Prothèse active transtibiale★

B2-07

Présentation

Comportement dynamique de la prothèse

Question 1 À partir des équations caractérisant le système, déterminer les expressions littérales des fonctions de transfert $H_1(p)$, $H_2(p)$, $H_3(p)$ et $H_6(p)$.

Correction

On a d'une part, $C_M(p) = H_1(p)\left(U_M(p) - \Omega_M(p)\right)$.
D'autre part, en utilisant les deux équations du moteur électrique, on a $U_M(p) = RI(p) + E(p)$ et $E(p) = k_c\Omega_M(p)$ soit $U_M(p) = RI(p) + k_c\Omega_M(p)$. De plus $C_M(p) = k_c I(p)$; donc $U_M(p) = R\dfrac{C_M(p)}{k_c} + k_c\Omega_M(p)$. Par suite, $C_M(p) = \dfrac{k_c}{R}\left(U_M(p) - k_c\Omega_M(p)\right)$.
En identifiant, on a donc $H_1(p) = \dfrac{k_c}{R}$ et $H_6(p) = k_c$.
D'après le schéma-blocs,
$\Delta\alpha(p) = \left(C(p) - C_M(p)H_2(p)\right)H_3(p)H_4(p)$ soit
En utilisant l'équation différentielle caractéristique du comportement de la prothèse, on a : $J_M p^2\Delta\alpha(p) + \mu_m p\Delta\alpha(p) = C_M(p)R_T - C(p)R_T^2 \Leftrightarrow \Delta\alpha(p)\left(J_M p^2 + \mu_m p\right) = C_M(p)R_T - C(p)R_T^2$

$\Leftrightarrow \Delta\alpha(p) = \dfrac{R_T^2}{J_M p^2 + \mu_m p}\left(\dfrac{C_M(p)}{R_T} - C(p)\right)$.

Or, $\Delta\alpha(p) = \dfrac{1}{p}\Delta\alpha'(p)$; donc $H_4(p) = \dfrac{1}{p}$.

Au final, $H_3(p) = \dfrac{R_T^2}{J_M p + \mu_m}$ et $H_2(p) = R_T$.

Question 2 Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $\text{FTBF}(p) = \dfrac{C(p)}{U_M(p)}$.

Correction

On déplace le dernier point de prélèvement avant H_4. On ajoute donc $H_4(p)H_7(p)$ dans la retour.

On a alors $F(p) = \dfrac{\Delta\alpha'(p)}{-} = \dfrac{H_3(p)}{1 + H_3(p)H_4(p)H_7(p)}$. $\text{FTBF}(p) = \dfrac{H_1(p)H_2(p)F(p)}{1 + H_1(p)H_2(p)H_5(p)H_6(p)F(p)}H_4(p)H_7(p)$.

$$\text{Soit FTBF}(p) = \dfrac{H_1(p)H_2(p)\dfrac{H_3(p)}{1 + H_3(p)H_4(p)H_7(p)}}{1 + H_1(p)H_2(p)H_5(p)H_6(p)\dfrac{H_3(p)}{1 + H_3(p)H_4(p)H_7(p)}}H_4(p)H_7(p)$$

$$= \dfrac{H_1(p)H_2(p)H_3(p)}{1 + H_3(p)H_4(p)H_7(p) + H_1(p)H_2(p)H_5(p)H_6(p)H_3(p)}H_4(p)H_7(p)$$

$$= \dfrac{\dfrac{k_c}{R}R_T\dfrac{R_T^2}{J_M p + \mu_m}}{1 + \dfrac{R_T^2}{J_M p + \mu_m}\dfrac{k_{RS}d_0^2}{p} + \dfrac{k_c}{R}R_T\dfrac{1}{R_T}k_c\dfrac{R_T^2}{J_M p + \mu_m}}\dfrac{k_{RS}d_0^2}{p}$$

$$= \frac{\frac{k_c}{1} R_T^3}{J_M R p^2 + \mu_m R p + R_T R^2 k_{RS} d_0^2 + p k_c k_c R_T^2} k_{RS} d_0^2$$
$$= \frac{k_c R_T^3}{J_M R p^2 + p\left(\mu_m R + k_c k_c R_T^2\right) + R_T R^2 k_{RS} d_0^2} k_{RS} d_0^2.$$

Analyse des performances de l'asservissement en couple

Question 3 À l'aide des courbes, valider l'ensemble des critères du cahier des charges en justifiant clairement vos réponses.

Correction

- Le régime permanent semble atteint autour de 0,03 s ; donc les critère de rapidité est respécté.
- En régime permanent, le couple atteint est de 46 Nm pour une consigne de 50 Nm. Un écart de 10 % correspondrait à un couple atteint de 45 Nm. Le critère de précision est respecté.