

TELECOM LILLE 1 Le 2/5/2008
CONTROLE DES CONNAISSANCES
Module A 15
 Les fonctions non-linéaires dans les systèmes de communication
 Documents de cours et calculatrices autorisés durée 2h

Nom : Prénom : Promotion :

Exercice 1

Correction

Le montage oscillateur à pont de Wien (figure 1) comporte:

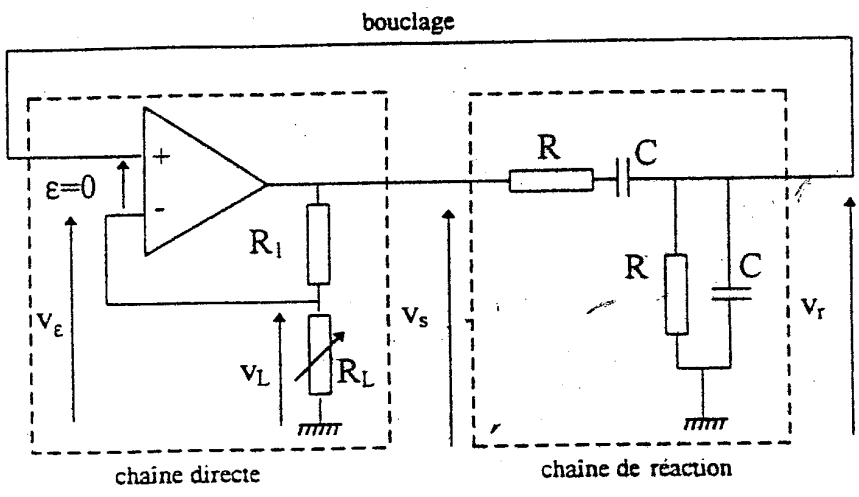


figure 1

- une chaîne directe: amplificateur non inverseur à amplificateur différentiel idéal en fonctionnement linéaire avec une résistance fixe $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ et une résistance C.T.P. (coefficient de température positif) R_L variant avec sa tension V_L suivant la caractéristique de la figure 2.

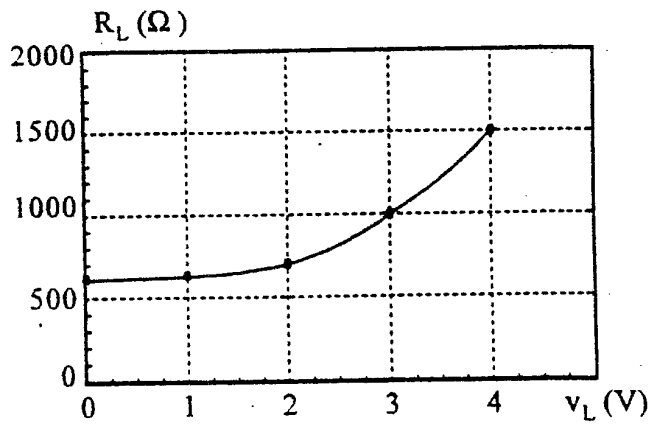
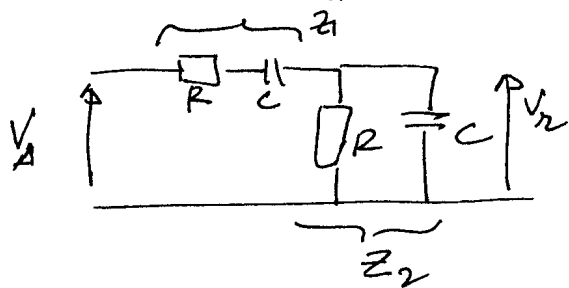


figure 2

- une chaîne de réaction, constituée par un réseau de Wien (dipôle RC en série avec un dipôle RC en parallèle)

1) Déterminer en régime harmonique de pulsation ω , en posant $x = RC\omega$, la fonction $\beta(jx) = V_r/V_s$.



$$\begin{aligned} Z_1 &= R + \frac{1}{j\omega C} \\ &= R \left(1 + \frac{1}{jRC\omega} \right) \\ &= R \left(1 + \frac{1}{jx} \right) \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{aligned} Y_2 &= \frac{1}{R} + j\omega C \\ &= \frac{1}{R} (1 + jRC\omega) \\ &= \frac{1}{R} (1 + jx) \end{aligned} \right.$$

$$V_r = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} V_A \Rightarrow \frac{V_r}{V_s} = \beta(jx) = \frac{1/Y_2}{Z_1 + 1/Y_2}$$

$$\beta(jx) = \frac{1}{Y_2 Z_1 + 1}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{R} (1 + jx) \cdot R \left(1 + \frac{1}{jx} \right) + 1}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{1}{jx} + jx + 1 + 1} = \boxed{\frac{1}{3 + j \left(x - \frac{1}{x} \right)}}$$

2) Déterminer la transmittance en boucle ouverte $T(jx)$ de ce système.

$$T(jx) = \frac{V_r}{V_s} = \frac{V_r}{V_s} \frac{V_s}{V_s}$$

$$\text{or } V_r = V_s = \frac{R_2}{R_L + R_1} V_s$$

$$\frac{V_r}{V_s} = \frac{R_2 + R_1}{R_2} = \left(1 + \frac{1}{j} \right)$$

$$T(jx) = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \frac{1}{3 + j \left(x - \frac{1}{x} \right)}$$

ATT

3) a) On donne $R=10k\ \Omega$, et $C=39nF$. Calculer la fréquence f_0 des oscillations produites.

Après bouclage, il faut que $\pi(j\omega) = 1$.

$$\text{c.a.d.} \left(1 + \frac{R_1}{R_L}\right) \frac{1}{3 + j\left(\omega - \frac{1}{\omega}\right)} = 1$$

$$\Leftrightarrow \left(1 + \frac{R_1}{R_L}\right) = 3 + j\left(\omega - \frac{1}{\omega}\right) \Leftrightarrow 3 = 1 + \frac{R_1}{R_L} \text{ et } \omega - \frac{1}{\omega} = 0.$$

$$\Leftrightarrow RC\omega_0 = \frac{1}{RC\omega_0} \Leftrightarrow \omega_0 = \frac{1}{RC} \Leftrightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

A.N. : $f_0 = 408\text{ Hz}$

b) Etablir la condition d'oscillation que doit vérifier R_L et justifier la présence de la résistance C.T.P.

Condition d'oscillation $3 = 1 + \frac{R_1}{R_L} \Leftrightarrow R_L = \frac{R_1}{2}$

A.N. : $R_L = 1k\ \Omega$

le gain T de la boucle doit être supérieur à 1 au départ puis, une fois le niveau de sortie atteint $\rightarrow T$ doit décroître jusqu'à 1.

Au départ $V_L = 0 \Rightarrow R_L = 600\ \Omega \Rightarrow G = 4,3 > 3$.

lorsque les oscillations s'établissent $V_L \uparrow \Rightarrow R_L \uparrow \Rightarrow G \downarrow$.

$R_L = 1k\ \Omega$ les oscillations s'établissent.

c) Calculer l'amplitude de la tension de sortie V_s .

$$R_L = 1k\ \Omega \Rightarrow V_L = 3V = V_E$$

$$|V_s| = 3|V_E| = 9\text{ Volts} \text{ c'est la valeur efficace}$$

$$\Rightarrow |V_{s\text{max}}| = 9\sqrt{2} = 12,7V$$

Exercice 2

Cette partie sur l'amplificateur de puissance s'articule autour d'un amplificateur commercial (référence RF2126 de RFMD), dont une partie des caractéristiques est donnée ci dessous. Il s'agit d'un amplificateur pour application en bande ISM (instrumentation, scientifique, médical) autour de 2,5 GHz.

Les principales caractéristiques relevées sur la documentation constructeur sont :

- Tension d'alimentation entre 3V et 6,5V. On prendra une tension de 4,8V.
- Un courant de polarisation typique de 350 mA.
- Une puissance de sortie maximale de 29 dBm (pour une tension de polarisation de 4,8V et une puissance d'entrée de 19dBm)
- Le rendement en puissance ajoutée est de 45% pour la puissance maximale
- Le gain petit signal est de 12 dB
- Pour une puissance de sortie de 24 dBm sur une fréquence fondamentale, l'IMR3 ou le C/I vaut 25 dB.
- On suppose que la résistance thermique jonction-ambient est de 100 °C/W

1. A partir des caractéristiques ci dessus, sachant que l'on veut utiliser l'amplificateur seul.

- Pour une puissance de sortie maximale, quel est le courant consommé ? justifier.

$$\eta_{PAE} = 45\% = \frac{P_s - P_e}{P_{DC}} = \frac{P_s - P_e}{V_{cc} I}$$

$$I \neq \frac{P_s - P_e}{4,8 \times 0,45} \approx \boxed{330 \text{ mA}}$$

$$\left. \begin{aligned} P_s &= 29 \text{ dBm} = 79,4 \text{ mW} \\ P_e &= 19 \text{ dBm} = 7,94 \text{ mW} \end{aligned} \right\}$$

- Déduire des caractéristiques la valeur de l'IP3.

$$\begin{aligned} IP_3 &= P_{out} + \frac{1}{2} IMR_3 \\ &= 24 + 12,5 = \boxed{36,5 \text{ dBm}} \end{aligned}$$

- Quelle doit être la valeur maximale de la puissance de sortie pour que l'IMR3 soit de 30 dB ? Dans ces conditions, que vaut le rendement de l'amplificateur ?

$$P_{out} = IP_3 - \frac{1}{2} IMR_3 = 36,5 - 15 = \boxed{21,5 \text{ dBm}}$$

Rendement de l'ampli 8,4%

2. En fait, on a besoin d'une linéarité importante (30dB d'IMR3) mais d'une puissance de sortie supérieure au résultat précédent. Une solution consiste à travailler avec deux amplificateurs montés en parallèle. Un « combiner » ou additionneur va permettre d'additionner les puissances.

- Pour la valeur d'IMR3 indiquée ci dessus, donner la puissance recueillie en sortie du montage.

$$\boxed{24,5 \text{ dBm}}$$

- Citer un avantage et un inconvénient de ce type de montage

m ab m obtenus une meilleure linéarité
m dit utiliser 2 amplis.

3. Pour des besoins de gain dans une chaîne d'amplification, on va maintenant cascader trois amplificateurs. On veut 27 dBm en puissance de sortie.

- Quel est la valeur de la puissance en entrée du montage ?

$$27 - 36 = \boxed{-9 \text{ dBm}} \text{ en entrée.}$$

- Quel est le rendement de l'ensemble du montage. On prendra les valeurs typiques

$$P_{\text{sortie}} = 27 \text{ dBm} = 501 \text{ mW}$$

$$\eta = \frac{501}{4,8 \cdot 350 \cdot 3} = 10\%$$

Car 3 amplis

- Si l'amplificateur est parfaitement adapté sur la charge (50 Ohm), quelle est la valeur efficace du signal recueilli en sortie ?

$$500 \text{ mW} = P_{\text{sortie}} = \frac{U^2}{R} \Rightarrow U = \sqrt{P_S \times R} = \sqrt{50 \times 0,5} = \boxed{5 \text{ V}}$$

4. Quelle est la puissance maximale que peut dissiper l'amplificateur si la température maximale de jonction est de 200°C est la température extérieure de 25°C ?

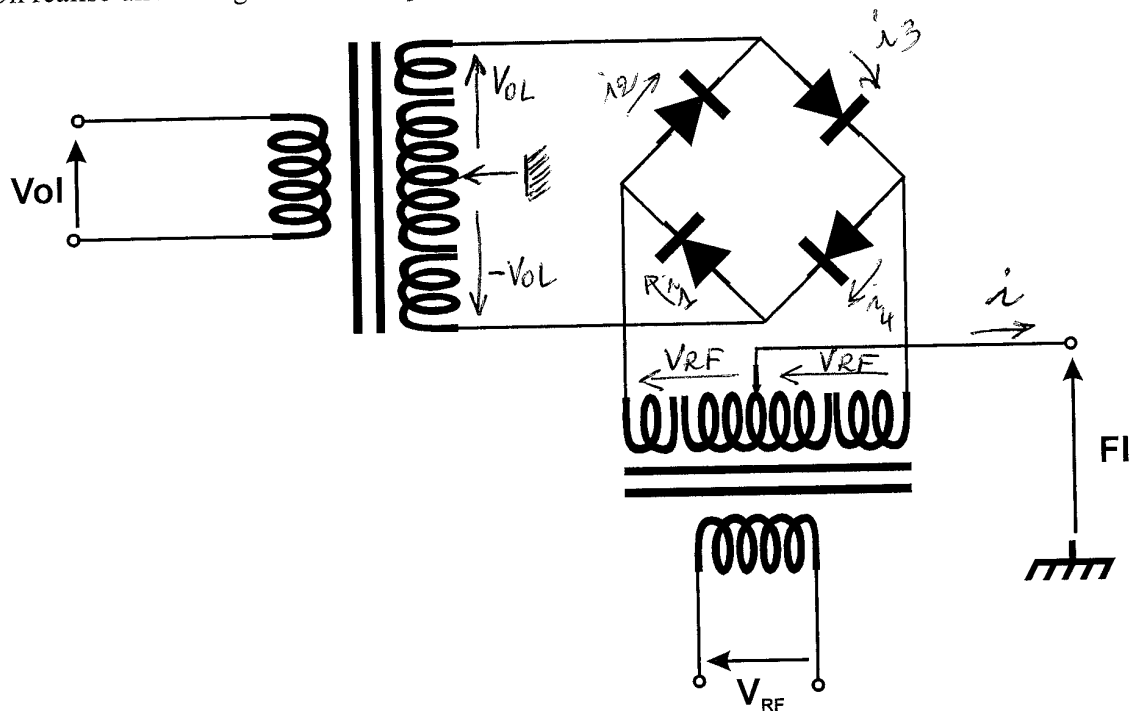
$$T_{j} - T_a = R_{th} \times P_{d} \rightarrow R_{d} = \frac{175}{100} = \boxed{1,75 \text{ W}}$$

Si l'on monte le composant sur un radiateur, on peut faire baisser la résistance thermique jonction-ambiant totale à 50 °C/W. Quelle est alors la nouvelle puissance que l'on peut dissiper ?

$$\Rightarrow \boxed{3,5 \text{ Watts}}$$

Exercice3

On réalise un mélangeur double équilibré de la figure suivante :



Le transformateur est supposé parfait de rapport de transformation 2.

La tension fournie par l'oscillateur local est suffisamment grande pour que les diodes aient un comportement non linéaire traduit par le développement :

$$i = a_0 + a_1 v + a_2 v^2 + a_3 v^3$$

(i étant le courant dans la diode et v la tension à leur borne)

On supposera la tension FI négligeable en première approximation.

- 1) Exprimer les courants i_1 , i_2 , i_3 et i_4 en fonction des tensions v_{OL} et v_{RF} aux bornes de chaque diode.

$$i_1 = a_0 + a_1(-v_{RF} - v_{OL}) + a_2(-v_{RF} - v_{OL})^2 + a_3(-v_{RF} - v_{OL})^3$$

$$i_2 = a_0 + a_1(v_{RF} - v_{OL}) + a_2(v_{RF} - v_{OL})^2 + a_3(v_{RF} - v_{OL})^3$$

$$i_3 = a_0 + a_1(v_{RF} + v_{OL}) + a_2(v_{RF} + v_{OL})^2 + a_3(v_{RF} + v_{OL})^3$$

$$i_4 = a_0 + a_1(-v_{RF} + v_{OL}) + a_2(-v_{RF} + v_{OL})^2 + a_3(-v_{RF} + v_{OL})^3$$

2) Exprimer le courant total i à la fréquence intermédiaire.

$$\begin{aligned}
 i_{Fi} &= (i_2 - i_1) + (i_4 - i_3) \\
 &= 2a_1 v_{rf} - 4a_2 v_{rf} v_{ol} + 2a_3 v_{rf}^3 + 6a_3 v_{ol}^2 v_{rf} \\
 &\quad - 2a_1 v_{rf} - 4a_2 v_{rf} v_{ol} - 2a_3 v_{rf}^3 + 6a_3 v_{ol}^2 v_{rf}
 \end{aligned}$$

$$i_{Fi} = -8a_2 v_{ol} v_{rf} \quad - \quad - \quad - \quad -$$

3) En considérant les tensions v_{OL} et v_{RF} sinusoïdales : $v_{OL} = V_{OL} \cos(2\pi f_{OL} t)$ et $v_{RF} = V_{RF} \cos(2\pi f_{RF} t)$, montrer que la fonction mélange est réalisée.

$$\begin{aligned}
 i_{Fi} &= -4a_2 V_{RF} V_{OL} \left\{ \cos 2\pi (f_{OL} - f_{RF}) t \right. \\
 &\quad \left. \cos 2\pi (f_{OL} + f_{RF}) t \right\}.
 \end{aligned}$$

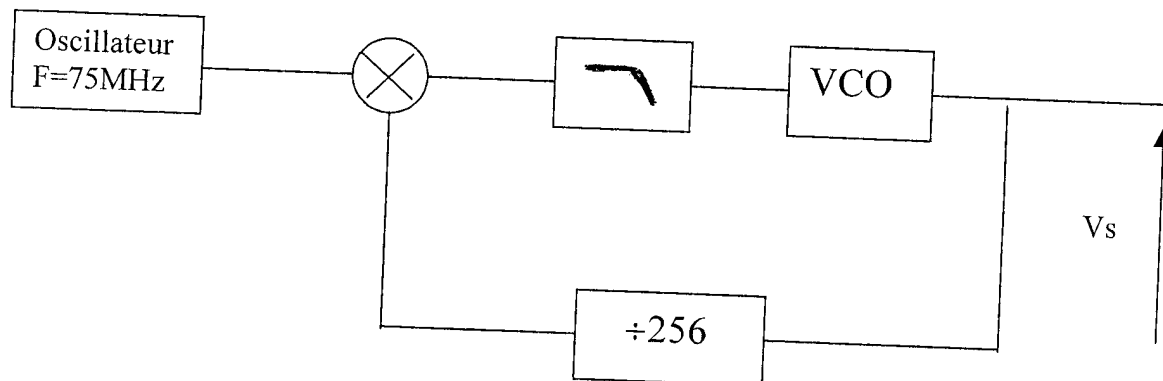
L'intermodulation d'ordre 3 n'intervient pas dans ce modulateur et on obtient à la fréquence

intermédiaire de mélange

$$i_{Fi} = -4a_2 V_{RF} V_{OL} \cos 2\pi (f_{OL} - f_{RF}) t$$

Exercice4 :

Soit le schéma de la figure suivante :



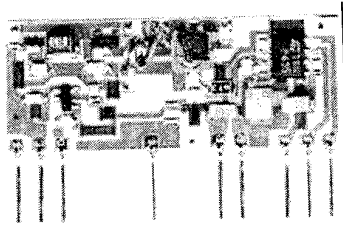
- 1- De quel type de montage s'agit-il ? et pour quelle application est-il utilisé?

Il s'agit d'un PLL monté en synthèse de fréquence.

2- Déterminer la fréquence du signal de sortie.

$$\text{PLL bouclée: } f_c = f_s / 256$$

$$\Rightarrow f_s = 256 f_c = 256 \times 75 \text{ MHz} = \underline{19,2 \text{ GHz}}$$



Exercice 5

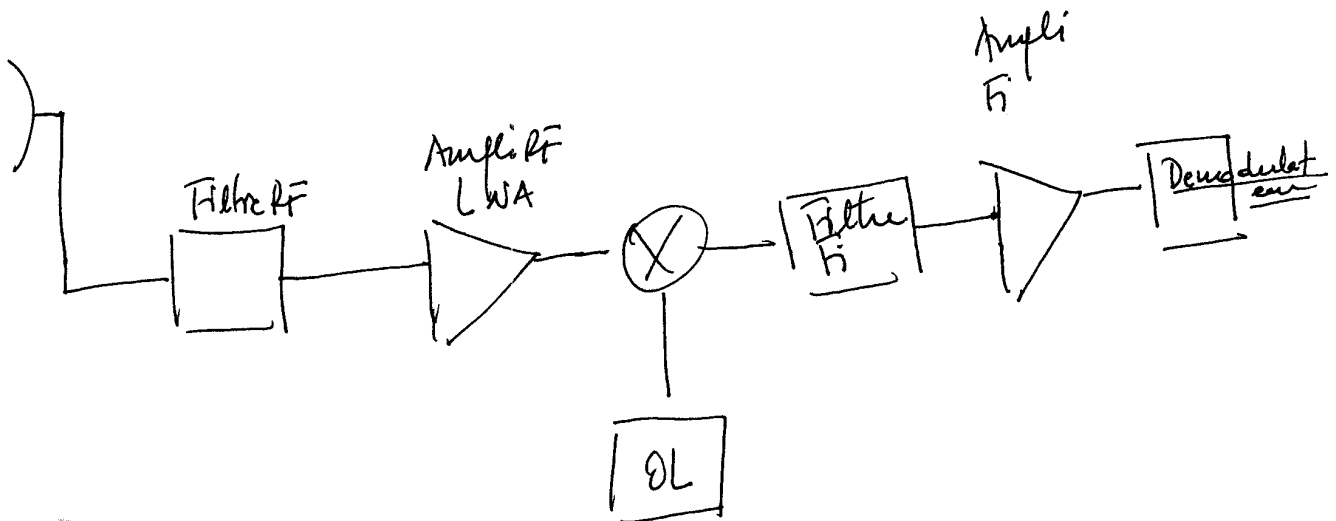
Récepteur de Télécommande :

Un récepteur de type « Module Aurel » est construit pour recevoir des signaux de télécommande émis sur la fréquence standard de $f = 433.92 \text{ MHz}$. Le signal à recevoir occupe une bande $B = 10 \text{ kHz}$.

Le récepteur à changement de fréquence est constitué des éléments suivants :

- un filtre d'entrée fixe
- un mélangeur de gain de conversion 8dB
- un oscillateur local f_0 placé sous la fréquence à recevoir
- un filtre de fréquence intermédiaire à $f_i = 455 \text{ kHz}$
- un démodulateur AM
- un ampli radiofréquence (gain 20dB) et un ampli f_i

1) Dessiner le schéma fonctionnel du récepteur de l'antenne à la sortie du démodulateur.



4/10

2) Définir les caractéristiques des deux filtres (fréquence centrale, largeur), de l'oscillateur local, et calculer la valeur de fréquence image.

Filtre RF fréquence centrale 433,92 MHz
 largeur min 10 kHz → (20 kHz)

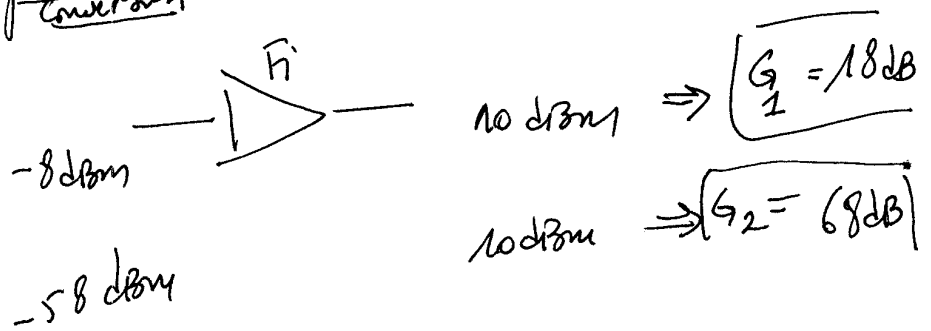
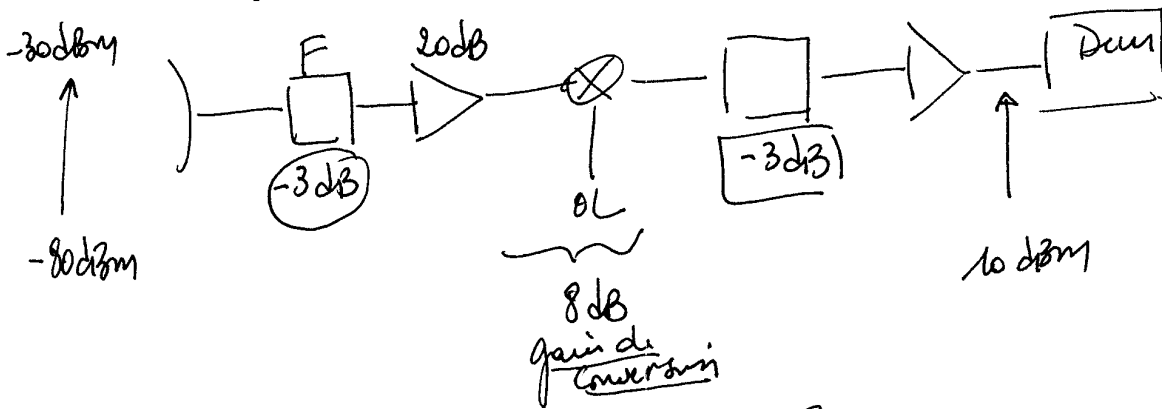
Filtre Fi f. centrale 455 kHz → bande min 10 kHz.

oscillateur local $f_{OL} - f_{RF} = f_i$ (si on choisit $f_{OL} > f_{RF}$)

→ $f_{OL} = 455 \text{ kHz} + 433,92 \text{ MHz}$
 $= \boxed{434,375 \text{ MHz}}$ sinu. $\boxed{433,465 \text{ MHz}}$
 $\boxed{f_i 433,01}$

$f_{image} = f_{OL} + f_i = 434,375 + 433,01 = \boxed{434,83 \text{ MHz}}$

3) Le niveau du signal à l'antenne peut varier entre -30 et -80dBm et les deux filtres introduisent une atténuation de 3dB chacun. Sachant que le démodulateur nécessite un niveau de 10 dBm pour fonctionner correctement, calculer les gains mini et maxi de l'amplificateur fi.



9/10