

CÁC PHƯƠNG ÁN SỬ DỤNG HỆ CẢN MA SÁT BIẾN THIÊN TRONG KẾT CẤU 9 TẦNG

Phạm Nhân Hòa⁽¹⁾, Chu Quốc Thắng⁽²⁾

(1) Chương trình EMMC, (2) Trường Đại học Quốc tế, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 15 tháng 05 năm 2007, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 07 tháng 03 năm 2008)

TÓM TẮT: Bài báo đưa ra các chỉ tiêu để đánh giá mức độ hiệu quả giảm chấn của các phương án sử dụng hệ cản ma sát biến thiên. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm đáp ứng và chi phí lắp đặt hệ cản ma sát biến thiên cũng được phân tích trong bài báo. Các kết luận sơ bộ về ưu khuyết điểm của hệ cản ma sát được điều khiển bán chủ động (VFD-Variable Friction Damper) so với hệ cản ma sát được điều khiển bị động (FD- Friction Damper) cũng được giới thiệu trong cuối bài báo.

1. GIỚI THIỆU

Tính hiệu quả giảm chấn của hệ cản ma sát (trong điều khiển bị động lẫn bán chủ động) đã được đề cập trước đây [3][3] là vấn đề không cần bàn cãi. Mỗi quan hệ giữa số lượng VFD được sử dụng, tham số điều khiển ζ và sự giảm đáp ứng của kết cấu phản ánh hiệu quả làm việc VFD, kết quả của việc phân tích này cho ta các phương án sử dụng VFD khác nhau để kết cấu đáp ứng theo mục đích điều khiển. Và các phương án thiết kế VFD này cũng phụ thuộc vào sự hiệu quả về kinh tế của công trình.

Chỉ tiêu đưa ra về giảm đáp ứng của công trình là tùy thuộc vào đặc thù của công trình đó. Ví dụ đối với kết cấu đài nước, nhà kho, sân bãi thì yêu cầu về giảm chuyển vị và lực cắt sao cho công trình không sụp đổ là quan trọng nhưng đối với công trình dân dụng như nhà ở, trường học, văn phòng thì ngoài yêu cầu phải giảm chuyển vị, lực cắt, momen ta còn phải quan tâm đến vấn đề giảm gia tốc cho công trình do yêu cầu về cảm giác của con người.

2. CÁC CHỈ TIÊU ĐỂ LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

Mức độ hiệu quả giảm đáp ứng trung bình: \bar{G} (%):

$$\bar{G} = \frac{(\bar{G}_{cv} \cdot w_{cv}) + (\bar{G}_{gt} \times w_{gt}) + (\bar{G}_{lc} \times w_{lc})}{w_{cv} + w_{gt} + w_{lc}}$$

trong đó:

- \bar{G}_{cv} là hiệu quả giảm chuyển vị trung bình, được tính bằng (%):

$$\bar{G}_{cv} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i^{cv}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_k^m |x_k - x_k^{NFD}|_i}{n} \times 100$$

với: n là tổng số tầng của kết cấu, m là tổng số bước thời gian phân tích, \bar{x}_k là đáp ứng về chuyển vị của kết cấu ở bước thời gian thứ k , \bar{x}_k^{NFD} là đáp ứng về chuyển vị của kết cấu khi không có điều khiển ở bước thời gian thứ k .

- w_{cv} là trọng số để đánh giá mức độ quan trọng về độ giảm đáp ứng về chuyển vị ứng của kết cấu so với các yếu tố còn lại.

Tương tự, ta có:

- \overline{G}_{gt} là hiệu quả giảm gia tốc trung bình, được tính bằng (%):

$$\overline{G}_{gt} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i^{gt}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_k^m \left| \ddot{x}_k - \ddot{x}_k^{NFD} \right|_i}{n} \times 100$$

- \overline{G}_{lc} là hiệu quả giảm lực cắt trung bình, được tính bằng (%):

$$\overline{G}_{lc} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i^{lc}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_k^m \left| sf_k - sf_k^{NFD} \right|_i}{n} \times 100$$

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

3.1. Lựa chọn phương án sử dụng VFD

Để đánh giá mức độ hiệu quả mang tính thực tế của VFD, ta xét kết cấu của 1 tòa nhà 9 tầng mẫu [5] chịu tải trọng động đất. Đặc điểm của công trình được cho trong 0. Các ma trận \mathbf{M}^s , \mathbf{D}^s , \mathbf{K}^{ss} được xác định như trong [3].

Bậc tự do $n=10$, khung làm bằng thép có $E=200GPa=2 \times 10^4 kN/cm^2$

Bảng 1. Các đặc điểm của khung 9 tầng

Tầng	Ngầm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$m (\times 10^3 kg)$	483	505	495	495	495	495	495	495	495	532
$k (kN/cm)$	2641	2641	2313	2313	1750	1750	1235	1235	1094	1094

Tỉ số cản của khung bằng thép được lấy: $\xi_j = 0.02 (j = 1, 2, \dots, 10)$

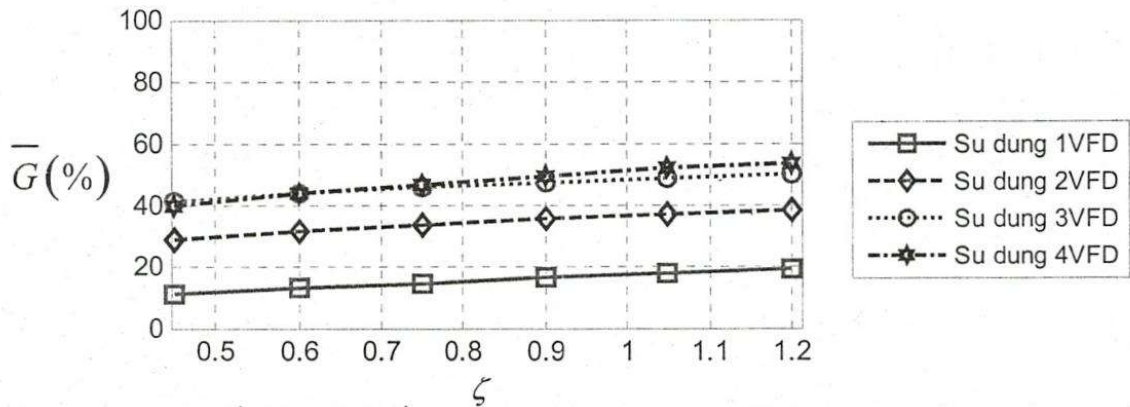
Tải trọng động đất ElCentro được sử dụng để phân tích đáp ứng của kết cấu, mức độ quan trọng giữa các đáp ứng là giống nhau, kết quả của 24 phương án sử dụng VFD (đặt ở các tầng dưới cùng) được cho trong 0 và 0.

Bảng 2. Lực điều khiển lớn nhất u_{max} trong VFD

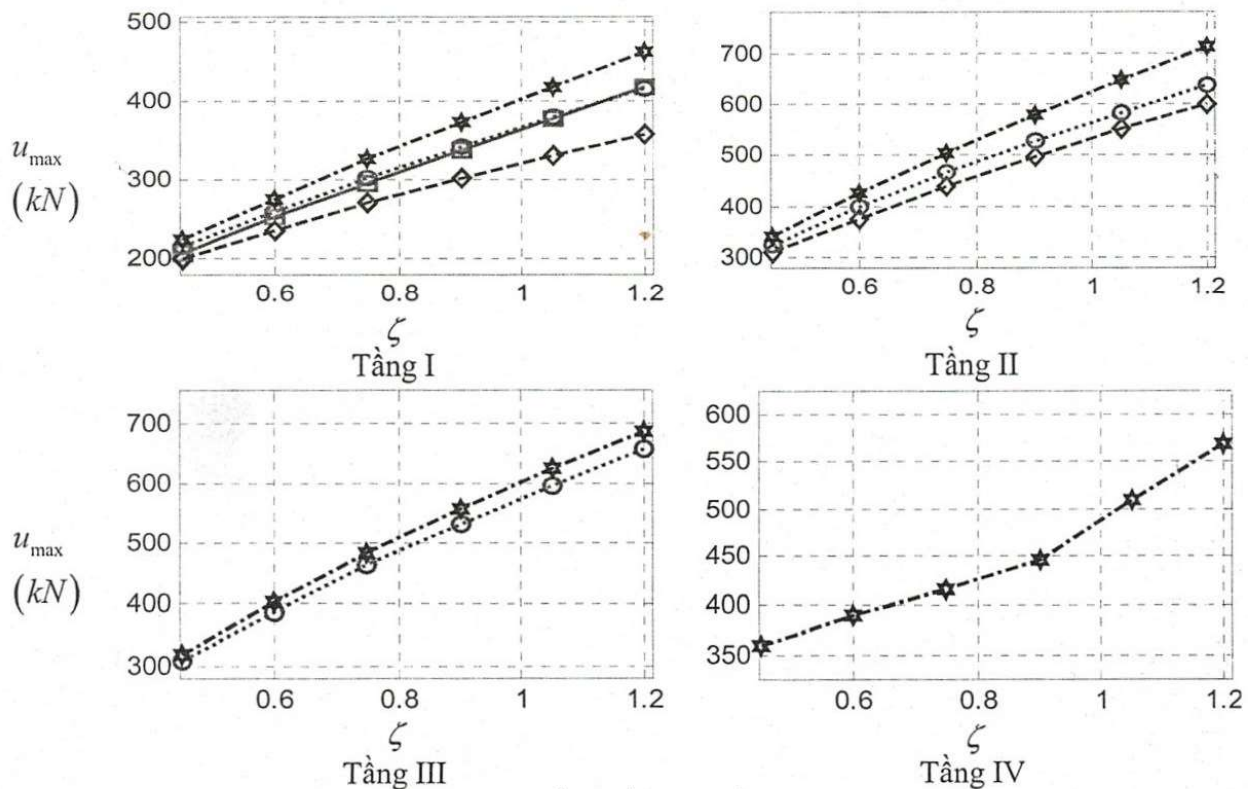
Số VFD	$u_{max} (kN)$									
	1		2		3			4		
	T1	T1	T2	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T4
0.45	207.1	199.1	308.4	215.8	324.9	308.9	223.4	339.4	317.7	358.2
0.60	252.5	236.2	376.1	260.3	398.4	386.9	275.8	425.0	402.5	389.7
0.75	296.0	269.9	438.9	302.0	466.1	461.6	325.2	505.2	482.5	416.6
0.90	337.8	301.0	497.4	341.6	528.4	531.6	372.4	580.0	556.4	446.1
1.05	377.7	330.1	551.6	379.0	585.4	597.1	417.4	649.2	624.3	508.8
1.20	415.8	357.1	602.6	414.3	637.9	658.2	460.3	713.4	686.6	568.0

Bảng 3. Mức độ hiệu quả giảm đáp ứng trung bình của các phương án sử dụng VFD

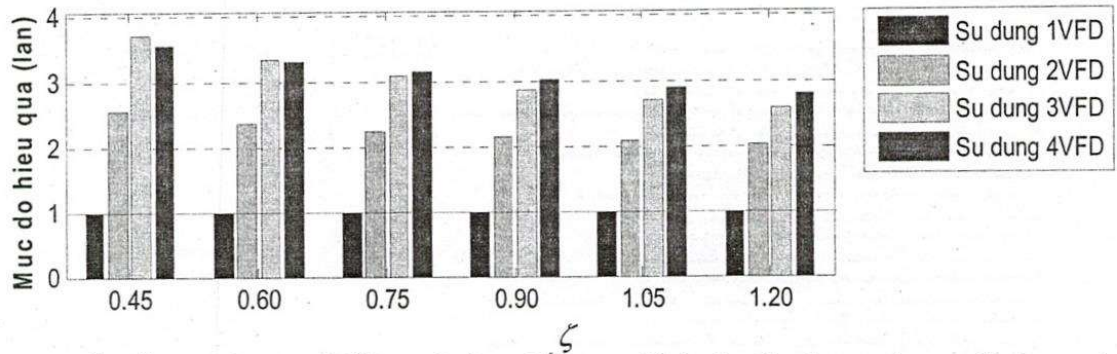
ζ	\bar{G} (%)				
	Số VFD	1	2	3	4
0.45		11.20	28.83	41.67	39.90
0.60		13.21	31.57	44.18	44.01
0.75		14.92	33.78	46.10	47.25
0.90		16.50	35.82	47.67	49.94
1.05		17.97	37.54	48.99	52.15
1.20		19.24	39.03	50.21	54.00



Hình 1. Đồ thị so sánh về hiệu quả giảm đáp ứng trung bình của các phương án



Hình 2. Lực điều khiển lớn nhất u_{max} (kN)



Hình 3. Biểu đồ so sánh mức độ hiệu quả giảm chấn trung bình của các phương án so với phương án sử dụng 1VFD

Nhận xét:

– Đối với tham số ζ :

• Lực điều khiển lớn nhất trong các phương án là phụ thuộc tuyến tính vào tham số điều khiển ζ (0).

• \bar{G} phụ thuộc gần như tuyến tính vào ζ (0) nhưng độ tăng \bar{G} là không đáng kể so với độ tăng của lực điều khiển lớn nhất. Cụ thể: như khi ta sử dụng 1 VFD đặt ở tầng I và tăng tham số ζ từ 0.45 đến 1.20 thì mức độ hiệu quả trung bình chỉ tăng được: $19.24\% - 11.20\% = 8.04\%$

trong khi lực điều khiển lớn nhất đã tăng: $\frac{415.8 - 207.1}{207.1} \times 100 = 100.77\%$, các phương án sử

dụng 2VFD ; 3VFD hay 4VFD cũng cho kết quả tương tự. Do đó, việc tăng tham số điều khiển ζ đủ lớn để đạt mức độ hiệu quả như mong muốn là không khả thi vì sẽ dẫn đến lực điều khiển sẽ lớn vô cùng.

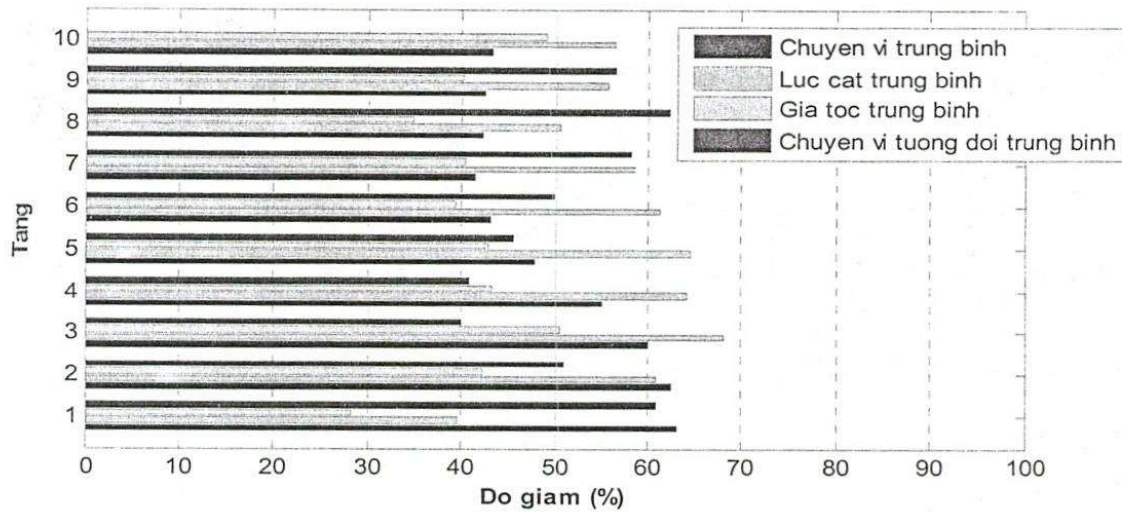
– Khi ta tăng số lượng VFD thì \bar{G} tăng lên một cách đáng kể (xem 0) thì phương án sử dụng 2VFD (cùng tham số điều khiển $\zeta = 0.45$) thì hiệu quả tăng hơn gấp 2.5 lần so với phương án sử dụng 1VFD, nếu sử dụng 3VFD hoặc 4VFD thì hiệu quả tăng hơn 3.5 lần so với phương án sử dụng 1VFD.

– Như vậy, muốn cải thiện hiệu quả giảm chấn như mong muốn thì ta phải tăng số lượng VFD điều khiển kết cấu, việc tăng tham số điều khiển ζ chỉ mang tích chất “vì chính” hiệu quả giảm chấn và thiết kế lực ma sát điều khiển lớn nhất. Nhưng nếu sử dụng càng nhiều VFD thì sẽ dẫn đến chi phí lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng càng tăng lên.

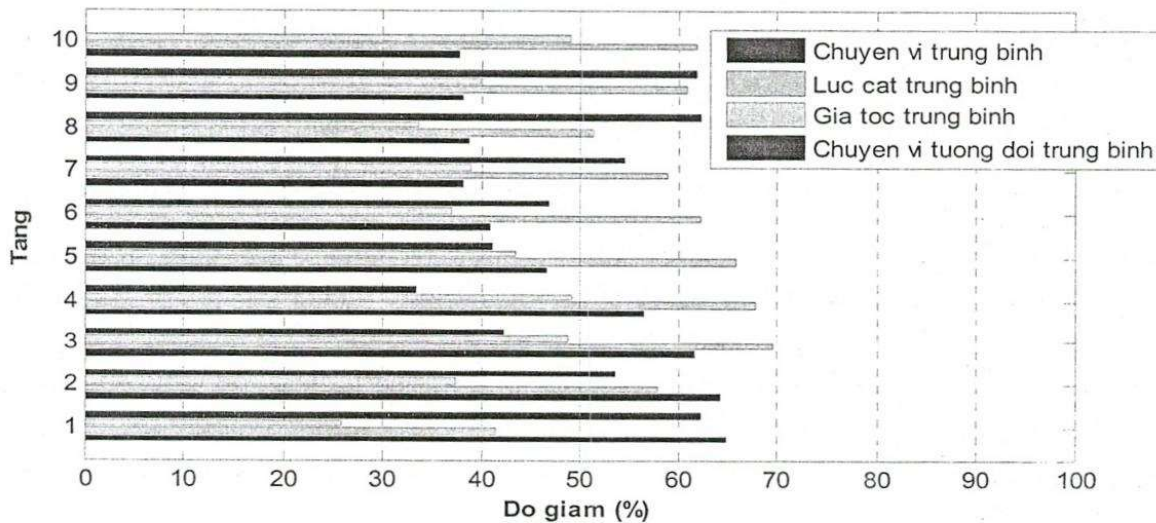
– Tùy vào mục tiêu thiết kế mà ta lựa chọn số lượng VFD cũng như tham số điều khiển ζ , chẳng hạn như trong ví dụ này ta mong muốn \bar{G} là 50% thì ta có thể thiết kế theo 2 phương án sau:

• Phương án I: Sử dụng 3 VFD và tham số điều khiển $\zeta = 1.20$. Lực điều khiển lớn nhất ở 3 tầng lần lượt là **414.3 ; 637.9 ; 658.2 (kN)**.

• Phương án II: Sử dụng 4 VFD và tham số điều khiển $\zeta = 0.90$. Lực điều khiển lớn nhất ở 4 tầng lần lượt là **372.4 ; 580.0 ; 556.4 ; 446.1 (kN)**.



Hình 4. Độ giảm đáp ứng của kết cấu khi sử dụng phương án I

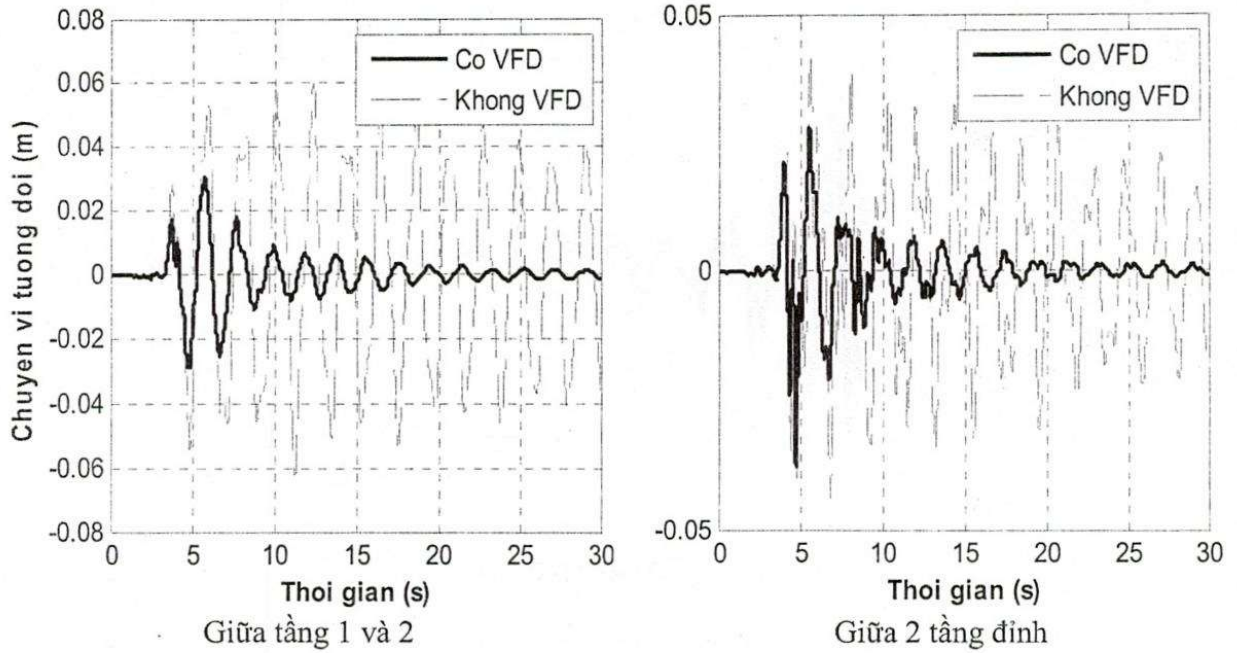


Hình 5. Độ giảm đáp ứng của kết cấu khi sử dụng phương án II

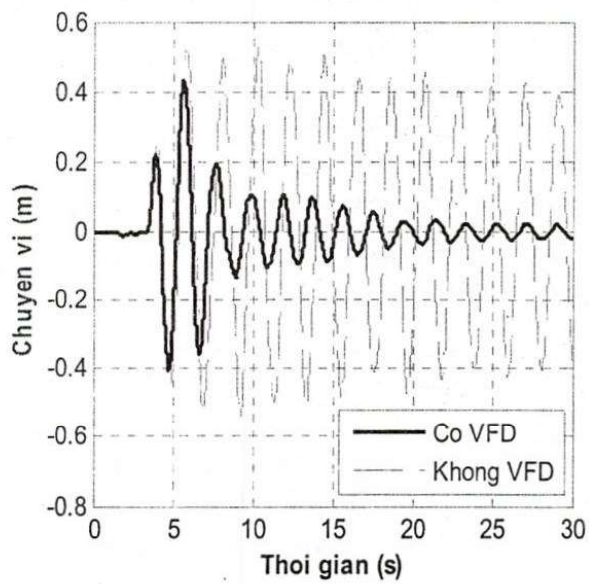
Rõ ràng khi ta sử dụng phương án I thì số lượng VFD ít hơn phương án II nhưng bù lại thì lực điều khiển lớn nhất ở 3 tầng lại lớn hơn lực điều khiển lớn nhất ở 4 tầng khi ta sử dụng 4VFD, do đó, tùy vào chi phí dùng cho VFD và chủng loại VFD đang có mà ta có thể dùng phương án I hoặc II.

3.2. Đáp ứng của kết cấu 9 tầng với các tải động đất Northridge

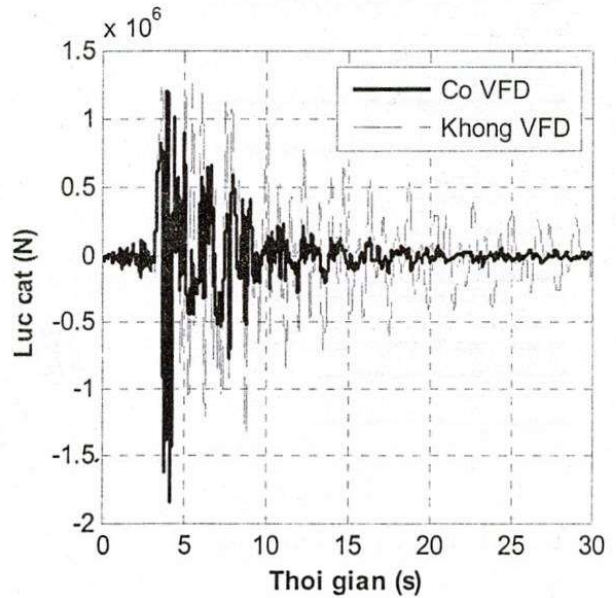
Số lượng VFD được sử dụng trong điều kiện bán chủ động là 4 (đặt ở các tầng cuối) và tham số điều khiển $\zeta = 0.90$. Tham số điều khiển trong FD được lấy: $r = 0.125$



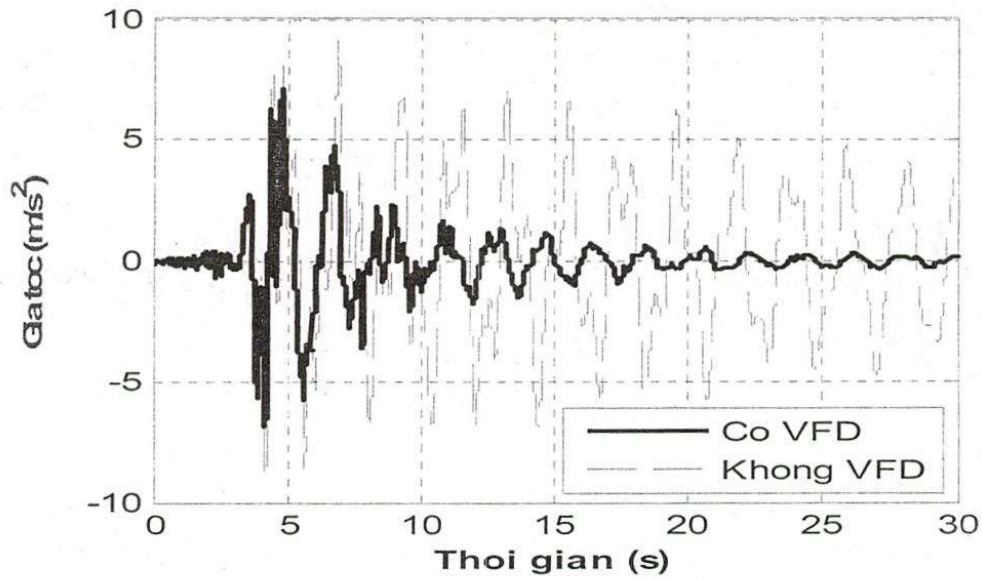
Hình 6. Chuyển vị tương đối giữa các tầng



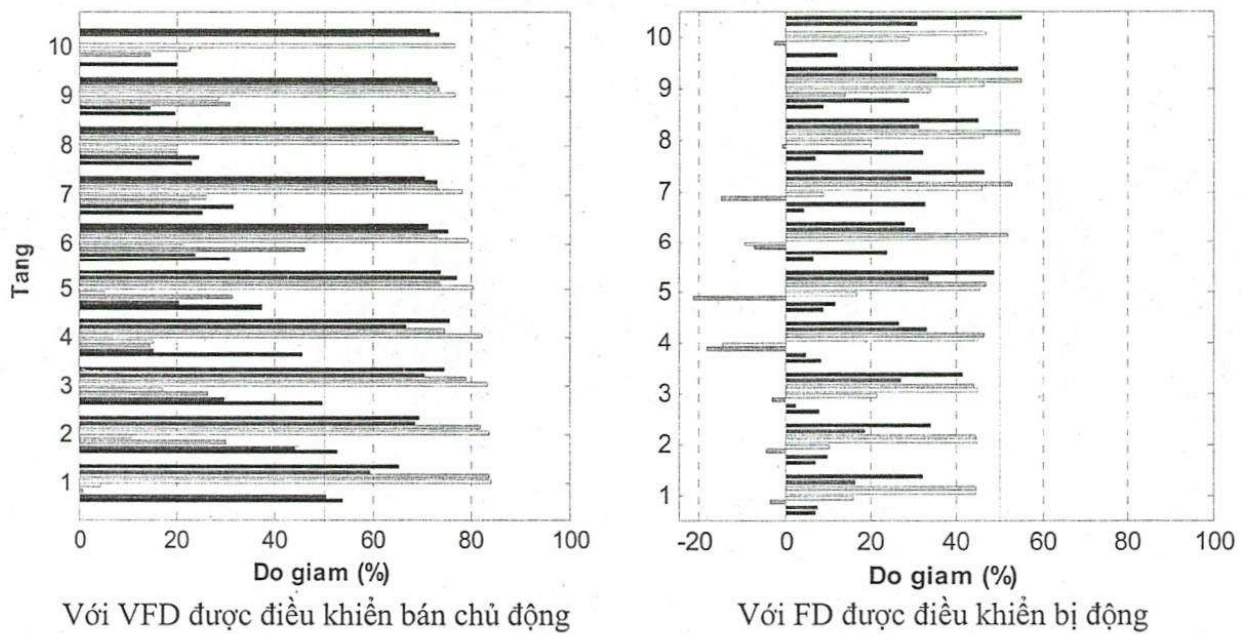
Hình 7. Chuyển vị tầng đỉnh



Hình 8. Lực cắt tầng 1



Hình 9. Gia tốc tầng đỉnh



Hình 10. Độ giảm đáp ứng của kết cấu với tải động đất Northridge

Nhận xét:

Theo các biểu đồ tổng hợp về độ giảm đáp ứng (0) thì đáp ứng của kết cấu với chuyển vị, lực cắt và gia tốc lớn nhất là không hiệu quả nhiều so với các đáp ứng trung bình, nhất là đáp ứng của kết cấu đối với các tải động đất có cường độ lớn (như Northridge). Điều này được lý giải là do các đáp ứng lớn nhất thường xảy ra ở thời điểm đầu của trận động đất, ở thời điểm này đáp ứng của kết cấu là phụ thuộc phần lớn vào bản thân kết cấu và chưa có sự tham gia nhiều của hệ cản ma sát vào đáp ứng của kết cấu. Một lý do khác nữa là do đặc điểm của FD:

“năng lượng tiêu tán trong mỗi chu kỳ chỉ tỉ lệ với chuyển vị lớn nhất” (tức $E_F = - \int_0^t \dot{\mathbf{x}}^T \cdot \mathbf{u} dt$)

thay vì là bình phương chuyển vị lớn nhất (tức $E_D = \int_0^t \dot{\mathbf{x}}^T \cdot \mathbf{D}_s \cdot \dot{\mathbf{x}} dt$) như hệ cản nhớt nên độ giảm của chuyển vị, lực cắt lớn nhất là không hiệu quả.

Kết cấu gần như là không dao động ở vùng có gia tốc nền nhỏ (0, 0) và không xảy ra trường hợp đáp ứng âm (0), đây cũng là điểm khác biệt so với kết cấu được điều khiển bị động [3].

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra: các chỉ tiêu để đánh giá mức độ hiệu quả của các phương án sử dụng VFD trong công trình, các trọng số để đánh giá mức độ quan trọng giữa các yếu tố này tùy thuộc vào mỗi loại công trình.

Ví dụ số chỉ ra ảnh hưởng, các ưu nhược điểm về mặt kinh tế của 2 yếu tố điều khiển là tham số ζ và số lượng VFD đối với mức độ hiệu quả giảm chấn của kết cấu. Hiệu quả về giảm đáp ứng trung bình so với giảm đáp ứng lớn nhất của VFD cũng được giải thích trong đáp ứng của kết cấu 9 tầng đối với tải trọng động đất Northridge. Cũng qua ví dụ này, bài báo cũng chỉ ra ưu điểm về sự giảm đáp ứng của phương pháp điều khiển bán chủ động so với phương pháp điều khiển bị động.

THE METHOD OF USING A VARIABLE FRICTION DAMPER IN A NINE-STORY BUILDING

Pham Nhan Hoa⁽¹⁾, Chu Quoc Thang⁽²⁾

(1) Programme of EMMC, (2) International University, VNU-HCM

ABSTRACT: *In this paper, the elements which affect structure's response reductions are proposed to evaluate the effect of a variable friction damper. The factors which influence the response reductions and the installation charges are analyzed in subsection numerical examples. Finally, this paper also draws conclusions about the advantages and disadvantages for variable friction dissipators (VFD) in comparison with friction damper (FD).*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lyan-Ywan Lu, *Predictive control of seismic structures with semi-active friction dampers* – Earthquake Engng Struct. Dyn, 33:647–668, (2004).
- [2]. Lyan-Ywan Lu, *Seismic test of modal control with direct output feedback for building structures* – Structural Engineering and Mechanics, Vol 12, No. 6, 33-656, (2001).
- [3]. Lyan-Ywan Lu, *Semi-active modal control for seismic structures with variable friction dampers* – Engineering Structures 26437–454, (2004).
- [4]. Phạm Nhân Hòa, *Đánh giá hiệu quả giảm chấn của công trình chịu tải trọng động đất sử dụng hệ cản ma sát được điều khiển bị động*, Luận văn cao học EMMC, tháng 1, (2007).
- [5]. Y.Ohtori, R. E. Christenson, B. F. Spencer, *Benchmark Control Problems for Seismically Excited Nonlinear Buildings*, Journal Of Engineering Mechanics © ASCE / APRIL, (2004).