

BPM Electronics for the KEKB Injector

Kobayashi H., Urano T., Suwada T. and Lazos A.

National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

1-1, OHO TSUKUBA-SHI IBARAKI-KEN, 305 Japan

ABSTRACT

In the KEKB injector linac, the required positron beam intensity is 20-times as intense as the present one. In order to suppress the transverse wake field due to the intense electron bunch for positron beam production, the beam displacement from the accelerator axis must be small. Stripline-type beam position monitors (BPMs) will be installed at every Q-magnet. The expected resolution of the BPM is 0.1mm.

The induced beam displacement signals should be processed within a 1% accuracy. In this paper, a narrow-band approach using a 120 MHz center frequency with a 3.2MHz band width is discussed.

KEKB入射器のビーム位置モニタ用電子回路

1. はじめに

KEKB用の入射器では10nCのビームをターゲットまで加速する。このためビームの加速管中心からのずれは横方向ウエークを誘起しエミッタンスの増大につながる。また、KEKBにおいては入射が今よりはるかに頻繁になり、入射の効率がルミノシティに大きく影響を与えることになる。ビーム位置を常時モニタし、入射効率を長期にわたって安定に保持することが重要と考えられる。これらのことを考慮し、KEKBの入射器の改造では各Q磁石にビーム位置モニタ(BPM)を設置することにした。

できるだけ共通のBPMを用いることができるように、BPM電極を設計した。今後改造のスケジュールに合わせて加速ラインに設置していく予定である。測定回路も最終的には各BPM電極に対応して設置し、1パルス毎の位置を検出できるようにする予定である。ここではBPMの電極および測定回路について現状を述べる。

2. BPM電極およびダイナミックレンジ

BPM電極は50オームのストリップラインタイプである。BPMの外径を44ミリメートルとし、従来使用してきたQ磁石のボア径に合わせ、Q磁石中に埋め込むことができるようにした。長さも利用可能なスペースの最大長をとり、130mmとし、保守の観点からできるだけ同一のタイプを利用することにした。このようにして決定した電極

の形状を図-1に示す。

ビーム強度

KEKBに於てはシングルバンチビームを使用するが、陽電子発生用のターゲット迄の最大電荷量は10nC/bunchである。しかし、将来に向けてビーム位置モニタは20nC/bunchをその最大値とする。ターゲット後は、陽電子で0.64nC/bunchが期待される。入射用の電子は1.2nC/bunchを加速する。電極の出力は、電荷量に比例するので、dB単位では、 $20\log(20/0.64)=30\text{dB}$ であるが、コミッションを想定して0.1nC/bunchを最小の加速電荷量とすると、45dBがビーム電流の変化から必要なダイナミックレンジとなる。

ビームの位置

ビームの位置と出力の関係は次式を用いて求めた。

$$F(\delta, \theta, \phi) = \frac{R^2 - \delta^2}{R^2 + \delta^2 - 2R\delta \cos(\phi - \theta)}$$

ここで、各記号は、図-1に示すパラメータを表す。

精密に測定を行う領域は上下左右 $\pm 5\text{mm}$ を予定しているが、ビームが $\pm 7\text{mm}$ 程度は移動するものとして、上式から得られる出力範囲は、 $\pm 10\text{dB}$ となる。ビーム電流の変化分と合わせて全体で65dBのダイナミックレンジが必要となる⁽¹⁾。

3. 位置検出

各電極からの出力を V_1 から V_4 としたときに、ビー

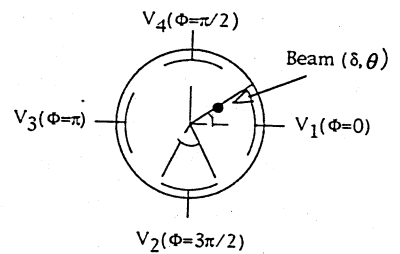
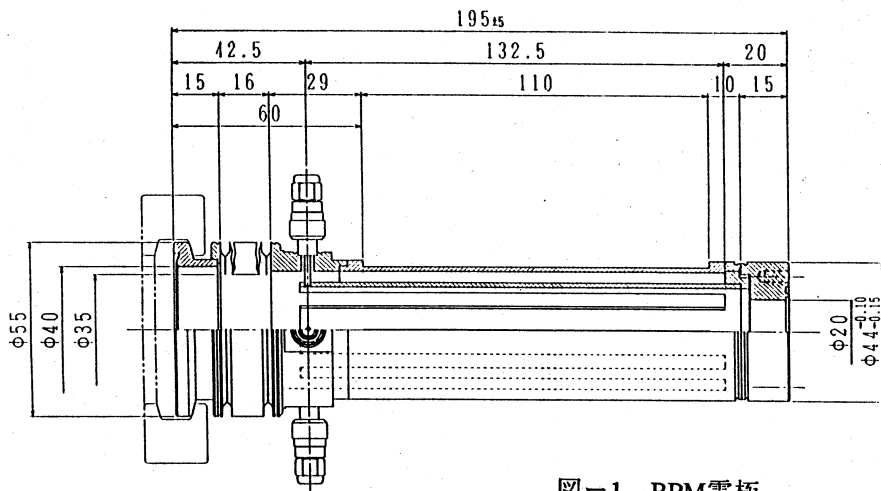


図-1 BPM電極

μの位置を次式で近似した。

$$x = S_b \frac{V_1 - V_3}{V_1 + V_3}$$

$$y = S_b \frac{V_2 - V_4}{V_2 + V_4}$$

この式から回路の必要とするsignal/noise(S/N)と直線性を見積ることとする。まず、出力電圧がΔVの変動を有するときに、ビーム位置の測定に与える影響は、 $V_1 = V_3 = V$ として、

$$\frac{V}{\Delta V} = \frac{S_b}{\sqrt{2}\Delta X}$$

ここで S_b に実測値である8.5mmを用いると、1.6%の電圧変動が0.1mmのΔXを与える。従って回路としてはS/Nの比を100:1程度に押さえる必要がある。直線性についても同様の議論から1%を必要とする。ただし、今回のBPMシステムでは、各信号をデジタル値として読み込むシステムを構築するので直線性については多少の補正を行うことも検討している。

組み込むBPM電極は、必要とする10mmx10mm内において次のように校正を行った。まず、それぞれ対向した電極の出力電圧から次式のように差と和の比を求める。

$$x = \frac{V_1 - V_3}{V_1 + V_3}$$

$$y = \frac{V_2 - V_4}{V_2 + V_4}$$

テストベンチで細いワイヤでビームを模擬し、

各BPM電極について精密架台で正確に必要な区間内を移動してビーム位置と出力の関係を次式を用いてマッピングしておく。縦方向も同様である。

$$X = A_0 + A_1x + A_2y + A_3x^2 + A_4xy + A_5y^2 + A_6x^3 + A_7x^2y + A_8xy^2 + A_9y^3$$

4. 電子回路

さて、上述のダイナミックレンジとS/N、直線性を得ることのできる回路を検討する。一般にこのような回路においては狭帯域回路と速いパルスを直接扱う高帯域の回路が考えられるが、今迄のところ狭帯域回路の検討を進めてきた。

回路のブロック図を図-2に示す。この回路はKEKのARからトリスタンのMRへのビーム伝送ラインの位置モニタとして用いられた回路と基本的に同じである⁽²⁾。

電極からの出力パルスの周波数スペクトルは、

$$A_f \propto \sin\left(\frac{\pi f}{2f_0}\right) \quad \text{ここで、} f_0 = \frac{c}{4l} \text{である。}$$

電極長 l は130mmであるので、576MHzまでは周波数が高いほど周波数成分が大きい、ケーブルによる損失も高くなる。結局回路のコストや回路が使用される場所でのノイズの周波数成分の測定から中心周波数を選定した。主要なパラメータは以下のとおりである。

中心周波数：120MHz

バンド幅：3.2MHz

入力レンジ：High, Middle, Lowの3レンジ

各レンジのダイナミックレンジ：34dB

全体のダイナミックレンジ：65dB

さて、ここで入力電圧について述べる。フィル

ターのバンド幅と電極のトランスファーインピーダンスから計算されるフィルター後の出力は、 $17\text{mV}/\ln C$ であるが、ケーブルによる減衰、および場合によっては減衰器を信号入り口に取付けることも考慮し、図-3に示すように最大ビーム電流である陽電子発生用の電子ビームで -18dBm (28mV)と見積り、各レンジの入力レベルを決めた。

バンドパスフィルター(BPF)を通過したパルスは、バースト状のパルスとなる。アンプ(P/A, Amp.)通過後にパルスは二系統に分けられ、一つはそのままミキサーに、他の一つはリミッティングアンプリファイア(L/A)を通過後にミキサーに加えられる。L/Aは入力パワーに関係なく一定の出力となるが、位相については保存する。ミキサーの出力は両者の位相差を遅延ケーブル(Delay L)で調整し、正のパルスで最大になるようにする。

特性

さてこのようにして製作した回路の特性を実験室で測定した。入出力特性を図-4に示す。各ポイントの値は平均値であり、入力を一定としたと

きの出力の安定性は、各レンジ共最大入力から -30dB までは要求される安定性である1%を保持している。一方、回路のリニアリティはレンジによって3%から10%であり、理想曲線とのずれを計算機内で補正する必要があることを示している。

5. まとめ

BPM電極と組み合わせ、計算機で読み込むことのできる形で電子回路の試作ができた。高帯域の回路も試作を始めており、両者の比較検討を行う予定である。これらの回路で一番大切なことは、実際のノイズの厳しい環境で安定に動作することであり、詳細な特性測定は本年の9月以降に行う予定である。

参考文献

- (1)A. Lazos et al. Proc. 1994 Linac Conference Tsukuba Japan
- (2)T. Ieiri et al. KEK Report 93-2 April 1993

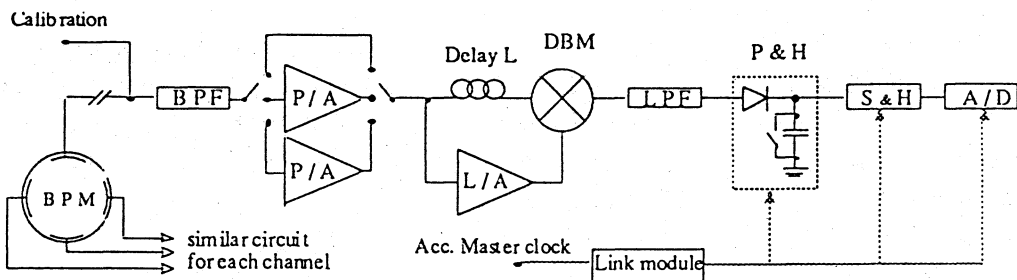


図-2 電子回路のブロック図

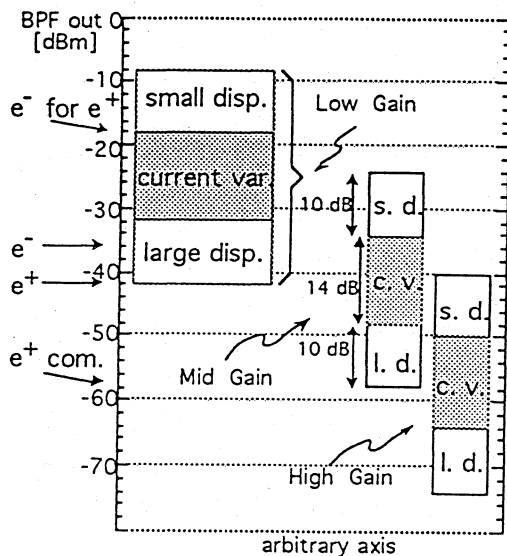


図-3 各レンジと入力パワーレベル

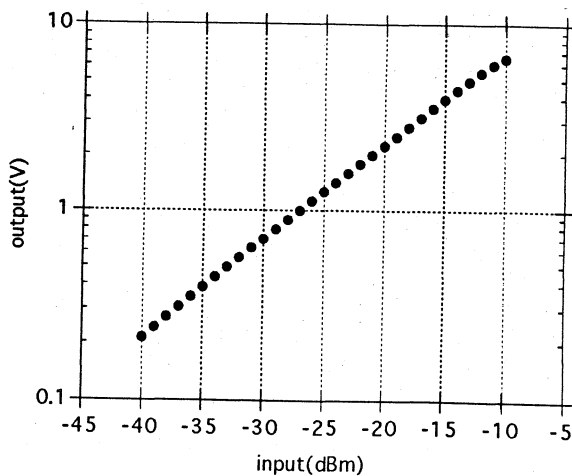


図-4 電子回路の入出力特性