

H. Matsumoto, K. Takeda, S. Ohsawa

National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

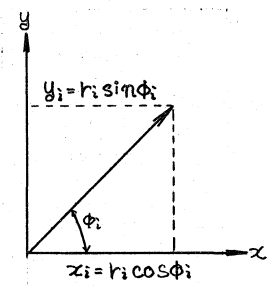
The phase comparator primary elements are: four microstripline type quarter wavelength 3dB hybrid couplers, four matched video detectors, two adjustable phase shifters and two matched differential amplifiers. Two rf input signals (one is reference signal and another is test signal) of the same frequency are applied to the two input ports. The signals appearing at the two differential amplifier output ports are $e_1 \propto AB \sin \phi$ and $e_2 \propto AB \cos \phi$ when the detectors are "square-law". ϕ is the phase angle between the two rf input signals and calculated by $\sin^{-1}(e_1 / \sqrt{e_1^2 + e_2^2})$ or $\cos^{-1}(e_2 / \sqrt{e_1^2 + e_2^2})$. The phase accuracy is achieved less than $\pm 2^\circ$ at the test port power level of $0.57 \mu W \sim 5.7 mW$ (dynamic range is about 40 dB) and at the reference port power level of $9mW \sim 450 mW$. The pulse response is about 20 MHz.

1. まえがき

加速器に関連した位相計測の作業は比較的多いと思われる。連続波の計測に関してはすでに、計測精度に応じた機器が用意されている。ここでは、パルス化 ($\leq 50 MHz$) をしたマイクロ波の計測に関して紹介する。位相の計測を行う場合、検出信号が入力信号に依存すると、得られた信号から位相の情報を分離する事が必要となる。3 dB 方向性結合器を利用したシングルバランス型ミキサ、ダイオードリングを用いたダブルバランス型ミキサ等は前述の方式に属する。入力信号の変化が大きい場合に適応する用いた回路方式を拡張し、ある程度の結果が得られたので報告する。位相比較回路の性能は、reference port 信号が $90mW \sim 450mW$ 時、test port 信号が $0.6 \mu W \sim 6mW$ 時に位相誤差は $\pm 1^\circ$ 以内、パルス応答は約 $50 MHz$ 程度が得られた。

2. 位相検出の原理

極座標に於ける任意のベクトル $\vec{V}_i(\phi_i, r_i)$ は、Fig. 1 に示した様に x_i, y_i の 2 成分に分解可能である。ベクトル \vec{V}_i の位相角 (ϕ_i) と大きさ (r_i) は次の様



$$x_i = r_i \cos \phi_i, \quad y_i = r_i \sin \phi_i, \quad r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

$$\phi_i = \cos^{-1}(x_i/r_i), \quad \phi_i = \sin^{-1}(y_i/r_i) \quad (1)$$

(1) 式から解る様に、計測される 2 つの信号 (x_i, y_i) を用いて ϕ_i を算出するので位相比較回路の入力信号に依存しない事になる。ベクトル \vec{V}_i を 2 成分 (x_i, y_i) に分解する為、Fig. 2

Fig. 1 ベクトルの分解の回路を導入した。回路は、4 個のマイクロストリップ型方向性結合器 ($1/4, 3 dB$)、 $0 \leftrightarrow 90^\circ$ の位相差を持つ可変型位相器、2 個の 50Ω 終端器で構成される。Fig. 2 の位相比較回路に $\sqrt{2} A e^{j\omega t}$ 、 $\sqrt{2} B e^{j\omega t}$ の入力信号があると出力端 $E_1 \sim E_4$ に夫々 2 入力信号の合成が表われる。 $E_1 \sim E_4$ の信号を検波し、 $V_1 \sim V_4$ とする。次に減算回路で $V_2 - V_1, V_4 - V_3$ を行くと Fig. 3 に示した VIDEO

信号として、 $h_i \cos \phi_i$, $h_i \sin \phi_i$ が SCOPE 等で観測出来る。

Fig.3の演算をダイオードの2乗検波と1乗検波について行くと次の様になる。

1) 2乗検波領域

$$V_1 = k |E_1|^2 = k \{ A e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})} + B e^{j(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2})} \}^2$$

$$= k (A^2 + B^2 - 2AB \sin \phi)$$

$$V_2 = k |E_2|^2 = k (A^2 + B^2 + 2AB \sin \phi)$$

$$V_3 = k |E_3|^2 = k (A^2 + B^2 + 2AB \cos \phi)$$

$$V_4 = k |E_4|^2 = k (A^2 + B^2 - 2AB \cos \phi) \quad (2)$$

2つの減算回路の出力をそれぞれ e_1 , e_2 とする。

$$e_1 = g_1 (V_1 - V_2) = g_1 k (-4AB \sin \phi)$$

$$e_2 = g_2 (V_3 - V_4) = g_2 k (4AB \cos \phi) \quad (3)$$

2) 1乗検波領域 ($A \gg B$)

$$V_1 = k |E_1|^2 = k \{ A e^{j(\omega t + \frac{\pi}{2})} + B e^{j(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2})} \}^2$$

$$= k (A^2 + B^2 - 2AB \sin \phi)^{1/2}$$

$$= kA (1 + \frac{B^2}{A^2} - 2\frac{B}{A} \sin \phi)^{1/2}$$

$$= kA (1 - \frac{B}{A} \sin \phi)$$

$$V_2 = kA (1 + \frac{B}{A} \sin \phi),$$

$$V_3 = kA (1 + \frac{B}{A} \cos \phi),$$

$$V_4 = kA (1 - \frac{B}{A} \cos \phi), \quad (4)$$

2乗検波と同様に差動アンプで減算を行う。

$$e_1 = g_1 (V_1 - V_2) = g_1 kA \{ (1 - \frac{B}{A} \sin \phi) - (1 + \frac{B}{A} \sin \phi) \} = -2g_1 k B \sin \phi$$

$$e_2 = g_2 (V_3 - V_4) = 2g_2 k B \cos \phi \quad (5)$$

ここで k は検波ダイオードの変換係, g_1, g_2 は差動アンプの利得である。

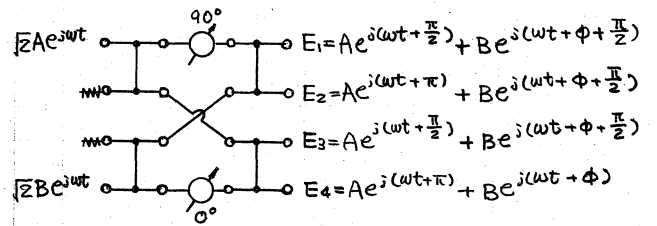


Fig. 2 位相比較回路

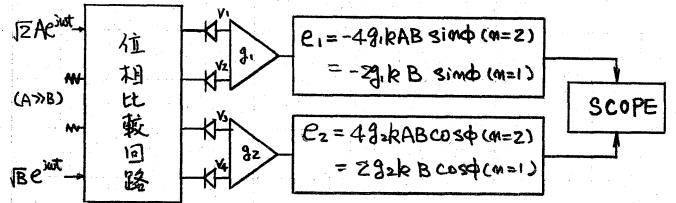


Fig. 3 信号演算回路

3. 試験結果

1) Dynamic Range

入力信号強度は、Reference port が 9.0^{mW} , 90^{mW} , 453^{mW} の3点に同じく Test port は 0.57^{mW} から 5.7^{mW} まで可変 (40dB) して計測を行った。

2) 精度

最小目盛 $0.2mm$ (目視 $0.1mm$ 分解可能) の mechanical phase-shifter を基準として、位相比較回路から得られた値との差をグラフに記録した。目視 0.1° は $f = 2856MHz$ で 0.7° 程度 (U字型の為2倍になる) である。実効的な分解能を向上させる為、目盛は定点のみを使用し、位相角度は計算で割り出す事にした。 [$f = c/\lambda = 104.969(mm) \rightarrow 3.4296(\%/mm)$, $2 \times 3.4296(\%/mm) \times \lambda(\mu m)$] この方法で $\pm 0.1^\circ$ 程度の再現性がある事を確認した。

3) Pulse Response

主に最終段の differential amp. が pulse response を決定している。Test port の信号を PIN スイッチで幅 $3\mu s$ (立上り), 立下り $50ms$ に整形したマイクロ波を供給し SCOPE で観測した。

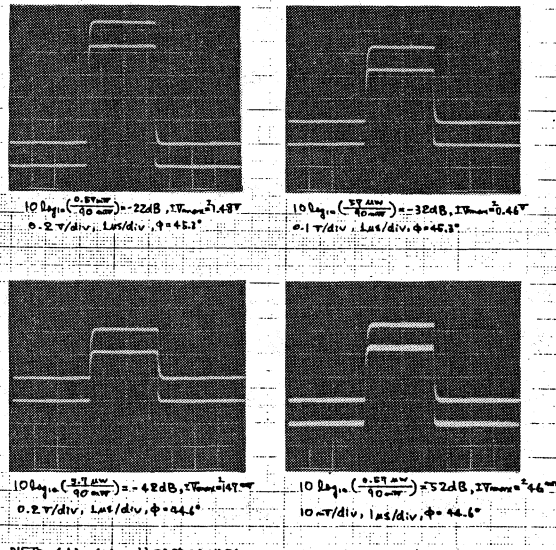
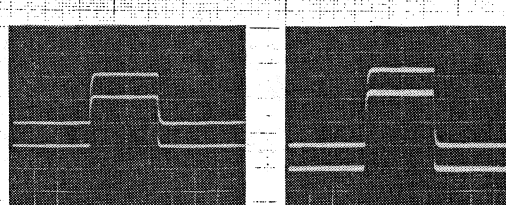
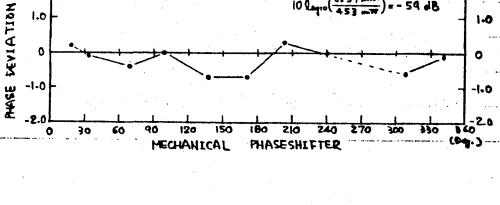
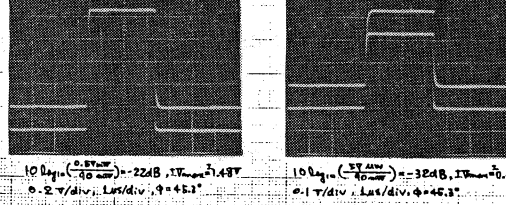
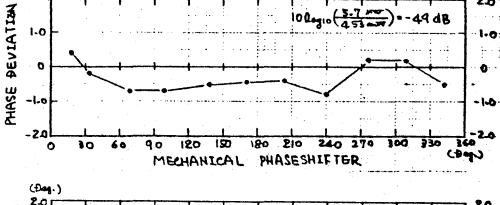
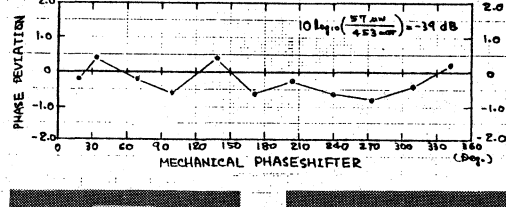
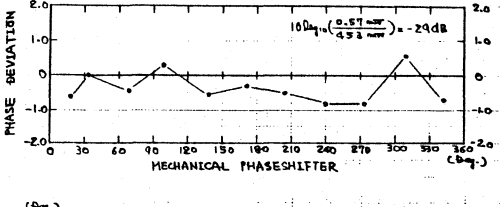
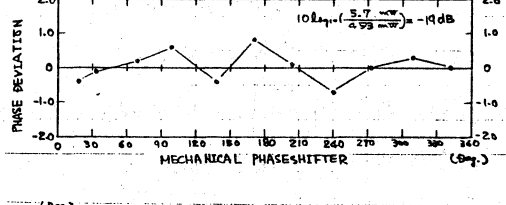
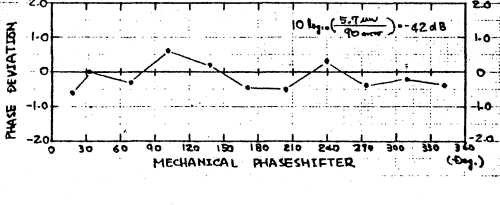
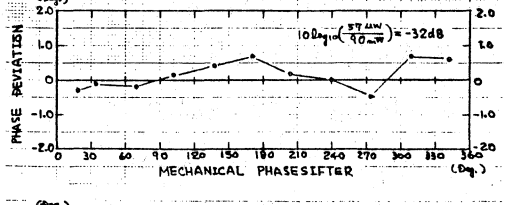
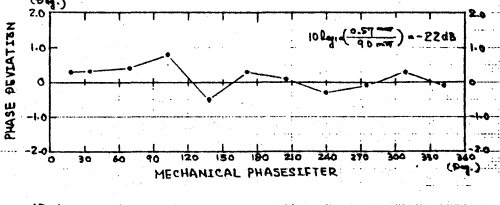
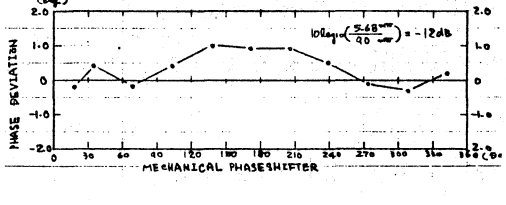
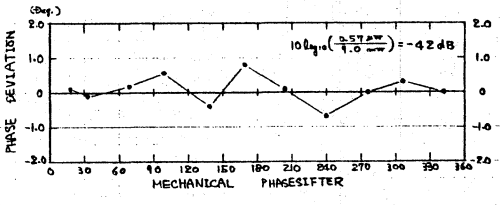
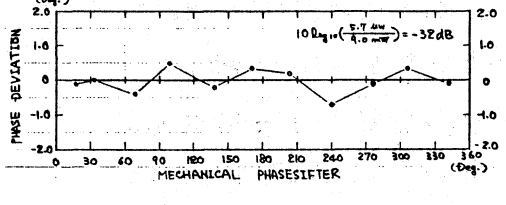
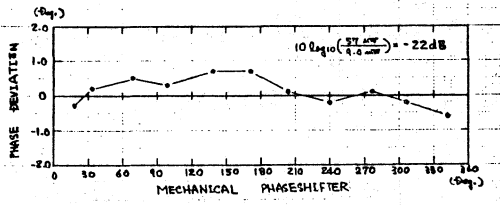
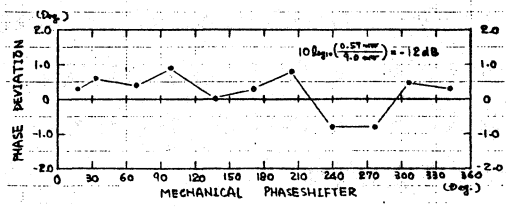
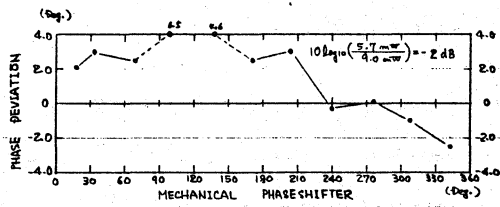


FIGURE (1)-(4) 线性玻璃元件, UP: \uparrow 上升沿, DOWN: \downarrow 下降沿