

ASSESSMENT OF D-FACTS PERFORMANCE ON POWER QUALITY MITIGATION FOR THE INDUSTRIAL DISTRIBUTION SYSTEMS WITH THE PRESENCE OF ELECTRIC ARC FURNACE

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG CỦA CÁC THIẾT BỊ D-FACTS TRONG LƯỚI CÔNG NGHIỆP CÓ Lò Hồ Quang

Nguyễn Văn Minh¹, Bạch Quốc Khánh², Phạm Việt Phương²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long, ²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Ngày nhận bài: 25/12/2017, Ngày chấp nhận đăng: 26/2/2018, Phản biện: TS. Nguyễn Đăng Toàn

Abstract:

The paper analyses a case study where D-FACTS effectiveness for power quality (PQ) mitigation in the distribution system with the presence of electric arc furnace is considered, that typically refers to PQ issues in industrial distribution systems in Vietnam now. The effectiveness is considered systematically, not only for a single load. The comparative estimation is made between using the Dynamic Voltage Restorer (DVR) and Distribution Statics synchronous Compensator (D-STATCOM) on MatLab/Simulink in IEEE 13 bus test system including an electric arc furnace. Different scenarios of DVR and D-STATCOM connecting locations are introduced for better illustrating their effectiveness of mitigating harmonics generated by the electric arc furnace operation. The results in the paper can be referred by utilities for mitigating PQ in the distribution system connected with the electric arc furnace.

Key words:

Power quality; distribution system; non-linear load; EAF; DVR; D-STATCOM.

Tóm tắt:

Bài báo phân tích một trường hợp đánh giá hiệu quả của các thiết bị D-FACTS trong việc cải thiện chất lượng điện năng (CLĐN) lưới phân phối khi có lò hồ quang điện, điển hình cho vấn đề CLĐN đang nóng hiện nay trong các lưới điện công nghiệp tại Việt Nam. Hiệu quả nâng cao CLĐN được xét cho toàn hệ thống chứ không chỉ cho riêng một phụ tải cụ thể. Việc đánh giá có tính so sánh giữa hiệu quả của việc sử dụng thiết bị phục hồi điện áp động (DVR) và thiết bị bù đồng bộ tĩnh (D-STATCOM) được thực hiện trên MatLab/Simulink sử dụng lưới điện mẫu 13 nút của IEEE và mô phỏng lò hồ quang điện dựa trên mô phỏng điện dẫn phi tuyến của hồ quang. Các kịch bản vị trí đặt DVR và D-STATCOM được đề xuất để làm rõ hiệu quả đối với khả năng hạn chế sóng hài trên lưới điện sinh ra bởi lò hồ quang điện. Bài báo có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các đơn vị cung cấp điện nhằm cải thiện CLĐN lưới phân phối có lò hồ quang điện.

Từ khóa:

Chất lượng điện năng; lưới phân phối; tải phi tuyến; lò hồ quang điện, DVR; D-STATCOM

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay ngành điện Việt Nam đang bước đầu chuyển sang vận hành theo mô hình thị trường, yêu cầu về cung cấp điện với chất lượng ngày càng nâng cao từ phía khách hàng thông qua các hợp đồng với các quy định rất cụ thể về độ tin cậy, chất lượng điện áp, tần số [1, 2]. Tuy nhiên, chất lượng điện năng (CLĐN) trong hệ thống điện luôn có nguy cơ bị làm xấu đi do nhiều nguyên nhân. Một trong các nguyên nhân cơ bản chính là việc tồn tại nhiều tải phi tuyến, đặc biệt trong các hệ thống phân phối điện [2, 3]. Gần đây, sự phát triển của công nghiệp sản xuất thép ở Việt Nam đã gây ra rất nhiều ảnh hưởng xấu đến CLĐN của lưới phân phối công nghiệp. Nguyên nhân là việc sử dụng các lò hồ quang điện - tải phi tuyến. Điện dẫn của lò hồ quang có dạng phi tuyến và biến thiên tương đối bất định gây ra những vấn đề CLĐN chính như dao động điện áp và sóng hài. Nhìn chung, công suất lò hồ quang càng lớn thì các vấn đề CLĐN trên càng trở nên trầm trọng. Trong lưới phân phối điện tại các khu công nghiệp có nhiều phụ tải gần các nhà máy sản xuất thép, sự than phiền của các khách hàng về CLĐN có những thời điểm đã trở nên rất nóng đối với các đơn vị quản lý và cung cấp điện. Việc tìm kiếm giải pháp hiệu quả nhằm hạn chế tác động xấu đến CLĐN của các lò hồ quang điện vẫn đang là vấn đề thời sự trong quản lý vận hành lưới phân phối điện hiện nay.

Ngày nay, một trong những giải pháp hiệu quả cao nhằm đảm bảo CLĐN trong lưới

phân phối là sử dụng các thiết bị D-FACTS. Các thiết bị này sử dụng bộ nghịch lưu nguồn áp VSI (Voltage Source Inverter) có thể cho phép khắc phục nhiều hiện tượng CLĐN như biến thiên điện áp, sóng hài, dao động điện áp... Đã có rất nhiều nghiên cứu ứng dụng các thiết bị D-FACTS như thiết bị phục hồi điện áp động DVR (Dynamic Voltage Restorer) nối tiếp trên đường dây [3, 4, 5] và thiết bị bù tĩnh D-STATCOM (Distribution Static Synchronous Compensator) nối song song với tải [3, 6, 7]. Tuy nhiên hiệu quả sử dụng của hai thiết bị này có thể khác nhau tùy theo các kịch bản và đối tượng áp dụng. Đến nay đã có nghiên cứu so sánh hiệu quả sử dụng DVR và D-STATCOM trong nâng cao CLĐN [8], tuy nhiên đối với các vấn đề CLĐN trong lưới phân phối gây ra bởi lò hồ quang, hiệu quả sử dụng DVR và D-STATCOM cần được kiểm chứng lại. Nhằm giúp làm sáng tỏ điều này, bài báo này sẽ phân tích so sánh hiệu quả cải thiện CLĐN của lưới phân phối điện có lò hồ quang sử dụng DVR và D-STATCOM. Bài báo sử dụng lưới phân phối IEEE 13 nút ba pha cân bằng với các tải tổng hợp cho trước [9] và tải phi tuyến là lò hồ quang. Việc mô phỏng lưới điện, lò hồ quang và các thiết bị D-FACTS trên đây với các kịch bản kết nối được xây dựng trên Matlab/Simulink.

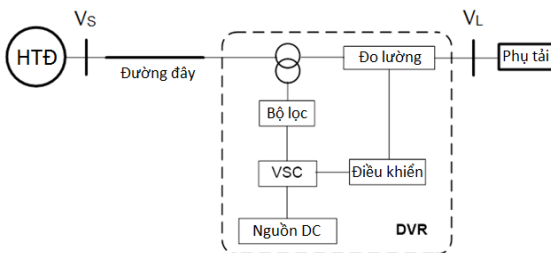
2. TỔNG QUAN VỀ CÁC THIẾT BỊ D-FACTS

Các thiết bị D-FACTS có thể xem là thiết bị FACTS được sử dụng trong lưới phân phối. Như đã giới thiệu ở phần trước, trong bài báo này sẽ xem xét

việc sử dụng hai thiết bị DVR và D-STATCOM.

2.1. Thiết bị DVR

Là một trong các thiết bị FACTS, DVR được kết nối nối tiếp trên các đoạn mạch điện với mục đích để hoặc là bảo vệ các phụ tải điện nhạy cảm với CLĐN, hoặc ngăn cản việc phát thải các vấn đề về CLĐN vào lưới điện từ một nguồn “gây ô nhiễm” về CLĐN. Một trong những ứng dụng phổ biến nhất của DVR là bảo vệ các phụ tải đối với sự kiện sụt giảm điện áp ngắn hạn do sự cố ngắn mạch trên lưới điện... Bên cạnh đó DVR cũng có thể hoạt động như một tổng trở hạn chế phát thải sóng hài và bù các dao động điện áp [3, 4, 5].



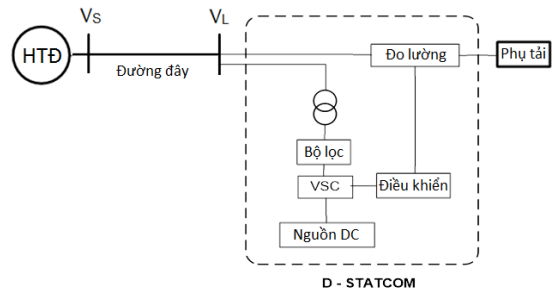
Hình 1. Sơ đồ kết nối lưới của DVR

Hình 1 biểu diễn cấu trúc cơ bản của một DVR trong trường hợp ứng dụng điển hình, được nối giữa lưới và phụ tải thông qua máy biến áp kết nối. Về mặt cấu trúc, DVR sử dụng bộ biến đổi nguồn áp (VSC) với phía một chiều có thể sử dụng nhiều dạng nguồn năng lượng. Tùy thuộc vào biên độ điện áp bảo vệ phía tải (V_L) mà DVR sẽ chèn một điện áp tương ứng, điện áp này được đo lường và so sánh với điện áp mẫu. Khi có sự chênh lệch điện áp, bộ nghịch lưu sẽ điều khiển nguồn áp để bổ sung vào một lượng điện áp bù phù

hợp nhằm đảm bảo điện áp cho đối tượng được bảo vệ. Khả năng bù điện áp phụ thuộc lớn vào năng lực (công suất) của nguồn một chiều.

2.2. Thiết bị D-Statcom

Một dạng khác của D-FACTS là thiết bị D-STATCOM. Thiết bị này được kết nối nối song song với phụ tải cần bảo vệ hoặc song song với các nguồn gây ra các vấn đề CLĐN để hạn chế sự lan truyền các vấn đề CLĐN đó. Nhờ vậy, D-STATCOM có thể khắc phục được các ảnh hưởng về CLĐN như biến thiên điện áp, không đối xứng điện áp, sóng hài và bù công suất phản kháng trên lưới điện [3, 6, 7].



Hình 2. Sơ đồ khối điển hình của D-STATCOM

Hình 2 minh họa trường hợp ứng dụng điển hình của D-STATCOM khi kết nối song song một D-STATCOM với phụ tải tại nút phụ tải kết nối với lưới điện (điểm kết nối chung - PCC). D-STATCOM được kết nối thông qua máy biến áp kết nối. Điện áp tại nút D-STATCOM nối vào (V_L) sẽ được so sánh với một giá trị mẫu. Sự khác biệt điện áp sẽ được dùng làm tín hiệu để điều khiển bộ nghịch lưu nguồn áp của D-STATCOM bơm công suất phù hợp để nâng điện áp lên giá trị mong muốn.

3. MÔ PHỎNG Lò HỒ QUANG ĐIỆN

Hồ quang điện được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp như luyện kim, sản xuất thép, hàn điện. Nhiệt lượng lớn của hồ quang được dùng để nấu chảy kim loại cho các mục đích trên đây. Các lò hồ quang điện dùng cho sản xuất thép thường có công suất lớn. Sự phi tuyến của điện dẫn hồ quang điện sẽ gây ra các vấn đề lớn về biến dạng sóng và dao động điện áp cho lưới điện và các phụ tải lân cận. Trong quá trình luyện thép sử dụng lò hồ quang, quá trình hồ quang lớn nhất xảy ra là quá trình nấu chảy kim loại. Do tính chất bất định của hồ quang và việc điều chỉnh khe hở giữa các điện cực khiến rất khó mô phỏng quá trình này. Trong các phương pháp mô phỏng lò hồ quang điện, bài báo sử dụng phương pháp mô phỏng dựa trên sự kết hợp giữa phương pháp Cassie và phương trình toán học Mayr [10]. Điện dẫn G của lò hồ quang điện trong giai đoạn nấu chảy có dạng như sau:

$$\begin{cases} G = G_{\min} + \left[1 - \exp\left(-\frac{i^2}{I_0^2}\right) \right] \frac{vi}{E_0^2} \\ + \exp\left(-\frac{i^2}{I_0^2}\right) \frac{i^2}{P_0} - \theta \frac{dG}{dt} \end{cases} \quad (1)$$

$i = G.v$

Trong đó:

i, v : Dòng điện và điện áp hồ quang;

G_{\min} : Điện dẫn ban đầu giữa các điện cực khi hồ quang chưa sinh ra;

E_0 : Điện áp hồ quang không đổi ở trạng thái xác lập;

P_0 : Tổn hao hồ quang không đổi;

I_0 : Dòng điện chuyển dịch không đổi;

θ : Hằng số thời gian của hồ quang.

Việc mô phỏng phương trình điện dẫn hồ quang (1) được [10] xây dựng trên Matlab/Simulink (hình 6) sẽ được sử dụng trong bài báo này để tạo các vấn đề về CLĐN do lò hồ quang điện sinh ra trên lưới phân phối.

4. XÂY DỰNG MÔ PHỎNG LƯỚI ĐIỆN CÓ Lò HỒ QUANG VÀ CÁC KỊCH BẢN SỬ DỤNG THIẾT BỊ D-FACTS

4.1. Lưới điện mẫu

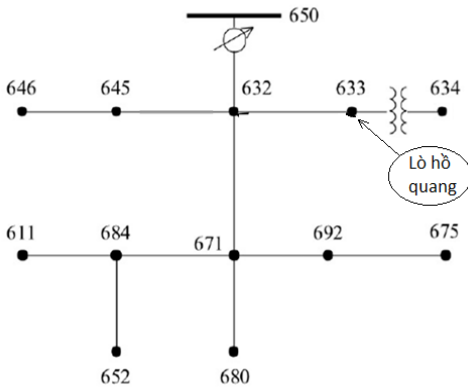
Bài báo sử dụng lưới phân phối điện mẫu 13 nút của IEEE (hình 3) đặc trưng cho lưới điện công nghiệp với một nguồn cấp (nút 650) và 12 nút tải [9]. Lò hồ quang điện được giả thiết nối vào nút 633 tương đối gần nguồn như một kịch bản thử nghiệm. Mô hình thử nghiệm này được sử dụng tương tự như lưới điện công nghiệp tại Việt Nam có lò hồ quang.

4.2. Các kịch bản lắp đặt D-FACTS

Để so sánh hiệu quả khắc phục CLĐN của các thiết bị DVR và D-STATCOM trong lưới điện có lò hồ quang điện như trên, các giả thiết sau được đề xuất:

- *Vấn đề CLĐN*: Bài báo xem xét khả năng DVR và D-STATCOM khắc phục được các vấn đề về sóng hài gây ra bởi lò hồ quang bằng cách đánh giá THD%.
- *Các kịch bản vị trí đặt DVR và D-STATCOM*: Hai trường hợp vị trí đặt được xem xét. Kịch bản đầu tiên, đặt một DVR trên nhánh 632-645 hoặc đặt một D-STATCOM tại nút 632 gần nguồn

như hình 4. Kịch bản thứ hai đặt D-STATCOM tại nút 692 xa nguồn. Đó là các vị trí có thể cho phép thấy được hiệu quả khắc phục CLĐN của các thiết bị D-FACTS này.

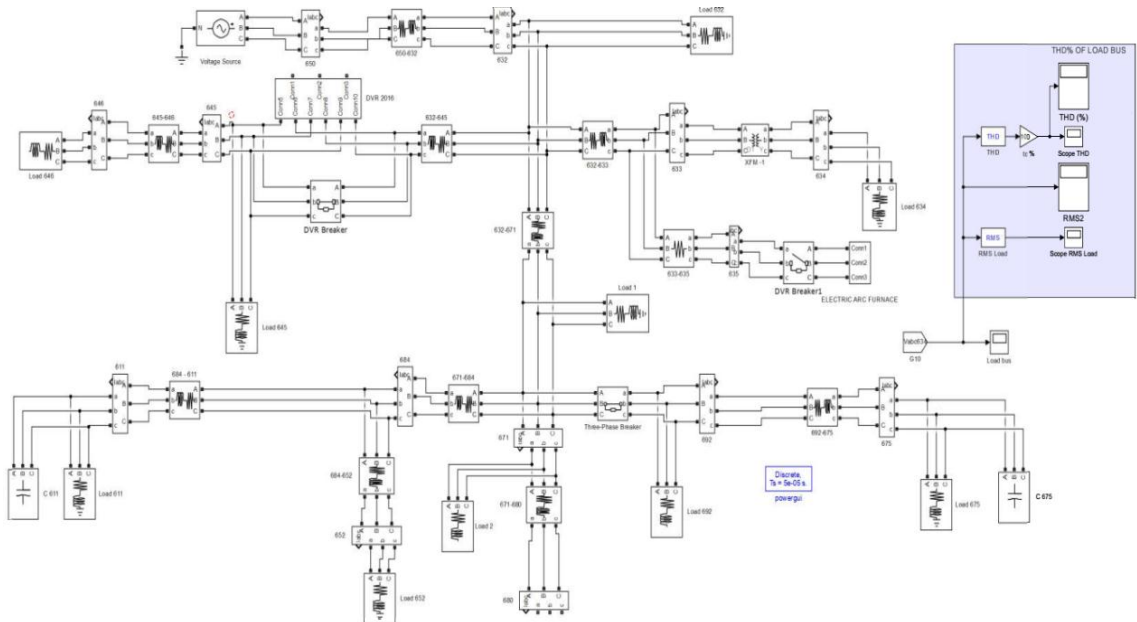


Hình 3. Lưới phân phối mẫu 13 nút

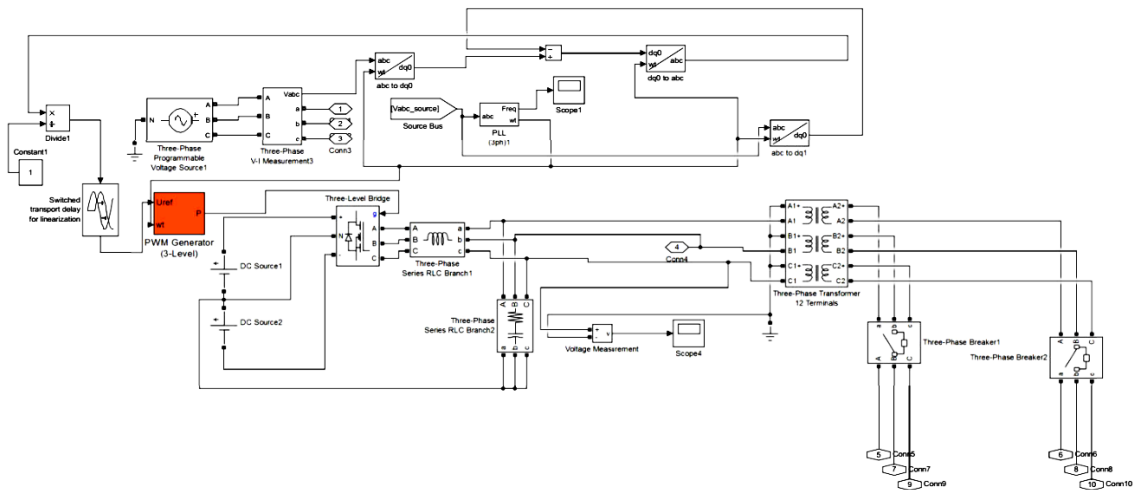
Các thông số của D-FACTS và lò hồ quang được cho như bảng 1.

Bảng 1. Lưới điện mẫu và các thiết bị D-FACTS và lò hồ quang

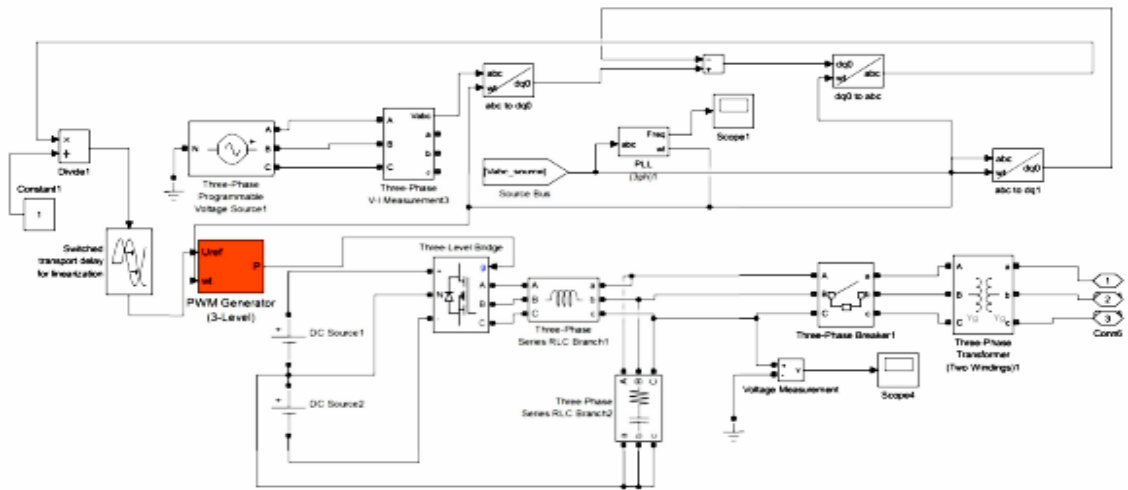
Nguồn HTĐ	12kV, 50Hz
Các tham số của DVR	
Mạch lọc	$L=5 \times 10^{-3}(H)$; $R=0.026\Omega$; $C=1.0 \times 10^{-3}(F)$
Máy biến áp kết nối	10MVA, tỷ số biến 1:1 tại 6.9kV
Các tham số của D-STATCOM	
Mạch lọc	$L=0,6(H)$; $R=1\Omega$, $C=4,210^{-3}(F)$
Máy biến áp kết nối	100MVA, tỷ số biến 1:1 tại 12kV
Mạch lò hồ quang điện	
Máy biến áp kết nối lò hồ quang	Công suất 10MVA, tỷ số biến 12/0,4kV $R_{HV} = 0,002pu$; $L_{HV} = 0,04pu$; $R_{LV} = 0,002pu$; $L_{LV} = 0,04pu$
Cáp nối giữa lò và MBA kết nối	$R_A = R_B = R_C = 0,0004\Omega$; $L_A = L_B = L_C = 1.6 \times 10^{-5}H$
Lò hồ quang	$\theta_0=100.10^{-6}$; $\theta_1=110.10^{-6}$; $P_o=100$; $I_o=10$; $E_o=200$; $G_{min}=0,008$; $\alpha=0,05$ [10]



Hình 4. Lưới điện mẫu có lò hồ quang điện



(a)



(b)

Hình 5. Mô hình của các thiết bị DVR (a) và D-STATCOM (b) trong Simulink

4.3. Mô phỏng Simulink

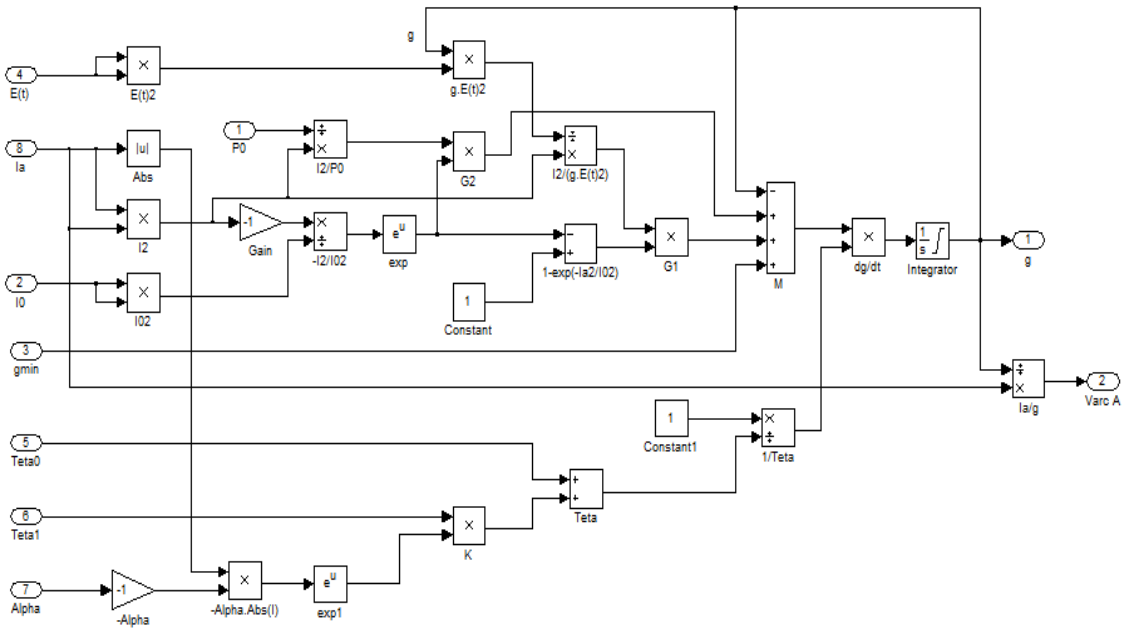
Hình 4 là mô phỏng simulink mô tả lưới điện mẫu trong đó có lắp đặt các thiết bị D-FACTS và lò hồ quang điện. Chi tiết mô phỏng simulink của các thiết bị DVR và D-STATCOM gồm cả phần điều khiển được cho trên hình 5. Các mô phỏng này được tham khảo trực tiếp từ [8] trong đó sự biến thiên của điện áp (chất lượng điện áp) được đo và so sánh với điện áp mẫu.

Việc so sánh này được thực hiện thông qua phép biến đổi Park từ hệ tọa độ a-b-c sang hệ tọa độ d-q-0 và so sánh trong hệ d-q-0. Sự sai khác sẽ được biến đổi ngược trở lại từ d-q-0 về a-b-c, và khâu PWM generator được sử dụng để phát xung điều khiển cho bộ nghịch lưu phát điện áp hoặc công suất bù cho sự kiện chất lượng điện năng.

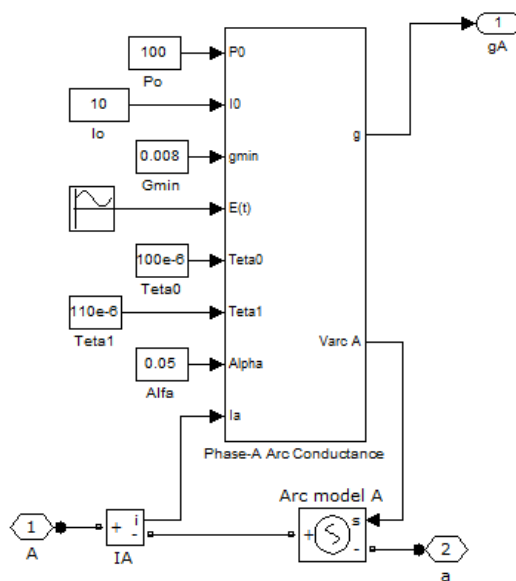
Lò hồ quang điện được mô phỏng có

tham khảo [10] trong đó các thông số máy biến áp kết nối được điều chỉnh lại cho phù hợp với lưới phân phối mẫu 13 nút (12kV). Các tham số lò hồ quang cho trong hệ đơn vị tương đối như bảng 1. Mô

phòng Simulink 1 pha lò hồ quang diễn tả hệ phương trình (1) như hình 6, 7. Ba pha ghép lại trong một subsystem “EAF” như kết nối vào lưới điện mẫu như trên hình 4.



Hình 6. Mô hình điện dẫn 1 pha lò hồ quang trong Simulink



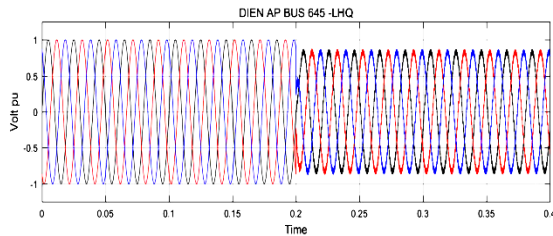
Hình 7. Simulink Subsystem mô tả 1 pha lò hồ quang

5. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

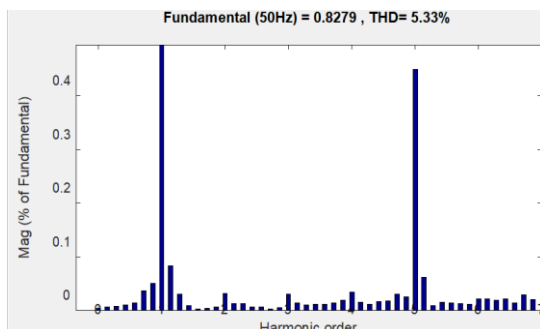
5.1. Kịch bản thứ nhất, thiết bị D-FACTS đặt gần nguồn

Trong kịch bản này bài báo lần lượt xét việc đặt thiết bị DVR và D-STATCOM tại nút 645 khá gần nguồn của lưới mẫu. Cụ thể như sau:

(a) Trường hợp xét một thiết bị DVR đặt giữa nút 645 và 632 với tải lò hồ quang vận hành trong khoảng thời gian từ 0,2s đến 0,4s kết nối tại nút 633. Khi không có thiết bị DVR (DVR bị đấu tắt), điện áp nút 645 khi lò hồ quang làm việc cũng như phân tích phổ của biến dạng điện áp và chỉ số THD có dạng hình 8 và 9. Chỉ số THD tại nút 645 tương ứng sẽ là 5,33%. Điện áp tại nút 645 giảm xuống còn 0,83p.u.



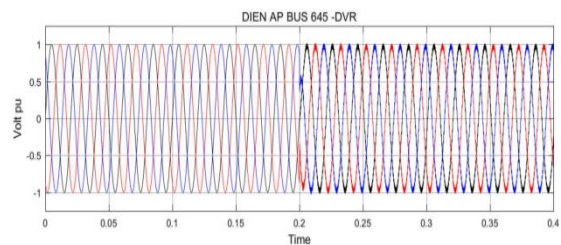
Hình 8. Điện áp nút 645 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động và chưa đặt thiết bị D-FACTS



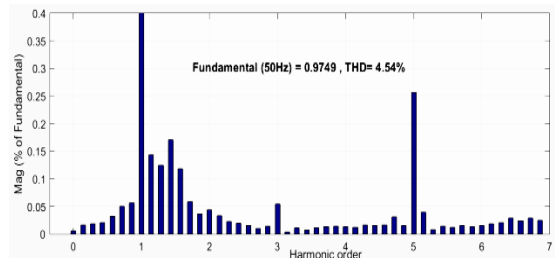
Hình 9. Phân tích FFT biến dạng điện áp tại nút 645 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động và chưa đặt thiết bị D-FACTS

Nếu có thiết bị DVR nối trên nhánh 645 - 632, điện áp và phân tích phổ sóng hài ở vị trí nút 645 có dạng hình 10 và 11 sau đây. Chỉ số THD tại nút 645 giảm xuống còn 4,54% và điện áp nút 645 là 0,975p.u.

Điện áp hiệu dụng và chỉ số THD của các nút trên lưới điện khi lò hồ quang làm việc và có hoặc không xét đến DVR được cho trong bảng 2.



Hình 10. Điện áp nút 645 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động và có đặt thiết bị DVR giữa nút 645 và 632



Hình 11. Phổ sóng hài điện áp nút 645 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động và có đặt thiết bị DVR giữa nút 645 và 632

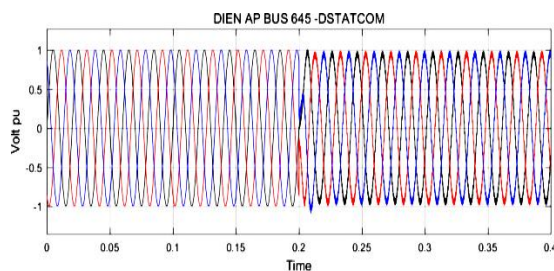
(b) Trường hợp xét một thiết bị D-STATCOM nối tại nút 645 với tải lò hồ quang vận hành trong khoảng thời gian từ 0,2s đến 0,4s tiếp tục được kết nối tại nút 633. Khi đó điện áp tại nút 645 và chỉ số THD đo được tại nút này cũng được cải thiện gần giống trường hợp dùng thiết bị DVR tức là điện áp nút 645 là 0,98p.u và chỉ số THD là 4,53%.

Bảng 2. Thông số trước và sau khi có DVR, kích bản thứ nhất

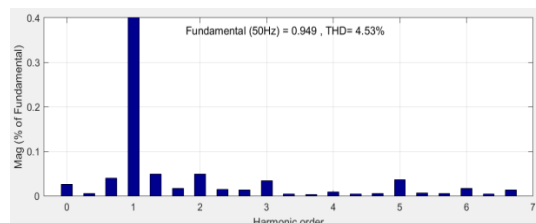
Nút	Điện áp CĐXL chưa có LHQ	Điện áp CĐXL khi có LHQ	THD% khi có LHQ	Điện áp CĐXL có LHQ và không có DVR	THD% khi có LHQ và có DVR
650	1,0	1,0	0	1,0	0
632	0,98	0,87	5,30	0,87	5,30
633	0,98	0,81	7,22	0,81	7,22
634	0,96	0,78	0,96	0,78	0,96
645	0,97	0,83	5,33	0,975	4,54
646	0,96	0,84	5,33	0,97	4,52
671	0,98	0,85	5,34	0,86	5,34
680	0,97	0,84	5,34	0,84	5,34
684	0,96	0,84	5,36	0,84	5,36
652	0,95	0,83	5,33	0,83	5,33
611	0,95	0,83	5,46	0,83	5,46
692	0,96	0,84	5,34	0,85	5,34
675	0,95	0,83	5,48	0,83	5,48

Bảng 3. Thông số trước và sau khi có D-STATCOM, kích bản thứ nhất

Nút	Điện áp CĐXL chưa có LHQ	Điện áp CĐXL khi có LHQ	THD% khi có LHQ	Điện áp CĐXL có LHQ và có D-STATCOM	THD% khi có LHQ và có D-STATCOM
650	1,0	1,0	0	1,0	0
632	0,98	0,87	5,30	0,98	4,58
633	0,98	0,81	7,22	0,89	6,23
634	0,96	0,78	0,96	0,86	0,68
645	0,97	0,83	5,33	0,98	4,53
646	0,96	0,84	5,33	0,97	4,58
671	0,98	0,85	5,34	0,97	4,62
680	0,97	0,84	5,34	0,96	4,62
684	0,96	0,84	5,36	0,96	4,90
652	0,95	0,83	5,33	0,96	4,90
611	0,95	0,83	5,46	0,96	4,61
692	0,96	0,84	5,34	0,95	4,62
675	0,95	0,83	5,48	0,94	4,71



Hình 12. Điện áp nút 645 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động và có đặt thiết bị D-STATCOM tại nút 645



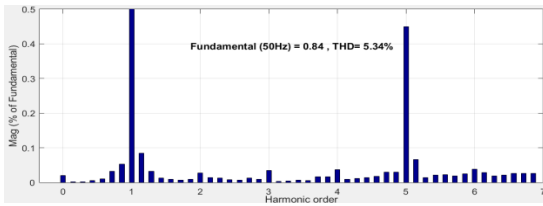
Hình 13. Phổ sóng hài điện áp nút 645 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động và có đặt thiết bị D-STATCOM tại nút 645

5.2. Kích bản thứ hai, thiết bị D-FACTS đặt xa nguồn

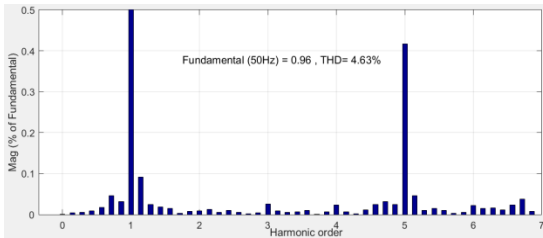
Trong kịch bản này bài báo lần lượt xét việc đặt thiết bị DVR và D-STATCOM tại nút 692 khá gần nguồn của lưới mẫu. Cụ thể như sau:

(a) Các thiết bị DVR đặt giữa nút 671 và 692 với tải lò hồ quang tại vận hành trong khoảng thời gian từ 0,2s đến 0,4s kết nối tại nút 633. Khi đó, phân tích phổ của biến dạng sóng điện áp tại nút 692 khi có và không có thiết bị DVR có dạng hình 14 và 15 sau đây.

Bảng 4 tổng hợp điện áp các nút khác trên lưới điện mẫu và chỉ số THD tương ứng khi đặt thiết bị DVR giữa nút 671 và nút 692.



Hình 14. Phổ sóng hài điện áp nút 692 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động và chưa có đặt thiết bị DVR



Hình 15. Phổ sóng hài điện áp nút 692 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động và có đặt thiết bị DVR giữa nút 671 và nút 692

Ngoài các nút 675 và 692, các THD% không cải thiện là do nằm khác nhánh đặt DVR, bản thân DVR có bộ lọc và bộ lọc này chỉ lọc nối tiếp các tính hiệu qua nó và do máy biến áp của DVR đấu nối tiếp. Điều này cũng có kết quả tương tự cho kịch bản 1, bảng 2.

Bảng 4. Thông số trước và sau khi có DVR, kịch bản thứ hai

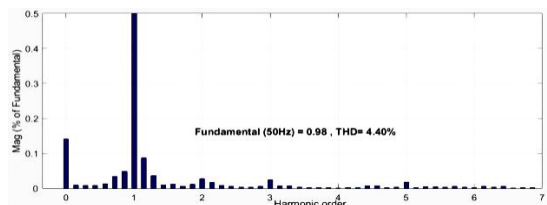
Nút	Điện áp CĐXL chưa có LHQ	Điện áp CĐXL khi có LHQ	THD% khi có LHQ	Điện áp CĐXL có LHQ và DVR	THD% khi có LHQ và có DVR
650	1,0	1,0	0	1,0	0
632	0,98	0,87	5,30	0,87	5,30
633	0,98	0,81	7,22	0,81	7,22
634	0,96	0,78	0,96	0,78	0,96
645	0,97	0,83	5,33	0,85	5,33
646	0,96	0,84	5,33	0,84	5,30
671	0,98	0,85	5,34	0,85	5,34
680	0,97	0,84	5,34	0,84	5,34
684	0,96	0,84	5,36	0,84	5,36
652	0,95	0,83	5,33	0,83	5,33

Nút	Điện áp CĐXL chưa có LHQ	Điện áp CĐXL khi có LHQ	THD% khi có LHQ	Điện áp CĐXL có LHQ và DVR	THD% khi có LHQ và có DVR
611	0,95	0,83	5,46	0,83	5,46
692	0,96	0,84	5,34	0,96	4,63
675	0,95	0,83	5,48	0,97	4,53

(b) Các thiết bị D-STATCOM tại nút 692 trong khi phụ tải lò hồ quang vận hành trong khoảng thời gian từ 0,2s đến 0,4s vẫn được kết nối tại nút 633. Khi đó phổ sóng hài của điện áp tại nút 692 được cho ở hình 16. Bảng tổng hợp điện áp hiệu dụng và chỉ số THD của tất cả các nút trên lưới điện được cho ở bảng 5.

Bảng 5. Thông số trước và sau khi có D-STATCOM, kịch bản thứ hai

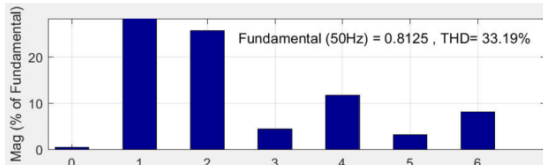
Nút	Điện áp CĐXL chưa có LHQ	Điện áp CĐXL khi có LHQ	THD% khi có LHQ	Điện áp CĐXL khi có LHQ và D-STATCOM	THD% khi có LHQ và có D-STATCOM
650	1,0	1,0	0	1,0	0
632	0,98	0,87	5,30	0,90	4,89
633	0,98	0,81	7,22	0,84	6,65
634	0,96	0,78	0,96	0,81	0,83
645	0,97	0,83	5,33	0,91	4,89
646	0,96	0,84	5,33	0,90	4,89
671	0,98	0,85	5,34	0,98	4,40
680	0,97	0,84	5,34	0,97	4,40
684	0,96	0,84	5,36	0,98	4,92
652	0,95	0,83	5,33	0,96	4,92
611	0,95	0,83	5,46	0,96	6,04
692	0,96	0,84	5,34	0,98	4,40
675	0,95	0,83	5,48	0,98	4,71



Hình 16. Phổ sóng hài điện áp nút 692 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động và có đặt thiết bị D-STATCOM tại nút 692

Nhận xét:

Khi mạch chỉ có tải tuyến tính điện áp xác lập (cột đầu của các bảng 2-5) điện áp tại các nút tải ổn định và chỉ số THD rất nhỏ.



Hình 17. Phân tích FFT biến dạng điện áp tại nút 633 khi lò hồ quang nối vào nút 633 hoạt động trong chu kỳ đầu nối LHQ có THD cao

Khi kết nối tải phi tuyến (lò hồ quang), điện áp tại các nút tải giảm rõ rệt và sóng hài bị bơm vào hệ thống. Khi mới kết nối lò hồ quang vào hệ thống, sóng hài sinh ra lớn (chỉ số THD gần bằng 30%-40%) trong khoảng 3 chu kỳ (hình 17) và giảm dần đến xác lập khi lò hồ quang vận hành vào giai đoạn cháy ổn định thì chỉ số THD giảm xuống và có giá trị xác lập (giả lập cho mô phỏng tại nút 633 có chỉ số THD xác lập là 7,22%).

Các nút lân cận lò hồ quang do phụ thuộc các thông số đường dây, tính chất phụ tải, nên chỉ số THD giảm dần, các nút càng xa thì bị ảnh hưởng càng nhỏ và đặc biệt nếu các phụ tải sau máy biến áp với tổ nối dây Y/Y (634) gần như không bị ảnh hưởng bởi sóng hài mà chỉ ảnh hưởng bởi dao động về biên độ điện áp.

Các phụ tải có tính dung (611; 675) và các phụ tải kết nối lân cận nó bị ảnh hưởng và có chỉ số THD lớn hơn và khả năng ổn định chỉ số THD lâu hơn (khoảng 5 chu kỳ) sau đó cũng xác lập về một trị số (các bảng 2-5).

Khi lắp đặt DVR vào hệ thống:

- Tất cả các phụ tải phía sau DVR phục hồi biên độ điện áp, chỉ số THD nhỏ hơn mức tiêu chuẩn (5%); các phụ tải sau MBA Y/Y cũng có chỉ số THD nhỏ.
- Các phụ tải khác lân cận vị trí lò hồ quang có biên độ điện áp giảm, chỉ số THD lớn hơn mức tiêu chuẩn (5%) như thể hiện trong bảng thống kê. Điều này làm gia tăng tổn thất công suất do sóng hài cũng như có thể làm các phụ tải ngừng làm việc hoặc làm việc sai do chất lượng điện áp không đảm bảo.

Khi lắp đặt D-STATCOM vào hệ thống:

Tất cả các phụ tải phía sau D-STATCOM đều được phục hồi điện áp, chỉ số THD giảm sâu và nhỏ hơn mức tiêu chuẩn (5%). Các phụ tải lân cận không những được phục hồi điện áp tương ứng mà còn được cải thiện chỉ số THD rõ rệt (bảng thống kê 2-5).

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích hiệu quả của việc sử dụng DVR và D-STATCOM nhằm cải thiện CLĐN của lưới phân phối điện có lò hồ quang điện. Đây là một nghiên cứu có ý nghĩa giúp đề xuất giải pháp cho việc khắc phục CLĐN trong lưới phân phối công nghiệp. Dựa trên việc mô phỏng MatLab/Simulink đối với lưới phân phối điện sử dụng lưới mẫu IEEE 13 nút có lò hồ quang điện, bài báo đã xét các kịch bản sử dụng thiết bị D-FACTS. Kết quả phân tích cho thấy nhìn chung DVR chỉ phục hồi hiện tượng sụt giảm điện áp và giảm

chỉ số THD cho các phụ tải phía sau nó, nghĩa là DVR chỉ bảo vệ cho các thiết bị được xác định trước mà ít có tác dụng cải thiện CLĐN cho phụ tải toàn hệ thống. Trong khi đó D-STATCOM là thiết bị bù ngang có thể lắp bất kỳ ở vị trí nào trong lưới phân phối và có tác dụng cải thiện CLĐN cho nhiều phụ tải ở lân cận vị trí đặt D-STATCOM, tức là có tác dụng tốt hơn về mặt cải thiện CLĐN cho hệ thống.

Với việc phát triển khoa học kỹ thuật trong lĩnh vực ứng dụng điện tử công suất trong hệ thống điện, giá thành của các thiết bị D-FACTS sẽ giảm dần và việc sử dụng thiết bị này như giải pháp cải thiện CLĐN trên lưới phân phối điện bởi các đơn vị quản lý lưới điện sẽ ngày càng nhiều. Khi đó lựa chọn vị trí và công suất các thiết bị D-FACTS sẽ đặt ra bài toán tối ưu hóa và là hướng phát triển cho nghiên cứu của bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thông tư 39 /2015/TT-BCT, ngày 18/11/2015, Quy định hệ thống điện phân phối.
- [2] M. Bollen, "Understanding Power Quality Problems - Voltage Sags and Interruptions", IEEE Press Series on Power Engineering John Wiley and Sons, Piscataway, USA (2000).
- [3] A. Ghosh and G. Ledwich, Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices, Kluwer Academic Publishers. ISBN 14020-7180-9, 2002.
- [4] T. Devaraju, V. C. Reddy and M. Vijaya Kumar, Performance of DVR under different voltage sag and swell conditions, VOL. 5, NO. 10, OCTOBER 2010
- [5] R. Omar and N.A. Rahim, "Mitigation Of Voltage Sags/Swells Using Dynamic Voltage Restorer (DVR)", *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol.. 4, No. 4, 2009, pp. 50-56.
- [6] P. S. Sensarma, K. R. Padiyar and V. Ramanarayanan, "Analysis and performance evaluation of a distribution STATCOM for compensating voltage fluctuations," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 16, no. 2, pp. 259-264, Apr 2001.
- [7] B. Singh, A. Adya, A. P. Mittal and J. R. P. Gupta, "Modeling, Design and Analysis of Different Controllers for DSTATCOM," *2008 Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference*, New Delhi, 2008, pp. 1-8.
- [8] Nguyen Van Minh, Bach Quoc Khanh, Pham Viet Phuong, Comparative simulation results of DVR and D-STATCOM to improve voltage quality in distributed power system, Proceedings, pp. 210-213, IEEE-ICSSE2017, Ho Chi Minh city, 2017.
- [9] IEEE Distribution Planning Working Group Report, "Radial distribution test feeders", *IEEE Transactions on Power Systems*, August 1991, Volume 6, Number 3, pp. 975-985.
- [10] Bach Quoc Khanh, A MatLab/Simulink's Modeling of Power Quality Issues in Industrial Distribution System with the Presence of Electric Arc-Furnace, Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry, No 41, trang 15-17, 2017 (bản tiếng Anh).

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Văn Minh nhận bằng Thạc sĩ năm 2016 tại Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh.

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống cung cấp điện công nghiệp; thiết bị điện công nghiệp; chất lượng điện năng lưới phân phối; các thiết bị FACTS, D-FACTS; tối ưu kỹ thuật và chi phí lưới cung cấp; năng lượng mới.



Tác giả Bạch Quốc Khánh nhận bằng Tiến sĩ năm 2002, tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: lưới cung cấp điện; chất lượng điện năng lưới phân phối; các thiết bị FACTS, D-FACTS; ngăn mạch; tiêu chuẩn an toàn điện.



Tác giả Phạm Việt Phương nhận bằng Tiến sĩ năm 2009 tại Viện Công nghệ Tokyo, Nhật Bản.

Lĩnh vực nghiên cứu: tự động hóa các thiết bị điện công nghiệp; các bộ điều khiển thiết bị FACTS, D-FACTS; tối ưu hóa kỹ thuật và chi phí thiết bị.