

Octobre 1977

INT 85/77

NOTES SUR LA REALISATION D'UN CROSS-CORRELATEUR

J.P. PEROTTI

Centre de Recherches en Physique des Plasmas

ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE

NOTES SUR LA REALISATION D'UN CROSS-CORRELATEUR

J.P. Perotti

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland

Centre de Recherches en Physique des Plasmas

INTRODUCTION

Dans l'étude qui va suivre, nous mettrons en présence deux systèmes de construction de corrélateur:

- a) le système Harker et Ilic, publié dans Rev.Sci.Instrum., Vol.45, 1974, p. 1315 et suivantes, qui a servi de modèle à la réalisation décrite dans le rapport interne 80/77 "A Cross Power Spectrum Analyzer" par M. Bitter et Cie.
- b) le système à deux fréquences porteuses décrit dans le rapport interne 63/75 "Measurement of the Cross Correlation Function of Two Signals" par E.S. Weibel.

Nous examinerons tout d'abord le fonctionnement du multiplicateur analogique qui est à la base de tout corrélateur.

Nous montrerons ensuite que le système à deux fréquences porteuses a encore une excellente linéarité pour des signaux d'entrée fortement atténués (60 à 80 dB), performances obtenues au prix d'une certaine complication de l'appareil.

Par contre, le système Harker et Ilic, plus simple dans sa réalisation, a une dynamique de l'ordre de 40 dB.

MULTIPLIFICATEUR ANALOGIQUE

A. Circuit intégré Motorola MC 1496

Nous avons repris le schéma Harker et Ilic reproduit à la figure 1. Les tests de linéarité sont fait en appliquant la même fréquence sur les entrées "Carrier" (V_c) et "Modulation" (V_m) et en mesurant la tension continue de sortie de l'ampli 741. On règle l'amplitude du signal H.F. pour obtenir une tension de sortie déterminée (comprise entre 100 et 500 mV pour ce montage), mesurée par un voltmètre digital. Puis on atténue une des entrées de 3,6,10,20, etc, dB en mesurant chaque fois la tension continue de sortie. On répète l'opération sur l'autre entrée.

Un multiplicateur idéal doit donner: tension de sortie $V_o = 0$ pour V_c maximum et $V_m = 0$, V_m maximum et $V_c = 0$, $V_m = V_c = 0$.

Le tableau I donne le résultat des mesures pour une tension de sortie de 200 mV et une fréquence de 6 Mhz.

L'amplification du circuit intégré MC 1496 étant réglable par R_G , nous avons répété le test pour une valeur plus faible que la valeur conseillée de 1 k Ω .

On peut tirer les conclusions suivantes:

- avec le gain fixé par $R_G = 1$ k Ω , la linéarité est mauvaise quelle que soit l'atténuation du signal d'entrée. Si l'atténuation infinie de la voie V_c donne effectivement $V_o = 0$ (seule subsiste l'erreur en tension continue de l'ampli opérationnel), l'atténuation totale de la voie V_m donne un résidu non négligeable: 12 mV, soit 6 % de la tension de sortie maximum, d'où l'erreur très grande de la tension de sortie pour des atténuations de V_m supérieures à 10 dB. Cette tension résiduelle, pour $V_m = 0$, varie d'un circuit à l'autre. Elle était comprise entre 10 et 45 mV pour 10 circuits MC 1496 que nous avons testés.

- l'augmentation du gain par la réduction de R_G à 160Ω apporte une amélioration substantielle. L'erreur, pour $V_m = 0$, est ramenée à 2 mV pour une même tension de sortie maximum. On note aussi la réduction correspondante de la tension H.F. d'entrée.

B. Circuit intégré SG 3402 de Silicon General

Schéma d'application de la figure 2. La mise en oeuvre de ce multiplicateur est plus simple: il suffit d'ajouter les capacités d'entrée et de découplage sur les bornes V_c et V_m et le réglage "Balance". Le gain est fixe. La tension de sortie, pour la même tension H.F. d'entrée, est beaucoup plus élevée que celle du MC 1496.

Par une sélection des circuits intégrés, on peut ramener l'erreur de la tension de sortie à ± 2 mV pour les trois conditions: $V_c = 0$ à V_m maximum, $V_m = 0$ à V_c maximum et $V_c = V_m = 0$.

Le tableau II donne les valeurs des tensions de sortie et les erreurs de linéarité pour 1 et 2 volts. On voit qu'on peut admettre une dynamique d'entrée de 40 dB par voie pour une tension de sortie maximum de 1 volt.

Le cas où l'on atténue simultanément les deux entrées V_c et V_m n'est pas reporté dans nos tableaux. En effet, ce test est beaucoup moins sévère que ceux que nous publions et l'erreur mesurée sera toujours plus faible que la valeur obtenue lors de l'atténuation d'une seule voie.

Cross-corrélateur à deux fréquences porteuses

La figure 3 donne le schéma de réalisation développé à partir du schéma de principe publié dans le rapport interne 63/75.

Le multiplicateur SG 3402 donne un affaiblissement de 3 dB à 50 Mhz. Nous avons donc choisi les fréquences suivantes:

oscillateur fixe à quartz: $F_0 = 20$ Mhz.

Oscillateur variable = sweep: compris entre $3/2 F_0$ et $2 F_0$, soit de 30 à 40 Mhz.

Filtre de bande: $5/2 F_0$ à $3 F_0$, soit 50 à 60 Mhz.

Filtre à bande étroite: 20, 40 et 60 Mhz.

Les mixers, modulateurs et démodulateurs sont des mixers HP 10514 A.

Les filtres passe-bas normalement insérés aux entrées "Signal" f et g et à la sortie ne sont pas représentés.

Description du fonctionnement

La fréquence de l'oscillateur de sweep est mélangée à la fréquence fixe F_0 dans le mixer 1. Le battement supérieur $F_0 + F_{\text{sweep}}$ de 50 à 60 Mhz est extrait par le filtre de bande. On applique donc aux modulateurs M3 et M4 des fréquences porteuses dont l'écart, constant, est égal à 20 Mhz.

M3 et M4 sont montés en modulateur équilibré avec suppression de la fréquence porteuse. Seule, la bande latérale supérieure est sélectionnée par le filtre 40 ou 60 Mhz. On a donc, pour l'entrée f: fréquence signal + $F_1 = 40$ Mhz; pour l'entrée g: fréquence signal + $F_2 = 60$ Mhz.

Les sorties des filtres, après amplification si nécessaire, attaquent les entrées d'un multiplicateur SG 3402.

Le multiplicateur est suivi d'un filtre à 20 Mhz qui restitue la composante F_0 modulée en amplitude par le produit des amplitudes des signaux f et g.

Après amplification et passage dans un coupleur à deux sorties, la modulation parvient aux démodulateurs M5 et M6.

La fréquence de référence appliquée aux bornes L de M5 et M6 ne peut pas provenir directement de l'oscillateur Fo. En effet, le filtre de bande 50 à 60 Mhz introduit un déphasage variable, fonction de la fréquence. C'est pourquoi nous reconstituons la fréquence de référence par batttement des deux porteuses prises à l'entrée des modulateurs M3 et M4. De cette façon, la fréquence de référence suit le déphasage de la porteuse F2.

Sur le démodulateur M5, les entrées L et R doivent être en phase (composante réelle de $f \times g$) alors que l'entrée L du démodulateur M6 est retardée de 90° (composante imaginaire du produit).

Les amplificateurs à courant continu, qui suivent les démodulateurs, doivent être à faible dérivé de tension, si l'on veut conserver au montage tout son intérêt. Pour des signaux d'entrée nuls, la tension de sortie est égale à la dérive des amplificateurs car la sortie des démodulateurs est effectivement nulle dans ces conditions.

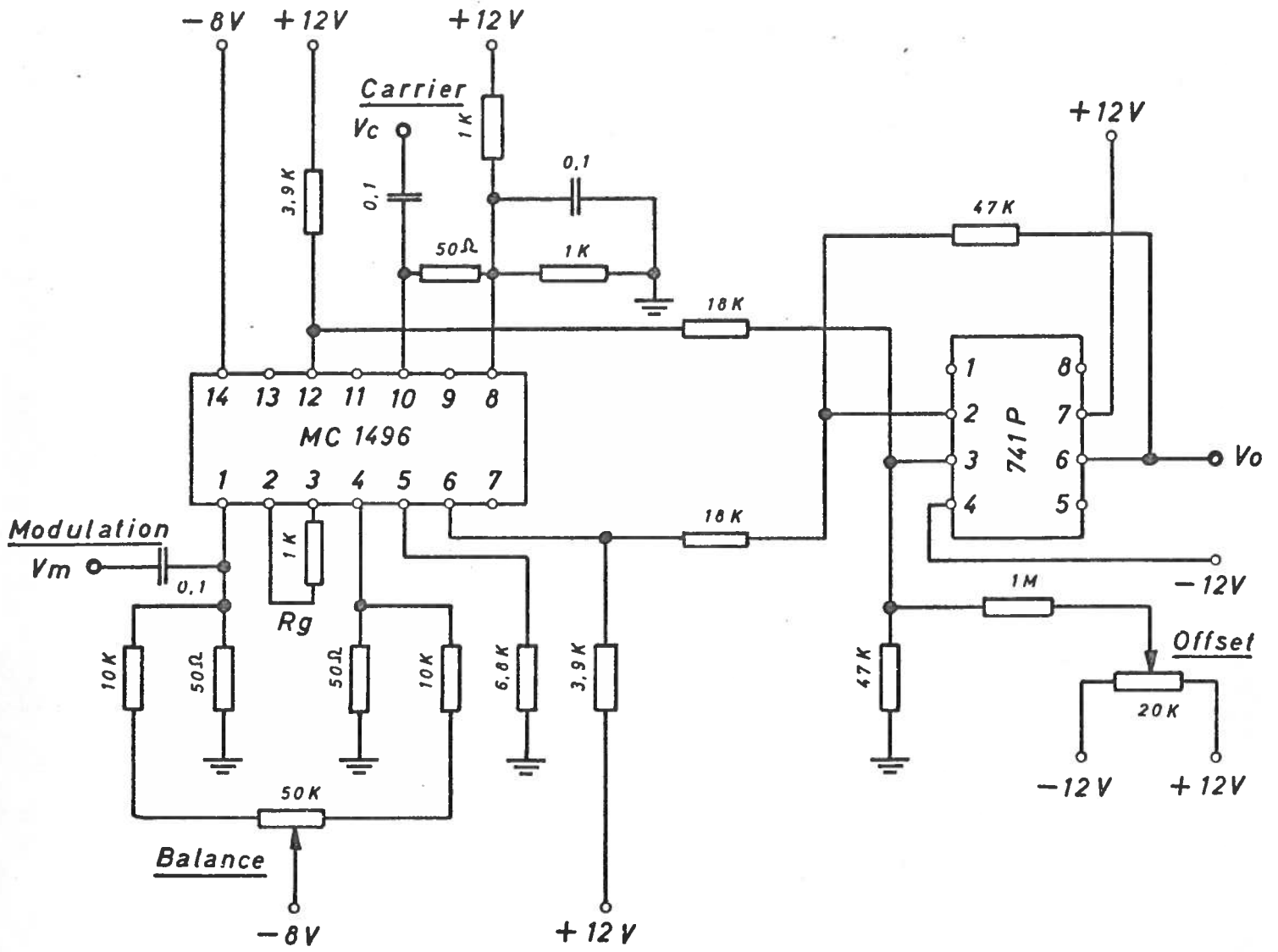
Tests de linéarité

Il est possible de sortir 10 volts sur la composante réelle sans erreur de linéarité prohibitive. Une telle tension autorise un affaiblissement de chaque voie de 80 dB.

Les tableaux III et IV résument les mesures de linéarité pour des tensions de sortie maximum (composante réelle) de 1,5 et 10 volts. Ces mesures ont été faites à une fréquence moyenne de 5 Mhz.

La variation de tension de sortie, à entrées f et g constantes, est inférieure à 1 % pour la plage 1 à 9 Mhz.

MULTIPLICATEUR MC 1496



Dispositif de mesure.

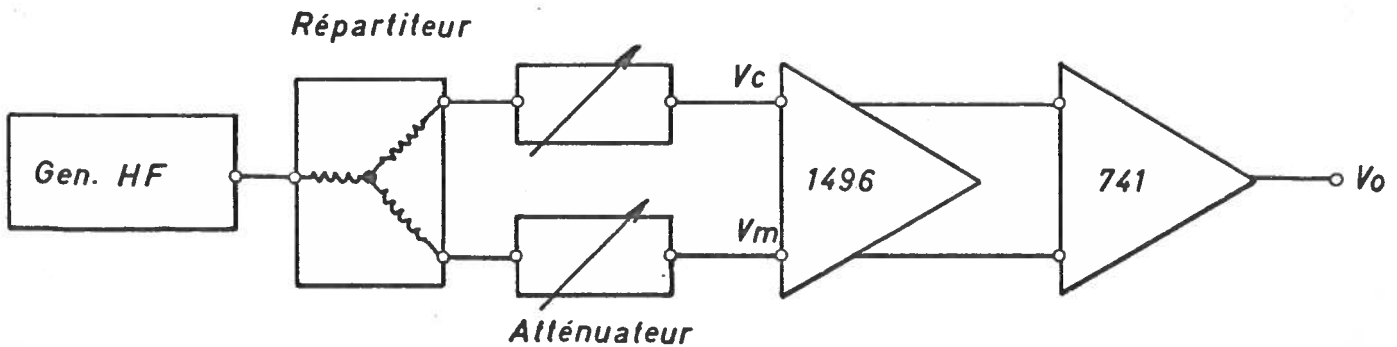


Fig. 1

Tableau I

Test linéarité circuit intégré MC 1496 à 6 Mhz

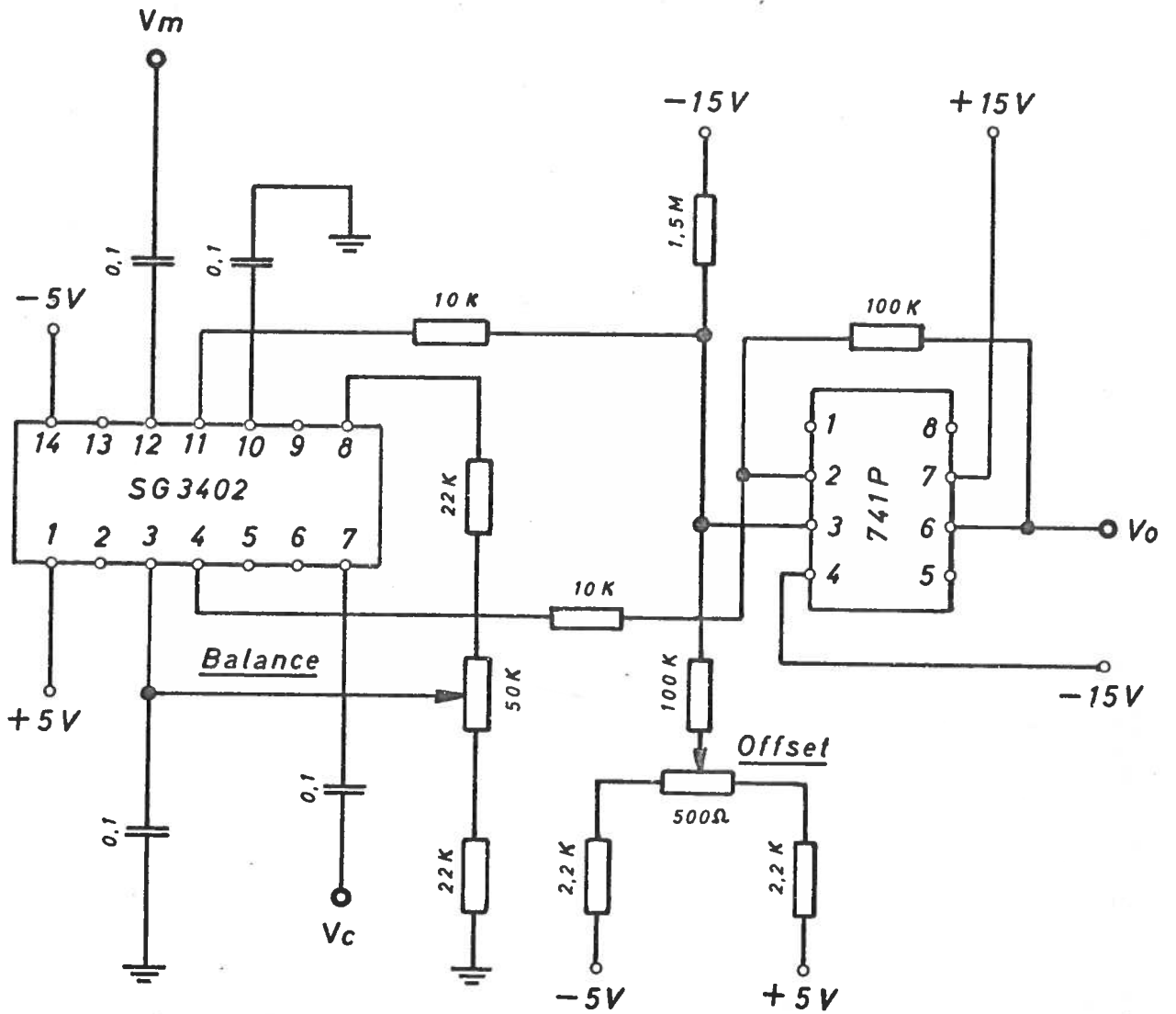
1) $R_G = 1 \text{ k}\Omega$ $V_o \text{ max.} = 200 \text{ mV}$ $V_{HF} = 90 \text{ mVpp}$

Atténuation dB	Sortie V_o à V_m fixe et V_c atténué	Sortie V_o à V_c fixe et V_m atténué	Valeurs V_o calculées	Ecart de V_c en mV	Ecart de V_m en mV	Erreur V_c en %	Erreur V_m en %
3	144,5 mV	145 mV	141 mV	+3,5	+4	+2,4	+2,8
6	103	106	100	+3	+6	+3	+6
10	64,75	71,5	63,2	+1,5	+8,3	+2,4	+13
20	20	31,25	20	0	+11,2	0	+56
30	5,75	18,5	6,3	-0,55	+12,2	-8,7	+193
40	1,5	14,5	2	-0,5	+12,5	-25	+625
∞	-0,3	12	0				

2) $R_G = 160 \Omega$ $V_o \text{ max.} = 200 \text{ mV}$ $V_{HF} = 35 \text{ mV}_{pp}$ par voie

3	141,5 mV	142,5 mV	141 mV	+0,5	+1,5	+0,3	+1
6	100	101,2	100	0	+1,2	0	+1,2
10	63,35	64,75	63,2	+0,15	+1,5	-0,2	+2,3
20	19,75	21,75	20	-0,25	+1,75	-1,2	+8,7
30	6,25	8,25	6,3	-0,05	+1,95	-0,8	+30
40	1,75	4	2	-0,25	+2	-12	+97
∞	-0,2	2	0				

MULTIPLICATEUR SG 3402



Dispositif de mesure.

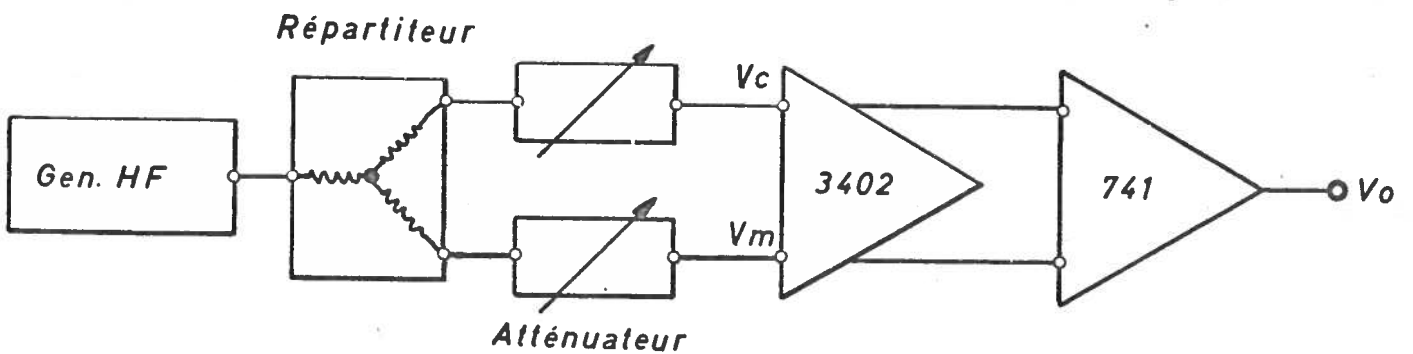


Fig. 2

Tableau II

Test linéarité circuit intégré SG 3402 à 6 Mhz

1) $V_o \text{ max.} = 1 \text{ volt}$ $V_{HF} = 35 \text{ mVpp}$ par voie

Atténuation dB	Sortie V_o à V_m fixe et V_c atténué	Sortie V_o à V_c fixe et V_m atténué	Valeurs V_o calcu- lées	Ecart de V_c en mV	Ecart de V_m en mV	Erreur V_c en %	Erreur V_m en %
3	711 mV	715 mV	708 mV	+3	+7	+0,4	+1
6	505	508	501	+4	+7	+0,8	+1,4
10	320	322	316	+4	+6	+1,2	+1,9
20	100	101	100	0	+1	0	+1
30	30,5	30,7	31,6	-1,1	-0,9	-3,5	-2,8
40	9	8,5	10	-1	-1,5	-10	-15
50	2	1,5	3,16	-1,16	-1,66	-36	-52
∞	-1	-1	0				

2) $V_o \text{ max.} = 2 \text{ volt}$ $V_{HF} = 50 \text{ mVpp}$ par voie

3	1421 mV	1439 mV	1416 mV	+5	+23	+0,3	+1,6
6	1007	1024	1002	+5	+22	+0,5	+2,2
10	637	648	632	+5	+16	+0,8	+2,5
20	198	202	200	-2	+2	-1	+1
30	60	60	63,2	-3,2	-3,2	-5	-5
40	16,2	15,2	20	-3,8	-4,8	-19	-24
50	2,5	1	6,3	-3,8	-5,3	-60	-84
∞	-4	-5	0				

CROSS CORRELATEUR à deux fréquences porteuses.

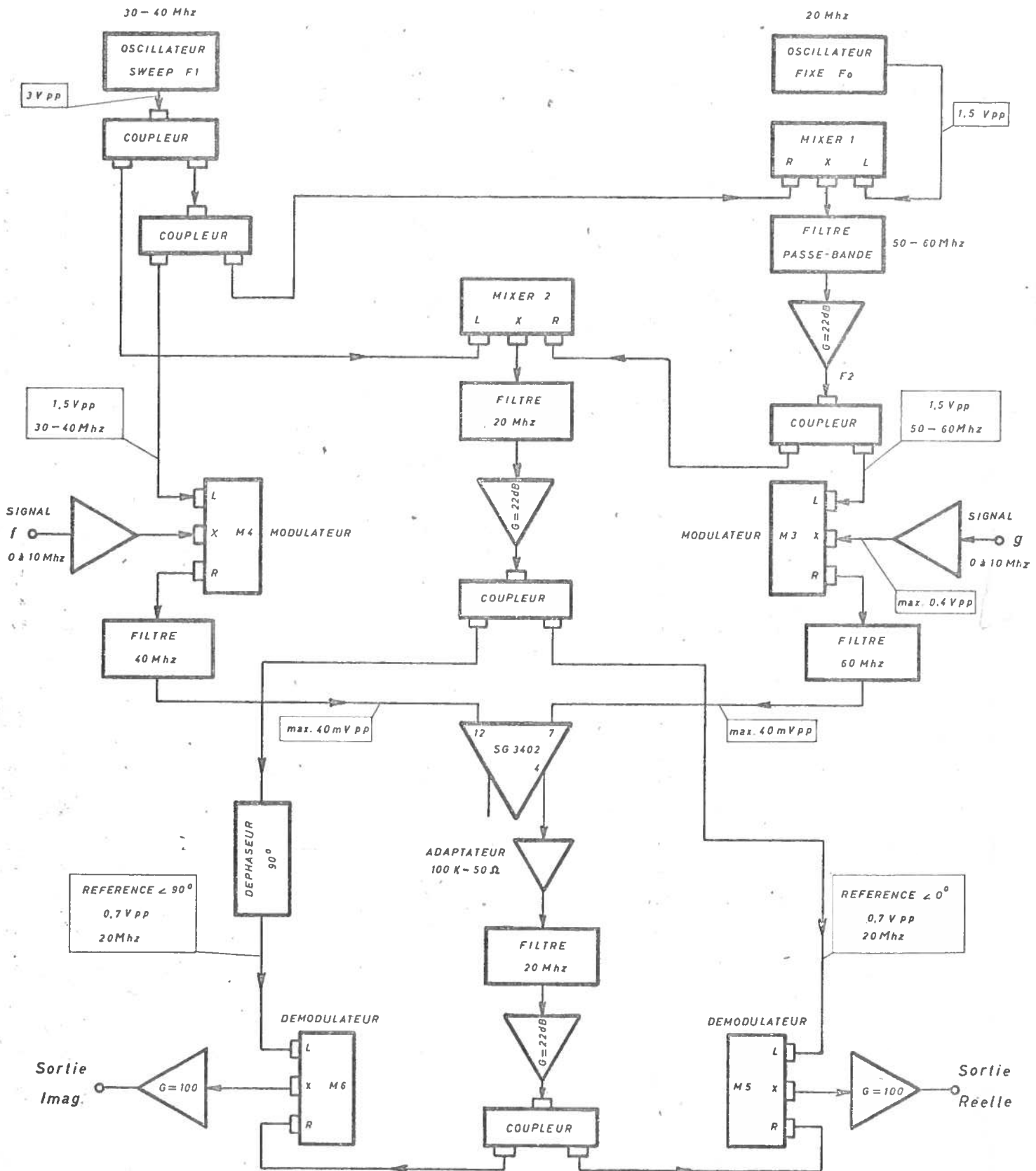


Fig. 3

Tableau III

Corrélateur à 2 porteuses F signal = 5 Mhz

1) Vo max. = 1 volt

Atténuation dB	Sortie Vo à f fixe et g atté- nué	Sortie Vo à g fixe et f atté- nué	Valeurs Vo calcu- lées	Ecart de g en mV	Ecart de f en mV	Erreur g en %	Erreur f en %
3	708,9 mV	708,3 mV	708 mV	+0,9	+0,3	+0,1	+0,04
6	501,7	501,1	501	+0,7	+0,1	+0,1	+0,02
10	317,1	316,3	316	+1,1	+0,3	+0,3	+0,1
20	99,4	99,6	100	-0,6	-0,4	-0,6	-0,4
30	30,9	31,4	31,6	-0,7	-0,2	-2,2	-0,6
40	9,4	9,8	10	-0,6	-0,2	-6	-2
50	2,5	2,8	3,16	-0,6	-0,3	-19	-9,5
60	0,5	0,9	1	-0,5	-0,1	-50	-10
70	0	0,2	0,3	-0,3	-0,1		
∞	-0,4	-0,1	0				

2) Vo max. = 5 volts

3	3560 mV	3540 mV	3540 mV	+20	0	+0,5	0
6	2530	2510	2505	+25	+5	+1	+0,2
10	1601	1591	1580	+21	+11	+1,3	+0,6
20	505	503	500	+5	+3	+1	+0,6
30	160	160	158	+2	+2	+1,2	+1,2
40	51	50,7	50	+1	+0,7	+2	+1,4
50	16,2	16,2	15,8	+0,4	+0,4	+2,5	+2,5
60	5,2	5,5	5	+0,2	+0,5	+4	+10
70	1,8	2,6	1,58	+0,22	+1,02	+14	+64
80	0,6	1,5	0,5	+0,1	+1	+20	+50
∞	0,1	0,7	0				

Tableau IV

Corrélateur à 2 porteuses F signal = 5 Mhz

3) Vo max. = 10 volts

Atténuation dB	Sortie Vo à f fixe et g atté- nué	Sortie Vo à g fixe et f atté- nué	Valeurs Vo calcu- lées	Ecart de g en mV	Ecart de f en mV	Erreur g en %	Erreur f en %
3	7210 mV	7140 mV	7080 mV	+130	+60	+1,8	+0,8
6	5140	5065	5010	+130	+55	+2,6	+1,1
10	3255	3215	3160	+ 95	+55	+3	+1,7
20	1025	1011	1000	+ 25	+11	+2,5	+1,1
30	322	319	316	+6	+3	+1,9	+0,9
40	102,5	102	100	+2,5	+2	+2,5	+2
50	32,75	32	31,6	+1,15	+0,4	+3,6	+1,2
60	10,5	10,25	10	+0,5	+0,25	+5	+2,5
70	3,25	3,5	3,16	+0,09	+0,34	+2,8	+10
80	1	1	1	0	0	0	0
∞	0	0	0				