

**THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI ĐỂ ĐIỀU KHIỂN
HỆ TRUYỀN ĐỘNG CÓ KHE HỖ**
DESIGN OF THE HYBRID FUZZY CONTROLLER TO CONTROL DRIVE SYSTEMS
WITH THE SLIT

Đặng Danh Hoàng, Trần Xuân Minh

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên

TÓM TẮT

Việc khảo sát, đánh giá chất lượng phương pháp điều khiển cho hệ truyền động có khe hở có một ý nghĩa hết sức quan trọng.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu áp dụng phương pháp thiết kế bộ điều khiển mờ lai để điều khiển hệ truyền động có khe hở, đảm bảo cải thiện chất lượng điều khiển so với bộ điều khiển PID kinh điển.

Từ khoá: Điều khiển mờ lai, cải thiện chất lượng, khe hở.

ABSTRACT

The surveying and evaluation of the quality of control method for drive systems with the slit is a highly important signification.

A new designing methodology for the hybrid fuzzy controller is applied to gain some results which are described in this paper as can be seen, to control drive systems with the slit, to ensure improved control quality than classical PID controller

Key word: Passivity - based control , wind power, grid fault.

1. Mở đầu

Trong thời gian gần đây ở nước ta, cũng như trên thế giới việc điều khiển hệ truyền động có khe hở (hệ truyền động bánh răng) đang là một vấn đề được quan tâm. Hiện nay đã có một số tác giả sử dụng các phương pháp điều khiển như điều khiển với mô hình xấp xỉ tuyến tính bằng bộ điều khiển PI [11]; điều khiển thích nghi bù khe hở bằng mạng neural và hệ mờ [12] hay điều khiển hệ truyền động có khe hở, ma sát và độ đàn hồi: Theo [1] và [3] thì phần lớn hệ truyền động có khe hở luôn tách được thành hai khâu phi tuyến mắc nối tiếp nhau. Bài báo này đưa ra kết quả nghiên cứu phương pháp điều khiển mờ lai để điều khiển hệ truyền động có khe hở, cụ thể:

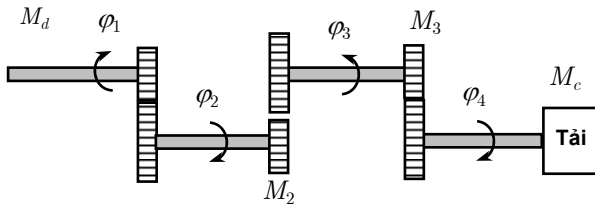
Điều khiển đảm bảo hệ thống truyền động có khe hở đáp ứng các chế độ làm việc của hệ truyền động có khe hở, đồng thời cải thiện được chất lượng điều khiển của phương pháp này so với bộ điều khiển PID kinh điển.

Trong bài báo này tập trung vào việc giải quyết vấn đề trên.

2. Mô tả toán học hệ truyền động có khe hở

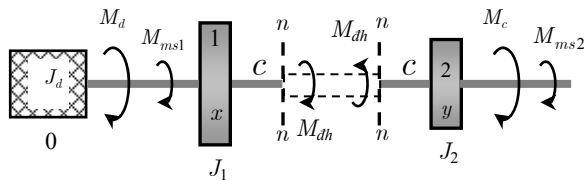
Việc xây dựng mô hình toán này là cần thiết, giúp cho ta có thể sử dụng thêm những biện pháp điều khiển để nâng cao chất lượng hệ truyền động, giảm sự ảnh hưởng của sai số cơ khí không thể khắc phục được bằng phương pháp cơ học.

Một vấn đề cần được quan tâm đó là do hệ truyền động qua nhiều cặp bánh răng luôn có cấu trúc truyền ngược gồm nhiều hệ một cặp bánh răng mắc nối tiếp nhau như hình 1, nên khi thiết kế bộ điều khiển cho hệ truyền động bánh răng nói chung, ta chỉ cần thiết kế bộ điều khiển cho mô hình toán của một cặp bánh răng là đủ [1], [3].



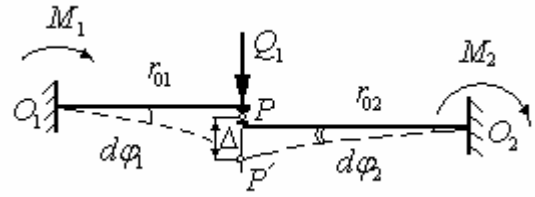
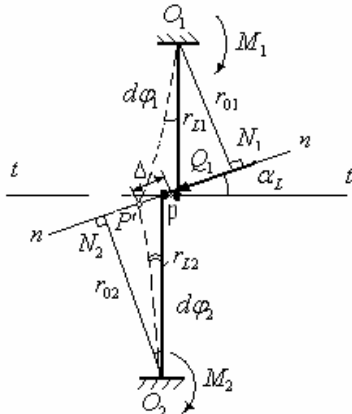
Hình 1: Hệ nhiều cặp bánh răng

Trên cơ sở hệ thống truyền động bánh răng, ta sẽ có được mô hình động lực học có tính tới yếu tố đàn hồi của cặp bánh răng và ma sát trong các ổ trục như mô tả trên hình 2 [3]:



Hình 2: Sơ đồ động lực học

Để có thể thiết lập phương trình chuyển động của hệ thống truyền động bánh răng trên hình 2 ta thực hiện như sau: Dùng mặt cắt n-n, trên đó chịu một mô men đàn hồi của hai bánh răng như trên hình 3.



Hình 3: Thiết lập phương trình động lực học khi hai bánh răng ăn khớp

Trên hình 3 là mô hình tính toán sự làm việc của một cặp bánh răng có xét tới quá trình biến dạng đàn hồi, dưới tác động của lực:

$$Q_1 = M_1 / r_{01} \quad (1)$$

Giả sử khi chưa có lực \$Q_1\$ tác động, thì hai cạnh răng tiếp xúc với nhau tại điểm \$P\$, dưới tác động của lực \$Q_1\$ và do vật liệu có tính đàn hồi, nên điểm tiếp xúc \$P\$ sẽ di chuyển tới điểm \$P'\$. Vậy \$\Delta = \overline{PP'}\$ là độ biến dạng trong quá trình ăn khớp của hai bánh răng dưới tác động của \$Q_1\$. Nếu gọi \$c\$ là độ cứng của cặp bánh răng, thì:

$$c \cdot \Delta = Q_1 \quad \text{hay} \quad c \cdot \Delta \cdot r_{01} = cr_{01} \Delta = M_1$$

Do vậy mô men đàn hồi trên bánh răng 1:

$$M_1 = cr_{01}(r_{01}d\varphi_1 + r_{02}d\varphi_2)$$

Tương tự đối với bánh răng 2 ta có:

$$M_2 = cr_{02}(r_{02}d\varphi_2 + r_{01}d\varphi_1)$$

Theo định luật Newton về chuyển động, ta có thể viết:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 = M_d - (M_{ms1} + M_1) \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 = M_2 - (M_c + M_{ms2}) \end{cases} \quad (2)$$

tức là:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 + cr_{01}(r_{01}\varphi_1 + r_{02}\varphi_2) = M_d - M_{ms1} \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - cr_{02}(r_{02}\varphi_2 + r_{01}\varphi_1) = -M_c - M_{ms2} \end{cases} \quad (3)$$

Sau khi biến đổi bằng cách đặt r_{01}^2, r_{02}^2 ra ngoài dấu ngoặc và thay thế:

$$r_{01} = r_{L1} \cos \alpha_L, \quad r_{02} = r_{L2} \cos \alpha_L,$$

$$i_{12} = r_{02} / r_{01} \text{ và } i_{21} = r_{01} / r_{02}.$$

Từ trên, ta xây dựng được mô hình toán tổng quát của hệ [3]:

$$\begin{cases} \bar{J}_1 \ddot{\varphi}_1 + cr_{L1}^2 \cos^2 \alpha_L (\varphi_1 + i_{12} \varphi_2) = M_d - M_{ms1} \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - cr_{L2}^2 \cos^2 \alpha_L (\varphi_2 + i_{21} \varphi_1) = -M_c - M_{ms2} \end{cases} \quad (4)$$

trong đó

$$\bar{J}_1 = J_d + J_1$$

r_{L1}, r_{L2} bán kính vòng tròn lăn của bánh răng 1 và 2.

α_L góc ăn khớp của hai bánh răng

c là đại lượng đánh giá độ cứng của bánh răng.

M_d là mô men điện từ.

M_c là mô men cản

M_{ms1}, M_{ms2} là thành phần mô men ma sát trong các ổ đỡ trục.

Khi đã giả thiết hệ ở chế độ chạy đều, ta cũng đã giả thiết hệ đang ở chế độ làm việc có các bánh răng là ăn khớp, tức là mô hình tổng quát (4) có $\hat{c} = c$. Lúc đó, cùng với giả thiết này, mô hình (4) trở thành:

$$\begin{cases} \bar{J}_1 \ddot{\varphi}_1 + cr_{L1}^2 \cos^2 \alpha_L (\varphi_1 + i_{12} \varphi_2) = M_d - b_1 \dot{\varphi}_1 \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - cr_{L2}^2 \cos^2 \alpha_L (\varphi_2 + i_{21} \varphi_1) = -M_c - b_2 \dot{\varphi}_2 \end{cases} \quad (5)$$

Với thông số:

$$M_{ms1} = b_1 \dot{\varphi}_1 \text{ và } M_{ms2} = b_2 \dot{\varphi}_2 \quad (6)$$

Và ta có thêm:

$$i_{12} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{\dot{\varphi}_1}{\dot{\varphi}_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \pm \frac{r_2}{r_1} \quad (7)$$

$$cr_{L1}^2 \cos^2 \alpha_L = c_{z1}, \quad cr_{L2}^2 \cos^2 \alpha_L = c_{z2} \quad (8)$$

Thay (7) và (8) vào (5), và xét hệ đang chạy đều và ổ đỡ bôi trơn bằng dầu, ta được mô tả toán học cuối cùng:

$$\begin{cases} \bar{J}_1 \ddot{\varphi}_1 + b_1 \dot{\varphi}_1 + c_{z1} (\varphi_1 + i_{12} \varphi_2) = M_d \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + b_2 \dot{\varphi}_2 - c_{z2} (\varphi_2 + i_{21} \varphi_1) = -M_c \end{cases} \quad (9)$$

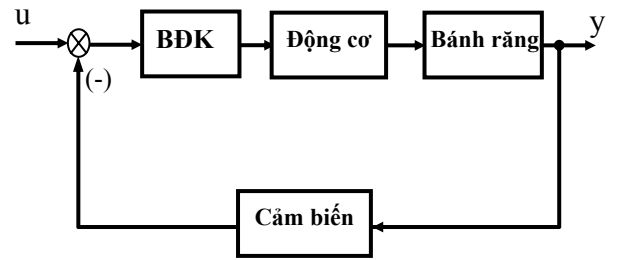
3. Cấu trúc hệ thống điều khiển

Từ mô hình toán học của hệ bánh răng (6), ta đi xây dựng cấu trúc điều khiển hệ truyền động có khe hở là một đối tượng gồm 2 phần:

- Phần dẫn động: Sử dụng động cơ 1 chiều để dẫn chuyển động cho cặp bánh răng.

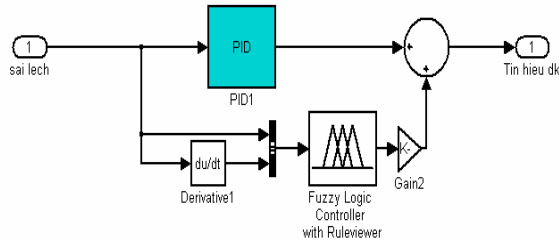
- Phần mô tả cặp bánh răng: Bánh răng chủ động 1 và bị động 2.

Như phân tích ở trên, ta có cấu trúc điều khiển tổng quát như hình 4:



Hình 4: Sơ đồ cấu trúc điều khiển hệ truyền động bánh răng

BĐK là bộ điều khiển tốc độ hệ truyền động bánh răng, trong bài báo này tác giả sẽ đề xuất thiết kế bộ điều khiển mờ lai nhằm nâng cao chất lượng điều khiển cho hệ truyền động bánh răng so với bộ điều khiển PID. Bộ điều khiển mờ lai được thiết kế ở đây là bộ điều khiển mờ lai với bộ điều khiển PID kinh điển và có cấu trúc điều khiển như hình 5:



Hình 4: Cấu trúc bộ điều khiển mờ lai

4. Thiết kế bộ điều khiển mờ lai

Việc thiết kế bộ điều khiển mờ lai thực hiện bằng việc thiết kế các khâu trong bộ điều khiển mờ sau đó kết hợp với bộ điều khiển PID.

Để thiết kế bộ điều khiển mờ lai, ta thực hiện:

- Thiết kế bộ điều khiển PID theo phương pháp thực nghiệm [5].

- Thiết kế bộ điều khiển mờ động [8], với các phần cơ bản sau:

- + Mờ hóa: Ta thiết kế bộ điều khiển mờ bao gồm một biến trạng thái mờ đầu vào và một biến mờ đầu ra. Mỗi biến này lại được chia thành nhiều giá trị tập mờ (Tập mờ con). Số giá trị mờ trên mỗi biến được chọn để phủ hết các khả năng cần thiết sao cho khả năng điều khiển là lớn nhất trong khi chỉ cần một số tối thiểu các luật điều khiển mờ.

- + Luật hợp thành: Được xây dựng trên cơ sở nguyên lý hợp thành MAX – MIN.

- + Giải mờ: Có thể được thực hiện theo các phương pháp điểm trọng tâm, phương pháp trung bình hay phương pháp cực đại. Do miền xác định của các giá trị mờ đầu ra là miền liên thông nên ta sẽ giải mờ theo phương pháp trọng tâm.

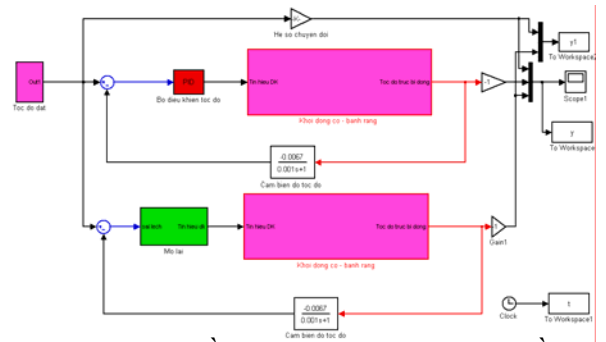
Thực hiện thiết kế cho hệ truyền động bánh răng có thông số: Một cặp bánh răng thẳng ăn khớp với tỷ số truyền lý thuyết

$i_{12} = 2$; $r_{01} = 50 \text{ mm}$; $r_{02} = 100 \text{ mm}$; góc ăn khớp giữa hai bánh răng là $\alpha_L = 30^\circ$; các moment quán tính lần lượt là $J_1 = 0,01 \text{ kgm}^2$; $J_2 = 0,02 \text{ kgm}^2$ và hệ số đàn hồi là $c = 10 \text{ N}$.

Bộ điều khiển PID được thiết kế theo phương pháp thực nghiệm: $K_p = 80$; $K_I = 150$ và bộ điều khiển mờ được thiết kế theo như các bước ở trên.

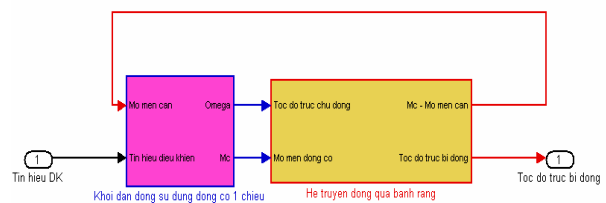
5. Sơ đồ và kết quả mô phỏng

Sơ đồ mô phỏng

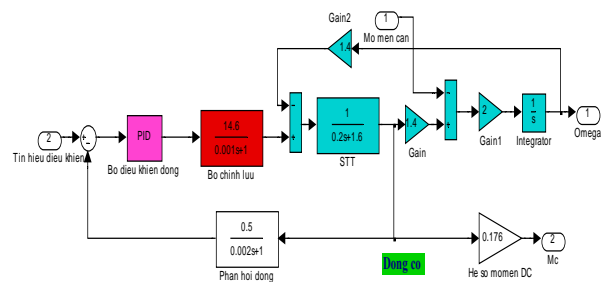


Hình 5: Sơ đồ mô phỏng so sánh bộ điều khiển mờ lai và PID

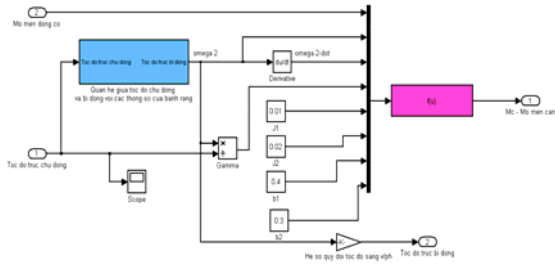
Trong đó:



Hình 6: Khối động cơ bánh răng Trong khối động cơ - bánh răng gồm 2 khối đó là: Khối động cơ và khối bánh răng:



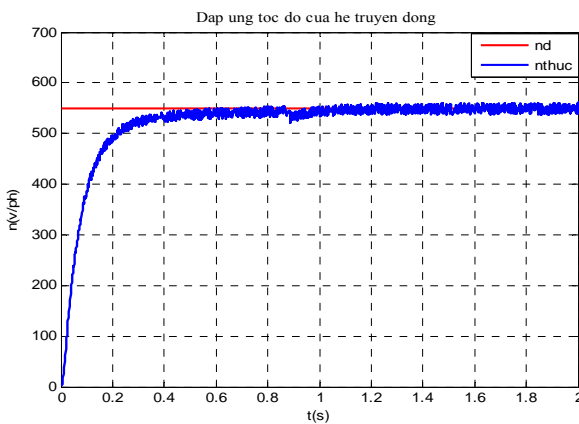
Hình 7: Khối động cơ



Hình 8: Khối bánh răng

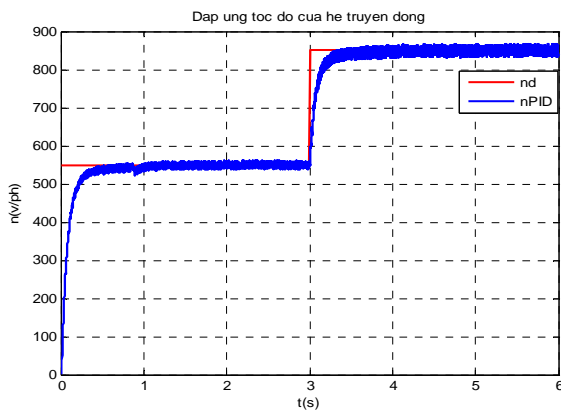
*. Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển PID kinh điển:

- Trường hợp tốc độ đặt 550v/ph:



Hình 9: Đáp ứng tốc độ của hệ truyền động băng răng với tốc độ không đổi

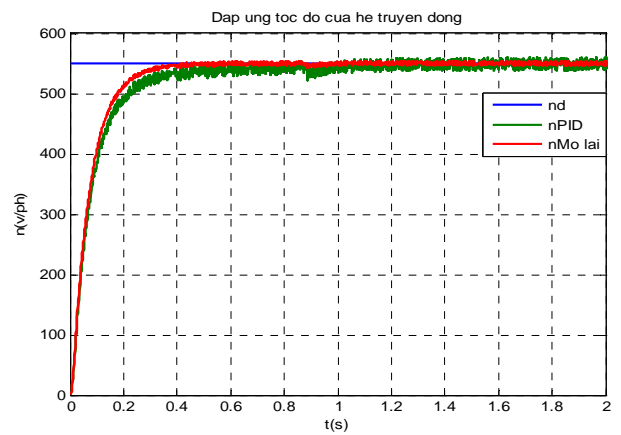
- Trường hợp tốc độ đặt nhảy bậc từ 550v/ph lên 850v/ph:



Hình 10: Đáp ứng tốc độ của hệ truyền động băng răng với tốc độ thay đổi

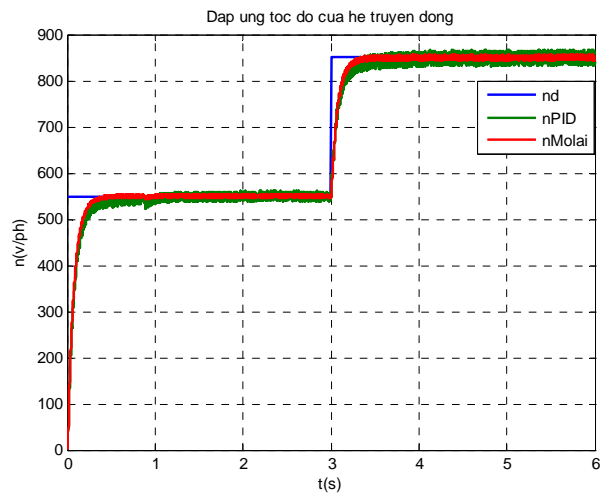
*. Kết quả mô phỏng so sánh bộ điều khiển mờ lai với bộ điều khiển PID kinh điển:

- Trường hợp tốc độ đặt 550v/ph



Hình 11: Đáp ứng tốc độ của hệ truyền động băng răng với tốc độ không đổi

- Trường hợp tốc độ đặt nhảy bậc từ 550v/ph lên 850v/ph:



Hình 12: Đáp ứng tốc độ của hệ truyền động băng răng với tốc độ thay đổi

6. Kết luận

- Bài báo đã áp dụng được phương pháp thiết kế bộ điều khiển mờ lai để điều khiển hệ truyền động có khe hở (hệ bánh răng).

- Từ các kết quả mô phỏng trên các hình 11 và hình 12 cho thấy bộ điều khiển mờ lai đã cải thiện được một số chỉ tiêu chất lượng so với bộ điều khiển PID như thời gian quá độ và mức độ dao động của tốc độ quay trực

bánh răng. Điều này cho thấy với phương pháp điều khiển mờ lai đem lại khả quan cho việc phát triển ứng dụng phương pháp điều khiển hiện đại cho hệ truyền động có khe hở.

Tài liệu tham khảo

Tiếng Việt

- [1] Đinh Gia Tường , Nguyễn Xuân Lạc, Trần Doãn Tiến; " *Nguyên Lý máy* "; NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp Hà Nội 2010.
- [2] Lại Khắc Lãi (2003), "*Một số phương pháp tổng hợp bộ điều khiển trên cơ sở logic mờ và thích nghi*", Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Bách khoa Hà Nội.
- [3] Lê Thị Thu Hà; "*Một số giải pháp nâng cao chất lượng hệ truyền động có khe hở trên cơ sở hệ mờ và mạng nơron*" Luận án tiến sĩ kỹ thuật (2013)
- [4] Nguyễn Phùng Quang: "Matlab & Simulink", *NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006.*
- [5] Nguyễn Doãn Phước (2002), *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*, Xưởng in ĐHTC - Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [7] Nguyễn Doãn Phước & Phan Xuân Minh & Hán Thành Trung (2003), *Lý thuyết điều khiển phi tuyến*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [8] Phan Xuân Minh & Nguyễn Doãn Phước (1999), *Lý thuyết điều khiển mờ*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật.

Tiếng Anh

- [9] Akira Chiba, adashi Fukao, Osamu Ichikawa, Masahide Oshima, asatsugu Takemoto and David G. Dorrell, "Magnetic Bearings and Bearingless Drives", *Newnes, 2005.*
- [10] J.Schmied "Experience with magnetic bearings support in gas pipeline compressor", *Proc. Of the 10th International Symposium on Magnetic Bearings, August 2006, Martigny, Switzerland, pp. 292-297.*
- [11] Chen, K.-Y. et al., A self-tuning fuzzy PID-type controller design for unbalance compensation in an active magnetic bearing, *Expert Systems with Applications* (2009), doi:10.1016/j.eswa.2008.10.055.
- [12] Lu et al., Linear parameter-varying techniques for control of a magnetic bearing system, *Control Engineering Practice* 16 (2008) 1161–1172.