

## Manipulation N°6 :

### La Transposition de fréquence : Mélangeur micro-ondes

**Avant Propos :** Le sujet comporte deux parties : une partie théorique, jalonnée de questions (dans les cadres), qui doit être préparée avant d'arriver en tp et une partie expérimentale se résumant dans un tableau récapitulatif en fin de sujet. Il sera de plus très fructueux de comprendre les conclusions qui peuvent se dégager de ce tableau en s'appuyant sur la partie théorique.

Ce TP porte sur l'étude de la fonction *transposition de fréquence* qui est réalisée à l'aide du composant que l'on nomme *mélangeur* (mixer en anglo-saxon).

La figure 3 du préambule général aux travaux pratiques montre que la structure d'un récepteur superhétérodyne à double changement de fréquence repose sur l'utilisation de deux mélangeurs.

Enfin, les mélangeurs ne servent pas uniquement à la transposition de fréquence on peut retrouver leurs utilisations dans les systèmes suivants :

1. Amplificateur ou atténuateur variable.
2. Modulateur et démodulateur d'amplitude.
3. Démodulateur FM.
4. Modulateur et démodulateur BPSK (Binary Phase Shift Keying) (cf TP 7).
5. Détecteur de phase.
6. Doubleur de fréquence.

**Définition :** La transposition de fréquence consiste à transposer un signal dont le spectre est centré sur une fréquence initiale vers une autre fréquence sans altération de la bande passante. On peut soit transposer le signal vers une fréquence supérieure, on parle alors de conversion supradyne (up conversion en anglo-saxon) ; soit transposer le signal vers une fréquence inférieure, on parle alors de conversion infradyne (down conversion en anglo-saxon) (cf figure 1).

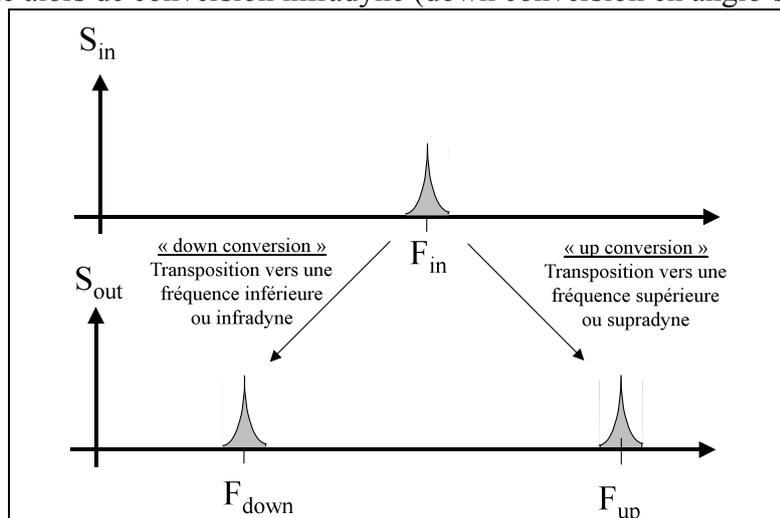


Figure 1 : transposition supradyne et infradyne

**Dans la suite du tp, on traitera la transposition vers une fréquence inférieure. Bien entendu, les principes restent strictement identiques pour les mélangeurs réalisant la transposition vers une fréquence supérieure.**

### I. Principe de la fonction mélangeur.

La figure 2 montre que la transposition de fréquence nécessite l'utilisation d'un mélangeur, dont nous verrons le principe au paragraphe suivant, et d'un oscillateur local. Dans ce système l'entrée est usuellement notée RF (pour signal Radio Fréquence) : c'est le signal initial à haute fréquence et la sortie se nomme FI (pour signal à Fréquence Intermédiaire) : c'est le signal transposé vers une fréquence inférieure. Comme nous le verrons dans le prochain paragraphe : le signal issu de l'Oscillateur Local (noté OL) a une fréquence égale à la différence (ou la somme) des fréquences des signaux RF et FI.

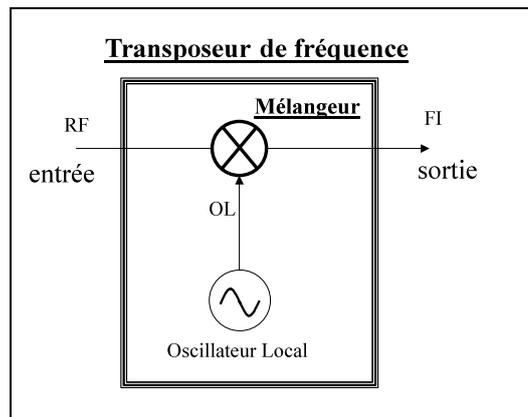


Figure 2 : Transposition de fréquence = mélangeur + Oscillateur local

#### 1. Le mélangeur idéal : le multiplieur.

Le mélangeur idéal est en fait un multiplieur dont les entrées sont connectées aux signaux RF et OL et dont la sortie est le signal FI.

L'utilisation simple de formules de trigonométrie permet de se rendre compte rapidement de la transposition de fréquence, comme le montre la figure 3.

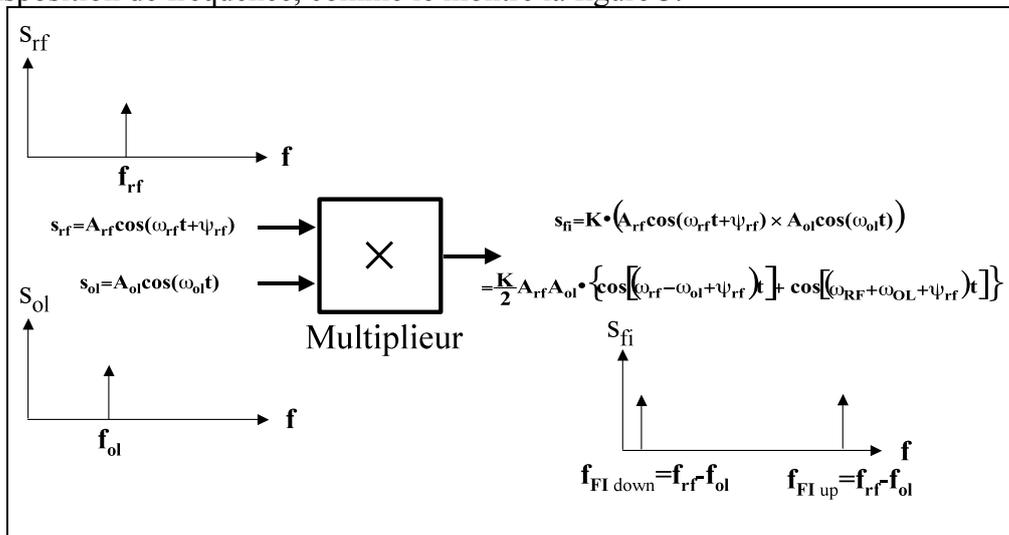


Figure 3 : un mélangeur est un multiplieur

On récupère au niveau de la sortie FI un signal constitué deux raies spectrales de fréquence :

- $F_{FI\ down}=F_{RF}-F_{OL}$  : c'est la raie désirée.
- $F_{FI\ up}=F_{RF}+F_{OL}$  : c'est une raie indésirable qu'il conviendra de filtrer.

Note. : dans le cas d'une transposition vers une fréquence supérieure : la raie désirée est à la fréquence :  $F_{FI\ up}=F_{RF}+F_{OL}$  et la raie à filtrer est à la fréquence :  $F_{FI\ down}=F_{RF}-F_{OL}$ .

Les multiplieurs sont réalisés à l'aide de la structure de Gilbert (figure 4) du nom de son inventeur (Barrie Gilbert). Les structures de Gilbert en version circuit intégré peuvent fonctionner jusqu'à quelques centaines de MHz voire 1 ou 2 GHz suivant la technologie considérée et peuvent donc ne pas convenir pour les applications micro-ondes.

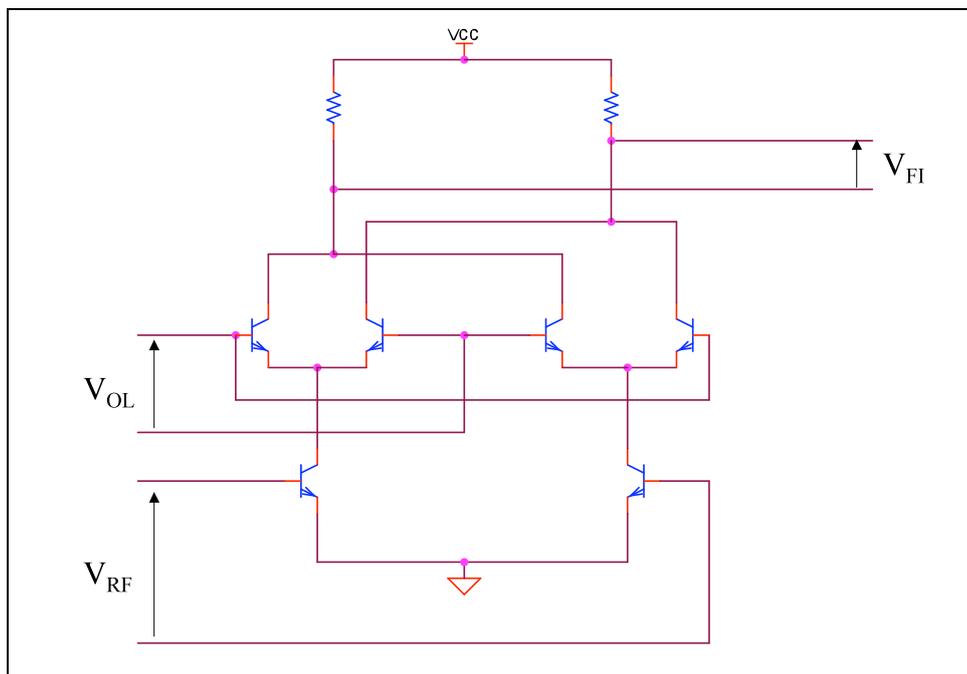


Figure 4 : Cellule de Gilbert

## 2. La fréquence image :

Outre la raie indésirable qu'il est nécessaire de filtrer en sortie ( $F_{FI\ up}=F_{RF}+F_{OL}$  dans le cas d'une « down conversion »), l'utilisation de mélangeur nécessite la mise en œuvre d'un filtre en entrée qui a pour fonction l'élimination d'un signal potentiellement présent (ce peut être du bruit) à une certaine fréquence que l'on nomme fréquence image (notée :  $f_{im}$ ). En effet, la figure 5 résume la transposition de fréquence précédemment étudiée et montre qu'un signal à une fréquence telle  $F_{im}=F_{RF}-2F_{FI}$  se transpose à la fréquence  $F_{FI}$  venant perturber le signal utile résultant de la transposition du signal RF.

Cette raie spectrale à la fréquence  $F_{im}$  peut être simplement du bruit (de faible puissance donc perturbant faiblement) ou plus dangereusement un signal de forte puissance (donc totalement parasitant le signal utile) correspondant à une des nombreuses applications hertziennes existantes.

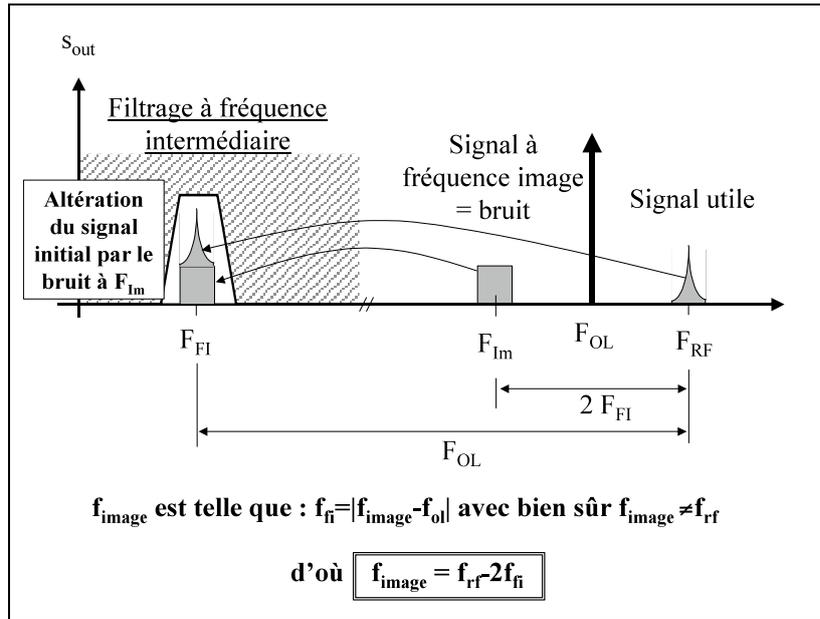


Figure 5 : Effet néfaste de la fréquence image

Idéalement, la fréquence intermédiaire doit être la plus basse possible afin que tous les étages situés en aval de la chaîne de transmission fonctionnent à basse fréquence, limitant ainsi les effets néfastes qui apparaissent en hautes fréquences (diminution du gain, augmentation du bruit, ...). Un compromis apparaît cependant car plus cette fréquence est basse est plus l'écart entre  $F_{RF}$  et  $F_{im}$  se resserre imposant un filtre de fréquence image très sélectif donc difficile (voire impossible) à réaliser.

## II. Principe des mélangeur micro-ondes.

Pour les applications micro-ondes, la cellule de Gilbert ne peut parfois pas convenir, il faut alors trouver un moyen de réaliser la multiplication entre les signaux RF et OL d'une autre façon.

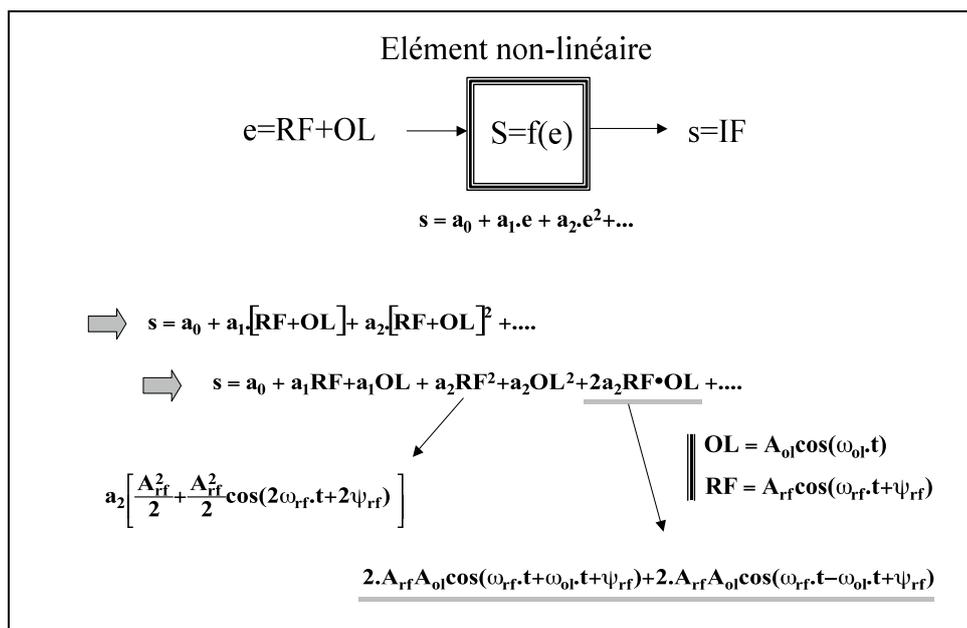


Figure 6 : mélangeur à non-linéarité

La solution est d'utiliser un composant non-linéaire excité par la somme des signaux RF et OL. La figure 6 expose le détail mathématique, en considérant un développement en série de la non-linéarité. Le terme important (souligné en gris) est issu du monôme de degré 2 du développement en série de la non-linéarité, ce terme conduit en fait au produit des signaux RF et OL donc à la transposition désirée. Malheureusement, d'autres raies spectrales (indésirables) sont aussi générées : des harmoniques OL :  $F_{ol}, 2F_{ol}, \dots$  ; des harmoniques RF :  $F_{rf}, 2F_{rf}, \dots$ . Le spectre résultant est présenté en figure 7.

**Question 1** : quelle est alors l'expression de la non-linéarité idéale pour réaliser un *bon* mélangeur maximisant la raie FI tout en minimisant les autres raies ?

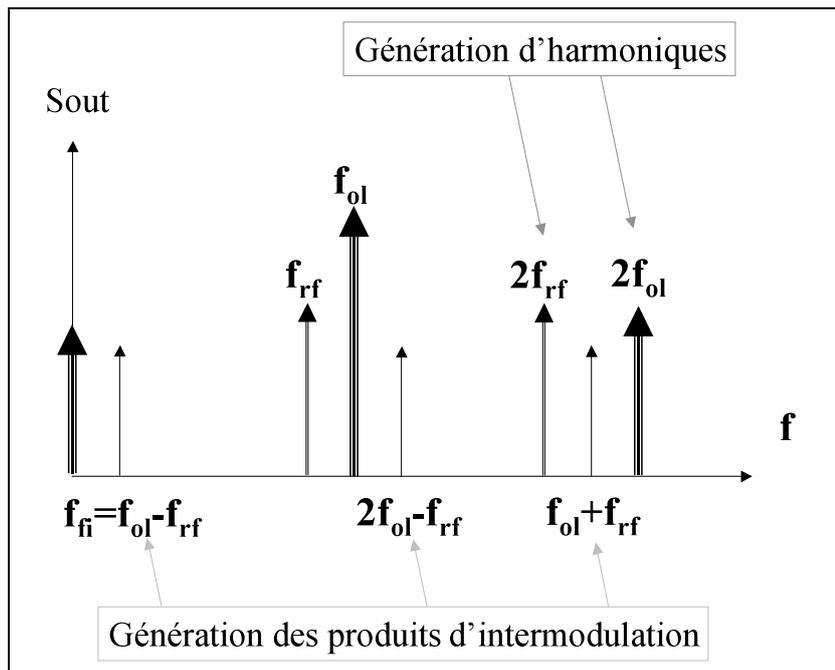


Figure 7 : spectre en sortie de la non-linéarité

Remarque : Si l'on tient compte dans les calculs du monôme du 3<sup>ième</sup> degré dans le développement en série, on s'aperçoit de l'apparition en sortie des raies du type :  $2.F_{ol}+.F_{rf}$ ,  $2.F_{ol}-.F_{rf}$ ,  $2.F_{rf}+.F_{ol}$ ,  $2.F_{rf}-.F_{ol}$  : ces raies sont appelées **produits d'intermodulation** d'ordre 3 car elles sont issues du 3<sup>ième</sup> degré de la non-linéarité. D'une manière générale, le monôme de degré K du développement en série d'une non-linéarité génère les produits d'intermodulation suivant :  $\pm m.F_{rf} \pm n.F_{ol}$  avec  $m+n=K$ .

### III. Réalisations de mélangeur micro-ondes.

#### 1. Mélangeur à 1 diode.

La réalisation basique d'un mélangeur micro-ondes est présentée en figure 8. La diode réalise la fonction non-linéaire. Il s'agit, bien entendu d'une diode fonctionnant dans le domaine micro-ondes (type Schottky dont on a aucune difficulté à trouver dans le commerce et qui fonctionnent jusqu'à 10-12 GHz)

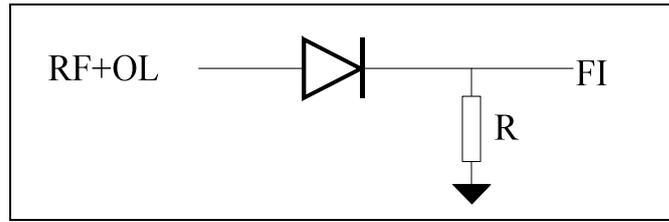


Figure 8 : mélangeur de base à 1 diode

**Etude du mélangeur figure 8 :** Lorsque le signal RF est de faible puissance ( inférieure à  $-20$  dBm) il est possible de négliger les termes  $RF^2$ ,  $RF^3$ ,... Par contre, le signal de pompe OL est lui toujours de forte puissance.

**Question 2 :** En considérant la non-linéarité suivante :  $s=a_1e+a_2e^2+a_3e^3$  avec  $e=RF+OL$ , exprimer la sortie  $s$  en fonction de RF et  $OL^n$ , en négligeant  $RF^2$  et  $RF^3$ .

En considérant que  $RF=A_{rf} \cos(\omega_{rf}+\Phi)$  et  $OL=A_{ol} \cos(\omega_{ol})$ , tracer l'allure du spectre du signal de sortie  $s$  avec  $F_{ol}=970$  MHz et  $F_{rf}=900$  MHz (  $A_{ol} > A_{rf}$  choisis arbitrairement ).

Les signaux parasites peuvent être, en partie, filtrés par une ligne  $\lambda_{ol}/4$  en circuit ouvert en sortie. Ce filtre court-circuite les signaux aux voisinages des fréquences  $f_{ol}$ ,  $3f_{ol}, 5f_{ol}, \dots$  La figure 9 montre une telle réalisation. Cette figure introduit aussi un combineur RF-OL nécessaire pour réaliser la somme des deux signaux RF et OL.

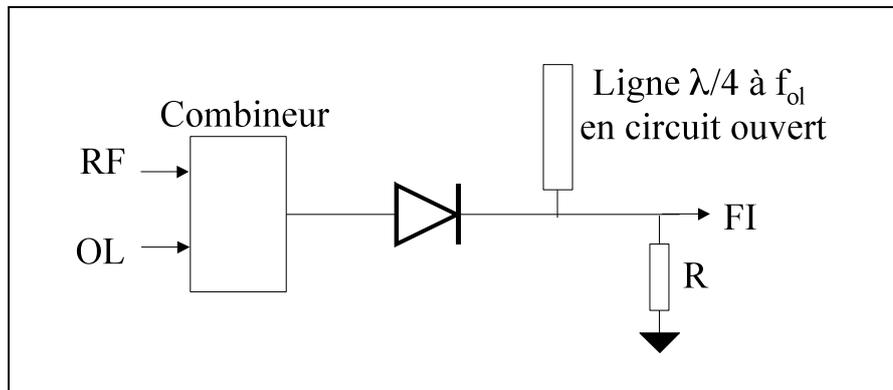


Figure 9 : mélangeur 1 diode avec filtrage

**Remarque :** vis à vis du signal OL la ligne  $\lambda_{ol}/4$  se comporte comme un court-circuit. La tension de pompage ( on parle de pompage car l'amplitude du signal OL doit suffisamment importante pour « balayer » la non-linéarité de la diode) est alors entièrement appliquée à la diode maximisant ainsi les phénomènes de conversion.

**Question 3 :** un mélangeur réalisé à l'aide de 2 diodes têtes bêtes, est-il un bon mélangeur ?

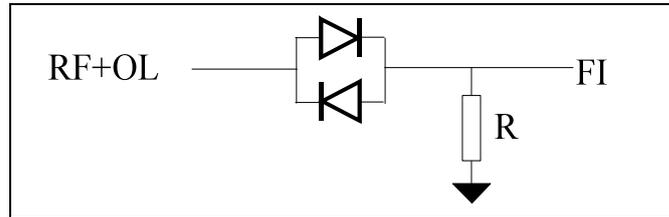


Figure 10 : Mélangeur à 2 diodes têtes bêtes

**Indice :** tracer l'allure de la non linéarité résultante  $v(i)$  des deux diodes têtes bêtes. En déduire les simplifications sur le développement en série de cette non-linéarité :  $v = a_0 + a_1 i + a_2 i^2 + a_3 i^3 + \dots$ . Refaire rapidement les calculs de la question 2 et conclure.

## 2. Mélangeur double équilibré à 4 diodes

Le filtrage des raies parasites (harmoniques et produits d'intermodulation) présente les inconvénients suivants :

1. Limitation de la bande fréquentielle d'utilisation.
2. Augmentation de la taille des circuits, de leurs complexités et de leurs coûts.
3. Introduction de pertes et donc de bruit.

Enfin, il est souvent difficile voir impossible d'éliminer toutes les raies spectrales *gênantes* à l'aide de filtres. La solution est alors d'utiliser une structure double équilibrée qui élimine de façon naturelle (sans filtre) toutes les harmoniques RF et OL ainsi que bon nombre de produits d'intermodulation (détails en ANNEXE 1). Cette structure (figure 10) est constituée de 4 diodes et de 2 transformateurs à point milieu.

Ce mélangeur est souvent appelé modulateur en anneau. Il est largement utilisé pour les transpositions de fréquence mais aussi les applications de modulation et démodulation BPSK (Binary Phase Shift Keying) (cf TP 7). L'annexe 2 traite son étude en considérant les diodes comme des interrupteurs commandés par le signal OL.

La limitation fréquentielle de ce mélangeur provient des transformateurs qui fonctionnent difficilement au delà de 1 GHz. Si l'on veut dépasser cette limite, la solution est le remplacement des transformateurs par des coupleurs (réalisés à l'aide de tronçon  $\lambda/4$ ) ; on retrouve néanmoins les inconvénients cités précédemment pour les mélangeurs avec filtres passifs.

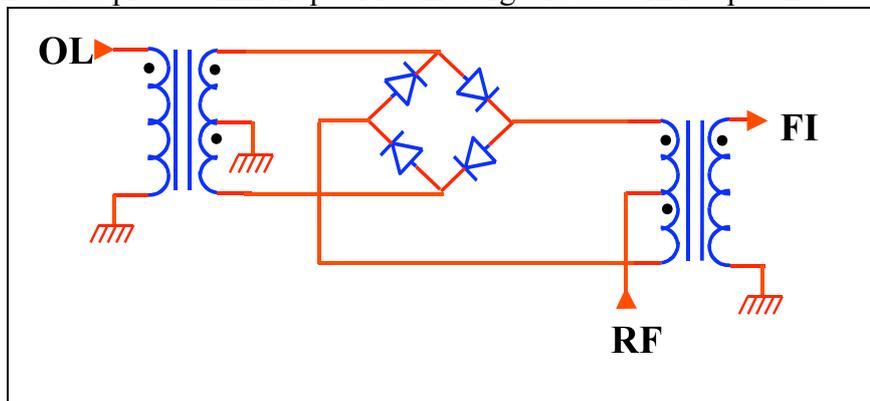


Figure 11 : mélangeur double équilibré à 4 diodes

## IV. Mesures des caractéristiques de mélangeurs.

### 1. Présentation des circuits.

Quatre mélangeurs à diodes vont être étudiés en parallèle.

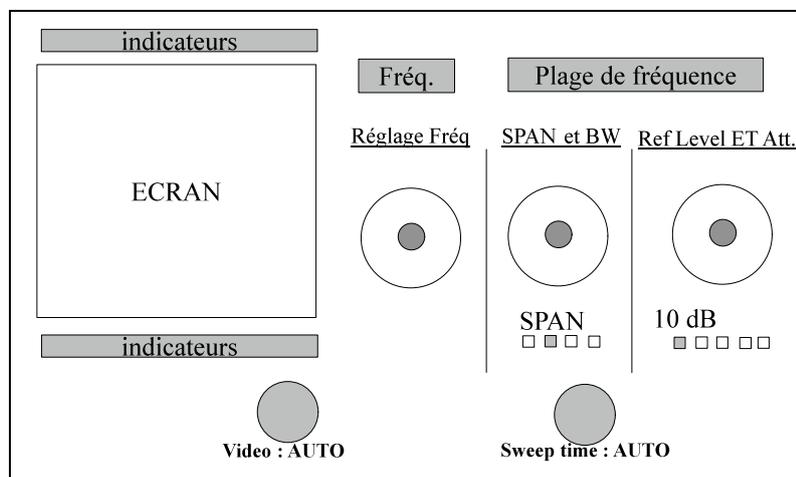
1. **Mélangeur 1** : Mélangeur à 1 diode sans filtrage qui est présenté en figure 8. L'ANNEXE 3 présente les caractéristiques sommaires de la diode utilisée.
2. **Mélangeur 2** : Mélangeur à 2 diodes têtes bêtes qui est présenté en figure 10.
3. **Mélangeur 3** : mélangeur à 1 diode avec filtre en sortie, présenté en figure 9.
4. **Mélangeur 4** : mélangeur double équilibré à 4 diodes présenté figure 11. L'ANNEXE 4 présente les caractéristiques sommaires du circuit utilisé.

**ATTENTION** : Il est important de prendre soin du matériel : lors des connexions des circuits mélangeurs aux appareils (sources et analyseur de spectre), il faudra veiller à ce que les câbles ne forcent pas sur la connectique.

### 2. Les spectres de sortie des différents mélangeurs.

L'appareillage utilisé pour caractériser les mélangeurs est constitué de 2 sources générant les signaux OL et RF et d'un analyseur de spectre pour la visualisation du signal FI.

#### Analyseur de spectre (AS) :



1. Réglage de la plage de fréquence : Choisir la première plage de fréquence proposée.
2. Réglage de la fréquence centrale : Choisir 800 MHz.
3. Réglage du SPAN. Choisir la position SPAN/dec et régler le span sur 200MHz/div.
4. Réglage de l'atténuateur en entrée. Le compromis est le suivant, si le signal d'entrée est de forte puissance, les éléments constitutifs de l'AS peuvent fonctionner à la saturation et la visualisation sera imprécise. La solution est d'atténuer le signal d'entrée. Par contre plus l'atténuation est importante et plus le plancher de bruit de l'appareil augmente noyant ainsi les raies spectrales de faible puissance dans le bruit. (Le plancher de bruit correspond au niveau **maximal** de puissance affiché en l'absence de signal d'entrée).

**Pour régler l'atténuateur, il faut maintenir appuyé le commutateur « ref level et att » et le faire pivoter. Choisir la position -20 dB.**

5. Réglage du niveau de référence (ref level). **Choisir 10 dB/dec. et régler le « ref level » sur 10 dBm. (Le niveau correspondant au « ref level » est la ligne supérieure de l'écran.**
6. Réglage du filtre de bande (BW pour Band Width). C'est la résolution spectrale. Plus BW est faible et plus l'analyse est précise par contre plus le temps de balayage est grand. Pour régler ce paramètre, il faut tirer le commutateur *SPAN/BW* et le faire pivoter, lorsque le réglage est effectué, il faut ré-appuyer sur le commutateur pour revenir à la sélection du SPAN.

**Laisser sur OPTIMUM.**

7. **Laisser le filtrage vidéo sur OFF et le temps de balayage (sweep time ) sur AUTO.**

Tous les réglages peuvent être contrôlés sur les indicateurs situés de part et d'autre de l'écran.

**Source 1 :** source en boîtier plastique qui sera utilisée afin de générer le signal RF :  $F_{rf}=900\text{MHz}$  ,  $P_{rf}=-20\text{dBm}$ .

**Attention de laisser l'atténuateur 20 dB (transition métallique) en sortie de boîtier.**

Alimenter en 12V. **L'alimentation ne doit pas dépasser 12 V.** Connecter la source à l'analyseur de spectre.

1. Réglage de la puissance. La puissance se règle en ajustant la tension d'alimentation. **Régler  $P_{rf}=-20\text{dBm}$ .**
2. Réglage de la fréquence : La fréquence se règle à l'aide du potentiomètre situé sur la face avant du boîtier. **Régler  $F_{rf}=900\text{MHz}$ . On peut régler la fréquence centrale de l'analyseur de spectre sur 900 MHz et diminuer son span afin de régler précisément la fréquence de la source sur 900 MHz.**

**Source 2 :** source commerciale HP utilisée pour générer le signal OL :  $F_{ol}=970\text{MHz}$ ,  $P_{ol}=7\text{ dBm}$ . Connecter cette source (interrupteur **RF** sur ON) à l'analyseur de spectre.

1. Réglage de la fréquence : **Régler :  $F_{ol}=970\text{MHz}$  :** Appuyer sur **CW** et **CW vernier** et régler la fréquence à l'aide de ces potentiomètres.
2. Réglage de la puissance. **Régler  $P_{ol}=7\text{ dBm}$  :** à l'aide du potentiomètre et du rotatif **Power Level** : les deux indications s'ajoutent algébriquement.

**Question 4 :** Relever le niveau du bruit observé à l'écran en fonction du niveau de l'atténuateur en entrée (de 20 à 70 dB). Conclure sur leur relation. Revenir à l'atténuation de 20 dB.

**Question 5 :** Pour les quatre mélangeurs, remplir le tableau ci-dessous et **interpréter** les niveaux des raies en fonction de la structure de chaque mélangeur :

	Pout ( $F_{fi}$ )	Pout ( $F_{rf}$ )	Pout ( $F_{oi}$ )	Pout ( $2F_{oi}$ )	Pout ( $3F_{oi}$ )	Pout ( $4F_{oi}$ )
Mélangeur 1						
Mélangeur 2						
Mélangeur 3						
Mélangeur 4						

Tableau 1 : Spectre en sortie des 4 mélangeurs

**3. Mesure du gain de conversion et des isolations en fonction de  $P_{ol}$  et  $f_{rf}$ .**

**Définitions :** (cf figure ci-dessous)

- $G_c$  (dB) =  $P_{out}(F_{fi}) - P_{rf}$
- Isolation OL->FI en dB =  $P_{out}(F_{ol}) - P_{ol}$
- Isolation RF->FI en dB =  $P_{out}(F_{rf}) - P_{rf}$

Avec :  $P_{out}(F_x)$  = Puissance en dBm sur l'accès FI (qui représente la sortie) à la fréquence  $F_x$ .  
 $P_{rf}$  = Puissance en dBm injectée à l'accès RF (qui représente l'entrée) = **-20 dBm**.  
 $P_{ol}$  = Puissance en dBm injectée à l'accès OL = **+7 dBm**.

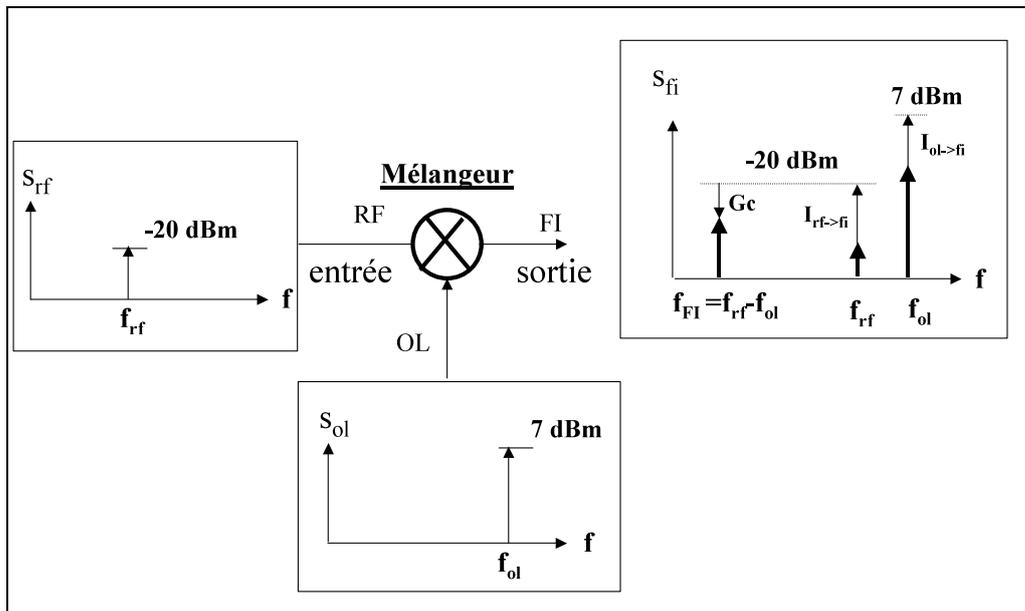


figure 12 : définition du gain de conversion et des isolations

**Question 6 :** Pour les mélangeurs 3 et 4, reporter dans le tableau 2 les valeurs des différentes isolations calculées à partir du tableau 1.

**Question 7 :** Pour les mélangeurs 3 et 4 tracer le gain de conversion en fonction de la puissance OL. Reporter dans le tableau 2 la valeur maximale du gain de conversion et la puissance OL correspondante.

**Question 8 :** Pour les mélangeurs 3 et 4 tracer le gain de conversion en fonction de la fréquence RF et reporter la bande passante à  $-3$ dB en % dans le tableau 2 ( $BP(\%) = \Delta f / F_{rf} * 100\%$ )

**4. Définitions des réflexions, de la linéarité et du bruit dans les mélangeurs.**

- Pour chaque accès, on peut définir un coefficient de réflexion et donc le ROS correspondant. La seule différence avec les circuits linéaires est que ces paramètres dépendent du niveau de puissance OL injectée.

- **L'opération de transposition de fréquence est linéaire.** En effet, on veut changer la fréquence d'un signal sans altérer l'information qu'il contient. Comme pour les amplificateurs, si la puissance du signal contenant l'information (= signal RF) est trop importante, il y a distorsion de celui-ci et altération de l'information. Au niveau spectral, cela va se traduire par l'apparition d'harmoniques RF.

**Question 8 :** Enlever l'atténuateur 20 dB en sortie de la source 1 (On a maintenant  $P_{rf}=0\text{dBm}$ ), et relever le spectre en sortie du mélangeur double équilibré à 4 diodes. Commenter.

- Le facteur de bruit est un paramètre important des mélangeurs. Il se définit comme dans le cas d'un amplificateur, la différence est qu'il faut considérer le changement de fréquence.

## V. RECAPITULATIF

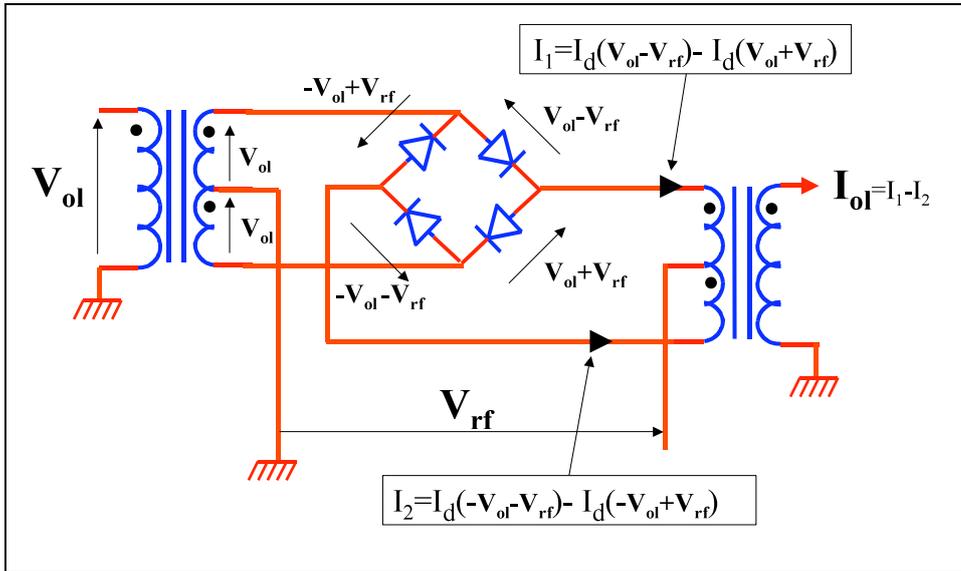
Type de mélangeur	Gain de conversion	$P_{OL}$ nécessaire	Isolations	Bande passante à -3 dB (%)	Fréquence maximale	Coût
<u>Mélangeur 3</u> 1 diode + filtre <b>MESURES</b>			LO->FI = RF->FI =		<b>12 GHz</b>	<b>moyen</b>
<u>Mélangeur 4</u> à 4 diodes <b>MESURES</b>			LO->FI = RF->FI =		<b>1 GHz</b>	<b>moyen</b>
<u>Mélangeur 1</u> simple à 1 diode	<b>15 dB</b>	<b>7dBm</b>	LO->FI = <b>17</b> RF->FI = <b>13</b>	<b>&gt;100%</b>	<b>12 GHz</b>	<b>dérisoire</b>
Mélangeur de Gilbert MAX 2680	<b>11.6 dB</b>	<b>-7 dBm</b>	LO->FI = <b>32</b> RF->FI = -	<b>150%</b>	<b>2.5 GHz</b>	<b>élevé</b>

Tableau 2 : comparatif de mélangeurs.

## VI. ANNEXES

1. Détail de calcul d'un mélangeur double équilibré à 4 diodes.
2. Mélangeur double équilibré à 4 diodes vus en modulateur : modulateur en anneau.
3. Diode BAT 15-099.
4. Mélangeur de chez MINICIRCUITS réf : ADE-5.

## ANNEXE 1 : Mélangeur double équilibré



$$I_d(V_{ol} - V_{rf}) = a_0 + a_1(V_{ol} - V_{rf}) + a_2(V_{ol} - V_{rf})^2 + a_3(V_{ol} - V_{rf})^3 + \dots = a_0 + a_1(V_{ol} - V_{rf}) + a_2(V_{ol}^2 + V_{rf}^2 - 2V_{ol}V_{rf}) + a_3(V_{ol}^3 - V_{rf}^3 - 3V_{ol}^2V_{rf} + 3V_{ol}V_{rf}^2) + \dots$$

$$I_d(V_{ol} + V_{rf}) = a_0 + a_1(V_{ol} + V_{rf}) + a_2(V_{ol} + V_{rf})^2 + a_3(V_{ol} + V_{rf})^3 + \dots = a_0 + a_1(V_{ol} + V_{rf}) + a_2(V_{ol}^2 + V_{rf}^2 + 2V_{ol}V_{rf}) + a_3(V_{ol}^3 + V_{rf}^3 + 3V_{ol}^2V_{rf} + 3V_{ol}V_{rf}^2) + \dots$$

$$I_1 = -2a_1V_{rf} - 4a_2V_{ol}V_{rf} - 2a_3(V_{rf}^3 + 3V_{ol}^2V_{rf}) + \dots$$

Élimination : Tous les harmoniques du signal OL + harmoniques pairs du signal RF + les produits d'intermodulation dont l'indice de la fréquence RF est pair ( $n.f_{rf} + /- m.f_{ol}$ ,  $n = \text{pair}$ ).

En général : les raies  $n.f_{rf} + /- m.f_{ol}$ ,  $n = 0, 2, 4, \dots$   $m = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$  sont éliminées

$$I_d(-V_{ol} - V_{rf}) = a_0 + a_1(-V_{ol} - V_{rf}) + a_2(-V_{ol} - V_{rf})^2 + a_3(-V_{ol} - V_{rf})^3 + \dots = a_0 + a_1(-V_{ol} - V_{rf}) + a_2(V_{ol}^2 + V_{rf}^2 + 2V_{ol}V_{rf}) + a_3(-V_{ol}^3 - V_{rf}^3 - 3V_{ol}^2V_{rf} - 3V_{ol}V_{rf}^2) + \dots$$

$$I_d(-V_{ol} + V_{rf}) = a_0 + a_1(-V_{ol} + V_{rf}) + a_2(-V_{ol} + V_{rf})^2 + a_3(-V_{ol} + V_{rf})^3 + \dots = a_0 + a_1(-V_{ol} + V_{rf}) + a_2(V_{ol}^2 + V_{rf}^2 - 2V_{ol}V_{rf}) + a_3(-V_{ol}^3 + V_{rf}^3 + 3V_{ol}^2V_{rf} - 3V_{ol}V_{rf}^2) + \dots$$

$$I_2 = -2a_1V_{rf} + 4a_2V_{ol}V_{rf} - 2a_3(V_{rf}^3 + 3V_{ol}^2V_{rf}) + \dots$$

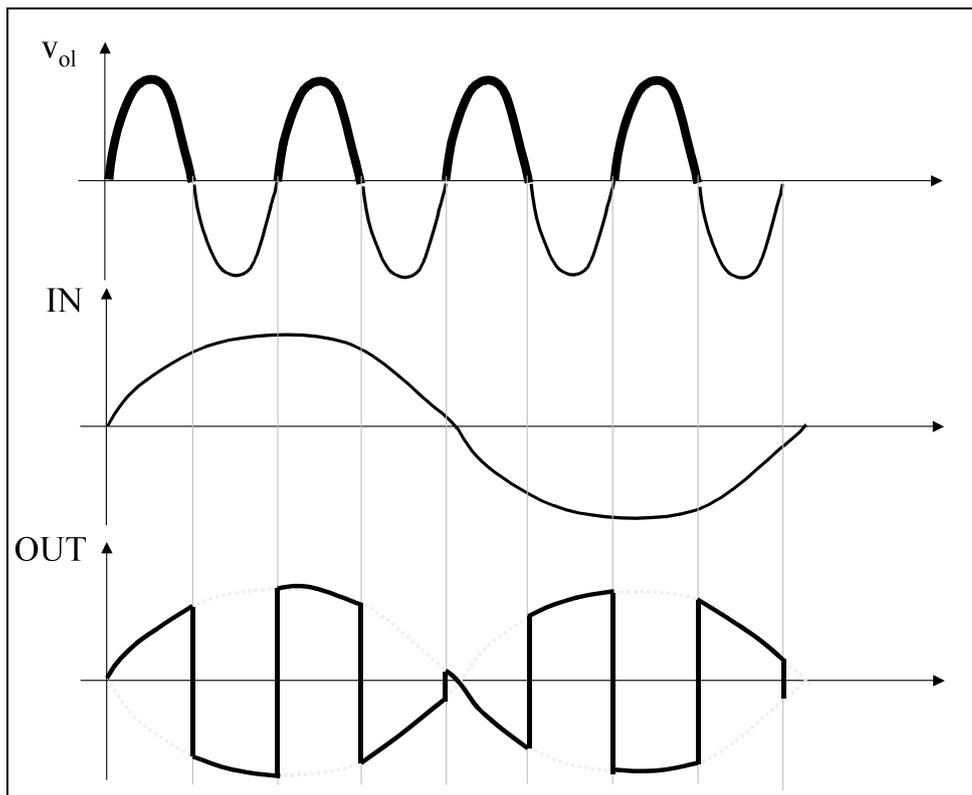
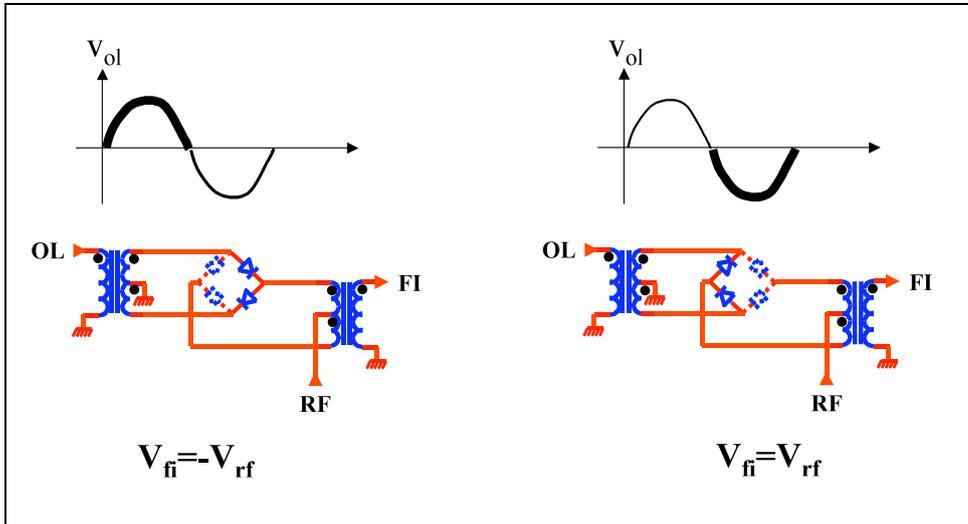
$$I_{fi} = -8a_2V_{ol}V_{rf}$$

Élimination : Tous les harmoniques du signal OL + harmoniques pairs du signal RF + les produits d'intermodulation dont l'indice de la fréquence RF est pair ( $n.f_{rf} + /- m.f_{ol}$ ,  $n = \text{pair}$ )  
 + les produits d'intermodulation dont l'indice de la fréquence OL est pair ( $n.f_{rf} + /- m.f_{ol}$ ,  $m = \text{pair}$ ).

En général : les raies  $n.f_{rf} + /- m.f_{ol}$ ,  $n = 0, 2, 4, \dots$   $m = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

$n = 1, 2, 3, 4, \dots$   $m = 0, 2, 4, \dots$  sont éliminées

## ANNEXE 2 : Modulateur en anneau



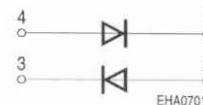
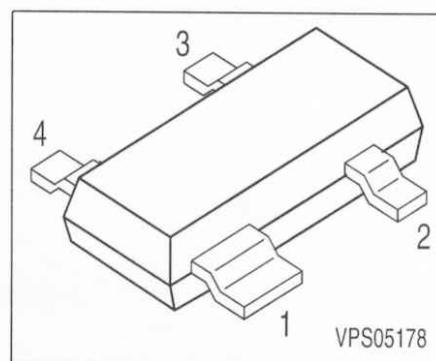
## ANNEXE 3 : Diode BAT 15-099



**BAT 15-099**

### Silicon Dual Schottky Diode

- DBS mixer applications up to 12 GHz
- Low noise figure
- Low barrier type



**ESD:** Electrostatic discharge sensitive device, observe handling precaution!

Type	Marking	Pin Configuration				Package
BAT 15-099	S5s	1 = C1	2 = A2	3 = C2	4 = A1	SOT-143

### Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Diode reverse voltage	$V_R$	4	V
Forward current	$I_F$	110	mA
Total power dissipation, $T_S \leq 55\text{ °C}$	$P_{tot}$	100	mW
Operating temperature range	$T_{op}$	-55 ... 150	°C
Storage temperature	$T_{std}$	-55 ... 150	°C

### Thermal Resistance

Junction - ambient <sup>1)</sup>	$R_{thJA}$	≤1090	K/W
Junction - soldering point	$R_{thJS}$	≤930	

# ANNEXE 3 : Mélangeur de chez MINICIRCUITS réf :ADE-5.

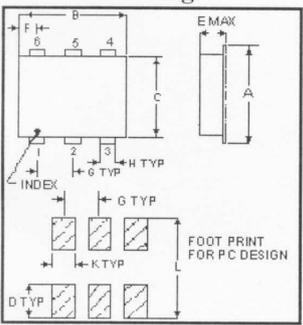
## Frequency Mixers

### LO Power Level 7 dBm

#### Pin Configuration

Port	LO	RF	IF	Gnd	Ext.	Case Gnd	Not Used
ht	6	3	2	1,4,5	-	-	-

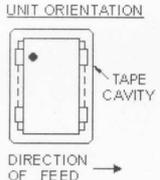
#### Outline Drawing



Case Style - CD542 (inch,mm ) weight: 0.4 grams.

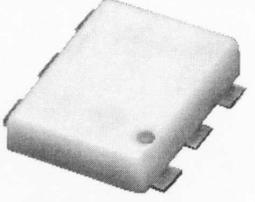
A	B	C	D	E	F	G	H	J
.280	.310	.220	.100	.112	.055	.100	.030	
7.112	7.874	5.588	2.540	2.845	1.397	2.540	0.762	
K	L	M	N	P	Q	R	S	T
.065	.300							
1.651	7.620							

Tolerance: x ± .1 .xx ± .03 .xxx ± .015 inch.  
Material and Finish: Case material: plastic. Lead finish: solder plate.  
Packaging: UNIT ORIENTATION  
Packaging information:  
Tape Width(mm): 16  
Reel Size(inches): 13  
Device Cavity Pitch(mm): 12  
Devices Per Reel: 1000



#### Notes:

- +7dBm LO, up to +1 dBm RF
- Absolute maximum power, voltage and current ratings:
  - RF power, 50mW
  - Peak IF current, 40mA
- For Surface Mount Environmental Specifications, please click [here](#).
- General Quality Control Procedures and Environmental Specifications are given in [Mini-Circuits Guarantees Quality](#).
- Hi-Rel, MIL description are given in [Hi-Rel and MIL](#).
- Prices and Specifications subjects to change without notice.



#### Electrical Specifications

##### ADE-5 LO Power Level 7 dBm

Frequency MHz	Max. Conversion Loss dB	Min. LO-RF Isolation dB			Min. LO-IF Isolation dB			
		L	M	U	L	M	U	
5.000-1500 DC-1000	7.5	9.3	40	25	23	40	20	10

L=low range( $f_L$  to  $10f_L$ ) M=mid range( $10f_L$  to  $f_U/2$ ) U=upper range( $f_U/2$  to  $f_U$ )

#### Typical Performance Data

ADE-5		Conversion Loss (dB)			ISO	Isolation L-R (dB)			Isolation L-I (dB)		
RF MHz	LO MHz	LO +4 dBm	LO +7 dBm	LO +10 dBm	LO (MHz)	LO +4 dBm	LO +7 dBm	LO +10 dBm	LO +4 dBm	LO +7 dBm	LO +10 dBm
5.000	35.000	7.48	6.98	6.78	35.000	62.60	63.90	64.40	55.90	53.60	52.40
10.000	40.000	7.24	6.64	6.44	40.000	61.40	63.20	63.60	54.70	52.20	51.40
50.000	80.000	7.14	6.54	6.34	80.000	53.90	56.70	56.90	48.50	46.60	45.50
100.000	130.000	7.15	6.55	6.35	130.000	51.10	52.70	53.30	44.00	41.70	40.80
197.090	227.090	7.15	6.65	6.45	227.090	47.40	49.00	49.60	37.10	36.30	36.30
295.585	325.585	7.08	6.58	6.48	325.585	45.60	47.30	47.80	33.30	33.50	33.60
394.080	424.080	7.10	6.70	6.50	424.080	42.10	43.70	44.50	31.50	32.00	32.00
492.575	522.575	7.00	6.50	6.40	522.575	40.70	42.40	42.90	30.20	30.70	30.60
500.000	530.000	6.91	6.61	6.41	530.000	40.30	41.90	42.50	30.20	30.50	30.50
591.070	621.070	7.14	6.64	6.44	621.070	38.00	39.70	40.50	29.70	29.90	29.80
689.565	719.565	7.05	6.55	6.45	719.565	35.30	36.80	37.50	28.20	28.50	28.10
788.060	818.060	7.04	6.64	6.44	818.060	33.70	35.20	35.90	26.00	26.00	26.10
886.550	916.550	6.85	6.45	6.25	916.550	32.40	33.40	33.80	23.90	23.50	23.20
985.050	1015.050	6.91	6.41	6.21	1015.050	32.50	33.20	33.30	22.70	21.80	21.10
1000.000	1030.000	6.87	6.47	6.27	1030.000	32.40	33.50	33.60	22.60	21.50	20.70
1182.040	1212.040	7.17	6.57	6.37	1212.040	33.70	35.60	36.30	20.90	20.40	19.40
1280.530	1310.535	7.58	7.08	6.78	1310.535	35.10	36.30	36.90	19.50	19.20	18.90
1379.030	1409.030	8.08	7.58	7.28	1409.030	35.00	34.30	33.80	19.00	17.90	17.20
1477.520	1507.520	8.45	8.15	7.95	1507.520	32.80	31.20	30.40	18.40	17.10	16.30
1500.000	1530.000	8.59	8.19	8.09	1530.000	32.70	30.50	29.60	18.20	16.80	16.00

RF/LO FREQ. (MHz)	VSWR RF port			VSWR LO port			IF FREQ. (MHz)	VSWR IF port		
	LO +4 dBm	LO +7 dBm	LO +10 dBm	LO +4 dBm	LO +7 dBm	LO +10 dBm		LO +4 dBm	LO +7 dBm	LO +10 dBm
35.000	1.68	1.59	1.54	1.11	1.91	2.80	0.100	1.32	1.10	1.02
40.000	1.64	1.51	1.45	1.11	1.94	2.76	5.000	1.39	1.16	1.06
80.000	1.51	1.39	1.33	1.12	1.91	2.80	10.000	1.39	1.15	1.05
130.000	1.51	1.38	1.32	1.13	1.91	2.80	50.000	1.38	1.16	1.06
227.090	1.54	1.41	1.38	1.18	1.94	2.88	100.000	1.39	1.17	1.07
325.585	1.48	1.40	1.36	1.21	2.01	2.96	200.080	1.40	1.18	1.12
424.080	1.47	1.39	1.37	1.24	2.20	3.21	250.075	1.41	1.20	1.15
522.575	1.41	1.35	1.33	1.35	2.40	3.57	300.070	1.43	1.25	1.19
530.000	1.40	1.34	1.33	1.37	2.37	3.50	350.060	1.46	1.29	1.24
621.070	1.39	1.35	1.34	1.36	2.40	3.38	400.050	1.50	1.34	1.30
719.565	1.32	1.28	1.28	1.41	2.32	3.16	450.050	1.52	1.38	1.36
818.060	1.25	1.23	1.23	1.49	2.30	3.01	500.000	1.54	1.43	1.42
916.550	1.14	1.14	1.16	1.56	2.32	3.11	550.040	1.55	1.47	1.48
1015.050	1.02	1.09	1.13	1.69	2.49	3.32	600.040	1.56	1.50	1.51
1030.000	1.04	1.11	1.16	1.69	2.58	3.44	650.035	1.55	1.51	1.55
1212.040	1.48	1.50	1.54	1.91	2.88	3.79	750.025	1.53	1.54	1.58
1310.535	1.78	1.81	1.84	2.01	2.92	3.79	850.015	1.52	1.55	1.61
1409.030	2.08	2.10	2.12	2.06	2.92	3.79	900.010	1.54	1.58	1.64
1507.520	2.37	2.37	2.40	2.12	2.88	3.71	950.000	1.55	1.60	1.67
1530.000	2.40	2.46	2.46	2.16	2.96	3.71	1000.000	1.59	1.65	1.73