

ACADEMIE DES SCIENCES D'URSS  
INSTITUT RADIOTECHNIQUE, MOSCOU

Rapport NTD 6823

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00100581

SYSTEME DE COMMANDE DE LA FREQUENCE RF  
PAR LE FAISCEAU DU SYNCHROTRON A PROTONS DE 70 GeV

Yu.S. Ivanov, V.A. Kalinin, A.A. Kuz'min, S.V. Chirkov

Moscou, 1968

Traduit au CERN par A. Golovanoff  
(Original : russe)

(CERN Trans. 69-24)

Genève  
Novembre 1969

Le système de commande de la fréquence du champ d'accélération d'après les données relatives au faisceau constitue une partie de l'appareillage électronique permettant la formation du champ d'accélération et la commande des processus d'accélération. La description du système électronique HF du synchrotron de 70 GeV, ses caractéristiques et les résultats des essais de laboratoire sont donnés dans /1/. L'utilisation du système de commande d'après le faisceau permet de diminuer simplement de plusieurs ordres de grandeur les exigences techniques posées à des facteurs de déstabilisation comme les perturbations adiabatiques et résonantes de la fréquence et de l'amplitude du champ accélérateur, ou les perturbations de la vitesse de montée du champ magnétique. Cela est particulièrement important dans les synchrotrons à protons à passage de l'énergie critique où les exigences de précision de la radiofréquence atteignent  $10^{-6}$ .

Pour l'accélération à 70 GeV, le système de commande de la radiofréquence d'après le faisceau (voir schéma, Fig. 1) est en principe semblable au système utilisé pour le synchrotron de 7 GeV /2/. Il est fondé sur la régulation de la fréquence du générateur pilote par des signaux proportionnels au déplacement radial du faisceau par rapport à l'orbite nominale et au déphasage du centre de gravité du faisceau par rapport au champ accélérateur.

Avec les coefficients d'amplification adoptés pour le circuit de contre-réaction et des tolérances assez larges vis-à-vis des perturbations de déstabilisation, le système stabilise la position radiale du faisceau avec une précision meilleure que  $\pm 5$  mm et amortit efficacement les oscillations cohérentes de phase pendant toute la durée du cycle d'accélération. Vers la fin du cycle, lorsque la fréquence de révolution devient pratiquement constante, grâce à l'importante réduction des erreurs propres des dispositifs de mesure du déplacement radial et du déphasage du faisceau, la position radiale du faisceau est stabilisée à  $\pm 1$  mm près. Au moment où le faisceau atteint l'énergie critique, il se produit dans le circuit de contre-réaction sur la phase un brusque saut de la phase (en moins de 100  $\mu$ sec), d'une valeur  $\pi - 2\varphi_s$  ( $\varphi_s$  - phase d'équilibre), ce qui provoque un saut de la phase de la tension accélératrice de même valeur. Au même moment, le coefficient de transmission du circuit de contre-réaction sur la position radiale change de signe, ce qui est nécessaire à la stabilité du circuit de régulation. Les paramètres indiqués doivent être conservés par le système dans l'intervalle d'intensités  $3 \cdot 10^9 - 10^{12}$  particules.

L'appareillage du système de commande de la radiofréquence par le faisceau est divisé en deux parties : l'une des parties est placée à proximité immédiate des sections droites dans l'anneau de l'accélérateur, où se trouvent les électrodes pick-up, l'autre partie est installée dans la salle d'électronique près de la salle de commande principale.

Le premier groupe d'appareils était composé de trois blocs d'entrée, où s'effectuent la somme et la différence des signaux HF, induits par le faisceau sur les électrodes différentielles, ainsi que la préamplification de ces signaux. Afin d'augmenter la résistance aux radiations, on n'utilise pas de transistors dans les blocs d'entrée. On prévoit l'utilisation permanente de n'importe quelle paire parmi les trois blocs d'entrée placés dans les sections droites et décalés l'un par rapport à l'autre d'environ un multiple entier de la demi-longueur d'onde d'oscillations bétatroniques, ce qui doit diminuer l'influence des oscillations bétatroniques cohérentes sur le fonctionnement du système. Le troisième bloc d'entrée constitue une réserve. Il faut toutefois remarquer que l'expérience des travaux de mise au point et de démarrage a montré la possibilité d'utiliser un seul bloc d'entrée sans diminution notable de l'intensité du faisceau.

Les blocs d'entrée comportent des condensateurs variables à servo-moteur connectés en parallèle aux électrodes pick-up. En faisant varier la capacité des condensateurs, il est possible de modifier la symétrie des électrodes différentielles en établissant ainsi la position radiale du faisceau pour laquelle s'effectue l'accélération dans des limites  $\pm 1,5$  cm par rapport à l'axe central de la chambre à vide. En outre, les blocs d'entrée présentent une possibilité de commutation des coefficients de transmission des préamplificateurs des signaux de somme et de différence, ce qui est nécessaire pour la mesure du régime de travail de l'accélérateur aux diverses intensités. La commande des paramètres et le contrôle du fonctionnement des blocs d'entrée s'effectuent à distance.

La partie de l'appareillage du système, disposée dans la salle d'électronique, est composée de deux blocs de transformation identiques, d'un amplificateur somme à courant continu et de dispositifs de contrôle et de commande à distance. Le bloc transformateur reçoit les signaux de différence et de somme du faisceau depuis la sortie des blocs d'entrée, ainsi que le signal HF, proportionnel à la somme des tensions de l'ensemble des cavités accélératrices.

Dans l'une des moitiés du bloc de transformation s'effectue la normalisation par rapport à l'intensité et la détection synchrone du signal de différence. Le détecteur synchrone est précédé d'un circuit de changement du signe du coefficient de transmission de la boucle de contre-réaction d'après le rayon au moment de la traversée de l'énergie critique. La deuxième moitié du bloc de transformation comprend un circuit détecteur de phase, qui transforme la différence des phases du signal somme du faisceau et de la tension des cavités accélératrices en tension BF. Le détecteur de phase est précédé de deux amplificateurs à large bande à régulation automatique de l'amplification, ainsi que d'un circuit rotateur de phase à large bande dans l'intervalle 0-360°, permettant d'obtenir un déplacement de phase dans l'intervalle de fréquence 2 MHz - 6,5 MHz avec une précision meilleure que 0,1 radian. En outre, le canal de la tension d'accélération comporte un déphaseur qui assure l'indispensable saut de la phase au moment de la traversée de l'énergie critique. Le bloc de transformation est muni de circuits de verrouillage qui permettent de connecter et de déconnecter les circuits de contre-réaction du système à tout moment du cycle d'accélération.

Les tensions de sortie des blocs de transformation, proportionnelles au déplacement radial du faisceau dans les deux azimuts de l'anneau de l'accélérateur et au déplacement de la phase du centre de gravité du faisceau par rapport à la tension accélératrice, sont additionnées, avec différents coefficients pondéraux, dans le bloc d'amplification à courant continu. A sa sortie, se forment deux signaux paraphasés, qui commandent la fréquence du générateur pilote. On effectue aussi dans le bloc de l'amplificateur somme la correction des caractéristiques de fréquence du circuit de régulation, qui assure sa stabilité aux coefficients de transmission maximaux.

Dans les premiers travaux de démarrage et de mise au point de l'accélérateur, on s'est heurté - en ce qui concerne le système de commande de la radiofréquence d'après le faisceau - à de nombreuses difficultés liées à la faible intensité du faisceau accéléré, qui dans la première étape ne dépassait pas  $10^9$  protons par impulsion. Pour cette intensité, la normalisation ne fonctionnait pas dans le bloc de transformation, ce qui provoquait une importante diminution des coefficients d'amplification dans la boucle de régulation et ne permettait pas de franchir l'énergie critique. Il a fallu utiliser des amplificateurs à large bande supplémentaires des signaux de somme et de différence avant le bloc de transformation, ce qui, tout en altérant le rapport signal/bruit, a permis de traverser l'énergie critique pratiquement sans perte d'intensité, et de réaliser l'accélération jusqu'à une énergie de 76 GeV. Il est vrai que l'accélération dans ce régime n'était pas suffisamment stable, et l'on observait des coupures et des chutes brusques de l'intensité. Par la suite,

en augmentant l'intensité au-dessus de  $5 \cdot 10^9$  particules, les amplificateurs supplémentaires ont été déconnectés et le système assurait une accélération avec suffisamment de fiabilité.

Il convient de remarquer aussi la forte influence des effluves des stations d'accélération sur les câbles reliant les blocs d'entrée à la salle d'électronique. Ainsi, pour une intensité inférieure à  $10^{10}$  particules, et malgré une accélération pratiquement sans perte, on obtient à la sortie du détecteur de phase un signal faux, correspondant à un déplacement de la phase de 0,3 radian, ce qui provoque une certaine instabilité de la position radiale. Des mesures seront prises pour éliminer ce phénomène. La Figure 2 représente l'oscillogramme du signal de sortie du bloc de transformation, proportionnel au déplacement radial du faisceau pendant l'ensemble du cycle d'accélération pour une intensité de  $5 \cdot 10^{10}$  particules. Cet oscillogramme montre que la position radiale du faisceau pendant tout le cycle d'accélération est stabilisée par rapport à une certaine valeur fixée avec une précision de  $\pm 2,5$  mm.

Après obtention d'une accélération assez stable à une intensité de  $3 \cdot 10^{10}$  particules, on a vérifié expérimentalement l'influence de la variation de l'instant de transition de la phase lors du passage de l'énergie critique sur les pertes d'intensité. Les résultats sont représentés sur la figure 3, où le temps était compté en abscisses et rapporté au début de l'accélération et où l'axe des ordonnées représente le rapport des intensités après et avant le passage de l'énergie critique. Un plateau assez étendu, dont la

largeur atteint environ  $\pm 1\%$  pour le champ magnétique et correspond très exactement à la valeur théorique, montre le caractère non critique du choix du moment de la transition de la phase.

Pour conclure, il convient de remarquer que l'on pourra, dans la mise au point ultérieure de l'accélérateur, effectuer d'importants travaux d'optimisation du régime de travail du système décrit dans un large intervalle d'intensités et augmenter sa fiabilité.

Les auteurs expriment leur profonde reconnaissance à tous les collègues de l'Institut Radiotechnique de l'Académie des Sciences d'URSS et de l'Institut de Physique des hautes Energies, qui ont participé à l'élaboration, la réalisation, la mise au point et le démarrage du système de commande de la radiofréquence.

REFERENCES

1. Mints A.L. et al. Proc. of the 6th Intern. Conf. on High Energy Accelerators, 1967, CEAL-2000, A-120.
2. Ivanov Yu.S., Kuz'min A.A., PTE N° 4, 1962, p. 106.

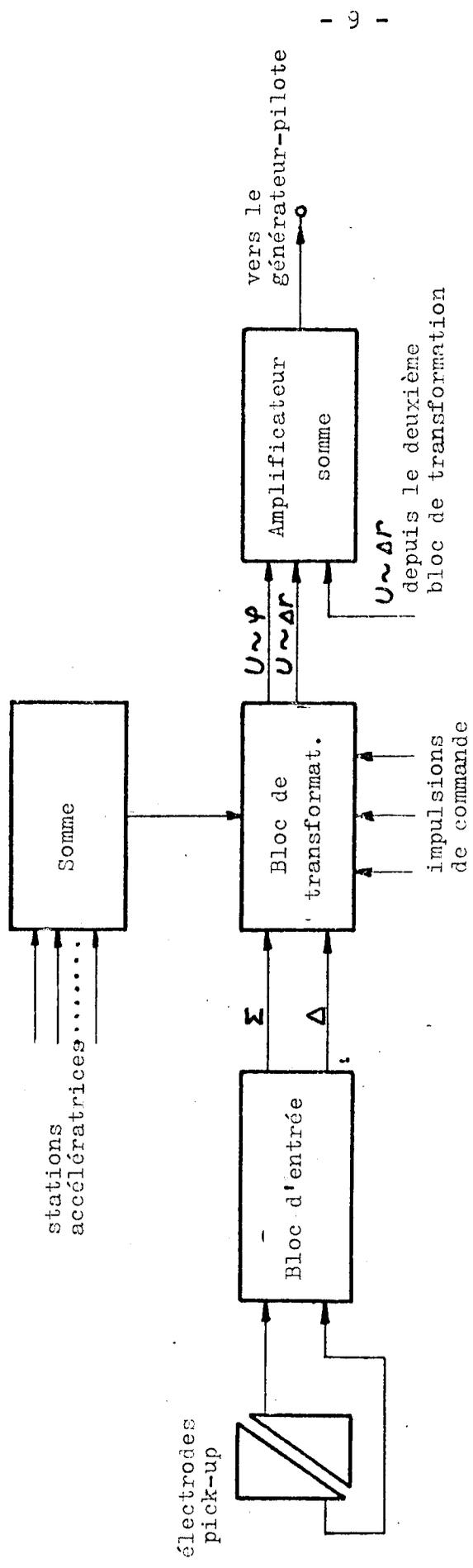


Fig. 1

Schéma du système de commande de la radiofréquence par le faisceau.

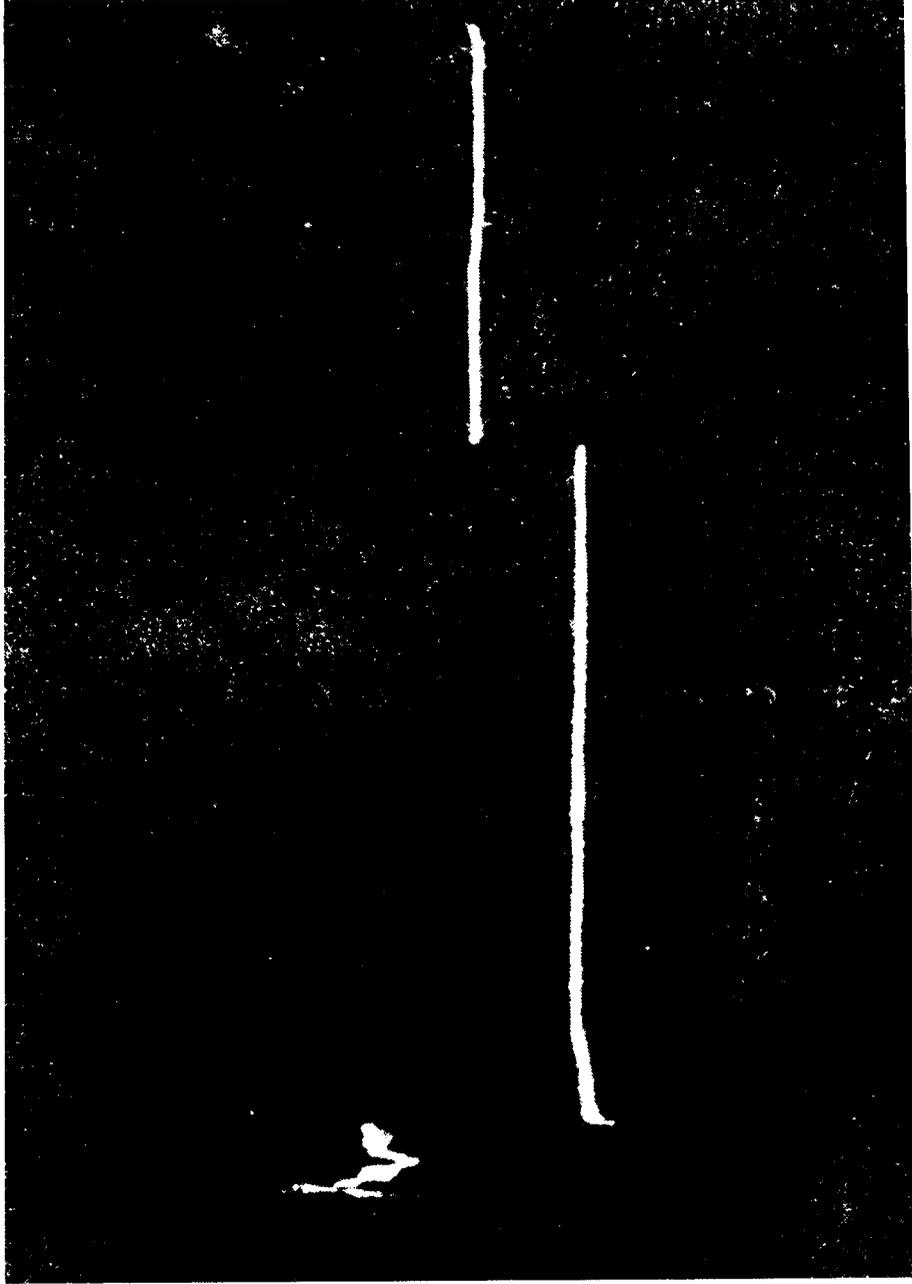


Fig. 2

Signal à la sortie du bloc de transformation, proportionnel au déplacement radial du faisceau. Cycle complet d'accélération. Sensibilité 3 mm/div.

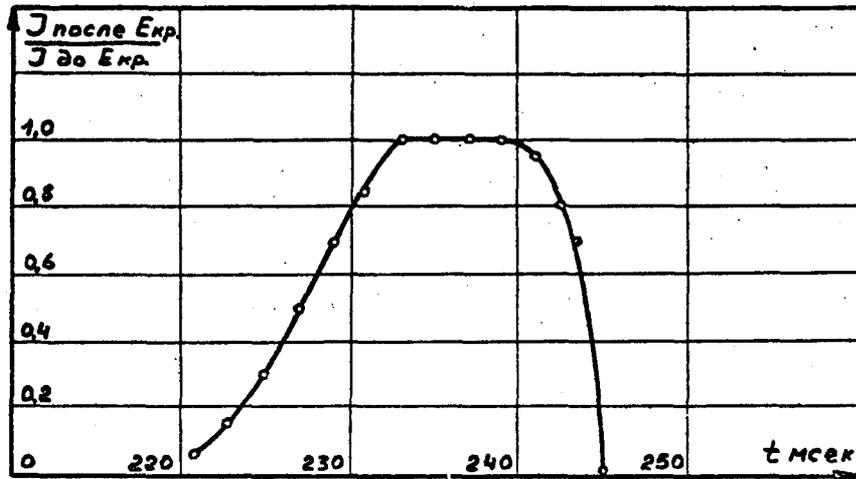


Fig. 3

Variation des pertes relatives d'intensité en fonction de l'instant de transition de la phase lors du passage par  $E_{\text{cr}}$ .