

Électronique

TD Synthèse de fréquence

May 15, 2020

1 Mise en œuvre d'une PLL

Le circuit intégré CD4046 est une PLL numérique dont la structure interne est donnée figure 1.

On utilise le comparateur de phase 1 (XOR ou OU EXCLUSIF).

1. On souhaite obtenir une plage de verrouillage de largeur $2f_L = 160$ kHz centrée autour de $f_0 = 80$ kHz. On fixe $V_{ss} = 0$ V, $V_{DD} = 5$ V et $R_1 = 10$ k Ω . À l'aide de l'abaque de la figure 2, déterminer R_2 et C_1 .

Par lecture de l'abaque, on trouve $C_1 = 400$ pF, avec $R_2 = +\infty$ (c'est à dire sans connecter de résistance!).

2. Représenter l'allure du signal de la sortie PC1_{OUT} pour un signal d'entrée TTL pour la PLL verrouillée. Quel est l'ordre de grandeur de sa fréquence ?

Un signal TTL est un signal dont l'amplitude est soit 0 V, soit +5 V. Lorsque la PLL est verrouillée, le déphasage entre SIGN_{IN} et COMP_{IN} est de $\pi/2$ (valeur moyenne $V_{cc}/2$, milieu de la zone linéaire). Le signal alors obtenu en sortie du comparateur de phase est alors celui représenté sur la figure 3. L'ordre de grandeur de la fréquence est alors

$$*f_{PC1} = 2f_e = 160 \text{ kHz.}*$$

La figure 4 représente quant à elle le cas du verrouillage harmonique: si la fréquence d'entrée est f_e et la fréquence de sortie $f_s = f_e/2$ alors la sortie du comparateur de phase a une fréquence $f_e/2$, mais sa valeur moyenne est la même que dans le premier cas, $V_{cc}/2$: la PLL est alors verrouillée, avec des fréquences d'entrée et de sortie différentes.

3. Le filtre passe-bas R_3-C_2 réalise la fonction moyenne. On souhaite que la composante AC du signal précédent soit au moins atténuée de 15 dB. Déterminer sa fréquence de coupure $f_{-3 \text{ dB}}$. Déterminer R_3 pour $C_2 = 1$ nF.

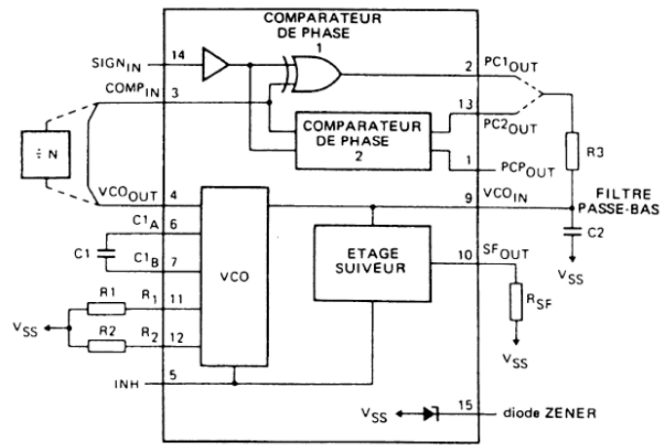


Figure 1: Circuit intégré CD4046

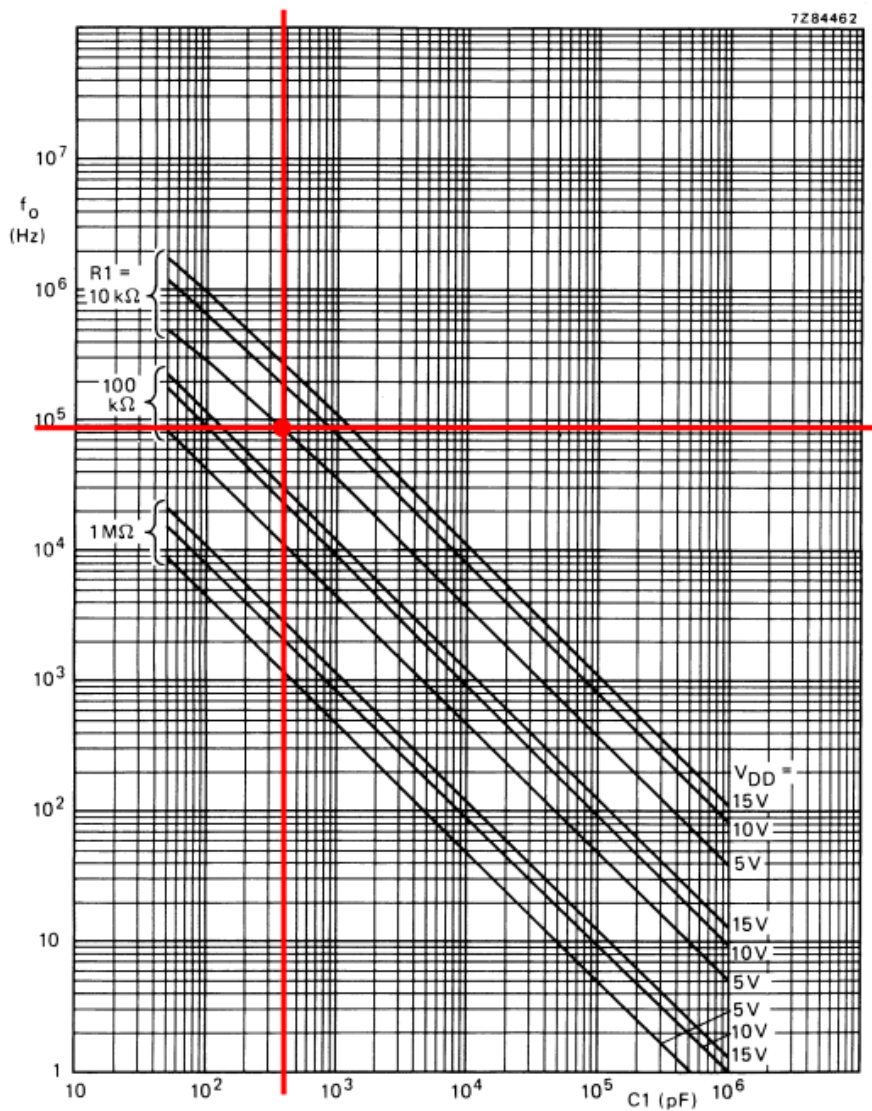


Figure 2: Évolution de la fréquence centrale f_0 en fonction de C_1 pour $R_2 = +\infty$.

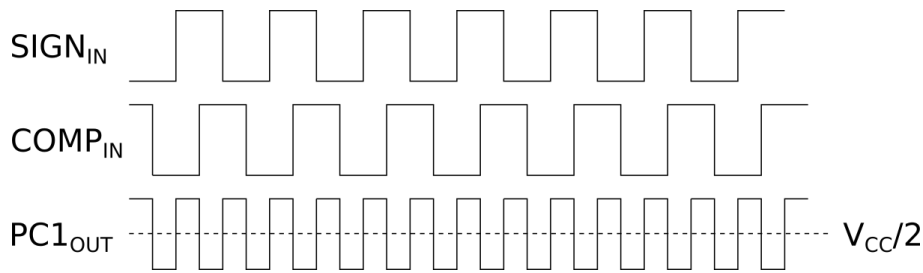


Figure 3: Signaux d'entrée et de sortie du comparateur de phase XOR, lorsque la PLL est verrouillée.

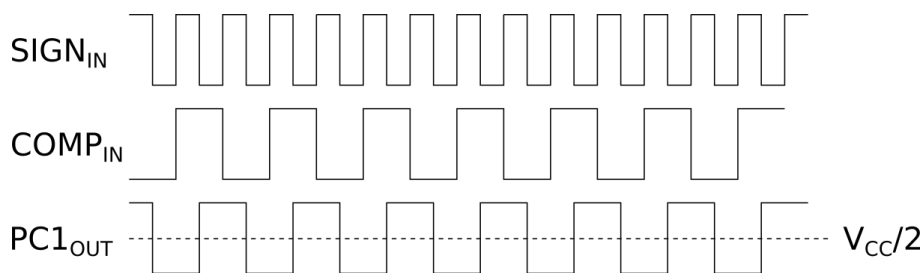


Figure 4: Signaux d'entrée et de sortie du comparateur de phase XOR, lorsque la PLL est verrouillée sur un sous-harmonique du signal d'entrée $SIGN_{IN}$.

La filtre passe-bas est un filtre passif d'ordre 1. On peut alors approcher sa fonction de transfert $H_{dB}(j2\pi f)$ par une zone constante à 0 dB dans la bande passante, puis une zone linéaire de pente -20 dB/dec à partir de la fréquence de coupure f_{-3dB} du filtre. Sachant que

$$H_{dB}(f_{PC1}) = -15 \text{ dB}, \text{ on en déduit que:}$$

$$\frac{-15 \text{ dB} - 0 \text{ dB}}{\log_{10}(f_{PC1}) - \log_{10}(f_{-3dB})} = -20 \text{ dB/dec} \Leftrightarrow f_{-3dB} \approx 28 \text{ kHz}$$

La fréquence de coupure est également donnée par $f_{-3dB} = 1/(2\pi R_3 C_2)$
d'où $R_3 = 1/(2\pi C_2 f_{-3dB}) \approx 5,6 \text{ k}\Omega$.

2 Principe d'un synthétiseur de fréquence

On s'intéresse à un synthétiseur de fréquence dont la structure est donnée sur la figure 5.

1. Établir l'expression de la fréquence de sortie f_s de ce synthétiseur en fonction de la fréquence f_x de l'oscillateur à quartz et des rapports de division M et N . On donnera l'expression littérale du pas P de ce synthétiseur.

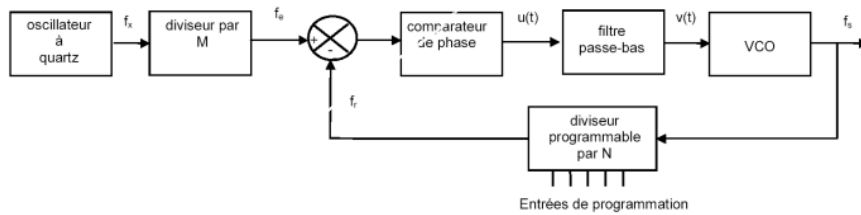


Figure 5: Schéma d'un synthétiseur de fréquence.

$$f_s = \frac{N}{M} f_x$$

2. On désire synthétiser la porteuse d'un émetteur FM dans la bande de 88 à 108 MHz avec un pas de 50 kHz. En supposant un oscillateur à quartz de $f_x = 10$ MHz, proposer des valeurs pour M et N .

$f_s = NP$ d'où $P = \frac{f_x}{M}$. Pour un pas de synthèse de 50 kHz, avec $f_x = 10$ MHz, on pourra prendre par exemple $M = 200$. Le rapport de division N variera alors de 1760 à 2160 pour couvrir toute la bande FM.

3. Pour le milieu de bande, quelle est la fréquence en sortie du comparateur de phase en supposant qu'il s'agisse d'un OU exclusif. En déduire un ordre de grandeur de la fréquence de coupure du filtre passe-bas. Si on admet pour simplifier que le filtre passe-bas est du premier ordre, donner un ordre de grandeur du temps que met le synthétiseur pour changer de canal. Que peut-on dire de ce temps si on diminue encore le pas de la synthèse?

En milieu de bande, on a $f_s = 98$ MHz soit $N = 1960$. La fréquence en sortie du OUEX est double, soit $98 \text{ MHz}/1960 = 100 \text{ kHz}$. Pour extraire la valeur moyenne et supprimer le 100 kHz et ses harmoniques, il faut couper nettement en-dessous de cette fréquence, soit $f_c = 1 \text{ kHz}$ ou mieux $f_c = 100 \text{ Hz}$. Un passe-bas du premier ordre qui coupe à 100 Hz a une constante de temps $\tau = 1/(2\pi f_c) = 0,16 \text{ s}$. Ce qui correspond à un temps de réponse $t_r = 3\tau \approx 0,5 \text{ ms}$. Si on abaisse le pas d'un facteur 10, il faudra couper 10 fois plus bas, et le temps de réponse sera 10 fois plus long.