

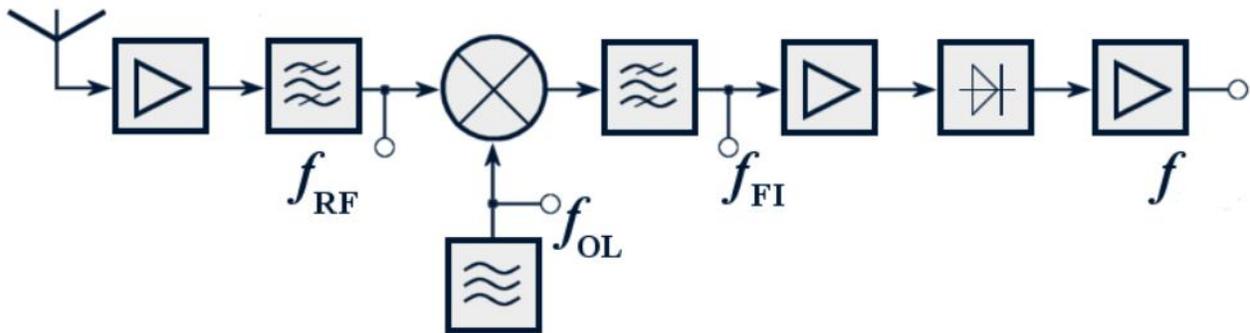
Les superhétérodynes

Objectifs partie 6 :

A l'issue de ce travail vous serez capable de :

1. Définir une superhétérodyne.
3. Comprendre le principe d'une détection superhétérodyne.
4. Appliquer les notions acquises pour résoudre les exercices proposés.

Principe du récepteur superhétérodyne :



Le signal de radiofréquences (RF) venant de l'antenne passe par un filtre qui ne laisse passer que la gamme de fréquences désirées f_{RF} .

Le signal passe ensuite dans un mélangeur qui l'ajoute à une onde produite par un oscillateur local stable (f_{OL})

Les deux signaux entrent en battement à une fréquence intermédiaire (FI) qui est la différence de fréquences entre les deux ondes, c'est le procédé de changement de fréquence, dit hétérodyne.

$$f_{FI} = f_{RF} - f_{OL}$$
$$f_{FI} = f_{OL} - f_{RF}$$

Le spectre de sortie est donc composé deux bandes latérales, positives et négative, identiques. La mesure ne peut être faire que sur l'amplitude absolue du signal, en général sur la différence suivante : $f_{FI} = |f_{OL} - f_{RF}|$

La fréquence non désirée, dite fréquence image, doit être à l'extérieur de la bande passante du filtre subséquent.

L'onde venant de l'oscillateur est automatiquement ajustée afin d'avoir toujours la même différence de fréquence avec celle du signal RF ce qui permet d'avoir une FI constante sur toute la plage de fréquences du récepteur.

Le signal FI est ensuite envoyé vers un amplificateur qui augmente son intensité.

Finalement, il passe dans un détecteur qui par démodulation en tirera la composante finale.[1]

SERIE TD N06

Exercice 1 :

Détection double superhétérodyne Le principe d'une détection double superhétérodyne est donnée Figure 1 Il est constitué d'un double changement de fréquence. On considère l'onde reçue de type cosinusoidal. La fréquence de la porteuse est de 100 MHz, et la fréquence du signal BF utile qui module cette porteuse vaut 1 kHz.

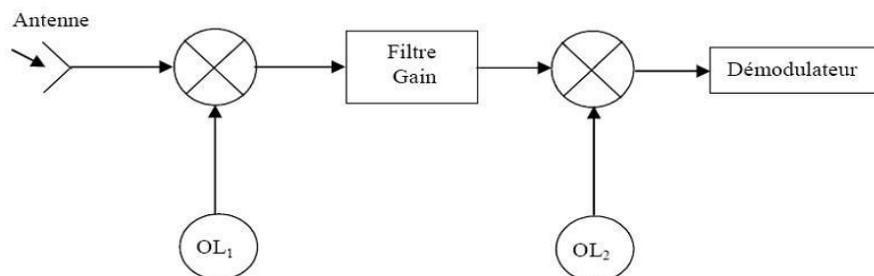


Figure (1)

La fréquence du signal du premier oscillateur local est de 89,3 MHz ; la fréquence du deuxième oscillateur local vaut 10,245 MHz. Les deux oscillateurs sont de types cosinusoidaux.

Questions :

1– Expliquez par des représentations spectrales les différents changements de fréquences.

Calculez à chaque fois les fréquences intermédiaires et les fréquences images.

2– Quel est le but/intérêt du double changement de fréquences ?

Exercice 2

Le système de réception de la Figure 2 est utilisé

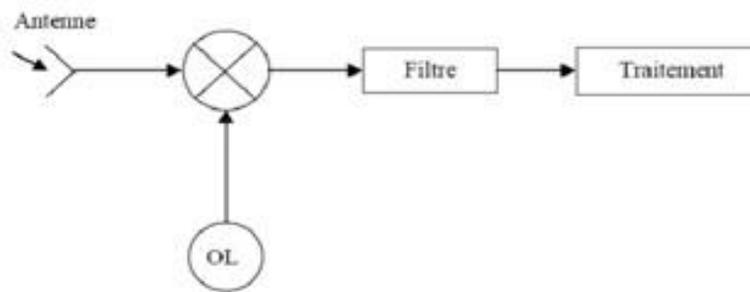


Figure 2 : Récepteur superhétérodyne

L'onde reçue est du type $V_r = A \sin(2\pi f_r t + \theta_r)$ Elle est multipliée par un signal issu d'un oscillateur local. La fréquence intermédiaire obtenue est filtrée puis envoyée vers un démodulateur.

1 – Dans un premier temps, l'oscillateur local est de type sinusoïdal ; $V_{OL}(t) = A \sin(2\pi f_{ol} t)$

Questions:

–Quelles sont les fréquences intermédiaires en sortie du mélangeur ?

–Représentez le spectre avant le filtre. Quelles sont les fréquences images ?

–Quels types de filtre peut-on mettre pour s'en affranchir et ne garder que l'information ?

– Conclusions sur la forme d'onde de démodulation ? Quel est l'intérêt d'une détection hétérodyne ?

Exercice 3

Nous considérons l'exemple du récepteur radio représenté sur la figure (3).

1)- Diviser le schéma en blocs de la figure (3) en montrant le nom et la fonction principale de chaque bloc !

2)- Nous supposons que l'amplitude de la tension de la station radio V_{RF} ($f_{RF}=730$ KHz) reçue par l'antenne est de l'ordre de quelques microvolts (μV). Le montage émetteur commun du transistor T_1 doit amplifier ce signal avec un gain de 10 dB.

-Donner le schéma électronique de cet amplificateur.

-Donner le schéma équivalent du transistor T_1 et du montage complet, en régime alternatif.

-Calculer la valeur de la résistance R_p pour avoir un gain en puissance de 10 dB. On donne :

$\beta=94$, $R_C=2$ K Ω , $r_{BE}=361$ Ω . On note que la charge R_L est négligeable.

3)- Nous supposons que le montage émetteur commun du transistor T_3 génère une fréquence de 455 KHz.

-Donner la valeur de la fréquence générée par l'oscillateur OSC1 !

-Calculer la valeur de la capacité C_2 et la résistance R_2 ! On donne : $L_2= 10$ mH, $f_{min(BLI)}= 452.5$ KHz, $f_{max(BLI)}=457.5$ KHz.

4)- Est-ce qu'une station radio de fréquence f_{RF2} égale à 180 KHz, reçue par l'antenne, peut provoquer le problème de fréquence image ? Expliquer !

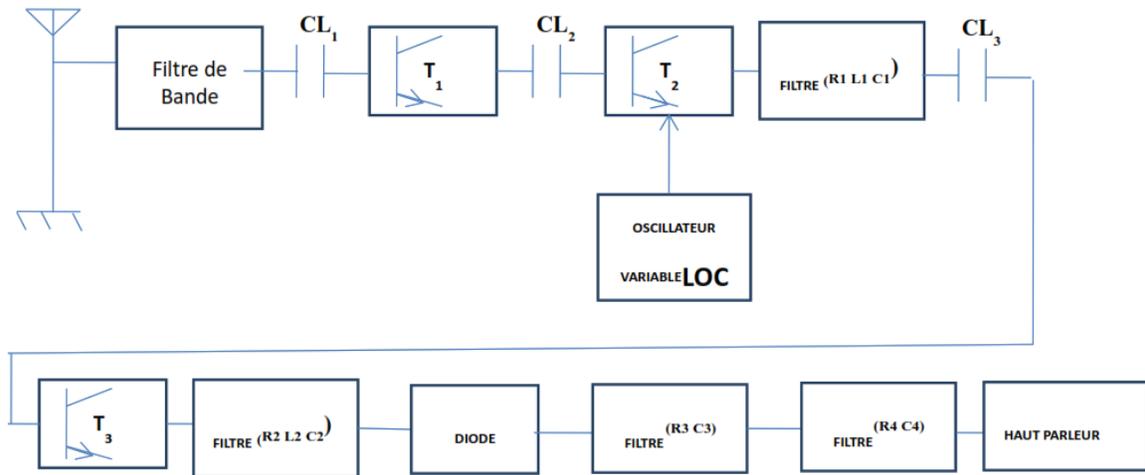


Figure 3 : Exemple d'un récepteur radio superhétérodyne

Exercice 4

La figure (4) représente un exemple d'un récepteur superhétérodyne à double conversion de fréquence. Ce récepteur est utilisé pour recevoir le signal AM à bande latérale unique (BLU) de la station radio centrée sur la fréquence F_{RF} égale à 41 MHz, dont la largeur de bande du signal information $m(t)$, qui a modulé cette porteuse, égale à 200 KHz. La fréquence du deuxième oscillateur local f_{OL2} est fixée à 10.245 MHz et la fréquence centrale du deuxième filtre à fréquence intermédiaire égale à $FI_2 = 455$ KHz. Nous considérons que la fréquence f_{OL1} du premier oscillateur local est variable.

- 1- Quelles sont les étapes à faire sur ce récepteur pour recevoir correctement la station radio F_{RF} sur le haut-parleur ?
- 2- Déterminer la fréquence f_{OL1} permettant de recevoir la station radio de 41 MHz.
- 3- Représenter le spectre des signaux aux points suivants en justifiant par des calculs : a) la sortie du premier mélangeur, b) la sortie du filtre FI_1 , c) la sortie du deuxième mélangeur et d) la sortie du filtre FI_2
- 4- Est-ce qu'une station radio de 19.59 MHz peut provoquer le problème de fréquence image ? Expliquer !

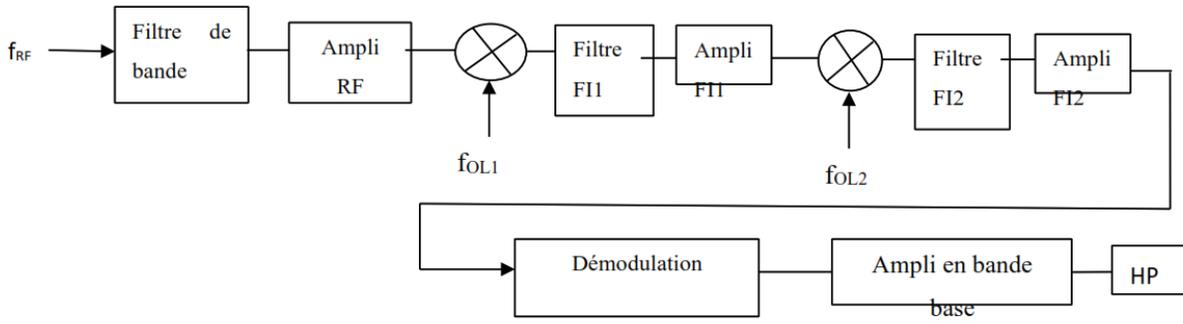


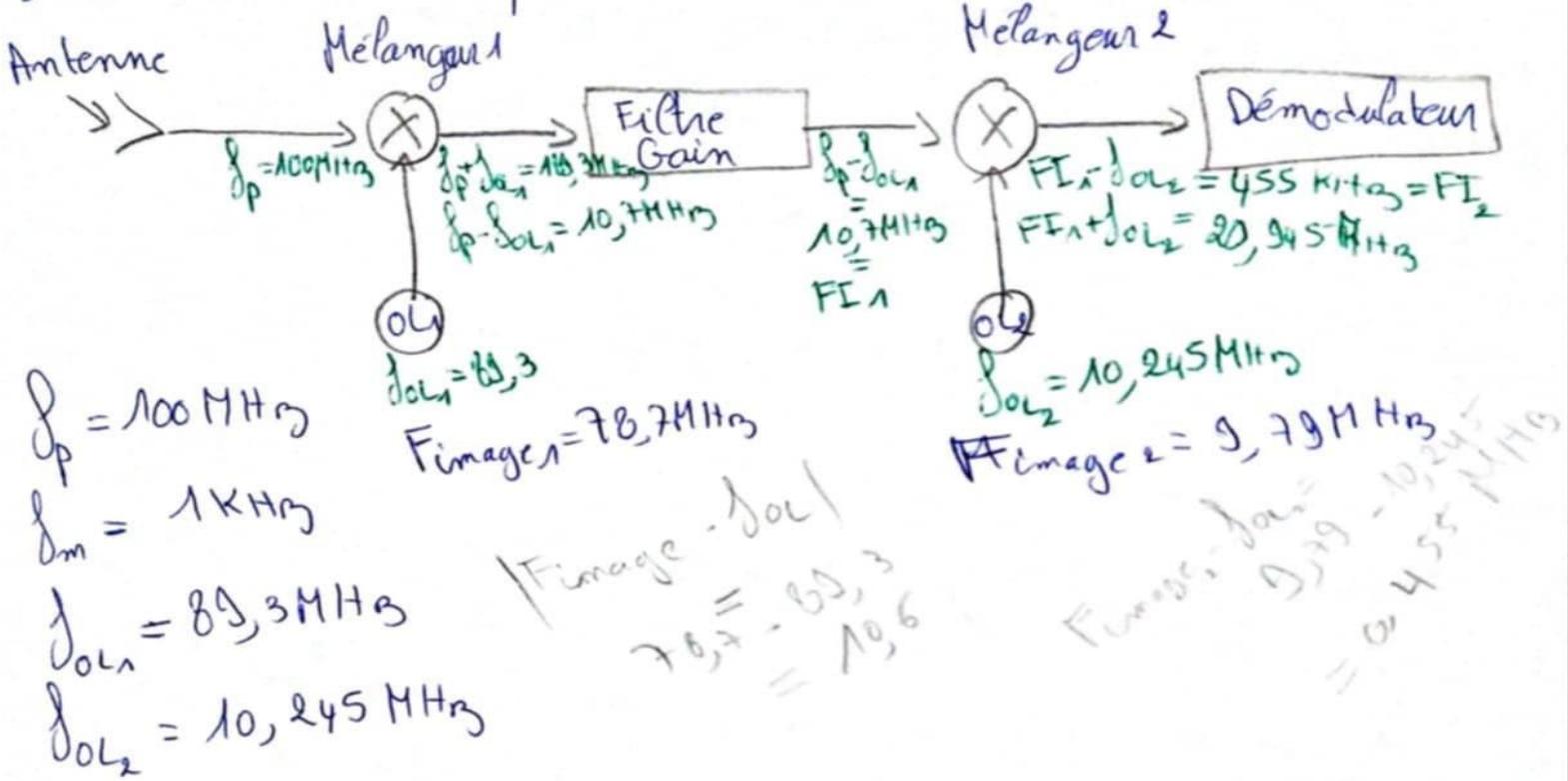
Figure (4)

Solution

Série 06

Exercice 01

Détection double superhétérodyne



1-Explication:

À l'entrée du 1^{er} Mélangeur: nous avons un signal modulé en AM porté sur 100 MHz et le signal de l'oscillateur $f_{OL1} = 89,3 \text{ MHz}$

À la sortie du 1^{er} Mélangeur: on a deux signaux portés sur $f_p - f_{OL1}$ et $f_p + f_{OL1}$

$$f_p - f_{OL1} = 100 - 89,3 = 10,7 \text{ MHz}$$

$$f_p + f_{OL1} = 100 + 89,3 = 189,3 \text{ MHz}$$

Après le filtre à gain: on garde la fréquence $FI_1 = f_p - f_{OL1} = 10,7 \text{ MHz}$ et on élimine la fréquence $f_p + f_{OL1}$

A l'entrée du 2^{ème} Mélangeur : nous avons un signal porte sur $FI_1 = 10,7 \text{ MHz}$, et le signal généré par le 2^{ème} oscillateur $f_{OL2} = 10,245 \text{ MHz}$

A la sortie du 2^{ème} Mélangeur : on a deux signaux portés sur $FI_1 - f_{OL2}$ et $FI_1 + f_{OL2}$

$$FI_1 - f_{OL2} = 10,7 - 10,245 = 455 \text{ kHz} = FI_2$$

$$FI_1 + f_{OL2} = 10,7 + 10,245 = 20,945 \text{ MHz}$$

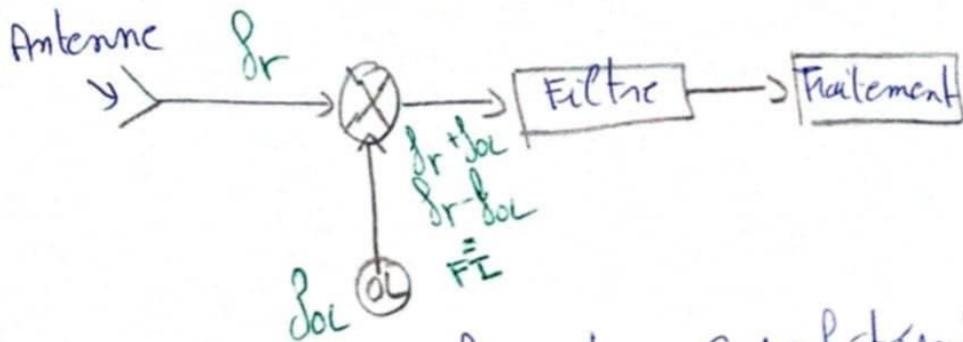
- 1^{er} Mélangeur : $F_{image} = f_{OL1} - FI_1 = 89,3 - 10,7 = 78,6 \text{ MHz}$

- 2^{ème} Mélangeur : $F_{image} = f_{OL2} - FI_2 = 10,245 - 0,455 = 9,79 \text{ MHz}$

2 - L'intérêt de l'utilisation du double changement de fréquence : c'est de résoudre le problème lié au compromis entre rejeter la fréquence et la sélectivité on a parfois recours à une architecture à double changement de fréquence

Le premier oscillateur permet de sélectionner le canal et de transposer vers une fréquence intermédiaire suffisamment élevée pour pouvoir éliminer la fréquence image, un deuxième oscillateur à fréquence f_{OL2} ramène le signal autour de la seconde fréquence intermédiaire on effectue un filtrage très relatif

Exercice 02:



Recepteur Superhétérodyne

L'onde reçue $V_r = A \sin(2\pi f_r t + \phi_r)$

1- L'oscillateur local est de type sinusoïdal $V_{ol}(t) = A \sin(2\pi f_{lo} t)$

FI?

À la sortie du Mélangeur on a : $f_r + f_{lo}$ et $f_r - f_{lo}$

$$f_r + f_{lo} =$$

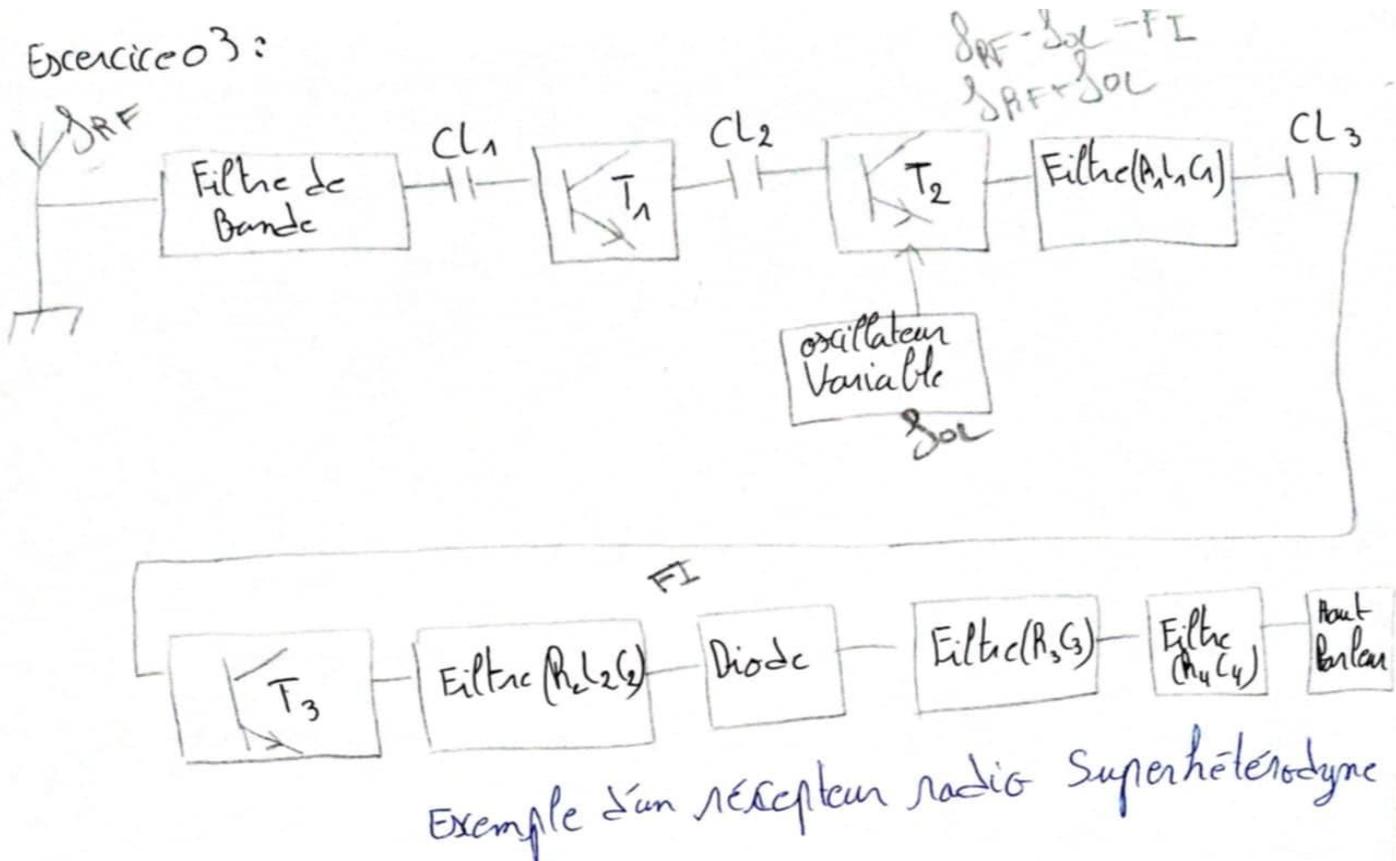
$$f_r - f_{lo} = \text{FI}$$

~~Avant le filtre~~ Les fréquences image

$$f_{image} = f_{lo} - \text{FI}$$

Quel type de filtre \Rightarrow Filtre à fréquence intermédiaire FI
 passe-bande à fréquence centrale = FI
 fixe
 (tjs centré sur FI)

Exercice 03:



Exemple d'un récepteur radio Superhétérodyne

Solution:

- Le récepteur superhétérodyne se divise en blocs suivants:
- Antenne de réception:** Elle reçoit le signal RF de la station radio
- Filtre bande:** Il choisit la bande de fréquence de réception et élimine la fréquence Image (filtre de bande / passe bande) qui va sélectionner la fréquence centrale de la bande de réception.
- CL1:** Condensateur de liaison, il bloque le passage de la composante continue (filtre passe haut)
- Transistor T1:** Amplificateur à gain variable, il amplifie le signal RF reçu par l'antenne (amplificateur avec gain G_1 pour amplifier et maintenir l'amplitude du signal module)
- CL2:** Condensateur de liaison, il bloque le passage de la composante continue (filtre passe haut)
- Transistor T2:** Mélangeur, il donne une fréquence somme $f_{LO} + f_{RF}$ et une fréquence différence $f_{RF} - f_{LO}$

Filter $R_1 L_1 C_1$: filtre passe bande, il réduit le non linéarité du mélangeur!!!

Transistor T_3 : Amplificateur, il amplifie le signal RF

Filter $R_2 L_2 C_2$: Filtre à fréquence intermédiaire, il donne un signal RF centré sur 455 KHz (application Kencom)

Filtre passe bande à fréquence centrale FI = $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$

Transistor T_3 + Filter $R_2 L_2 C_2$: Amplificateur sélectif, il amplifie le signal RF de 455 KHz

Transistor T_2 + Filter $R_1 L_1 C_1$ + Transistor T_3 + Filter $R_2 L_2 C_2$: convertisseur basse fréquence, il réduit la fréquence du signal RF reçu par l'antenne à la fréquence 455 KHz

Diode + Filter $R_3 C_3$ + Filter $R_4 C_4$: Détecteur d'enveloppe, il fait la démodulation AM

2 - V_{RF} ($\approx \mu V$), $f_{RF} = 730 KHz$

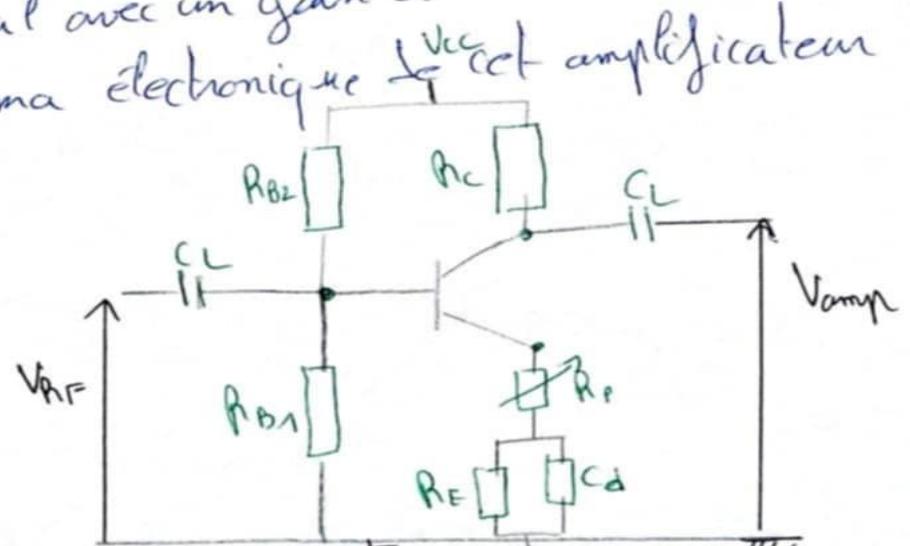
200 de élime la partie négative du signal modulé

Filtre passe bas (fréquence de coupure $f_c = f_m$)

Filtre passe haut ($f_c \ll f_m$) pour éliminer la composante continue

Le montage émetteur commun du transistor T_1 doit amplifier ce signal avec un gain de 10 dB

Le schéma électronique de cet amplificateur



- Le schéma équivalent du montage complet en régime alternatif basse fréquence est donné par la figure suivante

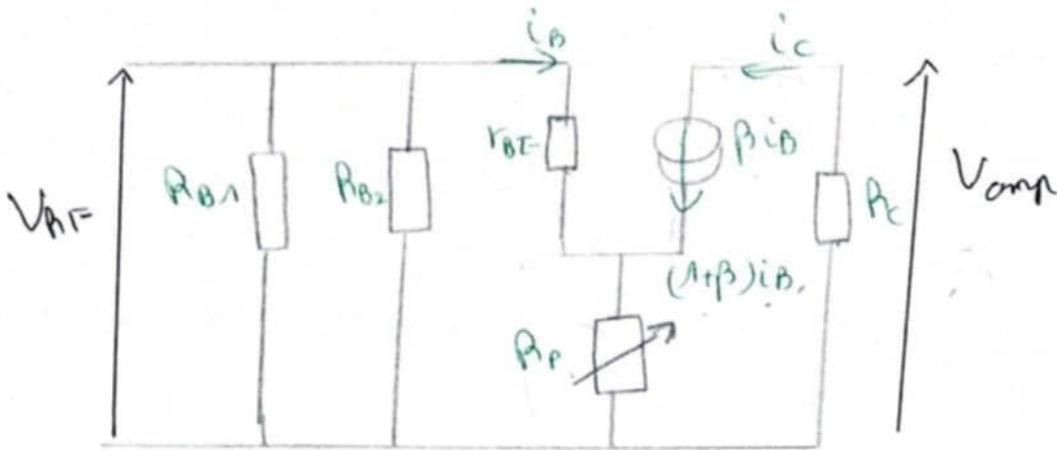


Schéma équivalent en régime alternatif de l'amplificateur à gain variable

Le gain en tension de cet amplificateur s'écrit comme suit :

$$\frac{V_{amp}}{V_{AIF}} = \frac{R_C i_c}{r_{BE} + R_P(\beta+1)i_B} = - \frac{R_C \beta i_B}{(r_{BE} + R_P(\beta+1))i_B} = - \frac{R_C \beta}{r_{BE} + R_P(\beta+1)}$$

Le gain en puissance s'écrit comme suit :

$$G_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{R_C \beta}{r_{BE} + R_P(\beta+1)} \right)$$

On a un gain en puissance de 10 dB, la résistance variable est tirée comme suit :

$$R_P = \frac{R_C \beta - (r_{BE} \times 10^{\frac{10}{20}})}{(\beta+1) \times 10^{\frac{10}{20}}} = \frac{2 \times 10^3 \times 54 - (361 \times 10^{\frac{10}{20}})}{(54+1) \times 10^{\frac{10}{20}}} = 622 \Omega$$

3 - la fréquence de l'oscillateur local $f_{LO} = f_{RF} - FI = 730 - 455 = 275 \text{ KHz}$

la capacité C_2 est tirée à partir de l'équation

$$FI = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_2 C_2}}$$

$$\Rightarrow (FI)^2 L_2 C_2 4\pi^2 = 1 \Rightarrow C_2 = \frac{1}{4\pi^2 L_2 FI^2}$$

$$C_2 = \frac{1}{4\pi^2 L_2 F I^2} = \frac{1}{4\pi^2 \times 10 \times 10^{-3} \times 455 \times 10^6} = 0,12 \mu\text{F}$$

La résistance R_2 est déterminée à partir de l'équation suivante la largeur de bande Δf d'un filtre RLC $\Delta f_{(\text{rad/s})} = \frac{R}{L}$

$$R_2 = \Delta f_{(\text{rad/s})} \times L_2 = 2\pi \Delta f_{\text{Hz}} \times L_2$$

$$= 2\pi (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) \times L_2 = 2\pi (457,5 - 452,5) \times 10^3 \times 10 \times 10^{-3}$$

$$R_2 = 314 \Omega$$

4- une autre station radio indésirable de fréquence f_{RF2} provoque le problème de fréquence image

si l'équation suivante

$$FI = |f_{RF2} - f_{L0}| = 455 \text{ kHz}$$

en prenant $f_{RF2} = 180 \text{ kHz}$ et $f_{L0} = 275 \text{ kHz}$ on voit que cette équation n'est pas vérifiée

$$FI = |180 - 275| = 95 \text{ kHz} \neq 455 \text{ kHz}$$

nous pouvons conclure que f_{RF2} n'est pas une fréquence image

on a $FI = f_{RF2} - f_{L0}$

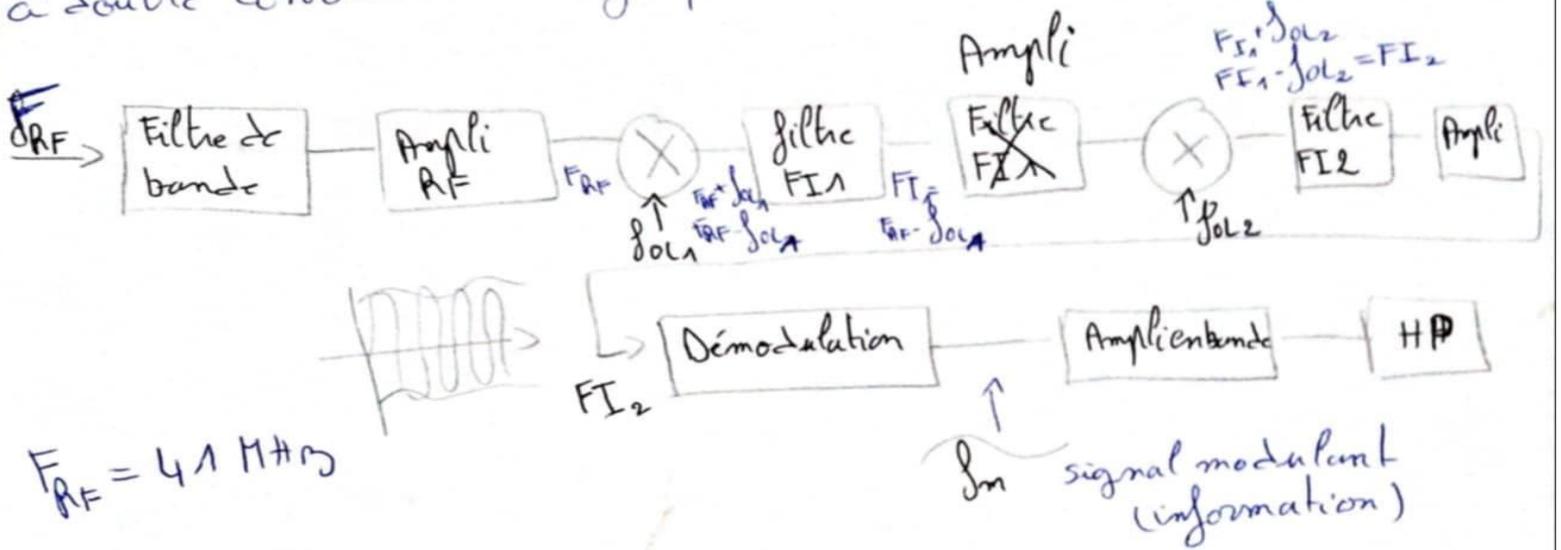
$$|f_{RF2} - f_{L0}| = FI$$

ou bien

$$f_{\text{image}} = f_{L0} - FI$$

Exercice 04:

La figure (4) représente un exemple d'un récepteur superhétérodynique à double conversion de fréquence



$F_{RF} = 41 \text{ MHz}$

$J_{OL2} = 10,245 \text{ MHz}$

$FI_2 = 455 \text{ kHz}$

J_{OL1} variable

1- Les étapes à faire

La réception du signal RF par l'antenne
 ensuite le filtre de bande choisit la bande de fréquence de réception

l'Ampli RF: amplifie le signal RF reçu par l'antenne

Mélangeur 1: produit deux fréquences $F_{RF} + J_{OL1}$ et $F_{RF} - J_{OL1}$

Filtre FI1: Filtre à fréquence intermédiaire, il donne un signal RF centré sur $FI_1 = F_{RF} - J_{OL1}$

Ampli: Amplifie le signal de fréquence FI_1

Mélangeur 2: donne deux fréquences $FI_1 + J_{OL2}$ et $FI_1 - J_{OL2} = FI_2$

Filtre FI2: il donne un signal centré sur $FI_2 = FI_1 - J_{OL2}$

Ampli: amplifie le signal de fréquence FI_2

Démodulation: donne le signal modulant (récupère l'information)
 f_m

Ampli bande: amplifie le signal de fréquence f_m

2 - f_{OL1} ? $F_{RF} = 41 \text{ MHz}$

on a $f_{OL2} = 10,245 \text{ MHz}$ et $FI_2 = 455 \text{ kHz}$

$$FI_2 = FI_1 - f_{OL2} \Rightarrow FI_1 = FI_2 + f_{OL2} = 455 + 10,245 \times 10^3$$
$$FI_1 = 10700 \text{ kHz}$$

$FI_1 = 10,7 \text{ MHz}$

$$FI_1 = F_{RF} - f_{OL1} \Rightarrow f_{OL1} = F_{RF} - FI_1 = 41 - 10,7 = 30,3 \text{ MHz}$$

$f_{OL1} = 30,3 \text{ MHz}$

3 - a) la sortie du premier Mélangeur on a:

$F_{RF} + f_{OL1} = 41 + 30,3 = 71,3 \text{ MHz}$

$F_{RF} - f_{OL1} = FI_1 = 10,7 \text{ MHz}$

b) la sortie du filtre FI_1 on a $FI_1 = F_{RF} - f_{OL1} = 10,7 \text{ MHz}$

c) la sortie du deuxième mélangeur on a:

$FI_1 + f_{OL2} = 10,7 + 10,245 = 20,945 \text{ MHz}$

$FI_1 - f_{OL2} = FI_2 = 455 \text{ kHz}$

la sortie du Filtre FI_2 on a $FI_2 = FI_1 - f_{OL2} = 455 \text{ kHz}$

4- Les fréquence image?

pour le Mélangeur 1:
$$F_{\text{image}_1} = f_{\text{OL}_1} - FI_1 = 30,3 - 10,7 = 19,6 \text{ MHz}$$

pour le Mélangeur 2:
$$F_{\text{image}_2} = f_{\text{OL}_2} - FI_2 = 10,245 - 455 \times 10^{-3} = 10,245 - 0,455 = 9,79 \text{ MHz}$$

donc une station radio de 19,59 MHz peut provoquer des problèmes de fréquence image car F_{image} du premier Mélangeur est égale à 19,6 MHz

$$FI_1 = F_{\text{RF}} - f_{\text{OL}_1} = 41 - 30,3 = 10,7 \text{ MHz}$$

$$|FI_1| = |F_{\text{RF}} - f_{\text{OL}_1}| = 10,7 \text{ MHz}$$

↑
même chose

$$FI_1 = |F_{\text{RF}} - f_{\text{OL}_1}| = |19,6 - 30,3| = 10,7 \text{ MHz}$$

fréquence image (bruit)

fréquence parasite

Références :

[1] : <https://www.radartutorial.eu/druck/Chapitre6.pdf>

Radartutorial, Chapitre 6: Récepteur, (Éditeur: Christian Wolff, traduction en langue française et révision: Pierre Vaillant et Christophe Paumier, Version 24 mai 2012).