

ĐIỀU KHIỂN HỆ CẢN BÁN CHỦ ĐỘNG MR VỚI CÁC GIẢI THUẬT KHÁC NHAU NHẪM MỤC ĐÍCH TĂNG KHẢ NĂNG KHÁNG CHẤN CỦA CÔNG TRÌNH

Nguyễn Minh Hiếu⁽¹⁾, Chu Quốc Thắng⁽²⁾

(1)Trung Tâm Quy hoạch và Kiểm định Xây dựng Bình Định

(2)Trường Đại học Quốc Tế, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 26 tháng 09 năm 2007, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 14 tháng 06 năm 2008)

TÓM TẮT: Bài báo này phân tích khả năng giảm chấn của hệ cản bán chủ động MR, một hệ cản rất mới, chỉ đòi hỏi nguồn năng lượng tương đối nhỏ nhưng có khả năng đáp ứng rất tốt. Mô hình kết cấu sử dụng trong nghiên cứu là khung thép 3 tầng chịu tác động của 04 trận động đất thực tế: ElCentro, Hachinohe, Kobe, Northridge và một trận động đất nhân tạo AQuakeEarth. Hiệu quả giảm chấn của kết cấu được tính toán dựa trên các thuật giải: Thuật giải Clipped-Optimal với trạng thái hồi tiếp chuyển vị,vận tốc; Thuật giải H₂/LQG với trạng thái hồi tiếp gia tốc; Thuật giải Proposed Fuzzy Control, sử dụng công cụ toán học rất mạnh là Fuzzy Logic trong bài toán điều khiển kết cấu; Thuật giải Gain-Scheduled Fuzzy Control và Thuật giải Self-Tuning Fuzzy Control, vừa sử dụng Fuzzy Logic vừa sử dụng các công cụ tối ưu hoá thông số điều khiển K_v. Tất cả các thuật giải trên đều được kết hợp với công cụ hỗ trợ Simulink của Matlab. Mục đích của bài báo này là xem xét thuật giải điều khiển nào đem lại hiệu quả giảm chấn tốt nhất khi kết cấu chịu ảnh hưởng của động đất. Kết quả nghiên cứu đã chứng tỏ thuật giải Self-Tuning Fuzzy Logic, một giải pháp điều khiển mới, cho hiệu quả giảm chấn rất tốt, có khả năng áp dụng cho các công trình thực tế.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, tại Việt Nam đã xuất hiện những trận động đất với tần suất nhiều hơn và cường độ mạnh hơn. Trong khi đó, qua những phương tiện thông tin chúng ta đã biết được hậu quả của chúng gây ra đối với cuộc sống con người trên thế giới thật là to lớn. Vì vậy, nhiệm vụ đặt ra là phải giảm thiểu những thiệt hại nghiêm trọng đó một cách hiệu quả nhất.

Một họ điều khiển bán chủ động đang được phát triển rất mạnh là hệ cản chất lỏng điều khiển được (*Controllable Fluid Damper*). Hiện nay có hai chất lưu đang được sử dụng làm thành phần của hệ cản là ER và MR. Chất lưu ER (viết tắt của thuật ngữ Electro-Rheological tạm dịch là lưu biến điện) được phát hiện và ứng dụng trước tiên, nhưng lại tồn tại một số hạn chế nhất định. Còn chất lưu MR (viết tắt của thuật ngữ Magneto-Rheological, tạm dịch là lưu biến từ) được phát hiện sau nhưng có nhiều đặc điểm nổi trội hơn nên hiện nay đang được nghiên cứu rộng rãi trên khắp thế giới.

Trong vài năm gần đây, trên nền tảng phát triển của lý thuyết Fuzzy Logic mạnh mẽ, hình thành nên một số giải thuật điều khiển có tính tư duy logic và trừu tượng cao. Bài báo đề cập tới việc ứng dụng các giải thuật đó cho hệ cản MR để điều khiển kết cấu nhằm tăng hiệu quả giảm chấn cho công trình: Thuật giải Proposed Fuzzy Control Algorithm, sử dụng công cụ toán học rất mạnh là Fuzzy Logic trong bài toán điều khiển kết cấu; Thuật giải Gain-Scheduled Fuzzy Control và Thuật giải Self-Tuning Fuzzy Control, vừa sử dụng Fuzzy Logic vừa sử dụng các công cụ tối ưu hoá thông số điều khiển K_v. Các giải thuật này có thể giải quyết được bài toán ứng xử phi tuyến của kết cấu. Một trong những thuận lợi khi lựa chọn các giải thuật này chính là sự phù hợp của nó với tập dữ liệu đầu vào có tính không chắc chắn.

2. CÁC THUẬT GIẢI DÀNH CHO HỆ CẢN MR

2.1. Bài toán khảo sát

Kết cấu khảo sát trong bài báo là khung thép 3 tầng (hệ MDOF), mô hình thu nhỏ của kết cấu mẫu do Chung et al thiết kế [1].

Khi chịu tác nhân kích thích ngoài, chuyển vị của piston trong hệ cản cũng là chuyển vị của tầng 1. Lực cản phát sinh từ thiết bị được tính toán mô phỏng bằng công cụ Simulink của Matlab. Bài báo nêu chi tiết *Thuật giải Proposed Fuzzy Control*, *Thuật giải Gain-Scheduled Fuzzy Control* và *Thuật giải Self-Tuning Fuzzy Control*; còn *Thuật giải Clipped-Optimal Control* và *Thuật giải H_2/LQG Control* xin tham khảo trong các tài liệu [1][2][3][4].

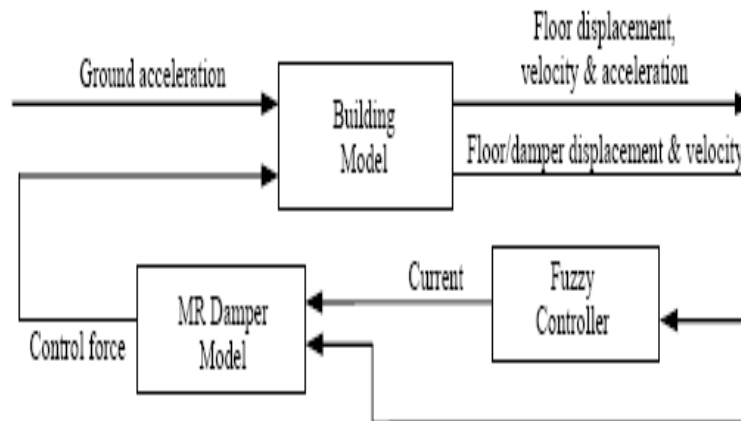
2.2. Thuật giải Proposed Fuzzy Control: [5]

Sơ đồ trình bày hệ điều khiển Proposed Fuzzy Control thể hiện như hình 1.

Trong sơ đồ trên, các biến đầu vào của Fuzzy Controller được chọn là: chuyển vị tầng (x) và vận tốc tầng (\dot{x}). Biến đầu ra sẽ là điện áp ra lệnh tới hệ cản MR.

Các qui luật điều khiển và hàm thuộc các biến đầu vào tham khảo trong [5]

Để chuẩn hóa các biến đầu vào người ta đã sử dụng hệ số tỷ lệ K_d và K_v tương ứng dùng cho biến chuyển vị và vận tốc. Bằng việc tính trung bình các kết quả thu được nhằm tìm được một bộ hệ số tỷ lệ chung ta sẽ được: $K_d=284$ và $K_v=8,7$. Trong bài báo này chúng ta chọn $K_u=4$ để mô phỏng.



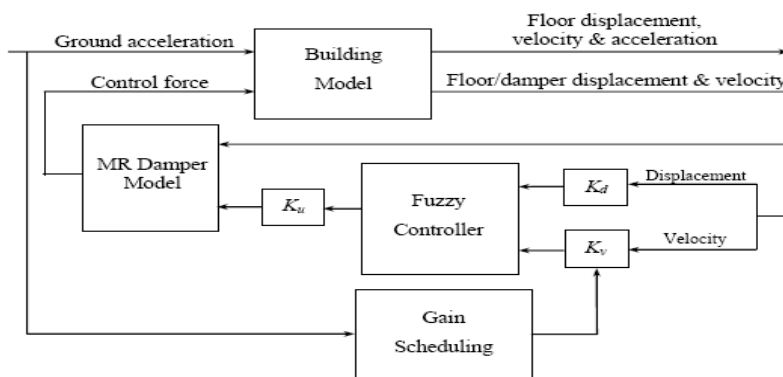
Hình 1. Sơ đồ hệ điều khiển Proposed Fuzzy Control

2.3. Các thuật giải hiệu chỉnh Fuzzy Control: [5]

Trong mục 2.2, các hệ số tỷ lệ đối với bộ điều khiển Fuzzy Controller được xác định theo cách thức tiến hành thử dần (trial-and-error) thông qua việc quan sát đáp ứng từ các trận động đất khác nhau. Quá trình quan sát này dẫn đến sự tin tưởng rằng các hệ số tỷ lệ đó thay đổi theo cường độ dịch chuyển đất nền có thể cải thiện được sự thực thi bộ điều khiển. Có hai giải thuật khác nhằm hiệu chỉnh những giá trị đó sẽ được đề cập trong phần dưới đây.

2.3.1. Thuật giải Gain-Scheduled Fuzzy Control: [5]

Sơ đồ trình bày hệ điều khiển Gain-Scheduled Fuzzy Control như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ hệ điều khiển Gain-Scheduled Fuzzy Control

Trên cơ sở phân tích thông số, phương trình sau cho phép xác định hệ số K_v :

$$K_v(t) = 23.37 \left| \ddot{x}_g(t) \right| - 0.68 \quad (1)$$

trong đó $\left| \ddot{x}_g(t) \right|$: trị tuyệt đối gia tốc nền tại thời điểm t ,

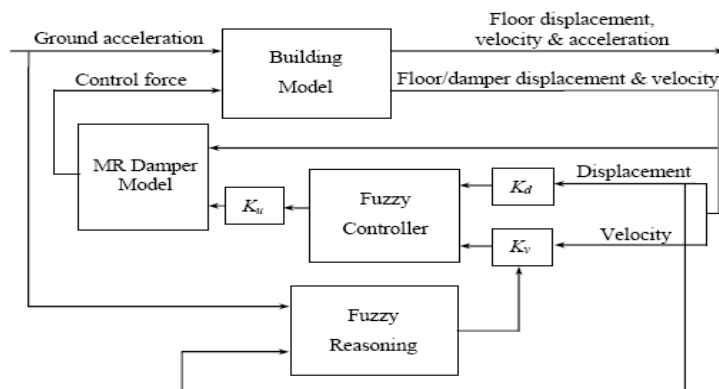
Để việc thi hành của bộ điều khiển là tốt nhất thì giá trị của $K_v(t)$ được lấy trong khoảng từ 0,05 đến 20. Các thông số còn lại của hệ điều khiển sẽ là: $K_d=7$ và $K_u=4$. Trong khi đó các hàm thuộc của các biến đầu vào và đầu ra cùng với qui luật điều khiển được chọn giống như phần trước.

2.3.2.Thuật giải Self-Tuning Fuzzy Control: [5]

Sơ đồ hệ điều khiển Self-Tuning Fuzzy Control thể hiện như hình 3.

Theo sơ đồ trên, hệ số K_v được xác định tại mỗi bước thời gian bởi chính bộ *Fuzzy Reasoning* với đầu vào được chọn là gia tốc nền và chuyển vị tầng. Các qui luật điều khiển và hàm thuộc các biến đầu vào tham khảo trong [5].

Các thông số còn lại được chọn hoàn toàn giống với thuật giải Gain-Scheduled Fuzzy Control.



Hình 3: Sơ đồ hệ điều khiển Self-Tuning Fuzzy Control

3. ĐỀ XUẤT CHỈ TIÊU SO SÁNH

Quá trình điều khiển có năm yếu tố đáp ứng max (kí hiệu chung là res) cần xem xét: chuyển vị max, vận tốc max, gia tốc max, độ lệch tầng max và lực cắt max. Tương ứng với chúng, bài báo đề xuất các trọng số để đánh giá mức độ quan trọng của mỗi yếu tố so với các yếu tố còn lại: w_{cv} , w_{vt} , w_{gt} , w_{dl} và w_{lc} (kí hiệu chung là w_{res}). Các trọng số này có giá trị được quyết định bởi người thiết kế điều khiển (từ 0% đến 100%) tùy theo từng hệ kết cấu.

Ngoài ra, trong chỉ tiêu cần phải xét đến các yếu tố về vị trí của đáp ứng và số trận động đất được khảo sát.

Từ đó, bài báo đề ra chỉ tiêu đánh giá hiệu quả giảm đáp ứng trung bình như trong công thức (2), trong đó:

- m : tổng số bước thời gian phân tích,
- n : tổng số tầng của hệ kết cấu được khảo sát,
- q : tổng số trận động đất được khảo sát, j : chỉ số của trận động đất,
- w_{res} : lần lượt là các trọng số tương ứng của các yếu tố res .

res_k^{contr} , $res_k^{uncontr}$: lần lượt là đáp ứng (về yếu tố res) của hệ kết cấu khi được điều khiển và không được điều khiển tại bước thời gian thứ k và tại tầng thứ i ,

$$\bar{H}(\%) = \frac{\sum \left(\frac{1}{nq} \sum_{j=1}^q \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m |res_k^{contr} - res_k^{uncontr}|_i \right) \right) \times w_{res}}{\sum w_{res}} \times 100\% \quad (2)$$

4. KẾT QUẢ KHẢO SÁT

Bài báo khảo sát hệ kết cấu nêu trong bài toán tại mục 2.1 trong 8 trường hợp: Kết cấu không lắp hệ cản (*Uncontrolled*); Kết cấu có lắp hệ cản và điện thế bằng 0 (*Passive-Off*); Kết cấu có lắp hệ cản và điện thế bằng $v_{max} = 2,25V$ (*Passive-On*); Kết cấu có lắp hệ cản và sử dụng lần lượt 05 thuật giải đã được nêu ở trên. Tín hiệu kích thích đầu vào là 04 trận động đất thực tế: Elcentro, Hachinohe, Kobe, Northridge và một trận động đất nhân tạo AQuakeEarth.

Trong bảng 1: x_3 , v_3 , a_3 : lần lượt là chuyển vị, vận tốc và gia tốc tầng đỉnh; d_3 : độ lệch tương đối giữa tầng đỉnh với tầng dưới; Q_j : lực cắt tại tầng thứ l . Các thuật ngữ được viết tắt: *Semi-LQR*: thuật giải Clipped-Optimal Control; *Semi-H₂/LQG*: thuật giải H₂/LQG Control; *Semi-Fuzzy*: thuật giải Proposed Fuzzy Control; *Semi-FST*: thuật giải Self-Tuning Fuzzy Control; *Semi-FGS*: thuật giải Gain-Scheduled Fuzzy Control.

Bảng 1. Giá trị max của đáp ứng

	Uncontrolled	Passive-Off	Passive-On	Semi-LQR	Semi-H ₂ /LQG	Semi-Fuzzy	Semi-FST	Semi-FGS
TRẬN ĐỘNG ĐẤT ELCENTRO								
x_3 (cm)	1.037	0.615	0.276	0.282	0.368	0.342	0.311	0.288
d_3 (cm)	0.163	0.109	0.086	0.087	0.086	0.092	0.077	0.082
v_3 (m/s)	0.321	0.182	0.121	0.124	0.121	0.126	0.122	0.121

$a_3(\text{m/s}^2)$	10.939	7.070	5.072	4.425	4.233	5.238	4.785	4.906
$Q_1(\text{N})$	3000.2	1678.5	592.0	715.5	1035.7	676.2	664.2	597.3

TRẬN ĐỘNG ĐẤT KOBE

$x_3(\text{cm})$	1.767	1.073	0.813	0.837	0.820	0.805	0.819	0.822
$d_3(\text{cm})$	0.295	0.173	0.149	0.144	0.142	0.154	0.140	0.147
$v_3(\text{m/s})$	0.479	0.197	0.159	0.165	0.195	0.175	0.171	0.156
$a_3(\text{m/s}^2)$	16.227	7.056	6.217	5.639	9.320	6.136	5.920	6.079
$Q_1(\text{N})$	4991.3	3014.1	2245.8	2442.0	2244.4	2241.1	2258.5	2261.0

TRẬN ĐỘNG ĐẤT HACHINOHE

$x_3(\text{cm})$	0.632	0.217	0.140	0.144	0.231	0.141	0.141	0.140
$d_3(\text{cm})$	0.112	0.074	0.043	0.042	0.051	0.043	0.043	0.043
$v_3(\text{m/s})$	0.227	0.064	0.031	0.035	0.065	0.032	0.032	0.032
$a_3(\text{m/s}^2)$	7.395	3.053	1.179	1.189	3.579	1.261	1.245	1.236
$Q_1(\text{N})$	1738.5	560.0	396.7	421.4	623.7	396.7	396.5	397.0

TRẬN ĐỘNG ĐẤT NORTHIDGE

$x_3(\text{cm})$	1.486	1.055	0.947	0.949	1.238	0.960	0.867	0.981
$d_3(\text{cm})$	0.280	0.185	0.193	0.188	0.205	0.235	0.182	0.196
$v_3(\text{m/s})$	0.499	0.245	0.255	0.253	0.307	0.288	0.260	0.260
$a_3(\text{m/s}^2)$	16.377	8.285	8.624	8.040	12.473	7.749	8.581	8.985
$Q_1(\text{N})$	4002.1	2984.2	2292.9	2324.8	3454.0	2199.3	2039.6	2406.8

TRẬN ĐỘNG ĐẤT AQuakeEarth

$x_3(\text{cm})$	32.895	11.995	9.902	9.940	11.682	10.129	10.123	10.131
$d_3(\text{cm})$	5.532	2.053	1.837	1.815	1.998	1.855	1.845	1.851
$v_3(\text{m/s})$	11.143	3.706	2.989	3.021	3.800	3.079	3.059	3.070
$a_3(\text{m/s}^2)$	383.99	132.24	120.9	119.4	138.7	122.2	121.5	121.9
$Q_1(\text{N})$	90067	32647	25993	26184	31596	26687	26660	26695

Theo công thức (2) với các trọng số w_{res} được chọn bằng nhau (nghĩa là các đáp ứng được đánh giá quan trọng như nhau: $w_{cv} = w_{vt} = w_{gt} = w_{dl} = w_{lc} = 1$ (100%)) chúng ta thu được các giá trị so sánh trong bảng 2.

Bảng 2. Giá trị so sánh $\bar{H}(\%)$

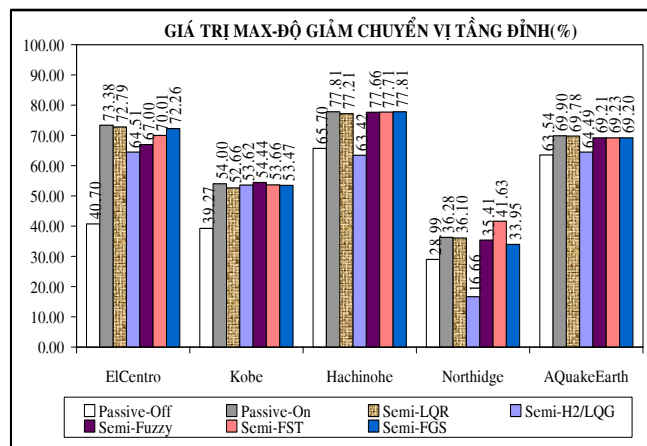
Tên giải thuật điều khiển	Giá trị so sánh $\bar{H}(\%)$
Semi-LQR	60.32
Semi-H ₂ /LQG	51.36
Semi-Fuzzy	60.63
Semi-FST	63.24
Semi-FGS	61.92

Căn cứ vào giá trị so sánh $\bar{H}(\%)$ đạt được, chúng ta nhận thấy thứ tự sắp xếp về hiệu quả giảm chấn của các thuật giải đang khảo sát sẽ là:

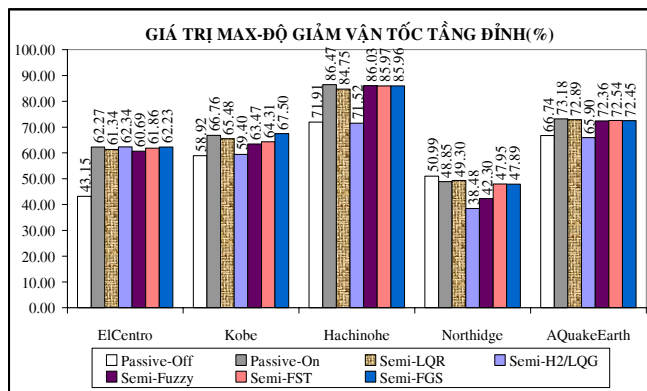
Semi-FST > Semi-FGS > Semi-Fuzzy > Semi-LQR > Semi-H₂/LQG.

Hơn nữa với một bộ giá trị w_{res} bất kỳ thì chúng ta cũng nhận được kết quả như trên.

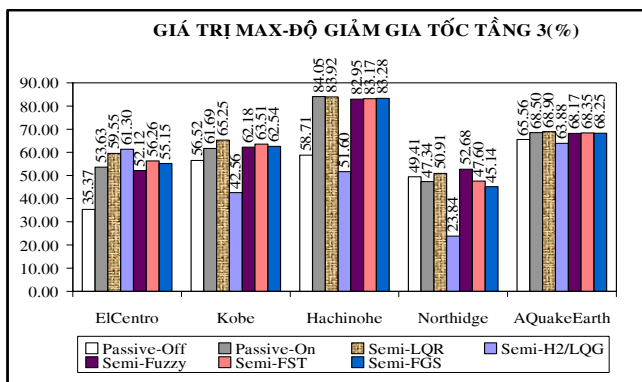
Các đồ thị so sánh kết quả mô phỏng các trường hợp thể hiện trong hình 4-8



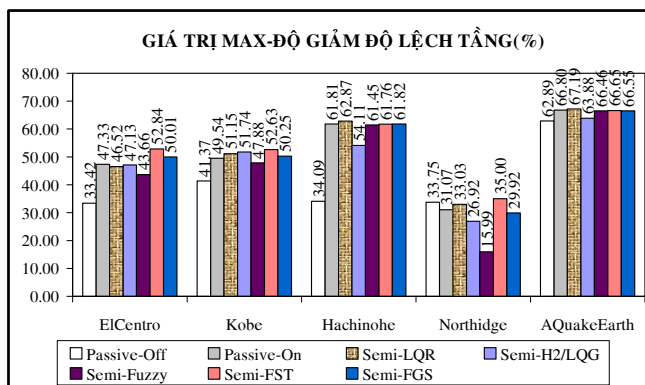
Hình 4. Đồ thị biểu diễn độ giảm chuyển vị tầng đỉnh



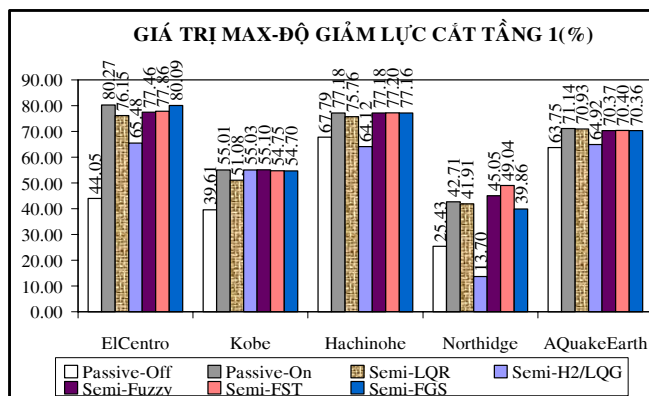
Hình 5. Đồ thị biểu diễn độ giảm vận tốc tầng đỉnh



Hình 6. Đồ thị biểu diễn độ giảm gia tốc tầng đỉnh

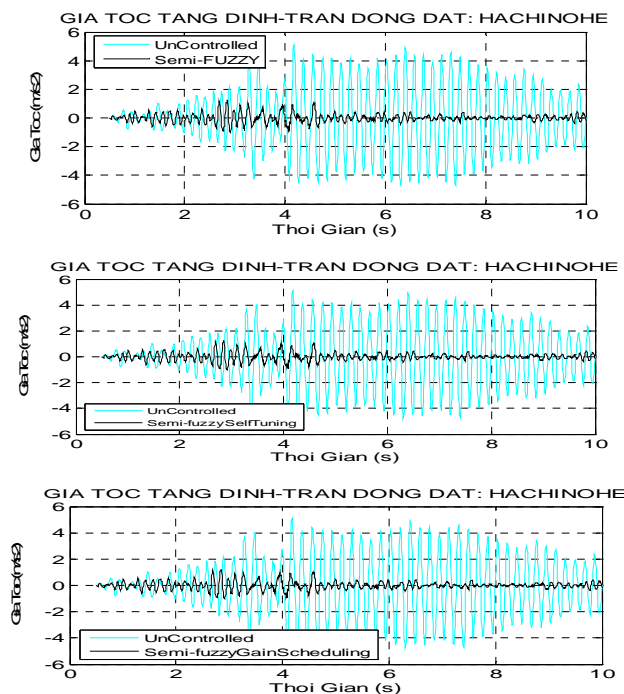


Hình 7. Đồ thị biểu diễn độ giảm độ lệch tầng đỉnh



Hình 8. Đồ thị biểu diễn độ giảm lực cắt tầng 1

Hình 9 thể hiện gia tốc đỉnh nhận được khi mô phỏng điều khiển trận động đất Hachinohe với ba giải thuật sử dụng bộ Fuzzy Controller.



Hình 9. Một số hình ảnh minh họa gia tốc tầng đỉnh - Hachinohe

5. CÁC NHẬN XÉT

Hiệu quả sử dụng trong trạng thái Passive-On là tốt nhất trong hầu hết các trường hợp. Tuy nhiên trạng thái này làm tăng nhanh nhiệt độ nung nóng hệ cản, từ đó kéo theo làm giảm đi tuổi thọ của thiết bị rất nhiều (Schurter và Roschke 2001b). Vì thế các kết quả từ trạng thái Passive-On chỉ nên dùng cho việc đối chiếu trong quá trình tính toán mô phỏng. Ở trạng thái bị động Passive-Off, hệ làm việc kém hiệu quả nhất so với các giải thuật khác nhưng cũng đã tỏ ra vượt trội hơn rất nhiều so với khi công trình không được điều khiển (giảm từ **25,43%** đến **71,91%**). Điều đó thể hiện tính ưu việt ở trạng thái bị động của hệ cản bán chủ động MR. Theo chỉ tiêu đánh giá được đề xuất, Thuật giải Semi-FST cho hiệu quả giảm chấn là tốt nhất, còn thuật giải H_2/LQG cho hiệu quả thấp nhất. Các thuật giải còn lại cho hiệu quả giảm chấn gần như tương đương nhau.

Các kết quả thu được từ Thuật giải Proposed Fuzzy Control, Thuật giải Gain-Scheduled Fuzzy Control và Thuật giải Self-Tuning Fuzzy Control cho thấy có sự gần bằng nhau. Điều này chứng tỏ độ tin cậy dành cho chúng là khá cao.

6. KẾT LUẬN

Bài báo này thể hiện nghiên cứu của tác giả về hiệu quả giảm chấn của hệ cản MR trong mô hình kết cấu MDOF với 05 thuật giải điều khiển khác nhau. Tất cả các thuật giải được xem xét đều có thể dùng để giảm đáp ứng kết cấu: *Thuật giải Clipped-Optimal Control, Thuật giải H_2/LQG Control, Thuật giải Proposed Fuzzy Control, Thuật giải Gain-Scheduled Fuzzy Control và Thuật giải Self-Tuning Fuzzy Control* bởi chúng có hiệu quả khá tốt. Hơn nữa, bài

báo đề xuất chỉ tiêu mới để so sánh hiệu quả giảm chấn giữa các thuật giải với nhau một cách tổng quát hơn.

Các thuật giải dựa trên lý thuyết Fuzzy Logic có hiệu quả giảm chấn rất tốt và đáng tin cậy. Việc cải thiện sự hoạt động của hệ điều khiển thông qua việc thay đổi hệ số tỷ lệ vận tốc K_v dựa vào mối quan hệ với cường độ gia tốc nền (thay vì luôn luôn là hằng số) đã làm tăng khả năng giảm chấn của hệ cản MR. Thuật giải Self Tuning Fuzzy Control có hiệu quả giảm chấn tốt hơn so với các giải thuật còn lại trong quá trình điều khiển chống động đất cho mô hình chuẩn của hệ kết cấu nhiều bậc tự do (MDOF) đã khảo sát. Hiệu quả giảm chấn mà thuật giải này đem lại càng rõ ràng hơn đối với các trận động đất có cường độ mạnh và diễn ra tương đối dài.

SEMIACTIVE CONTROL ALGORITHMS WITH MR DAMPERS FOR SEISMIC RESPONSE REDUCTION OF BUILDINGS

Nguyen Minh Hieu⁽¹⁾, Chu Quoc Thang⁽²⁾

(1) Binh Dinh Planning & Construction Verification Center

(2) International University, VNU-HCM

ABSTRACT: *This paper analysed seismic reducing capacity of MR damper, a very new damper, with the relative small power and the response rate is very quickly. Structural model was used in this study was three-storey steel frame under the four actual earthquakes: ElCentro, Hachinohe, Kobe, Northridge and the Artificial Earthquake: A quakeEarth. Seismic reducing effect of structure was calculated relying on five algorithms: Clipped-Optimal with full state feedback of displacements and velocities, H_2/LQG with acceleration feedback in association; Proposed Fuzzy Control; Gain-Scheduled Fuzzy Control and Self-Tuning Fuzzy Control with Simulink tool of Matlab. Through this studied result, MR damper with Self-Tuning Fuzzy Control Algorithm has brought very good seismic reducing effect as that structure was influenced by earthquake.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. B.F. Spencer Jr., S.J. Dyke, M.K. Sain and J.D. Carlson, *Modeling and Control of Magnetorheological Dampers for Seismic Response Reduction*, ASCE Journal of Engineering Mechanics, August 1, (1996).
- [2]. Dyke, S.J., Spencer Jr., B.F., Quast, P., Sain, M.K., Kaspari Jr., D.C. and Soong, T.T, *Acceleration Feedback Control of MDOF Structures*, J. of Engrg. Mech., ASCE, Vol. 122, No. 9, pp. 907–918, (1996).
- [3]. Dyke, S.J., Spencer Jr., B.F., Quast, P., Kaspari Jr., D.C., and Sain, M.K., *Implementation of an AMD Using Acceleration Feedback Control*, Microcomputers in Civil Engineering: Special Issue on Active and Hybrid Structural Control, Vol. 11, pp. 305–323, (1996).
- [4]. McMahon Scott, Makris Nicos, *Large scale ER damper for seismic protection*, SPIE, Vol. 3045, pp. 140-147, (1998).
- [5]. C.M.D. Wilson; M.M.Abdullah, *Fuzzy control of magnetorheological dampers in civil structure*, ASCE Structures Congress, New York, NY, (2005).