

# The beam stabilization at ATF linac

T.Sakamoto and H. Hayano\*

Tohoku-gakuin university

1-13-1, Chuo, Tagajyo, Miyagi 985 Japan

\*National Laboratory for High Energy Physics

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

## Abstract

The beam jitter is a problem during the running of ATF linac. In the Sub-Harmonic Buncher (SHB) of the preinjector section, an amplitude fluctuation and phase jitter affect the bunch length and the beam energy. The amplitude fluctuation of the detected pickup signal was 0.4% p.p. and the phase jitter was 2.0 p.p.(degree). In a long time range, a phase drift was observed. The drift was come from the temperature variation around the 5kW power AMP. It was suppressed by the feedback system.

## ATF リニアックにおけるビーム安定化

### 1. はじめに

高エネルギー物理学研究所の試験加速器(ATF)リニアックにおけるビーム安定化の研究について報告を行う。リニアック入射部にあるバンチ圧縮システムであるSHB(サブハーモニックバンチャ)はビームのバンチ圧縮を目的とした装置で電子銃から生成される1nsの電子ビームを1段目のSHBで500ps、2段目のSHBにより170psまで圧縮を行っている。SHBに入力されるRFパルスは発振器からの357MHzのRF信号を30μsの長さを持つ25Hz周期のパルス信号にきり出し、これに増幅を行いSHBに入力している。このSHBからのpickup信号には振幅のふらつきがあることが確認されていた。このふらつきはビームサイズやビームエネルギーの不安定化を引き起こすので原因の究明が必要とされている。マルチパクタリングは達成電圧を妨げる働きを持ち、振幅及び位相の安定度を損なうので、観測されているふらつきがマルチパクタリングによるものかどうかを調べる必要がある。また、長い時間間隔で位相のドリフトが観測されているがその原因を調べ、フィードバックによる安定化を行ったのでそれについて報告する。

### 2. 振幅変動の測定

SHBからのpickup信号であるRFパルスの振幅測定はRF DISCRI PEAK HOLDモジュールを用いオシロスコープ(テクトロニクスTDS684B)で測定を行った。これはpickup信号をダイオードにより整流し、ダイオードの二乗検波特性を補正した信号を出力する。振幅変動の測定はpickup信号のpeak部分を拡大し1mV/divのレンジで波形を20秒間アキュムする事で行った。その

時のpeak-to-peakの値をふらつきの全幅と考えpickup信号振幅(SHB空洞電圧に比例)に対してプロットしたものが図1である。この時振幅の大きい所(通常の運転に使用している振幅)にふらつきの集中する所が二つに分かれる事が観測された。その時のSHBからのpickup信号の写真を図2に示す。この電圧のとびは1秒間に2ないし3回の割合で発生しておりマルチパクタリングまたは空洞内の放電と考えられる。図1によると振幅の小さい方の300mV付近でもふらつきの幅が増大しているがこの時には振幅のとびは見られなかった。すなわちふらつきが定常的に増大しておりマルチパクタリングの可能性を示唆している。なお、SHB空洞はマルチパクタリング対策として窒化チタン600Åのコーティングをギャップ部分に施してあり、また帯電および放電防止のためセラミックウィンドウにも窒化チタンのコーティングを施してある。

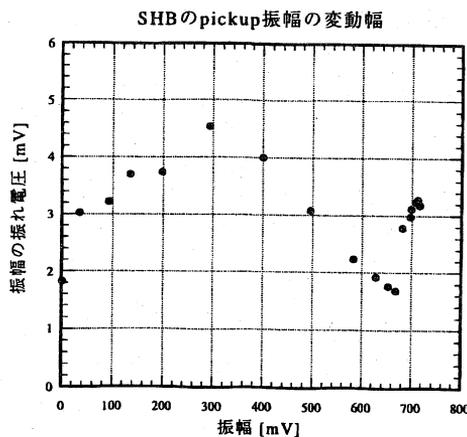


図2 SHBのpickup振幅の変動幅

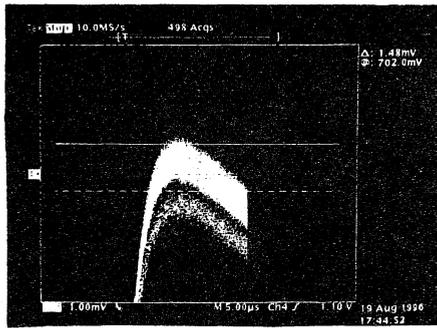


図2 SHBからのpickup信号

### 3. 位相変動の測定

SHBからのpickup信号の位相変動を測定するためにDBM(ダブル・バランスド・ミキサ)を用いて位相測定を行った。参照信号は発振器からのRF信号を分配して用い、測定信号はSHBからのpickup信号を用いた。参照信号側に入れたトロンブーンにより検出電圧の最大最小を求め位相検出感度を測定すると1.4mV/degであった。しかしながら位相信号自体のノイズ幅は2.0° p.p. (2.8mV p.p)でありこれ以上小さくする事が出来なかった。測定した位相ゆらぎ幅は常にこの値でありマルチバクティングまたは放電による揺らぎ幅の増大は観測されなかった。

### 4. 長い周期における位相相関測定

短い時間での位相ゆらぎの測定とは別にSHBからのpickup信号と参照信号との位相変動を長い周期で測定し環境温度との相関関係を明らかにした。その温度相関をとる為に5kW Power AMP周辺温度の依存性および制御ラック周辺温度の依存性について測定を行った。

(図3参照)これにより制御ラック周辺温度では冷房装置の吹き出し口近辺にあるために吹き出す周期によって若干位相変動を起こしていることが確認された。これは全面扉をする事によりほぼ温度を一定にすることが出来、位相変動も抑えることが出来る。5kW Power AMP周辺温度は一定に保たれておらず夏期では最高40℃を越すような温度となっている。従って位相との相関をとった場合に大きな依存性をもって測定され、1℃あたり約0.4°の位相変化を起こしている事が確認された。この位相変動を抑えるために以下のフィードバック系を考える。

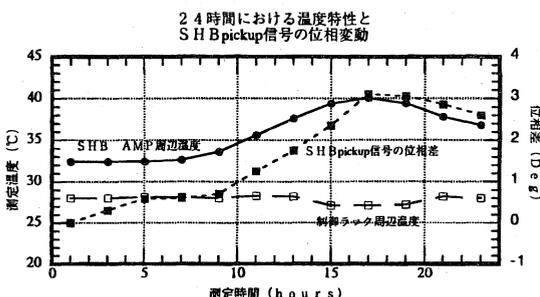


図3 周囲温度変化とSHB pickup信号の位相変動

### 5. フィードバックによる位相安定制御

長い周期における位相安定化を行うためのフィードバックシステムはSHBからのpickup信号と参照信号との位相比較をPhase Detectorを用いることで25Hzごとにサンプルホールドし位相差に相当した出力電圧を発生させる。この信号をフィードバックモジュールを用いること、およびここでのゲインおよびR、C、L成分を調整する事により最適かつ安定な制御を行わせる。そこで、この様なフィードバックを行うためにOpen loop特性(図4)およびClosed loop特性(図5)をDynamic Signal Analyserを用いて測定を行った。Open loop特性はPhase ShifterとFeedback Controllerとの間を開いた状態でその間にDynamic Signal Analyserを入れる。Dynamic Signal Analyserからの出力信号として最大250mVの振幅を持つ10mHzから10Hzまでの信号をPhase Shifterに送りその信号はSHBの制御ループを一巡通った後にFeedback Controllerからの出力信号となりその振幅および位相の比較を行っている。またClosed loop特性はPhase ShifterとFeedback Controllerとの間を閉じた状態で上と同様の事を行っている。Open loop特性により得られるゲイン特性および位相特性から発振までの位相余裕を読みとることが出来る。ここでは位相余裕は90度近くとなるようにループフィルターを調整しており、また、Open loopでのLoop Gainは約30dBとなる様にアンプゲインを調整してある。このフィードバックでのClosed loopでの帯域巾は約3dB下がる所で0.64Hzとなっていて、よってこの周波数より高い周波数成分は制御対象とはならない事がわかる。

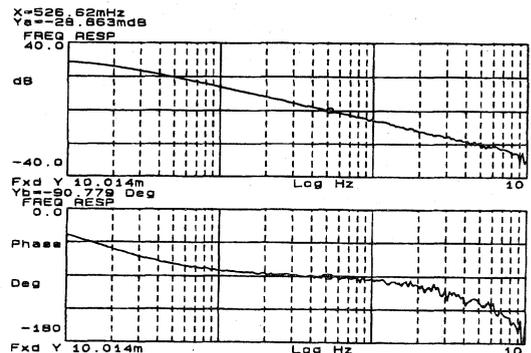


図4 位相フィードバック回路のOpen loop特性

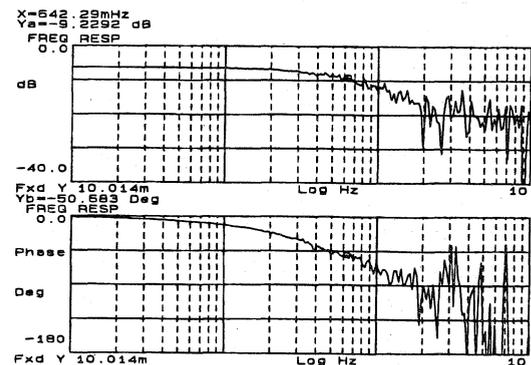


図5 位相フィードバック回路のClosed loop特性

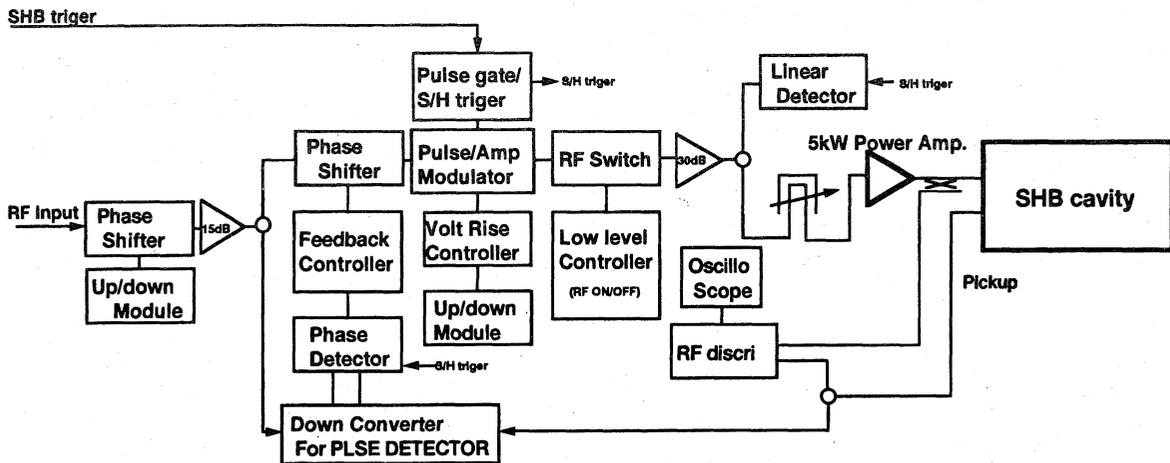


図6 SHBコントロールブロックダイアグラム

6. 位相安定制御の結果

位相フィードバックを組み込んだSHBの制御システムのブロック図を図6に示す。長い周期での位相安定化の結果フィードバック前に約3度の位相変化があったものをこのフィードバックを行うことにより約0.1°以下に抑えることが出来た。これはOpen loop Gainが約30dB(31倍)である事から誤差が約1/31に抑える事が出来る事と一致している。ただし位相を検出したPhase Detectorの持つ分解能としては約0.7°となっているので、その程度の位相の不安定度を長期間平均しているという事を考慮に入れなければならない。このPhase Detectorの分解能は以下のような原理から来ている。まず2つの入力信号をMixerを用いて1MHzにdown convertさせこの2つの信号の位相差に比例したパルス幅をもつ信号をフリップフロップおよびXOR(exclusive OR)回路を通すことにより発生させる。その後内部発振器で発生させた512MHzの信号をそのパルス幅でゲートをかけてそれをカウンタにより計数を行いD/A変換されたものが位相信号として出力される。これにより分解能は $360^\circ / 512 \approx 0.703^\circ$ (分解能)となっている。また問題としてPhase Detectorの読み値が2~3時間に一度ぐらいの割合ではほんの一瞬ではあるが跳ね上がる点が見受けられた。これは長い周期で見た場合には影響は無いのだが、短い周期で制御を行う場合にはここで用いたPhase Detectorからの跳ね上がりの原因を突き止めなければならない。

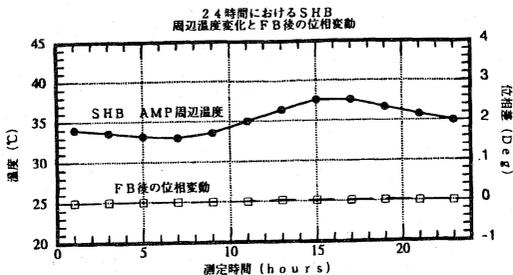


図7 周囲温度変化とFB前後での位相変動

7. まとめ

SHBからのpickup信号の振幅および位相について測定を行った結果、振幅のふらつきは約0.4%、位相のふらつきは約2.2°となる結果となった。振幅の測定においてマルチパクタリングもしくは放電現象と考えられるゆらぎ幅の増大や振幅電圧のとびが観測された。長い周期における位相相関測定では主にSHB 5kW Power AMP周辺温度に大きく依存している事が確認された。この変動をフィードバックを用いて安定化を行った結果、位相変動を約0.1°以下に抑えることが出来た。今後はSHB空洞の改善研究を行い、さらにクライストロンにおける振幅および位相測定を行い可能なフィードバックおよびフィードフォワード制御の開発を行う予定である。

謝辞

研究を進める上で多くの御助言や御指導を頂いたKEKの内藤孝氏および東北学院大学の加賀谷真仁氏には深く感謝いたします。また、お世話頂いた多くの方々に感謝申し上げます。

参考文献

[1] H.Hayano et al, "The Longitudinal Feedback System in TRISTAN AR", KEK Preprint 85-16, 1985  
 [2] T.Asaka, "高電界大電流入射器の開発", 東北学院大学修士学位論文, 1995  
 [3] T.Naito et al, "ATFインジェクターのビーム安定性の測定", Proc. of 20th Linear Accelerator Meeting in Japan(1995)