

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA DAO ĐỘNG ĐIỆN ÁP TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI ĐẾN HIỆU SUẤT VÀ HỆ SỐ CÔNG SUẤT LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ RÔTO LỒNG SÓC

STUDYING THE EFFECTS OF LONG-DURATION VOLTAGE VARIATIONS OF THE DISTRIBUTION NETWORK ON THE EFFICIENCY AND POWER FACTOR VALUE OF INDUCTION MOTORS

Lê Anh Tuấn^{1,*}, Nguyễn Văn Mạnh¹

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.231>

TÓM TẮT

Trong quá trình vận hành, động cơ không đồng bộ chịu tác động của điện áp, tần số nguồn cấp... ảnh hưởng đến các thông số vận hành, đặc biệt là hai thông số hệ số công suất và hiệu suất làm việc. Với nguồn cấp, lưới điện phân phối có điện áp thường dao động tùy thời điểm trong ngày, tháng, mùa và phải được giữ trong mức độ cho phép. Sự dao động này có thể tác động đến các thông số vận hành của động cơ điện. Để xem xét vấn đề trên, bài báo thông qua mô hình toán của động cơ và mô phỏng với phần mềm Matlab/Simulink nhằm nghiên cứu ảnh hưởng dao động điện áp đến động cơ. Từ kết quả nghiên cứu, một số giải pháp sẽ được bài báo đưa ra để giảm thiểu tác hại do hiện tượng dao động điện áp nhằm duy trì độ tin cậy vận hành của động cơ.

Từ khóa: Động cơ không đồng bộ; mô hình toán; dao động điện áp; Matlab/Simulink.

ABSTRACT

During operation, induction motors are subject to the influence of voltage, supply frequency, and other factors, which affect their operational parameters, especially power factor and efficiency. The power supply from the distribution network typically experiences long-duration voltage variations depending on the time of day, month, and season, and it needs to be maintained within permissible limits. These variations can impact the operational parameters of electric motors. To examine this issue, the paper utilizes a mathematical modelling of the motor and performs simulations using Matlab/Simulink software to investigate the effects of voltage variations on the motor. Based on the research findings, the paper proposes several solutions to mitigate the adverse effects caused by voltage variations in order to maintain the reliable operation of the motor.

Keywords: Induction motors; modelling; voltage variations; Matlab/Simulink.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: leanhtuan0985@gmail.com

Ngày nhận bài: 10/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2024

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa			
U_{dm}	V	Điện áp định mức	R_s, R_r	Ω	Điện trở stato, rôto
P_{dm}	Hp	Công suất định mức	L_m	H	Điện cảm từ hóa
			L_{lr}, L_{ls}	H	Điện cảm tản rôto và stato
			J	Kg.m ²	Mômen quán tính

T_L	N.m	Mômen tải định mức
p		Số cực
f	Hz	Tần số

CHỮ VIẾT TẮT

ĐC KĐB	Động cơ không đồng bộ
DĐĐA	Dao động điện áp
LĐPP	Lưới điện phân phối

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Động cơ không đồng bộ (ĐCKĐB) ba pha lồng sóc là động cơ sử dụng nguồn điện xoay chiều. Loại động cơ này sở hữu rất nhiều những ưu điểm như: Hoạt động tin cậy, cấu tạo đơn giản, chi phí ban đầu thấp, vận hành thuận tiện, bảo dưỡng đơn giản,... ĐCKĐB được chứng minh rất phù hợp khi làm việc trong ngành công nghiệp có độ bụi, độ ẩm và nhiệt độ cao [1-3]. Với những ưu điểm kể trên thì ĐCKĐB được sử dụng phổ biến và ứng dụng trong nhiều ngành: Sinh hoạt, công nghiệp, nông nghiệp,... đặc biệt là trong lĩnh vực sản xuất: Cơ khí, dệt may, thực phẩm, nông nghiệp, vận tải và xây dựng.

Trong thực tế, có nhiều yếu tố ảnh hưởng lên thông số làm việc của động cơ. Một trong những yếu tố thường xuyên liên quan đến động cơ là nguồn điện cấp. Trong các sự cố của nguồn cấp thì DĐĐA là yếu tố phổ biến hơn cả [4, 5]. Nhiều nghiên cứu cho thấy rằng, DĐĐA gây ra tổn thất trong cuộn dây rôto và stato trực tiếp làm giảm hiệu suất vận hành của động cơ. Ngoài ra, DĐĐA có thể tác động đến mômen xoắn, tốc độ, hệ số công suất ($\cos\varphi$), hiệu suất,... của động cơ [5]. Thực tế là, trong LĐPP hạ áp các yếu tố: nhu cầu phụ tải điện, điều kiện thời tiết, sản lượng điện của nhà máy phát điện,... làm cho giá trị điện áp nguồn cấp không ổn định mà luôn thay đổi liên tục [6-9]. Tần suất xảy ra DĐĐA theo thời gian có xu hướng tăng tại thời điểm cao điểm sử dụng điện, hoặc tăng vào thời điểm giữa tuần và giảm vào cuối tuần [6-8].

Hạn chế các tổn hao, nâng cao $\cos\varphi$ của ĐC KĐB do hiện tượng DĐĐA gây ra sẽ là một giải pháp tiết kiệm năng lượng, qua đó giảm chi phí vận hành và tăng tuổi thọ ĐC. Như vậy, giải pháp này là một biện pháp gián tiếp giảm tải cho lưới điện qua đó hạn chế sụt áp, tăng hiệu quả truyền tải điện năng, góp phần thực hiện mục tiêu quốc gia trong sử dụng tiết kiệm điện của Việt Nam [10].

Để nghiên cứu ảnh hưởng DĐĐA theo thời gian lên động cơ, trong mục 2 bài báo sẽ tổng hợp mô hình toán và mô phỏng động cơ với phần mềm Matlab/Simulink. Ở mục 3, bài báo sử dụng phần mềm Matlab/Simulink mô

phỏng DĐĐA tác động lên một đối tượng động cơ thí nghiệm. Các thông số động cơ thí nghiệm được xác định từ ĐC 3K90L4 của Công ty VIHEM. Kết quả thu được từ mục 3 sẽ được bài báo đánh giá để làm rõ ảnh hưởng của DĐĐA lên động cơ thử nghiệm. Từ kết quả thu được bài báo để xuất các biện pháp giảm thiểu tác hại của hiện tượng này.

2. MÔ HÌNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Trong nghiên cứu hiện nay, mô hình toán của ĐCKĐB ba pha rôto lồng sóc được thường được viết theo các phương trình cân bằng điện áp, từ thông, mômen theo hệ tọa độ dq0 [3]. Hệ tọa độ dq0 mang lại nhiều ưu điểm cho việc tính toán, mô phỏng các thông số và điều khiển động cơ. Mô hình toán giúp đơn giản hóa đối tượng động cơ điện. Khi động cơ được mô tả bằng MHT sẽ giúp cho người nghiên cứu dễ dàng khảo sát mọi khía cạnh của động cơ và tăng tính linh hoạt khi ứng dụng nó vào trong thực tiễn [11]. Bởi vậy, trong bài báo này, ĐCKĐB ba pha được mô hình hoá theo hệ tọa độ dq0.

2.1. Mô hình toán của động cơ không đồng bộ ba pha

Mô hình toán của ĐCKĐB bao gồm hệ các phương trình: Điện áp, từ thông, dòng điện [1, 11, 12].

Phương trình điện áp theo hệ tọa độ dq0:

$$R_s i_{ds} + \frac{d\lambda_{ds}}{dt} - \omega_e \lambda_{qs} = v_{ds} \tag{1}$$

$$R_s i_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} + \omega_e \lambda_{ds} = v_{qs} \tag{2}$$

$$R_r i_{dr} + \frac{d\lambda_{dr}}{dt} - (\omega_e - \omega_{r_e}) \lambda_{qr} = 0 \tag{3}$$

$$R_r i_{qr} + \frac{d\lambda_{qr}}{dt} + (\omega_e - \omega_{r_e}) \lambda_{dr} = 0 \tag{4}$$

Trong đó, $v_{ds}, v_{qs}, v_{dr}, v_{qr}$: điện áp stato, rôto theo trục d và trục q; $i_{dr}, i_{qr}, i_{ds}, i_{qs}$: dòng điện rôto, stato theo trục d và trục q; $\lambda_{dr}, \lambda_{qr}, \lambda_{ds}, \lambda_{qs}$: từ thông rôto, stato theo trục tọa độ dq0; R_s, R_r : điện trở của stato, rôto; ω_e : vận tốc góc của hệ tọa độ tham chiếu; ω_{r_e} : vận tốc góc của rôto.

Phương trình từ thông stato và rôto theo trục tọa độ dq0:

$$\lambda_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr}; \lambda_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \tag{5}$$

$$\lambda_{dr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds}; \lambda_{qr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs} \tag{6}$$

Trong đó:

+ Điện cảm của stato: $L_s = L_m + L_{ls}$

+ Điện cảm của rôto: $L_r = L_m + L_{lr}$

L_s, L_r là điện cảm của stato và rôto; L_m là điện cảm từ hoá; L_{is}, L_{ir} là điện cảm tản của stato và rôto.

Phương trình dòng điện stato và rôto theo trục toạ độ dq0 có thể được viết thành:

$$i_{ds} = \frac{\lambda_{ds} - L_m i_{dr}}{L_s}; i_{qs} = \frac{\lambda_{qs} - L_m i_{qr}}{L_s} \tag{7}$$

$$i_{dr} = \frac{\lambda_{dr} - L_m i_{ds}}{L_r}; i_{qr} = \frac{\lambda_{qr} - L_m i_{qs}}{L_r} \tag{8}$$

Trong đó: $i_{ds}, i_{qs}, i_{dr}, i_{qr}$ là giá trị điện stato, rôto theo hệ toạ độ dq0.

Phương trình mômen điện từ:

$$T_e = \frac{3p}{2} L_m (i_{qs} \cdot i_{dr} - i_{ds} \cdot i_{qr}) \tag{9}$$

Trong đó: T_e là mômen điện từ; p là số cực của động cơ.

Phương trình cơ của động cơ:

$$\frac{d\omega_{r,m}}{dt} = \frac{(T_e - T_L)}{J} \tag{10}$$

Trong đó, $\omega_{r,m}$: tốc độ quay rôto; T_L : mômen tải; J : mômen quán tính của động cơ.

2.2. Hiệu suất và hệ số công suất của động cơ

Ở chế độ xác lập, hai thông số của động cơ thường được quan tâm nhiều nhất là hiệu suất vận hành và $\cos\varphi$ của động cơ. Hiệu suất làm việc ảnh hưởng đến mức tiêu thụ năng lượng của động cơ như vậy có thể làm tăng hoặc giảm chi phí của người sử dụng. $\cos\varphi$ ảnh hưởng đến mức độ tiêu thụ công suất phản kháng trong hệ thống. $\cos\varphi$ thấp có nghĩa động cơ tiêu thụ công suất phản kháng lớn do đó sẽ làm cho tổn hao của hệ thống tăng lên, lúc này người sử dụng nên xem xét bù công suất phản kháng. Có thể tính toán hai thông số trên dựa vào các công thức như sau [13]:

Giá trị $\cos\varphi$ của động cơ được xác định:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \tag{11}$$

Trong đó: P_1 là công suất hiệu dụng mà động cơ tiêu thụ từ lưới; Q_1 là công suất phản kháng động cơ tiêu thụ từ lưới; $\cos\varphi$ là $\cos\varphi$ làm việc của động cơ.

Giá trị hiệu suất làm việc của động cơ được xác định như sau:

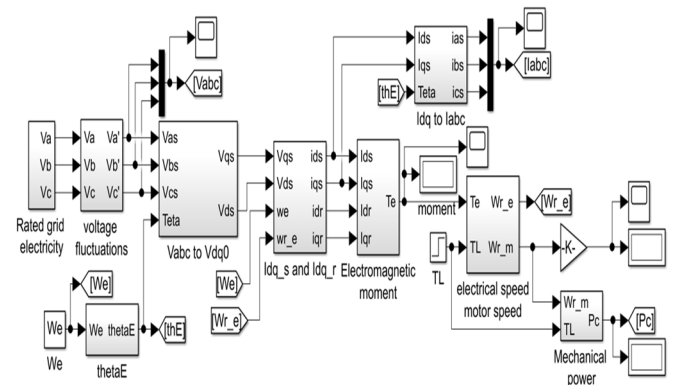
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \tag{12}$$

Trong đó: P_2 là công suất cơ đầu trục; η là hiệu suất làm việc của động cơ.

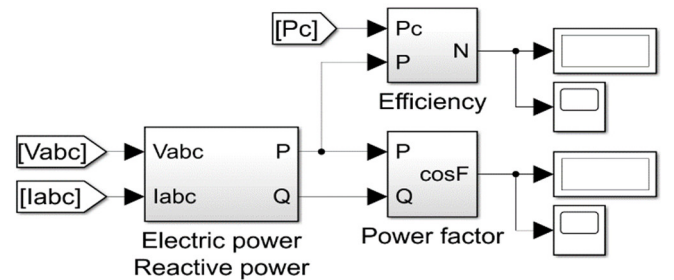
Từ công thức (11), (12) kết hợp với MHT đã tổng hợp ở mục 2.1 bài báo sẽ mô phỏng hiệu suất và $\cos\varphi$ làm việc ĐC ở chế độ xác lập.

2.3. Mô phỏng động cơ không đồng bộ ba pha với Matlab/Simulink

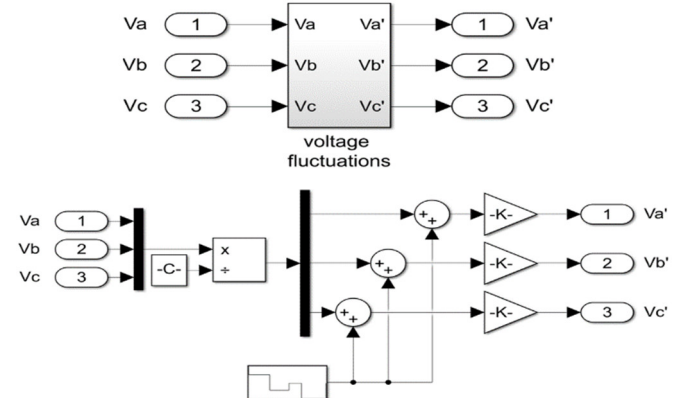
Dựa vào mô hình toán của ĐCKĐB ba pha đã tổng hợp từ mục 2.1, các công thức xác định $\cos\varphi$ và hiệu suất động cơ ở mục 2.2, phần mềm Matlab/Simulink sẽ được ứng dụng để mô phỏng động cơ. Một số khối mô phỏng như hình 1, 2 và 3.



Hình 1. Tổng thể khối mô phỏng



Hình 2. Khối hiệu suất và $\cos\varphi$ của động cơ



Hình 3. Khối ĐDDA theo thời gian

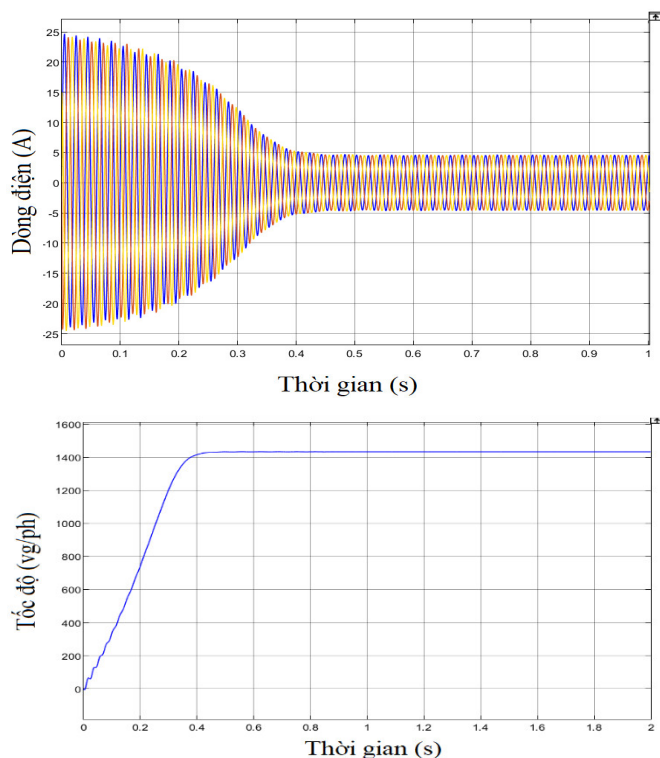
Kiểm tra, đánh giá mô hình động cơ trong Simulink: Bài báo ứng dụng mô hình toán của ĐCKĐB đã tổng hợp ở mục 2.2 và mô phỏng với phần mềm Matlab/Simulink ở mục 2.3 cho một đối tượng động cơ thử nghiệm. Động cơ

thử nghiệm có mã 3K90L4 của VIHEM. Thông số tính toán khi mô phỏng động cơ được mô tả trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng thông số động cơ thử nghiệm

Tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Điện áp định mức	U_{dm}	220/380	V
Công suất định mức	P_{dm}	2	Hp
Điện trở rôto	R_r	3,4	Ω
Điện trở stato	R_s	9,3	Ω
Điện cảm từ hóa	L_m	0,309	H
Điện cảm tản rôto	L_{lr}	0,002	H
Điện cảm tản stato	L_{ls}	0,002	H
Mômen tải định mức	T_L	9,5	N.m
Mômen quán tính	J	0,03	kg.m ²
Số cực	p	4	
Tần số	f	50	Hz

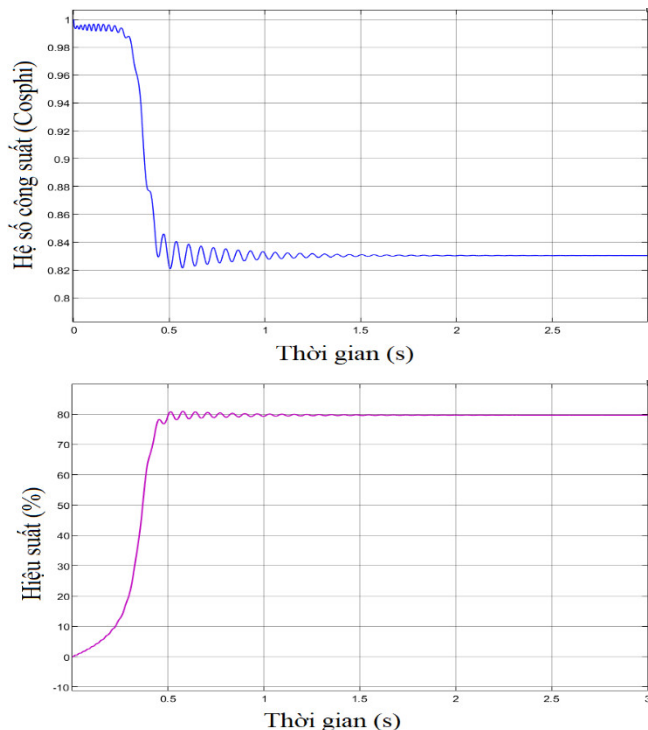
Phần mềm Matlab/Simulink được sử dụng để mô phỏng động cơ thử nghiệm với các thông số ở bảng 1. Hình 4, 5 là kết quả sau khi mô phỏng bao gồm: đặc tính dòng điện, tốc độ, $\cos\phi$, hiệu suất theo thời gian.



Hình 4. Đặc tính dòng điện, tốc độ theo thời gian

Từ đường đặc tính dòng điện khi mô phỏng cho thấy, trong quá trình khởi động dòng khởi động động cơ rất lớn (động cơ khởi động trong khoảng 0,45s). Sau 0,45s thì dòng điện động cơ ổn định với biên độ dòng điện pha cực đại 4,615A, tương đương với giá trị dòng điện dây

hiệu dụng là 5,66A. Từ đặc tính tốc độ nhận thấy rằng giá trị tốc độ của động cơ tăng dần theo thời gian trong khoảng 0,45s đầu tiên tương ứng với thời gian khởi động. Sau 0,45s giá trị tốc độ có xu hướng duy trì ổn định tại ở mức 1.435 vòng/phút.



Hình 5. Đường đặc tính $\cos\phi$ và hiệu suất động cơ

Từ đường đặc tính $\cos\phi$ có thể nhận xét rằng khoảng thời gian đầu động cơ khởi động $\cos\phi$ thay đổi rất lớn. $\cos\phi$ động cơ dao động trong khoảng 2s, sau đó ổn định với giá trị đạt 0,83. Đối với đường đặc tính hiệu suất, tương tự đường đặc tính $\cos\phi$ sau khoảng 2s thì ổn định ở mức giá trị 80%. Bảng 2 tổng hợp kết quả và so sánh các thông số thu được khi mô phỏng và giá trị của động cơ 3K90L4 (VIHEM).

Bảng 2. So sánh thông số khi mô phỏng và ĐC 3K90L4 hãng VIHEM

Thông số	3K90L4	ĐC mô phỏng	Đơn vị	Tỉ lệ sai lệch
Dòng điện	5,9	5,66	A	4%
Tốc độ	1430	1435	Vg/ph	0,34%
Hiệu suất	81	80	%	1,66%
$\cos\phi$	0,85	0,83		2,3%

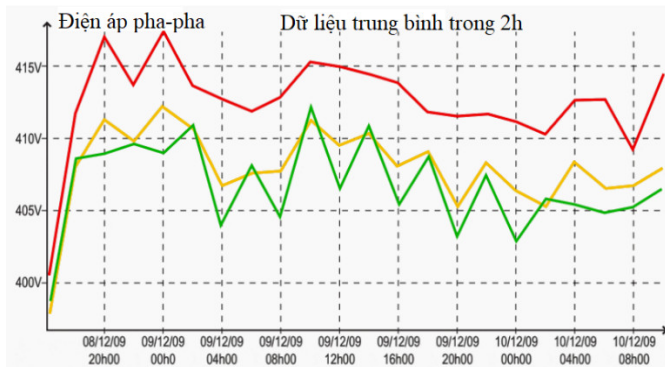
Từ các kết quả thông số của động cơ mô phỏng thu được, sau khi so sánh có thể kết luận là các thông số động cơ khi mô phỏng có sai số so với động cơ 3K90L4 của hãng VIHEM không vượt quá 5%. Như vậy, có thể khẳng định mô hình toán và mô phỏng động cơ ở chế độ xác lập là tương đối chính xác.

3. MÔ PHỎNG XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA DAO ĐỘNG ĐIỆN ÁP ĐẾN THÔNG SỐ VẬN HÀNH CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

3.1. Dao động điện áp

DĐĐA theo thời gian được định nghĩa là các biến đổi về giá trị hiệu dụng tại tần số nguồn cấp trong thời gian kéo dài trên 60s. Theo tiêu chuẩn ANSI C84.1 cũng xác định mức độ dung sai cho phép của điện áp ở trạng thái xác lập trên LĐPP. Một biến đổi hiệu điện thế được xác định là DĐĐA theo thời gian là khi giá trị hiệu dụng của nó vượt ra ngoài giới hạn được quy định bởi ANSI với thời gian lớn hơn 60s.

DĐĐA theo thời gian bao gồm hai hiện tượng: Quá điện áp và dưới điện áp. Quá điện áp và dưới điện áp nói chung không phải là sự cố do hệ thống mà nguyên nhân chủ yếu do phụ tải biến đổi và các hoạt động đóng cắt trên hệ thống gây ra [14]. Mức độ dao động điện áp theo thời gian của hệ thống điện thường theo thời điểm của ngày, trong tuần hay theo mùa và là kết quả của thay đổi nhu cầu phụ tải trên hệ thống. Bên cạnh đó, đóng cắt các thiết bị công suất lớn như trạm hàn, động cơ công suất lớn, lò nung cũng làm cho điện áp trên hệ thống thấp [15]. Các dao động này thông thường được thể hiện ở dạng giá trị điện áp hiệu dụng theo thời gian. Hình 6 biểu diễn DĐĐA trên một LĐPP hạ áp theo thời gian trong ngày.

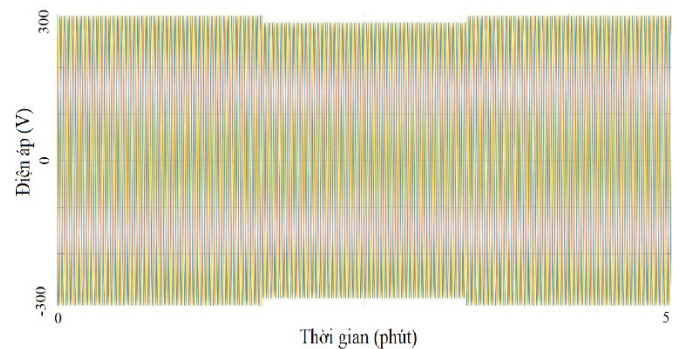


Hình 6. Đồ thị giá trị điện áp trên LĐPP hạ áp dao động theo giờ [15]

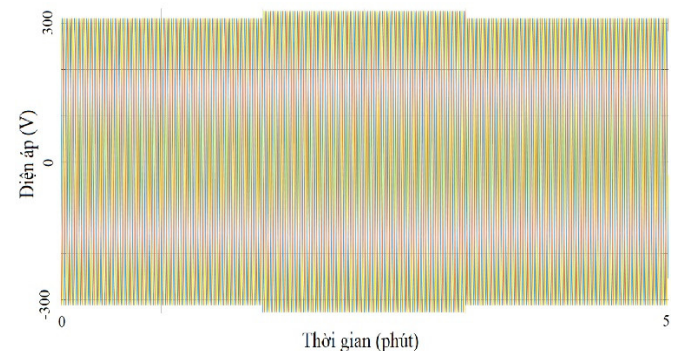
3.2. Mô phỏng đánh giá ảnh hưởng dao động điện áp đến thông số vận hành của động cơ không đồng bộ

Phần 2 đã trình bày mô hình toán và mô phỏng ĐCKĐB với Matlab/Simulink. Nghiên cứu thử nghiệm cho một động cơ thực nghiệm, kết quả giữa mô phỏng và thực tế là như nhau. Để xem xét ảnh hưởng của DĐĐA như đã đề cập ở mục 1. Bài báo tiếp tục thực hiện mô phỏng để đánh giá những ảnh hưởng của hiện tượng DĐĐA theo thời gian lên động cơ. Các kết quả được xét đến là $\cos\phi$ và hiệu suất làm việc của động cơ, đây là hai trong các thông số quan trọng của động cơ vận hành.

Theo quy định mức DĐĐA trên LĐPP cho phép tại Việt Nam cũng như một số nước là $\pm 5\%$ điện áp danh định của LĐPP [16]. Cũng theo tiêu chuẩn này quy định điện áp danh định của LĐPP hạ áp ở Việt Nam và một số nước là 220/380V. Bên cạnh đó, theo tiêu chuẩn [17] đối với máy điện quay thì trong dải điện áp từ 95% \rightarrow 105% điện áp danh định thì ĐCKĐB ba pha phải hoạt động bình thường. Vì vậy, bài báo mô phỏng cho động cơ thực nghiệm ở một số kịch bản mà mức điện áp dao động trong khoảng: 210V, 215V, 225V và 230V. Từ những kết quả thu được, bài báo sẽ so sánh với giá trị $\cos\phi$, hiệu suất làm việc của động cơ khi hoạt động ở trạng thái xác lập đã thực hiện ở mục 2.2. Điện áp khi mô phỏng khi có DĐĐA trên LĐPP hạ áp như ở hình 7.



a) Dưới điện áp



b) Quá điện áp

Hình 7. Mô phỏng dưới điện áp và quá điện áp khi có DĐĐA

Từ các kết quả giá trị đặc tính $\cos\phi$ và hiệu suất động cơ thu được sau mô phỏng, bài báo so sánh với giá trị động cơ khi hoạt động ở trạng thái nguồn cấp danh định 220V, kết quả thu được như trong bảng 3.

Bảng 3. Thông số $\cos\phi$ và hiệu suất khi có DĐĐA

Thông số	230V	225V	220V	215V	210V	Đơn vị
$\cos\phi$	0,8	0,82	0,83	0,85	0,86	
Sai số	-3,65%	-1,8%		+1,77%	+3,5%	
Hiệu suất	80,34	80,03	80	79,22	78,7	%
Sai số	+0,85%	+0,46%		-0,55%	-1,21%	

Từ kết quả mô phỏng về $\cos\varphi$ và hiệu suất ở bảng 3 cho thấy, khi có DĐĐA các thông trên của động cơ bị ảnh hưởng tương đối lớn. Khi DĐĐA theo chiều điện áp giảm thì giá trị $\cos\varphi$ có xu hướng tăng lên nhưng ngược lại hiệu suất làm việc của động cơ lúc này theo chiều giảm xuống. Giá trị lớn nhất của hiệu suất lớn nhất khi $U = 230V$ tương ứng 80,34%, giá trị lớn nhất của hệ số công suất là 0,86 tương ứng khi $U = 210V$. Hiện tượng trên có thể giải thích do nguyên nhân là [13]: Khi điện áp nguồn cấp giảm thì dòng điện từ hoá I_0 giảm làm cho $\cos\varphi$ tăng lên. Tuy nhiên, khi điện áp nguồn cấp giảm với điều kiện đang xét tải làm việc định mức thì tổn hao tổng (là tổng của tổn hao p_{Fe} , p_{Cu1} , p_{Cu2}) sẽ tăng do đó hiệu suất giảm. Như vậy, có thể kết luận là các kết quả mô phỏng chế độ xác lập là phù hợp với lý thuyết về máy điện.

4. KẾT LUẬN

Bài báo nghiên cứu tác động của DĐĐA theo thời gian đến hai thông số vận hành chính của ĐCKĐB là $\cos\varphi$ và hiệu suất làm việc. Để thực hiện, bài báo đã sử dụng mô hình toán và phần mềm Matlab/Simulink. Bài báo cũng mô phỏng một động cơ thực nghiệm từ các thông số của động cơ. Các thông số này được tính toán từ động cơ 3K90L4 của Công ty VIHEM. Bài báo đưa ra một số kịch bản về mức điện áp hiệu dụng khác nhau tác dụng lên động cơ. Các mức điện áp trong kịch bản nghiên cứu theo tiêu chuẩn quy định trong LĐPP.

Qua mô phỏng cho thấy DĐĐA theo thời gian có tác động rất lớn đến hai thông số quan trọng của động cơ là $\cos\varphi$ và hiệu suất làm việc. Cụ thể, khi điện áp đầu vào động cơ giảm thì tốc độ động cơ giảm, hiệu suất giảm xuống, $\cos\varphi$ tăng lên. Bên cạnh đó, khi điện áp đầu vào của động cơ tăng thì hiệu suất tăng, $\cos\varphi$ giảm. Kết quả cho thấy sự phù hợp với lý thuyết về máy điện nói chung, qua đó cũng khẳng định tính chính xác khi mô phỏng ĐCKĐB.

Như vậy, khi có DĐĐA theo thời gian thì hiệu suất của động cơ sẽ giảm xuống trong trường hợp giảm điện áp, lúc này đối với động cơ công suất lớn cần có những biện pháp điều chỉnh điện áp cho động cơ. Tuy nhiên khi điện áp tăng thì động cơ lại có xu hướng làm việc với $\cos\varphi$ thấp đi lúc này cần phải có những biện pháp bù công suất phản kháng cho động cơ hoặc hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Leedy A.W., "Simulink/Matlab dynamic induction motor model for use as a teaching and research tool," *In International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 3, 4, 102-108, 2013.

[2]. Bhagyashree M.S., Adappa R., "Modelling and simulation of an induction machine," *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, 4, 2, 2016.

[3]. Bellure A., Aspalii M.S., "Dynamic d-q model of induction motor using simulink," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 24.5, 252-257, 2015.

[4]. Tuan L. A., Hung B. D., Nam N. V., Tuan P. V., Nam P. V., "Studying operating characteristics of line-start permanent magnet synchronous motors in temporary over voltage time," *Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry*, 58, 3, 23-28, 2022.

[5]. Ghaseminezhad M., Doroudi A., Hosseinian S.H., Jalilian A., "Analysis of voltage fluctuation impact on induction motors by an innovative equivalent circuit considering the speed changes," *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11(2), 512-519, 2017.

[6]. Ortega M. J., Hernández J. C., García O. G., "Measurement and assessment of power quality characteristics for photovoltaic systems: Harmonics, flicker, unbalance, and slow voltage variations," *In Electric Power Systems Research*, 96, 23-35, 2013.

[7]. Dolnik B., "The analysis of voltage variation in low voltage network," *Electrotechnica, Electronica, Automatica*, 63(3), 7-12, 2015.

[8]. Da Silva A. C., Rodrigues A. B., Da Silva M.D.G., "Probabilistic evaluation of long-duration voltage variations in distribution networks with wind power plants," *IET Generation, Transmission & Distribution*, 9(13), 1526-1533, 2015.

[9]. Zaid M. M., Malik M. U., Bhatti M. S., Razzaq H., Aslam M. U., "Detection and classification of short and long duration disturbances in power system," *Journal of Electrical Systems*, 13(4), 779-789, 2017.

[10]. Dung N. T., Quang D. N., Tuan B. A., "Voltage quality improvement for induction motor in power system," *EPU Journal of Science and Technology for Energy*, 22, 48-57, 2020.

[11]. Shi K. L., Chan T. F., Wong Y. K., Ho S. L., "Modelling and simulation of the three-phase induction motor using Simulink," *International journal of electrical engineering education*, 36(2), 163-172, 1999.

[12]. Tuan P. V., Thuan N. Q., Long N. T., Thu N. M., Tuan N. A., "Modelling of the Three-Phase Induction Motor with Changes in Motor Parameters," *Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry*, 48, 21-25, 2018.

[13]. Vu Gia Hanh, Tran Khanh Ha, Phan Tu Phu, Nguyen Van Sau, *Giao trình máy điện 1*, 2. Science and Technics Publishing House, Hanoi, 2003.

[14]. Dugan R.C., Mc Granaghan M.F., Santoso S., Beaty, H.W., *Electric power systems quality*. McGraw-Hill, 2004.

[15]. Csanyi E., *14 disturbance types that mess up power quality and 50/60Hz sinusoidal signal*. Accessed 5 April 2024. <https://electrical-engineering-portal.com/disturbances-mess-up-power-quality>.

[16]. TCVN 7995:2009 (IEC 60038:2002), Standard voltages

[17]. TCVN 3189-79, Retating electric machinery - General technical requirements

AUTHORS INFORMATION

Le Anh Tuan, Nguyen Van Manh

Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam