http://www.schneider-electric.fr/ - Lexium Max

PSI⋆ – MP

Cycle 03

Concevoir la partie commande des systèmes asservis afin de valider leurs performances.

Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Cours

Chapitre 1
Correction des SLCI

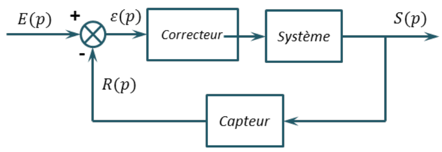
Savoirs et compétences :

- ❒ *Res1.C4 : Correction*
- ❒ *Res1.C4.SF1 : Proposer la démarche de réglage d'un correcteur proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase*
- ❒ *Con.C2 : Correction d'un système asservi*
- ❒ *Con.C2.SF1 : Choisir un type de correcteur adapté*

Xavier Pessoles
PSI⋆ – MP

1 Pourquoi corriger un système ?

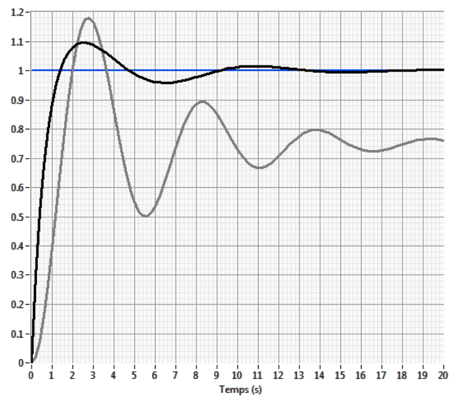
Souvent évoqué en lors de l'étude des systèmes asservis, regardons ce qui se cache derrière le bloc correcteur. On peut le considérer comme la partie intelligente du système car de sa part position dans l'architecture d'un système il reçoit l'image de l'écart entre la cosigne et la sortie du système. En fonction de cet écart, en fonction de ses « capacités » va permettre d'améliorer les performances du système.



Sur la figure ci-contre est tracée en gris la réponse indicielle d'un système non corrigé et en noir la réponse indicielle du système corrigé. On observe que le système corrigé est :

- plus précis ;
- plus amorti ;
- plus rapide.

L'objectif du correcteur est donc d'améliorer les caractéristiques tout en assurant la stabilité su système.



Résultat

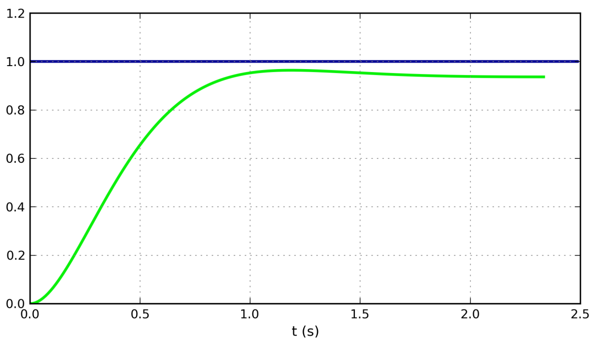
- D'après les résultats sur la stabilité des systèmes asservis :
  - le correcteur doit permettre d'avoir des marges de gains suffisantes.
- D'après les résultats sur la rapidité des systèmes asservis :
  - le correcteur doit permettre d'augmenter le gain dans le but d'avoir une pulsation de coupure à 0 dB la plus grande possible.
- D'après les résultats sur la précision des systèmes asservis :
  - le correcteur doit permettre d'augmenter le gain statique de la boucle ouverte pour assurer une bonne précision du système (et d'éventuellement augmenter la classe).

Au vue de ces conclusions, le choix d'un correcteur se fera dans le domaine fréquentiel en utilisant le diagramme de Bode.

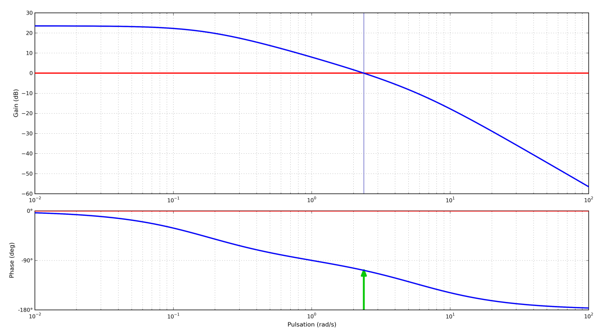
2 Le correcteur proportionnel

Définition Le correcteur proportionnel a pour fonction de transfert $C(p) = K$.

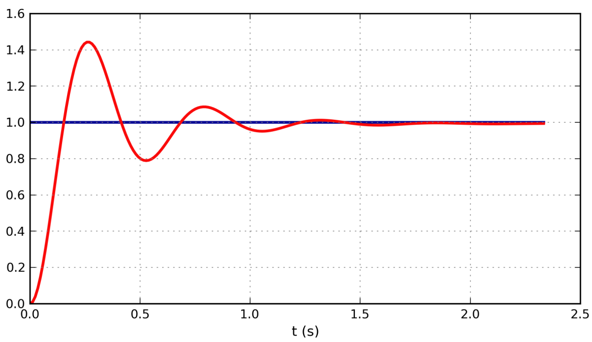
Prenons le cas d'un système du second ordre bouclé ($K = 15$, $\xi = 3$, $\omega = 1$).



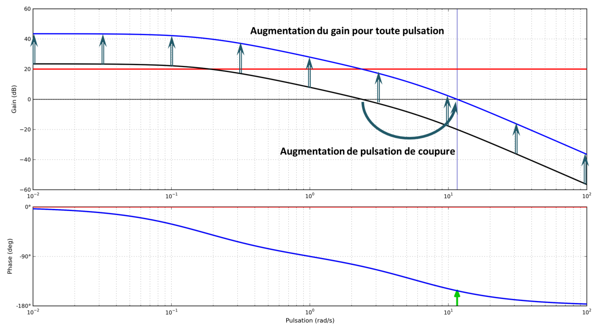
$T_{5\%}$: 0.781 s – Écart statique : 0,07



Marge de phase 71,94 °



$T_{5\%}$: 0.88 s – Écart statique : tend $\longrightarrow$ 0



Marge de phase 6,43 °

Résultat

On observe qu'une augmentation du gain proportionnel a pour effet :

- d'améliorer la précision ;
- d'augmenter la vivacité ;
- d'augmenter le temps de réponse (à partir d'un certain seuil) ;
- de diminuer l'amortissement ;
- de diminuer la marge de phase.

Pour un système d'ordre supérieur à 2, l'augmentation du gain provoque une marge de phase négative et donc une instabilité du système.

Méthode

Réglage de la marge de phase :

- Avec la BO non corrigée, on cherche $\omega_{0\,\text{dB}}$ tel que $\varphi(\omega_{0\,\text{dB}})$ respecte la marge de phase souhaitée.
- Avec la BO non corrigée, on calcule $G_{dB}(\omega_{0\,\text{dB}})$.
- On cherche K_p tel que $G_{dB}(\omega_{0\,\text{dB}}) = 0$

Réglage de la marge de gain :

- Avec la BO non corrigée, on cherche $\omega_{-180°}$ tel que $\varphi(\omega_{-180°}) = -180°$.
- Avec la BO non corrigée, on calcule $G_{dB}\left(\omega_{-180°}\right)$.
- On cherche K_p tel qu'on ait la marge de gain souhaitée.

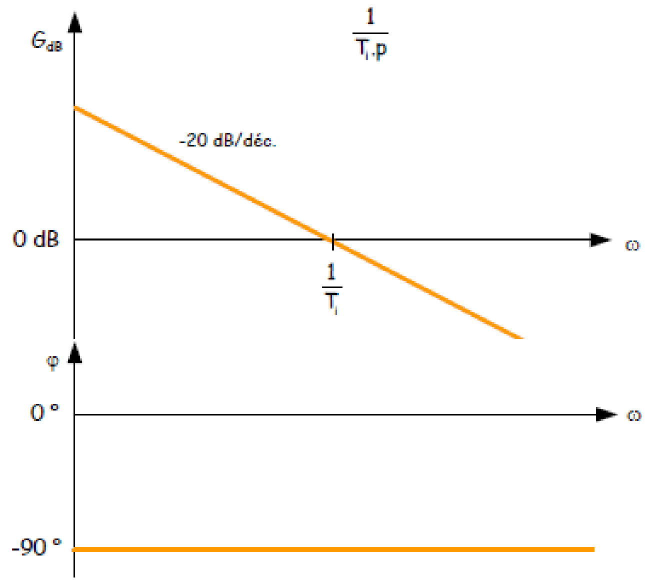
3 Les correcteurs à action intégrale

3.1 Le correcteur intégral pur

Définition

Un correcteur intégral pur a pour fonction de transfert $C(p) = \dfrac{U(p)}{\varepsilon(p)} = \dfrac{1}{T_i p}$.

Dans le domaine temporel on a l'équation de comportement suivante : $u(t) = \dfrac{1}{T_i} \displaystyle\int_0^t \varepsilon(\tau) \mathrm{d}\tau$.

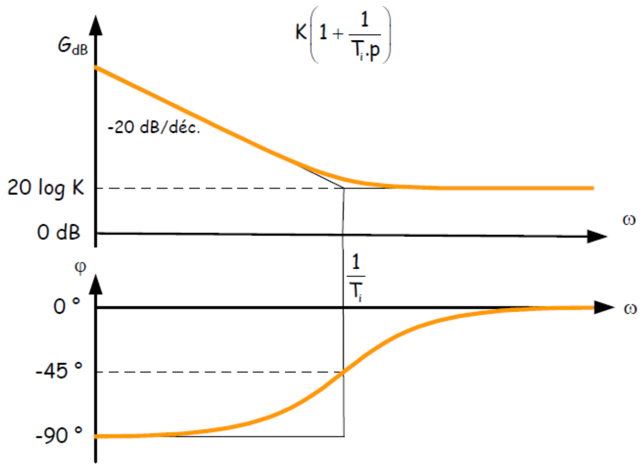


Résultat — Avantages	Inconvénients
Ce correcteur améliore la précision lors de la sollicitation par un échelon car il ajoute une intégration dans la boucle ouverte.	Le déphasage de -90°sur tout le spectre de pulsation entraîne une réduction de la marge de phase ce qui peut déstabiliser le système.

3.2 Le correcteur proportionnel intégral

Définition

Un correcteur intégral pur a pour fonction de transfert $C(p)=\dfrac{U(p)}{\varepsilon(p)}=K\left(1+\dfrac{1}{T_i p}\right)$.
Dans le domaine temporel on a l'équation de comportement suivante : $u(t)=K\left(\varepsilon(t)+\dfrac{1}{T_i}\displaystyle\int_0^t \varepsilon(\tau)\mathrm{d}\tau\right)$.



En développant on obtient $C(p)=K\dfrac{T_i p+1}{T_i p}$. Ce correcteur augmente donc la classe de la boucle ouverte et donc la précision. Si $K>1$ la pulsation de coupure est augmentée, entraînant ainsi une augmentation de la rapidité du système. Enfin, ce correcteur diminue la phase à basse fréquence. Il faut donc faire en sorte que cette chute de phase n'intervienne pas dans la zone de la pulsation de coupure du système.

Résultat Le correcteur proportionnel intégral :

augmente l'amortissement, **augmente la rapidité,** **augmente la précision.**

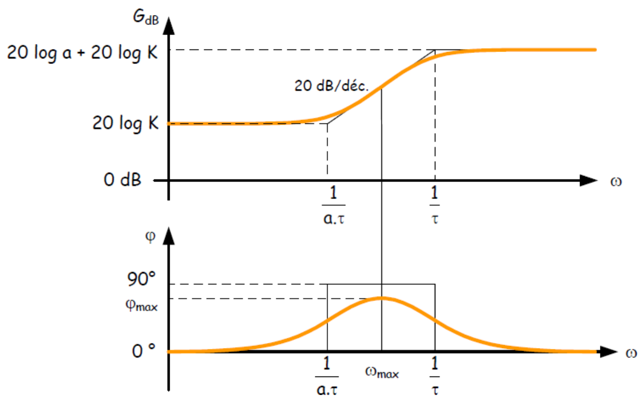
Méthode

- Avec la BO non corrigée, on cherche $\omega_{0\,\text{dB}}$ tel que $\varphi(\omega_{0\,\text{dB}})$ respecte la marge de phase souhaitée.
- Avec la BO non corrigée, on calcule $G_{dB}(\omega_{0\,\text{dB}})$.
- On cherche K tel que $G_{dB}(\omega_{0\,\text{dB}})=0$
- La mise en place de l'effet intégral ne doit pas modifier la position de la pulsation de coupure réglée précédemment. Pour cela, il faut donc que $\dfrac{1}{T_i} << \omega_{0\,\text{dB}}$. Usuellement on positionne l'action intégrale une décade avant la pulsation réglée. On a donc $T_i=\dfrac{10}{\omega_{0\,\text{dB}}}$.

4 Le correcteur à avance de phase

Définition

Un correcteur à avance de phase a pour fonction de transfert $C(p)=\dfrac{U(p)}{\varepsilon(p)}=K\dfrac{1+a\tau p}{1+\tau p}$ avec $a>1$.

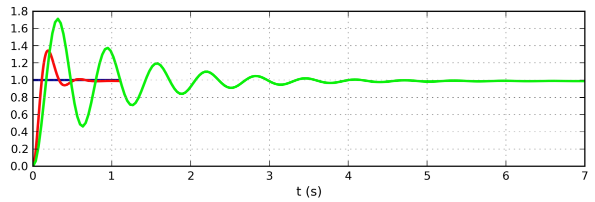


Ce correcteur permet d'ajouter de la phase pour les pulsations comprises entre $\dfrac{1}{a\tau}$ et $\dfrac{1}{\tau}$. On montre que $\varphi_{\max}=\arcsin\left(\dfrac{a-1}{a+1}\right)$ et ce pour une pulsation $\omega_{\max}=\dfrac{1}{\tau\sqrt{a}}$.

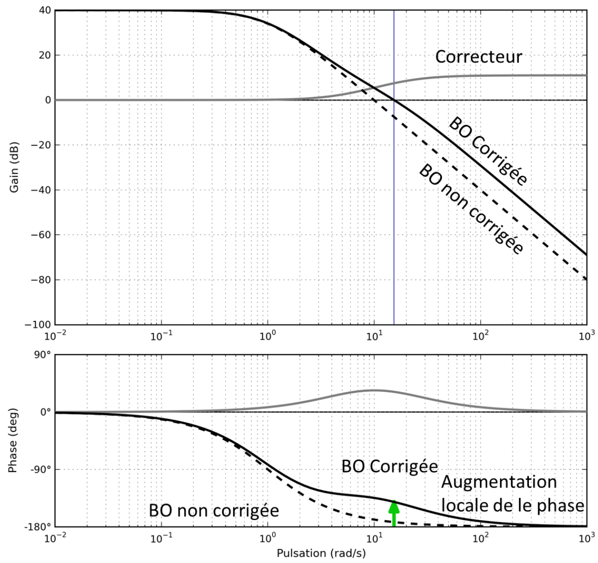
R On peut prendre $K=\dfrac{1}{\sqrt{a}}$.

Démonstration On a d'une part : $\dfrac{1}{2}\left(\log\left(\dfrac{1}{\tau}\right)+\log\left(\dfrac{1}{a\tau}\right)\right)=\log\left(\dfrac{1}{a\tau^2}\right)^{1/2}=\log\left(\dfrac{1}{\tau\sqrt{a}}\right)$ et $\omega_{\max}=\dfrac{1}{\tau\sqrt{a}}$.
D'autre part, il faudrait calculer $\varphi(\omega_{\max})$...

Prenons le cas d'un système du second ordre bouclé $\left(G(p)=\dfrac{100}{(p+1)^2},\ a=3,54,\ T=0.053\,\text{s}\right)$.



Ici le correcteur permet une augmentation de la rapidité et un meilleur amortissement.



Méthode

Références

[1] Frédéric Mazet, *Cours d'automatique de deuxième année, Lycée Dumont Durville, Toulon.*

[2] Florestan Mathurin, *Correction des SLCI, Lycée Bellevue, Toulouse*, `http://florestan.mathurin.free.fr/`.