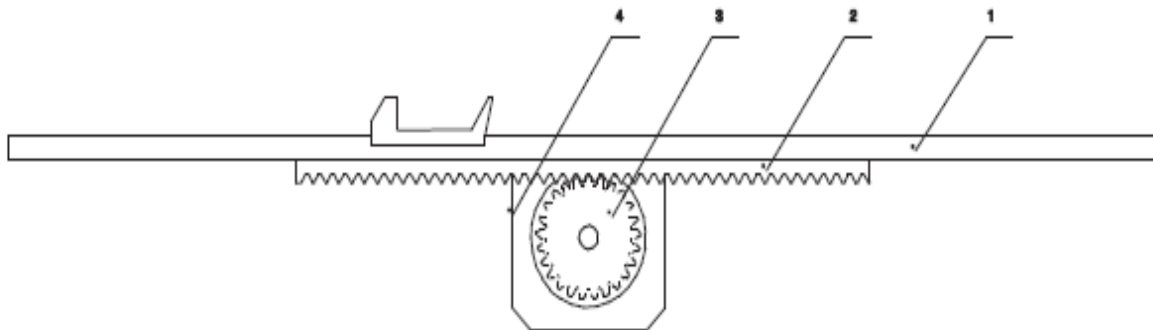


**Prérequis****Hydraulique-pneumatique et Auto-3**

**Exercice** (Commande de la vitesse du convoyeur en utilisant un système électrohydraulique proportionnel)

Le schéma ci-dessous représente un dessin structurel du convoyeur à faisceau de marche à cathode du plomb.



- 1- Le rail de guidage du balancier
- 2- Grille
- 3- Équipement
- 4- Moteur hydraulique

Le système hydraulique est représenté sur le schéma ci-dessous

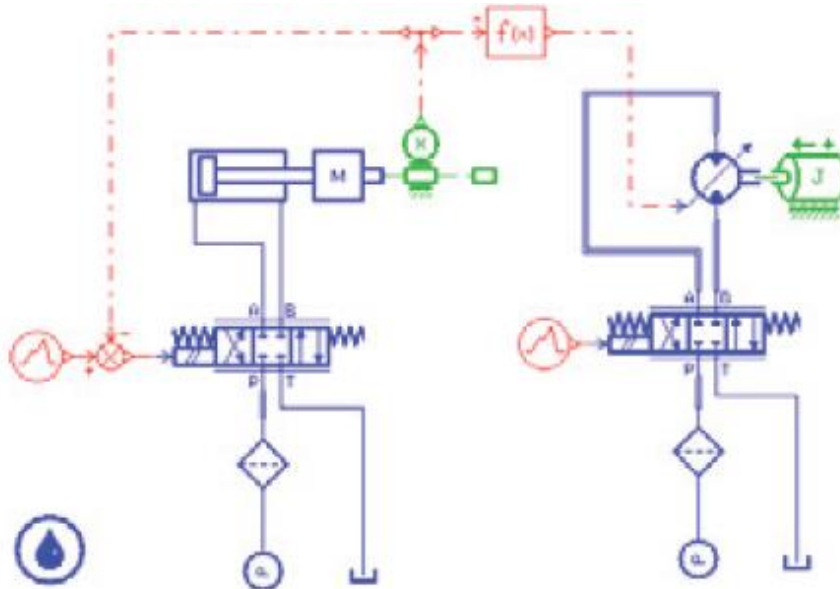
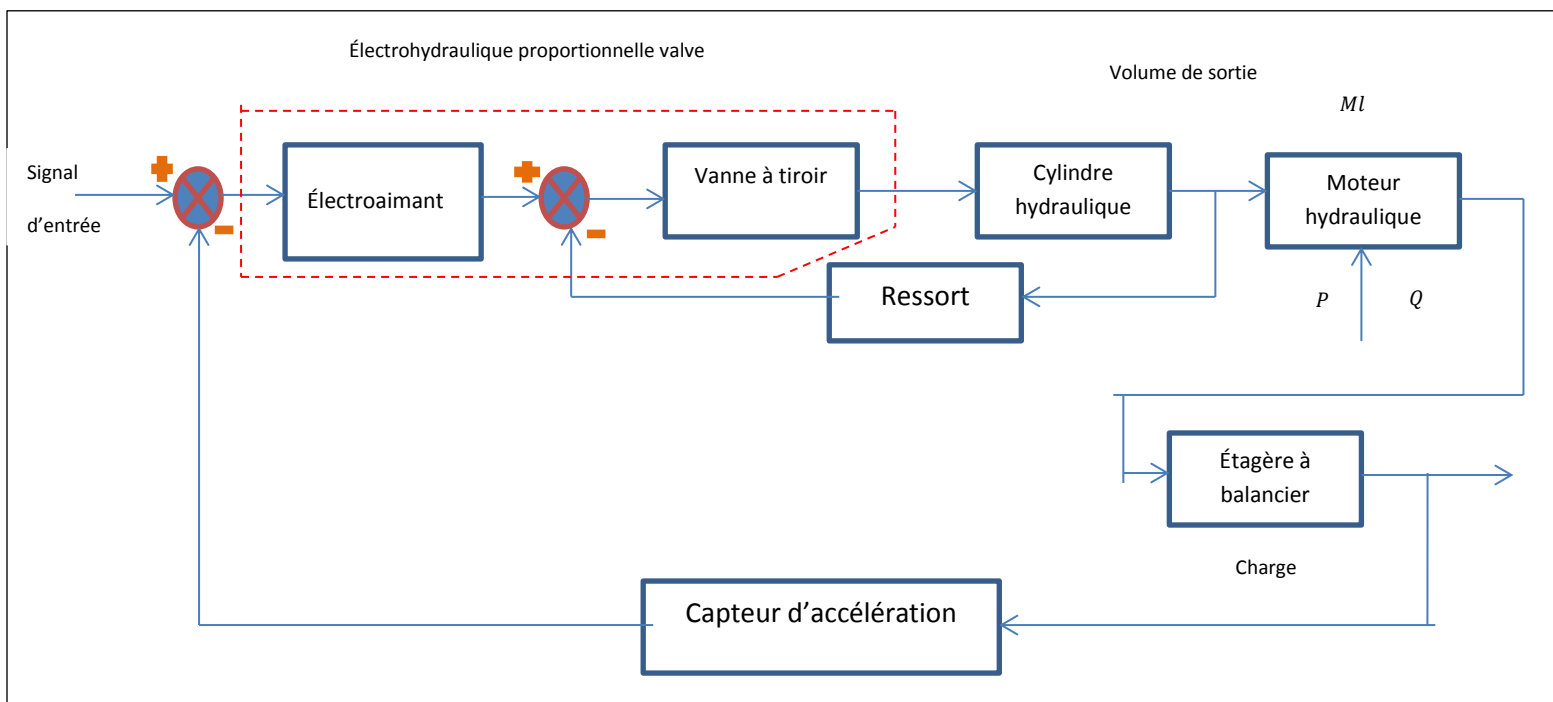


Schéma fonctionnel du système de contrôle de la vitesse du convoyeur à balancier



Les équations du système électrohydraulique et convoyer à balancier sont :

**1- Fonction de transfert de l'électroaimant :**

$$\frac{F_e(s)}{U_i(s)} = \frac{K_e K_I}{R_s}$$

Avec :

$R_s$  : Amplificateur et résistance de la bobine en  $\Omega$

$K_I$  : Courant- gain de pression de l'électroaimant ( $N/A$ )

$K_e$  : Facteur d'amplification de la tension (sans dimension)

**2- Fonction de transfert de la valve proportionnelle :**

$$\frac{X_v(s)}{F_M(s)} = \frac{1}{ms^2 + cs + k}$$

Avec :

$k$  : Tous les coefficients de rigidité du distributeur à tiroir en ( $N/m$ )

$X_v$  : Déplacement de la bobine d'entrée.

$m$  : La qualité de distributeur à tiroir et armature en  $Kg$

$c$  : Coefficient d'amortissement de la bobine  $N.s/m$

$F_M$  : Dynamique du fluide de bobine en régime permanent en ( $N$ )

**3- Fonction de transfert du vérin hydraulique commandé par la valve proportionnelle.**

$$\frac{X_w(s)}{X_v(s)} = \frac{\frac{K_q}{A}}{\frac{1}{\omega_h^2} s^2 + \frac{2 \cdot \varepsilon_h}{\omega_h} s + 1}$$

Avec :

$X_w(s)$  : Déplacement du vérin à la sortie

$A$  : La zone effective du piston de vérin hydraulique en  $m^2$

$\omega_h$  : Fréquence naturelle du vérin hydraulique en  $rad/s$

$\varepsilon_h$  : Coefficient d'amortissement relatif de la pression hydraulique  
généralement 0.7

$K_q$  : Coefficient d'amplification du débit de la vanne à tiroir en  $m^2/s$

#### 4- Fonction de transfert du modèle mathématique de l'étagère à balancier

$$\frac{A_0(s)}{T_M(s)} = \frac{1}{m_L \cdot R_g}$$

Avec :

$A_0$  : Accélération

$m_L$  : Toute la masse d'étagère à balancier et panneau

$R_g$  : Rayon de l'engrenage et de la crémaillère

$T_M$  : Moment des masses tournantes

#### 5- Les gins du système hydraulique

✚ Le vérin hydraulique et la valve proportionnelle, adoptent le déplacement - force de réaction mécanique. Donc ça peut être considéré comme élément proportionnel avec un coefficient d'amplification  $K_1$

✚ Les parties variables du moteur hydraulique considéré comme élément de dosage avec un coefficient d'amplification  $K_2$

✚ Le moteur hydraulique est considéré comme un élément proportionnel avec un coefficient d'amplification  $K_3$

✚ La sortie du système est considérée comme élément de dosage avec un coefficient d'amplification  $K_4$

## ✓ Paramètres de simulation

$m$	$0.04kg$
$c$	$1000N.s/m$
$R_s$	$1200\Omega$
$K_I$	$1177.5N/A$
$K_e$	$2.4$
$\omega_h$	$2000rad/s$
$A$	$0.2 * 10^{-3}m^2$
$Z = \varepsilon_h$	$0.7$
$K_q$	$0.45m^2$
$m_L$	$350kg$
$R_g$	$0.117m$
$K_1$	$1000N/m$
$K_2$	$1.09 * 10^{-2}m^2/s$
$K_3$	$1.6Mpa$
$K_4$	$1V.s^2/m$
$K$	$50000N/m$

## ✚ Questions -1

- 1- Réaliser le schéma d'asservissement liant les fonctions de transfert et les gains du système ;
- 2- Trouver la fonction de transfert globale du système;
- 3- Trouver la réponse de l'accélération en fonction du temps par Matlab

## ✚ Questions-2

- 1- Réaliser la fonction de transfert trouvée en 2 question-1 en boucle fermée et à retour unitaire. Insérer un correcteur PID au niveau de la chaîne d'action.

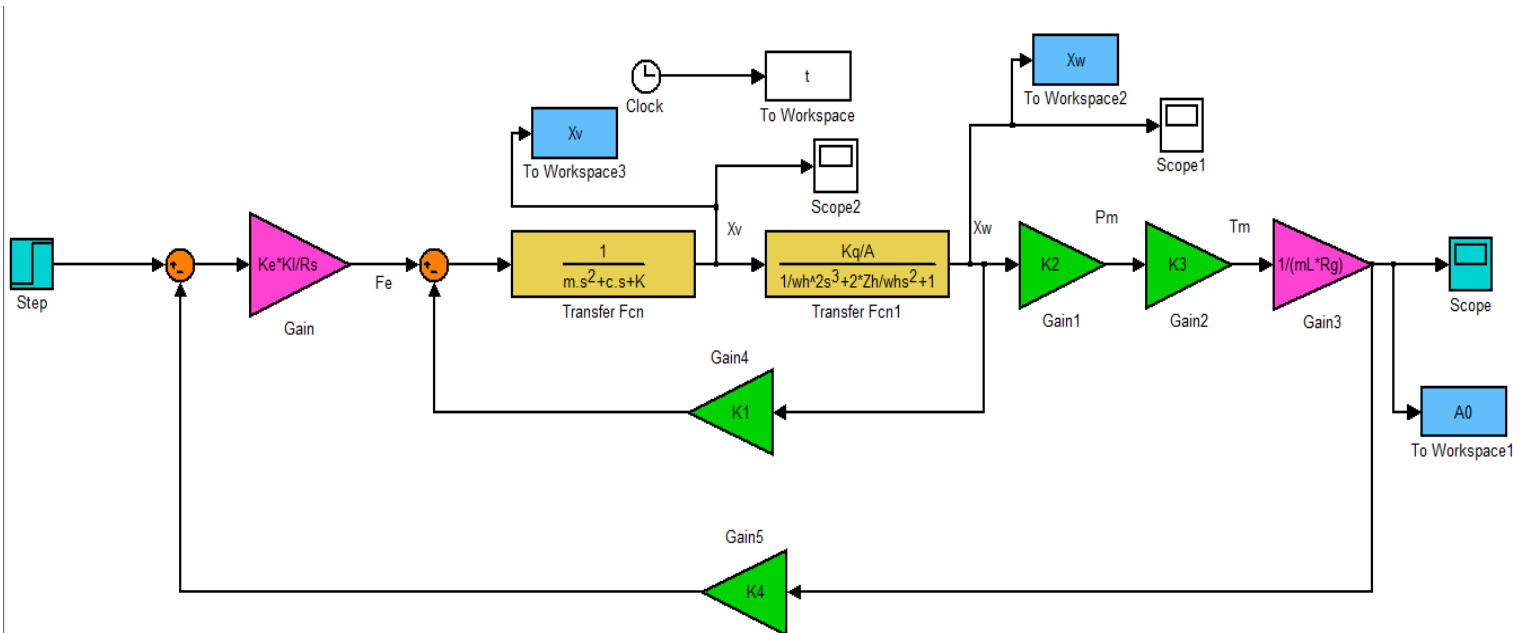
- 2- Trouver la fonction de transfert en boucle fermée du système, les gains du correcteur PID sont :

$$K_p = 80, T_i = 0.135 \text{ et } T_d = 0.0029$$

- 3- Trouver la réponse de l'accélération en fonction du temps par Matlab  
 4- Comparer la courbe de l'accélération avec et sans correcteur PID.

**Solution-1**

**1- Schéma d'asservissement de l'accélération du système**



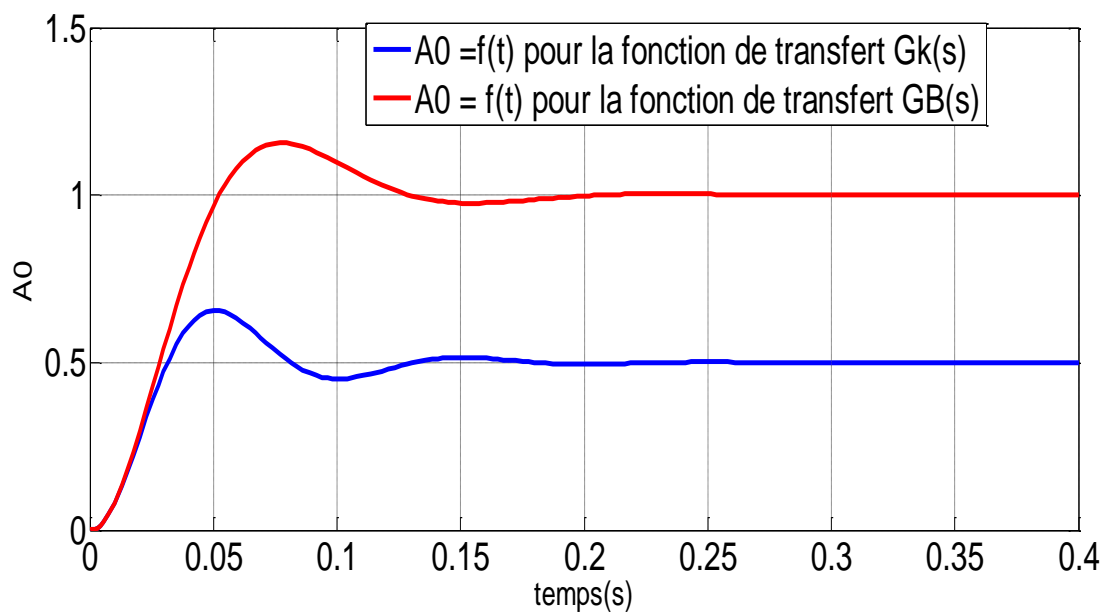
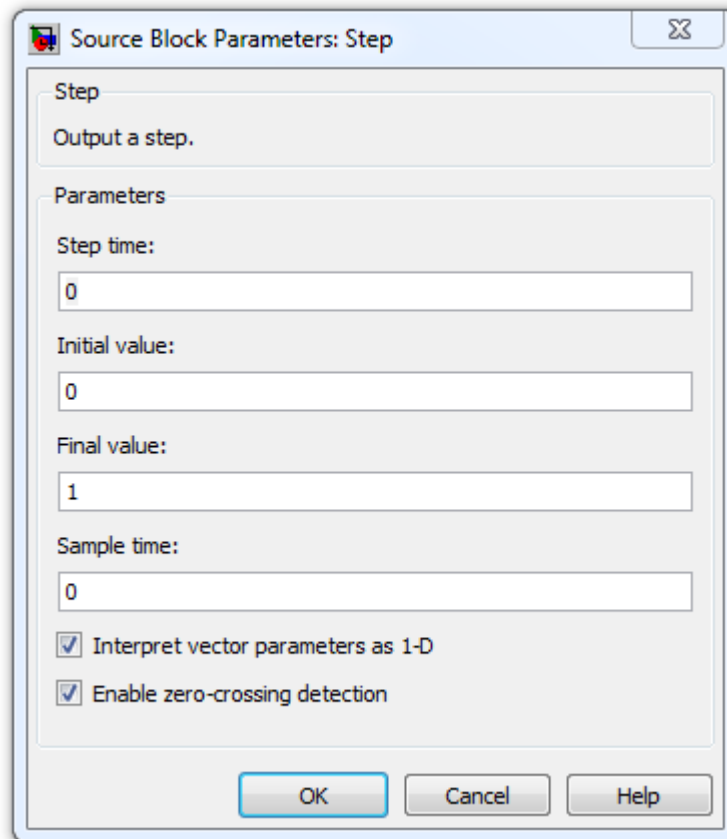
**2- Fonction de transfert globale du système**

$$G_K(s) = \frac{2.25 * 10^6}{0.74S^3 + 1035S^2 + 50000S + 2.25 * 10^6}$$

$$G_B(s) = \frac{2.25 * 10^6}{0.74S^3 + 1035S^2 + 50000S + 4.5 * 10^6}$$

**3- Réponse temporelle  $A_0 = f(t)$  sous Matlab**

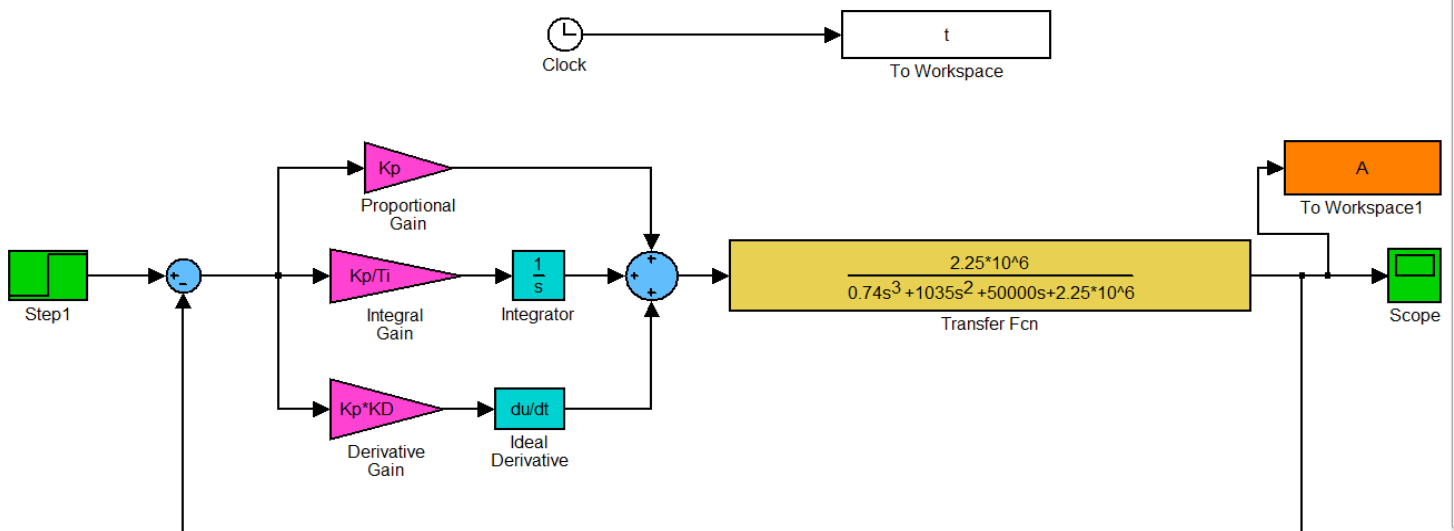
**Période de simulation 0.4s**  
**Paramètres de l'échelon (Step)**



On remarque d'après le résultat ci-dessus que la réponse en boucle fermée (couleur rouge) est stabilisée à partir d'un temps égal 0.15s avec un temps de réponse est 0.1s et une erreur statique nulle. La réponse ayant la couleur bleue représente la fonction de transfert en boucle ouverte.

## Solution-2

### 1- La fonction de transfert du système en boucle fermée avec correcteur PID



### 2- La fonction de transfert en boucle fermée avec correcteur PID

La fonction de transfert du correcteur PID est :

$$G_{PID}(s) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$G_{PID}(s) = 80 \left( 1 + \frac{1}{0.135s} + 0.0029s \right)$$

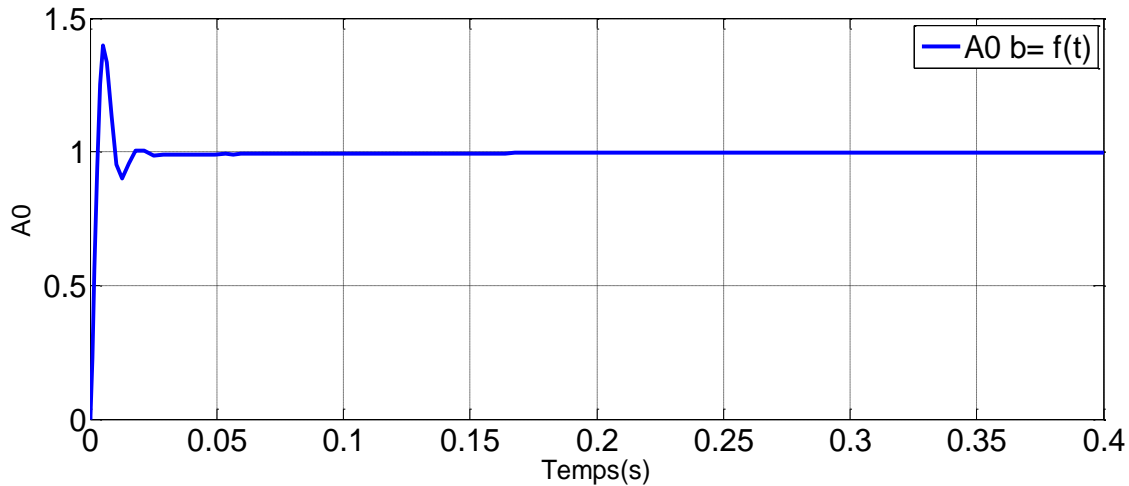
$$G_{PID}(s) = 80 \left( 1 + \frac{1}{0.2s} + 0.0025s \right) = \frac{0.2s^2 + 08s + 400}{s}$$

La fonction de transfert en boucle fermée est la suivante :



$$G_B(s) = \frac{4.5 * 10^5 S^2 + 1.8 * 10^8 S + 9 * 10^8}{0.74S^4 + 1035S^3 + 500000s^2 + 1.823 * 10^8 S + 9 * 10^8}$$

### 3- La réponse $A0 = f(t)$



### 4- Étude comparative de la réponse temporelle de l'accélération avec et sans correcteur PID

Le correcteur PID améliore le comportement du système hydraulique, on remarque sur la caractéristique de l'accélération avec correcteur PID que le temps de réponse est très rapide égal **0.01s**, mais sans correcteur PID égal **0.1s**, pour le dépassement est très acceptable avec le correcteur PID, par ailleurs l'erreur statique est nulle. On peut dire que le correcteur PID améliore les performances de la commande du système hydraulique.

#### Référence

[1] Rong Li, Jing Luo, Chun-geng Sun, Sen Liu " *Analysis of Electro-hydraulic Proportional Speed Control System on Conveyer* " *Procedia Engineering* 31 (2012) 1185 – 1193.