

## TD N°1 : Introduction aux télécommunications

### Problème n°1 : Codage DTMF

Traité en TD

### Problème n°2 : Un émetteur de test pour autoradio FM

Traité en TD

### Problème n°3 : Antenne de réception RF

Q1 : On utilise la relation proposée sur la diapo 19 avec  $L = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot l \cdot \ln\left(\frac{8 \cdot A}{l \cdot w}\right)$

Dans notre cas  $l = 2 \times 52,07 \text{ mm} + 5,08 \text{ mm} = 0,10922 \text{ m}$

$A = 52,07 \text{ mm} \times 5,08 \text{ mm}$

$w = 1 \text{ mm}$  (largeur de la piste de cuivre..valeur estimée)

La valeur équivalente de l'inductance de l'antenne de réception est donc  $L = 64,75 \text{ nH}$

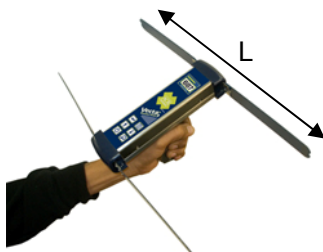
Q2 : Pour effectuer l'accord du circuit il faut que  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  soit  $C = \frac{1}{L \cdot (2\pi f_0)^2}$  ce qui nous donne  $C = 2,07 \text{ pF}$  ce qui correspond bien à la gamme de variation du condensateur  $C_v$ .

### Problème n°4 : Radiomessagerie POCSAG

Traité en TD

### Problème n°5 : Balise de détresse

Q1 :  $L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f} = 61,7 \text{ cm}$  ce qui correspond à la longueur proposée sur la photo



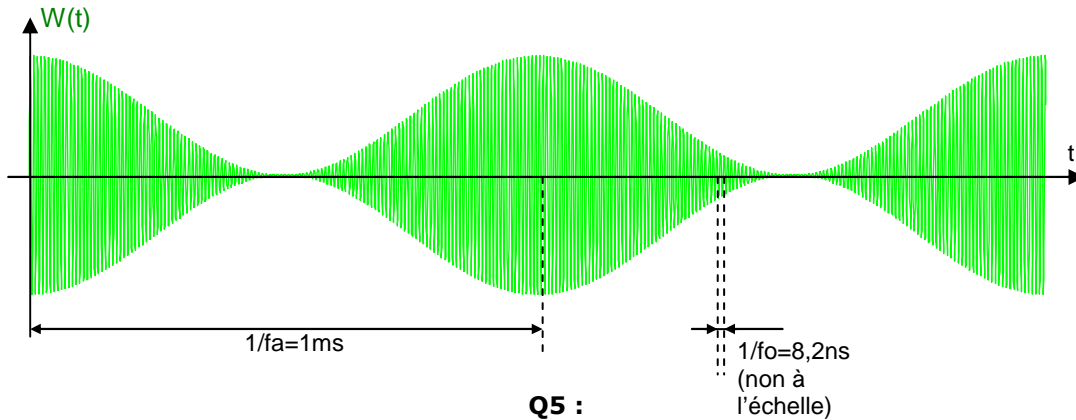
Q2 :  $W = Z + K \cdot X \cdot Y = V_o \cdot \cos(2\pi f_0 \cdot t) + K V_o V_a \cdot \cos(2\pi f_a \cdot t) \cdot \cos(2\pi f_0 \cdot t)$

soit  $W = V_o \cdot [1 + K V_a \cdot \cos(2\pi f_a \cdot t)] \cdot \cos(2\pi f_0 \cdot t)$

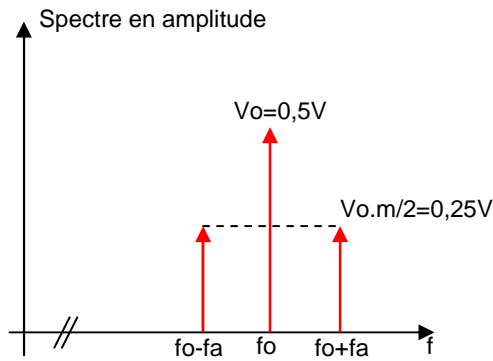
On retrouve la forme canonique d'un signal modulé en amplitude avec un modulant sinusoïdal dans lequel  $V_o$  représente l'amplitude de la porteuse et  $m = K \cdot V_a$  le taux de modulation.

Comme on souhaite  $m = 100\% = 1$  et que  $K = 1 \text{ V}^{-1}$  alors  $V_a = 1 \text{ V}$ .

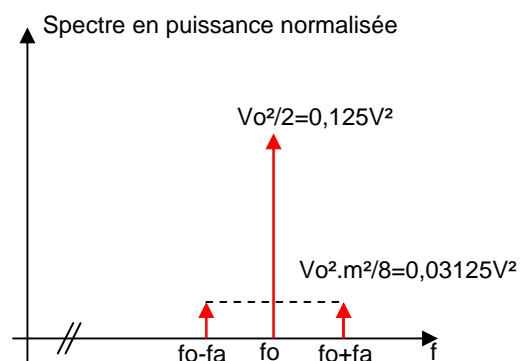
**Q3 :**  
 $2V_0=1V$   
 $-2V_0=-1V$



**Q4 :**



**Q5 :**



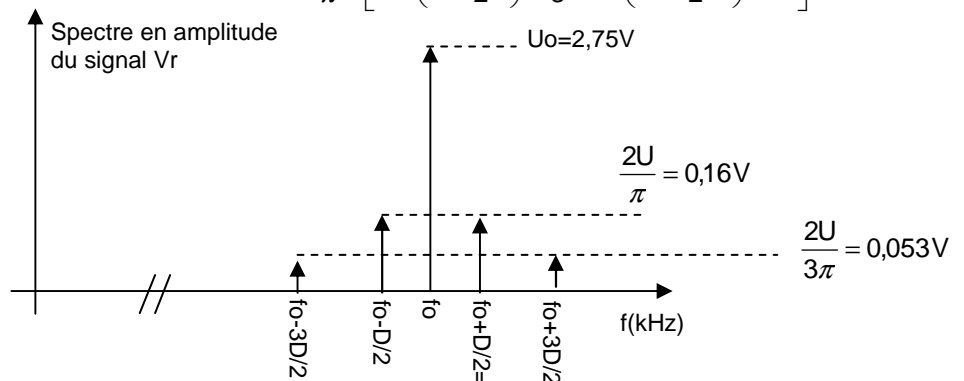
donc  $W_{eff}^2 = \frac{V_0^2}{2} + 2 \cdot \frac{V_0^2 \cdot m^2}{8} = V_0^2 \cdot \left( \frac{1}{2} + \frac{m^2}{4} \right)$  soit  $W_{eff} = V_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{m^2}{4}}$  donc  $W_{eff} = 0,43V$

**Q6 :** Comme  $P = \frac{V_{seff}^2}{R}$  alors  $V_{seff} = \sqrt{P \cdot R} = 1,11V$  ce qui signifie que la valeur de l'amplification est

$A = \frac{V_{seff}}{W_{eff}} = 2,58$

**Problème n°6 : les barquettes d'Aligot RFID**

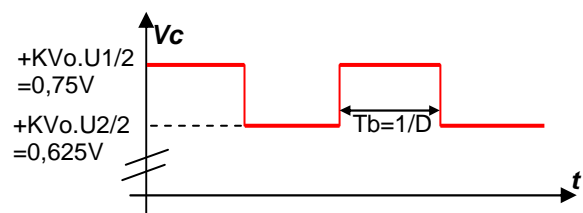
**Q1 :**  $U_0 = \frac{U_1 + U_2}{2}$  et  $U = \frac{U_1 - U_2}{2}$  **Q2 :**  $V_r = U_0 \cdot \cos(2\pi f_0 t) + \frac{4U}{\pi} \cdot \left[ \cos\left(2\pi \cdot \frac{D}{2} \cdot t\right) + \frac{1}{3} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{3D}{2} \cdot t\right) + \dots \right] \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$



**Q3 :**  $V_m = K \cdot V_0 \cdot (U_0 + V_{Data}) \cdot \cos^2(2\pi f_0 t) = \frac{KV_0}{2} \cdot (U_0 + V_{Data}) + \frac{KV_0}{2} \cdot (U_0 + V_{Data}) \cos(2\pi 2f_0 t)$

Il s'agit d'une démodulation synchrone.

**Q4 :** Le filtre passe bas élimine donc les composantes autour de  $2f_0$  et l'on récupère  $V_c = \frac{KV_0}{2} \cdot (U_0 + V_{Data})$



Il faut effectuer une mise à l'échelle suivi d'une comparaison pour obtenir une information numérique.

## Problème n°7 : Un micro sans fil pour accordéon

### Traité en TD

## TD N°2 : Changement de fréquence

## Problème n°1 : Le changement de fréquence dans les téléphones portables GSM

### Traité en TD

## Problème n°2 : Etude d'un réjecteur de fréquence image

### Traité en TD + Simulation LTSpice

## Problème n°3 : Analyse d'une structure pour un récepteur AM avec LTSpice

**Q1** : Le détecteur de crête utilisé comme démodulateur permet de savoir que l'on est en présence d'un signal modulé en amplitude à porteuse conservée.

**Q2 à Q5** : **Simulation LTSpice**

## Problème n°4 : Etude d'une liaison en modulation FSK autour de 169MHz

**Q1 à Q7** : **Traité en TD**

**Q8 à Q10** : **Simulation LTSpice**

## Problème n°5 : Etude de l'oscillateur local d'un récepteur radio intégré

**Q1** : La fréquence obtenue sur LO2 est  $20,5\text{MHz}/2$  soit  $10,25\text{MHz}$  ce qui correspond parfaitement à l'un des 2 choix possible pour l'oscillateur local 2 c'est à dire :  $10,7\text{MHz}-450\text{kHz}$

**Q2** :  $FLO1=(94+10,7)\text{MHz}=104,7\text{MHz}$  ou  $FLO1=(94-10,7)\text{MHz}=83,3\text{MHz}$

**Q3** : Il s'agit d'un multiplicateur de fréquence réalisé par une boucle à verrouillage de phase que nous aborderons lors du prochaine thème du module EDT2.

**Q4** : Cela signifie que lorsque N s'incrémente d'une unité on souhaite recevoir le canal suivant distant de 50kHz donc comme  $FLO1 = \frac{N}{P} \cdot 20,5\text{MHz}$  il faut que  $FLO1 + 50\text{kHz} = \frac{(N+1)}{P} \cdot 20,5\text{MHz}$  ce qui revient à écrire que

$$50\text{kHz} = \frac{1}{P} \cdot 20,5\text{MHz} \text{ donc } P=410$$

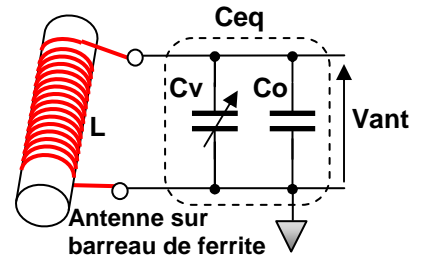
**Q5** : Si l'on choisit le cas ou  $FLO1 > FRF$  alors  $FLO1$  doit varier de  $(87,5+10,7)\text{MHz}=98,2\text{MHz}$  à  $(108+10,7)\text{MHz}=118,7\text{MHz}$  soit N qui varie de 1964 à 2374

Si l'on choisit le cas ou  $FLO1 < FRF$  alors  $FLO1$  doit varier de  $(87,5-10,7)\text{MHz}=76,8\text{MHz}$  à  $(108-10,7)\text{MHz}=97,3\text{MHz}$  soit N qui varie de 1536 à 1946

## Exercices supplémentaires

### Exercice 1 : Antenne de réception en bande LW

Dans un récepteur à conversion directe on utilise une antenne sur un bâtonnet ferrite en // avec un ensemble de condensateurs pour effectuer l'accord. On souhaite recevoir les radios en bande LW comprises entre  $F_{min}=150\text{kHz}$  et  $F_{max}=281\text{kHz}$  et l'on dispose d'un condensateur variable  $C_v$  dont la capacité varie entre  $C_{vmin}=5\text{pF}$  et  $C_{vmax}=150\text{pF}$ .



**Q1 :** Donner l'expression des fréquences d'accord  $F_{min}$  et  $F_{max}$  en fonction de  $L$ ,  $C_o$ ,  $C_{vmin}$  et  $C_{vmax}$ . En déduire les valeurs de  $L$  &  $C_o$ .

**Q2 :** Pour obtenir l'inductance  $L$  on utilise un cadre ferrite qui est caractérisé par un coefficient  $A_L=750\text{nH}$ . En sachant que l'inductance  $L=A_L \cdot N^2$  en déduire le nombre  $N$  de spires à bobiner.

**Q1 :** 
$$F_{min} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot (C_o + C_{vmax})}}$$
 et 
$$F_{max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot (C_o + C_{vmin})}}$$

on en déduit donc les équations  $L \cdot (C_o + C_{vmax}) = \frac{1}{(2\pi \cdot F_{min})^2}$  et  $L \cdot (C_o + C_{vmin}) = \frac{1}{(2\pi \cdot F_{max})^2}$

En effectuant le rapport des équations précédentes il vient :

$$\frac{L \cdot (C_o + C_{vmax})}{L \cdot (C_o + C_{vmin})} = \frac{(2\pi \cdot F_{max})^2}{(2\pi \cdot F_{min})^2} \quad \text{soit} \quad \frac{C_o + C_{vmax}}{C_o + C_{vmin}} = \left(\frac{F_{max}}{F_{min}}\right)^2$$

soit  $C_o + C_{vmax} = \left(\frac{F_{max}}{F_{min}}\right)^2 (C_o + C_{vmin})$  donc  $C_{vmax} - C_{vmin} \left(\frac{F_{max}}{F_{min}}\right)^2 = C_o \cdot \left(\left(\frac{F_{max}}{F_{min}}\right)^2 - 1\right)$

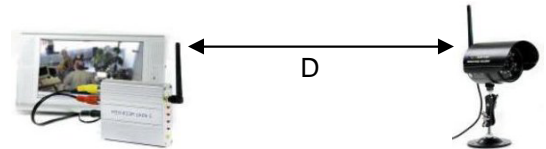
donc 
$$C_o = \frac{C_{vmax} - C_{vmin} \left(\frac{F_{max}}{F_{min}}\right)^2}{\left(\frac{F_{max}}{F_{min}}\right)^2 - 1}$$
 soit  $C_o = 52,8\text{pF}$

ce qui permet d'obtenir 
$$L = \frac{1}{(C_o + C_{vmax}) \cdot (2\pi \cdot F_{min})^2}$$
 donc  $L = 5,55\text{mH}$

**Q2 :** Comme  $L=A_L \cdot N^2$  alors  $N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$  soit  $N = 86$  spires

### Exercice n°2 : Bilan de liaison pour un dispositif de vidéosurveillance

On souhaite installer un dispositif de vidéosurveillance dans un entrepôt de stockage. Comme le local où se trouve le gardien est distant d'environ 300m avec la caméra la plus éloignée on désire vérifier que l'équipement proposé pour la transmission vidéo fonctionne dans ces conditions.



Afin d'éviter le brouillage par des équipements Bluetooth & Wifi on choisit une transmission fonctionnant dans la bande des 5,8GHz. Les antennes pour l'émission et la réception possèdent un gain de 3dB. En sortie de la caméra le modulateur délivre une puissance de 16dBm. Le récepteur possède une sensibilité de -80dBm.

**Q1 :** Pour quelle raison l'équipement sélectionné n'est pas brouillé par les équipements Bluetooth & Wifi ?

**Q2 :** On rappelle que  $P_{dBm} = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{1\text{mW}}\right)$ . En déduire la puissance d'émission que vous exprimerez en mW.

**Q3 :** En rappelant que la célérité  $c=3 \cdot 10^8\text{m/s}$ , calculer la valeur de la longueur d'onde correspondant à l'émission vidéo.

On rappelle dans le cadre ci-contre la forme simple de l'équation de Friis dans laquelle  $G_E$  et  $G_R$  désigne respectivement les gains linéaires en puissance de l'antenne d'émission (E) et de l'antenne de réception (R).  $P_E$  et  $P_R$  désignent respectivement les puissances d'émission et de réception exprimées en W.

$$P_R = P_E \cdot G_E \cdot G_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi D}\right)^2$$

**Q4 :** On rappelle que  $G_{dB} = 10 \cdot \log(G_{LIN})$ . Pour quelle raison n'utilise-t-on pas le coefficient 20 traditionnel à la place de 10 ? Effectuer les applications numériques correspondantes et en déduire les valeurs de  $G_E$  et  $G_R$ .

**Q5 :** A partir des résultats précédents, calculer la puissance reçue sur le récepteur et en déduire sa valeur en dBm. En déduire la réponse à formuler concernant le choix de cet équipement.

**Q1 :** Bluetooth & Wifi  $\approx 2,4\text{GHz}$       **Q2 :**  $P = 1\text{mW} \cdot 10^{\frac{\text{PdBm}}{10}}$  donc  $P=39,8\text{mW}$       **Q3 :**  $\lambda = \frac{c}{f} = 51,7\text{mm}$

**Q4 :** Il s'agit d'un rapport de puissance  $G_E = G_R = 2$

**Q5 :**  $P_R=29,8\text{pW}$  donc  $P_{RdBm}=-75,2\text{dBm}$  L'équipement sélectionné convient donc à l'application car sa sensibilité minimale est inférieure à la puissance reçue.

### Exercice n°3 : Emission radio sur le site de Junglinster

Le site de Junglinster situé au Luxembourg diffuse en modulation d'amplitude sur la porteuse  $f_p=234\text{ kHz}$  l'émission radio RTL en ondes longues. Le site possède un ensemble d'antennes dont la hauteur est d'environ 217m comme le montre la photo ci-contre.

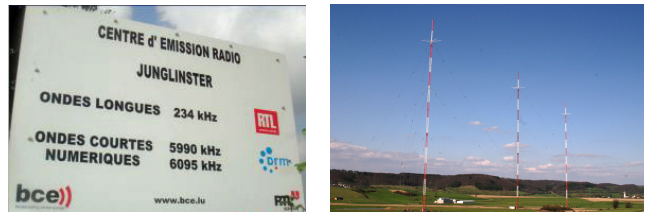


Figure 1 : Site de Junglinster

**Q1 :** Quel est le rapport entre la longueur d'onde  $\lambda$  de l'émission radio et la hauteur des antennes ? Commentez le résultat obtenu.

**Q2 :** On suppose qu'en mode test l'émetteur diffuse un signal modulant sinusoïdal de fréquence  $f_1$ . Donner l'expression du signal modulé en amplitude à porteuse conservée en faisant intervenir les variables  $S_0$ ,  $m$ ,  $f_1$  et  $f_p$ . Précisez le nom des variables  $S_0$  et  $m$ .

**Q3 :** Tracer le spectre en amplitude du signal modulé en indiquant les expressions des fréquences et des amplitudes pour chaque composante fréquentielle.

**Q4 :** En mode test et à proximité de l'émetteur, on connecte une antenne accordée sur un oscilloscope. On obtient alors le relevé de la figure 2 ci-contre. Quel est ce type d'analyse ?

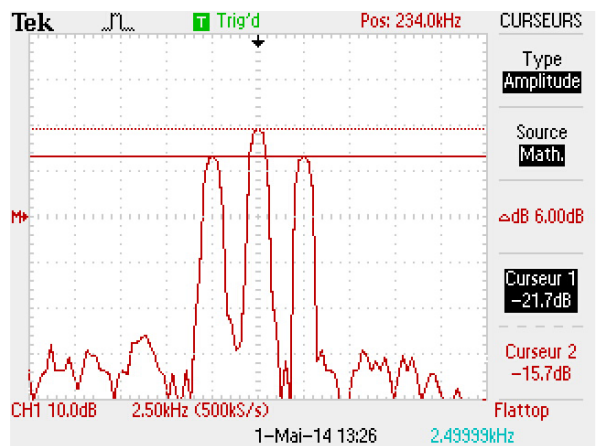


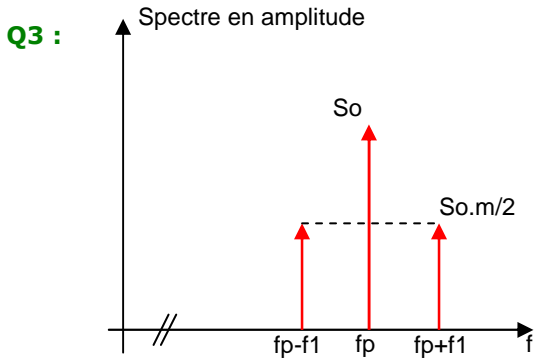
Figure 2 : Relevé sur oscilloscope

**Q5 :** A partir des indications disponible sur le relevé de la figure 2 en déduire la valeur de fréquence du signal modulant, l'amplitude de la porteuse et le taux de modulation.

**Q1 :**  $\lambda = \frac{c}{f} = 1282\text{m}$  soit un rapport de 5,9 avec la hauteur de l'antenne. On est donc dans une situation classique où la longueur/hauteur de l'antenne est dans l'ordre de grandeur de la longueur d'onde du signal émis. Le rapport est souvent de 1/4, ici il est proche de 1/6.

**Q2 :** Expression caractéristique d'un signal modulé en amplitude à porteuse conservée avec un modulant sinusoïdal :  $S(t)=S_0 \cdot [1+m \cdot \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t)] \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$  avec :

- $S_0$  : amplitude de la porteuse
- $f_p$  : fréquence porteuse
- $f_1(t)$  : fréquence du modulant (ici sinusoïdal)
- $m$  : taux de modulation (inférieur ou égal à 100% en général)
- $S(t)$  : Signal modulé en amplitude à porteuse conservée

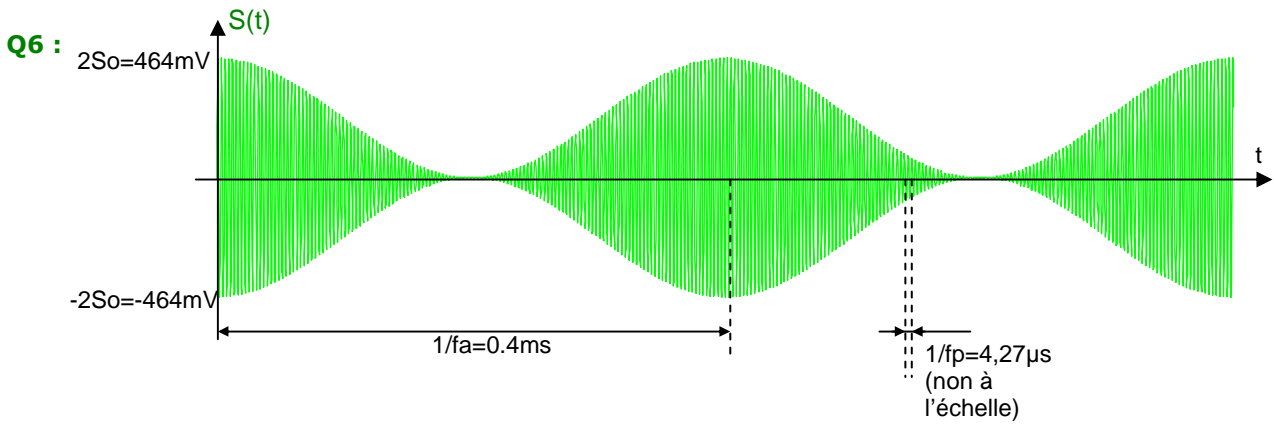


**Q4 :** Il s'agit d'une analyse FFT

**Q5 :**  $f_1=2,5\text{kHz}$

$$20 \cdot \log\left(\frac{S_o}{\sqrt{2}}\right) = -15,7\text{dBV} \quad \text{et} \quad 20 \cdot \log\left(\frac{S_o \cdot m}{2 \cdot \sqrt{2}}\right) = -21,7\text{dBV}$$

On en déduit donc  $S_o=232\text{mV}$  et  $m=100\%$



**Exercice n°4 : Un transmetteur vidéo en modulation FM**

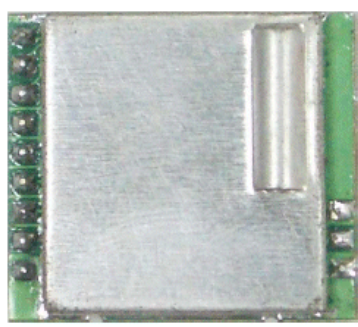
On s'intéresse dans le cadre de ce problème à un modulateur de fréquence utilisé dans le cadre d'un système de surveillance par caméra vidéo. Ce modulateur permet de transmettre un signal composite vidéo en modulation de fréquence pour 4 canaux radio sélectionnables au choix dans la bande des 2,4GHz.

Contrairement à un signal audio qui occupe typiquement une bande passante comprise entre 20Hz et 20kHz dans le cas d'une qualité Hifi, un signal vidéo standard nécessite une bande passante bien plus importante couvrant une gamme comprise entre 0 et 6MHz.



Un extrait de documentation constructeur du module **AWM651 TX 2.4GHz** utilisé dans la transmission est donné ci-dessous. Bien que ce module puisse transmettre en même temps deux voies audio gauche & droite (A/R & A/L), on ne s'intéresse dans le cadre de ce problème qu'à la partie transmission vidéo.

- Pin 01 CH3
- Pin 02 CH2
- Pin 03 CH1
- Pin 04 A/R
- Pin 05 A/L
- Pin 06 Video
- Pin 07 VCC
- Pin 08 Bypass
- Pin 09 GND



- GND Pin 12
- RF OUT Pin 11
- GND Pin 10

**Photo :** Module AWM651 TX 2.4GHz

**Avertissement :** Afin de simplifier l'étude de ce dispositif, l'auteur a délibérément effectué quelques modifications. Dans l'éventualité où vous utiliseriez ce circuit, nous vous conseillons d'utiliser la documentation fournie par le constructeur.

Channel	Operating Frequency	Channel select pin		
		CH1 (pin3)	CH2 (pin2)	CH3 (pin1)
CH1	2414 MHz	GND	OPEN	OPEN
CH2	2432 MHz	OPEN	GND	OPEN
CH3	2450 MHz	OPEN	OPEN	GND
CH4	2468 MHz	OPEN	OPEN	OPEN

Parameters		Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage (VCC)			5		V
Supply current		50	55	60	mA
Output Power		9	10	11	dBm
Operating frequency range	CH1	2414	2400	2483	MHz
	CH2	2432			
	CH3	2450			
	CH4	2468			
Video Modulation		FM			
Video input Signal Level			1		Vp-p
Video input Impedance		-	75	-	Ohm
Antenna Port Impedance		-	50	-	
RF Deviation- Video		-	2.4	-	MHz

**Q1 :** Quelle est la puissance typique à la sortie du modulateur de fréquence ? En déduire l'amplitude crête  $S_o$  du signal modulé FM.

**Q2 :** A quoi correspond le paramètre de déviation (ou d'excursion) en fréquence dans une modulation de fréquence ? Sa valeur est donnée ici pour une amplitude correspondant à 1Vpp sur l'entrée vidéo.

**Q3 :** Afin de tester le modulateur FM, on injecte sur l'entrée de modulation vidéo un signal sinusoïdal de fréquence  $f_a$  et d'amplitude 1Vpp. Quelle doit être la valeur de la fréquence  $f_a$  pour obtenir un indice de modulation  $m=2,4$  ? Quelle est la particularité de cet indice de modulation ?

**Q4 :** En utilisant le tableau des fonctions de Bessel fourni ci-dessous, tracer le module du spectre en amplitude obtenue à la sortie du modulateur. On se place dans la configuration suivante : CH1=open CH2=GND CH3=open. Vous préciserez les amplitudes et les fréquences de chaque composante fréquentielle en donnant son expression analytique et en effectuant les applications numériques correspondantes.

**Q5 :** Pour une modulation de fréquence, à quoi correspond la bande de Carson ? Donner son expression en utilisant notamment le paramètre de déviation en fréquence.

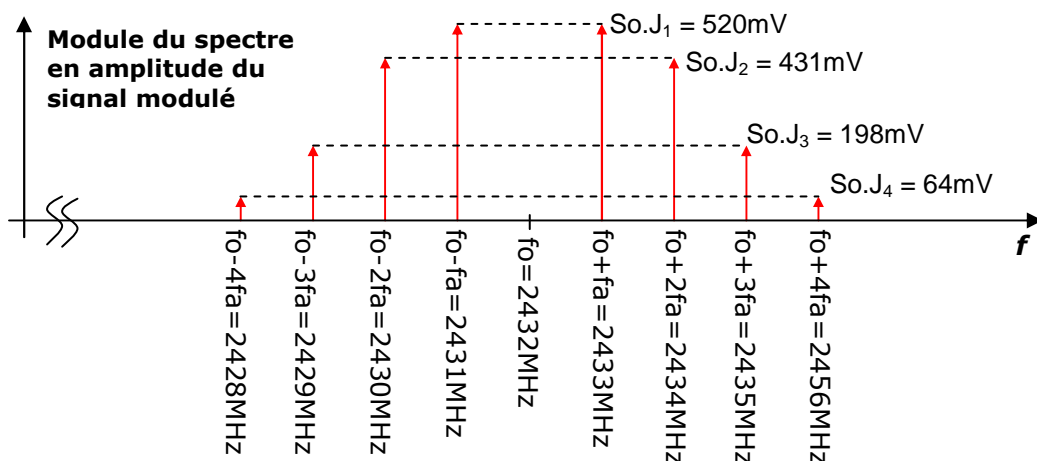
**Q6 :** En sachant que le signal vidéo ne peut en aucun cas dépasser l'amplitude maximale de 1Vpp, calculer la bande passante maximale occupée par le signal modulé FM. Justifier alors l'écart entre chaque fréquence porteuse.

**Q1 :**  $P_{dBm}=10dBm$  ce qui correspond à  $10mW$  donc  $S_o=1V$

**Q2 :** Il s'agit des variations de la fréquence instantanée provoquées par le signal modulant. Pour un signal modulant variant de 1Vpp la déviation est de 2,4MHz.

**Q3 :**  $m = \frac{\Delta f}{f_a}$  donc  $f_a=1MHz$ . Pour cet indice de modulation, l'amplitude de la composante fréquentielle se trouvant à la fréquence porteuse est nulle.

**Q4 :** CH1=open CH2=GND CH3=open  $\Rightarrow$  Fréquence porteuse  $f_o=2432MHz$



**Q5 :** La Bande de Carson indique la bande occupée par le spectre du signal modulé puisqu'elle la puissance totale des composantes se trouvant dans cette bande correspond à au moins 98% de la puissance totale du signal modulé.

Son expression est  $B_c = 2 \cdot (m+1) \cdot f_a$  que l'on peut réécrire sous la forme  $B_c = 2 \cdot (\Delta f + f_a)$

**Q6 :** La bande passante maximale occupé par le signal modulé FM est donc  $2 \cdot (2,4+6) \text{MHz} = 16,8 \text{MHz}$   
Cette valeur est légèrement inférieure à l'écart entre chaque porteuse puisque celui-ci est de 18MHz évitant ainsi un recouvrement et donc le brouillage des canaux radio.