

[12P-21]

Feedback System of the RF Phase in KEK-ATF Linac

T. Okugi, H. Hayano, M. Kuriki and T. Naito
 Accelerator Laboratory,
 High Energy Accelerator Research Organization
 Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

Abstract

KEK-ATF linac is built in the Assembly Hall for TRISTAN project in 1991. The thermal condition of the hall is not good enough for a stable linac operation, because the temperature of the klystron gallery is drifted by 1°C within one day. RF phase is also drifted by 3-5° of the S-band frequency in day and night. In order to control the RF phase, we installed RF phase detectors, which have S/H circuit in order to use for pulsed RF. By using the phase detector, an RF phase feedback system was tested. It was found that a stable klystron operation could be performed within the phase drift of $\pm 0.5^\circ$ in a day.

KEK-ATF リニアックにおける RF 位相フィードバック

I. INTRODUCTION

KEK-ATF はリニアコライターのための試験加速器として、1991 年からトリスタンのアッセンブリーホールに建設が開始された。リニアックは 10 台のクライストロン (入射器用 1 台、エネルギー補償用 1 台、主リニアック用 8 台) を用いて、電子ビームを最大 1.5 GeV まで加速できるように設計されている。また、現在は約 1.3 GeV のビームエネルギーでの運転を行っている。

KEK-ATF の建設がおこなわれたアッセンブリーホールは加速器を建設するのに適した立地条件であるとは言いがたい。例えば、アッセンブリーホールには、ホール全体に対する冷却設備が備わっていないため、アッセンブリーホール内の気温は、外気温の変化に非常に敏感であり、夏冬では 10-20°C の温度変動を生じる。また、AC 電力は KEK-PS との共通ラインであるため、KEK-PS 運転中は、その運転周期に同期した AC 電圧の変動が発生する。これらの劣悪な環境下での運転を要求されているのに対して、KEK-ATF リニアックはダンピングリングの入射器として、エネルギー拡がりを 1% まで抑えたビームを、1% 以内のビーム電流変動、0.1% 以内のエネルギー変動という条件下で運転しなければならないという厳しい課題を課せられている。これらの条件を満足するためには、位相変動は全クライストロンに同期した変動に対しては $\pm 2.6^\circ$ 以内、同期していない変動に対しては $\pm 7.7^\circ$ 以内に抑える必要がある。

これまで、KEK-ATF ではビームジッター等の軽減を目的とした短期間の安定化に対して、電子銃のタイミングジッターの軽減、クライストロン変調器の feed-forward を含んだ De-Q 回路の開発 [1] 等により対応してきた。また、長期ドリフトに関しては、各クライストロンへ伝送される RF reference ライン (光ケーブル) の位相安定化 [2]、クライストロン冷却水の温度安定化、クライストロン室の空調設備の導入 (クライストロン自身の空調は導入したが、変調器の空調は導入できていない) 等の対処をおこなった。本発表

ではクライストロン出力の長期ドリフトに関する安定化の一環として KEK-ATF リニアックで現在検討を進めている位相 feedback についての報告をおこなう。

II. PERFORMANCE OF PULSE TYPE PHASE DETECTOR

クライストロンの位相検出には、日本高周波社製の位相検出器を使用した。本位相検出器のブロック図を FIG. 1 に、主なパラメーターを TABLE I に示す。本位相検出器は、パルス型の高周波に対応するように KEKB 入射器で開発された位相検出器を基にして、S/H 回路を追加したものである。

本位相検出器の 1 つ目の特長は、中間周波数を 130 MHz に選ぶことにより、最短入力パルス幅 300 ns 程度のパルス RF に対して位相検出を可能にしている。また、2 つ目の特長として、30 dB 以上という比較的広域の動作範囲が保証されているがあげられる。

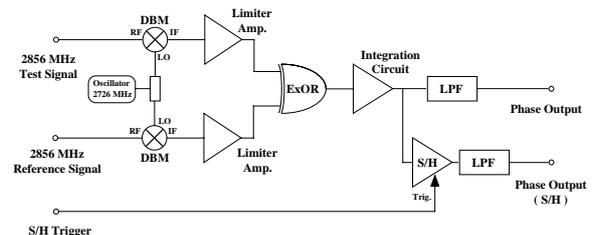


FIG. 1. 位相検出器のブロック図

TABLE I. 位相検出器の主なパラメーター

| 項目 | 装置性能 |
|---------|--|
| 周波数 | 2856 \pm 5 MHz |
| 中間周波数 | 130 MHz |
| 入力パルス幅 | 300 ns ~ C.W. |
| 基準信号レベル | -30~+5 dBm |
| 試験信号レベル | -10~+5 dBm |
| 位相検出範囲 | -360~+360° 内の連続する 540° |
| 位相検出精度 | $\pm 1^\circ$ (基準信号 0dBm; 試験信号 -15~0dBm) |

III. RF PHASE DRIFT OF KEK-ATF LINAC

KEK-ATF のクライストロンの制御システムは、ドライバークライストロンを使用しておらず、基準信号生成器により生成された RF の基準信号を光ケーブルで各々のクライストロンへ分配し、その基準信号を各クライストロン付近で RF アンプにより増幅し、クライストロンへ入力する形態を採っている。I 節で述べたように、基準信号を各クライストロンへ分配している光ケーブルは、既に充分、温度変化に対する位相安定化がおこなわれている。そのため、位相測定はこの基準信号の位相とクライストロンの出力位相を比較することによりおこなわれた。また、測定は KEK-ATF の通常運転時におこなわれ、位相測定には上記に示した位相検出器を用いた。測定されたクライストロンの出力位相の変化を FIG. 4(a) に示す。FIG. 4(a) からクライストロンの出力位相は昼夜で 3-5 deg. の位相変化が生じていることが分かる。また、日周変動よりも更に長い周期の長期位相変動も同時に観測された。一方、クライストロン周辺の温度変化の様子を FIG. 4(b) に示す。クライストロンの冷却水（コレクター部およびボディー部）は、要求を満足する精度で制御されているが、クライストロン周辺の温度は、昼夜で 1-2°C 程度の温度変化が生じていることが分かる。クライストロン周辺温度とクライストロン位相との間には、非常に強い相関があることから、クライストロンの出力位相の日周変動は周辺温度の変化により生じていると推測される。しかしながら、日周変動よりも更に長い周期の位相変動の原因は、現段階では完全に解明されていないが、これらの原因として変調器付近の温度変動による PFN 充電電圧の変化や RF アンプ内での位相変化等が考えられる。

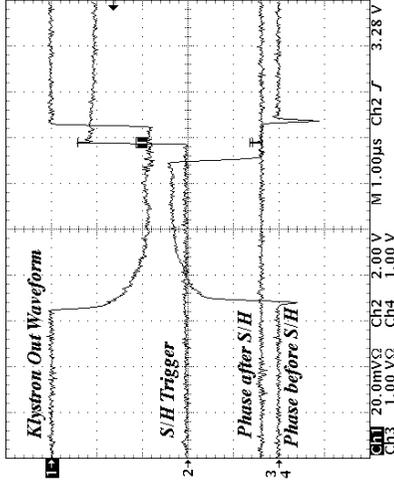


FIG. 2. 位相検出の様子

クライストロンの位相検出の様子を FIG. 2 に示す。チャンネル1にはクライストロンから出力された RF の波形、チャンネル2には、S/Hトリガー、チャンネル3、チャンネル4には、それぞれ S/H 前と後の位相信号を表している。KEK-ATF では SLED を使用しているため、チャンネル3の出力波形には、位相反転をおこなっている様子があらわれている。

位相検出器に関する系統的誤差の評価をおこなうため、位相検出器およびフロントパネル上のケーブルでの温度変化特性に関する測定をおこなった。測定は、通常運転時にクライストロン室で、3日間にわたり10分毎におこなわれた。この測定を通して、位相検出器の出力信号の温度依存性は 0.3 deg./°C であり、通常運転時の位相測定精度が 1 deg. 程度であることが確認された (FIG. 3)。この結果から、本測定システムを使用した測定で 1 deg. 以内の位相変動を評価することは難しいことがわかった。

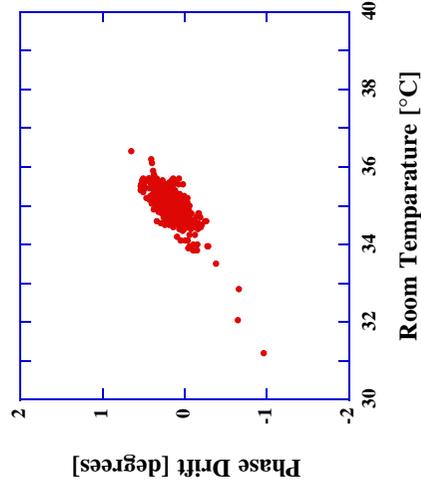


FIG. 3. 位相検出器の温度変化特性

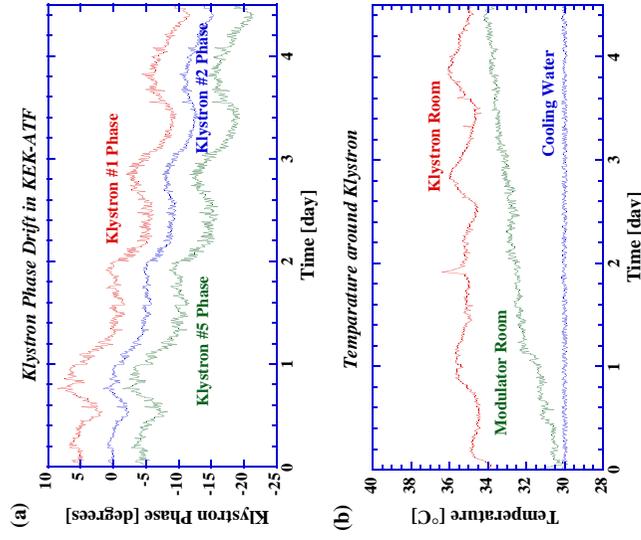


FIG. 4. クライストロンの位相変化と周辺温度変化

IV. PHASE FEEDBACK SYSTEM OF KEK-ATF LINAC

前節で述べたクライストロンの出力位相変動の抑制のため、我々は Feedback によるクライストロン出力位相の制御を考えている。クライストロン位相の Feedback に対するブロック図を FIG. 5 に示す。前節で述べたように位相変動の制御は非常遅い周期であるため、また、位相検出器の測定精度を向上させるため、feedback loop には時定数 1.4 秒のローパスフィルタを使用している。

実際の KEK-ATF の運転時の実装に先だって、feedback システムの試験をおこなった。feedback loop の利得は、最大 50 dB 程度の可変範囲がある。本試験では、feedback loop の利得が 5-35 dB の範囲で発振を起こさずに安定に動作することが確認された。その典型的な結果として、10 dB の feedback loop の利得でおこなったときのクライストロン位相の時間変化を FIG. 6 に示す。FIG. 6 には、Feedback loop の移相器の制御量と Feedback により安定化された位相を示してある。Feedback は正常に動作し、Feedback により、クライストロン位相の変化量が日周変化で全幅で 0.2 deg. 以内に抑えられることがわかる。この値は温度変動からくる位相測定の系統誤差 1 deg. に比べて充分小さいため、クライストロンの出力位相の変動は系統誤差 1 deg. 程度まで抑えられたと言える。

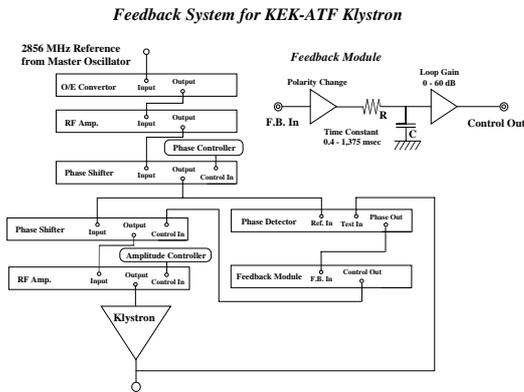


FIG. 5. Klystron 位相 Feedback のブロック図

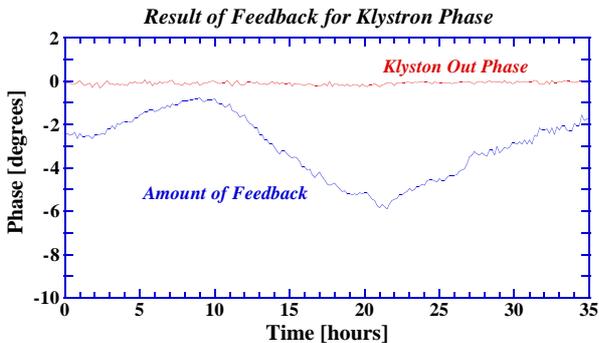


FIG. 6. Klystron 位相の Feedback の結果

V. DISCUSSION

前節まではクライストロンの出力位相の安定化に関する議論を進めてきた。しかしながら、リニアックを真に安定化するためには、クライストロンの出力位相ではなく、加速管に入る場所での RF 位相を安定化せねばならない。KEK-ATF では各クライストロンから加速管までは最大 40 m の導波管で RF を移送している。リニアックのコンクリートシールド内は 0.1°C 以内の温度制御をおこなっているが、III 節で述べたようにクライストロン室は約 1°C 程度の日周変化を生じる。導波管は、このクライストロン室を最大で約 25 m 通ることになる。つまり、昼夜で導波管内で最大約 1 deg./°C の位相変化が起こることが予測される [3]。

KEK-ATF では RF の出力や位相検出のため、各加速管直前の RF 検出ポートからクライストロンまでケーブルが用意されている。しかしながら、現段階ではケーブルの温度安定性が 1 deg./day に比べて十分に保たれていないため、また、現状の位相検出の測定精度との兼ね合いもあり、加速管直前の位相に対して feedback をおこなっていない。

VI. SUMMARY

クライストロンの出力位相を測定したところ、3-5° の日周変動とさらに長い周期の位相ドリフトが検出された。日周変動はクライストロン室の温度変化によるものであると推測されるが、長い周期の位相ドリフトに関しては、現段階では原因は理解されていない。これらの位相変化を抑え、クライストロンの出力を安定化させるため、位相 feedback を試みた。位相 feedback は期待通りの動作をし、クライストロンの出力位相は 1 deg. 以内で安定化された。

VII. ACKNOWLEDGEMENT

本研究を通して御助言をして下さった KEK-ATF のスタッフ、学生の方々、また、クライストロンの運転をサポートして下さい下さった (有) イーキューブの方々、および、データ収集の際の software 開発を助けて頂いた (株) 関東情報サービスの方々に感謝致します。特に、急な software の変更に対応してくれた小沢順一氏には深く感謝しています。最後に本研究をサポート頂いた木原加速器施設長、高田加速器総主幹にこの場を借りて感謝申し上げます。

- [1] 栗木雅夫, in this conference (12P-20).
- [2] 坂本智弘, 平成 8 年度東北学院大学修士学位論文.
- [3] 安積隆夫, 第 23 回リニアック技術研究会, p.202.