

PHÂN TÍCH SÓNG HÀI SVC TRONG ĐIỀU KIỆN VẬN HÀNH KHÔNG LÝ TƯỞNG TRÊN MIỀN SÓNG HÀI

HARMONIC ANALYSIS OF STATIC VAR COMPENSATOR UNDER NON-IDEAL OPERATING CONDITIONS IN HARMONIC DOMAIN

Nguyễn Phúc Huy

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 02/03/2019, Ngày chấp nhận đăng: 28/03/2019, Phản biện: TS. Trần Quang Khánh

Tóm tắt:

SVC được sử dụng trong các trạm biến áp thuộc hệ thống truyền tải điện để nâng cao ổn định điện áp và điều chỉnh độ lớn điện áp ở một giá trị xác định. Với đặc điểm cố hữu của các thiết bị dùng van bán dẫn của mạch TCR, các sóng hài được sinh ra có thể ảnh hưởng gây những tác động xấu đến lưới điện. Bài báo ứng dụng kỹ thuật mô phỏng SVC trên miền sóng hài để khảo sát đặc tính phát sinh sóng hài của SVC trong một số trường hợp vận hành không lý tưởng. Kết quả mô phỏng cho thấy tính ưu việt của kỹ thuật phân tích hài trên miền sóng hài. Đối với SVC ngoài những sóng hài đặc tính $3k\pm 1$, ở các điều kiện không lý tưởng của nguồn lưới điện và của bản thân nó, sóng hài bội 3 sẽ xuất hiện với tỉ lệ tương đối lớn mặc dù bộ TCR ba pha đấu Δ . Điều đó dẫn tới những giải pháp bổ sung cần thực hiện để giảm thiểu ảnh hưởng của chúng tới lưới điện và thiết bị điện trong trạm có đặt SVC.

Từ khóa:

Sóng hài, miền sóng hài, thiết bị bù tĩnh, TCR, sóng hài bội 3.

Abstract:

SVC is used in substations in the power transmission system to stabilize the voltage at a specific value. Because of the characteristic of the TCR using semiconductor valves, the SVC generates harmonics which may cause negative effects to the electric network. This paper deals with the use of harmonic domain technique to simulate SVC, inspecting its harmonic generating characteristic under non-ideal operating conditions. The simulation results show that the harmonic domain technique is an effective one to analyze harmonics. To the SVC, in addition to $3k\pm 1$ characteristic harmonics, under non-ideal operating conditions of the electric network and the SVC, the triplen harmonic appeared with the highest one is the third order despite the Δ connection of 3-phase TCR. It leads to additional methods may be needed to eliminate the effects of them to the electric networks and the installations within the SVC commissioned substations.

Keywords:

Harmonic, Harmonic domain, SVC, TCR, triplen harmonic.

1. MỞ ĐẦU

Sóng hài trong hệ thống điện có thể được

phân tích bằng kỹ thuật biến đổi chuỗi Fourier từ các tín hiệu biến thiên theo thời

gian. Trên miền tần số, các sóng hài được thể hiện đầy đủ và có thể khảo sát toàn bộ các đặc tính cộng hưởng sóng hài trong hệ thống, phù hợp với các bài toán ở chế độ xác lập [1]. Để nghiên cứu đặc tính sóng hài của một hệ động, kỹ thuật phân tích trên miền sóng hài được áp dụng phổ biến. Đó là sự kết hợp phân tích sóng hài trên miền thời gian và miền tần số [1-3]. Kỹ thuật này được áp dụng thuận lợi cho cả trường hợp phân tích các sóng hài trung gian (inter-harmonics) [4], và cả khi xét đến sự dịch pha của nguồn [5].

Trong các bài toán giải tích mạng điện, SVC có thể được mô phỏng như một nguồn phát công suất [6] phục vụ phân tích chế độ xác lập, hoặc một nguồn phát với đặc tính về sóng hài trong miền tần số [2]. Bộ bù tĩnh (SVC) là thiết bị bù ngang, kết hợp giữa tụ bù và kháng bù có điều khiển bằng thyristor (TCR) giúp điều chỉnh trơn dòng điện phản kháng được “bơm vào” hay “rút ra” khỏi lưới điện. Cấu tạo của TCR đóng mở bằng thyristor khiến cho nó sinh ra các sóng hài dòng điện [7] và có ảnh hưởng lên lưới điện.

Trong bài báo này, phương trình mô tả SVC và lưới điện được thể hiện trong miền sóng hài. Mô hình mô phỏng sẽ được xây dựng cho trường hợp của SVC kết nối tại trạm trung gian 220 kV, số liệu tham khảo là trạm 220 kV Việt Trì và Thái Nguyên [9], các chế độ làm việc khác nhau sẽ được mô phỏng để khảo sát đặc tính phát sinh sóng hài của SVC, làm cơ sở để thực hiện các biện pháp kỹ thuật cần thiết.

2. LÝ THUYẾT MIỀN SÓNG HÀI

Hàm $x(t)$ có chu kỳ T và liên tục trong

với $t \in (-\infty, \infty)$ có thể được biểu diễn dưới dạng chuỗi số Fourier phức phụ thuộc thời gian như (1) [1,2].

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n(t) \cdot e^{jn\omega_0 t} \quad (1)$$

trong đó $\omega_0 = 2\pi/T$; $X_n(t)$ hệ số của chuỗi Fourier phức phụ thuộc vào thời gian, được xác định dưới dạng vectơ động (dynamic phasors) như (2):

$$X_n(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t x(\tau) e^{-jn\omega_0 \tau} d\tau \quad (2)$$

Với một lượng sóng hài cần khảo sát nhất định $n \in (-h, h)$, (1) được viết lại:

$$x(t) \approx \sum_{n=-h}^h X_n(t) \cdot e^{jn\omega_0 t} \quad (3)$$

Hay ở dạng ma trận có thể viết:

$$x(t) \approx \mathbf{G}^T(t) \mathbf{X}(t) \quad (4)$$

trong đó $\mathbf{G}(t)$ biểu diễn các thành phần trực giao của $x(t)$ và $\mathbf{X}(t)$ là vectơ chứa các hệ số sóng hài của $x(t)$.

$$\mathbf{G}(t) = \begin{bmatrix} e^{-jh\omega_0 t} \\ \vdots \\ e^{-j\omega_0 t} \\ 1 \\ e^{j\omega_0 t} \\ \vdots \\ e^{jh\omega_0 t} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{X}(t) = \begin{bmatrix} X_{-h}(t) \\ \vdots \\ X_1(t) \\ X_0(t) \\ X_1(t) \\ \vdots \\ X_h(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Đối với các hệ động được mô tả bằng mô hình không gian trạng thái:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= a(t)x(t) + b(t)u(t) \\ y(t) &= c(t)x(t) + e(t)u(t) \end{aligned} \quad (6)$$

và có dạng trong miền sóng hài như sau:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}} &= \{\mathbf{A} - \mathbf{D}(j\omega_0)\} \mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{U} \\ \mathbf{Y} &= \mathbf{C}\mathbf{X} + \mathbf{E}\mathbf{U} \end{aligned} \quad (7)$$

trong đó $\mathbf{D}(j\omega_0)$ là ma trận vi phân:

$$\mathbf{D}(j\omega_0) = \text{diag}[-j\omega_0 \quad \dots \quad -j\omega_0 \quad 0 \quad j\omega_0 \quad \dots \quad j\omega_0] \quad (8)$$

và các ma trận $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{E}$ được gọi là ma trận Toeplitz có dạng sau:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} A_0 & A_{-1} & \dots & A_{-h} & & & \\ A_1 & \dots & \dots & \dots & \dots & & \\ \dots & \dots & A_0 & A_{-1} & \dots & \dots & \\ A_h & \dots & A_1 & A_0 & A_{-1} & \dots & A_{-h} \\ \dots & \dots & \dots & A_1 & A_0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{-1} \\ & & & A_h & \dots & A_1 & A_0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

3. ĐẶC TÍNH SÓNG HÀI CỦA SVC

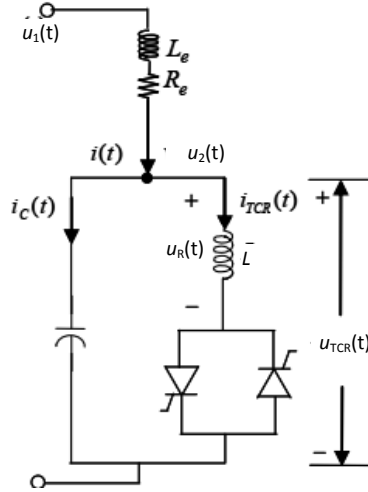
Thiết bị bù tĩnh (SVC-Static VAR compensator) có cấu tạo như hình 1 gồm cuộn kháng điều chỉnh bằng thyristor (TCR-thyristor-controlled reactor) nối song song với tụ điện (có định hoặc điều khiển) để nâng cao hiệu quả điều chỉnh điện áp, cải thiện chất lượng điện năng.

Công suất phản kháng từ SVC có thể thay đổi trong giải, từ tiêu thụ max tới phát max bằng cách thay đổi góc mở α tương ứng của thyristor trong phạm vi $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ [6].

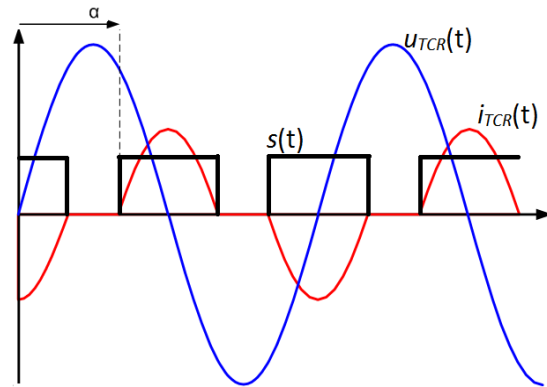
Dòng điện qua TCR, $i_{TCR}(t)$, biến thiên theo thời gian phụ thuộc góc mở của thyristor, góc mở càng lớn thì biên độ thành phần cơ bản (ở $f_0=50$ Hz) của sóng dòng điện càng nhỏ, và tương ứng là lượng sóng hài càng tăng. Độ lớn của thành phần cơ bản của dòng điện phụ thuộc góc mở van như sau:

$$I_1(\alpha) = \frac{U}{\pi X_L} (2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha) \quad (10)$$

trong đó U là giá trị hiệu dụng của điện áp $u_{TCR}(t)$, $X_L = 2\pi f_0 L$ là cảm kháng của cuộn kháng, L là điện cảm của nó.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của SVC



Hình 2. Quan hệ dòng và áp TCR

Các thành phần sóng hài cũng là hàm của góc mở của thyristor có thể được tính như sau :

$$I_h(\alpha) = \frac{4U}{\pi X_L} \frac{h \cdot \sin \alpha \cdot \cos h\alpha - \cos \alpha \cdot \sin h\alpha}{h(h^2 - 1)} \quad (11)$$

trong đó $h = 2k + 1$, ($k = 1, 2, 3, \dots$) là bậc sóng hài.

Theo luật Kierhoff điện áp, điện áp của

cuộn kháng là:

$$u_R(t) = L \frac{di_{TCR}(t)}{dt} \quad (12)$$

Mặt khác, $u_R(t)$ có thể được biểu diễn theo hàm cắt $s(t)$ (hình 2) của các van [1]:

$$u_R(t) = s(t)u_{TCR}(t) \quad (13)$$

Kết hợp (12) và (13), biểu diễn trên miền sóng hài ta có quan hệ giữa các đại lượng của TCR:

$$\mathbf{I}_{TCR} = \mathbf{Y}_{TCR} \mathbf{U}_{TCR} \quad (14)$$

trong đó $\mathbf{Y}_{TCR} = \frac{1}{L} \mathbf{D}^{-1}(j\omega_0) \mathbf{S}$ là ma trận tổng dẫn của TCR.

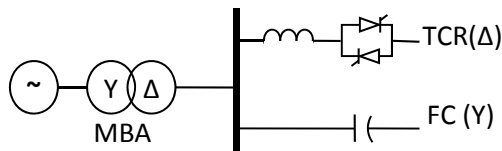
Kết hợp với bộ tụ bù cố định, ta sẽ tính được tổng dẫn của bộ SVC là:

$$\mathbf{Y}_{SVC} = \mathbf{Y}_{TCR} + \mathbf{Y}_C \quad (15)$$

trong đó $\mathbf{Y}_C = C \mathbf{D}(j\omega_0)$ là ma trận tổng dẫn của tụ và C là điện dung của nó.

4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Phần mềm Matlab được sử dụng làm công cụ hỗ trợ cho quá trình mô phỏng. Mô hình trong hình 3 bao gồm một MBA 250 MVA 220/23kV, tổ đấu dây Y/ Δ , $u_N\%=30$, tỉ số X/R=10; bộ tụ bù tĩnh 3 pha đấu Y (FC) có $Q_{FC}=50\text{MVar}$; bộ TCR 3 pha đấu Δ có $Q_{TCR}=100\text{MVar}$.



Hình 3. Mô hình lưới điện mô phỏng

Phương trình mô tả mạch tương đương được mô phỏng như sau:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{11} & \mathbf{Y}_{12} \\ \mathbf{Y}_{21} & \mathbf{Y}_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{U}_1 \\ \mathbf{U}_2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

trong đó:

$\mathbf{Y}_{ij}$ là ma trận thành phần của tổng dẫn máy biến áp trong miền sóng hài ($i=1,2$; $j=1,2$) [8];

$\mathbf{U}_1, \mathbf{I}_1$ là điện áp và dòng điện phía sơ cấp MBA qui đổi về phía thứ cấp;

$\mathbf{U}_2, \mathbf{I}_2$ là điện áp và dòng điện phía thứ cấp của MBA, tức phía đầu nối SVC, và được coi là tải của MBA:

$$\mathbf{I}_2 = -\mathbf{Y}_{SVC} \cdot \mathbf{U}_2 \quad (17)$$

Với $\mathbf{Y}_{SVC}$ là tổng dẫn SVC trong miền sóng hài.

Thay (17) vào (16) và biến đổi ta được:

$$\mathbf{U}_2 = -(\mathbf{Y}_{22} + \mathbf{Y}_{SVC})^{-1} \cdot \mathbf{Y}_{21} \cdot \mathbf{U}_1 \quad (18)$$

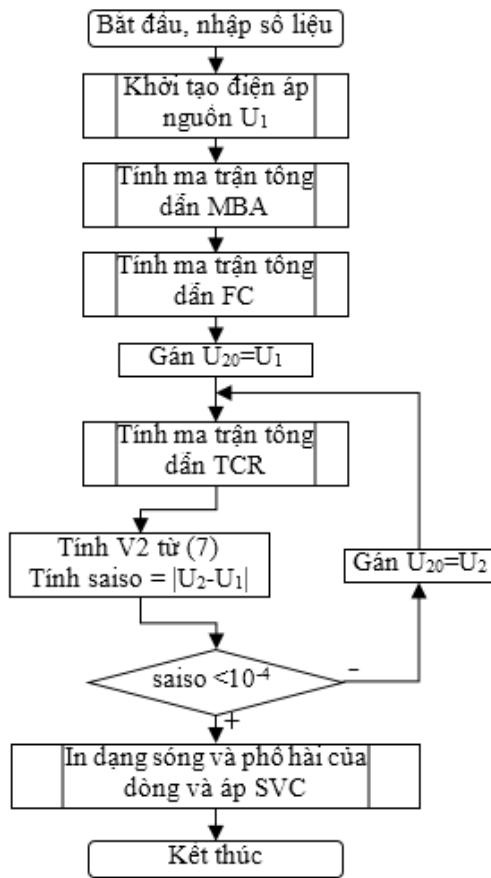
Vì $\mathbf{Y}_{SVC}$ là một hàm của điện áp $\mathbf{U}_2$ nên cần tiến hành lặp để giải (18).

Sơ đồ khối mô phỏng cho mô hình lưới điện hình 3 được mô tả trong hình 4, tất cả các mô đun tạo nguồn điện áp, tính tổng dẫn của các phần tử trong miền sóng hài đều được thiết lập trong các chương trình con. Bài toán được thực hiện lặp Gauss-Seidel với sai số 10^{-4} cho phép tính $\mathbf{U}_2$ với giả thiết giữ $\mathbf{U}_1$ là không đổi.

Để khảo sát đặc tính sóng hài của SVC, ta xét trường hợp vận hành lý tưởng khi nguồn là 3 pha đối xứng và góc mở các Thyristor của TCR các pha bằng nhau, và 3 trường hợp không lý tưởng để so sánh:

- Trường hợp 1 (TH1): điều kiện lý tưởng khi điện áp nguồn là sin chuẩn, TCR có góc mở của van là 110° ;

- Trường hợp 2 (TH2): TCR có góc mở của van là 110° , điện áp nguồn mất đối xứng với tỉ lệ biên độ và góc pha sóng điện áp các pha thay đổi như sau (p.u): $\underline{U}_a = 0,98 \angle 10^\circ$, $\underline{U}_b = 1,1 \angle -120^\circ$, $\underline{U}_c = 1,0 \angle 125^\circ$.
- Trường hợp 3 (TH3): điện áp nguồn là sin chuẩn, TCR có góc mở van các pha tương ứng là 110° , 100° , 112° .
- Trường hợp 4 (TH4): TCR có góc mở van các pha tương ứng là 110° , 100° , 112° và điện áp nguồn bị nhiễu sóng hài bậc 5 với biên độ là 5%.



Hình 4. Sơ đồ khối mô phỏng

Kết quả mô phỏng cho TH1 có thể được có thể quan sát trên hình 5, Các sóng hài xuất hiện chủ yếu là $3k \pm 1$; tức bậc 5, 7, 11, 13... trong đó lớn nhất là sóng hài bậc

5, và giảm dần cho các thành phần khác như công thức (11).

Các trường hợp khác có thể quan sát trong hình 6. So sánh và đối chiếu với TH1, do tính chất không cân bằng của nguồn và của góc mở các van bán dẫn, xuất hiện thành phần không cân bằng của sóng hài bội 3 ($3k$) ở phía đầu ra TCR mặc dù nó được đấu Δ , trong đó thành phần bậc 3 với biên độ tương đối lớn, xấp xỉ sóng hài bậc 7.

Trong các trường hợp được khảo sát, sóng hài của bộ TCR hầu như không dao động xung quanh 10% với sóng hài bậc 5. Tuy nhiên trong TH4 (hình 6c) thì tỉ lệ sóng hài bậc 5 trong dòng TCR giảm hơn các trường hợp khác. Đồng thời lượng hài bậc 5 tương ứng ở các pha của các tín hiệu dòng điện trên FC cũng giảm. Điều này có thể lý giải sóng hài bậc 5 từ nguồn tới, ngược chiều và có xu hướng làm giảm sóng hài đặc tính bậc 5 của bộ TCR.

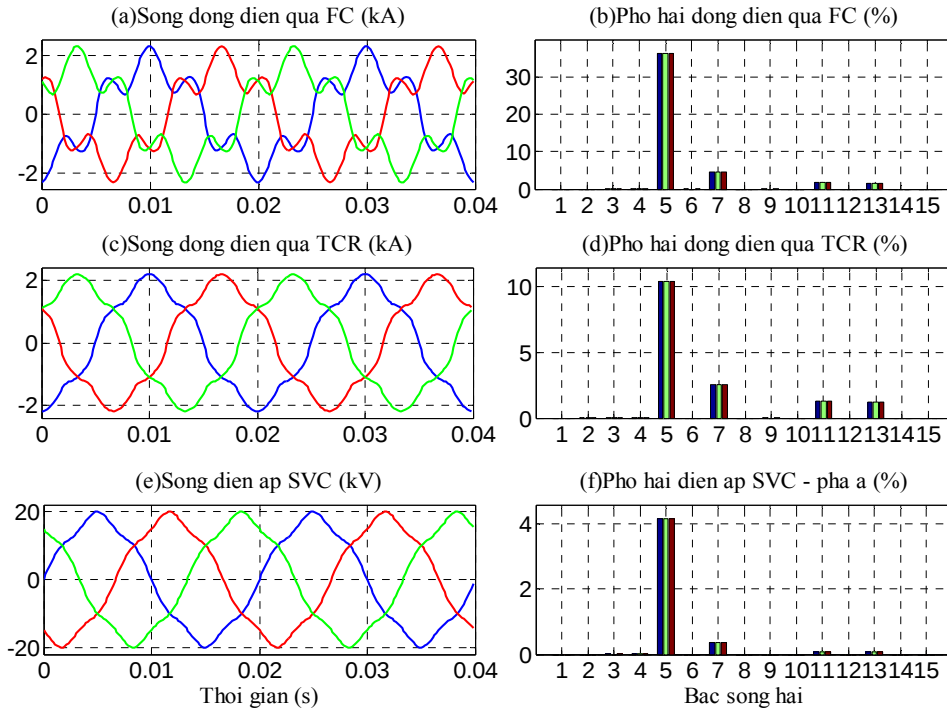
Trong các trường hợp đó thì TH2 là sự không cân bằng nguồn điện áp lưới điện có ảnh hưởng lớn nhất (hình 6a), làm mất cân bằng lớn giữa các pha và làm sóng hài dòng điện qua FC tăng cao nhất, ảnh hưởng mạnh tới các sóng hài đặc tính lẻ.

TH3 với góc mở van các pha không đồng bộ không gây biến động quá nhiều tới sóng hài đặc tính bậc lẻ, tuy nhiên lại làm tăng các sóng hài bội ba (hình 6b). Các sóng hài bội 3 cần đặc biệt quan tâm vì nó có thể làm phát nóng các dây trung tính hoặc làm nhiều nhiều hơn các thiết bị khi có nối đất.

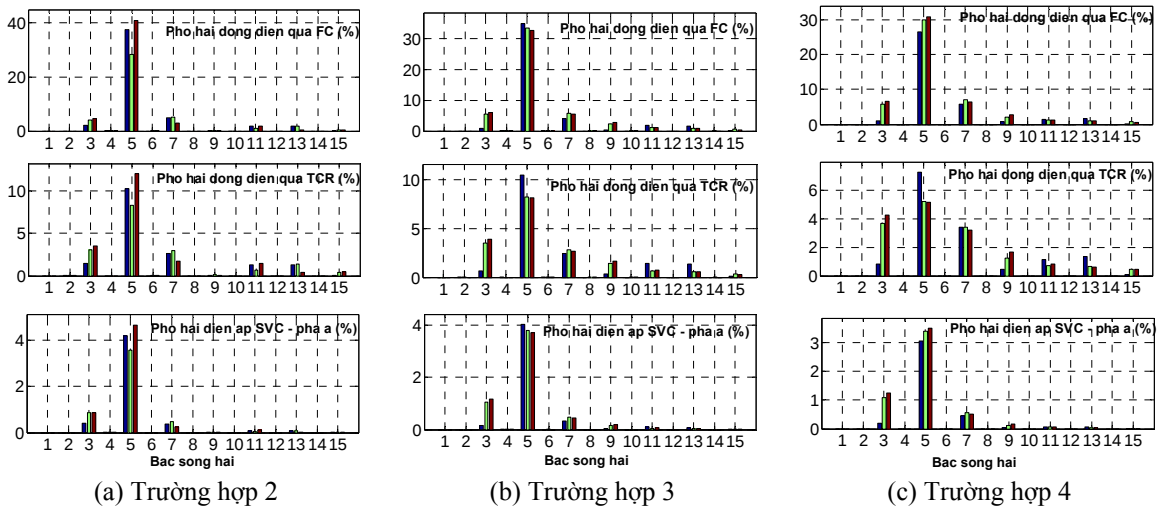
Trong vận hành thực tế, SVC phát công suất tương ứng với nhu cầu điều chỉnh điện áp, và được thể hiện thông qua góc mở của TCR. Khi góc mở thay đổi, về cơ bản thì các bậc sóng hài là không đổi

nhưng tỉ lệ của chúng có thể thay đổi nhiều. Như trong hình 7, khi góc mở dưới 120° thì sóng hài bậc 5 là lớn nhất, cho đến khoảng dưới 140° thì sóng hài bậc 7 lại tăng cao hơn. Tỉ lệ các thành phần hài

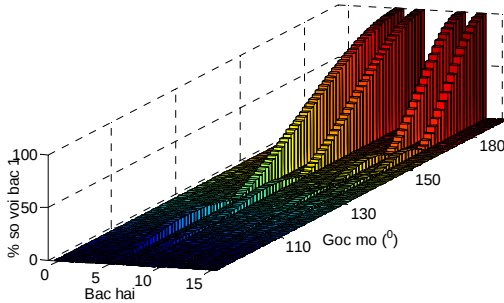
bắt đầu tăng cao khi góc mở tiến dần tới 180° và khi đó sự sai lệch giữa các thành phần cũng giảm dần. Điều đó có thể được tiến hành phân tích cụ thể hơn để thiết kế các bộ lọc sóng hài.



Hình 5. Dạng sóng và phổ hài điện áp SVC và dòng qua các bộ phận ở TH1



Hình 6. Phổ hài điện áp SVC và dòng qua các bộ phận ở các trường hợp không lý tưởng (trục tung là % sóng hài so với bậc 1, trục hoành là bậc sóng hài)



Hình 7. Tỷ lệ các thành phần hài khi góc mở TCR thay đổi

5. KẾT LUẬN

Kỹ thuật mô phỏng trên miền sóng hài đã cho thấy hiệu quả trong việc mô phỏng và khảo sát cả dạng sóng tín hiệu và phổ tần số của nó.

Trên miền sóng hài, các dạng sóng và phổ tần sóng hài của các đại lượng dòng điện và của bộ SVC đã được phân tích. Rõ ràng rằng trong các trường hợp vận hành không lý tưởng, sự không cân bằng điện áp các pha của nguồn điện sẽ dẫn tới ảnh hưởng chính tới các sóng hài đặc tính bậc lẻ, trong khi sự làm việc không đối xứng của các van bán dẫn sẽ có ảnh hưởng nhiều hơn đến các sóng hài bội 3. Trong khi đó, nếu lưới điện có sóng hài truyền về trùng với sóng hài đặc tính của SVC lại có xu hướng làm giảm sóng hài của bộ SVC.

Kết quả khảo sát qua mô phỏng là cơ sở ban đầu cho việc đề xuất các giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng của sóng hài, lý giải cho việc xuất hiện bộ lọc sóng hài bậc 3 trong khi sóng hài đặc tính chủ yếu là bậc 5 và bậc 7.

PHỤ LỤC

```
% Code cho trường hợp 1
Sn=250; uN=30; X_R=15;
V2n=23; % Kv
w=2*pi*50;
Sncap=50; % MVAR
Snrea=100;
alph_a=110*pi/180;
alph_b=110*pi/180; alph_c=110*pi/180
Xt = (uN/100)*V2n^2/Sn; % Ohm,
Rt = Xt/X_R;
Xcap = V2n^2/Sncap;
Xrea = V2n^2/Snrea;
h=15; cycles=2;
Vap=V2n*sqrt(2/3);
Vbp=V2n*sqrt(2/3); Vcp=V2n*sqrt(2/3);
Va=Vap*[1]; num_ha=[1]; pha=0*num_ha;
[Va1]=source_V1f(Va, pha, h, num_ha);
Vb=Vbp*[1]; num_hb=[1]; phb=-
120*num_hb;
[Vb1]=source_V1f(Vb, phb, h, num_hb);
Vc=Vcp*[1]; num_hc=[1];
phc=120*num_hc;
[Vc1]=source_V1f(Vc, phc, h, num_hc);
V1=[Va1;Vb1;Vc1];
[Va2]=source_V1f(Va, pha-30, h, num_ha);
[Vb2]=source_V1f(Vb, phb-30, h, num_hb);
[Vc2]=source_V1f(Vc, phc-30, h, num_hc);
V20=[Va2;Vb2;Vc2];
[Yt11,Yt12,Yt21,Yt22]=transf(Rt,Xt,h)
Ycap=inv(form_Zm(0,-Xcap,h));
Ycap_Ss=[Ycap 0 0; 0 Ycap 0; 0 0 Ycap];
error=1; iter=0;
while error>0.0001 Ytcr_D=calc_TCR
(Va2,Vb2,Vc2,alph_a,alph_b,alph_c,w,X
rea,h);
Ysvc=Ytcr_D+Ycap_Ss;
V2=-inv(Yt22+Ysvc)*Yt21*V1;
error=norm(V2-V20);
Va2=V2(1:2*h+1);
Vb2=V2(2*h+2:4*h+2);
Vc2=V2(4*h+3:6*h+3);
V20=V2;
end
I1=(Yt11*V1+Yt12*V2);
I2=Ysvc*V2;
Ifc=-Ycap_Ss*V2;
Itr=Ytcr_D*V2;
```

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Enrique Acha, Manuel Madrigal, Power Systems Harmonics: Computer Modelling and Analysis, Wiley-IEEE Press, United State of America, 1st edition, 2001.

- [2] J.J. Rico, et al., Harmonic domain modelling of three phase thyristor-controlled reactors by means of switching vectors and discrete convolutions, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, no.3, July 1996.
- [3] Uriel Vargas, Abner Ramirez, Reformulating Extended Harmonic Domain Models for Accurate Representation of Harmonics Dynamics, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.31, no.6, 2016.
- [4] Abner Ramirez, The Modified Harmonic Domain: Interharmonics, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.26, no.1, January 2011.
- [5] Ehsan Karami, et al., A Step Forward in Application of Dynamic Harmonic Domain: Phase Shifting Property of Harmonics, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.32, no.1, 2017.
- [6] Fatma Rabea, and others, Implementation of a Simplified SVC Model into Newton-Raphson Load Flow Algorithm, International conference on Innovative trend in computer engineering (ITCE2018), Aswan University, Egypt, p. 374 – 379, 2018.
- [7] R. Mohan Mathur, Rajiv K. Varma, Thyristor-based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems, Wiley-IEEE Press, United State of America, 1st edition, 2002.
- [8] Maria Luiza Viana Lisboa, Three-phase Three-limb Transformer models in the harmonic domain, Thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy in Electrical and Electronic Engineering at the University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 30 October 1996.
- [9] Tổng sơ đồ qui hoạch điện VII.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Phúc Huy tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội vào các năm 2003 và 2010. Năm 2015 nhận bằng Tiến sĩ ngành hệ thống điện và tự động hóa tại Trường Đại học Điện lực Hoa Bắc, Bắc Kinh, Trung Quốc.

Lĩnh vực nghiên cứu: chất lượng điện năng, ứng dụng điện tử công suất, độ tin cậy của hệ thống điện.

