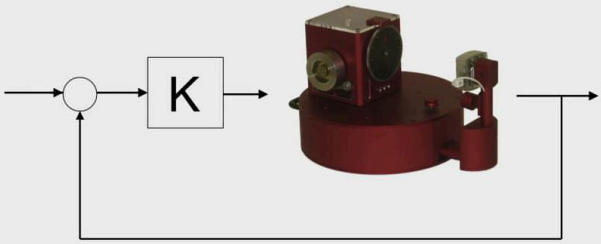
ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE



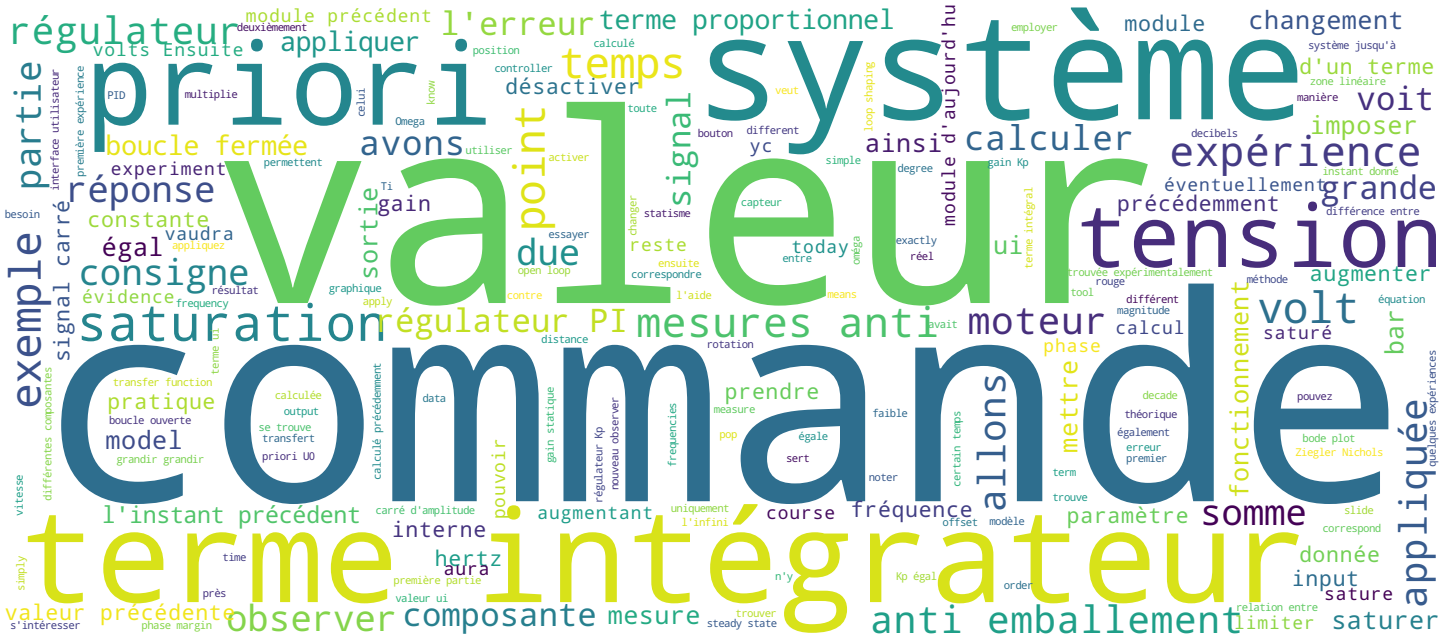
Synthèse du régulateur

Commande a priori et mesures anti-emballement

Controls Systems' Hand on Sessions

Christophe Salzmann & Colin Jones

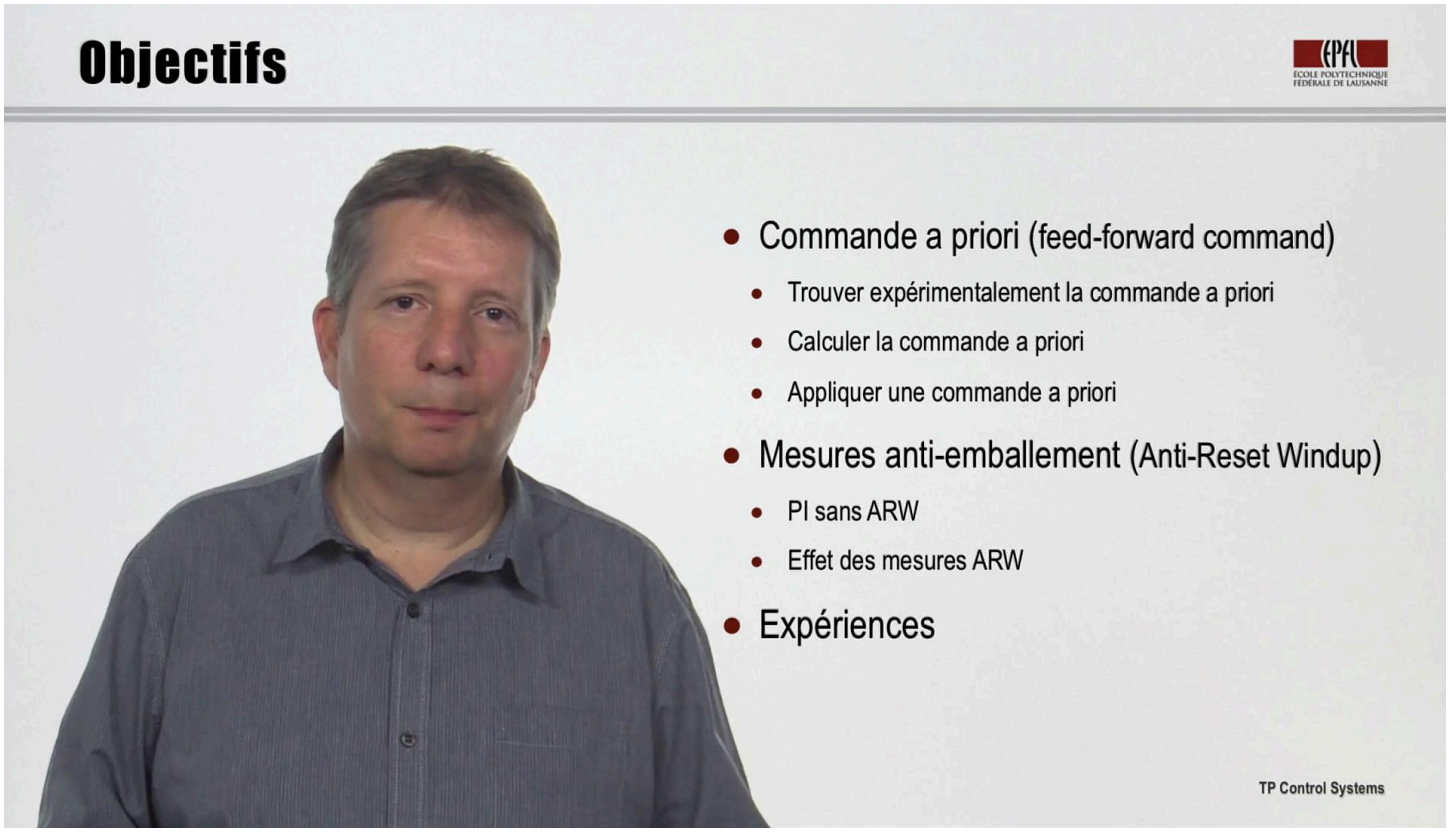
Automatic Control Lab



Search MOOC

Video

EPFL



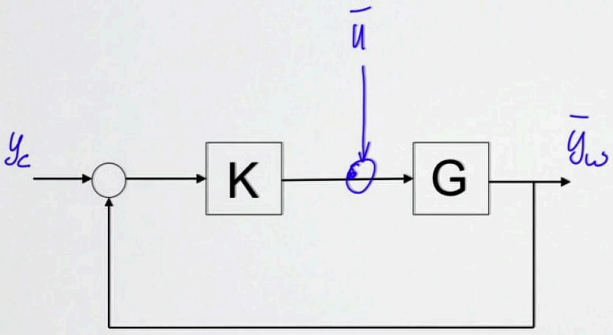
Bonjour. Dans le module d'aujourd'hui, nous allons aborder deux points. Premièrement, la commande a priori, qui sert à imposer un point de fonctionnement, et deuxièmement, les mesures anti-emballements qui permettent de saturer la valeur du terme intégrateur. Nous allons voir comment calculer cette commande a priori et aussi comment la trouver de manière expérimentale. De même, pour les mesures anti-emballements, on va voir les problèmes d'intégration et de saturation lorsqu'on emploie un régulateur PI, puis, nous allons faire quelques expériences pour mettre en évidence ces différents points.

Notes

Summary

0m 04s

Commande a priori



- Permet d'imposer un point de fonctionnement, par exemple dans la zone linéaire
- $\bar{u}$ entraîne la vitesse de rotation $\bar{y}_\omega$

$$\bar{u} = \frac{1}{\gamma_\omega}\bar{y}_\omega$$

TP Control Systems

Une commande a priori permet d'imposer un point de fonctionnement, par exemple, dans la zone linéaire de notre système. Cette commande a priori est calculée de la manière suivante : elle doit correspondre à la tension qui est appliquée à mon système pour avoir une sortie désirée qui correspond à la tension qui serait générée par mon régulateur pour une valeur de consigne donnée. Donc ma commande vient s'appliquer ici, la commande u bar et j'ai la relation entre u bar et y bar qui est donnée par cette équation. Ma commande a priori en boucle ouverte est une commande qui est équivalente à la commande pour avoir y oméga égal à yc en boucle fermée. Cette commande a priori, ne tient pas compte d'éventuelles perturbations.

Notes

Summary

0m 35s

Expérimentation 1 – Commande a priori

- Calculez la commande a priori U_0 avec le gain statique trouvé précédemment pour avoir $y_\omega = 2.5$ [v]
- Comparez cette valeur avec la valeur de U_0 trouvée expérimentalement en augmentant U_0 jusqu'à ce que le disque de rotation tourne à une vitesse y_ω de 2.5[v]. L'expérience se déroule en boucle **fermée** avec $K_p = 0$, T_i et T_d désactivés

TP Control Systems

Dans cette première expérience, vous allez calculer la commande a priori avec les valeurs que vous avez trouvées dans le module précédent pour avoir une tension de sortie y oméga égale à 2,5 volts. Ensuite, vous allez comparer la valeur a priori calculée avec la commande a priori trouvée expérimentalement. Pour ce faire, vous allez augmenter la valeur U0 de votre système jusqu'à ce que la valeur de sortie de votre système y oméga soit égal à 2,5. Pour ce faire, vous allez vous mettre en boucle fermée, mais vous allez imposer la valeur du régulateur Kp égal à 0, c'est-à-dire que le Kp sera inactif. De même, Ti et Td seront désactivés.

Notes

Summary

1m 27s

Expérimentation 2 – PI & commande a priori

En utilisant le régulateur PI calculé précédemment (M2)

- Appliquez un signal carré avec Amplitude: 1[v], Offset: 1.5[v]
- Désactiviez le terme intégral
- Observez le statisme
- Appliquez la commande a priori U_0 trouvée précédemment (pour 2.5[v])
- Observez le statisme, il est absent pour une valeur de consigne y_c = 2.5[v] mais présent pour y_c= 0.5[v]

TP Control Systems

Dans cette expérience, vous allez visualiser l'effet de la commande a priori. Pour ce faire, vous allez utiliser le régulateur PI que vous avez calculé dans le module précédent. Vous allez ensuite appliquer en boucle fermée un signal carré d'amplitude de 1 volt avec un offset de 1,5 volts, une fréquence de 0,1 hertz. Vous allez désactiver le terme intégral et vous allez observer le statisme. Ensuite, vous allez appliquer la commande a priori que vous avez calculée précédemment pour une tension de sortie de 2,5 volts, ensuite, vous allez observer le statisme. Il devrait être absent pour une tension de 2,5 volts, mais bien présent pour une tension de 0,5 volt.

Notes

Summary

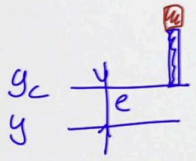
2m 10s

Effet du terme intégrateur

$$u = u_p + u_d + u_i + u_0$$

$$u_{i_k} = u_{i_{(k-1)}} + K_p \frac{1}{T_i} \left(\frac{e(k) + e(k-1)}{2} \right) \cdot h$$

- Le terme intégrateur Ui du régulateur PID intègre l'erreur
- Par défaut, il n'y a pas de limite sur la valeur que peut prendre le terme intégrateur



TP Control Systems

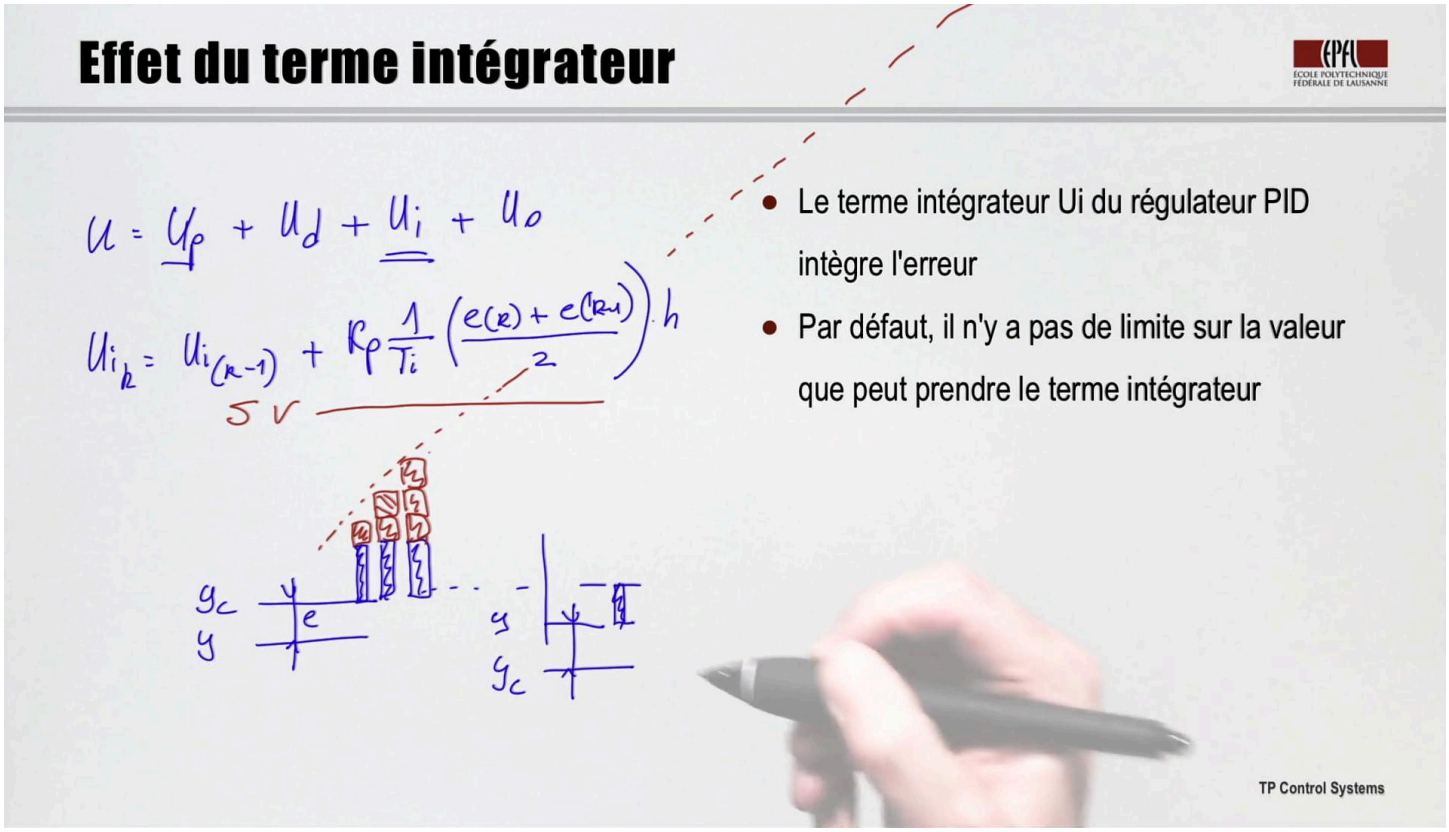
La commande qui est appliquée au moteur, c'est la somme des différentes composantes de cette commande, et il y a par exemple une partie qui est due au terme proportionnel, une partie qui est due au terme dérivatif, une partie qui est due au terme intégrateur et éventuellement une commande a priori U0. Le régulateur est implanté sous la forme d'un programme informatique et on va s'intéresser au calcul de ui. Le calcul de ui au temps donné k, c'est égal à la valeur de ui à l'instant précédent plus le gain Kp qui multiplie 1 sur la constante de temps qui multiplie l'erreur à l'instant k plus l'erreur à l'instant précédent k moins 1 divisé par 2, le tout fois la période d'échantillonnage. Si maintenant je m'intéresse graphiquement à une commande u pour un régulateur PI, je vais avoir le graphique suivant. Si ici, j'ai ma valeur de consigne, ici, j'ai la mesure actuelle du système, la différence entre les deux, c'est mon erreur et je vais essayer de calculer le u pour mon régulateur PI à un instant donné. Je vais avoir une première partie initialement la valeur précédente du régulateur vaut 0 et j'ai uniquement cette partie qui me donne, par exemple, cette partie en rouge.

Notes

Summary

2m 53s

Effet du terme intégrateur



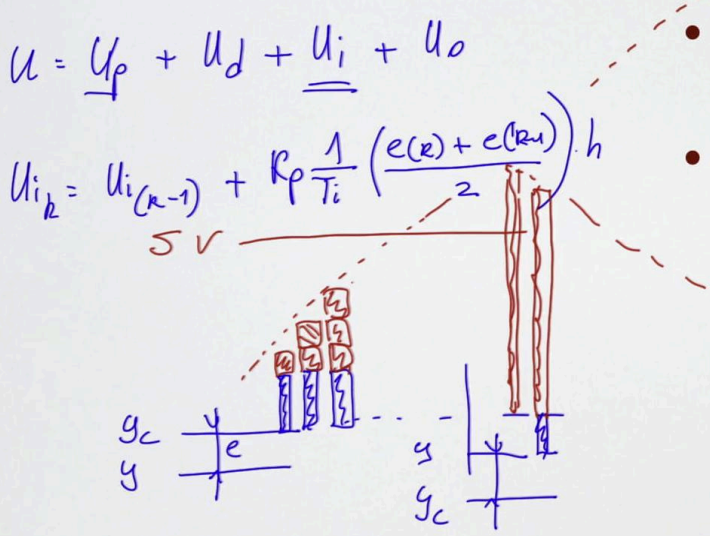
À l'instant suivant, si l'erreur est constante, j'aurai la même composante pour le terme proportionnel et pour le terme intégrateur, j'aurai cette fois la valeur précédente qui se trouve ici, plus quelque chose qui est venu s'ajouter pour la fois courante. Et ainsi de suite proportionnel intégrateur. Et qu'est-ce qu'on voit ici ? C'est que mon système, il va grandir, grandir, grandir, et ici, la tension U, qui est la somme de ces deux valeurs, va aller en augmentant, en augmentant, en augmentant, jusqu'à sortir de mon slide. Cette valeur en interne est théorique, peut augmenter à l'infini, mais on a vu que dans la pratique, le système était saturé. Typiquement, dans notre exemple, on avait une commande qui était, par exemple, saturée à 5 volts. Jusqu'ici, il n'y a pas de problème, le système va aller jusqu'à la valeur de saturation et rester comme ça. De toute façon, il ne pourra pas dépasser la valeur de saturation. Le problème arrive s'il y a, par exemple, un changement de consigne. La consigne va changer de signe. On aura toujours ici y et ici yc. Donc l'erreur va devenir l'inverse de la valeur précédente. Si on regarde maintenant la composante qui est due au terme proportionnel, elle sera inversée comme l'erreur a été inversée.

Notes

Summary

4m 37s

Effet du terme intégrateur



- Le terme intégrateur Ui du régulateur PID intègre l'erreur
- Par défaut, il n'y a pas de limite sur la valeur que peut prendre le terme intégrateur

TP Control Systems

Par contre, la composante qui est due au terme intégrateur, elle vaudra celle qui est au temps précédent, qui vaudra à peu près cette valeur-là, moins un petit bout, ça veut dire qu'on aura une composante ici qui reste très, très grande, plus grande que la valeur de saturation. Elle a diminué un peu, mais elle reste toujours très grande. La somme de ces deux valeurs est la tension qui est appliquée au moteur. On voit sur ce graphique qu'il faudra attendre un certain temps pour que le terme intégrateur se vide et soit plus faible que la valeur de saturation.

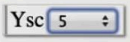
Notes

Summary

6m 12s

Expérimentation 3 – PI effet du terme intégrateur

En utilisant le régulateur PI calculé précédemment

- Appliquez un signal carré d'amplitude ~3.8 [v] avec une fréquence de 0.1 [Hz]
- Observez le temps de réponse du système lors du changement de la valeur de consigne
- Au besoin, changez l'échelle des Y 

pour voir l'ampleur que peut prendre le terme intégrateur Ui

TP Control Systems

Dans cette expérience, vous allez mettre en évidence les problèmes d'un terme intégrateur qui n'est pas saturé. Donc, vous allez employer le régulateur que vous avez calculé précédemment, et vous allez appliquer un signal carré d'amplitude de 3,8 volts avec une fréquence de 0,1 hertz. Avec de telles valeurs, vous allez saturer la commande. Pour voir les effets d'un terme intégrateur qui n'est pas saturé, vous allez observer la réponse du système lorsque vous avez un changement dans la consigne. Au besoin, vous allez changer l'échelle des Y dans votre interface utilisateur à l'aide du pop-up menu. Ainsi, vous allez pouvoir voir la grande amplitude que peut prendre le terme intégrateur.

Notes

Summary

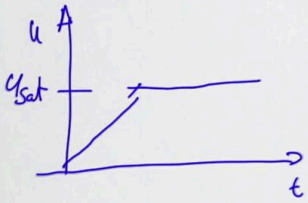
6m 50s

Mesures anti-emballement

$u = u_p + u_d + u_i + u_0$

Si $u > u_{sat}$

$u_{i(k)} = u_{i(k-1)}$



- Les mesures anti-emballement (ARW) saturent la valeur que peut prendre le terme intégrateur Ui
- Ces mesures sont activées uniquement lorsque la commande est saturée
- La saturation du terme intégrateur a pour effet de réduire le temps nécessaire à sa "vidange"

TP Control Systems

La commande qui est appliquée au moteur est la somme des différentes composantes pour le terme proportionnel, le terme dérivé, le terme intégrateur et éventuellement une commande a priori. On voit que le terme qui nous pose problème, c'est le terme intégrateur parce qu'il accumule l'erreur. Et un test tout simple pour limiter cette valeur, c'est de dire que si ma commande u est plus grande que ma commande de saturation, par exemple, ici, celle qu'on a trouvée dans notre système, elle était de 5 volts, alors la valeur ui de k, au lieu d'être la valeur que l'algorithme calcule, elle est égale à la valeur trouvée à l'instant précédent. Et ainsi, il y a saturation du terme intégrateur. Si on regarde ça, tant que cette mesure n'est pas appliquée, on a ici dans le temps, si je reprends le dessin précédemment, ici, ma commande u, on voyait que ma commande u augmentait, et ici, une fois que mon u dépasse mon u de saturation, ma commande est bloquée à la valeur de saturation et en interne, mon terme ui de k ne peut pas prendre une valeur infinie, mais est bornée.

Notes

Summary

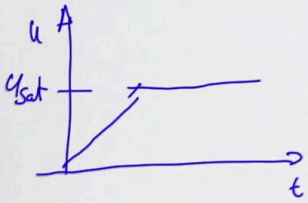
7m 30s

Mesures anti-emballement

$u = u_p + u_d + u_i + u_0$

Si $u > u_{sat}$

$u_{i(k)} = u_{i(k-1)}$



$u_{i(k)} = u_{sat} - (u_p + u_d)$

- Les mesures anti-emballement (ARW) saturent la valeur que peut prendre le terme intégrateur Ui
- Ces mesures sont activées uniquement lorsque la commande est saturée
- La saturation du terme intégrateur a pour effet de réduire le temps nécessaire à sa "vidange"

TP Control Systems

Il existe d'autres manières de saturer le terme ui, une autre manière qu'on trouve des fois dans la littérature, c'est de dire que la valeur ui de k, c'est égal à la valeur u saturée, donc votre valeur de saturation, moins la somme de toutes les autres composantes up plus ud. Celle qui est implantée dans les systèmes auxquels vous accédez, c'est cette valeur ici.

Notes

Summary

8m 59s

Expérimentation 4 – Mesures anti-emballement

En utilisant le régulateur PI calculé précédemment

- Appliquez un signal carré d'amplitude ~3.4[v] avec une fréquence de 0.1 [Hz]
- Activez les mesures anti-emballement (ARW)
- Observez le temps de réponse du système lors du changement de la valeur de consigne
- Réduisez l'amplitude du signal carré jusqu'à ce que la commande ne sature plus
- Désactivez les mesures anti-emballement (ARW)
- Observez le temps de réponse du système

TP Control Systems

Dans cette expérience, vous allez refaire la même expérience que précédemment, mais cette fois, vous allez activer les mesures anti-emballement ou ARW pour en tirer cette wind-up. Vous allez cette fois observer le temps de réponse du système lorsqu'il y a un changement de consigne. Une fois que vous avez cette expérience, vous allez réduire l'amplitude du signal que vous appliquez à votre système jusqu'à ce que la commande ne sature plus et une fois que vous êtes sûr que la commande ne sature plus, vous allez désactiver les mesures anti-emballement et vous allez de nouveau observer le temps de réponse du système.

Notes

Summary

9m 29s

Conclusions

Qu'ai-je appris aujourd'hui ?

- Une commande a priori permet d'imposer un point de fonctionnement
- Les mesures anti-emballement (ARW) saturent la valeur du terme intégrateur
- Dans la pratique, il est judicieux d'ajouter des mesures anti-emballement (ARW) dès que vous avez un régulateur avec terme intégrateur

TP Control Systems

Dans le module d'aujourd'hui, nous avons vu comment calculer une commande a priori pour imposer un point de fonctionnement. Nous avons comparé ce résultat à une commande a priori qui était trouvée expérimentalement, de même, nous avons vu les effets potentiellement néfastes d'un terme intégrateur si celui-ci n'est pas saturé. Pour limiter ces effets, on vous a proposé des mesures anti-emballements qui saturent la valeur du terme intégrateur. Il est à noter que dans la pratique, il est toujours judicieux d'ajouter des mesures anti-emballement dès que vous ajoutez un terme intégrateur à votre régulateur.

Notes

Summary

10m 04s