

Systèmes bouclés

Rapport de jury

L'année dernière, le titre du montage était "Systèmes bouclés (**oscillateurs exclus**)". Ce changement de titre sous entend que l'on doit maintenant parler d'oscillateurs dans le montage.

Bibliographie

- [1] Roger Duffait. *Expérience d'électronique*.
 [2] Michel Krob. *Electronique expérimentale*.

Plan du montage

1	Oscillateur à porte logique	2
1.1	Système bouclé à mémoire	2
1.2	Oscillateur logique	2
2	Oscillateur à pont de Wien	3
2.1	Etude en boucle ouverte	3
2.2	Etude en boucle fermée	4
3	Asservissement en position d'un moteur à courant continu	5
3.1	Principe	5
3.2	Etude préliminaire	6
3.3	Réponse indicielle	7
3.4	Amélioration de l'asservissement	7

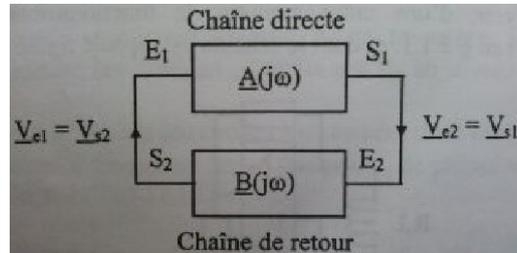
Introduction

On connaît des systèmes pour lesquels on envoie une tension d'entrée, et on récupère une tension de sortie réponse du système à l'excitation, ce système est dit à boucle ouverte. Dans l'intérêt du physicien ou d'utilisateurs, notamment pour obtenir une réponse linéaire à une excitation, certains systèmes ont besoin d'une contre-réaction pour fonctionner convenablement. Ce sont des systèmes bouclés (à boucle fermée). Le plus souvent cette contre-réaction permet de suivre fidèlement une consigne. Un système en boucle ouverte s'écrit sous la forme :

$$H_{BO}(j\omega) = AB \quad (1)$$

Le système bouclé se met sous la forme :

$$H_{BF}(j\omega) = \frac{A}{1 + AB} \quad (2)$$



Dans ce montage nous allons étudier différents systèmes bouclés : l'oscillateur à pont de Wien, et l'asservissement en position d'un moteur. Avant cela nous allons présenter un exemple de système bouclés utilisant des portes logiques.

1 Oscillateur à porte logique

1.1 Système bouclé à mémoire

Ce système bouclé utilise 2 portes NAND.

x	y	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

TABLE 1 – Tableau de vérité de la fonction NAND

On alimente les portes avec une alimentation continue de 5V.

Expérience :

Système bouclé à mémoire

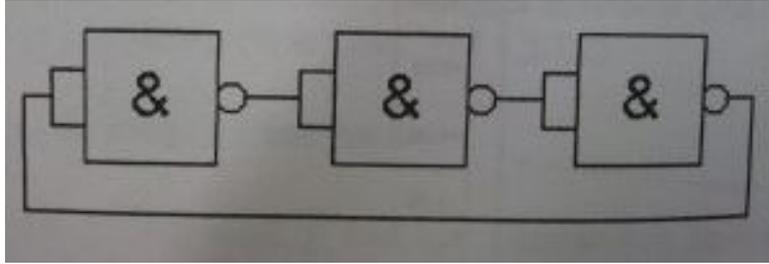
On alimente les portes avec une alimentation continue de 5V. On boucle 2 porte NAND. On impose un 0 à l'entrée d'une porte via la masse, et on obtient 1 en sortie. On peut vérifier que le système conserve bien le bit en retirant la masse. On a donc fabriquer une case mémoire. On peut faire de même en imposant 1 et ainsi stocker 0 en mémoire.

Transition : Ce système bouclé relativement simple nous donne l'impression que la commande de porte logique s'effectue instantanément, or il n'en est rien. Dans l'expérience suivante nous allons nous intéresser à la vitesse de commutation de la porte.

1.2 Oscillateur logique

[1]p250

On constitue un système bouclé contenant un nombre impair n de portes NAND, ici n=1.



Expérience :

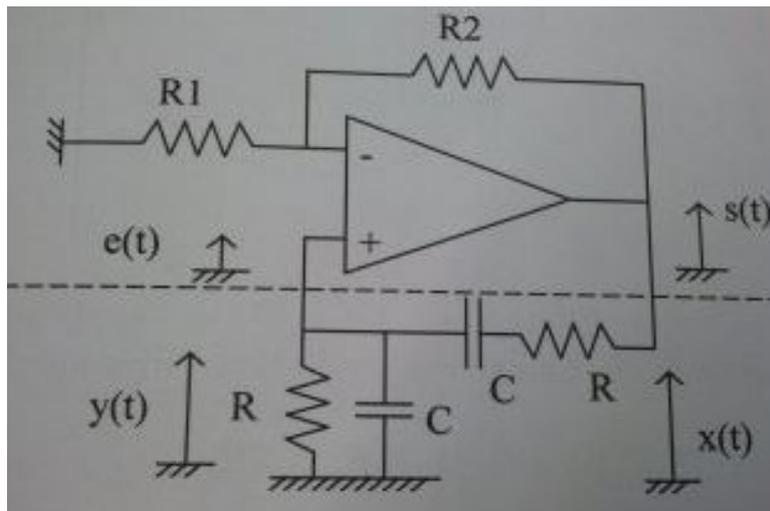
Oscillation du système bouclé à portes logiques

On observe des oscillations à l'oscilloscope ou Latis pro. On considère que le temps de propagation de la tension dans les fils est instantané. On mesure plusieurs périodes et on trouve un temps de réponse : $\tau_{exp} = \dots \pm \dots ns$.

On compare à la valeur théorique de : $\tau_{mth} = 70ns$.

2 Oscillateur à pont de Wien

[2]p134



2.1 Etude en boucle ouverte

Idée générale : Un tel amplificateur permet d'amplifier le bruit électronique et de ne garder qu'une seule fréquence. Nous allons étudier son fonctionnement dans cette partie.

L'étude en boucle ouverte permet de trouver les caractéristiques de l'oscillateur avant de le boucler et de vérifier que nous obtenons les oscillations attendues.

Ce circuit est composé de 2 parties :

- chaîne directe : un AO non inverseur dont la fonction de transfert s'écrit :

$$H_1(j\omega) = \frac{s(t)}{e(t)} = 1 + \frac{R_1}{R_2} = H_0 \quad (3)$$

- chaîne de retour : un pont diviseur RC série-RC parallèle qui fait office de filtre. La fonction de transfert s'écrit (le moins vient de la définition du système bouclé avec soustracteur)

$$H_2(j\omega) = -\frac{v_s(t)}{s(t)} = -\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{-1}{1 + Y_1.Z_2} H_2(j\omega) = \frac{-1}{1 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{C_4}{C_3} + j(C_4.R_3.\omega + \frac{1}{R_4.C_3.\omega})} \quad (4)$$

Si on prend $C_3 = C_4 = C$ et $R_3 = R_4 = R$ on a alors

$$H_2(j\omega) = \frac{K_0}{1 + j.Q(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})} \quad (5)$$

avec $K_0 = \frac{-1}{3}$, $Q = \frac{1}{3}$ et $\omega_0 = \frac{1}{RC}$.

C'est un filtre passe bande.

La fonction de transfert en BO s'écrit :

$$T(j\omega) = H_1(j\omega).H_2(j\omega) = \frac{H_0.K_0}{1 + j.Q(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})} \quad (6)$$

Expérience :

Caractérisation expérimentale du filtre.

Valeur des composants : $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$, $R = 1k\Omega$, $C = 1\mu F$

Pour caractériser le filtre, on montre tout d'abord que l'on a une résonance vers $f=160$ Hz à l'oscilloscope, que $Q = \frac{1}{3}$. Pour cela 2 façons :

- Qualitativement : mode XY. En effet la resonance apparaît pour une phase de la fonction de transfert nulle donc en mode XY cal correspond à une droite et non une ellipse. Pour évaluer l'erreur on regarde sur quelle gamme on considère que l'on a une droite. On trouve $f_0 = \dots \pm \dots Hz$
- Diagramme de bode : On modélise par une filtre passe-bande et on obtient $f_0 = \dots \pm \dots Hz$ et $Q = \frac{f_0}{f_{c2}-f_{c1}} = \dots \pm \dots$

Comparaison avec les résultats théoriques : résonance lorsque $arg(T(j\omega)) = 0$ donc on a

$$\omega_{0th} = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_{0th} = \frac{1}{2.\Pi.R.C} = \dots \pm \dots Hz \quad (7)$$

$$G_{th} = 20 \log\left(\frac{1 + \frac{R_1}{R_2}}{3}\right) = \dots \pm \dots dB \quad (8)$$

$$Q_{th} = \frac{1}{3} \quad (9)$$

2.2 Etude en boucle fermée

On enlève le GBF et on boucle la sortie sur l'entrée. On obtient ainsi un système bouclé qui est instable à partir d'une certaine valeur de R_2

Expérience :

Oscillation du filtre de Wien

On prend une résistance R_2 réglable à l'ohm près. On commence avec une valeur faible de R_2 par exemple, 100Ω et on augmente sa valeur jusqu'à avoir un signal oscillant, et on cherche la valeur limite de la résistance, on mesure la résistance à l'ohmètre ; ce qui est plus précis que la valeur indiquée par la boîte.

$$R_{min} = \dots \pm \dots \Omega \quad (10)$$

La valeur théorique que l'on doit trouver est $R_2 = 2 * R_1$.

On sait que les conditions d'obtention des oscillations sont les conditions de Barkhausen $T(j\omega) = -1$. Cela impose une condition à la fois sur la phase $arg(T(j\omega))=0$ et sur l'amplitude $T(j\omega)=-1$. La condition sur la phase est imposée par le filtre et on va fixer la fréquence des oscillations à la fréquence.

Expérience :

Vérification de la fréquence d'oscillation

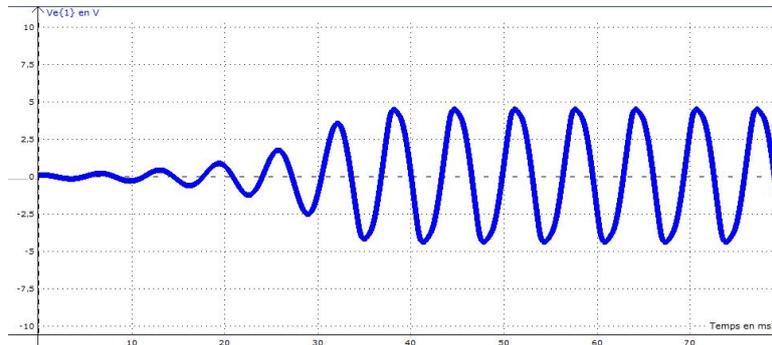
On mesure la fréquence des oscillations à l'oscilloscope ou avec Latis Pro et on trouve

$$f_{oscil} = \dots\dots\dots \pm \dots\dots Hz \tag{11}$$

Expérience :

Naissance des oscillations

On fait l'acquisition sous Latis Pro de la naissance des oscillations, et on modélise (en traçant le signal en fonction de -t) par un sinus amorti. Mesure de la pseudo-période (qui doit être la même que précédemment)



Expérience :

Portrait de phase

Sous Latis Pro, on peut tracer le portrait de phase de la naissance des oscillations.

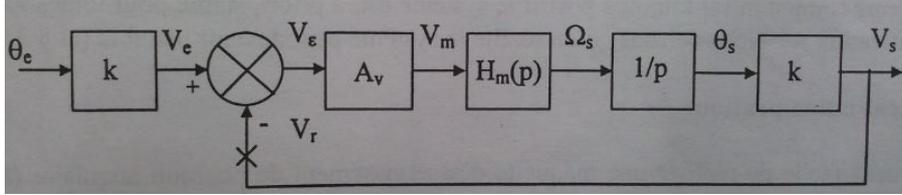
On a vu avec cet oscillateur que les systèmes bouclés peuvent être instables et provoquer des oscillations du système, mais ce comportement n'est pas forcément recherché. On veut que le système soit le plus stable possible pour contrôler et avoir le plus de précision possible, c'est maintenant ce type de comportement que l'on va étudier avec un système asservi.

3 Asservissement en position d'un moteur à courant continu

[1]p328

3.1 Principe

On souhaite commander la position du clou par une consigne électrique. Pour réaliser la commande d'une grandeur de sortie par une grandeur d'entrée appelée consigne, on réalise un asservissement qui est un système bouclé à contre-réaction. On compare la grandeur de sortie X_s , à la consigne X_e de manière à ce que $X_s \rightarrow X_e$. Au contraire d'un asservissement en vitesse (système régulateur) l'asservissement en position du moteur est un système suiveur (la grandeur de sortie doit suivre les variations de la grandeur d'entrée).



Pour le schéma électrique voir Duffait

Remarque : On remplacera l'AO3 du Duffait par un ampli de puissance de gain 10. Il ne faudrait pas l'oublier par la suite.

Ce système permet la commande de l'angle θ_s , qui repère la position du clou par le biais de V_s au moyen d'une commande V_e . Le moteur est commandé par un amplificateur différentiel (AO1) dont la tension différentielle d'entrée est $V_e = V_e - V_s = k(\theta_e - \theta_s)$. Lorsque $V_e \neq 0$ le moteur tourne entraînant le potentiomètre P_s de manière à ce que V_e diminue, et s'arrête lorsque $V_e = 0$, on a alors $\theta_e = \theta_s$. La consigne est suivie.

3.2 Etude préliminaire

L'étude détaillée est faite dans le Duffait pages 328 à 335. Si on représente l'asservissement par le schéma bloc précédent, avec :

- Amplificateur différentiel de gain 1
- Gain $A_v = \frac{-R_2}{R_1}$
- Moteur : $H_m = \frac{A_m}{1+p\tau_m}$

Fonction de transfert en boucle ouverte :

$$FTBO = \frac{V_s}{V_e} = \frac{k \cdot A_v \cdot H_m}{p} = \frac{k \cdot A_v \cdot A_m}{p(1 + p\tau_m)} = \frac{B_m}{p(1 + p\tau_m)} \quad (12)$$

Fonction de transfert en boucle fermée :

$$FTBF = \frac{FTBO}{1 + FTBO} = \frac{V_s}{V_e} = \frac{\frac{B_m}{\tau_m}}{p^2 + \frac{p}{\tau_m} + \frac{B_m}{\tau_m}} = \frac{\omega_0^2}{p^2 + 2m\omega_0 p + \omega_0^2} \quad (13)$$

avec

- $\omega_0 = \sqrt{\frac{k \cdot A_v \cdot A_m}{\tau_m}}$ est la pulsation propre
- $m = \frac{1}{2\omega_0 \cdot \tau_m} = \frac{1}{2\sqrt{k \cdot A_v \cdot A_m \cdot \tau_m}}$ est le coefficient réduit d'amortissement
- $\omega_r = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - 2m^2}$ la pulsation de resonance

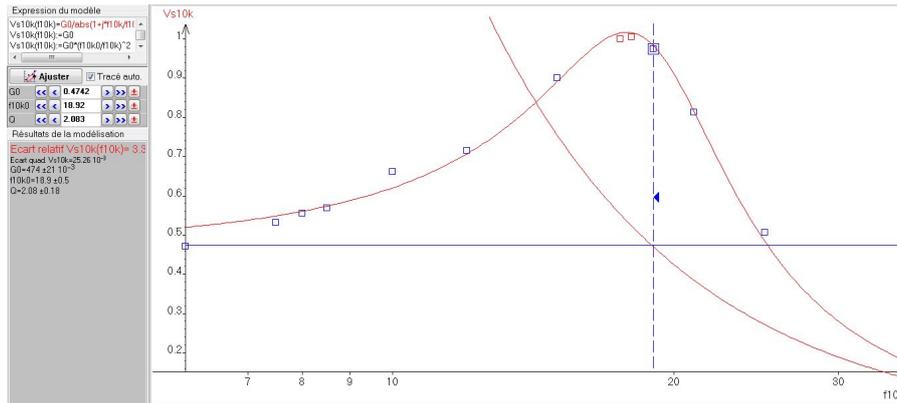
On remarque que si A_v augmente (par exemple R_2 augmente), ω_0 augmente et donc m diminue, on peut montrer ceci expérimentalement. On est en présence d'un filtre passe-bas du deuxième ordre.

Expérience :

Diagramme de Bode

On prend $R_2 = 10k\Omega$, et on a donc un gain global de 10. Pour tracer le diagramme on prend point par point ou wobulation.

On justifiera l'ordre 2 (pente de -40dB/decade) et on modélise le filtre sous Latis Pro. On retrouve la pulsation de résonance, on peut mesurer le gain maximal et en déduire m . On peut comparer avec les valeurs théoriques. Il est aussi possible de montrer que si on augmente m en diminuant R_2 par exemple, le gain maximal du diagramme de bode diminue.



Nous avons donc caractérisé notre système, on va maintenant étudier la qualité de cet asservissement.

3.3 Réponse indicielle

Pour caractériser un asservissement, on va appliquer une tension "créneau" de faible fréquence, et regarder la réponse. C'est ce qu'on appelle la réponse indicielle. A partir de là, on peut mesurer plusieurs paramètres qui vont caractériser l'asservissement et notamment voir leur évolution en fonction du gain que l'on peut modifier grâce à R_2 :

- Le dépassement D qui augmente lorsque m diminue. Quand l'amplification augmente, il apparaît des oscillations avec des dépassements par rapport à la valeur du régime permanent. Il est important de l'estimer.

$$D = \frac{V_s(t) - V_e(t)}{V_e(t)} = \exp\left(\frac{-\Pi.m}{\sqrt{1-m^2}}\right) \quad (14)$$

- Le temps de réponse τ_r : durée nécessaire pour que la réponse ne diffère pas plus de 5% de la valeur finale
- Le temps de montée τ_m : durée nécessaire pour que la réponse passe de 10% à 90% de la valeur finale

Expérience :

Caractérisation de l'asservissement

- 1) On peut remarquer que quand R_2 augmente, on peut plus difficilement bouger le clou de sa position de consigne. Cela témoigne de façon qualitative de la précision du système.
- 2) Pour différentes valeurs de R_2 on peut montrer la réponse indicielle.
- 3) Pour différentes valeurs de R_2 , mesurer le déplacement D et en déduire m . Mesurer le temps de montée et le temps de réponse.

Conclusion : On voit que quand $R_2 \nearrow$ l'asservissement est plus précis, et $\tau_m \searrow$, mais $D \nearrow$ (et $m \searrow$). L'idéal serait de diminuer τ_m et D en même temps : c'est possible avec un correcteur.

3.4 Amélioration de l'asservissement

L'utilisation d'un correcteur va permettre d'agir sur l'amortissement, tout en conservant la même amplification, il n'y aura donc pas de modification de τ_m que l'on conservera faible (système rapide). Le correcteur est introduit dans la chaîne directe, ainsi la nouvelle fonction de transfert en boucle ouverte sera :

$$FTBO'(p) = FTBO(p) \cdot C(p) \quad (15)$$

Plusieurs types de correcteur existent suivant les modifications que l'on souhaite apporter. Ici un correcteur à avance de phase est adapté. Sa fonction de transfert est :

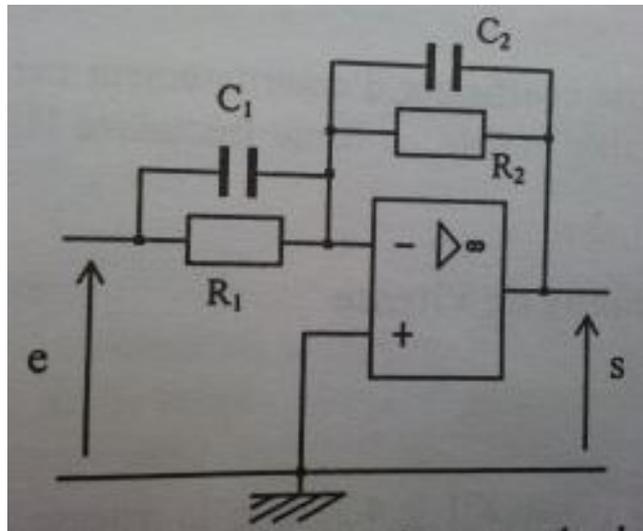
$$C(p) = \frac{1 + \tau_1 p}{1 + \tau_2 p} \quad (16)$$

où $\tau_1 > \tau_2$. En choisissant $\tau_1 = \tau_m$, on obtient :

$$FTBO'(p) = \frac{B_m}{p(1 + p\tau_m)} \cdot \frac{1 + \tau_1 p}{1 + \tau_2 p} = \frac{B_m}{p(1 + p\tau_2)} \quad (17)$$

La fonction de transfert a la même forme avec et sans correcteur, on a simplement remplacé τ_m par τ_2 , qui est plus faible, ce qui va augmenter le coefficient d'amortissement m et donc réduire les dépassements dans la réponse indicielle, tout en conservant B_m c'est à dire le même comportement vis-à-vis des perturbations.

Pour mettre en place le correcteur, on a juste à modifier l'AO 2 non inverseur en ajoutant des capacités en parallèles des résistances comme suit :

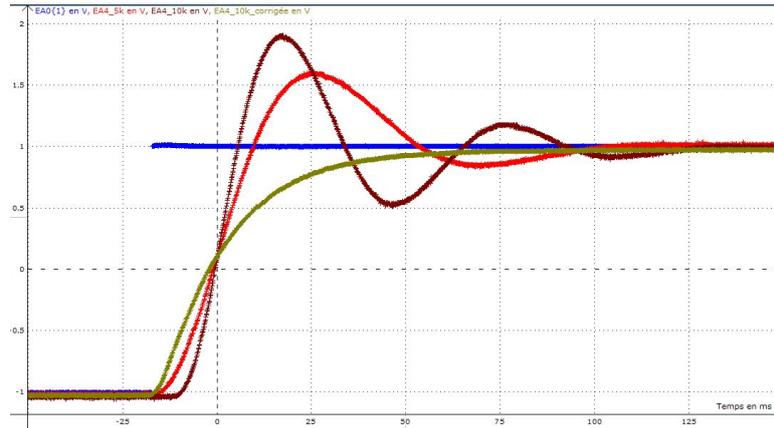


Pour avoir $\tau_1 = \tau_m$, on prend $C_1 = 1.74 \mu F$. Ensuite on veut passer à $m=2.4$ par exemple, et donc on prend $\tau_2 = \frac{\tau_m}{(2.4)^2} = 2.95 ms$ soit $C_2 = \frac{\tau_2}{R_1} = 30 nF$.

Expérience :

Mise en place du correcteur puis réponse indicielle

On met en place le correcteur, puis constatation des effets : dépassements réduits, et système rapide. Mesures quantitatives.



Conclusion

Dans une première nous avons vu que les systèmes bouclés peuvent être très simple, avec deux portes logiques, et l'on peut même obtenir un oscillateur. Ce système peut servir de mémoire logique, comme celle que l'on peut retrouver dans les ordinateurs (en plus simple). Puis nous avons vu que les systèmes bouclés peuvent provoquer de l'instabilité, des oscillations avec l'étude du pont de Wien. Pour finir l'étude l'asservissement en position du MCC nous a permis d'étudier une autre facette des systèmes bouclés peut être plus utilisé, pour obtenir des systèmes stables et précis. Les applications d'asservissement en position comme nous en avons étudié le principe sont nombreuses, on peut citer une fraiseuse ou encore un ascenseur.