

Devoir N°4 : Analyse des signaux et transmission en modulation d'amplitude



Mercredi 07 aout 2013



S.POUJOULY



<http://poujouly.net>

Dans ce 4^{ème} devoir de révisions, je vous propose d'aborder un thème majeur dans l'étude des systèmes électroniques à savoir l'analyse des signaux et notamment l'analyse fréquentielle. Les 2 derniers exercices sont consacrés à l'étude de systèmes de transmission en modulation d'amplitude.



Exercice n°1 : Serrure musicale

Pour une commande d'ouverture électronique, on utilise un signal dont la composition fréquentielle sert de code pour le déclenchement d'un verrou. Ce signal est composé de 3 harmoniques aux fréquences f_0 , $2f_0$ et $3f_0$ dont la fréquence de la fondamentale correspond à la fréquence d'une des 3 notes de musique SOL, LA et SI. Les amplitudes des 3 composantes fréquentielles peuvent prendre 3 valeurs d'amplitudes U , $2U$ ou $3U$. Ce signal audio peut donc s'écrire sous la forme :

$$V_m = V_1 \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t) + V_2 \cdot \cos(2\pi \cdot 2f_0 \cdot t) + V_3 \cdot \cos(2\pi \cdot 3f_0 \cdot t)$$

Le code **SI132** indique alors que la fréquence f_0 est à 494Hz (SI) et que les amplitudes des composantes fréquentielles sont : $V_1=U$ (chiffre 1) $V_2=3U$ (chiffre 3) et $V_3=2U$ (chiffre 2)

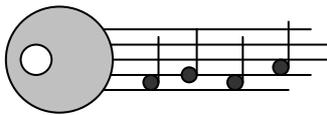


Figure 1 : une clef musicale

Numéro	Niveau
1	U
2	2U
3	3U

Table des niveaux ($U=0,5V$)

Note	Fo
SOL	392Hz
LA	440Hz
SI	494Hz

Table des fréquences

Q1 : Tracer le spectre en amplitude du signal V_m pour le code **LA312**. Vous indiquerez clairement les niveaux et les fréquences de chaque composante fréquentielle.

Q2 : Tracer le spectre en puissance normalisée correspondant au code **LA312** précédent et en déduire la valeur efficace du signal V_m .

Q3 : Sachant qu'au moins une composante fréquentielle doit prendre le niveau $3U$, de combien de combinaisons dispose t-on ?

Q4 : On effectue une analyse FFT du signal V_m et obtient le résultat de la figure suivante. Quel est le code utilisé ? Justifier votre résultat.

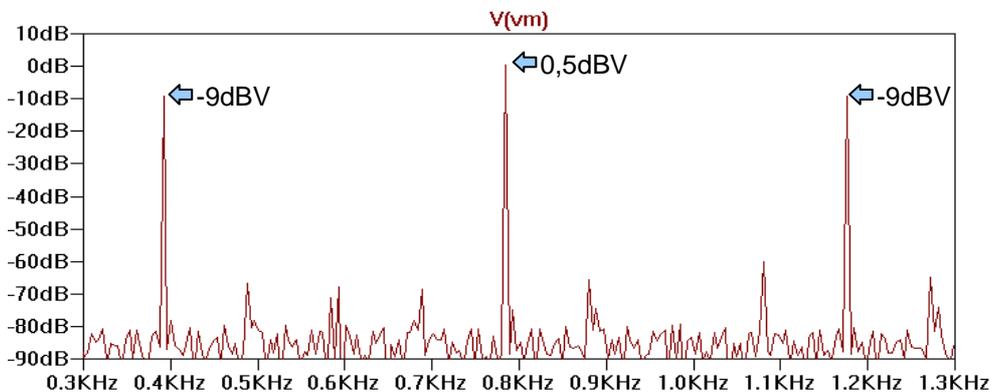


Figure 2 : Analyse FFT d'un code

Q5 : Montrer la fonction $\cos^2(\theta)$ peut s'écrire à partir de la fonction $\cos(2\theta)$ et que $\cos^3(\theta)$ peut se décomposer en utilisant les fonctions $\cos(\theta)$ et $\cos(3\theta)$.

Q6: Afin de générer les composantes fréquentielles en $2f_0$ et $3f_0$ on met en œuvre le montage représenté sur la figure 3 suivante et dans lequel on définit les fonctions de chaque élément (multiplieur, gain et soustracteur). En utilisant les résultats de la question précédente, indiquer les valeurs des coefficients α , β et γ ainsi que le niveau de tension appliqué sur l'entrée V_0 en sachant que $U=0,5V$

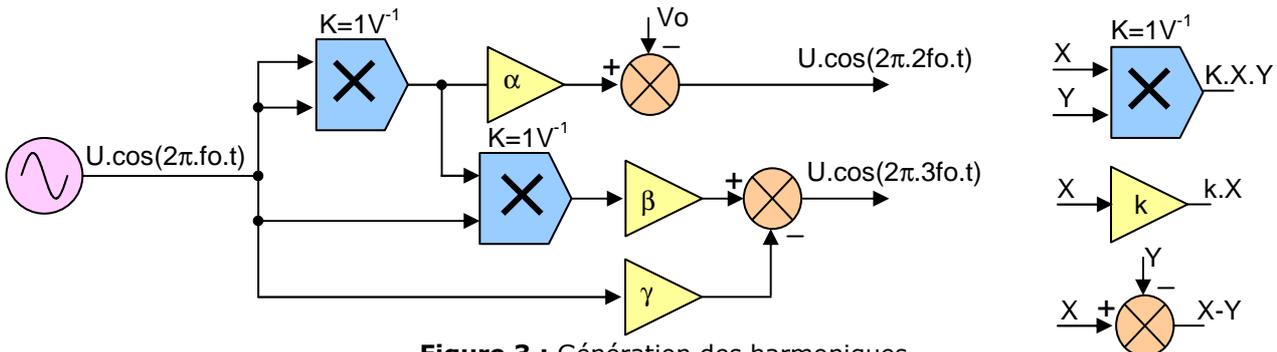
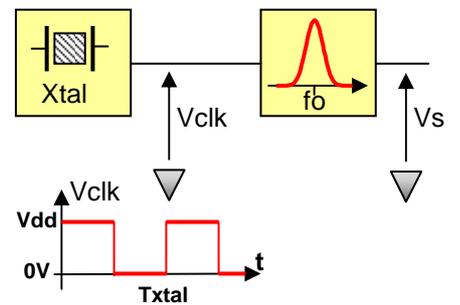


Figure 3 : Génération des harmoniques

Exercice n°2 : Un multiplieur de fréquence

On désire réaliser un multiplieur de fréquence par 3 avec le montage représenté ci-contre dans le cadre d'un changement de fréquence. On dispose d'un oscillateur à quartz de fréquence $f_{xtal}=12,8MHz$ délivrant le signal V_{clk} et d'un filtre sélectif centré sur la fréquence $f_0=3 \times f_{xtal}$ (Gain $_{max} = 0dB$ pour $f=f_0$). On donne $V_{dd}=3V$.



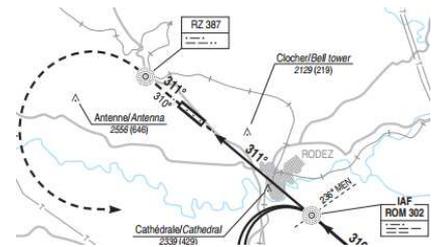
Q1: Montrer que le signal V_{clk} est la somme de signal carré symétrique d'amplitude $+U/-U$ avec une composante continu V_0 . Exprimer V_0 & U en fonction de V_{dd}

Q2: En utilisant les résultats concernant la décomposition en série de Fourier d'un signal carré symétrique, tracer le module du spectre en amplitude du signal V_{clk} pour les fréquences comprises entre 0 et 70MHz.

Q3: En supposant que le filtre sélectif joue parfaitement son rôle représenter le signal V_s au cours du temps en précisant son amplitude et sa fréquence.

Exercice n°3 : Une balise radio NDB (Non Directionnal Beacon) pour l'aviation

Une balise non directionnelle (NDB) est une station radio localisée en un point identifié sur les cartes qui est utilisé pour la navigation aérienne. Pour l'aviation civile on retrouve ce type de balise à l'approche des aéroports. L'émission est effectuée en modulation d'amplitude et le signal modulant est un code morse permettant d'identifier la balise. La tonalité permettant d'effectuer ce codage est un signal sinusoïdal de fréquence $f_a=440Hz$. La balise située à proximité de l'aéroport de Rodez (12-Aveyron) émet sur une fréquence porteuse de $f_p=302kHz$. Le taux de modulation est $m=80\%$.

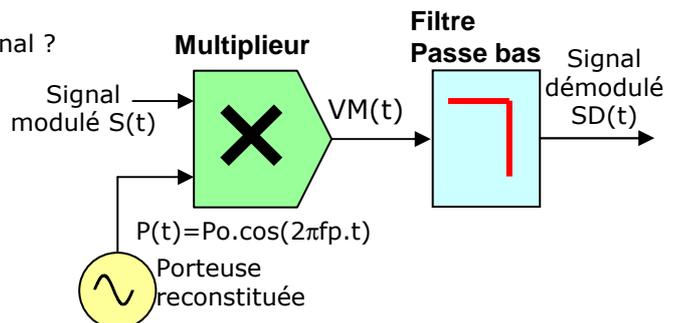


Q1 : Pendant l'émission d'un code, le signal modulé est donc de la forme $S(t)=S_0.[1+m.\cos(2\pi f_a.t)].\cos(2\pi f_p.t)$. A proximité de l'émetteur, coté réception on obtient $S_0=100mV$. Tracer l'allure du signal S en précisant l'échelle des temps et celle en amplitude.

Q2 : Tracer le module du spectre en amplitude du signal S et calculer sa valeur efficace S_{eff} .

Q3 : Avec quel dispositif simple peut-on démoduler ce signal ?

Afin d'améliorer la qualité de réception on utilise un démodulateur synchrone dont le schéma de principe est rappelé ci-contre et pour lequel on suppose que l'on récupère une porteuse en phase avec la porteuse initiale. Le multiplieur réalise l'opération : $VM(t)=K.S(t).P(t)$ avec $K=2V^{-1}$
On donne $P_0=1V$



Q4 : Exprimer le signal $VM(t)$ sous la forme de somme d'une composante continue et de signaux sinusoïdaux. Tracer le spectre en amplitude du signal $VM(t)$ en précisant les fréquences et les amplitudes de chaque composante fréquentielle.

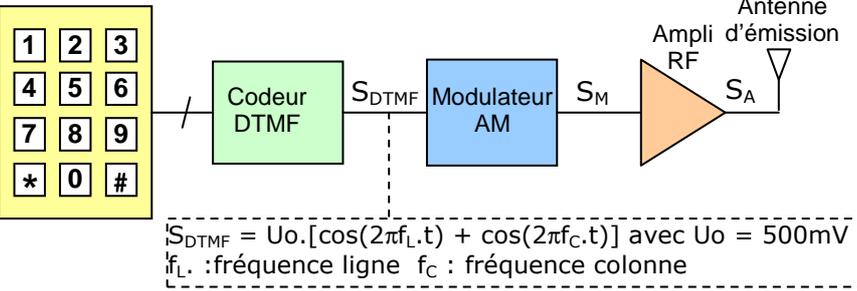
Q5 : Si l'on suppose que l'on dispose d'un filtre passe bas quasi-idéal en sortie, comment doit-on choisir la fréquence de coupure f_c afin de ne conserver que le signal modulant ? Exprimer alors le signal démodulé $SD(t)$ et représenter ce signal au cours du temps.

Exercice n°5 : Un émetteur pour télécommande en modulation d'amplitude

On désire fabriquer une télécommande à distance dont la fréquence d'émission se situe dans une bande réservée autour de 41MHz. On choisit une modulation d'amplitude à porteuse conservée¹.

Pour transmettre les informations on utilise un clavier basique et le système retenu est celui du DTMF (Dual Tone Multi Frequency). Lorsque l'on appuie sur un bouton du clavier le codeur DTMF génère un signal qui est la somme de 2 signaux sinusoïdaux dont les fréquences correspondent à la ligne et à la colonne du bouton choisi comme l'indique le tableau n°1. La figure n°1 ci dessous donne le schéma synoptique de l'émetteur.

Clavier de commande

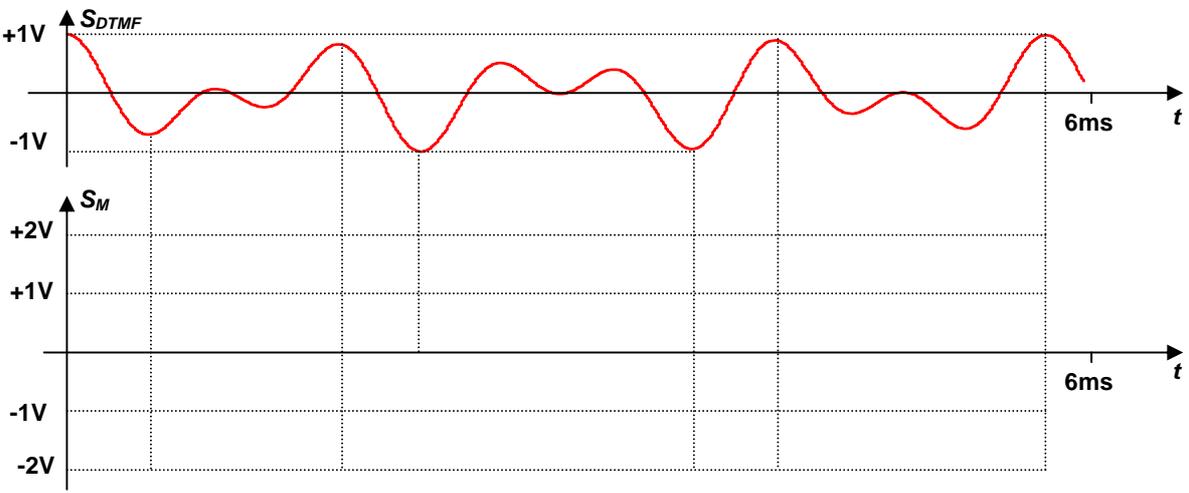


Fréquences ligne & colonne			
	1209Hz	1336Hz	1447Hz
697Hz	1	2	3
770Hz	4	5	6
852Hz	7	8	9
941Hz	*	0	#

Tableau 1 : fréquences DTMF

Figure n°1 : Schéma synoptique de l'émetteur

Q1 : Tracer le module du spectre en amplitude du signal S_{DTMF} lorsque le bouton n°8 est appuyé. Indiquer clairement les fréquences et niveaux de chaque composante fréquentielle.



Q2 : Le modulateur d'amplitude réalise l'opération suivante : $S_M = (S_{DTMF} + 1) \cdot \cos(2\pi f_0 t)$ avec $f_0 = 41MHz$. Tracer l'allure temporelle du signal S_M à partir du chronogramme de S_{DTMF} fourni.

Q3 : Tracer le module du spectre en amplitude du signal S_M lorsque le bouton n°8 est appuyé. Indiquer clairement les fréquences et niveaux de chaque composante fréquentielle. En déduire la valeur efficace du signal S_M .

Q4 : A partir des valeurs des fréquences utilisées dans le système DTMF quelle est la bande passante maximale occupée par le signal modulé S_M .

Q5 : On désire obtenir pour le signal S_A une puissance d'émission de 1W sur une charge de 50Ω. Quelle doit être la valeur de l'amplification A_{rf} (en tension) de l'amplificateur RF de sortie ?

¹ Ce choix ne relève que d'un choix pédagogique et non technique.