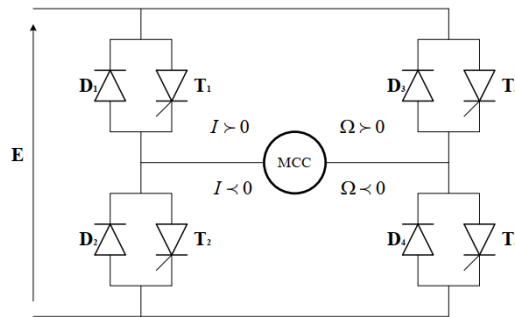


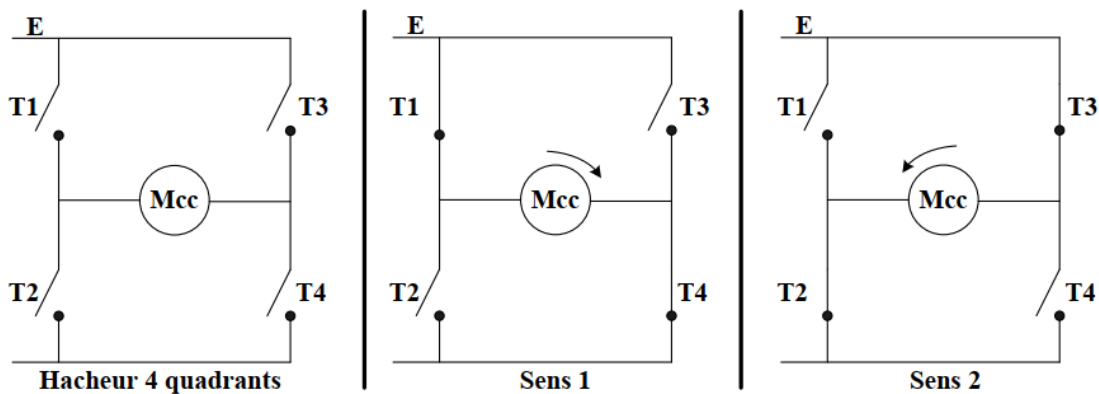
## TP2 Asservissement d'un moteur à courant continu alimenté à travers un convertisseur en H

### 1) Objectif

Généralement dans la pratique le moteur à courant continu est associé à un convertisseur DC/DC ou hacheur, dans de nombreux systèmes, il est nécessaire de pouvoir commander le sens de rotation d'un moteur à courant continu dans les quatre quadrants ceci peut être réalisé par l'utilisation d'un hacheur en H.



### Pont en H



4 thyristors T1, T2, T3 et T4, sont montés en pont et permettent de commander le sens de rotation du moteur : Lorsque T1 et T4 sont fermés (saturés), le moteur tourne dans un sens (sens 1). Lorsque T2 et T3 sont fermés, le moteur va tourner dans l'autre sens (sens 2)

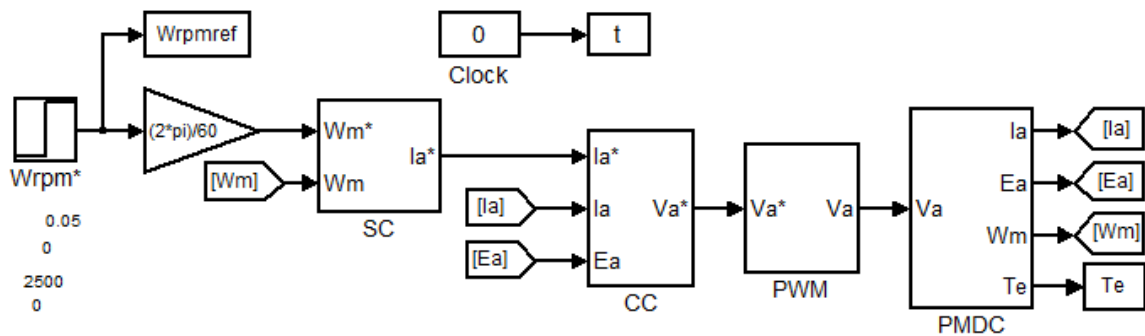
La tension moyenne aux bornes du moteur est égale à :

$$U_m = (2\alpha - 1)E, \text{ pour les transistors } T1, T4$$

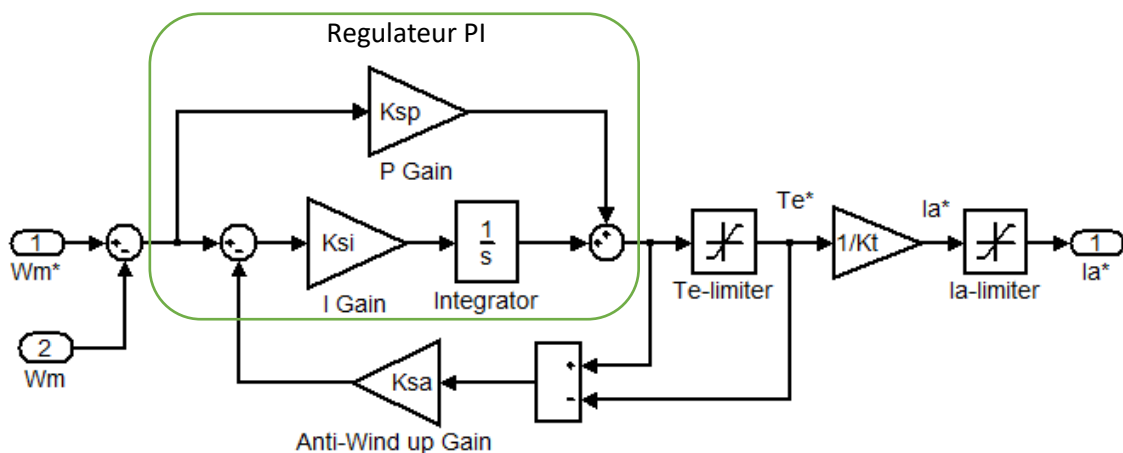
$$U_m = -(2\alpha - 1)E, \text{ pour les transistors } T2, T3$$

### 2) IMPLANTATION DES DIFFERENTS BLOCS SOUS SIMULINK

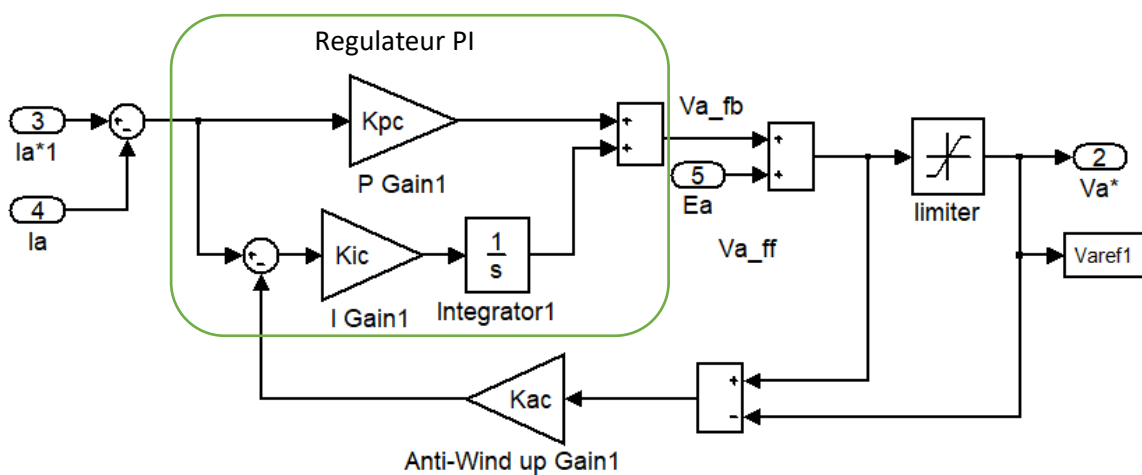
Les différents blocs du système complet sont un régulateur de vitesse, un régulateur de courant, un bloc de commande MLI(PWM) de l'hacheur en H, un bloc pour le moteur à courant continu à aimant permanent.



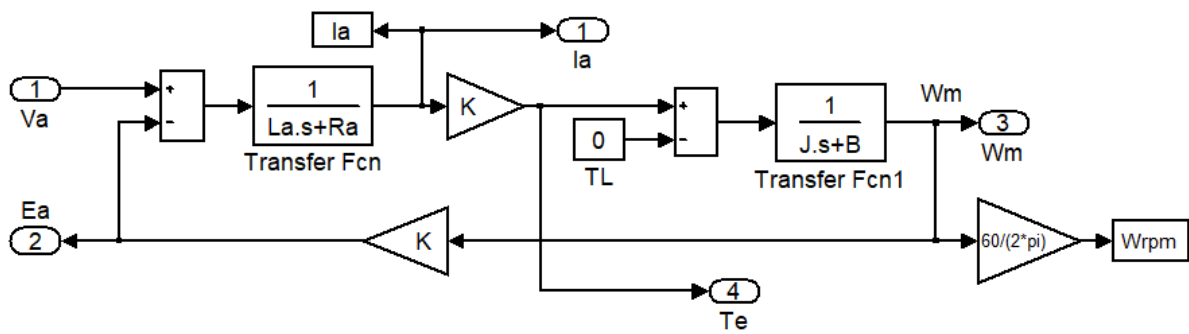
Système complet d'asservissement d'un moteur mcc à implanter sous Simulink



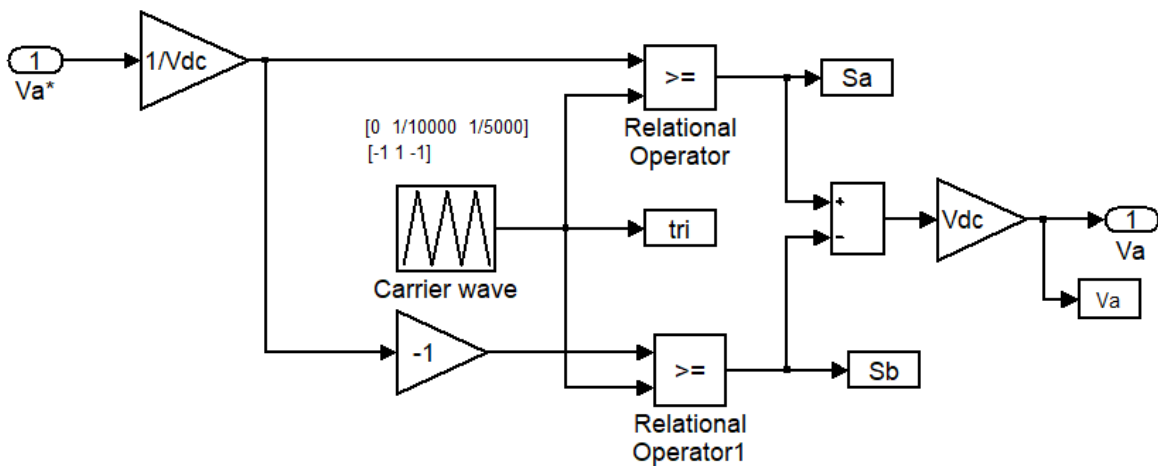
Régulateur de vitesse



Régulateur de courant



Bloc du moteur CC

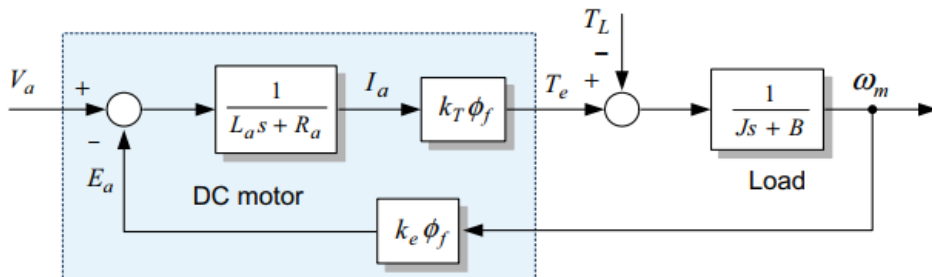


Bloc de commande MLI du pont en H

### 3)PRINCIPE

Le régulateur PI de courant et de vitesse est donné par la formule suivante :

$$G_{pi}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad \text{s ou p :variable de Laplace}$$



Bloc fonctionnel en boucle fermé d'un moteur CC

La fonction de transfert vitesse-tension a pour expression complète :

$$\begin{aligned} \frac{\omega_m(s)}{V_a(s)} &= \frac{\frac{1}{L_a s + R_a} \cdot k_e \phi_f \cdot \frac{1}{J s + B}}{1 + \left( \frac{1}{L_a s + R_a} \cdot k_e \phi_f \cdot \frac{1}{J s + B} k_T \phi_f \right)} \\ &= \frac{\frac{k}{J L_a}}{s^2 + \left( \frac{R_a}{L_a} + \frac{B}{J} \right) s + \left( \frac{R_a B}{L_a J} + \frac{k^2}{J L_a} \right)} \quad (k = k_T \phi_f = k_e \phi_f) \end{aligned}$$

Négligeant B

$$\frac{\omega_m}{V_a} = \frac{\frac{k}{J L_a}}{s^2 + \left( \frac{R_a}{L_a} \right) s + \left( \frac{k^2}{J L_a} \right)} = \frac{\frac{1}{k} \left( \frac{R_a}{L_a} \cdot \frac{k^2}{J R_a} \right)}{s^2 + \left( \frac{R_a}{L_a} \right) s + \left( \frac{R_a}{L_a} \cdot \frac{k^2}{J R_a} \right)}$$

$$T_m = J R_a / k^2 \quad \text{et} \quad T_a = L_a / R_a$$

$$\frac{\omega_m}{V_a} = \frac{\frac{1}{k} \left( \frac{1}{T_m T_a} \right)}{s^2 + \frac{1}{T_a} s + \frac{1}{T_m T_a}}$$

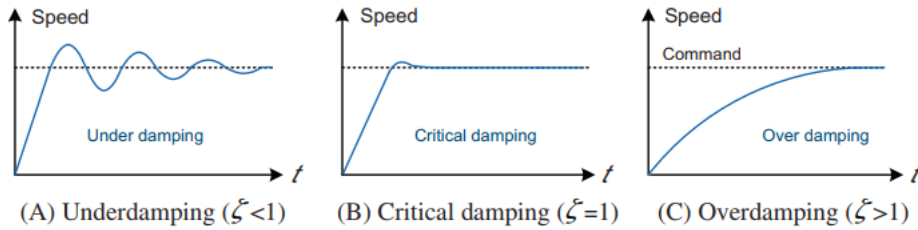
Les pôles peuvent être obtenus à partir des racines du dénominateur (polynôme caractéristique). En la comparant avec l'équation du 2<sup>eme</sup> degré suivante :

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

A partir de cette equation la pulsation propre non amortie  $\omega_n$  et le rapport d'amortissement  $\zeta$  pour le système d'entraînement à moteur à courant continu sont donnés par :

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{T_a T_m}} = \frac{k}{\sqrt{J L_a}}$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_m}{T_a}} = \frac{1}{2} \frac{R_a}{k} \sqrt{\frac{J}{L_a}}$$



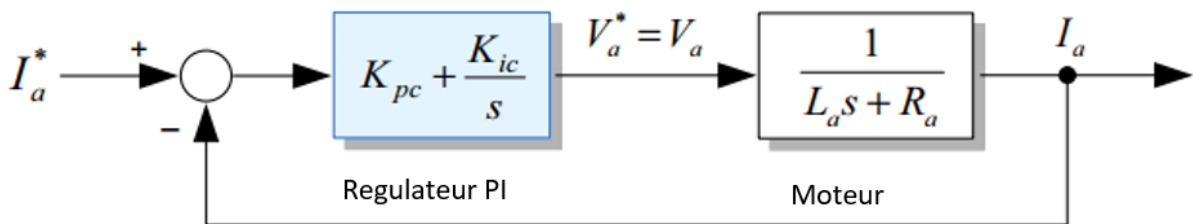
Réponses du système en fonction du taux d'amortissement. (A) Sous-amortissement ( $\zeta < 1$ ), (B) amortissement critique ( $\zeta = 1$ ) et (C) suramortissement ( $\zeta > 1$ )

comme dans la plupart des systèmes d'entraînement motorisé, la réponse temporelle d'un système électrique est plus rapide que celui d'un système mécanique. Dans ce cas, nous pouvons ignorer l'effet du circuit électrique pour ( $L_a=0$ )

$$\frac{\omega_m}{V_a} = \frac{k}{R_a J s + K^2} = \frac{1}{k} \frac{\omega_c}{s + \omega_c} \left( \omega_c = \frac{k^2}{R_a J} \right)$$

$\omega_c$  pulsation de coupure

Régulateur de courant

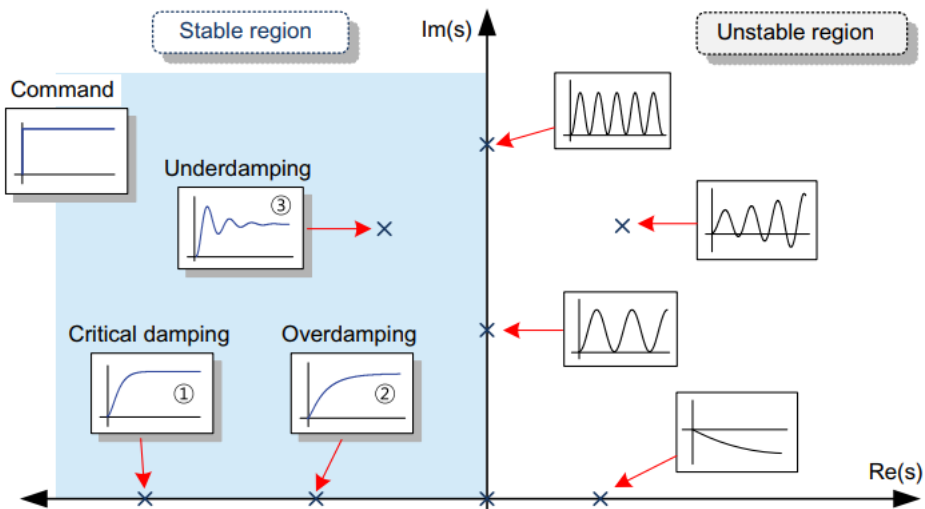
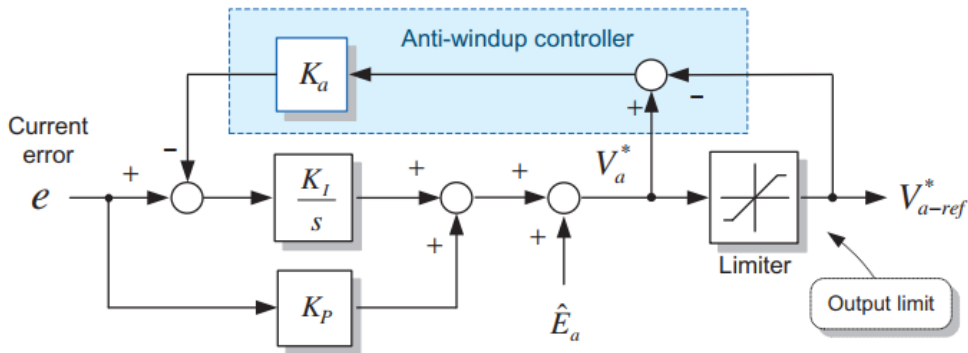


En Boucle fermé :

$$\frac{I(s)}{I^*(s)} = G_c^c(s) = \frac{G_c^o(s)}{1 + G_c^o(s)} = \frac{1}{\left(\frac{L_a}{K_{pc}}\right)s + 1} = \frac{\omega_{cc}}{s + \omega_{cc}}$$

### Rôle : anti-windup (contre emballement)

Généralement le système anti-emballement a pour rôle d'éviter la saturation du régulateur, si par exemple votre actionneur est saturé, ceci a pour conséquence que toute augmentation à l'entrée, la sortie reste saturée (constante), donc il aura un écart négatif entre l'entrée  $u(t)$  et la sortie de l'actionneur, et par la suite une limitation de commande.



Emplacements des pôles du système et réponses transitoires correspondantes.

### Script définissant les différents paramètres de simulation

```

% Bloc de simulation contenant un hacheur à quatre quadrants.
%-----
clear all;

%-- Paramètres DC Moteur -----
Power=3336;           % Puissance [W]
Va_rated=140;        % Tension [V]
Ia_rated=25;         % Courant nominal [A]
Wm_rated=3000*2*pi/60; % Vitesse angulaire nominale [rad/s]
Te_rated=Power/Wm_rated; % couple nominal [Nm]

Ra=0.26;             % Resistance [Ohm]
La=1.7e-3;           % Inductance [H]
J=.00252;            % Moment d'inertie [kg-m^2]
B=.0;                % Coefficient de frottement visqueux [kgm^2/sec]

Kt=Te_rated/Ia_rated; % constant couple [Nm/Wb/A]
K=Kt;

%-- Gains contrôleur courant -----
Wcc=2*pi*500;        % bande passante du contrôleur courant [rad/s]
Kpc=La*Wcc;          % gain P
Kic=Ra*Wcc;          % gain I

```

```

Kac=1/Kpc; % gain Anti-windup

%--- Gains contrôleur Vitesse -----
Wsc=2*pi*50; % bande passante du contrôleur Vitesse [rad/s]
Ksp=J*Wsc; % gain P
Ksi=Ksp*Wsc/5; % gain I
Ksa=1/Ksp; % gain Anti-windup
Te_limit=Te_rated;
Ia_limit=Ia_rated;

Vdc=140;

Tstop=.2; % Temps de simulation [sec]

figure(1);
plot(t,Wrpmref,t,Wrpm,'r'); grid on;
axis([0.,Tstop,-500,3000]);
xlabel('Time[s]');
ylabel('Wrpmref & Wrpm[r/min]');

figure(2);
plot(t,Ia,t,Te); grid on;
axis([0.,Tstop -5 30]);
xlabel('Time[s]');
ylabel('Ia[A] & Te[Nm]');

```

#### Travail demandé

- Rappeler l'approche théorique du convertisseur DC/DC en pont de H
- Réaliser les différents blocs sous Simulink
- Comparer les résultats en utilisant uniquement les régulateurs PI avec et sans anti-windup.