

MP 30

# Systèmes bouclés (oscillateurs exclus)

Bibliographie : Duffaut

## I) AO non inverseur

- 1) boucle ouverte
- 2) système bouclé

## II) Asservissement en position d'un moteur

- 1) Principes
- 2) Réponse indicielle à fort gain
- 3) Qualité de l'asservissement

## III) Boucle à verrouillage de phase

- 1) Principes
- 2) Régimes transitoires

## Introduction

Un système bouclé est un système permettant de contrôler un point de fonctionnement en reliant la sortie à l'entrée du dispositif.

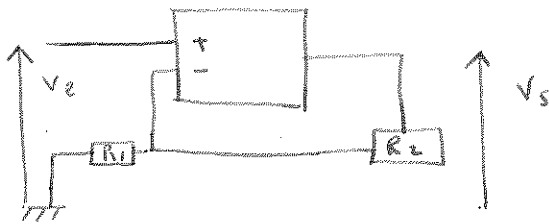
Dans ce montage, nous mettrons en évidence quelques propriétés fondamentales des systèmes bouclés puis nous montrerons leur intérêt par un asservissement en position (moteur) et en fréquence (boucle à verrouillage de phase)

On se limitera aux systèmes bouclés stables ce qui exclut les oscillateurs.

# I) AO non inverseur

Intérêt de l'AO non inverseur: génération de tension amplifiée par rapport à l'entrée.

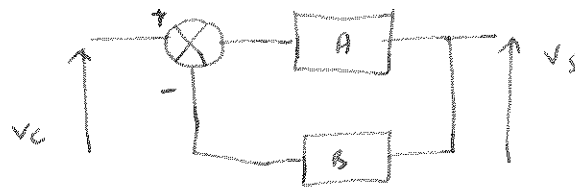
Montage:



$$R_1 = 0,977 \pm 0,001 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 99,4 \pm 0,1 \text{ k}\Omega$$

Le dispositif est équivalent à:



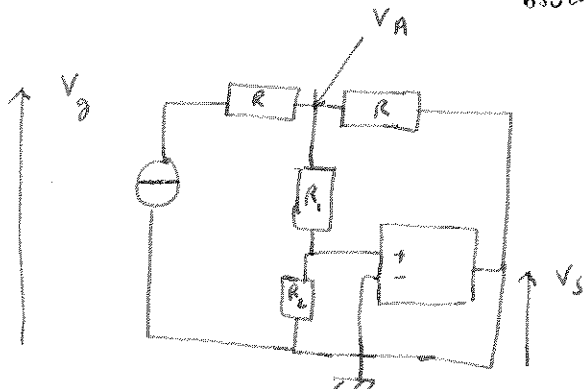
M. l'oh:  $A = \frac{\mu_o}{1 + j\frac{\omega}{\omega_o}}$

$$B = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 103 \pm 2$$

$$H = \frac{A}{1 + AB}$$

## 1) Boucle ouverte

Pour caractériser la boucle ouverte, il faut déterminer A. Par cela on utilise le montage suivant: on cherche à mesurer  $\mu_o, \omega_o$ . On passe par un bouch fermé car sinon  $\mu_o$  trop grand: mesures impossibles.



$$V_s = -\mu_o V_- = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} \mu_o V_A$$

$$\Rightarrow \mu_o = -k \frac{V_s}{V_A} \quad k = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 103 \pm 2$$

(tension continues)

en fait deux mesures  
symétriques pour éliminer  
l'offset  
résiduel  
(ex:  $V_g = \pm 5V$ )

$$\begin{cases} V_{A1} = \\ V_{A2} = \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{s1} = \\ V_{s2} = \end{cases}$$

⚠ réglage de  
l'offset super  
important

On a donc

$$\mu_0 =$$

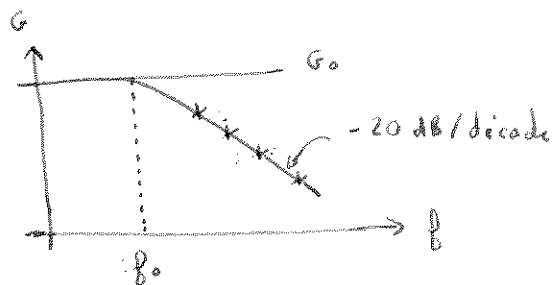
$$\Rightarrow G_0 =$$

$$G_0 = 20 \log \left( \frac{V_S}{V_A} \right)$$

Pour obtenir A, on se place en régime sinusoïdal :

$$A(\omega) = \frac{\mu_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{V_S}{V_A}$$

$$G = 20 \log \left( \frac{V_S}{V_A} \right)$$



Difficile d'obtenir des points à basses fréquences.

On obtient donc des points à hautes fréquences et connaissant  $G_0$ , on détermine

$f_0$  (intersection des droites)

À hautes fréquences:  $G = -a \log f + b$

$$\Delta f_0 = \frac{f_0}{a} \left( \Delta b + \Delta G_0 + (b - G_0) \frac{\Delta a}{a} \right)$$

$$\Rightarrow f_0 = 10^{\frac{b - G_0}{a}}$$

↓  
linéarisation

$$f_0 =$$

$$\mu_0 f_0 =$$

Produit gain/bande passante

2) Système haute

$$H = \frac{V_S}{V_C}$$

Max à  $f = 70 \text{ kHz}$

$$v_s =$$

$$v_c =$$

$$H_0 =$$

$$f'_0 =$$

$$H_0 f'_0 =$$

Produit gain/bande passante

- le produit gain/bande passante est constant  
 $\Rightarrow$  compromis entre le gain et la bande passante  
 selon l'utilisation souhaitée

Le produit est imposé par la chaîne ouverte.

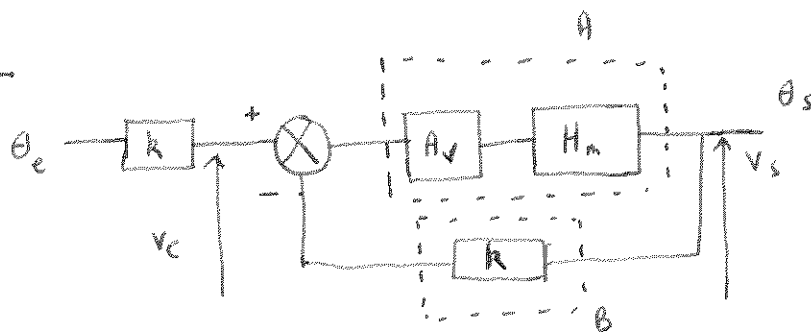
La rétroaction sert à stabiliser le système.

Ici  $H = \frac{A}{1 + AB}$   $|A| \gg B$  donc  $H \sim \frac{1}{B}$  (modèle de l'AO idéal)

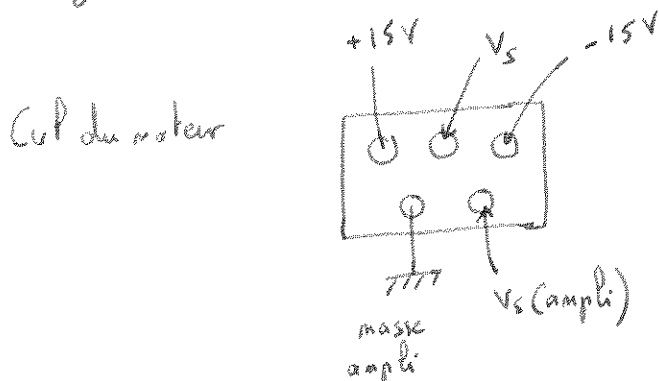
Le système ne sera donc pas sensible aux perturbations apparaissant dans la chaîne directe (bruit thermique...). On a donc bien un asservissement stable en tension.

## II) Asservissement en position : Moteur à courant continu

1) Principe:



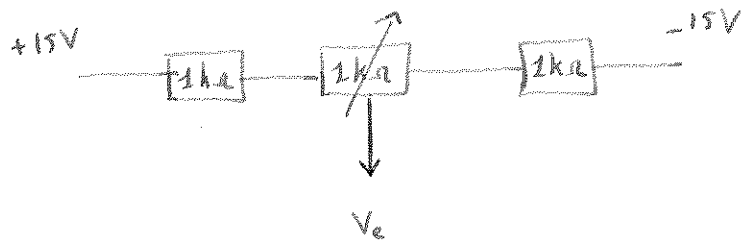
NB: Comment faire marcher le moteur... (Merci Robin !)



L'ampli est indispensable pour faire marcher la machine.

En plus de cet ampli de courant, on utilise un ampli inverseur de gain variable pour amplifier la tension.

Pour  $\theta_E$  : Matérialiser par un potentiomètre identique à celui du moteur



Mettre une boîte AOIP (plus visible)

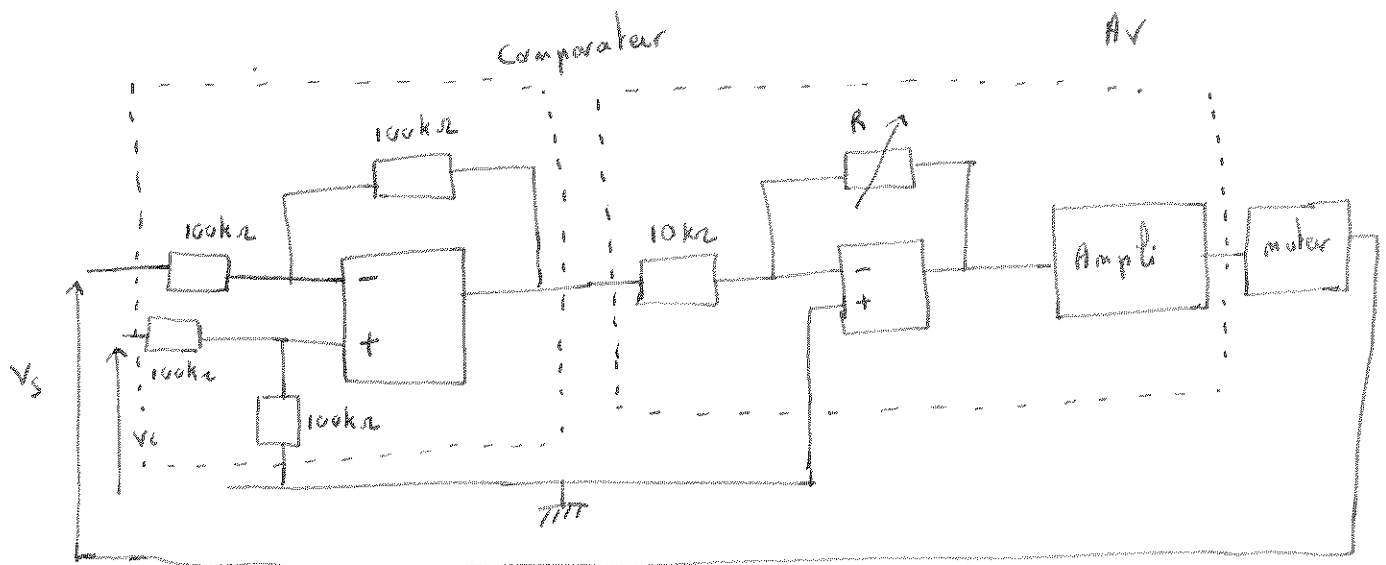
↳  en on tourne et ça fait tourner le barreau !

⚠ Les masses des alim  $\pm 15V$  (masse flottantes) doivent être reliées à la masse des AO.

⚠ Ne pas fixer la masse des  $\pm 15V$  sur le coté du moteur.

On cherche à asservir la position du clou à caractériser et asservissement. La sortie en tension est  $\propto$  à l'écart d'angle. Cette tension va mettre en mouvement le moteur pour rendre à travers cette différence de tension.

Montage :



En boucle ouverte, avec une entrée continue, ça tourne !  
(et peut-être...).

Le moteur est une machine à courant continu  $\rightarrow$  équation mécanique et électrique.

En combinant les deux, on obtient:

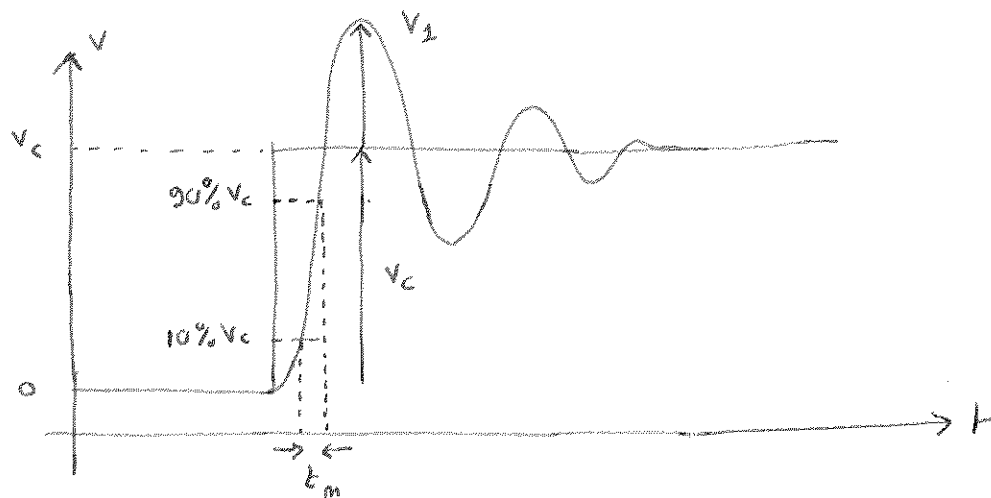
|                                                                                       |                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| $H(\omega) = \frac{\omega_0^2}{[(\omega - \omega_0)^2 + (2m\omega\omega_0)^2]^{1/2}}$ |                                |
| $\omega_0 \propto \sqrt{R}$                                                           | $m \propto \frac{1}{\sqrt{R}}$ |

cf. Duffait par les calculs

Fonction de transfert en haute fréquence

## 2) Réponse indicielle en gain fort

On change la consigne:



Réglé :  
 $\theta$  : Hystérésis  
 $\theta = 8$

On a réalisé un échelon de tension. En dérivant la réponse à cet échelon de tension, on obtient la réponse impulsionnelle. En faisant la TF de cette dérivée, on obtient la fonction de transfert  $H$  du système.  $H_{max}$  donne  $m$  :  $H_{max} = \frac{1}{m\sqrt{1-m^2}}$

La résonance donne  $\omega_0$  :  $\omega_r = \omega_0 \sqrt{1-2m^2}$

|                       |
|-----------------------|
| $m =$<br>$\omega_0 =$ |
|-----------------------|

### 3) Qualité de l'asservissement:

\* stable: si on bouge le clov, retour à l'équilibre

\* Dépassement  $D = \frac{V_1}{V_c}$

$$D =$$

Théorie:  $D = e^{\frac{-\pi m}{\sqrt{1-m^2}}} \Rightarrow \frac{\Delta D}{D} =$

\* temps de montée:

$$t_m =$$

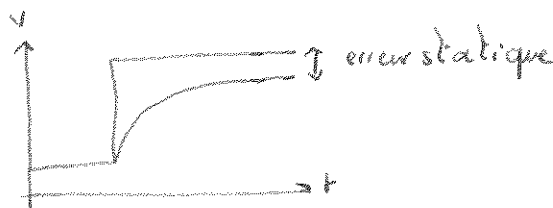
Théorie:  $t_m = \frac{1 - 0,4167m + 2,917m^2}{\omega_c} \Rightarrow \frac{\Delta t_m}{t_m} =$

### Effets du gain

\* Si  $m \uparrow \rightarrow \begin{cases} D \downarrow \\ t_m \uparrow \end{cases}$

Rapport  $m \propto \frac{1}{\sqrt{AV}}$

\* Si  $m$  grand (gain faible): erreur statique importante  
On n'atteint pas la consigne. (frétements)



Compromis précision / rapidité

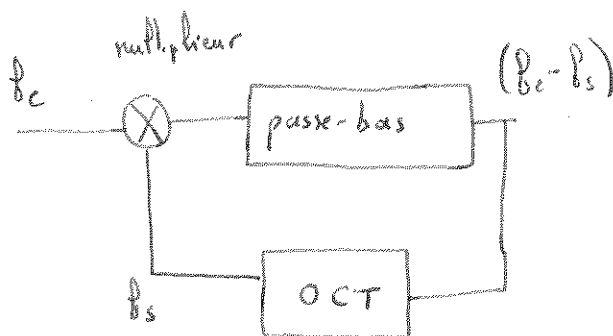


### III) Bloc à verrouillage de phase

NB: On pourrait faire l'ensemble du montage sur la bloc à verrouillage de phase (BAV)  
De plus ce dispositif peut être repris dans nos mat de montages.  
↳ mp 26, 30, 31, 38...

#### 1) Principe

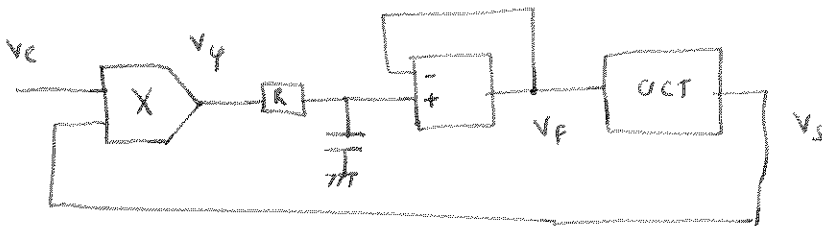
Asservissement en fréquence. Utile pour la démodulation. outil de base dans tous les systèmes de communication moderne. on regarde les fréquences.



$$F_L \approx 700 \text{ Hz}$$

(fréquence du passe bas)

#### En pratique



Pour raisonner sur le système : on regarde la condition de verrouillage du point de fonctionnement. on raisonne à l'instabilité et à la stabilité.

On suppose la horloge verrouillée:  $f_s = f_c$

$$v_c = V_c \cos(2\pi f_c t) \quad v_s = V_s \cos(2\pi f_c t + \varphi)$$

$$v_\phi = k_m v_c v_s = k_m \frac{V_c V_s}{2} \cos \varphi + \underbrace{k_m \frac{V_c V_s}{2} \cos(2\pi(f_c - f_c)t + \varphi)}_{\text{voir par le passe bas}}$$

$$v_f = \frac{k_m V_c V_s}{2} \cos \varphi$$

$$\text{Fréquence de l'OCT: } f_s = f_c + \frac{k_o k_m V_c V_s}{2} \cos \varphi$$

sortie de

On a :  $k_m = (3,3 \pm 0,1) \cdot 10^{-2} \rightarrow$  constante du multiplicateur.

$k_o = 80 \text{ kHz/V} =$  Excursion en fréquence de l'OCT / Tension max acceptée.

Point de fonctionnement : boucle verrouillée  $f_c = f_s$

$$f_s = f_c + \frac{1}{2} k_a k_n v_e v_s \cos \varphi = f_c + \Delta f_v \cos \varphi$$

lorsque  $f_c = f_s$   $\varphi = \pi/2$  [condition de stabilité en régime  $-\pi/2$  instable].

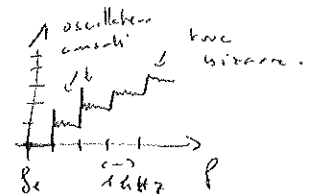
plage de verrouillage:  $f_s = f_v \pm \Delta f_v$   $\Delta f_v \sim 9 \text{ kHz}$  mesures cohérentes.

plage de capture:  $2\Delta f_c \approx 2\sqrt{\Delta f_v f_v}$   $\Delta f_c \sim 3 \text{ kHz}$

Pour que ça marche:  $v_e = 4 \text{ V}$   $v_s = 3 \text{ V}$  (ou l'inverse).

## 2) régime transitoire

phase de suivi: On change la fréquence  $f_c$  de  $1 \text{ kHz}$  et on observe  $V_F$   
 $\rightarrow$  oscillateur amorti

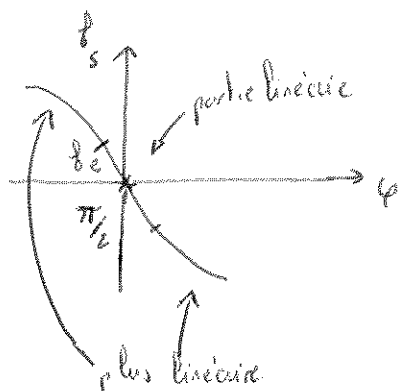


On dépasse de loin la consigne mais le temps de montée est très faible.

(heureusement... le but est de verrouiller rapidement la phase)

transition  $f_c \rightarrow f_c + 1 \text{ kHz}$ . type oscillateur amorti

$f_c \rightarrow f_c + (\Delta f_v - 1 \text{ kHz})$ . Sans astimulable c'est un oscillateur amorti



Pour que d'observer un comportement de système linéaire au voisinage de  $f_c$  [modélisable].

phase d'accrète: On passe du générateur éteint au générateur allumé

C'est plus linéaire. Difficile à modéliser (selon P. Rigord)

(cf brouillon Girard BU du haut)

## Conclusion

On a étudié des systèmes basés asservis en tension, position et fréquence. Nous avons montré que l'on ne peut pas gagner sur tous les tableaux (précision de l'asservissement opposé à la rapidité dans le cas du moteur par exemple) -

On rencontre ces systèmes partout dans notre vie quotidienne ce qui en fait un objet de choix à étudier.

---

Remarques et corrections :

