

Fiche sur la modulation et la démodulation numérique.

Dans cette fiche, on va s'intéresser à une méthode permettant de transférer une information se présentant sous la forme d'un signal numérique.

Pour fabriquer ce dernier, on utilisera le signal disponible en sortie d'un CAN à approximations successives quand on rentre une sinusoïde basse fréquence sur ce dernier. On obtiendra ainsi un signal numérique (suite aléatoire de "0" et de "1" de durée fixée par l'horloge du CNA).

Il sera alors mis en forme pour alimenter l'entrée du V.C.O. d'un G.B.F. (la mise en forme consiste notamment à faire en sorte que la tension en entrée du V.C.O. soit assez faible, afin que la plage de fréquence en sortie de ce dernier ne soit pas trop importante et que le calcul du filtre de la PLL ne soit pas trop délicat).

Ceci étant fait, le G.B.F. va délivrer un signal modulé en fréquence sur deux fréquences (à un transitoire près). Ces fréquences f_0 et f_1 correspondent respectivement au niveau bas ("0" mis en forme) en entrée du V.C.O. et au niveau haut ("1" mis en forme).

Une fois le transport effectué (par B.N.C. pour nous parce que c'est plus simple), on va démoduler au moyen d'une P.L.L. 4046. Le signal de sortie sera l'entrée du V.C.O. de la P.L.L. qui est bien une image directe de la fréquence du signal de sortie. Elle correspond à deux états fixes de fréquence (à un transitoire près) f_0 et f_1 , liés au signal informatif numérique.

rq : Les expériences proposées peuvent l'être avec un signal modulant de type TTL (pas informatif mais facile à faire et suffisant pour illustrer les principes). On peut également décider de travailler avec un vrai signal aléatoire qui nécessite de connaître certains éléments d'instrumentation numérique. C'est plus difficile mais plus joli... Tout dépend de ce que l'on se sent capable de faire... De toute façon, dans le cadre d'un montage d'agrégation, on commence par monter sa manip avec le TTL. On envisage de travailler avec le signal aléatoire **uniquement lorsque l'étape précédente fonctionne...**

rq : Pour ceux que le câblage rend fébrile (je reconnais que ça n'est pas trivial), une maquette est en cours d'étude pour que les candidats n'aient plus qu'à choisir les fréquences et l'amplitude des signaux et les fréquences de coupure des filtres.

Bibliographie.

"Transmission de signaux"; C. More ; Tec & Doc.

"Boucle à verrouillage de phase et application"; G. Couturier ; Cours IUT GEII Bordeaux I.

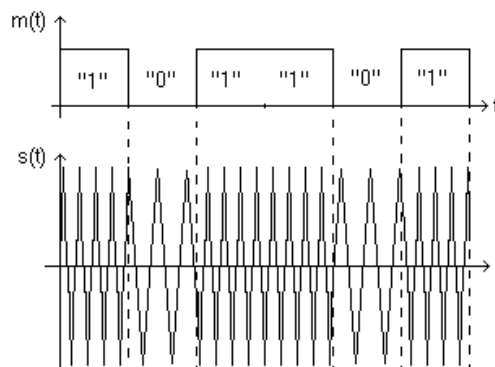
"Systèmes de communication et filtrage " F. Manneville & J. Esquieu ; Dunod.

"Expérience d'électronique ", R. Duffait & J.P. Lièvre ; Bréal.

Modulation de fréquence par un signal numérique.

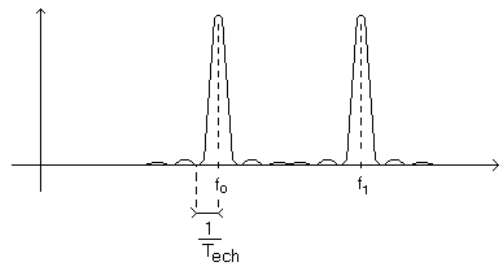
Considérons un signal à transmettre de type numérique. IL s'agit d'une succession aléatoire de niveaux hauts (« 1 » logique) et bas (« 0 » logique). Pour réaliser une modulation numérique, on va envoyer ce signal sur l'entrée de modulation d'un G.B.F. (Thandar ou Sefram).

Lorsque la porteuse est modulée par un signal informatif de type numérique, le signal modulé sera une sinusoïde de fréquence f_0 pour les niveaux « 0 » et f_1 pour les signaux de niveau « 1 ».

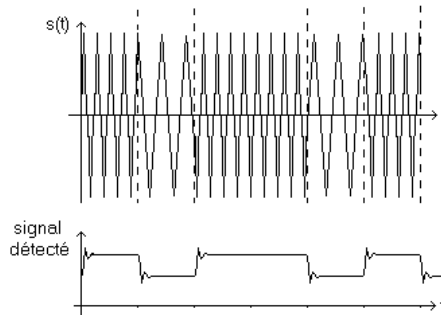


Le signal informatif étant aléatoire pour celui qui le reçoit, son spectre n'est pas connu a priori. Cependant, on peut montrer que la densité spectrale de puissance d'un tel signal se présente sous la forme suivante (T_c représente la durée d'un niveau « 0 » ou « 1 »)

densité spectrale de puissance
d'un signal modulé F.S.K.



Pour démoduler, on utilisera une P.L.L. qui s'accrochera sur f_0 lors de la réception d'un « 0 » et sur f_1 lors de la réception d'un « 1 ». Il suffira alors de récupérer le signal en entrée du V.C.O. de la boucle qui prendra la forme du signal numérique (à un transitoire près dépendant de la rapidité de la boucle et avec une composante continue différente).



Il ne reste plus qu'à remettre le signal en forme pour obtenir des niveaux de tensions voulus qui correspondent à « 0 » ou « 1 ». Pour cela, on va supprimer la valeur moyenne du signal récupérer et envoyer ce dernier sur un comparateur (un vrai comparateur, pas un amplificateur opérationnel !)

Rq : On devra calculer le filtre de la boucle pour que cette dernière puisse s'accrocher autour de f_0 et f_1 ...

Travail expérimental.

• Obtention d'un signal numérique :

Pour les expériences qui vont suivre on peut se contenter de travailler avec un signal TTL de G.B.F. afin de faire les mises au point des différents blocs. On passe alors directement à la partie suivante.

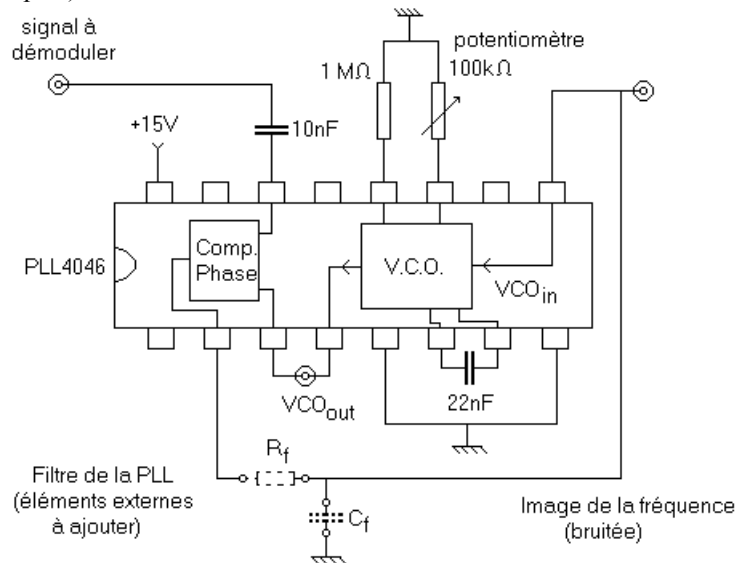
Cependant, il faut garder à l'esprit qu'un tel signal n'est pas informatif. Pour faire « plus vrai », on pourra utiliser une boîte qui sort un signal pseudo-aléatoire. Ce signal est une suite de niveaux hauts ou bas, chaque bit durant une période d'horloge.

• Réalisation du signal modulé F.S.K. :

- On choisit la fréquence de la porteuse. (On prendra 1kHz environ). Ceci étant fait, on étalonne le V.C.O. du G.B.F. (on envoie différents niveaux de tension continue que l'on mesure sur l'entrée « sweep in » du G.B.F. et on mesure la fréquence de sortie correspondante). On établit ainsi la courbe d'étalonnage du V.C.O. pour la fréquence centrale préalablement choisie.
- Dans un premier temps, on étudiera le spectre d'un signal modulé FSK. Pour obtenir des spectres satisfaisants, on cherchera à avoir des variations de fréquence suffisantes en rentrant directement (sans l'atténuer) le signal numérique sur l'entrée du VCO (« sweep in »). Conclure quand au spectre obtenu. Dans quelle plage de fréquence se situe principalement la puissance du signal ?
- On va alors se rendre compte qu'il faut des niveaux de tension faibles pour que la variation de fréquence ne soit pas importante. On détermine ces niveaux pour avoir deux états distincts de fréquence f_0 et f_1 séparés d'un peu plus d'une centaine de Hz. Pour les obtenir, il va falloir abaisser le niveau de tension de sortie du C.N.A. avec un pont diviseur de tension (en divisant par 50 environ avec 10 k Ω et 220 Ω , ça marche bien... attention à l'impédance sur laquelle arrive le pont diviseur...).
- On transporte alors le signal jusqu'au démodulateur (on prend un simple B.N.C. pour simplifier). Etant donné la gamme de fréquence porteuse employée, le dispositif que nous allons décrire n'est pas destiné à rendre une émission herzienne possible, mais simplement à faire un multiplexage fréquentiel, afin de transmettre plusieurs bits sur le même canal (utilisation en téléphonie).

- Démodulation F.S.K. :

Pour cela, on va utiliser une P.L.L. 4046. Le principe du calcul des différents éléments est indiqué dans la documentation du composant. Notre objectif est de pouvoir démoduler des signaux de fréquence f_0 et f_1 voisins du kHz (à environ 100 Hz près).



Le potentiomètre de 100 k Ω est ajusté, en l'absence de signal d'entrée, pour obtenir une fréquence de sortie du V.C.O. voisine du centre de la plage de fréquence occupée par le signal à démoduler. Cette fréquence sera notée f_{vco} par la suite. Les éléments R_f et C_f permettent de réaliser le filtre passe-bas de la boucle à verrouillage de phase. On rappelle que ce filtre joue un rôle prépondérant dans la plage de capture de cette dernière (plage de fréquence sur laquelle la PLL peut s'accrocher sur le signal d'entrée). En faisant de lourdes approximations, on peut dire que cette plage est voisine de $[f_{vco}-F_f; f_{vco}+F_f]$, si F_f représente la fréquence de coupure du filtre de la boucle. Cependant, une étude plus approfondie montre que la PLL est un système du second ordre et que la coupure du filtre influe sur l'amortissement de ce dernier. On devra chercher à maintenir un amortissement suffisamment fort afin de limiter les dépassements qui peuvent rendre la boucle instable.

Dans notre exemple, on prendra $R_f = 10 \text{ k}\Omega$ et $C_f = 100 \text{ nF}$.

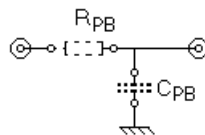
- Filtrage du signal image de la fréquence :

Le signal image de la fréquence que nous allons récupérer sera bruité. Afin de le rendre plus facilement exploitable, il va falloir le filtrer afin d'éliminer les bruits haute fréquence. La coupure sera choisie suffisamment haute pour éviter de trop altérer les niveaux logiques qui se succèdent tous les $1/f_{ch}$, mais suffisamment basse pour éliminer le bruit.

Dans l'expérience, on prendra

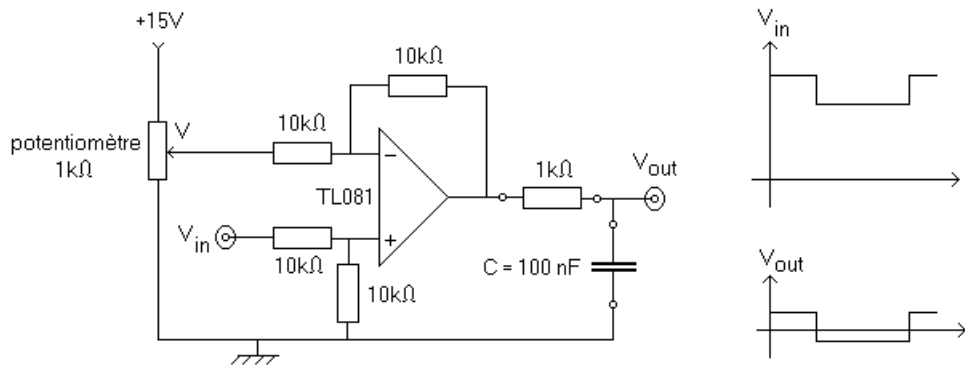
$$R_{PB} = 10 \text{ k}\Omega \text{ et } C_{PB} = 220 \text{ nF}$$

L'ensemble de filtrage de sortie se présentera de la façon suivante :



En sortie de ce filtre, on va chercher à éliminer la valeur moyenne du signal afin de rendre la mise en forme plus simple lors de l'étape suivante. Pour cela, on soustrait une tension continue à la tension de sortie du filtre précédent, afin de récupérer un niveau bas négatif et un niveau haut positif. Le niveau continu adapté est réglé au moyen du potentiomètre de 1k Ω (tension V). Il faudra veiller à refaire le réglage dès que l'on aura modifié la valeur moyenne de V_{in} .

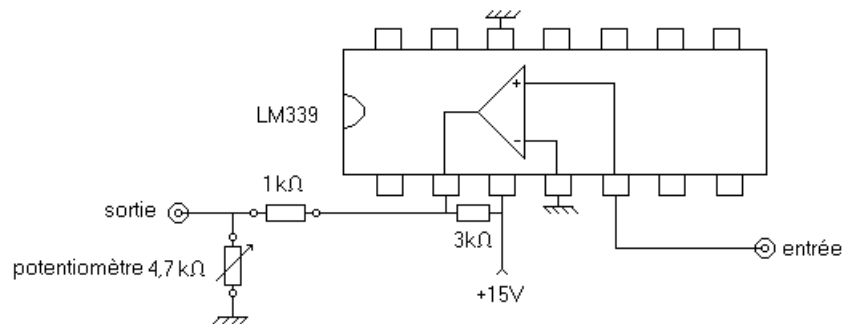
On réalise donc un étage soustracteur à amplificateur opérationnel. On lui adjoint en sortie un filtre passe-bas afin d'éviter le bruit qui pourrait perturber la mise en forme (il s'agit notamment de supprimer les pics brutaux de tension...). L'ensemble se présente de la façon suivante :



• Mise en forme de sortie :

On cherche à retrouver un signal prenant les états 0V ou 5V. Pour cela, on va utiliser un comparateur LM339 (ce composant comprend plusieurs comparateurs mais on n'en utilisera qu'un seul).

Le circuit est réalisé de la façon suivante :



En sortie, on ajoute un pont diviseur de tension, afin de bien récupérer des signaux entre 0V et 5V. Il faudra veiller à ce que ce pont débite toujours sur des charges de grande impédance sous peine de fausser l'atténuation obtenue...

Remarque pratique

les circuits détaillés dans cette fiches (PLL, mise en forme, ...) sont réunis sur la maquette ENSC345
 Pour générer le signal numérique, on utilisera la boîte ENSC153