

Éléments de correction

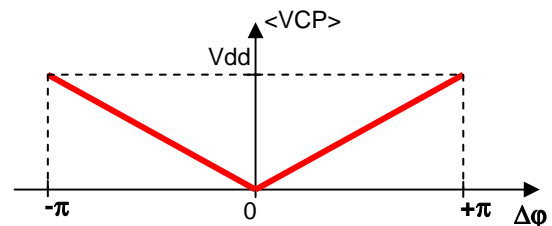
Problème n°4 : Pour apprendre à siffler

Q1 : PLL : Phase Locked Loop. Une PLL est constitué d'un comparateur de phase, d'un filtre de boucle et d'un oscillateur contrôlé en tension (VCO). Le comparateur de phase fournit une tension ou un courant dont la valeur est proportionnelle à l'écart de phase des signaux présents sur son entrée. Le filtre de boucle permet d'assurer le bon fonctionnement du comparateur de phase en proposant un filtrage de type passe bas. Par ailleurs ce filtre assure la stabilité de la boucle et fixe en grandes parties les performances dynamiques de la PLL. Le VCO est l'actionneur de ce système asservi car c'est grâce à lui que atteint l'objectif essentiel dans une boucle à verrouillage de phase.

Q2 : Lorsque une PLL est verrouillée les fréquences instantanées des signaux à l'entrée du comparateur de phase sont identiques.

Q3 : Lorsque la PLL est verrouillée, la tension de commande V_c du VCO évolue en fonction de la note sifflée sur le micro. Sa valeur est donc une indication de la fréquence et donc de la note jouée. En prélevant cette tension grace à un convertisseur analogique numérique (ADC) le μC peut ainsi afficher la note correspondante.

Q4 : Caractéristique de transfert du comparateur de phase de type OU-exclusif :



Q5 : Plage de capture : Les valeurs de fréquences où l'on passe du mode non verrouillé au mode verrouillé
 Plage de maintien ou de suivi ou de verrouillage : Les valeurs de fréquences où l'on passe du mode verrouillé au mode non verrouillé.

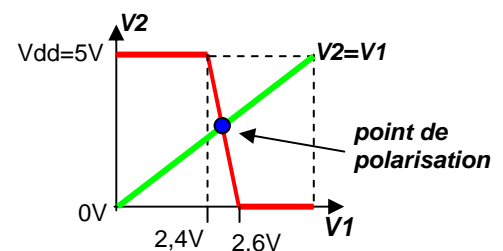
Graphique : **Voir poly de cours**

Pour mesurer ces plages de fonctionnement il suffit d'observer les signaux à l'entrée du comparateur de phase en synchronisant l'oscilloscope sur le signal d'entrée E. En augmentant puis en diminuant lentement la fréquence du signal d'entrée on note les différentes fréquences qui permettent d'accrocher ou non la boucle à verrouillage de phase. Il existe une autre méthode automatique en utilisant un balayage automatique et en observant le signal de commande du VCO (**Voir Poly de cours**)

Q6 : L'association comparateur de phase + filtre de boucle RC passe bas est capable de délivrer une tension de commande évoluant entre 0 et V_{dd} . Dans ces conditions la plage de maintien est alors limité par la caractéristique du VCO à savoir : 750Hz - 1310Hz

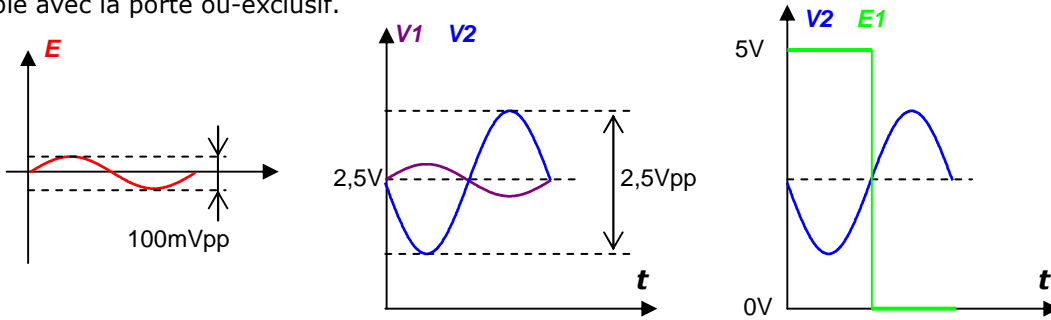
Q7 : Si la PLL est verrouillée, cela signifie que la sortie du VCO délivre la fréquence 990Hz. En reportant cette valeur sur la caractéristique on obtient alors $V_c=2,5V$

En régime continu, la résistance R_p permet de polariser la porte logique autour du point de repos (ou de polarisation) $V_2=V_1=V_{dd}/2$ comme l'indique la figure ci-contre.



Q9 : Le condensateur C_L permet d'appliquer la tension sinusoïdale d'entrée autour de ce point de fonctionnement car il joue le rôle d'un condensateur de liaison. En régime continu il est un circuit ouvert et ne modifie donc pas le point de polarisation. En alternatif et si l'on choisit une valeur suffisamment grande par rapport à la fréquence des signaux il se comporte comme un fil en transmettant ainsi la composante sinusoïdale.

Illustration du fonctionnement du montage permettant de transformer le signal sinusoïdal en un signal carré compatible avec la porte ou-exclusif.



Q9 : Lorsque l'on siffle dans le micro, le signal sur la voie CH1 apparaît et la PLL s'accroche comme en témoigne la sortie Lock Detect. En fonction de la note sifflée, la tension de commande du VCO change. En mesurant cette tension il est donc possible d'en déduire la fréquence et donc la note sifflée.

Sur le chronogramme proposé on mesure les tensions de commande 1,3V puis 2,3V et enfin 3,2V.

Dans la partie linéaire du VCO c'est à dire pour Vc compris entre 1V et 4,5V on peut écrire que $F_{vco} = K_{vco} \cdot V_c + F_0$ avec $K_{vco} = 160\text{Hz/V}$ et $F_0 = 590\text{Hz}$

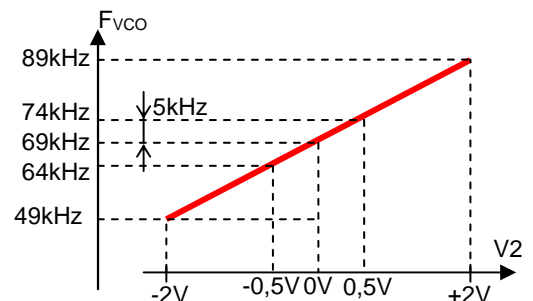
Pour les tensions mesurées on en déduit donc 3 fréquences : 798Hz 958Hz et 1102Hz ce qui nous donne donc les 3 notes SOL Sib et Do#

Problème n°5 : Un récepteur de test pour compteur LINKY

Q1 : Il s'agit d'un comparateur très performant en présence de bruit (indispensable pour l'application proposée) et qui est très simple à mettre en œuvre. Toutefois ce comparateur présente l'inconvénient d'une caractéristique non linéaire (uniquement par morceaux) et son gain de conversion dépend de l'amplitude des signaux sur son entrée.

Q2 : $K_{VCO} = (89-49)\text{kHz}/4\text{V}$ soit $K_{VCO} = 10\text{kHz/V}$

Q3 : Comme la PLL reste verrouillée cela signifie que le VCO délivre la même fréquence que le signal d'entrée. Dans ces conditions il suffit de reporter les fréquences sur la caractéristique du VCO
On obtient donc $V2 = -0,5\text{V}$ pour $f = F_S = 64\text{kHz}$
et $V2 = +0,5\text{V}$ pour $f = F_M = 74\text{kHz}$

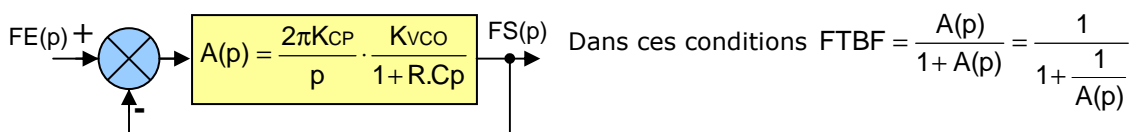


Q4 : Voir poly de cours

Q5 : Lorsque la PLL est verrouillée, on récupère une composante continue en sortie du multiplieur et une composante sinusoïdale de fréquence double de la fréquence d'entrée. Pour obtenir une tension de commande du VCO la plus continue possible il faut donc que $f_c \ll 2 \times 64\text{kHz}$ ce qui est le cas en prenant $f_c = 4,8\text{kHz}$

$R = \frac{1}{2\pi \cdot C \cdot f_c}$ donc $R = 22,1\text{k}\Omega$ soit $R = 22\text{k}\Omega$ en série normalisée

Q6 : Le schéma bloc peut se mettre sous la forme simplifiée suivante :



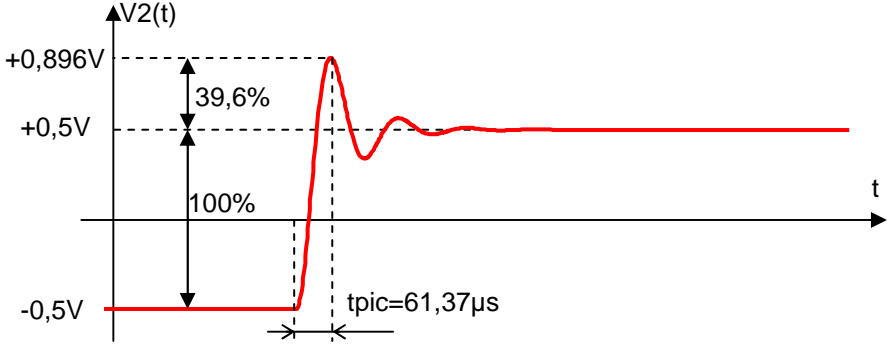
donc $FTBF = \frac{A(p)}{1 + A(p)} = \frac{1}{1 + \frac{p \cdot (1 + RCp)}{2\pi K_{cp} \cdot K_{vco}}}$ donc $FTBF = \frac{1}{1 + \frac{p}{2\pi K_{cp} \cdot K_{vco}} + \frac{RCp^2}{2\pi K_{cp} \cdot K_{vco}}}$ de la forme

$$FTBF = \frac{1}{1 + 2m \frac{p}{\omega_N} + \left(\frac{p}{\omega_N}\right)^2} \text{ avec } \omega_N = \sqrt{\frac{2\pi K_{CP} K_{VCO}}{RC}} \text{ et } \frac{2m}{\omega_N} = \frac{1}{2\pi K_{CP} K_{VCO}} \text{ soit } m = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{RC \cdot 2\pi K_{CP} K_{VCO}}}$$

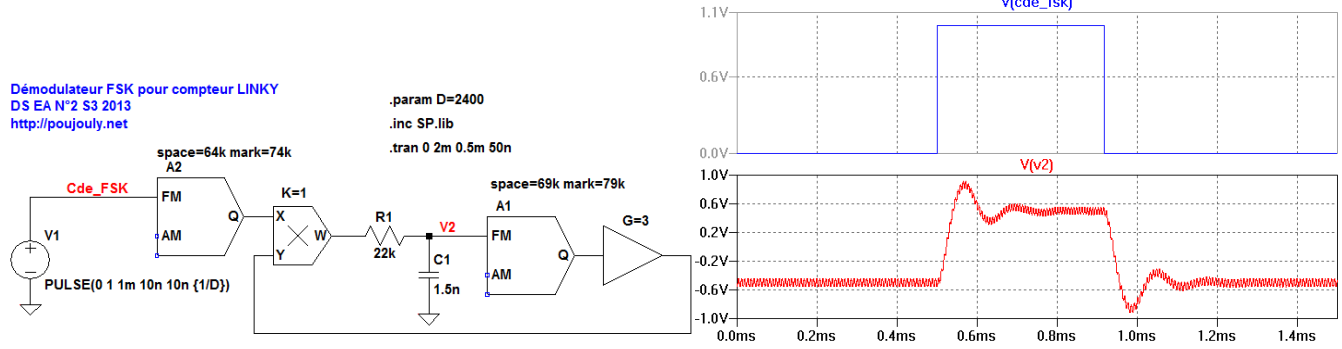
Comme $K_{CP} = \frac{K.E_o.S_o}{2}$ donc

$K_{CP} = 1,5V / rad$ ce qui donne
 $\omega_N = 53,32krad/s$ et $m = 0,28$

Q7 : Valeur du premier dépassement en : $D=39,6\%$ $tpic=61,37\mu s$



En effectuant une simulation LTSpice de la PLL on retrouve un résultat quasi-similaire, à la différence prêt que l'on constate un résidu de composante en 2FS ou 2FM sur le signal de commande du VCO



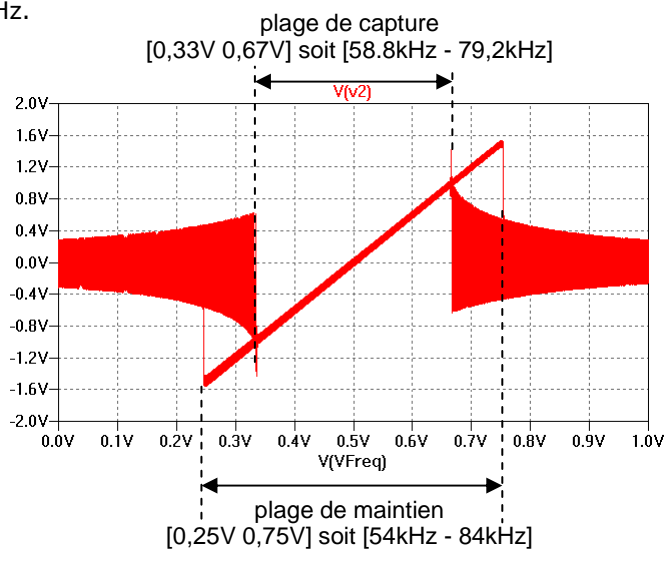
Comme on retrouve sur le signal de commande du VCO l'image des variations de fréquences (+0,5V pour FM=74kHz et -0,5V pour FS=64kHz) un comparateur permet de mettre en forme ce signal pour obtenir un signal numérique compatible TTL (0 / 5V)

Le paramètre Space correspond à la fréquence de sortie du bloc Modulate pour une tension de commande de 0V et le paramètre Mark pour une tension de 1V. Ces 2 paramètres permettent donc de définir complètement la caractéristique du VCO. En reprenant la caractéristique défini pour le VCO on montre que pour 0V la fréquence est de 69kHz et de 79kHz pour une tension de commande de 1V très simplement.

Le générateur V1 avec le bloc modulate A2 permet d'effectuer un balayage très lent sur la fréquence du signal d'entrée. Cela permet ainsi de mettre en évidence l'accrochage de la boucle à verrouillage de phase. Comme on injecte un signal triangulaire qui varie de 0 à 1V, les fréquences appliquées sur l'entrée du comparateur de phase varient donc entre 39kHz et 99kHz.

A partir du relevé obtenu on peut en déduire les plages de fonctionnement de cette PLL en utilisant la correspondance 0-1V 39kHz-99kHz

La plage de maintien peut se justifier aisément car la caractéristique du comparateur de phase ne peut pas fournir une amplitude pour la commande du VCO inférieure à -1,5V et supérieure à 1,5V. En reportant sur la caractéristique du VCO on en déduit une fréquence min de 54kHz et une fréquence max de 84kHz qui correspond exactement aux fréquences mesurées sur la plage de maintien.



Problème n°7 : Un émetteur pour localisation de fuites d'eau

Q1 : Antenne quart d'onde ou ground plane de longueur $L=17\text{cm}$ approximativement $\left(L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4.f}\right)$

Q2 : La PLL est utilisée en synthèse de fréquence donc $433,6\text{MHz}/3,3875\text{MHz} = 128$ correspond à la valeur du Prescaler donc MOD_CTRL= « high » et DIV_CTRL= « low »

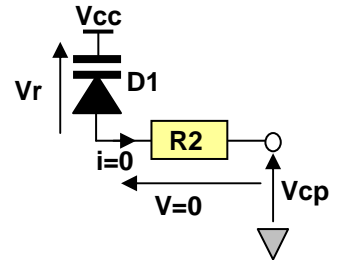
Q3 : Un VCO seul à base d'élément LC ne permet pas d'obtenir la précision et la stabilité nécessaire. Modulation sur l'entrée du VCO en choisissant un filtre de boucle suffisamment « lent » pour assurer la correction de dérive sur la valeur de la fréquence porteuse.

Q4 : La diode D2 est une diode Varicap qui permet de faire varier très légèrement la fréquence de l'oscillateur à quartz lorsque l'on applique un signal positif sur l'entrée de modulation Vmod.

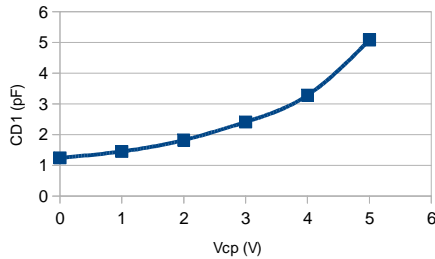
Q5 : Charge pump : voir Poly. Filtre de boucle C2 // R1 en série avec C1.

Q6 : Le filtre doit permettre à la boucle d'être suffisamment rapide pour avoir une bande passante de 10kHz.

Q7 : La résistance R2 permet de polariser la diode varicap D1 en inverse. En continu une inductance se comporte comme un circuit fermé. $V_r = V_{cc} - V_{cp}$ donc comme $V_{cp} < V_{cc}$ alors $V_r > 0$ ce qui permet d'avoir une diode varicap D1 polarisée en inverse.



Q8 :



Q9 : $f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq}C_{eq}}}$

avec $C_{eq} = C_{po} + \frac{C_o \cdot CD1}{C_o + CD1}$ et $L_{eq} = L1 + L2 = 54\text{nH}$

Q10 :

