$ を達成した。

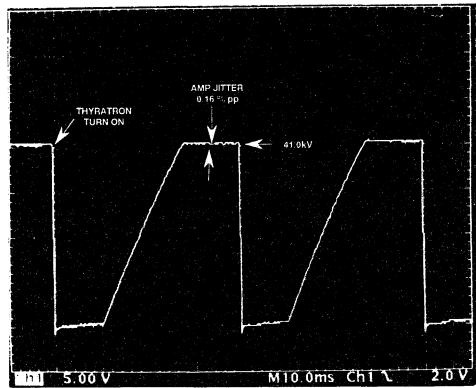


図3、PFN 41kV充電時の電圧モニター波形

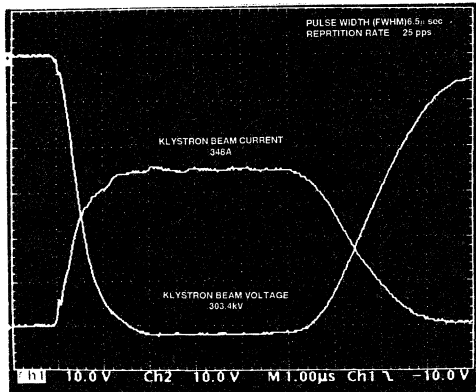
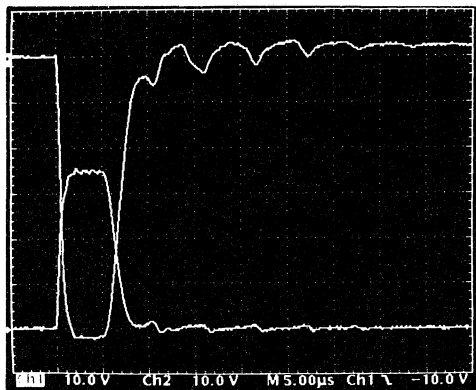


図4、クライストロン電圧とCT電流波形

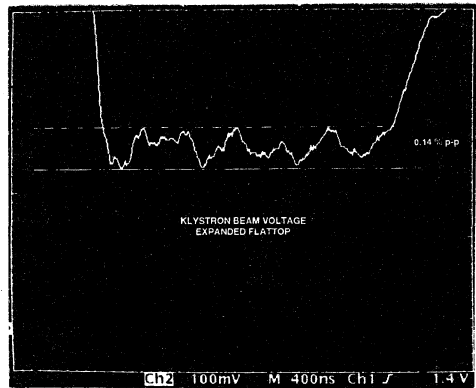


図5、クライストロン電圧波形平坦部分の拡大

パルス平坦部の波形調整を行った。方法はPFNの空芯コイル内側のアルミ筒の抜き差しにてインダクタンスを可変する。クライストロン電圧波形をモニターし、平坦部がフラットになるように調整した。調整後の縦軸拡大した写真を図5に示した。2.5 μ secにおいて0.14 %ppの結果が得られた。又、3.0 μ secでは0.5 %ppの範囲での調整が可能な事を確認した。手で従来用いられる方法であるが30分程度の短時間にて調整は可能であることが確認できた。

図6にクライストロン電圧波形の立ち下がり部分を計測した時間ジッターを示した。5 nsec ppを目標としたが結果は約6 nsecであった。ATFの供給基幹電源は12 GeV-PSの装置と共有の為に数秒周期での電源の変動が5%を越えてしまい日時により10 nsecを越えたジッターが発生する。現在調査を継続している。本電源のサイラトロンヒータトリザーバヒータは直流印可にしたので他の交流印可の装置と比較して約半分に安定化できた。基幹電源が変動している場合はサイラトロンの発振動作音が不整音となり耳に聞こえる程度である。又サイラトロン自身の内部発光がまばたく事を肉眼でも確認したので時間ジッターへの影響は明らかである。これらより旧タイプの電源においてもヒータトリザーバ電源の安定化を今後予定し、安定化電源の取付効果を試験予定である。

クライストロン電圧の振幅ジッターを計測した結果は0.33 %ppであった。これは図3に示した充電電圧変動の0.16 %ppの影響がある。今後変動の原因を追求す予定である。

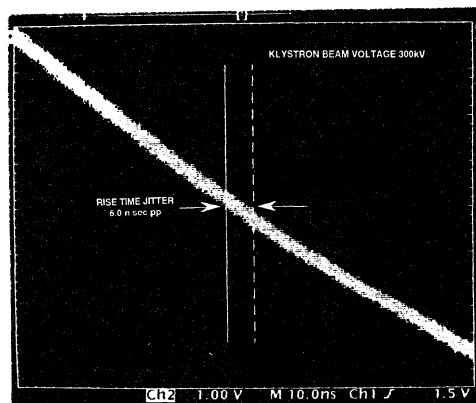


図6、クライストロン電圧波形の立ち下がり部分拡大

5. ノイズ計測比較

図7に示した構成にてループアンテナで電磁放射ノイズ計測を行った。図8には計測した電磁ノイズ波形を示す。波高値は約3Vを観測したが内側シールドを装着し、300 mV(-20 dB)程度のレベルまで遮蔽出来る効果を確認した。表2には今回製作した変調器の内部シールドの有無、及び各電源を計測した信号強度の比較を示した。

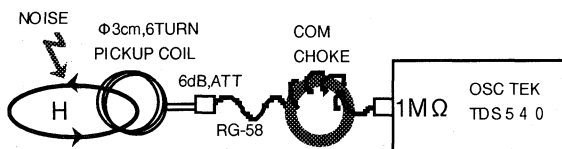


図7、ノイズ計測の回路構成

内部シールドの効果は確認されたが、2重シールドであるのに外部開閉扉の接触面は漏洩ノイズが低く通風穴のパネル板は溶接固定取付であるのに接触が弱いので輻射ノイズが大きいことが計測で確認された。今後に改良をする。また、原因の処置についても調査を進め対策を予定している。現在の比較内容では効果が確認出来るものの、予想ほどはノイズレベルの低下が出来なかった。これは今後継続して調査検討する予定である。

号機	箇所	KLY電圧	ノイズレベル
#0MOD	開閉扉最大箇所	336 kV	6.5 Vpp
#5MOD	開閉扉最大箇所	320 kV	6.0 Vpp
#6MOD	開閉扉最大箇所	254 kV	9.2 Vpp
#7MOD	開閉扉最大箇所	254 kV	4.5 Vpp
#10MOD	内シールド無し 扉最大箇所	300 kV	3.0 Vpp
#10MOD	内シールド有り 扉最大箇所	300 kV	0.42 Vpp

表2、運転中のループコイルによる電磁ノイズ強度の比較

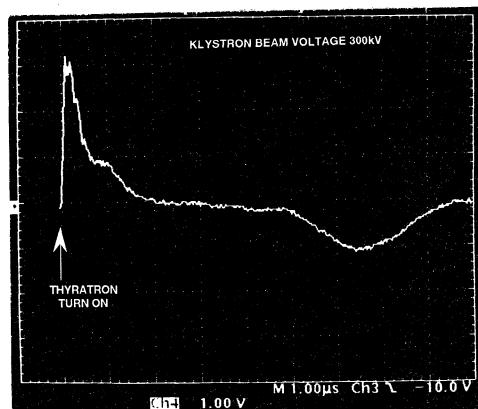


図8、外側シールド扉の通風口フレーム板周囲

6. まとめ

今回新たに製作されたクライストロン用変調器はECS加速管用に10月よりビーム運転に使用できることが確認できた。更に安定な電源とするように、改良検討を継続する。今後インバータユニットを増設して最大出力での試験が予定されている。

謝辞

このクライストロン変調器を製作にあたり、ニチコン(株)草津工場の徳地氏、古矢氏、PFNコンデンサ開発には坂口氏にお世話になりました。又、KEK/JLCAIFグループの皆様には貴重な助言を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] S.Takeda et al. "Status of ATF LINAC", Proc 第22回リニアック研究会
- [2] M.Akemoto et al. "Pulse Modulator for 85MW klystron in ATF Linac", Proc 第19回リニアック研究会
- [3] S.Morita et al. "MODULATOR OPERATION IN ATF LINAC", Proc 第21回リニアック研究会
- [4] J.H.Sakaguchi et al. "DEVELOPMENT OF SH TYPE PFN CAPACITOR FOR A PULSE MODULATOR", Proc 第20回リニアック研究会