

# GIẢI PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỆN ÁP ĐỐI VỚI CÁC THIẾT BỊ ĐỘNG CƠ CÔNG SUẤT LỚN TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

## VOLTAGE QUALITY IMPROVEMENT FOR INDUCTION MOTOR IN POWER SYSTEM

Nguyễn Tiến Dũng<sup>1</sup>, Đinh Ngọc Quang<sup>2</sup>, Bùi Anh Tuấn<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Điện lực, <sup>2</sup>Công ty IGS Việt Nam, <sup>3</sup>Trường Đại học Công nghiệp dệt may Hà Nội

Ngày nhận bài: 04/02/2020, Ngày chấp nhận đăng: 24/04/2020, Phản biện: PGS.TS. Phạm Tuấn Thành

### Tóm tắt:

Bài báo trình bày các vấn đề liên quan đến chất lượng điện năng, nguyên nhân làm ảnh hưởng xấu đến chất lượng điện năng và tác động ngược lại của yếu tố này đến hiệu quả làm việc, tuổi thọ của các động cơ điện; phân tích các giải pháp nâng cao chất lượng điện năng, đặc biệt là giải pháp bù công suất phản kháng; xây dựng một phương pháp xác định dung lượng bù tối ưu công suất phản kháng cho các động cơ điện không đồng bộ.

### Từ khóa:

Chất lượng điện năng, bù công suất phản kháng, dao động điện áp.

### Abstract:

This article introduces the issues related to power quality, causes an adverse effect on the power quality and reverse the impact of this factor to the effective working life of induction motors. The solution to improve power quality, especially the reactive power compensation solution are discussed. A method of determining the optimal compensation amount of reactive power to the high power induction motor is proposed.

### Keywords:

Power quality, reactive power compensation, voltage fluctuations.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, bài toán về chất lượng điện năng ngày càng trở nên quan trọng với mọi quốc gia trên thế giới. Việc giải quyết tốt bài toán này sẽ giúp cho quốc gia sử dụng hiệu quả và tiết kiệm năng lượng, tăng cường độ tin cậy và an toàn cung cấp điện (qua đó đảm bảo về an ninh năng lượng), tăng tuổi thọ và khả năng làm việc của

các thiết bị sản xuất, truyền tải, phân phối cũng như sử dụng điện và đặc biệt là đảm bảo sức khỏe cho những khách hàng sử dụng điện và giải quyết những vấn đề như nhấp nháy điện áp có thể ảnh hưởng tới sức khỏe của người lao động [1], [2].

Chất lượng của điện năng được cung cấp có thể tác động trực tiếp đến nhiều khách hàng công nghiệp. Ngày nay, các dây chuyền sản xuất công nghiệp đều được

trang bị hiện đại với trình độ tự động hóa cao, những thiết bị và dây chuyền này thường nhạy cảm hơn với các thông số của điện năng được cung cấp so với thế hệ các thiết bị điện cơ trước đây. Quy mô sản xuất càng lớn, thiết bị sử dụng càng hiện đại thì hậu quả của chất lượng điện năng xấu (sụt áp, tần số không ổn định, xuất hiện hài bậc cao, gián đoạn cung cấp điện,...) càng trở nên nghiêm trọng [1]. Chất lượng điện năng kém có thể làm giảm hiệu suất của các thiết bị điện, gây thêm tổn thất công suất tác dụng và điện năng, gây ra các hiện tượng phát nóng, làm giảm tuổi thọ thiết bị, gây ra các vấn đề về sức khỏe người lao động,...

Một trong những phụ tải phổ biến nhất trong các hệ thống phân phối điện chính là các động cơ không đồng bộ (chiếm tới 45-50% công suất của các loại phụ tải). Các động cơ này có ưu điểm là cấu trúc đơn giản, dễ điều chỉnh tốc độ và công suất nên được sử dụng rộng rãi. Tuy nhiên, do đặc tính hoạt động của thiết bị, các động cơ này gây ra nhiều vấn đề về chất lượng điện năng, tổn thất công suất tác dụng, đặc biệt là trong quá trình khởi động. Khi khởi động, rotor bị ngắn mạch, do đó dòng điện tăng rất cao và kéo theo đó là dao động điện áp. Khi rotor tăng tốc, dòng điện này sẽ giảm dần. Trong quá trình khởi động, điều chỉnh tốc độ, động cơ không đồng bộ tiêu thụ rất nhiều năng lượng.

Không chỉ gây ra các vấn đề về chất lượng điện năng, bản thân các động cơ này cũng rất nhạy cảm với chính những thay đổi này, cụ thể như sau [3], [4]:

- Ảnh hưởng của việc sụt điện áp: điện áp của lưới điện xuống thấp sẽ khiến cho hiệu suất của động cơ giảm đáng kể. Nếu điện áp giảm 5% so với điện áp định mức thì hiệu suất động cơ giảm khoảng 1%, nếu điện áp tại động cơ giảm 10%, hiệu suất giảm 2%. Lượng công suất này sẽ biến thành nhiệt làm cho động cơ nóng lên.

- Ảnh hưởng của hệ số công suất: hệ số công suất  $\cos\varphi$  là tỷ số giữa công suất tác dụng  $P$  và công suất toàn phần  $S$ . Với các động cơ không đồng bộ thường  $\cos\varphi$  thấp (dưới 0,85) do lượng công suất phản kháng lớn. Lượng công suất phản kháng này sẽ gây ra tổn thất rất lớn dưới dạng nhiệt trên các đường dây cáp và các máy biến áp (tổng tổn thất tại các nhà máy có thể lên tới 8-10%, tổn thất trong máy biến áp trung áp là khoảng 2,5%, máy biến áp 110 kV khoảng 1,5%, phần tổn thất trên các đường dây cáp có thể từ 4 đến 6%). Hệ số  $\cos\varphi$  thấp cũng làm cho điện áp tại các động cơ giảm kéo theo giảm tổn thất trong các động cơ tăng lên.

- Ảnh hưởng của độ không đối xứng của điện áp ba pha tới hiệu suất của động cơ [5]: thông thường, các động cơ công suất lớn thường là động cơ 3 pha. Nếu điện áp tại 3 pha có độ chênh lệch sẽ khiến động cơ bị rung, lắc và tăng tổn thất. Thông thường khi điện áp 3 pha lệch khoảng 2% thì tổn thất trong động cơ sẽ tăng 8%, lệch 3,5% tổn thất tăng 25% và 5% thì tổn thất tăng 50%. Vì vậy, cần phải giữ cho điện áp ba pha xấp xỉ bằng nhau, độ lệch dưới 2%.

- Ảnh hưởng của sóng hài tới động cơ [6]: sóng hài là hiện tượng méo dạng điện áp do các thiết bị điện tử, hồ quang gây

ra. Nếu sóng hài nhỏ dưới 5% thì tổn thất của động cơ tăng khoảng 4,26%. Tuy nhiên, đối với những sóng hài lớn (vài chục %) thì tổn thất có thể tăng thêm từ 30-35%.

## 2. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP TÍNH TOÁN LƯỢNG CÔNG SUẤT BÙ TỐI ƯU CỦA CÁC ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Có thể thấy ảnh hưởng chính của chất lượng điện năng tới hiệu suất của các động cơ không đồng bộ là vấn đề chất lượng điện áp, bao gồm: điện áp sụt thấp, hệ số công suất thấp, vấn đề không đối xứng điện áp và sóng hài. Việc nâng cao hiệu suất của các động cơ có thể thực hiện bằng cách đặt thêm các thiết bị điều chỉnh điện áp, bù công suất phản kháng và lọc sóng hài. Các thiết bị bù trơn công suất phản kháng, tốc độ cao sẽ làm tăng đáng kể hiệu suất của nhà máy cũng như giảm tổn thất, nâng cao tuổi thọ của thiết bị [4].

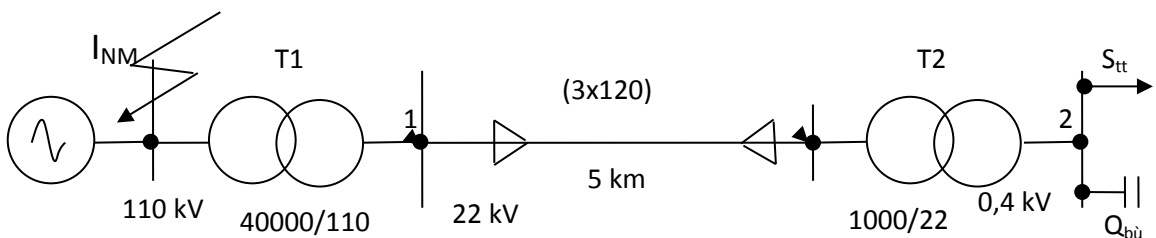
Một trong những vấn đề quan trọng nhất của bài toán bù là việc lựa chọn công suất bù tối ưu và thiết bị bù với giá thành rẻ, có thể hoạt động trong thời gian lâu dài. Trước đây, bài toán lựa chọn công suất bù

cho thiết bị điện thường bỏ qua hiệu quả của việc bù tới hiệu suất của chính các động cơ không đồng bộ. Do đó việc tính toán công suất sẽ không thực sự chính xác.

Mục tiêu của bài viết này là tìm cách xác định lượng bù công suất phản kháng tốt nhất đối với các động cơ không đồng bộ.

Trong lưới điện hiện đại, thiết bị thông dụng nhất để bù công suất phản kháng trong lưới điện là tụ bù tĩnh do các ưu điểm vượt trội của nó như giá thành rẻ, tổn thất nhỏ, dễ lắp đặt... Ngoài ra, với sự tiến bộ của ngành điện tử công suất, các nhược điểm lớn của tụ bù tĩnh trong quá khứ như khó bù trơn công suất phản kháng, dễ bị quá tải khi gặp phụ tải không tuyến tính (do bị cộng hưởng) hoặc dễ gây mất ổn định cho hệ thống khi đóng cắt cũng dần dần bị loại bỏ khi thay các khởi động từ cơ bằng các thiết bị chuyển mạch dùng thyristor điều khiển [2].

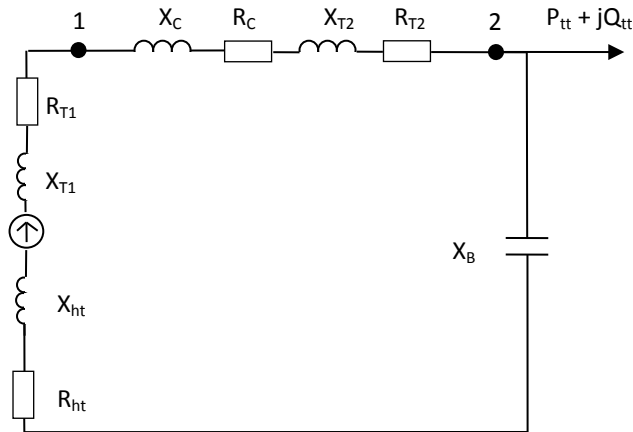
Để thuận tiện cho việc trình bày, ta sẽ xét một sơ đồ nguyên lý của một hệ thống phân phối điện hình của lưới điện cho trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của lưới điện phân phối

Do tổn thất công suất tác dụng trong hệ thống điện chỉ phụ thuộc vào dòng công suất và điện trở  $R_{td}$  nên trong phạm vi bài

viết này chỉ đề cập tới sơ đồ thay thế với điện trở tác dụng  $R$  của hệ thống này được cho trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ thay thế của lưới điện

Với thiết bị bù được đặt ở cuối đường dây nên ta sẽ tính toán các thông số của hệ thống quy về phía 0,4 kV.

Với hệ thống điện:

$$X_{ht} = \frac{U_{ht}}{\sqrt{3}I_{NM}^{(3)}} \cdot \frac{0,4^2}{110^2};$$

$$R_{ht} = 0,1 \cdot X_{ht} \quad (1)$$

trong đó:  $U_{ht}$ - điện áp hệ thống, trong trường hợp này  $U_{ht} = 110$  kV;

$I_{NM}^{(3)}$ - dòng điện ngắn mạch 3 pha trên thanh cái 110 kV, kA.

Máy biến áp T1:

$$R_{T1} = \frac{\Delta P_{N1}}{1000} \cdot \frac{U_{dmHT1}^2}{S_{dm1}^2} \cdot \frac{0,4^2}{U_{dmHT1}^2}, (\Omega) \quad (2)$$

trong đó:

$\Delta P_N$ - tổn hao công suất ngắn mạch của máy biến áp T1, kW;

$S_{dm}$ - công suất định mức của máy biến áp T1, MVA;

$U_{dmHT1}$ - điện áp định mức phía hạ áp của máy biến áp T1, kV.

Đường dây cáp:

$$R_C = r_0 \cdot L \cdot \frac{0,4^2}{22^2} \quad (3)$$

với:

$r_0$ - điện trở tác dụng của cáp trên một đơn vị dài,  $\Omega$ /km;

$L$ - chiều dài của cáp, km.

Máy biến áp T2:

$$R_{T2} = \frac{\Delta P_{N2}}{1000} \cdot \frac{U_{dmHT2}^2}{S_{dm2}^2} \quad (4)$$

trong đó:

$\Delta P_{N2}$ - tổn hao công suất ngắn mạch của máy biến áp T2, kW;

$S_{dm2}$ - công suất định mức của máy biến áp T2, MVA;

$U_{dmHT2}$ - điện áp định mức phía hạ áp của máy biến áp T2, kV.

Tổng trở tương đương của toàn bộ hệ thống quy về phía 0,4 kV sẽ là:

$$R_{td} = R_{ht} + R_{T1} + R_C + R_{T2} \quad (5)$$

Lúc này, tổn thất do động cơ không đồng bộ gây ra trên lưới điện khi có thiết bị bù:

$$\Delta P_1 = R_{td} \cdot \frac{P_{tt}^2 + (Q_{tt} - Q_B)^2}{U_{dm}^2} \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

$$+ \Delta p_B \cdot Q_B + P_{tt} \cdot \eta \{Q - Q_b\}$$

trong đó:

$\Delta p_B$  - tổn thất công suất tác dụng của thiết bị bù, kW/kVAR;

$Q_B$  - công suất của thiết bị bù, kVAR;

$\eta \{Q - Q_b\}$  - hiệu suất của động cơ theo công suất phản kháng.

Ta có thể thấy tổn thất chia làm 3 phần: một phần là do dòng công suất còn lại chạy vào hệ thống và gây ra tổn thất trên các điện trở hệ thống, phần thứ hai là phần tổn thất trong các thiết bị bù, phần thứ ba là tổn thất trong động cơ không đồng bộ.

Để tính toán công suất bù tối ưu trong hệ thống điện với tiêu chí tổn thất công suất tác dụng trên toàn hệ thống  $\Delta P_1$  nhỏ nhất, ta sẽ có:

$$\frac{\delta \Delta P_1}{\delta Q_B} = -2R_{td} \frac{(Q_{tt} - Q_B)}{U_{dm}^2} \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

$$+ \Delta p_B + P_{tt} \cdot \eta' \{Q - Q_b\} = 0$$

Có thể thấy, bài toán tính lượng công suất bù tối ưu với những động cơ không đồng bộ là bài toán rất phức tạp. Lượng công suất này không chỉ phụ thuộc vào công suất của phụ tải mà còn phụ thuộc vào cấu trúc lưới  $R_{td}$ , điện áp định mức của phụ tải, giá trị suất tổn hao công suất của thiết

bị bù  $\Delta p_B$  và đặc tính của động cơ không đồng bộ theo điện áp (công suất phản kháng).

Thông thường mối quan hệ giữa điện áp tại phụ tải và điện áp của lưới điện thường được tính toán theo độ sụt áp bằng công thức sau:

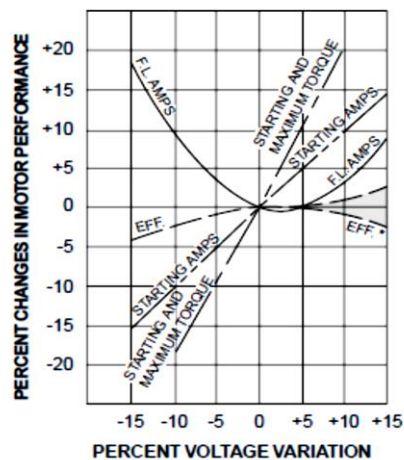
$$U_{pt} = U_{ht} - \Delta U$$

$$= U_{ht} - \frac{P_{tt} \cdot R_{td} + (Q_{tt} - Q_{bu}) X_{td}}{U_{ht}} \quad (8)$$

Trong đó  $X_{td} = X_{ht} + X_{T1} + X_C + X_{T2}$ .

Trong quá trình vận hành của lưới điện, giá trị  $U_{ht}$ ,  $R_{td}$  và  $X_{td}$  thường ít thay đổi, như vậy có thể thấy giá trị điện áp sẽ phụ thuộc chủ yếu vào biến thiên của phụ tải và lượng công suất bù.

Theo Nema MG 1-12-45, khi động cơ không đồng bộ chạy với phụ tải định mức, hiệu suất động cơ theo sự thay đổi điện áp là một hình dạng parabol và đạt cao nhất tại vị trí 1,02  $U_{dm}$  như theo đường cong dưới đây.



Hình 3. Quan hệ giữa điện áp và hiệu suất động cơ theo Nema

Đường cong quan hệ giữa sự biến thiên điện áp và biến thiên hiệu suất động cơ có thể biểu diễn theo công thức sau:

$$\eta\{Q - Q_b\} = K \cdot \Delta U^2 + C$$

$$= K \cdot \left( \frac{P_{tt} \cdot R_{td} + (Q_{tt} - Q_{bu}) X_{td}}{U_{ht}} \right)^2 + C \quad (9)$$

Với K và C là những hằng số được xác định dựa trên đường cong thực nghiệm theo hình 3. Các hệ số này hoàn toàn xác định đối với mỗi loại động cơ khác nhau.

Giá trị đạo hàm của  $\eta\{Q - Q_b\}$  theo  $Q_B$  xác định như sau:

$$\frac{\delta \eta\{Q - Q_b\}}{\delta Q_{bu}} = \eta' \{Q - Q_b\}$$

$$= -2K \cdot \frac{(Q_{tt} - Q_{bu}) X_{td}}{U_{ht}^2} \quad (10)$$

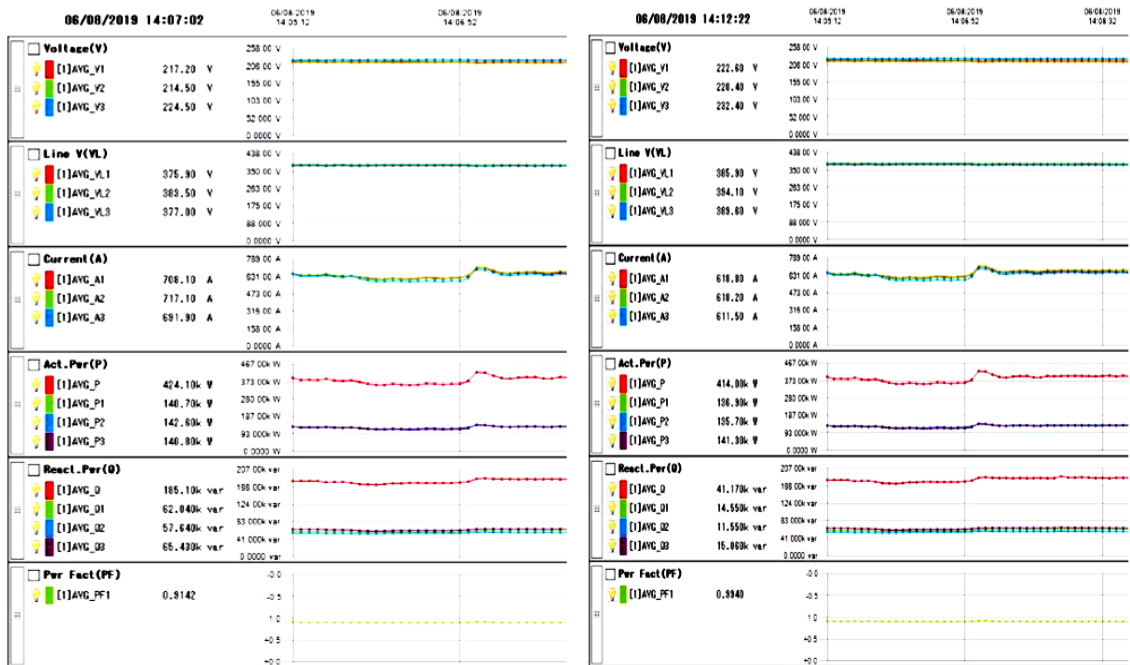
Từ công thức (10) và (8) có thể xác định giá trị công suất phản kháng tối ưu còn lại

chạy vào trong hệ thống điện ( $Q_{tt} - Q_{bu}$ ) theo các thông số của hệ thống điện và công suất tác dụng  $P_{tt}$  của phụ tải.

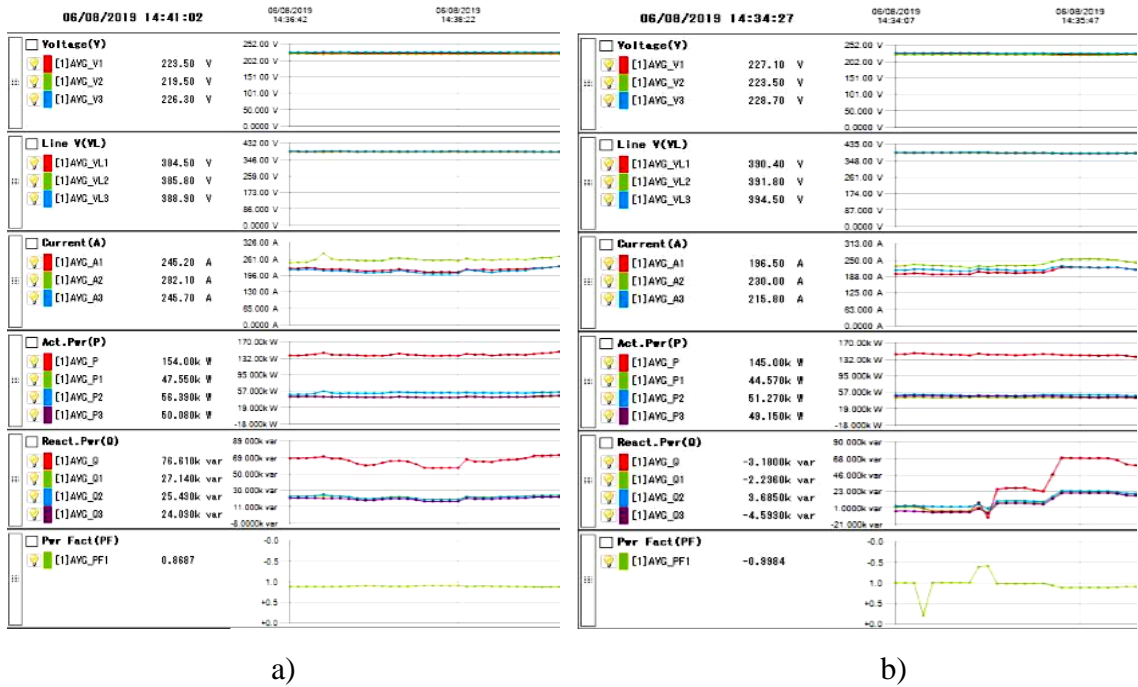
$$(Q_{tt} - Q_{bu}) = \frac{\Delta p_{bu}}{2(K_1 \cdot P_{tt} + K_2)} \quad (11)$$

Với  $K_1 = K \cdot \frac{X_{td}}{U_{ht}^2}$  và  $K_2 = R_{td} \cdot \frac{10^{-3}}{U_{dm}^2}$

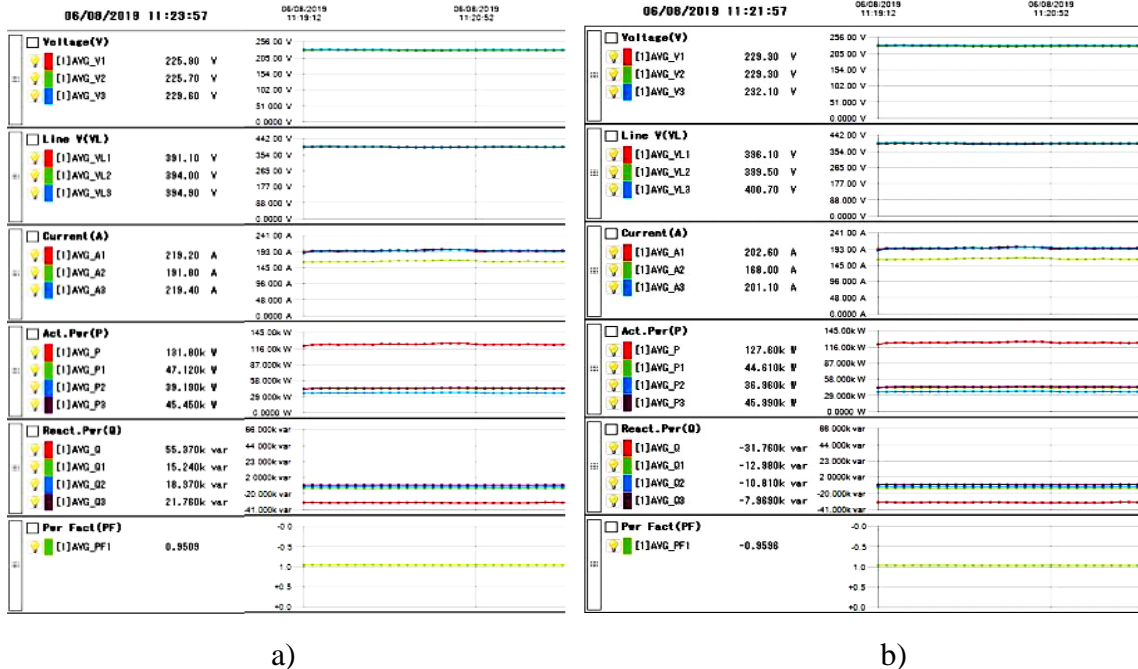
Trên thực tế, hệ thống phụ tải thường xuyên có sự thay đổi công suất tác dụng do đó giá trị  $Q_{bu}$  tối ưu cũng sẽ thường xuyên thay đổi theo phụ tải. Tuy nhiên, nếu sử dụng các thiết bị bù công suất phản kháng tốc độ cao như SVC, STATCOM hoặc thiết bị bù lai [2] sẽ giúp cho các hộ phụ tải điện giảm một lượng tổn thất đáng kể, đồng thời giảm phát nóng trong các thiết bị điện, qua đó nâng cao tuổi thọ thiết bị.



Hình 4. Hiệu quả của thiết bị bù lai tại tòa nhà viễn thông 2 - M1 Viettel trước (a) và sau lắp đặt (b)



Hình 5. Hiệu quả của thiết bị bù lại tại xưởng cơ khí - M1 Viettel trước (a) và sau lắp đặt (b)



Hình 6. Hiệu quả của thiết bị bù lại tại nhà thí nghiệm, kiểm định - M1 Viettel trước (a) và sau lắp đặt (b)

Sau nhiều lần cải tiến, hệ thống thiết bị bù lại sử dụng phương pháp tính toán như

theo công thức (11) đã được sản xuất và ứng dụng tại một số phụ tải điện như: Nhà

máy sản xuất kính an toàn Hải Long, Nhà máy sản xuất inox Hoàng Vũ, Nhà máy dệt Kim Hoa, Nhà máy sản xuất gang cầu Thiên Phát, Tập đoàn Viettel,... Hình 4, 5 và 6 là kết quả đo đặc hiệu quả của thiết bị bù lai được sử dụng tại một số cơ sở sản xuất tại Trung tâm Thông tin M1 của Tập đoàn Viettel. Kết quả đo đặc tại giá trị công suất tác dụng  $P_{max}$  tại ngay thời điểm sử dụng và không sử dụng thiết bị bù lai cho thấy: giá trị điện áp được nâng lên đáng kể, khoảng 4÷8 V (trung đương 1,8÷3,6%). Giá trị dòng điện cũng giảm từ 13 tới 20%, hệ số công suất được cải thiện từ 0,91 lên xấp xỉ 0,99÷1,00. Độ dao động công suất tác dụng và sự tiêu thụ công suất tác dụng giảm. Các kết quả đo đặc và thực tế sử dụng cũng cho thấy hiệu quả tiết kiệm điện được trên 6%.

### 3. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích tác động qua lại giữa chất lượng điện năng và hiệu suất làm việc của các động cơ điện không đồng bộ

công suất lớn trong hệ thống điện. Từ đó, nhóm tác giả đề xuất một giải pháp tính toán lượng công suất bù nhanh cho các động cơ điện không đồng bộ nhằm đảm bảo tổn thất công suất tác dụng trong toàn hệ thống là nhỏ nhất. Sau khi xây dựng thuật toán điều khiển dung lượng bù nhanh và tối ưu, nhóm tác giả đã tiến hành sản xuất và lắp đặt thiết bị bù lai tại một số địa điểm. Thông qua các kết quả đo đặc, biên bản nghiệm thu của các đơn vị sử dụng thiết bị bù lai cho thấy ngoài việc nâng cao hệ số công suất  $\cos\phi$  nhanh gần như tức thời theo sự biến thiên của phụ tải, thiết bị bù lai hoàn toàn có khả năng nâng cao được điện áp. Chính vì điều này, hiệu suất làm việc của phụ tải được nâng lên, đặc biệt là với các động cơ điện công suất lớn. Và một lần nữa cho thấy phương pháp tính toán bù tối ưu công suất phản kháng như trong bài báo đã trình bày đã đem lại con số chính xác hơn trong việc tính toán công suất thiết bị bù tối ưu tức thời cho những thiết bị bù trơn và tốc độ cao.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Đình Long, *Sổ tay tra cứu chất lượng điện năng*, Hội điện lực Việt Nam, 2014.
- [2] Bùi Anh Tuấn, Đinh Ngọc Quang, *Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Công Thương: "Nghiên cứu, chế tạo thiết bị bù công suất phản kháng trong lưới điện hạ áp dựa trên nguyên lý lai"*, 2014.
- [3] Miloje Kostic, *Induction Motors - Modelling And Controll*, Intech 2012.
- [4] Austin Bonnet, *The Impact That Voltage Variations Have on AC Induction Motor Performance*, Pulp and Paper- IEEE, 1999.
- [5] Bonnett, A.H. *An overview of how AC induction motors' performance has been affected by the October 24, 1997 Implementation of the Energy Policy Act of 1992*. IEEE Transaction on Industry Applications, Vol.36, No1, 2000, pp. 242-256.
- [6] Kravčik. A.E. *Induction Machines*. Handbook (Moscow, 1982), p. 504, (in Russian).



**Giới thiệu tác giả:**



Tác giả Nguyễn Tiến Dũng tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2005; nhận bằng Thạc sĩ ngành điều khiển và tự động hóa tại Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2012.

Lĩnh vực nghiên cứu: điều khiển hệ thống bù để nâng cao chất lượng điện năng, tự động hóa trong các nhà máy, khu công nghiệp.



Tác giả Đinh Ngọc Quang tốt nghiệp đại học chuyên ngành hệ thống điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2001; nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành kỹ thuật điện tại Đại học Bách khoa Quốc gia Odessa, Ukraina năm 2010.

Lĩnh vực nghiên cứu: lọc sóng hài, bù công suất phản kháng, điện tử công suất và chất lượng điện năng.



Tác giả Bùi Anh Tuấn tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội chuyên ngành hệ thống điện năm 2001; nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành kỹ thuật điện tại Đại học Claude Bernard - Lyon 1, Cộng hòa Pháp năm 2011.

Lĩnh vực nghiên cứu: vật liệu điện tử, bù công suất phản kháng, chất lượng điện năng và năng lượng mới.

