

# ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP HIBER-HUGHES-TAYLOR- $\alpha$ PHÂN TÍCH KẾT CẤU THÁP ĐIỀU ÁP CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG

Nguyễn Quang Hùng

Trường Đại học Thủy lợi

**Tóm tắt:** Tháp điều áp là một trong những hạng mục quan trọng trong hệ thống nhà máy thủy điện và nhất là đối với công trình thủy điện nhỏ chủ yếu dùng hình thức khai thác kiểu đường dẫn. Kết cấu tháp điều áp đặt ngầm và có mực nước trong tháp thường xuyên thay đổi nhằm đảm bảo điều kiện hoạt động ổn định của tuyến áp lực nên điều kiện chịu lực tương đối phức tạp. Nội dung nghiên cứu chủ yếu của bài báo này ứng dụng phương pháp HHT- $\alpha$  tiến hành nghiên cứu tác động của dao động mực nước tới tháp điều áp. Thông qua đó xác định trường ứng suất trong kết cấu tháp điều áp thay đổi theo thời gian ứng với diễn biến mực nước thay đổi trong tháp theo điều kiện thực tế nhằm có những ứng xử về công trình thích hợp đảm bảo điều kiện kinh tế kỹ thuật.

**Từ khóa:** Tháp điều áp, Chu kỳ, Ứng suất, Phần tử hữu hạn, HHT- $\alpha$

**Summary:** Pressurized tower is one of the important items in the hydropower plant system and especially for small hydropower projects, mainly using the type of path exploitation. The structure of the imposing control tower and the water level in the tower is constantly changing to ensure stable operating conditions of the pressure line, so the bearing conditions are relatively complicated. The main research contents of this paper apply HHT- $\alpha$  method to study the impact of water level fluctuation on the pressure regulator tower. Thereby determining the stress field in the structure of the pressurized tower structure changes over time in response to changes in the water level in the tower according to the actual conditions in order to have appropriate construction behavior to ensure economic conditions and Technology.

**Keywords:** Pressure regulator, Cycle, Stress, Finite element, HHT- $\alpha$

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

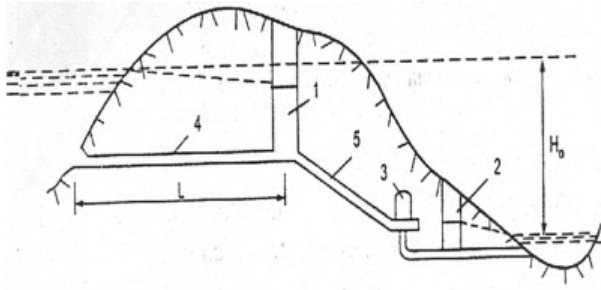
Việt Nam là một quốc gia có tiềm năng thủy điện khá lớn, tập trung ở vùng Tây Bắc, miền Trung và Tây Nguyên. Việc khai thác nguồn tài nguyên thiên nhiên quý giá này sẽ góp phần đảm bảo an ninh, an toàn năng lượng quốc gia, nhất là trong bối cảnh các nguồn năng lượng hóa thạch, năng lượng không tái tạo ngày càng suy giảm, cạn kiệt, qua đó cũng góp phần chuyển dịch cơ cấu kinh tế theo hướng tăng tỷ trọng công nghiệp của tỉnh trong khu vực này

[1]. Các hình thức khai thác thủy năng có thể được kể đến như: Xây dựng đập tạo cột nước, tập trung cột nước bằng đường dẫn và xây dựng đập kết hợp đường dẫn. Đối với loại hình tập trung cột nước bằng đường dẫn: cột nước chủ yếu do đường dẫn tạo nên. Với loại hình này trên tuyến áp lực phải bố trí tháp điều áp nhằm điều hòa áp lực nhằm giảm áp lực nước va khi tăng, giảm phụ tải. Hạng mục công trình này giúp cho tua bin làm việc ổn định, an toàn Sơ đồ bố trí điển hình được thể hiện trên hình 1 và quá trình dao động của mực nước trong tháp được thể hiện trên hình 2.

Ngày nhận bài: 03/4/2019

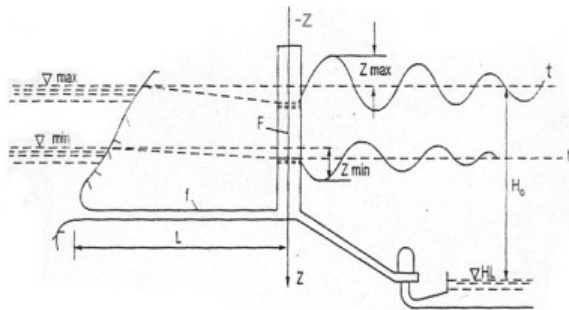
Ngày thông qua phản biện: 22/4/2019

Ngày duyệt đăng: 26/4/2019



Hình 1. Sơ đồ đặt tháp điều áp

1- Tháp điều áp phía thượng lưu; 2- Tháp điều áp phía hạ lưu; 3- Nhà máy thủy điện; 4- Đường hầm dẫn nước; 5- Đường ống áp lực dẫn nước vào turbin



Hình 2. Sơ đồ dao động mực nước trong tháp điều áp

Hình 2 thể hiện quá trình giảm tải đột ngột turbin từ  $Q_0$  xuống  $Q_1$ . Do quán tính của dòng chảy, lưu lượng vào đường hầm dẫn nước vẫn là  $Q_0$ , như vậy sẽ có một trị số lưu lượng  $\Delta Q = Q_0 - Q_1$  chảy vào tháp, làm cho mực nước trong tháp dâng lên dần, từ đó độ chênh lệch mực nước giữa thượng lưu (trong hồ chứa) và trong tháp giảm dần, dẫn đến vận tốc dòng chảy giảm dần, do đó lưu lượng trong đường hầm giảm dần. Nhưng cũng do quán tính của dòng chảy, mực nước trong tháp không dừng ở mực nước tương ứng với lưu lượng  $Q_1$  trong đường hầm mà vẫn tiếp tục dâng lên thậm chí cao hơn cả mực nước thượng lưu. Sau đó, để cân bằng thủy lực nước phải chảy ngược trở lại về thượng lưu, mực nước trong tháp hạ xuống. Nhưng cũng do lực quán tính nó lại hạ

xuống quá mức nước cân bằng và dòng chảy lại chảy vào tháp. Cứ như vậy, mực nước trong tháp dao động theo chu kỳ và tắt dần do ma sát. Cuối cùng mực nước trong tháp dừng ở mực nước ổn định mới ứng với lưu lượng  $Q_1$ . Chính sự dao động này dẫn tới phát sinh tải trọng động tác động lên kết cấu tháp điều áp.[2,3,4]

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Phương trình động lực cơ bản

Phương trình cơ bản của bài toán phân tử hữu hạn dưới tác dụng của tải trọng động [5] viết dưới dạng:

$$[M_d]\{\Delta\ddot{u}_d\}_n + [C_d]\{\Delta\dot{u}_d\}_n + [K_d]\{\Delta u_d\}_n = -\{\Delta P\}_n + \{\Delta F\}_n \quad (1)$$

Trong đó:

$[M]$  and  $[K]$  lần lượt là ma trận khối lượng và ma trận cứng phân tử;  $[C]$  là ma trận cản Rayleigh là hàm số tuyến tính của ma trận khối lượng  $[M]$  và ma trận cứng  $[K]$ ,  $\{\Delta P\}$  là véc tơ gia tăng nội lực,  $\{\Delta F\}$  là véc tơ gia tăng ngoại lực,  $\{\Delta u\}$  là véc tơ gia tăng chuyển vị are the incremental displacement vectors; Chỉ số  $n$  biểu thị bước thời gian. Phương pháp Newmark  $\beta$  sử dụng khai triển Taylor thu được [6]:

$$\begin{aligned} \{\Delta\ddot{u}\}_n &= \frac{1}{\beta\Delta t^2} \{\Delta u\}_n - \frac{1}{\beta\Delta t} \{\dot{u}\}_n - \frac{1}{2\beta} \{\ddot{u}\}_n \\ \{\Delta\dot{u}\}_n &= \frac{\delta}{\beta\Delta t} \{\Delta u\}_n - \frac{\delta}{\beta} \{\dot{u}\}_n - \frac{\delta-2\beta}{2\beta} \{\ddot{u}\}_n \Delta t \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó:

$\Delta t$  là số gia thời gian, và  $\beta$  là các tham số của phương pháp. Phương trình (1) có thể được giải bằng phương pháp Newmark, phương trình (1) được viết lại thành

$$\left[ \frac{1}{\beta \Delta t} [M_d] + \frac{\delta}{\beta \Delta t} [C_d] + [K_d] \right] \{\Delta u\}_n = [D_f] \{\Delta F\}_n + \left[ \frac{1}{2\beta} [M_d] + \frac{\delta - 2\beta}{2\beta} [C_d] \Delta t \right] \{\ddot{u}\}_n + \left[ \frac{1}{\beta \Delta t} [M_d] + \frac{\delta}{\beta} [C_d] \right] \{\dot{u}\}_n \quad (3)$$

Trong đó:

$\Delta t$  là số gia thời gian,  $\delta$  và  $\beta$  là các tham số của phương pháp và chỉ số  $t$  biểu thị một bước thời gian.

### 2.2. Phương pháp giải.

Khi giải phương trình động lực (1), thường dùng phương pháp Newmark- $\beta$  với khai triển Taylor được quy định bởi công thức (2). Tuy nhiên khi giải phương trình (3) phương pháp này vẫn còn hạn chế do không thể đồng thời đạt được cả độ chính xác về thành phần cao tần của tổn hao năng lượng và độ chính xác của nghiệm giải phương trình. Hilber và đồng nghiệp (1977) đã đưa ra phương pháp Hilber-Hughes-Taylor- $\alpha$  [7,8] để giải quyết vấn đề này. Phương pháp này dùng 3 tham số  $\alpha$ ,  $\beta$ ,

$\gamma$ , với điều kiện  $-\frac{1}{3} \leq \alpha \leq 0, \gamma = \frac{1}{2}(1 - 2\alpha)$ ,

$\beta = \frac{1}{4}(1 - \alpha)^2$ , đối với bài toán tuyến tính,

không những ổn định vô điều kiện mà đối với thành phần cao tần của lực cản còn đạt được độ chính xác bậc 2, đối với thành phần thấp tần thì những hiện tượng dị thường đang đời ít hơn so với các phương pháp khác.

Dựa vào phương pháp Hilber-Hughes-Taylor- $\alpha$  (HHT- $\alpha$ ), phương trình (1) được biến đổi thành:

$$[M] \{u\}_{n+1} + (1 - \alpha)[C] \{\dot{u}\}_{n+1} - \alpha[C] \{\dot{u}\}_n + (1 + \alpha)[K_p] \{\ddot{u}\}_{n+1} - \alpha[K_p] \{\ddot{u}\}_n + (1 + \alpha)\{P\}_{n+1} - \alpha\{P\}_n = (1 + \alpha)\{F\}_{n+1} - \alpha\{F\}_n \quad (4)$$

Đối với mỗi bước thời gian đều tiến hành tính toán theo các bước dưới đây để tìm ra được số

gia gia tốc  $\{\Delta \ddot{u}\}_{i+1}$ . Từ đó có thể tiến hành tính toán được số gia chuyển vị, biến dạng, ứng suất cũng như áp lực lỗ rỗng tại bước thời gian tính toán:

$$[M]_{\text{ieff}} \{\Delta \ddot{u}\}_{i+1} = \psi(i) \quad (5)$$

Trong đó  $i$  là bước tính lặp thứ  $i$  trong bước tính toán  $n$ .

$$\psi^{(i)} = (1 + \alpha)\{F\}_{n+1} - \alpha\{F\}_n - [M] \{\ddot{u}\}_{n+1}^{(i)} - (1 - \alpha)[C] \{\dot{u}\}_{n+1}^{(i)} - (1 + \alpha)[K_p] \{\ddot{u}\}_{n+1}^{(i)} + \alpha[K_p] \{\ddot{u}\}_n - (1 + \alpha)\{P\}_{n+1}^{(i)} + \alpha\{P\}_n \quad (6)$$

$$[M]_{\text{eff}}^{(i)} = [M] + (1 + \alpha)\gamma \Delta t [C] + (1 + \alpha)\beta \Delta t^2 [K_p] + (1 + \alpha)\beta \Delta t^2 [K_T]^{(i)} \quad (7)$$

Trong đó:

$[K_T]$  Ma trận tiếp tuyến cứng tổng thể.

Từ phương trình (5) giải ra được số gia gia tốc  $\{\Delta a\}_{i+1}$ . Tiến hành điều chỉnh lại chuyển vị, vận tốc và gia tốc tại bước lặp tiếp theo:

$$\begin{aligned} \{\ddot{u}\}_{n+1}^{i+1} &= \{\ddot{u}\}_{n+1}^{(i)} + \Delta \{\ddot{u}\}^{(i+1)} \\ \{\dot{u}\}_{n+1}^{i+1} &= \{\dot{u}\}_{n+1} + \gamma \{\ddot{u}\}^{(i+1)} \Delta t \\ \{u\}_{n+1}^{i+1} &= \{u\}_{n+1} + \beta \{\ddot{u}\}^{(i+1)} \Delta t^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Dùng kết quả  $\{\ddot{u}\}_{n+1}^{i+1}; \{\dot{u}\}_{n+1}^{i+1}; \{u\}_{n+1}^{i+1}$  tính toán được từ phương trình (8) thay vào phương trình (6) tính được giá trị  $\psi(i+1)$  tại bước tiếp theo:

$$\psi^{(i+1)} = (1 + \alpha)\{F\}_{n+1} - \alpha\{F\}_n - [M] \{a\}_{n+1}^{(i+1)} - (1 - \alpha)[C] \{\dot{u}\}_{n+1}^{(i+1)} - (1 + \alpha)[K_p] \{\ddot{u}\}_{n+1}^{(i+1)} + \alpha[K_p] \{\ddot{u}\}_n - (1 + \alpha)\{P\}_{n+1}^{(i+1)} + \alpha\{P\}_n \quad (9)$$

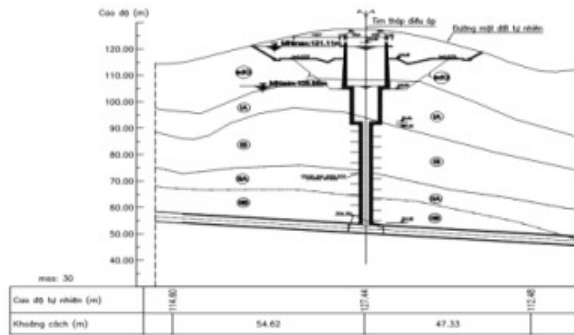
Điều kiện hội tụ:

$$\frac{\|\psi^{(i+1)}\|}{\|\psi^{(0)}\|} \leq \varepsilon_1, \frac{\|\Delta \{\ddot{u}\}^{(i+1)}\|}{\|\{\ddot{u}\}_{n+1}^{(i+1)}\|} \leq \varepsilon_2 \quad (10)$$

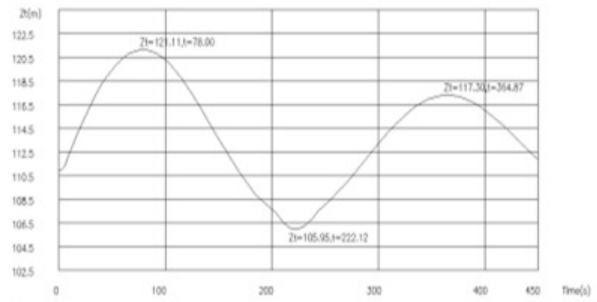
Tiến hành lặp từ phương trình (6)-(9) đến khi nào thỏa mãn điều kiện hội tụ (10) đồng nghĩa với việc giải xong bài toán tại bước thời gian  $n$ .

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

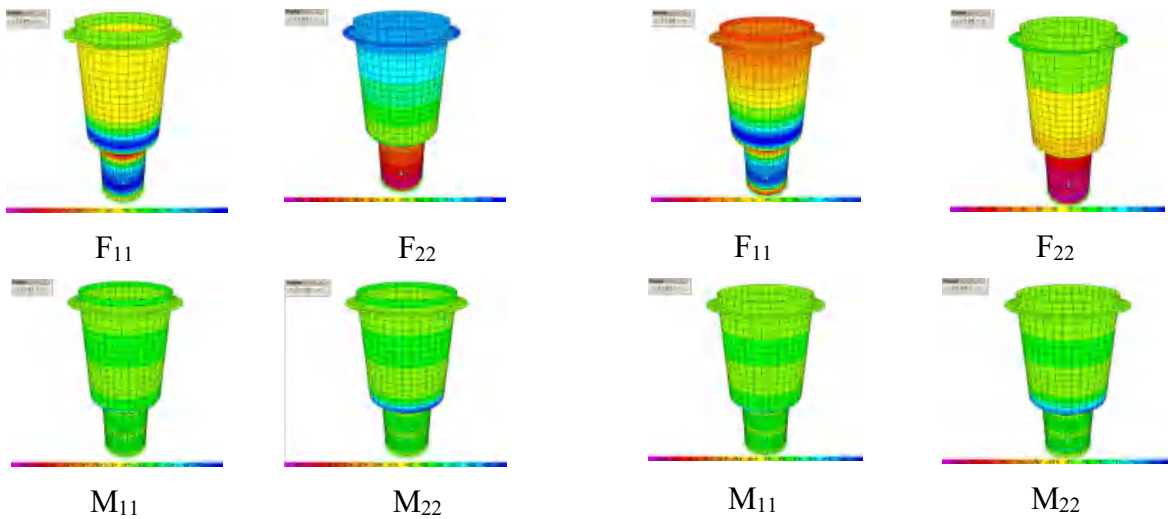
Nghiên cứu được tiến hành với một thập điều áp cụ thể có các đặc trưng như sau:



Hình 3. Cắt dọc tuyến áp lực



Hình 4. Diễn biến mực nước dao động trong tháp điều áp



Hình 5. Kết quả nội lực trường hợp mực nước min 105.95 m

Hình 6. Kết quả nội lực trường hợp mực nước min 121.11 m

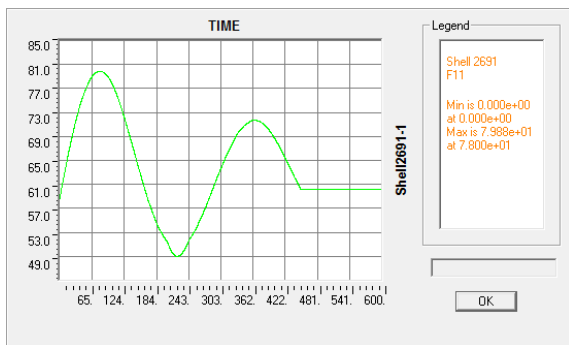
**Bảng 1: Kết quả nội lực tháp điều áp ứng với mực nước tĩnh**

Nội lực	MN=121.11		MN=105.95	
	Min	Max	Min	Max
F11(T/m)	-36.22	116.46	-48.48	42.25
F22(T/m)	-129.04	77.1	-93.0	14.53
M11(T.m/m)	-69.98	40.29	-48.59	34.37
M22 (T.m/m)	-72.47	40.29	-50.3	34.37
V13 (T/m)	-82.23	82.23	-56.53	56.53
V23 (T/m)	-82.23	82.23	-56.53	-56.53

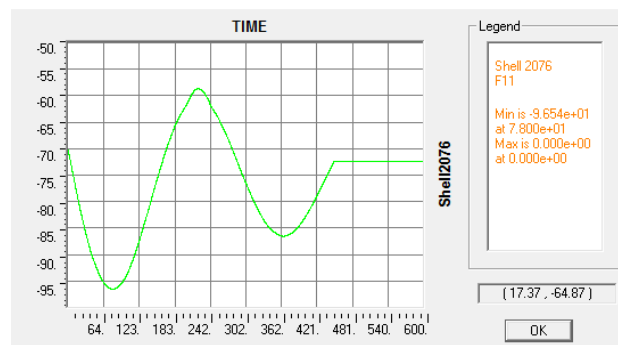
**Bảng 2: Bảng tổng hợp kết quả nội lực tháp điều áp khi mực nước dao động**

Giá trị /Vị trí	F11	F22	M11	M22
	T/m	T/m	T-m/m	T-m/m
Max value	79.88	26.61	63.61	63.62

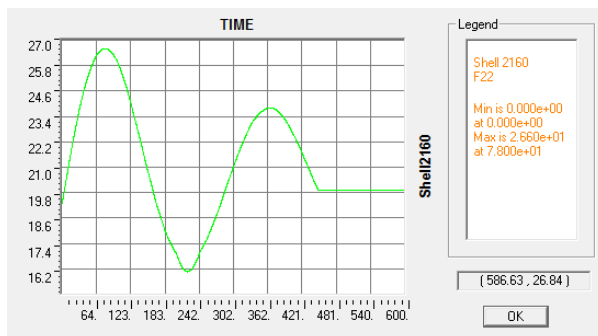
Giá trị /Vị trí	F11	F22	M11	M22
	T/m	T/m	T-m/m	T-m/m
Area /Joint	2691 /1297	2160 /3	2161 /5	2187 /765
Min value	-96.55	-121.31	-88.64	-91.81
Area /Joint	2076 /665	1615 /217	2160 /3	2082 /705
Giá trị /Vị trí	V13	V23	F12	M12
	T/m	T/m	T-m/m	T-m/m
Max value	101.72	103.08	37.05	32.03
Area /Joint	2142 /799	2152 /808	2156 /707	2183/757
Min value	-103.05	-101.71	-35.02	-32.39
Area /Joint	2160/32	2134/790	2147 /699	2192/773



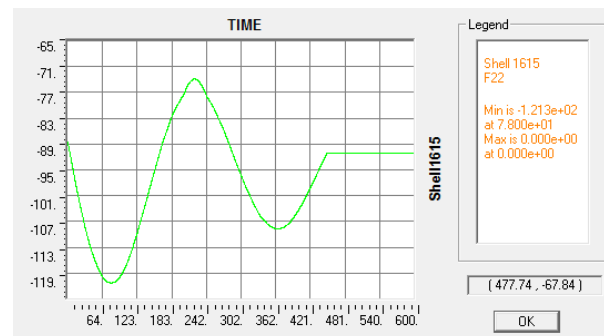
F<sub>11</sub> max thay đổi theo thời gian



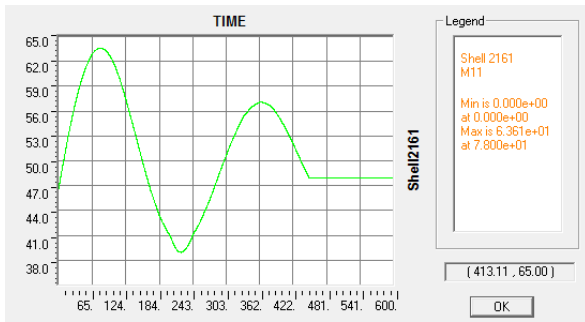
F<sub>11</sub> min thay đổi theo thời gian



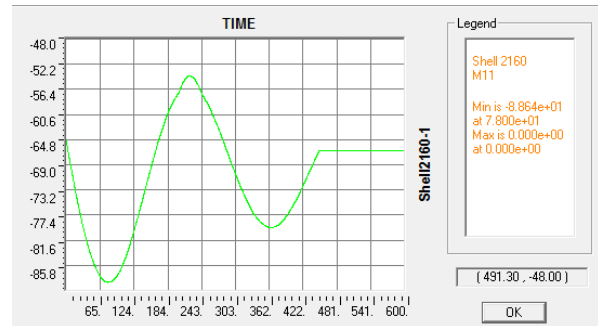
F<sub>22</sub> max thay đổi theo thời gian



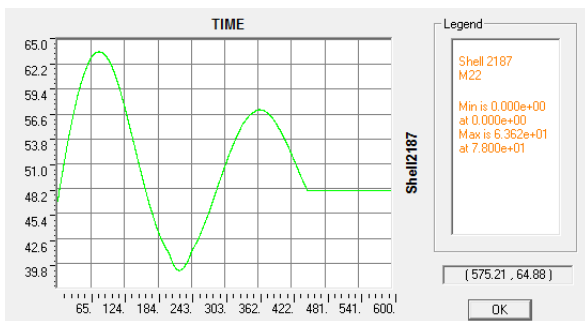
F<sub>22</sub> min thay đổi theo thời gian



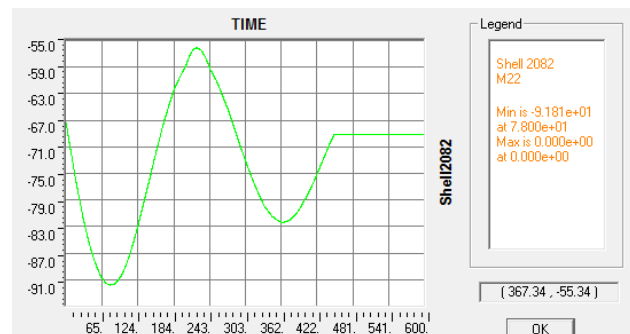
$M_{11}$  max thay đổi theo thời gian



$M_{11}$  min thay đổi theo thời gian



$M_{22}$  max thay đổi theo thời gian



$M_{22}$  min thay đổi theo thời gian

Hình 7. Thay đổi nội lực tháp điều áp theo thời gian

Qua phân tích kết quả tính toán các thành phần nội lực trong tháp điều áp nhận thấy rằng : các thành phần nội lực theo phương dọc trục tháp  $F_{11}$  và thành phần nội lực theo phương pháp tuyến  $F_{22}$  trong trường hợp mực nước dao động không xảy ra nguy hiểm so với trường hợp mực nước tĩnh. Do vậy nên nghiên cứu chỉ tập trung phân tích đánh giá sự thay đổi của các thành phần nội lực khác như bảng.

**Bảng 3: Chênh lệch nội lực khi xét đến dao động mực nước trong tháp điều áp**

K=Động/Tĩnh	Max value	Min value
$V_{13}$	1.24	1.25
$V_{23}$	1.25	1.24
$M_{11}$	1.58	1.27
$M_{22}$	1.57	1.27
$M_{12}$	1.49	1.51

#### 4. KẾT LUẬN

Thông qua việc ứng dụng phương pháp HHT- $\alpha$  phân tích ứng trạng thái ứng suất trong tháp điều áp khi chịu tải trọng động do mực nước trong tháp dao động đã nâng cao độ tin cậy của lời giải bài phân tích động phi tuyến, giảm thiểu sai số đối với các thành phần cao tần trong phương pháp giải bài toán dao động. Từ những kết quả phân tích về các giá trị cực trị ứng suất xuất hiện trong tháp điều áp chịu tác động của mực nước dao động đã có thể thấy rằng hệ số lệch tải đối với bài toán động trong nghiên cứu này nằm trong khoảng 1.2÷1.6. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy rõ diễn biến trạng thái ứng suất trong tháp theo thời gian trong quá trình vận hành góp phần minh chứng rõ ràng hơn nữa về ứng xử của tháp điều áp chịu tác động của tải trọng động.

Những kết quả nghiên cứu này có cũng là tiền đề để nghiên cứu điều chỉnh hệ số lệch tải đối

trong bài toán phân tích kết cấu tháp điều áp động mà cần đảm bảo yêu cầu về kỹ thuật nhằm giảm thiểu khối lượng tính toán bài toán trong bài toán thiết kế.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ công thương, tạp chí công nghiệp - vụ năng lượng, Thủy điện Việt Nam tiềm năng và triển vọng phát triển. Nhà xuất bản công thương 2010.
- [2] Nguyễn Duy Thiện, Thiết kế và thi công Trạm thủy điện nhỏ. NXB xây dựng 2010.
- [3] Hoàng Đình Dũng - Phạm Hồng Nhật - Vũ Hữu Hải - Nguyễn Thượng Bằng (1991), Trạm thủy điện - Các công trình trên tuyến năng lượng. NXB Giao thông vận tải.
- [4] PGS. TS. Hồ Sỹ Dự - PGS. TS. Nguyễn Duy Hạnh - TS. Huỳnh Tấn Lượng - PGS. TS. Phan Kỳ Nam Công trình trạm thủy điện, NXB Xây dựng 2009.
- [5] Thomas J. R. Hughes. The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987 edition.
- [6] Newmark, N. M. (1959) A method of computation for structural dynamics. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 85 (EM3) 67-94.
- [7] HILBER, H. M., HUGHES, T. J. R., AND TAYLOR, R. L. Improved numerical dissipation for time integration algorithms in structural dynamics. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 5 (1977), 283-292.
- [8] Erlicher, Silvano, Luca Bonaventura, and Oreste S. Bursi. "The analysis of the generalized- $\alpha$  method for non-linear dynamic problems." Computational Mechanics 28.2 (2002): 83-104.
- [9] CiVilax.SAP2000 Manual 2014