



Résumé

Certaines opérations essentielles pour les collisionneurs linéaires, comme l'alignement du faisceau et l'asservissement de position, requièrent des moniteurs de position de faisceau (BPM) de hautes résolutions. Dans le cadre du programme européen CARE/SRF, un BPM à cavité rééminente est développé pour obtenir une résolution spatiale inférieure à 1µm et une résolution temporelle de 10 ns.

Ce BPM se compose, d'une cavité RF rééminente équipée de quatre antennes, d'une électronique analogique (traitement du signal) et d'une électronique numérique permettant d'effectuer la calibration du système et l'interface avec le système de commande. Il est conçu pour être implanté aussi bien à température ambiante que dans un environnement ultra-propre à température cryogénique.

Cavité Rééminente

- ❖ La cavité rééminente forme une ligne coaxiale court-circuitée (Cf contour rouge Figure 4). Elle est de faible dimension et sa symétrie cylindrique permet une grande précision mécanique.
- ❖ Conçue autour du tube faisceau, elle dispose de quatre antennes qui sont en contact avec la partie rééminente réalisant ainsi un fort sur-couplage (Figures 1 et 2).
- ❖ Passant à travers la cavité, le faisceau excite des champs électro-magnétiques. Le signal issu du mode dipolaire dépend de la position du faisceau contrairement au signal issu du mode monopolaire qui ne dépend que de son intensité. Deux antennes déterminent la position verticale du faisceau, les deux autres la position horizontale.

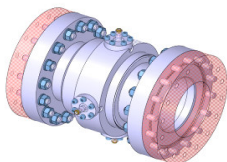


Figure 1: Vue 3D de la cavité rééminente

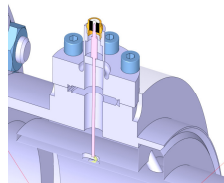


Figure 2: Vue d'une antenne en contact avec la partie rééminente

- ❖ Deux exemplaires, en fonctionnement sur TTF1 pendant plusieurs années, ont permis d'atteindre une résolution de 20µm à température ambiante.

- ❖ La figure 3 montre le BPM installé sur la machine Tesla Test Facility 2 (TTF2) située à DESY (Hambourg) et opérationnel à 2K.

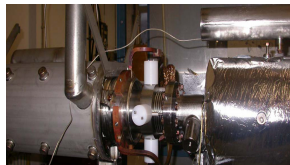


Figure 3: Photo du BPM situé dans le cryostat ACC1 sur TTF2

Afin d'améliorer la cavité rééminente existante sur TTF2, dont le schéma mécanique est montré Figure 4, les modifications (cf Figure 5) suivantes ont été effectuées:

- ❖ Les antennes ont été déplacées de 31.5 mm vers le fond de la cavité pour augmenter les Q externes et améliorer ainsi la séparation entre les signaux des modes monopolaire et dipolaire.
- ❖ La conception des antennes a été simplifiée, afin de répondre à la nécessité de conserver l'étanchéité après de nombreux chocs thermiques.
- ❖ La longueur totale de la cavité a été fixée à 170 mm afin de satisfaire les contraintes imposées par le cryomodule.
- ❖ Douze trous de diamètre 5 mm sont usinés à l'extrémité du cylindre coaxial pour faciliter le rinçage (cf Figure 5).

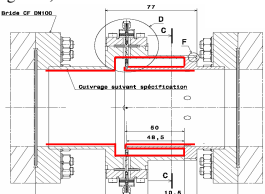


Figure 4: Schéma de la cavité installée sur TTF2

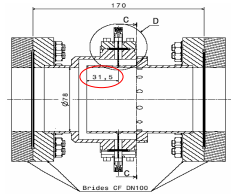


Figure 5: Schéma de la cavité modifiée

Caractéristiques RF

- ❖ Pour modéliser le comportement du système et déterminer les paramètres géométriques de la cavité, les caractéristiques RF de la cavité BPM, données ci-dessous (Figure 6), ont été simulées avec le code de calcul HFSS.

	Caractéristiques RF du BPM			
	F (GHz)	Q	R/Q à 5mm du centre de la cavité	R/Q à 10mm du centre de la cavité
Mode Monopolaire similaire au mode TM010	1.2497	22.95	12.87	12.89
Mode Dipolaire similaire au mode TM110	1.7154	50.96	0.27	1.15

Figure 6 : Caractéristiques RF de la cavité BPM rééminente

- ❖ Le choix des fréquences des modes résonants a été effectué en fonction des hybrides 180° disponibles dans le commerce.
- ❖ Tous les modes de fréquence supérieure à celle du mode TE₁₁ du tube faisceau (fc=2.25Ghz) sont atténués. Leur influence RF est, par conséquent, négligeable.
- ❖ La résolution temporelle vaut 9.5 ns et est obtenue par:

$$\tau = \frac{1}{\pi^2 BW} \quad \text{avec} \quad BW = \frac{f}{Q_{Lc}}$$

f₁₁₀: fréquence du mode dipolaire

Q_{L10}: Facteur de qualité en charge pour le mode dipolaire

Traitement du signal

- ❖ La Figure 7 illustre le traitement du signal du BPM. Une jonction hybride est connectée à chaque paire d'antennes opposées. Elle présente deux canaux: un pour la position du faisceau (canal Δ) et l'autre pour l'intensité (canal Σ). Le signal Δ est normalisé par le signal Σ.

La réjection des modes, monopolaire sur le canal Δ et dipolaire sur le canal Σ, s'effectue à 3 niveaux:

- par l'hybride 180° dont l'isolation peut être optimisée à 50 dB, avec des atténuateurs et déphaseurs, à la fréquence du mode dipolaire. (Sur la figure 8, nous pouvons constater qu'une isolation réaliste de 40 dB est suffisante).
- par le filtre passe bande qui limite aussi le bruit. La fréquence centrale du filtre sur le canal Δ est celle du mode dipolaire et sur le canal Σ celle du mode monopolaire.
- par la détection synchrone. Les signaux monopolaire et dipolaire doivent être amplifiés, afin d'accroître la performance du système.

Le signal de référence 9 MHz délivré par le système de commande, combiné avec des PLL, génère les signaux de l'oscillateur local (LO) pour les mélanger aux fréquences des modes monopolaire et dipolaire. Les déphaseurs, contrôlés par l'électronique numérique, ajustent ces signaux pour qu'ils soient en phase avec ceux venant de l'hybride.

- ❖ L'électronique numérique assure aussi l'échantillonnage, la calibration du système et la communication avec le système de commande.

- ❖ La figure 8 est une simulation, réalisée avec Mathcad, du modèle (cavité + traitement du signal). Elle montre une linéarité du comportement du rapport des tensions des signaux Δ et Σ à la sortie du système en fonction de la position du faisceau.

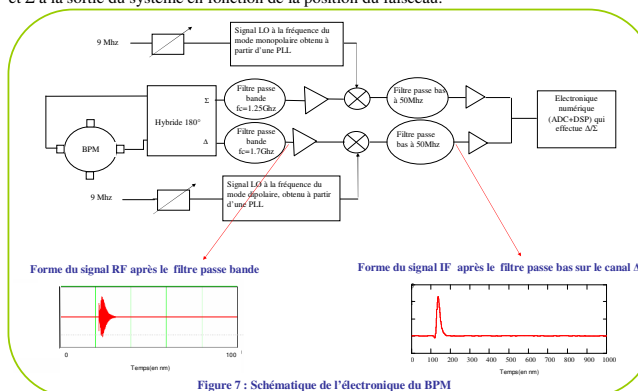


Figure 7 : Schématique de l'électronique du BPM

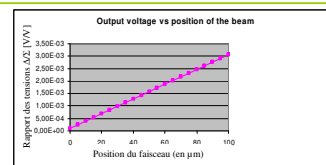


Figure 8 : Courbes de la tension de sortie Δ/Σ (après détection) à un instant d'échantillonnage en fonction de la position du faisceau

Conclusion

- ❖ La résolution temporelle est de 9.5ns. Le BPM permet donc d'échantillonner individuellement les paquets d'électrons dans les séquences prévues de 9MHz.

- ❖ La résolution visée est inférieure à 1µm (en prenant seulement en compte le bruit thermique).

- ❖ Le BPM peut être implanté à température ambiante mais aussi dans un environnement ultra-propre à température cryogénique.

- ❖ Début 2006, le prochain prototype sera utilisé avec le faisceau de TTF2 (à température ambiante). Les tests de fonctionnement seront effectués afin de confirmer les performances annoncées.

- ❖ Ce BPM est également candidat pour équiper les cryomodules du futur XFEL situé à DESY (Hambourg).