

Une PLL utilisée en démodulation de fréquence

Contexte du problème

On s'intéresse dans le cadre de ce problème à une commande pour un mini robot filoguidé. Le principe de cette technique consiste à faire circuler un courant alternatif dans un fil enterré dans le sous-sol comme le montre la figure 1 ci-dessous. Le champ électromagnétique ainsi créé est alors détecté par le biais de petites bobines placées sur le robot mobile à proximité du sol conformément à la figure 2.

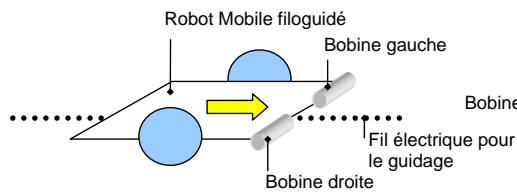


Figure 1 : Disposition du robot

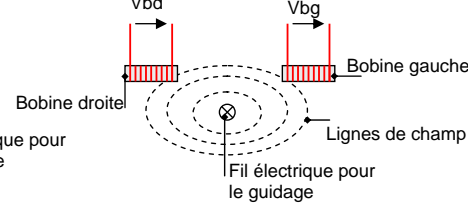


Figure 2 : Principe de détection

Les tensions alternatives récupérées aux bornes des bobines sont alors utilisées pour détecter la position du robot moyennant une amplification et une détection d'amplitude. On utilise alors une commande PWM pour chacun des 2 moteurs gauche et droit afin de guider le robot.

Dans le sujet proposé nous allons nous intéresser au dispositif mettant en œuvre une PLL permettant de détecter les commandes transmises aux robots via un changement de fréquence du courant alternatif circulant dans le fil de guidage. Les commandes numériques sont transmises à un rythme de 4800bits/s en utilisant 2 fréquences permettant de coder un bit 1 par une fréquence de $F1=106\text{kHz}$ et un bit 0 par une fréquence $F2=114\text{kHz}$. Afin de permettre une détection optimale l'entrée de la boucle à verrouillage de phase prend en compte les 2 voies de détection en les additionnant. La figure 3 ci-dessous illustre le schéma synoptique de l'ensemble.

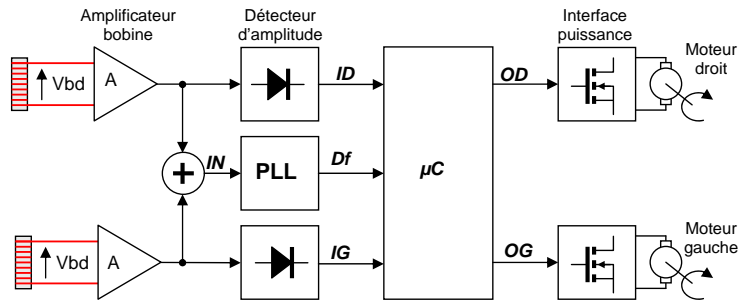


Figure 3 : Schéma synoptique du dispositif de détection et de commande du robot mobile

Nous vous proposons dans les parties suivantes l'analyse de la boucle à verrouillage de phase utilisée dans la détection des fréquences en commençant par l'étude du VCO. Nous effectuerons ensuite l'analyse du fonctionnement de la boucle d'un point de vue statique puis dynamique.

Etude du VCO

Le schéma ainsi que la caractéristique détaillée du VCO sont représentés sur la figure 4 ci-contre. On donne les renseignements suivants :

La fréquence centrale est $F_0 = \frac{1}{2,8 \cdot R_0 \cdot C_0}$

Le VCO délivre un signal numérique (0-Vdd) dont le rapport cyclique est de 50%. On donne $V_{dd}=3,3\text{V}$ et on fixe $F_0=110\text{kHz}$

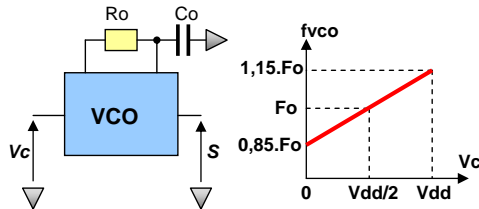


Figure 4 : Schéma et caractéristique du VCO

- Q1 : Justifier le choix effectué pour la valeur de F_0 .
- Q2 : Déterminer le gain de conversion K_{VCO} de ce VCO.

Q3 : Proposer un couple de valeur $R_0.C_0$ répondant à l'application en choisissant des valeurs dans les séries normalisées E12 pour R_0 & C_0 . Rappel série E12 : 10 12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82

Analyse du fonctionnement de la PLL

Le schéma de mise en œuvre de la PLL est représenté sur la figure 5 ci-dessous. Le signal amplifié en provenance des bobines de détection est appliqué sur l'entrée IN et un circuit de mise en forme U1 permet d'obtenir sur l'entrée E un signal compatible avec le fonctionnement du comparateur de phase.

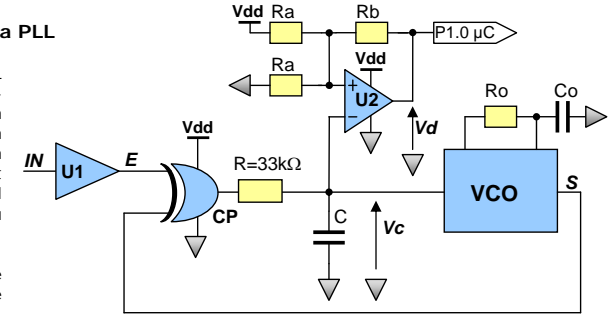


Figure 5 : Schéma de mise en œuvre de la PLL

- Q4 : Rappeler la caractéristique de transfert du comparateur de phase ainsi que son gain de conversion.
- Q5 : Lorsqu'une boucle à verrouillage de phase est verrouillée, que peut-on dire des signaux présents sur les entrées du comparateur de phase ?
- Q6 : Compte tenu des caractéristiques de transfert du comparateur de phase et du VCO, déterminer la plage de maintien de la boucle à verrouillage de phase.
- Q7 : En supposant que la PLL reste verrouillée et que le filtre RC joue parfaitement son rôle, quelle est l'amplitude du signal V_c lorsque le signal d'entrée à une fréquence de 106kHz puis de 114kHz ?

Modélisation & comportement dynamique de la PLL

Q8 : Justifier le schéma bloc représenté ci-dessous qui modélise la boucle à verrouillage de phase.

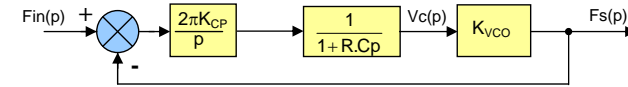


Figure 6 : Schéma bloc de la PLL

- Q9 : Compte tenu du rôle du filtre de boucle passe bas, on fixe comme valeur de fréquence de coupure $f_c=4,8\text{kHz}$. Justifier ce choix et en déduire la valeur de C .
- Q10 : Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'une fonction de transfert passe bas du 2nd ordre caractérisée par les grandeurs m et ω_n .
- Q11 : Calculer les valeurs de m et ω_n et en déduire les valeurs de $D1\%$ et t_{pic} dont les expressions sont $D1\% = 100 \cdot \exp\left(\frac{-\pi m}{\sqrt{1-m^2}}\right)$ et $t_{pic} = \frac{T_p}{2} = \frac{\pi}{\omega_n \cdot \sqrt{1-m^2}}$ rappelées ci-contre :
- Q12 : Représenter alors l'allure de V_2 lorsque l'on applique sur l'entrée de la PLL un signal dont la fréquence fait un saut entre $F1=106\text{kHz}$ et $F2=114\text{kHz}$.

Mise en œuvre des éléments annexes à la PLL

- Q13 : Quel est le rôle du montage mettant en œuvre le circuit U2 et les résistances R_a & R_b ? Quel est le nom du circuit U2 ?
- Q14 : Tracer la caractéristique de transfert de ce montage en indiquant clairement les tensions de seuils V_{t1} & V_{t2} ($V_{t1} < V_{t2}$).
- Q15 : Compte tenu de l'application envisagée, on fixe une tension d'hystérésis $V_h=V_{t2}-V_{t1}=0,4\text{V}$. On fixe $R_a=20\text{k}\Omega$, en déduire la valeur de R_b .