

AUTOMATIC PHASING SYSTEM

Y. Otake and Linear Collider Study Group

National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

An automatic phasing system has been developed for Test Accelerator Facility (TAF) of Linear Collider Project in KEK. This system will be evaluated on TAF. The automatic phasing system is composed with two main components; one is a new method phase detector and the other is a diode phase shifter. Output signals of the phase detector can be obtained with two scaler components of an input rf signal on a polar coordinate. They are $X_i = R \cos \phi$ and $Y_i = R \sin \phi$ where a phase angle is expressed by $\phi = \tan^{-1} Y_i / X_i$. The diode phase shifter have to a smooth phase shift, a more than 360 degree phase shift and a low transmission loss.

自動位相調整システム

1、序

高エネルギー物理学研究所では高エネルギー物理学の将来計画の一として電子、陽電子のリニアコライダの基礎開発を行なっている。この加速器は、衝突点でのエネルギーが重心系で1 TeV以上の全長10 Kmの対向型加速器であり、衝突点に於けるビーム径がマイクロン以下である。このような性質のビームを作り上げるためには、個々の加速器を構成するデバイスの性能を最大限に上げなければならない。このためにTEST ACCELERATOR FACILITY (TAF)を建設しR&Dを進めている。このR&Dの一環として現在、高速のRFフィードバック回路の開発を進めており、特に加速高周波の位相に関しては高い安定性を要求されるので、高性能な位相検出器を擁したものにしなければならない。以上の目的のために最終的には1 μ sのパルス内フィードバックを可能にすべく、高いダイナミックレンジ(40 dB以上)で位相検出精度及び設定精度(0.5度以内)の高い、高速応答可能(10 ns以下)な位相フィードバックシステムを目指して開発を進めるものである。今回の発表するものはその第一段階でありシステムの概要及び3 dBの方向性結合器を利用した位相検出器と、バラクタダイオードを利用した移相器について述べる。

2、自動位相調整システムの概要

TAFの位相調整システムは図1に示すような構成を考えている。TAFのRF系の場合、1 m当りの電場勾配を40 MeV以上にする為に2台のクライストロン出力を合成するなどの新しい試みを採用するので、それが効率良く行われるかは合成する2つのRF波形の位相と強度が合っているかが鍵になって来る。現在開発を行なっている極座標ベクトル直読式の位相検出器及び、低い電力でのバラクタダイオードを利用した高速応答可能(μ s程度)な電氣的な移相器で、高速パルス応答を持ったシステムを構築する為には、クライストロンを直接ドライブする増幅器(2856 MHz, 800 W程度)を製作することが必要条件

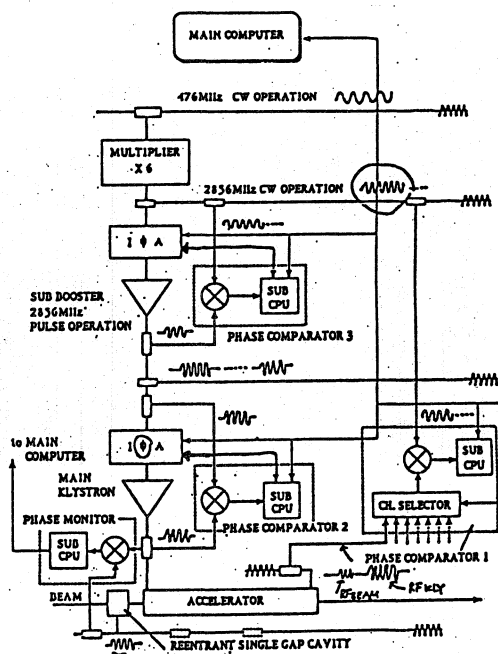


図1 TAF RFシステム

である。以上のシステムが成功した段階で、順次T A Fの目的に合わせたフィードバック回路に採用していく予定である。

3、位相検出器

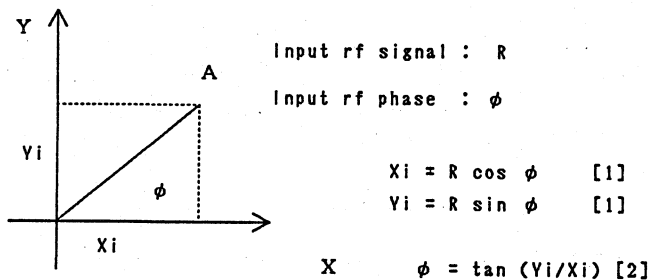
* 検出原理³⁾

基準になる高周波信号と比較の対象になる高周波信号は、極座標平面で図2の様に表わされる。これは複素ベクトル信号と見なされ数学的にはX軸、Y軸成分に分解でき、次の様に表わされる。

$$X_i = R \cdot \cos \phi, \quad Y_i = R \cdot \sin \phi, \quad R = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \quad - (1)$$

$$\phi = \tan^{-1} (Y_i / X_i) \quad - (2)$$

(1)式から解るようにスカラ量 X_i 、 Y_i は、基準高周波信号と比較高周波信号の大きさと位相の関数になっている。従って位相検出回路から得た X_i 、 Y_i の検波信号を(2)式の演算を行なうことで、位相検出器に入力した高周波信号の大小に関係しない位相情報のみを得ることが出来る。本検出器は上式に表れている X_i と Y_i を出力するために、図3に示すような回路構成になっている。この位相検出器はマイクロストリップラインを利用した4個の方向性結合器(-3dB, $\pi/4$ 位相シフト)と $\pi/2$ フェーズシフター、4個のビデオ検波器、2個の50Ω終端器、2個の差動アンプにより構成されている。検出回路の構成部品が比較的多いため、高性能を得るためには個々の部品の性能が高いことが必要であり、この内でも4個のビデオ検波ダイオードの特性の均一性が重要である。また検出精度をより良く保つためには、位相検出器に入力する高周波信号の大きさを、基準信号 \gg 比較信号にする必要がある。これは図4に示すようなビデオ検波器のダイオード特性によるものである。従って基準信号と比較信号のパワーレベルが同じだとダイオードの2乗検波領域を使用することになるので位相の検出精度が落ちる事になる。



Vector analysis for an input rf signal.

図2 入力RFのベクトル合成²⁾

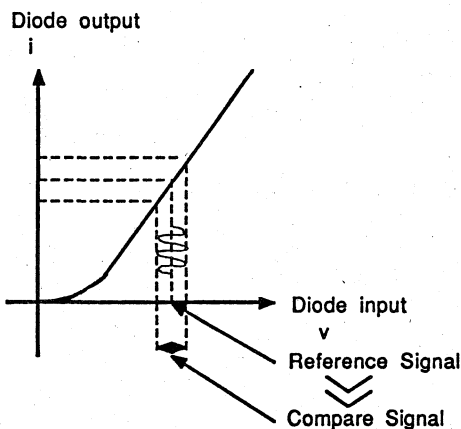
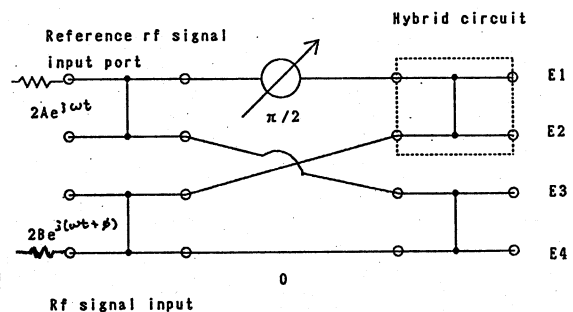


図4 ダイオード検波曲線



$$\begin{aligned} E1 &= Ae^{j(\omega t + \pi/4)} + Be^{j(\omega t + \phi + \pi/4)} \\ E2 &= Ae^{j(\omega t + \pi/4)} + Be^{j(\omega t + \phi + \pi/4)} \\ E3 &= Ae^{j(\omega t + \pi/4)} + Be^{j(\omega t + \phi + \pi/4)} \\ E4 &= Ae^{j(\omega t + \pi/4)} + Be^{j(\omega t + \phi)} \end{aligned} \quad [3]$$

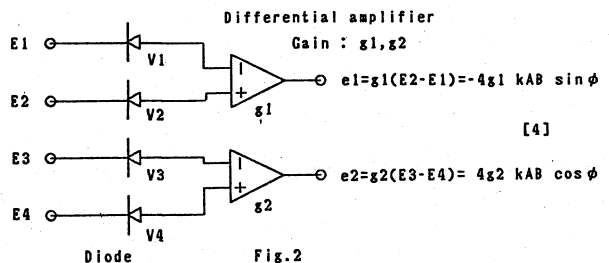


Fig. 2

$$\begin{aligned} V1 &= k1|E1|^n, \quad V2 = k2|E2|^n, \quad V3 = k3|E3|^n, \quad V4 = k4|E4|^n \\ k1 - k4 &: \text{Conversion factor of diode.} \\ n &: \text{Detection curve of diode.} \end{aligned}$$

A phase value of an input rf signal is calculated by an equation-[2] which use an e1 and an e2.

図3 位相検出器²⁾

* 試作結果

現在この位相検出器の試作機が出来てきた段階であり、その結果を図5に示す。試験方法はI N 1とI N 2に入力する信号をYHP製の8742A (-20 dB方向性結合器、移相器内臓)により作り、その位相差を同じくYHP社製の8510ネットワークアナライザにより確認して行なった。図5-1はX_i、Y_iプロットしたものであり、真円になるのが最も良い。しかし今回のものは調整不完全であり、ななめ楕円である。これはX_iを算出するシステムとY_iを算出するシステムの位相差が $\pi/2$ になっていないことと、それぞれのシステム(X_i, Y_i)の増幅度(演算器の増幅度、ダイオードの特性等を全体的に含んだ)が同じでないこと表わしている。図5-2に設定位相に対する位相検出器の検出誤差を示す。このグラフも上記の結果を反映して10度程度の検出誤差になっており、図5-1の結果を真円にすればおのずと検出誤差もなくなるであろうと思われる。事前に手作りで試作した物で1度以内の検出精度をえているので、現在製作しているメーカーによって設計された位相検出器も、目標として±1度以内の検出誤差を目指す。

4、移相器

移相器はバラクタダイオードを利用したものを検討している。移相器の場合に重要なことは通過損失が少なく、位相が滑らかに360度以上変化することである。この目標に合う製品が市販されているか等の調査及び評価をする必要があり、現在日本電気で製作された1.7GHz用の移相器の評価を行なっている。その結果を図6に示す。

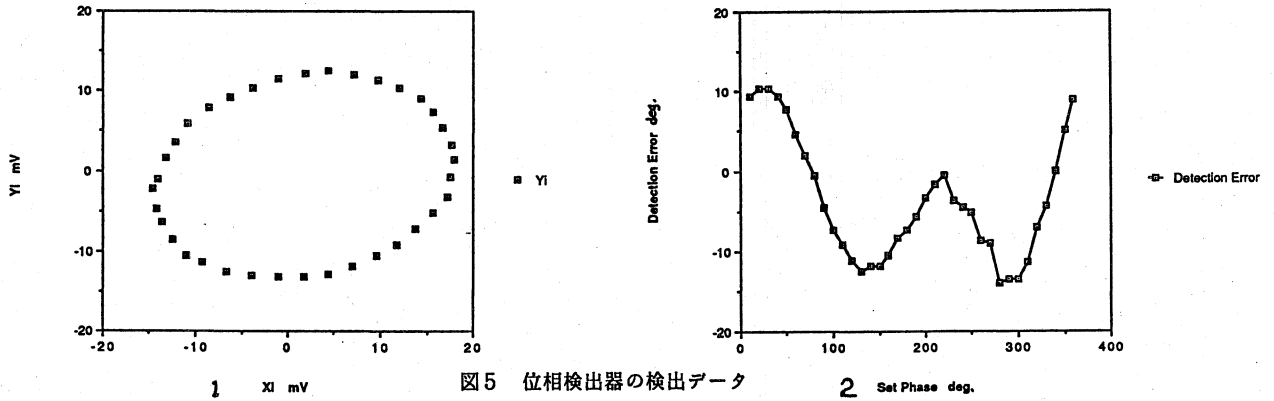


図5 位相検出器の検出データ

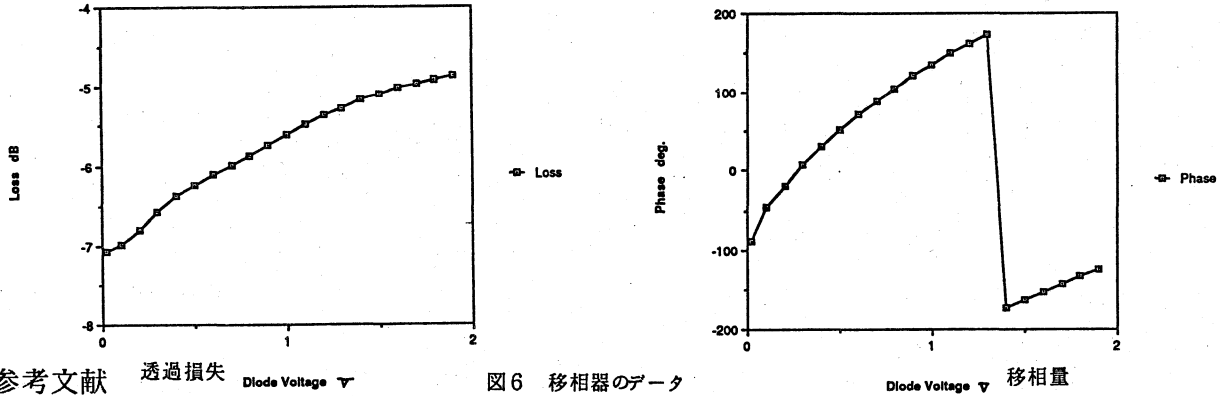


図6 移相器のデータ

参考文献

- 1) H. Matumoto and Y. Otake, "Phasing system for 1 GeV linac", Proc. of the 2nd SLAC/KEK Linear Collider Workshop, 222(June, 1988), KEK.
- 2) Y. Otake, "Development of RF Phase Detector for JLC", Proc. of the 2nd SLAC/KEK Linear Collider Workshop, 226(June, 1988), KEK.
- 3) H. Matumoto, et al, "3dB Directional Coupler Phase Comparator", Proc. of the 8th Meeting on Linear Accelerator in Japan, 1983, p144.