

4.1 Introduction

L'amélioration des indices technico- économiques des machines modernes de production est impensable sans une large utilisation de l'automatisation et sans l'application des divers moyens de l'automatique qui remonte déjà à plus d'un siècle.

Au fur à mesure de l'avance technologique, les systèmes de commande (de régulation) permettent de construire des systèmes plus complexes avec plus de sécurité et accroître le rendement de la production.

Dans ce chapitre, nous allons présenter un réglage du courant inducteur par un régulateur PI donnant une meilleure stabilité du système [25].

4.2 Généralités sur les systèmes à régler

Un système asservi est formé :

- D'un système à commander qui est un processus (partie opérative) où s'opère une transformation de puissance avec un objectif précis.
- D'un dispositif de commande (partie commande) qui assure le réglage automatique du processus [17].

Les propriétés du système à régler sont aussi nécessaires à connaître pour permettre la mise en place du schéma d'automatisation, de choisir la loi de réglage et de déterminer les valeurs optimales des paramètres d'ajustement du régulateur [25].

4.3 Principe de fonctionnement du système de régulation

D'habitude, un système de régulation automatique des processus industriels est considéré simplement comme un ensemble de dispositif destiné à régler certaines grandeurs physiques telles que : courant, tension,...etc. L'ensemble de ces éléments constitue ce qui est communément appelée par boucle de régulation [25] [8].

4.3.1 Système en boucle ouverte

Un système en boucle ouverte est un système où la variable d'entrée (de commande) est indépendante de la grandeur de sortie figure 4.1.

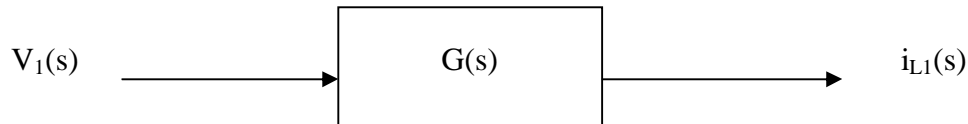


Fig.4.1 : Schéma fonctionnel du système à réguler en boucle ouverte.

4.3.2 Système en boucle fermée

Un système en boucle fermée comprend :

- l'organe de mesure,
- les organes de réglage,
- l'objet à régler (système à régler).

Les constituants de la boucle de régulation sont parcourus par un signal d'information dans le sens du capteur de mesure, organe de régulation et système commandé. Ce sens est irréversible et la valeur de commande dépend de la grandeur commandée. La mesure des valeurs des grandeurs réglées est comparée aux valeurs de références, pour obtenir l'action de commande en vue de corriger la différence (ou écart) s'il y en a. Cet écart est le résultat de l'action des perturbations externes et/ou internes agissant sur le système à commander figure 4.2, qui sera l'entrée d'un régulateur choisi. Sur cette figure on donne le schéma fonctionnel d'une régulation en courant.

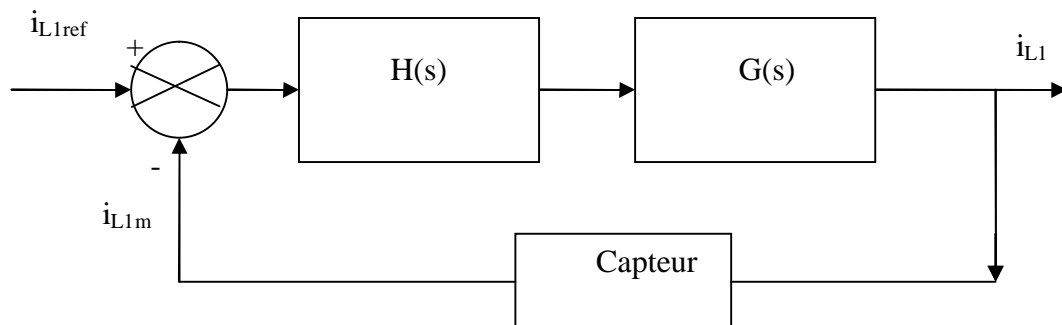


Fig.4.2 : Schéma fonctionnel en boucle fermée avec régulateur.

4.4 Calcul des paramètres du régulateur de courant (PI)

par la méthode de placement des pôles

La fonction de transfert en boucle ouverte est donnée par :

$$G(s) = \frac{i_{L1}(s)}{V_1(s)} \quad (4.1)$$

Pour obtenir l'expression finale de $G(s)$, nous utilisons les équations de notre système (figure 3.21) :

$$\begin{cases} V_1 = V_{ca} + V_{L1} \\ V_{L1} = R_1 \cdot i_{L1} + L_1 \cdot \frac{di_{L1}}{dt} + M \cdot \frac{di_{L2}}{dt} \\ 0 = R_2 \cdot i_{L2} + L_2 \cdot \frac{di_{L2}}{dt} + M \cdot \frac{di_{L1}}{dt} \\ V_{ca} = \frac{1}{C_a} \cdot \int i_{L1} \cdot dt \end{cases} \quad (4.2)$$

Avec :

s : L'opérateur de Laplace,

$G(s)$: Fonction de transfert,

R_1 : La résistance de l'inducteur en (Ω),

R_2 : La résistance du récipient en (Ω),

L_1 : L'inductance de l'inducteur en (H),

L_2 : L'inductance du récipient en (H),

M : L'inductance mutuelle en (H),

C_a : La capacité du condensateur de compensation (F),

V_{L1} : La tension aux bornes de l'inducteur (V),

V_1 : La tension de la sortie de l'onduleur (V),

V_{ca} : La tension aux bornes de du condensateur C_a (V),

i_{L1} : Le courant dans l'inducteur (A),

i_{L2} : Le courant induit dans le récipient (A).

On a :

$$V_1(s) = R_1(s) \cdot i_{L1}(s) + L_1(s) \cdot s \cdot i_{L1}(s) + \frac{(1/C_a(s))}{s} \cdot i_{L1}(s) + M(s) \cdot s \cdot i_{L1}(s) \quad (4.3)$$

et:

$$i_{L2}(s) = -\frac{M(s).s}{R_2(s) + L_2(s).s} i_{L1}(s) \quad (4.4)$$

On le remplace dans l'expression de $V_1(s)$ d'où la fonction de transfert en boucle ouverte:

$$G(s) = \frac{L_2.C_a.s^2 + R_2.C_a.s}{(L_1.L_2 - M^2).C_a.s^3 + (R_2.L_1 + R_1.L_2).C_a.s^2 + (R_1.R_2.C_a + L_2).s + R_2} \quad (4.5)$$

En insérant un régulateur PI (action proportionnelle et intégrale en parallèle) de fonction de transfert :

$$H(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (4.6)$$

avec :

$H(s)$: La fonction du transfert du régulateur choisi (PI) [17],

K_p : Gain proportionnel,

K_i : Gain intégral.

Dans la boucle de régulation, la fonction de transfert se présente comme suit :

$$G_{BF}(s) = \frac{H(s).G(s)}{1 + H(s).G(s)} \quad (4.7)$$

L'équation caractéristique de $G_{BF}(s)$ est :

$$1 + H(s).G(s) = 0 \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned}
s^3 + \frac{R_2(s).L_1(s) + L_2(s).(R_1(s) + K_p)}{L_1(s).L_2(s) - M^2(s)} .s^2 + \frac{R_2(s).(R_1(s) + K_p) + L_2(s).(\frac{1}{C_a(s)} + K_i)}{L_1(s).L_2(s) - M^2(s)} .s \\
+ \frac{R_2(s).(\frac{1}{C_a(s)} + K_i)}{L_1(s).L_2(s) - M^2(s)} = 0
\end{aligned} \tag{4.9}$$

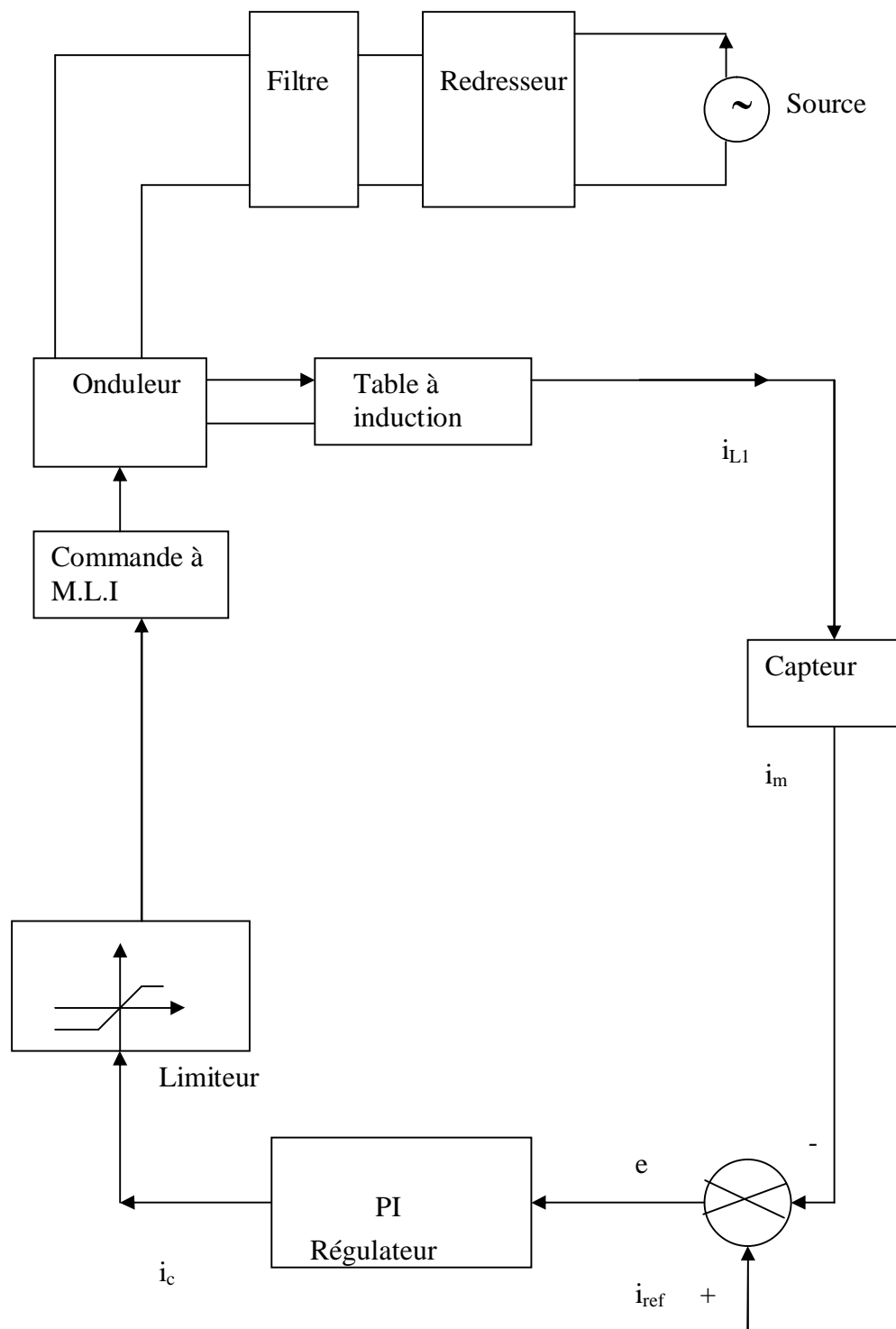
En introduisant trois pôles désirés $p_{1,2} = \alpha (-1 \pm j)$, $p_3 = -\alpha$, en boucle fermée :

$$(s - p_1).(s - p_2).(s - p_3) = 0 \Rightarrow s^3 + 3\alpha.s^2 + 4\alpha^2.s + 2\alpha^3 = 0 \tag{4.10}$$

C'est la nouvelle équation caractéristique désirée, et par identification avec la première équation (4.9) on arrive à identifier :

$$K_p = 3\alpha . \frac{L_1(s).L_2(s) - M^2(s)}{L_2(s)} - R_2(s) . \frac{L_1(s)}{L_2(s)} - R_1(s) \tag{4.11}$$

$$K_i = 2\alpha^3 . \frac{L_1(s).L_2(s) - M^2(s)}{R_2(s)} - \frac{1}{C_a(s)} \tag{4.12}$$

**Fig.4.3** : Schéma synoptique de la régulation de courant.

4.5 Simulation et commentaire

Les résultats de simulation de la régulation du courant de l'inducteur de la table à induction sont illustrés dans les figures 4.4, 4.5. D'après ces figures, le courant dans l'inducteur est clairement amélioré dans le régime statique, et la valeur efficace du courant est devenue constante, donc la stabilité du système est obtenue par l'introduction d'un régulateur PI.

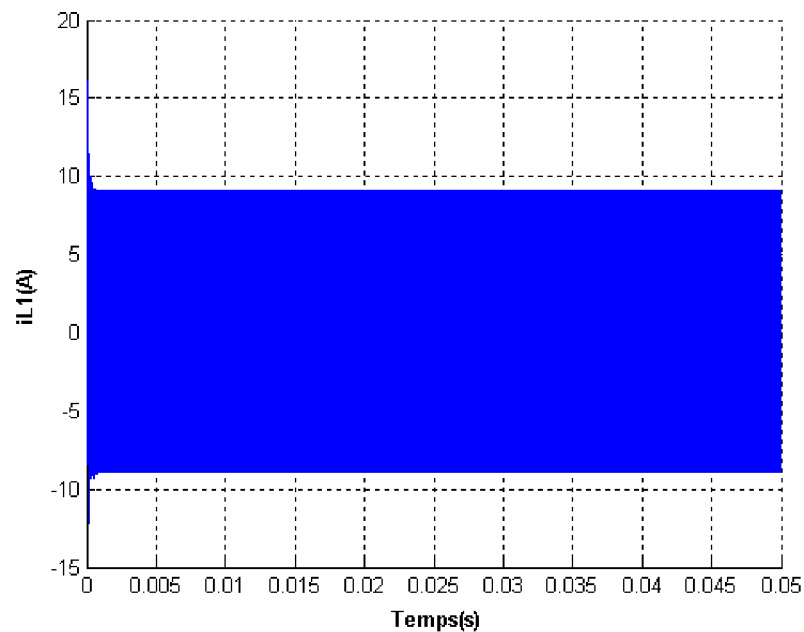


Fig.4.4 : Courant contrôlé dans l'inducteur de la table à induction pour un temps de 0.05 s

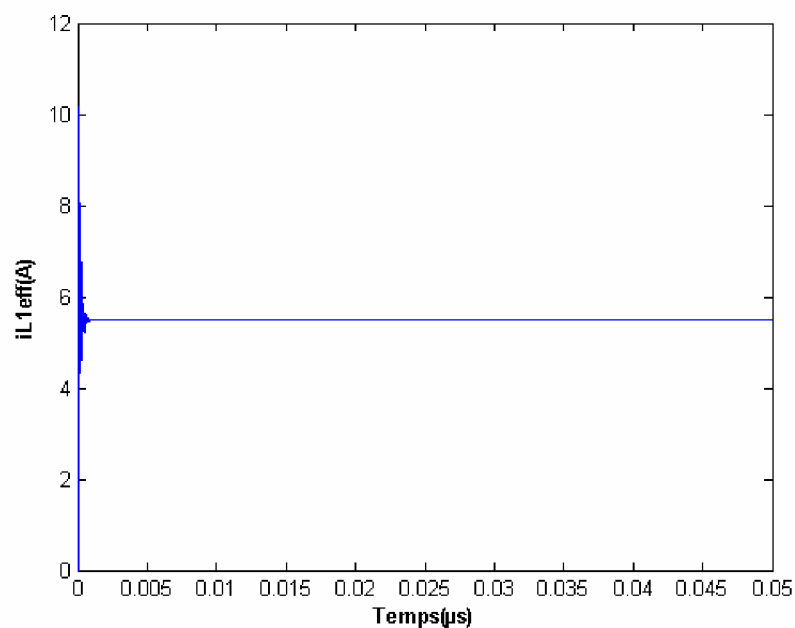


Fig.4.5 : La valeur efficace du courant contrôlé dans l'inducteur.

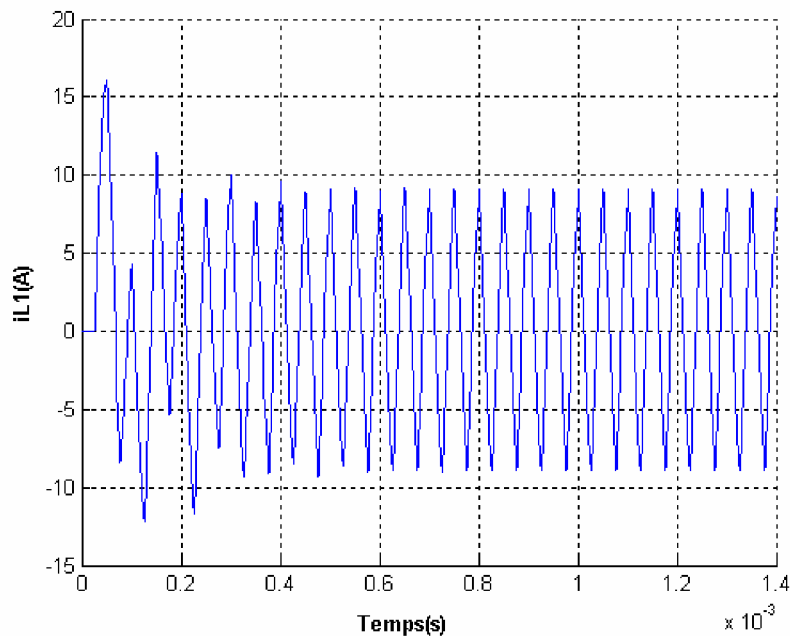


Fig.4.6 : Courant contrôlé dans l'inducteur de la table à induction pour un temps de 1.4×10^{-3} s.

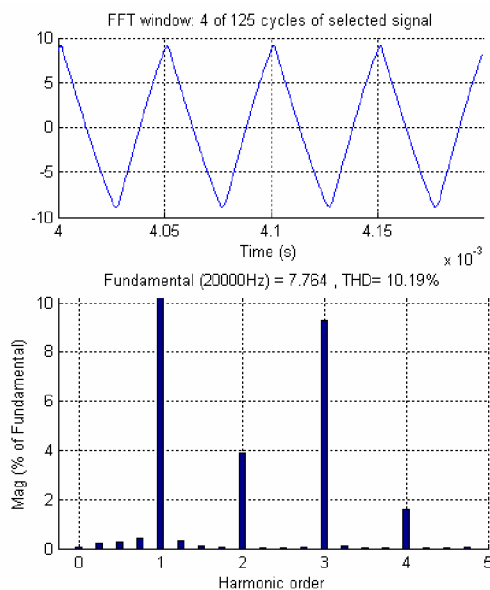


Fig.4.7 : Spectres d'harmoniques.

D'après la figure 4.7 , la qualité de forme d'onde est améliorée car le THD=10.19%.

4.6 Test de robustesse

Nous proposons dans cette partie l'étude de la robustesse de la commande classique vis-à-vis d'une perturbation affectant le courant inducteur (bruits acoustiques), qui revient à l'utilisation de plusieurs foyers placés à proximité dans une table à induction. Cette perturbation se manifeste comme un courant qui se superpose à celui de notre système. Pour tester l'effet de cette perturbation ; on l'introduit dans

notre système à l'instant 0.02s (une perturbation de 10%, 20%, et 30% où le courant devient instable).

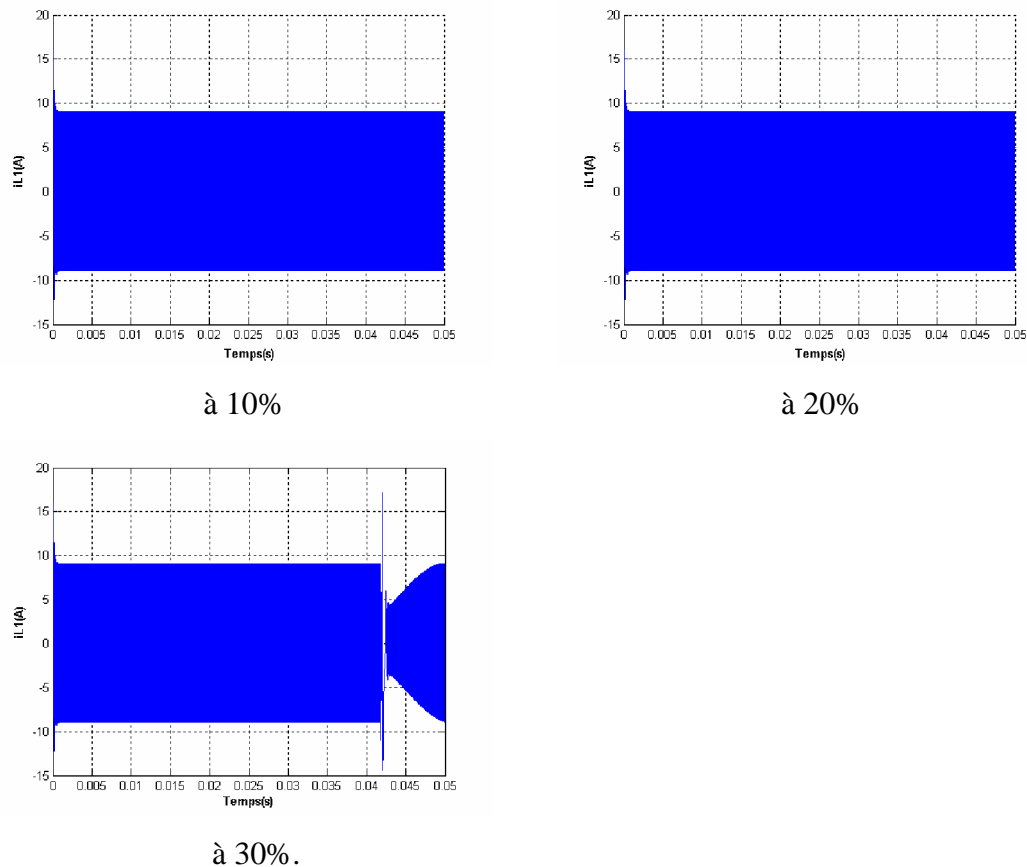


Fig.4.8 : Test de robustesse vis-à-vis d'une perturbation à $t = 0.02$ s.

Le graphe de la figure 4.8 illustre le courant inducteur dans la table à induction régulé par un régulateur classique PI, avec présence d'une perturbation en courant de 10%, 20% et 30% à $t = 0.02$ s. Nous constatons que une perturbation de 30% du courant inducteur influe sur les performances statiques de la table à induction, la grandeur à commander ne suit pas leur valeur de consigne après un moment d'application de cette perturbation. Donc, cette commande est robuste jusqu'à 30%.

4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la commande classique de la table à induction. L'onduleur utilisé est commandé par la stratégie triangulo-sinusoidale (M.L.I). On conclut que l'introduction du régulateur PI présente le meilleur résultat en régime statique et stabilise notre système. Mais cette commande est robuste jusqu'à 30%.