

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

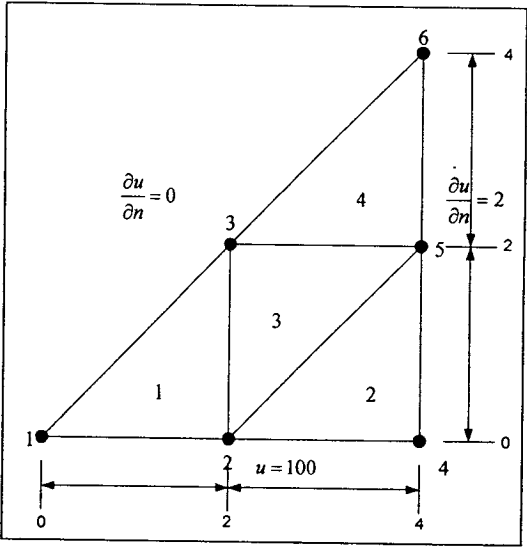
การประยุกต์เงื่อนไขค่าเริ่มต้นและเงื่อนไขค่าขอบเขต

สำหรับปัญหาในสถานะชั่วครู่ นั้น การประยุกต์เงื่อนไขค่าเริ่มต้น (initial condition) ของปัญหาเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยทั่วไปเงื่อนไขเริ่มต้นสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (ก.1)

$$T(x,y,z,0)=T_0(x,y,z) \tag{ก.1}$$

โดยที่ T_0 คือ อุณหภูมิเริ่มแรกที่ตำแหน่งต่างๆบนวัตถุนั้น

การประยุกต์เงื่อนไขค่าขอบเขต (boundary condition) เป็นส่วนสำคัญอีกอย่างหนึ่งในขั้นตอนการจำลองผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการประยุกต์ใช้เงื่อนไขค่าขอบเขตอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตแบบนอยมันน์ (Neumann) และการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตแบบดิริเคิล (Dirichlet) ซึ่งจะทำการยกตัวอย่างระบบขนาดเล็กเพื่อให้เห็นภาพการประยุกต์เงื่อนไขค่าขอบเขตทั้ง 2 แบบ โดยสามารถแสดงกริดของปัญหารวมทั้งการระบุขอบเขตของปัญหาทั้งแบบนอยมันน์และดิริเคิลได้ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างปัญหาสำหรับประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต

กำหนดให้เมทริกซ์ $[K_{sys}]$ ของสมการเชิงเส้นระบบรวม $[K_{sys}]\{u\}=\{f_{sys}\}$ เป็นดังสมการที่ (ก.2)

$$[K_{sys}] = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 5 & 2 & 1 & 3 & 4 & 6 \\ 6 & 5 & 3 & 2 & 1 & 4 \\ 4 & 2 & 3 & 6 & 5 & 1 \\ 2 & 3 & 4 & 1 & 6 & 5 \\ 3 & 6 & 5 & 2 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

(ก.2)

กำหนดให้โหลดเวกเตอร์แต่ละอีลิเมนต์เมื่ออีลิเมนต์นั้นไม่มีขอบใดเป็นขอบเขตของปัญหาแสดงได้ดังสมการที่ (ก.3) และเมื่ออีลิเมนต์นั้นมีขอบเป็นขอบเขตของปัญหาแสดงได้ดังสมการที่ (ก.4)

$$\{f^{(e)}\} = \frac{Q\Delta_e}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

(ก.3)

$$\{f^{(e)}\} = \frac{Qh_{mn}d\Delta_e}{3} \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix}$$

(ก.4)

- โดยที่
- Q

คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งในที่นี้สมมติให้ม้ค่าเท่ากับ 1
- h_{mn}

คือ ระยะห่างระหว่างโหนด m และ n
- d

คือ ค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบบอยมันน์
- Δ_e

คือ พื้นที่ประจำอีลิเมนต์
- i, j, k

คือ ค่าประจำโหนดของแต่ละอีลิเมนต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อโหนดนั้นเป็นโหนดที่ติดกับขอบแบบบอยมันน์ที่พิจารณาและมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่ติดกับขอบบอยมันน์

เนื่องจากการกำหนดเงื่อนไขแบบบอยมันน์จะมีความสัมพันธ์กับโหลดเวกเตอร์แต่ละอีลิเมนต์โดยตรง ดังนั้นจึงต้องทำการกำหนดเงื่อนไขแบบบอยมันน์ในแต่ละอีลิเมนต์ก่อนที่จะทำการสร้างสมการโหลดเวกเตอร์ระบบรวมแล้วจึงกำหนดเงื่อนไขแบบดิริเคิลเพื่อทำการแก้ระบบสมการเชิงเส้นต่อไป

การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตแบบนอยมันน์

การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตแบบนอยมันน์จะกระทำกับอิลิเมนต์ที่อยู่บริเวณขอบของเงื่อนไขซึ่งจากรูปที่ ก.1 ประกอบกับจากสมการที่ (ก.2) และ (ก.3) เมื่อพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตแบบนอยมันน์สามารถเขียนเป็นสมการโหนดเวกเตอร์แต่ละอิลิเมนต์ได้ดังนี้ (เมื่อสมมติให้ $Q = 1$)

$$\{f^{(1)}\} = \frac{(2\sqrt{2})(0)(2)}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\{f^{(2)}\} = \frac{(2)(2)(2)}{3} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.67 \\ 2.67 \end{bmatrix}$$

$$\{f^{(3)}\} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.67 \\ 0.67 \\ 0.67 \end{bmatrix}$$

$$\{f^{(4)}\} = \frac{(2)(2)(2)}{3} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{(2\sqrt{2})(0)(2)}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.67 \\ 2.67 \end{bmatrix}$$

จากโหนดเวกเตอร์แต่ละอิลิเมนต์สามารถเขียนเป็นโหนดเวกเตอร์ระบบรวมได้ดังนี้

$$\{f_{\text{sys}}\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.67 \\ 0.67 \\ 2.67 \\ 6.01 \\ 2.67 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นจะได้สมการระบบรวมสำหรับปัญหาในรูปที่ ก.1 ดังสมการที่ (ก.5)

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 5 & 2 & 1 & 3 & 4 & 6 \\ 6 & 5 & 3 & 2 & 1 & 4 \\ 4 & 2 & 3 & 6 & 5 & 1 \\ 2 & 3 & 4 & 1 & 6 & 5 \\ 3 & 6 & 5 & 2 & 4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.67 \\ 0.67 \\ 2.67 \\ 6.01 \\ 2.67 \end{bmatrix} \quad (ก.5)$$

การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตแบบดิริเคิล

หลังจากได้สมการระบบรวมดังสมการที่ (ก.5) แล้ว จากนั้นจึงทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบดิริเคิล โดยจากรูปที่ ก.1 ทราบค่าคำตอบที่โหนด 1, 2 และ 4 มีค่าเป็น 100 ดังนั้นเมื่อทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตแบบดิริเคิลจึงได้ดังสมการที่ (ก.6)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 1 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 6 & 5 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100 \\ 100 \\ 0.67 - 6(100) - 5(100) - 2(100) \\ 100 \\ 6.01 - 2(100) - 3(100) - 1(100) \\ 2.67 - 3(100) - 6(100) - 2(100) \end{bmatrix} \quad (ก.6)$$

จากสมการที่ (ก.6) สามารถนำไปแก้สมการเชิงเส้นเพื่อหาผลเฉลยได้ในขั้นตอนถัดไป

ภาคผนวก ข.

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ

พีรวัจน์ มีสุข ภูษิต ถึงสุข และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์. การวิเคราะห์ผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากความผิดพร่องในหม้อแปลงจำหน่าย. การประชุมเครือข่ายวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล (EENETT2014), 26-28 มีนาคม 2556 โรงแรมมารีไทม์ ปาร์คแอนด์สไปรียอร์ต จังหวัดกระบี่

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

การวิเคราะห์ผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากความผิดปกติในหม้อแปลงจำหน่าย Analysis of Magnetic Field Effect Caused Fault in Distribution Transformer

พีรวัฒน์ นิสฺฐา* ภูษิต ถึงสุข และเจนศักดิ์ เอกบุรณะ วัฒน

ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า คณะพลังงานทดแทน

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

96 ม.3 อ.พุทธมณฑล สาย 5 จ.ศาลายา 10.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 17170 โทรศัพท์: 0-2589-4585 ต่อ 2660 E-mail: peeraawat.nee@rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงจำหน่าย ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์อันดับสอง โดยได้วิเคราะห์การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กภายในหม้อแปลงในสภาวะเกิดความผิดปกติและสภาวะปกติ การจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB โดยพิจารณาปัญหาเป็นแบบ 3 มิติที่ระบบเป็น time harmonic พร้อมแสดงผลทางกราฟิกของค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองของสภาวะเกิดความผิดปกติมีผลต่อสนามแม่เหล็กในหม้อแปลง

คำสำคัญ: หม้อแปลงจำหน่าย, สนามแม่เหล็ก, ความผิดปกติ, ไฟฟ้าในไฟไนต์อีลิเมนต์

Abstract

This paper proposes a mathematical model of magnetic fields in distribution transformer by using a set of second-order partial differential equations. The analysis of the distribution of magnetic field effect was investigated the caused fault and normality. Computer-based simulation utilizing the three dimensional finite element method in the time harmonic mode, instructed in MATLAB programming environment with graphical representation for magnetic field strength has been evaluated. The simulation results show that the caused fault influence the magnetic field distribution in the transformer.

Keywords: distribution transformer, magnetic field, fault, finite element

1. บทนำ

หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน ซึ่งจะทำ

หน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการส่งและการจ่าย ในปัจจุบันมีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน ทำให้ระบบไฟฟ้ามีขนาดและความซับซ้อนมากขึ้นนำไปสู่การใช้งานโหลดที่มากยิ่งขึ้น และอาจเกิดความผิดปกติ (Fault) ขึ้นในระบบได้ ซึ่งความผิดปกติสามารถเกิดขึ้นได้เสมอ โดยทั่วไปกระแสมักจะมีค่าสูงกว่ากระแสที่กลายผลทำให้ การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงจำหน่ายจะขึ้นอยู่กับกระแสโหลดของหม้อแปลงจำหน่าย ซึ่งลักษณะการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กนั้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปโดยอาจจะเสริมหรือหักล้างกันก็ได้

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็ก

ในการคำนวณหาสนามแม่เหล็ก **B** สามารถดำเนินการได้โดยเลือกไปคำนวณหาศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก (magnetic vector potential) **A** ก่อน เนื่องจากคำนวณได้เร็วกว่า โดยที่สนามแม่เหล็ก **B** สามารถคำนวณได้ด้วยการหาค่าผลต่างเชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก **A** เท่านั้น

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (1)$$

บทความนี้ได้พิจารณาการแปลงโดยนวัตเป็นโดเมนความถี่ (time-harmonic) โดยสามารถแทน **A** อยู่ในรูปแบบเชิงซ้อน (complex form), $\mathbf{A} = A e^{j\omega t}$ [1] ดังนั้น

$$\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = j\omega \mathbf{A}$$

ซึ่ง ω คือความถี่เชิงมุม และเมื่อพิจารณาปัญหาเป็นแบบ 3 มิติในระนาบ (x, y, z) จึงได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial z} \right) - j\sigma \omega \mathbf{A} + J_0 = 0 \quad (2)$$

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology, 2014 (EENET 2014)

การนำผลเฉลยสมการของสมการไดรังก์ชันย่อย อันล้นที่สอดคล้องกับกฎในสมการที่ (2) มีความยาวและซับซ้อนอย่างเหมาะสมในการแก้ปัญหา สิ่งนี้มีความสำคัญยิ่งต่อการใช้วิธีการในขั้นตอนวิธี FEM ในการแก้สมการโดยประมาณซึ่งมีวิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยและที่อื่น ๆ ซึ่งมีความสำคัญในการคำนวณค่าเฉลี่ย (2)

3. ในกรณีที่สมการที่ระบบ 3 มิติ สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

3.1 อธิบายของระบบสมการ

บทความนี้ได้พิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 400 kVA, 22 kV/400 V มีการต่อแบบ Dy1 ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดที่แสดงของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีน้ำหนักที่วางไว้ การจำลองผลได้จากการคำนวณหม้อแปลงไฟฟ้าออกมาเป็นอีเลเมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยม (rectangular) ดังรูปที่ 1 โดยสมการที่แสดงการกระจายของแม่เหล็กมีค่าประมาณ ๓ ล้านตัวต่อลูกบาศก์เมตรเป็นแบบเชิงเส้น



รูปที่ 1 การแบ่งปริมาตรของปัญหาออกเป็นอีเลเมนต์

3.2 การสร้างสมการอีเลเมนต์ของปัญหาสมการแม่เหล็ก

การสร้างสมการของอีเลเมนต์ได้ใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักการเสียค่า (weighted residual method) ของกาลูอา (Galerkin) ซึ่งวิธีนี้ใช้ฟังก์ชันน้ำหนัก (weighting function) จะมีค่าเท่ากับฟังก์ชันรูปร่าง (shape function) [3-4] โดยที่ฟังก์ชันเวกเตอร์แม่เหล็กที่ผิดปกติ สามารถแสดงได้เป็น

$$A(x,y,z) = A_1N_1 + A_2N_2 + A_3N_3 + A_4N_4 \tag{3}$$

โดยที่ $N_i, i=1,2,3,4$ คือฟังก์ชันการประมาณค่าในอีเลเมนต์ และ $A_i, i=1,2,3,4$ คือผลคี่ของฟังก์ชันเวกเตอร์แม่เหล็กในอีเลเมนต์ที่ $i=1,2,3,4$ ของอีเลเมนต์ ซึ่ง

$$N_i = \frac{1}{6V} (a_i + b_i x + c_i y + d_i z) \tag{4}$$

และ V คือปริมาตรของรูปทรงสี่เหลี่ยมของอีเลเมนต์

วิธีการถ่วงน้ำหนักสมการที่แสดงค่าเฉลี่ยในสมการที่ (2) ซึ่งเป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยที่ค่าเฉลี่ยในฟังก์ชันของอีเลเมนต์ที่แสดงค่าเฉลี่ยในอีเลเมนต์ (Ω) และการเฉลยที่ได้อธิบายด้วยสมการ

โดยที่สมการที่แสดงการคำนวณค่าเฉลี่ยที่ได้กล่าวถึงเป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของเมทริกซ์ [5] ได้ดังนี้

$$[M + K]_{4 \times 4} \{A\}_{4 \times 1} = \{F\}_{4 \times 1} \tag{5}$$

โดยที่

$$[M]_{4 \times 4} = \frac{\mu_0 \mu_r V}{20} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{4 \times 4} = \frac{1}{36 \mu_r V} (b_i b_m + c_i c_m + d_i d_m) \quad n, m = 1, 2, 3, 4$$

$$\{F\}_{4 \times 1} = \frac{\mathbf{J} \cdot \mathbf{V}}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

จากนั้นนำสมการของอีเลเมนต์ที่ได้มาประกอบกัน (assembly) เป็นสมการรวมของระบบ โดยแยกแต่ละส่วนของปัญหาออกเป็นอีเลเมนต์ย่อยซึ่งประกอบด้วย n จุดต่อ ซึ่งจะก่อให้เกิดระบบสมการรวมซึ่งประกอบด้วยสมการย่อยจำนวนทั้งสิ้น n สมการ

3.3 เงื่อนไขขอบเขต

บทความนี้ได้ทำการศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าและได้กำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ของค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กที่บริเวณผิวของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นศูนย์ [6] ค่ากระแสที่แสดงการเกิดความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยเฉลี่ยที่แสดงค่าเฉลี่ยและสมการที่แสดงค่าเฉลี่ยในหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้ทำการศึกษานั้นมีค่าจาก Cold Rolled Silicon Steel [7]

บทความวิจัย

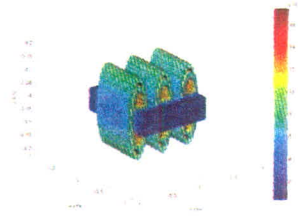
การประมวลผลข้อมูลเชิงวิศวกรรมในโปรแกรมวิศวกรรมในโดเมนของคลื่น
Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

4. ผลการจำลองและอภิปรายผล

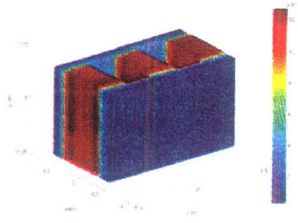
การจำลองและวิเคราะห์ผลที่ได้ใช้ MATLAB ในการพัฒนาโปรแกรม 3-D FEM สำหรับจำลองการกระจายตัวของคลื่นที่เกิดจากแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก โดยแสดงผลการกระจายของคลื่นที่เกิดขึ้น

4.1 สนามแม่เหล็กในสภาวะปกติ

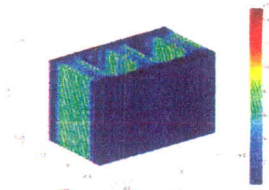
ในรูปที่ 3 เป็นการแสดงผลการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในบริเวณแกนเหล็กที่มีแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก โดยรูปที่ 3 เป็นการแสดงผลการกระจายของสนามแม่เหล็กในบริเวณแกนเหล็กของหม้อแปลง โดยแสดงผลลัพธ์ในส่วนของการกระจายของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก (แกนเหล็ก) ที่มีแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก (แกนเหล็ก) ที่มีแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก



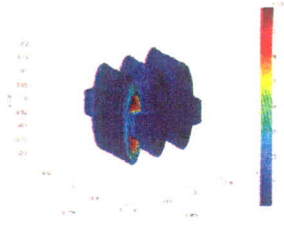
รูปที่ 4 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก (T) ที่มีแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก

จากการจำลองที่ได้พบว่ามีค่าสนามแม่เหล็กในบริเวณแกนเหล็กที่แสดงในรูปที่ 2 และ 3 นั้น จะมีค่าสูงในบริเวณที่มีแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก และค่าของสนามแม่เหล็กในบริเวณที่ไม่มีแรงกระทำจะต่ำลง ซึ่งค่าสนามแม่เหล็กในบริเวณที่มีแรงกระทำจะสูงขึ้นด้วย โดยค่าของสนามแม่เหล็กในบริเวณที่ไม่มีแรงกระทำจะต่ำลง

เมื่อพิจารณาจากสนามแม่เหล็กในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นการจำลองการกระจายของสนามแม่เหล็กในแกนเหล็กที่มีแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กที่มีค่าสูงในบริเวณที่มีแรงกระทำ โดยมีความสอดคล้องกันกับค่าสนามแม่เหล็กในแกนเหล็กที่มีค่าสูง

4.2 สนามแม่เหล็กในสภาวะเกิดคลื่นความถี่สูง

ในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 เป็นการแสดงผลการกระจายของสนามแม่เหล็กในบริเวณแกนเหล็กที่มีแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก โดยรูปที่ 5 เป็นการแสดงผลการกระจายของสนามแม่เหล็กในแกนเหล็กที่มีแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก

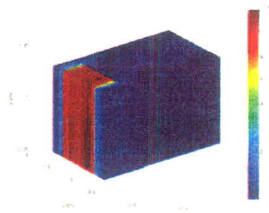


รูปที่ 5 การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก (แกนเหล็ก) ที่มีแรงกระทำของสนามแม่เหล็ก

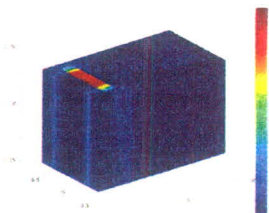
บททวนวิจัย

การประมวลผลข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้มาจากระบบจำลองในโปรแกรมจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology, 2014 (EENET 2014)



รูปที่ 6 การกระจายตัวของฟลักซ์เชิงเวกเตอร์ในช่องว่าง (T) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 7 การกระจายตัวของฟลักซ์เชิงเวกเตอร์ในช่องว่าง (T) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของฟลักซ์เชิงเวกเตอร์ในช่องว่างของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีความไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีช่องว่างขนาดเล็ก ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อมอเตอร์ได้ การจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ โดยการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ โดยการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้

การจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของฟลักซ์เชิงเวกเตอร์ในช่องว่างของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีความไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีช่องว่างขนาดเล็ก ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อมอเตอร์ได้ การจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ โดยการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้

สรุป

บทความนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการกระจายตัวของฟลักซ์เชิงเวกเตอร์ในช่องว่างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ โดยการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้

การกระจายตัวของฟลักซ์เชิงเวกเตอร์ในช่องว่างของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีความไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีช่องว่างขนาดเล็ก ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อมอเตอร์ได้ การจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ โดยการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้

6. เกิดการประมวลผล

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนทุนในการทำวิจัย ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้สำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Christopoulos, C. (1995) The transmission-line modeling method. TLM, USA: IEEE Press.
- [2] Pao-In-Or, P., Kutoonwanchipong, T., Sujjara, S., & Pongyong, S. (2006) Distribution of flux and electromagnetic force in induction motor: A finite element approach. WSEAS Transactions on Systems, 5(3), 617-624.
- [3] Pereda, T. W., Reese, A. B. L., & Saadha, P. S. (1988) Induction motor analysis by time stepping technique. IEEE Transactions on Magnetics, 24(1), 371-374.
- [4] Kim, B. T., Kwon, B. I., & Park, S. C. (1999) Reduction of electromagnetic force harmonics in asynchronous traction motor by adapting the rotor slot number. IEEE Transactions on Magnetics, 35(3), 3742-3744.
- [5] Meeuk, P., Kutoonwanchipong, T., and Pao-In-Or, P. (2011). Magnetic Field Analysis for a Distribution Transformer with Unbalanced Load Conditions by Using 3-D Finite Element Method. World Academy of Science Engineering and Technology, Issue 60, December 2011, pp. 339-344.
- [6] Kulkarni, V., Khaparde, S. A. (2004) Transformer Engineering Design and Practice. USA: Marcel Dekker, Inc.
- [7] Mittle, V. N., & Mittle, A. (1996) Design of electrical machines. Standard Publishers.
- [8] ปรวิทย์ และ อภิชาติ (2547). โปรแกรมจำลองระบบไฟฟ้าด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.