

# Nghiên cứu ảnh hưởng của sóng hài và quá điện áp quá độ do đóng cắt tụ bù trên lưới điện phân phối huyện Yên Sơn bằng EMTP

Harmonic and Transient Overvoltage Analysis Concerning Capacitor Banks Switching in Yen Son Distribution Grid by using EMTP

**Trần Thanh Sơn**

Trường Đại học Điện lực - Số 35, Hoàng Quốc Việt, Hà Nội

Đến Tòa soạn: 01-10-2016; chấp nhận đăng: 28-02-2017

## Tóm tắt

Bài báo này giới thiệu các kết quả mô phỏng sử dụng EMTP (Electromagnetic Transient Program) nhằm đánh giá hiệu ứng cộng hưởng sóng hài và quá điện áp quá độ khi đóng cắt tụ bù trên xuất tuyến 374E1.14 của lưới điện phân phối huyện Yên Sơn, tỉnh Tuyên Quang. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng hiện tượng cộng hưởng sóng hài xảy ra tại vị trí đặt tụ bù tại trạm biến áp Tân Bình khi trong lưới có dòng điện hài bậc 11 và tụ bù có dung lượng 150 kVAR. Kết quả mô phỏng cũng chỉ ra mức độ méo dạng điện áp TDH tại nút đặt tụ là 6,48%. Chính vì vậy, các dung lượng tụ gây ra cộng hưởng sóng hài tại các bậc hài được xác định và cảnh báo tránh sử dụng. Nghiên cứu quá độ chỉ ra rằng mức quá điện áp cực đại khi đóng cắt tụ bù đạt đến 1,94 pu. Kết quả mô phỏng đóng tụ qua điện trở phụ có trị số 1Ω cho thấy các biên độ quá điện áp và quá dòng điện đã được giảm đáng kể.

Từ khóa: Cộng hưởng sóng hài, Quá điện áp quá độ, Tụ bù, Chất lượng điện năng, EMTP.

## Abstract

This paper presents the simulation results by using EMTP (Electromagnetic Transient Program) to estimate the effect of harmonic resonance and transient overvoltage due to capacitors switching in the 374E1.14 feeder, Yen Son distribution network, Tuyen Quang province. The simulation results showed that harmonic resonance occurred at the capacitor banks location at Tan Binh substation since 11th harmonic current presented in this feeder and the capacitor size was 150kVAR. The harmonic voltage distortion factor THD obtained by the simulation was 6.48%. The capacitor sizes, in which harmonic resonance occurs, were then determined to avoid. Transient analysis showed that maximum overvoltage level due to capacitor banks switching achieved 1.94pu. Simulation using 1Ω pre-insertion resistors proved that the reduction of the magnitudes of the transients in the voltage and current waveforms is possible.

Keywords: Harmonic resonance, Transient overvoltage, Capacitor banks, Power quality, EMTP.

## 1. Đặt vấn đề

Tụ bù công suất phản kháng từ lâu đã được sử dụng rộng rãi trong các lưới điện phân phối, các lợi ích truyền thống trong việc sử dụng tụ bao gồm: cải thiện điện áp, cải thiện hệ số công suất và giảm tổn thất điện năng cho lưới điện [1-2]. Tuy nhiên, sự xuất hiện của các thiết bị điện tử và tự động hóa nhạy cảm với các nhiễu loạn quá độ khi đóng cắt tụ đã đặt ra các yêu cầu về đảm bảo chất lượng điện năng [3].

Trong các lưới điện phân phối trang bị tụ bù, hai hiện tượng chính gây ra các vấn đề về chất lượng điện năng là hiện tượng cộng hưởng sóng hài và quá điện áp quá độ khi đóng cắt tụ điện [4-5]. Hiện tượng cộng hưởng sóng hài xảy ra khi dung lượng tụ kết hợp với tổng trở ngắn mạch tại trạm biến áp đặt tụ có tần số trùng khớp tới tần số của dòng điện hài trong lưới chảy qua vị trí đặt tụ. Hiện tượng cộng hưởng sóng

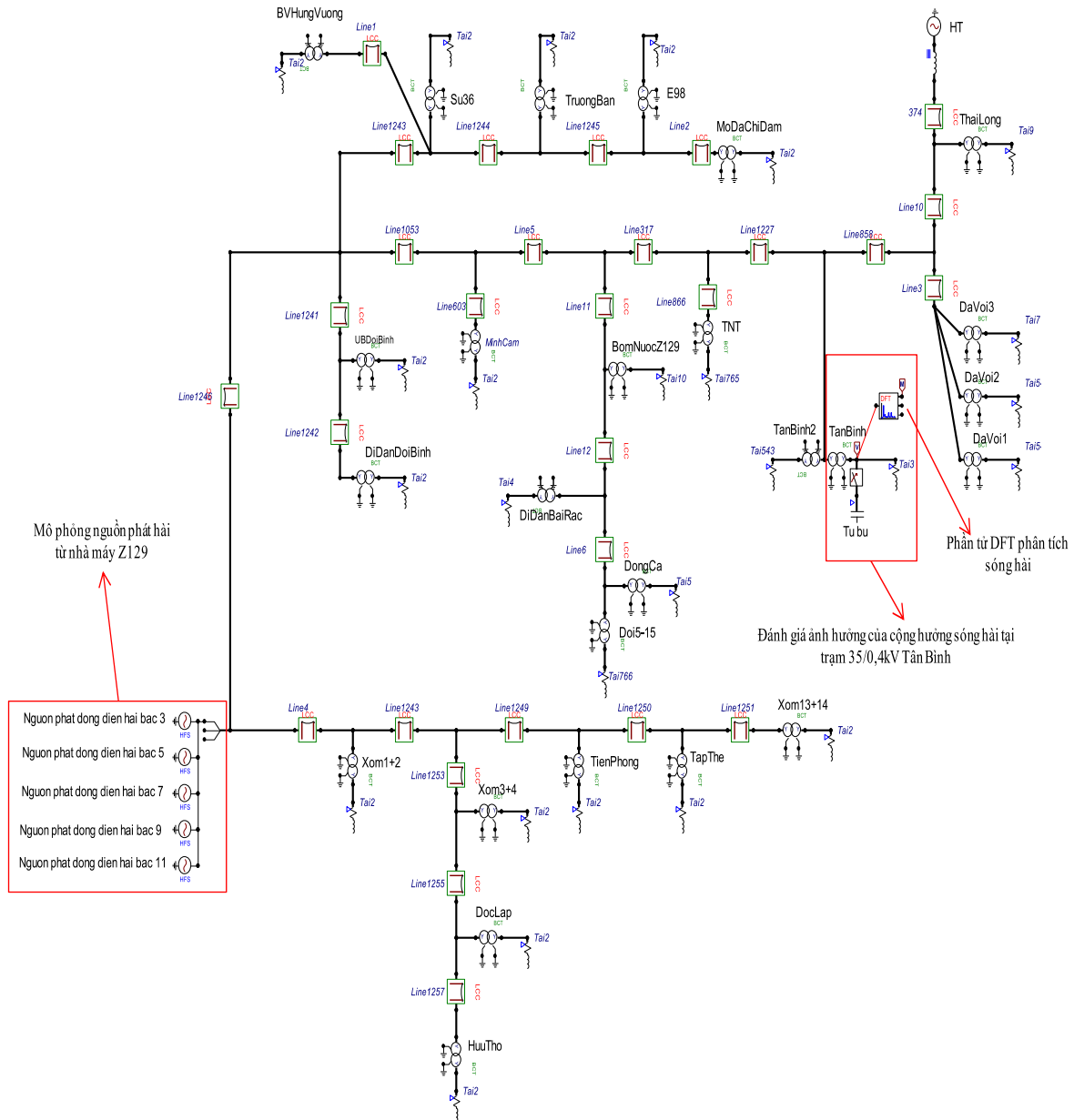
hài gây ra gia tăng tổn thất điện năng trên lưới điện và làm méo điện áp vượt ngưỡng cho phép. Trong khi đó, quá điện áp quá độ xuất hiện khi đóng cắt tụ điện có thể gây ngắt không mong muốn các thiết bị điện tử và tự động hóa như máy tính, bộ điều chỉnh tốc độ động cơ, các bộ biến đổi điện áp [3].

Từ đó, nghiên cứu hiện tượng cộng hưởng sóng hài và quá điện áp quá độ do đóng cắt tụ trong bài báo này có mục đích:

- Đánh giá ảnh hưởng của cộng hưởng sóng hài và quá điện áp quá độ do đóng cắt tụ đến chất lượng điện năng
- Khuyến nghị lựa chọn dung lượng tụ nhằm loại trừ cộng hưởng sóng hài và biện pháp hạn chế quá điện áp quá độ khi đóng cắt tụ.

Nghiên cứu được thực hiện bằng chương trình quá độ điện từ EMTP và được áp dụng cho xuất tuyến 374E1.14 của lưới điện phân phối huyện Yên Sơn, tỉnh Tuyên Quang.

\* Corresponding author: Tel.: (+84) 984.972.994  
Email: sontt@epu.edu.vn



Hình 1. Sơ đồ mô phỏng lộ 314E1.14 sử dụng EMTP.

2. Cộng hưởng sóng hài trên lộ 374E1.14

Do đặc tính phi tuyến, một số phụ tải công nghiệp thường phát lên lưới các sóng hài bậc cao. Lúc này, điện kháng tương đương mang tính cảm của lưới tăng lên trong khi điện kháng mang tính dung của lưới giảm đi do sự xuất hiện của các sóng hài bậc cao. Như vậy, trong bất kỳ một lưới phân phối có tụ bù nào cũng tồn tại một tần số hài xác định hay một điểm giao cắt mà tại đó điện kháng mang tính cảm và tính dung bằng nhau. Điểm giao cắt này được gọi là điểm cộng hưởng sóng hài. Một lưới điện phân phối

có thể có một hoặc nhiều điểm cộng hưởng sóng hài khi đặt một hay nhiều tụ bù tại các vị trí khác nhau.

Trước khi lắp đặt tụ bù trên lưới, một tính toán đơn giản có thể được thực hiện nhằm xác định tần số cộng hưởng hay bậc sóng hài sẽ gây ra cộng hưởng với dung lượng tụ đã chọn theo phương trình (1) [3]:

$$h = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{nm}C}} = \sqrt{\frac{X_C}{X_{nm}}} = \sqrt{\frac{kVA_{nm}}{kVar}} \approx \sqrt{\frac{100 \cdot kVA_{MBA}}{kVar \cdot Z_{MBA\%}}} \quad (1)$$

Trong đó,  $L_{nm}$  là điện cảm ngắn mạch tương đương tại nút đặt tụ,  $C$  là điện dung của bộ tụ,  $X_C$  là

dung kháng của bộ tụ,  $X_{nm}$  là điện kháng ngắn mạch tương đương tại nút đặt tụ,  $kVA_{nm}$  là công suất ngắn mạch có thể lấy xấp xỉ bằng công suất định mức của trạm biến áp đặt tụ,  $kVAr$  là dung lượng của bộ tụ,  $kVA_{MBA}$  là dung lượng của máy biến áp phân phối tại đó đặt tụ bù,  $Z_{MBA\%}$  là điện kháng của máy biến áp.

Xuất tuyến trung áp 35kV 374E1.14 của lưới điện huyện Yên Sơn hiện nay cung cấp điện năng cho nhiều phụ tải công nghiệp trên địa bàn. Sơ đồ mô phỏng cho xuất tuyến này sử dụng EMTP được giới thiệu trên hình 1. Một bộ tụ bù hạ áp dung lượng 150kVAr đang được sử dụng tại trạm biến áp Tân Bình. Trong quá trình vận hành, tụ bù này thường bị hư hỏng do quá nhiệt và nguyên nhân được đánh giá là do hiện tượng cộng hưởng sóng hài. Mức độ méo dạng điện áp THD đo lường thực nghiệm tại vị trí đặt tụ trong tháng 3 năm 2016 có giá trị đến 7,08%. Do đó, các tính toán mô phỏng cần được tiến hành đồng thời với các đo lường thực nghiệm nhằm xác định bậc sóng hài gây cộng hưởng, đồng thời cho phép đưa ra khuyến cáo lựa chọn dung lượng tụ phù hợp. Đối với lưới điện đang xem xét, nhà máy Z129 được mô phỏng là nguồn phát sóng hài vào lưới, đồng thời vị trí đặt tụ bù phía hạ áp tại trạm biến áp 35/0,4kV Tân Bình có thể tạo ra điểm cộng hưởng sóng hài. Hiện nay, EMTP chỉ hỗ trợ mô phỏng nguồn phát sóng hài một pha, do đó các nguồn phát sóng hài này chỉ được kết nối vào pha A. Các nguồn phát sóng hài từ nhà máy Z129 được mô phỏng là các nguồn dòng phát các dòng điện hài bậc 3, 5, 7, 9 và 11 vào lưới. Các dòng điện này có biên độ 100A.

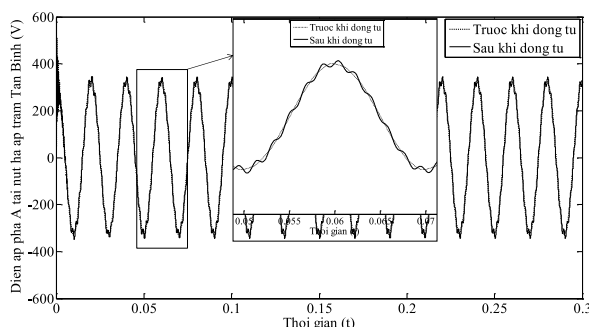
Thông số của máy biến áp 35/0,4 kV Tân Bình và tụ bù được giới thiệu trong bảng 1. Với các thông số của MBA Tân Bình và tụ đã cho, ta có thể tính toán thành phần hài gây cộng hưởng tại vị trí đặt tụ theo phương trình (1):

$$h = \sqrt{\frac{100 \cdot kVA_{MBA}}{kVAr \cdot Z_{MBA\%}}} = \sqrt{\frac{100 \cdot 300}{150 \cdot 1,78}} = 10,6 \quad (2)$$

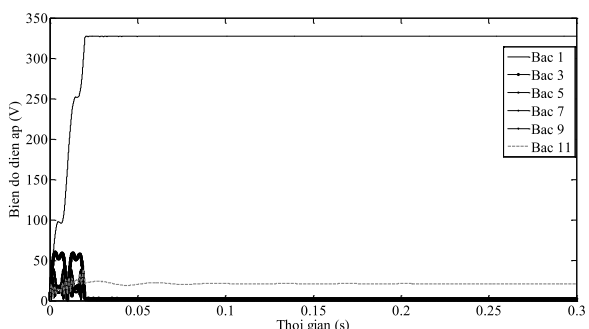
Từ kết quả tính toán ở phương trình (2), ta thấy thành phần sóng hài bậc 11 chảy trong lưới sẽ gây ra hiện tượng gần cộng hưởng tại vị trí tụ bù trạm Tân Bình. Dạng sóng điện áp pha A tại nút hạ áp trạm biến áp Tân Bình trong các chế độ xác lập trước và sau khi đóng tụ bù được mô phỏng trong khoảng thời gian 15 chu kỳ và được giới thiệu trên hình 2.

**Bảng 1.** Thông số MBA trạm Tân Bình và tụ bù

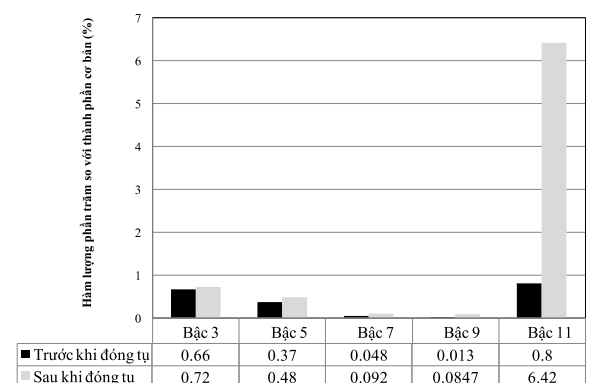
	Dung lượng	Điện áp	$Z_{MBA\%}$
MBA trạm Tân Bình	300 kVA	35/0,4 kV	1,78%
Tụ bù	150 kVAr	0,4 kV	



**Hình 2.** Điện áp pha A tại vị trí đặt tụ bù phía hạ áp trạm biến áp Tân Bình.



**Hình 3.** Biên độ điện áp các thành phần hài của pha A tại nút đặt tụ trong chế độ xác lập sau khi đóng tụ.



**Hình 4.** Phổ hàm lượng các thành phần điện áp hài tại vị trí đặt tụ trong các chế độ xác lập trước và sau khi đóng tụ.

Từ kết quả mô phỏng ta thấy điện áp pha A tại vị trí đặt tụ bị méo rõ rệt do hiện tượng gần cộng hưởng sau khi đóng tụ. Biên độ các thành phần điện áp cơ bản và hài bậc 3, 5, 7, 9, 11 tại vị trí này trong chế độ xác lập sau khi đóng tụ được phân tích từ phần tử biến đổi Fourier và được giới thiệu trên hình 3.

Từ kết quả giới thiệu trên hình 3, ta thấy biên độ thành phần hài bậc 11 tăng cao rõ rệt so với các thành phần hài khác. Hàm lượng phần trăm các thành phần điện áp hài so với thành phần cơ bản tại nút đặt tụ trước và sau khi đóng tụ được giới thiệu trên hình 4.

Hiệu ứng cộng hưởng sóng hài khiến cho hàm lượng hài bậc 11 tăng đến 702% (từ 0,8% lên 6,42%) so với trước khi đóng tụ. Hệ số méo dạng THD được tính toán theo phương trình (3) nhằm đánh giá ảnh hưởng của cộng hưởng sóng hài đến chất lượng điện năng:

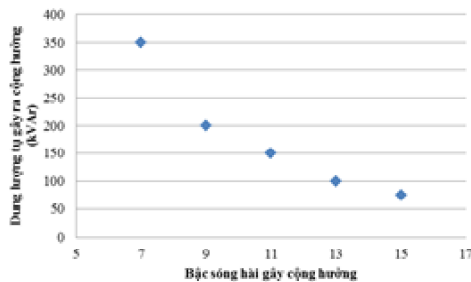
$$THD\% = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + U_9^2 + U_{11}^2}}{U_1} \cdot 100\% \quad (3)$$

Trong đó,  $U_3, U_5, U_7, U_9, U_{11}$  là giá trị đỉnh của các thành phần hài bậc 3, 5, 7, 9, 11,  $U_1$  là biên độ thành phần cơ bản.

Hệ số méo dạng THD tính toán cho nút đặt tụ trước và sau khi đóng tụ được báo cáo trong bảng 2. Từ kết quả mô phỏng ta thấy hệ số méo dạng tăng lên đến 489% (từ 1,1% lên đến 6,48%) do cộng hưởng sóng hài bậc 11. Chỉ số THD này vượt mức 5% cho phép và gây ảnh hưởng đến tuổi thọ của tụ cũng như chất lượng điện năng cung cấp cho phụ tải của nút này. Từ các phân tích này, các dung lượng tụ gây ra cộng hưởng sóng hài tại các bậc sóng hài 3, 5, 7, 9, 11, 13 và 15 được tính toán theo phương trình (1) và giới thiệu trên hình 5. Như vậy, khi lựa chọn dung lượng tụ cho trạm Tân Bình cần tránh các trị số 350 kVAR (cộng hưởng bậc 7), 200 kVAR (cộng hưởng bậc 9), 150 kVAR (cộng hưởng bậc 11), 100 kVAR (cộng hưởng bậc 13) và 75 kVAR (cộng hưởng bậc 15).

**Bảng 2.** THD trước và sau khi đóng tụ tại nút hạ áp trạm Tân Bình

	Trước khi đóng tụ	Sau khi đóng tụ
THD%	1,10	6,48



**Hình 5.** Dung lượng tụ tại trạm Tân Bình gây ra cộng hưởng sóng hài tại các bậc hài tương ứng.

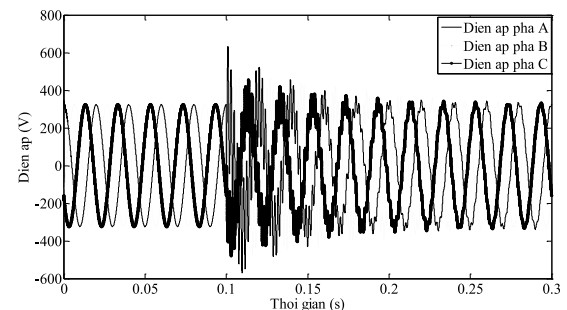
**3. Nghiên cứu quá độ**

Mục đích của phần nghiên cứu quá độ là để đánh giá mức độ quá điện áp khi đóng cắt tụ. Thật vậy, điện áp trên tụ không thể thay đổi một cách tức thời mà quá trình năng lượng hóa tụ khiến cho điện áp giảm đột ngột, tiếp đó là sự phục hồi nhanh điện áp và cuối cùng là dao động điện áp quá độ xấp

chồng với thành phần điện áp cơ bản. Giá trị đỉnh của điện áp trên tụ phụ thuộc vào điện áp tức thời của hệ thống tại thời điểm năng lượng hóa tụ và có thể đạt đến 2 pu trong các trường hợp nguy hại nhất. Các quá điện áp do đóng cắt tụ phía hạ áp của máy biến áp phân phối có thể gây ra các vấn đề cho phụ tải của khách hàng tiêu thụ điện như: phá hủy thiết bị hoặc hư hỏng do quá điện áp, ngắt không mong muốn các bộ điều chỉnh tốc độ động cơ, sự cố mạng máy tính.

Đối với lộ 314E1.14, sơ đồ mô phỏng cho nghiên cứu quá độ vẫn được giữ nguyên như trong phần mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của cộng hưởng sóng hài. Dạng sóng điện áp tại điểm đặt tụ (trạm Tân Bình) trong quá trình quá độ khi đóng tụ tại thời điểm điện áp pha A đạt cực đại ( $t = 0,1s$ ) được giới thiệu trên hình 6. Từ kết quả trên hình 6 ta thấy quá trình quá độ khi đóng tụ kéo dài khoảng 8 chu kỳ. Thời gian quá độ phụ thuộc vào thông số đường dây và phụ tải. Nghiên cứu [6] chỉ ra rằng thời gian quá độ khi đóng cắt tụ có thể nằm trong khoảng 3 đến 8 chu kỳ. Điện áp pha A khi nạp tụ đạt đến trị số 1,94 pu. Giá trị cực đại của điện áp các pha tại vị trí đặt tụ được báo cáo trong bảng 3.

Dòng điện chảy từ máy biến áp qua tụ được giới thiệu trên hình 7. Dòng điện này mang trị số lớn và ở tần số cao trong quá trình quá độ là do dự kết hợp giữa điện cảm của máy biến áp và điện dung của tụ điện khi đóng tụ. Để hạn chế biên độ quá điện áp và dòng điện quá độ gây ra bởi các nhiễu loạn này, quá trình nạp tụ có thể được thực hiện khi đóng tụ qua điện trở phụ. Hình 8 và hình 9 lần lượt giới thiệu điện áp pha A tại nút đặt tụ và dòng điện pha A từ máy biến áp qua vị trí đặt tụ khi đóng tụ qua điện trở phụ có trị số 1Ω. Bảng 4 giới thiệu các giá trị đỉnh của điện áp pha A tại nút đặt tụ và dòng điện pha A từ máy biến áp qua vị trí đặt tụ khi đóng tụ trực tiếp và đóng tụ qua điện trở phụ trị số 1Ω. Từ các kết quả trên hình 8, hình 9 và bảng 4, ta có thể thấy các biên độ dao động quá độ của điện áp và dòng điện đã được giảm đi đáng kể khi sử dụng điện trở đóng tụ. Sự cải thiện này là do hiệu ứng dập dao động của điện trở phụ khi đóng tụ điện. Các dao động này mất đi ngay sau thời điểm  $t = 0,12s$ .



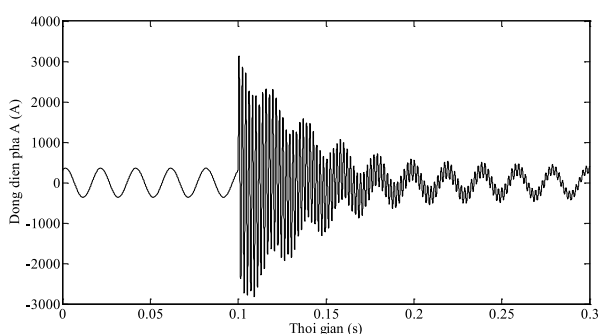
**Hình 6.** Điện áp quá độ tại điểm đặt tụ khi đóng tụ tại thời điểm điện áp pha A cực đại.

**Bảng 3.** Quá điện áp quá độ cực đại khi đóng tụ

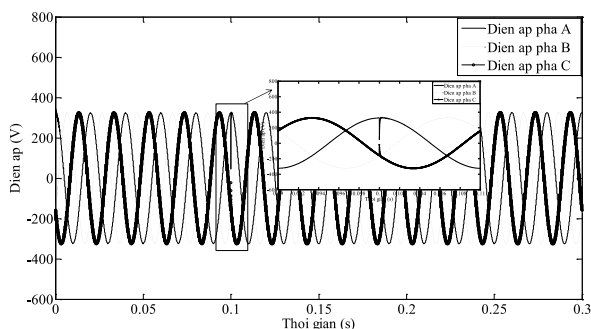
	Pha A	Pha B	Pha C
Điện áp quá độ cực đại (pu)	1,94	1,43	1,47

**Bảng 4.** Giá trị đỉnh của điện áp pha A tại nút đặt tụ và dòng điện pha A từ máy biến áp qua vị trí đặt tụ

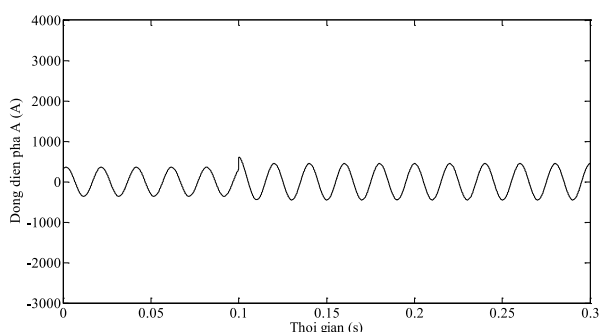
	Đóng tụ trực tiếp	Đóng tụ qua điện trở trị số 1Ω
Điện áp	634,09 V	350,67 V
Dòng điện	3247,2 A	636,9 A



**Hình 7.** Dòng điện từ máy biến áp qua tụ (pha A) khi đóng tụ tại thời điểm điện áp pha A cực đại.



**Hình 8.** Điện áp tại nút đặt tụ khi đóng tụ qua điện trở có trị số 1Ω.



**Hình 9.** Dòng điện từ máy biến áp qua tụ (pha A) khi đóng tụ qua điện trở trị số 1Ω tại thời điểm điện áp pha A cực đại.

#### 4. Kết luận

Sự có mặt của các tụ bù trên lưới điện phân phối đặt ra các vấn đề liên quan đến chất lượng điện năng. Hiện tượng cộng hưởng sóng hài gây ra méo điện áp và làm gia tăng phát nóng trên tụ dẫn đến hư hỏng sớm tụ. Đo lường thực nghiệm chỉ ra rằng mức độ méo dạng điện áp THD tại vị trí đặt tụ trạm biến áp Tân Bình, lộ 374E1.14 lưới điện Yên Sơn là 7,08%. Trong khi đó, tính toán mô phỏng sử dụng EMTD chỉ ra mức độ méo dạng điện áp THD bằng 6,48%. Nguyên nhân gây ra mức THD lớn là do cộng hưởng sóng hài bậc 11 với dung lượng tụ đã chọn bằng 150kVar. Chính vì vậy, các trị số dung lượng tụ gây ra cộng hưởng tại các bậc hài 3, 5, 7, 9, 11, 13 và 15 đã được tính toán và khuyến cáo tránh sử dụng các trị số dung lượng này. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng quá điện áp quá độ cực đại tại vị trí đặt tụ tại trạm Tân Bình đạt 1,94 pu khi đóng tụ tại thời điểm điện áp pha A cực đại. Chính vì vậy, giải pháp đóng tụ qua điện trở phụ để dập dao động đã được đề xuất. Trị số điện trở phụ 1Ω cho phép giảm biên độ quá điện áp và dòng điện quá độ khi đóng tụ.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] A. Dzionk and R. Małkowski, Activity coordination of capacitor banks and power transformer controllers in order to reduce power losses in the MV grid, 2016 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), Bydgoszcz, Poland, (2016) 27-32.
- [2] S. Krishnamurthy and E. X. Mohlwin, Voltage stability index method for optimal placement of capacitor banks in a radial network using real-time digital simulator, 2016 International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE), Cape Town, (2016) 1-8.
- [3] T. E. Grebe, Application of distribution system capacitor banks and their impact on power quality, Rural Electric Power Conference, 1995. Papers Presented at the 39th Annual Conference, Nashville, TN, (1995) C3/1-C3/6.
- [4] D. T. Rizy, E. W. Gunther and M. F. McGranaghan, Transient and Harmonic Voltages Associated with Automated Capacitor Switching on Distribution Systems, IEEE Power Engineering Review. 8 (1987) 49-50.
- [5] D. V. Coury, C. J. Santos, M. Oleskovicz, M. C. Tavares, Transient analysis concerning capacitor bank switching in a distribution system, Electric Power Systems Research. 65 (2003) 13-21.
- [6] C. J. Dafis, C. O. Nwankpa and A. Petropulu, A study on the prediction of capacitor-switching transient times, Power Engineering Society Summer Meeting, 1999. IEEE, Edmonton, Alta. 2 (1999) 806-811.

