

## NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, MÔ PHÒNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BẰNG PHẦN MỀM MAXWELL

Phan Thị Hồng Phương\*, Lê Vĩnh Thắng, Tạ Thị Lại

Phân hiệu Đại học Huế tại Quảng Trị, Đại học Huế

\*Email: hongphuong2403@gmail.com

Ngày nhận bài: 4/01/2019; ngày hoàn thành phần biên: 16/01/2019; ngày duyệt đăng: 16/01/2019

### TÓM TẮT

Ngày nay, với nhiều phát minh khoa học về lĩnh vực kỹ thuật thì ngày càng có nhiều công cụ hơn để có thể khảo sát các loại động cơ hơn. Một trong số các tính năng của công cụ nghiên cứu các động cơ đó là có thể xây dựng được mô hình mô phỏng động cơ nhằm tăng tính trực quan của hệ thống cũng như rút ngắn thời gian nghiên cứu, thời gian chế tạo thử, giảm chi phí trong thiết kế và nghiên cứu. Qua quá trình mô hình hóa và mô phỏng có thể lựa chọn lại kết cấu mới phù hợp hơn cho người sử dụng và quá trình công tác của động cơ. Trong đề tài này tác giả tập trung nghiên cứu ứng dụng phần mềm Maxwell trong việc thiết kế động cơ không đồng bộ ba pha để tối ưu hóa kết cấu, tính năng làm việc cho hiệu suất sử dụng cao hơn, giảm thiểu thời gian chế tạo thử.

**Từ khóa:** Động cơ, phần mềm Maxwell, mô phỏng

### 1. MỞ ĐẦU

Hiện nay trên thế giới có rất nhiều phần mềm liên quan đến động cơ nói chung và quá trình điện từ trường hay nhiệt động học nói riêng trong động cơ như các phần mềm đa phương KIVA, phần mềm nhiệt động học quá trình công tác PROMO, đặc biệt phần mềm Maxwell mô phỏng trường điện từ hàng đầu cho các kỹ sư thiết kế trên 3-D và 2-D gồm động cơ, cơ cấu truyền động, máy biến áp, cảm biến và cuộn dây.

Ansys Maxwell sử dụng phương pháp chính xác phần tử hữu hạn FEM để giải các phương trình vi tích phân của hệ phương trình Maxwell viết cho trường điện từ. Từ đó, biết được phân bố trường điện từ trong máy điện, tính toán được các tham số của máy điện [4]

Khác với phương pháp thiết kế truyền thống, sử dụng các công thức giải tích, hệ số kinh nghiệm, bảng tính ... khi ứng dụng FEM, cần phải xây dựng mô hình hình

học cho máy điện, khai báo thông số vật liệu, đặt ra các giả thiết về điều kiện biên, và sử dụng máy tính số để giải các bài toán với khối lượng tính toán lớn [4].

## 2. SỨC ĐIỆN ĐỘNG MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Để máy điện làm việc được tốt, yêu cầu sức điện động xoay chiều phải biến đổi hình sin theo thời gian, còn sức điện động 1 chiều phải có trị số không đổi [2].

Thực tế là không thể vì do cấu tạo máy nên từ trường cực từ và của dây quấn đều khác sin. Ta phân tích chúng thành sóng cơ bản (bậc 1) và sóng bậc cao  $v$  (bậc 3, 5, ...), phân từ cảm B thành các sóng sin  $B_1, B_3, B_5, B_7, \dots$  với từ trường  $B_1$  có bước cực  $\tau$  còn  $B_v$  có bước cực  $\tau_v = \tau/v$ .

Khi roto chuyển động, từ trường  $B_1, B_3, B_5, \dots$  cảm ứng trong dây quấn sức điện động  $e_1, e_3, e_5, \dots$  do tần số  $f$  khác nhau nên sức điện động tổng trong dây quấn sẽ có dạng không sin.

Nguyên nhân làm cho sức điện động cảm ứng không sin là từ cảm B không sin. Sau đây là các biện pháp để làm cho sức điện động cảm ứng có dạng sin.

### 2.1. Tạo độ cong mặt cực:

Với  $\delta$  là khe hở nhỏ nhất giữa mặt cực.  $\delta$  tăng dần về 2 phía mồm cực từ, để B hình sin thì  $\delta_x$  cách giữa mặt cực bằng: 
$$\delta_x \approx \frac{\delta}{\cos(\pi x / \tau)}$$

Với  $b$  là bề rộng mặt cực;  $b = (0,65 \div 0,76)\tau$  và  $\delta_{\max} = (1,5 \div 2,5)\delta$

### 2.2. Rút ngắn bước dây quấn:

Khi  $y = \tau$  thì tất cả các sức điện động bậc cao đều tồn tại vì:  $k_{nv} = \sin(v\beta\pi/2) = \pm 1$

Khi  $y < \tau$  thì sức điện động bậc cao tùy ý sẽ bị triệt tiêu, như:  $\beta = y/\tau = 4/5$  vậy rút ngắn dây quấn  $\tau/5$  và  $k_{n5} = \sin 5 \frac{4\pi}{5} = 0 \Rightarrow E_5 = 0$ . Tương tự,  $E_7 = 0$  thì rút ngắn  $\tau/7$

Bước ngắn không đồng thời triệt tiêu tất cả sức điện động bậc cao vì vậy phải chọn bước ngắn thích hợp; Rút ngắn bước dây sức điện động bậc 1 cũng giảm đi 1 ít nhưng không đáng kể.

### 2.3. Thực hiện dây quấn rải:

Khi  $q = 1$  thì  $k_{rv} = \pm 1$  nghĩa là các sức điện động bậc cao không giảm.

Khi  $q > 1$  thì các sức điện động bậc cao đều giảm nhỏ.

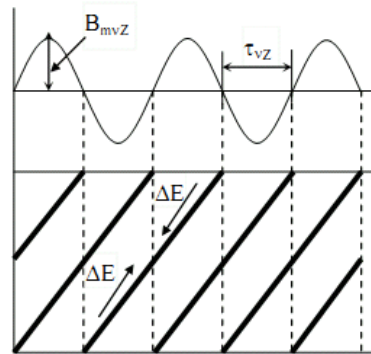
Một số bậc cao không bị giảm yếu đi mà có  $k_{rv} = k_{r1}$  bậc của sức điện động đó có thể biểu thị như bằng  $v_z = 2mqk \pm 1$

Trong đó:  $k = 1, 2, 3, \dots$  và  $m$  là số pha;  $q$  là số rãnh 1 pha dưới 1 cực từ. Vì  $2mq = Z/p$  nên:

$$v_z = \frac{Z}{p} k \pm 1, \text{ sóng điều hòa } v_z \text{ gọi là sóng điều hòa răng.}$$

Sở dĩ có  $k_{rv} = k_{r1}$  là do góc lệch  $\alpha_{vz}$  giữa các sức điện động của các bố dây đặt trong các rãnh liên tiếp do từ trường bậc  $v_z$  hoàn toàn bằng góc lệch  $\alpha$  ứng với từ trường sóng cơ bản:

$$\alpha_{v_z} = \alpha \cdot v_z = \frac{2\pi p}{Z} \left( k \frac{Z}{p} \pm 1 \right) = 2\pi k \pm \frac{2\pi p}{Z} = 2\pi k \pm \alpha$$



Hình 1. Trường hợp rãnh chéo 1 bước răng [3]

Quán rải không triệt tiêu được sóng điều hòa răng, tuy nhiên  $q$  tăng  $v_z$  tăng theo và  $B_{mvz}$  nhỏ đi, kết quả là sóng điều hòa răng cũng nhỏ đi tương ứng và dạng sóng sức điện động cũng cải thiện được 1 phần [3].

**2.4. Thực hiện rãnh chéo:**  $v_z = \frac{Z}{p} \cdot k \pm 1$ , trường hợp  $k = 1$  là lớn nhất,

Để triệt tiêu được sức điện động này ta chọn bước rãnh chéo:  
 $b_c = 2 \cdot \tau \cdot p / Z = \pi D / Z$  [1]

### 3. THIẾT LẬP THÔNG SỐ ĐỘNG CƠ VÀO PHẦN MỀM MAXWELL

Động cơ công suất 1,1kW, số cực  $2p=2$ , điện áp định mức 220/380V,  $\cos\phi = 0,92$ . Tổ nối dây Y/ $\Delta$  thiết lập vào phần mềm Maxwell:

Công suất: 1100W

Điện áp vào của động cơ: 380V

Tốc độ từ trường: 3000 vòng/phút

Tần số: 50Hz; Động cơ đấu hình

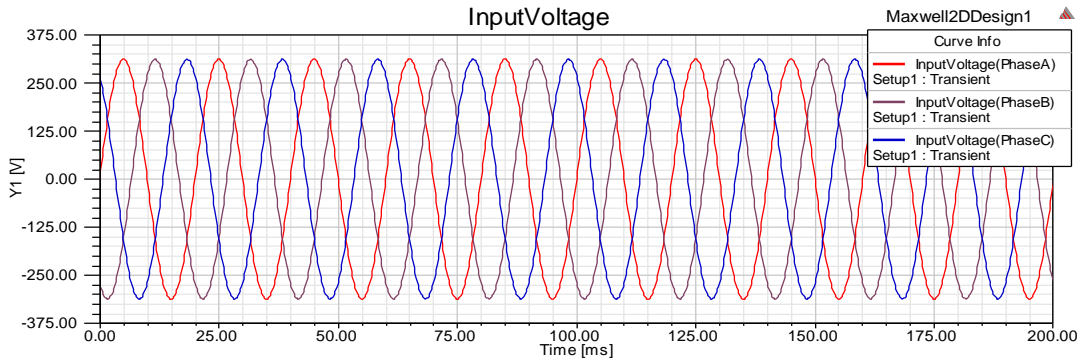
sao Y

Chạy mô phỏng với lựa chọn 1: dây quấn 1 lớp, tập trung dưới cực từ

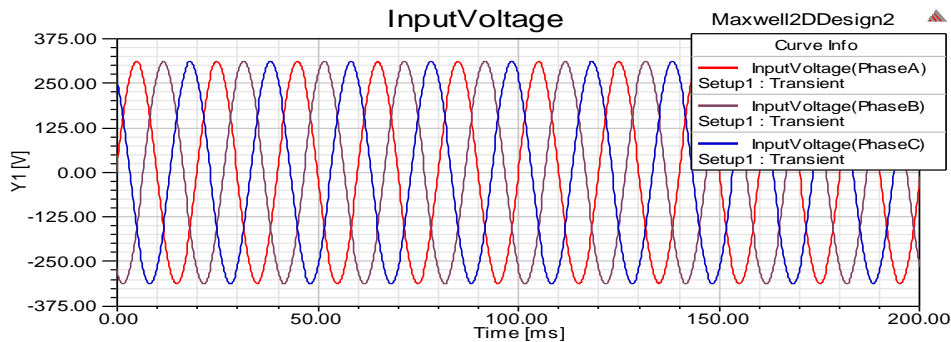
Chạy mô phỏng với lựa chọn 2: dây quấn 2 lớp, quấn rải dưới các cực từ, bước ngắn

## 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH

### 4.1. Điện áp vào động cơ



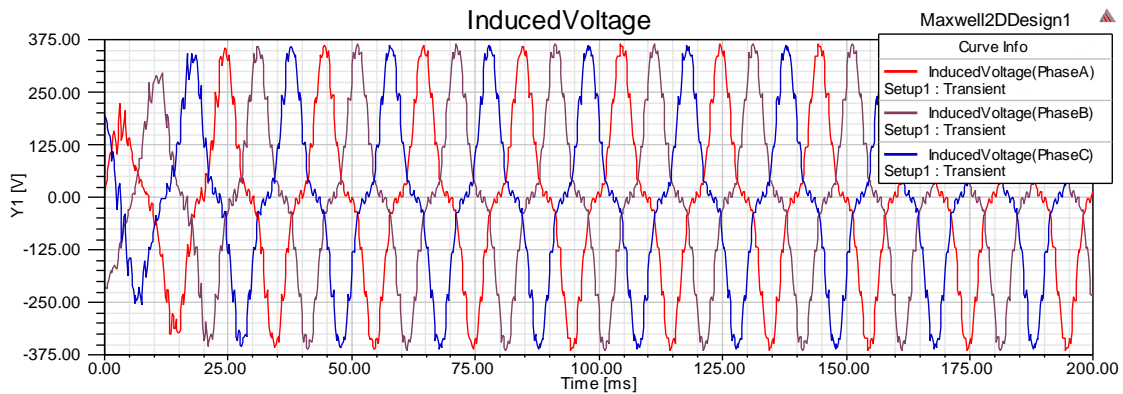
Hình 2. Điện áp đầu vào dây quấn với lựa chọn 1



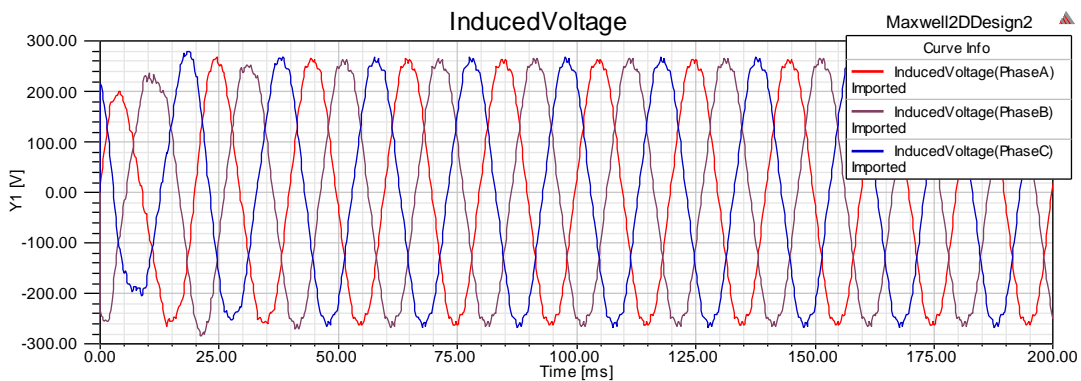
Hình 3. Điện áp đầu vào dây quấn với lựa chọn 2

Ở cả hai trường hợp 1 và 2 (Hình 2 và hình 3), điện áp vào dây quấn động cơ ba pha biến thiên theo hàm hình sin theo thời gian có dạng  $U = 310,069\sin 2\pi \cdot 50 \cdot \text{time}$ , động cơ đấu sao.

#### 4.2. Điện áp cảm ứng trên cuộn dây stator động cơ



Hình 4. Điện áp cảm ứng của dây quấn lúc làm việc (lựa chọn 1)



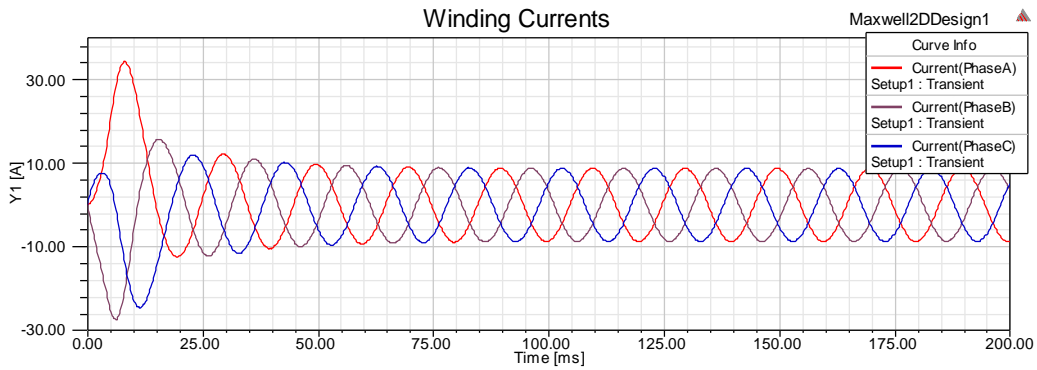
Hình 5. Điện áp cảm ứng của dây quấn lúc làm việc (lựa chọn 2)

Hình 4 và 5 là điện áp cảm ứng đo được trên cuộn dây stator lúc làm việc. Với thiết kế 1, dây quấn một lớp, tập trung, bước đủ thì thành phần sóng hài lớn làm biến dạng sóng hình sin ( $U=U_m \sin 2\pi \cdot 50 \cdot \text{time}$ ) của cuộn dây stator. Khi sử dụng dây quấn 2 lớp bước ngắn quấn rải thì giảm được sóng hài trên dây quấn động cơ. Điều này giảm được tiếng ồn cho động cơ. Độ lớn điện áp phụ thuộc vào số mạch nhánh song song, số vòng dây quấn một pha của động cơ.

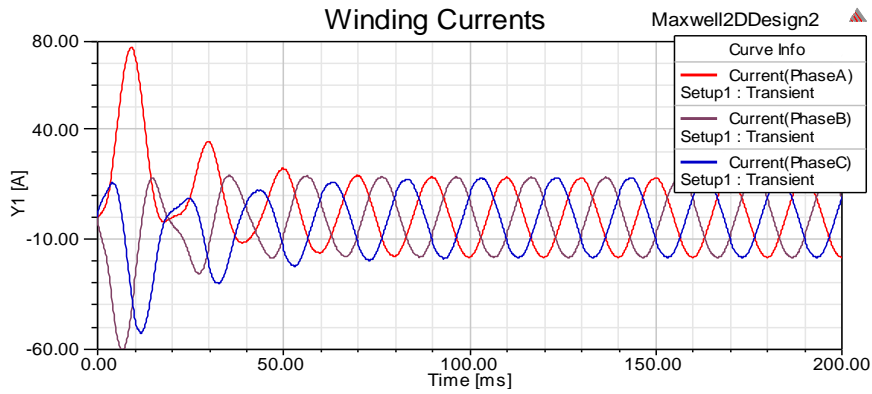
Thời gian khởi động với thiết kế lựa chọn 1 một là khoảng 25ms. Thời gian khởi động với thiết kế lựa chọn 2 dài hơn, khoảng 50ms.

Điện áp cuộn dây stator giảm trong quá trình khởi động.

### 4.3. Dòng điện trên cuộn dây stator



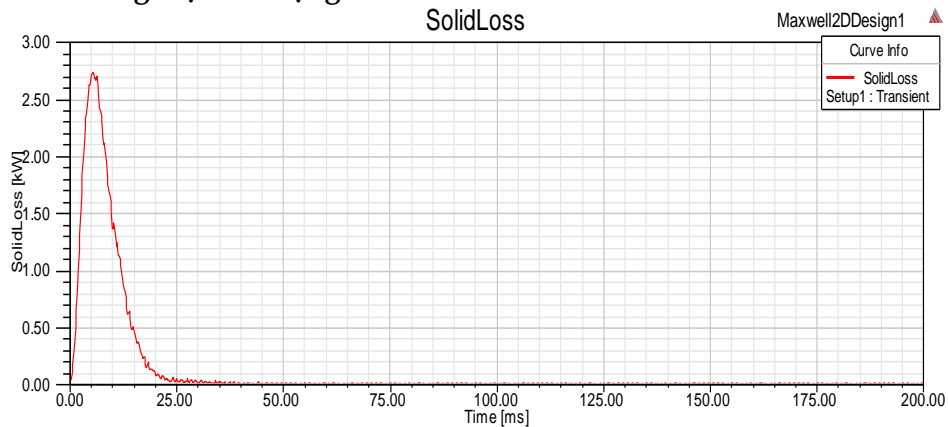
Hình 6. Dòng điện các pha dây quấn (lựa chọn 1)



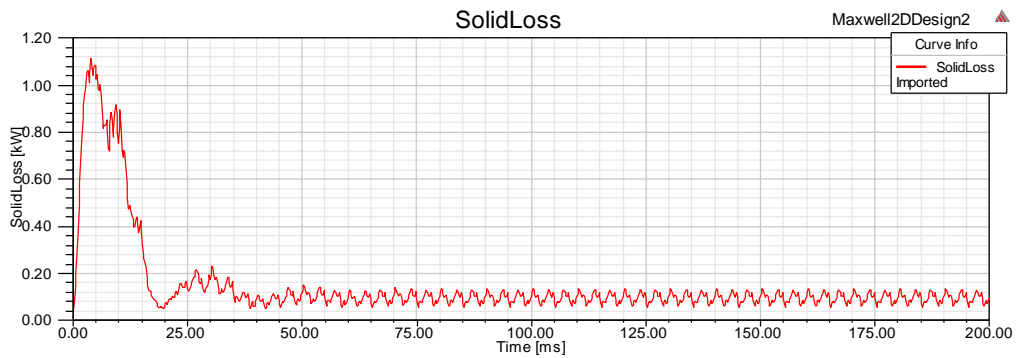
Hình 7. Dòng điện các pha dây quấn (lựa chọn 2)

Hình 6 và 7 là dòng điện các pha dây quấn stator động cơ, biến thiên theo luật hình sin có dạng  $I = I_m \sin(2\pi \cdot 50 + \phi)$ , khi dùng dây quấn 2 lớp thì trị số dòng điện trong dây quấn tăng lên. Trị số dòng khởi động tăng gấp khoảng 4 lần dòng định mức. Ở lựa chọn 1, thời gian khởi động khoảng 25ms, ở lựa chọn 2 thời gian khởi động dài hơn, khoảng 50ms và quá trình khởi động dòng điện biến đổi phức tạp hơn.

### 4.4. Tổn hao trong mạch từ động cơ



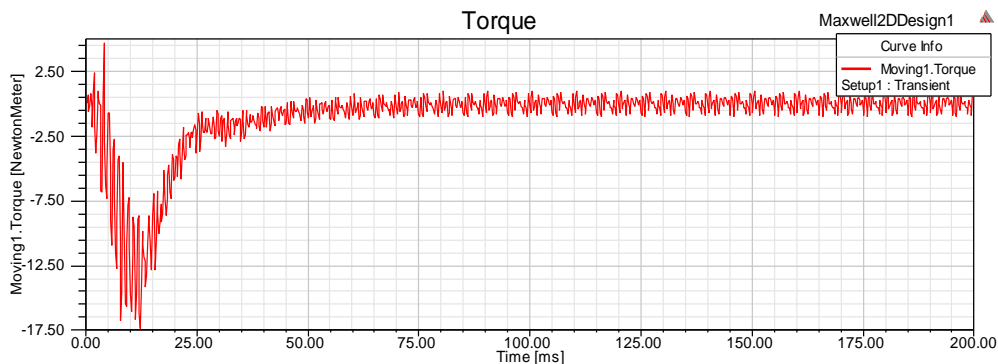
Hình 8. Tổn hao trong mạch từ động cơ (lựa chọn 1)



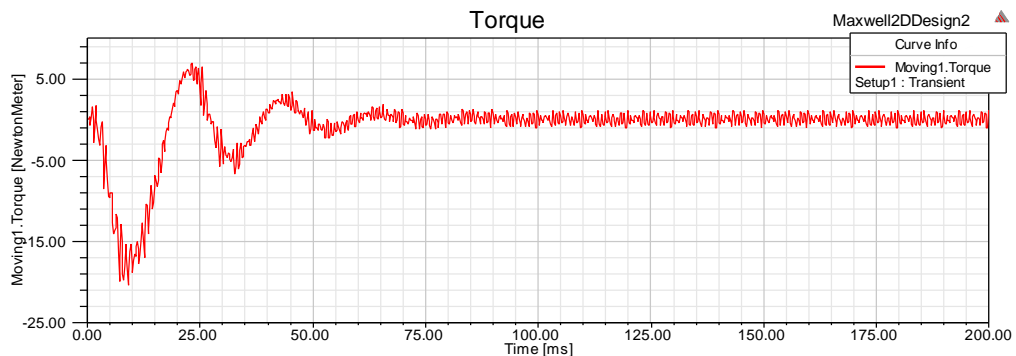
Hình 9. Tổn hao trong mạch từ động cơ (lựa chọn 2)

Hình 8 và 9 là tổn hao trong mạch từ lúc không tải. Khi lựa chọn 1 tức là dây quấn tập trung, bước đủ thì đỉnh tổn hao cao hơn nhưng thời gian khởi động ngắn (25ms), tổn hao trong quá trình xác lập sau khởi động nhỏ hơn nhiều. Với lựa chọn thiết kế 2 thì đỉnh tổn hao thấp hơn tuy nhiên thời gian khởi động dài (50ms) nên tổn hao kéo theo cũng không kém, sau khi quá trình quá độ khởi động xảy ra thì tổn hao lớn hơn lựa chọn thiết kế 1 nhiều.

#### 4.5. Momen động cơ



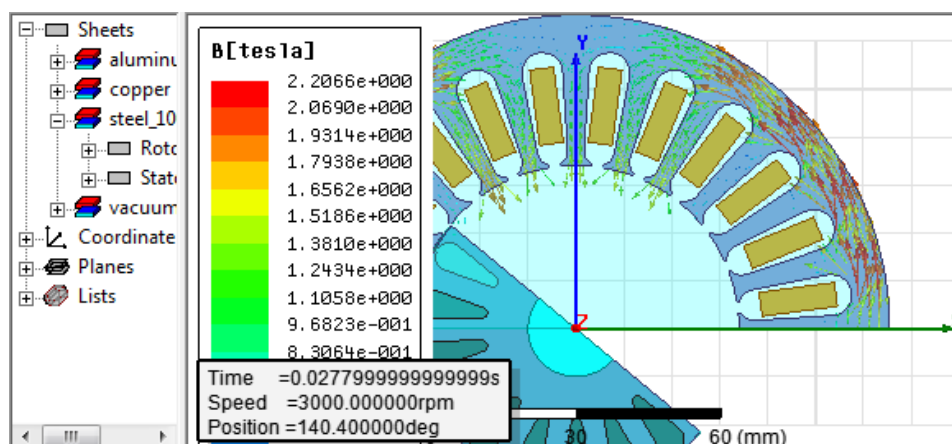
Hình 10. Mô men động cơ (lựa chọn 1)



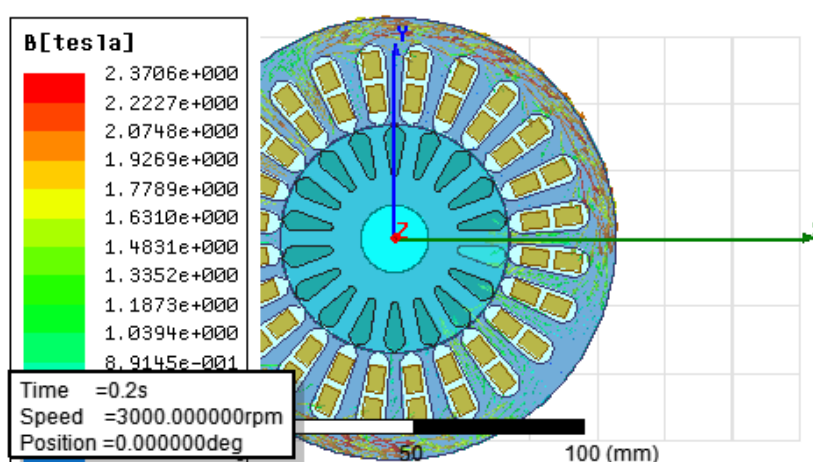
Hình 11. Mô men động cơ (lựa chọn 2)

Hình 10 và 11 là momen động cơ. Momen động cơ khi dùng dây quấn bước ngắn 2 lớp quấn rãi (lựa chọn 2) có nhiều cực trị trong thời gian khởi động dài hơn so với lựa chọn 1.

#### 4.6. Từ trường động cơ



Hình 12. Từ trường quan sát được là từ trường quay (lựa chọn 1)



Hình 13. Từ trường quan sát khi mô phỏng là từ trường quay (lựa chọn 2)

Hình 12 và 13 mô tả từ trường lúc quay của động cơ là từ trường quay tròn. Lựa chọn 1 từ trường tập trung dưới 1 cực từ, với lựa chọn 2 từ trường phân tán ở 2 cực từ. Từ trường ở khe hở không khí có biên độ lớn nhất, ở trường hợp 1 sẽ có biên độ cực đại lớn hơn trường hợp 2.

## KẾT LUẬN

Động cơ không đồng bộ là loại động cơ phổ biến được sử dụng rất nhiều trong đời sống sinh hoạt và công nghiệp. Nó thuộc loại máy điện quay xoay chiều được sử



dụng nhiều nhất trong các loại máy điện buộc người học hoặc các kỹ sư điện phải hiểu rõ quá trình điện từ trong nó để thiết kế, vận hành hiệu quả.

Kết quả mô phỏng động cơ thấy được chi tiết về thiết bị điện với kết quả tính toán được, thấy được từ tính của động cơ mà mắt thường chúng ta không nhìn thấy cũng như tính toán rất khó khăn để tìm ra, thậm chí tính toán bằng tay có độ chính xác không cao.

Lúc mô phỏng động cơ, quan sát được từ trường sinh ra trong động cơ là từ trường quay tròn. Các tham số của động cơ như điện áp, sức điện động, dòng điện, từ thông đều biến thiên theo qui luật hình sin theo thời gian. Tuy nhiên, kết quả thấy rằng điện áp cảm ứng của dây quấn động cơ bị biến dạng do có các sóng hài bậc cao gây ra, khi sử dụng dây quấn 2 lớp bước ngắn quấn rải làm giảm đi sóng hài trên cuộn dây của động cơ. Tuy nhiên, thời gian khởi động của động cơ lớn hơn gấp đôi, quá trình khởi động dòng điện và momen biến đổi phức tạp, tổn hao mạch từ tăng. Việc giảm bớt sóng hài trong động cơ sẽ giảm tiếng ồn trong động cơ. Tuy nhiên, Đối với động cơ 1,1kW sử dụng điện áp dây 380V nên dùng dây quấn 1 lớp sẽ tốt hơn.

Qua phân tích kết quả sau khi chạy mô phỏng giúp người thiết kế có sự lựa chọn phù hợp hơn đối với từng loại động cơ phù hợp với yêu cầu thực tế, giảm được thời gian chế tạo thử.

Khi ứng dụng phần mềm này mô phỏng thiết kế máy điện còn gặp nhiều khó khăn, do các thông số đưa vào mô hình mô phỏng và thông số chế tạo thực tế có thể sai khác, FEM cũng không thể phản ánh được toàn bộ tác động của yếu tố công nghệ chế tạo nên giữa mô hình mô phỏng và mô hình thực tế sẽ có sai số. Do đó, trong phương pháp mới này cần kết hợp giữa phương pháp mô phỏng và kinh nghiệm thiết kế chế tạo.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Khánh Hà, Nguyễn Hồng Thanh (2001), *Thiết kế máy điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Vũ Gia Hanh (2001), *Máy điện 1*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [3] Bùi Tấn Lợi (2008), *Máy điện 1*, Nhà xuất bản Đà Nẵng, Đà Nẵng.
- [4] Phần mềm mô phỏng điện từ trường trong lĩnh vực thiết kế máy điện - Ansys Maxwell – Website: <http://webdien.com>
- [5] Hướng dẫn sử dụng phần mềm Ansys Maxwell để mô phỏng động cơ không đồng bộ ba pha - TS. Đoàn Thanh Bảo, Website: <https://www.youtube.com/watch>

## DESIGN RESEARCH AND ASYNCHRONOUS MOTOR SIMULATION BY MAXWELL SOFTWARE

**Phan Thi Hong Phuong\***, Le Vinh Thang, Ta Thi Lai

Quang Tri Branch, Hue University

\*Email: hongphuong2403@gmail.com

### ABSTRACT

With many current scientific inventions in the field of technology, there are more and more tools to be able to survey the types of motor. One of the features of the motor research tool is that it is possible to build a motor simulation model to increase the system's visualization as well as shorten the study time, trial production time, reduce costs in design and research. Through modeling and simulation processes that can optimize the working process, new structures are more suitable for users. In this topic, the author focuses on studying Maxwell application in the design of three-phase asynchronous motors to optimize the structure, working features for higher use efficiency and minimization of trial production time.

**Keywords:** Motor, Maxwell software, simulation.



**Phan Thị Hồng Phương** sinh ngày 24/3/1982 tại Quảng Trị. Năm 2006, bà tốt nghiệp Kỹ sư ngành Kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Năm 2010, bà tốt nghiệp thạc sĩ chuyên ngành Mạng và Hệ thống điện tại Đại học Bách khoa Đà Nẵng. Từ năm 2010 đến nay, bà là giảng viên tại Phân hiệu Đại học Huế tại Quảng Trị.

*Lĩnh vực nghiên cứu:* Hệ thống điện, máy điện và các lĩnh vực liên quan.



**Lê Vinh Thắng** sinh ngày 24/6/1991 tại Quảng Bình. Năm 2014, ông tốt nghiệp Kỹ sư ngành Hệ thống điện tại Trường Đại học Điện lực Hà Nội. Năm 2017, ông tốt nghiệp thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật điện tại Đại học Bách khoa Đà Nẵng. Từ năm 2015 đến nay, ông là giảng viên tại Phân hiệu Đại học Huế tại Quảng Trị.

*Lĩnh vực nghiên cứu:* Hệ thống điện, Hệ thống phong điện và các lĩnh vực liên quan.



**Tạ Thị Lại** sinh ngày 11/02/1986 tại Quảng Trị. Năm 2010, bà tốt nghiệp Cử nhân Sư phạm kỹ thuật Điện – Điện tử tại Trường Đại học Bách Khoa Đà Nẵng. Năm 2013, bà tốt nghiệp Thạc Sĩ chuyên ngành Mạng và hệ thống điện tại Đại học Bách khoa Đà Nẵng. Từ 2010 đến nay, bà giảng dạy tại Bộ môn Kỹ thuật điện, Phân hiệu Đại học Huế tại Quảng Trị.

*Lĩnh vực nghiên cứu:* Lưới điện, năng lượng tái tạo và các lĩnh vực liên quan.

