**ỨNG DỤNG PHẦN MỀM ANSYS MAXWELL TRONG GIẢNG DẠY THIẾT KẾ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ ROTO LỒNG SÓC 2 CỰC CÔNG SUẤT 0,75KW VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ THIẾT KẾ**

**VỚI CÁC ĐỘNG CƠ SẢN XUẤT TẠI VIỆT NAM**

**Trần Thanh Tuyền1, Dương Thị Lan1**

1*Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh*

***Tóm tắt.*** *Việc tính toán và mô phỏng trên máy tính không còn là vấn đề mới trên thế giới. Các sản phẩm cơ khí, điện đều được các nhà sản xuất thực hiện tính toán, thiết kế và mô phỏng toàn bộ thiết bị bao gồm cả tính chất vật liệu trên máy tính trước khi đưa vào sản xuất. Ở Việt Nam, mô phỏng và thiết kế trên máy tính đã được áp dụng rộng rãi trong ngành chế tạo cơ khí. Tuy nhiên, đối với các thiết bị điện thì quá trình mô phỏng từ trường và vật liệu từ tương đối phức tạp. Vì vậy, phương pháp này đang trong quá trình đào tạo và chuyển giao công nghệ. Trong chương trình đào tạo kỹ sư chuyên ngành công nghệ kỹ thuật điện, việc ứng dụng các phần mềm thiết kế trong giảng dạy khá mới, trong khi ra làm thực tế, các phần mềm này rất phong phú, thông qua sử dụng tính toán mô phỏng giúp sinh viên có thêm kỹ năng tìm hiểu sâu chuyên ngành đồng thời đánh giá được thiết kế lý thuyết và sản phẩm thực tế. Trong bài báo, tác giả trình bày các bước tính toán lý thuyết thiết kế động cơ và mô phỏng kết quả động cơ không đồng bộ roto lồng sóc 0,75kW trên phần mềm Ansys Maxwell. Sau đó đánh giá kết quả mô phỏng được so với chất lượng các loại động cơ sản xuất trên thị trường hiện nay của Công ty cổ phần chế tạo điện cơ Hà Nội (Hem), Công ty chế tạo Máy điện Việt Nam - Hungari (Vihem).*

***Từ khóa:*** *Động cơ không đồng bộ, động cơ roto lồng sóc, tính toán thiết kế động cơ, phần mềm Ansys Maxwell.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, động cơ không đồng bộ (KĐB) là một trong những động cơ được sử dụng phổ biến nhất trong công nghiệp cũng như trong đời sống sinh hoạt [5]. Xu hướng thiết kế chế tạo động cơ KĐB đòi hỏi cần quá trình tự động hóa, ứng dụng máy tính trong chế tạo động cơ điện đáp ứng nhu cầu của xã hội. Các thiết kế máy điện được sử dụng trong các bài giảng thiết kế cũng như đồ án máy điện là những thiết kế cơ bản cho các động cơ KĐB, động cơ đồng bộ, động cơ một chiều nhưng chỉ thông qua các tính toán kinh nghiệm và giải tích nên gặp nhiều hạn chế trong chế tạo động cơ cũng như làm tăng chi phí và thời gian sản xuất [8]. Việc ứng dụng phần mềm Ansys Maxwell trong mô phỏng kết quả thiết kế giúp sinh viên có thể hình dung được sản phẩm được thiết kế theo lý thuyết và so sánh kết quả tính toán được với các sản phẩm trong thực tế.

**2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ**

**2.1. Tính toán các thông số cơ bản**

Với các thông số ban đầu của động cơ KĐB 3 pha rôto lồng sóc, kiểu kín, cấp cách điện F, công suất 0,75kW, đấu ∆/Y, cấp điện áp 220/380V, số đôi cực 2p = 2, chiều cao tâm trục h = 71mm. Dựa theo tài liệu [8], tác giả có thể tính toán sơ bộ được các thông số cơ bản của động cơ như sau:

Với công suất định mức 0,75kW và 2p =2, tra bảng 10.1 [8] xác định được hệ số công suất định mức và hiệu suất định mức tương ứng là cosφđm = 0,87 và ηđm = 77%. Tra bảng 10.2 [8] ta có đường kính ngoài stato Dn = 116mm.

Đường kính trong của stato động cơ xác định theo công thức:

D = kD.Dn (1)

Qua bảng 10.2 [8], ta có kD = 0,55 ứng với D = 64mm.

Công suất tính toán của động cơ được xác định theo công thức:

 (2)

Theo Hình 10.2 [8], ta có kE = 0,978 do đó công suất tính toán P’ = 1,09kW.

Chiều dài tính toán của lõi thép stato động cơ:

 (3)

Trong đó *αδ* là hệ số cung cực từ, ks là hệ số răng và kd là hệ số dây quấn. Dựa vào Hình 4.4 [8] ta có *αδ* = 0,685, *ks* = 1,095, kd = 0,92, n1 = 3000 vòng/phút. Theo Hình 10.3a [8] ta có Tải đường A = 210A/cm, mật độ từ thông khe hở không khí Bδ = 0,7T. Do đó lδ = 5,2cm.

Bước cực từ được tính như sau:

 (4)

Dựa trên các thông số đã tính được ta có τ = 10,05cm.

Dòng điện pha định mức của động cơ được xác định:

 (5)

Từ đó ta có I1 = 1,7A

**2.2. Tính toán các thông số stato**

Trước hết tính toán các thông số stato ta xác định số rãnh trên stato trước. Số rãnh này được xác định bằng công thức sau:

Z1 = 2.m.p.q1 (6)

Trong đó m là số pha của động cơ (m = 3), p là số đôi cực của stato (p = 1) và q1 là số rãnh của một pha dưới một cực (q = 4). Do đó Z1 = 24 rãnh.

Bước rãnh stato là:  (7)

Do đó t1 = 0,838cm. Số thanh dẫn tác dụng trong một rãnh:

 (8)

Chọn a1 = 2. Với các thông số tính ở trên ta có ur1 = 208 thanh.

Số vòng dây của một bối dây trong một rãnh:  (9)

Do đó w1 = 416 vòng

Tra theo Hình 10.4a [8] ta có AJ = 1350A2/cm.mm với mật độ dòng điện trong thanh dẫn là . Như vậy ta có J1 = 6,43A.

Tiết diện sơ bộ dây dẫn là: với số sợi chập n1 = 1, s1=0,132mm2. Theo bảng tra tiết diện dây dẫn [8], dây dẫn được chọn có tiết diện S1 = 0,132mm2, đường kính dây dẫn là d = 0,41mm và đường kính dây bao gồm cách điện là dcd = 0,45mm.

Về kiểu dây quấn, động cơ có công suất 0,75kW nên kiểu dây quấn là dây quấn 1 lớp quấn đồng khuôn và được quấn bước đủ. Hệ số dây quấn bước ngắn của động cơ khi đó là ky = 1 và hệ số rải là kv = 0,958. Như vậy hệ số kd = 0,958.

Từ thông trong khe hở không khí được xác định:

 (10)

Do đó φ = 0,0025Wb.

Khi đó mật độ từ thông ở khe hở không khí *th*:

 (11)

Hay Bδ = 0,689T (sai số 1,64% so với số đã chọn ban đầu).

Để xác định sơ bộ định chiều rộng răng, ta dựa trên công thức:

 (12)

Với hệ số ép chặt gông từ kc = 0,97 và tra bảng 10.5b [8] ta chọn từ cảm trong răng của stato Bz1 = 1,85T. Như vậy sơ bộ định chiều răng bz1 = 0,322cm.

Xác định sơ bộ định chiều cao gông stato:  (13)

Với từ cảm gông từ chọn theo bảng 10.5a [8]: Bg1 = 1,65T. Do đó hg1 = 1,48cm.

|  |  |
| --- | --- |
| **Hình 1**. Hình dạng rãnh stato động cơ | **Hình 2**. Hình dạng rãnh roto động cơ |

Việc chọn kích thước cho rãnh stato đảm bảo yêu cầu hệ số lấp đầy rãnh kd nằm trong khoảng 0,7 ~ 0,75, các thông số tính toán sai số không quá 5%.

**Bảng 1.** Thông số kích thước răng rãnh (như Hình 1) và khe hở không khí   
của stato động cơ

|  |  |
| --- | --- |
| Chiều cao răng stato hr1 (mm) | 11,20 |
| Bề rộng miệng răng b41 (mm) - Bs0 | 1,45 |
| Chiều cao miệng răng h41 (mm) - Hs0 | 0,20 |
| Đường kính d1 (mm) - Bs1 | 4,00 |
| Đường kính d2 (mm) - Bs2 | 8,00 |
| Cách điện rãnh c (mm) | 0,10 |
| Chiều cao h12 (mm) - Hs2 | 6,80 |
| Chiều cao nêm hn (mm) | 1,00 |
| Diện tích rãnh trừ nêm Sr' (mm2) | 61,13 |
| Diện tích cách điện rãnh Scd (mm2) | 3,86 |
| Diện tích có ích của rãnh Sr (mm2) | 57,28 |
| Hệ số lấp đầy rãnh kd | 0,74 |
| Bề rộng của răng stato bz1(cm) | 0,36 |
| Chiều cao gông stato hg1 (cm) | 1,61 |
| Khe hở không khí δ (mm) | 0,40 |

**2.3. Tính toán các thông số roto**

Việc chọn rãnh roto Z2 là một vấn đề hết sức quan trọng, vì khe hở không khí giữa stato và roto rất nhỏ nên khi khởi động mô men phụ do các từ trường sóng bậc cao gây lên ảnh hưởng đến quá trình khởi động cũng như quá trình làm việc. Sự phối hợp răng rãnh giữa Z1 và Z2 giúp cho hạn chế các mô men phụ đồng bộ và không đồng bộ này, đồng thời giảm các mô men phụ gây rung và ồn. Dựa theo bảng nghiên cứu thực nghiệm 10.6 [8] ta chọn Z2 = 26 rãnh. Để giảm các lực ký sinh tiếp tuyến và hướng tâm, trong chế tạo động cơ KĐB, roto hoặc stato được làm nghiêng rãnh để triệt tiêu sóng điều hòa răng. Trong thiết kế động cơ này, tác giả làm nghiêng rãnh ở roto với độ nghiêng là một bước răng stato.

Đường kính ngoài của roto là:

D’ = D - 2δ (14)

Do đó D’ = 6,32cm. Bước răng roto là:

 (15)

Hay: t2 = 0,764cm.

Sơ bộ định chiều bước răng roto:

 (16)

Với từ cảm trong răng roto ta chọn: Bz2 = 1,8T do đó bz2 = 3,01mm.

Đường kính trục của roto sẽ là:

Dt = 0,3D (17)

D = 64mm => Dt = 20mm.

Dòng điện trong thanh dẫn roto là:

 (18)

Tra Hình 10.5 [8] ta có KI = 0,93. Do đó Itd = 145A. Vì thanh dẫn roto được thiết kế bằng các thanh nhôm do đó Jtd = 3,5A/mm2. Tiết diện thanh dẫn:

 (19)

Do đó Stđ = 41,4mm2. Dòng điện trong vòng ngắn mạch roto:

 (20)

=> IV = 601,6A. Với mật động dòng điện trong vòng ngắn mạch là JV = 3A/mm2 Do đó tiết diện vòng ngắn mạch tính toán sẽ là SV = 201mm2. Từ các thông số tính toán trên ta có bảng thông số kích thước của răng rãnh roto:

**Bảng 2.** Thông số kích thước răng rãnh (như Hình 2) của roto động cơ

|  |  |
| --- | --- |
| Bề rộng của rãnh roto b42(mm) - Bs0 | 1,50 |
| Chiều cao miệng rãnh h42(mm) - Hs0 | 0,50 |
| Chiều cao của rãnh roto hr2(mm) - Hs2 | 9,00 |
| Đường kính d1 (mm) - Bs1 | 3,20 |
| Đường kính d2 (mm) - Bs2 | 0,70 |
| Chiều cao h12 (mm) | 6,40 |
| Chiều cao vành ngắn mạch a (mm) | 9,00 |
| Chiều rộng của vành ngắn mạch b (mm) | 22,00 |
| Diện tích rãnh roto Sr2(mm2) | 22,78 |
| Diện tích vành ngắn mạch SV (mm2) | 198 |
| Bề rộng răng roto ở 1/3 chiều cao răng bz2(1/3) (cm) | 0,40 |
| Chiều cao gông roto hg2 (cm) | 1,3 |
|  |  |

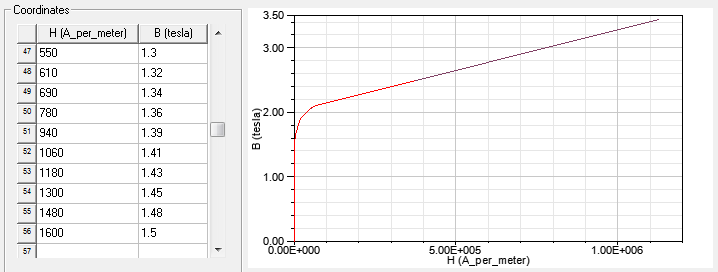
**3. MÔ PHỎNG KẾT QUẢ TÍNH TOÁN TRÊN PHẦN MỀM ANSYS MAXWELL**

**3.1. Mô hình mô phỏng các kích thước tính toán động cơ KĐB 3 pha 0,75kW**

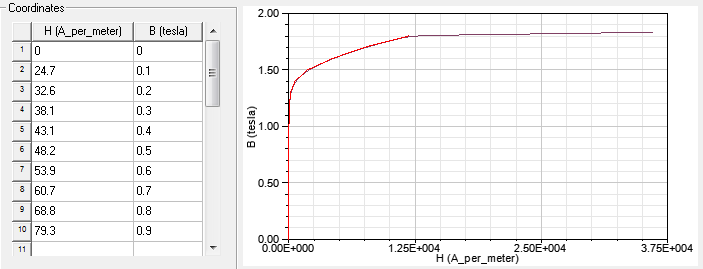
Phần mềm Ansys Maxwell [1, 7] là phần mềm ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng và mô hình hóa rất mạnh mẽ giúp tác giả mô phỏng và hiệu chỉnh các thông số đã tính toán.

Bằng việc nhập một số các thông số cơ bản mà ta đã tính toán được ở trên, phần mềm sẽ tự động thực hiện việc mô phỏng hình ảnh về các thành phần như rotor, stator, dây quấn… theo đúng như mong muốn (Hình 3 **-** 4). Trong bài báo tính toán thiết kế các thông số động cơ 0,75kW tác giả sử dụng 02 vật liệu chế tạo lá thép kỹ thuật điện (KTĐ) khác nhau (Hình 5 **-** 6) để so sánh và đánh giá trong tính toán từ đó là cơ sở để nghiên cứu chế tạo thử nghiệm các động cơ có hiệu suất cao.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Hình 3.** Mô hình thiết kế 2D động cơ KĐB roto lồng sóc 2 cực 0,75kW | **Hình 4.** Sơ đồ đi dây của dây quấn trong động cơ |



**Hình 5.** Đường cong từ hóa B - H của thép KTĐ 2211 [8] của động cơ KĐB



**Hình 6.** Đường cong từ hóa B - H của thép KTĐ thép M235 - 35A [6]   
của động cơ KĐB

**3.2. Phân tích kết quả tính toán mô phỏng và so sánh với các động cơ tương tự tại Việt Nam**

Hình 7a cho ta thấy khi sử dụng thép 2211 là thép cơ bản được hướng dẫn trong tài liệu [8] có các thông số về công suất, hiệu suất, hệ số công suất đạt sát với yêu cầu tính toán của đê bài đưa ra. Cho thấy tính đúng đắn giữa kết quả tính toán lý thuyết và kết quả tính toán khi mô phỏng. Hình 7b, tác giả sử dụng vật liệu chế tạo lõi thép của hãng Surahammars Burk AB sản xuất, đây là vật liệu trên thế giới sử dụng hiện nay có sự khác biệt rất lớn với thép KTĐ của Nga 2211 sử dụng trong tài liệu [8]. Kết quả về chỉ tiêu công suất đạt yêu cầu của đề bài đưa ra nhưng các chỉ tiêu về hiệu suất (77,9% (thép 2211) và 80,7% (thép M235 **-** 35A) so với 77%) đạt theo tiêu chuẩn và hệ số công suất (0,75 (thép 2211) và 0,73 (thép M235 **-** 35A) so với 0,87) chưa thực sự tối ưu. Đây là cơ sở để nghiên cứu chế tạo ra những động cơ có hiệu suất cao tiết kiệm được năng lượng.

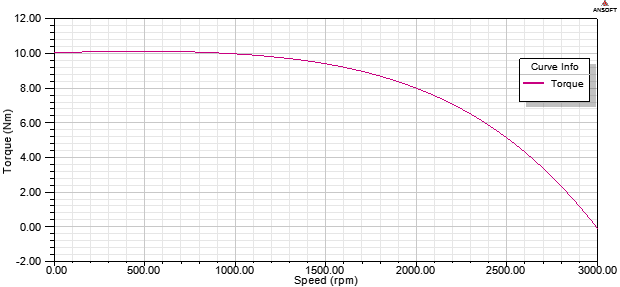
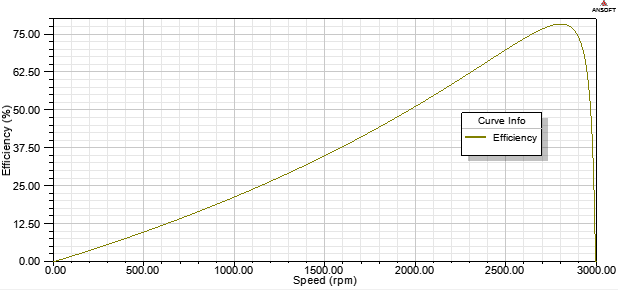
|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| a) Sử dụng vật liệu thép 2211 | b) Sử dụng vật liệu thép M235 - 35A |
| **Hình 7**. Kết quả tính toán động cơ KĐB 0,75kW khi dùng thép KTĐ khác nhau | |

Các thông số đánh giá của của động cơ như dòng điện định mức stato, dòng điện khởi động, mô men cực đại, mô men khởi động theo Bảng 3.

**Bảng 3.** Thông số kết quả mô phỏng và thông số của động cơ do Công ty CP chế tạo Điện cơ Hà Nội (HEM) [2] và Công ty CP chế tạo máy điện Việt Nam - Hungari (VIHEM) [4] sản xuất

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Các thông số** | **Thép 2211** | **Thép M235-35A** | **Động cơ HEM**  **[2]** | **Động cơ VIHEM**  **[4]** | **Tiêu chuẩn 9001:2008 [3]** |
| Dòng điện định mức Stato (A) | 1,91 | 1,91 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| Mô men khởi động (Nm) | 10,1 | 10,7 |  |  |  |
| Mô men định mức (Nm) | 2,58 | 2,56 |  |  |  |
| Mô men cực đại (Nm) | 10,15 | 11,0 |  |  |  |
| Dòng điện khởi động (A) | 9,5 | 10,01 |  |  |  |
| Tỷ số mô men cực đại | 4,0 | 4,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| Tỷ số mô men khởi động | 3,9 | 4,2 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Tỷ số dòng điện khởi động | 5,0 | 5,2 | 5,0 | 5,5 | 5,0 |
| Tốc độ định mức (vòng/phút) | 2775 | 2802 | 2850 | 2850 | 2850 |
| Hiệu suất định mức (%) | 77,9 | 80,70 | 77 | 77 | 77 |
| Hệ số công suất định mức | 0,75 | 0,73 | 0,87 | 0,87 | 0,87 |

Dựa vào bảng 3, tác giả cho thấy động cơ KĐB 0,75kW được chế tạo bằng thép 2211 có nhiều thông số ưu điểm hơn so với động cơ đã chế tạo của Điện Cơ Hà Nội, nhưng hiệu quả hơn khi động cơ dùng thép M235 **-** 35A là loại vật liệu mới với các thông số về hiệu suất, hệ số công suất định mức và các thông số khác đều cao hơn so với các động cơ đang chế tạo hiện nay và với tiêu chuẩn 9001:2008.



|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| a) Đồ thị hiệu suất động cơ theo tốc độ | b) Đồ thị mô men của động cơ theo tốc độ |
| **Hình 8.** Kết quả mô phỏng đặc tính công suất và hiệu suất của  động cơ khi dùng vật liệu thép 2211 | |
|  |  |
| a, Đồ thị hiệu suất động cơ theo tốc độ | b, Đồ thị mô men của động cơ theo tốc độ |
| **Hình 9.** Kết quả mô phỏng đặc tính công suất đầu ra và hiệu suất động cơ  khi dùng thép M235 – 35A | |

Qua đồ thị đặc tính mô phỏng hiệu suất theo tốc độ của các đặc tính đều phù hợp với lý thuyết. Hiệu suất đặt cực đại dao động quanh giá trị tốc độ định mức của động cơ. Động cơ 0,75kW với thiết kế như ở mục 2 thì đều có mô men khởi động lớn giúp động cơ khởi động dễ dàng.

**4. KẾT LUẬN**

Sau khi tính toán thiết kế lý thuyết, kết quả tính toán kích thước thông qua phần mềm Ansys, tác giả đã mô phỏng đưa ra thông số thiết kế của động cơ KĐB. Kết quả mô phỏng cho thấy các thông số tính toán thiết kế ban đầu là hoàn toàn phù hợp với tiêu chuẩn thiết kế 9001:2008. Bằng cách sử dụng các vật liệu khác nhau, ta có thể đánh giá được các thông số đầu ra của động cơ như hiệu suất, tốc độ định mức, mô men đầu ra và hệ số trượt so với lý thuyết. Thông qua quá trình tính toán lý thuyết và mô phỏng cũng như đánh giá kết quả tính toán với các động cơ cùng loại trên thị trường hiện nay giúp sinh viên hiểu rõ hơn về mục tiêu của môn học, là cơ sở để sinh viên điện nghiên cứu sâu hơn về chuyên ngành.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

AnsoftTM Co., “Maxwell v.14 Online Help”.

Công ty cổ phần chế tạo điện cơ Hà Nội [2017], “*Dãy động cơ điện không đồng bộ ba pha 4KA\_2003*”.

Hệ thống quản lý chất lượng ISO 9001 : 2008, “*Động cơ điện KĐB ba pha roto lồng sóc – 50Hz*”.

Http://www.vihem.com.vn/dong-co-dien-khong-dong-bo-3-pha-roto-long-soc-50hz-p42025.html

Https://vi.wikipedia.org/wiki/Động\_cơ\_điện\_không\_đồng\_bộ

Surahammars Bruk AB “*Table A1: Magnetic sheets: Typical peak magnetic field strength, A/m at 50Hz*”.

T.A. Stolarski, Y. Nakasone, [2006], *“Engineering Analysis with ANSYS Software”*, Elsevier.

Trần Khánh Hà, Nguyễn Hồng Thanh [2007], “*Thiết kế máy điện*”, Nxb KHKT.

**APPLICATION OF SIMULATION ANSYS MAXWELL SOFTWARE IN DESIGN TEACHING ASYNCHRONOUS MOTOR CAGE WITH 2 POLE 0.75KW AND EVALUATION OF DESIGN RESULTS**

**WITH MOTORS MADE IN VIETNAM**

***Abstract.*** *Applying calculations and simulations on computers is no longer a new issue in the world. All mechanical and electrical products are designed and simulated by manufacturers including material properties on the computer before being put into production. In Vietnam, simulating and designing on the computer has been widely applied in the mechanical industry, but for electrical equipment, the magnetic field simulation and magnetic materials are relatively complicated, so the method is in the process of training and transferring technology. In the electrical engineering training program, the application of design software in teaching is relatively new, in actual fact, these software are very multifarious, through using simulation calculus helps students more specialized in-depth study skills and evaluate theoretical design and practical products. In the content of the article, the author presents the steps to calculate motor design theory and simulate the results of squirrel cage asynchronous motors (KĐB) 0.75kW on Ansys Maxwell software. Then evaluating of simulation results compared with the quality of the current market-produced motors of Hanoi Electromechanical Manufacturing Joint Stock Company (Hem), Vietnam-Hungari electric machinery manufacturing Joint Stock Company (Vihem).*

***Keywords:*** *Squirrel cage asynchronous motors, calculations and simulations, Ansys Maxwell software.*

*\*Liên hệ:*

**ThS. Trần Thanh Tuyền**

*Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh*

*Email: tuyenttbk48@gmail.com*