

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/269633987>

Active power filter design for current harmonics reduction and reactive power compensation for induction melting furnace power

Article *in* Journal of Science and Technology · January 2009

READS

128

1 author:



[Kim-Anh Nguyen](#)

Danang University of Technology

13 PUBLICATIONS 9 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

THIẾT KẾ BỘ LỌC TÍCH CỰC CHO VIỆC GIẢM HÀI DÒNG ĐIỆN VÀ BÙ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG CHO NGUỒN LÒ NẤU THÉP CẢM ỨNG

AN ACTIVE FILTERS DESIGN FOR THE REDUCTION OF CURRENT
HARMONIC AND THE COMPENSATION OF REACTIVE POWER
FOR INDUCTION MELTING FURNACE POWER

Bùi Quốc Khánh

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Nguyễn Kim Ánh

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

TÓM TẮT

Sóng hài dòng điện, điện áp gây ra rất nhiều vấn đề cho hệ thống truyền tải điện. Nguyên nhân của sóng hài này là do tính chất phi tuyến của phụ tải gây ra. Trong thực tế, có rất nhiều loại tải gây ra sóng hài, trong đó có lò nấu thép. Nếu như lò hồ quang điện là thiết bị gây ra méo dạng (THD) điện áp thì lò nấu thép cảm ứng (IF) là thiết bị gây ra méo dạng dòng điện, đặc biệt là lò nấu thép cảm ứng nguồn dòng. Đặc điểm của lò là loại tải công suất lớn, mức độ phi tuyến mạnh và là gánh nặng cho nguồn cung cấp về công suất phản kháng (CSPK). Bài báo này đi nghiên cứu sự ảnh hưởng của IF lên nguồn cung cấp và trên cơ sở đó thiết kế bộ lọc tích cực song song (AF) để làm nhiệm vụ triệt tiêu sóng điều hòa dòng điện bậc cao và bù CSPK cho nguồn lò.

ABSTRACT

Both the current harmonic and the voltage harmonic are the factors that cause many problems to an electric power system. The reasons for this harmonic are the non-linear characteristics of the loads. In reality, the harmonic is caused by many kinds of loads, including a steel melting furnace. An electric arc furnace often causes a very high THD voltage, while an induction steel melting furnace (IF) causes a very high THD current, especially a current source induction melting furnace. This furnace is a kind of load with high power and strong non-linear rate, which increases reactive power in the supplying of power. This article deals with how supply power is influenced by IF. On this basis, shunt active filters (AF) are designed so as to eliminate high current harmonizing wave and compensate reactive power for the induction melting furnace power.

1. Đặt vấn đề

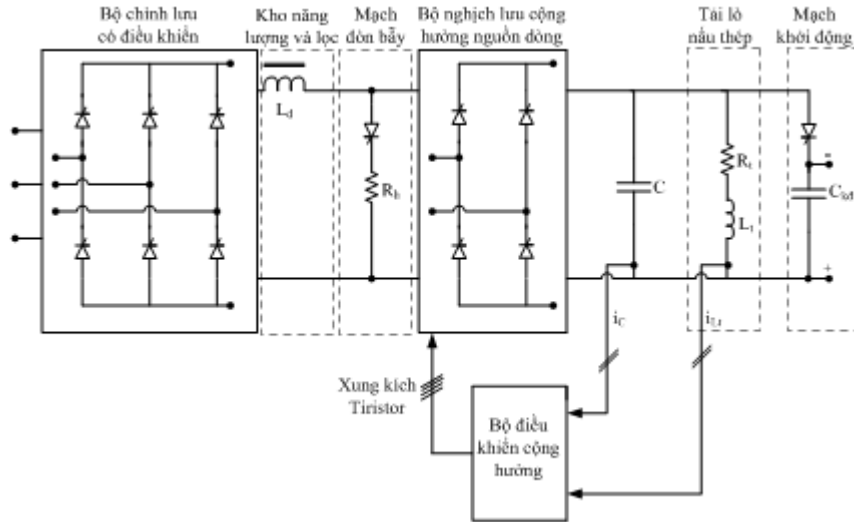
Lò cảm ứng được chú ý chính là do hiệu suất gia nhiệt nhanh, giảm mức độ ô xi hóa của vật liệu trong quá trình nấu. So với lò hồ quang điện, lò cảm ứng có thể cải tiến được điều kiện làm việc cũng như việc điều khiển một cách chính xác công suất cấp vào lò, thông qua đó có thể nâng cao được chất lượng của sản phẩm.

Mô hình hệ thống cung cấp điện cho lò nấu thép cảm ứng nguồn dòng được thể hiện ở Hình 1. Các thông số của mô hình:

- Điện áp cấp vào phía chỉnh lưu: 220(V), 50(Hz)

- Điện áp, tần số, công suất định mức trên tải: 1500(V), 900(Hz), 750(kW)

Trong hệ thống này bao gồm nguồn cấp, bộ chỉnh lưu cầu ba pha có điều khiển, bộ nghịch lưu cộng hưởng nguồn dòng, bộ phát xung điều khiển cộng hưởng, tải lò nấu thép cảm ứng và các mạch phụ trợ.



Hình 1. Sơ đồ cung cấp điện cho tải lò nấu thép cảm ứng nguồn dòng

Vấn đề về cảm ứng nhiệt của vật liệu sắt từ khá phức tạp và rất mạnh (tạo ra dòng điện xoáy, sự truyền nhiệt, chuyển pha và ép máy tạo ứng suất nhiệt [3]), do đó tải lò cảm ứng là một đối tượng phức tạp và phi tuyến mạnh. Ngoài ra trong hệ thống nguồn cung cấp còn có bộ chỉnh lưu 6 xung đo đó hài do nó tạo có bậc 5,7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31,... là rất lớn, ngoài ra do tính chất của tải lò cảm ứng nguồn dòng nên có hệ số công suất rất thấp $0.2 \div 0.5$ [1].

Để khắc phục hiện tượng trên thì cần phải triệt tiêu các thành phần xoay chiều bậc cao và bù CSPK. Có nhiều phương pháp khác nhau để thực hiện việc này nhưng việc sử dụng bộ lọc tích cực (AF: active filter) là giải pháp hợp lý và tiên tiến nhất hiện nay.

2. Xây dựng cấu trúc và thuật toán điều khiển cho AF

2.1. Thuyết công suất tức thời $p-q$

Akagi, Kanazawa và Nabae (1983) lần đầu tiên công bố những nghiên cứu của mình bằng tiếng Anh. Tuy nhiên nó chỉ được biết đến ở phạm vi toàn thế giới sau lần công bố thứ hai vào năm 1984. Ngày nay, thuyết này đã được phổ biến, có độ mềm dẻo cao, nó là cơ sở cho việc xây dựng thuật toán cho các bộ lọc tích cực. Điểm thú vị của thuyết là có thể tách biệt thành phần dao động của p và q thông qua việc cắt bỏ đi những tín hiệu có tần số nào đó. Thuộc tính cắt bỏ hay giữ lại những tín hiệu có tần số mong muốn rất linh hoạt, cho phép tổng hợp các bộ lọc tích cực mà thuộc tính này không bao giờ bộ lọc thụ động đạt đến được.

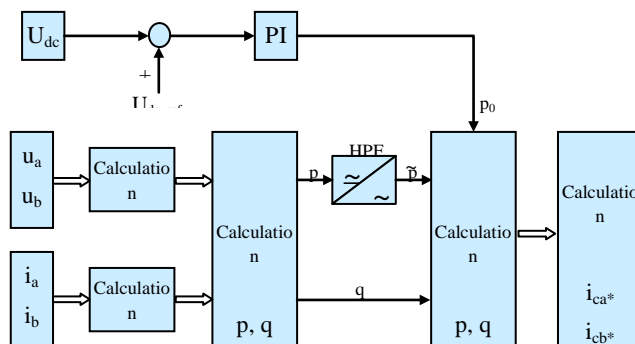
Các bước để xác định dòng bù cần thiết theo phương pháp này được tiến hành như sau:

Trước hết tính toán dòng điện và điện áp trong hệ tọa độ $\alpha\beta$ từ hệ tọa độ abc theo các công thức (1) và (2):

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

Tương tự ta có:

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2)$$



Hình 2. Thuật toán điều khiển dựa trên thuyết $p - q$

Với hệ thống 3 pha không có dây trung tính thì thành phần i_0 không tồn tại ($i_a+i_b+i_c=0$) do đó (1), (2) có thể viết như sau:

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (3) \quad \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

Từ (3) và (4) ta tính được công suất tải:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

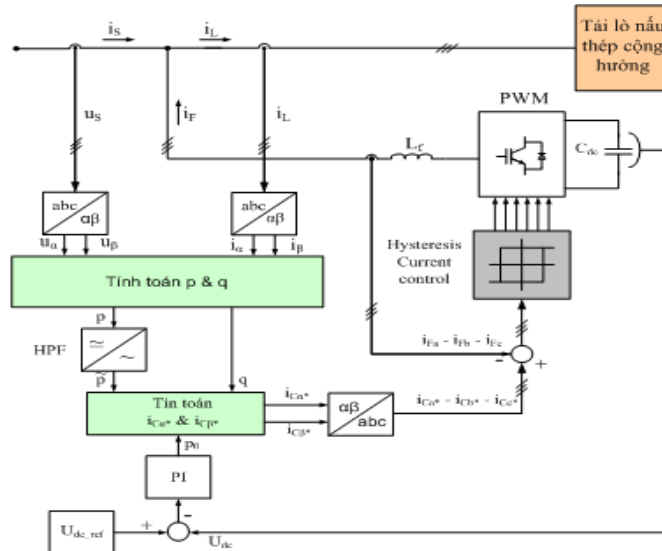
Công suất tác dụng (CSTD) p , công suất phản kháng (CSPK) q có thể tách thành hai thành phần: thành phần \bar{p} , \bar{q} tương ứng với thành phần cơ bản của dòng tải; thành phần dao động \tilde{p} , \tilde{q} tương ứng với thành phần điều hòa bậc cao.

$$P_{3-phase} = p + q = \bar{p} + \tilde{p} + \bar{q} + \tilde{q}$$

$P_{3\text{-phase}}$ là tổng công suất tức thời xác định bởi tải;

p là CSTD của $P_{3\text{-phase}}$;

q là CSPK của $P_{3\text{-phase}}$.



Hình 3. Cấu trúc điều khiển bộ lọc tích cực

Nguồn chỉ cung cấp thành phần công suất DC của tải và công suất tổn hao của bộ biến đổi. Bộ lọc tích cực có nhiệm vụ cung cấp thành phần công suất AC \tilde{p} của p và CSPK q . Tùy theo yêu cầu của bộ lọc có yêu cầu kết hợp bù CSPK hay không mà thành phần $q \neq 0$ hay $q=0$.

Khi đó ta có công suất cung cấp bởi bộ lọc:

$$\begin{bmatrix} \tilde{p} \\ q \end{bmatrix} = \frac{1}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \begin{bmatrix} u_\alpha & -u_\beta \\ u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (6)$$

Từ (5) và (6) ta có dòng cần bù:

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha}^* \\ i_{c\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \begin{bmatrix} u_\alpha & -u_\beta \\ u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{p} \\ -q \end{bmatrix} \quad (7)$$

Tuy nhiên do điện áp trên tụ là không ổn định do đó để đảm bảo điện áp trên tụ là không đổi thì nguồn cần cung cấp một công suất p_0 để duy trì điện áp trên tụ không đổi. Khi đó từ (7) ta có:

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha}^* \\ i_{c\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \begin{bmatrix} u_\alpha & -u_\beta \\ u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{p} + p_0 \\ -q \end{bmatrix} \quad (8)$$

Đây là công thức tính dòng bù cần thiết trong hệ $\alpha\beta$ khi kết hợp cả chức năng lọc sóng điều hòa và bù CSPK.

Từ dòng bù tính được trong hệ tọa độ $\alpha\beta$ ta tính được dòng cần bù trong hệ abc từ (4) và (8):

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \\ i_{cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c\alpha}^* \\ i_{c\beta}^* \end{bmatrix} \quad (9)$$

2.2. Xây dựng thuật toán và cấu trúc điều khiển cho AF

Thuật toán điều khiển cho AF: Từ cơ sở ở Mục 2.1 ta có thuật toán điều khiển AF theo thuyết công suất tức thời p–q như Hình 2. Mục đích cuối cùng của thuật toán này là tìm ra dòng bù cần để làm giá trị đặt cho các bộ điều khiển dòng bang -bang (hysteresis current control).

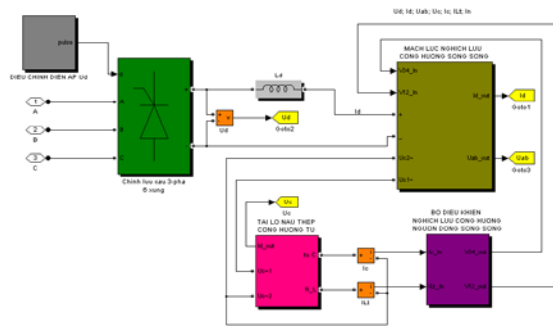
Cấu trúc điều khiển cho AF: bộ lọc tích cực và chỉnh lưu PWM (Pulse Width Modulation) có cấu trúc phần cứng giống hệt nhau gồm bộ biến đổi nguồn áp và tụ điện một chiều, do đó về nguyên lý ta có thể sử dụng chỉnh lưu PWM để thực hiện chức năng của bộ lọc tích cực.

Trong cấu trúc này chỉnh lưu PWM thực hiện cả chức năng lọc sóng điều hòa bậc cao và bù CSPK. Sơ đồ cấu trúc điều khiển như Hình 3.

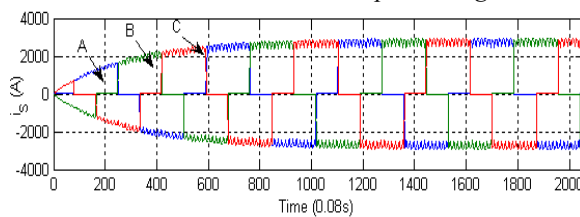
Để đảm bảo nguồn một chiều cấp cho biến đổi có giá trị ổn định, một bộ điều chỉnh điện áp được sử dụng. Để kiểm chứng thuật toán và cấu trúc điều khiển, ở phần tiếp theo ta tiến hành mô phỏng hệ thống trên phần mềm matlab/simulink đối với trường hợp tải không có AF và trường hợp tải có AF.

3. Mô phỏng lò nấu thép cảm ứng kết hợp với AF

3.1. Mô phỏng lò nấu thép cảm ứng với trường hợp chưa có AF



Hình 4. Mô hình lò nấu thép cảm ứng



Hình 5. Dòng điện nguồn cung cấp

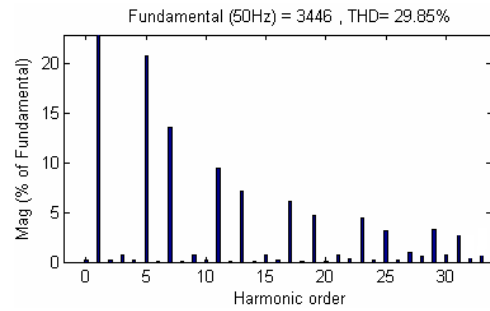
Phân tích dòng điện pha A: đối chiếu với tiêu chuẩn IEEE std 519 và IEC 1000-

Hình 4 là sơ đồ hệ thống cung cấp điện cho tải lò bao gồm: khối chỉnh lưu cầu 3 pha điều khiển toàn phần, khối lọc dòng điện và kho năng lượng, khối nghịch lưu cộng hưởng (NLCH) nguồn dòng song song, khối tải lò nấu thép cảm ứng và tụ điện C mắc song song với tải lò, khối điều khiển NLCH.

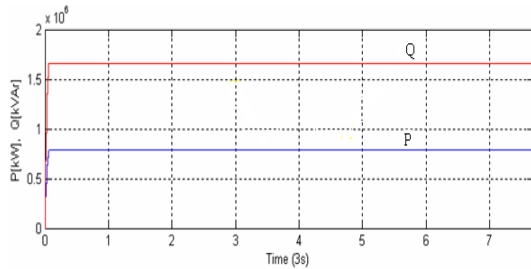
Dòng điện 3 pha phía nguồn cung cấp: được thể hiện ở Hình 5, ta nhận thấy dòng trên lưới đã bị méo dạng đi rất nhiều do chứa nhiều thành phần dòng điều hòa bậc cao. Tiếp theo ta phân tích phổ dòng trên pha A, từ đó đánh giá các thành phần điều hòa bậc cao trong dòng điện nguồn.

3-4 ta thấy hệ số méo dạng dòng điện THD = 29.85% (kết quả như Hình 6) vượt xa trị số quy định trong bảng tiêu chuẩn là hệ số THD phải nhỏ hơn 5%.

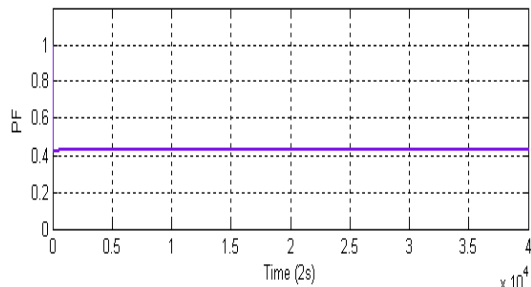
Công suất và hệ số công suất (PF) trước khi AF tác động: từ kết quả đo công suất ở Hình 7, ta thấy CSTD khoảng 0.76MW thì CSPK khoảng 1.7MVar. Do đó hệ số công suất của tải rất thấp khoảng 0.41 được thể hiện như Hình 8.



Hình 6. HÀi dòng điện nguồn pha A

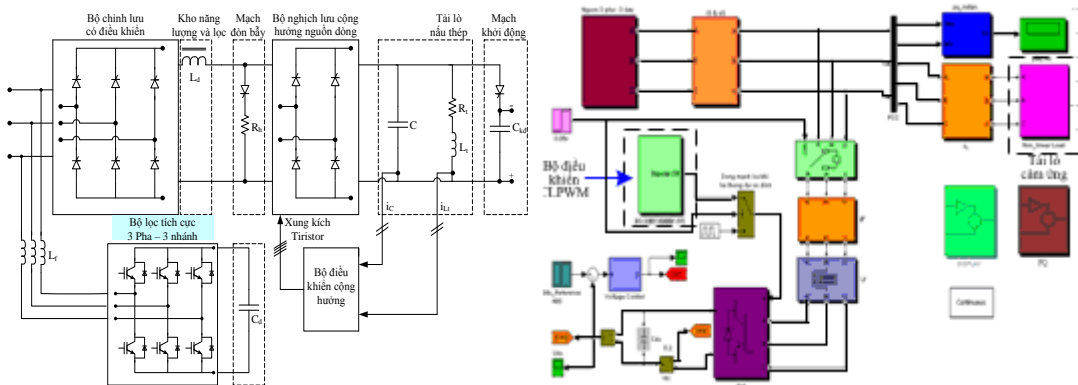


Hình 7. CSTD và CSPK của tải lò

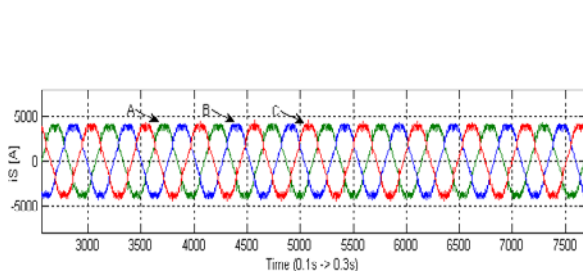


Hình 8. Hệ số công suất của nguồn cấp

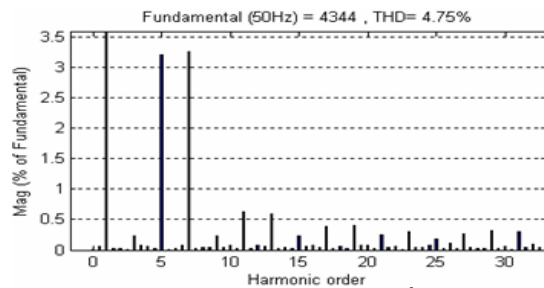
3.2. Mô phỏng lò nấu thép cảm ứng với trường hợp ghép thêm AF



Hình 9. a) Tải lò cảm ứng đã lắp thêm AF b) Mô hình hóa hệ thống ở hình a



Hình 10. Dòng điện nguồn sau khi AF tác động



Hình 11. HÀi dòng điện nguồn pha A sau khi AF tác động

Dòng điện 3 pha phía nguồn cung cấp: dòng điện nguồn (phía trước điểm kết nối chung) ở Hình 10 so với đồ thị dòng điện 3 pha của nguồn ở Hình 5 thì đồ thị dòng

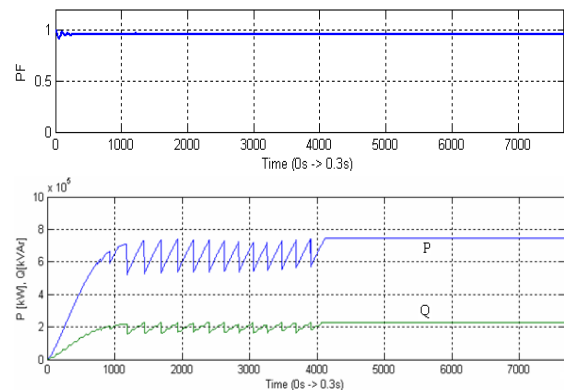
điện nguồn sau khi AF tác động có dạng hình sin hơn, nghĩa là các thành phần dòng điều hòa bậc cao đã giảm đi đáng kể.

Phân tích dòng điện pha A: từ kết quả phân tích ở Hình 10 ta nhận thấy khi tải lò đã đi vào làm việc ổn định, hệ số méo dạng dòng điện THD là 4.75%. Đối chiếu với tiêu chuẩn IEEE std 519 ta thấy hệ số THD thỏa mãn tiêu chuẩn (<5%). Bảng 1 sẽ thể hiện chi tiết các thành phần sóng điều hòa bậc cao tương ứng với trường hợp trước và sau khi AF tác động. Các giá trị của các thành phần sóng điều hòa trong bảng này cũng thỏa mãn tiêu chuẩn IEC 1000-3- 4. Như vậy bộ lọc đã đáp ứng tốt yêu cầu lọc sóng điều hòa bậc cao.

Bảng 1. Giá trị các thành phần hài dòng điện nguồn trước và sau khi AF tác động

Bậc hài	Tỷ lệ các thành phần hài (%)		Bậc hài	Tỷ lệ các thành phần hài (%)	
	Trước	Sau		Trước	Sau
DC	0.29	0.01	16	0.03	0.04
1	100.00	100.00	17	6.00	0.36
2	0.25	0.00	18	0.01	0.06
3	0.51	0.19	19	4.85	0.43
4	0.12	0.04	20	0.02	0.14
5	20.65	3.20	21	0.48	0.24
6	0.04	0.06	22	0.02	0.07
7	13.62	3.31	23	4.43	0.33
8	0.06	0.06	24	0.00	0.01
9	0.49	0.27	25	3.54	0.22
10	0.05	0.07	26	0.02	0.16
11	9.30	0.69	27	0.47	0.22
12	0.01	0.06	28	0.02	0.02
13	7.23	0.56	29	3.38	0.32
14	0.03	0.01	30	0.01	0.04
15	0.48	0.26	31	2.58	0.31

Công suất và hệ số công suất sau khi AF tác động: đồng nghĩa với việc giảm đi của CSPK Q cấp từ nguồn nên hệ số công suất PF cũng được cải thiện rõ rệt. Như Hình 12 PF có giá trị xấp xỉ 0.96.



Hình 12. CSTD, CSPK và hệ số công suất của hệ thống sau khi AF tác động

4. Kết luận

Qua quá trình tính toán và mô hình hóa bộ lọc trên phần mềm matlab/simulink, chúng ta nhận thấy với cấu trúc, phương pháp, thuật toán điều khiển đã lựa chọn cho thấy bộ lọc làm việc rất tốt (về chỉ tiêu chất lượng ổn định tĩnh, tốc độ và chất lượng đáp ứng quá độ), dòng điện sau khi lọc có độ méo dạng đạt được tiêu chuẩn cho phép của IEEE std 519 và IEC 1000-3-4, hệ số công suất PF có giá trị xấp xỉ bằng 1 nghĩa là CSPK đã được bộ lọc bù một lượng đáng kể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Trọng Minh (2008), *Giáo trình Điện tử công suất*, NXB Giáo dục, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp.
- [2] Hossein Mokhtari, Abolfazl Zebardast, Mostafa Parniani (2006), “Analysis of a TSC Failure in a Steel Mill Industry”, *Electrical Power Quality and Utilisation, Magazine Vol. II, No. 1*.
- [3] Angela, Iagăr, Abriel, Nicolae, Popa (2009), “Analysis of Electromagnets Pollution Produced by Line Frequency Coreless Induction Furnaces”, Department of Electrotechnical Engineering and Industrial Informatics Politechnica University Timișoara, Romania, Issue 1, Vol.8.
- [4] N. Belhaouchet, S. Begag, and L. Rahmani (2007), “A Digital Hysteresis current controller for three_digitalfor filter”, *4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP*.
- [5] K. L. Shi, T. F. Chan, Y. K. Wong and S. L. Ho (1999), “Modelling and simulation of the three-phase induction motor using simulink”, *Int. J. Elect. Enging. Educ.*, Vol. 36, pp. 163–172. Manchester U.P. Printed in Great Britain.