BECLER Benjamin
CLEMENT P-Y

TP 30 : Systèmes bouclés (Oscillateurs exclus)

Biblio : – Duffait Elec
– Krob
– Précis electronique

Intro : À travers ce montage, nous allons étudier 2 systèmes asservis : ds un premier temps l'AO qui sera étudié en amplificateur inverseur ; puis l'asservissement en position d'un moteur.

Les asservissements sont des systèmes bouclés (à contre réaction) ds lesquels on compare la valeur $x_{sortie}(t)$ à une valeur désirée $x_{désirée}(t)$.

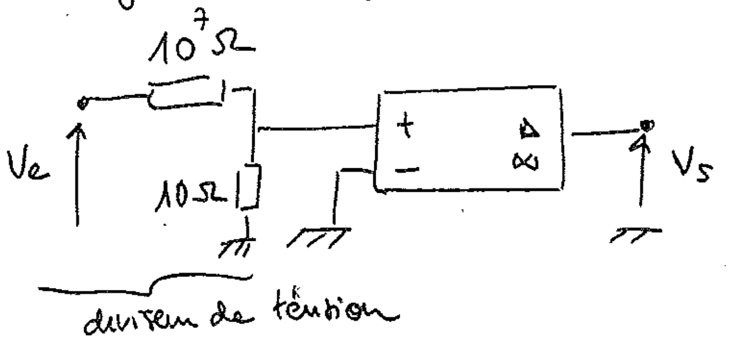
Nous étudierons la fonction de transfert de ces 2 systèmes afin de montrer l'incidence de la boucle.

I) L'amplificateur Opérationnel

1) En boucle ouverte :

L'ampli op est un amplificateur différentiel (il amplifie $\varepsilon = V_+ - V_-$).

• mesure du gain statique μ_0 en boucle ouverte :



⚠ Régler l'offset avant la manip !

on envoie Ve, tension continue, de 1V.
on mesure à l'oscillo : $V_S = \quad \pm \quad V$

d'où le gain de l'AO en boucle ouverte :

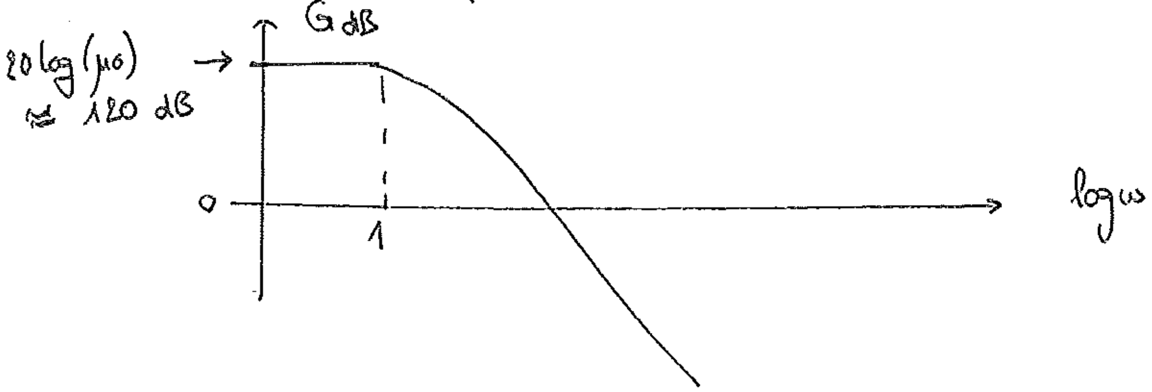
$$\boxed{\mu_0 = \frac{V_s}{V_e} \times 10^6 = \quad}$$

• mesure de la bande passante de l'AO :

la mesure point par point (tracé des diagramme de Bode) est quasi impossible du fait de la valeur trop élevée de μ_0 (le moindre μV est amplifié → trop de bruit).

On utilise l'analyseur de spectre pour tracer le diagramme de Bode.

on obtient le diagramme suivant :



On mesure approximativement la bande passante de l'AO en boucle ouverte ~ dizaine de Hertz.

On trouve : $\boxed{\omega_0 \simeq \quad \text{Hz}}$

on trouve un produit "gain × bande passante" :

$$\boxed{\mu_0 \omega_0 \simeq \quad (\text{Hz})}$$

2) Etude d'un A.O bouclé : l'amplificateur non-inverseur :

Il s'agit d'un exemple typique de système électronique avec une boucle fermée :

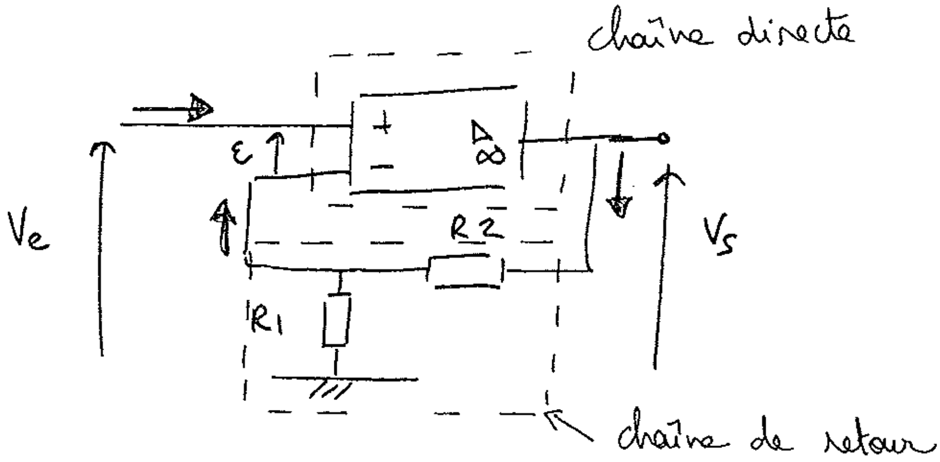
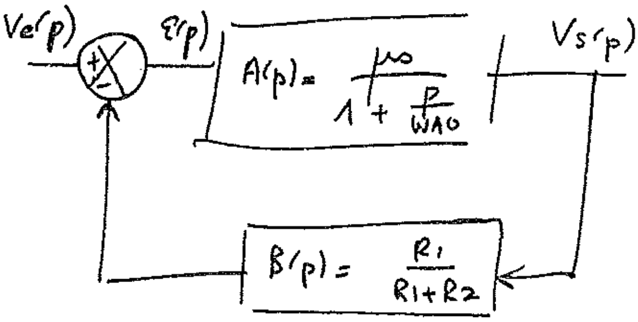


schéma bloc équivalent : $\varepsilon(p) = Ve(p) - \dfrac{R_1}{R_1+R_2} Vs(p)$

avec $Vs(p) = \dfrac{\mu_0}{1 + p/\omega_{A0}} \varepsilon(p)$



$A(p)$: amplification chaîne directe
$B(p)$: " chaîne de retour

$$H(p) = \frac{A}{1+AB} = \frac{H_0}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} H_0 = \dfrac{\mu_0}{1+\dfrac{\mu_0 R_1}{R_1+R_2}} \quad \left(\simeq \dfrac{R_1+R_2}{R_1}\right) \\ \omega_0 = \omega_{A0}\left(1+\dfrac{\mu_0 R_1}{R_1+R_2}\right) \end{cases}$$

mesure de H_0 : on prend $\begin{cases} R_2 = 1\,k\Omega \text{ et } R_1 = 10\,\Omega \\ Ve = 100\,mV \end{cases}$

$$\Rightarrow \frac{R_1+R_2}{R_1} = \frac{1010}{10} = 101$$

on mesure : $Vs = \quad \pm \quad V \longrightarrow H_0 =$

• <u>mesure de la bande passante ω_0:</u>

on trace le diagramme de Bode point par point. Il faut envoyer un signal sinusoïdal d'amplitude 100 mV ($\triangle$ $H_0 \times V_e < 15\,V$) et on balaye en fréquence entre 1 Hz et 10 MHz.

Le critère à $-3\,dB$ donne :

$$\boxed{\omega_0 = \qquad \pm \quad Hz}$$

or : $$H_0\,\omega_0 = \frac{\mu_0}{1+\mu_0\frac{R_1}{R_1+R_2}} \times \omega_{A0}\left(1+\mu_0\frac{R_1}{R_1+R_2}\right) = \mu_0\,\omega_{A0}$$

les mesures doivent redonner un produit $H_0\,\omega_0$ égal à $\mu_0\,\omega_{A0}$.

$\longrightarrow$ on vérifie ...

<u>ccl:</u> l'introduction d'une contre-réaction permet d'augmenter la bande passante du système (mais au détriment du gain).

• effet sur le temps de réponse :

les temps de réponse à 5% du système bouclé et la chaîne directe sont respectivement de :

$$t_{BF} = \frac{3}{\omega_0} = \qquad\qquad t_{A0} = \frac{3}{\omega_{A0}} =$$

$$\Rightarrow \quad \frac{t_{BF}}{t_{A0}} =$$

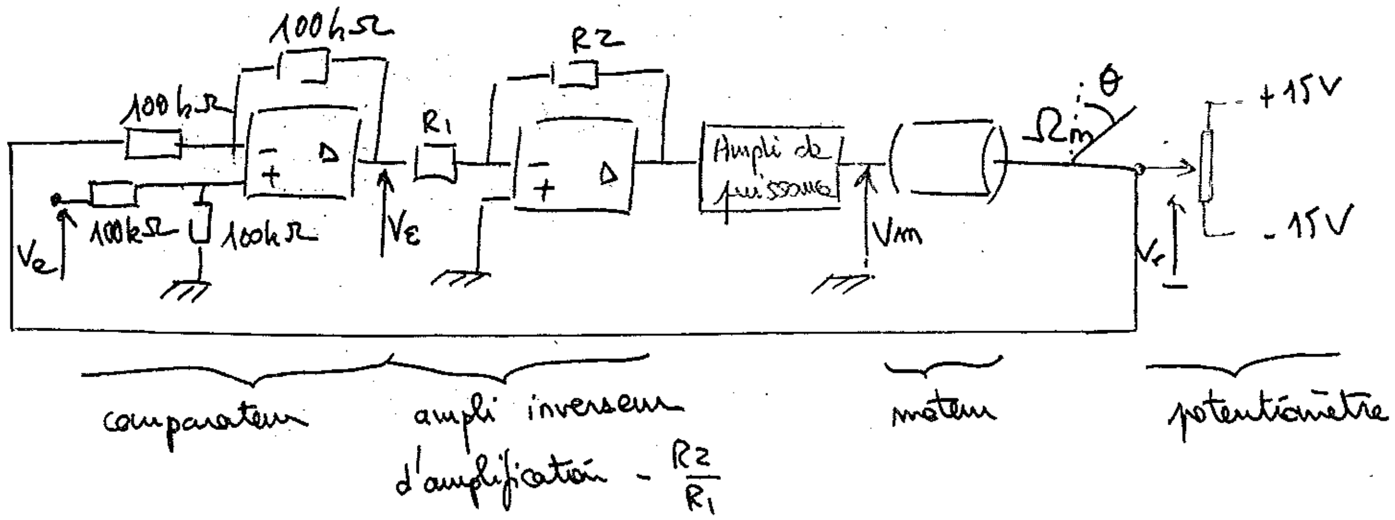
$\longrightarrow$ la réaction a permis de réduire le temps de réponse.

$$\left(\text{à comparer à } \quad \frac{t_{BF}}{t_{A0}} = \frac{\frac{3}{\omega_0}}{\frac{3}{\omega_{A0}}} = \frac{1}{1+\mu_0\frac{R_2}{R_1+R_2}} = \qquad\right)$$

II) Asservissement en position d'un moteur

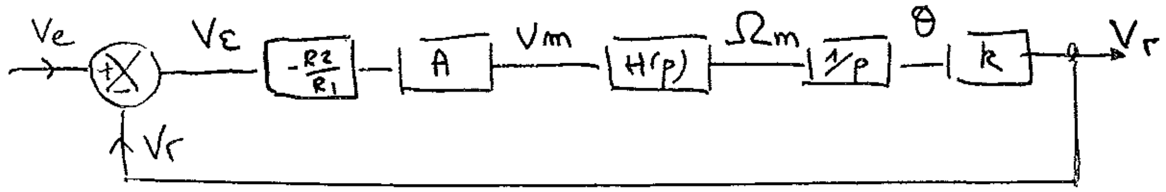
1°) Présentation du dispositif

Le schéma pratique de l'asservissement de position est le suivant :



Le potentiomètre délivre une tension V_r, proportionnelle à la position angulaire du moteur ($V_r = k\theta$), qui est réinjectée à l'entrée du montage pour être comparée à V_e.

Cet asservissement est représenté par le schéma bloc suivant :



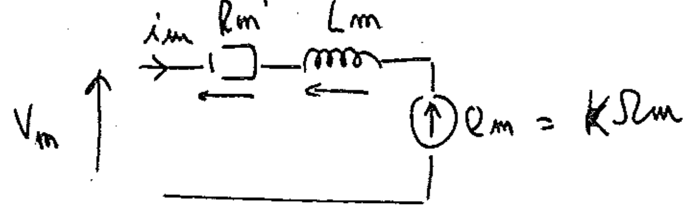
où :
- $V_\varepsilon = V_e - V_r$
- A est l'amplification de l'ampli de puissance
- V_m la tension appliquée au moteur

Pour trouver $H(p)$, il faut écrire les équations électriques et mécaniques du moteur :

$$\text{TMC : } \underset{\substack{\uparrow \\ \text{moment d'inertie moteur} \\ + \text{charge}}}{J}\,\dot{\Omega}_m = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{couple moteur}}}{C_m} - \underset{\substack{\uparrow \\ \text{frottement solide}}}{\overset{\text{négligé}}{\cancel{C_f}}} - \underset{\substack{\uparrow \\ \text{frottement fluide}}}{a\,\Omega_m}$$

avec $C_m = k\, i_m$

modélisation électrique du moteur



$$V_m = R_m i_m + K\Omega_m + L_m \frac{di_m}{dt}$$

Les caractéristiques du moteur sont : $R_m \simeq 10\,\Omega$ (mesurée avec un multimètre)

$L_m \simeq 3{,}5$ mH (avec un inductance mètre à 1000 Hz)

$\Rightarrow \tau_m = \frac{L_m}{R_m} \simeq 0{,}35$ ms $\ll$ temps caractéristiques du moteur

$\rightarrow L_m$ négligée ds la suite

Les équations précédentes s'écrivent (en transformée de Laplace) :

$$\begin{cases} pJ\Omega_m = K i_m - a\,\Omega_m \\ V_m = R_m i_m + K\Omega_m \end{cases}$$

d'où $$H_m(p) = \frac{\Omega_m}{V_m} = \frac{K}{JR_m} \cdot \frac{1}{p + \frac{1}{J}\left(a + \frac{K^2}{R_m}\right)} = \frac{A_m}{1 + \tau_m p}$$

Le moteur est câblé, on vérifie qu'il est asservi.

2°) <u>Etude harmonique</u> :

On détermine le module de la transmittance en régime sinusoïdal.
On utilise un GBF qui fournit V_e (on fait varier la fréquence entre 4 Hz et 30 Hz). On mesure à chaque fois V_r.
La fonction de transfert en boucle fermée s'écrit :

$$H(p) = \frac{V_r}{V_r + V_\varepsilon} = \frac{\omega_0^2}{p^2 + 2m\omega_0 p + \omega_0^2}$$ sous la forme standard.

$p = j\omega$ en régime sinusoïdal

$$\rightarrow \quad |H(j\omega)| = \frac{\omega_0^2}{\left[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2j\omega\omega_0 m)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

avec $\omega_0 = \sqrt{\frac{KAk}{R_m J}}$ où $A = \frac{R_2}{R_1}$

et $m = \dfrac{aR_m + K^2}{2\sqrt{kAKJR_m}}$ facteur d'amortissement.

La résonance a lieu pour $\omega_r = \omega_0 \sqrt{1-2m^2}$

→ on la mesure $\omega_r =$ ± Hz

et $|H|(\omega_r) = \dfrac{\omega_0^2}{\left((\omega_r^2-\omega_0^2)^2 + (2m\omega_0\omega_r)^2\right)^{\frac{1}{2}}} = \dfrac{1}{2m\sqrt{1-m^2}}$

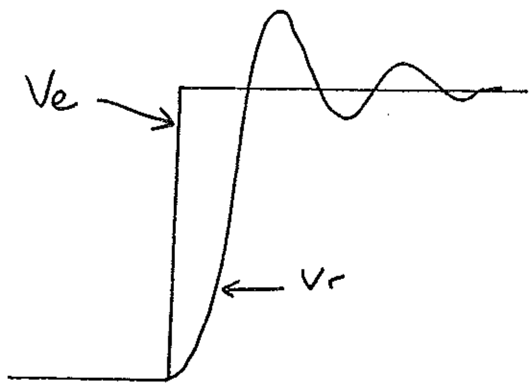
on mesure le max de $|H|$.

$|H|_{max} =$ ±

d'où $m =$

3) Réponse indicielle :

Pour caractériser cet asservissement, on étudie sa réponse à un échelon de tension :



on applique un créneau ($f \sim 5$ Hz) amplitude 200 mVpp.

Différents temps caractéristiques peuvent être mesurés :

• le temps de montée : (t_m) c'est le temps nécessaire pour que le signal passe de 10 % à 90 % de sa valeur finale. t_m est mesuré à l'oscillo :

$t_m =$ ± ms

- la pseudo-période T_{ps} :

$$T_{ps} = \quad \pm \quad \text{ms}$$

or $T_{ps} = \dfrac{2\pi}{\omega_0\sqrt{1-m^2}}$ $\longrightarrow$ $T_{ps} =$

avec les valeurs de ω_0 et m trouvées précédemment.

- le temps de réponse à 5 % : c'est le temps nécessaire pour que la réponse ne diffère pas de plus de 5% de la valeur finale.

à l'oscillo : $t_r = \quad \pm \quad \text{ms}$

- le dépassement : la réponse à un échelon de tension est caractérisée par des dépassements. Le premier est donné théoriquement par :

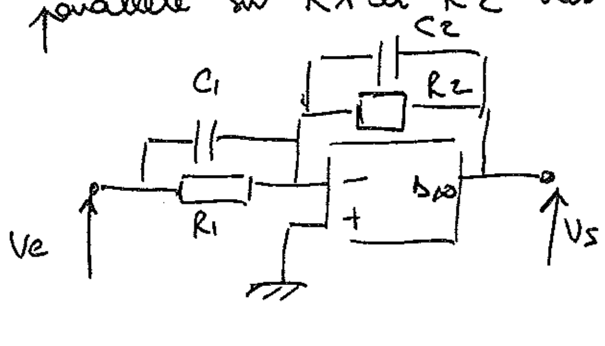
$$D_1 = e^{-\pi\frac{m}{\sqrt{1-m^2}}}$$

mesure à l'oscillo : $D_1 = \quad \pm \quad \text{mV}$

on déduit $m^2 = \dfrac{\ln^2 D_1}{\pi^2 + \ln^2 D_1} =$ $\Rightarrow$ $m =$

4) Correction :

On introduit ds la chaîne directe un correcteur ; celui-ci est facile à réaliser : il suffit de modifier l'ampli. inverseur en disposant en parallèle sur R_1 et R_2 des condensateurs C_1 et C_2 :



on prend $C_1 = 0,7\,\mu F$ et $C_2 = 0,1\,\mu F$

Nouveau dépassement: $D_1 =$ $\pm$ mV

$\Rightarrow$ $m' =$ $> m$

l'amélioration est évidente au niveau des temps de réponse et de montée (s'il reste du temps, les mesures...)

cl: pour l'AO, le bouclage permet d'augmenter la bande passante tout en diminuant le gain $\rightarrow$ on évite ainsi les saturation

pour le moteur, exemple de syst. asservi en mécanique, le bouclage permet l'asservissement de la position du moteur; un asservissement en vitesse est aussi possible...