

MESURE DE L'OUVERTURE DE LA CHAMBRE A VIDE
DU PS AVEC EMPLOI DE DIPOLES

G.P. Benincasa

Introduction

La chambre à vide du PS a une section transversale qui se rapproche à une ellipse avec des axes principaux d'environ 15 et 7 cm. Cette section est constante dans la plupart de l'anneau avec des exceptions pour certains endroits où sont placées des installations particulières (fast Kicker, inflecteur d'injection, éjections, etc.).

Une telle ouverture de la chambre à vide (que nous supposons, par simplicité, partout elliptique et constante) nous pouvons l'appeler "ouverture physique" et la définir seulement avec les dimensions des axes principaux de l'ellipse. Mais en réalité on constate que les protons qui circulent dans le synchrotron ne peuvent pas occuper en toute condition tous les points constituant cette ouverture physique et ils sont perdus parfois beaucoup avant de toucher les parois de la chambre à vide.

Les raisons d'un tel phénomène peuvent être plusieurs. La plus simple est qu'il y ait une obstruction quelconque localisée dans un endroit dans la chambre à vide (par exemple une station pick-up déplacée, un objet oublié pendant un démontage). Une autre raison peut être la déformation du champ magnétique principal à une certaine distance du centre de la chambre à vide, ce qui comporte la présence de bandes de resonance interdites pour les protons (exemple : les opérations à très haute énergie réduisent l'ouverture utile radiale de la chambre à vide à ~5 cm seulement!)

Les exemples considérés et d'autres encore qu'on pourrait faire, nous amènent à déduire que pour chaque opération (type de l'opération et valeurs des paramètres de la machine) et pour chaque position azimuthale dans l'enceinte à vide, il existe sur le plan transversal une surface lieu des points qui peuvent être occupés par les protons circulant dans la machine : à l'extérieur de cette surface il n'existent pas de protons.

Cette surface qui doit être évidemment plus petite ou égale à l'ouverture physique, nous appelons "ouverture réelle" de la chambre à vide.

Dans ce travail nous étudions un système pour mesurer les dimensions radiales et verticales de cette surface et nous appellerons ces dimensions "ouverture radiale" et "ouverture verticale".

Moyens simples pour mesurer l'ouverture de la chambre

La façon la plus simple de mesurer l'ouverture radiale (la plus intéressante dans les opérations du PS) de la chambre à vide est celle de déplacer le faisceau de protons et de mesurer la distance parcourue par celui-ci avant d'être perdu. En pratique, cette opération peut être réalisée en deux manières différentes :

- a) on règle tout d'abord la position radiale moyenne des protons avec une perturbation jusqu'à ce que l'on se trouve au centre de la chambre à vide. Ensuite on fait spiraler le faisceau une fois vers l'intérieur et une fois vers l'extérieur en réglant la pente du palier du champ magnétique, de façon à obtenir un ΔB qu'on peut mesurer entre le moment où le faisceau se trouve au centre de la chambre (pour simplicité on peut faire coïncider cet instant avec le début du palier) et le moment où le faisceau lui-même est perdu. On peut obtenir le déplacement total ΔR des protons en se servant de la grandeur "momentum compaction" α

$$\Delta R \approx \frac{\alpha R}{B} (\Delta B_1 - \Delta B_2)$$

où les deux ΔB ont un signe opposé.

b) D'une façon encore plus simple, on peut balayer la chambre à vide avec le faisceau en mettant une perturbation et on peut lire directement les valeurs extrêmes des position rejointes par les protons sur l'indicateur continu de la position radiale. A l'état actuel des choses cette méthode ne donne pas beaucoup de confiance parce que le système continu de lecture de la position radiale n'est pas linéaire¹⁾ et sa non linéarité croît au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre de la chambre à vide.

On pourrait apporter des corrections à cette lecture ou on peut tout simplement déduire la position du faisceau en lisant la valeur marquée sur le potentiomètre de commande du générateur de perturbation radiale et comparer cette lecture avec la calibration qu'a été faite employant des cibles²⁾

Les deux méthodes examinées ont le grand avantage de la simplicité et de la rapidité d'exécution mais, par contre, ne donnent aucune indication sur les variations de l'ouverture de la chambre à vide le long de l'anneau. En effet, on peut savoir facilement quelle est l'ouverture minimum mais on ne peut pas savoir où se trouve ce minimum ni s'il y en a plusieurs.

La méthode étudiée

Avec cette méthode nous employons des dipôles magnétiques qui excitent des oscillations bétatroniques; nous calculons pour chaque section droite du PS quel déplacement maximum peuvent atteindre les protons, dans la section considérée, avant d'être perdus.

Avec un choix approprié des dipôles et de leurs combinaisons, on peut obtenir des oscillations qui ont des maxima dans toutes les 100 sections droites du PS et de cette façon on peut mesurer l'ouverture pour toute la longueur de la chambre à vide.

Dans le PS on dispose des dipôles haute énergie suivantes (le numéro correspond à la section droite où se trouve le dipôle) :

- dipôles radiaux : 5, 15, 25, 35, 45, 54, 65, 85, 95
- dipôles verticaux : 4, 14, 24, 34, 44, 84, 94, 98.

Comme l'on voit, à l'exception du dipôle 54, ils sont tous placés en position focalisante, c'est-à-dire qu'ils ont toujours le maximum d'effet de déflexion sur les protons.

Ces dipôles ont tous la même force que vaut

$$\int B dl = 18,65 \text{ Gauss.m pour chaque ampère d'excitation.}$$

En général, l'angle donné par un dipôle magnétique à un faisceau de protons est obtenu par la relation ³⁾ :

$$\alpha(\text{rad}) = \frac{e}{m_0 c} \cdot \frac{1}{\eta} \int B dl \quad (1)$$

où

- e = charge élémentaire
- m₀ = masse à repos du proton
- c = vitesse de la lumière dans le vide
- η = βγ = paramètres de la vitesse.

Cette relation, pour les lois de la dynamique des protons circulant dans un synchrotron ⁴⁾ avec des simples remplacements on peut le mettre sous la forme

$$\alpha(\text{rad}) = 2\pi \frac{\int B dl}{B_0 l_0} \quad (2)$$

B₀ = flux magnétique principal dans le PS

l₀ = longueur totale des secteurs magnétiques = 440 m.

Si nous voulons, pour simplifier les calculs qui suivent, exprimer les déflexions en unités normalisées (mm équivalents), il faut se servir du paramètre β, les valeurs duquel dans le cas du PS sont ⁵⁾ :

$$\beta_F(\text{focalisant}) = 21,7 \text{ mm/mr}$$

$$\beta_D(\text{défocalisant}) = 12 \text{ mm/mr}$$

On a alors :

$$D(\text{mm eq}) = 10^3 \sqrt{\beta_F \cdot \beta_L} \cdot \alpha = 10^3 \cdot 2\pi \sqrt{\beta_F \beta_L} \cdot \frac{\sqrt{Bd}l}{B_0 l_0} \quad (3)$$

avec β_L (β locale) égale à β_F ou à β_D selon la section droite considérée.

On obtient pour les deux types de sections :

$$D(\text{foc}) = 10^3 \cdot 2\pi \cdot 21,7 \cdot 18,65 I / B_0 \cdot 440 \quad (4)$$

$$D(\text{def}) = 10^3 \cdot 2\pi \cdot 16 \cdot 18,65 I / B_0 \cdot 440 \quad (5)$$

où I est le courant dans le dipole (en Ampères) et B_0 est exprimé en Gauss.

Si un dipole est excité, il produit une oscillation bétatronique qui, pour des raisons de symétrie, aura un maximum dans la section droite diamétralement opposée à celle où se trouve le dipole même.

On peut alors représenter les points de l'oscillation bétatronique avec la loi

$$X = A \cos Q\sigma \quad (6)$$

où A est l'amplitude de l'oscillation, Q le nombre des périodes bétatroniques par tour de la machine, σ ($|\sigma| \leq \pi$) l'angle existant entre la section droite diamétralement opposée à celle du dipole et celle où l'on veut mesurer le déplacement X sur l'orbite.

Si on fixe une référence pour la mesure des angles (fig. 1), par exemple la section droite 100, on peut écrire la relation précédente sous la forme :

$$X = A \cos Q (\pi - |\varphi - \psi|) \quad (7)$$

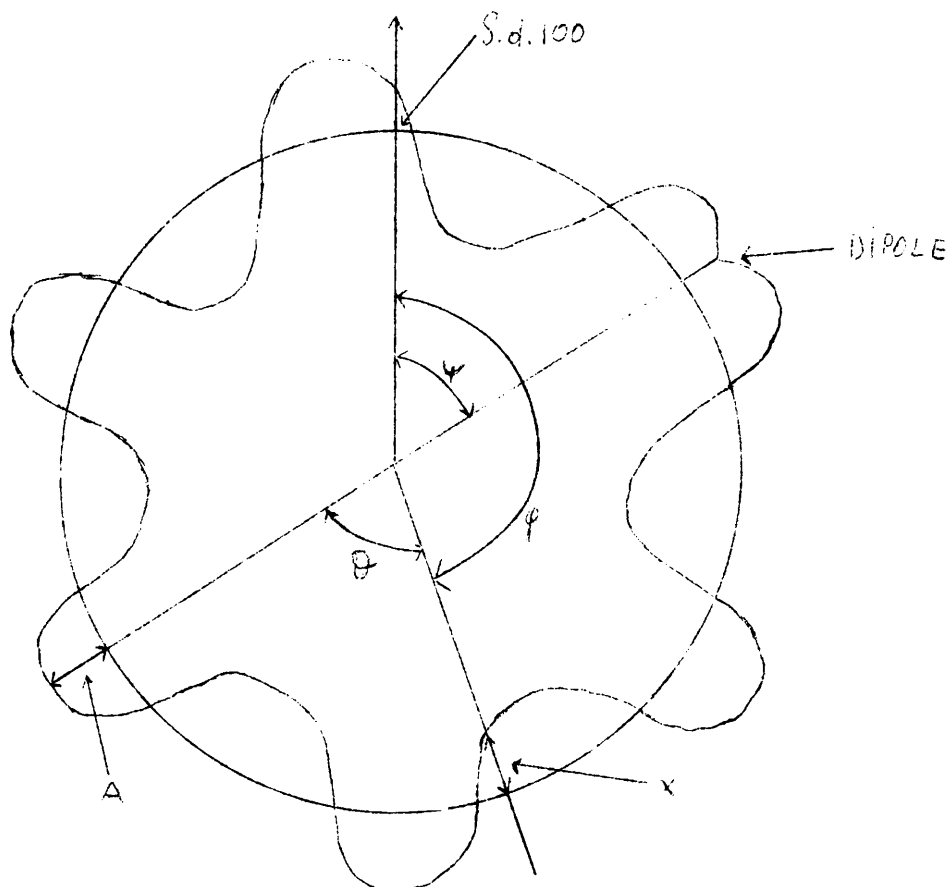


Fig. 1

Étant donné que nous intéressent seulement les valeurs des angles correspondants aux sections droites du PS (valeurs discrètes), remplaçons les angles ψ et φ , dans l'ordre, avec les numéros N_ψ et N_φ qui varient de 1 à 100.

$$\psi = 2\pi \frac{N_\psi}{100} \qquad \varphi = 2\pi \frac{N_\varphi}{100}$$

on a alors

$$X = A \cos \frac{2\pi}{100} Q (50 - |N_\varphi - N_\psi|) \qquad (8)$$

Déterminons maintenant l'amplitude A de l'oscillation bétatronique. Nous pouvons utiliser la représentation graphique du mouvement dans le plan (X, D) ³⁾, voir fig. 2.

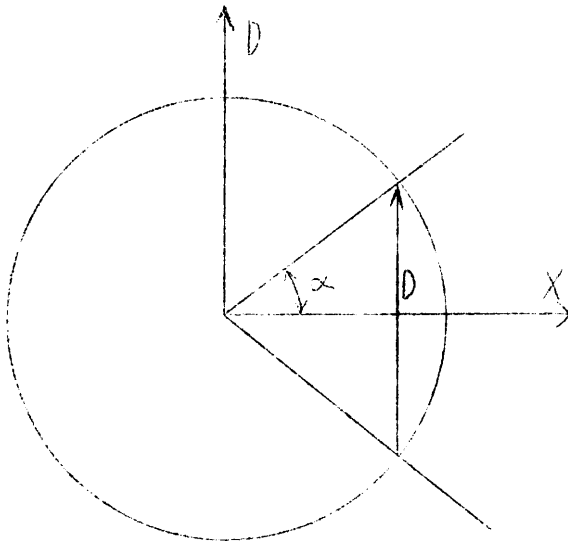


Fig. 2

Le rayon de ce cercle représente évidemment l'amplitude A que nous cherchons; on a alors :

$$\alpha = \pi (Q - 6)$$

$$A = \frac{D}{2 \sin \alpha} = \frac{D}{2 \sin \pi(Q-6)} = \frac{D}{2 \sin \pi Q} \quad (9)$$

donc le déplacement X dans la section $N\phi$, dû à une déflexion donnée aux protons en section $N\psi$, on peut l'écrire

$$X = \frac{D}{2 \sin \pi Q} \cos \frac{2\pi}{100} Q (50 - |N\phi - N\psi|) \quad (10)$$

et, par exemple, dans le cas particulier que nous étudions, pour une déflexion dans une section focalisante on a

$$X = \frac{2,87 \cdot 10^3 \cdot I}{B_0 \sin \pi Q} \cos \frac{2\pi}{100} Q (50 - |N\phi - N\psi|) \quad (11)$$

Les déplacements obtenus étant en unités normalisées, il faut passer en millimètres vrais : dans les sections focalisantes les valeurs restent les mêmes, dans celles défocalisantes, il faut diviser par

$$\sqrt{\beta_F / \beta_D} = 1,35$$

Si plusieurs dipôles sont pulsés en même temps, le déplacement du faisceau de protons dans une section droite sera donné par la somme des déplacements produits par chaque dipôle :

$$X = \frac{1}{2 \sin \pi Q} \sum_{\psi} D_{\psi} \cos \frac{2\pi}{100} Q(50 - |N_{\psi} - N_{\psi}|) \quad (12)$$

La somme étant faite pour tous les dipôles placés dans les sections ψ , chacun produisant une déflexion D_{ψ} .

Le problème est maintenant le choix des dipôles à employer et leur combinaison.

Nous avons préféré une solution avec l'emploi seulement de couples de dipôles en série pour plusieurs raisons :

- a) si on emploie un seul dipôle l'amplitude d'une oscillation bêta-tronique résulte, pour un courant donné, beaucoup plus petite de celle qu'on peut obtenir avec deux dipôles, et souvent elle est insuffisante à faire perdre les protons. Par exemple, avec un de 6,30 et 40 A à 21 GeV/c le déplacement maximum est seulement de 14 mm;
- b) avec un seul dipôle on obtient une oscillation bêta-tronique qui présente, avec un Q de $\sim 6,25$, des maxima en 13 sections droites (totales des maxima positives et négatives), tandis qu'avec deux dipôles on peut avoir plus que 25 sections droites où il y a des maxima; cela signifie que, dans une période de temps donnée, on peut explorer l'ouverture de beaucoup plus de sections droites avec des couples de dipôles qu'avec de dipôles simples;
- c) avec deux dipôles les positions des maxima de l'oscillation sont moins dépendantes des variations du Q (voir après).

Dans notre étude, nous n'avons pas considéré l'emploi de combinaisons avec trois au plus dipôles : il serait intéressant de faire cela dans l'avenir. Examinons maintenant l'influence du Q sur le choix de dipôles.

L'expression (10) nous montre que ce paramètre intervient dans la détermination de l'amplitude A de l'oscillation et dans la position azimuthale des maxima tout le long de la chambre à vide.

De ces deux effets, le deuxième est très important pour faire un choix des dipôles qui soit, dans certaines limites, indépendante du Q de la machine.

Pour examiner le premier effet, considérons un seul dipôle et admettons que la Q varie entre 6,20 et 6,30, qui représentent les limites normales des variations. Nous trouvons :

$$Q = 6,20 \longrightarrow A = \frac{D}{2 \sin \pi Q} = \frac{D}{1,18}$$
$$Q = 6,30 \longrightarrow A = \frac{D}{1,62}$$

c'est-à-dire que l'amplitude se réduit d'environ 35% pour une telle variation du Q .

Pour examiner le deuxième effet, c'est-à-dire les variations de la position azimuthale des maxima, référons nous à la (6); les amplitudes A seront caractérisées par $\cos \Theta = \pm 1$, ce qui simplifie $Q\Theta = n\pi$, avec $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

L'effet en étude sera plus fort pour le maximum qui se trouve le plus proche de la position du dipôle (voir fig. 1); dans les limites choisies pour Q ce maximum correspond au nombre de multiplicité $n = 6$. Nous avons alors :

$$Q = 6,20 \longrightarrow \Theta = \frac{n\pi}{Q} = \frac{6\pi}{6,20} \approx 174^{\circ}$$
$$Q = 6,30 \longrightarrow \Theta = \frac{6\pi}{6,30} = 172^{\circ} \qquad \Delta\Theta = 2^{\circ}$$

La circonférence du PS étant d'environ 628 m, un angle de 2° correspond à environ 3,50 m. Cela simplifie que si on choisit les dipôles pour $Q = 6,25$, une variation de $\Delta Q = \pm 0,05$ fait bouger le maximum, dans la section droite qui se trouve dans les pires conditions, d'environ 1,75 m, ce qui n'est pas trop pour la précision de nos mesures; mais avec deux dipôles on peut faire encore mieux.

Si on emploie deux dipôles, le déplacement maximum des amplitudes sera plus petit de 1,75 m : pour comprendre cela, regardons la fig. 3, où sont indiqués deux dipôles, D_1 et D_2 , et les sections droites à eux diamétralement opposées, 1 et 2.

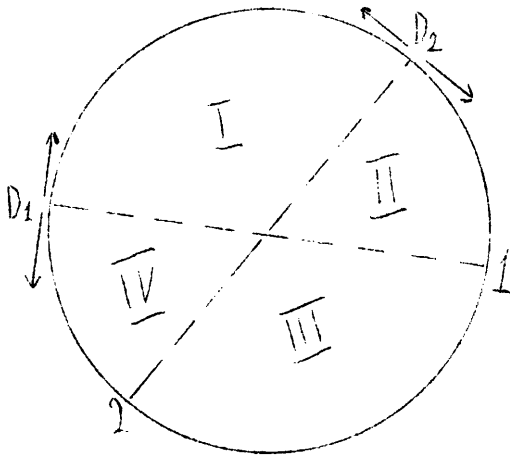


Fig. 3

Une variation positive $+\Delta Q$ produit un déplacement des maxima de l'orbite qui aura les directions indiquées par les flèches (pour $-\Delta Q$ il suffit de changer ces directions) : la chambre à vide reste, par rapport à ce phénomène, divisée en 4 régions. Les I et III où les déplacements ont directions opposées, et les II et IV où ils ont la même direction.

Ces dernières sont plus intéressantes surtout dans les sections droites proches aux dipôles : l'oscillation due au dipôle plus proche se déplace, l'autre se déplace mais dans la même direction et l'oscillation somme se déplacera d'une quantité intermédiaire entre les deux, inférieure donc à 1,75 m.

Après ces considérations, nous avons choisi les couples de dipôles sur les tables qui donnent leurs effets dans toutes les sections droites ⁶⁾ du PS pour un Q de 6,25.

Dans ce choix, nous avons suivi les deux critères suivantes :

- 1) Le couple de dipôles doit donner le nombre plus élevé de maxima pour ne pas être obligé à employer un trop grand nombre de couples. A tel sujet, il faut dire que nous avons considéré comme "maximum" un déplacement compris entre 80% et 100% de celui que le couple de dipôles choisi peut réellement produire. Cela est une nécessité provenant du fait que, le PS étant une machine à gradient alterné, il est impossible d'obtenir des maxima absolues dans les sections défocalisantes. Dans les résultats finales, on verra que les ouvertures de la chambre que nous déterminerons seront toujours plus petites dans les sections droites défocalisantes.
- 2) Le deuxième critère consiste dans un choix des couples de dipôles qui permet, pendant une série de mesures, d'obtenir dans chaque section droite ou moins pour trois fois un maximum d'oscillation.

Avec un exemple on peut s'exprimer mieux : supposons nous avons une obstruction dans la section droite 45 et nous employons, pour le détecteur, le couple de dipôles A et B, qui donnent les maxima en 7, 19, 45, 85, etc., l'oscillation étant limitée en 45, son amplitude apparaît la même aussi en 7, 19, 85, etc., et nous ne pouvons pas savoir où se trouve l'obstruction. Mais si nous employons maintenant aussi le couple C et D qui donnent des maxima en 7, 19, 42, 85, etc., nous verrons que cette fois l'amplitude sera plus grande et nous déduirons alors que l'obstruction doit être en 45. Avec ces critères nous avons choisi les couples de dipôles suivants :

- mesure de l'ouverture radiale : +15 +65; +35 +85; +45 +95;
+25 +95; +35 +65; +5 +35; +15 +45; +15 +85; +65 +95
- mesure de l'ouverture verticale : +4 -14; +44 +94; +24 -34;
+4 -94; +14 -24; +24 -98; +34 -44; +34 +84; +84 -94; +84 +98;
+4 -98; +14 +44.

Chaque couple doit être employé aussi avec les polarités renversées (ex. +4 -14 et -4 +14) pour obtenir les déplacements speculars par rapport au centre de la chambre à vide. Il est très important de suivre l'ordre donné dans l'emploi des couples de dipôles parce qu'ils ont été choisis en fonction de leur importance selon les critères énoncés avant. Si on a suivi l'ordre donné on peut même s'arrêter avant d'avoir complété la liste si on n'en a pas le temps (les mesures seront faites évidemment pendant une période de Machine Development) : les résultats seront encore bons mais un peu moins précises.

Exécution des mesures

Une fois choisie l'énergie à laquelle on veut mesurer l'ouverture de la chambre à vide, il faut régler le champ magnétique principal de façon à obtenir un palier de 200 - 300 ns à cette énergie. Ensuite, on s'assurera, avec une lecture de la position radiale, que le faisceau soit au centre de la chambre à vide : s'il n'y est pas, on le ramène avec une perturbation. Après cela, il faut faire une mesure précise du Q de la machine (Q_R ou Q_V selon le cas) à l'énergie choisie.

On peut alors connecter le premier couple de dipôles de la liste (par exemple le +15 +65 pour les mesures radiales) à une machine tournante, par exemple la B1. Il faut régler le timing de cette machine de façon que la montée du courant se fait sur le palier du champ principal.

On peut régler tout cela facilement sur un oscilloscope où on a sélectionné comme traces le champ magnétique principal, le courant dans la machine B1 et un transformateur de courant pour les protons circulants. On augmente le courant dans les dipôles jusqu'à ce que l'on voit apparaître une perte sur le transfo : cela indique que l'oscillation a atteint une telle amplitude que les protons commencent être perdus quelque part le long de la chambre à vide.

On lit sur le NLS la valeur du courant dans le B1 et on passe tout de suite à la mesure suivante qui se fait avec le même couple de dipôles, mais en renversant les polarités (-15 -65).

On lit le courant qui produit la même perte que la mesure précédente et on passe au couple suivante, etc. Pendant les mesures d'ouverture radiale à haute énergie, il peut arriver que le courant maximum qu'on peut mettre dans le dipole ne suffit pas à produire une perte du faisceau parce que l'amplitude correspondante de l'oscillation n'arrive pas à la valeur nécessaire.

Dans ce cas il faut déplacer le faisceau une fois vers l'intérieur et une fois vers l'extérieur avec une perturbation. Alors pour chaque couple de dipôles et pour chaque combinaison des polarités il faut faire deux mesures de courant et aussi marquer les deux positions radiales du faisceau.

Comme nous avons déjà dit avant, pour connaître la position radiale on peut la lire sur l'indicateur (en apportant des corrections) ou on peut se servir de la calibration du générateur de perturbations radiales. Dans ce dernier cas, nous rappelons ²⁾ que, sur une large plage autour du centre de la chambre, une position du potentiomètre correspond à 3 mm de déplacement radial.

Remarque: Si on veut employer cette calibration, il faut s'assurer que les stations pick-up qui donnent au "beam control" les renseignements sur la position des protons soient la 78 et la 87 en parallèle, étant donné que la calibration a été faite en ces conditions.

En résumé, pour effectuer une mesure d'ouverture de chambre il faut connaître :

- a) l'énergie au moment de la mesure
- b) le nombre Q d'oscillations bétatroniques par tour de machine
- c) le courant I qu'on a dû mettre dans les dipôles pour produire les pertes voulues
- d) si nécessaire, les déplacements radiaux du faisceau obtenus avec perturbations.

Le temps nécessaire pour effectuer toutes les mesures d'une seule détermination d'ouverture est, si l'expérience a été bien préparée, inférieur à une heure et demie.

Pour avoir les résultats finals, on introduit les valeurs mesurées dans un programme par l'ordinateur CDC 6400 ou 6600.

Le programme pour l'ordinateur

Celui que nous employons (Table I) est une version modifiée d'un programme fait par W. Renner.

Avec ce programme on peut employer, pour mesurer l'ouverture de la chambre à vide, soit des dipôles simples, soit des couples de dipôles, soit enfin des groupements de trois dipôles à la fois.

La logique du programme est, en brève, la suivante:

- a) pour chaque combinaison des dipôles et pour chacune des polarités choisies, il fait le calcul de l'amplitude A comme définie par la (9);
- b) ensuite il mesure, en unités normalisées, quelle est l'amplitude de l'oscillation bétatronique dans toutes les sections droites du PS numérotées de 0 à 99. Cette opération est faite pour toutes les combinaisons des dipôles en toutes les polarités des courants;
- c) s'il est nécessaire, on ajoute à chaque amplitude ainsi obtenue la valeur correspondant au déplacement du faisceau obtenu avec la perturbation. En même temps les valeurs en unités normalisées sont transformées en unités vraies;
- d) enfin le programme choisit, pour chaque section droite, la valeur maximum parmi les amplitudes trouvées positives et négatives (vers l'extérieur et vers l'intérieur de l'anneau) et les imprime.

Pour introduire les résultats d'une mesure dans le programme, il faut remplir des cartes de "DATA" (attention au "FORMAT"):

- 1) Dans la première carte on donne le Q , l'énergie sous forme de champ magnétique et le plane dans lequel on a fait les mesures : si on est dans le plan vertical il faut mettre une lettre V ; si on est dans le plan radial on peut mettre n'importe quelle lettre, mais il est commode d'employer le R .

2) Chacune des cartes suivantes est remplie pour une seule combinaison de dipôles. La première chiffre qu'il faut marquer est le numéro des dipôles employés (1, 2 ou 3). Deuxièmement il faut indiquer les positions de ces dipôles (ex. 5, 15). Ensuite il faut écrire les courants correspondants à toutes les combinaisons des polarités dans l'ordre indiqué ci-après :

a) si on emploie trois dipôles

I)	+ + +
II)	+ + -
III)	+ - +
IV)	+ - -
V)	- + +
VI)	- + -
VII)	- - +
VIII)	- - -

b) si on emploie deux dipôles

I)	+ +
II)	+ -
III)	- +
IV)	- -

c) si on emploie un seul dipôle

I)	+
II)	-

Les courants doivent être marqués sans signe ou avec la signe +.

Sur la même carte il faut donner, enfin, la valeur du déplacement du faisceau dû à la perturbation pour les mesures radiales à haute énergie.

On peut marquer directement la valeur du potentiomètre du générateur de perturbation, ou on peut marquer la lecture faite sur l'affichage des positions radiales (en mm corrigés) divisée par 3.

Les indications de position radiale doivent être effectuées par les signes + ou - selon que la perturbation était "outside" ou "inside."

Sur les cartes, en correspondance à des valeurs qu'on n'a pas employées, on peut marquer zéro ou rien du tout.

A la fin des cartes DATA et avant la carte END OF FILE, il faut mettre deux cartes blanches.

Exemples de mesures

Comme exemples de l'emploi de ce programme, nous avons fait deux mesures d'ouverture de la chambre à vide, l'une dans le plan vertical, l'autre dans le plan radial.

Dans l'examen des résultats il faut se rappeler qu'il est tout à fait normal que dans les sections droites défocalisantes (les s.d. paires dans le plan radial, et les s.d. impaires dans le plan vertical) l'ouverture paraître toujours d'environ 20 - 25% plus petite que dans les s.d. focalisantes.

a) Ouverture verticale (Table 2)

$$Q_V = 6,260$$

$$B_0 = 9160 \text{ Gauss correspondant à } 19,2 \text{ GeV/c.}$$

L'ouverture moyenne résulte d'environ 56 mm dans les sections droites focalisantes, 46 mm dans les autres, avec un écartement entre sections du même type d' $\sim \pm 10\%$.

Les valeurs des courants dans les dipôles que nous introduisons dans le programme, correspondent à des déformations d'orbite qui produisent une perte de faisceau de quelques pourcents; mais les formules que nous avons employées correspondent à des déplacements du centre du faisceau. Cela simplifie que, pour avoir des résultats plus corrects, il faut ajouter les dimensions du faisceau (10 - 12 mm). On obtient comme ça une ouverture de 66 - 68 mm : pour l'énergie choisie l'ouverture verticale réelle coïncide sensiblement avec l'ouverture physique (~ 70 mm).

b) Ouverture radiale (table III)

$$Q_R = 6,27$$

$$B_0 = 13.130 \text{ Gauss correspondant à } 27,2 \text{ GeV/c.}$$

Avant de commencer, nous avons mesuré l'ouverture minimum de la chambre en déplaçant le faisceau vers l'extérieur et vers l'intérieur, avec une perturbation radiale; on a trouvé, dans l'ordre +19,4 mm et -32,7 mm, ce qui fait un total de 52,1 mm.

Si on regarde le table III, on constate que l'ouverture varie dans des limites assez larges tout le long de la chambre à vide, mais elle présente un minimum en section droite 12 : là on trouve +21,55 g et -29,970 pour un total de 51,529 très proche à la valeur trouvée avant.

Avant de terminer cet exposé, il est utile de dire quelques mots sur l'influence de l'orbite fermée sur mes mesures.

En fait, les déformations produites par les dipôles se surposent à une orbite fermée déjà existante.

Le résultat est que si par exemple, dans une certaine section droite l'orbite fermée fait une bosse de 1 cm positive et si l'ouverture dans la même section est de 5 cm sur l'output de programme nous ne trouvons pas une répartition symétrique entre positive et négative de +2,5 et -2,5, mais nous trouverons +1,5 et -3,5.

Si on fait le raisonnement à l'invers, on peut dire que si nous trouvons dans une section droite une ouverture de +1,5 et -3,5 on peut tirer la conclusion que probablement (en effet il peut bien se passer que les ouvertures positives et négatives soient différentes) il y a là une orbite fermée de +1 cm.

Avec ce critère nous avons tracé la fig. 4 avec les valeurs des ouvertures radiales à 27,2 GeV/c de la table III. Il en résulte une courbe qui peut représenter l'orbite fermée.

Conclusions

La méthode étudiée donne de bons résultats à haute énergie où son emploi est facile et ne prend pas trop de temps. Par contre, aux énergies plus faibles les imprécisions deviennent de plus en plus grandes : ces imprécisions sont dues surtout en fait que les dimensions du faisceau sont trop importantes ainsi que les déformations de l'orbite fermée. A notre avis cette méthode est utile non seulement comme moyen pour détecter des obstructions dans le PS mais aussi comme instrument de contrôle périodique de l'état général de la machine; on pourrait, par exemple, contrôler de temps en temps si les ouvertures à certaines énergies sont restées constantes et, si non, investiguer pourquoi.

Ce contrôle pourrait être particulièrement important dans les démarrages après un shut-down, quand certaines conditions et paramètres du PS peuvent avoir changé les ouvertures de la chambre à vide.

En terminant ce travail, nous voulons remercier plusieurs personnes qui nous ont aidés et conseillés, principalement A. Colombo, qui avait débuté cette étude et P. Lefèvre.

G. Benincasa

Distribution

Y. Baconnier
O. Barbalat
A. Colombo, NP
D. Dekkers
L. Henny
P. Lefèvre
J.H.B. Madsen
G. Rosset
E.i.C.'s
MCR Opérateurs

REFERENCES

- 1) P. Lefèvre "Quelques remarques à propos du nouveau système de mesure de position radiale" MPS/DL Note 68-30
- 2) G. Benincasa "Déplacements du faisceau" MPS/Int.CO 68-3
- 3) Y. Baconnier "Contribution à l'étude de l'orbite fermée" CERN 65-35
- 4) J.J. Livingood "Principles of cyclic particle accelerators", Chapter I.
- 5) H.G. Hereward "Effect of quadrupoles in the CPS: Methods of calculation" MPC/Int.DL 63-9
- 6) L. Henny Communication personnelle

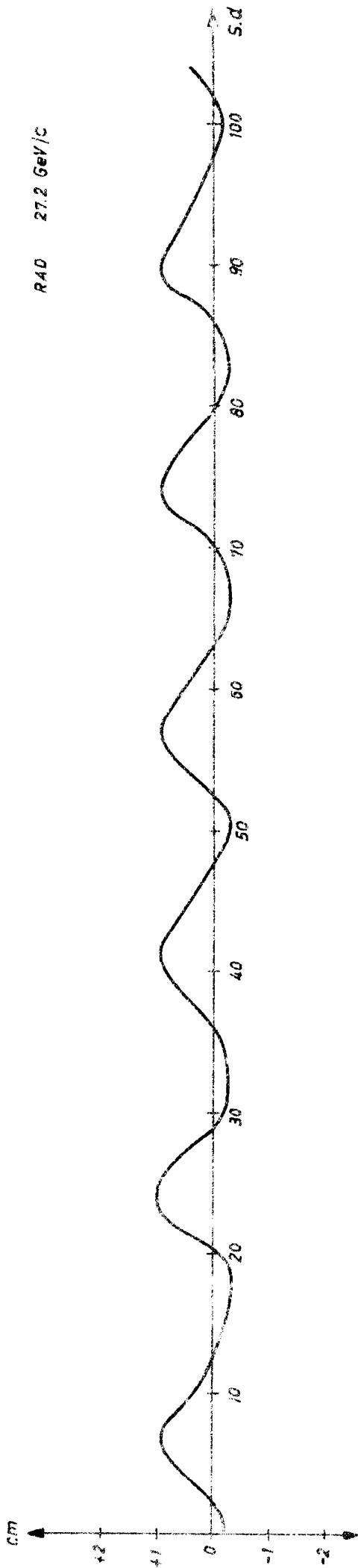


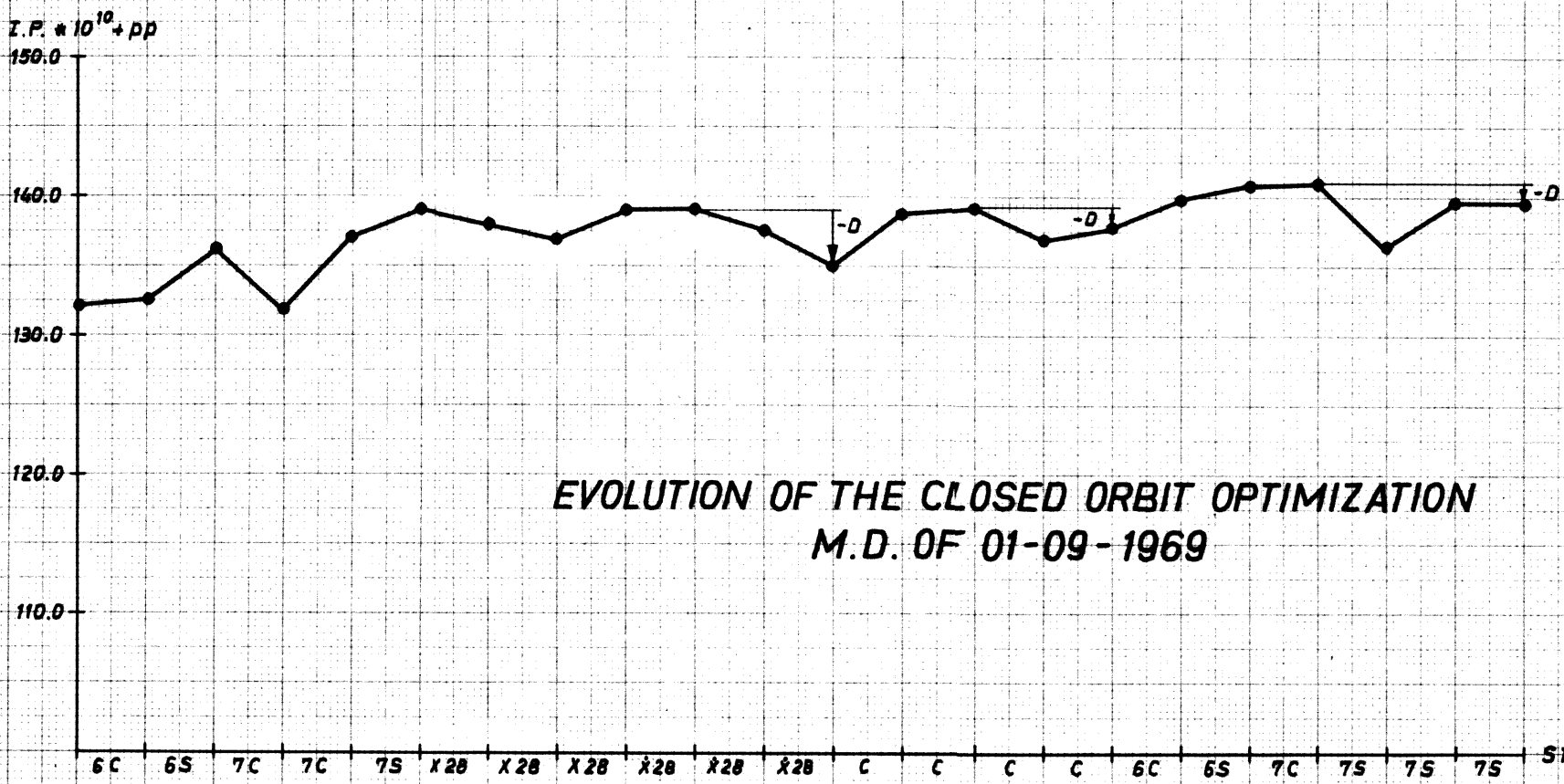
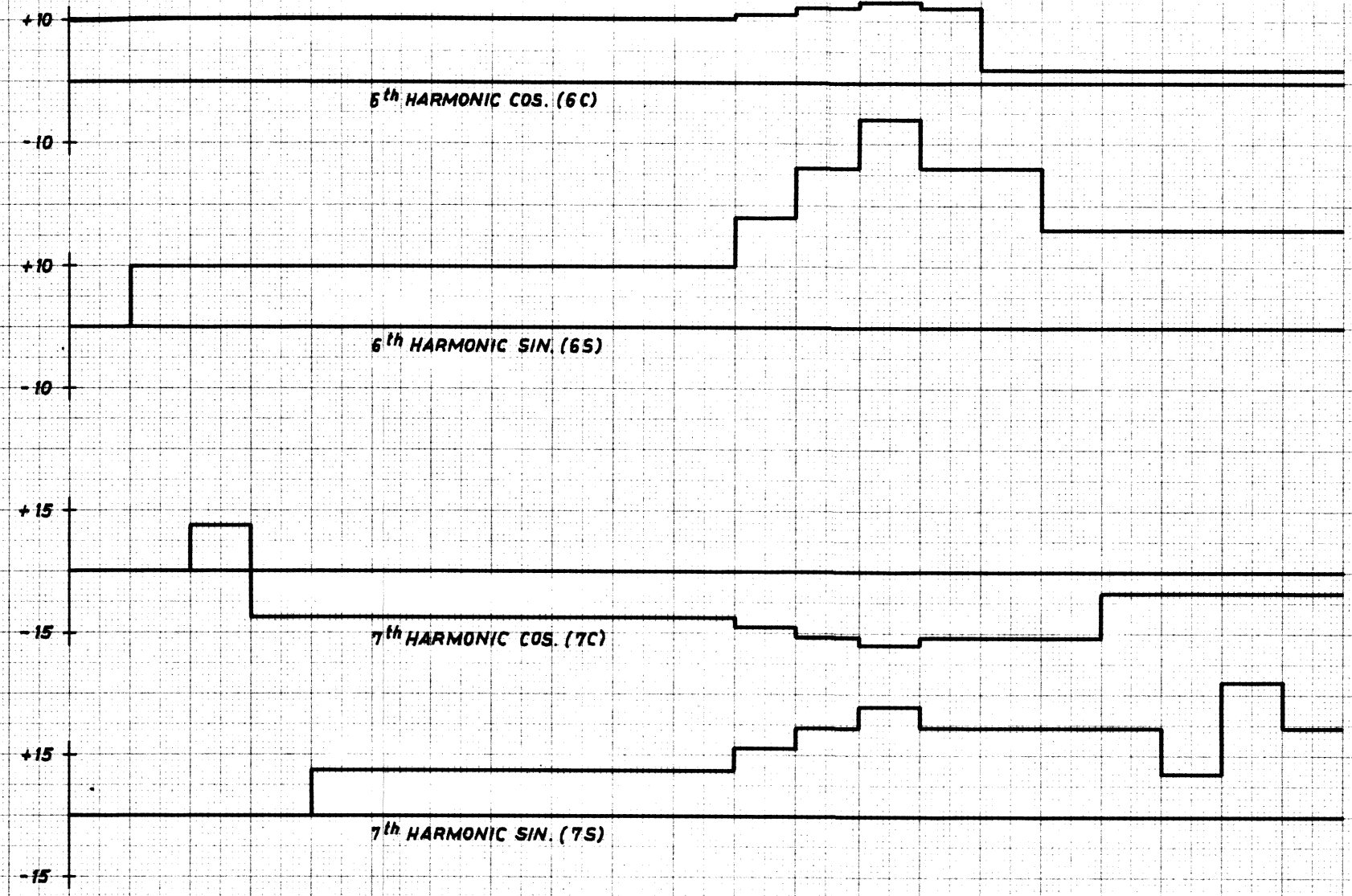
Fig. 4

```

PROGRAM RINGAP (INPUT,OUTPUT)
C
C   MEASURE APERTURE OF PS RING
C
000003   DIMENSION KINUM(500),KIPOS(500,3),CUR(8),COST(500,8),IND(3),POT
1(500),AMAX(100,2),CORR(500)
000003   DATA(V=14V)
C
C   INPUT
C
000003   1 READ 103,Q,R10,PLANE
000015   5 PRINT 106,Q,R10,PLANE,(I,I=1,3)
000034   PI = 3.141592
000036   ALFA=(1,E+3*2,*PI*18.65)/(R10*440.*2.*SIN(PI*Q))
000051   I=0
000052   10 I=I+1
000054   READ 107,KINUM(I),(KIPOS(I,K),K=1,3),(CUR(J),J=1,8),POT(I)
000075   IF(KINUM(I).EQ.0) GO TO 20
000077   PRINT 108,KINUM(I),(KIPOS(I,K),K=1,3),(CUR(J),J=1,8),POT(I)
000120   KE=KINUM(I)
000122   KE=2*KE
000126   DO 15 K=1,KE
000130   15 COST(I,K)=ALFA*CUR(K)
000141   GO TO 10
000141   20 IE=I-1
C
C   AMPLITUDE IN MM EQ
C
000143   DO30 N=0,99
000145   AMAX(N,1)=0
000146   AMAX(N,2)=0
000147   DO 30 I=1,IE
000151   KE=KINUM(I)
000153   K1E=1
000154   IF(KE.GT.2) K1E=2
000157   K2E=1
000160   IF(KE.GT.1) K2E=2
000163   DO 30 K1=1,K1E
000165   IND(1)=K1
000166   DO 30 K2=1,K2E
000170   IND(2)=K2
000171   DO 30 K3=1,2
000173   IND(3)=K3
000174   AM=0
000175   DO 25 K=1,KE
000176   K400=400(KIPOS(I,K),2)
000205   BETA=21.7
000206   IF(K400.EQ.0.AND.PLANE.NE.V) BETA=16.
000217   IF(K400.NE.0.AND.PLANE.EQ.V) BETA=16.
000231   K=K3-KE+K
000234   H=H+50-KIPOS(I,K)
000241   IF(H.GE.170)M=M+100
000244   IF(H.LT.0)M=-H
000246   IF(M.GT.57.AND.M.LT.100)M=100-M
000257   25 AM=AM+(-1.)*(IND(KK)+1)*BETA*COS((2.*PI/100.)*Q*FLOAT(M))
000303   II=4*(K1-1)+2*(K2-1)+K3
000313   AM=COST(I,II)*AM
C
C   OUTPUT IN TRUE MM
C
000317   FAC=1.
000321   CORR(I)=POT(I)*0.03
000323   H400=400(N,?)
000327   IF(H400.EQ.0.AND.PLANE.NE.V) FAC=1./1.35
000340   IF(H400.NE.0.AND.PLANE.EQ.V) FAC=1./1.35
C
000352   A1=AM*FAC+CORR(I)
000355   IF(AM.GT.0.AND.AM.GT.AMAX(N,1)) AMAX(N,1)=AM
000367   IF(AM.LT.0.AND.AM.LT.AMAX(N,2)) AMAX(N,2)=AM
000400   30 CONTINUE
000414   PRINT 109,(N,AMAX(N,1),AMAX(N,2),N=0,99)
000430   105 FORMAT(2F10.5,A1)
000430   106 FORMAT('1'///42X'MEASURE APERTURE OF PS RING'///'INPUT'
2'///10'5X'R10'5X'PLANE'15X'2F10.3,4XA1'///6X
3'KINUM'2X'KI1'2X'KI2'2X'KI3'8(7X'I'1,1X),4X'POT'//)
000430   107 FORMAT(4I5,8F5.2,F5.1)
000430   108 FORMAT(5X4I5,3X8F10.3,F8.1)
000430   109 FORMAT('///'OUTPUT'///45X'N'9X'APERT1'9X'APERT2'//'(I46,2F15.3))
000430   END

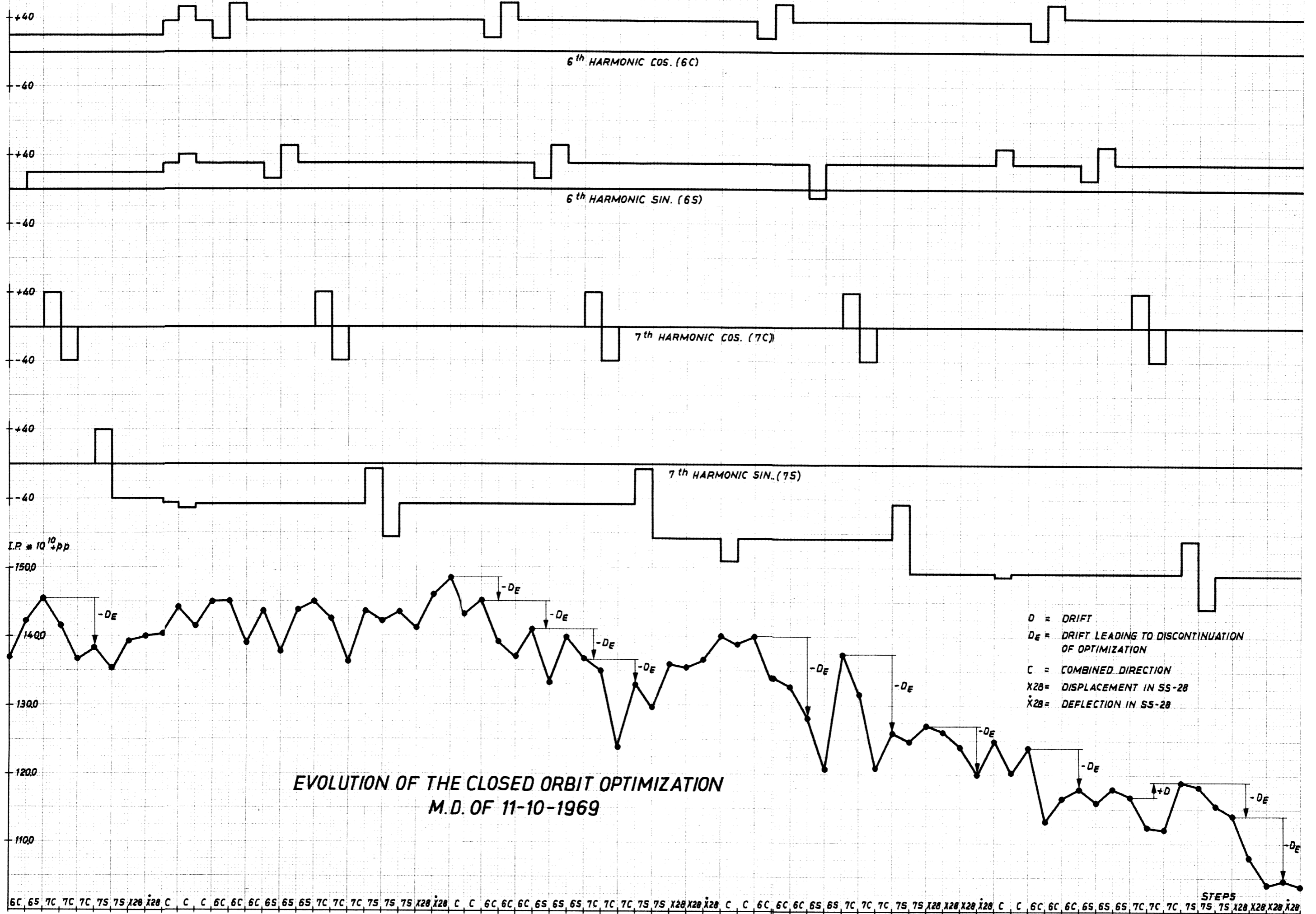
```

Table I



EVOLUTION OF THE CLOSED ORBIT OPTIMIZATION
M.D. OF 01-09-1969

D = DRIFT
C = COMBINED DIRECTION
X28 = DISPLACEMENT IN SS-28
Ẋ28 = DEFLECTION IN SS-28



EVOLUTION OF THE CLOSED ORBIT OPTIMIZATION
M.D. OF 11-10-1969

D = DRIFT
 DE = DRIFT LEADING TO DISCONTINUATION OF OPTIMIZATION
 C = COMBINED DIRECTION
 X2B = DISPLACEMENT IN SS-28
 X2B = DEFLECTION IN SS-28

6C 6S 7C 7C 7C 7S 7S X2B X2B C C C 6C 6C 6C 6S 6S 6S 7C 7C 7C 7S 7S 7S X2B X2B X2B C C 6C 6C 6C 6S 6S 7C 7C 7C 7S 7S X2B X2B X2B X2B C C 6C 6C 6C 6S 6S 7C 7C 7C 7S 7S X2B X2B X2B X2B