

# کنترل موقعیت ربات افزونه شانه هیدرولیکی

حمید رضا تقی راد سلیمان غلامپور

taghirad@kntu.ac.ir

چکیده:

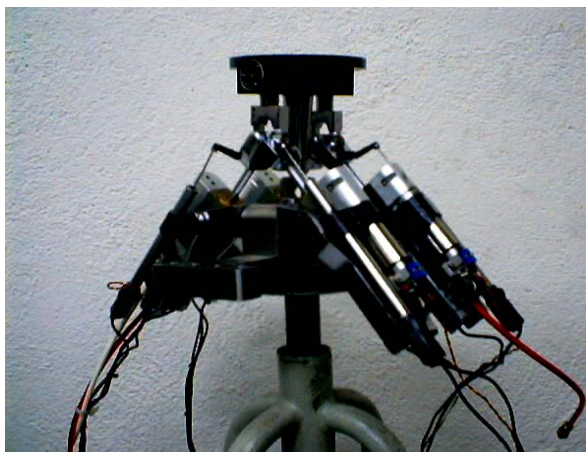
$H_{\infty}$

$H_{\infty}$

کلید واژه:

۱- مقدمه :

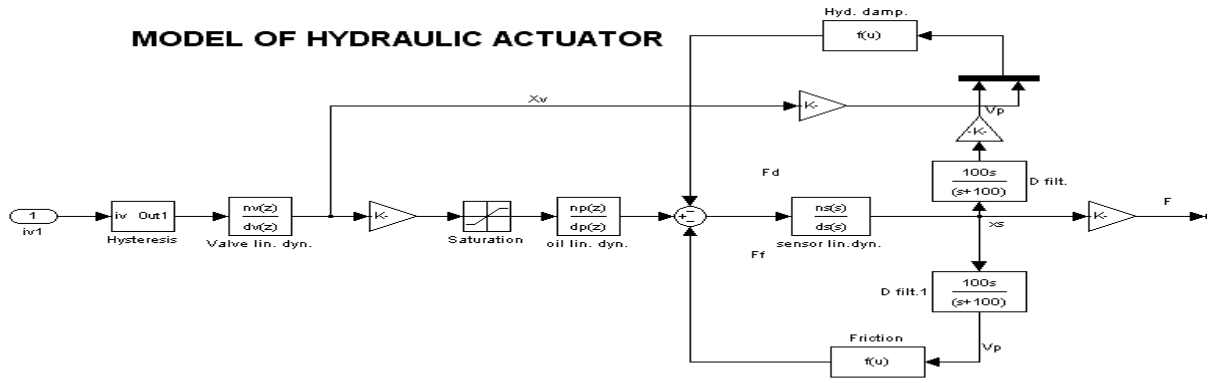
( ) LVDT Hall-Effect



شکل (۱) مدل ربات شانه هیدرولیکی

(Redundancy)

)  
(...)



شکل (۲) مدار بلوکی مجموعه عملگر هیدرولیکی ASI

$\pm 800N$

$345N/cm^2$

[2,3,4]

ASI

[5]

[2,3,4]

$H_{\infty}$

20 Hz

$H_{\infty}$

۲- مدل سازی ربات

۲-۱- مدل عملگر هیدرولیکی

ASI

( )

Lead

Lag

$$0.01 \frac{0.01s + 1}{0.1s + 1}$$

0.01

Lag

( )

[6]

[2,6]

$PM = 90^\circ$

500 rad

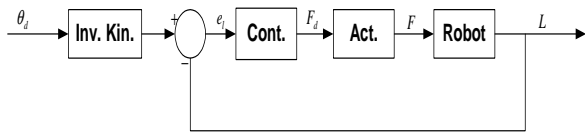
( )

10%

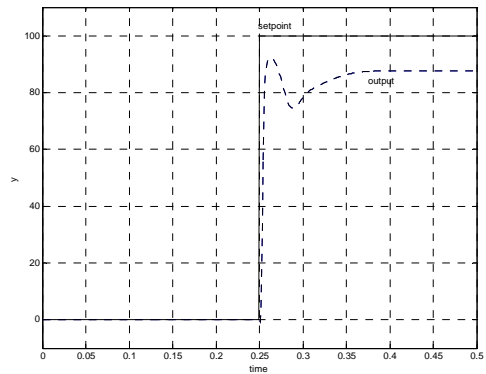
$$\tau = M\ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) \quad (7)$$

$H_\infty$

( )



شکل (۵) بلوک دیاگرام کنترل ربات در حالت کنترل طول عملگر



شکل (۳) پاسخ پله با دامنه ۱۰۰ عملگر در حالت حلقه بسته با کنترل کننده Lag

۲-۲- مدلسازی ربات

[8]

( )

ZYX

SISO

$$\rho_i = f_i(\theta_z, \theta_y, \theta_x) \Rightarrow \rho_i = |P_i A_j| \begin{matrix} i=1 & j=1,2 \\ i=2 & j=3,4 \end{matrix} \quad (8)$$

A4 A3 A2 A1 P2 P1

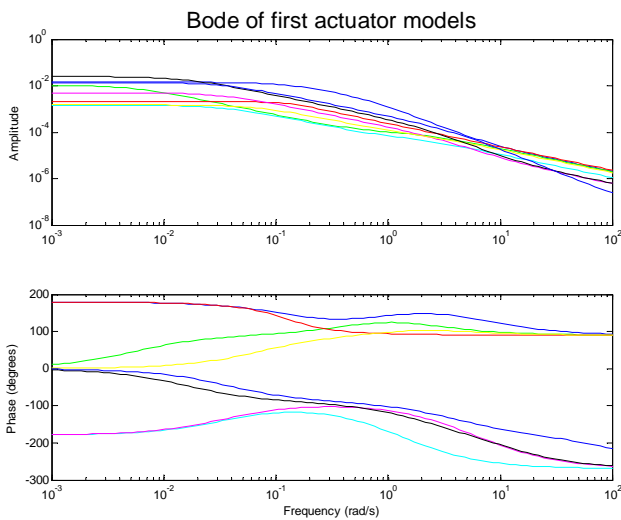
$A_i A_j$

( )

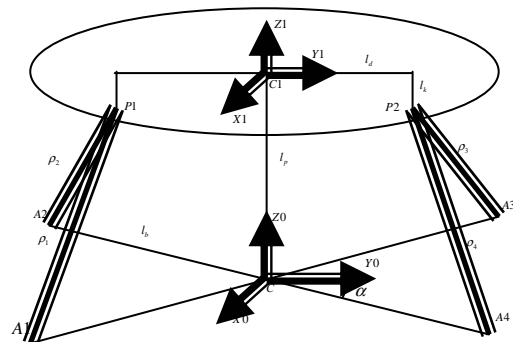
$$\dot{\rho} = J\dot{\theta}$$

4\*3

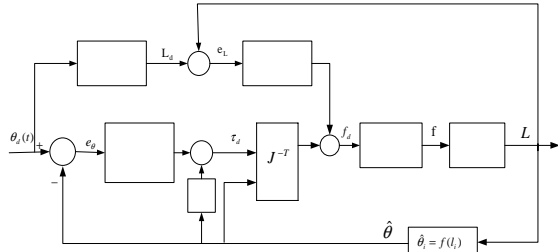
[6]



شکل (۶) نمودارهای بودی مدل‌های شناسایی شده برای عملگر اول در مسیرهای مختلف



شکل (۴) مدل هندسی ربات شانه افزونه



شکل (۷) نمودار بلوکی سیستم حلقه بسته نهایی

$H_\infty$

[9]

### ۳- طراحی کنترل کننده مقاوم

SISO

$$(\theta_z, \theta_y, \theta_x)$$

$$(\tau_z, \tau_y, \tau_x)$$

$$\theta_z, \theta_y, \theta_x$$

LVDT

$$W_s = \begin{pmatrix} \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-2.423s + 27.53}{s^3 + 3.339s^2 + 145s} & \frac{.87*(1/7s+1)(1/6s+1)}{(1/9s+1)(1/9s+1)} \\ \frac{0.518s + 20.29}{s^3 + 16.67s^2 + 200.8} & \frac{.75*(1/3.5s+1)(1/3s+1)}{(1/12s+1)(1/15s+1)} \\ \frac{0.369s + 20.64}{s^3 + 6.607s^2 + 69.18} & \frac{.87*(1/2s+1)(1/4s+1)}{(1/9s+1)(1/8s+1)} \end{pmatrix} \quad ( )$$

$$W_u = \begin{pmatrix} W_u \\ W_u \\ W_u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1(s+0.01)}{s(s+0.1)^2} \\ \frac{0.1(s+10)}{s+10000} \\ \frac{0.1(s+10)}{s+10000} \end{pmatrix} \quad ( )$$

$W_u$   $W_s$

$$\left\| \begin{pmatrix} WT \\ W_s S \\ W_u U \end{pmatrix} \right\| < \gamma_{opt} \leq 1 \quad ( )$$

MATLAB

$\mu$ -synthesis

$\gamma_{opt}$

I.K.

controller

$$\theta_i = f_i(\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4) = f_i(0) + \frac{\partial f_i}{\partial \rho_1} \rho_1 + \frac{\partial^2 f_i}{\partial \rho_2^2} \rho_2^2 + \frac{\partial^3 f_i}{\partial \rho_3^3} \rho_3^3 + \dots \quad ( )$$

$$\Rightarrow \theta_i = \alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2 + \dots \quad ( )$$

controller

$\alpha_i$

0.01 rad

[6]

( )

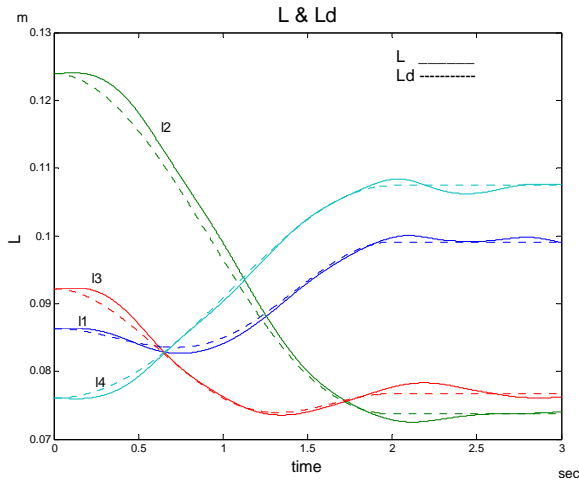
$$\theta_z, \theta_y, \theta_x$$

( )

0.1% 0.03mm

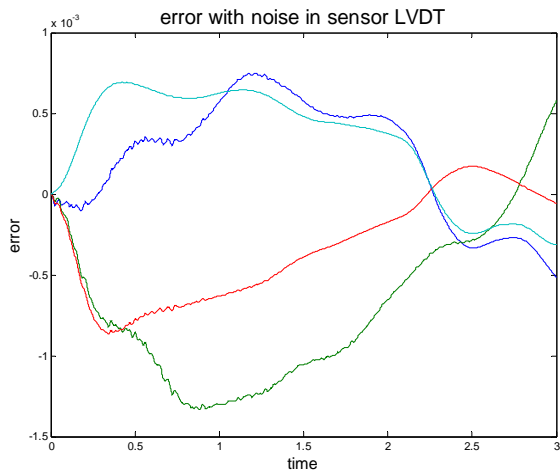
$$\gamma_{opt}(\theta_x) = 0.9756 ; \gamma_{opt}(\theta_y) = 0.9567 ; \gamma_{opt}(\theta_z) = 0.9821 ( )$$

( )



[2]

شکل (۸) نمودار مسیرهای زمانی طول عملگر و مسیر مطلوب



LVDT

شکل (۹) خطای طول عملگرها با وجود نویز

( )

#### ۴- نتایج شبیه‌سازی حلقه بسته

2%

( )

( 1 rad )

( )

5% 7%

1°

1mm

3%

8.5%

( )

$\pm 1mm$

3%

### مراجع :

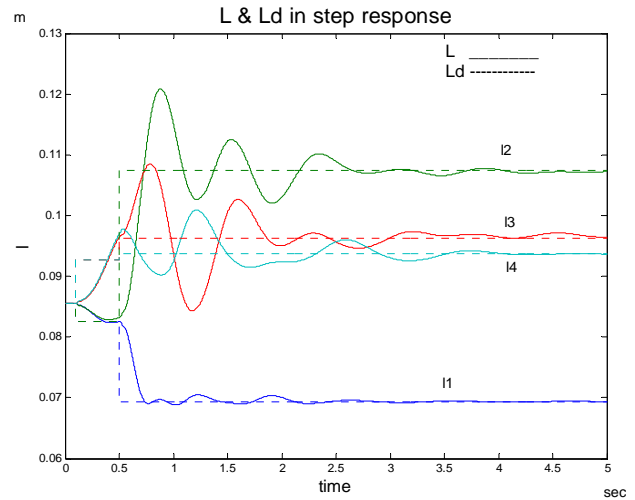
- [1] V.Hayward, "Design of a hydraulic robot shoulder based a combinatorial mechanism" Experimental Robotics III: The 3rd Int'l Symposium, Japan Oct. 1994. Lecture Notes in Control & Information Sciences, Springer-Verlag.
- [2] Beniot Boulet." Modeling and control of a robotic joint with in-parallel redundant actuators ". M.S. thesis. 1992. McGill University
- [3] F. Mougnet, V. Hayward." Limit cycle characterization, existence and quenching in the control of high performance hydraulic actuator", IEEE international conference on robotics and automation 1995
- [4] T. W. McLian, E. K. Iversen, C. C. Davis, S. C. Jacobson, " Development, imolation and validation of a highly nonlinear hydraulic servosystem model ", proc. Of the 1989 ACC., AACC. Piscataway: IEEE,1989
- [5] V. Hayward, R. kurtz." Modelling of a parallel wrist mechanism with actuator redundancy", CIM-89-4, january1989

[6]

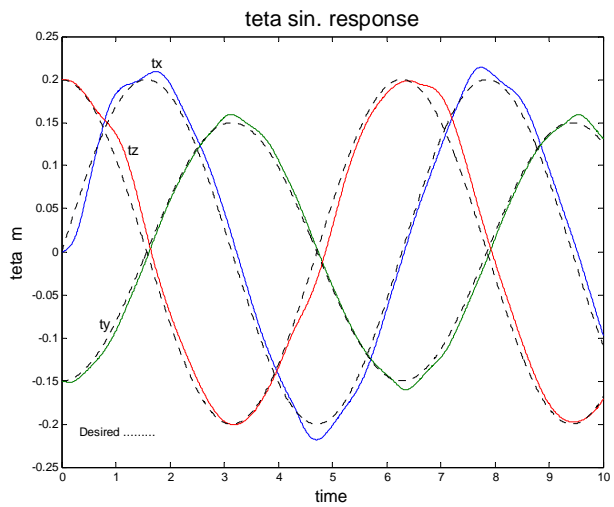
[7]

- [8] B.Boulet and V.Hayward, "Robust control of a robot joint with hydraulic actuator redundancy", Proc. of 31th Int'l symposium on robotics (ISR 2000), Montreal, Canada, May 2000, pp. 36-41.
- [9] J. C. Doyle, B. A. Francis, A. R. Tannenbaum, " Feedback control theory " , Mcmillan publishing co. 1992

[2]



شکل (۱۰)، مسیر مطلوب و پاسخ خروجی هر عملگر در پاسخ پله



شکل (۱۱) نمودار مسیر مطلوب و زوایای خروجی پاسخ سینوسی

### ۵- نتیجه گیری

$H_{\infty}$