

GENERATEUR DU TRAIN B^0 DE LEAR (RENSEIGNEMENTS PRATIQUES ET PROCEDURES)

G. MOLINARI

1. INTRODUCTION

Pour éviter les pertes des particules pendant l'accélération et la décélération d'un faisceau, on doit maintenir la relation entre le champ magnétique B et la fréquence de la cavité rf. Le générateur du train B^0 transforme la tension induite dans une bobine placée dans un dipôle en un train d'impulsions ayant la fréquence proportionnelle à la variation du champ magnétique (B^0). Ce train d'impulsions permet la génération de la fréquence rf de base ($h=1$). Cette fréquence est aussi utilisée pour la conversion du courant mesuré du faisceau circulant en nombre de particules ainsi que pour la programmation automatique du délai du "damper". Les inévitables imperfections dues soit à l'aimant lui-même, soit aux non-linéarités des circuits électroniques rendent nécessaire l'utilisation d'un système de correction. Ce système de correction permet d'obtenir toujours le même nombre d'impulsions B^0 lors d'une accélération ou décélération et, par conséquent, la même fréquence avant le dégroupage du faisceau.

2. DESCRIPTION

Les étapes des opérations effectuées par le générateur du train B^0 pendant le déroulement d'un cycle magnétique de LEAR sont montrées Fig. 1. La séquence de ces opérations est la même pour les variations positives ($B^0 > 0$ ou B_{up}) ou négatives ($B^0 < 0$ ou B_{down}) du champ magnétique. Des impulsions programmées dans un "event train decoder" du système général du "timing" de LEAR assurent la synchronisation des commandes de "autozero", de " B^0_{on} " et de " B^0_{off} ". Pour certaines applications on peut travailler avec un "autozero" continu sur tous les "flap-top" du cycle magnétique. Dans l'intervalle de temps entre les impulsions de " B^0_{on} " et de " B^0_{off} ", on mémorise la variation (résolution de 1/100 de Gauss) du champ magnétique (B^0_{up}) ou (B^0_{down}). La différence, positive ou négative, entre la valeur mesurée et celle programmée est envoyée sous forme d'un train d'impulsions à la sortie " Up " et " $Down$ " (retardé d'environ 2.4 s après l'impulsion " B^0_{off} ").

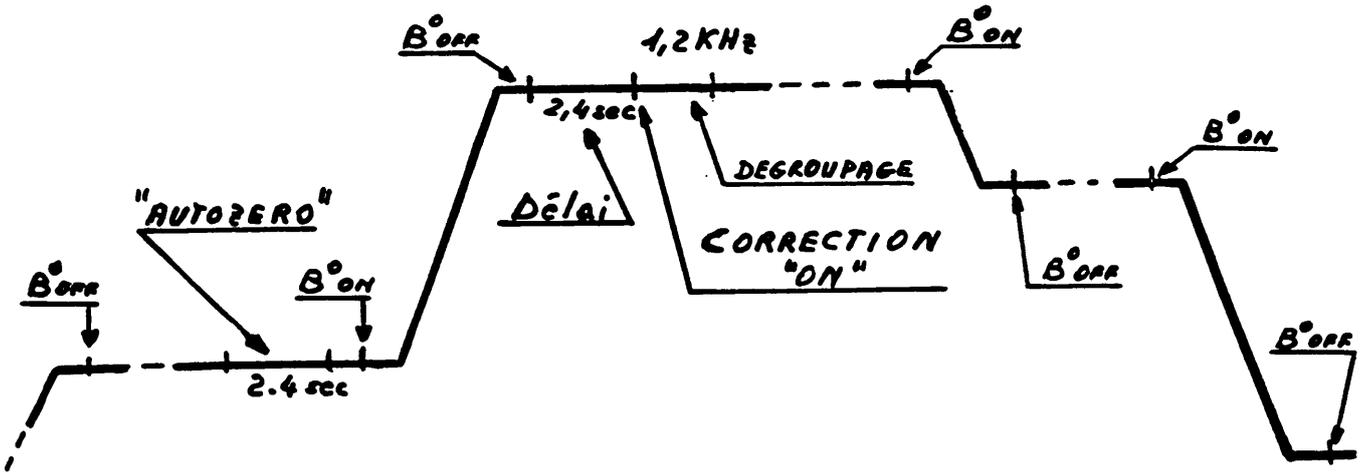


Figure 1.

3. FONCTIONNEMENT

Le diagramme à blocs de la Fig. 2 montre le principe du fonctionnement du générateur du train B^0 .

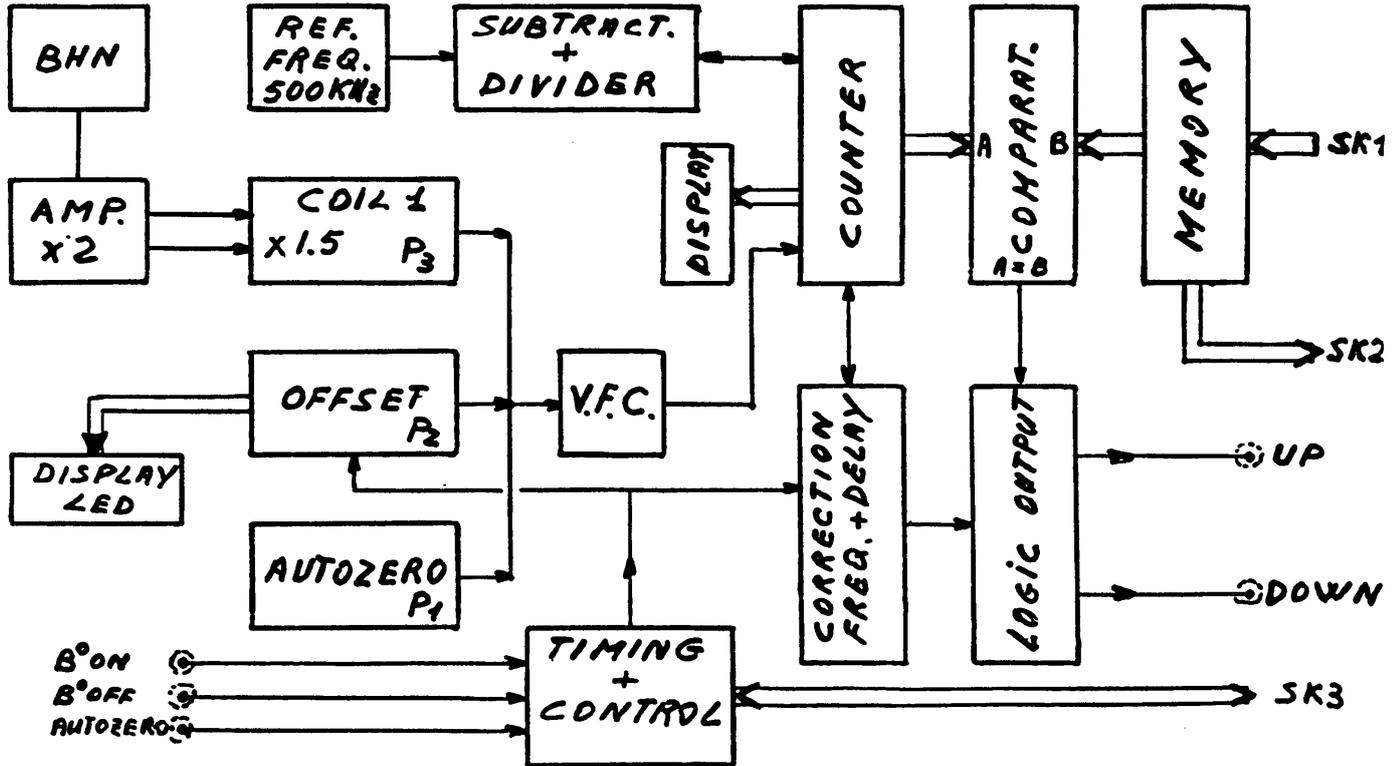


Figure 2.

Les circuits faisant partie du système sont les suivants :

3a) Bobine et Amplificateurs

Une bobine ayant une surface S ($\approx 33 \text{ m}^2$) est placée dans les blocs centraux de l'aimant dipôle BHN10. La tension induite est proportionnelle à la variation du champ magnétique (B^0_{up} ou B^0_{down}) par unité de temps ($V_{\text{ind}} \approx 31.33 \text{ V}$ pour $B^0 = 1 \text{ T/s}$). L'amplificateur de tête ($2 \times \text{OP77}$), situé à proximité de l'aimant, amplifie ($\times 2$) ce signal et l'envoie en mode différentiel à l'entrée (Coil 1) du générateur du train B^0 situé dans la salle de contrôle de LEAR. Après une nouvelle amplification ($\times 1.5$) du signal et transformation de celui-ci en signal exprimant le courant, on règle sa valeur (Gain coil 1) afin d'obtenir à l'entrée du convertisseur VFC le rapport de :

$$1 \text{ mA} = 1 \text{ tesla/s}$$

3b) Circuit d'offset

A partir d'une diode zener stabilisée en température (LM399), on produit le courant d'"offset" réglé à une valeur déterminée. Cette valeur permet au convertisseur VFC d'avoir à l'entrée un courant de 0.5 mA et de pouvoir ainsi travailler en mode bipolaire.

3c) Circuit d'autozero

Les durées importantes des cycles magnétiques de LEAR sont la cause de l'augmentation des perturbations liées au champ magnétique résiduel et aux températures des éléments. Pour minimiser ces effets, avant chaque variation du champ magnétique, on fait une correction ("autozero") qui permet d'obtenir la même fréquence (500 kHz) de départ du générateur du train B^0 . Pour réaliser ce circuit de correction on a utilisé un "digital-analog converter" (DAC10). Le réglage ("Gain autozero") agit entre un minimum de $-0.074 \mu\text{A}$ ($\pm 74 \text{ Hz}$) et un maximum de $-0.240 \mu\text{A}$ ($\pm 240 \text{ Hz}$). La tension de référence du DAC est réalisée avec une diode zener de précision (1N829A) alimentée par une diode à courant constant (1N5311).

3d) Convertisseur VFC

Le signal d'entrée du convertisseur est la somme du courant de la bobine, du courant de compensation "offset" et du courant de la correction "autozero". Les impulsions de sortie du convertisseur VFC (AD460L) ont une fréquence de 1 MHz pour un courant d'entrée de 1 mA. Ce train d'impulsions a une résolution de 1 Hz (1/100 Gauss) et sa fréquence varie proportionnellement à B^0 .

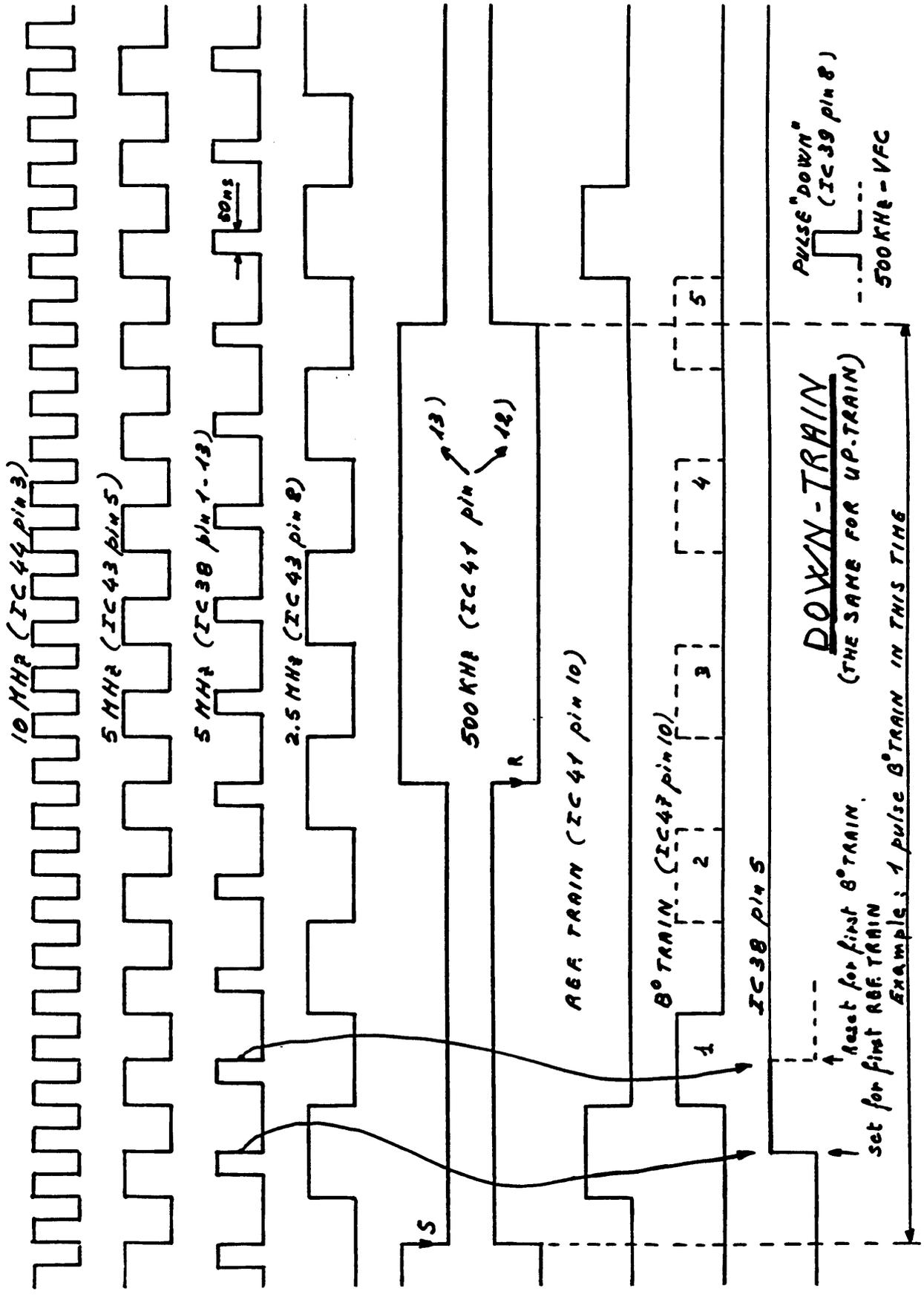


Figure 3.

3e) Circuit diviseur et soustracteur

Le diagramme de la Fig. 3 montre les séquences conduisant à l'obtention du train d'impulsions à la sortie "up" ou "down". A partir d'un oscillateur local (quartz à 10 MHz) on obtient la fréquence de référence (500 kHz) qui est ensuite comparée à celle des impulsions provenant du VFC (fréquence de 500 kHz en absence du signal dans la bobine). La différence entre les deux fréquences génère des impulsions qui sont ensuite envoyées à la sortie "up" ou "down". Ces impulsions sont aussi utilisées comme signal de contre-réaction du circuit de l'"autozero".

3f) Circuit digital de correction

La valeur calculée nécessaire pour la correction de la rf est envoyée dans la mémoire (24 bits) du générateur du train B^0 par l'intermédiaire d'un "single transceiver mod. 523027 LE" (remplacé prochainement par un nouveau système G64 Ethernet). Pendant le temps du déroulement du cycle (variation du champ magnétique entre " B^0_{on} " et " B^0_{off} "), on comptabilise les impulsions (1/100 Gauss) de sortie engendrées par le "Diviseur et Soustracteur". La différence entre la valeur mise en mémoire et celle intégrée par le compteur est envoyée pendant le temps de correction (≈ 2.4 s), sous forme d'un train d'impulsions, aux sorties (up ou down 1/100, 1/10, 1 Gauss). La fréquence de ces impulsions de correction est obtenue par un oscillateur interne (0.12, 1.2, 12 kHz). Le choix de la fréquence de l'oscillateur interne détermine la quantité maximum d'impulsions de correction (± 288 , ± 2880 , ± 28800).

3g) Circuit de contrôle et timing

Dans la machine LEAR on peut avoir des faisceaux circulants de particules de polarité positive ou négative. Par conséquent, le générateur du train B^0 doit fonctionner indifféremment pour les deux cas. Pour cela, il faut sélectionner préalablement la "**polarity**" correcte (P^- ou P^+). Dans le circuit de contrôle, la sélection de la polarité a pour effet d'inverser le rôle des sorties "up" et "down". La "**correction**" peut être sélectionnée soit "**disable**" soit "**enable**". La sélection de la polarité ou de la correction peut être faite localement (sélecteur panneau avant) ou en "**remote**" par l'intermédiaire du "single transceiver" (ou du nouveau système G64 Ethernet) branché à un connecteur du panneau arrière. Pour le contrôle du circuit "**autozero**", les commandes "**on**" et "**off**" activent et désactivent les entrées du DAC ; la commande "**reset**" rétablit l'état initial du compteur des impulsions d'erreur. Les commandes "**on/off/reset**" de l'"autozero" sont uniquement locales. Les impulsions d'entrée " B^0_{on} ", " B^0_{off} " et "**start/autozero**" sont engendrées et synchronisées par le système général du "**timing**" de LEAR. Dans le circuit du "**timing**" du générateur du train B^0 elles déterminent les séquences nécessaires au déroulement des opérations pendant le cycle. La liste des commandes et des contrôles (dessin PS/LEAR 0056P/2) est la suivante :

"polarity"

- "P-"** (Out A, pin4 IC48 = Up ; Out B, pin7 IC48 = Down, led P- allumée).
"P+" (out A, pin4 IC48 = Down ; Out B, pin7 IC48 = Up, led P+ allumée).
"remote" (en "remote" sans le connecteur de contrôle comme pour P-, led P- allumée).

"autozero"

- "on"** (OE, pin1 IC67/68 "O" sorties activées).
"off" (OE, pin1 IC67/68 "1" sorties désactivées).
"reset" (PL, pin11 IC 63/64/65 "O" chargement compteur).
 Led **"fault"** (dépassement de la capacité du DAC pin8 IC62 "O" ; remise à l'état "1" par le "reset").
 Led **"on"** (pin5 IC60 "1" "start/autozero" ; remise à "1" par le délai IC61 ou par B⁰off pin6 IC62).

"corrections"

- "disable"** (B, pin2 IC50 "O" désactive l'oscillateur local de la fréquence de correction).
"enable" (B, pin2 IC50 "1" active l'oscillateur locale de la fréquence de correction ; led "enable" allumée).
"remote" (en "remote" sans le connecteur de contrôle (SK3) comme pour "disable").
 Led **"on"** (pin4 IC52 "O" temps de correction de ≈ 2.4 sec).
 Led **"ok"** (pin19 IC35 "O" sortie du comparateur digital de la "Correction digitale").

4 PROCEDURES DE REGLAGE.

Le schéma de la Fig. 4 montre les parties du système du générateur du train B⁰ qui doivent être calibrées afin d'obtenir la résolution de 1/100 de Gauss/Hz. Les tensions $-V_1$, V_2 , $\pm V_3$ sont respectivement la tension de l'"autozero", la tension de l'"offset" et la tension de la bobine.

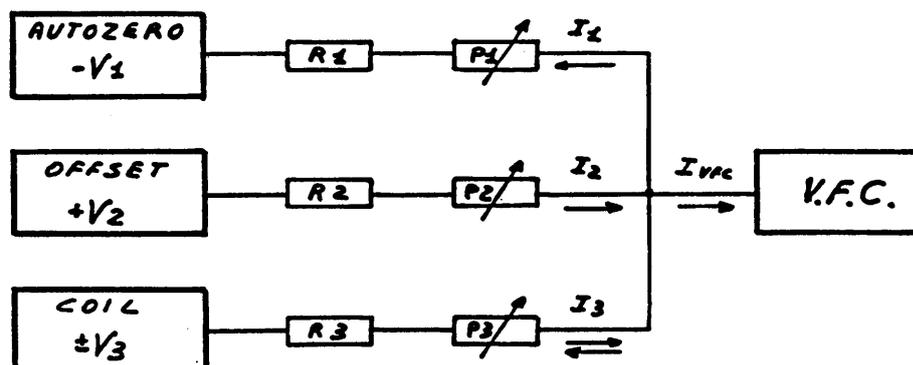


Figure 4

4a) Calibration de l'"autozero"

Le tableau 5 montre les valeurs du courant I_1 pour différents réglages.

Tableau 5

P_1 (k Ω)	(msb) Bits (lsb)	I_1 (μ A)	V_1 (mV)
0	00 0000 0000	0	0
50	00 0000 0000	0	0
100	00 0000 0000	0	0
0	10 0000 0000	-0.240	-3 100
50	10 0000 0000	-0.114	-3 100
100	10 0000 0000	-0.074	-3 100
0	11 1111 1111	-0.481	-6 200
50	11 1111 1111	-0.228	-6 200
100	11 1111 1111	-0.149	-6 200

Après l'action de la commande "reset" (SW1) la configuration binaire à l'entrée du DAC (IC5) est : (msb) **10 0000 0000** (lsb). Dans cette situation, on choisit la valeur de réglage du courant comprise entre $-0.074 \mu\text{A}$ ($P_1 = 100 \text{ k}\Omega$) et $-0.240 \mu\text{A}$ ($P_1 = 0 \text{ k}\Omega$). Pour l'exemple de calcul de la correction on a choisi la valeur moyenne $I_{1\text{moy}} = -0.114 \mu\text{A}$ ($P_1 = 50 \text{ k}\Omega$).

"autozero" 2.4 s

Se référant au dessin PS/LEAR 0056P/2, faire les opérations suivantes :

- BR1 (CB)
- BR2 (LM)
- BR3 (GH)
- BR5 (EF)
- BR6 (ouvert)
- BR4 (2) (fréquence 1.2 kHz)
- IC67/68 74LS374 (pin 11 CP)

- Enlever le "strap" BR2.
- Faire "reset" et "on".
- Mettre le point L du BR2 à la masse (≈ 1 seconde); seule la "led" du signe "+" (face avant) doit être allumée.

- Régler le potentiomètre du gain de l'"offset" (P_2) jusqu'à lire à la sortie VFC (connecteur "lemo" face avant) la valeur 500 000 Hz (fréquence égale à celle de référence).
- Mettre "autozero off"; aucune "led" ne doit être allumée.
- La valeur de la fréquence qu'on doit lire à la sortie VFC (connecteur "lemo" face avant) est de 499 886 Hz.
- Dans cet exemple ($I_{1\text{moy}} = -0.114 \mu\text{A}$) le champ d'intervention est de ± 114 Hz.
- La gamme de réglage du courant de l'"autozéro" varie entre
 $I_{1\text{min}} = -0.074 \mu\text{A}$ (± 74 Hz) et $I_{1\text{max}} = -0.240 \mu\text{A}$ (± 240 Hz).
- Remettre le "strap" BR2.

"autozero" continu

Se référant au dessin PS/LEAR 0056P/2, faire les opérations suivantes :

BR1 (AC)
 BR2 (ouvert)

Ensuite définir le temps de retard du démarrage de l'"autozero" :

BR5 (FE),	BR3 (GI),	BR6 (ouvert)	→	1.2 s
BR5 (FE),	BR3 (GH),	BR6 (ouvert)	→	2.4 s
BR5 (FD),	BR3 (GI),	BR6 (ouvert)	→	12. s
BR5 (FD),	BR3 (GH),	BR6 (ouvert)	→	24. s
BR5 (FE),	BR3 (GI),	BR6 (fermé)	→	60. s
BR5 (ouvert),	BR3 (GI),	BR6 (fermé)	→	120. s
BR5 (ouvert),	BR3 (GH),	BR6 (fermé)	→	240. s

BR4 (2) (fréquence 1.2 KHz)
 IC67/68 74LS373 (pin 11 LE)

- Régler le potentiomètre du gain de l'"autozero" (P_1) jusqu'à obtenir la valeur minimum du courant $I_{1\text{min}} = -0.074 \mu\text{A}$.
- Dans cette configuration le champ d'intervention est de ± 74 Hz.

4b) Calibration de l'"offset".

La valeur typique de la tension de référence V_2 est 6 950 mV. Les valeurs extrêmes du réglage du courant I_2 sont données par :

$$I_{2\text{min}} = V_2/R_2 = \underline{0.518 \text{ mA}} \text{ (518000 Hz) } (P_2 = 0 \Omega)$$

$$I_{2\text{max}} = V_2/R_2 + P_2 = \underline{0.482 \text{ mA}} \text{ (482000 Hz) } (P_2 = 1 \text{ k}\Omega)$$

où $R_2 \approx 13.41 \text{ k}\Omega$

Remarque :

Pour que le courant à l'entrée du convertisseur VFC soit 0.5 mA (500 kHz) en l'absence du signal de la bobine ($V_3 = 0$), il faut que la valeur du courant I_2 de l'"offset" dans cet exemple soit :

$$I_2 = 0.5 \text{ mA} - I_{1\text{moy}} = 0.5 \text{ mA} - (-0.114 \mu\text{A}) = \underline{0.500114 \text{ mA}}.$$

4c) Calibration de la tension induite dans la bobine.

La formule qui donne la tension induite dans la bobine V_3 est la suivante :

$$V_{ind}(t) = S \cdot \frac{dB}{dt} = S \cdot B^0$$

où S = surface de la bobine ($\approx 33 \text{ m}^2$)

B^0 = variation du champ magnétique en Tesla ($V \cdot \text{s/m}^2$).

Si l'on veut obtenir un B^0 de 0.1 T/s, la tension induite dans la bobine est:

$$V_{ind} = 33 \cdot 0.1 = 3300 \text{ mV}$$

ce qui donne :

$$V_3 = 3300 \cdot 2 \cdot 1.5 = 9900 \text{ mV}$$

d'où la gamme de réglages du courant I_3 (dans cet exemple) :

$$\text{Valeur minimum } I_{3\text{min}} = V_3/R_3 = \underline{105 \mu\text{A}} \quad (R_3 = 0 \Omega)$$

$$\text{Valeur maximum } I_{3\text{max}} = V_3/(R_3 + P_3) = \underline{95 \mu\text{A}} \quad (R_3 = 10 \text{ k}\Omega)$$

où $R_3 = 94 \text{ k}\Omega$

5 EN CAS DE MAUVAIS FONCTIONNEMENT

- Vérifier la polarité des dipôles BHN.
- Vérifier la position du "switch" de polarité.
- Vérifier les conditions de l'"autozero" et de la correction.
- Après un "reset" de l'"autozero" il faut plusieurs cycles pour que la valeur de la correction soit très proche de la valeur binaire("msb" 10 0000 0000 "lsb").
- Vérifier que la led "fault" de l'"autozero" soit éteinte.
- Vérifier que la led "ON" de l'"autozero" soit allumée pour quelques secondes après l'impulsion de l'"autozero".

- Vérifier que la led "OK" de la "correction" soit allumée pour quelques secondes après l'impulsion de "B⁰off".
- Vérifier (si le point précédent n'est pas satisfait) que les valeurs de correction envoyées au générateur sont correctes (lire le "single transceiver").
- Vérifier que la led "B⁰on" soit allumée entre les impulsions "B⁰on" et "B⁰off" (B⁰up ou B⁰down).
- Vérifier que la fréquence (connecteur "lemo" VFC) soit à 500 000 Hz sur le "flat-top".
- Vérifier toutes les connexions ("lemo", SK1/2/3/4, etc.).
- Vérifier que le rack du générateur du train B⁰ soit fermé car le convertisseur VFC est très sensible à la température.

Si après tous ces contrôles la faute persiste, appeler le spécialiste.

6 REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement E. ASSEO, M. CHANEL, D. MANGLUNKI et les opérateurs de LEAR pour les conseils et l'aide qu'ils m'ont apportés dans la rédaction de cette note.

7 REFERENCES

PS/SM	7571-1	B-TRAIN	Subtractor-Divider (drawing)
		J.C. Thomi	20/01/83
PS/SM	7537-2	B-TRAIN	Voltage to Frequency Converter
		(drawing)	
		J.C. Thomi	03/09/81