

Problème n°1 : Système de transmission audio par infrarouge

L'objet de cet exercice porte sur l'étude d'un système de diffusion audio sans fil par infrarouge utilisé dans les conférences internationales. Ces dispositifs permettent de préserver la confidentialité des échanges et autorisent l'emploi d'un grand nombre de canaux d'émission pour transmettre le contenu dans les différentes langues traduites par des interprètes. Afin d'obtenir une bonne qualité dans la transmission audio on utilise une modulation FM dont on donne les paramètres suivants conformes à la norme IEC61603-3 :



- Bande passante audio (signal modulant) : [20Hz-12kHz]
- Déviation en fréquence maximale : $\Delta f_{max} = \pm 22.5\text{kHz}$
- Porteuse : 32 canaux espacés de 100kHz

Canal	CH0	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	CH11	CH12	CH13	CH14	CH15
MHz	2.05	2.25	2.45	2.65	2.85	3.05	3.25	3.45	3.65	3.85	4.05	4.25	4.45	4.65	4.85	5.05
Canal	CH16	CH17	CH18	CH19	CH20	CH21	CH22	CH23	CH24	CH25	CH26	CH27	CH28	CH29	CH30	CH31
MHz	2.15	2.35	2.55	2.75	2.95	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.15	4.35	4.55	4.75	4.95	5.15

Q1 : Quelle est la bande passante maximale occupée par un canal ? Cette valeur est-elle cohérente avec l'espacement entre chaque canaux ?

Pour réaliser la modulation FM, on utilise un VCO dont la caractéristique est représentée ci-contre.

Q2 : Que désigne le terme VCO et justifier son utilisation dans le cadre de cette transmission.

Q3 : Calculer la valeur moyenne de la tension que l'on doit appliquer sur l'entrée V_{in} afin d'obtenir une émission centrée sur le canal CH12.

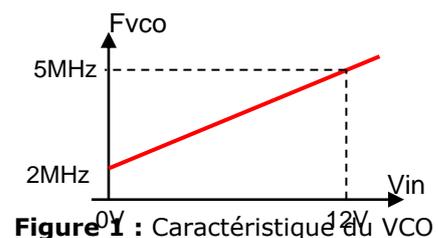


Figure 1 : Caractéristique du VCO

Afin de tester le modulateur FM, on injecte sur son entrée un signal modulant sinusoïdal et l'on effectue une analyse du spectre du signal modulé. On obtient alors le résultat représenté sur la figure 2 ci-contre qui donne le niveau des composantes en valeur efficace dans une échelle linéaire.

Ordre	Indice de modulation m					
	1	1,5	2	2,4	3	3,83
0	0,765	0,512	0,224	0	-0,26	-0,403
1	0,44	0,558	0,577	0,52	0,339	0
2	0,115	0,232	0,353	0,431	0,486	0,403
3	0,02	0,061	0,129	0,198	0,309	0,420
4	≈0	0,012	0,034	0,064	0,132	0,255
5	≈0	≈0	0,007	0,016	0,043	0,113
6	≈0	≈0	≈0	≈0	0,011	0,04
7	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	0,012
8	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
9	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0

Tableau : Fonctions de Bessel

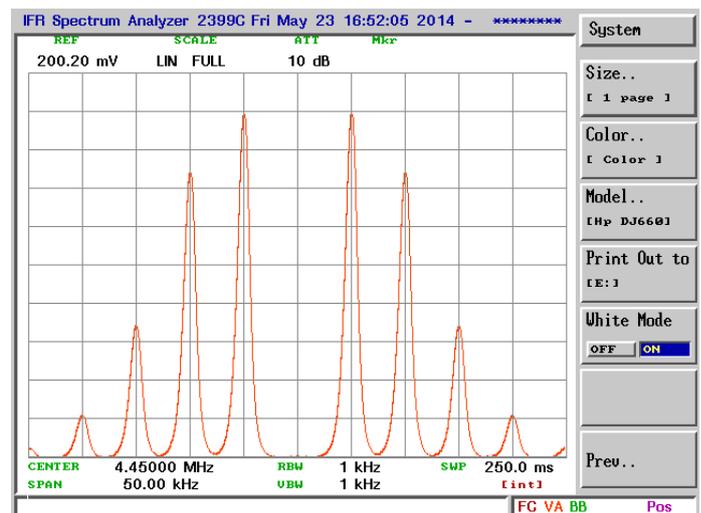


Figure 2 : Analyse FFT en sortie du modulateur

Q4 : Quelle est la valeur de la fréquence porteuse f_p ?

Q5 : Compte tenu du spectre obtenu, quelle est la valeur de l'indice de modulation ?

Q6 : Quelle est la valeur de la fréquence du signal modulant f_a ?

Q7 : Le modulateur FM délivre un signal modulé d'amplitude 1Vpp. Justifier le niveau observé pour les composantes fréquentielles se trouvant à $f_p \pm f_a$.

Q8 : Calculer la déviation en fréquence $\Delta f = m \cdot f_a$ correspond à l'essai précédent. Si l'on souhaite obtenir cette déviation, quelle doit être l'amplitude crête de la composante sinusoïdale que l'on doit appliquer sur l'entrée de modulation V_{in} ? En utilisant les résultats précédents, représenter en précisant les différentes amplitudes l'allure du signal V_{in} au cours du temps.

Problème n°2 : Une liaison audio en modulation FM pour casque sans fil

On vous propose l'étude d'un émetteur pour une transmission audio stéréo pour un casque sans fil fonctionnant dans la bande ISM européenne 866MHz-869MHz. La transmission est effectuée avec une modulation FM dont on donne les caractéristiques suivantes :



- Puissance du signal en sortie du modulateur FM : 16dBm
- Bande passante audio : 20Hz-15kHz
- Fréquence porteuse : $F_p = 866\text{MHz} + i \times 0.2\text{MHz}$ i : numéro du canal radio $16 \geq i \geq 1$

Pour la réalisation du modulateur FM, on utilise un VCO intégré MAX2622 dont on représente sur la figure 1 ci-contre la caractéristique de transfert. Afin de tester les performances de ce modulateur on connecte sur l'entrée V_{TUNE} un signal modulant sinusoïdal de fréquence $f_a = 15\text{kHz}$ et l'on souhaite obtenir une émission FM sur le canal n°10 avec une déviation en fréquence de 42kHz.

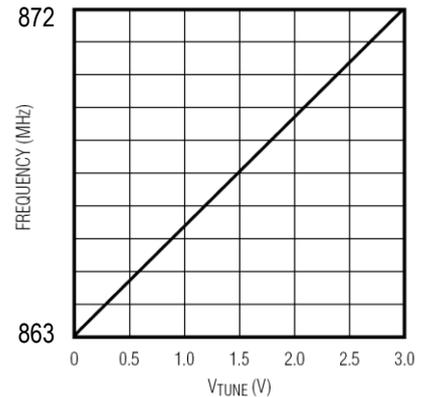


Figure 1 : Caractéristique du VCO

Q1 : A partir de la caractéristique du VCO, en déduire l'allure du signal modulant qu'il convient d'appliquer sur l'entrée V_{tune} pour obtenir la modulation de test. Vous préciserez la valeur moyenne du signal V_{tune} ainsi que l'amplitude crête à crête du signal sinusoïdal.

Q2 : Quelle est la valeur de l'indice de modulation ?
 Pour cet indice on donne les fonctions de Bessel suivantes :
 $|J_0| = 0,185$ $|J_1| = 0,41$ $|J_2| = 0,48$ $|J_3| = 0,27$ $|J_4| = 0,11$ $|J_5| \approx 0$

Q3 : Rappeler les relations entre la puissance en dBm et l'amplitude crête U d'un signal sinusoïdal. En déduire l'amplitude crête S_o en sortie du modulateur ?

Q4 : Représenter alors le spectre du signal modulé en indiquant le niveau en dBm de chaque composante fréquentielle. Indiquer clairement les fréquences des composantes fréquentielles.

Q5 : Quelle est la bande passante maximale du signal modulé dans le cas où l'on fixe une déviation en fréquence maximale de 75kHz ? Justifier l'écart entre chaque canal radio.

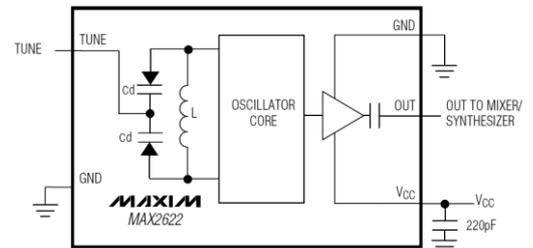


Figure 2 : Schéma synoptique du VCO MAX2622

Q6 : A partir des indications fournies sur le schéma synoptique du VCO, quel est le nom du composant utilisé qui permet de faire varier la fréquence ?

Q7 : Exprimer la fréquence des oscillations en fonction de L et C_d . Le constructeur précise que l'inductance $L = 10\text{nH}$, en déduire les valeurs de C_d pour une tension $V_{TUNE} = 0\text{V}$ puis $V_{TUNE} = 3\text{V}$ et justifier le sens des variations obtenues.

Le circuit de commande du VCO est représenté ci-contre. La tension continue V_{POL} permet de régler la fréquence porteuse. On applique le signal modulant sur l'entrée V_{AUDIO} et l'on vous propose de dimensionner les éléments R_1 et C_L en sachant que l'on fixe $R_2 = 1\text{k}\Omega$.

Q8 : En se plaçant en régime alternatif pour les fréquences audio (on remplace donc V_{POL} par 0), exprimer la fonction de transfert sous la

forme
$$\frac{V_{TUNE}(j\omega)}{V_{AUDIO}(j\omega)} = K \cdot \frac{j\omega}{\omega_c} \cdot \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{\omega_c}}$$
 Vous exprimerez K et ω_c en fonction des composants R_1 , C_L & R_2 . Quel est le type de cette fonction de transfert ?

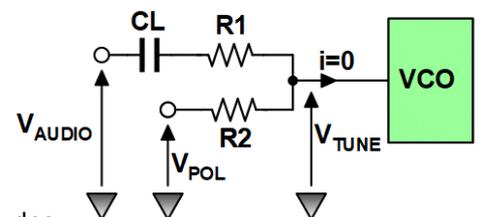


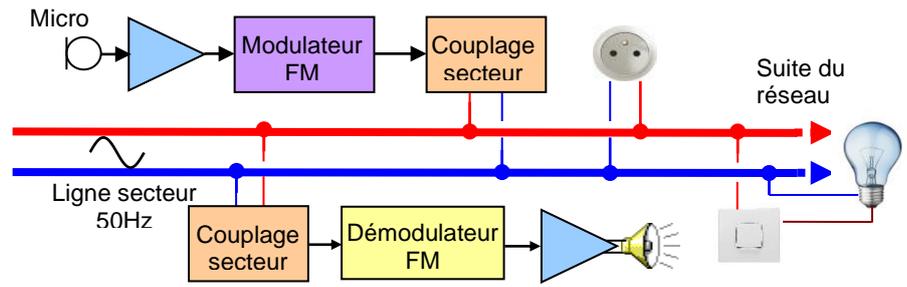
Figure 3 : Entrée de modulation

Q9 : Lorsque l'on applique un signal audio d'amplitude 1Vpp on souhaite obtenir une déviation maximale de 75kHz. En déduire la valeur de R_1 . Afin de garantir la bande passante audio en déduire la valeur de C_L .

Problème n°3 : Etude d'un système de diffusion audio sur CPL

L'objet de ce problème porte sur la mise en place d'un système de diffusion sonore sur courants porteurs en ligne (CPL). Pour ce procédé on utilise comme support de transmission le réseau secteur comme l'illustre la figure ci-contre. L'information audio est transmise en utilisant une modulation de fréquence

Le signal modulé est transmis avec un faible niveau en comparaison de la tension secteur par l'intermédiaire du circuit couplage secteur.



Afin de tester le modulateur FM, on injecte sur son entrée un signal modulant sinusoïdal et l'on effectue une analyse FFT du signal modulé. On obtient alors le résultat représenté sur la figure ci-contre.

Ordre	Indice de modulation m					
	1	1,5	2	2,4	3	3,83
0	0,765	0,512	0,224	0	-0,26	-0,403
1	0,44	0,558	0,577	0,52	0,339	0
2	0,115	0,232	0,353	0,431	0,486	0,403
3	0,02	0,061	0,129	0,198	0,309	0,420
4	≈0	0,012	0,034	0,064	0,132	0,255
5	≈0	≈0	0,007	0,016	0,043	0,113
6	≈0	≈0	≈0	≈0	0,011	0,04
7	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	0,012
8	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
9	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0

Tableau : Fonctions de Bessel

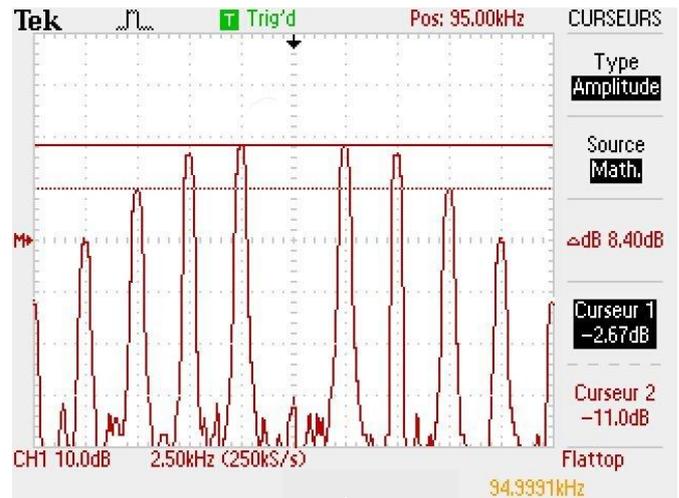


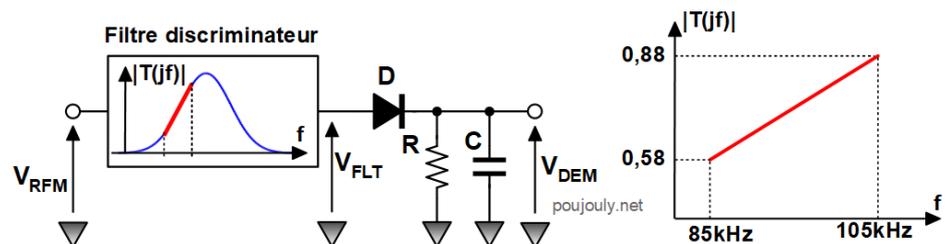
Figure : Analyse FFT en sortie du modulateur

Q1 : En utilisant les indications fournies sur l'écran de l'analyse FFT, déterminer la valeur de la fréquence porteuse f_p et la fréquence f_a du signal modulant sinusoïdal.

Q2 : Compte tenu du spectre obtenu, quelle est la valeur de l'indice de modulation ? Comment s'appelle ce type de cas ?

Q3 : En utilisant la mesure fournie par le curseur 1, en déduire l'amplitude S_0 du signal modulé FM que l'on observe en sortie du modulateur FM. Justifier alors le niveau indiqué par le curseur 2.

Pour la réalisation du démodulateur FM on propose le montage ci-contre dans lequel on exploite la partie linéaire de la réponse fréquentielle d'un filtre passe bande centrée à 120kHz et possédant un facteur de qualité $Q=2$.



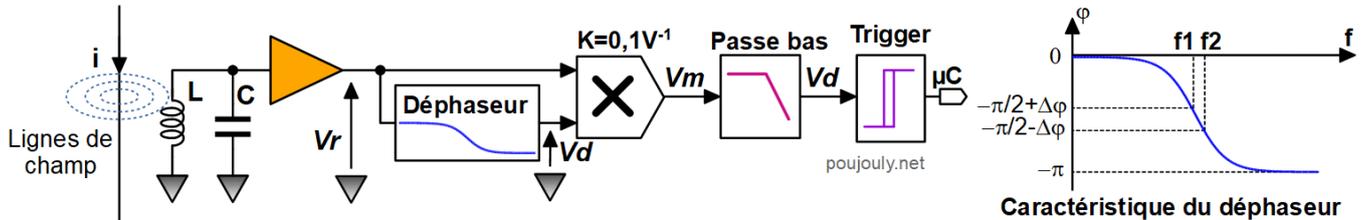
Q4 : On applique sur l'entrée V_{RFM} du démodulateur un signal modulé FM avec une amplitude de 5Vpp centré sur la fréquence porteuse $f_p=95\text{kHz}$. Le signal modulant est sinusoïdal de fréquence 1kHz et l'on fixe la déviation en fréquence à 8kHz. Représenter l'allure du signal V_{FLT} à la sortie du filtre.

Q5 : En supposant que la diode D est parfaite et que le couple RC est correctement choisi, représenter l'allure du signal V_{DEM} .

🔧 Problème n°4 : Etude d'un système de transmission par filoguidage

Dans le cadre d'un système filoguidé pour un robot mobile, on s'intéresse au dispositif de transmission d'une information numérique permettant au robot d'effectuer des actions au fil de son cheminement.

On fait circuler dans un conducteur électrique enterré dans le sol un courant alternatif de fréquence relativement élevé (quelques dizaines de kHz). En positionnant un ensemble de bobines réceptrices sur la base roulante du robot on permet ainsi à celui-ci de se positionner et de circuler en suivant la ligne tracé par le conducteur électrique. En effectuant une modulation de fréquence de type FSK (Saut de fréquence) on ne change en rien le principe du filoguidage et l'on permet de transmettre une information numérique utile au robot. On vous propose donc d'étudier le démodulateur de fréquence FSK dont le schéma synoptique est représenté ci-dessous et dans lequel on utilise un montage déphaseur dont la caractéristique fait apparaître un déphasage différent pour les 2 fréquences utilisées dans la modulation FSK.



Lorsque l'on transmet un bit = '1' on obtient $V_r = A \cdot \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t)$ et on obtient $V_r = A \cdot \cos(2\pi \cdot f_2 \cdot t)$ pour un bit = '0' transmis. On donne par ailleurs $A = 5V$, $f_1 = 68kHz$ et $f_2 = 72kHz$ et l'on précise que débit de la transmission numérique est tel que $D = 1200bit/s$.

Q1 : En considérant que le gain du montage déphaseur est égal à 0dB quelles que soient les fréquences, exprimer le signal V_d dans les 2 cas où l'on transmet un bit = '1' et un bit = '0' en fonction des grandeurs proposées.

Q2 : Exprimer le signal V_m en sortie du multiplieur dans les 2 cas et montrer qu'il peut s'écrire sous la forme de 2 termes avec des composantes fréquentielles en $2 \times f_1$ ou $2 \times f_2$.

Q3 : Si l'on choisit une fréquence de coupure f_c très petite devant les fréquences $2 \times f_1$ ou $2 \times f_2$, montrer que le signal V_d peut s'écrire sous la forme $\pm U$ en fonction du bit transmis. On précise que le gain du filtre passe bas dans sa bande passante est de 20dB. Vous exprimerez U en fonction des variables A , K et $\Delta\varphi$.

Q4 : En sachant que $\Delta\varphi = 2^\circ$, calculer la valeur de U et justifier l'emploi du montage trigger que l'on retrouve en sortie de ce montage.

Q5 : Quel est le rôle du condensateur C que l'on retrouve en // de la bobine L utilisée pour la réception et le guidage du robot mobile ?