Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: http://tapchi.humg.edu.vn

Đánh giá ảnh hưởng của cộng hưởng điện áp do sóng hài của tải phi tuyến đến tụ bù công suất phản kháng trong lưới điện 6kV Công ty than Nam Mẫu

Nguyễn Xuân Nhỉ [1,*], Lê Xuân Thành [1]

[1] *Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa Chất, Việt Nam*

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 06/01/2017
Chấp nhận 19/4/2017
Đăng online 28/4/2017

Từ khóa:
Sóng hài
Tải phi tuyến
Cộng hưởng điện áp
Cộng hưởng dòng điện

TÓM TẮT

Việc sử dụng các thiết bị biến đổi điện tử công suất (tải phi tuyến) trong hệ thống điện mang lại nhiều lợi ích về kinh tế và kỹ thuật, do vậy tải phi tuyến ngày càng được sử dụng nhiều trong các mạng điện. Tuy nhiên, việc sử dụng tải phi tuyến là nguyên nhân chính sinh ra sóng hài trong các mạng điện và gây ra sự méo dạng sóng điện áp và dòng điện. Điều này làm ảnh hưởng lớn đến sự làm việc bình thường, điều kiện an toàn cũng như tuổi thọ của các thiết bị điện. Do vậy, khi sử dụng tải phi tuyến cần phải có những biện pháp để khắc phục những tác hại của sóng hài đối với các thiết bị điện do tải phi tuyến gây ra. Thông qua việc mô phỏng trên phần mềm ATP, bài báo tập trung nghiên cứu phân tích, đánh giá tác động của sóng hài do tải phi tuyến đối với các thiết bị trong mạng điện 6kV của Công ty than Nam Mẫu, đặc biệt là đối với các bộ tụ bù công suất phản kháng. Từ đó có thể tìm ra những phương pháp phù hợp để loại bỏ tác động tiêu cực của sóng hài đối với các thiết bị trong mạng điện.

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Để nâng cao hiệu quả sản xuất, hiện nay các thiết bị điện tử công suất (tải phi tuyến) được sử dụng rộng rãi trong mạng điện của các mỏ hầm lò đặc biệt mạng điện 6kV. Việc sử dụng các thiết bị này đem lại hiệu quả lớn về kỹ thuật nhưng cũng gây ra những tác động tiêu cực đến mạng điện.

Các nghiên cứu của (Attachie, 2010), tập trung vào ảnh hưởng của sóng hài đến các bộ tụ bù. Nghiên cứu của (Lê Xuân Thành, 2015) cũng chỉ ra quá điện áp do sóng hài gây nguy hiểm với bộ tụ bù công suất phản kháng trong mạng điện 6kV của mỏ lộ thiên.

Các nghiên cứu trên chủ yếu khảo sát ảnh hưởng của sóng hài đến các bộ tụ bù, nhưng chưa đánh giá được cụ thể mức độ ảnh hưởng của cộng hưởng điện áp do sóng hài đến sự làm việc bình thường của các bộ tụ bù trong mạng điện 6kV của các khu vực mỏ hầm lò. Dựa trên cơ sở lý thuyết, bằng thực nghiệm và mô phỏng trên phần mềm tin học, nội dung bài báo sẽ nghiên cứu đánh giá cụ thể về mức độ ảnh hưởng của cộng hưởng điện áp do sóng hài đối với sự làm việc bình thường của các bộ tụ bù công suất phản kháng trong mạng

*Tác giả liên hệ
E-mail: nguyenxuannhi@humg.edu.vn

điện 6kV của khu vực mỏ hầm lò Công ty than Nam Mẫu.

2. Tải phi tuyến trong mạng điện 6kV mỏ hầm lò

Tải phi tuyến được sử dụng trong mạng điện mỏ hầm lò thường là các bộ khởi động mềm, các bộ biến tần, các thiết bị biến đổi, điều khiển... Các thiết bị này là nguyên nhân chính sinh ra sóng hài trong mạng điện 6kV của mỏ hầm lò, chúng làm cho dạng sóng dòng điện và điện áp bị méo dạng, không còn hình sin.

Hình 1 là dạng sóng dòng điện và phổ hài của một số tải phi tuyến được đo thực tế tại mạng điện 6kV mỏ hầm lò.

Qua các kết quả đo thực nghiệm ở Hình 1 thấy rằng tải phi tuyến trong lưới 6kV của mỏ gây méo đáng kể sóng hài, THD đều trên 80% cá biệt lên đến 112,9% điều này vi phạm nghiêm trọng tiêu chuẩn quốc gia và quốc tế về chất lượng điện năng (IEEE STD 519 - 1992).

- Đặc điểm lưới điện 6kV mỏ hầm lò Công ty than Nam Mẫu là để phục vụ cho các hoạt động sản xuất, Công ty than Nam Mẫu sử dụng một trạm biến áp trung gian 35/6kV gồm 2 máy biến áp có dung lượng mỗi máy 7500kVA, sơ đồ nguyên lý của trạm cho ở Hình 2.

Các phụ tải 6kV phía sau trạm biến áp 35/6kV được cấp điện theo sơ đồ hình tia, chủ yếu là các động cơ bơm nước cao áp, các động cơ quạt gió, động cơ băng tải giếng chính và các máy biến áp 6kV cung cấp điện cho các phân xưởng.

Trong lưới 6kV có các tải phi tuyến chủ yếu là các bộ khởi động mềm dùng để khởi động cho các động cơ công suất lớn. Sơ đồ nguyên lý cho ở Hình 3. Thông số kỹ thuật chi tiết của các bộ khởi động mềm cho ở Bảng 1.

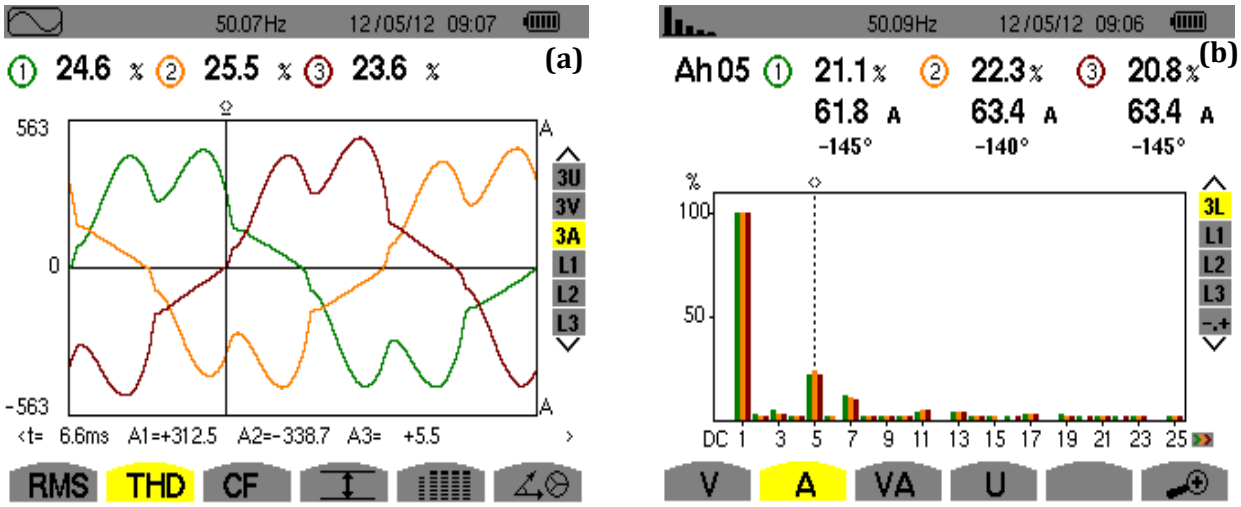
3. Cộng hưởng điện áp do sóng hài của tải phi tuyến

3.1. Phương trình toán học khi có cộng hưởng do nguồn hài

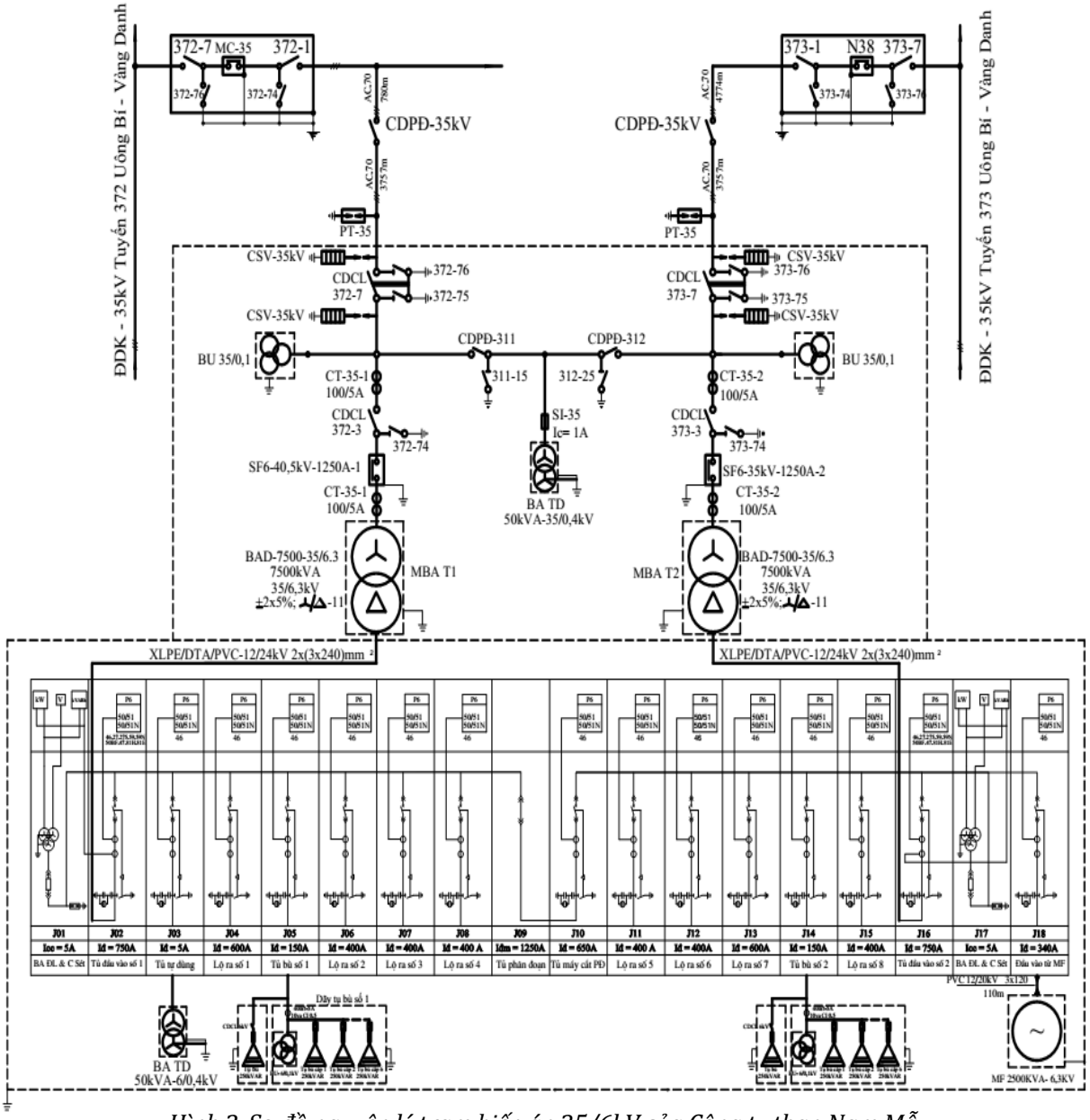
Điện kháng của một mạng điện phụ thuộc vào tần số. Trong mạch điện, tần số cộng hưởng cơ bản được xác định theo phương trình (1) (Attachie và Amuzuvi, 2010).

Bảng 1. Thông số kỹ thuật chi tiết các bộ khởi động mềm 6kV.

Mã hiệu	Điện áp định mức, V	Dòng điện định mức, A	Cấp bảo vệ	Chức năng
HRVS-DN 140A-6000V	6000 (-15%÷ +10%)	140	IP32	Hạn chế dòng điện khởi động của động cơ



Hình 1. Dạng sóng và phổ hài dòng điện đo sau một biến tần trong mạng điện trung áp 6kV mỏ hầm lò (Viện khoa học Công nghệ mỏ - Vinacomin , 2016); (a) Dạng sóng dòng điện; b) Phổ hài dòng điện.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý trạm biến áp 35/6kV của Công ty than Nam Mẫu.

$$f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (1)$$

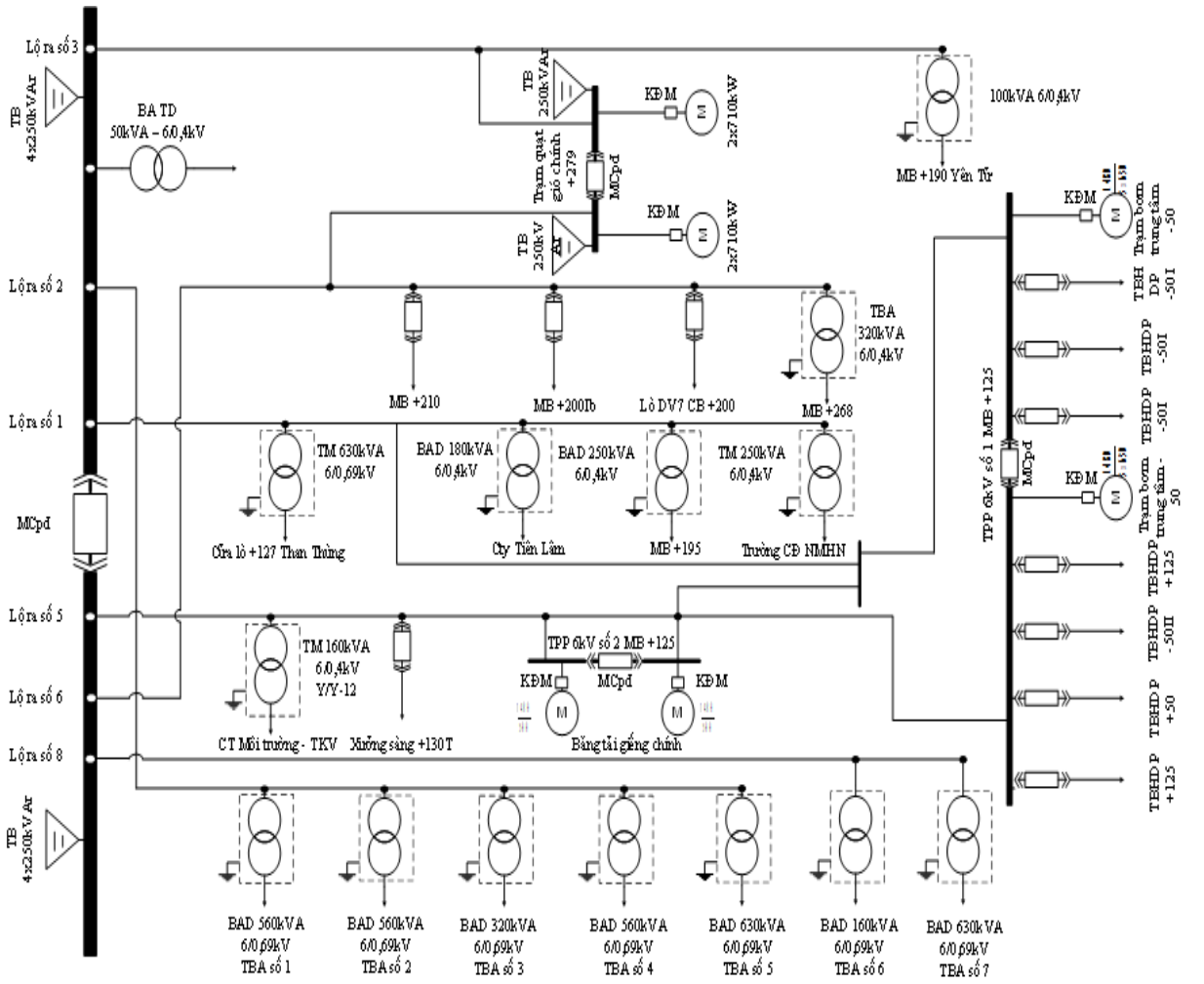
Trong đó: L - điện cảm của mạch điện, H; C - điện dung của mạch điện, F.

Sự nguy hiểm nhất của sóng hài đó chính là gây ra sự cộng hưởng điện áp và cộng hưởng dòng điện. Điều này làm cho biên độ điện áp, dòng điện tăng vượt quá giá trị danh định của các thiết bị điện và gây nguy hiểm đến các thiết bị. Giá trị hiệu dụng khi có cộng hưởng của điện áp và dòng điện do sóng hài có thể thấy rõ qua phương trình (2) và (3):

$$U_{RMS}=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u_{(t)}^2 dt}=U_{(1)}\sqrt{1+THD_U^2} \quad (2)$$

$$I_{RMS}=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i_{(t)}^2 dt}=I_{(1)}\sqrt{1+THD_I^2} \quad (3)$$

Trong đó:



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý lưới điện 6kV Công ty than Nam Mẫu.

$U_{(1)}$ - giá trị hiệu dụng của điện áp ứng với tần số cơ bản, V;

$I_{(1)}$ - giá trị hiệu dụng của dòng điện ứng với tần số cơ bản, A;

THD_U, THD_I - hệ số méo dạng sóng của điện áp và dòng điện do sóng hài.

3.2. Ảnh hưởng của sóng hài do tải phi tuyến đến thiết bị điện

Một số những tác động tiêu cực chính của sóng hài đối với các thiết bị điện (Lê Xuân Thành, 2014):

- Làm sai lệch hệ thống thiết bị đo đếm các đại lượng điện, từ đó có thể làm cho hệ thống bảo vệ rơle tác động nhầm lẫn;

- Làm giảm tuổi thọ của máy biến áp, các động cơ điện do hiệu ứng phát nóng phụ bề mặt (skin effect) và phát nóng điện môi;

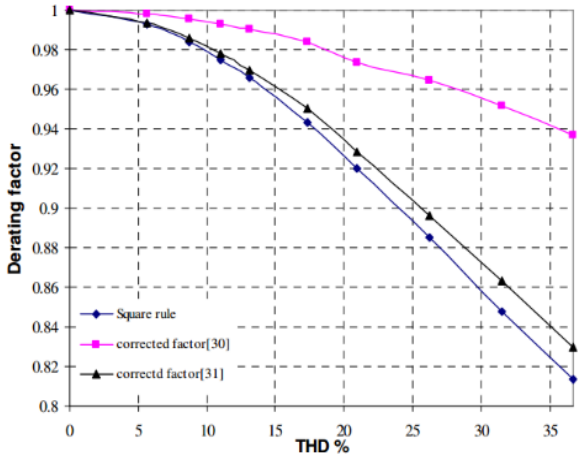
- Tăng phát nóng, giảm hiệu suất hay gây dao động hạ tần số cơ học;

- Có thể phá hủy hoặc hạn chế khả năng vận hành của các bộ tụ bù công suất phản kháng.

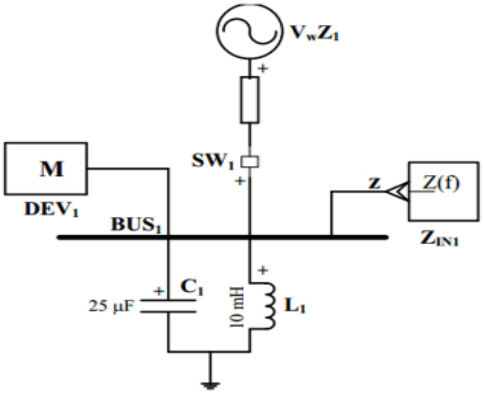
Trong các tác động trên, tác động của sóng hài đến máy biến áp mang tính dài hạn, chủ yếu là làm giảm thời gian vận hành của máy biến áp. Các kết quả thực nghiệm của (Elmoudi, 2006) đã đưa ra hệ số suy giảm tuổi thọ của máy biến áp được thể hiện như Hình 4.

Đối với các bộ tụ bù công suất phản kháng, ảnh hưởng của sóng hài mang tính chất tức thời, có thể phá hủy cách điện hay gây đứt dây cầu chì trong các bộ tụ. Nguyên nhân chủ yếu là do xuất hiện hiện tượng cộng hưởng song song với các tụ bù ngang và cộng hưởng nối tiếp với các tụ bù dọc (Lê Xuân Thành, 2014).

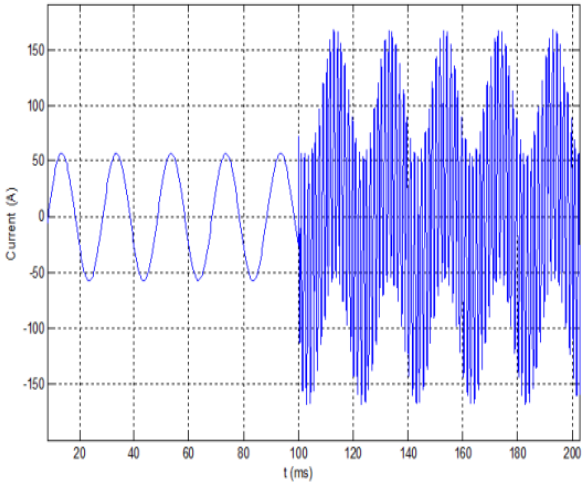
Các nghiên cứu của (Attachie, 2010) với các bộ tụ bù tĩnh đặt trên thanh cái 13kV của trạm biến áp trung gian



Hình 4. Hệ số suy giảm tuổi thọ của máy biến áp tương ứng với độ méo của sóng hài (Elmoudi, 2006).



Hình 5. Sơ đồ thay thế mạch cộng hưởng song song khi đặt tụ bù tại thanh cái 6kV của trạm biến áp trung gian (Attachie, 2010).



Hình 6. Dòng điện chạy qua bộ tụ khi có cộng hưởng song (Attachie, 2010).

(có sơ đồ nguyên lý như Hình 5) chỉ ra rằng: Tùy theo giá trị và biên độ dòng điện hài, khi xảy ra cộng hưởng, giá trị dòng điện đi qua bộ tụ có thể gấp 300% dòng điện định mức của tụ (Hình 6) và điện áp đặt lên bộ tụ có thể bằng (l,8÷2,5)$U_{đm}$ của tụ.

Như vậy có thể thấy những tác động của sóng hài tới các bộ tụ bù công suất phản kháng là rất nguy hiểm, có thể phá hủy tức thì các bộ tụ. Theo tiêu chuẩn IEEE 1036-1992 quy định nghiêm ngặt khi vận hành các tụ bù tĩnh trên các trạm biến áp trung gian, cụ thể:

- Đối với các đại lượng định mức của các bộ tụ bù:

+ Chỉ cho phép vận hành với điện áp cực đại 1,1$U_{đm}$;

+ Chỉ cho phép vận hành với điện áp cực đại 1,2$U_{đỉnh}$;

+ Chỉ cho phép vận hành với dòng điện cực đại 180%$I_{đm}$;

+ Công suất phản kháng tối đa được phát là 135%$Q_{đm}$.

- Đối với các giới hạn thời gian:

+ Điện áp cực đại chịu được 2,2 lần $U_{đm}$ trong 0,1s;

+ Điện áp cực đại chịu được 2,0 lần $U_{đm}$ trong 0,25s;

+ Điện áp cực đại chịu được 1,7 lần $U_{đm}$ trong 1s;

+ Điện áp cực đại chịu được 1,4 lần $U_{đm}$ trong 15s;

+ Điện áp cực đại chịu được 1,3 lần $U_{đm}$ trong 1 phút;

+ Điện áp cực đại chịu được 1,25 lần $U_{đm}$ trong 30 phút.

Từ các kết quả phân tích trên, có thể thấy rằng ảnh hưởng của sóng hài đến các bộ tụ bù công suất phản kháng là rất nguy hiểm. Cộng hưởng có thể gây ra phá huỷ tức thời đối với các bộ tụ. Do vậy cần loại trừ tác hại của cộng hưởng do sóng hài đối với các bộ tụ bù 6kV.

4. Phân tích đánh giá cộng hưởng điện áp trong mạng điện 6kV mỏ hầm lò của Công ty than Nam Mẫu

4.1. Mô hình hoá và mô phỏng lưới 6kV

Từ sơ đồ nguyên lý cung cấp điện thực tế của Công ty than Nam Mẫu, sử dụng phần mềm ATP có được mô hình mô phỏng mạng điện 6kV của

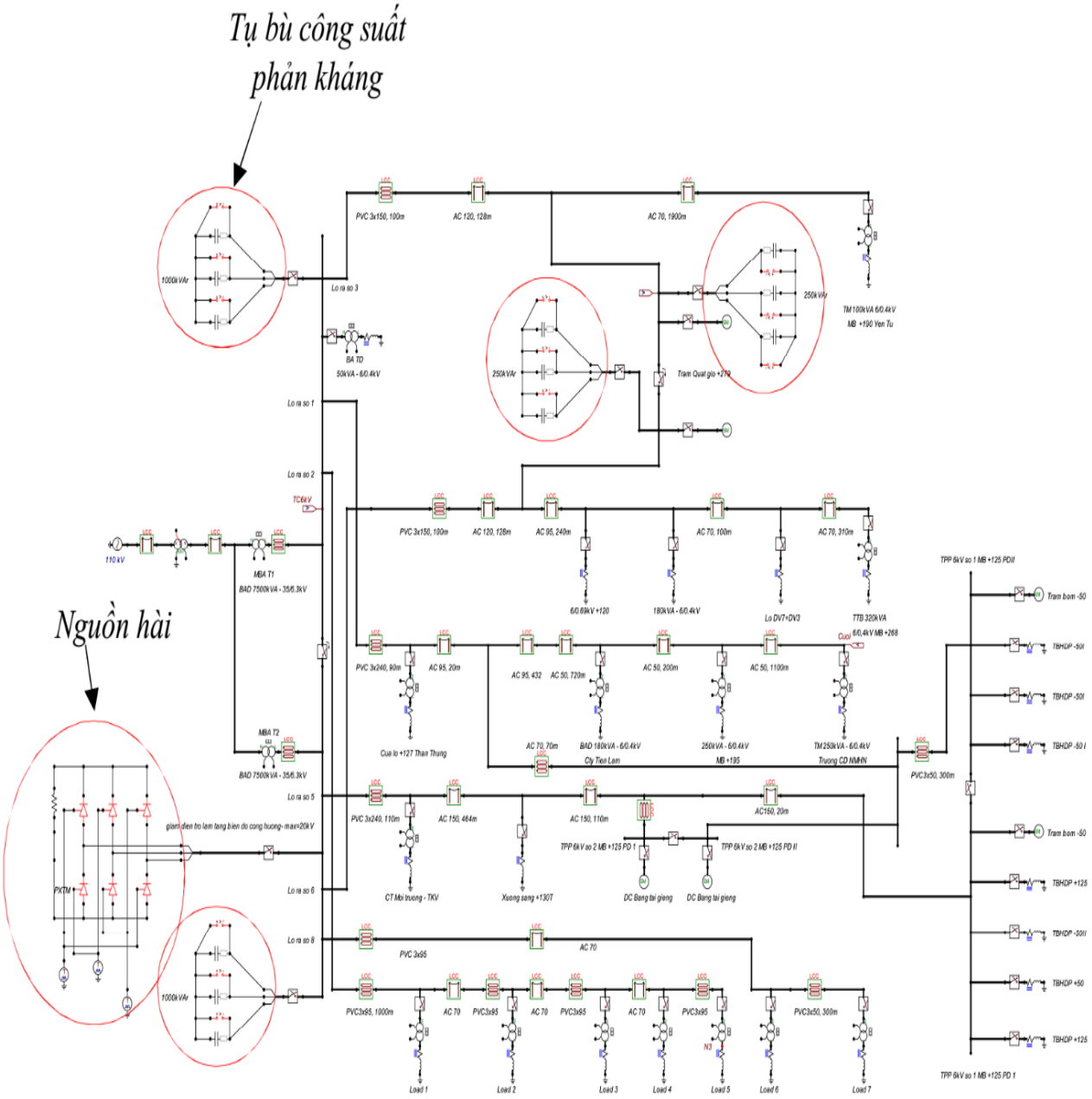
Công ty than Nam Mẫu như Hình 7. Ở sơ đồ mô phỏng, thông số kỹ thuật của một số phần tử cơ bản trong lưới điện.

4.1.1. Nguồn điện

Nguồn điện của Công ty than Nam Mẫu được cấp từ Uông Bí qua 2 lộ đường dây trần trên không N⁰372 và N⁰373 loại AC-70 đến trạm biến áp trung gian 35/6kV của Công ty. Thông số kỹ thuật của đường dây trên không và trạm biến áp trung gian ở Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật các tuyến đường dây trên không cấp điện cho trạm biến áp 35/6kV Công ty than Nam Mẫu.

Mã hiệu dây	Chiều dài, km	Nguồn cấp
AC-70	4,5	Lộ 372-7 Uông Bí - Vàng Danh
AC-70	8,5	Lộ 373-7 Uông Bí - Vàng Danh



Hình 7. Sơ đồ mô phỏng mạng điện 6kV của Công ty than Nam Mẫu.

Bảng 3. Thông số kỹ thuật của máy biến trong trạm biến áp 35/6kV Công ty than Nam Mẫu.

Mã hiệu	$S_{đm}$, kVA	$U_{đm}$, kV		Tổn thất công suất, kW		U_n, %	I_0, %	Tổ nối dây
		Sơ cấp	Thứ cấp	ΔP_o, kW	ΔP_n, kW			
BAD 7500-35±2x5% /6,3	7500	35	6,3	11,4	36	7,5	3	Y/Δ-11

Bảng 4. Số lượng phụ tải điện 6kV của Công ty than Nam Mẫu năm 2016.

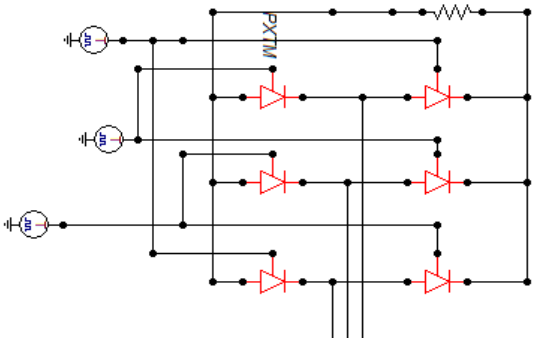
Máy biến áp 6/0,69(0,4)kV		Động cơ bơm cao áp		Động cơ quạt gió		Động cơ băng tải giếng	
Số lượng	Tổng công suất định mức, kVA	Số lượng	Tổng công suất định mức, kW	Số lượng	Tổng công suất định mức, kW	Số lượng	Tổng công suất định mức, kW
50	19790	5	3150	4	2840	2	1000

4.1.2. Tải chủ yếu

Phụ tải điện 6kV của Công ty than Nam Mẫu chủ yếu là các động cơ bơm nước, quạt gió, băng tải giếng chính và các máy biến áp 6/0,69kV hoặc 6/0,4kV cung cấp điện cho các phân xưởng hoặc chiếu sáng văn phòng. Số lượng phụ tải điện 6kV của Công ty ở Bảng 4.

4.1.3. Nguồn hài

Nguồn hài được mô phỏng bằng mạch chỉnh lưu 6 xung, được bơm trực tiếp vào mạng điện qua thanh cái chính 6kV của trạm biến áp trung gian 35/6kV. Sơ đồ nguyên lý của nguồn hài như Hình 8.

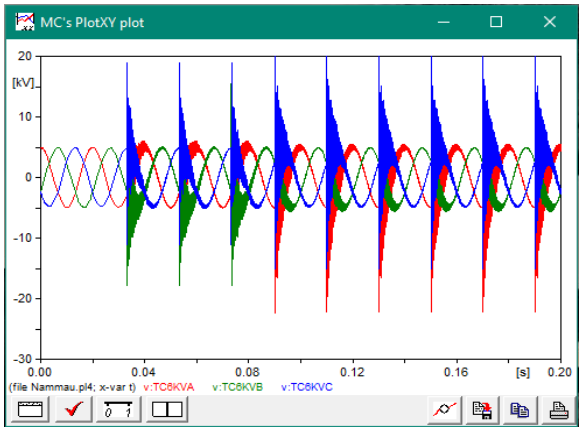


Hình 8. Sơ đồ nguyên lý nguồn hài bằng mạch chỉnh lưu 6 xung

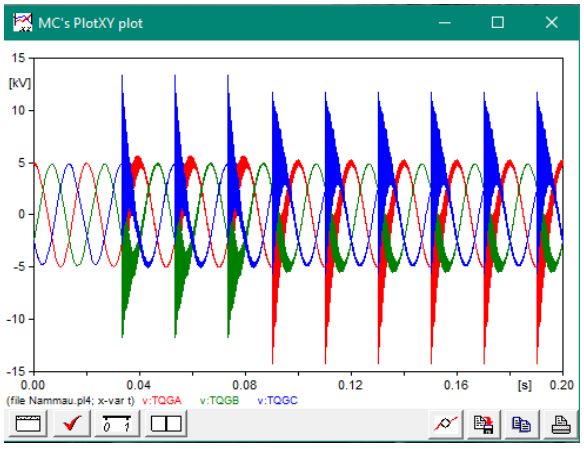
4.1.4. Những điểm mô phỏng cần quan sát

Tác động nguy hiểm nhất của sóng hài chủ yếu đối với các bộ tụ điện bù công suất phản kháng. Do vậy để đánh giá tác động của sóng hài, cần phải đặt các thiết bị đo tại vị trí các bộ tụ bù, cụ thể: tại thanh cái chính 6kV trạm biến áp trung gian 35/6kV và thanh cái 6kV trạm quạt gió chính.

4.2. Kết quả



Hình 9. Cộng hưởng điện áp trên bộ tụ bù đặt tại thanh cái 6kV trạm biến áp trung gian 35/6kV của Công ty than Nam Mẫu.



Hình 10. Cộng hưởng điện áp trên bộ tụ bù được đặt tại thanh cái 6kV trạm quạt gió chính của Công ty than Nam Mẫu.

Sau khi mô phỏng, thu được đồ thị dạng sóng điện áp tại các vị trí cần quan sát, kết quả thể hiện ở Hình 9, 10 và tổng hợp ở Bảng 5.

Từ các kết quả mô phỏng, thấy rằng cộng hưởng điện áp xảy ra trên lưới 6kV có biên độ cộng hưởng vượt quá quy định cho phép theo tiêu chuẩn IEEE 1036-1992.

Bảng 5. Kết quả mô phỏng quá trình cộng hưởng điện áp qua các bộ tụ bù của Công ty than Nam Mẫu.

Điểm đo	Loại tín hiệu	Số pha cộng hưởng	Độ lớn tín hiệu cộng hưởng	Thời gian cộng hưởng, s
Thanh cái 6kV trạm biến áp trung gian	Điện áp	3	$4,6U_{fdm}$	> 0,2
Thanh cái 6kV trạm quạt gió chính	Điện áp	3	$2,7U_{fdm}$	> 0,2

Với biên độ cộng hưởng lớn sẽ phá huỷ tức thì bộ tụ bù gây nguy hiểm cho người vận hành và thiết bị, làm ảnh hưởng đến quá trình sản xuất của Công ty.

5. Kết luận và kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu, thấy rõ được sự nguy hiểm khi xảy ra cộng hưởng điện áp do sóng hài của tải phi tuyến đối với các bộ tụ bù công suất phản kháng của Công ty than Nam Mẫu. Cộng hưởng điện áp có thể diễn ra ngay cả khi tổng độ méo sóng hài có giá trị thấp, quá trình cộng hưởng diễn ra trên cả 3 pha. Do vậy cần có những nghiên cứu đánh giá để tìm ra những biện pháp thích hợp giảm thiểu hoặc loại trừ các nguy hiểm đối với các bộ tụ bù của Công ty khi có cộng hưởng xảy ra.

Hiện nay, để giảm thiểu tác hại của cộng hưởng điện áp do sóng hài có thể sử dụng một số biện pháp như sau:

+ Loại bỏ hoặc hạn chế việc sử dụng tải phi tuyến (nguồn hài) trong mạng điện;

+ Sử dụng các bộ lọc sóng hài tích cực;

+ Sử dụng cuộn kháng mắc nối tiếp với tụ bù để lọc hài;

+ Sử dụng máy biến áp đấu Y/Δ...

Tài liệu tham khảo

Attachie, J. C., and Amuzuvi, C. K., 2010. Investigating harmonic resonance and capacitor bank switching at a power distribition substation using a fixed calacitor bank. *Research Journal in Engineering and Applied Sciences* 2, 1900 - 1909.

Elmoudi, A., 2006. *Evaluation power system harmonic effect Transformers loss of life*. Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology, Findland.

IEEE, 2011. Guide for the Application of Shunt Power Capacitors. *IEEE Std 1036-2010 (Revision of IEEE Std 1036-1992)* , 1 - 88.

IEEE, 2014. Recommended Practices and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power Systems. *IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE STD 519 – 1992),* 1 - 29.

Lê Xuân Thành, 2014. Nghiên cứu một số giải pháp nâng cao chất lượng điện năng trong lưới 6kV các mỏ lộ thiên Quảng Ninh. *Luận án tiến sĩ kỹ thuật*, Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam.

Le Xuan Thanh, 2015. Selection of a suitable schematic diagram for 35/6kV coal mine transformer substions to protect correction capacitor banks from seres resonance caused by power harmonics. *The 23rd International Symposium nn Mine Planning & Equipment Selection*, 557 - 563.

Viện khoa học Công nghệ mỏ - Vinacomin, 2016. Báo cáo kết quả kiểm toán năng lượng Công ty than Nam Mẫu – TKV. *Báo cáo đề tài*.

ABSTRACT

Evaluating effect of the voltage resonant caused by harmonics of nonlinear loads to capacitor banks located on Nam Mau Coal Company's 6kV electric grid.

Nhi Xuan Nguyen [1, *], Thanh Xuan Le [1]

[1] *Faculty of Electromechanics, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

Using power electronics devices (nonlinear loads) on electric power systems brings many economical and technical benefits. Nonlinear loads such as converters, inverters and soft starters are widely used in 6kV mining electric grids. However, using nonlinear loads is the main reason of ejecting power harmonics on electric network and leads to voltage and current waveforms distortion. It has great impact on normal operations, safety conditions as well as aging electrical equipment. Therefore, it needs the method to reduce negative effects of harmonics on electrical apparatus. By utilizing ATP simulations, the paper focuses on analyzing the negative effect caused by nonlinear loads' harmonics on equipment such as capacitor banks, in Nam Mau Coal Company's 6kV grid. Based on the analysis, the suitable methods will be recommended to eliminate negative effects of harmonics on electrical apparatus.