

L'EXTRACTION STOCHASTIQUE DE LEAR

G. Molinari

1. INTRODUCTION.

L'aspect théorique de l'extraction stochastique dans LEAR a déjà été développé et traité dans diverses publications [1,2,3]. Cette note en décrit seulement la réalisation et l'aspect opérationnel.

Les inévitables perturbations magnétiques de basses fréquences (50Hz et ses harmoniques), introduisent une modulation dans le "spill rate" $\phi(t)$ défini par son "duty factor" $F = \langle \phi \rangle^2 / \langle \phi^2 \rangle$. Dans la pratique le flux maximum du "spill" est ainsi limité par le "ripple" (amplitude r , pulsation w et $v_r = w \cdot r$).

Lors d'une extraction conventionnelle, pour des durées très longues (>60 minutes) la vitesse d'approche v_a des particules, aux alentours de la résonance, doit être très petite ($v_a \ll v_r$), d'où une importante influence du "ripple".

L'extraction stochastique, au contraire, permet, pour des durées très longues, d'avoir une grande vitesse d'approche v_a aux alentours de la résonance ($v_a \gg v_r$) et ainsi, en conséquence, de minimiser l'influence du "ripple".

2. DESCRIPTION.

L'extraction est du type résonant avec accélération des particules jusqu'à la résonance du troisième ordre de la machine ($3Q_h = 7$) par un bruit stochastique. Afin d'obtenir un flux constant des particules pendant toute la durée de l'extraction on excite d'abord le faisceau autour d'une harmonique de la fréquence de révolution avec un bruit blanc d'une largeur (shaping bandwidth) et d'une puissance (shaping power) définies. Ensuite l'excitation du faisceau sera faite par un bruit blanc d'une largeur qui couvrira la fréquence supérieure du faisceau et la fréquence correspondant à la résonance et ayant une puissance (spill power) définie. Pendant toute la durée de l'extraction ce bruit se déplacera avec une vitesse v et couvrira toujours l'espace entre la fréquence de résonance et les nouvelles fréquences supérieures du faisceau. La constante de diffusion D nécessaire pour obtenir l'extraction stochastique doit être telle que les particules du faisceau sont accélérées vers la résonance en environ soixante secondes. La détermination de la constante de diffusion D nous permet de calculer les valeurs de la puissance du bruit stochastique nécessaires à accélérer les particules du faisceau. Pour réduire ultérieurement le "ripple" et améliorer le "duty factor" F on applique un bruit stochastique (la cheminée) d'une largeur (resonance span) et d'une puissance (resonance power) autour de la fréquence de résonance. La constante de diffusion D pour la cheminée doit être telle que $D \gg w \cdot r^2$ où w et r sont respectivement la fréquence et l'amplitude du "ripple".

3. PRELIMINAIRE.

"Shaping & Spill".

La valeur (rms) de la tension V_n du bruit stochastique est calculée selon la formule de la constante de diffusion D.

$$D = \frac{1}{2 \cdot df} \cdot \frac{V_n^2}{(2 \cdot \pi \cdot R)^2 \cdot (B \cdot R_0)^2} = \frac{d(dp/p_0)^2}{2 \cdot dt} \quad [\text{sec}^{-1}] \quad (1)$$

où $(B \cdot R_0) = (\text{Beta} \cdot \text{Gamma}) / (0.319)$
et $df =$ Largeur en fréquence du bruit
et $R =$ Rayon de la machine LEAR (12.500m)

Si on suppose que la distance que les particules du faisceau doivent parcourir jusqu'à la résonance est $dp/p_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ et que cette même distance soit couverte dans un temps raisonnable $t = 60 \text{sec}$ [4] on obtient:

$$D = \frac{d(dp/p_0)^2}{2 \cdot dt} = \frac{(5 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 60} = \approx 2 \cdot 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$$

en remplaçant D dans (1) on a:

$$V_n^2 = df \cdot (\text{Beta} \cdot \text{Gamma})^2 \cdot K \quad (2)$$

où $K = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot \pi \cdot R)^2 \cdot (1/0.319)^2 = \approx 25 \cdot 10^{-3} \text{ Volt}^2 / \text{Hz}$

La puissance P_{sh} par Hertz est exprimée par:

$$P_{sh} = \frac{V_n^2}{Z \cdot df} \quad (3)$$

où Z est l'impédance du kicker ($Z=50\Omega$) qui tient compte du nombre des gaps.

en remplaçant (2) dans (3) on a:

$$P_{sh} = \frac{(\text{Beta} \cdot \text{Gamma})^2 \cdot K}{Z} \quad (4)$$

La puissance totale fournie par l'amplificateur P_t est:

$$P_t = P_{sh} \cdot df$$

où:

df = largeur du filtre (shaping bandwidth) pour le "shaping".
 df = largeur du filtre ($f_{res} - f_{inf}$) pour le "spill".

et

f_{res} = fréquence de la résonance.
 f_{inf} = fréquence inférieure du faisceau.

La table 1 donne des exemples de calcul de puissance P_{sh} par Hertz pour diverses quantités de mouvement p .

p (MeV/c)	61.20	105.00	200.00	308.60	609.00	1500	2000
Beta•Gamma	0.0652	0.1119	0.2132	0.3289	0.6491	1.599	2.132
Eta	1.0503	1.0422	1.0111	0.9569	0.7581	0.305	0.213
harmonique f (MHz)	53 12.974	30 12.738	16 12.733	11 13.119	6 12.469	4 12.944	4 13.832
P_{sh} (μ W/Hz)	≈ 2	≈ 6	≈ 23	≈ 54	≈ 210	≈ 1278	≈ 2273

table 1.

"Résonance".

La constante de diffusion D_r due au "ripple" des alimentations (spécifiées au courant maximum dI/I égale à 10^{-5} pic à pic) est:

$$D_r = w \cdot r^2 = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1/2 \cdot 5 \cdot 10^{-5})^2 = \approx 2 \cdot 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$$

où $w = 2 \cdot \pi \cdot f_r$ (50Hz)

et $r = 1/2 \cdot 5 \cdot dI/I$ "ripple" en dp/p_0 pour LEAR [5]

Le "Duty Factor" F est exprimé par la formule suivant:

$$F = 1 / \left[1 + \frac{D_r}{2 \cdot D} \right] \quad (5)$$

Si on suppose obtenir un "Duty Factor" F égal à 90% on calcule la valeur de la constante de diffusion D qui est:

$$D = \frac{F \cdot D_r}{2 \cdot (1-F)} = \frac{(0.9) \cdot (2 \cdot 10^{-7})}{2 \cdot (1-0.9)} = \approx 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$$

d'où en remplaçant D dans (1) on trouve que la puissance par Hertz P_{rh} est:

$$P_{rh} = \frac{V_n^2}{Z \cdot df} = \frac{(\text{Beta} \cdot \text{Gamma})^2 \cdot K}{Z}$$

$$\text{où } K = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (2 \cdot \pi \cdot R)^2 \cdot (1/0.319)^2 = \approx 120 \cdot 10^{-3} \text{ Volt}^2/\text{Hz}$$

Etant donné que D_r et D varient comme $1/(B \cdot R_0)^2$, la puissance spectrale doit être constante aux diverses quantités de mouvement: pour $p = 609 \text{ MeV}/c$ on a:

$$P_{rh} = \frac{(0.6491)^2 \cdot 120 \cdot 10^{-3}}{50} = \approx \underline{1000} \text{ } \mu\text{W}/\text{Hz}$$

4. CHOIX DU MATERIEL.

D'après l'étude théorique il résulte que les appareils que l'on doit utiliser dans le système d'extraction stochastique doivent avoir des caractéristiques très performantes. A partir du schéma du principe du fonctionnement de la figure 1 on peut faire les remarques suivantes:

a) Filtre.

Le paramètre le plus important dans cette application est le facteur de forme (f.d.f.), défini par:

$$\text{Facteur de forme (f.d.f.)} = \frac{\text{Bande passante à } -60\text{dB}}{\text{Bande passante à } -6\text{dB}}$$

Ce facteur de forme est proportionnel à la valeur de la bande passante à -6dB. En pratique on peut obtenir des filtres avec un facteur de forme $f.d.f. \geq 1.5$ et une bande passante de $\approx 200\text{KHz}$. Ceci limite le dp/p_0 acceptable du faisceau.

b) Amplificateur.

La valeur de la puissance maximum P_{\max} de l'amplificateur pour la quantité de mouvement $p = 2000\text{MeV}/c$ et un $df = (f_{\text{res}} - f_{\text{inf}})$ qui peut être pour le "spill" $\approx 20\text{KHz}$ est:

$$P_{\max} = P_{\text{sh}} \cdot df \approx 45 \text{ Watt} \approx +46\text{dBm}$$

ce qui donne une puissance de pic:

$$P_{\text{peak}} \approx P_{\max} \cdot 30 \approx 1350 \text{ Watt} \approx +61\text{dBm}$$

Si l'on veut avoir le produit de l'intermodulation $\approx 40\text{dB}$ il faut que l'amplificateur ait un "3rd order intercept point" $\approx +80\text{dBm}$. Dans le commerce on trouve des amplificateurs ayant des valeurs du "3rd order intercept point" plus proche de $+70\text{dBm}$. Pour avoir le bon produit de l'intermodulation ($\approx 40\text{dB}$) aux quantités de mouvement supérieures à $600\text{MeV}/c$ il est nécessaire de réduire la puissance par Hertz P_{sh} du "spill" déterminée à la table 1. La conséquente diminution de la constante de diffusion D aura pour effet une réduction du flux des particules extraites au début du "spill".

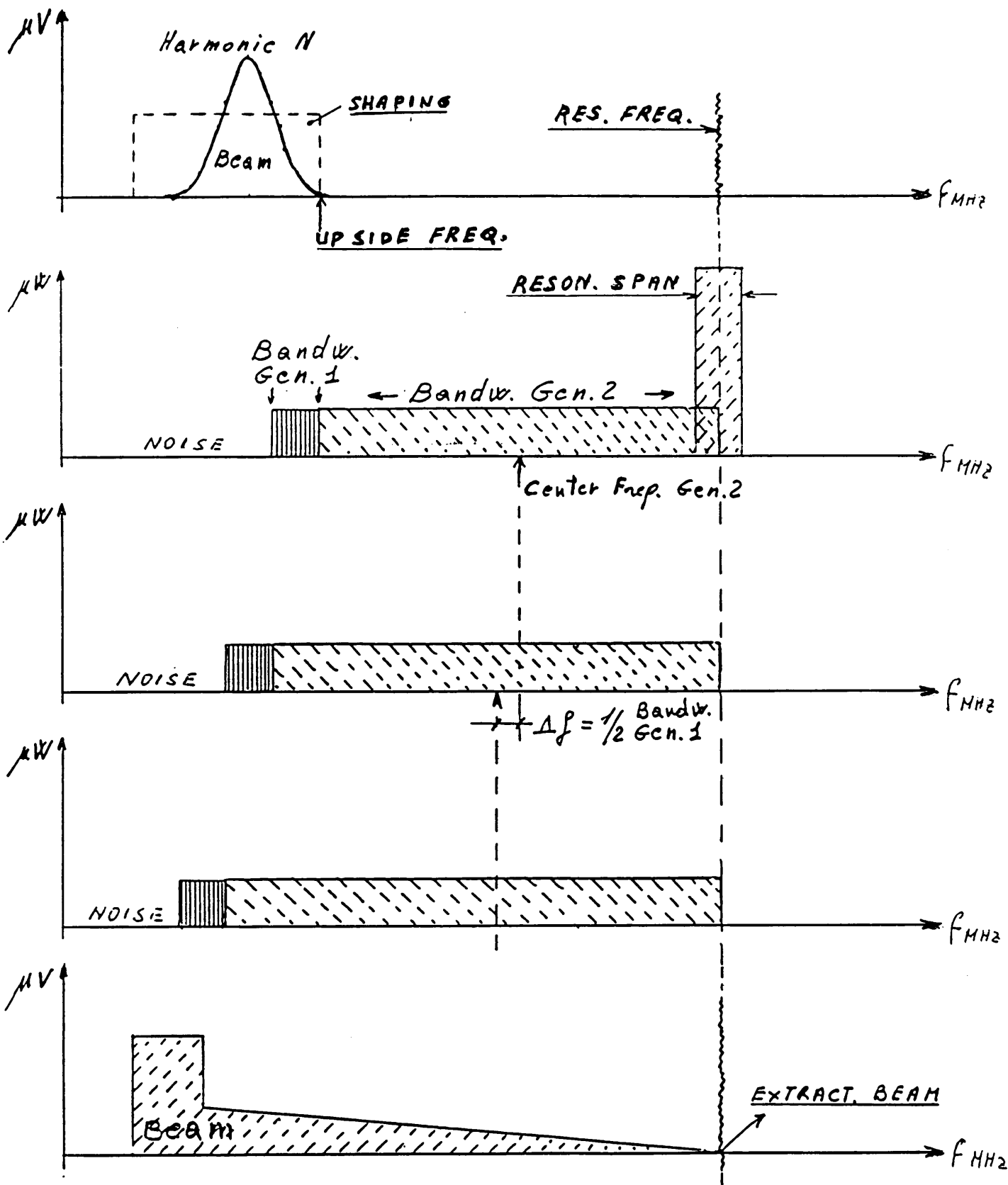


Figure 1

c) Kicker d'extraction.

Le kicker KEM-12 a été conçu pour travailler dans la plage de fréquence permettant le recouvrement des fréquences de révolution (ou harmoniques) de toutes les quantités de mouvement possibles dans la machine LEAR. Il est constitué de deux modules, l'une de deux gaps qui forment le module 1 pour la résonance "cheminée", l'autre de quatre gaps qui forment le module 2 pour le "shaping" et le "spill". Dans l'intervalle de fréquences compris entre 10MHz et 16MHz, l'impédance de chaque gap est égale à $Z=50\Omega$ ($\varnothing=\pm 35^\circ$). L'ensemble mécanique est représenté dans le schéma PS E50-1209-1.

Liste du matériel utilisé:

- 1) Générateur de bruit mod.RG-1 (Wandel Goltermann).

Caractéristiques:

spectre de bruit blanc (KHz).....0 à 100
niveau de sortie (dB).....-20 à +3

- 2) Filtre "Brickwall" mod.752A (Wavetek Rockland).

Caractéristiques:

bande de fréquence (KHz).....0 à 99
atténuation (dB).....> 80
facteur de forme f.d.f< 1.7
programmable.....IEEE

- 3) Générateur de fréquence mod.3325A (Hewlett Packard).

Caractéristiques:

bande de fréquence.....1 μ Hz à 21MHz
résolution.....11 chiffres
temps de balayage (sweep) (Sec)..max. 100
niveau de sortie (50 Ω) (Volt)....max. 10
programmable.....IEEE

- 4) Générateur de fréquence mod.8165A (Hewlett Packard).

Caractéristiques:

bande de fréquence.....1mHz à 50MHz
résolution.....4 chiffres
niveau de sortie (50 Ω) (Volt)....max. 5
programmable.....IEEE

- 5) Multiplicateur de fréquence (Mixer) (Mini Circuits).

Caractéristiques:

	mod.ZFY-1	mod. ZAY-2
pertes de conversion (dB).....	<5.....	<6.5
isolation LO-RF & LO-IF (dB).....	>40.....	>45
bande de fréquence RF (MHz).....	0.1-500.....	10-1000
bande de fréquence IF (MHz).....	0.01-500.....	dc-1000
niveau d'entrée RF (dBm).....	+20.....	+15
niveau d'entrée LO (dBm).....	+23.....	+23

6) Sommateur de fréquence (Combiner) mod.ZFSC2-4 (Mini Circuits).

Caractéristiques:

pertes d'insertion (dB).....0.3
isolation (dB).....>20
bande de fréquence (MHz).....0.2-1000

7) Filtre à quartz mod.XF-107-S-59 (Kristall Verarbeitung).

Caractéristiques:

pertes d'insertion (dB).....<3
bande de fréquence à 3dB (KHz)...±20
fréquence centrale (MHz).....10.7
impédance (Ω).....50

8) Amplificateur RF mod.WJ-7033 (Watkins Johnson).

Caractéristiques:

bande de fréquence (MHz).....1-30
gain (dB).....13.5
puissance (Watt).....5
2nd ordre O.I.P.(dBm).....>78

9) Amplificateur de puissance mod.M1600 (Instruments For Industry).

Caractéristiques:

bande de fréquence (MHz).....0.5-35
gain (dB).....55
puissance (Watt).....130
3rd ordre O.I.P.(dBm).....>67

10) Amplificateur de puissance mod.HV300E1-120MHz (Herfurth).

Caractéristiques:

bande de fréquence (MHz).....1-120
gain (dB).....60
puissance (Watt).....300
3rd ordre O.I.P.(dBm).....>64

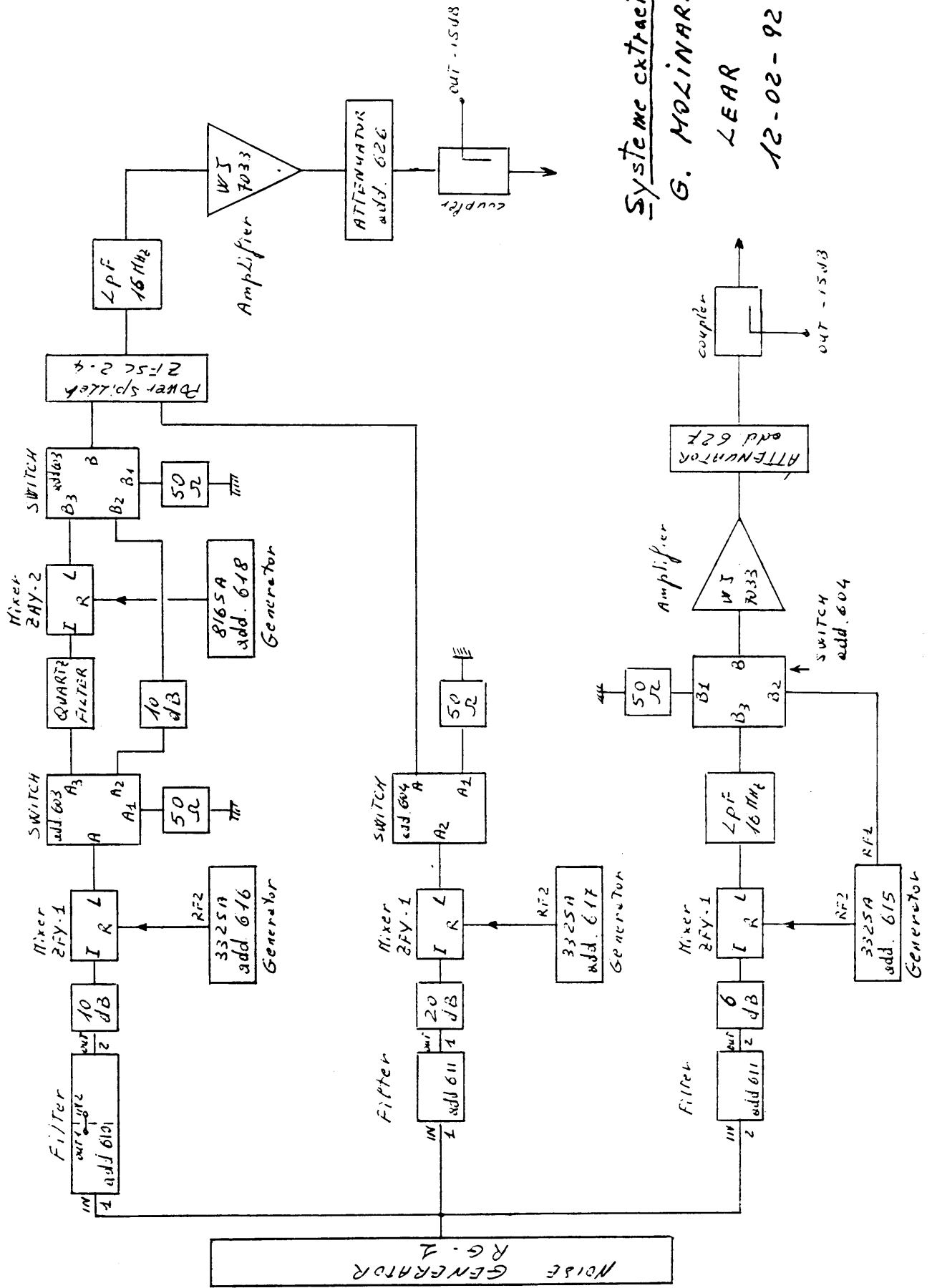
11) R.F. Atténuateur mod.DPSP (Rohde Schwarz).

Caractéristiques:

atténuation (dB).....0-139

Et d'autres composants tels que le "directional coupler" utilisé pour contrôler le signal de sortie de l'amplificateur de puissance et les "power multicoupler" nécessaire pour la distribution équilibrée de la puissance de sortie de l'amplificateur sur tous les gaps du kicker. Le "Vhf Switch" (mod.5930A de Hewlett Packard programmable IEEE) est nécessaire pour permettre aux composants du système d'extraction d'être utilisés aussi pour la détermination de la fréquence de la résonance (Programme Moving Bucket).

La figure 2 montre le schéma du système d'extraction.



Systeme extraction
 G. MOLINARI
 LEAR
 12-02-92

Figure 2

5. PROGRAMMATION.

La figure 3 montre l'organigramme du programme d'extraction écrit en langage BASIC sur un computer HP87 de Hewlett Packard. Deux possibilités sont offertes: l'une avec "shaping", l'autre sans "shaping". Pour les quantités de mouvement inférieures à 300MeV/c, il est conseillé d'utiliser l'option sans "shaping" (prog. USE_LE) qui permet au "stochastic cooling" de rester actif pendant tout le temps de l'extraction. Ceci augmente l'efficacité de l'extraction car il empêche la diffusion des particules du faisceau. Pour les quantités de mouvement supérieures à 300MeV/c l'option avec "shaping" (prog. U_S_E) peut être utilisée car le phénomène de diffusion devient négligeable. Les deux systèmes diffèrent par l'utilisation de la vitesse d'approche du bruit stochastique au bord supérieur du faisceau. Afin d'obtenir un flux uniforme et constant de particules pendant tout le temps du "spill" vers les utilisateurs le réglage du système avec "shaping" est plus facile à exécuter.

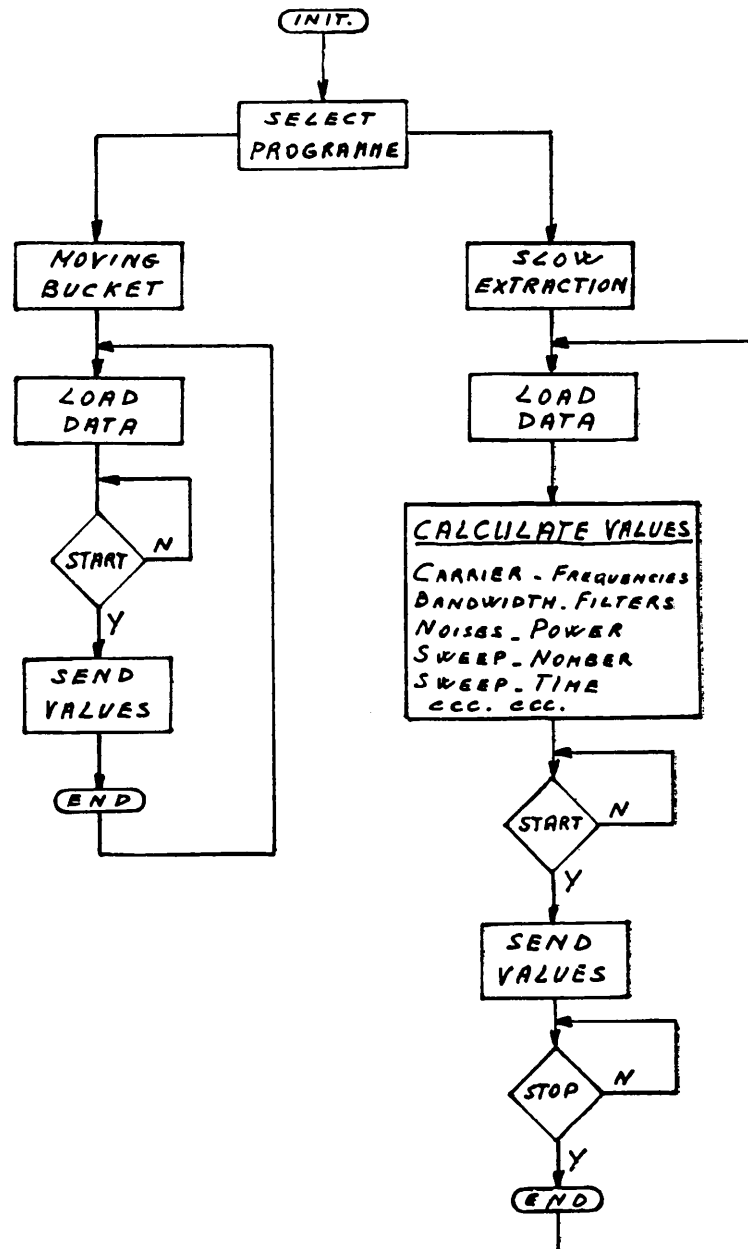


Figure 3

Les paramètres à définir avant l'extraction sont:

1) Upside Beam Frequency.

Avec l'aide du Spectrum Analyser on mesure la fréquence du bord supérieur d'une harmonique du faisceau. Sa valeur doit être comprise entre 10MHz et 16MHz.

2) Shaping Time.

Choisi entre 1 et 100sec.; sa valeur dépend aussi de celle donnée au point 3.

3) Shaping Power.

Choisi entre 0.01 et 1000 μ W/Hz; sa valeur dépend de la quantité de mouvement.

4) Shaping Bandwidth.

Choisi entre 2 et 198KHz; sa valeur dépend du df du faisceau qu'on mesure à l'aide du Spectrum Analyser.

5) Spill Time.

Choisi entre 60 et 12000sec.; sa valeur dépend de l'intensité stockée dans la machine et de la quantité de particules par seconde demandée par l'utilisateur à l'extraction.

6) Spill Power.

Choisi entre 0.01 et 1000 μ W/Hz; sa valeur dépend de la quantité de mouvement.

7) Spill Slope.

La valeur qu'il faut donner correspond au rapport entre le nombre des particules extraites au début du "spill" et le nombre des particules extraites à la fin du "spill". Cette valeur est définie après un premier "spill" exécuté avec la valeur de 1%.

8) Resonance Frequency.

Pour définir cette valeur on utilise le programme "Moving Bucket". L'harmonique est la même qu'au point 1 c'est-à-dire qu'elle doit avoir une fréquence comprise entre 10MHz et 16MHz. Cette valeur, très importante, définit le bord supérieur du bruit stochastique du "spill" et doit être toujours supérieure à celle du point 1. La différence entre la valeur du point 8 et celle du point 1 doit être toujours inférieure à la valeur maximum du filtre (198KHz).

9) Resonance Span.

Choisi entre 2 et 40KHz; sa valeur dépend de la quantité de mouvement.

10) Resonance Power.

Choisi entre 0.1 et 10000 μ W/Hz; sa valeur nominale pour toutes les quantités de mouvement est de 1000 μ W/Hz (voir à la page 4).

11) Beam Dispersion.

Choisi entre 0 et 30%; sa valeur dépend de la quantité de mouvement. Cette valeur est définie après un premier "spill" exécuté avec la valeur de 0%.

La valeur du paramètre "Form Factor Shaping at -30dB est choisi entre 0 et 50%. Sa valeur est fonction de la quantité de mouvement. On utilise ce paramètre uniquement pour éloigner au début du "spill" le bruit stochastique du bord supérieur du faisceau. Ceci permet d'éliminer le pic du départ et d'obtenir avec le "Beam Dispersion" (point 11) la distribution des particules extraites la plus uniforme et constante possible.

6. REMERCIEMENTS.

Je remercie tout particulièrement E.Asseo, M.Chanel, D.Manglunki pour les conseils et l'aide qu'ils m'ont apportée pour la rédaction de cette note.

7. REFERENCES.

- [1] S.Van Der Meer, STOCHASTIC EXTRACTION, LOW RIPPLE VERSION OF RESONANT EXTRACTION, CERN/PS/AA note 78-6.
- [2] R.Cappi,W.Hardt,Ch.Steinbach, ULTRASLOW EXTRACTION WITH GOOD DUTY FACTOR, CERN/PS/OP/DL note 80-16.
- [3] R.Cappi,R.Giannini,W.Hardt, ULTRASLOW EXTRACTION, (Status Report), CERN/PS/LEA note 82-3.
- [4] W.Hardt, MOULDING THE NOISE SPECTRUM FOR MUCH BETTER ULTRASLOW EXTRACTION, CERN/PS/DL/LEAR note 84-2
- [5] M.Chanel, Private Communication.
- [6] J.Bosser,F.Lenardon,D.Manglunki, MEASUREMENTS OF THE DIFFUSION CONSTANT ON A COASTING BEAM EXPERIENCING RF NOISE, CERN/PS/OP note 89-3 & CERN/PS/AR note 89-10.