

~~K.H.~~

JJ/ab

MPS/SR/Note 70-20
22. 4. 1970

MODIFICATIONS APORTEES AU SYSTEME RF
DANS LE BUT D'AMELIORER LE DEGROUPE
ET LA CAPTURE ADIABATIQUE

J. Jamšek

Introduction

Deux expériences dont les éléments de base sont les paramètres RF sont actuellement en étude. Ce sont le dégroupage RF et la capture adiabatique.

Plusieurs améliorations et modifications ont déjà été apportées à l'appareillage RF dans ce but, d'autres sont en train d'être réalisées. Sans entrer dans les détails d'exécution, dans ce rapport les modifications importantes sont résumées (voir fig. 1) ainsi que les caractéristiques principales du système et les possibilités d'utilisation.

PS/165

1. Dégroupage

Le problème du dégroupage est vieux comme le PS, mais c'est seulement avec l'éjection lente qu'il est devenu un vrai problème. Plusieurs techniques ont été expérimentées (voir MPS/SR/Note 69-7) utilisant comme paramètres de base: saut de phase et saut (ou variation) de la fréquence RF. Les modifications effectuées en 1969 ont permis pour la première fois de mettre en opération la réduction de la tension V_{RF} et de régler l'accord des cavités pendant que $V_{RF}=0$. Ceci a apporté une amélioration considérable de la qualité du faisceau dégroupé.

Ce qui suit est une description de l'appareillage RF qui est responsable pour le dégroupage.

1.1 Le système d'asservissement du faisceau

Originellement, le système RF a été conçu pour une opération où la tension V_{RF} sur les fentes d'accélération doit être présentée sans interruption. Ceci est indispensable pour garder fermée la boucle de phase du système d'asservissement du faisceau afin d'éviter les désynchronisations à chaque cycle.

Pour rendre possible une opération avec une réduction de la tension V_{RF} à zéro, sans désynchronisations, il faut simuler le signal RF dans la boucle de phase pendant que $V_{RF} = 0$ (voir fig. 2). Dans ce but, le même signal RF, qui est distribué aux cavités, est appliqué à une entrée du réseau de sommation. Grâce à l'amplificateur AVC, ce signal peut être petit. Malgré sa faible amplitude, son influence pendant l'accélération normale n'est pas tout à fait négligeable et nous avons préféré le supprimer pendant l'accélération par une porte (impulsions TC et MO) (fig. 1).

Avant de couper la tension V_{RF} , on passe pendant environ 700 μ s à la phase instable pour exciter les oscillations synchro-

niques et obtenir un allongement des paquets. Pour ceci un saut de phase de 180° est nécessaire. Etant donné qu'en effectuant un saut à la phase avant la transition on n'obtient que 120° , un déphasage supplémentaire, commutable, de " $- 30^\circ$ " a été introduit dans le système d'asservissement du faisceau (fig. 1).

1.2 La réduction de la tension V_{RF} (à 9,5 MHz)

L'organe de contrôle est la référence du contrôle automatique d'amplification (AVC) des cavités, commandé à distance au bâtiment central. La réduction peut être appliquée sur toutes les cavités ou seulement sur une partie des cavités, suivant les besoins.

Une variation de V_{RF} entre 100 % et 10 % de la valeur maximum est possible. C'est une opération réversible. Le temps de réponse est limité principalement par les caractéristiques du système AVC-référence. Il est d'environ 100 μ s pour la réduction et le rétablissement de V_{RF} .

Une réduction de V_{RF} bien au-dessous de 10 % progressive ou constante pour une durée supérieure à quelques millisecondes est à déconseiller. Dans un tel régime les discriminateurs de phase des systèmes d'accord des cavités peuvent se trouver, selon leur état, à la limite du bon fonctionnement avant la désynchronisation.

Une réduction de V_{RF} à zéro met hors service le système d'accord des cavités. Le tube final est coupé et le courant dans les aimants de magnétisation est nul. Dans ce régime la fréquence de résonance est $f_0 = 2,2$ MHz (± 50 kHz). Le temps de réduction de V_{RF} est toujours environ 100 μ s. C'est une opération irréversible et la tension V_{RF} ne peut être remise qu'à 2,7 MHz, progressivement et dans un temps de 20 à 40 ms environ. Le procédé de la remise de la tension V_{RF} doit être vérifié avant chaque opération afin d'être sûr

que les transitoires ne perturbent pas les conditions à l'injection pour le cycle suivant. Dans le cas contraire la stabilité et l'intensité du faisceau seraient influencées.

L'amplitude de la tension V_{RF} résiduelle sans faisceau est 0,5 % de la tension V_{RF} maximum.

1.3 Programmation de l'accord des cavités

Même lorsque V_{RF} est réglée à zéro, les cavités qui ont un facteur de qualité élevé ($Q \approx 40$), peuvent être excitées par la structure RF résiduelle du faisceau. La fréquence de repos des cavités étant de 2,2 MHz, un regroupement des protons sur la 5ème harmonique de la fréquence de révolution ($f_{rev} \approx 475$ kHz) est favorisé.

Pour éviter ce regroupement, il y a plusieurs possibilités. On peut supprimer l'influence des cavités totalement en court-circuitant les fentes d'accélération, on peut les accorder à différentes fréquences ou programmer l'accord pour qu'il n'y ait pas de fréquence favorisée ou suffisamment de temps pour permettre un regroupement; on pourrait aussi choisir une autre fréquence f_0 , moins favorable pour le regroupement harmonique. La première solution est étudiée pour le nouveau système d'accélération. Pour les cavités en opération nous avons choisi la deuxième solution, plus facilement adaptable à l'appareillage existant et n'exigeant que de l'électronique à faible puissance.

Le schéma d'ensemble est présenté dans la fig. 1. L'influence de la fréquence d'accord d'une seule cavité étant trop insignifiante, les cavités ont été réparties en 4 groupes qui peuvent être accordées indépendamment, ou suivre le même programme aux niveaux (= fréquences) différents. Pour chaque cavité il existe un réglage fin de la fréquence d'accord d'environ ± 15 %. Les cavités sont

groupées comme suit :

Groupe	I	II	III	IV
θ (variable)	11 31	41 51	76	86 96
θ_0 (fixe)	21	36 46	56 71 81	91

I, II, III, IV sont les groupes pour l'accord
(intercommutables)

θ , θ_0 sont les deux groupes qui peuvent
être déphasés par le BC.

Un accord programmé entre 2,2 et 10 MHz est possible,
constant ou modulé, pour tout groupe de cavités. Il va de soi qu'il
peut être appliqué seulement quand $V_{RF} = 0$ et les discriminateurs
de phase des cavités sont hors service.

Pour le même signal appliqué sur le système de programmation d'accord, toutes les cavités ne répondent pas avec exactement la même fréquence; il y a une erreur du parallélisme d'accord due aux différentes caractéristiques et aux différents états des cavités. Cette erreur du parallélisme peut être divisée, selon l'origine, en deux parties. L'erreur inhérente à $\frac{\Delta f}{\Delta I_a tu}$ est due aux caractéristiques de la cavité proprement dite et à son système de magnétisation. Pour la deuxième partie $\frac{\Delta I_a tu}{\Delta V_i}$ (V_i ... signal d'entrée) c'est l'électronique qui est responsable. Pour les réglages du parallélisme (cavités) le point de référence pour la valeur absolue de V_i a été choisi à ~ 6 MHz (5V/0,8 A) et pour la pente à 9,5 MHz

(7 V/2,2 A). L'erreur totale du parallélisme est d'environ $\pm 5 \%$ à 9,5 MHz et inférieure à $\pm 15 \%$ à 3 MHz, comme le montre la fig. 3. Pour l'opération de dégroupage cette erreur présente plutôt un avantage qu'un inconvénient, notre but étant d'empêcher un regroupement harmonique des protons par le désaccord.

Si toutefois l'on veut obtenir davantage de précision pour un accord fixe, on peut sélectionner et grouper les cavités (quatre groupes) selon leurs caractéristiques, ou bien corriger l'accord de chaque cavité par le réglage fin. La précision qui peut être obtenue dépend surtout de la précision du système de mesure des fréquences d'accord.

Les fréquences d'accord peuvent être mesurées à distance en mesurant une quantité proportionnelle au courant de magnétisation (I'_{atu}) et en lisant les fréquences correspondantes dans un diagramme. La fig. 4 présente la courbe typique de réponse du système. En pointillé sont indiquées les erreurs maximum mesurées. En général avec cette méthode une précision de $\pm 5 \%$ peut être obtenue. Le signal analogique correspondant à l'évolution de la fréquence d'accord est présenté dans la fig. 1, point de mesure M3.

Une modulation du système d'accord est possible, mais il faut tenir compte de nombreuses restrictions. Le système d'accord est un système lent, non-linéaire et qui implique des éléments d'opération intermittante qui introduisent une réponse inégale, si l'on varie l'accord des fréquences basses vers les fréquences hautes ou vice-versa. Une autre limitation importante des possibilités de modulation pour une opération programmée est l'insuffisance des alimentations des amplificateurs pour l'accord: 3,7 kV et 800 V (tensions d'alimentation modulées, couplages).

La réponse du système à une fréquence de modulation sinusoidale est présentée pour différentes amplitudes (Δf) et points de

travail (f_t) dans la fig. 5. Grossièrement on peut dire que pour le système actuel les fréquences utilisables maximum sont entre 50 et 120 Hz selon Δf_{\max} et f_t choisis.

Pour une modulation rectangulaire la situation est plus compliquée. Le début d'impulsions est influencé fortement par les alimentations 3,7 kV et 800 V, la fréquence superposée sur le palier provient du 800 V, la fin d'impulsion est plus raide car le système de contre-réaction (antiflash) entre en fonction. La réponse du système à une impulsion est présentée dans la fig. 6 pour trois différentes amplitudes. Le temps de réponse se situe entre 5 et 13 ms, selon l'amplitude appliquée.

1.4 Les aspects opérationnels

Les principaux paramètres et leur timing sont présentés dans la fig. 2. Actuellement, une réduction rapide de V_{RF} de 100 % à zéro est utilisée pour l'opération.

Toutes les cavités ont un timing commun. La réduction de tension V_{RF} est mise en service par l'impulsion TB et arrêtée par MW. Pour le start du désaccord on utilise l'impulsion TD qui est l'impulsion TB retardée d'au moins 3 ms, pour ne pas tomber dans le transitoire du système d'accord au moment de la réduction de V_{RF} à zéro. L'impulsion Stop pour le désaccord TDR provient d'un timing local au bâtiment central. Bien entendu, il faut prendre garde à ce que ces deux impulsions tombent dans l'intervalle où $V_{RF} = 0$, sinon des désynchronisations se produisent.

Les optimisations des impulsions TA, BT2, TB, ainsi que l'enclenchement du système de la réduction de la tension V_{RF} et du système de programmation d'accord des cavités peuvent être effectuées de la salle de contrôle principale ou du bâtiment central. Les

réglages des niveaux (V_{RF} , fréquences d'accord), la mesure des fréquences d'accord des cavités individuelles, ainsi que tous les réglages pour les expériences peuvent être effectués seulement au bâtiment central.

La somme des signaux analogiques des cavités qui déterminent les fréquences d'accord des cavités (signal M3 dans la fig. 1) est distribuée à la salle de contrôle principale à la suite d'une demande des utilisateurs.

Au bas de la fig. 2 est présentée aussi l'opération pour le dégroupage adiabatique, en étude. Etant donné que la gymnastique TA, BT2, TB est effectuée à une tension V_{RF} réduite, la fréquence des oscillations synchrotroniques est plus basse et le timing modifié en conséquence.

Pour optimiser le dégroupage, deux critères peuvent servir de base. L'observation de la structure RF du faisceau primaire sur une station PU large bande et l'optimisation en conséquence. Ceci est une condition nécessaire, mais non toujours suffisante pour obtenir un bon dégroupage du faisceau éjecté. D'autre part, les mesures par différentes méthodes de la structure RF dans le faisceau éjecté sont indispensables pour évaluer la qualité, mais moins indiquées pour effectuer des réglages rapides. Le procédé d'optimisation devrait consister en deux phases :

1. Observation de la structure RF sur une station PU large bande. Réduire au maximum l'amplitude RF pendant le "burst" avec le timing (TA, BT2, TB), enclencher ensuite la réduction de la tension V_{RF} et le système d'accord programmé. Optimiser grossièrement l'accord pour obtenir un minimum de la structure RF sans regroupage.

2. Analyser la structure du faisceau secondaire et, selon les fréquences observées, changer les fréquences d'accord des cavités.

1.5 Résultats obtenus

Une amélioration considérable de la qualité du faisceau dégroupé a été obtenue avec l'introduction de la réduction de la tension V_{RF} et la programmation d'accord. Les photos a), b), c) de la fig. 7 permettent une comparaison de la structure RF vue par la station PU 92, pour différentes opérations utilisées au PS. Dans a) la qualité du faisceau après le dégroupage simple (TA, BT2, TB, reset du programme de fréquence avec TB) est présenté. Ce procédé était en opération jusqu'à fin 1968. Dans b) on voit l'influence de la réduction de tension $V_{RF} \rightarrow 0$ (en opération de début 1969 jusqu'à août 1969) et en c) l'influence du désaccord des cavités (mis en opération en août 1969). La photo d) illustre l'excitation des oscillations synchrotroniques grâce au saut de phase (TA, BT2). Si l'on compare c) et d), on voit que l'amplitude RF du faisceau dégroupé par rapport au faisceau non dégroupé, vue par la station PU 92 est diminuée considérablement (env. 40 db).

2. Quelques améliorations concernant la capture adiabatique

Les essais de la capture adiabatique sont en cours depuis le début de 1968. Plusieurs améliorations de l'appareillage RF et modifications pour le rendre plus opérationnel ont été réalisées. Les premiers résultats des essais, ainsi que les critiques et les premières améliorations effectuées sur l'appareillage RF ont déjà été décrites par M. Bouthéon et J. Gareyte dans MPS/CO Note/69-28 du 16.6.1969.

2.1 Réduction de la tension V_{RF}

Deux niveaux de réduction de la tension V_{RF} sont nécessaires pour la capture adiabatique, 10 % et 60 %, comme présenté dans la fig. 8. Dans toutes les opérations précédentes, le niveau de 60 % a été obtenu par le système AVC-référence, et le niveau de 10 % par le déphasage des deux groupes de cavités (θ et θ_0), car le système d'accord des cavités n'assurait pas une opération fiable au début du cycle. Grâce à plusieurs modifications on peut maintenant utiliser le système AVC-référence aussi au début du cycle pour le niveau de 10 % de V_{RF} max.

Le temps de réponse de réduction du système AVC-référence est toujours d'environ 100 μ s comme déjà mentionné plus haut.

Le système a été essayé pour la première fois pour la capture adiabatique pendant le M.D. du 14.2.1970. Les résultats sont comparables à ceux obtenus avec le déphasage des deux groupes.

2.2 Modulation parasite

Il y a une modulation au début du cycle, due à la deuxième harmonique des fréquences du programme, qui tombent dans la bande passante. Pour la supprimer, nous avons conservé le système des filtres passe-bas (jusqu'à 5 MHz) en régime intermittent, mais nous avons réalisé un appareillage plus opérationnel. La légère perte du faisceau observée au moment de la mise hors service du filtre (à 5 MHz) a été supprimée par une adaptation de la phase au moment de la commutation.

2.3 Programmation de la phase stable

Pour ne pas influencer la position radiale du faisceau la variation de \dot{B} (0,35 à 1,6 Tsec⁻¹) 80 ms après l'injection doit être compensée par une programmation adéquate de la tension V_{RF} et de la phase stable. La variation de la phase stable est comprise entre 10° et 32°.

La programmation est réalisée avec le déphaseur électronique. Dans ce but, un amplificateur attaquant ce déphaseur a été ajouté pour créer une entrée supplémentaire. A l'aide d'un réseau de compensation, la tension V_{RF} et la phase stable sont programmées afin que leurs courbes épousent le mieux possible la courbe de la variation de \dot{B} .

2.4 Contrôle radial

Bien qu'il existe la possibilité de mettre hors service le contrôle radial, on a pu, grâce à son temps de réponse lent, se passer de cette facilité pour les essais.

2.5 Programme de fréquence

Le programme de fréquence digital a été amélioré en augmentant le nombre de tangents de 7 à 9, ce qui donne une meilleure approximation de la courbe du programme à la courbe théorique. Il n'y a plus de difficultés au passage de V_{RF} de 60 à 100 %. Ce passage a causé précédemment des ennuis car il coïncidait avec une intersection de tangents, donc avec une erreur en fréquence maximum.

3. Remarques générales

Vu la grande utilité de la réduction de tension V_{RF} , nous avons équipé le système avec 5 générateurs de fonction. La répar-

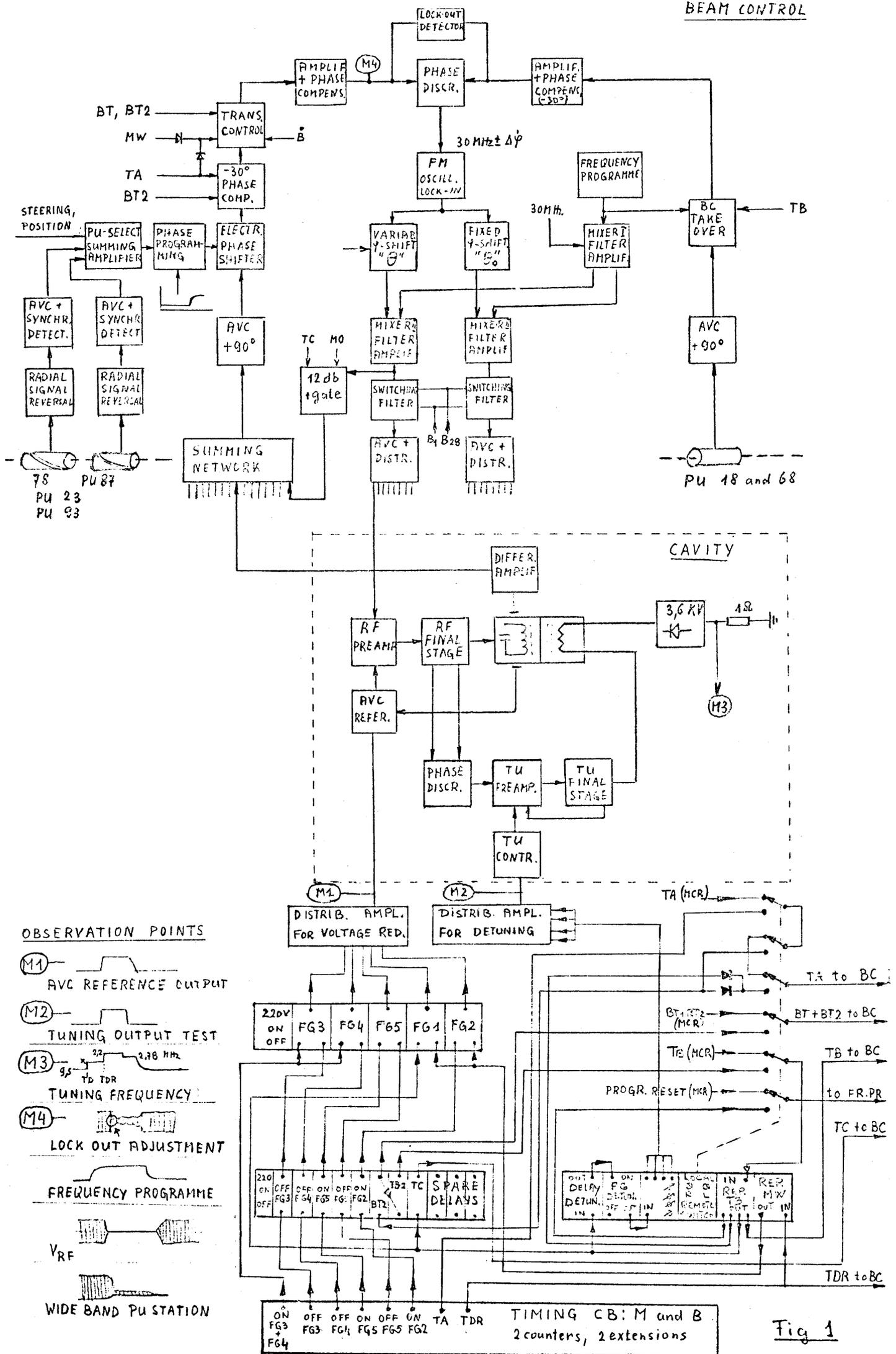
tition des fonctions est la suivante: 2 pour la capture adiabatique (FG3, FG4 - timing B), 2 pour le dégroupage (FG1, FG2 - timing M), et 1 pour l'usage universel (FG5 - timing B ou M).

Afin d'optimiser le dégroupage pour l'opération, des mesures systématiques sont en cours.

Si la capture adiabatique est adoptée pour l'opération normale, il faudra prévoir le réglage des paramètres en question depuis la salle de contrôle principale.

Distribution (ouverte):

Personnel scientifique du Groupe SR
Machine Study Team



OBSERVATION POINTS

M1 - AVC REFERENCE OUTPUT

M2 - TUNING OUTPUT TEST

M3 - TUNING FREQUENCY

M4 - LOCK OUT ADJUSTMENT

FREQUENCY PROGRAMME

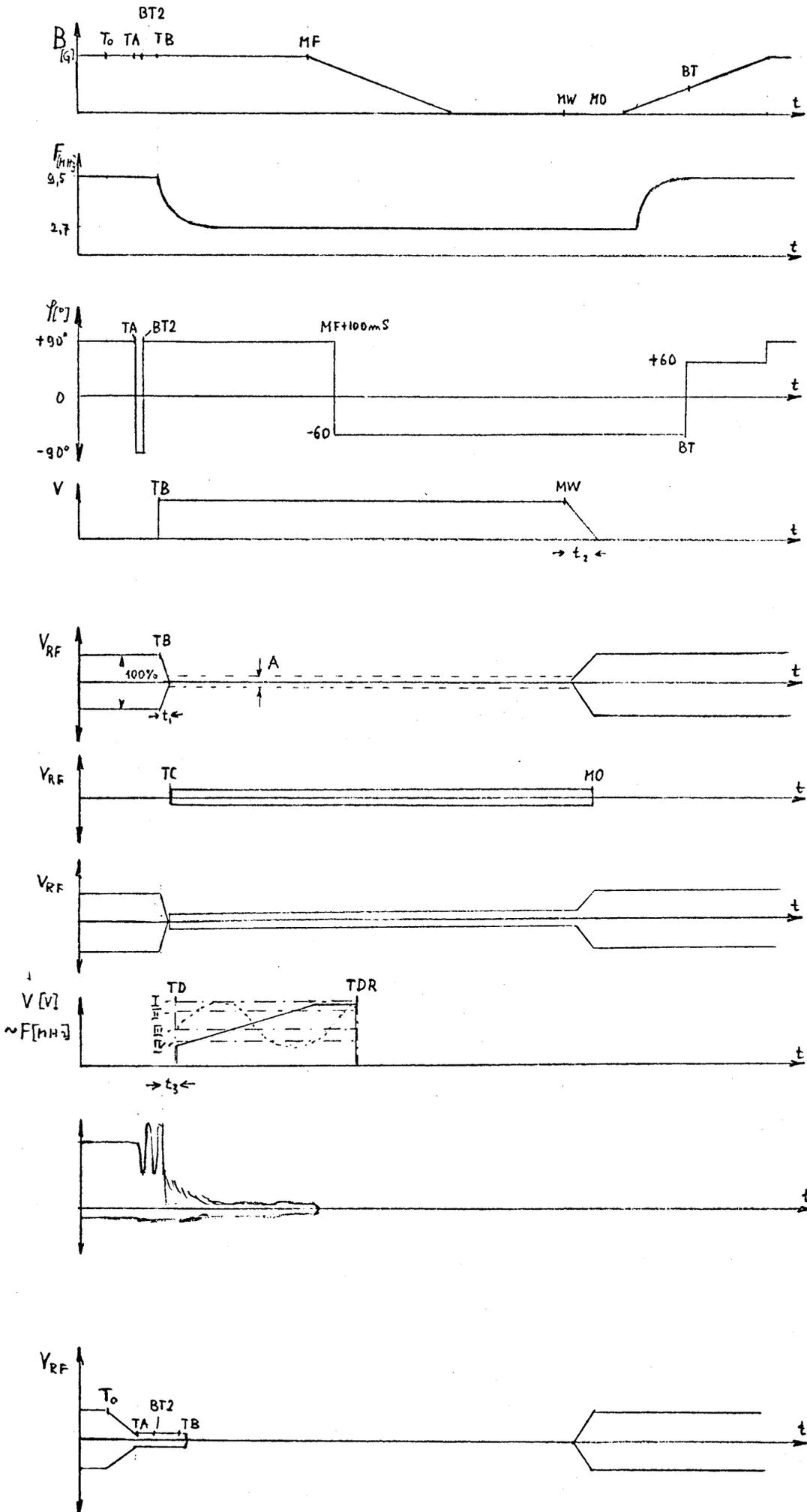
V_{RF}

WIDE BAND PU STATION

TIMING CB: M and B
2 counters, 2 extensions

Fig 1

OPERATION ET TIMING



Cycle magnétique

Programme de fréquence

Saut de phase

Perturbation pour la réduction de V_{RF}
 $t_2 \dots 20 \pm 60 \text{ms}$

V_{RF} sur les fentes d'accélération
 $t_{\text{min}} \dots 100 \mu\text{s}$
 $A_{\text{min}} \dots \approx 10\%$

V_{RF} simulée (BC) pour éviter les désynchronisations

V_{RF} sur le réseau de sommation. Ce signal est distribué au MCR.

Accord des cavités:
 a) constant, groupes I, II, III, IV
 b) suit une rampe
 c) modulation sinusoidale
 $t_{\text{min}} \dots \sim 3 \text{ms}$

Station PU 92 (large bande)

Dégroupage adiabatique

Fig 2

ERREUR DU PARALLELISME

(Mesuré en janvier 1979)

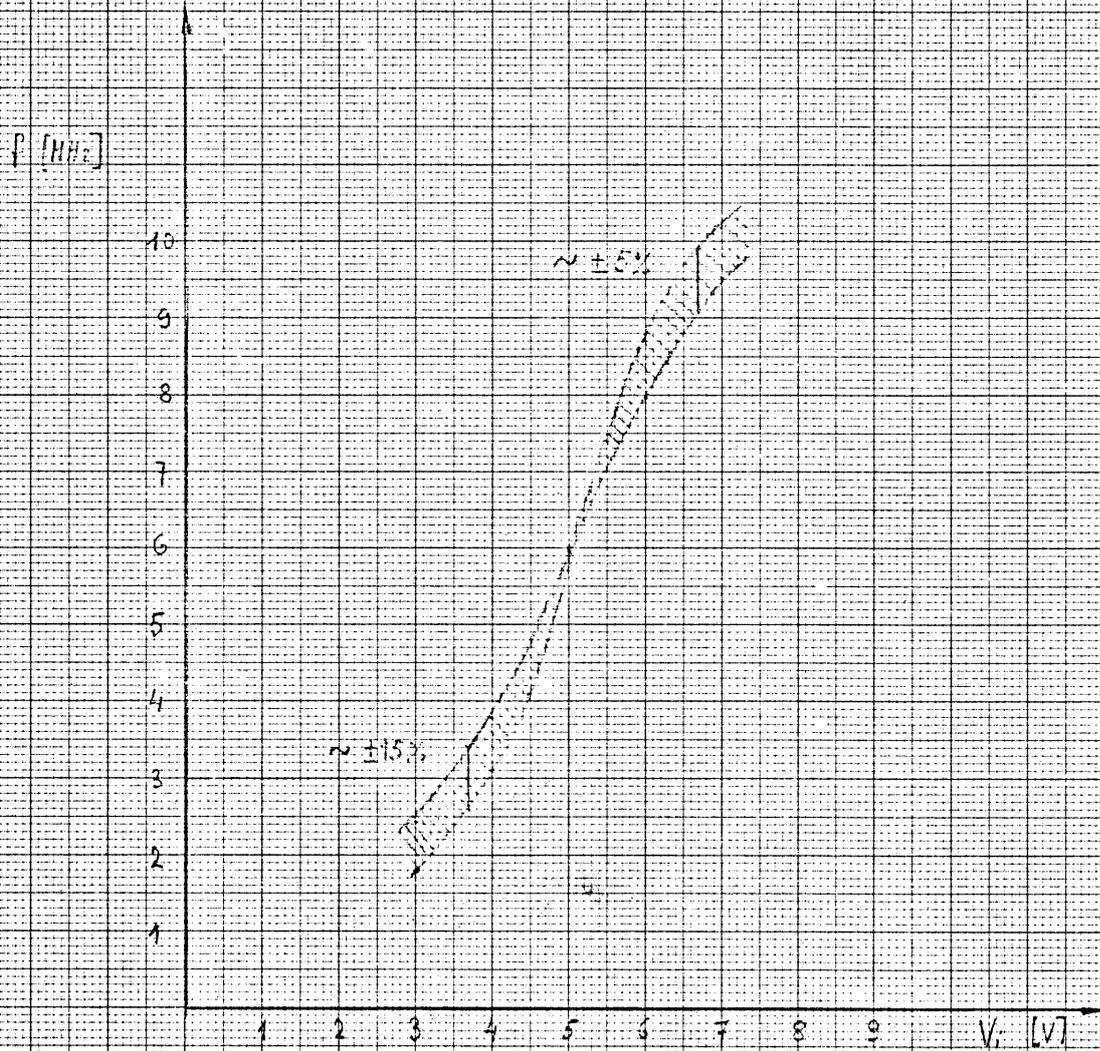


Fig 3

MESURE DE LA FREQUENCE D'ACCORD

(Situation en janvier 1973)

I_{atu} La tension proportionnelle au courant de tuning dans l'étage final.

I_{atu}
[V]

1,8

1,6

1,4

1,2

1

0,8

0,6

0,4

0,2

f [MHz]

3

4

5

6

7

8

9

COURBE TYPIQUE

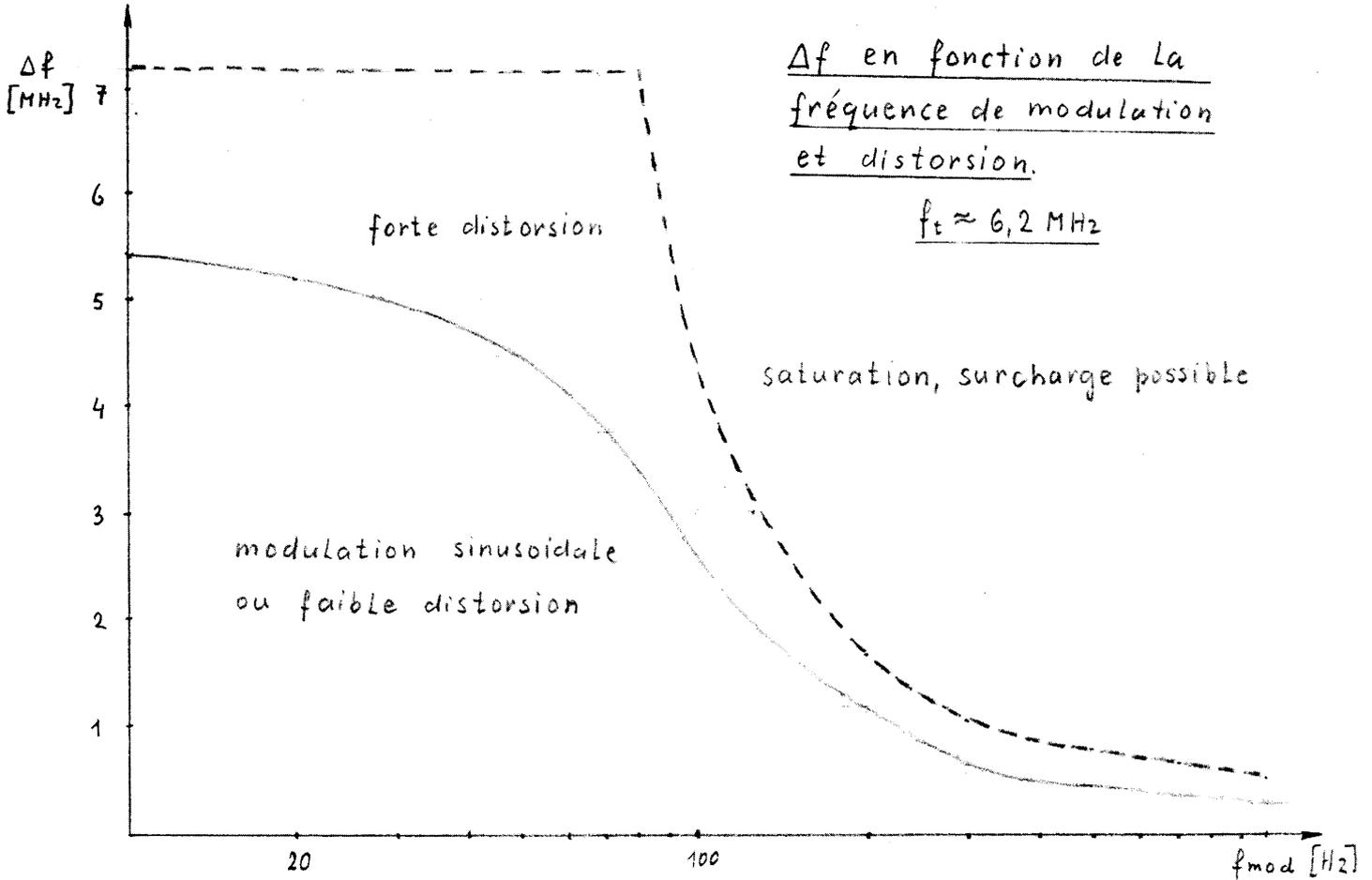
ERREUR MAXIMUM

Fig 4

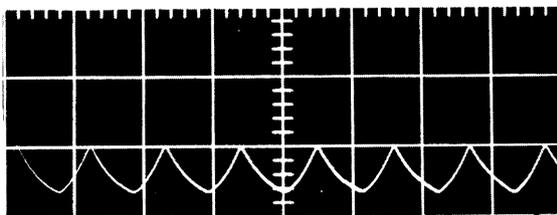
MODULATION SINUSOÏDALE

Δf ... Amplitude de la modulation

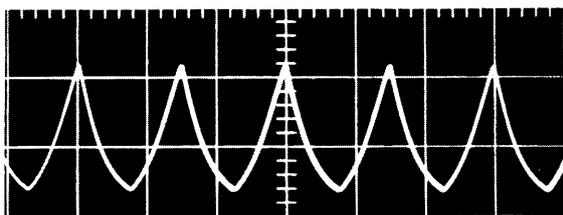
f_t ... point du travail (fréquence sur laquelle la modulation est superposée)



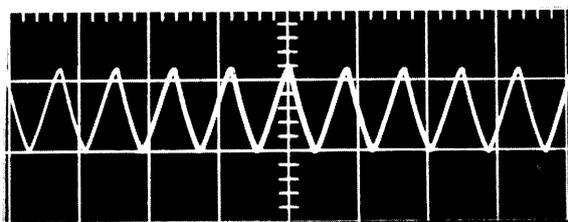
Forme de la distorsion, observée sur I_{ATU} , pour différents f_t et Δf :



$f_t \approx 4,5 \text{ MHz}$
 $\Delta f \approx 3 \text{ MHz (} 3 \div 6 \text{)}$
 $f_{\text{mod}} = 100 \text{ Hz}$



$f_t \approx 6,5 \text{ MHz}$
 $\Delta f \approx 7 \text{ MHz (} 3 \div 10 \text{)}$
 $f_{\text{mod}} = 70 \text{ Hz}$



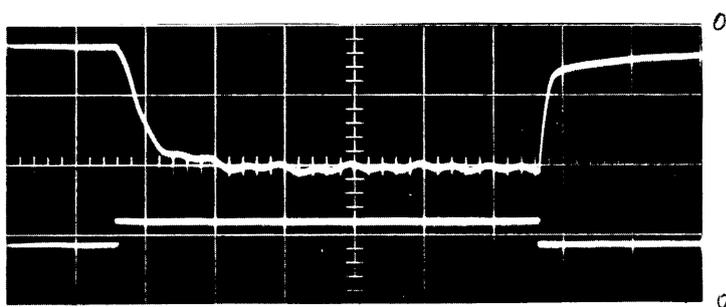
$f_t \approx 8 \text{ MHz}$
 $\Delta f \approx 3 \text{ MHz (} 6,5 \div 9,5 \text{)}$
 $f_{\text{mod}} = 120 \text{ Hz}$

Fig 5

MODULATION RECTANGULAIRE

V_i ... Tension d'entrée correspondante à un Δf

V_f ... Tension proportionnelle au courant I_{atu}
(\sim fréquence d'accord)

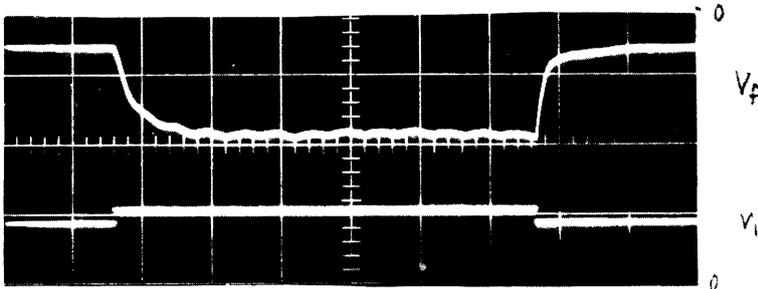


$$\Delta f = 3 \div 9,5 \text{ MHz}$$

V_f ... 1V=1A/div

10ms/div

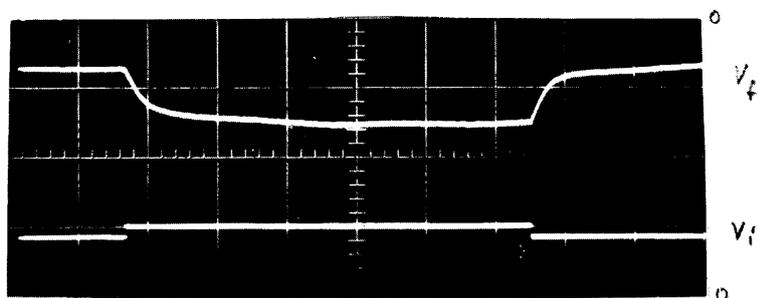
V_i ... 5V/div



$$\Delta f = 5 \div 9 \text{ MHz}$$

V_f

V_i



$$\Delta f = 5,5 \div 8 \text{ MHz}$$

V_f

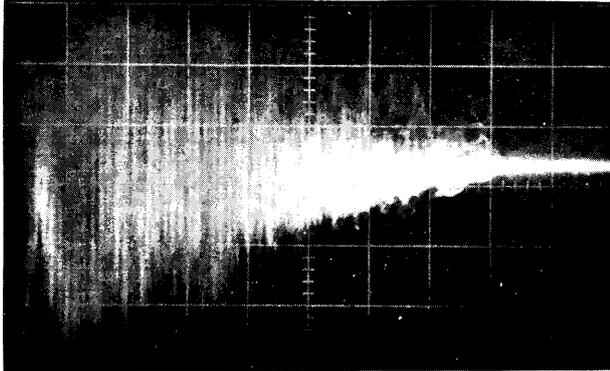
V_i

Fig 6

LE FAISCEAU DEGROUPE VU PAR LA STATION PU 92

Observé 22.1.1970.
Intensité ... $150 \cdot 10^{10}$ p/cycle

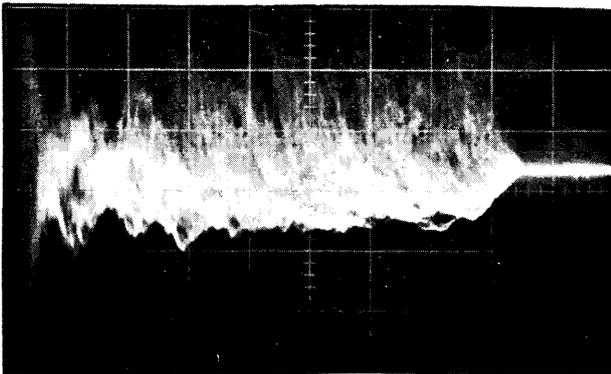
TB
↓



20 mV/div
50 ms/div

Procédé de dégroupage:
TA, BT2, TB.

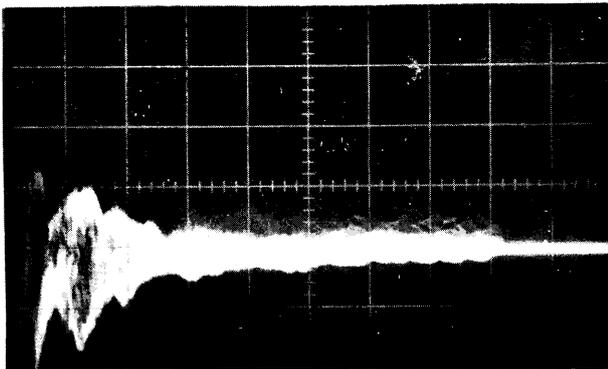
a



20 mV/div
50 ms/div

Procédé de dégroupage:
TA, BT2, TB
 $V_{RF} \rightarrow 0$

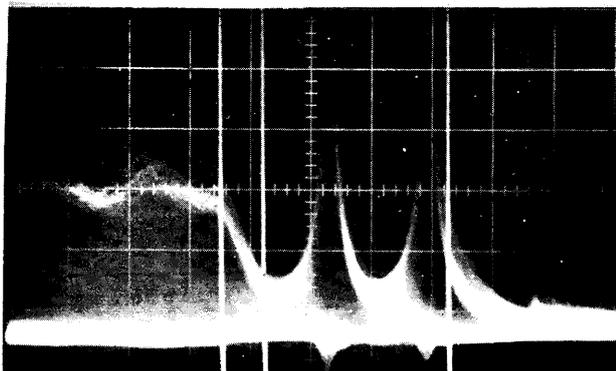
b



20 mV/div
50 ms/div

Procédé de dégroupage:
TA, BT2, TB,
 $V_{RF} \rightarrow 0$,
désaccord des cavités
(en rampe)

c



1 V/div,
1 ms/div

Amplitude du faisceau
groupé et timing

d

TA BT2 TB

Fig 7

OPERATION CAPTURE ADIABATIQUE

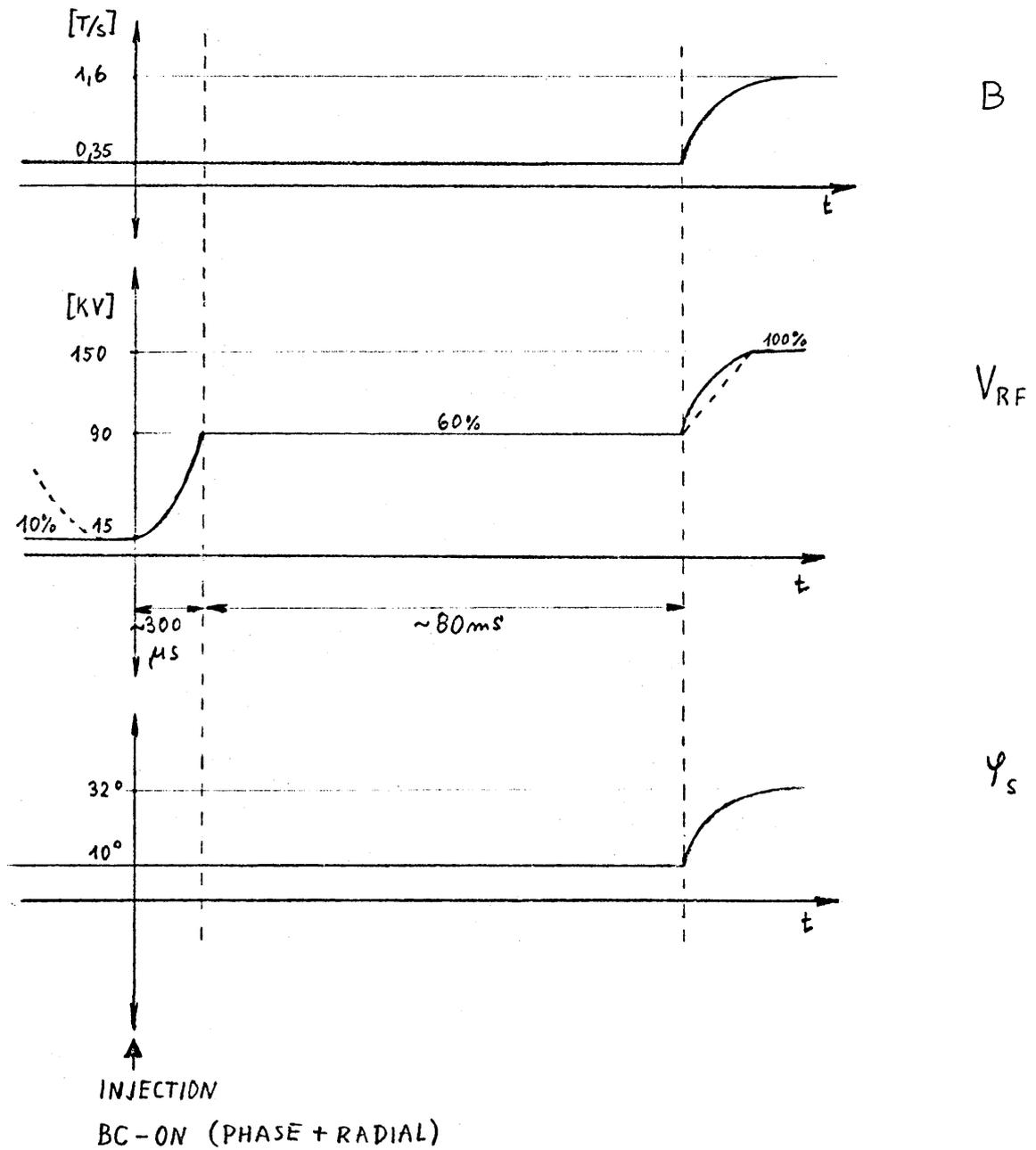


Fig. 8