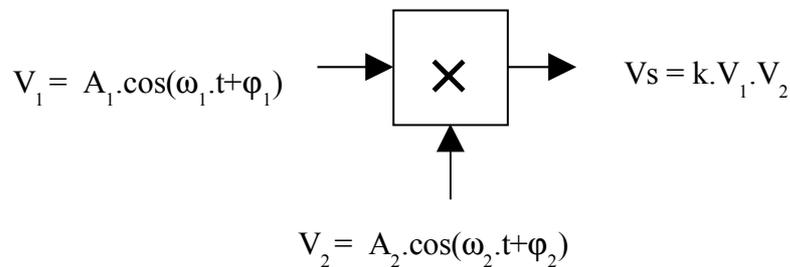


LE CHANGEMENT DE FREQUENCE

Le changement de fréquence est une fonction très utilisée en radiocommunication. Cette fonction permet d'augmenter ou de diminuer la fréquence centrale d'un signal. Elle réalise la translation du spectre.

1. Principe

Pour effectuer la fonction changement de fréquence, on peut utiliser un multiplieur. Un multiplieur est un composant qui génère en sortie un signal proportionnel au produit des signaux présents sur ces deux entrées. Nous allons étudier le cas où les signaux d'entrée sont des sinusoides de fréquences différentes :

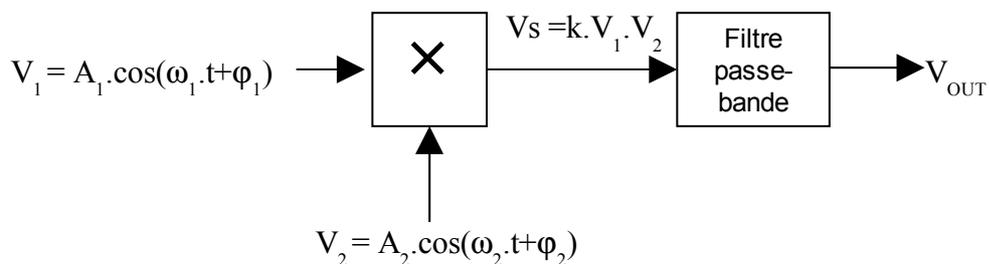


$$\begin{aligned} V_s(t) &= k \cdot V_1(t) \cdot V_2(t) = k \cdot A_1 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t + \varphi_1) \cdot A_2 \cdot \cos(\omega_2 \cdot t + \varphi_2) \\ &= (k \cdot A_1 \cdot A_2 / 2) \cdot [\cos(\omega_1 \cdot t + \varphi_1 + \omega_2 \cdot t + \varphi_2) + \cos(\omega_1 \cdot t + \varphi_1 - \omega_2 \cdot t - \varphi_2)] \\ &= (k \cdot A_1 \cdot A_2 / 2) \cdot [\cos(\omega_1 \cdot t + \omega_2 \cdot t + \varphi_1 + \varphi_2) + \cos(\omega_1 \cdot t - \omega_2 \cdot t + \varphi_1 - \varphi_2)] \\ &= (k \cdot A_1 \cdot A_2 / 2) \cdot [\cos((\omega_1 + \omega_2) \cdot t + \varphi_1 + \varphi_2) + \cos((\omega_1 - \omega_2) \cdot t + \varphi_1 - \varphi_2)] \end{aligned}$$

Le signal en sortie possède une composante à la différence des deux fréquences d'entrée et une composante à la somme des deux fréquences d'entrée.

Application au changement de fréquence

Pour effectuer un changement de fréquence, on fait précéder le multiplieur par un filtre passe-bande :



Le rôle du filtre passe-bande est de ne conserver qu'une seule des deux raies du signal V_s .

Exemple : V_1 est un signal sinusoïdal de fréquence 90MHz et V_2 est un signal sinusoïdal de fréquence 10MHz.

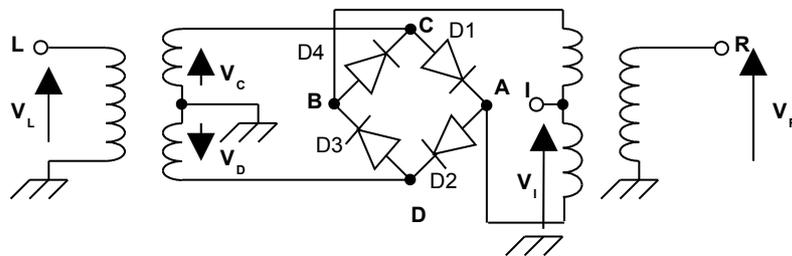
V_s est la somme de deux raies, une à $f_1-f_2 = 90 - 10 = 80$ MHz, l'autre à $f_1+f_2 = 100$ MHz.

On sélectionne alors l'une ou l'autre de ces deux raies en jouant sur la fréquence centrale du filtre passe-bande.

Le mélangeur équilibré

Pour effectuer la fonction multiplication en HF, on utilise généralement un mélangeur équilibré (double-balanced mixer) appelé aussi modulateur en anneau (ring modulator).

Ce composant est réalisé à partir de diodes et de transformateurs.



Les 4 diodes sont identiques et à la même température (circuit intégré).

Les transformateurs ont une bande passante de quelques centaines de kHz à quelques centaines de MHz (voir quelques GHz).

Ce composant à 3 accès :

L'entrée L ou LO comme Local oscillator (oscillateur local): cette entrée reçoit un signal à fort niveau (7 à 10 dBm).

L'entrée I ou IF comme Intermediate Frequency (Fréquence Intermédiaire).

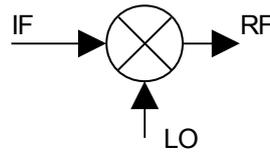
La sortie R ou RF comme RadioFréquence (Fréquence Radio).

Fonctionnement :

On peut montrer pour ce composant que $V_{RF} = V_{IF} \cdot \text{signe}(V_{LO})$

Les accès RF et IF peuvent être permutés selon l'application. Généralement la fréquence du signal présent sur l'accès IF est inférieure à la fréquence présente sur l'accès RF.

Symbole :



Il existe d'autres structures de mélangeurs équilibrés, en particulier des structures utilisant des transistors.

Ces structures sont polarisées, elles nécessitent une alimentation en courant continu, cependant elles permettent d'avoir du gain.

Généralisation au composant non linéaire

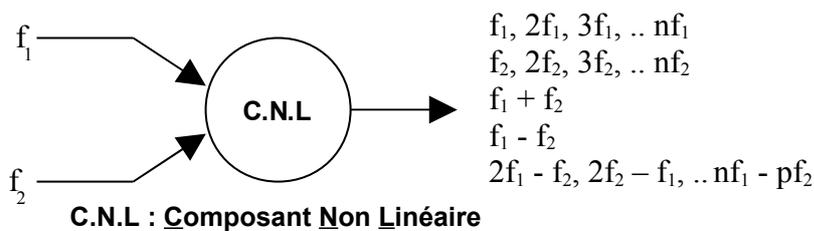
Plus généralement, on peut démontrer que tout composant non linéaire (diode, transistor, etc..) se comporte comme un mélangeur.

Lorsque deux signaux de fréquences différentes f_1 et f_2 sont présents dans un circuit utilisant un composant non linéaire, on obtient en sortie du circuit un signal ayant des composantes aux fréquences :

- $f_1, 2f_1, 3f_1, .. nf_1$
- $f_2, 2f_2, 3f_2, .. nf_2$
- $f_1 + f_2$
- $f_1 - f_2$ ou $f_2 - f_1$

Des combinaisons de produits d'intermodulation comme :

$$2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1, .. nf_1 - pf_2$$



Par filtrage, il est donc possible de récupérer le signal à la fréquence $f_1 + f_2$ et $f_1 - f_2$.

Ainsi en hyperfréquence, la fonction « changement de fréquence » peut être réalisée avec une simple diode.

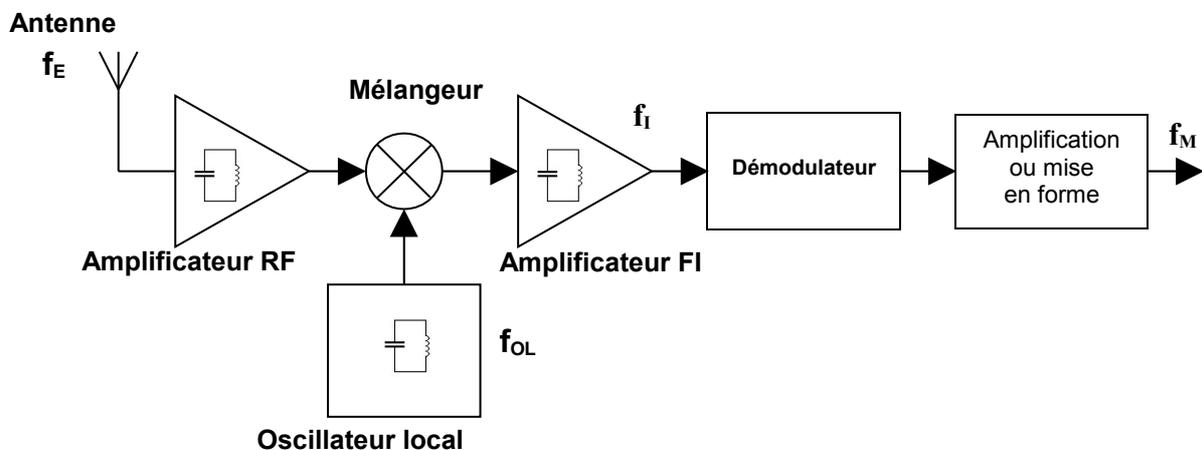
2. Changement de fréquence en réception, fréquence image.

La plupart des récepteurs de radiocommunication utilisent une structure avec un changement de fréquence en réception. Cette structure est appelée récepteur superhétérodyne.

Le récepteur superhétérodyne

Le récepteur superhétérodyne est la structure de récepteur la plus utilisée, tant en radio qu'en télévision ou en hyperfréquences (radar, GSM, GPS...). Elle est caractérisée par l'utilisation d'un étage changeur de fréquence, ce qui permet une amplification plus aisée du signal.

La structure est la suivante :



Le signal modulé de fréquence f_E est capté par l'antenne. Celui-ci est amplifié de manière sélective par l'amplificateur RF. L'amplificateur RF a une largeur suffisante pour laisser passer tous les canaux (toutes les stations en radio) de la bande.

Le signal est ensuite mélangé avec l'oscillateur local. Le signal obtenu est à la fréquence f_I .
On a $f_I = |f_E - f_{OL}|$ ou $f_I = f_E + f_{OL}$.

Quand on change de station, la fréquence d'entrée f_E varie, la fréquence de l'oscillateur local f_{OL} varie mais la fréquence f_I reste fixe. Ce qui permet d'avoir tout le temps la même sélectivité quelque soit la station reçue. La notion de sélectivité est abordée dans un paragraphe ultérieur.

Le démodulateur permet de retrouver le message basse fréquence. L'intérêt de la structure est que la démodulation se fait à fréquence fixe quelque soit la station reçue. Le démodulateur est un démodulateur d'amplitude ou de fréquence.

Le dernier étage permet de mettre en forme et/ou d'amplifier le signal avant utilisation.

Travail personnel



1

Un récepteur FM reçoit des signaux dans la bande 88MHz-108MHz.

La fréquence intermédiaire f_i est de 10,7MHz (valeur normalisée).

Q.1) Pour un signal d'entrée à $f_E = 100$ MHz, déterminer les deux valeurs possibles pour la fréquence f_{OL} de l'oscillateur local.

Q.2) Déterminer les deux plages de variation possible pour l'oscillateur local.

Généralement, la solution retenue est celle où la fréquence de l'oscillateur local est supérieure à la fréquence du signal reçu.

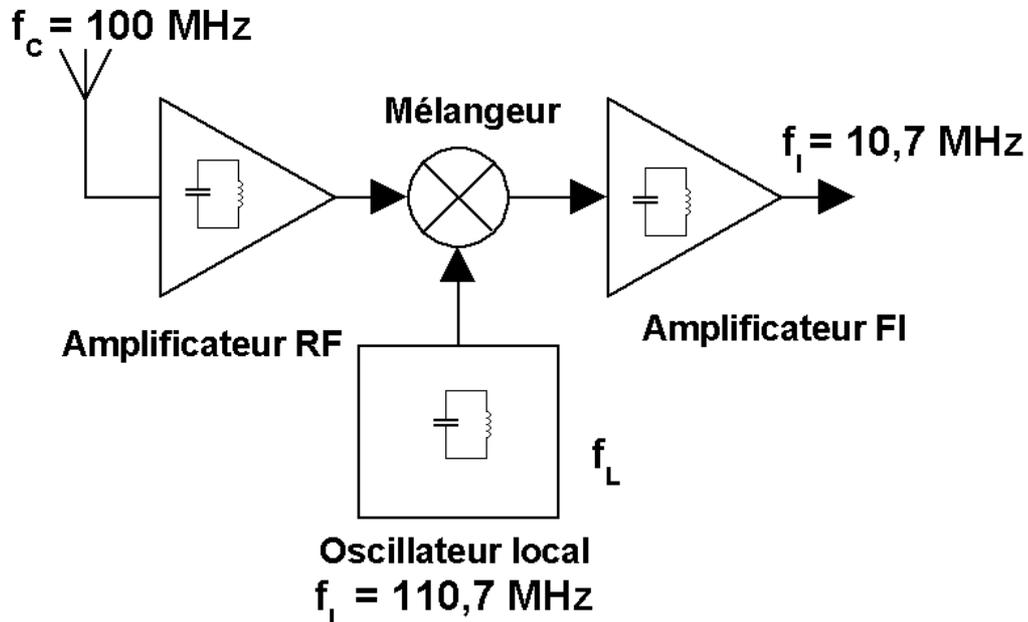
La fréquence image

En utilisant la structure précédente, pour une valeur de l'oscillateur donnée, il existe une deuxième fréquence d'entrée qui donne une différence de fréquence égale à la fréquence intermédiaire.

En effet, reprenons l'exemple de notre récepteur FM recevant une station à 100 MHz.

La valeur de l'oscillateur local est de 110,7MHz.

On a donc $f_i = f_L - f_c$



Travail personnel



2

Déterminer pour un signal d'entrée à $f_E = 100\text{MHz}$, et pour un oscillateur local à $f_{OL} = 110,7\text{MHz}$ la valeur de la fréquence image, soit l'autre fréquence qui présente à l'entrée génère une différence de fréquence égale à $f_i = 10,7\text{ MHz}$.

Les conséquences de cette fréquence image peuvent être désastreuses. En effet un signal parasite à la fréquence image sera reçu aussi bien que le signal utile, la réception pourra donc être fortement perturbée. De même le bruit présent dans la bande de fréquence image va se superposer au bruit déjà présent dans la bande utile, ce qui aura pour conséquence de doubler le bruit.

C'est pourquoi il est nécessaire de filtrer la fréquence image au niveau de l'étage d'entrée, avant le changement de fréquence.

3. Etude d'un émetteur-récepteur VHF marine

L'objet technique utilisé pour support de cette étude est un émetteur-récepteur VHF marine ICOM IC-M59EURO.

Nous allons étudier plus particulièrement l'architecture interne du récepteur.

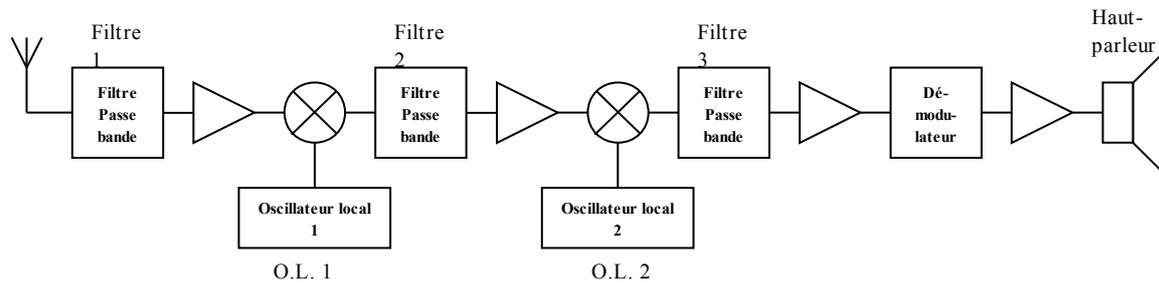
Pour schématiser, on peut considérer ce type de d'émetteur-récepteur comme l'équivalent d'une CB mais pour les navires.



Les spécifications du récepteur données par le constructeur ICOM sont les suivantes :

EMETTEUR-RECEPTEUR VHF MARINE IC-M59EURO	
CARACTERISTIQUES	
GENERAL	RECEPTEUR
<ul style="list-style-type: none"> •Bande de fréquences <ul style="list-style-type: none"> émission : 156 - 157,5 MHz réception : 156 - 163 MHz •Mode : FM (16KOG3E) DSC (16KOG2B) •Alimentation : 13,8 V CC +/-15% •Consommation (à 13,8 V CC) <ul style="list-style-type: none"> émission puissance haute : 6,0 A émission puissance basse : 1,5 A réception niveau audio max : 1,2 A veille : 350 mA •Températures d'utilisation : -20 à +60°C •Poids : 1 kg 	<ul style="list-style-type: none"> •Récepteur superhétérodyne double conversion. •Fréquences intermédiaires : <ul style="list-style-type: none"> 1ère : 21,8 MHz 2ème : 455 kHz •Sensibilité (pour 12 dB SINAD) : 0,22 µV •Seuil de sensibilité du squelch : moins de 0,18 µV •Réjection du canal adjacent : 70 dB •Réjection fréquence image : 70 dB •Intermodulation : 70 dB •Puissance de sortie audio : plus de 3,5 W sous 4 Ω •Impédance sortie audio : 4 Ω à 16 Ω
EMETTEUR	
<ul style="list-style-type: none"> •Puissance de sortie <ul style="list-style-type: none"> haute : 25 W basse : 1 W •Type de modulation : modulation de phase par variation de réactance. •Déviation maximum : +/- 5 kHz •Emission parasites : moins de 70 dB •Bruit : moins de 40 dB 	

On donne le schéma synoptique du récepteur.



Pour simplifier cette étude, on effectuera tous les calculs dans l'hypothèse d'un signal reçu à la fréquence $f_r = 159\text{MHz}$ (valeur intermédiaire entre 156MHz et 163MHz).

Q.1) A partir de la lecture de la spécification du récepteur, de l'analyse du schéma synoptique et de l'indication fournie ci-dessus, déterminer les fréquences centrales f_{c1} , f_{c2} , f_{c3} des filtres 1, 2 et 3.

Q.2) Déterminer les deux valeurs de la fréquence de l'oscillateur local 1 qui permettent d'obtenir une première fréquence intermédiaire de $21,8\text{MHz}$.

On suppose que le constructeur a choisi la fréquence de l'oscillateur local 1 supérieure à la fréquence du signal reçu.

Q.3) Déterminer les deux valeurs de la fréquence de l'oscillateur local 2 qui permettent d'obtenir une deuxième fréquence intermédiaire de 455KHz .

On suppose que le constructeur a choisi la fréquence de l'oscillateur local 2 supérieure à la première fréquence intermédiaire f_{i1} .

Q.4) Quand le canal reçu varie, indiquer la ou les fréquences qui varient et celle ou celles qui restent constantes parmi f_{i1} , f_{i2} , f_{OL1} et f_{OL2} .

Q.5) Déterminer la valeur de la fréquence image liée au premier changement de fréquence.

Q.6) Pour garantir une réjection de la fréquence image conforme aux caractéristiques annoncées par le constructeur, définir un gabarit de filtrage pour le filtre 1. On supposera que les pertes d'insertion du filtre dans sa bande passante sont inférieures à 1 dB .

Q.7) Déterminer la valeur de la fréquence image liée au deuxième changement de fréquence.

Q.8) En déduire la largeur maximale du filtre 2. On supposera que le filtre est symétrique.

Q.9) Quelle spécification du récepteur pourrait être dégradée si l'on augmentait la bande passante du filtre 3 ? Justifier.

Retrouvez d'autres cours et documents sur :

<http://www.louisreynier.com>