

# Projet de Simulation

Judicaël Corpet

May 30, 2025

## 1 Introduction

L'objectif de ce projet est de mettre en application des modèles générés lors des séances de travaux pratiques sous la responsabilité de M. Dogan Sinan Haliyo.

## 2 Simulation d'un moteur à courant continu (CC)

L'objectif est de créer un modèle numérique du moteur à courant continu avec comme entrée  $U_m$  et comme sortie la vitesse  $\Omega$  et le couple  $\Gamma$ .

### 2.1 Solution analytique

On considère la simplification suivante :  $L \approx 0H$

L'équation électrique devient alors :  $U_m(t) = E(t) + Ri(t)$  avec  $E(t) = k_e \Omega(t)$

On obtient ainsi l'expression de l'intensité :  $i(t) = \frac{U_m - k_e \Omega(t)}{R}$

L'équation mécanique devient :  $J \frac{d\Omega(t)}{dt} + f\Omega(t) = \Gamma(t)$  avec  $\Gamma(t) = k_c i(t)$

En remplaçant  $i(t)$  par son expression on obtient :  $J \frac{d\Omega(t)}{dt} + f\Omega(t) = k_c \frac{U_m - k_e \Omega(t)}{R}$

$$\Rightarrow J \frac{d\Omega(t)}{dt} + f\Omega(t) + \frac{k_e k_c \Omega}{R} = \frac{k_c U_m}{R}$$

On a une équation différentielle de la forme  $\frac{d\Omega(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} \Omega = KU_m$  (1)

$$\text{Avec } \tau = \frac{J}{f + \frac{k_e k_c}{R}} \text{ et } K = \frac{k_c}{R(f + \frac{k_e k_c}{R})}$$

Considérons un échelon de tension  $U_m = U_0 u(t)$  avec  $u(t)$  la fonction échelon et la condition initiale  $\Omega(0) = 0$

La solution de l'équation (1) est donnée par  $\Omega(t) = KU_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  et en remplaçant  $K$  par son expression on obtient :

$$\Omega(t) = \frac{k_c}{R(f + \frac{k_e k_c}{R})} U_0 (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \text{ avec } \tau = \frac{J}{f + \frac{k_e k_c}{R}}$$

### 2.2 Simulation

#### 2.2.1 validation du modèle

Après construction de la classe "MoteurCC", voici la réponse indicielle tracée par le simulateur et la comparaison avec la réponse théorique visible sur la *Figure 1*.

On remarque que la réponse indicielle simulée par le modèle épouse la courbe de la réponse théorique, ce qui valide le modèle.

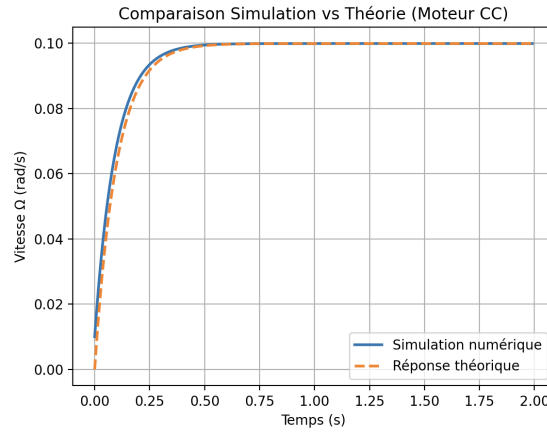


Figure 1: Comparaison des réponses indicielle et théorique

### 2.2.2 influence de la simplification

Les avantages :

- modèle plus simple à simuler avec une équation du 1<sup>er</sup> ordre
- temps de calcul réduit

Les inconvénients :

- accélération artificielle de la réponse transitoire du moteur au démarrage ou lors d'un changement de consigne
- ajustement instantané du courant (non réaliste)

### 2.2.3 enrichissement du modèle

Pour enrichir le modèle on peut prendre en compte les forces suivantes :

- inertie de la charge (ajoutée à l'inertie du rotor)
- couple résistant extérieur
- viscosité externe (frottements additionnels)

La réponse indicielle obtenue avec le modèle enrichi et permettant de valider ce modèle est visible sur la *Figure 2*.

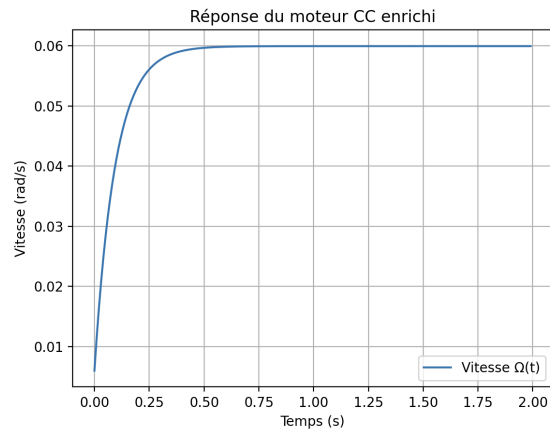


Figure 2: Réponse indicielle modèle enrichi

On observe un plateau à 0.06 rad/s ce qui est bien plus faible que le modèle théorique. Ce résultat

correspond bien à un moteur qui a plus d'inertie à entraîner, plus de pertes visqueuses et une charge mécanique à compenser, ce qui est cohérent. Pour compenser tous ces efforts et obtenir un résultat de nouveau proche de 1 rad/s, il faut soit augmenter la tension en entrée ( $U_m > 1$ ) soit passer en boucle fermée avec un PID pour adapter dynamiquement la tension.

## 2.3 Commande

### 2.3.1 Différents modèles de correcteur P et PI

En testant plusieurs modèles de P et PI, on obtient les réponses indicielles de la *Figure 3*.

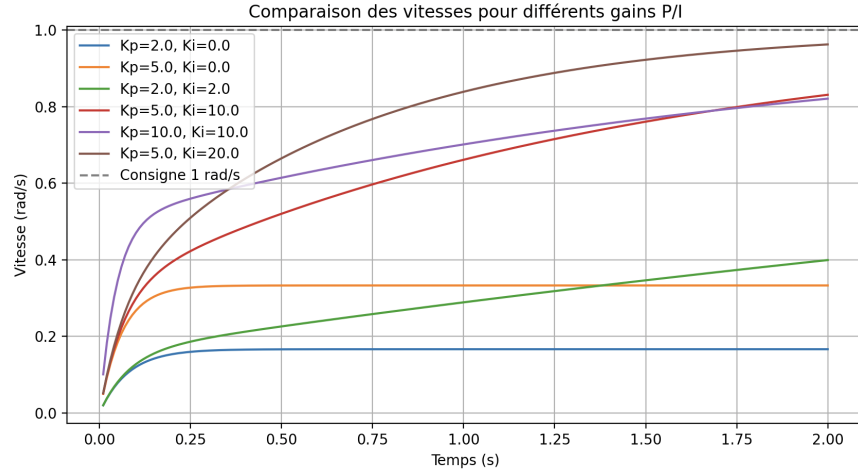


Figure 3: Réponse indicielle en fonction des correcteurs

Les cas étudiés ici (proportionnel seul, proportionnel + intégrateur) permettent de voir l'influence des valeurs des correcteurs. On remarque que plus la valeur du correcteur proportionnel est importante, et plus la réponse est rapide.

On remarque également que l'intégrateur permet de diminuer l'erreur statique et de se rapprocher de la vitesse cible, comme le montrent la *Figure 4*.

Kp	Ki	Temps de réponse (s)	Erreur statique	Tension max (V)	Vitesse max (rad/s)
2.0	0.0	2.0	0.8335	2.0	0.1665
5.0	0.0	2.0	0.6669	5.0	0.3331
2.0	2.0	2.0	0.6006	4.09	0.3994
5.0	10.0	2.0	0.1687	8.43	0.8313
10.0	10.0	2.0	0.1789	10.1	0.8211
5.0	20.0	1.8	0.0372	9.69	0.9628

Figure 4: tableau de caractéristiques du modèle en fonction du correcteur

La tension générée par le contrôleur est également meilleur avec un intégrateur et plus sa valeur est grande, plus la correction est rapide mais demande une tension forte, comme le montre la comparaison des tensions en fonction du correcteur en *Figure 5*.

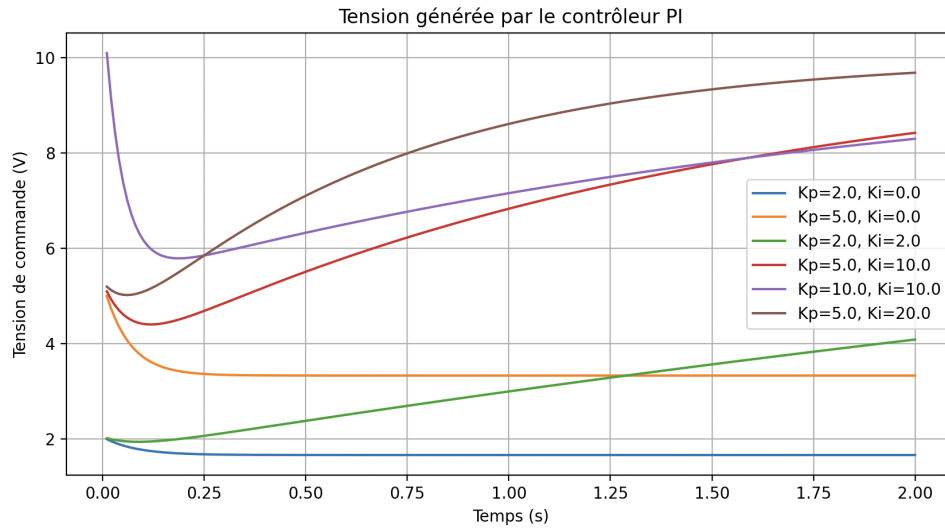


Figure 5: tensions générée en fonction du correcteur

### 3 Simulation (moteur centrifugeuse)

La suite du projet consiste à intégrer le modèle de moteur CC réalisé juste avant dans l'univers réalisé pendant les séances de TP.

Le premier objectif est d'afficher un moteur CC auquel est relié une particule par un ressort et de montrer l'évolution de l'élongation du ressort en fonction de la vitesse de rotation du moteur.