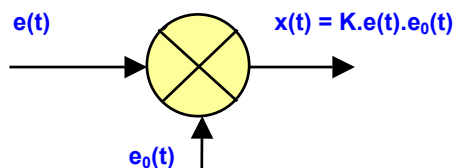




Caractérisation de mélangeurs

Un mélangeur est un dispositif qui utilise la non-linéarité de diodes ou de transistors pour réaliser une multiplication :



Puisqu'il multiplie les deux signaux, il produit donc à sa sortie les fréquences « somme » et « différence ».

On se propose de déterminer les principales caractéristiques de deux types de mélangeurs :

- le mélangeur **SBL1** à diodes (fabriquant Minicircuits)
- le mélangeur **NE602** à transistors (fabriquant Philips entre autres)

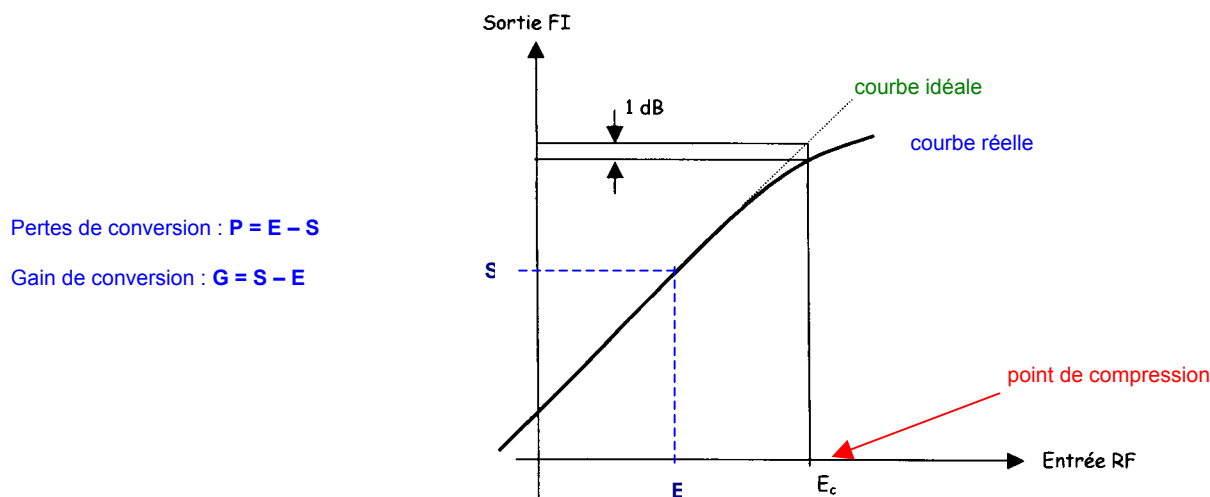
Ces mélangeurs sont très souvent utilisés pour réaliser le changement de fréquence dans un récepteur ou un émetteur.

Le signal de l'antenne est alors appliqué sur l'entrée RF, l'oscillateur local sur l'entrée OL et le signal à la fréquence intermédiaire est disponible sur la sortie FI.

Pour étudier les mélangeurs, on appelle :

- signal d'entrée : le signal $e(t)$
- signal de sortie : le signal $s(t)$ de fréquence différence, c'est-à-dire la partie basse fréquence de $x(t)$

La caractéristique de transfert qui relie le niveau de sortie S au niveau d'entrée E a l'allure générale suivante :



⇒ un mélangeur passif (comme le SBL1) produit un signal de sortie d'amplitude plus faible que le signal RF : on définit ses « **pertes de conversion** » comme étant la différence entre le niveau d'entrée et de sortie.

⇒ un mélangeur actif (comme le NE602) produit un signal de sortie d'amplitude plus forte que le signal RF : on définit son « **gain de conversion** » comme étant la différence entre le niveau de sortie et d'entrée.

⇒ pour des niveaux d'entrée élevés, les pertes augmentent (ou le gain diminue) et la courbe n'est plus linéaire. Le « **point de compression à 1 dB** » est le point où l'écart entre la courbe idéale et la courbe réelle vaut 1 dB.

A- Le mélangeur Schottky

Les caractéristiques principales de ce mélangeur sont données en **Annexe 1**.

Activité 1 : analyse spectrale de la sortie

Dans la pratique, le mélangeur n'est pas parfait et d'autres composantes, d'amplitudes plus faibles et de fréquences $mf + nf_0$ (n et m entiers positifs ou négatifs) apparaissent en sortie.

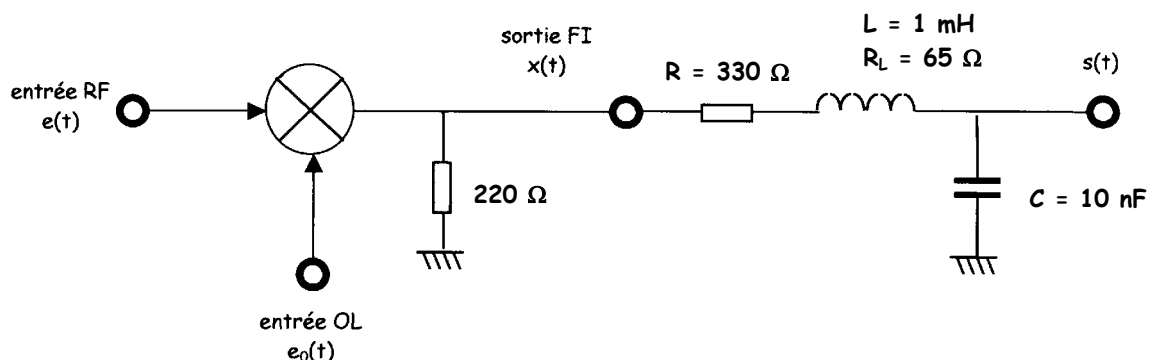
La feuille réponse donne le spectre relevé en sortie du mélangeur SBL1 lorsqu'il est attaqué par :

- $e(t)$: signal sinusoïdale d'amplitude faible, de fréquence 2,76 MHz
- $e_0(t)$: signal sinusoïdal, d'amplitude 7 dBm et de fréquence 2 MHz

Pour les raies les plus significatives, déterminer les valeurs de m et n

Activité 2 : étude du filtre passe-bas

Sur la maquette proposée, le mélangeur est suivi d'un filtre passe-bas permettant de ne conserver que le terme à la fréquence différence :



Le mélangeur associé à la résistance de charge externe de 220Ω est modélisé au niveau de la sortie FI par une source de tension $x(t)$ en série avec une résistance $R_x = 30 \Omega$. La résistance de la bobine est de $R_L \approx 65 \Omega$.

Etablir l'expression de la transmittance $\underline{T}(j\omega)$ du filtre entre $x(t)$ et $s(t)$ en fonction de R_x , R , R_L , L et C . En déduire les valeurs numériques de la fréquence propre f_0 et de l'amortissement m .

A l'aide du logiciel Bode, simuler le filtre entre 1 Hz et 50 kHz et déterminer graphiquement sa fréquence de coupure f_c .

En sortie du mélangeur, on souhaite conserver le terme à la fréquence différence, avec une erreur de niveau liée au filtre passe-bas inférieure à $\pm 0,2$ dB. Quel est alors l'écart de fréquence qu'il ne faut pas dépasser entre les signaux $e(t)$ et $e_0(t)$?

Activité 3 : réglage du niveau d'injection de l'oscillateur local

Mini-Circuits, le fabricant du SBL1, préconise pour l'entrée OL un niveau $E_0 = 7$ dBm pour un fonctionnement optimal du mélangeur. Quelle est la valeur efficace E_0 du signal d'oscillateur local correspondant ?

Le signal $e_0(t)$ est fourni par un générateur basse-fréquence **BK Precision** d'impédance interne 50Ω . Régler ce générateur (en mode sinus) à 2 MHz, 7 dBm et relever l'oscillogramme en faisant apparaître sa valeur efficace. L'indication de niveau correspond-elle au niveau réel mesuré ?

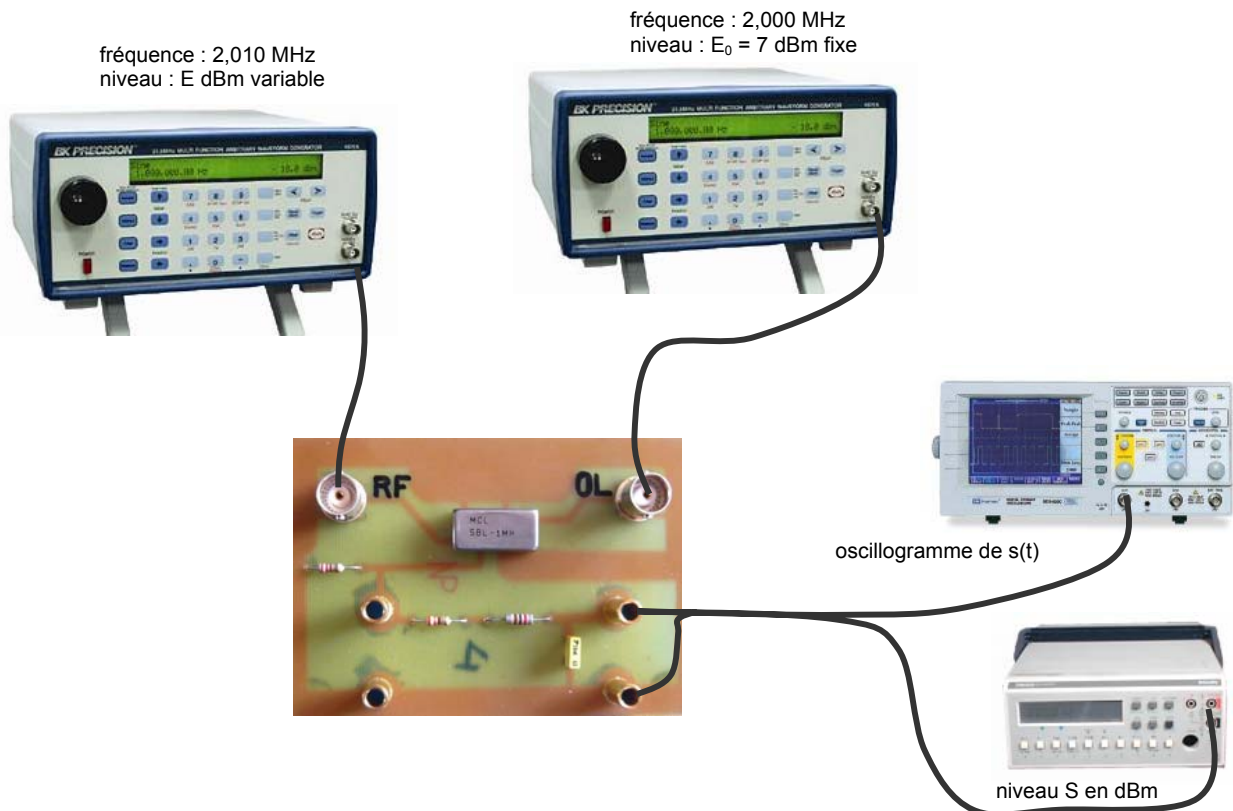
Charger le générateur par une résistance de 50Ω et relever le nouvel oscillogramme. L'indication de niveau correspond-elle maintenant au niveau réel mesuré ? Commenter sachant que le mélangeur est donné pour avoir une impédance d'entrée de 50Ω sur ses deux entrées.

Appliquer le signal sur l'entrée OL du mélangeur et relever l'oscillogramme du signal $e_0(t)$. L'impédance d'entrée est-elle purement résistive sur l'entrée OL ? est-elle vraiment égale à 50Ω ?

Remarque : on ne modifiera plus le niveau de ce générateur durant le reste de la manipulation.

Activité 4 : le mélangeur en fonctionnement

Injecter un signal sinusoïdal $e(t)$ sur l'entrée RF du mélangeur avec un second générateur BK Precision :



On réglera ce générateur une fois branché à un niveau de -10 dBm et à une fréquence f légèrement différente de f_0 , compatible avec la fréquence de coupure du filtre passe-bas (par exemple $f = 2,010$ MHz).

Relever l'oscillogrammes des signaux $e(t)$ et $s(t)$ à l'oscilloscope. Mesurer la fréquence de $s(t)$ et vérifier qu'elle correspond à la valeur prévue.

Mesurer au voltmètre le niveau de sortie et en déduire l'atténuation P_0 (ou perte de conversion) en dB introduite par le mélangeur. Comparer la valeur mesurée à celle donnée par le fabricant.

Activité 5 : caractéristique de transfert du mélangeur

Faire varier le niveau du signal d'entrée $e(t)$ entre -30 dBm et $+18$ dBm et tracer la caractéristique de transfert du mélangeur $S_{dBm} = f(E_{dBm})$.

Déterminer sur la courbe les pertes de conversion moyennes P_0 du mélangeur dans la partie linéaire de la courbe et commenter par rapport à la donnée du fabricant.

Activité 6 : point de compression du mélangeur

Mesurer sur la caractéristique tracée le niveau d'entrée E_c correspondant au point de compression à 1 dB et commenter par rapport à la donnée du fabricant.

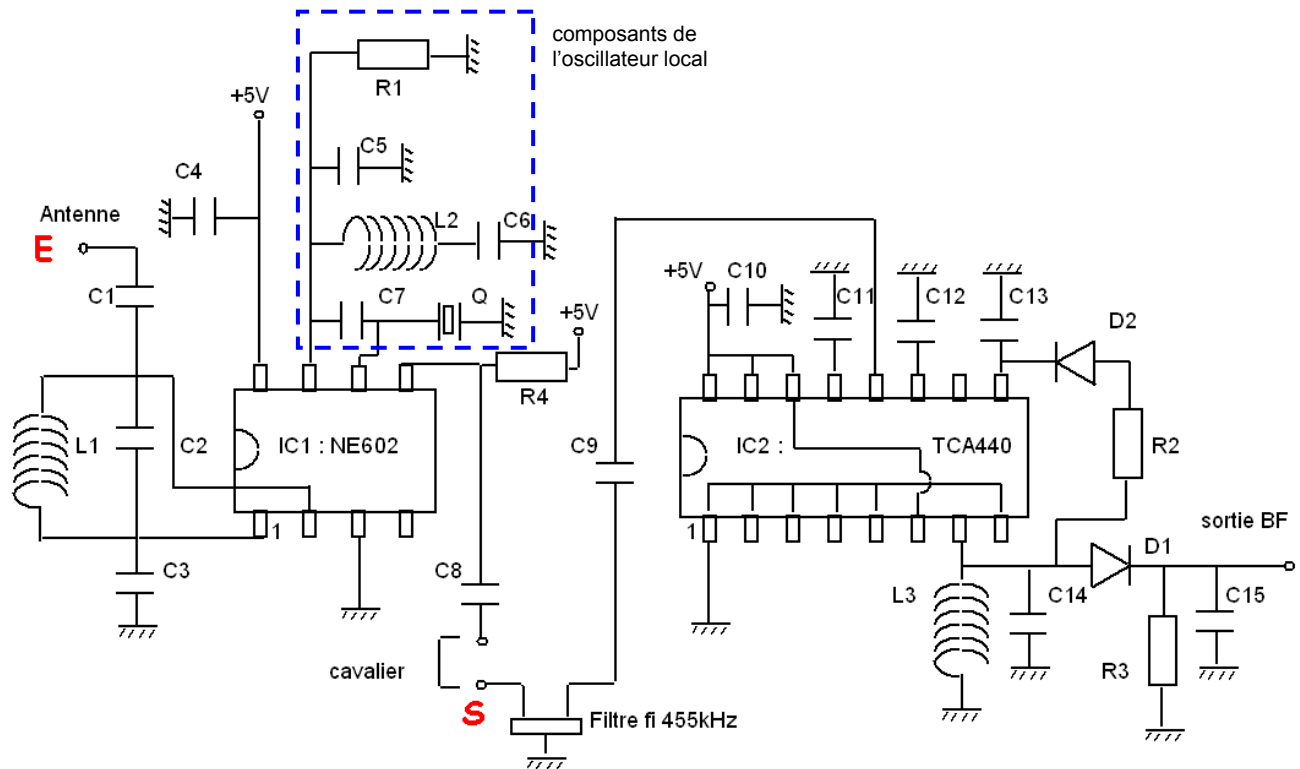
Selon le type de modulation AM ou FM, quelles sont les conditions d'utilisation à respecter si on veut mettre en oeuvre ce mélangeur pour effectuer un changement de fréquence dans un récepteur ?

B- Le mélangeur NE602

Les caractéristiques principales de ce mélangeur sont données en **Annexe 2**.

Son principal avantage est qu'il peut être monté en oscillateur, assurant donc simultanément la fonction de mélangeur et d'oscillateur local.

Pour le TP, la fréquence d'oscillation du NE602 est fixée par un quartz pour réaliser l'étage de changement de fréquence d'un récepteur AM à 26,995 MHz selon le schéma suivant :



Nomenclature

$R1 = 10 \text{ k}\Omega$ $R2 = 47 \text{ k}\Omega$ $R3 = 22 \text{ k}\Omega$ $R4 = 2,2 \text{ k}\Omega$
 $C1 = C3 = C6 = 3,3 \text{ nF}$ $C2 = 68 \text{ pF}$ $C5 = 100 \text{ pF}$ $C7 = 47 \text{ pF}$ $C13 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ $C14 = 1,2 \text{ nF}$
 $C15 = 1 \text{ nF}$ $C4 = C8 = C9 = C10 = C11 = C12 = 100 \text{ nF}$
 $L1 = L2 = 470 \text{ nH}$ $L3 = 100 \text{ }\mu\text{H}$
 $D1 = D2 =$ diode à pointe au germanium OA 95 ou équivalent

Remarque : le filtre fi n'est pas implanté pour éviter de perturber le fonctionnement du mélangeur.

Activité 7 : mesure du niveau d'injection de l'oscillateur local

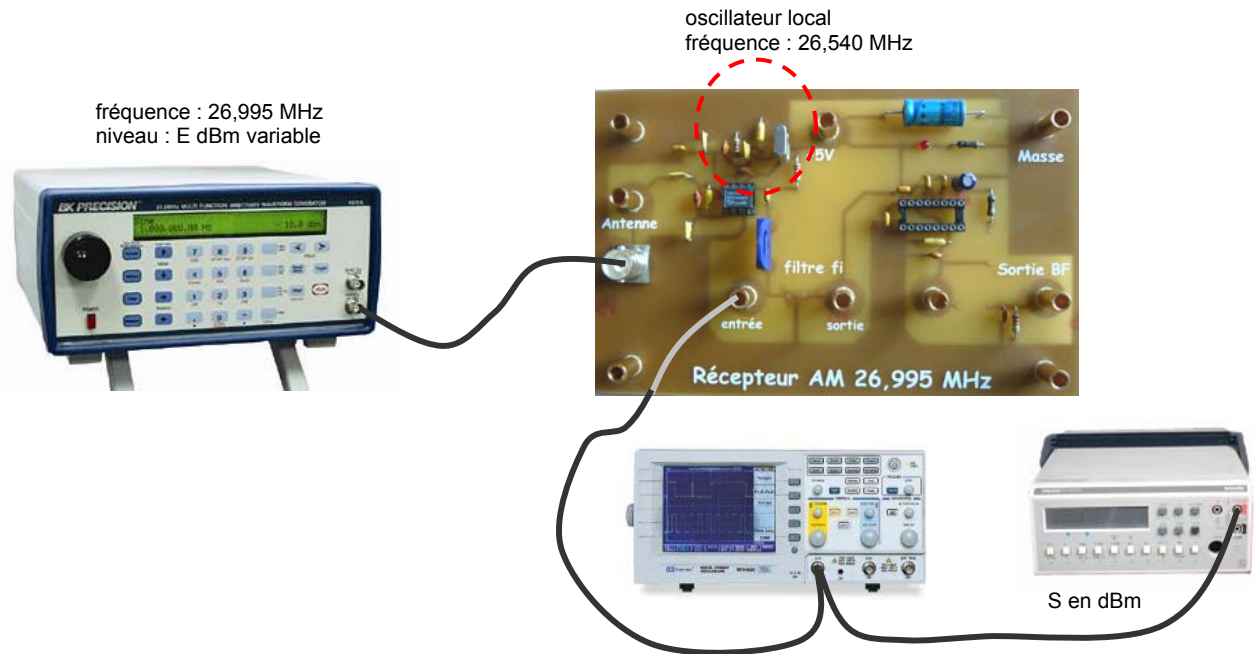
Avec une pointe de touche, relever l'oscillogramme de l'oscillateur local sur la broche 7 du NE602 et déterminer les caractéristiques du signal (fréquence f_0 , niveau E_0).

Comparer la fréquence relevée avec celle inscrite sur le quartz.

Vérifier que la fréquence de réception est bien celle inscrite sur la maquette. Quelle serait la fréquence image ? Quels sont les composants qui filtrent cette fréquence image ?

Activité 8 : caractéristique de transfert du mélangeur

Réaliser le montage suivant :



Faire varier le niveau du signal d'entrée $e(t)$ entre -44 dBm et $+18$ dBm et tracer la caractéristique de transfert du mélangeur $S_{dBm} = f(E_{dBm})$.

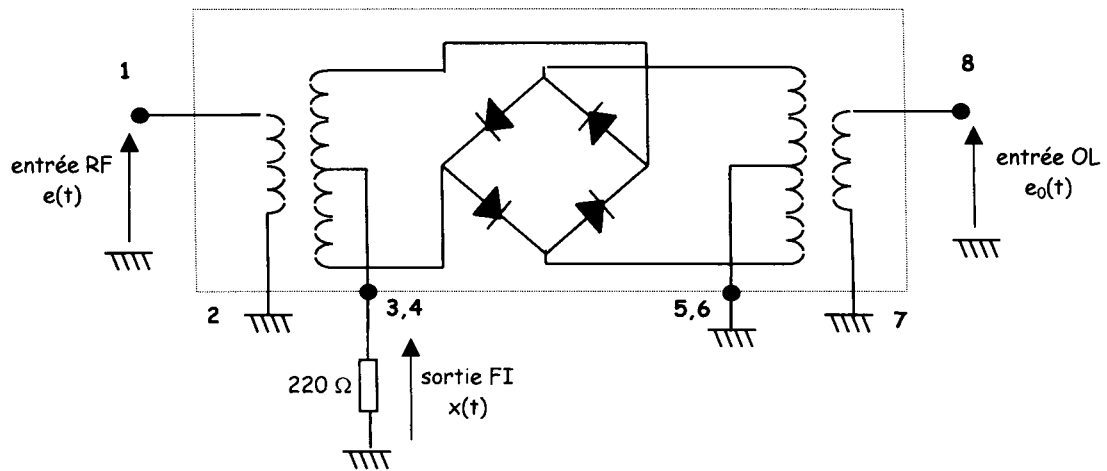
Déterminer sur la courbe le gain de conversion moyen G_0 du mélangeur dans la partie linéaire de la courbe et commenter par rapport à la donnée du fabricant.

Activité 9 : point de compression du mélangeur

Mesurer sur la caractéristique tracée le niveau d'entrée E_c correspondant au point de compression à 1 dB et commenter par rapport à la donnée du fabricant.

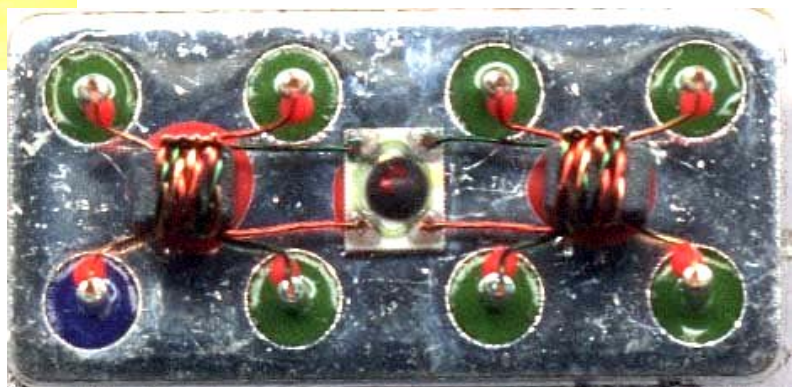
Annexe 1 : le mélangeur SBL1

Le schéma interne du SBL1 montre qu'il est constitué de 4 diodes Schottky et de deux transformateurs :



Le fabricant du SBL1 précise les caractéristiques suivantes :

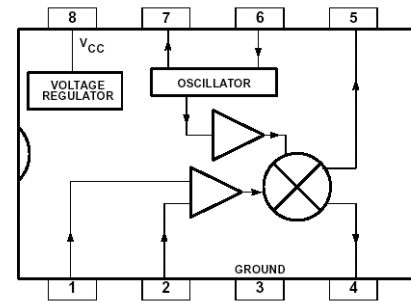
Caractéristique	Valeur	Conditions
fréquences d'entrée	de 1 à 500 MHz	pour les entrées RF et OL
fréquences de sortie	de 0 à 500 MHz	pour la sortie FI
impédance d'entrée	$R_e \approx 50 \Omega$	sur les bornes RF et OL
niveau de fonctionnement optimal	$E_0 = 7 \text{ dBm}$	oscillateur local
pertes de conversion (ou atténuation)	$P_o = 5 \text{ à } 7 \text{ dB}$	entre l'entrée RF et la sortie FI
point de compression à 1 dB	$E_c = 9 \text{ dBm}$	niveau d'entrée



Annexe 2 : le mélangeur NE602

DESCRIPTION

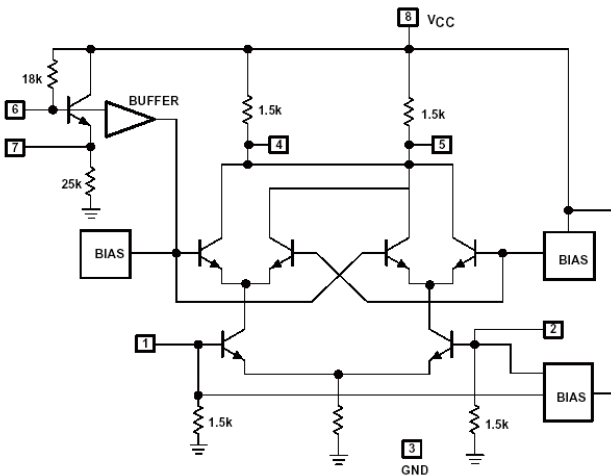
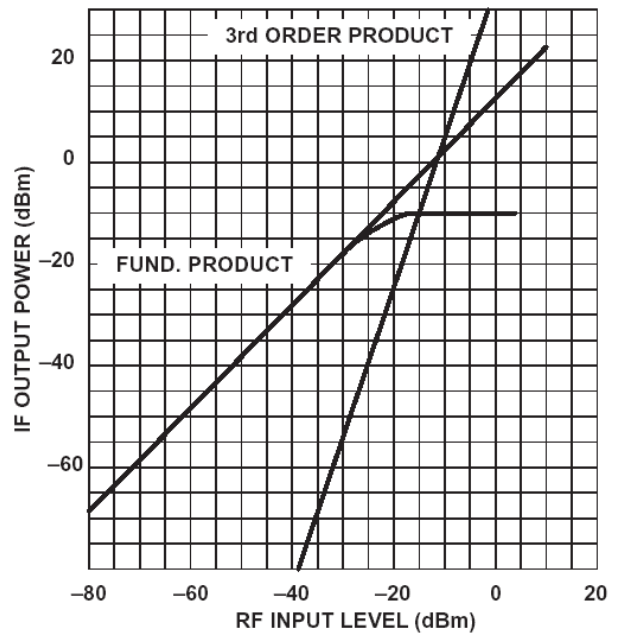
The SA602A is a low-power VHF monolithic double-balanced mixer with input amplifier, on-board oscillator, and voltage regulator. It is intended for high performance, low power communication systems. The guaranteed parameters of the SA602A make this device particularly well suited for cellular radio applications. The mixer is a "Gilbert cell" multiplier configuration which typically provides 18dB of gain at 45MHz. The oscillator will operate to 200MHz. It can be configured as a crystal oscillator, a tuned tank oscillator, or a buffer for an external LO. For higher frequencies the LO input may be externally driven. The noise figure at 45MHz is typically less than 5dB.



APPLICATIONS

- Cellular radio mixer/oscillator
- Portable radio
- VHF transceivers
- RF data links
- HF/VHF frequency conversion
- Instrumentation frequency conversion
- Broadband LANs

RF₁ = 45MHz, IF = 455kHz, RF₂ = 45.06MHz



AC/DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = +6V, T_A = 25°C; unless otherwise stated.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNITS
			SA602A			
			MIN	TYP	MAX	
V _{CC}	Power supply voltage range		4.5		8.0	V
	DC current drain			2.4	2.8	mA
f _{IN}	Input signal frequency			500		MHz
f _{OSC}	Oscillator frequency			200		MHz
	Noise figure at 45MHz			5.0	5.5	dB
	Third-order intercept point	RF _{IN} = -45dBm; f ₁ = 45.0MHz f ₂ = 45.06MHz		-13	-15	dBm
	Conversion gain at 45MHz		14	17		dB
R _{IN}	RF input resistance		1.5			kΩ
C _{IN}	RF input capacitance			3	3.5	pF
	Mixer output resistance	(Pin 4 or 5)		1.5		kΩ

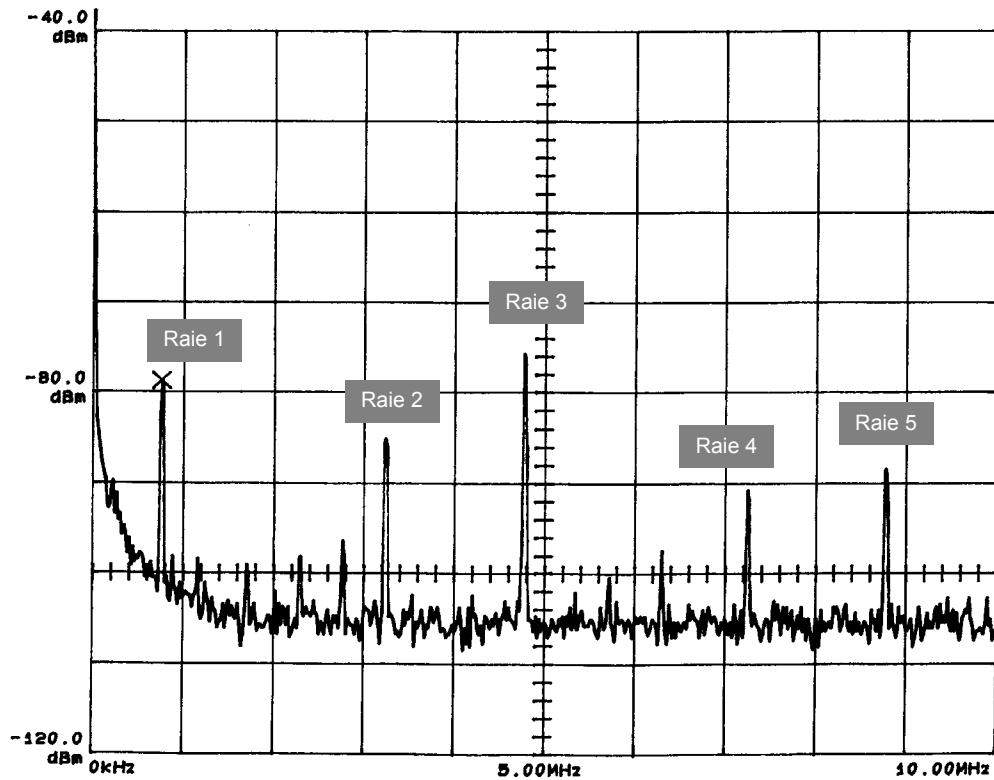
Caractérisation de mélangeurs : réponses

Rédacteur :

Binôme :

Date :

Activité 1 : analyse spectrale de la sortie



⇒ fréquences d'entrée : $f = 2,76 \text{ MHz}$ et $f_0 = 2 \text{ MHz}$

⇒ fréquences de sortie : $f_x = m.f + n.f_0$ m et n entiers positifs ou négatifs

composante	fréquence f_x	valeur de m	valeur de n	formule
raie 1	0,75 MHz environ	1	-1	$f_x = f - f_0$
raie 2				
raie 3				
raie 4				
raie 5				

Commentaire :

.....

Activité 2 : étude du filtre passe-bas

Transmittance $I(j\omega)$ du filtre :

fréquence propre $f_0 = \dots\dots\dots$ amortissement $m = \dots\dots\dots$

⇒ **Diagramme de Bode simulé** : > voir courbe n° $\dots\dots\dots$

fréquence de coupure $f_c = \dots\dots\dots$

Si on veut limiter l'erreur à moins de $\pm 0,2$ dB, il faut garder un écart de fréquence inférieur à : $\dots\dots\dots$

Activité 3 : réglage du niveau d'injection de l'oscillateur local

Relation entre tension efficace V_{eff} et niveau en dBm :

Le niveau $E_0 = 7$ dBm correspond à : $E_{0\ eff} = \dots\dots\dots$

⇒ **Oscillogramme du signal du GBF à 7 dBm à vide** : > voir courbe n° $\dots\dots\dots$

Niveau mesuré : $\dots\dots\dots$ V efficaces soit $\dots\dots\dots$ dBm

Commentaire : $\dots\dots\dots$

⇒ **Oscillogramme du signal du GBF à 7 dBm sur 50 Ω** : > voir courbe n° $\dots\dots\dots$

Niveau mesuré : $\dots\dots\dots$ V efficaces soit $\dots\dots\dots$ dBm

Commentaire : $\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

⇒ **Oscillogramme du signal du GBF à 7 dBm chargé par le mélangeur** : > voir courbe n° $\dots\dots\dots$

L'impédance d'entrée est-elle purement résistive sur l'entrée OL ? pourquoi ? $\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

L'impédance d'entrée est-elle égale à 50 Ω ? pourquoi ? $\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

Activité 4 : le mélangeur en fonctionnement

⇒ Oscillogramme de e(t) et s(t) : > voir courbe n°

- fréquence de e(t) : fréquence de s(t) théorique : fréquence de s(t) relevée :

- niveaux : d'entrée e(t) : E = dBm de sortie e(t) : S = dBm

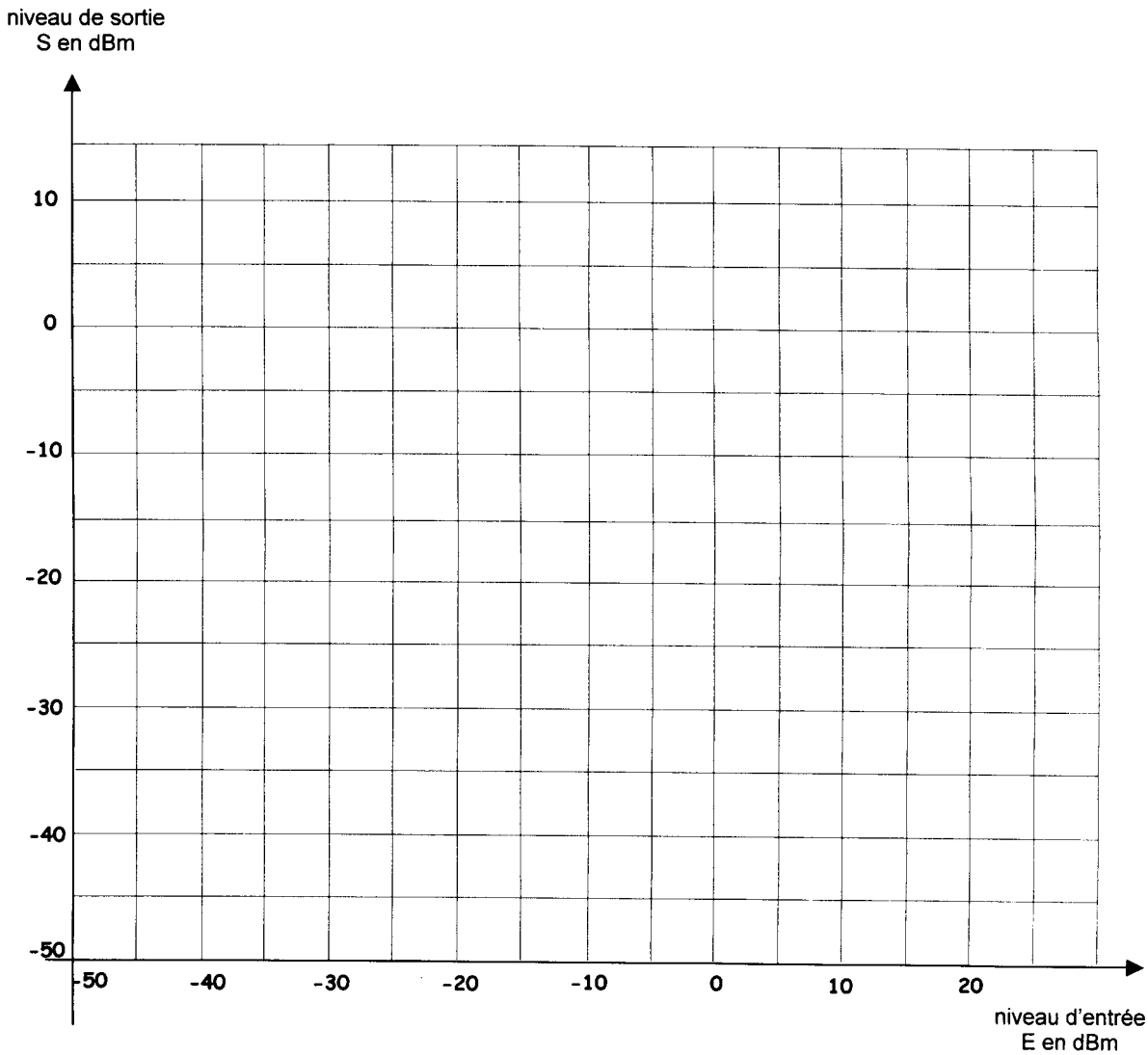
- pertes de conversion : P₀ =

Comparaison avec la donnée constructeur :

Activité 5 : caractéristique de transfert du mélangeur

E (dbm)	-30												+18
S (dBm)													
Perte (dB)													

Caractéristique de transfert :



Plage de linéarité du mélangeur (= plage où le niveau de sortie est proportionnel au niveau d'entrée) :

.....

Pertes de conversion (moyenne dans la zone linéaire) : $P_o = \dots\dots\dots$ dB

Comparaison avec la donnée constructeur :

.....

Activité 6 : point de compression du mélangeur

Sur la caractéristique de transfert, le point de compression est atteint pour : $E_c = \dots\dots\dots$ dBm

Comparaison avec la donnée constructeur :

.....

Pour le changement de fréquence dans un récepteur :

⇒ en **modulation AM**, ce mélangeur est utilisable

.....

.....

⇒ en **modulation FM**, ce mélangeur est utilisable

.....

.....

Activité 7 : mesure du niveau d'injection de l'oscillateur local

⇒ **Oscillogramme de l'oscillateur local** : > voir courbe n°

fréquence $f_0 = \dots\dots\dots$ Niveau $E_0 = \dots\dots\dots$ V = $\dots\dots\dots$ dBm

Fréquence inscrite sur le quartz :

Fréquence de réception :

Fréquence image :

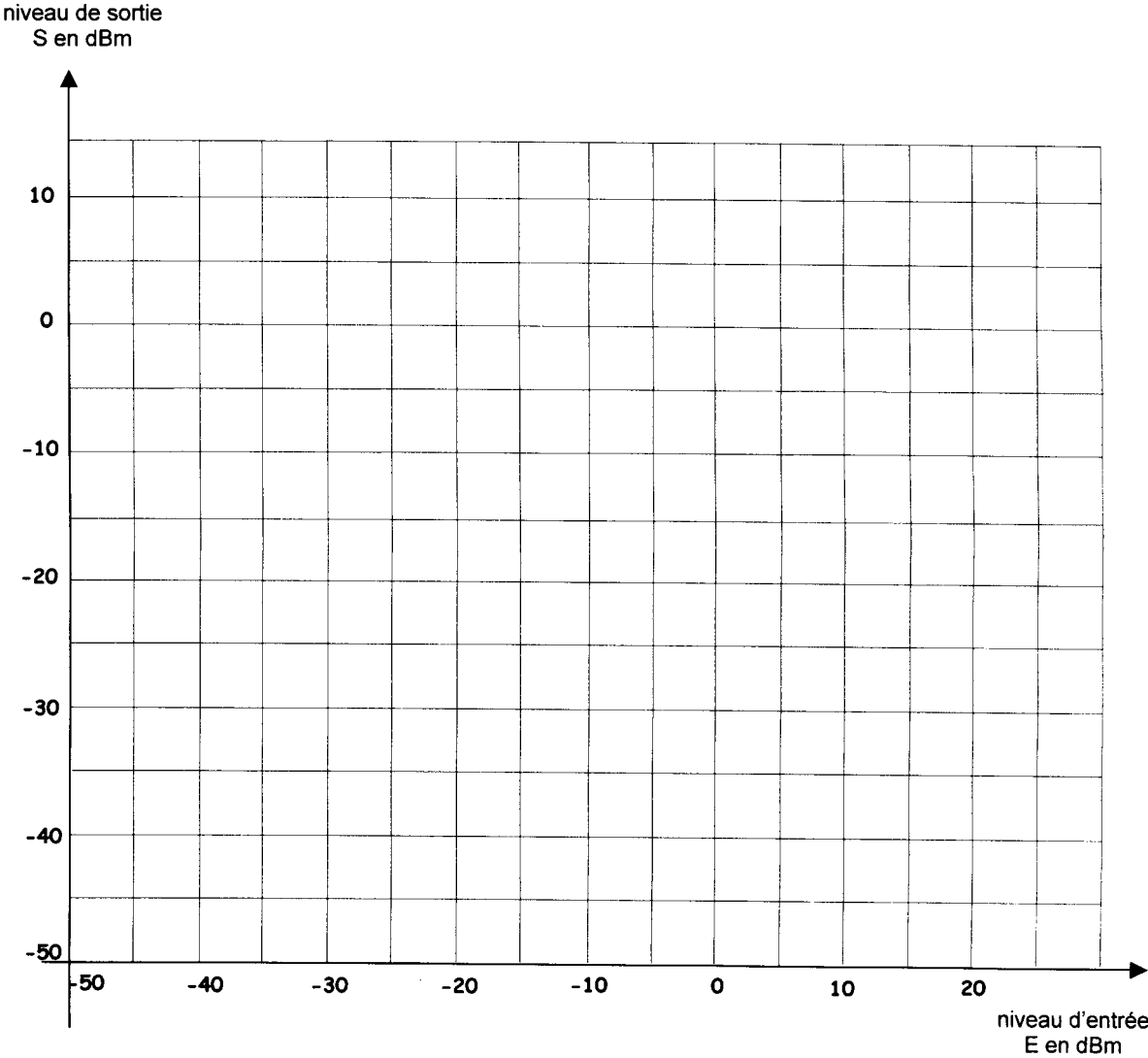
Commentaire :

.....

Activité 8 : caractéristique de transfert du mélangeur

E (dbm)	-44												+18
S (dBm)													
Perte (dB)													

Caractéristique de transfert :



Plage de linéarité du mélangeur (= plage où le niveau de sortie est proportionnel au niveau d'entrée) :
.....

Gain de conversion (moyenne dans la zone linéaire) : $G_0 = \dots\dots\dots$ dB

Comparaison avec la donnée constructeur :
.....

Activité 9 : point de compression du mélangeur

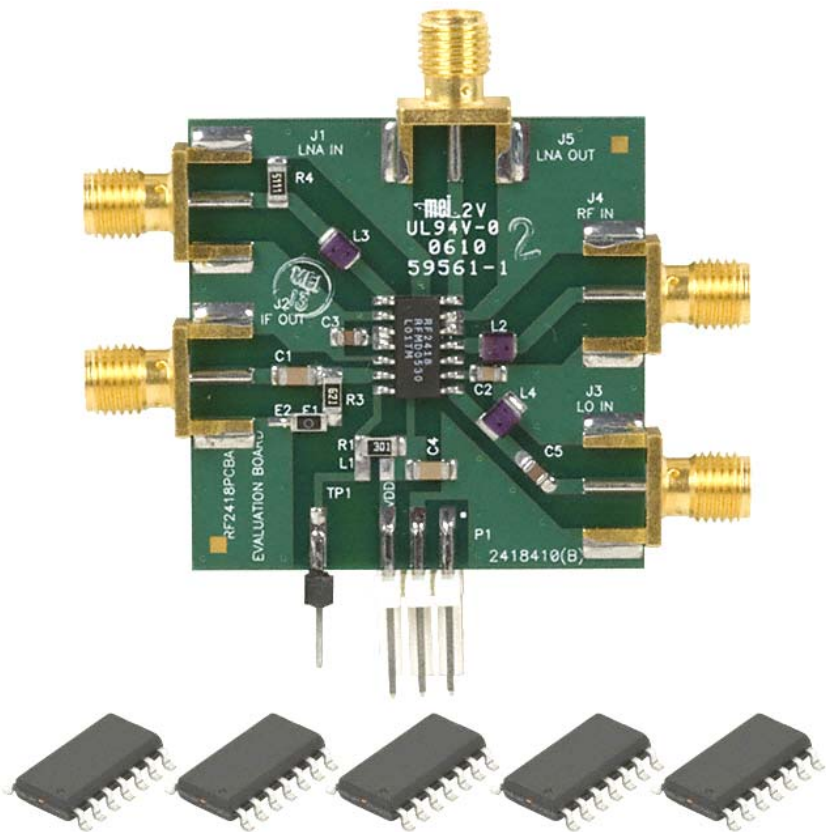
Sur la caractéristique de transfert, le point de compression est atteint pour : $E_c = \dots\dots\dots$ dBm

Comparaison avec la donnée constructeur :

Pour le changement de fréquence dans un récepteur :

⇒ en **modulation AM**, ce mélangeur est utilisable

⇒ en **modulation FM**, ce mélangeur est utilisable



RF2418
 - ampli RF + mélangeur
 - 300-1200 MHz
 - gain 20 dB