

ĐIỀU KHIỂN BÁN CHỦ ĐỘNG HỆ CÀN MA SÁT BIẾN THIÊN VÀ HỆ CÀN CÓ ĐỘ CỨNG THAY ĐỔI KẾT HỢP

Chu Quốc Thắng⁽¹⁾, Phạm Nhân Hòa⁽²⁾, Trần Văn Bền⁽³⁾

(1) Trường Đại học Quốc tế, ĐHQG-HCM, (2) Trường Đại học Kỹ thuật công nghệ Tp.HCM

(3) Công ty Cổ phần, Đầu tư và Xây dựng COTEC

(Bài nhận ngày 22 tháng 06 năm 2009, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 01 tháng 11 năm 2010)

TÓM TẮT: Bài báo đưa ra hai thuật toán điều khiển chủ động: thuật toán *Instantaneous Control with Displacement and Velocity Feedback (ICDVF)* và thuật toán *Instantaneous Control with Velocity and Acceleration Feedback (ICVAF)* để điều khiển hệ càn ma sát biến thiên và hệ càn có độ cứng thay đổi kết hợp (*VSFDS - Controlled Stiffness and Variable Friction Damper System*). Các tính toán khảo sát số trong bài báo được thực hiện nhằm so sánh hiệu quả giảm chấn giữa hai thuật toán điều khiển này cũng như vai trò chính – phụ của từng hệ càn trong sự kết hợp này.

Từ khóa: thuật toán *ICDVF* và thuật toán *ICVAF*, điều khiển hệ càn ma sát biến thiên, hệ càn có độ cứng thay đổi kết hợp.

1. GIỚI THIỆU

Các loại hệ càn khác nhau và tính hiệu quả giảm đáp ứng của chúng đã được giới thiệu và trình bày trong các bài báo trước đây như: hệ càn ma sát trong điều khiển bị động (FD) [1], hệ càn ma sát biến thiên trong khiển bán chủ động (VFD) [2][3], hệ càn có độ cứng thay đổi (CSD) hay cả hệ càn ma sát và hệ càn có độ cứng thay đổi kết hợp được điều khiển bị động (FD+CSD) [4]. Giữa hai loại hệ càn ma sát và CSD đều có chung những điểm tương đồng như: cùng mô hình tính khi chúng được điều khiển bị động [1], cùng thuật toán điều khiển *ICDVF* khi chúng được điều khiển bán chủ động. Hơn nữa, khi hai hệ này kết hợp và được điều khiển bị động thì hiệu quả giảm đáp ứng cũng có những thay đổi rất đặc trưng (như hiệu quả giảm đáp ứng đối với tải trọng xung hay

với các băng gia tốc nền dạng xung (Northdrige) tốt hơn rất nhiều so với khi ta sử dụng từng loại hệ càn, nhưng đối với tải trọng hay với các băng gia tốc nền dạng điều hòa thì hiệu quả giảm đáp ứng lại kém đi so với khi ta sử dụng từng loại hệ càn). Vì vậy, việc nghiên cứu hệ càn hệ càn ma sát biến thiên và hệ càn có độ cứng thay đổi kết hợp được điều khiển bán chủ động (*VSFDS*) là cần thiết và rất khả thi để ta có cái nhìn tổng quan về hai hệ càn này.

2. MÔ HÌNH, THUẬT TOÁN VÀ LỰC ĐIỀU KHIỂN *VSFDS*

2.1. Mô hình và thuật toán

Xét kết cấu nhiều tầng được trang bị hệ càn *VSFDS* như **Error! Reference source not found.**, trong đó:

Các ký hiệu: m_i, k_i và $x_i(t)$ lần lượt là khối lượng, độ cứng và chuyển vị so với đất nền của tầng thứ i ; $C_{M,i}$ là độ cứng lò xo chính của hệ cần CSD.

• Các tín hiệu từ bộ cảm biến (sensor) và thiết bị đo lực (load cell) đều được thu nhận và truyền về bộ điều khiển (controller). Từ bộ điều khiển, tín hiệu được truyền đến VFD và CSD để thay đổi $N(t)$ (lực kẹp biến thiên, xem [2]) và $x_{ctr}(t)$ (thanh điều khiển activating bar), tức là thay đổi lực điều khiển u_i . Quan hệ làm việc các đại lượng này được cho trong

Hình 2, trong đó, $\hat{u}(t)$ và \hat{F} là lực điều khiển và thuật toán điều khiển chủ động.

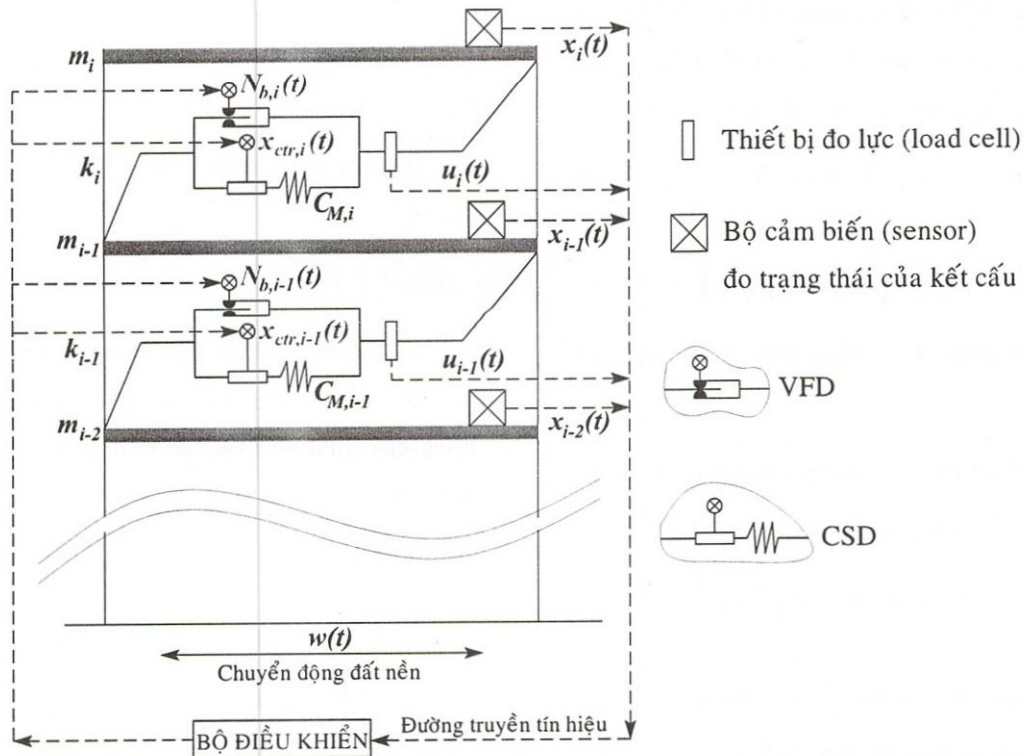
$$\hat{u}(t) = \hat{F}.y(t) \quad (1)$$

với: $y(t)$ là vector chứa dữ liệu về trạng thái của kết cấu mà bộ cảm biến đo được.

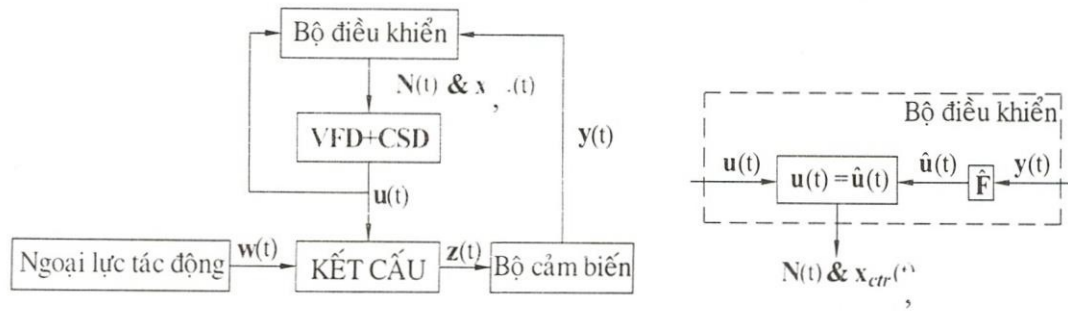
$$\text{Mà: } y(t) = C.z(t) \quad (2)$$

với: C là ma trận chỉ ra vị trí của các bộ cảm ứng, $z(t)$ là vector trạng thái của kết cấu ở thời điểm t . Do đó,

$$\hat{u}(t) = \hat{F}.y(t) = \hat{F}.C.z(t) \quad (3)$$



Hình 1. Mô hình và các thành phần của kết cấu sử dụng VSFDS



Hình 2. Sơ đồ làm việc của kết cấu sử dụng hệ cân VSFDS

Đối với thuật toán ICDVF, $\hat{\mathbf{F}}$ có dạng [5][6][7]:

$$\hat{\mathbf{F}} = \mathbf{B}_2^{-1} \left[\Phi_{2c} \cdot \text{diag}(\lambda_i)_c - \mathbf{A}_2 \cdot \Phi_c \right] \cdot (\mathbf{C} \cdot \Phi_c)^{-1} \quad (4)$$

trong đó: $\text{diag}(\lambda_i)_c$ và Φ_c là ma trận đường chéo chứa trị riêng và vector riêng, chữ “c” trong công thức để chỉ ra các đại lượng này là của điều khiển; $\mathbf{A}_2, \mathbf{B}_2$ và Φ_{2c} là phần dưới của ma trận \mathbf{A}, \mathbf{B} và Φ_c liên quan đến

$$\hat{\mathbf{F}} = \mathbf{B}_2^{-1} \left[\mathbf{I}_2 \cdot \Phi_c \cdot \text{diag}(\lambda_i)_c - \mathbf{A}_2 \cdot \Phi_c \right] \left[\mathbf{C} \cdot \Phi_c \cdot \text{diag}(\lambda_i)_c \right]^{-1} \quad (6)$$

trong đó: \mathbf{I}_2 là phần dưới của ma trận đơn vị \mathbf{I} .

Tham số $(\lambda_i)_c$ trong công thức (4) và (6) được chọn trước như sau [2]:

$$\lambda_{2i-1}^{(c)} = -\zeta_i \cdot \omega_i \pm j \cdot \omega_i \sqrt{1 - \zeta_i^2} \quad (7)$$

trong đó: ω_i và ζ_i lần lượt là tần số góc và tỉ số cản theo mục tiêu thiết kế

lực điều khiển; \mathbf{A}, \mathbf{B} là ma trận xác định đặc trưng của kết cấu bao gồm các ma trận khối lượng, ma trận cân và ma trận độ cứng của kết cấu trong mô hình không gian trạng thái:

$$\dot{\mathbf{z}}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{z}(t) + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}(t) + \mathbf{E} \cdot \mathbf{w}(t) \quad (5)$$

trong đó: $\mathbf{w}(t)$ là vector gia tốc nền của trận động đất; \mathbf{E} là ma trận phân bố lực điều khiển và gia tốc nền.

Đối với thuật toán ICVAF, $\hat{\mathbf{F}}$ có dạng [5][6][7]:

2.2. Lực điều khiển sinh ra trong VSFDS

Đối với VSFDS, lực điều khiển \mathbf{u} sinh ra trong quá trình làm việc được tính theo công thức sau:

$$u_i(t) = u_{i,VFD}(t) + u_{i,CSD}(t) \quad (8)$$

trong đó: $u_{i,VFD}(t)$ là lực ma sát biến thiên của VFD tại tầng thứ i^{th} . $u_{i,VFD}(t)$ có thể thay đổi được nhờ việc thay đổi lực kẹp $N_i(t)$ (xem [2]); $u_{i,CSD}(t)$ là lực đàn hồi của CSD tại tầng thứ i^{th} . $u_{i,CSD}(t)$ có thể

thay đổi được nhờ chuyển dịch của thanh activating bar $x_{i,ctr}$.

Chú ý rằng: do đặc điểm của CSD, khi nó làm việc, biến dạng của lò xo chính phải nằm trong miền đàn hồi nên $x_{i,ctr}(t)$ phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$x_{limit}^n \leq x_i(t) - x_{i-1}(t) + x_{i,ctr}(t) \leq x_{limit}^k \quad (9)$$

trong đó: $x_{limit,n}$ và $x_{limit,k}$ là giới hạn đàn hồi của lò xo khi nén và khi kéo.

Và do sự làm việc chung giữa hai hệ cân nên ta phải kiểm tra điều kiện:

Nếu $|u_i(t)| \geq |\hat{u}(t)|$ thì

$$u_i(t) = \hat{u}(t) \quad (10)$$

$$\mathbf{M}^s = \begin{bmatrix} 4.78 & 0 & 0 \\ 0 & 4.78 & 0 \\ 0 & 0 & 5.18 \end{bmatrix} \times 10^5 \text{ (kg)};$$

$$\mathbf{D}^s = \begin{bmatrix} 8.6979 & -2.8402 & 0 \\ -2.8402 & 4.3796 & -1.5394 \\ 0 & -1.5394 & 1.5394 \end{bmatrix} \times 10^5 \left(\frac{N \cdot s}{m} \right);$$

$$\mathbf{K}^s = \begin{bmatrix} 2786 & -1393 & 0 \\ -1393 & 2786 & -1393 \\ 0 & -1393 & 1393 \end{bmatrix} \times 10^5 \left(\frac{N}{m} \right).$$

• Đối với kết cấu được điều khiển bị động (trường hợp (B) (C) và (D)), trong FD lấy:

$$\mathbf{F}_{max} = [47; 47; 51] \text{ kN (như [1]) và trong CSD lấy: } C_M = 2 \left(\frac{kN}{cm} \right)$$

• Đối với kết cấu sử dụng VSFDS được điều khiển theo thuật toán ICDVF (E), lấy

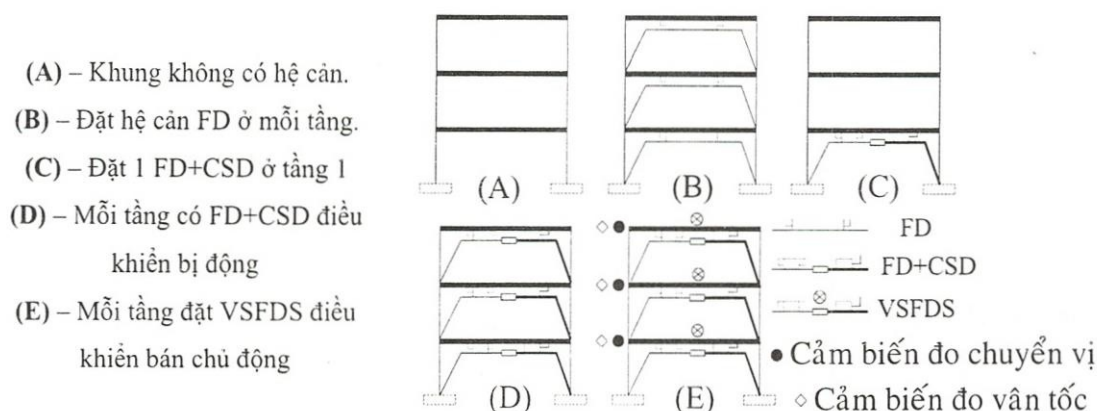
$$C_M = 15\% \times k_s; \zeta = 0.3; x_{limit}^{k,n} = \pm 7.5 \text{ (cm)} \text{ (như [4]).}$$

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ KHẢO SÁT SỐ

3.1. So sánh hiệu quả giảm chấn của FD, FD+CSD và VSFDS

Để có thể đánh giá hiệu quả giảm chấn của các hệ cân FD, FD+CSD và VSFDS, các tính toán khảo sát được thực hiện trên sơ đồ một khung 3 tầng (như [1][2] và [4]) chịu tải trọng động đất Northridge (với $PGA = 0.8430g$) cho 5 phương án sử dụng, kết hợp và thuật toán điều khiển các hệ cân FD, CSD khác nhau. Cụ thể như Hình 3.

Ma trận khối lượng, ma trận cản và ma trận độ cứng (theo [1][2] và [4]):



Hình 3. Các dạng khác nhau của kết cấu được trang bị FD+CSD và VSFDS

Nhận xét:

– Với tải trọng động đất Northridge (tải dạng xung), hệ cân FD+CSD cho hiệu quả giảm chấn tốt hơn nhiều so với khi không điều khiển và khi chỉ sử dụng hệ cân FD (Hình 4, Hình 5, Hình 6).

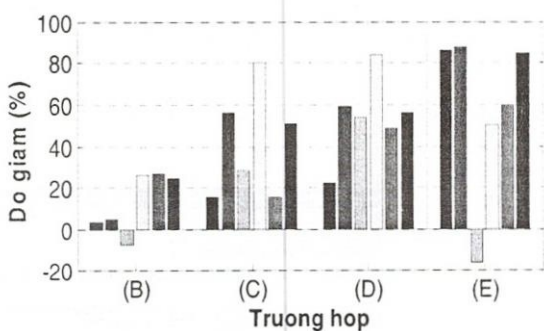
– Với hệ cân kết hợp được điều khiển bị động (FD+CSD) thì FD đóng vai trò chủ đạo [4], CSD chỉ là “thiết bị” hỗ trợ cho FD nên độ

cứng lò xo chính (C_M) trong CSD là nhỏ. Nhưng đối với hệ cân kết hợp được điều khiển bán chủ động (VSFDS) với thuật toán ICVDF thì CSD là chủ đạo, còn VFD là phụ trợ nên C_M trong CSD phải đủ lớn. Do C_M trong trường hợp (E) chọn chưa đủ lớn nên hiệu quả giảm chấn của trường hợp (E) cũng không lớn hơn trường hợp (D) nhiều (Hình 5, Hình 6).

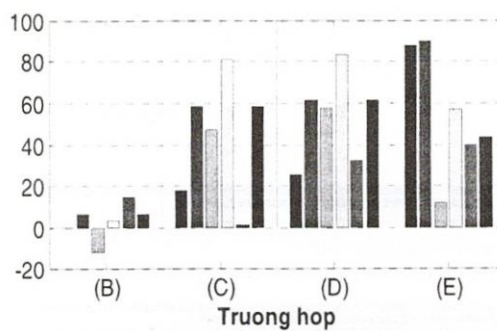
Bảng 1. Tổng hợp số liệu đáp ứng của kết cấu 3 tầng dưới tải động đất Northridge

TH	Hệ cân	x_{max} (cm)			\ddot{x}_{max} (cm/s ²)			SF_{max} (kN)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
(A)	–	10.88	18.92	25.74	1002.1	1336.4	2130.6	7603	5676	9704
(B)	3 FD [1]	10.52	18.97	24.64	1081.4	1494.5	2071.1	5567	4818	7997
(C)	1 FD+CSD [4]	9.20	15.53	18.43	720.8	703.0	798.5	6428	5608	5040
(D)	3 FD+CSD [4]	8.46	14.12	17.02	463.5	564.0	640.4	3894	3849	4157
(E)	3 VSFDS	1.51	2.40	3.62	1168.3	1178.0	830.6	3052	3413	3317

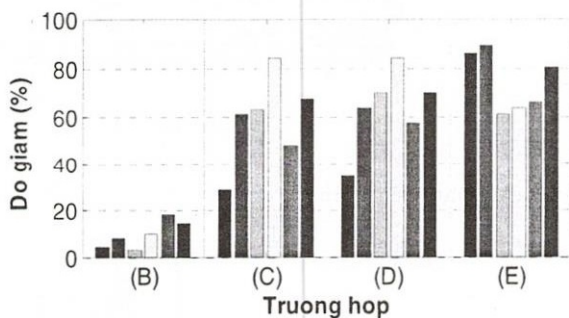
TH	Hệ cản	x_{ave} (cm)			\ddot{x}_{ave} (cm/s ²)			SF _{ave} (kN)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
(A)	–	1.25	2.26	2.88	105.2	133.8	178.7	527	617	861
(B)	3 FD [1]	1.19	2.11	2.65	77.83	128.8	161.7	399	575	739
(C)	1 FD+CSD [4]	0.55	0.94	1.12	20.6	26.0	29.0	259	256	281
(D)	3 FD+CSD [4]	0.51	0.87	1.05	17.3	23.0	28.4	231	240	262
(E)	3 VSFDS	0.15	0.23	0.32	52.3	58.2	65.0	83	349	169



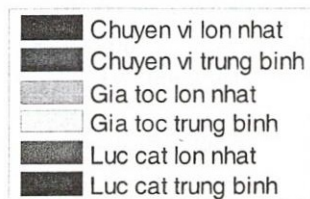
Hình 4. Độ giảm đáp ứng tầng 1



Hình 5. Độ giảm đáp ứng tầng 2



Hình 6. Độ giảm đáp ứng tầng 3



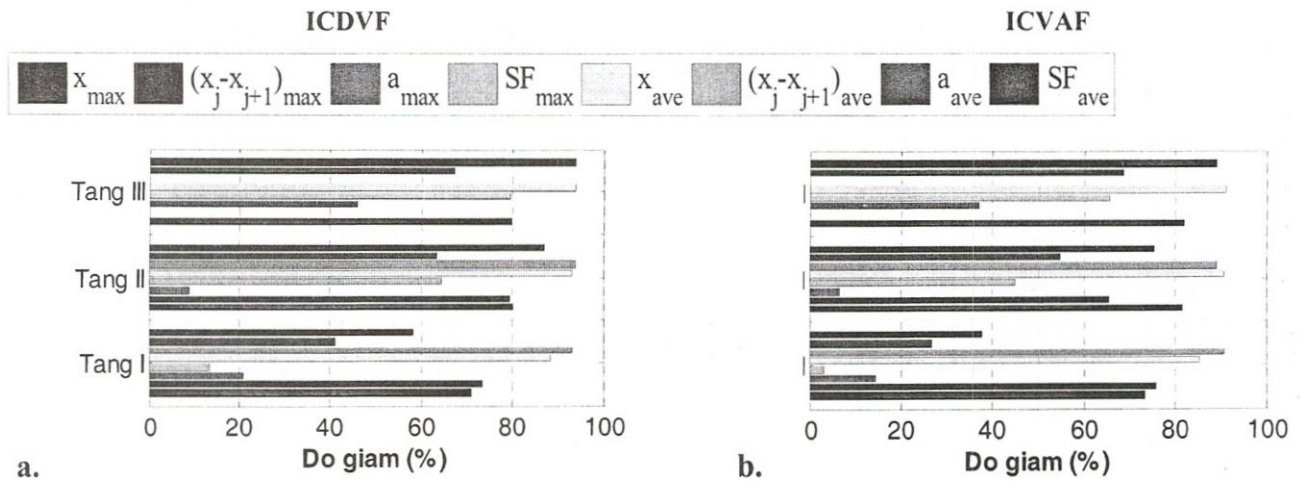
3.2. Phân tích hiệu quả giảm chấn của 2 thuật toán điều khiển ICDVF và ICVAF:

Để so sánh hiệu quả giảm chấn của 2 thuật toán điều khiển ICDVF và ICVAF ta sử dụng tải trọng động đất ElCentro (với $PGA = 0.3484g$).

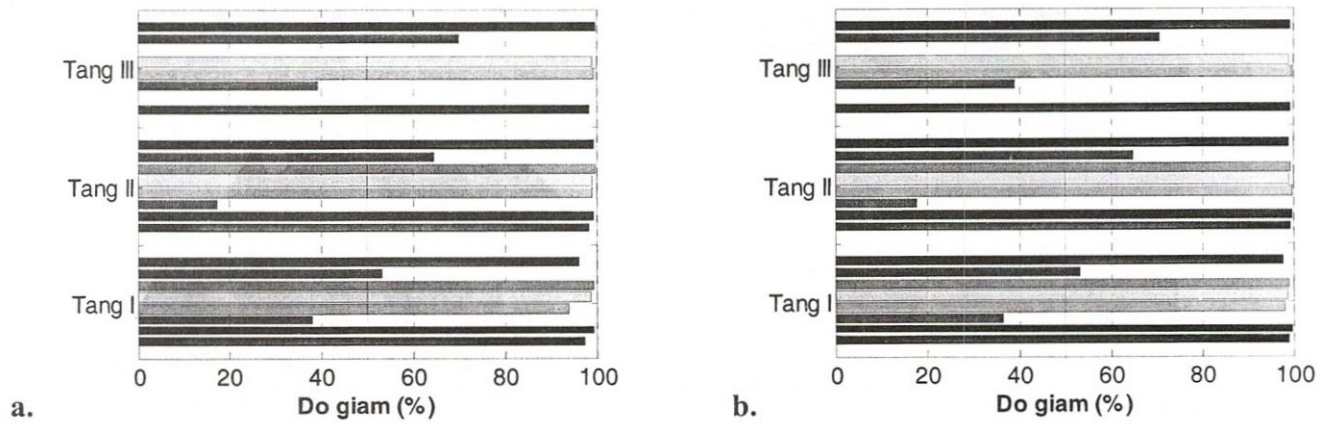
• Đối với kết cấu sử dụng 3 VSFDS được điều khiển theo thuật toán ICDVF và ICVAF,

$$\text{lấy: } C_M = 2\% \times k_s ; x_{\text{limit}}^{k,n} = \pm 7.5(\text{cm}) ;$$

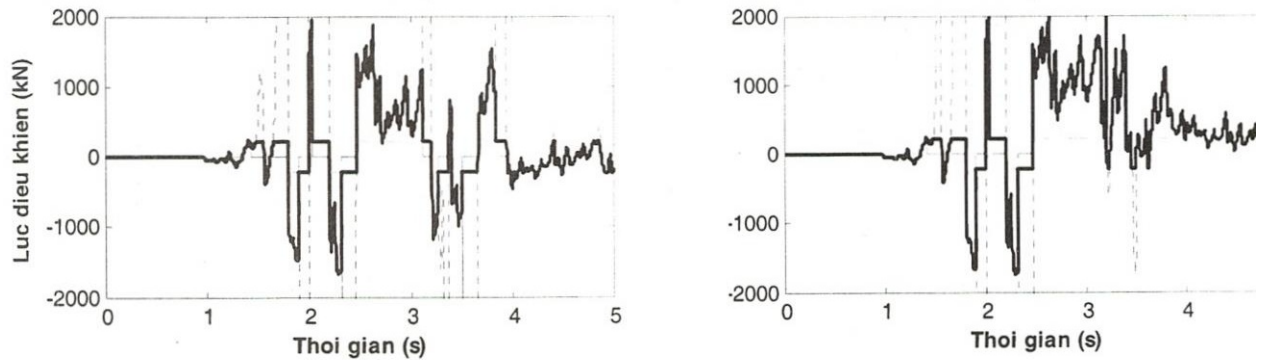
$$\xi = 0.3$$



Hình 7. Hiệu quả giảm đáp ứng của kết cấu khi được điều khiển bán chủ động (SA)



Hình 8. Hiệu quả giảm đáp ứng của kết cấu khi được điều khiển chủ động (AC)



Hình 9. Lực điều khiển tại tầng 1 của VSFDS

Để đánh giá tỉ lệ “đóng góp” của lực ma sát trong VFD và lực trong CSD của 2 thiết bị

vào việc điều khiển bán chủ động, ta dùng đại lượng *xung lượng* được định nghĩa như sau:

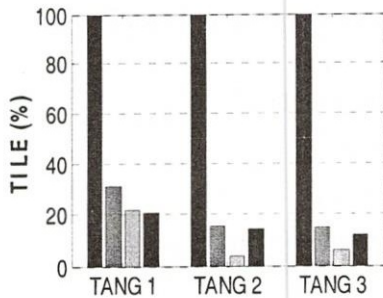
$$S = \int_0^{t_f} |u| dt \quad (11)$$

trong đó: u là lực điều khiển được sinh ra bởi thiết bị; t_f là tổng thời gian phân tích; đơn vị của xung lượng là $N.s$

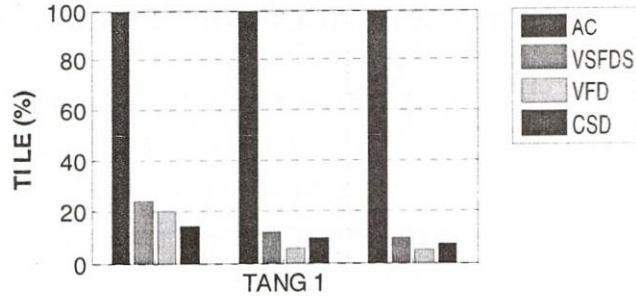
Bảng 2. Xung lượng của các lực trong VSFDS

	Tầng	Thuật toán ICDVF				Thuật toán ICVAF			
		\hat{u}	u_{VSFDS}	u_{VFD}	u_{CSD}	\hat{u}	u_{VSFDS}	u_{VFD}	u_{CSD}
Xung lượng: $S (\times 10^6 N.s)$	1 st	11.716	3.694	2.597	2.460	18.022	4.419	3.640	2.544
	2 nd	17.357	2.694	0.612	2.462	26.038	3.063	1.487	2.462
	3 rd	20.681	3.097	1.216	2.540	33.842	3.306	1.667	2.556
Tỉ lệ: (%)	1 st	100	31.53	22.17	20.99	100	24.52	20.20	14.11
	2 nd	100	15.52	3.52	14.18	100	11.76	5.71	9.46
	3 rd	100	14.98	5.88	12.28	100	9.77	4.92	7.55
	Tb		20.68	10.52	15.82		15.35	10.28	10.37

Tỉ lệ xung lượng các thiết bị tham gia vào việc điều khiển kết cấu



Hình 10. Thuật toán ICDVF



Hình 11. Thuật toán ICVAF

Nhận xét:

– Với độ cứng của lò xo chính chỉ bằng 2% độ cứng tầng thì hiệu quả giảm đáp ứng (Hình 7) khi được điều khiển bán chủ động là chấp nhận được.

– Mặc dù xung lượng của lực VSFDS trong điều khiển bán chủ động chỉ bằng 20.7% đối với ICDVF và 15.4% đối với ICVAF (xem Bảng 2) nhưng hiệu quả giảm đáp ứng của VSFDS là gần bằng như trong điều khiển chủ động (Hình 7 và Hình 8).

– Mặc dù cả hai thuật toán (ICDVF và ICVAF) khi được điều khiển hoàn toàn bằng phương pháp chủ động thì cho kết quả giảm đáp ứng gần giống nhau nhưng khi VSFDS được điều khiển bán chủ động bằng hai thuật toán này thì cho kết quả khác nhau (khác nhau cả về lực điều khiển (Hình 9) và hiệu quả giảm đáp ứng (Hình 7) nhưng nhìn chung thì độ sai biệt không nhiều.

4. KẾT LUẬN

– Bài báo đã đưa ra mô hình, hai thuật toán (thuật toán ICDVF và ICVAF) và sự kết hợp với nhau của hai hệ cản VFD và CSD để sinh ra được lực điều khiển bán chủ động lớn hơn của hệ cản kết hợp.

– Hiệu quả giảm đáp ứng của 2 thuật toán với hệ cản VSFDS là gần bằng nhau. Vì vậy, tùy vào loại cảm biến đo trạng thái kết cấu

(sensor) mà ta có thể lựa chọn thuật toán cho phù hợp.

– Phần ví dụ tính toán số cũng chỉ ra rằng: với hệ cản kết hợp được điều khiển bị động (FD+CSD) thì FD đóng vai trò điều khiển chính, CSD chỉ là hệ cản hỗ trợ cho FD nên ta chỉ cần độ cứng lò xo chính (C_M) trong CSD là nhỏ. Nhưng đối với hệ cản kết hợp được điều khiển bán chủ động (VSFDS) với hai thuật toán ICDVF và ICVAF, với phần tính toán xung lượng của lực điều khiển trong từng hệ cản thì CSD là chủ đạo, còn VFD là phụ trợ nên C_M trong CSD phải đủ lớn.

SEMI-ACTIVE PREDICTIVE CONTROL OF STRUCTURES WITH CONTROLLED STIFFNESS DEVICES AND VARIABLE FRICTION DAMPER SYSTEM

Chu Quoc Thang⁽¹⁾, Pham Nhan Hoa⁽²⁾, Tran Van Ben⁽³⁾

(1)International University, VNU- HCM

(2)The Ho Chi Minh University of Technology,

(3)The COTEC Investment and Construction Joint Stock Company

ABSTRACT: *In this paper we introduce two active control algorithms (Instantaneous Control with Displacement and Velocity Feedback (ICDVF) and Instantaneous Control with Velocity and Acceleration Feedback (ICAVF)) to control the structures equipped Controlled Stiffness Devices and Variable Friction Damper System. The numerical examples aim to evaluate the effect structure's response reductions between the two algorithms as well as the principal and accessory role.*

Keywords: *ICDVF, ICAVF, Controlled Stiffness Devices, Variable Friction Damper System.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1].Phạm Nhân Hòa, Chu Quốc Thắng, Đánh giá hiệu quả giảm chấn của hệ cản ma sát điều khiển bị động với công trình chịu tải trọng động đất, *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, Đại học quốc gia Tp. Hồ Chí Minh*, Vol 11, No.05(2008) 78-90.
- [2].Phạm Nhân Hòa, Chu Quốc Thắng, Đánh giá hiệu quả của hệ cản ma sát biến thiên với công trình chịu tải trọng động đất, *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, Đại học quốc gia Tp. Hồ Chí Minh*, Vol 11, No.12(2008) 112-120.
- [3].Phạm Nhân Hòa, Chu Quốc Thắng, Các phương án sử dụng hệ cản ma sát biến thiên trong kết cấu 9 tầng, *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, Đại học quốc gia Tp. Hồ Chí Minh*, Vol 11, No.09(2008) 110-118.
- [4].Nhan Hoa Pham, Quoc Thang Chu, Passive Combined Control of Non-Linear Structures with Friction Dissipators and Controlled Stiffness Devices Combined, *The International Conference on Computational Solid Mechanics, November, 27 –30, 2008, Hochiminh City, Vietnam.*
- [5].Lyan-Ywan Lu, *Predictive control of seismic structures with semi-active friction dampers*, *Earthquake Engng Struct. Dyn.* 2004; 33:647–668.
- [6].Lyan-Ywan Lu, *Seismic test of modal control with direct output feedback for building structures*, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol 12, No. 6 (2001) 633-656.
- [7].Lyan-Ywan Lu, *Semi-active modal control for seismic structures with variable friction dampers*, *Engineering Structures* 26 (2004) 437–454.