

**BIỂU THỨC MÔ TẢ QUAN HỆ GIỮA HIỆU SUẤT VỚI KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU
VÀ MẬT ĐỘ TỪ THÔNG KHE HỖ KHÔNG KHÍ
TRONG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA RÔTÔ LỒNG SÓC**
RELATIONAL EXPRESSION BETWEEN THE EFFICIENCY AND THE MAIN DIMENSION,
AIR GAP FLUX DENSITY OF THREE PHASE SQUIRREL CAGE INDUCTION MOTOR

Đoàn Đức Tùng
Trường Đại học Quy Nhơn

Nguyễn Hồng Thanh
Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo đã ứng dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm kết hợp với phương pháp thiết kế dây quấn và mạch từ để xây dựng biểu thức mô tả quan hệ giữa hiệu suất với đường kính ngoài, đường kính trong, chiều dài lõi sắt stato và mật độ từ thông khe hở không khí trong động cơ không đồng bộ ba pha rô-tô lồng sóc. Các thông số này có ý nghĩa quan trọng trong xác định cấu trúc mạch từ và thông số dây quấn nên có ảnh hưởng lớn đến thể tích và các tiêu chuẩn kỹ thuật của động cơ như hệ số công suất, mômen cực đại, mômen khởi động, dòng khởi động và hiệu suất. Một biểu thức xây dựng cho các động cơ từ 0,75 đến 2,2 kW được trình bày. Dựa vào biểu thức này mà tại giai đoạn đầu thiết kế có thể xác định được kích thước chủ yếu và tải điện từ có thể thỏa mãn không chỉ yêu cầu về hiệu suất mà còn đảm bảo là các tiêu chuẩn kỹ thuật khác, nhờ vậy sẽ tiết kiệm thời gian và nâng cao độ chính xác cho quá trình tính toán thiết kế tối ưu động cơ không đồng bộ ba pha rô-tô lồng sóc có hiệu suất cao.

ABSTRACT

This article applied the experimental delineated method combined with design method for wire and core in three phase squirrel cage induction motors to establish a new expression describe the relation between the efficiency and the stator outer diameter, stator inner diameter, stator core length, air gap flux density. These parameters are important for determination the structure of magnetic and wire parameter, so that they are influence much on the volume and technical standards of motor like power factor, maximum torque, starting torque, starting current, and efficiency. An expression of three phase squirrel cage induction motors output power from 0.75 to 2.2-kW is established and presented. Based on this expression, we can determine the main dimension and electromagnetic load that not only satisfy efficiency but also ensure other technical standards at the first step of a design process. Therefore, when design optimization process of high efficiency three phase squirrel cage induction motors we can save time and raise level of the precision.

I. GIỚI THIỆU

Ngày nay hiệu suất động cơ đã dần trở thành một tiêu chí áp dụng trong công nghiệp. Việt Nam đã ban hành bộ Tiêu chuẩn “Động cơ điện không đồng bộ ba pha rô-tô lồng sóc hiệu suất cao” (ký hiệu: TCVN 7540-1:2005) yêu cầu về hiệu suất tối thiểu đối với động cơ không đồng bộ (KĐB) 3 pha rô-tô lồng sóc chế tạo phải cao hơn Tiêu chuẩn sử dụng trước đây (TCVN 1987-1994) từ 1 đến 5 %, dự kiến có hiệu lực năm 2009 nhưng đến nay bộ tiêu chuẩn mới này chưa được các nhà máy chế tạo điện cơ ở Việt Nam ứng dụng cho các sản phẩm.

Đứng trước vấn đề trên đặt ra cho lĩnh vực thiết kế và chế tạo máy điện cần nghiên cứu, tính toán thiết kế để tạo ra các động cơ có

hiệu suất cao đồng thời đảm bảo những tiêu chuẩn về kinh tế, kỹ thuật là nhiệm vụ hết sức quan trọng và cấp thiết.

Đặc tính động cơ KĐB ba pha rô-tô lồng sóc chịu sự tác động lớn của nhóm thông số kích thước cơ bản (như đường kính ngoài lõi sắt stato D_n , đường kính trong lõi sắt stato D , chiều dài lõi sắt stato l) và tải điện từ (gồm mật độ từ thông khe hở không khí B_δ và tải đường A). Các thông số này có ý nghĩa quan trọng trong xác định kết cấu (cấu trúc) mạch từ và thông số dây quấn nên ảnh hưởng lớn đến thể tích máy và các tiêu chuẩn kỹ thuật như $\cos\varphi$, bội số mômen cực đại $m_{\max}$, bội số mômen khởi động m_k , bội số dòng khởi động i_k và đặc biệt là hiệu suất η .

Sự tác động của các thông số này đã được khảo sát ở [1].

Để nâng cao hiệu suất động cơ cần có phương pháp tính toán thiết kế hợp lý giảm tổn hao đồng và tổn hao sắt là hai thành phần tổn hao chính của động cơ [1].

Phương pháp thiết kế dây quấn và mạch từ được nghiên cứu ở [2] có thể tối ưu tiết diện rãnh stato, tối ưu chiều cao rãnh stato và rôto để được η lớn nhất đồng thời đảm bảo các tiêu chuẩn kỹ thuật khác khi chọn được giá trị D_n (thường lấy theo chiều cao tâm trục chuẩn), D , l và mật độ từ thông khe hở không khí B_δ (giá trị tải đường A không cần chọn mà được tính toán thông qua hằng số máy điện C_A). Ứng dụng phương pháp ở [2] đã mang lại những kết quả nhất định trong việc nâng cao hiệu suất động cơ KĐB ba pha rôto lồng sóc [3,4]. Tuy nhiên, xét bài toán thiết kế tổng thể, việc chọn giá trị ban đầu của kích thước chủ yếu và tải điện từ như D nhỏ, l lớn, B_δ lớn để tính toán thiết kế rồi sau đó được điều chỉnh lặp lại đến khi đạt được các tiêu chuẩn đặt ra vẫn còn mất thời gian và bộ nhớ trên máy tính.

Vì thế cần thiết xây dựng biểu thức xác định quan hệ giữa η với các thông số D_n , D , l , B_δ có dạng $\eta = f(D_n, D, l, B_\delta)$. Thông qua biểu thức này sẽ xác định giá trị các thông số D_n , D , l , B_δ theo hiệu suất đặt ra ngay từ giai đoạn đầu thiết kế, kết hợp với phương pháp thiết kế dây quấn và mạch từ [2] sẽ tạo thành một phương pháp thiết kế động cơ KĐB ba pha rôto lồng sóc có hiệu suất cao tương đối hoàn chỉnh mà ở đó vừa có thể xét hết các phương án để chọn một trong số đó có hiệu suất cao nhất đồng thời rút ngắn được thời gian tính toán cho quá trình thiết kế.

II. XÁC ĐỊNH BIẾN SỐ ĐỘC LẬP, MIỀN GIỚI HẠN VÀ PHƯƠNG PHÁP

Các thông số đường kính trong lõi sắt stato D , chiều dài lõi sắt stato l , mật độ từ thông khe hở không khí B_δ biến thiên trong khoảng nhất định: $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$, $l_{\min} \leq l \leq l_{\max}$, $B_{\delta\min} \leq B_\delta \leq B_{\delta\max}$. Quan hệ giữa D và đường kính ngoài lõi sắt stato D_n được thể hiện qua hệ số $k_D = D/D_n$, phụ thuộc vào công suất và số đôi cực p . Quan hệ giữa l và D_n cũng được thể hiện qua hệ số $\lambda = l/D_n$, phụ thuộc vào công nghệ, công suất và số đôi cực p . Để biểu thức xây dựng

mang tính tổng quát hóa, có thể áp dụng cho các dây công suất có tốc độ đồng bộ khác nhau, hai hệ số k_D và λ có đơn vị tương đối và thay thế được ba biến số nên được chọn làm biến số độc lập thay vì D_n , D và l .

Như vậy biểu thức cần xây dựng là một hàm số có dạng:

$$\eta = f(k_D, \lambda, B_\delta) \quad (1)$$

Như đã khảo sát ở [1], mỗi giá trị các thông số D , l và B_δ thay đổi sẽ ảnh hưởng khác nhau đến η nên (1) sẽ có dạng phi tuyến. Vì chưa biết cụ thể sự thay đổi của η và phải dùng thực nghiệm để xác định η nên sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm (QHTN) để xây dựng (1) là hợp lý nhất. Đây là phương pháp sử dụng mô hình vật lý hoặc mô hình toán thông qua các thử nghiệm theo quy luật nhất định để xây dựng các biểu thức tường minh miêu tả quan hệ giữa hàm mục tiêu và các biến số độc lập [6,7].

Vì (1) có dạng phi tuyến nên trong phương pháp QHTN chọn phương pháp quy hoạch trực giao (QHTG) cấp hai để xây dựng biểu thức η [6]. Theo phương pháp này, biểu thức được xây dựng phụ thuộc phi tuyến vào các biến số độc lập vì đó là một đa thức bậc hai. Với 3 biến số đầu vào (k_D , λ và B_δ tức $k = 3$), biểu thức có dạng:

$$\tilde{\eta} = b_0 + \sum_{j=1}^3 b_j x_j + \sum_{\substack{j=1 \\ j < i}}^3 b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^3 b_{jj} x_j^2 \quad (2)$$

trong đó: x_i , x_j là biến số độc lập thứ i và thứ j ; b_0 , b_j , b_{ij} , b_{jj} là các hệ số của biểu thức cần phải xác định theo ma trận thực nghiệm.

Phương pháp QHTG cấp hai còn một ưu điểm nữa là ngoài việc thử nghiệm tại các giá trị cực tiểu, cực đại của các biến số độc lập còn có thử nghiệm ở tâm và trên các trục tọa độ, cách gốc tọa độ một đoạn $\alpha > 0$ sao cho ma trận thí nghiệm trực giao. Với nhiều thử nghiệm hơn so với các phương pháp QHTN khác nên mô hình đưa ra sẽ chính xác hơn [6].

III. BIỂU THỨC MÔ TẢ QUAN HỆ GIỮA HIỆU SUẤT VỚI KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU VÀ MẬT ĐỘ TỪ THÔNG KHE HỖ KHÔNG KHÍ

Biểu thức (2) được xây dựng áp dụng cho dây công suất từ 0,75 kW đến 7,5 kW vì đây là dây công suất có số lượng sản phẩm và tiêu thụ

lớn (chiếm 83% các động cơ KĐB 3 pha rôto lồng sóc được sản xuất của châu Âu [8] và khoảng 75% ở Việt Nam [9]). Để tăng độ chính xác, trong dây công suất này có thể chia thành hai dây nhỏ, theo chiều cao tâm trục ta có hai dây là: từ 0,75 kW đến 2,2 kW và từ 3 kW đến 7,5 kW.

Quá trình xây dựng biểu thức được trình bày cho dây công suất $P = 0,75 \div 2,2$ kW, $2p = 4$. Qua khảo sát công nghệ và vật liệu sản xuất của các nhà máy chế tạo điện cơ ở Việt Nam như Công ty chế tạo điện cơ Hà Nội, Công ty chế tạo máy điện Việt Nam-Hungary, các thông số k_D , l , B_δ của động cơ công suất $P = 0,75 \div 2,2$ kW, $2p = 4$ có khoảng biến thiên như bảng 1.

Bảng 1. Khoảng biến thiên các biến độc lập (với thép 2211, 2013)

Với $2p = 4$; $P = 0,75 \div 2,2$ (kW)	
$0,54 \leq k_D \leq 0,64$	
$0,44 \leq l \leq 0,7$	
$0,7 \leq B_\delta \leq 0,82$ (T)	

Việc xây dựng biểu thức sẽ giải quyết các vấn đề: xây dựng ma trận dữ liệu hay ma trận thực nghiệm, tìm và kiểm định các hệ số, kiểm định biểu thức. Với 3 biến số đầu $k = 3$ ta có số thí nghiệm cần thực hiện:

$$N = 2^k + n_0 + 2 \cdot k = 2^3 + 2 + 2 \cdot 3 = 16,$$

trong đó: 2^k số thí nghiệm cơ sở, n_0 là số thí nghiệm tại tâm và $2k$ số thí nghiệm bố trí trên các trục tọa độ.

3.1 Xây dựng ma trận thực nghiệm

* Xác định giá trị các tham số

Gọi các biến thực tế là Z_j , $j = \overline{1, k}$, $\underline{Z}_j \leq Z_j \leq \overline{Z}_j$. Với $k = 3$ ta có Z_1 tương ứng k_D , Z_2 tương ứng với l , Z_3 tương ứng B_δ . Giá trị gốc, cận trên, cận dưới của các tham số và các khoảng ΔZ_j như bảng 2.

Bảng 2. Giá trị các tham số

N^0	Z_1	Z_2	Z_3
Giá trị gốc Z_j^0	0,59	0,57	0,76
ΔZ_j	0,05	0,13	0,06
Cận trên $\overline{Z}_j$	0,64	0,7	0,82
Cận dưới $\underline{Z}_j$	0,54	0,44	0,7

$$\text{Trong đó: } Z_j^0 = \frac{\overline{Z}_j + \underline{Z}_j}{2}, \Delta Z_j = \frac{\overline{Z}_j - \underline{Z}_j}{2}$$

* Mã hóa và lập ma trận thực nghiệm

Các phần tử của ma trận thực nghiệm là +1 và -1 nhưng khoảng biến thiên của các biến mà ta nghiên cứu nói chung khác với [-1, +1]. Để lập ma trận thực nghiệm, trước tiên chuyển Z_j sang x_j :

$$x_j = \frac{Z_j - Z_j^0}{\Delta Z_j} \quad (3)$$

Giá trị các biến ở thí nghiệm cơ sở: $Z_j = \underline{Z}_j \Leftrightarrow x_j = -1$, $Z_j = \overline{Z}_j \Leftrightarrow x_j = +1$

Giá trị các biến ở thí nghiệm phần tâm là: $Z_j = Z_j^0 \Leftrightarrow x_j = 0$

Giá trị các biến trong thí nghiệm trên các trục tọa độ được xác định theo hệ số α :

$$\alpha = \sqrt{\sqrt{N} \cdot 2^{k-2} - 2^{k-1}} = \sqrt{\sqrt{16} \cdot 2^1 - 2^2} = 1,29 \quad (4)$$

Giá trị các biến để ma trận trực giao là:

$$x'_j = x_j^2 - \frac{1}{N} (2^k + 2\alpha^2) = x_j^2 - 0,71 \quad (5)$$

Từ các kết quả trên, ta có ma trận thực nghiệm đầy đủ như bảng 3.

Bảng 3. Ma trận thực nghiệm đầy đủ

N^0	x_0	x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{13}	x_{23}	$x_{1'}$	$x_{2'}$	$x_{3'}$	η
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,29	0,29	0,29	0,7864
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,29	0,29	0,29	0,8066
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,29	0,29	0,29	0,8469
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,29	0,29	0,29	0,8575
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,29	0,29	0,29	0,8036
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	0,29	0,29	0,29	0,7909
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	0,29	0,29	0,29	0,8355
8	1	1	1	1	1	1	1	0,29	0,29	0,29	0,8174
9	1	0	0	0	0	0	0	-0,71	-0,71	-0,71	0,8415
10	1	0	0	0	0	0	0	-0,71	-0,71	-0,71	0,8443
11	1	1,29	0	0	0	0	0	0,95	-0,71	-0,71	0,8292
12	1	-1,29	0	0	0	0	0	0,95	-0,71	-0,71	0,8341
13	1	0	1,29	0	0	0	0	-0,71	0,95	-0,71	0,8524
14	1	0	-1,29	0	0	0	0	-0,71	0,95	-0,71	0,7923
15	1	0	0	1,29	0	0	0	-0,71	-0,71	0,95	0,8344
16	1	0	0	-1,29	0	0	0	-0,71	-0,71	0,95	0,8464

Trong đó cột η là kết quả thí nghiệm từ việc ứng dụng phương pháp thiết kế dây quấn và mạch từ ở [2]. Kết quả của phương pháp này

được trình bày ở [3] và đã được báo cáo tổng kết với kết quả đánh giá tốt [4].

3.2 Tính và kiểm định các hệ số

Để tránh nhầm lẫn với các chỉ số biến, ký hiệu chỉ số thí nghiệm là u : $u = \overline{1, N}$. Các hệ số được xác định theo công thức [6], [7]:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \eta_u \quad (6); \quad b_j = \frac{\sum_{u=1}^N x_{uj} \eta_u}{\sum_{u=1}^N x_{uj}^2} \quad (7);$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N (x_{ui} x_{uj}) \eta_u}{\sum_{u=1}^N (x_{ui} x_{uj})^2} \quad (8); \quad b_{jj} = \frac{\sum_{u=1}^N x'_{uj} \eta_u}{\sum_{u=1}^N (x'_{uj})^2} \quad (9)$$

Từ kết quả bảng 3, tính các hệ số b_0, b_j, b_{ij}, b_{jj} và thay vào (2) ta được phương trình hồi quy thực nghiệm:

$$\tilde{\eta} = 0,8262 - 0,00056x_1 + 0,02185x_2 - 0,00578x_3 - 0,00188x_1x_2 - 0,008x_1x_3 - 0,0066x_2x_3 - 0,00854x'_1 - 0,01415x'_2 - 0,00326x'_3 \quad (10)$$

* Kiểm định các hệ số:

Mục đích của kiểm định này loại bỏ những hệ số không đủ mức ý nghĩa để biểu thức được đơn giản hơn.

Để kiểm định các hệ số cần phải tính phương sai tái sinh. Phương sai tái sinh xác định theo [6], [7]:

$$s_{ts}^2 = \frac{1}{n_0 - 1} \sum_{t=1}^{n_0} (\eta_0^t - \bar{\eta}_0)^2 \quad (11)$$

trong đó: n_0 là số thí nghiệm tại tâm, phụ thuộc vào đối tượng khảo sát, dựa vào ma trận thực nghiệm (bảng 3) ta có $n_0 = 2$ là các thí nghiệm số 9, 10; η_0^t là thí nghiệm thứ t ở tâm; $\bar{\eta}_0$ là giá trị trung bình của các thí nghiệm ở tâm.

Sau khi kiểm tra mức có nghĩa của các hệ số với sai số 5% và thay $x'_j = x_j^2 - (2^k + 2\alpha^2)/N$ vào (10) ta được biểu thức:

$$\hat{\eta} = 0,8262 + 0,02185x_2 - 0,00578x_3 - 0,0077x_1x_3 - 0,0066x_2x_3 - 0,00854x'_1 - 0,01415x'_2 - 0,003258x'_3 \quad (12)$$

Từ biểu thức (10) có 10 số hạng, qua kiểm nghiệm các hệ số ta được biểu thức đơn giản hơn (12) chỉ còn lại 8 số hạng.

3.3 Kiểm định sự phù hợp của biểu thức

Mục đích của sự kiểm định này là đánh giá độ chính xác biểu thức được xây dựng, nếu sai số vượt mức cho phép biểu thức sẽ không được chấp nhận.

Để kiểm định sự phù hợp của (12), ngoài phương sai tái sinh tính ở (11) cần phải tính phương sai dư. Phương sai dư được xác định theo [6,7]:

$$s_{du}^2 = \frac{1}{N - (m + 1)} \sum_{i=1}^N (\eta_i - \hat{\eta}_i)^2 \quad (13)$$

trong đó: N là số thí nghiệm; m là các số hạng chứa biến còn lại trong biểu thức (12); η_i là kết quả thí nghiệm thứ i ; $\hat{\eta}_i$ là kết quả từ biểu thức (12) tính theo các biến x_i .

Sau khi xác định được phương sai dư, cần tính hệ số Fisher [6], [7]:

$$\hat{F} = \frac{s_{du}^2}{s_{ts}^2} \quad (14)$$

Sau khi kiểm định biểu thức (12) qua hệ số Fisher với độ chính xác 5% [6,7] ta nhận thấy biểu thức trên là phù hợp.

Chuyển biến x_j về biến Z_j với $x_j = (Z_j - Z_j^0)/\Delta Z_j$ và thay $Z_1 = k_D$, $Z_2 = \lambda$, $Z_3 = B_\delta$ vào biểu thức (12) ta được biểu thức cần xây dựng:

$$\hat{\eta} = -2,6805 + 5,981k_D + 1,7682\lambda + 3,2776B_\delta - 2,567k_DB_\delta - 0,8494\lambda B_\delta - 3,4156k_D^2 - 0,8374\lambda^2 - 0,905B_\delta^2 \quad (15)$$

Thay các giá trị thực của k_D , λ , B_δ đã dùng làm thí nghiệm vào biểu thức (15) và so sánh với kết quả thí nghiệm, kết quả tính toán như bảng 4.

Từ kết quả bảng 4 cho thấy sai số giữa sử dụng biểu thức (15) để tính hiệu suất trực tiếp ($\hat{\eta}$) từ các biến số k_D , λ , B_δ và hiệu suất thí nghiệm (η) là tương đối nhỏ (trong các trường hợp đã xem xét sai số lớn nhất là 0,41%). Điều này cho thấy biểu thức trên có độ chính xác

chấp nhận được và có thể áp dụng trong tính chọn kích thước chủ yếu và tải điện từ của động cơ KĐB ba pha rôto lồng sóc có hiệu suất cao.

Bảng 4. Kết quả so sánh η giữa tính theo biểu thức (15) và thí nghiệm

N ^o	k _D	λ	B _đ	$\hat{\eta}$ (15)	η (thí nghiệm) [2]	sai số (%)
1	0,54	0,44	0,7	0,7882	0,7864	0,23
2	0,64	0,44	0,7	0,8036	0,8066	0,37
3	0,54	0,7	0,7	0,8452	0,8469	0,2
4	0,64	0,7	0,7	0,8606	0,8575	0,36
5	0,54	0,44	0,82	0,8053	0,8036	0,21
6	0,64	0,44	0,82	0,7899	0,7909	0,13
7	0,54	0,7	0,82	0,8357	0,8355	0,03
8	0,64	0,7	0,82	0,8203	0,8174	0,36
9	0,59	0,57	0,76	0,8446	0,8415	0,36
10	0,59	0,57	0,76	0,8446	0,8443	0,03
11	0,65	0,57	0,76	0,8323	0,8292	0,37
12	0,53	0,57	0,76	0,8323	0,8341	0,22
13	0,59	0,74	0,76	0,8489	0,8524	0,41
14	0,59	0,4	0,76	0,7918	0,7923	0,06
15	0,59	0,57	0,84	0,8311	0,8344	0,4
16	0,59	0,57	0,68	0,8465	0,8464	0,01

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra biểu thức dưới dạng tường minh mô tả quan hệ giữa hiệu suất với đường kính ngoài, đường kính trong, chiều dài lõi sắt stato và mật độ từ thông khe hở không khí của động cơ KĐB ba pha rôto lồng sóc cho dãy công suất $P = 0,75 \div 2,2$ kW, $2p = 4$. Nhờ biểu thức này mà tại giai đoạn đầu thiết kế có thể xác định được các kích thước chủ yếu và tải điện từ có thể thỏa mãn không chỉ yêu cầu về hiệu suất mà còn đảm bảo là các tiêu chuẩn kỹ thuật khác. Nhờ vậy sẽ tiết kiệm thời gian và nâng cao độ chính xác cho quá trình tính toán thiết kế.

Với cách như trên ta có thể xây dựng được các biểu thức tường minh có dạng như (15) cho các dãy công suất khác nhau.

Kết hợp phương pháp xác định kích thước chủ yếu và tải điện từ theo biểu thức trên với phương pháp thiết kế dây quấn và mạch từ ở [2] sẽ có được phương pháp thiết kế tương đối hoàn chỉnh nhằm nâng cao hiệu suất động cơ điện KĐB ba pha rôto lồng sóc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đoàn Đức Tùng, Nguyễn Hồng Thanh; Sự tác động của các thông số thiết kế đến tổn hao đồng và tổn hao sắt trong động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc; Tạp chí Khoa học & Công nghệ, tập 46, số 2, trang 115-123, (2008).
2. Đoàn Đức Tùng, Nguyễn Hồng Thanh; Phương pháp thiết kế dây quấn và mạch từ động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc có hiệu suất cao; Tạp chí Khoa học & Công nghệ các trường Đại học kỹ thuật, số 64, trang 14-18, (2008).
3. Đoàn Đức Tùng, Nguyễn Hồng Thanh; Thiết kế nâng cao hiệu suất động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc; Tạp chí Khoa học & Công nghệ các trường Đại học kỹ thuật, số 65, trang 26-30, (2008).
4. Nguyễn Hồng Thanh, Đoàn Đức Tùng; Công nghệ thiết kế động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc hiệu suất cao; Báo cáo tổng kết đề tài khoa học cấp bộ, mã số B2006-01-64, (03-2008).
5. Jimmie J. Cathey; Electric Machines: Analysis And Design Applying Matlab, McGRAW HILL, 2001.
6. Bùi Minh Trí; Xác xuất thống kê và quy hoạch thực nghiệm; Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà nội, 2005.
7. Nguyễn Minh Tuyền; Quy hoạch thực nghiệm; Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà nội, 2005.
8. Hans De Keulenaner, David Chapman; Energy Efficient Motor Driven Systems can save Europe 200 billion kWh of electricity consumption and 100 million tonne of greenhouse gas emissions a year; European Copper Institute, 1-25, (April 2004).
9. Công ty chế tạo điện cơ Hà Nội; Xây dựng phần mềm thiết kế động cơ không đồng bộ 3 pha hiệu suất cao, tiết kiệm năng lượng có công suất đến 100kW. Ứng dụng vào thiết kế và chế tạo cho dãy động cơ 3kW; Đề tài khoa học cấp bộ 2005– 2006.

Địa chỉ liên hệ: Đoàn Đức Tùng - Tel: 0989.636.858, Email: dtungqnu@yahoo.com
Bộ môn kỹ thuật điện, Khoa Kỹ thuật & Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn