

DEVELOPMENT OF A BEAM POSITION MONITOR FOR THE KEK ELECTRON/POSITRON LINAC

T. SUWADA, T. URANO, H. HANAKI, Y. OTAKE AND H. KOBAYASHI

KEK, National Laboratory for High Energy Physics
1-1 Oho, Tsukuba - shi, Ibaraki - ken, 305 Japan

ABSTRACT

A beam position monitor (BPM) using wireline pickups has been developed at the KEK electron/positron linac. This linac is operated in three modes: short-pulse mode, semi-long pulse mode and long-pulse mode for electron and positron beams, and in the B-factory project a high-current mode will be added. In these operation modes the beam current is from a few hundred mA to a few amperes for the electron beams and is from a few mA to a few hundred mA for the positron beams, and the beam pulse width is from 1ns to 1 μ s for the electron beams and is from 1ns to 40ns for the positron beams. Therefore the BPMs needs to be developed with some constraints, especially a nearly 10³ dynamic range for both beam currents and beam pulse width. In this report the present status of development for the BPM using wireline pickups is described.

KEK電子/陽電子ライナック用ビーム位置モニターの開発

1. はじめに

高エネルギー放射光実験施設入射器研究系では、KEKの将来計画であるB-ファクトリー計画におけるライナックの大電流ビーム加速に対する改良開発を進めている。その中で、大電流ビーム加速に伴う横方向ウェーク場の発生は、小川等 [1] により精力的に研究されている。彼らの報告によると、B-ファクトリーにおける横方向ウェーク場のビームに対する影響は、かなり厳しいものとなりその結果ビームの横方向の位置精度は、少なくとも、0.1 mm以下に押さえる必要があることが示された。筆者等は、この問題を解決すべく精密ビーム位置モニターの開発を始めた。なお、開発に際しては以下のことを考慮し進めることにした。

- (a) 従来の運転モード及びB-ファクトリーにおける大電流ビーム加速の運転モードに対しなるべく単一のモニターでビーム位置を検出できるようにすること。即ち、ビーム電流で約3ケタ(数mA-10A)、ビームパルス幅で約3ケタ(1ns-1 μ s)のダイナミックレンジを有するモニターの開発を行う。
- (b) なるべくコンパクトで安価なモニターの開発を行う。即ち、ビームライン上の機器設置の省スペース化及びメンテナンスの簡略化を目指す。
- (c) ビーム位置精度は、 $\sigma < 0.1$ mmを目指す。

2 ワイヤ電極を用いたビーム位置モニター

2.1 ワイヤ電極の感度計算

筆者等は、まず比較的感度の良い、ダイナミックレンジの広い検出器としてワイヤラインピックアップ(ワイヤ電極)を用いたビーム位置モニターをテストすることにした。出力信号の大きさは、Fig.1に示すように出力他端の終端インピーダンスを Z_2 として周波数領域で以下のように表せる [2]。

$$Z_T(\theta) = \frac{g Z_1 // Z_c (1 - e^{-2i\theta})}{1 - \Gamma_1 \Gamma_2 e^{-2i\theta}}, \quad \theta = \frac{\omega L}{c}, \quad \Gamma_1 = \frac{Z_1 - Z_c}{Z_1 + Z_c}, \quad \Gamma_2 = \frac{Z_2 - Z_c}{Z_2 + Z_c}$$

g : ビームとワイヤー電極との幾何学的な結合係数 Z_1 : 出力端の特性インピーダンス
 Z_c : ワイヤー電極の伝送インピーダンス Z_2 : 出力他端の終端インピーダンス
 L : ワイヤー長

これを図に表すとFig2のようになる。図中, open line は $Z_2 = \infty$, shorted line は $Z_2 = 0$, そして matched line は $Z_2 = Z_1$ をそれぞれ示す。また, ここで特性インピーダンス Z_1 に対するワイヤー電極の伝送インピーダンス Z_c との比は, $R = Z_c / Z_1 = 4$ としている。この様に, ワイヤー電極の感度は, 周波数の変化に対しノッチ構造を持ち, 特に, open line では他の終端インピーダンスに比べて特定周波数でR倍の感度を有する。すなわち, ワイヤー電極の伝送インピーダンスの特性インピーダンスに対する比が大きい程検出感度が大きくなる。しかし, 逆に周波数特性が鋭くなり検出周波数帯域が狭くなるのでバランスが必要である。

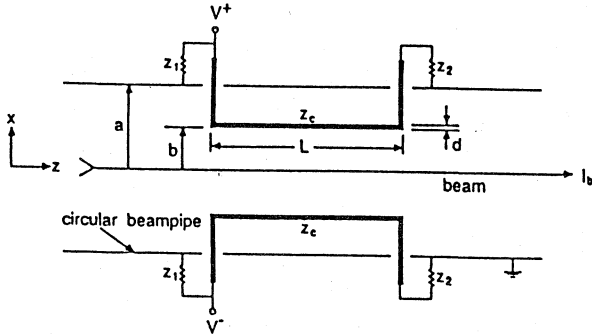


Fig.1 ワイヤー電極を用いたBPM.

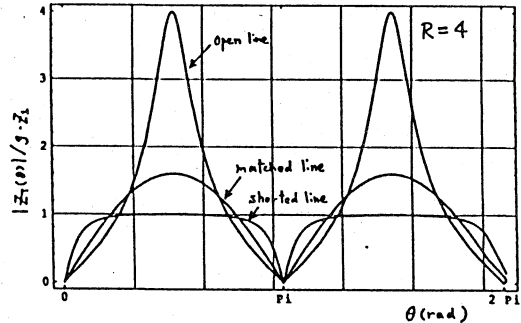


Fig.2 周波数に対する感度曲線.

2.2 ビーム位置検出の原理

ビームとワイヤー電極との単位長さ当りの相互インダクタンスをMとすると,

$$M(r, \theta, \theta_0) = -\frac{\mu_0}{2\pi} \left\{ \ln \frac{b}{a} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\frac{r}{a}\right)^n \left[\left(\frac{b}{a}\right)^n - \left(\frac{a}{b}\right)^n \right] \cos n(\theta - \theta_0) \right\}$$

r, θ : ビームの横方向座標

θ_0 : ワイヤー電極の方位角度

a, b : Fig.1による

で表される [2]。ビーム軸に垂直な平面での横方向 (x軸) の電極 ($\theta_0 = 0, \pi$) に対しては,

$$M_{\pm}^x(r, \theta) = -\frac{\mu_0}{2\pi} \left\{ \ln \frac{b}{a} \pm \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\frac{r}{a}\right)^n \left[\left(\frac{b}{a}\right)^n - \left(\frac{a}{b}\right)^n \right] \cos n\theta \right\}$$

と表され, 縦方向 (y軸) の電極 ($\theta_0 = \pi/2, 3\pi/2$) に対しては,

$$M_{\pm}^y(r, \theta) = -\frac{\mu_0}{2\pi} \left\{ \ln \frac{b}{a} \pm \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\frac{r}{a}\right)^n \left[\left(\frac{b}{a}\right)^n - \left(\frac{a}{b}\right)^n \right] \sin n\theta \right\}$$

で表される。これらの量を用いて, ビーム位置は, $(\Delta/\Sigma)_{x,y}$ を測定することにより導出できる。

$$\left(\frac{\Delta}{\Sigma}\right)_x = \frac{M_+^x - M_-^x}{M_+^x + M_-^x}, \quad \left(\frac{\Delta}{\Sigma}\right)_y = \frac{M_+^y - M_-^y}{M_+^y + M_-^y}$$

3. ビーム位置モニターの本チテスト

3.1 テストベンチ

Fig3に今回試作したテストベンチの外観図を示す。モニター本体は, 図に示すように架台上の中心に設置され, 精密X-Yステージに固定している。このステージによりビーム軸に垂直な平面上 (X-Y平面) を移動させることができる。モニターの中心線上には, 2.3 mm ϕ の真鍮パイプをある程度の張力をかけてN型コネクターに半田付けし固定している。モニターの両端は, テストパルスを入力インピーダンスと整合させるための同軸管を設置している。この同軸管によりインピーダンス変換を行い入力パルスの反射を極力押さえるようにしている。また, 同軸管とモニターは, ペローズにより接合されモニターのX-Y軸の移動を可能にする。Fig4にワイヤー電極の構造を示す。ワイヤー電極 (外径

1.3 mm φ銅パイプ)は、ビーム軸方向の長さは30 cmで、ビーム中心から15.8 mmの所に軸方向に平行に張られ、アルミダクト(内径54.9 mm φ)の内壁に水平及び垂直方向に対向電極として設置している。4つの検出出力は、アルミダクトを貫通するSMAコネクタの一端から取り出され検出回路に導かれる。この時の伝送インピーダンス Z_c は、200 Ωで、検出周波数は、250 MHzである。現在の所各電極はアルミ板に取付けられモニター本体へのはめ込み構造とし真空仕様にはしていない。Fig.5に検出回路系のブロックダイアグラムを示す。この回路は、同期検波方式による Δ/Σ 法を用いている。筆者等は、まず運転モードの一つである短パルスモードに感度のある周波数帯域として、250 MHz(バンド幅25 MHz)のバンドパスフィルターを用いて同期検波回路を試作しテストを行った。

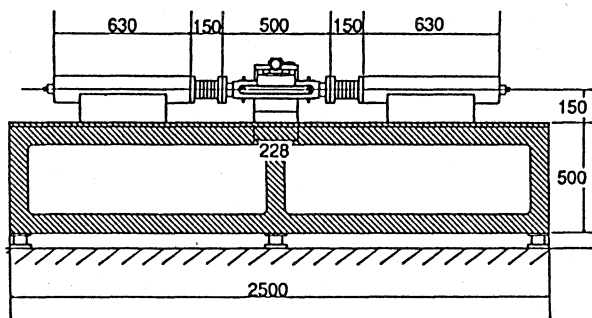


Fig.3 テストベンチ。

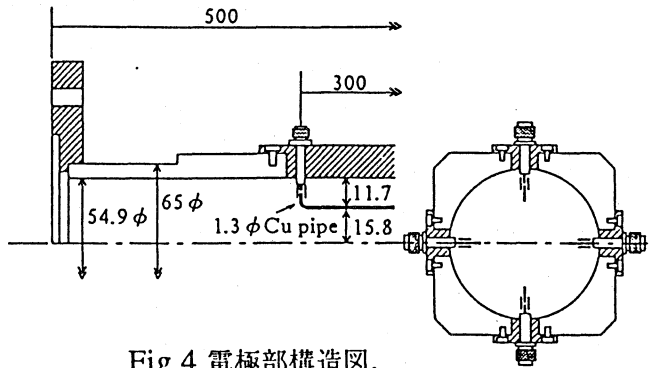


Fig.4 電極部構造図。

3.2 ベンチテスト

Fig.6に、今回テストしたX方向の感度曲線を示す。図に示すように、ADCのペダスタル補正とアンプゲイン補正を行った結果、計算と実測はほぼ一致した。X方向の領域 $|X| \leq 5$ mmの範囲で最小二乗法により直線フィットしその直線との差を測定点ごとにプロットした結果、X方向の位置精度は、 1σ で $\sigma_x \sim 0.25$ mmであることがわかった。この位置精度は、主に同期検波部におけるリミッティングアンプの性能(特にノイズレベル)によりきまっていた。現在の対策をすべく改良を行っている。

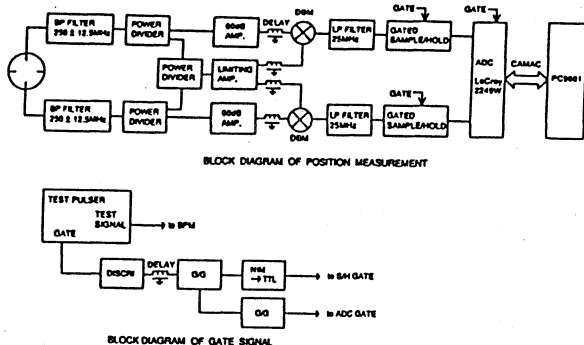


Fig.5 検出回路系。

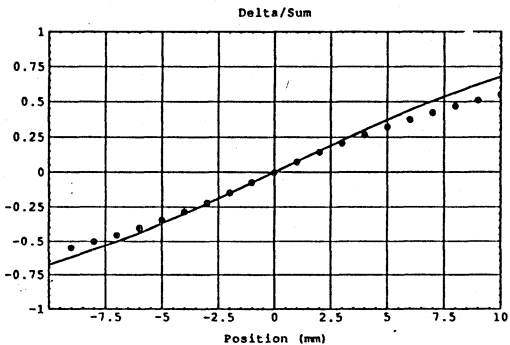


Fig.6 位置測定による Δ/Σ の変化。

4. 結論

筆者等は、電子及び陽電子ビームの質向上を目指しワイヤー電極を用いた精密位置モニターの開発を始めた。このモニターは、次期将来計画であるB-ファクトリーの大電流ビーム加速においては、重要なモニターの一つで安定したビームの供給には欠かせない。今回、ワイヤー電極型の位置モニターのプロトタイプを試作しテストした結果、位置精度は 1σ で $\sigma \sim 0.25$ mmであった。この位置精度は、主に同期検波部におけるリミッティングアンプの安定性に起因したもので、現在回路系のアップグレードを行っており、目標値である $\sigma < 0.1$ mmの位置精度を目指す。

参考文献

[1] Y. Ogawa et.al, KEK Preprint 91-131; Y. Ogawa et al., KEK Preprint 92-15.
 [2] W. Barry, CEBAF-PR-90-024; W. Barry, CEBAF-PR-89-003.