

UTILISATION DE LA BOUCLE EN HUIT ET DES PFW's PENDANT

L'ACCELERATION DES e^{\pm}

J.P. Riunaud

1. AMORTISSEMENT HORIZONTAL CREE PAR LA BOUCLE EN HUIT :

Un courant I_B dans la boucle en 8 crée une différence de champ $\Delta B = B_F - B_D$ entre les secteurs F et D de l'aimant du PS telle que¹⁾ :

$$\frac{\Delta B}{B} = 1.583 \times 10^{-3} \frac{I_B}{p} \quad \left(\frac{I_B}{p} \text{ en A/GeV/c} \right)$$

Par ailleurs T. Risselada²⁾ a montré qu'un tel déséquilibre de champ provoquait une variation d'amortissement horizontal donnée par :

$$\Delta J_X = 10.7 \frac{\Delta B}{B}$$

La variation d'amortissement que peut apporter la boucle en 8 est donc :

$$\Delta J_X = 1.69 \times 10^{-2} \frac{I_B}{p} \quad (1)$$

2. CONSEQUENCES SUR LE POINT DE FONCTIONNEMENT ET CORRECTIONS AVEC LES PFW's

Un tel courant I_B dans la boucle en 8 provoque des variations de Q données par¹⁾ :

$$\begin{aligned} \Delta Q_H &= - .0257 \frac{I_B}{p} \\ \Delta Q_V &= .0267 \frac{I_B}{p} \end{aligned} \quad (2)$$

Cependant ces variations de Q peuvent être compensées en alimentant les enroulements polaires, car des courants I_F et I_D dans les PFW's donnent des variations de Q, évaluées dans la réf. 1 :

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_H \\ \Delta Q_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.131 & -0.079 \\ -0.079 & 0.131 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_F/p \\ I_D/p \end{bmatrix} \quad (3)$$

Si l'on désire compenser les variations de Q provoquées par la boucle en 8 en les ramenant à des valeurs ΔQ_{Ho} et ΔQ_{Vo} tolérées, il faudra des courants I_F et I_D dans les PFW's, déduits de (3) et (2) :

$$\begin{bmatrix} I_F/p \\ I_D/p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11.996 & 7.234 \\ 7.234 & 11.996 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} .0257 \frac{I_B}{p} + \Delta Q_{Ho} \\ -.0267 \frac{I_B}{p} + \Delta Q_{Vo} \end{bmatrix} \quad (4)$$

3. CONSEQUENCES SUR LES CHROMATICITES ET EFFET GLOBAL

De tels courants I_F et I_D provoquent des variations de chromaticités données dans la réf. 1) :

$$\begin{bmatrix} \Delta\xi_H \\ \Delta\xi_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.48 & 0.84 \\ -1.04 & 1.18 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_F/p \\ I_D/p \end{bmatrix} \quad (5)$$

Des expressions (5), (4) et (1) on peut déduire les courants I_F et I_D nécessaires pour compenser partiellement les variations de Q provoquées par la boucle en 8, lorsque celle-ci produit une variation d'amortissement horizontal ΔJ_X et lorsque des variations ΔQ_{Ho} et ΔQ_{Vo} sont tolérées.

Les variations de chromaticités correspondantes peuvent aussi être déduites, soit :

$$\begin{bmatrix} I_F/p \\ I_D/p \\ \Delta\xi_H \\ \Delta\xi_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.814 & 11.996 & 7.234 \\ -7.951 & 7.234 & 11.996 \\ 3.406 & 23.831 & 20.783 \\ 2.296 & -21.012 & -21.679 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta J_X \\ \Delta Q_{Ho} \\ \Delta Q_{Vo} \end{bmatrix}$$

4. EXEMPLES

	ΔJ_X	ΔQ_{Ho}	ΔQ_{Vo}	$\Delta\xi_H$	$\Delta\xi_V$	(A) .6 GeV			(A) 3.5 GeV		
						I_B	I_F	I_D	I_B	I_F	I_D
1.	.45	0	0	1.6	1.1	17	1.9	-2.2	97	11.2	-13.1
2.	.40	0	-.012	1.2	1.2	15	1.7	-2.1	86	9.7	-12.1
3.	.60	0	-.015	1.8	1.7	22	2.5	-3.1	130	14.6	-18.0
4.	.67	0	-.02	2	2	25	2.8	-3.5	145	16.3	-20.2

Dans tous ces exemples les variations de chromaticité obtenues sont > 1 . Comme la chromaticité naturelle de la machine est de -1 dans les deux plans, ces variations permettent de rendre la chromaticité de la machine > 0 et par conséquent d'éviter le déclenchement d'instabilités Head-Tail qui

apparaîtraient avec la chromaticité naturelle (voir Annexe). De plus, la valeur absolue de la chromaticité dans les 2 plans reste ≤ 1 , donc semblable à celle de la machine nue.

Dans l'exemple (1), les variations de Q produites par la boucle en 8 sont entièrement compensées ($\Delta Q_{HO} = \Delta Q_{VO} = 0$) par les courants I_F et I_D , mais la variation de chromaticité horizontale est beaucoup plus grande que la variation de chromaticité verticale.

Dans les exemples (2) à (4), les variations de chromaticité sont identiques dans les deux plans, au prix d'une variation de Q dans le plan vertical.

5. PRECISION REQUISE DES ALIMENTATIONS

5.1 Pour les ΔQ

Une erreur de courant sur I_F et I_D produit une erreur sur les ΔQ . Le cas le plus défavorable est atteint, à 600 MeV, lorsque $\delta I_F = -\delta I_D$.

Dans ce cas

$$\delta \Delta Q_{1H,V} \# \left| .35 \delta I_{F,D} \right|$$

Une erreur sur le courant I_B produit une erreur supplémentaire sur les ΔQ . A 600 MeV :

$$\delta \Delta Q_{2H,V} \# .043 \left| \delta I_B \right|$$

Au total, une imprécision sur I_F , I_D et I_B donne une imprécision sur les ΔQ telle que :

$$\delta \Delta Q_{H,V} \# .35 \left| \delta I_{F,D} \right| + .043 \left| \delta I_B \right|$$

Par exemple un δI_B de 150 mA et un $\delta I_{F,D}$ de 10 mA produisent une imprécision de .01 sur les ΔQ .

5.2 Pour les $\Delta\xi$

Une erreur de courant sur I_F et I_D produit une erreur sur les $\Delta\xi$, qui dans le cas le plus défavorable à 600 MeV, peut être évaluée à :

$$\delta\Delta\xi_{H,V} \# \left| 4 \Delta I_{F,D} \right|$$

Par exemple une imprécision de 10 mA sur I_F et I_D produit une imprécision de .04 sur les $\Delta\xi$.

6. CONCLUSIONS

Une variation d'amortissement horizontal de l'ordre de $\Delta J_X = .5$ peut être obtenue en alimentant la boucle en 8 pendant les cycles e^\pm .

Les compensations des ΔQ correspondants, à l'aide des PFW's, peuvent par la même occasion rendre les chromaticités > 0 et permettre d'éviter le déclenchement d'instabilités "Head-Tail" des e^\pm , sans l'utilisation de sextupôles à basse énergie.

Cependant ceci implique l'utilisation des alimentations des PFW's et de la boucle en 8 avec des courants relativement bas, pendant les cycles e^\pm :

de 1.5 A à 20 A pour les PFW's

de 15 A à 150 A pour la boucle en 8.

La précision en courant requise pour les alimentations PFW's et boucle en 8 en fonction des ΔQ tolérés est donnée sur la figure 1.

La précision relative de ces mêmes alimentations, dans le cas où $\Delta J_X = .4$ est donnée sur la figure 2.

La sensibilité et le "ripple" des alimentations actuelles³⁾ ne pouvant autoriser une telle utilisation, il serait souhaitable d'étudier soit des modifications de ces alimentations, soit l'utilisation d'autres alimentations, commutées pendant les cycles e^\pm , pour pouvoir bénéficier de cette variation d'amortissement tout en éliminant le problème des instabilités "Head-Tail".

REFERENCES

1. R. Gouiran, "Enroulements polaires de l'aimant du CPS", CERN/PS/SM 76-1.
2. T. Risselada, "Calcul de J_E et $dJ_E/d\delta$ ", LEP Note 488.
3. G. Héritier, communication personnelle.
4. J. Gareyte, "The Head-Tail instability in the CPS with acceleration at 9.5 MHz, 200 MHz and in the SPS", PS/DL/Note 76-10.

Distribution:

Liste PS-LEP
G. Héritier

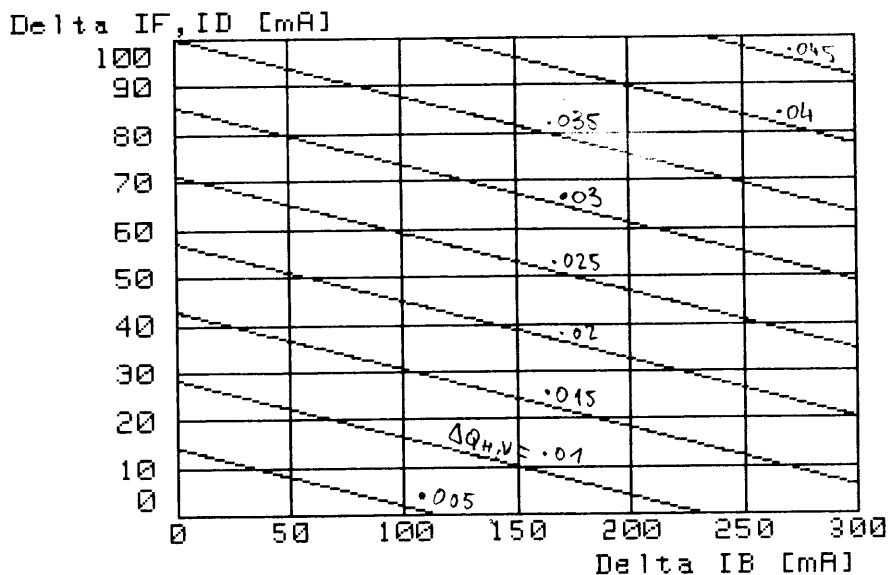


Figure 1. Précision en courant des alimentations PFW's et boucle en 8 limitant l'imprécision sur Q aux valeurs $\Delta Q_{H,V}$ ($p = 600 \text{ MeV/c}$).

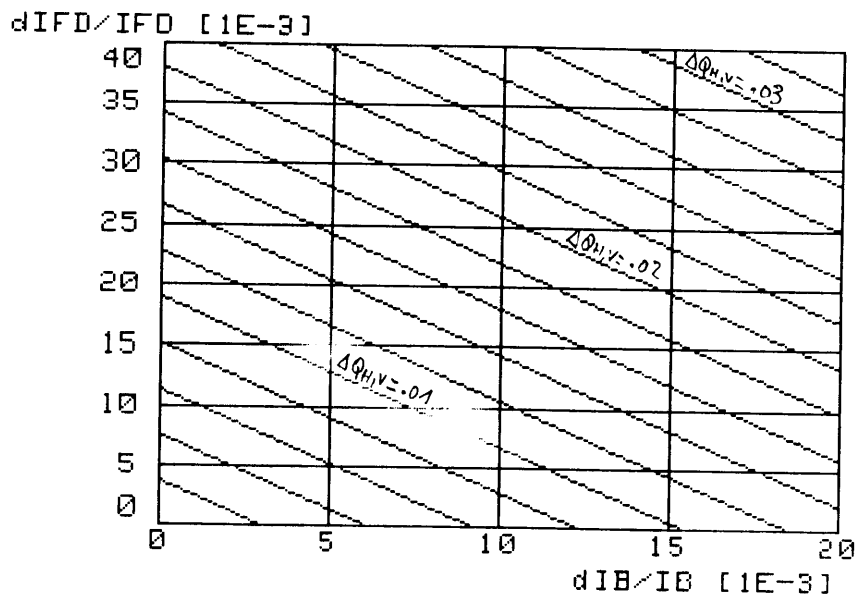


Figure 2. Précision relative des alimentations PFW's et boucle en 8, limitant l'imprécision sur Q aux valeurs $\Delta Q_{H,V}$ pour $\Delta J_X = .4$ ($p = 600 \text{ MeV/c}$).

ANNEXE

L'instabilité "Head-Tail" dans le PS avec les e^{\pm}

Pour ces particules, l'injection et l'accélération dans le PS ont lieu au dessus de l'énergie de transition. Les chromaticités naturelles de la machine étant négatives dans les 2 plans transversaux (~ -1) l'instabilité "Head-Tail" va pouvoir se développer à toute énergie.

Essayons d'estimer le temps de croissance de cette instabilité, à partir des calculs déjà effectués par J. Gareyte il y a quelques années ⁴⁾.

Ce rapport donne pour le mode $m = 0$ et pour une intensité protons de 10^{13} p accélérée à 200 MHz soit environ $2,5 \cdot 10^{10}$ protons par paquet de 1.2 ns de long :

$$\frac{1}{\tau} \sim 1400 \text{ pour } \xi = -1$$

à l'énergie de transition, soit $\gamma \sim 6.8$.

L'intensité de $2,5 \cdot 10^{10}$ et la longueur de 1.2 ns par paquet sont très proches des conditions prévues pour les e^{\pm} .

D'autre part, $\frac{1}{\tau}$ est proportionnel à $\frac{e\beta}{\gamma m_0}$ soit à $\frac{ev}{E}$: en négligeant la variation de v entre p et e^{\pm} on en déduit que $\frac{1}{\tau}$ va varier comme $\frac{1}{E}$ en première approximation.

Soit :

$$\frac{1}{\tau} \sim 1400 \text{ pour } E \sim 6.5$$

$$\frac{1}{\tau} \sim 1400 \frac{6.5}{0.6} \text{ à l'injection } e^+ e^-$$

soit un temps de croissance prévisible pour les e^{\pm} à l'injection dans le PS de l'ordre de 65 μs avec la chromaticité naturelle de la machine.

Le remède préconisé est celui déjà employé dans le PS avec les protons au-dessus de l'énergie de transition : travailler avec les chromaticités positives dans les 2 plans durant tout le cycle e^{\pm} .