

FAST RISE TIME BEAM CURRENT MONITOR

Kenichi YANAGIDA, Shinsuke SUZUKI, Hiroshi YOSHIKAWA, Toshihiko HORI,
Akihiko MIZUNO, Kenji TAMEZANE, Masahiko KODERA and Hideaki YOKOMIZO

JAERI-RIKEN SPring-8 Project Team

JAERI, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-11, JAPAN

ABSTRACT

Two wall current monitors were developed. One was developed to learn properties of monitor. With a knowledge of those properties, another was carefully designed. This paper describes properties between design parameters and performances; for example, nominal resistance and effective resistance, resonant frequency of the monitor and rise time, Q-factor and overshoot, core's characteristics and bandwidth. Later wall current monitor has a fast rise time of ~ 250 ps, an output of ~ 1.4 V/A (effective resistance of 1.4Ω), a linearity within 2.2% in the current range of 0-10A, and broad bandwidth (20kHz-2GHz).

立ち上がりの速いビーム電流モニタの開発

1.はじめに

SPring-8 リニアックでは、ストレージリングでのシングルバンチを達成するために、1nsビームを発生し加速する。ビームの平均尖頭電流値及びパルス幅（波形）を測定する事は、スタディのみならず通常運転時に於いても本質的な事である。モニタに要求される立ち上がり時間は300ps以下で、最大電流は ~ 20 Aである。更に、40nsビームを測定できるように十分なバンド幅（長いドループ時間）を持っている事が望ましい。一般的に壁電流モニタは立ち上がりが速いと報告されているが[1]、ドループ時間が短いなどの欠点があった。一方、アモルファスコアを用いた立ち上がり速い電流トランス（CT）も本研究会で発表されている[2]。SPring-8リニアックでは両タイプの電流モニタを試作し試験を行った。その中で、特に壁電流モニタの性能が良いため、そのデザイン及び試験結果等に就いて報告する。

2.壁電流モニタの構造

壁電流モニタは、セラミックインサージョンの両端を繋ぐエレマ抵抗体（東海高熱）、信号ピックアップ、ローディングコア及びシールドケースから成る（図1）。ピックアップを除くと、全エレメントはビーム軸に対し同軸構造となる。コアの種類及びサイズ等に応じて2種類の壁電流モニタ

が製作された。一つはR&D用として、平成4年に製作されたもので、フェライトコア（700L, トーキン）を用いる（W-7と記す）。もう一つは、実機型として、平成5年に電子入射部[3]と共に製作されたもので、ファインメットコア（FT-1M, 日立金属）を用いる（W-Fと記す）。ピックアップは壁電流によって抵抗体の両端に現れる電圧を検出するが、コアの1ターンコイルとして磁束変化による誘導起電力を検出しているとも言える。そのため、このモニタは壁電流モニタ及び電流トランス双方の特徴を有する。

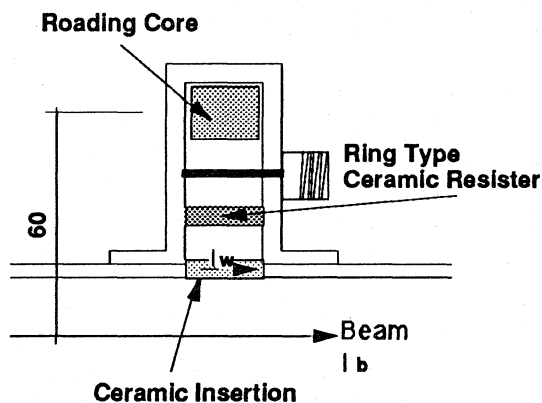


図1 壁電流モニタの構造図。

3.実効抵抗

図1に於いてビームによる電流を I_b 、壁電流を

Iw, 抵抗値をRn (抵抗体とピックアップの合成抵抗)、ピックアップに現れる電圧をVとする。磁束変化は電流の時間微分に比例する項と電流に比例 (透磁率の時間微分に比例) する項の和であるが、簡単のため電流に比例する項のみを考える (電流はステップ関数的とする)。コアに磁束を発生させる電流成分はIb+Iwであり、ピックアップに発生する電圧は適当な比例係数Aを用いると、 $-A(Ib+Iw)$ と表せる。即ちVは以下の関係を満たす;

$$V=IwRn=-A(Ib+Iw) \quad (1)$$

ここでIwを消去すると;

$$V=-ReIb \quad (2)$$

$$Re = \frac{Rn}{1 + \frac{Rn}{A}} \quad (3)$$

ここでReは実効抵抗値である。Aはコアの材質や大きさ等に依存する定数 (単位 Ω) であり、実験的に求まる。図2に W-7 の抵抗値及び実効抵抗値を示す。測定は、テーパ管及び内導体を用いた [4]。ビームの代わりにRFパワーまたはパルスを入力し、出力 (実効抵抗) をスペクトラムアナライザまたはオシロスコープで測定した。丸は測定値であり、実線は (3) 式のフィッティングである。フィッティングの結果、 $A \sim 18\Omega$ であった。(3) 式が有効であるのは、透磁率が時間的に一定に変化する間であり、透磁率が一定になると Re は急速に 0 に近づく。

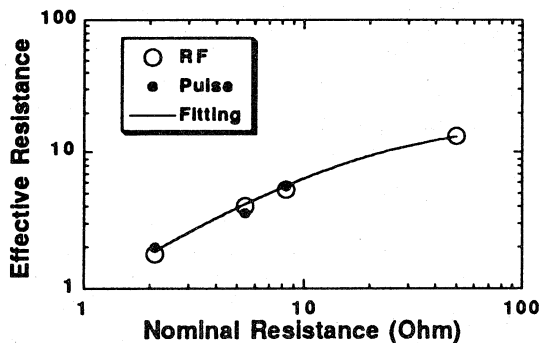


図2 W-7の抵抗値と実効抵抗値。

4.周波数特性

図3はスペクトラムアナライザを用いて測定した実効抵抗及びコアの比透磁率の周波数特性である。W-7 (以下 Rn 2.11 Ω) の実効抵抗 (フラットトップ) は $\sim 1.8\Omega$ であり、バンド幅 (-3dB以上) は0.9M-1.5GHzである。一方、W-F (以下 Rn 1.74 Ω) の実効抵抗は $\sim 1.4\Omega$ であり、バンド幅は20k-2GHzである。比透磁率は2MHz (W-7) 及び20kHz (W-F) 以上で $\frac{1}{f}$ で減衰する。コアが $\frac{1}{f}$ で減衰している部分がフラットトップに対応していることから、バンド幅はコアの特性により決定されることがわかる。

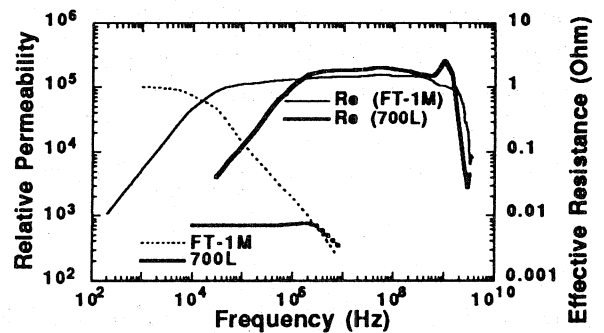


図3 W-7及びW-Fの実効抵抗の周波数特性と700L及びFT-1Mの比透磁率。

図4はW-7に於いて、コアがある場合とない場合の実効抵抗の周波数特性、及びその差 (コア挿入の増幅率)、そして700Lの比透磁率を示したものである。増幅率と比透磁率は似た特性を示すが、増幅率の値が約4分の1である。これは、コアを2つ割にした為、若干透磁率下がった為と、インダクタループ中のコア占有体積率が約3分の1であることにより、見かけ上の透磁率が下がった為である。基本的には比透磁率と増倍率は同じものと考えられる。

コアがない場合、壁電流モニタは空洞共振器と考えられる。W-7の共振周波数は1.2GHzであり、ちょうど図3のピーク部分にあたる。このピーク部分はフラットトップより $\sim 3\text{dB}$ 高く、出力波形にオーバーシュート (リングング) を生じた。これはQ値が相対的に高い為、緩制動の状態にある為である。Q値は $R\sqrt{\frac{C}{L}}$ に比例するので [5]、W-Fの設計ではセラミックインサージョンの幅を拡げCを小さくし、Qを小さくした。その結果、ピ

ーク部分が出来なくなり（図3）、更に共振周波数が2GHzと高くなった。これは共振周波数が $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ に比例するためである。

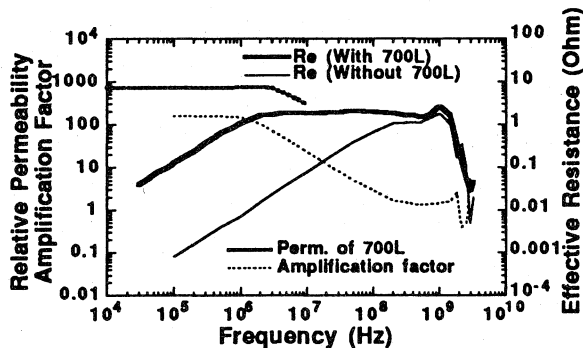


図4 W-7に於いて700Lがある場合とない場の実効抵抗の周波数特性及びその差、それと700Lの比透磁率。

バンド幅の高域カットオフ周波数(-3dB)は立ち上がり時間を表す。W-7及びW-Fの高域カットオフ周波数は1.5G及び2.0GHzである。これらは上記共振周波数にほぼ対応する。即ち、立ち上がり時間はモニタの共振周波数により決定される。

5. リニアリティ

ビーム電流が増大すると実効抵抗が下がる。これはコアの飽和によるものである。コアの飽和は電流時間積に依存する。ここでは最大パルス幅40nsビームの実験結果に就いて述べる。ビーム電流とリニアリティの関係に就いては現在解析中である。

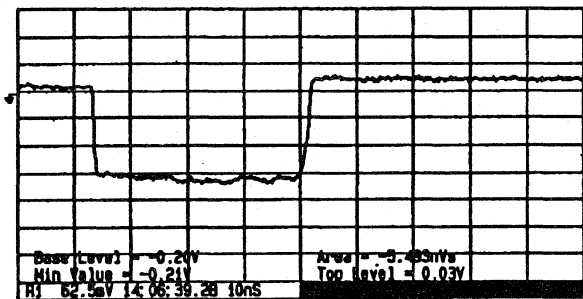


図5 40nsビームの波形。W-F出力。縦軸45mA/div. 横軸10ns/div.

リニアリティの測定は実ビームを用いて行われた（ビーム波形図5）。電子銃直後に長パルス用CT（ピアンソン2100：立上時間20ns）とW-Fをシ

リーズに置き、40nsビームのピーク出力電圧を観測した。ここで、長パルスCTにより得られるピーク電流が正しいと仮定して、実効抵抗をプロットしたのが図6である。リニアフィッティングを行った結果、ピーク電流10Aで実効抵抗は~2.2%の減少であった。

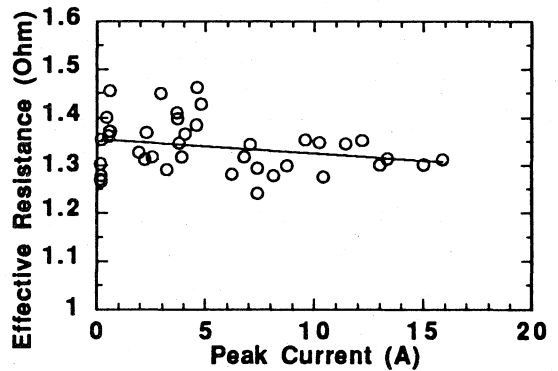


図6 W-Fの実効抵抗の低下。丸印は測定値、線はフィッティング。

6. まとめと議論

表1に壁電流モニタ種類と抵抗値及び測定結果一覧を示す。

表1 壁電流モニタの特性

	W-7	W-7	W-7	W-7	W-F
Core	700L	←	←	←	FT-1M
Nominal R (Ω)	2.11	5.44	8.33	50	1.74
Effective iPulse	1.99	3.54	5.6		1.5
R (Ω) iRF	1.77	3.97	5.29	13.3	1.39
Bandwidth (Hz)	900k-	2.5M-	4M-	—	20k-
	1.5G	1.5G	1.5G	—	2.0G
Droop (%/10ns)	6.4	15	21	—	0.29
Rise Time (ps)	300	350	400	600	<250
Resonant	1.2	←	←	←	2.0
Frequency (GHz)					
Reduction of	—	—	—	—	0.22
Effective R					%/A

SPring-8 リニアックの壁電流モニタはその構造上電流トランス的な振舞を示す。そのため、実効

抵抗は $\frac{1}{1+\frac{Rn}{A}}$ で低下する。また、バンド幅は主にコアの特性により決定される。リングング等の

オーバーシュートはモニタのQ値によって左右される。Qが高いと緩制動となり、リングングが生じ、低いと過制動となり、立ち上がりが遅くなる。

立ち上がりの速いモニタを製作するには、共振周波数を高くとればよいので、モニタの寸法をできるだけ小さくする。F-Wでは抵抗値1000M Ω 以上で幅2cmのセラミックインサクションを真空容器として用いている。もし同じものが抵抗値2 Ω で出来るならば、バンド幅20k-5GHzでリングングの小さい壁電流モニタも可能であると考え（図7）。

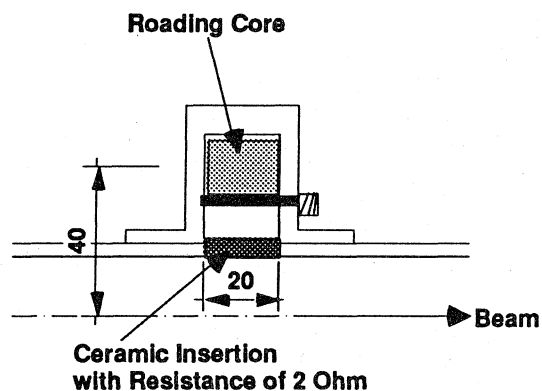


図7 セラミックインサクションと抵抗を共用化した壁電流モニタ。

謝辞

コアの周波数特性やその測定法等に就いて日立金属の中島晋氏から情報を頂いた。またセラミックインサクションと抵抗の共用化に就いて、SLACのF.J.Decker氏の意見を参考にした。ここに両氏に対し感謝の意を述べる。

参考文献

- [1] R.F.Koonz and R.H.Miller, "Nanosecond Electron Beam Generation and Instrumentation at SLAC." IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS-22, No.3, June 1975, pp. 1350-1353.
- [2] T.Kobayashi, et al., "アモルファスコアを用いたビーム電流モニタの開発 (IV)." Proc. of 17th Linear Acc. Meeting, Sendai, Sept. 1992, pp. 210-212.
- [3] S.Suzuki, et al., "Performance of Linac Preinjector for SPring-8." in Proc. of the 9th Symposium on Acc. Sci. and Tech.,Tuskuba, Aug. 1993, to be published.

- [4] K.Yanagida, et al., "Development of Beam Diagnostics for SPring-8 Linac." in Proc. of '92 Linear Acc. Conf., Ottawa, Ontario, Aug. 1992, pp. 665-667.
- [5] M.Puglisi, "Conventional RF Cavity Design." CERN 91-04, 1991, pp. 269-293.