

# Fast RF Stabilization System for Test Accelerator Facility

Hitoshi Hayano and Linear Collider Study Group  
National Laboratory for High Energy Physics

## Abstract

In order to get high RF-power, the two SLAC 5045 klystrons are combined with a 3 dB coupler and fed into the accelerating structure in Test Accelerator Facility. A phase and an amplitude of an output RF from a klystron varies by a flattop and a pulse shape of the klystron cathode voltage. Its phase and amplitude variation will be a problem for a simple and stable operation.

The fast RF stabilization system for the 5045 klystron stabilizes a phase and an amplitude of the output RF pulse. The system is a feedback system which consists from a low-level PIN attenuator, a fast phase shifter, a wide-band feedback amplifier and a klystron driver amplifier. The design open-loop gain of the system is 40 dB, so it reduces a fluctuation within 1 %. The design band width of the feedback is 3 MHz. The design and performance of the feedback system are described.

## 1.はじめに

リニアコライダースタディーグループでは高出力RFを得るために2本のSLAC5045型クライストロンの出力を合成し1  $\mu$  secパルスで200MWのRFを得ようとしている。このRF合成システムにおいて安定に高効率の合成を得るためには、それぞれの出力RFは振幅が等しく位相は90°に固定されている必要がある。現実には2系統のクライストロン及び変調器は特性が一致しておらず、RF出力を変えたりカソード電圧を変えたりした場合クライストロンドライブ段の減衰器や位相器を細かく調整する必要がある。また、2つのRFパルスフラットトップの平坦性はドライブRFパルスの平坦性及び変調器内PFNの調整状態で決まっておりそれを常に数%以内に抑え込むには大変な労力がある。そのためにそれぞれのクライストロン出力RFパルス波形を高速フィードバックにより任意の値に安定化させるシステムを開発中である。途中段階ではあるがこの高速フィードバックについて報告する。

## 2.高速フィードバック

フィードバックの性能を決めるものはオープンループゲインの高さと応答速度の速さである。トリスタンリングのRF系に使用している振幅と位相のフィードバックシステムではオープンループゲインは40dB、応答速度は0.1 - 1kHzというもので電源同期のフラクチュエーションを抑え込んだり定常状態のビームローディングを補償したりする目的のものである。一方今回開発しようとしているものはオープンループ

ゲインは40dBと変わらないが、応答速度は3MHzという格段に速いもので、これぐらい速くなければ1  $\mu$  secのパルス内の安定化は実現できない。

高速フィードバックにおいて問題となるのは、ループ内にあるループフィルターを除くすべてのコンポーネントが3MHzではできるだけ位相遅れの少ないぐらいに高速である事、さらに形成したループの電気長をできるだけ短くし信号の伝送遅れを少なくしなければならない事である。信号の伝送遅れはすなわちループを形成した場合位相遅れであり、例えば90°遅れをフィードバック応答のリミットと考えたとすると3MHzでの90°遅れは約83 nsecになる。これはRG-213/uケーブルでは約17mのケーブル長に相当し、フィードバックシステムのループ長はこれ以下にしなければ3MHzの応答速度は得られない事になる。

## 3.システム構成

フィードバックシステムのブロックダイアグラムを図1に示す。入力RFは2856MHz、0dBm程度のレベルのCW信号であり、まず2つに分けられ一方は位相レファレンスに使用される。他方はRFメインラインで高速位相器、高速振幅変調器、RFアンプを通してクライストロンドライバーアンプに入力される。クライストロンドライバーアンプはトランジスターによるC級パルスアンプであり、最高出力600Wで5045型クライストロンをドライブできる。クライストロン出力RFは直後のディレクショナルカップラーにより取り出され、2つに分けられて検波器と高速位相検

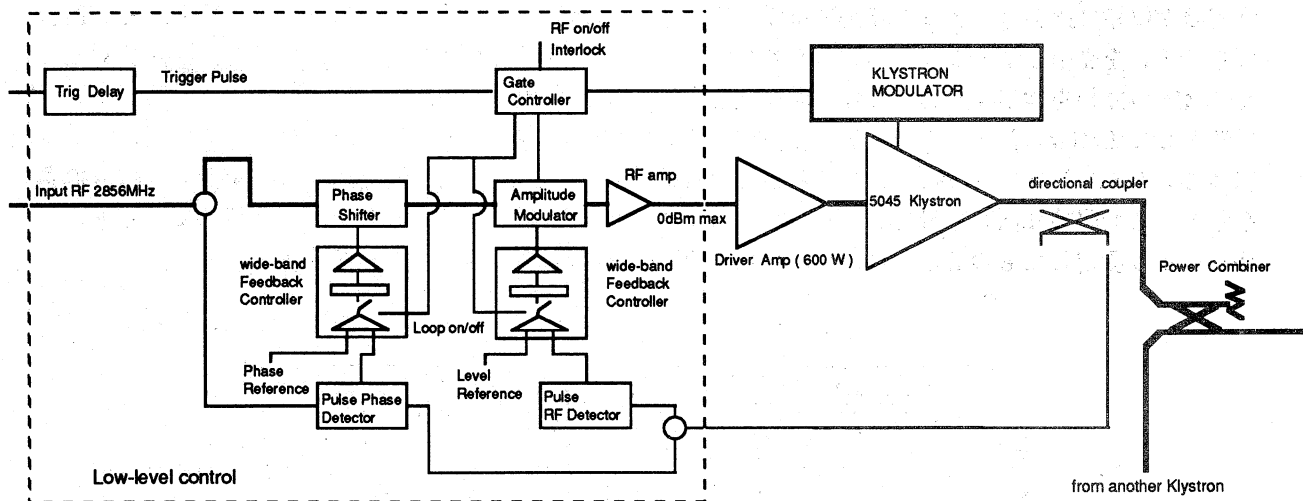


図1 フィードバックシステムのブロックダイアグラム

出器に入力される。検波器や高速位相検出器で検出された出力RFの振幅や位相は、それぞれのレファレンスとともに広帯域フィードバックコントローラに入力されそのレファレンスからの誤差は内部のループフィルターとループアンプを通過して、それぞれ高速振幅変調器、高速位相器に入りループを形成する。広帯域フィードバックコントローラの中にはループのオン/オフスイッチがあり、これによりRFパルス内だけフィードバックがかけられるようになっている。

高速位相器はハイブリッドとバラクターダイオードから構成される電子式のもので、 $0\text{dBm}$ の入力レベル、 $\pm 360^\circ / \pm 5\text{V}$ の制御、 $10\text{MHz}$ 以上の応答速度をめざし開発中である。高速振幅変調器はPINダイオードミキサを用いるもので同様に $10\text{MHz}$ 以上の応答速度をめざし開発中である。広帯域フィードバックコントローラは高速OPアンプを使用したもので、ゲイン $40\text{dB}$ 、周波数応答 $30\text{MHz}$ 以上を目指して開発中である。クライストロンドライバアンプも同様に現在開発中である。以上ほとんどのコンポーネントが開発中でありフィードバックシステムを組んでのテストはできていないが、高速位相検出器だけは第一次結果がでたので次節にその特性を報告する。

#### 4. 高速位相検出器

この高速位相検出器は $80\text{MHz}$ のRFの位相を検出するもので、内部では $80\text{MHz}$ の矩形波に変換されその

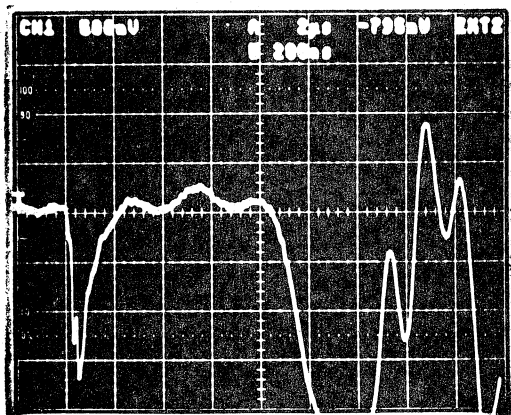


図2 高速位相検出器によるクライストロン出力RF位相

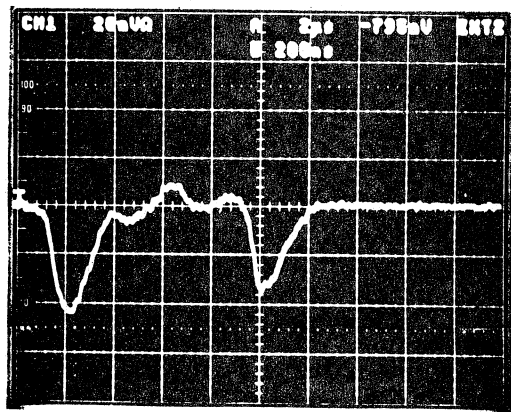


図3 ダブルバランスミキサによるクライストロン出力RF位相

立ち上がりエッジを使用してフリップフロップにより面積が位相に比例するような矩形波を作り出し積分してそれを位相とするような方式のものである。2856MHzの位相を検出するためには、周波数変換器を使用して80MHzに落とした後の信号を使用する。図2にクライストロン出力RFの位相を測定した結果を示す。また同時に同じ信号をダブルバランスミキサーにより測定したものを図3に示す。これらを比

較すると応答性はダブルバランスミキサーより100nsecほど遅れているほかは位相変化の様子などは遜色ない。なお位相検出器の出力は20mV/degreeである。また位相検出の精度はまだあまり上がっておらず、図4にトロンボーンによる位相設定に対する検出誤差を、図5には検出側RFのレベルを変えたときの検出誤差を示した。これらは今後改良していく予定で、目標値は $\pm 1^\circ$ の精度である。

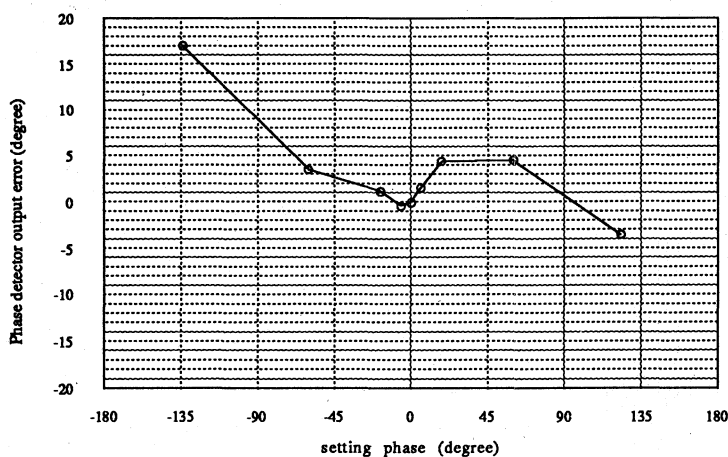


図4 位相検出器の設定位相に対する検出誤差

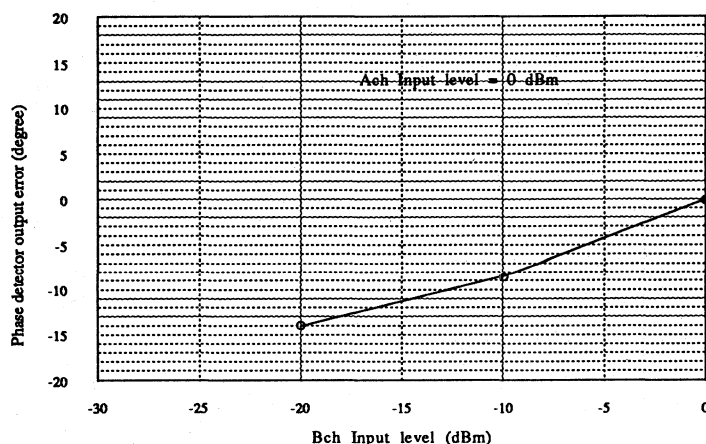


図5 位相検出器の測定RFレベルに対する検出誤差