

[P 30–14]

MODULATOR OPERATION IN ATF LINAC

Seiki Morita, Seishi Takeda*, Mitsuo Akemoto*, Hitoshi Hayano*, Takashi Naito*

E-CUBE Co., Ltd.

5988-8 Hino, Hino-shi, Tokyo, 191, Japan

*National Laboratory for High Energy Physics

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

Abstract

The modulators of the Accelerator Test Facility (ATF) are being used for a various kind of researches at Linear Collider. The ATF 1.54 GeV linac has been operated since November 1995. The electrical noise from modulators is a major problem in ATF instrumentation. The electrical noise measurement for ATF modulator and LIL modulator has been done. The detailed characteristics of the modulator system and its operational experience are described.

ATF リニアックのモジュレータ運転

1. はじめに

リニアコライダの要素研究開発を目的に、高エネルギー物理学研究所に於いて試験加速器(ATF)が現在建設されている [1]。今年12月のダンピングリング運転開始を目標にリング部分を建設中である。既に入射用1.54 GeV リニアック及びビームトランスポート部分は95年11月より運転を開始し、1.3 GeV で運転され、各種研究開発実験に利用されている。リニアックでは順次開発された11台5機種のパルス変調電源を使用し、高電界加速管19本に高周波電力を供給している。リニアコライダのような大型加速器では電源の使用台数が数千台にも及び、小型、高効率、高信頼性、が重要であり、これらを目標にATFで研究開発が進められている [2]。ここでは、電源システム、変調器電源運転開始より96年8月に至る運転状況、クライストロン及びサイクロトロン使用状況、電磁ノイズについて報告する。

2. クライストロン用電源システム

電源構成を図1に示した。ATFでは11台のクライストロンパルス変調器電源を使用している。#1~7号機は集中型直流高圧電源を使用しているが、その他は高圧整流回路内蔵型である。#0と#8号機はKEKのTRISTAN 2.5 GeV入射器で使用されているものと同機種である。エネルギー補償用加速管に使用している#9と#10号機は、KEK-B用に開発された電源を仮使用している。#5~7の3台は94年に開発したコマンドチャージ型で、ホールドオフダイオードをSCRに変えた物で、De-Q電力回収型回路を使用している [2]。又、PFNには新開発された小型化自己復帰コンデンサーを使用し、外形サイズがコンパクトになった物である。電源の設計時にインピーダンスが現在の負荷と異なる旧型の電源は、PFNのコンデンサーを変更してPFN段数を調整して使用している。

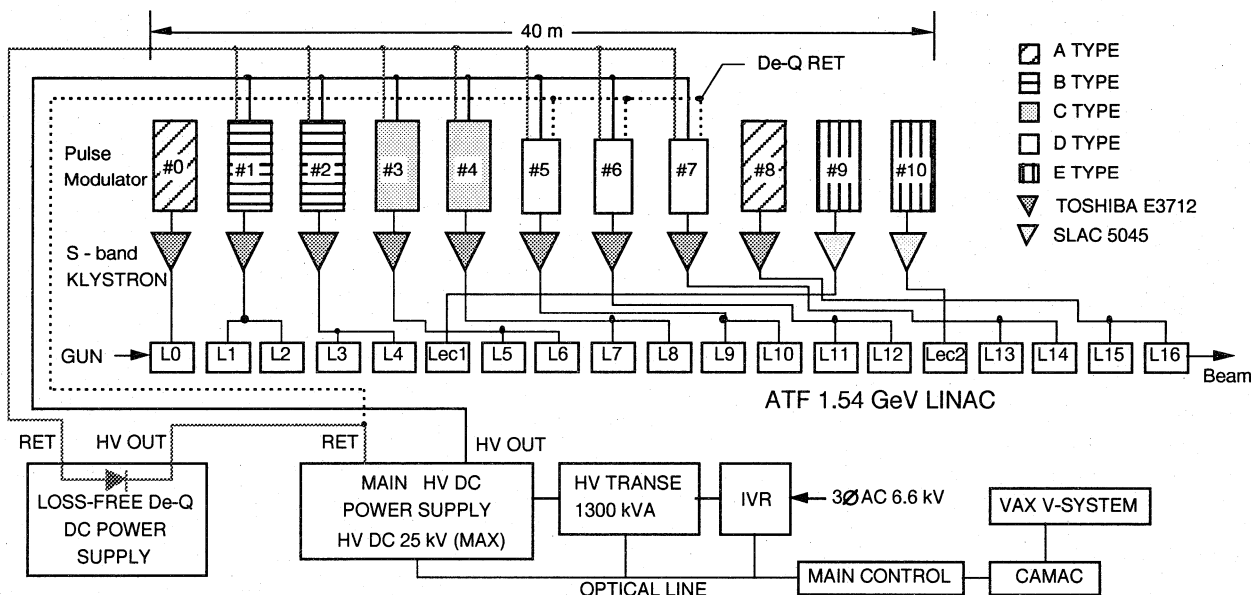


図1 ATF 電源システム

3. 電源運転の状況

表1には各電源の運転状況を示した。運転時間は#0が長く高圧運転時間18678時間で、ATFでの高電界加速試験、レゾナントリングでの高周波窓開発等の大電力コンポーネント試験に87年より使用された為である。タイプA~Dの順に開発され、Eの2台はKEK-B用を一時仮使用している。運転開始はAが87年、Bが89年、Cが93年、Dが95年より運転している。現在の運転はノーマルシフトで1週間の2日を運転準備、5日間を運転日としている。表に示した運転時でのクライストロンピーク出力は、平均して約44 MW, 4.5 μ sec, 25 ppsである。更に高い電力で運転する為にはノイズによる誤動作を処置する必要がある。原因の一つは集中電源型であるので電源間の干渉ノイズで制御回路が誤動作する。レイアウトの制約で直流電源棟まで高電圧ケーブル及びGNDラインが最長約100mあるので誘導ノイズを受けやすい。又、自己整流型電源は交流入力やGNDが別の電力盤より供給を受けているためGNDループが出来やすい等の問題がある。現在は電力上昇に伴いノイズの処理を随時行っている。GNDアースラインも今後配線整備する予定である。

号機	タイプ	ピーク出力(MW)	加速管	LV運転(H)	HV運転(H)
#0	A	190	L0	20922	18678
#1	B	147	L1,2	9485	7245
#2	B	147	L3,4	10067	8257
#3	C	147	L5,6	5400	5217
#4	C	147	L7,8	4910	4695
#5	D	147	L9,10	3523	2670
#6	D	147	L11,12	3977	2870
#7	D	147	L13,14	4191	2946
#8	A	147	L15,16	12966	9862
#9	E	147	Lecs1	251	200
#10	E	147	Lecs2	258	203

表1 各電源の構成運転時間

表2には現在までに使用したクライストロンの使用時間を示した。#1及び#5は最長時間で10000時間を越えている。この使用時間は著者が確認出来て以後のデータであるので、実際の使用時間は更に長い。寿命を伴う部品の評価は大型加速器に於いて安定性や運転コストの見積もり等の面でも非常に重要なデータである。

表3には発生した主な故障の箇所及び内容を示した。サイラトロン駆動パルス発生器のSCR故障が4回あったのはサイラトロン導通時の反射スパイクを防止するフィルターが不十分であった為である。サイラトロンヒータ電源が異なるシャーシからの供給であるので、スパイクノイズでモニターを含めて放電での故障がこの運転以前より起きていた。他、C-divの放電は絶縁オイルの劣化及びケース組み立てネジの突き出しが放電した原因で有った。

4. サイラトロンの使用状況

サイラトロンは重水素封入で気中仕様の5タイプを使用し、長寿命、高安定、安価である物を比較使用している。表4には現在使用中の運転時間を示した。表5には寿命交換をした他のサイラトロン使用時間データを示した。使用時間差が非常に有り、同一タイプでもロットなどの違いで倍の寿命差が有った。

電源号機	タイプ	S/N	HT印可時間	HV印可時間
#0	E3712	006	17994	15422
#1	E3712	003	>10000	>10000
#2	E3712	010	5982	5068
#3	E3712	011R	1372	914
#4	E3712	026	3883	2731
#5	E3712	001	>10000	>10000
#6	E3712	017	3977	2870
#7	E3712	018	4191	2946
#8	E3712	002	4869	4014
#9	5045	408a	4200	3700
#10	5045	483A	258	203

表2 クライストロンの運転時間

故障箇所	件数	内容
KLYSIRON	1	電子ビームが偏り、放射線量増加
KLY HT	2	コロナリングとトランスのショート
KLY Rf窓	1	RF窓の真空リーク
HT電源	1	スパイクノイズでのコネクタ焼損
HV同軸	3	パルストランス入力高圧ケーブル耐圧不良
充電回路	3	高圧放電抵抗の耐圧不良
C-Divider	1	オイルタンク内 Div耐圧劣化で放電
KLY IP電源	1	KLY IP PSが破損、高圧出力しない
THY HT	2	THY HTLINEの放電耐圧不良
THY HT	3	HT MON回路がパルスノイズで焼損
THY TRIG	4	駆動回路SCRがAK間ショート
FAN	2	冷却FAN回転異常

表3 運転開始より1年間での主な故障内容

パルス駆動方法はキープアライブ及びダブルパルス方式両方を使用している。旧型シャーシはキープアライブ方式であるが、これからの使用状況を確認の後、改良交換が予定されている。サイラトロンの種類により同一回路で使用しても導通停止が不安定でリングングによる逆電圧が発生する場合等はリザーバヒータを高く設定すると安定してタイムジッターも減少し安定出来る。しかし寿命を短くする原因になる場合がある。現在使用している#0号機のサイラトロンは電源出力にクリップダイオードを追加取り付けして逆電圧を吸収させている。これにより低い電圧より高い電圧での導通停止が安定した。更にリザーバヒータを最適値よりも上げ過ぎないように調整する事で寿命を数倍に延ばす事が確認出来た。又、コマンドチャージ以外のサイラトロンでは電源の負荷に対するマッチングがネガティブとなるように設計されている。その為、導通後、次の充電までの回復が早まり停止時間が早くなる。これを防ぐには更にリザーバを上げる場合があった。早く導通が停止するとパルストランス間にリングングが起り不要な逆電圧でのアークバックなどで寿命を短くする原因になると考えられる。

号機	タイプ	HT印可(H)	HV印可(H)	使用開始
#0	F-157	20321	13514	93年9月
#1	CX1536A	62	59	96年7月
#2	CX1536A	2044	1330	96年1月
#3	F-331	4076	2794	94年5月
#4	F-157	4280	3180	95年3月
#5	CX1937A	2236	1513	95年12月
#6	CX1536A	1032	581	96年3月
#7	CX1536A	4951	3652	95年4月
#8	CX2199A	4870	4014	95年5月
#9	F-241	250	200	96年6月
#10	F-241	258	203	96年6月

表4 96年8月17日現在使用中のサイラトロン使用時間

タイプ	HT印可(H)	HV印可(H)	備考
F-157	3940	3738	耐電圧低下寿命
F-157	5650	4700	耐電圧低下寿命
F-187	2166	1451	耐電圧低下寿命
L4888	4736	3685	プリファイアー続発

表5 使用を終了したサイラトロン使用時間

クリッパーダイオードの直列抵抗をサイラトロンの種類や電源のタイプにより調整する場合もある。現在は全部の電源に取り付けしている。

サイラトロンに影響する回路浮遊容量での急激な電流増加にて寿命を短くする場合も考えられるので、1~1.5 μ Hのアノードインダクターを追加取り付けしている。巾2cmで厚み2mmの銅板を手曲げて作った物である。PFNの1段よりも低いインダクタンスとして動作特性への影響は考慮した。これら、追加改良で寿命を延ばす事を確認できた。又、サイラトロンのプリファイアーでの異常動作と考えられた不具合があったが調査の結果ノイズによりサイラトロントリガーが入力されていることが判明し、現在ノイズの処理を行っている。

4. 電磁ノイズについて

サイラトロン導通時の数千アンペアのパルス電流によるノイズが非常に問題となっている。低電圧制御系や計算機に及ぼす誤作動他、ビーム制御やビーム診断機器の計測精度を悪化させる原因となっている。コモンモードノイズであれば通常用いるラインフィルターやチョークコイルでの対策で効果はある。しかしシールド隙間から伝搬する輻射ノイズでは効果を得られない。ノイズカットトランスを電源で試験した結果はノーマルやコモンモード共に効果を確認したが輻射ノイズ成分が多く予想した効果は得られなかった。原因の一つには電源シールドのパネル接触が弱い事がある。輻射ノイズの計測には図2に示したピックアップコイル(3cm Φ ,3巻)で磁場をサーベイして観測比較している。ケーブルにも直接伝搬するのでチョークコイルを使用している。計測した波形例を図3に示した。計測場所は#5電源の出力ケーブルパネルの継ぎ目である。パネルはスチール製で数十センチ間隔でフレームにビス固定されて

いる。ピークは20Vで約4.5MHz成分であった。今後、シールドの改良を予定している。

CERNのLIL(LEP Injector Linac)でノイズを計測比較したがATFよりも非常に低い事が確認された。主な要因の一つとしては非常に厳重かつ接触の良いシールドケースにPFNが納められている。又、放電回路の入出力電源や信号ライン全てに貫通コンデンサー型フィルターが接触良く取り付けされている事があげられる。計測した結果クライストロンオイルタンク部分での差が一番大きくATFの1/33、PFNのシャーシパネル部分では1/25で非常にシールドの差が影響している事が確認できた。電源モニターでのコモンモードノイズをチョークコイルの有無で比較したが、LILはATFの1/3であった。ATFではチョークコイルを介して波形観測を通常行っているが、LILではパネルモニターからの波形観測には使用しなくてもよく非常にノイズが低いことを確認した。今後、LILを参考として更にノイズの防止対策を進める予定である。

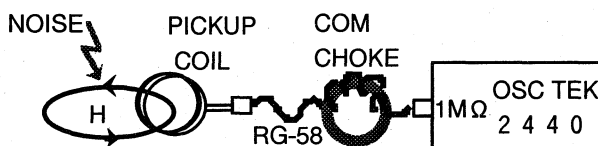


図2 電磁ノイズ計測回路

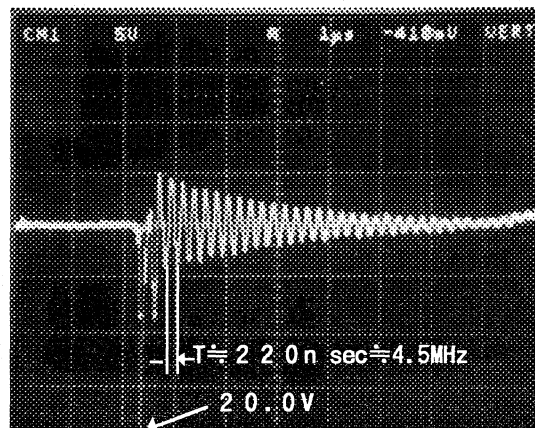


図3 出力部の高圧3重同軸ケーブルパネル継ぎ目

謝辞

高エネルギー物理学研究所でのATF運転管理業務をさせて頂き、本稿をまとめる機会をいただきましたJLC R&Dグループの諸先生に御礼申し上げます。又、CERNのLILにおいて有益な議論及び助言を頂き、ノイズ計測に協力して下さいましたPeter D.Pearce氏へここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1]H.Matsumoto et al., "ATF 1.54GeV Linac for Linear Collider", Proc 第20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.Takeda et al., "1.54GeV ATF Damping Ring Injector Linear Accelerator", Proc 第18回リニアック研究会
- [4]岡村勉夫: 「電磁ノイズの話」 日刊工業新聞社, 1994