

# Xác định các tham số điện từ của động cơ SRM thông qua thực nghiệm

## Experimental determination of electromagnetic parameters of the switched reluctance motor

Phạm Công Tào

Email: tao.phamcong@gmail.com

Trường Đại học Sao Đỏ

Ngày nhận bài: 08/01/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/3/2020

Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2020

### Tóm tắt

Bài báo đưa ra phương pháp xác định các tham số điện từ của động cơ từ kháng (Switched reluctance motor - SRM) dựa trên các kết quả đo thực nghiệm. Phương pháp đưa ra xác định được sự phụ thuộc tổn hao năng lượng trong chu kỳ từ hóa đảo chiều và từ thông  $\Delta W_{th}(\Psi)$ , năng lượng sử dụng khi đóng  $W_d$  và khi cắt  $W_c$  pha. Chỉ tiêu năng lượng ở các chế độ làm việc của máy điện từ kháng SRM-1.250 kW và sự thay đổi công suất trên tải cũng được xác định.

**Từ khóa:** Động cơ từ kháng; tổn hao năng lượng; tổn hao công suất; chỉ tiêu năng lượng; đóng-cắt pha.

### Abstract

The paper presents a method to determine the electromagnetic parameters of the switched reluctance motor (SRM) based on experimental measurement data. The methods show the dependence of energy losses in magnetic reversal cycle and magnetic flux  $\Delta W_{th}(\Psi)$ , as well as the energy used when switching switch phase. Indicators of energy in the different operating modes of the SRM-1.250 kW resistance and changes in power on load are also determined.

**Keywords:** Switched Reluctance Motor; loss energy; loss power; energy indicator; switch phase.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy điện từ kháng có từ thập niên 90 của thế kỷ XIX nhưng khi đó nó chưa được phát triển. Tuy nhiên, cho tới nay do sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ bán dẫn và vi điều khiển, người ta đã và đang quan tâm tới việc nghiên cứu và ứng dụng. Máy điện từ kháng nói chung, động cơ từ kháng (SRM) nói riêng trong thiết kế vật liệu tiêu tốn giảm 1,7 lần so với các máy điện thông thường, cho phép tiết kiệm năng lượng khoảng 30÷40%. Máy phát điện từ kháng có các ưu điểm sau: Cấu tạo đơn giản (trong rotor không có dây quấn, không có tiếp xúc điện giữa chổi than và cổ góp), hiệu suất cao, quán tính của rotor bé nên kết cấu bền vững phù hợp cả với những máy có tốc độ quay cao, moment khởi động lớn và chịu quá tải ngắn hạn tốt, làm việc tin cậy. Khả năng tối ưu chế độ làm việc theo sự thay đổi tốc độ và tải, sự thực hiện hệ thống điều khiển tương đối đơn giản [1÷7].

Nhiệm vụ đặt ra là qua thực nghiệm mẫu mô hình SRM - 1.250 kW chúng ta xem xét phương pháp xác định chỉ tiêu năng lượng trong chế độ làm việc của máy điện từ kháng công suất lớn, xác định giá trị moment quay trên trục động cơ, công suất đầu vào, đầu ra của máy, hệ số công suất  $\eta$  và hệ số biến đổi năng lượng điện - cơ. Việc xác định đó được hình thành dựa trên sự gia công sóng điện áp và dòng điện đo được của máy điện từ kháng.

Kết quả nhận được đưa ra đánh giá chỉ tiêu năng lượng với phương pháp tải tác dụng tương hỗ giữa hai khối SRM. Những kết quả là sự đo trực tiếp giá trị trung bình và giá trị hiệu dụng của dòng điện và điện áp tương ứng bằng dụng cụ đo điện.

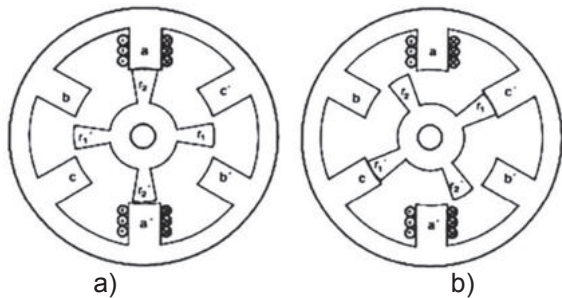
## 2. CẤU TẠO CỦA MÁY PHÁT TỪ KHÁNG

### 2.1. Dạng kết cấu đơn giản của máy điện từ kháng

Khác với máy đồng bộ thông thường, cả rotor và stator của máy phát từ kháng đều có cực lồi như hình 1. Với cấu tạo cực lồi như vậy sẽ có lợi trong việc chuyển đổi năng lượng điện từ. Trên mỗi cực

Người phản biện: 1. PGS.TS. Trần Hoài Linh  
2. TS. Đỗ Văn Đình

của stator đều có một cuộn dây, các cuộn dây trên các cực đối nhau được mắc nối tiếp với nhau. Tám cuộn dây trong hình được nhóm lại với nhau thành 4 góc pha khi có một sự chuyển đổi cấp điện độc lập cho 4 pha. Rotor gồm nhiều lớp ép lại với nhau mà không có cuộn dây hoặc nam châm vì vậy mà giá thành sản xuất rẻ hơn. Máy phát trên hình 1, stator có 6 cực và rotor 4 cực.



Hình 1. Cấu tạo của máy phát điện từ kháng

Trên hình 1.a là vị trí răng của stator và rotor đồng trục (aligned position), hình 1.b vị trí răng của stator và rotor lệch trục (unaligned position). Đây là cấu tạo được sử dụng rộng rãi. Tuy nhiên, vẫn có máy có cấu tạo với số cực stator và rotor khác và có thể là bội số nói trên [1].

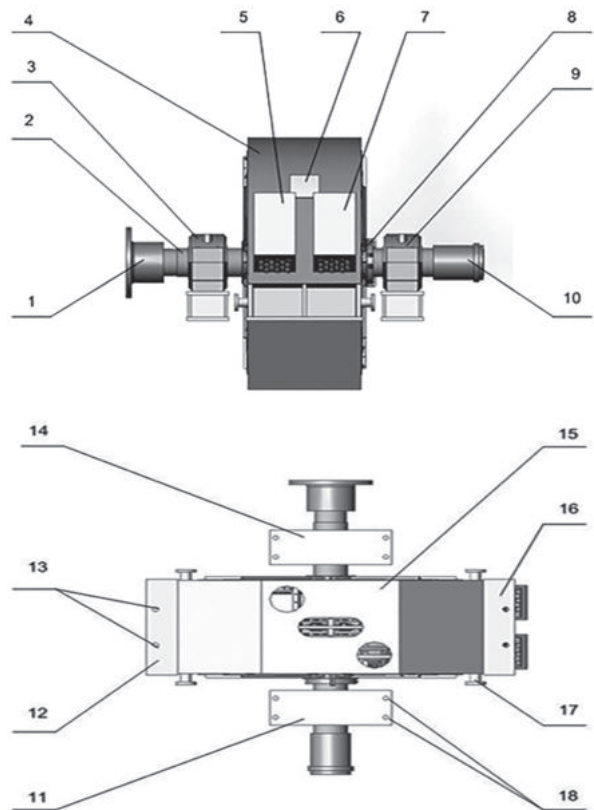
**2.2. Các thông số cơ bản và hình dạng của SRM - 1250 kW**

Các thông số cơ bản của SRM - 1.250 kW được đưa ra trong bảng 1 [3].

Bảng 1. Các thông số cơ bản của SRM - 1.250 kW

Các thông số	Giá trị
Công suất định mức (kW)	1.250
Số vòng quay định mức (vòng/phút)	190
Điện áp định mức (V)	900
Hiệu suất (%)	96
Đường kính ngoài stator (mm)	2.200
Đường kính rotor (mm)	1.685
Chiều dài của 1 khối (mm)	285
Khe hở không khí (mm)	3
Số pha	3
Số răng stator/rotor	24/16
Số mạch nhánh song song	2
Số cuộn dây trong 1 pha	23

Trên hình 2 là hình dạng kết cấu bên ngoài của SRM - 1.250 kW [3].



Hình 2. Hình dạng cấu trúc bên ngoài của máy SRM - 1.250 kW

Trong đó:

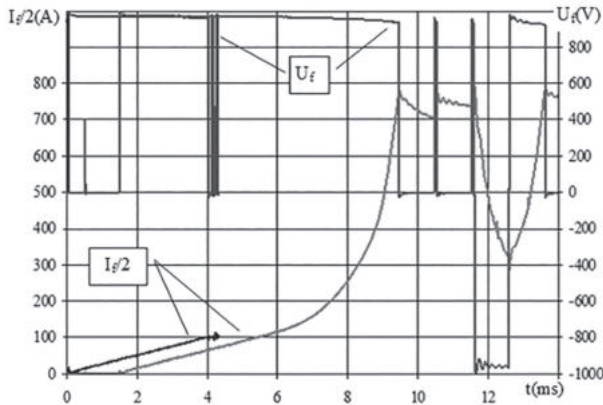
1 - mặt bích trục đầu ra của máy; 2 - trục đầu ra của máy; 3, 9 - ổ bi, gối đỡ; 4 - vỏ stator của máy dạng đứng; 5, 7 - hộp dùng để cho đầu vào cấp cấp nguồn điện cho máy; 6 - nắp dẹt cảm biến nhiệt độ; 8 - cảm biến vị trí của rotor; 10 - khớp nối công nghệ; 11, 14 - mặt tựa giá đỡ cho ổ bi thứ nhất và thứ hai; 12, 16 - mặt tựa thứ nhất và thứ hai cho vỏ máy stator; 13 - các lỗ gia công vỏ máy stator; 15 - bảng điều khiển trên vỏ máy, phía dưới máy với nhiều lỗ để thông gió làm mát; 17 - trụ cột dây để di chuyển máy; 18 - các lỗ để ghép nối với giá đỡ [3].

**3. XÁC ĐỊNH ĐƯỜNG CONG ĐẢO CHIỀU TỪ HÓA VÀ CÁC CHỈ TIÊU NĂNG LƯỢNG TRONG CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA SRM-1250 kW**

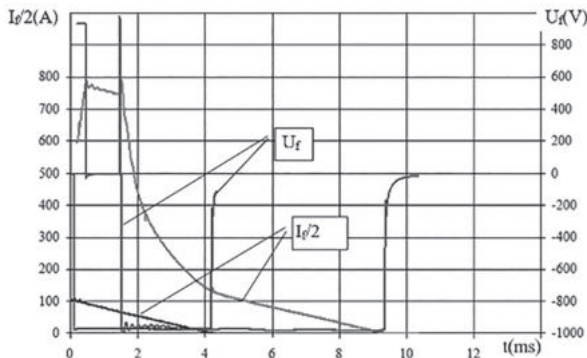
**3.1. Xác định đường cong đảo chiều từ hóa**

Để xác định đường cong đảo chiều từ hóa nửa pha của máy SRM - 1250 kW ở vị trí đồng trục, khi đó 2 cực lồi của stator và rotor nằm ở vị trí mà trục của chúng trùng nhau như trên hình 1a. Dạng sóng dòng điện và điện áp nửa pha khi bắt đầu đóng và cắt nửa pha, giá trị dòng điện  $I_{max} = 100 A$ ,  $I_{max} = 800 A$ , trên hình 3 đưa ra biểu đồ dòng điện và điện áp khi đóng nửa pha, hình 4 là biểu đồ dòng điện và điện áp khi cắt nửa pha với  $I_{max} = 100 A$  và  $I_{max} = 800 A$ . Điểm đặc biệt của dao động lúc đóng là khi  $I_{max} = 800 A$  ở chỗ giới hạn dòng điện sau hai

xung ngắn của điện áp dương thì dòng điện vượt cao hơn giá trị thiết lập trên của nó dẫn đến khi ngắt đồng thời 2 khóa ở mạch lực thì dòng điện chạy qua các diod ngược (trong sơ đồ hình cầu của bộ biến đổi) và do đó quá trình này tiếp đến nửa pha của điện áp âm [4,5]. Thời gian của trạng thái này được xác định bởi cách cài đặt trong hệ thống điều khiển quá trình đóng lặp lại của khóa IGBT (khoảng thời gian 1 ms). Kết quả là dòng điện giảm xuống gần 300 A và sau đó lại tăng về giá trị thiết lập của dòng điện giới hạn. Đây là sự xác định chu kỳ lặp lại hai xung ngắn của điện áp.



Hình 3. Biểu đồ dao động khi đóng nửa pha với dòng điện là 100 A và 800 A



Hình 4. Biểu đồ dao động khi cắt nửa pha với dòng điện là 100 A và 800 A

Từ hình 3, khi  $I_{max} = 100$  A tần số đóng cắt cao hơn, do sự thiết lập thời gian tăng lên cùng với sự tăng của dòng điện  $I_{max}$ , để nhận được biểu đồ của từ thông tổng  $\Psi(I)$  trên đoạn dòng điện tăng, ta thực hiện tích phân tín hiệu điện áp, khi điều kiện ban đầu  $\Psi_0 = 0$ , với  $t_d$  là thời gian đóng:

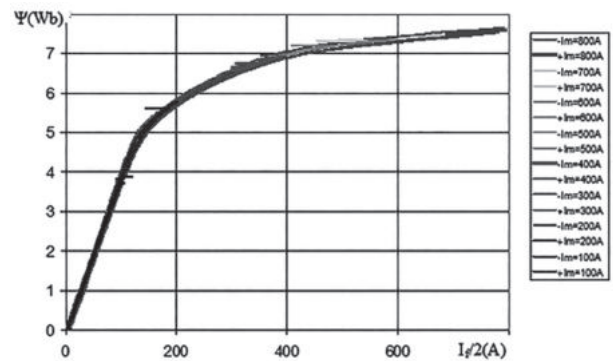
$$\Psi(t) = \Psi_0 + \int_{t_d}^t U_f dt \quad (1)$$

Đối với đoạn dòng điện giảm, tích phân tương tự ta tính toán với giá trị ban đầu  $\Psi_{max}$ , tích phân đầu tiên tại thời điểm dòng điện đạt tới giá trị giới hạn

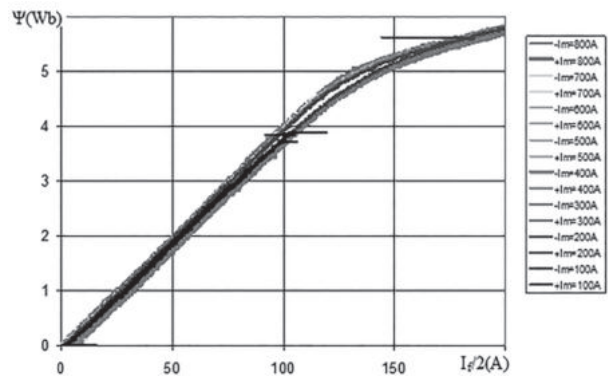
$$\Psi(t) = \Psi_{max} + \int_{t_d}^t U_f dt \quad (2)$$

Xuất phát từ dạng sóng ban đầu của dòng điện  $i(t)$  và biểu đồ từ thông  $\Psi(t)$  ta xây dựng đồ thị  $\Psi(I)$ , họ đường cong  $\Psi(I)$  khi dòng điện thay đổi từ 100-800 A đưa ra trên hình 5. Sự thay đổi giá trị ban đầu  $\Psi_0$  cho mỗi chu kỳ của từ trường, chúng có thể được lồng vào nhau, điều này được hiển thị rõ hơn trong hình 6, ở đó tỷ lệ tăng được thấy rõ hơn ở đoạn đầu đường cong đảo chiều từ trường của hình 5.

Họ đường cong từ hóa nhận được mang đến một trường hợp đặc biệt là từ hóa bởi các dòng điện từng phần. Để có được một chu kỳ đảo chiều từ hóa toàn phần cần thiết một nguồn điện cấp với sự thay đổi điện áp của dòng điện, ví dụ, có thể sử dụng một máy biến áp một pha. Khi sử dụng nguồn của dòng điện một chiều, có thể sử dụng chuyển mạch đầu ra các pha bằng cách thí nghiệm “bật/tắt” các pha liên tiếp.



Hình 5. Họ đường cong đảo chiều từ hóa nửa pha khi dòng điện giới hạn xác lập khác nhau



Hình 6. Đoạn đầu họ đường cong đảo chiều từ hóa nửa pha khi các dòng điện giới hạn xác lập khác nhau

Để đánh giá tổn thất của thép trong quá trình từ hóa của một chu kỳ, chúng ta cũng có thể sử dụng công thức tính tổn thất từ hóa trong các chu kỳ toàn phần và một phần nhận được trước đó trong các nghiên cứu các mẫu SRM khác [4÷6]. Nhưng cần lưu ý rằng, việc đánh giá tổn thất trước đây đưa ra nhận được từ việc xử lý các dữ liệu của họ đường cong từ hóa thực nghiệm không thể sử dụng trực tiếp để đánh giá tổn thất trong thép khi quá trình đóng - cắt pha của SRM, vì ở các phần khác nhau trong mạch

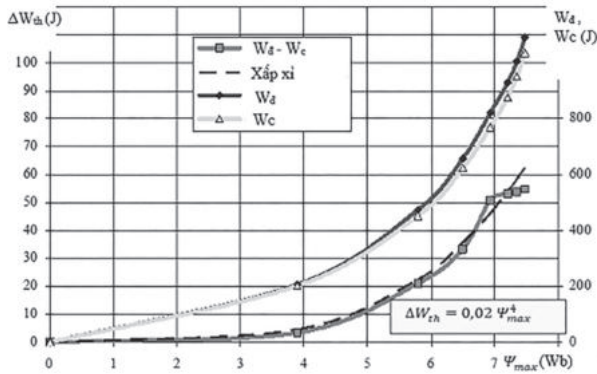
từ sự từ hóa diễn ra ở các chu kỳ và tần số khác nhau sẽ khác nhau. Nhưng đánh giá gần đúng thì kết quả nhận được là tương đối đơn giản [4+6].

Trên hình 7 đưa ra sự phụ thuộc tổn hao năng lượng trong chu kỳ đảo chiều từ hóa và từ thông cực đại  $\Delta W_{th}(\Psi_{max})$ , chúng nhận được khi sự chênh lệch giữa năng lượng tiêu thụ đóng nửa pha  $W_d$  và năng lượng cắt nửa pha  $W_c$ . Đường nét đứt cũng cho thấy giá trị gần đúng của sự chênh lệch này. Sự phụ thuộc  $\Delta W_{th}(\Psi_{max})$  qui định bởi hàm chức năng của giá trị cực đại từ thông trong chu trình đảo chiều từ hóa. Các tính toán năng lượng  $W_d$ ,  $W_c$  được thực hiện theo công thức (3) và (4), với  $t_c$  là thời gian cắt. Trong trường hợp đầu tiên (công thức 3) tích phân thực hiện đến thời điểm  $\Psi(t) = \Psi_{max}$ , trong trường hợp thứ hai (công thức 4) thực hiện đến thời điểm  $U_f = 0$  khi  $I_f = 0$

$$W_d(t) = \int_{I_d}^t (U_f \cdot I_f / 2) dt \quad (3)$$

$$W_c(t) = \int_{I_c}^t (U_f \cdot I_f / 2) dt \quad (4)$$

Để xác định chính xác hơn các tổn hao trong thép theo công thức (3) và (4) thay vào đó  $U_f$  là  $E_f = U_f - \frac{I_f R_{nf}}{2}$  (trong đó  $E_f$  là sức điện động pha), tính toán sơ bộ cho thấy rằng sai số trong việc xác định  $W_d$  và  $W_c$  bỏ qua điện áp rơi trên điện trở tác dụng nửa pha ( $R_{nf}$ ) trong trường hợp này không quá 1%.

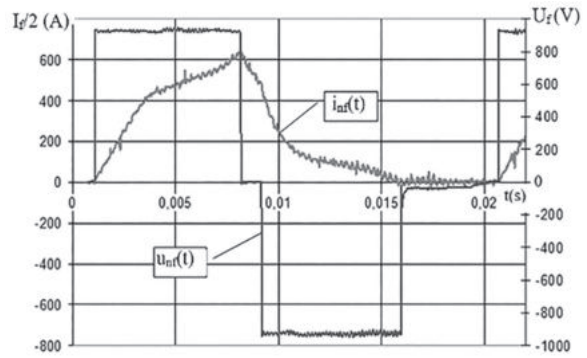


Hình 7. Sự phụ thuộc tổn hao năng lượng trong chu kỳ đảo chiều từ hóa  $\Delta W_{th}(\Psi_{max})$ , năng lượng tiêu thụ khi đóng  $W_d$  và năng lượng khi cắt nửa pha  $W_c$

### 3.2. Xác định các chỉ tiêu năng lượng trong các chế độ làm việc và đo công suất tải của SRM - 1.250 kW

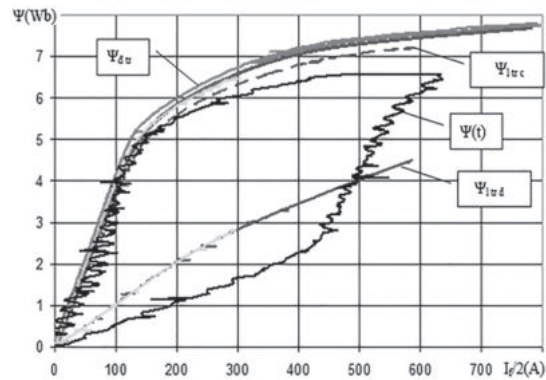
#### a. Xác định các chỉ tiêu năng lượng trong các chế độ làm việc

Khảo sát tín hiệu của chu kỳ đóng cắt nửa pha ở tốc độ  $n = 190$  vòng/phút, dạng sóng ban đầu của điện áp  $U_{ph}(t)$  và dòng điện nửa pha  $i_{nf}(t)$  được biểu thị trên hình 8.



Hình 8. Dạng sóng điện áp và dòng điện trong chu kỳ làm việc đóng cắt nửa pha khi  $n = 190$  vòng/phút

Tương tự như các thí nghiệm đóng và cắt nửa pha khi rotor đứng yên, xác định biểu đồ  $\Psi(t)$  được tính theo công thức (1), nhận được biểu đồ  $\Psi(t)$  đưa ra trên hình 9.



Hình 9. Chu kỳ làm việc đóng - cắt nửa pha khi  $n = 190$  vòng/phút

Trên hình 9 ngoài đường cong đảo chiều từ hóa nhận được của nửa pha ở đó vị trí răng của stator và rotor đồng trục  $\Psi_{dtr}(i_{nf})$ , trên đó cũng đưa ra đường cong đảo chiều từ hóa vị trí răng của stator và rotor lệch trục  $\Psi_{ltrd}(i_{nf})$ . Đồ thị  $\Psi_{ltrd}$  không trùng với phần ban đầu  $\Psi(t)$  của chu kỳ đóng cắt pha và đồ thị  $\Psi_{ltrc}$  không trùng với  $\Psi_{ltrd}$  và nằm gần đường cong đảo chiều từ hóa của vị trí đồng trục. Điều này cũng được chứng minh bằng các quan sát thực tế với số vòng quay của rotor sau khi đóng nửa pha của khối máy phát [2+5].

Trong đó các đường:

- $\Psi_{dtr}$  - từ thông tại vị trí đồng trục;
- $\Psi_{ltrd}$  - từ thông tại vị trí lệch trục khi đóng;
- $\Psi_{ltrc}$  - từ thông tại vị trí lệch trục khi cắt.

Đối với đồ thị thực  $\Psi_{ltrd}(i_{nf})$ , ta lấy phần ban đầu của sự tăng dòng điện khi đóng pha trong chu kỳ làm việc đóng - cắt pha, khi đó được tính toán khá chính xác bởi các đường thẳng  $\Psi_{ltrd} = L_{nf} \cdot i_{nf}$

Ở đây  $L_{nf} = \frac{1 \text{ Wb}}{200 \text{ A}} = 5 \text{ mH}$  với  $L_{nf}$  - điện cảm nửa pha ở vị trí lệch trục.

Để xác định công suất đầu vào, đầu ra nửa pha cho chế độ làm việc của động cơ. Đồ thị công suất điện tức thời (hình 10) được tiêu thụ trên nửa pha được tính toán theo công thức:

$$P_{d.nf}(t) = u_f(t) \cdot i_{nf}(t) \quad (5)$$

Năng lượng điện nửa pha tính theo công thức tương tự công thức (3), nhưng tích phân trong toàn bộ chu kỳ đóng - cắt.

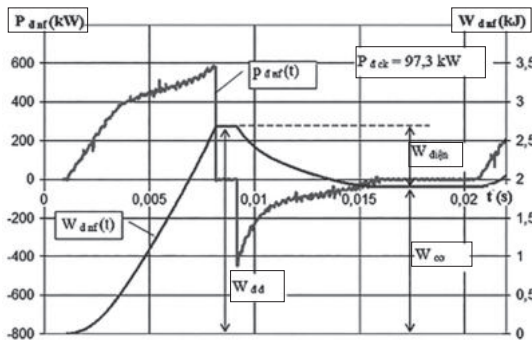
$$W_{d.nf}(t) = \int_{t_d}^t (u_f \cdot i_{nf}) dt = \int_{t_d}^t P_{d.nf}(t) dt \quad (6)$$

Tính toán giá trị trung bình  $p_{d.nf}(t)$  trong chu kỳ đóng cắt  $T_{d-c} = 19,59$  ms, đưa ra công suất điện trong chu kỳ đóng-cắt là  $P_{d.ck} = 97,3$  kW, còn nhân nó với toàn bộ thời gian chu kỳ đóng cắt  $T_{d-c}$  đưa ra được năng lượng cơ học ( $W_c$ ) (trong trường hợp không tính tổn hao điện trong cuộn dây và tổn hao trong lõi thép).

$$W_c(t) = \int_{t_d}^{t_d+T_{d-c}} P_{d.nf}(t) dt = P_{d.ck} \cdot T_{d-c} = 1,91 \text{ kJ} \quad (7)$$

Để tính hao tổn điện, chúng ta tính toán theo đồ thị đường cong  $i_{nf}^2(t)$  trong khoảng thời gian  $T_{d-c}$  được giá trị hiệu dụng của dòng điện nửa pha  $I_{nf} = 307$  A và với  $R_{nf} = 0,02 \Omega$ , tổn thất công suất điện của nửa pha được xác định.

Các tổn thất điện năng trong thép được đánh giá theo biểu đồ  $\Delta W_{th}(\Psi_{max})$  (hình 7). Và từ hình 9 thấy được với chu kỳ đóng - cắt,  $\Psi_{max} = 6,58$  Wb, cho  $W_{th} = 37,492$  J. Điều này tương ứng với tổn thất điện năng trong thép  $\Delta P_{st} = \frac{W_{th}}{T_{d-c}} = 1,9$  kW.



Hình 10. Biểu đồ công suất điện tức thời  $p_{d.nf}(t)$  và năng lượng điện tức thời  $W_{d.nf}(t)$  với chu kỳ làm việc đóng - cắt nửa pha khi  $n = 190$  vòng/phút

Kết quả là công suất cơ nửa pha (không tính toán tổn thất cơ).

$$P_c = P_{d.ck} - \Delta P_{đ} - \Delta P_{st} = 93,5 \text{ kW} \quad (8)$$

Với điều kiện phân phối tải giữa các nửa pha là đồng nhất và sự làm việc của cả ba pha là như nhau trong mỗi khối (máy SRM - 1.250 kW có cấu tạo gồm hai khối hoàn toàn giống nhau), chúng ta tính tổng công suất điện, công suất cơ của máy.

$$P_d = 12 P_{d.ck} = 12 \cdot 97,3 = 1167,5 \text{ kW}$$

$$P_c = 12 P_{c.nf} = 12 \cdot 93,5 = 1122 \text{ kW}$$

Và hiệu suất:  $\eta = \frac{P_c}{P_d} \cdot 100\% = 96\%$

Từ đồ thị  $W_{d.nf}(t)$  trên hình 10 chúng ta xác định hệ số biến đổi điện - cơ  $K_{đc}$ :

$$K_{đc} = \frac{W_c}{W_{đđ}} = \frac{1,9}{2,685} = 0,71$$

Với  $W_{đđ}$  - công suất điện khi đóng.

Vì số răng của rotor là  $Z_R = 16$ , góc quay của rotor  $\omega$  được xác định theo tài liệu [4].

$$\omega = \frac{2\pi}{16 \cdot T_{đ-c}} = 19,6 \text{ rad/s}$$

Phù hợp với tốc độ quay của rotor:

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = 190 \text{ vòng/phút}$$

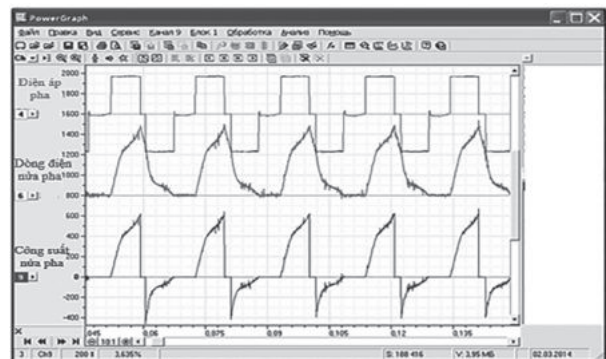
Giá trị moment quay trên trục được xác định theo công thức:

$$M = \frac{P_{c\sigma}}{\omega} = \frac{1122}{19,6} = 57,25 \text{ kN.m}$$

### b. Đo công suất tải

Các dao động ban đầu được xem xét trong sự phân chia phương pháp để xác định các chỉ số năng lượng của chế độ vận hành SRM-1.250 kW nhận được với sự giúp đỡ của máy tính, module tổng hợp nhiều kênh bên ngoài tương tự/số L-CardE14-440. Chức năng của tổ hợp này cho phép ta nhanh chóng nhận thông tin về công suất tải trong chế độ tải tương hỗ lẫn nhau của các khối SRM (một khối làm việc ở chế độ động cơ và khối còn lại làm việc ở chế độ máy phát).

Hình 11 đưa ra các biểu đồ về điện áp và dòng điện của nửa pha ở  $n = 190$  vòng/phút, một đoạn trong đó được gia công, xử lý trên Microsoft Excel thành sơ đồ đã đưa ra (hình 6). Chúng được ghi lại trong khoảng thời gian 2,83 giây với độ phân giải 0,015 ms (tần số 66,66 kHz). Giá trị nhận được của  $P_{d.ck} = 97,17$  kW gần với giá trị thu được trước đó là 97,3 kW.



Hình 11. Dạng sóng ban đầu điện áp, dòng điện và công suất tức thời nửa pha của máy SRM - 1.250 kW khi tốc độ quay 190 vòng/phút

## 4. KẾT LUẬN

Thực nghiệm chứng minh rằng có thể xác định các tham số cơ bản của máy điện từ kháng SRM thông qua các đặc tính của biểu đồ thực nghiệm kết hợp các công thức toán học.

Kết quả thực nghiệm đánh giá chính xác các tham số cơ bản cho máy điện từ kháng công suất 1.250 kW như dòng điện, điện áp, từ thông, công suất điện, công suất cơ từ đó tìm được hiệu suất của máy SRM - 1.250 kW. Thực nghiệm còn xác định sự phụ thuộc của tổn thất năng lượng trong chu kỳ đảo chiều từ hóa và từ thông  $\Delta W_{st} (\Psi_{max})$ , năng lượng khi đóng  $W_d$  và khi cắt pha  $W_c$ .

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Công Tào, Nguyễn Phương Ty, Phạm Thị Hoan (2017), *Mô hình hệ thống máy phát SRG- diesel*, Tạp chí nghiên cứu khoa học Đại học Sao Đỏ. Số 4(59). Trang 13-20.
- [2] Alechxay Petrovich Temirev, Gennady Konstantinovich Ptakh, Alexander Vladimirovich Anisimov (2009), *Triển vọng phát triển của máy điện từ kháng tại các nhà máy khai thác và chế biến của công ty Alrosa*, Tạp chí Cơ điện. Số 2. Trang 42-50.
- [3] Alechxay Petrovich Temirev, Andrey Arkadevich Tsvetkov, Phạm Công Tào (2016), *Động cơ điện từ kháng 1.250 kW-187 vòng/phút*, Phát minh sáng chế số 99654 của Liên bang Nga, đăng ký nhà nước ngày 16/8/2016.
- [4] Gennady Konstantinovich Ptakh (2015), *Máy điện từ kháng công suất trung bình và công suất lớn thí nghiệm trong và ngoài nước*, Tạp chí Khoa học điện tử. Số 3. Trang 23-33.
- [5] Alexey Sergeevich Tsvetkov, Vasily Ivanovich Kiselev (2014), *Máy điện từ kháng cho các nhà máy khai thác và chế biến của công ty "Alrosa"*, Hội thảo hệ thống cơ điện thông minh và tổ hợp, trường Đại học Bách khoa Miền Nam Liên bang Nga mang tên M.I Platov. Novocherkassk ngày 10-12 tháng 6/2014. Trang 70-76.
- [6] Phạm Công Tào, Alechxay Petrovich Temirev (2018), *Phương pháp xác định các thông số của máy điện từ kháng công suất cao*, Tạp chí Điện tử công suất thực nghiệm. Số 3 (71). Trang 16-20.
- [7] Nguyễn Phùng Quang, *Động cơ từ kháng và triển vọng ứng dụng các hệ thống Mechatronics*, [https://drive.google.com/file/d/1ScMits\\_7NlyQWPPEMJOKdJ1U2tSQ7hpi/view](https://drive.google.com/file/d/1ScMits_7NlyQWPPEMJOKdJ1U2tSQ7hpi/view), cập nhật ngày 20/01/2020

## THÔNG TIN TÁC GIẢ



### Phạm Công Tào

- Tóm tắt quá trình đào tạo, nghiên cứu (thời điểm tốt nghiệp và chương trình đào tạo, nghiên cứu):
- + Năm 2003: Tốt nghiệp Đại học ngành Điện công nghiệp, Trường Đại học Nông nghiệp 1
- + Năm 2009: Tốt nghiệp Thạc sĩ ngành Kỹ thuật đo lường và điều khiển tự động, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
- + Năm 2020: Tốt nghiệp Tiến sĩ ngành Các tổ hợp và Hệ thống kỹ thuật điện, Trường Đại học Bách khoa Miền Nam Liên bang Nga
- Tóm tắt công việc hiện tại: Giảng viên, khoa Điện, Trường Đại học Sao Đỏ
- Lĩnh vực quan tâm: Kỹ thuật điện, hệ thống điện, điện tự động hóa
- Email: tao.phamcong@gmail.com
- Điện thoại: 0336791663