

Calculateur moteur : du capteur à la décision

Version PDF de travail - contenu du cours HTML canonique

Boussole du cours

Question directrice : Comment un calculateur transforme-t-il une erreur de pression ou de poussée en ordre de vanne ?

1 — La question physique

Comment un calculateur transforme-t-il une erreur de pression ou de poussée en ordre de vanne ?

Nous partons du problème concret avant la notation. Le but est de comprendre ce que l'on cherche, puis seulement pourquoi les mathématiques deviennent utiles.

2 — Comment lire les symboles et les unités

$e = r - y$; $u = K_p \times e$. Lecture : « e égale r moins y ; u égale K p fois e ».

r — référence ou consigne ; y — mesure ; e — erreur ; K_p — gain proportionnel ; u — commande calculée

3 — D'où vient la relation ?

Une boucle de retour compare la consigne r à la mesure y. L'erreur e alimente une loi de commande. Dans le modèle proportionnel le plus simple, la commande u est K_p fois l'erreur. Les contrôleurs réels ajoutent filtres, limites, logique d'état et protections.

Chaque nombre utilisé plus bas est explicitement classé comme donnée, convention, hypothèse pédagogique ou résultat calculé.

4 — A — Pression trop basse

D'où viennent les nombres ? $r=100$ bar, $y=96$ bar, $K_p=0,5$ %/bar.

Calcul pas à pas : $e=4$ bar ; $u=0,5 \times 4 = +2$ %.

Le modèle demande une petite augmentation de commande.

5 — B — Pression trop haute

D'où viennent les nombres ? $r=100$, $y=104$, $K_p=0,5$.

Calcul pas à pas : $e=-4$; $u=-2$ %.

Le signe change naturellement le sens de correction.

6 — C — Saturation

D'où viennent les nombres ? $e=30$ bar, $K_p=0,5 \Rightarrow u=15$ %, mais l'actionneur est limité à ± 8 %.

Calcul pas à pas : Commande appliquée = ± 8 %, pas ± 15 %.

Une limite physique doit être intégrée dans la logique, sinon l'équation seule commande l'impossible.

7 — Sensibilité, calcul inverse et contrôle du résultat

Changez une seule entrée, prévoyez le sens du résultat, calculez, puis contrôlez unités, signe, ordre de grandeur et limites.

Limite essentielle pour Calculateur moteur : du capteur à la décision : la relation affichée est un modèle d'apprentissage. Un système réel ajoute géométrie détaillée, propriétés variables, capteurs, incertitudes,

transitoires et essais.

8 — Pourquoi cela compte en mission

Dans une mission spatiale, comment un calculateur transforme-t-il une erreur de pression ou de poussée en ordre de vanne ? La compétence utile n'est pas de réciter la formule, mais de savoir quelles données sont nécessaires, lesquelles sont mesurées et à quel moment le modèle devient insuffisant.

10 — Approfondir : du calcul à la compréhension physique

La boucle commence par une différence entre ce que l'on veut et ce que l'on mesure

Dans $e=r-y$, r est la consigne et y la valeur mesurée. Si la consigne de pression vaut 100 unités et la mesure 92, l'erreur vaut +8. Le signe indique dans quel sens l'action corrective doit aller selon la convention choisie. Cette soustraction est le cœur de nombreuses boucles de régulation : agir sur l'écart plutôt que commander aveuglément une position fixe.

Le gain K_p transforme une erreur en action

Dans le modèle pédagogique $u=K_p e$, un gain plus grand produit une correction plus forte pour la même erreur. Cela semble toujours avantageux, mais une boucle réelle possède retard, inertie, bruit et limites d'actionneur. Un gain excessif peut conduire à dépassement ou oscillation. La commande devient donc un problème de dynamique, pas une simple multiplication.

La saturation rappelle que la machine a des limites

Si le calcul demande $u=120\%$ alors que l'actionneur ne peut fournir que 100 %, la commande réelle est saturée à sa limite. Le logiciel doit le savoir : continuer à intégrer ou calculer comme si 120 % étaient réellement appliqués peut dégrader le comportement de la boucle. Même dans un cours débutant, il faut apprendre qu'une équation de commande se heurte toujours à des limites physiques.

L'automatisation ne supprime pas le besoin de preuve

Un ordinateur peut exécuter des milliers de corrections par seconde, mais sa vitesse n'assure pas que la logique est correcte. Les lois de commande, capteurs, actionneurs, logiciels et modes dégradés doivent être vérifiés ensemble. Ce principe explique comment un lanceur moderne peut corriger automatiquement son attitude sans qu'un humain « pilote la tuyère » à chaque instant.

9 — Exercices et corrigés

Défi 1

$r=100$ bar, $y=96$ bar, $K_p=0,5$ %/bar.

Défi 2

$r=100$, $y=104$, $K_p=0,5$.

Défi 3

$e=30$ bar, $K_p=0,5 \Rightarrow u=15$ %, mais l'actionneur est limité à +8 %.

Sources primaires et techniques

- NASA NTRS — GRCop-42 Regeneratively Cooled Thrust Chamber
- NASA Basics of Space Flight — Navigation
- NASA NTRS — Engine control documentation