

L11: Rétroaction et oscillations.

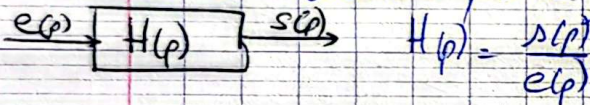
(12)

PREREQUIS

- Oscillateurs
- Filtrage électronique (pt° de transfert, diagramme de Bode)
- Électrométrie (dont AO)

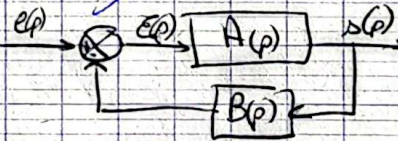
INTRODUCTION

Jusqu'ici on a étudié uniquement des systèmes comme les filtres qu'on peut schématiser modéliser par une fonction de transfert



Mais ce genre de système n'est pas toujours suffisant comme on va le voir avec l'exemple de la perceuse:

→ Rétroaction: on renvoie (une fraction) du signal de sortie vers l'entrée
→ on a un système bouclé



présent dans de nombreux domaines:

- Électronique: avec les AO
- Biologie: régulation de la température du corps.
- Acoustique: effet Larsen (qd mure sur haut-pair → signal fort intense)
- Thermodynamique: bonne puissance de à éviter à résistance pour avoir 70°C.

∃ 2 types de systèmes bouclés:

- système asservis: boucle de rétroaction pour que la sortie suive la commande
- système oscillants: boucle pour rendre le système instable et le faire osciller

I - Rétroaction et systèmes bouclés

1. Nécessité d'une rétroaction.

Exemple de la perceuse:

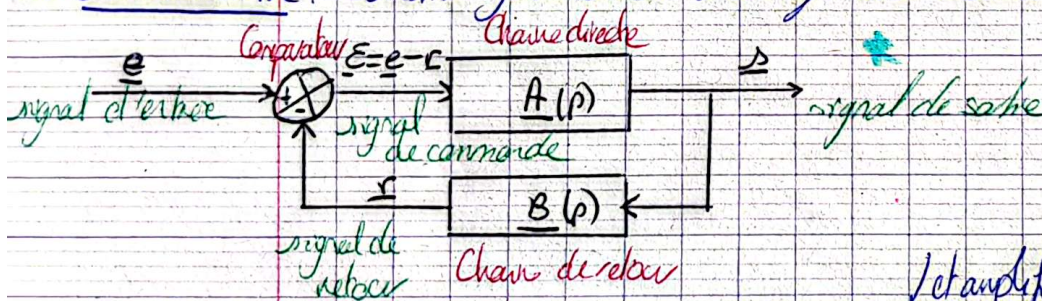
Fonctionnement: bloc {tenon de commande + alimentation + amplificateur + moteur}
→ faire tourner la mèche à une certaine vitesse.

Or si le couple résistant sur la mèche varie ($\oplus$ résistant face à un mur que dans l'air)
 $\Rightarrow$ possible de contrôler la vitesse de rotation de la mèche $\Rightarrow$ elle va tourner $\ominus$
vitesse face à un mur / à l'air $\Rightarrow$ difficile de perce. (1 boucle ouverte)

→ Comment contrôler la vitesse angulaire?

On fait une boucle de rétroaction (avec signal de retour). pour cela on utilise un dynamo tachymétrique (capteur de vitesse de rotation) pour mesurer le couple résistant et envoyer l'information dans une boucle de retour qui va permettre de contrôler ce couple résistant (2 boucle fermée)

→ Généralisation: schéma fonctionnel d'un système bouclé (schéma bloc)



Composé de 3 organes: chaîne directe (avec un actionneur), chaîne de retour (avec un capteur) et un comparateur (entre e et r)

2. Comportement d'un système bouclé

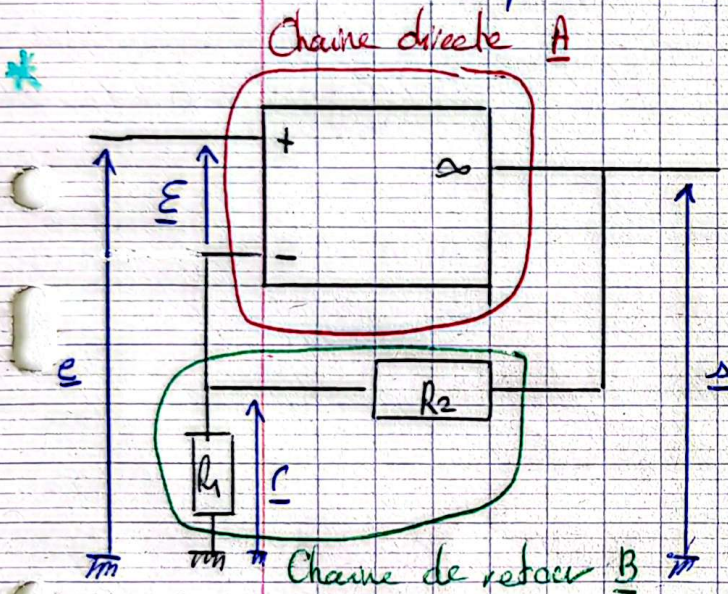
* Fonction de transfert en boucle ouverte FTBO: $\left[H_{BO} = \frac{r}{e} = \frac{B\Delta}{e} = \frac{ABe}{e} = AB \right]$

* Fonction de transfert en boucle fermée FTBF: $\boxed{H_{BF} = \frac{\Delta}{e}}$

$$\begin{aligned} \text{Car } \Delta &= A E = A(e - r) \quad \Delta = A e - A B \Delta \Rightarrow \Delta(1 + AB) = A e \Rightarrow \boxed{H_{BF} = \frac{\Delta}{e} = \frac{A}{1 + AB}} \\ r &= B \Delta \end{aligned}$$

Δ aux signes du comparateur ici c'est un soustracteur.

Exemple: AO non inverseur car AO = système bouclé en électronique (fonctionnement linéaire si 1 borne entre sortie et borne inverseuse)
 → permet d'amplifier la tension d'entrée



→ c'est 1 filtre passe-bas.
 - Fonction transfert AO au 1^{er} ordre

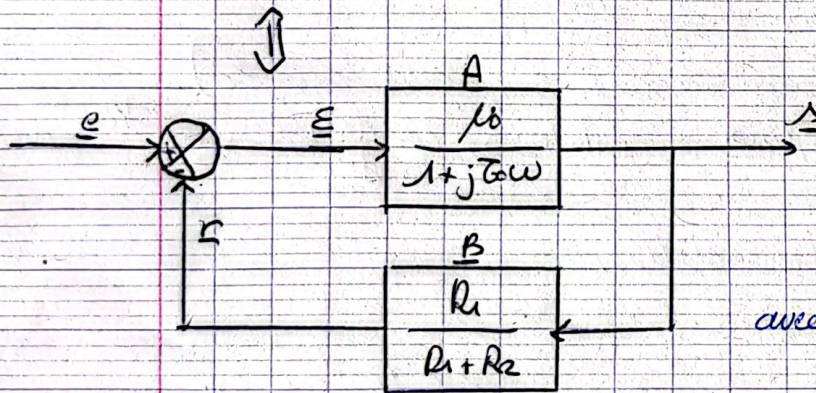
$$A = \frac{\mu_0}{1+j\omega\tau_0}$$

$$\mu_0 = 10^5 \gg 1$$

$$\frac{1}{2\pi\tau_0} \approx 10 \text{ Hz}$$

- Fonction transfert B avec pont diviseur de tension

$$B = \frac{e}{s} = \frac{R_1}{R_1+R_2}$$
 Rappel
 $\mu_0 = \text{gain statique}$



Après calcul on obtient

$$H_{BF} = \frac{H_0}{1+j\omega\tau_{BF}}$$

c'est 1 filtre passe-bas

avec $H_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

$$\tau_{BF} = \frac{\tau_0}{\mu_0} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = \frac{\tau_0 + \tau_0 H_0}{\mu_0}$$

Exercice: Faire le montage et tracer les diagrammes de Bode → Repérer la fréquence de coupure

$$\left(\begin{array}{l} \rightarrow \text{Gain} = |H| \Rightarrow G_{dB} = 20 \log(G) \\ \rightarrow \text{Freq de coupure} \Rightarrow \omega_c = \frac{1}{\tau_{BF}} \Rightarrow f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} \end{array} \right) \left\{ \begin{array}{l} G_{dB} = -10 \log \left(1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \right) \\ \omega \ll \omega_c \quad G_{dB} \approx 0 \\ \omega \gg \omega_c \quad G_{dB} \approx -20 \log \omega \end{array} \right.$$

Rmq: * H_0 et T_{BF} dépendent de R_1 et $R_2 \Rightarrow$ on peut facilement modifier les caractéristiques du système (à montrer exp)

largeur de bande passante:

* T_{BF} grand $\Rightarrow$ système lent et bande passante faible

Réciproquement Σ rapide $\Rightarrow$ bande passante large

* $\frac{H_0}{T_{BF}} = \frac{K_0}{G} = \text{const} \Rightarrow$ conservation du produit gain - bande passante.

$\Rightarrow$ Compromis entre la valeur du gain et la largeur de la bande passante (rapidité)

3. Stabilité d'un système bouclé.

Stabilité: Un système linéaire est stable si pour une entrée bornée, la sortie reste bornée (si elle ne diverge & mais ici impossible d'être une sortie avec l'AO).

Les Σ ordre 1 ou 2 sont stables si tous les coeff du dénominateur de la fct de transfert sont du même signe

($\Rightarrow$ sol de l'eq du dénominateur on leur partie réelle < 0)

$$H_{BF} = \frac{\Delta}{s} \Rightarrow e H_0 = \Delta + T_{BF} f(s) \Rightarrow e H_0 = \Delta + T_{BF} \frac{ds}{dt} \Rightarrow s \propto e^{-T_{BF} s} \text{ diverge}$$

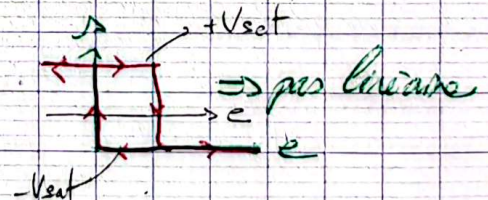
$\Rightarrow$ Ampli inv. bien stable.

On inverse les bornes $\oplus$ et $\ominus \Rightarrow$ comparateur à hystérésis.

$$\Rightarrow H_{BF} = \frac{\ominus A}{1 - AB} = \frac{H_0}{1 - T_{BF} j\omega}$$

$\Rightarrow$ Montage instable et système plus linéaire.

Expos on trace Σ en fct de $e \rightarrow$ cycle hystérésis



Mais les instabilités ne sont pas toujours néfastes, elles peuvent permettre de créer des oscillations.

II - Système bouclé instable: oscillations

Oscillateur: système bouclé instable capable de générer un signal de sortie périodique en l'absence de signal d'entrée

∃ 2 types d'oscillateurs: - quasi-sinusoidaux (sortie $\sin$)
- à relaxation (sortie $\square$ ou SRL)

→ Utiliser des CCBF pour générer les 2 signaux

Ici on va s'intéresser à 1 oscillateur quasi sinusoidal qui comporte 3 critères

- * Instabilité d'un Σ linéaire $\Rightarrow$ oscillations
- * Filtre: pour ajuster freq du signal
- * Amplification: pour amplifier le signal car a tendance à s'atténuer à cause des composants résistifs.

1 - Oscillateur à pont de Wien.

Schema sur slide

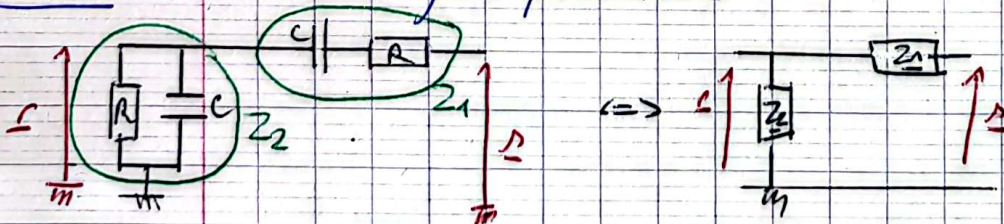
* Bloc A: chaîne directe: amplificateur non inverseur.

AO idéal $\Rightarrow \mu_o \rightarrow \infty \Rightarrow \boxed{A = \frac{p}{e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}}$

Vérifier exp que $1 \gg \tau_{BF} \omega$

La Probable car $\tau_{BF} = \frac{\tau_o}{\mu_o} H_o = \frac{10^{-2}}{10^5} 10 = 10^{-6} s$.

* Bloc B: chaîne retour: filtre passe bande



$\rightarrow Z_1 = Z_R + Z_C = R + \frac{1}{j\omega C}$ (les dipôles en série)

→ Z_c (dépend de $1/s$) $\Rightarrow \frac{1}{Z_c} = \frac{1}{Z_R} + \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{R} + j\omega C$

→ Pour filtre $\underline{B} = \frac{r}{e} = \frac{Z_c}{Z_a + Z_c}$ (part d'enseur de tension)

$\Rightarrow \underline{B} = \frac{1}{1 + \frac{Z_c}{Z_a}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{R} + j\omega C\right) \times \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)} = \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{1}{j\omega RC} + j\omega RC + 1\right)}$

$\Rightarrow \underline{B} = \frac{1}{3 + j\omega RC + \frac{1}{j\omega RC}}$

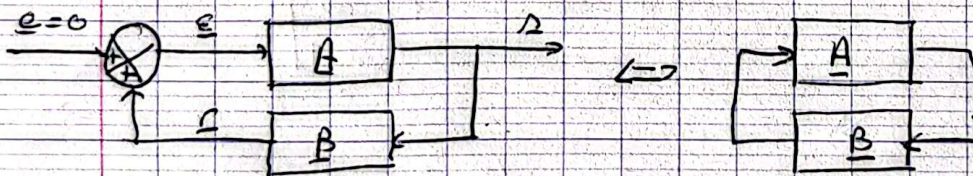
$\underline{B} = \frac{1/3}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$

On pose $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ et $Q = \frac{1}{3}$

Exemple graphique : diagramme de Bode du filtre.
 $\Rightarrow$ mesure ω_0 exp

→ Montage bouclé : pas de source à l'entrée de la boucle

→ Le signal est injecté par le système lui-même, par les bruits aléatoires présents dans les composants [agitation thermique des e^- dans la résistance] dont le spectre est très large et possède des composantes dans la bande passante du filtre de la boucle retour.



$\Rightarrow H_{BF} = \frac{A}{1 - AB}$

→ Ajuster la marp.

→ dénominateur $\neq 0$ signe $\Rightarrow$ instable.

2. Condition d'auto-oscillation:

Auto-oscillation: avoir un signal de sortie avec un signal d'entrée nul.

Or $H_{BF} = \frac{\Delta}{\text{diverge}}$ car $e=0$

* Condition de Barkhausen: Pour qu'un système bouclé soit auto-oscillant, il doit exister une pulsation ω_0 / $1 - \underline{A}\underline{B} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \|\underline{A}\underline{B}\| = 1 \\ \varphi_{AB} = \varphi_A + \varphi_B = 0 (2\pi) \\ \varphi_{arg}(\underline{A}) = -\varphi_{arg}(\underline{B}) \end{cases}$

$\Rightarrow$ Pour osciller à part de Wien

$$H_{BO} = \underline{A}\underline{B} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1/3}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

* $\varphi_A = \arg(\underline{A}) = 0$ car $\underline{A} \in \mathbb{R} \Rightarrow \varphi_B = 0$ pour avoir oscillation
 $\Rightarrow \boxed{\omega = \omega_0}$ (a) ($\Rightarrow B \in \mathbb{R} \Rightarrow \varphi_B = 0$)

* $\Rightarrow \|\underline{A}\underline{B}\| = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{3} = 1 \Rightarrow \boxed{R_2 = 2R_1}$ (b)

(a) et (b) $\Rightarrow$ Conditions d'oscillation.

$\Rightarrow$ On observe des oscillations à la pulsation caractéristique de la puce bande quand condition oscillation respectée.

Ex: on vérifie $R_2 = 2R_1$ la condition d'oscillation.
 $\rightarrow$ mesure $\omega = \omega_0$ à l'oscillo. avec curseurs.

3. Caractéristique des oscillations.

Avant mise sous tension de l'AO, tension nulle sur tous les points du circuit
 $\Rightarrow$ si montage stable, après mise sous tension la tension reste nulle
 $\Rightarrow$ montage doit être instable pour osciller

$\Rightarrow$ Condition de démarrage des oscillations: Σ boucle instable $\Rightarrow \underline{R_2} > 2\underline{R_1}$ *

Rmq: (a) on s'écarte de la condition d'oscillation, (b) les oscillations sont harmoniques.
 La même règle s'ap.

* Amplitude des oscillations: croissance exponentielle jusqu'à saturation de l'AO - epe

* Condition $R_2 = 2R_1$ apparaît comme une condition limite.

CONCLUSION

car tables

- Etude des Σ booles, de leur stabilité $\rightarrow$ chîest par l'asservissement très chîest pour commander automatiquement une grandeur dans l'industrie
- $\rightarrow$ Les Σ notables peuvent se mettre à osciller comme on l'a observé avec port de l'osc. $\exists$ aussi
 - $\hookrightarrow$ oscillateur à quartz
 - $\hookrightarrow$ relaxation $\Rightarrow$ génère des signaux
- $\rightarrow \exists$ aussi oscillateurs non électronique
 - laser
 - rose de Lissajous