



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ระบบช่วยการคำนวณสำหรับโปรแกรมไอมูลเพื่อจำลองการทำงานของ
สวิทช์รีเลย์เคลื่อนที่มอเตอร์ผ่านการคำนวณระบบกริด

โดย นายศุภชัย คุณาสันติวรกุล

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรา วราวิทย์)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย นัตรรัตน์)

กรรมการ

(ดร.กนกเวทย์ ตั้งพิมพ์รัตน์)

ระบบช่วยการคำนวณสำหรับโปรแกรมไอมูลเพื่อจำลองการทำงานของสวิตช์รีเลย์อัตโนมัติ
ผ่านการคำนวณระบบกริด

นายศุภชัย คุณาสันติวรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายศุภชัย คุณาสันติวรกุล
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ระบบช่วยการคำนวณสำหรับโปรแกรมไอโมสเพื่อจำลองการทำงานของ
สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ผ่านการคำนวณระบบกริด
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ ดร.วรา วราวิทย์
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบ พัฒนาระบบช่วยการคำนวณสำหรับโปรแกรมไอโมสเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ และคำนวณผ่านระบบกริด เพื่อให้ระบบใช้งานได้ง่ายและรวดเร็ว ข้อดีของการนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ ก็คือสามารถแสดงผลการคำนวณได้ชัดเจนถึงระดับพฤติกรรมของวัสดุ แต่เนื่องจากข้อมูลมีปริมาณมาก จึงใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างนาน นอกจากนั้นยังมีวิธีการที่ซับซ้อน ในปัจจุบันโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างโปรแกรมไอโมส ก็มีหลายโปรแกรม แต่ส่วนใหญ่ก็จะมีราคาสูง หรือไม่ก็มีการคำนวณที่ไม่ละเอียด แสดงผลลัพธ์ได้ไม่ชัดเจน และที่สำคัญก็คือ การใช้งานนั้นทำได้ยาก เนื่องจากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นมีความซับซ้อนสูง ดังนั้นวิทยานิพนธ์จึงพัฒนาระบบช่วยคำนวณสำหรับโปรแกรมไอโมสขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมไอโมสได้ง่ายขึ้น ประกอบกับการคำนวณผ่านระบบกริด ประสิทธิภาพในการคำนวณจึงรวดเร็วขึ้น ทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ในโปรแกรมไอโมส หรือระบบกริด ก็สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นผู้ที่มีความรู้ในด้านเครื่องจักรกลไฟฟ้าก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ชนิดอื่นๆได้เช่นกัน

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 48 หน้า)

คำสำคัญ : สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์, ไฟไนต์เอลิเมนต์, ไอโมส, แมทแล็บ, ระบบกริด

Name : Mr.Suphachai Kunasuntiworagul
Thesis Title : Grid-enable iMOOSE Simulation Front-end for
Switched Reluctance Motors
Major Field : Electrical Engineering
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Associate Professor Dr.Vara Varavithya
Academic Year : 2006

Abstract

Grid-enable simulation front-end for switched reluctance machines (SRM) is studied in this thesis. The matlab based front-end system supporting finite element calculation was developed to support the design of SRM which helps reducing the product design cycle. Finite element solving platform used in this thesis is based on the open source gmsh and iMOOSE software. Results of the calculation show detail behavior of the magnetic flux as well as other mechanical characteristics. For complex problems, the system require large amount of calculation and the process of modeling and execution is very complex. In this work, we present a framework for matlab-based front-end electromagnetic problem solving environment. The proposed system supports a set of necessary parameters in designing SRMs. The underlining calculation is serviced by computational grid via grid services. The front-end system can harvest computational power available on the grid. We hide large amount of details in using iMOOSE software. Components of each stage on the modeling of SRMs are shown. This work allows a designer of SRM concentrate more on the design and parameter studying of the SRMs. An approach adopted in this thesis can be extended to other classes of electrical machines.

(Total 48 pages)

Keywords : Switched Reluctance Motor, Finite Element Method, iMOOSE, Matlab,
Grid System

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินงานจนสำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยความสะดวก อุทิศหา อานุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร.วรา วราวิทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่าง รวมทั้งการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัย จนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.กนกเวทย์ ตั้งพิมพ์รัตน์ จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้การสนับสนุนด้านการทดลอง อุปกรณ์ และข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับมอเตอร์ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย นัฏวรรตนา ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบ ตลอดจนคำแนะนำที่ดีในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

ขอขอบคุณ นายกมล จุติวัฒนกุล ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการเขียนโปรแกรม และการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย ขอขอบคุณนายเอกชัย พรณวัลย์ นายสุเมธ ลิปิโรจนพงศ์ และเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และลำบากทำวิทยานิพนธ์ร่วมกันจนสำเร็จ สุดท้ายต้องขอขอบคุณ นางสาวอรรณณ วงศ์วัฒนาภิก ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องเป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์ของการวิจัยฉบับนี้ขอมอบแด่ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณ ครูอาจารย์ และผู้เกี่ยวข้องทุกส่วนที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

ศุภชัย คุณาสันติวรกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 สวิทช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์	8
2.1 ข้อดี-ข้อเสียของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์	8
2.2 หลักการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์	9
2.3 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	10
บทที่ 3 การออกแบบ และการจำลองการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์	14
3.1 ระบบการคำนวณไอมูส (iMOOSE)	16
3.2 การสร้างโมเดล และการแบ่งเอลิเมนต์	17
3.3 การจัดเตรียมข้อมูลเข้าสำหรับไอมูส	18
3.4 การแสดงผล และประเภทของผลลัพธ์	22
3.5 การคำนวณโดยระบบกริด	26
3.6 การสร้างเครื่องมือช่วยในการใช้งานโปรแกรมไอมูสโดยโปรแกรมแมทแล็บ	27
บทที่ 4 การพัฒนาระบบช่วยในการออกแบบสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์	30
4.1 การจัดเตรียมเพื่อป้อนเข้าไอมูสจากโปรแกรมจีเมส	30
4.2 การส่ง และรับข้อมูลให้ระบบกริดผ่านโกลบัสทูลคิท	34
4.3 การแสดงผลผลลัพธ์จากการคำนวณ	34
4.4 ตัวอย่างโปรแกรมสำหรับผู้ใช้งาน	35
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง	46
ประวัติผู้วิจัย	48

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 รูปแบบของไฟล์วัสดุ (Material File)	20
3-2 รูปแบบของไฟล์กระตุ้น (Excitation File)	21

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 โครงสร้างของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์แบบ 3 เฟส มีขั้วที่สเตเตอร์ 6 ขั้ว และมีขั้วที่โรเตอร์ 4 ขั้ว	1
1-2 การกระตุ้นของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ที่เฟสต่างๆ เริ่มต้นที่เฟส B, C และ A ของสเตเตอร์ตามลำดับ ทำให้โรเตอร์หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา	2
1-3 ค่าของความเหนี่ยวนำที่ตำแหน่งโรเตอร์ต่างๆ โดยจะมีค่ามากที่สุดในตำแหน่งที่โรเตอร์และสเตเตอร์ตรงกันพอดี	3
1-4 ระบบการวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผ่านเทคโนโลยีกริด	6
2-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและกระแสเฟสที่ตำแหน่งต่างๆ	10
2-2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานในตำแหน่งต่างๆ	11
2-3 การแบ่งเอลิเมนต์เป็นรูปสามเหลี่ยมย่อย	11
2-4 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมซึ่งประกอบด้วยจุดต่อ 3 จุด หมายเลข 1, 2 และ 3	12
3-1 สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	14
3-2 รูปแบบของแรงดันแบบต่างๆที่ใช้กระตุ้นสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์	15
3-3 ค่าความเหนี่ยวนำของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ที่มุมโรเตอร์ต่างๆ(1 เฟส)	15
3-4 ค่าแรงบิดของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ที่ค่ากระแสต่างๆ	16
3-5 แผนผังการทำงานของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์	16
3-6 ระบบการคำนวณของโปรแกรมไอมูส	17
3-7 การจัดเตรียมข้อมูลแบบจำลองสำหรับไอมูส	18
3-8 รูปแบบของไฟล์โนด	19
3-9 รูปแบบของไฟล์เอลิเมนต์	19
3-10 รูปแบบของไฟล์ขอบเขตการคำนวณ	20
3-11 ตัวอย่างของไฟล์การกำหนดปัญหา	23
3-12 เส้นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก	24
3-13 ขนาดของสนามแม่เหล็ก	24
3-14 ทิศทางเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็ก	25
3-15 กราฟของแรงบิดที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมไอมูส	25
3-16 กราฟของแรงในแนวแกน X-Y ที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมไอมูส	25
3-17 การคำนวณระบบกริด	26
4-1 โครงสร้างของระบบโปรแกรมที่พัฒนา	31
4-2 โมเดลที่สร้างจากโปรแกรมจีเมสที่ใช้การคำนวณแบบสถิตย์	31
4-3 การเลือกขอบเขตการคำนวณในโปรแกรมจีเมส	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

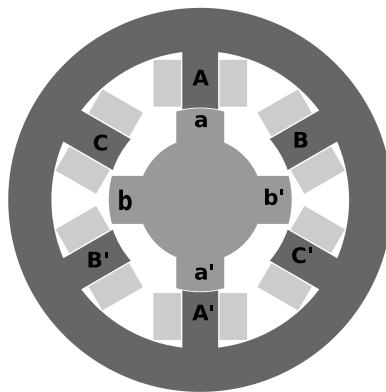
ภาพที่	หน้า
4-4 การแบ่งเอลิเมนต์ในโปรแกรมจีเมส	32
4-5 การกำหนดชิ้นวัสดุสำหรับการคำนวณแบบพลวัต (Dynamic)	33
4-6 รูปแบบของไฟล์โมเดลที่ได้จากโปรแกรมจีเมส	33
4-7 การเชื่อมต่อระบบกริด	34
4-8 กระบวนการทำงานทั้งหมดของระบบการส่งและรับข้อมูลกับระบบกริด	34
4-9 หน้าจอของซิมูแลชันที่นำมาใส่พารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ	35
4-10 หน้าจอเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	36
4-11 หน้าจอเมนูของการคำนวณแบบสถิตย์	37
4-12 หน้าจอการสร้างโมเดลไฟล์	37
4-13 การโหลดไฟล์ต่างๆ	38
4-14 หน้าจอการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆของโรเตอร์	38
4-15 หน้าจอการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆของสเตเตอร์	39
4-16 หน้าจอการกำหนดปัญหาและรูปแบบการคำนวณต่างๆ	39
4-17 หน้าจอแสดงการส่งข้อมูล และตรวจสอบสถานะ	40
4-18 หน้าจอแสดงผลการคำนวณแบบสถิตย์	40
4-19 หน้าจอแสดงผลการคำนวณแบบพลวัต	41
4-20 หน้าจอการกำหนดปัญหาและรูปแบบการคำนวณต่างๆแบบพลวัต	41
4-21 หน้าจอการตั้งค่าความเร็วรอบ	42
4-22 หน้าจอแสดงผลแบบพลวัต	42
4-23 หน้าจอแสดงผลของแรงบิด	43

บทที่ 1

บทนำ

การพัฒนาทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในปัจจุบันเป็นไปอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง มีการนำเครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ทันสมัย ประสิทธิภาพสูงมาใช้กันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของอุปกรณ์และเครื่องมือหลายๆ อย่าง มีการพัฒนามอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ (Switched Reluctance Motor) [1] ได้ถูกนำมาใช้แทนมอเตอร์ชนิดอื่นมากขึ้น เนื่องจากมีสัดส่วนแรงบิดต่อน้ำหนักสูง มีความเร็วรอบสูง มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นที่มีกำลังเท่ากัน มีค่าการสูญเสียต่ำ ไม่ต้องการบำรุงรักษามาก ไม่มีแปรงถ่านจึงไม่เกิดประกายไฟ ทำให้สามารถนำไปใช้ในที่อันตรายได้ อย่างไรก็ตามแบบจำลองพลวัต (Dynamic Model) ของมอเตอร์ชนิดนี้มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ดังนั้นการออกแบบระบบขับเคลื่อนจึงมีความยุ่งยากซับซ้อนอย่างมาก

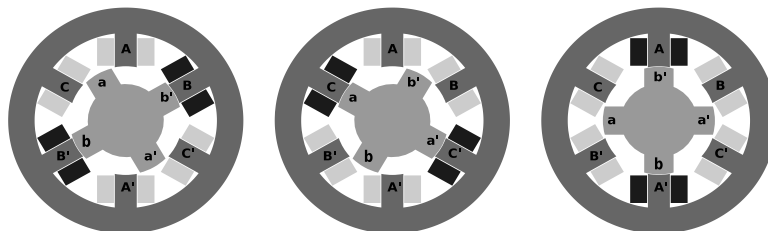
การพัฒนาทางเทคโนโลยีนั้น ไม่เพียงแต่จะพัฒนาเฉพาะในส่วนของภาคอุตสาหกรรมเท่านั้น อุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ที่เราใช้ในชีวิตประจำวันก็เริ่มมีการนำมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง มีความเร็วรอบสูง อย่างสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์มาใช้กันมากขึ้น ตัวอย่างเช่น สว่าน เครื่องซักผ้า เครื่องดูดฝุ่น ซึ่งการนำเอาสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์มาใช้จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้พลังงานน้อยลง และที่สำคัญยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายของการสร้าง และการบำรุงรักษาอีกด้วย



ภาพที่ 1-1 โครงสร้างของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์แบบ 3 เฟส มีขั้วที่สเตเตอร์ 6 ขั้ว และมีขั้วที่โรเตอร์ 4 ขั้ว

โครงสร้างของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ประกอบด้วยสเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) ที่เป็นเหล็กอ่อนแบบขั้วยื่นเด่น (Salient Pole) ผิวขั้วเรียบไม่มีร่อง โรเตอร์ไม่มีตัวนำ (Cage) มีขดลวด

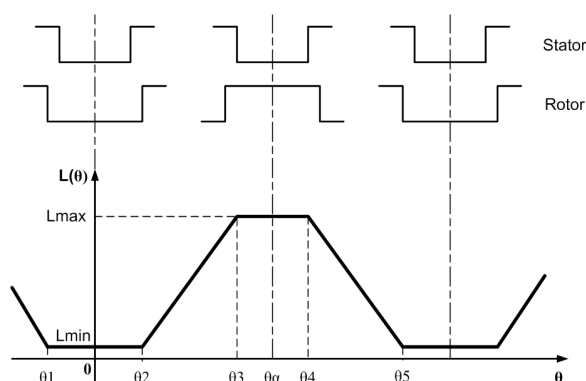
ที่สเตเตอร์ และไม่มีแปรงถ่านดังภาพที่ 1-1 ซึ่งจะเห็นว่ามีการสร้างง่าย ทนทาน ราคาถูกเมื่อเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นๆ จากภาพที่ 1-1 เป็นภาพตัดขวางของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์แบบสามเฟส 6/4 คือ มี 6 ขั้วที่สเตเตอร์ และ 4 ขั้วที่โรเตอร์โดยขดลวดที่พันอยู่กับขั้วที่ตรงข้ามกันของสเตเตอร์จะต่อขนานหรืออนุกรมกัน จะนับเป็น 1 เฟส เมื่อทำการกระตุ้นที่เฟส B-B' ของสเตเตอร์ ขั้วที่สเตเตอร์นี้จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และจะดึงดูดขั้ว b-b' ที่โรเตอร์เกิดการหมุนทวนเข็มนาฬิกามาที่ตำแหน่งตรงกับขั้ว B-B' ของสเตเตอร์ (Alignment) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีค่าความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุด ก็จะหยุดกระตุ้นที่ขั้ว B-B' ต่อไปจะทำการกระตุ้นที่เฟส C-C' ของสเตเตอร์ โรเตอร์ก็เกิดการหมุนทวนเข็มนาฬิกาทำให้ตำแหน่งขั้ว a-a' ของโรเตอร์มาตรงกับขั้ว C-C' ของสเตเตอร์ จากนั้นก็ทำการกระตุ้นที่ขั้ว A-A' ของสเตเตอร์ต่อไป ซึ่งโรเตอร์จะถูกดึงดูดไปในทิศทางของสนามแม่เหล็ก การเคลื่อนที่นี้สามารถดำเนินต่อไปได้เรื่อยๆ โดยการเปิดปิด (Switching) การกระตุ้นของขั้วแม่เหล็กที่มีความสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ตามภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 การกระตุ้นของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ที่เฟสต่างๆ เริ่มต้นที่เฟส B, C และ A ของสเตเตอร์ตามลำดับ ทำให้โรเตอร์หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงความเหนี่ยวนำ (Inductance) ของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์นั้นเป็นไปตามตำแหน่งของมุมโรเตอร์ตามภาพที่ 1-3 โดยที่ค่าของความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อตำแหน่งของโรเตอร์และสเตเตอร์ตรงกัน (Alignment) และน้อยที่สุดเมื่อตำแหน่งของโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่ตรงกันเลย (Unalignment) ส่วนการเปลี่ยนแปลงของแรงบิดนั้นจะสอดคล้องกับการกระตุ้นกระแส และค่าของ $dL(\theta)/d\theta$ โดยที่แรงบิดที่เกิดขึ้นนั้นสามารถพิสูจน์ได้ว่าเป็นอัตราส่วนกับ $i^2(dL/d\theta)$ ดังนั้นทิศทางของแรงบิดจะขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ $dL/d\theta$ ไม่ได้ขึ้นกับทิศทางของกระแส (i^2) ซึ่งกระแสที่ป้อนจึงไม่จำกัดว่าจะเป็นกระแสตรงเท่านั้น กระแสด้านบวกและลบของกระแสสลับก็จะให้ผลต่อแรงบิดเหมือนกัน

ด้วยข้อดีต่างๆ ของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์จึงทำให้มีการศึกษาและวิจัยเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ทำให้มีการสร้างแบบจำลองการทำงานของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ขึ้น [2] สำหรับวิเคราะห์แรงบิด และรูปแบบของกระแส เพื่อนำไปใช้จำลองการทำงานร่วมกับระบบขับเคลื่อน อย่างเช่น มอสเฟต (MOSFET) และรูปแบบในการควบคุม การวิเคราะห์แบบจำลองที่มีความไม่เป็นเชิงเส้น [3] ในเทอมของอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) โดยพัฒนาร่วมกับการควบคุมกระแสและมุมในการควบคุม การวิเคราะห์ในส่วนที่ไม่เป็นเชิงเส้นนั้นต้อง



ภาพที่ 1-3 ค่าของความเหนี่ยวนำที่ตำแหน่งโรเตอร์ต่างๆ โดยจะมีค่ามากที่สุดตำแหน่งที่โรเตอร์และสเตเตอร์ตรงกันพอดี

วิเคราะห์ในแง่ของคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ [4] ไม่ว่าจะเป็นนำไฟฟ้า การนำสนามแม่เหล็ก แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ในเรื่องของสนามแม่เหล็กนั้นเป็นเรื่องยาก มองเห็นไม่ได้ และทำการวัดไม่ได้ จึงมีการนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นใช้สำหรับวิเคราะห์สมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้เป็นอย่างดี ในตอนแรกวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นถูกนำมาใช้กับงานเกี่ยวกับโครงสร้างทางวิศวกรรมโยธา และเครื่องกลเป็นส่วนใหญ่ จากนั้นจึงเริ่มมีการพัฒนามาใช้กับการวิเคราะห์ทางไฟฟ้ามากขึ้น [5] มีการนำมาหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ ไม่ว่าจะเป็น ฟลักซ์คัลลิ่ง (Flux Linkage) กระแส หรือมุมในการกระตุ้น มีการนำมาวิเคราะห์รูปแบบของกระแส (Current Waveform) [6] เพื่อหาความสัมพันธ์ของกระแสกับค่าของฟลักซ์คัลลิ่ง รวมถึงค่าของแรงบิด นอกจากนี้ข้อดีของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มอเตอร์ ทำให้เราสามารถมองเข้าไปในเนื้อของวัสดุว่าเกิดสนามแม่เหล็ก หรือสนามไฟฟ้าตรงจุดไหน มากน้อยเพียงไร ทำให้เห็นภาพทางเดินของฟลักซ์ ปริมาณความเข้มสนามแม่เหล็ก เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปทำการออกแบบสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ต่อไป

หลังจากที่มีการนำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ จึงเริ่มมีการปรับปรุงทางกายภาพเพื่อให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวโรเตอร์ (Rotor) [7] โดยทำให้โรเตอร์มีความเรียบขึ้น ลดช่องอากาศ (Air Gap) เปลี่ยนลักษณะของการพันขดลวด [8] จากที่ระหว่างซี่ของสเตเตอร์ที่มีขดลวด 2 ขด ก็ลดให้เหลือขดเดียว เพื่อลดปริมาณของการสูญเสียที่เกิดขึ้น แต่ต้องทำการเปลี่ยนรูปแบบของการควบคุมใหม่ นอกจากนั้นเมื่อเราสามารถมองเห็นทางเดินของฟลักซ์ได้ จึงมีการออกแบบการจ่ายกระแสกระตุ้น ให้ทางเดินของฟลักซ์สั้นลง[9] โดยใช้ทฤษฎีในการควบคุมเพื่อนำมาคำนวณหาเส้นทางของฟลักซ์แม่เหล็กที่สั้นที่สุด เมื่อทางเดินของฟลักซ์สั้นลง ค่าการสูญเสียก็มีค่าน้อยลง ประสิทธิภาพจึงเพิ่มขึ้น

การพัฒนาอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ ก็คือ การสร้างแบบจำลอง หรือเครื่องมือ (Tools) ต่างๆขึ้นในโปรแกรมแมทแล็บ (Matlab) ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ถูกใช้อย่าง

แพร่หลาย โดยเฉพาะในส่วนที่เรียกว่า ซิมูลิง (Simulink) มีการพัฒนาเพื่อวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์อย่างมาก การใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ [10, 11] เพื่อจำลองการทำงาน และทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง จากนั้นก็นำผลการจำลองมาปรับเปลี่ยนระบบขับเคลื่อน เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการทำเพื่อใช้ร่วมกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด

การจำลองการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ [12] เริ่มตั้งแต่วิเคราะห์แบบเชิงเส้นคำนวณหาแรงบิด กระแส จากนั้นก็ทำการจำลองแบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้คุณสมบัติของวัสดุเพิ่มเติมเข้าไป สุดท้ายก็นำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง ซึ่งการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ ก็ได้ผลที่เพียงพอและแม่นยำสำหรับการออกแบบ ปัจจุบันการพัฒนาในการวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ จะทำการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมแมทแล็บ (Matlab) โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ร่วมกับการคำนวณผ่านระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพ เช่น ระบบกริด เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องสูง แสดงผลได้ชัดเจน คำนวณได้เร็ว และสามารถใช้งานได้ง่ายสำหรับผู้ทั่วไป

การจำลองการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์มีความสำคัญมากเนื่องจาก ทำให้ไม่ต้องทำการทดลองจริง และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย การจำลองการทำงานในปัจจุบันมีความใกล้เคียงกับผลจริงมากๆ ซึ่งโปรแกรมที่นำมาประยุกต์ใช้ทำการจำลองสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ ตัวอย่างเช่น แมทแล็บ (Matlab) [13] นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมที่ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น พีซี เอสอาร์ดี (PC-SRD) [14], แอนซิส (Ansys) [15], มอเตอร์แคด (MotorCAD) [16] ซึ่งโปรแกรมหดงกล่าวก่อนข้างมีราคาสูง และบางโปรแกรมไม่ได้คำนวณผ่านระบบเครือข่าย (Network System) ทำให้การคำนวณใช้เวลานานมาก โปรแกรมโอมูส (iMOOSE) [17] เป็นอีกโปรแกรมที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นโปรแกรมพัฒนาแบบเปิด (Open Source) และยังสามารถทำงานเชื่อมต่อบระบบเครือข่ายได้

แอนซิส (Ansys) เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในระยะเริ่มต้นแอนซิสมีการวิเคราะห์เฉพาะในงานโครงสร้างและการออกแบบเครื่องจักรเท่านั้น ต่อมาจึงมีการพัฒนาให้สามารถวิเคราะห์ทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้ และถูกนำมาใช้ในการออกแบบมอเตอร์มากขึ้น แอนซิสมีความสามารถในการวิเคราะห์ได้ทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ตั้งแต่การสร้างโมเดล หรืออาจจะนำมาจากโปรแกรมอื่นได้ เช่น โซลิดเวิร์ค (Solidwork) เป็นต้น สามารถแบ่งเอลิเมนต์ได้ กำหนดขอบเขตปัญหา และสามารถแสดงผลได้ทั้งในรูปของกราฟฟิก และกราฟเส้น โดยความเร็วในการคำนวณต่างๆก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นๆ แอนซิสเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ครบทุกกระบวนการ แต่ก่อนข้างมีราคาสูงมาก

พีซี เอสอาร์ดี (PC-SRD) เป็นโปรแกรมทางการค้า (Commercial Software) อีกโปรแกรมหนึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยกลาสโกว (Glasgow University) มีพื้นฐานของโปรแกรมแคด (CAD) สำหรับการออกแบบสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์โดยเฉพาะ รวมไปถึงมีด้านการคำนวณการทำงานแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ และระบบควบคุมพื้นฐาน แต่การคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นและการแสดงผลทางกราฟฟิกยังทำได้ไม่ค่อยละเอียด เนื่องจากผู้เขียนโปรแกรมเน้นด้านการออกแบบเป็นหลัก

เอฟอีเอ็มเอ็ม (FEMM) [18] เป็นโปรแกรมระบบเปิด (Open Source) ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ปัญหาทางแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 2 มิติ จึงเหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้า โดยเอฟอีเอ็มเอ็มนั้นใช้งานง่าย สามารถสร้างโมเดล แบ่งเอลิเมนต์ รวมไปถึงแสดงผลได้ ซึ่งในส่วนการวาดโมเดล และแสดงผลนั้นอาจทำได้ไม่ละเอียดมากนัก นอกจากนั้นยังไม่สามารถวิเคราะห์ในส่วนที่เป็นแบบพลวัต (Dynamic) ได้

เอสอาร์ดีเอส (SRDaS) [19] เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของ Peter Omand Rasmussen แห่งมหาวิทยาลัยออลบอร์ก (Aalborg University) มีรูปแบบการทำงานคล้ายกับโปรแกรม พีซี เอสอาร์ดี อาจด้อยกว่าในเรื่องของการออกแบบ และหน้าจอการใช้งาน แต่มีการเพิ่มเติมในส่วนของการวิเคราะห์เสียงรบกวนที่ความเร็วรอบต่างๆเข้ามา

โอมูส (iMOOSE) เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณเครื่องจักรกลไฟฟ้าโดยเฉพาะ ใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์สมการสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ภายในมอเตอร์ โอมูสมีข้อเด่นตรงที่สามารถคำนวณได้ทั้งแบบสถิตย์ (Static) และพลวัต (Dynamic) มีส่วนที่เป็นส่วนแสดงผลทางกราฟฟิกได้อย่างชัดเจน ส่วนข้อจำกัดของโอมูสก็คือ ข้อมูลที่จะส่งให้โอมูสคำนวณนั้นต้องอยู่ในรูปแบบของโอมูสเองเท่านั้น มีรูปแบบตายตัว ไม่สามารถป้อนรูปแบบมาตรฐานอื่นเข้าไปได้ และในส่วนของเขาต์พุตนั้นจะมี 2 ลักษณะ คือ แบบแรกจะเป็นไฟล์ตัวเลขจะแสดงค่าแรง และแรงบิด ส่วนที่ 2 จะเป็นไฟล์รูปภาพ โดยจะแสดงเส้นแรงแม่เหล็ก ขนาดของสนามแม่เหล็ก และเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็ก

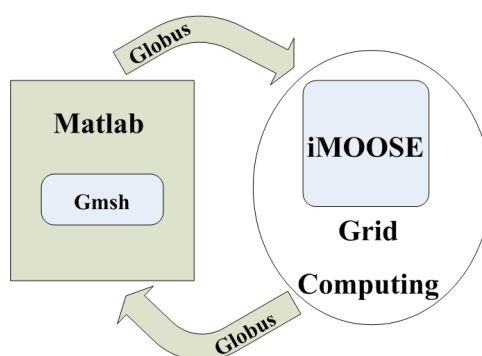
เนื่องด้วยโอมูสนั้นไม่มีในส่วนของการสร้างโมเดล และการแบ่งเอลิเมนต์ จำเป็นต้องใช้โปรแกรมอื่นมาทำการสร้าง ซึ่งก็มีหลายโปรแกรมที่สามารถทำการสร้างโมเดล และแบ่งเอลิเมนต์ได้ โปรแกรมหนึ่งที่น่าสนใจ คือ จีเมส (Gmsh) [20] โปรแกรมจีเมสนั้นเป็นโปรแกรมสำหรับแบ่งเอลิเมนต์โดยเฉพาะ ไม่เสียค่าใช้จ่าย (Freeware) นอกจากนั้นยังมีในส่วนของการคำนวณ และแสดงผลเพิ่มเติมเข้ามา

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบในการคำนวณที่สำคัญประกอบด้วย ส่วนของโมเดล มี 3 ไฟล์ คือ ไฟล์โนด (Node File), ไฟล์เอลิเมนต์ (Element File) และไฟล์ขอบเขตการคำนวณ (Constrain File) ซึ่งในส่วนของโมเดลจะสร้างจากโปรแกรมจีเมส ส่วนต่อมาก็คือ ไฟล์ปัญหา (Problem File) เป็นส่วนที่บอกวิธีการคำนวณต่างๆ ลักษณะการกระตุ้น (Excite) รวมไปถึงการอ้างอิงต่างๆ ต่อไปคือส่วนของไฟล์วัสดุ (Material Files) เป็นไฟล์ที่บอกคุณลักษณะทางแม่เหล็กของวัสดุต่างๆ สุดท้ายจะเป็นในส่วน of ไฟล์ความเร็ว (Speed File) ไฟล์นี้บอกค่าความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ โดยจะใช้เฉพาะในการคำนวณแบบพลวัต (Dynamic) เท่านั้น

ประโยชน์ที่เห็นได้ชัดจากการจำลองการทำงานนั้น ก็คือ ระบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกับระบบจริง ทำให้ไม่จำเป็นต้องไปทำการทดลองจริง เป็นการประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย นอกจากนั้นการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งสามารถแสดงค่าต่างๆที่เกิดขึ้นภายในเนื้อของวัสดุต่างๆได้ ทำให้การวิเคราะห์ทำได้ละเอียดถึงคุณสมบัติของเนื้อวัสดุ โดยที่การทดลองหรือการวัดจริงไม่สามารถทำได้ การออกแบบทั้งทางด้านทางกายภาพ และการควบคุมจึงสามารถทำได้ดี และหลากหลายมากขึ้น ถึงแม้โปรแกรมโอมูสจะสามารถใช้งานได้ดี แต่การใช้งานจริงนั้นค่อนข้างมีความยุ่งยากสูง ไฟล์

อินพุตต่างๆมีรูปแบบที่หลากหลาย และสร้างจากหลายโปรแกรม ดังนั้นจึงมีการนำโปรแกรมแม่แบบ ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่กันอย่างแพร่หลายในวงการวิศวกรรม มาช่วยในการจำลองการทำงาน เพื่อให้สามารถใช้งานโปรแกรมโอมูสและโปรแกรมร่วมอื่นๆได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการแสดงผลในรูปแบบต่างๆหลังคำนวณ ไม่ว่าจะเป็น ภาพเคลื่อนไหว กราฟ หรือการจำลองเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น

เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นต้องใช้เวลาในการคำนวณนานมาก การทำให้ใช้เวลาน้อยลงจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง หรือใช้ระบบการจัดการอื่นเข้ามาช่วยเช่น การคำนวณแบบขนาน (Parallel) หรือการใช้เทคโนโลยีกริด (Grid Computing) [21] ซึ่งเทคโนโลยีกริดเป็นการใช้ทรัพยากรที่อยู่ในระบบทั้งฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง แต่การจะเชื่อมต่อกับระบบจำเป็นจะต้องใช้ซอฟต์แวร์ตัวหนึ่งติดต่อกับระบบกริด การเลือกใช้โกลบัสทูลคิท (Globus Toolkit) [22] ซึ่งเป็นโปรแกรมพัฒนาแบบเปิด (Open Source) ก็เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย โดยที่การเชื่อมต่อต่างๆก็ยังคงทำงานบนโปรแกรมแม่แบบเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ดังแสดงจากภาพที่ 1-4



ภาพที่ 1-4 ระบบการวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผ่านเทคโนโลยีกริด

จากการใช้โปรแกรมโอมูส และการคำนวณผ่านระบบกริด ทำให้การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ใช้เวลาในการคำนวณน้อย มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่การใช้นั้นค่อนข้างมีความยุ่งยาก ซับซ้อน ยากต่อการใช้งาน จึงมีการเพิ่มเติมในส่วนของเครื่องมือ (Tools) สำหรับผู้ใช้ โดยสร้างขึ้นจากโปรแกรมแม่แบบ ผลที่ได้ก็คือแบบจำลองการทำงานที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง ใช้งานได้ง่าย การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆสามารถทำได้ดี เนื่องจากการแสดงผลละเอียดชัดเจน

สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก แต่ในประเทศไทยยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับมอเตอร์ชนิดนี้ออกมาไม่มาก ยิ่งการนำมาใช้งานจริงก็ทำได้น้อย วิทยานิพนธ์นี้จึงสร้างแบบจำลองการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ที่มีผลตอบสนองใกล้เคียงกับการทดลองจริง และยังสามารถวิเคราะห์ในส่วนของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นภายในวัสดุ ซึ่งการทดลองจริงไม่สามารถวัดได้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และเวลาในการทดลองจริง มีความละเอียดสูง แต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อย เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้นำไปทำการศึกษาวิเคราะห์ หรือใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบต่อไป

นอกจากนี้ยังเป็นการสนับสนุนให้มีการวิจัยทางด้านสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์มากขึ้นด้วย

วิทยานิพนธ์นี้ ทำการจำลองการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผ่านโปรแกรมโอมูส การสร้างโมเดล และแบ่งเอลิเมนต์เพื่อเป็นอินพุตของโปรแกรมโอมูสทำโดย โปรแกรมจีเมส มีการคำนวณระบบเครือข่ายด้วยเทคโนโลยีกริด ซึ่งทั้งหมดนี้กระทำบนโปรแกรมแมทแล็บ

การทำงานของระบบนี้ เริ่มจากการสร้างแบบจำลอง และการแบ่งเอลิเมนต์ของมอเตอร์ในโปรแกรมจีเมสนั้น เอาท์พุตที่ได้เป็นไฟล์ตัวอักษรในรูปแบบของโปรแกรมจีเมส ซึ่งจะทำให้การแปลงให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมโอมูส โดยใช้โปรแกรมภาษาซี และสร้างไฟล์อินพุตอื่นๆ ที่ใช้กับโปรแกรมโอมูส จากนั้นจะทำการบีบอัดข้อมูลทั้งหมดนี้ เพื่อส่งไปคำนวณระบบกริดต่อไป

การใช้งานระบบกริดจำเป็นต้องมีมิดเดิลแวร์ (Middleware) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อระบบกริด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้โกลบัลสทูลคิทเป็นตัวเชื่อมต่อกับระบบกริด โดยที่ใช้บริการ (Services) สำหรับการรับ และส่งข้อมูลของการบริการกริด (Grid Services) เพื่อใช้ในการติดต่อกับตัวโปรแกรมโอมูส ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะมี 2 ลักษณะ คือ แบบไฟล์ตัวอักษร และไฟล์รูปภาพ ซึ่งก็จะนำมาแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น กราฟ ภาพเคลื่อนไหว หรือเสียง ต่อไป ข้อมูลบางส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ สามารถค้นหาเพิ่มเติมจากวิทยานิพนธ์เรื่อง การวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ ด้วยวิธีการของไฟไนต์เอลิเมนต์โดยโปรแกรมโอมูส ของ นายสุเมธ ลิปิโรจนพงศ์ ซึ่งเป็นวิทยานิพนธ์ที่ศึกษาการทำงานของโปรแกรมโอมูสเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองจริง นอกจากนี้ ผู้ที่สนใจในเรื่องของการเชื่อมต่อระบบกริด ก็สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การบริการการคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์บนระบบกริด ของ นายกมล จุติวัฒนกุล ซึ่งทำการพัฒนาเกี่ยวกับการให้บริการการคำนวณระบบกริดของโปรแกรมโอมูส และสามารถนำมาเชื่อมต่อกับวิทยานิพนธ์นี้ได้

ระบบช่วยการคำนวณของโปรแกรมโอมูสที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมแมทแล็บนี้ ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมโอมูสได้ง่ายขึ้น เนื่องจากผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ในรูปแบบของอินพุตของโปรแกรมโอมูส ผู้ใช้สามารถใส่ค่าต่างๆ ผ่านทางระบบที่พัฒนาขึ้นได้เลย และผลลัพธ์จากการคำนวณก็แสดงผ่านระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ได้เลยเช่นกัน นอกจากนั้นยังพัฒนาเพื่อให้ใช้งานร่วมกับระบบกริด ทำให้การคำนวณมีความรวดเร็วมากขึ้น โดยระบบที่พัฒนาขึ้นทั้งหมดนี้ผู้ที่ไม่มีพื้นฐานของโปรแกรมโอมูส และระบบกริดก็สามารถใช้งานได้เช่นกัน

สำหรับเนื้อหาภายในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ประกอบด้วย บทที่ 2 กล่าวเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานหลักการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ และทฤษฎีของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ บทที่ 3 กล่าวเกี่ยวกับการออกแบบ, ลักษณะทางกายภาพ, พารามิเตอร์ต่างๆ ของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ และระบบการคำนวณโอมูส (iMOOSE) บทที่ 4 จะกล่าวเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบที่พัฒนาขึ้น, ข้อมูลอินพุต, การรับ-ส่งการคำนวณผ่านระบบกริด, การแสดงผลการคำนวณ รวมไปถึงหน้าจอต่างๆ ที่ใช้งาน บทสุดท้าย บทที่ 5 จะเป็นการสรุปผลการทำงานทั้งหมด และข้อเสนอแนะอื่นๆ ของวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 2

สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์

ปัจจุบันชื่อของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ กลับมาเป็นที่นิยมในส่วนของเครื่องกลไฟฟ้าอย่างมาก หลังจากทีนาซา (NASA) นำมาใช้ในปี 1969 และได้รับความนิยมตั้งแต่ปี 1980 เป็นต้นมา สาเหตุที่สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ได้รับความนิยมก็เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพสูง ให้แรงบิดที่สูง และนอกจากนั้นยังมีราคาต่ำอีกด้วย ทำให้มีผู้สนใจนำสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์มาวิเคราะห์อย่างมาก ซึ่งการวิเคราะห์ที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เนื่องจากเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีความละเอียดสูง

2.1 ข้อดี-ข้อเสียของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์

2.1.1 ข้อดีของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์มีโครงสร้างง่าย เนื่องจากแกนโรเตอร์ไม่เป็นแม่เหล็ก และเป็นแบบขั้วเด่น (Silent Pole) การพันขดลวดที่สเตเตอร์จึงทำได้ง่าย โดยสามารถพันที่บ๊อบบินก่อนแล้วค่อยนำมาใส่ที่ขั้วของสเตเตอร์ก็ได้ และจากโครงสร้างที่ง่าย จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อย ต้นทุนในการผลิตต่ำ และมีความแข็งแรงสูง จากการที่โรเตอร์ไม่เป็นแม่เหล็ก จึงไม่มีสายไฟจากโรเตอร์ทำให้การสูญเสียที่โรเตอร์มีค่าน้อยกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นๆ สาเหตุจากถ้ามีการพันขดลวดที่โรเตอร์ก็จะมี การสูญเสียในขดลวดตามมาด้วย

จะเห็นได้ว่า สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์มีค่าการสูญเสียต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นๆ มีประสิทธิภาพสูง และที่สำคัญไม่มีแปรงถ่าน ไม่เกิดประกายไฟ ทำให้สามารถนำไปใช้งานในที่อันตรายได้ ส่วนในแง่ของระบบควบคุม ก็สามารถใช้กับคอนเวอร์เตอร์ แบบกระแสไหลทางเดียวได้ (Unipolar)

2.1.2 ข้อเสียของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ ถึงแม้สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์จะมีข้อดีมากมายหลายประการ แต่ข้อเสียที่สำคัญของมอเตอร์ชนิดนี้ คือ การแกว่งของแรงบิดสูง เนื่องจากเป็นแบบขั้วเด่นชัด ซึ่งโดยทั่วไปจะต้องกระตุ้นด้วยฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมทั้งแรงดัน และกระแส จึงทำให้แรงบิดเกิดการแกว่ง รวมไปถึงทำให้เกิดการสั่นและเสียงรบกวนอย่างมากด้วย และถึงแม้ที่โรเตอร์จะไม่มีสายไฟ แต่จำนวนของสายไฟที่ออกจากมอเตอร์ก็ยังมีจำนวนมากอยู่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนเฟสของมอเตอร์แต่ละตัว

เนื่องจากการที่ค่าของความเหนี่ยวนำของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์นั้นเปลี่ยนแปลงตามมุมของโรเตอร์ทำให้การควบคุมนั้นทำได้ยาก หรืออาจจะจำเป็นต้องใช้ตัววัดตำแหน่งของโรเตอร์เพื่อช่วยในการควบคุม และตัวมอเตอร์เองก็ไม่สามารถต่อกับไฟกระแสตรง หรือสลับได้โดยตรง ต้องต่อผ่านอินเวอร์เตอร์

2.2 หลักการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์

การวิเคราะห์สมการต่างๆเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จะใช้การพิจารณาเพียงเฟสเดียวก่อน

2.2.1 สมการพื้นฐานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ สมการศักย์ไฟฟ้าของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ คือ

$$V = Ri + \frac{d\lambda}{dt} \quad (2-1)$$

V คือ ศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป

R คือ ความต้านทานขดลวด

λ คือ ฟลักซ์คัลล์อง

ซึ่งสมการข้างต้นคือสมการที่เป็นเชิงเส้น ในขณะที่สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์เกิดการหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุม (ω) ค่าศักย์ไฟฟ้าจะเป็น

$$V = L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \quad (2-2)$$

L คือ ขดลวดเหนี่ยวนำ

ω คือ อัตราเร็วเชิงมุม

θ คือ มุมของโรเตอร์

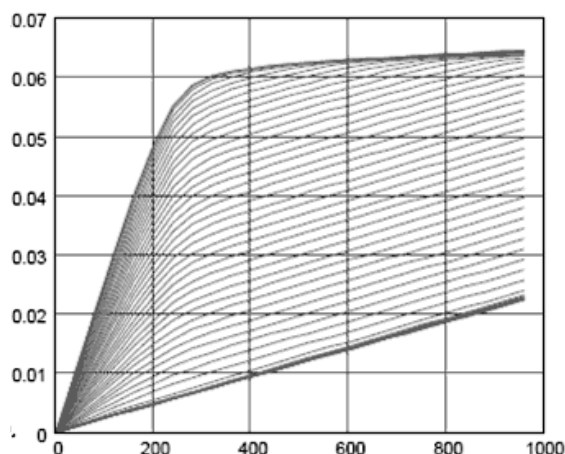
จากสมการที่ 2-2 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการพลังงานได้ดังนี้

$$Vi = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L(\theta) i^2 \right) + \frac{i^2}{2} \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \quad (2-3)$$

ในสมการที่ 2-3 นี้ ทางด้านซ้ายของสมการคือกำลังอินพุต ซึ่งเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานกลไฟฟ้า ส่วนเทอมแรกของผู้ซ้าย คือ พลังงานแม่เหล็กที่เก็บไว้ และเทอมที่สอง คือ พลังงานกล ดังนั้นสมการของแรงบิดก็คือ

$$T = \frac{i^2}{2} \frac{dL(\theta)}{d\theta} \quad (2-4)$$

โดยจะเห็นได้ว่าสมการของแรงบิดขึ้นอยู่กับค่ามุมหรือตำแหน่งของโรเตอร์



ภาพที่ 2-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและกระแสเฟสที่ตำแหน่งต่างๆ

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงพลังงาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งโรเตอร์และค่าของสนามแม่เหล็กในสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์เกิดขึ้นตลอดเวลา เป็นการยากมากที่จะวิเคราะห์ค่าของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนด้วยการพิจารณาที่เฟสในการพันของขดลวด ตามภาพที่ 2-1 ฟลักซ์คัลลิ่งที่ไม่เป็นแบบเชิงเส้นทั้งกระแสและตำแหน่งของโรเตอร์เพราะมีช่องอากาศที่กว้าง ทำให้สนามแม่เหล็กมีค่าต่ำและไม่สามารถเพิ่มค่าจนอิ่มตัวได้ที่ตำแหน่งแนวที่ไม่ตรงกัน ดังนั้นกราฟของสนามแม่เหล็กจึงเป็นแบบเชิงเส้นกับกระแสในตำแหน่งที่แนวไม่ตรงกัน ส่วนในตำแหน่งที่อยู่แนวเดียวกันนั้นจะเกิดการอิ่มตัวได้ง่ายเนื่องจากมีช่องอากาศขนาดเล็ก

และจากภาพที่ 2-1 นี้เราสามารถคำนวณค่าพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในตำแหน่งต่างๆ ได้จากสมการ

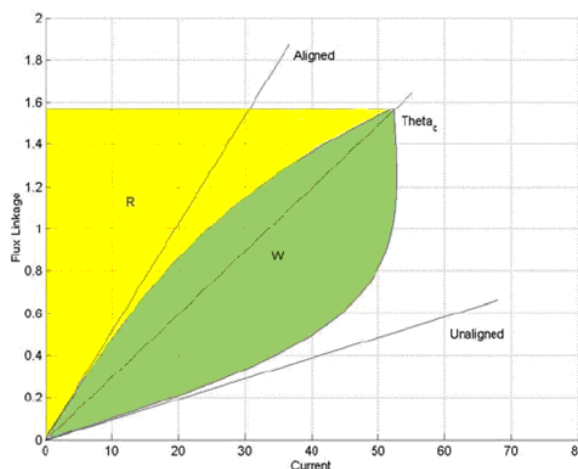
$$W_f = \int_0^{\lambda_0} i d\lambda(\theta, i) W' = \int_0^{i_0} \lambda(\theta, i) di \quad (2-5)$$

$\lambda(\theta, i)$ คือ ฟลักซ์คัลลิ่งที่ประกอบด้วยฟังก์ชันของกระแสและตำแหน่ง W_f คือ เทอมของพลังงานที่เก็บสะสมไว้ ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟก็จะได้ตามภาพที่ 2-2

ดังจากที่เห็นจากสมการ จะแสดงคุณลักษณะต่างๆ ของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ ซึ่งค่าแรงบิดจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสเฟส แต่สามารถหาได้จาก $\frac{dL}{d\theta}$ โดยที่ $\frac{dL}{d\theta}$ จะเป็นตัวสนับสนุนการเกิดแรงบิด ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องให้มีค่าอัตราของ $\frac{L_{\max}}{L_{\min}}$ มากๆ เพื่อที่จะได้แรงบิดที่มีค่ามาก

2.3 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เป็นวิธีการที่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างหลากหลาย โดยหาคำตอบเชิงตัวเลขของโจทย์ปัญหาแบบมีเงื่อนไขจากสมการเชิงอนุพันธ์ ที่ต้องมีสมการควบคุมระบบและใช้เงื่อนไขขอบเขตปัญหาเพื่อจะแก้สมการ ในวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะการมีแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยเรียกว่า เอลิเมนต์



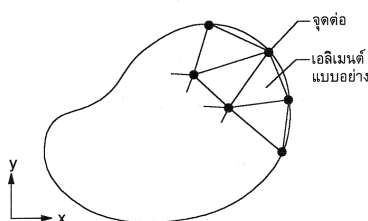
ภาพที่ 2-2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานในตำแหน่งต่างๆ

(Element) และเอลิเมนต์จะเชื่อมกันด้วยจุดต่อ (Node) แล้วจึงนำสมการควบคุมระบบมาสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับแต่ละเอลิเมนต์บนโดเมนจากนั้นจึงแก้ระบบสมการดังกล่าวซึ่งจะได้เฉลยโดยประมาณที่จุดต่อบนโดเมน ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ได้เป็นอย่างดี ที่มีการนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมไปถึงการออกแบบ และเนื่องจากว่า สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์เป็นระบบที่เป็นแบบพลวัต (Dynamic) ซึ่งเป็นผลทำให้พารามิเตอร์บางตัวมีการเปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์จึงอาจจะสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบพลวัต (Dynamic) และ สถิตย (Static) การวิเคราะห์โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ต้องเริ่มจากการสร้างสมการควบคุม (Governing Equation) ซึ่งสำหรับการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ สมการของสนามแม่เหล็กสำหรับสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ คือ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(v \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) + J_0 = 0 \quad (2-6)$$

A_z คือ ค่าเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก

J_0 คือ ความหนาแน่นกระแส

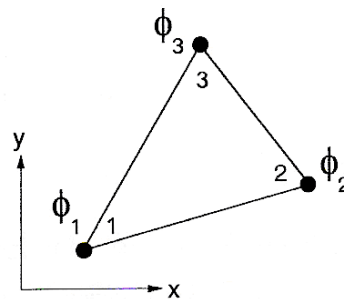


ภาพที่ 2-3 การแบ่งเอลิเมนต์เป็นรูปสามเหลี่ยมย่อยโดยแต่ละเอลิเมนต์จะประกอบด้วยจุดต่อ 3 จุด

2.3.1 ขั้นตอนพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐานทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.3.1.1 การแบ่งขอบเขตรูปร่างออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย (Discretizing) ดังแสดงในภาพที่ 2-3 ซึ่งการแบ่งเอลิเมนต์ดังกล่าวอาจเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่างๆกัน

2.3.1.2 การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในของเอลิเมนต์ (Element Interpolation) ตัวอย่างเช่น เอลิเมนต์สามเหลี่ยมในภาพที่ 2-3 เอลิเมนต์ดังกล่าวประกอบด้วย 3 จุดต่อ ที่มีหมายเลข 1, 2 และ 3 ดังแสดงในภาพที่ 2-4 โดยจุดต่อเหล่านี้เป็นตำแหน่งของตัวไม่รู้ค่า (Nodal Unknowns) ซึ่งคือ ϕ_1 , ϕ_2 และ ϕ_3



ภาพที่ 2-4 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมซึ่งประกอบด้วยจุดต่อ 3 จุด หมายเลข 1, 2 และ 3

ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3 \quad (2-7)$$

โดย $N_i(x, y)$, $i = 1, 2, 3$ แทนฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์สมการที่ 2-7 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix} \quad (2-8)$$

2.3.1.3 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ (Element Equation) สมการเอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยม จะอยู่ในรูปแบบ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}_e \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix}_e = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix}_e \quad (2-9)$$

ซึ่งเขียนย่อได้เป็น

$$[K]_e [\phi]_e = [F]_e \quad (2-10)$$

โดยตรรกะนี้ล่าง e แสดงถึงเมตริกซ์ต่างๆนั้นเป็นเมตริกซ์ระดับเอลิเมนต์ สำหรับขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งสมการของเอลิเมนต์ดังกล่าว จำเป็นต้องถูกสร้างขึ้นมาให้สอดคล้องกับสมการอนุพันธ์ของปัญหานั้นๆ

2.3.1.4 การนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบกันเข้าก่อให้เกิดระบบสมการ (System of Equation) ขนาดใหญ่ขึ้น ดังนี้

$$\sum (element) \Rightarrow [K]_{sys} [\phi]_{sys} = [F]_{sys} \quad (2-11)$$

โดยตรรกะนี้ล่าง sys แสดงถึงเมตริกซ์นั้นๆเป็นเมตริกซ์ของระบบสมการรวม

2.3.1.5 การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ลงในสมการที่ 2-11 จากนั้นจึงแก้สมการเพื่อหา $[\phi]_{sys}$ อันประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ

2.3.1.6 การคำนวณค่าที่ต่อเนื่องอื่นๆ หลังจากคำนวณค่าที่จุดต่อในขั้นตอนที่ 2.3.1.5 ออกมาได้แล้ว ก็สามารถนำไปคำนวณหาตัวอื่นๆได้

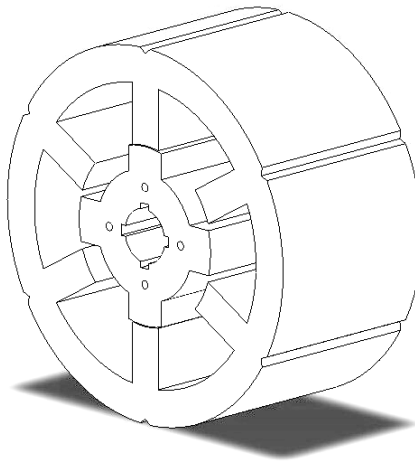
การนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มาช่วยในการวิเคราะห์สวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ ทำให้สามารถคำนวณค่าของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นภายในวัสดุของมอเตอร์ได้ เนื่องจากหลักการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะแบ่งวัสดุออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย แล้วทำการคำนวณในลักษณะของเมตริกซ์ ทำให้รู้ค่าจุดย่อยๆ ของแต่ละเอลิเมนต์ได้ ซึ่งผลลัพธ์จากการคำนวณสามารถนำไปใช้ในการออกแบบวัสดุ หรือระบบควบคุมได้เป็นอย่างดี

ในบทต่อไปจะกล่าวถึงลักษณะทางกายภาพต่างๆของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ รวมไปถึงรายละเอียดต่างๆของโปรแกรมที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ อันประกอบด้วยโปรแกรมไอมูล จีเมส แมทแล็บ รวมไปถึงการคำนวณระบบกริด

บทที่ 3

การออกแบบ และการจำลองการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์

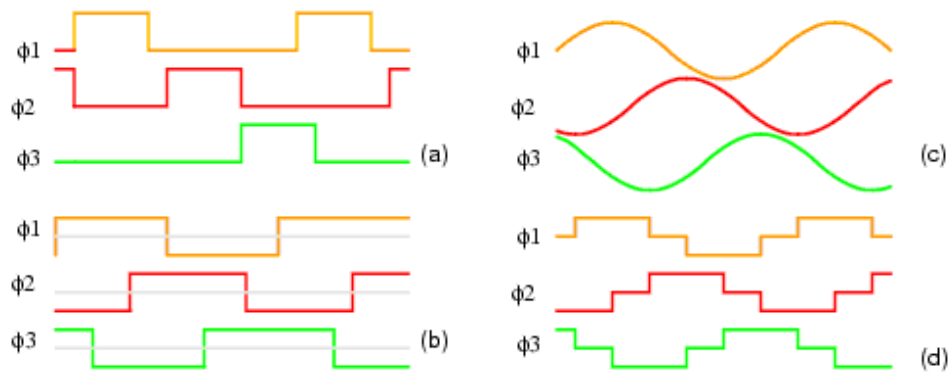
สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายแบบโดยการเรียกชื่อจะเรียกตามจำนวนโพล (Pole) ของสเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) เช่น 6/4, 8/6, 8/10 ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบ 6/4 มีโพลที่สเตเตอร์ 6 ขั้ว และโพลที่โรเตอร์ 4 ขั้ว ดังภาพที่ 3-1 เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่ใช้กันอยู่ทั่วไปได้



ภาพที่ 3-1 สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

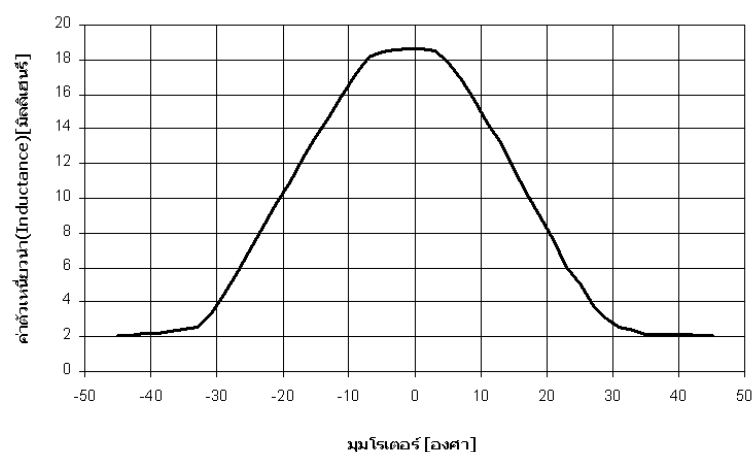
ลักษณะของการจ่ายกระแส การกระตุ้น (Excite) สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์นั้น มีลักษณะคล้ายกับสเตปป์มอเตอร์ (Stepping Motor) สามารถจ่ายรูปแบบของแรงดันได้หลายแบบดังภาพที่ 3-2 (a) คือ การจ่ายแบบกระแสตรงให้กระแสไหลทางเดียว (Unipolar) (b) การจ่ายแบบกระแสตรงให้กระแสไหลได้ 2 ทาง (Bipolar) ซึ่งทั้ง (a) และ (b) จะใช้หลักการเดียวกันกับสเตปป์มอเตอร์ ส่วน (c) คือ การจ่ายแบบกระแสสลับ 3 เฟสที่เป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) (d) อาจสร้างจาก PWM (Pulse Width Modulator) ได้เช่นกัน

ข้อพิจารณาในการออกแบบสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์นั้น ต้องคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้น อันเนื่องมาจากค่าคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุที่ใช้สร้าง เช่น ในเรื่องของสภาพการนำสนามแม่เหล็ก อีกข้อหนึ่งก็คือค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งมุมของโรเตอร์ดังภาพที่ 3-3 ทำการทดสอบหาค่าของความเหนี่ยวนำที่ความถี่หนึ่ง โดยพิจารณาเพียง 1 เฟส จะเห็นว่าที่ตำแหน่งศูนย์องศาค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่าสูงสุดและที่ตำแหน่งที่ 45 องศาจะมีค่าความเหนี่ยวนำเป็นศูนย์



ภาพที่ 3-2 รูปแบบของแรงดันแบบต่างๆที่ใช้กระตุ้นสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์

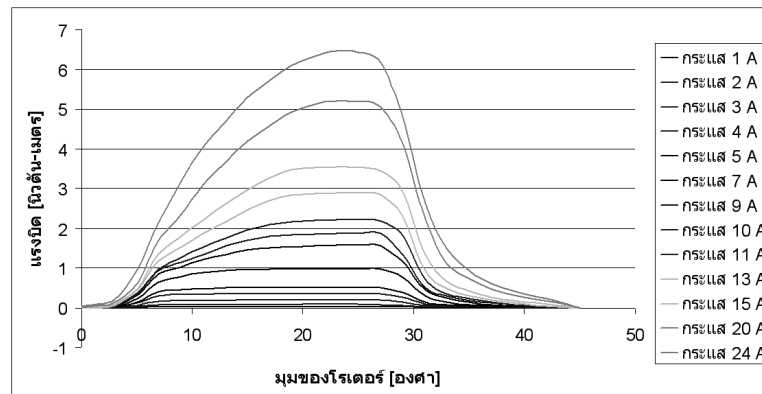
และจะมีค่าอย่างนี้ทุก 90 องศา ดังนั้น อาจพบว่างานวิจัยบางชิ้นจะทำการวิเคราะห์เพียง 90 องศาเท่านั้น



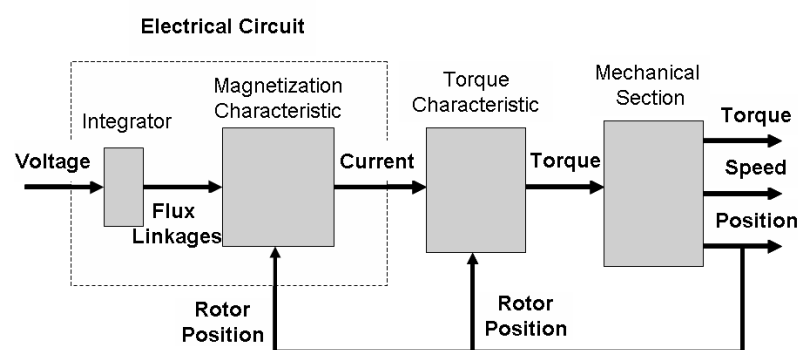
ภาพที่ 3-3 ค่าความเหนี่ยวนำของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ที่มุมโรเตอร์ต่างๆ(1 เฟส)

ในส่วนของการพิจารณาการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ สามารถเขียนเป็นแผนภาพแสดงได้ง่ายๆตามภาพที่ 3-5 เริ่มต้นจากการจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก (Flux Linkage) และกระแสไฟฟ้า (Current) ขึ้น โดยค่าของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่าคุณสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุ และตำแหน่งของมุมโรเตอร์ที่ส่งผลถึงค่าความเหนี่ยวนำตามภาพที่ 3-3 จากค่าของกระแสไฟฟ้าที่ได้นั้น จะสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดแรงบิดมากหรือน้อย ก็จะสัมพันธ์กับตำแหน่งของอีกครึ่งหนึ่ง โดยการทดลองจริงเราสามารถหาค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นกับค่าของกระแสไฟฟ้าได้ดังภาพที่ 3-4 โดยทำการยึดโรเตอร์แล้วทำการจ่ายกระแสที่ค่าต่างๆ และในส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของแรงบิดที่ผ่านการสูญเสียทางกลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น แรงเสียดทาน ความเฉื่อย แรงลม ซึ่งจะได้

เอาท์พุทที่สามารถวัดค่าได้จากเครื่องมือวัด คือ แรงบิด (Torque), ความเร็ว (Speed) และตำแหน่งมุมของโรเตอร์ (Position)



ภาพที่ 3-4 ค่าแรงบิดของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ที่ค่ากระแสต่างๆ



ภาพที่ 3-5 แผนผังการทำงานของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์

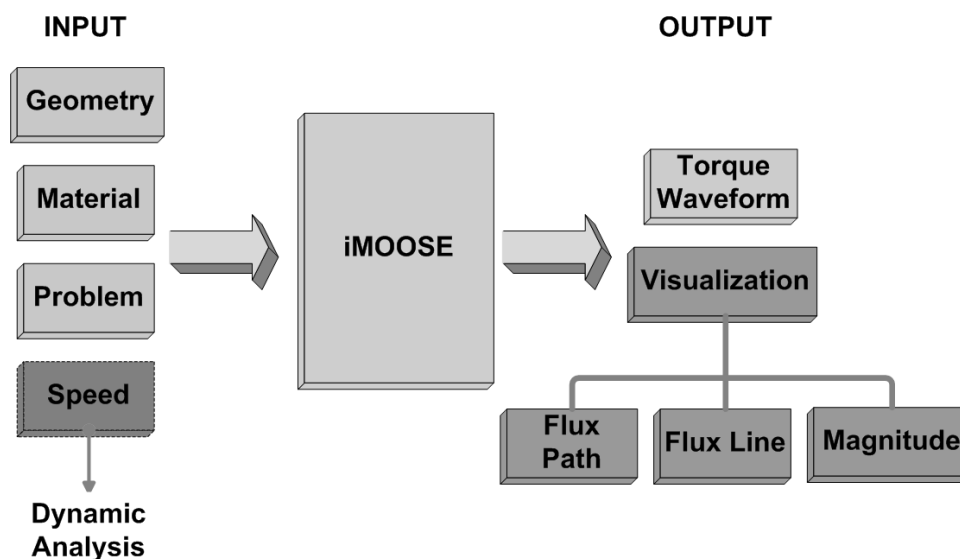
3.1 ระบบการคำนวณไอมูส (iMOOSE)

iMOOSE ย่อมาจาก Innovative Modern Object-Oriented Solving Environment พัฒนาโดยภาควิชาเครื่องกลไฟฟ้า มหาวิทยาลัยอาร์เคิน (Aachen University) ตั้งแต่ปี 1998 และเปิดให้ใช้ในเดือนกรกฎาคม ปี 2002

ไอมูสมีพื้นฐานของไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method :FEM) มีจุดประสงค์หลักเพื่อแก้ปัญหาแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ทั้งแบบสถิตย์ (Static), ฮาร์โมนิก (Harmonic) และทรานเซียนท์ (Transient)

การคำนวณโดยโปรแกรมไอมูสนั้นจะมีอินพุทในรูปแบบของไอมูสเองเท่านั้น ส่วนเอาท์พุทนั้นจะมี 2 รูปแบบ คือ แรงบิดจะอยู่ในรูปของไฟล์ตัวอักษรสามารถนำไปวาดกราฟได้เลย และส่วนที่

แสดงกราฟฟิคซึ่งต้องใช้ตัวแสดงผลของโอโมสเองที่เรียกว่า ทรินิตี้ (Trinity) [23] ซึ่งจะสามารถแสดงกราฟฟิคได้ 3 แบบตามภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 ระบบการคำนวณของโปรแกรมโอโมส

3.2 การสร้างโมเดล และการแบ่งเอลิเมนต์

โปรแกรมโอโมสนั้นไม่มีฟังก์ชันในส่วนของการสร้างโมเดล และการแบ่งเอลิเมนต์ จำเป็นต้องนำโปรแกรมอื่นมาทำงานในส่วนนี้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกโปรแกรมจีเมส (Gmsh) โปรแกรมจีเมส เป็นโปรแกรมแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย (Freeware) ใช้สำหรับการแบ่งเอลิเมนต์แบบ 3 มิติสำหรับการคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเฉพาะ นอกจากนั้นยังเพิ่มเติมในส่วนของการคำนวณ และการแสดงผลหลังการคำนวณด้วย จีเมสประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ การสร้างโมเดล การแบ่งเอลิเมนต์ การคำนวณ และการแสดงผล โดยทั้ง 4 ส่วน สามารถใช้งานได้ทั้งแบบกราฟฟิค (GUI) และแบบข้อมูลคำสั่งตัวอักษรในรูปแบบของจีเมสเอง ซึ่งรายละเอียดโดยรวมของทั้ง 4 ส่วนหลักเป็นดังนี้

3.2.1 ส่วนการสร้างโมเดล (Geometry) การสร้างโมเดลสามารถเริ่มต้นจากการวาดจุด เส้น (เส้นตรง, ส่วนของวงกลม, ส่วนของวงรี, ฯลฯ) พื้นที่ และปริมาตร นอกจากนี้ยังประกอบด้วยฟังก์ชันการจัดกลุ่ม (Physical Group) ของรูปทรงต่างๆได้ โดยจะสามารถแสดงในส่วนของการจัดกลุ่มนี้ในเอาต์พุตของไฟล์เมช สำหรับการเก็บ (Save) ไฟล์โมเดลนี้จะอยู่ในนามสกุล geo

3.2.2 การแบ่งเอลิเมนต์ (Meshing) การแบ่งเอลิเมนต์นั้นสามารถแบ่งได้ทั้ง 1 มิติ (เส้น) 2 มิติ และ 3 มิติ โดยการแบ่งเอลิเมนต์สามารถเลือกได้ว่าจะแบ่งลักษณะใด ไม่ว่าจะเป็น เส้น, สามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม, ปริซึม, แปดเหลี่ยม หรือพีรามิต โดยสามารถเลือกได้ว่าจะแบ่งแบบทุกเอลิเมนต์ มีขนาดเท่ากัน หรือให้มีความละเอียดเป็นบางส่วนก็ได้ สำหรับการเก็บ (Save) ไฟล์เมชนี้จะอยู่ในนามสกุล msh

3.2.3 การคำนวณ (Solving) จีเมสนั้นไม่สามารถทำการคำนวณได้โดยตรง แต่สามารถต่อเชื่อมกับโมดูล (Module) อื่นผ่านทางยูนิก (Unix) หรือ TCP/IP เพื่อทำการคำนวณได้

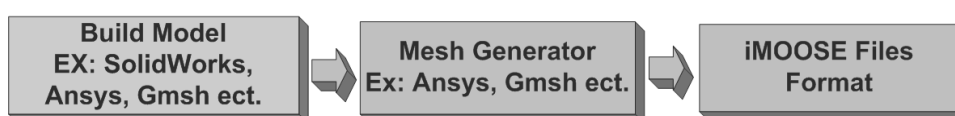
3.2.4 การแสดงผล (Post Processing) จีเมสสามารถโหลดและจัดการกับการแสดงผลแบบต่างๆได้ทั้งที่เป็นแบบสเกลาร์ (Scalar) และเวกเตอร์ (Vector) โดยไฟล์ที่โหลดมาต้องสัมพันธ์กับไฟล์โมเดล และเมช ลักษณะของอินพุตไฟล์จะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ตัวอักษรแอสกี (ASC Text Files)

จากฟังก์ชันทั้ง 4 ส่วนของจีเมส จะเห็นได้ว่า ตัวโปรแกรมจีเมสเองนั้นจะทำงานได้เฉพาะในส่วนของการสร้างโมเดล และการแบ่งเอลิเมนต์เท่านั้น ส่วนการคำนวณ และการแสดงผลจำเป็นจะต้องใช้โปรแกรมอื่นมาต่อเชื่อมจึงจะสามารถใช้งานได้

3.3 การจัดเตรียมข้อมูลเข้าสำหรับไอมูส

จากภาพที่ 3-6 จะเห็นได้ว่า ข้อมูลเข้าการคำนวณของไอมูสนั้น ประกอบด้วยไฟล์ 4 ส่วนหลักๆคือ ส่วนแบบจำลอง (Model), ส่วนวัสดุ (Material), ส่วนของการกำหนดปัญหา (Problem Definition) และส่วนของไฟล์ความเร็วรอบ (Speed) ซึ่งไฟล์นี้จะใช้ในการวิเคราะห์แบบพลวัตเท่านั้น ส่วนรูปแบบของไฟล์จะมีลักษณะแตกต่างกันไป ดังนี้

3.3.1 ส่วนแบบจำลอง (Model) ประกอบด้วย 3 ไฟล์ย่อย คือ ไฟล์โนด (Node File), ไฟล์เอลิเมนต์ (Element File) และ ไฟล์ขอบเขตการคำนวณ (Constraint File) เนื่องจากโปรแกรมไอมูสไม่สามารถสร้างโมเดล (Model) และแบ่งเอลิเมนต์ (Meshing) เองได้ จึงต้องสร้างการสร้างไฟล์ทั้ง 3 ไฟล์จากโปรแกรมอื่นดังภาพที่ 3-7 แต่สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ จะเลือกใช้โปรแกรมจีเมส (Gmsh) เนื่องจากสามารถสร้างโมเดลและแบ่งเอลิเมนต์ได้เลย อีกข้อที่สำคัญก็คือ จีเมสเป็นโปรแกรมแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย (Freeware) แต่รูปแบบของไฟล์ที่สร้างขึ้นนั้นต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบของไอมูสก่อนจึงจะสามารถส่งไปคำนวณได้



ภาพที่ 3-7 การจัดเตรียมข้อมูลแบบจำลองสำหรับไอมูส

3.3.1.1 ไฟล์โนด (Node File) จะมีรูปแบบของข้อมูลต่างๆตามภาพที่ 3-8 โดยที่

แถวที่ 1 คือ ลำดับโนด

แถวที่ 2 คือ พิกัด x

แถวที่ 3 คือ พิกัด y

(ถ้าไฟล์โนด มี 4 แถว แสดงว่าเป็นการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ โดยแถวที่ 4 จะเป็นพิกัดของ Z)

1	2	3
1	1.065000000001	1.328633534503
2	1.065000000000	1.536073688960
3	1.065000000000	1.333572585797
4	1.065000000000	1.338511637093
5	1.065000000000	1.343450688390
6	1.065000000000	1.348389739687
7	1.065000000000	1.353328790983
8	1.065000000000	1.358267842280
9	1.065000000000	1.363206893577
10	1.065000000000	1.368145944873
11	1.065000000000	1.373084996170
12	1.065000000000	1.378024047467
13	1.065000000000	1.382963098763
14	1.065000000000	1.387902150060
15	1.065000000000	1.392841201357

ภาพที่ 3-8 รูปแบบของไฟล์โนด

1				2				3	4				5
615	127	610	611	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
127	188	189	129	0	0	0	0	1	1	1	1	0	2
615	187	188	127	0	0	0	0	1	1	1	1	0	3
150	608	581	112	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4
214	113	150	112	0	0	0	0	1	1	1	1	0	5
214	112	581	580	0	0	0	0	1	1	1	1	0	6
186	187	615	615	0	0	0	0	1	1	1	1	0	7
189	190	126	129	0	0	0	0	1	1	1	1	0	8
190	191	125	126	0	0	0	0	1	1	1	1	0	9
191	192	124	125	0	0	0	0	1	1	1	1	0	10
192	612	123	124	0	0	0	0	1	1	1	1	0	11
612	130	122	123	0	0	0	0	1	1	1	1	0	12
130	194	121	122	0	0	0	0	1	1	1	1	0	13
194	131	120	121	0	0	0	0	1	1	1	1	0	14
131	132	119	120	0	0	0	0	1	1	1	1	0	15

ภาพที่ 3-9 รูปแบบของไฟล์เอลิเมนต์

3.3.1.2 ไฟล์เอลิเมนต์ (Element File) จะมีรูปแบบของข้อมูลต่างๆ ตามภาพที่ 3-9 โดยที่

แถวที่ 1 คือ โหนดที่ประกอบเป็นเอลิเมนต์นี้ โดยอาจจะมีจำนวนแถวไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับเอลิเมนต์ที่แบ่งเป็นรูปอะไร เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม

แถวที่ 2 คือ ไม่ระบุ

แถวที่ 3 คือ คือ ชนิดของวัสดุ (Materials) โดยจะต้องสัมพันธ์กับวัสดุที่กำหนดในไฟล์ของการกำหนดปัญหา (Problem Definition)

แถวที่ 4 คือ ไม่ระบุ

แถวที่ 5 คือ ลำดับของเอลิเมนต์

3.3.1.3 ไฟล์ขอบเขตการคำนวณ (Constraint File) จะมีรูปแบบของข้อมูลต่างๆตามภาพที่ 3-10 โดยที่

*GET UNAN FROM NODE ITEM=COUN VALUE= 124.0000000				1
PARAMETER LABEL = 1.000000				
12	69.99999999994	36.820000000000		
15	70.000000000000	36.500000000000		
116	70.000000000000	103.500000000000		
119	70.000000000000	103.17999999998		
418	70.000000000000	100.2947826087		
419	70.000000000000	97.40956521739		
420	70.000000000000	94.52434782609		
421	70.000000000000	91.63913043478		
422	70.000000000000	88.75391304348		
423	70.000000000000	85.86869565217		
424	70.000000000000	82.98347826087		
425	70.000000000000	80.09826086957		
426	70.000000000000	77.21304347826		
427	70.000000000000	74.32782608696		
428	70.000000000000	71.44260869565		

ภาพที่ 3-10 รูปแบบของไฟล์ขอบเขตการคำนวณ

แถวที่ 1 คือ ส่วนหัวของไฟล์ ค่า VALUE คือ จำนวนโนดทั้งหมดของ Label นั้นๆ

แถวที่ 2 คือ ลำดับโนด

แถวที่ 3 คือ พิกัด x

แถวที่ 4 คือ พิกัด y

3.3.2 ส่วนวัสดุ (Material) แต่ละชนิดจะประกอบด้วย 2 ไฟล์ คือ ส่วนที่เป็นค่าความนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Conductivity) และความต้านทานสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Reluctivity) โดยจะมีรูปแบบดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 รูปแบบของไฟล์วัสดุ (Material File)

ชนิดของวัสดุ	ค่า x	ค่า y	ความไม่เป็นเชิงเส้น
ความต้านทานสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Reluctivity)	B^2	v	เป็น
ค่าความนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Conductivity)	ค่าตัวเลข	ρ	ไม่เป็น

3.3.3 ส่วนของการกำหนดปัญหา (Problem Definition) คือ ส่วนที่บอกถึงวิธีการวิเคราะห์ปัญหา ชื่อเมช (Mesh) ชื่อวัสดุ (Material) โหลด (Load) และพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจะมีไฟล์เป็น NAME.PROB โดยจะอธิบายเป็นส่วนๆเรียงตามตัวอักษร ดังนี้

3.3.3.1 ENDFILE คือ ส่วนสุดท้ายของไฟล์ การกำหนดปัญหาต่างๆ (Problem Definition) ข้อมูลทั้งหมดที่หลังจากนี้จะไม่นำมาคำนวณ

3.3.3.2 EXCITATIONS ไฟล์กระตุ้น (Excitations Files) มีรูปแบบ คือ

label excitation mechanism char excitation type

label คือ ชี้นวัสดุ หรือโนด

excitation mechanism คือ ลักษณะของการกระตุ้น (ดังตารางที่ 3-2)

ตารางที่ 3-2 รูปแบบของไฟล์กระตุ้น (Excitation File)

วิธีการกระตุ้น	ตัวอักษรแสดงวิธีการกระตุ้น	ชนิดของตัวเลข
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	J	ตัวเลขของวัสดุ
ค่าสนามแม่เหล็ก	B	ตัวเลขของวัสดุ

3.3.3.3 FILEHANDLER คือ รูปแบบของไฟล์เมช (Mesh File) ซึ่งมีให้เลือกดังนี้ :

Ansys53, Ansys54, Ansys55, Ansys57, Ansys60, Patran, oo and Triangle

3.3.3.4 MATERIALS เป็นส่วนที่บอกว่าวัสดุแต่ละชิ้นมีคุณสมบัติอย่างไร ตามที่ประกาศไว้ที่ไฟล์วัสดุ

3.3.3.5 MTFORCETORQUE มีเพียง 1 บรรทัด บอกถึงพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณแรง (Forces) และแรงบิด (Torque) โดย Maxwell Stress Tensor (ข้อความหลังเครื่องหมาย # ไม่นำมาคำนวณ) ซึ่งข้อความแต่ละส่วนแสดงดังนี้

label แสดงถึงบริเวณที่คำนวณ (ในตัวอย่าง คือ 1)

จุดที่อยู่ในบริเวณที่คำนวณ ([0., 0., 0.])

แสดงพื้นที่การคำนวณแบบตัดว่าเป็นรูปแบบระนาบ (Plane) หรือทรงกระบอก (Cylinder)

แสดงเวกเตอร์ปกติ (Normal Vector) ของแกนของระนาบ (Plane) หรือทรงกระบอก (Cylinder) ที่กำหนดไว้ ([0., 0., 1.])

แสดงระยะทางจากจุดกำเนิดสำหรับระนาบ หรือเป็นรัศมีสำหรับทรงกระบอก (24.85e-3)

จุดบนแกนของทรงกระบอก ([0., 0., 0.]) เวกเตอร์นี้แสดงเพียงหน้าตัดของทรงกระบอก และ Left Apart ของแบบระนาบ

จุดศูนย์กลางของการหมุนสำหรับการคำนวณแรงบิด

3.3.3.6 NAME คือ ชื่อของไฟล์เมช (Mesh file)

3.3.3.7 NODELABELS รูปแบบคือ

label DIRICHLET potential 1 0

label คือ ลำดับโนดที่กำหนดขอบเขต การกำหนดหลักการคำนวณสามารถกำหนดได้ 2 วิธี คือ แบบ Dirichlet Constraint และแบบ Neumann Constraint (Natural Constraint)

3.3.3.8 PARTNERNODELABELS

label [ANTI]PERIODIC potential 1 0

label คือ เลขไบนารีโนด (Binary Node) ของเมช (Mesh)

3.3.3.9 SULUFILEHANDLER กำหนดรูปแบบของไฟล์ผลลัพธ์ที่ออกมา โดยจะมีให้เลือกเหมือนในส่วนของ FILEHANDLER

3.3.3.10 STATUS โดยแต่ละส่วนแสดงดังต่อไปนี้

บรรทัดแรก คือ การกำหนดมิติของโมเดล (2 มิติ หรือ 3 มิติ)

บรรทัดต่อมา คือ วิธีการแก้ปัญหา มี 4 วิธี คือ tsabasic, tsamotion, tsacirc และ tsacircmotion

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ว่าเป็นแบบเชิงเส้น หรือ ไม่เชิงเส้น (ถ้าเป็นแบบไม่เชิงเส้นไอมุส จะใช้ นิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson) ในการคำนวณตรงจุดนี้)

Devicelength คือ ความยาวที่ใช้จริง

ModelAngle คือ รูปร่างของแบบจำลอง (Model) ถ้า เต็มรูปใช้ 360, ครึ่งรูปใช้ 180 หรือ 1 ใน 4 ของรูปใช้ 90

กำลัง (Order) ของเอลิเมนต์

2 บรรทัดต่อมา บอกถึงการคำนวณจะหยุดเมื่อค่าของการคำนวณทั้ง 2 แบบน้อยกว่าค่าที่กำหนด (CGTolerance - CG Algorithm, NewtonTolerance- Newton Raphson Algorithm)

สุดท้าย คือ วิธีการคำนวณ และเงื่อนไขการคำนวณ ซึ่งสามารถเลือกได้ตามนี้

Solver : CG, BICG, BICGSTAB, QMR, TFQMR, GCR, CHEBY, RICHARDSON

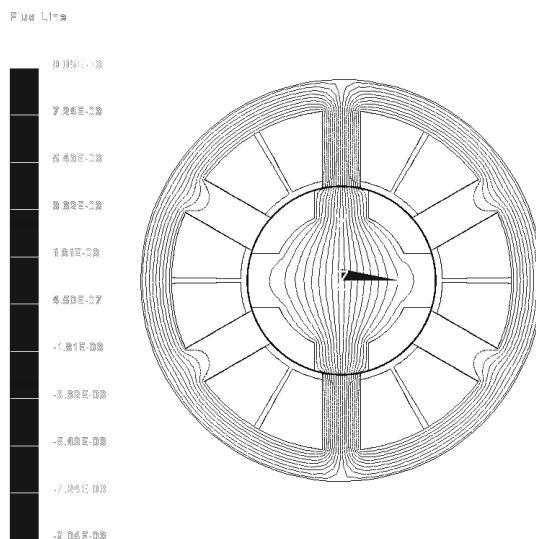
Preconditioner : NONE, ILU, ILUT, SSOR, CHOLESKY

3.4 การแสดงผล และประเภทของผลลัพธ์

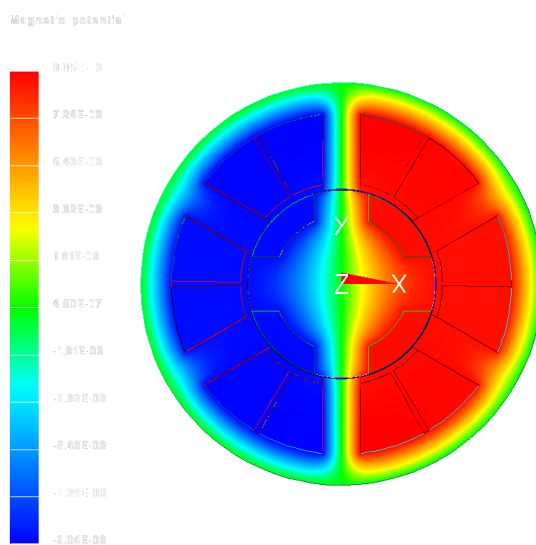
การแสดงผลด้วยโปรแกรม iMOOSE นั้นสามารถแสดงผลได้จะต้องใช้โปรแกรมย่อยของ โปรแกรมไอมุสที่ชื่อว่า ทรินิตี้ (Trinity) ซึ่งไว้สำหรับแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณในส่วนที่เป็นรูปภาพของโปรแกรมไอมุส โดยสามารถที่แสดงได้ 3 แบบ คือ เส้นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก ขนาดของสนามแม่เหล็ก และทิศทางเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็ก ดังภาพที่ 3-12, 3-13 และ 3-14

FILEHANDLER Ansys57 SOLUFILEHANDLER Ansys57 NAMES TSA2D STATUS Dimension 2D Solvertype tsabasic Problem NonLinear Devicelength 75.0E-03 ModelAngle 180. Order 1 CGTolerance 1.0E-09 NewtonTolerance 1.0E-04 Solver CG Preconditioner CHOLSKY TRANSIENTSTATUS Theta 0.666666667 MaxStep 2000 MATERIALS default alring 1 mr0001 2 mr0001 3 stahl 5 stahl 6 mr0001 7 mr0001 8 cu0 9 cu0 10 cu0 11 cu0 12 cu0 13 cu0 14 mr0001 EXCITATIONS default J FILE only0 8 J FILE sinus0 9 J FILE sinus0- 10 J FILE sinus240 11 J FILE sinus240- 12 J FILE sinus120 13 J FILE sinus120- MODELABELS 1 DIRICHLET Az 1 0.000E+00 2 DIRICHLET Az 1 0.000E+00	PARTNERNODELABELS # muessen hier stehen, wenn auch leer 10 PERIODIC A 1 12 PERIODIC A 1 BOUNDARYMOTION Type PERIODIC MTFORCETORQ # Label PointInRegion (Plane Cylinder) Vec1 Double [Vec2] RotMidPoint # Plane: Vec1 = Normalenvektor, double = Abstand vom Nullpunkt # Cylinder: Vec1 = Achse, double = radius, Vec2 = Mittelpunkt 1 [0., 0., 0.] Cylinder [0, 0., 1.] 24.85e-3 [0., 0., 0.] [0., 0., 0.] STEADYLABELS 5 7 8 9 10 11 12 13 14 REMESHLABEL 1 MOVELABELS 2 3 4 6 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 ENDFILE
---	--

ภาพที่ 3-11 ตัวอย่างของไฟล์การกำหนดปัญหา

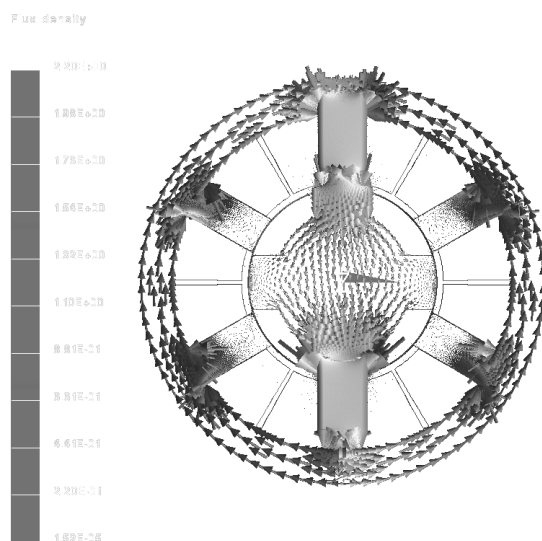


ภาพที่ 3-12 เส้นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก

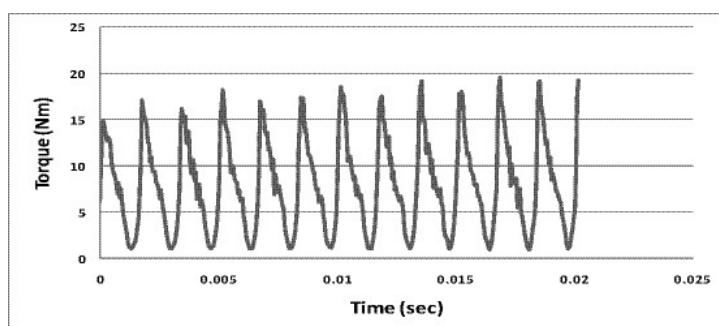


ภาพที่ 3-13 ขนาดของสนามแม่เหล็ก

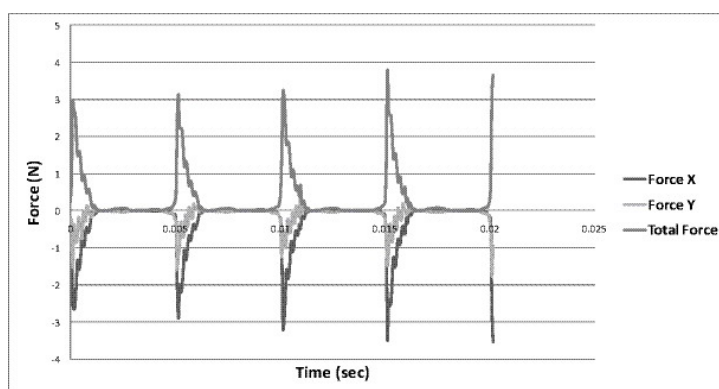
โปรแกรมไอคูสนั้นสามารถแสดงผลได้ 2 ลักษณะ คือ ส่วนที่เป็นกราฟฟิก หรือรูปภาพ ดังแสดงในหัวข้อที่ผ่านมา ส่วนในอีกลักษณะ คือ ในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลที่เป็นตัวอักษรของแรงบิด และแรงในแนวแกนต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาวาดกราฟได้ดังภาพที่ 3-15 และภาพที่ 3-16



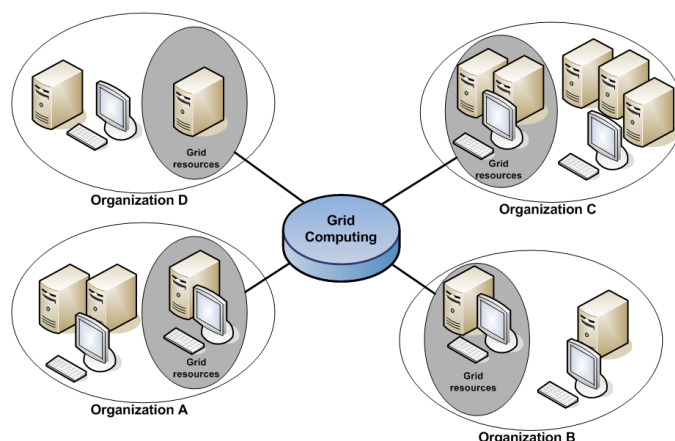
ภาพที่ 3-14 ทิศทางเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็ก



ภาพที่ 3-15 กราฟของแรงบิดที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมโมมัส



ภาพที่ 3-16 กราฟของแรงในแนวแกน X-Y ที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมโมมัส



ภาพที่ 3-17 การคำนวณระบบกริด

3.5 การคำนวณโดยระบบกริด

เทคโนโลยีกริด คือ เทคโนโลยีในการนำเอาประสิทธิภาพในการประมวลผลด้านต่างๆของระบบคอมพิวเตอร์ที่กระจายตัวกันอยู่ในระบบอินเทอร์เน็ตมาใช้งานร่วมกันเสมือนหนึ่งว่าระบบดังกล่าวเป็นระบบเดียวกัน หรืออาจเรียกว่าระบบกริดได้สร้างภาพขององค์กรเสมือน (Virtual Organization) ให้กับผู้ใช้งาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีกริดในโลก ได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนจากหลายๆฝ่าย ทั้งฝ่ายภาครัฐ ได้แก่ ภาควิทยาศาสตร์ วิจัย โดยเฉพาะงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ต้องใช้พลังในการประมวลผลที่สูงมาก ซึ่งในปัจจุบันนานาประเทศได้มีการจัดตั้งโครงการกริดแห่งชาติขึ้น เพื่อดำเนินการด้านการสนับสนุนเทคโนโลยีกริดภายในประเทศ ในส่วนของภาคธุรกิจ ได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกริดโดยเน้นไปที่การเข้าถึงข้อมูล และการทำงานร่วมกันระหว่างแอปพลิเคชันต่างรูปแบบ (Platform) กันโดยอาศัยเทคโนโลยีกริดเป็นตัวกลางเป็นหลัก

ระบบกริดที่เกิดขึ้นและได้รับการประยุกต์ใช้งาน โดยมีเป้าหมายหลักคือการใช้งานระบบกริดในการประมวลผลงานที่ต้องการพลังในการประมวลผลที่สูงมาก โดยอาศัยพลังในการประมวลผลของระบบคอมพิวเตอร์จำนวนมหาศาลรวมเข้าด้วยกันเป็นระบบใหญ่ เทคโนโลยีกริดในรูปแบบนี้ถือว่าเป็นเทคโนโลยีกริดในรูปแบบที่แพร่หลายมากที่สุด ซึ่งได้รับการใช้งานจริงในโครงการกริดทั่วโลก โดยเฉพาะในด้านของการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ในด้านต่างๆ โดยลักษณะการทำงานของระบบกริดจะเป็นไปดังภาพที่ 3-17

สถาบันสองแห่งกำลังนำหน้าการพัฒนามาตรฐานกริด นั่นคือ Globus Alliance และ Global Grid Founm (GGF, <http://www.gridfounm.org/>) ซึ่งสร้างกลุ่มของมาตรฐานเปิดสำหรับเทคโนโลยีกริดและแอปพลิเคชันโดย GGF ประกอบด้วยสถาบันการศึกษา หน่วยงานวิจัย และบริษัททั้งขนาดใหญ่และเล็ก แรงผลักดันหลักของ GGF ประกอบด้วย Open Grid Services Architecture (OGSA) และ Open Grid Services Infrastructure (OGSI) โดย Globus และ GGF ได้ร่วมกันพัฒนา Globus

Toolkit 3.0 ที่รวมการอ้างอิงการอิมพลีเมนต์ของมาตรฐาน OGSA/OGSI

โครงสร้างพื้นฐานของกริดยังได้รวมมาตรฐานเว็บเซอร์วิสเพื่ออำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสารระหว่างทรัพยากรที่แตกต่างกันออกไป โดยในปัจจุบันผู้ค้าบางรายได้ใช้โพรโตคอลเว็บเซอร์วิสในผลิตภัณฑ์ของพวกเขาแล้วประกอบด้วย Simple Object Access Protocol (SOAP) สำหรับติดต่อสื่อสาร และ Web Services Description Language (WSDL) สำหรับนิยามบริการ

เว็บเซอร์วิส คือ Web Application ยุคใหม่ ที่ประกอบด้วยส่วนย่อยๆ มีความสมบูรณ์ในตัวเอง สามารถติดตั้ง ค้นหา เริ่มทำงานได้ผ่านเว็บ Web Service สามารถทำอะไรก็ได้ตั้งแต่งานง่ายๆ เช่นดึงข้อมูล จนถึงกระบวนการทางธุรกิจที่ซับซ้อน เมื่อ Web Service ตัวใดตัวหนึ่งเริ่มทำงาน Web Service ตัวอื่นก็สามารถรับรู้และเริ่มทำงานได้อีกด้วย เว็บมีจุดเด่นในเรื่องของการให้บริการข้อมูลที่สะดวก ใช้งานง่าย จึงกลายเป็นตัวประสานมิดเดิลแวร์ (Middle Ware) ต่างๆ เข้าด้วยกันซึ่งจะให้คุณกันเองคงยากยิ่ง เว็บทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้มิดเดิลแวร์เหล่านี้สามารถคุยกันได้ และมีประสิทธิภาพกว่าวิธีการเดิมๆ มาก พื้นฐานของ Web Service ก็คือ XML กับ HTTP ซึ่งจะพบว่า HTTP ก็เป็นที่รู้จักกันดี และไปได้ทั่วทุกแห่งที่มี internet ส่วน XML คือภาษาสากลที่คุณสามารถปรับแต่งได้ตามใจชอบ เพื่อให้เกิดกิจกรรมระหว่าง Client และบริการ หรือระหว่างส่วนประกอบต่างๆ เบื้องหลัง Web server ก็คือ ข้อความ XML จะถูกแปลงให้การขอบริการจากมิดเดิลแวร์ และผลที่ได้ก็จะแปลงกลับมาในรูป XML

3.6 การสร้างเครื่องมือช่วยในการใช้งานโปรแกรมโมดูลโดยโปรแกรมแม่ทัพ

โปรแกรมแม่ทัพจะมีฟังก์ชันในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก ที่เรียกว่า จียูไอ (GUI) โดยโปรแกรมจะทำการสร้างวัตถุ (Object) ต่างๆ ที่ใช้สำหรับติดต่อกับผู้ใช้ผ่านทางคีย์บอร์ด (Keyboard), เมาส์ (Mouse), หรืออุปกรณ์อินพุตอื่นๆ

GUI ย่อมาจาก Graphical User Interface (แปลว่าโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟ) คือโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้ซึ่งถูกสร้างจากวัตถุแบบกราฟ (องค์ประกอบต่างๆ ของโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟ) ได้แก่ ปุ่มกด (Push Buttons) ตัวเลือกแบบเมนู (Pop-up Menu) กราฟ (Axes) หากโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้ได้รับการออกแบบที่ดีจะทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงการทำงานหรือใช้งานได้อย่างไม่ต้องทราบขั้นตอนการทำงานมาก่อนเลย ประโยชน์ที่เห็นได้อย่างชัดเจนของ GUI คือการที่ผู้ใช้สามารถทำงานกับโปรแกรมได้โดยไม่ต้องผ่านการเขียนคำสั่งที่ละบรรทัดดังเช่นการเขียนโปรแกรมตามปกติ กล่าวคือผู้ใช้เพียงแต่ปฏิบัติตามคำสั่งสำเร็จรูปที่ทางผู้ออกแบบได้จัดทำมาให้และทำการใช้งานได้ทันที ดังนั้นจึงเป็นการง่ายกว่าสำหรับผู้ใช้ทั้งในด้านการเรียนรู้และการใช้งานโปรแกรม หัวข้อถัดไปจะเป็นการบรรยายแบบพอสังเขปเกี่ยวกับการสร้างโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟผ่านทาง GUIDE ซึ่งรวมถึงการวางแบบ (Laying Out) องค์ประกอบ (Components) และโปรแกรมองค์ประกอบเหล่านั้นเพื่อให้ทำงานตอบสนองต่อผู้ใช้ตามที่ผู้ออกแบบต้องการ

การสร้างโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟ (Graphical User Interface) ผ่านทาง GUIDE คำว่า GUIDE ย่อมาจาก Graphical User Interface Development Environment เป็นโปรแกรมย่อย

ในเมทแลป ซึ่งได้จัดเตรียมเครื่องมือในการสร้างโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟไว้มากมาย โดยเครื่องมือเหล่านี้ช่วยทำให้ผู้ออกแบบสามารถเข้าถึงการวางแบบ (Laying Out) และการโปรแกรม (Programming) การทำงานของแบบที่วางไว้ ได้อย่างไม่ซับซ้อน การวางแบบ (Layout Tool) ที่ GUIDE มีให้เมื่อทำการเปิด โปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟ (GUI) โดยการพิมพ์คำสั่ง guide ที่ Command Window ของเมทแลป จากนั้นเลือกเปิด BLANK GUI (Default) โปรแกรมจะปรากฏหน้าต่าง Layout Editor ขึ้นมาให้ ซึ่ง Layout Editor นี้คือช่องทางในการควบคุมเครื่องมือต่างๆ ใน GUIDE Layout Editor ทำให้ผู้ออกแบบสามารถวางแบบของโปรแกรมประยุกต์ (Application Program) ที่ต้องการสร้างได้โดยง่าย และรวดเร็ว โดยการลากองค์ประกอบต่างๆ เช่น ปุ่มกด (Push Buttons) ตัวเลือกแบบเมนู (Pop-up Menu) กราฟ (Axes) จากองค์ประกอบแม่แบบที่อยู่ทางด้านซ้ายมือมายังพื้นที่ในการวางแบบ (Layout Area) รูปด้านล่างนี้เป็นตัวอย่างของ Layout Editor

เมื่อทำการวางแบบและตั้งค่าคุณสมบัติในแต่ละองค์ประกอบผ่านทาง Layout Editor เสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ออกแบบสามารถโปรแกรมการทำงานของแต่ละองค์ประกอบได้โดยผ่านทาง M-File Editor ซึ่งจะแนะนำให้รูปจกการทำงานของ M-File Editor ในหัวข้อถัดไป และเมื่อแก้ไขโปรแกรมต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม RUN ก็จะได้ปรากฏโปรแกรมประยุกต์ตามที่ได้ออกแบบไว้ขึ้นมาภายนอก Layout Editor ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการแสดงให้เห็นถึงภาพอย่างกว้าง ของการออกแบบและสร้างโปรแกรมประยุกต์ในการโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟผ่านทาง GUIDE ต่อไปจะแนะนำให้รู้จักกับประเภทของไฟล์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของ GUIDE เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจในการออกแบบและการสร้างโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟโดยละเอียดต่อไป

GUIDE จะทำการเก็บข้อมูลของโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟ ที่ถูกสร้างขึ้น ไว้ 2 ส่วน โดยจะเริ่มทำการเก็บข้อมูลเมื่อผู้ออกแบบสั่งเก็บข้อมูล (Save) ครั้งแรก หรือสั่ง Run ครั้งแรก โดยข้อมูลสองส่วนนั้นได้แก่

3.6.1 FIG-File คือไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น .fig ซึ่งจะประกอบไปด้วยคำบรรยายโดยสมบูรณ์ของแต่ละองค์ประกอบ (Components) ไปจนถึงโครงรูปในการวางแบบ (Figure Layout) เมื่อผู้ออกแบบทำการเปลี่ยนแปลงในการวางแบบใน Layout Editor การเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกบันทึกลงใน Fig-file นี้

3.6.2 M-File คือไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น .m ซึ่งจะมีคำสั่งต่างๆ ที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของแต่ละองค์ประกอบในโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟบรรจุอยู่ โดยจะอยู่ในรูปแบบที่เรียกว่า Callback Function ของแต่ละองค์ประกอบ อาจเรียกไฟล์ประเภทนี้ว่าเป็น GUI M-File ก็ได้ เมื่อผู้ออกแบบทำการ Run หรือ Save โปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้จาก Layer Editor นั้น GUIDE จะกำเนิด GUI M-File ขึ้นมาโดยอัตโนมัติ โดย GUI M-file ที่กำเนิดขึ้นมานี้จะประกอบไปด้วย Callback Function ต่างๆ โดยยังไม่มีคำสั่งใดๆ อยู่ภายใน Callback Function เหล่านั้นเลย หรือเรียกว่าเป็น Callback Function ว่างๆ ซึ่งพร้อมรอรับโปรแกรมที่ผู้ออกแบบจะใส่ให้ ทั้งนี้การแก้ไข M-File สามารถทำได้โดยการเรียกใช้ M-File Editor ธรรมดาในส่วนต่อไปจะเป็นการกล่าว โดยละเอียดถึงการสร้างโปรแกรมโต้ตอบกับผู้ใช้แบบกราฟ ซึ่งจะเป็นการดียิ่งขึ้นหากผู้อ่านได้เรียนรู้เกี่ยวกับการใช้

Handles ของวัตถุแบบกราฟ ซึ่งใช้ในการวาดกราฟของแม่ทแยง มาบ้างแล้ว

การคำนวณโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ละเอียด และสามารถทำให้มองเห็นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กได้อย่างชัดเจน โดยโปรแกรมไอมุสมีการแสดงผลที่ดี แต่มีรูปแบบไฟล์อินพุตที่ไม่ยืดหยุ่น และความเร็วในการคำนวณก็ขึ้นอยู่กับคอมพิวเตอร์เครื่องที่ลงโปรแกรมไอมุสไว้

บทที่ 4

การพัฒนาระบบช่วยในการออกแบบสวิทช์รีเลย์อัตโนมัติ

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้สร้างระบบช่วยในการใช้งานโปรแกรมไอโมส โดยใช้โปรแกรมแมทแล็บ เพื่อจำลองการทำงานของสวิทช์รีเลย์อัตโนมัติ นอกจากนั้นยังเพิ่มเติมในส่วนของการคำนวณระบบกริด ทำให้ระบบสามารถคำนวณได้รวดเร็วมากขึ้น

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้เริ่มต้นจากการสร้างโมเดล และทำการแบ่งเอลิเมนต์ด้วยโปรแกรมจีเมส ซึ่งข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของจีเมส ซึ่งจะทำการเขียนโปรแกรมแปลงรูปแบบให้อยู่ในรูปแบบของไอโมส ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาซี (C Language Program) ส่วนไฟล์อินพุตอื่นๆ นั้น จะถูกสร้างจากโปรแกรมแมทแล็บโดยตรง และรับค่าต่างๆ ผ่านทางกราฟฟิกที่เราเรียกว่า Graphical User Interface เพื่อสะดวกในการใช้งาน หลังจากที่ได้ข้อมูลที่เป็นอินพุตทั้งหมดของโปรแกรมไอโมส เรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการบีบอัดข้อมูลทั้งหมดเป็นไฟล์เดียวเพื่อ ความรวดเร็วในการส่ง

จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลที่ได้มาไปคำนวณบนโปรแกรมไอโมส ผ่านระบบกริด ซึ่งการที่จะส่งข้อมูลไปคำนวณในระบบกริดนั้น จำเป็นต้องใช้โปรแกรมเพื่อเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ต่างๆ คือ โกลบัสทูลคิท (Globus Toolkit) การส่งข้อมูลเราแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก จะทำการส่งในส่วน of ไฟล์โมเดล ไฟล์ปัญหา ไฟล์วัสดุ รวมถึงไฟล์ความเร็วรอบในกรณีที่เป็นแบบพลวัต ส่วนที่ 2 จะเป็นการส่งคำสั่งในการทำงานให้กับตัวโปรแกรมไอโมส เพื่อทำการคำนวณ ซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับข้อมูลที่ส่งไปในส่วนแรก

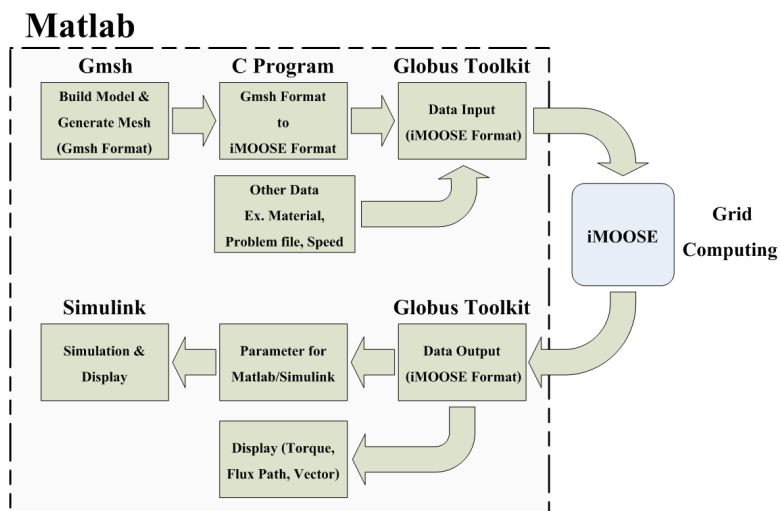
หลังจากโปรแกรมไอโมสคำนวณเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะส่งข้อมูลผ่านโปรแกรมโกลบัสทูลคิทกลับมา ซึ่งข้อมูลที่เป็นกราฟฟิคนั้นจะแสดงผลเลย ส่วนข้อมูลแรงกับ แรงบิดที่เป็นไฟล์อักษรนั้นสามารถนำไปวาดกราฟเพื่อแสดงผล หรือนำไปวิเคราะห์เสถียรภาพ หรือนำไปสร้างพารามิเตอร์เพื่อใช้ในส่วน of ซิมูลิงค์ (Simulink) ต่อไปก็ได้ กระบวนการทำงานทั้งหมดของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นแสดงดังภาพที่ 4-1

จากภาพที่ 4-1 สามารถจะอธิบายเป็นขั้นตอนตาม แผนภาพข้างต้นได้ ดังนี้

4.1 การจัดเตรียมเพื่อป้อนเข้าไอโมสจากโปรแกรมจีเมส

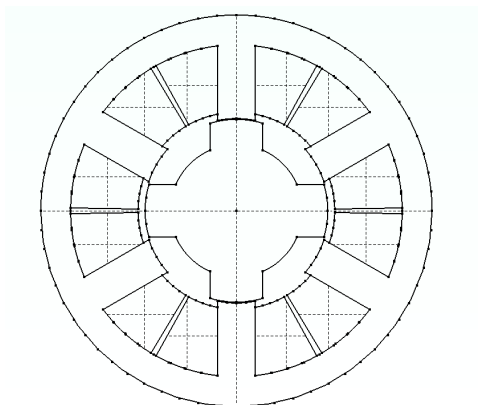
4.1.1 การจัดเตรียมไฟล์โมเดลจากโปรแกรมจีเมส ในการเตรียมข้อมูลเพื่อเป็นอินพุตนั้น จะเริ่มจากการสร้างโมเดลและการแบ่งเอลิเมนต์จากโปรแกรมจีเมส สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งการเตรียมข้อมูลจากโปรแกรมจีเมสเป็น 2 แบบ คือ แบบสถิตย์ (Static) กับแบบพลวัต (Dynamic)

4.1.1.1 การจัดเตรียมข้อมูลแบบสถิตย์ (Static) เริ่มต้นจากการสร้างโมเดลของสวิทช์รีเลย์อัตโนมัติที่ต้องการแบ่งเอลิเมนต์ดังภาพที่ 4-2 ซึ่งในส่วนของการสร้างพื้นที่ในส่วนต่างๆ



ภาพที่ 4-1 โครงสร้างของระบบโปรแกรมที่พัฒนา

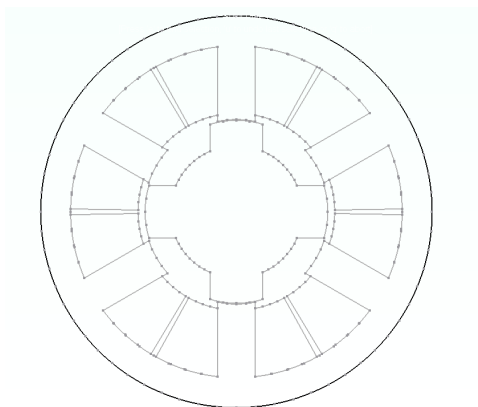
ต้องบันทึกเลขของพื้นที่ต่างๆว่าเป็นวัสดุใด เพื่อใช้ในการอ้างอิงต่อไปในโปรแกรมไอมูส และที่สำคัญสำหรับการเตรียมข้อมูลสำหรับไอมูส คือ การกำหนดขอบเขตการคำนวณ โดยใช้คำสั่ง Physical Group เพื่อจัดกลุ่มของเส้นที่เป็นขอบเขตการคำนวณดังภาพที่ 4-3



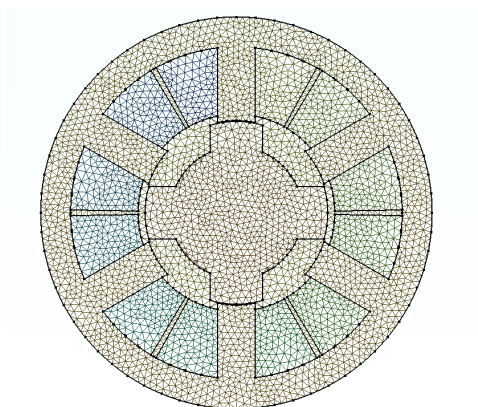
ภาพที่ 4-2 โมเดลที่สร้างจากโปรแกรมจีเมสที่ใช้การคำนวณแบบสถิตย์

ขั้นตอนต่อไปก็คือการแบ่งเอลิเมนต์ ซึ่งก็ทำการแบ่งเอลิเมนต์จากโปรแกรมจีเมสปกติ คือ กดที่แถบเครื่องมือ Mesh แล้วก็ 2D ดังภาพที่ 4-4 ซึ่งการแบ่งเอลิเมนต์สามารถเลือกความละเอียดได้จากการกำหนดค่าของ Characteristic Length เมื่อเสร็จแล้วก็บันทึกข้อมูล (Save) ก็จะได้ไฟล์อักษรในรูปแบบของโปรแกรมจีเมสมีนามสกุลเป็น msh เพื่อนำไปแปลงในรูปแบบของโปรแกรมไอมูสต่อไป

4.1.1.2 การจัดเตรียมข้อมูลแบบพลวัต (Dynamic) มีขั้นตอนการทำคล้ายกับแบบสถิตย์ (Static) แต่ต่างตรงการวาดโมเดลต้องเพิ่มเติมในส่วนของชิ้นที่ต้องทำการแบ่งเอลิเมนต์ใหม่



ภาพที่ 4-3 การเลือกขอบเขตการคำนวณในโปรแกรมจีเมส



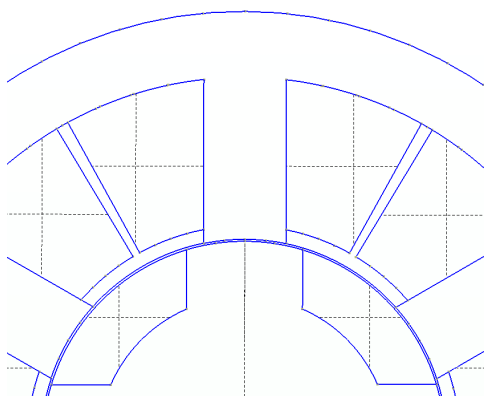
ภาพที่ 4-4 การแบ่งเอลิเมนต์ในโปรแกรมจีเมส

ขณะคำนวณโปรแกรมไอมูสดังภาพที่ 4-5 เนื่องจากการคำนวณแบบพลวัตจะหมุนโรเตอร์ไปทีละมุมต่างๆ ทำให้เอลิเมนต์ไม่มีความต่อเนื่อง ต้องแบ่งเอลิเมนต์ทุกครั้งทีโรเตอร์หมุนไป ส่วนในขั้นตอนอื่นก็จะทำเช่นเดียวกันกับการคำนวณแบบสถิตย์ (Static)

4.1.2 การแปลงไฟล์โมเดลจากรูปแบบของจีเมสในรูปแบบโปรแกรมไอมูส ในหัวข้อที่แล้ว เมื่อทำการบันทึกข้อมูล ก็จะได้ไฟล์ในรูปแบบของโปรแกรมจีเมส มีนามสกุลเป็น msh ดังภาพที่ 4-6 ซึ่งจะเห็นว่ามียู่ 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

4.1.2.1 Mesh Format มีตัวเลขอยู่ 3 ตัว โดยตัวแรกจะบอกเวอร์ชัน (Version) ของโปรแกรมจีเมส ตัวที่ 2 จะเท่ากับ 0 บอกว่า เป็นรูปแบบแอสกี (ASC) และตัวสุดท้ายจะบอกขนาดของข้อมูลแต่ละตัว ว่าเก็บได้กี่หลัก

4.1.2.2 Nodes จะประกอบด้วยตัวเลข 4 หลัก โดยที่หลักแรกจะบอกลำดับโนด ส่วนหลักที่ 2, 3 และ 4 จะบอกถึงค่าพิกัดของ x, y และ z ตามลำดับ



ภาพที่ 4-5 การกำหนดชิ้นวัสดุสำหรับการคำนวณแบบพลวัต (Dynamic)

<pre> \$MeshFormat 2 0 8 \$EndMeshFormat \$Nodes 4206 1 -9.364999987545929 -21.55335001263743 0 2 -9.364999987545929 -31.12147999852127 0 3 -4.732957122429455 -32.15352018368836 0 4 0 -32.49999603131083 0 5 4.732957122429455 -32.15352018368836 0 6 9.364999987545929 -31.12147999852127 0 7 9.364999987545929 -21.55335001263742 0 . . . \$EndNodes </pre>	<pre> \$Elements 8828 1 15 2 0 1 1 2 15 2 0 2 2 3 15 2 0 3 3 4 15 2 0 4 4 5 15 2 0 5 5 . . 1951 2 3 0 1 0 1511 20 467 1952 2 3 0 1 0 468 20 1511 1953 2 3 0 1 0 1512 505 504 1954 2 3 0 1 0 511 53 1516 1955 2 3 0 1 0 511 1516 54 . . \$EndElements </pre>
---	---

ภาพที่ 4-6 รูปแบบของไฟล์โมเดลที่ได้จากโปรแกรมจิมส

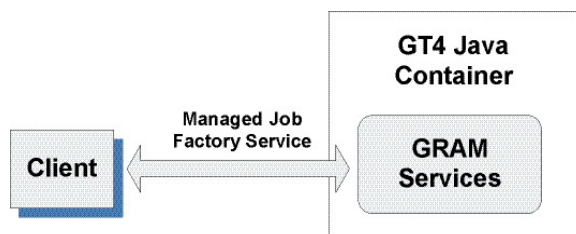
4.1.2.3 Elements ส่วนของเอลิเมนต์ต้องพิจารณาเป็น 2 แบบ คือ ส่วนที่มี 6 หลัก และส่วนที่มี 9 หลัก ในกรณีที่เป็น 6 หลัก หลักแรกจะบอกลำดับของเอลิเมนต์ แถวที่ 2 บอกว่า เอลิเมนต์เป็นแบบใด เช่นในตัวอย่างเป็นเลข 15 ก็คือ เป็นจุด ซึ่งในส่วนนี้จะไปสัมพันธ์กับหลักหลังสุดที่บอกถึงลำดับโนดในส่วนของ Nodes

ในกรณีที่มี 9 หลัก 2 หลักแรกก็เหมือนกัน แต่ในแถวที่ 2 เป็นเลข 2 บอกถึงว่า เป็นเอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยม ซึ่งในส่วนนี้จะไปสัมพันธ์กับ 3 หลักหลังที่เป็นลำดับโนดในส่วนของ Nodes เช่นกัน และในหลักที่ 5 จะเป็นตัวบอกค่าของชิ้นวัสดุนั้นๆ

ในส่วนของเอลิเมนต์ จำเป็นต้องใช้คำสั่ง Physical ที่กล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1.1 เพื่อบอกถึงส่วนที่เป็นขอบเขตการคำนวณ ถ้าหากไม่ทำโปรแกรมจะไม่สามารถทำงานได้เมื่อได้ไฟล์โมเดลในรูปแบบของโปรแกรมจิมสแล้ว ต่อไปก็ทำการแปลงให้อยู่ในรูปของโปรแกรมโอมุสซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.3.1 โดยการใช้โปรแกรมภาษาซี

4.2 การส่ง และรับข้อมูลให้ระบบกริดผ่านโกลบัสทูลคิท

การคำนวณระบบกริดนั้น จะมีบริการ (Services) ให้เลือกใช้ได้หลายอย่าง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับผู้ใช้บริการว่าจะใช้บริการใด ก็เปิดใช้เฉพาะบริการนั้นๆ ในวิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้บริการที่ชื่อว่า Managed Job Factory Service เป็นบริการที่ใช้สำหรับการรับและส่งข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 การเชื่อมต่อกับระบบกริด

การส่งและรับข้อมูลกับระบบกริดจะส่งผ่านมิดเดิลแวร์ โกลบัสทูลคิท (Globus Toolkit) จะต้องเริ่มจากการล็อกอิน (Login) เพื่อเปิดการบริการโดยใช้คำสั่ง *grid-proxy-init* จากนั้นก็จะเริ่มทำการส่งและรับข้อมูลโดยแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

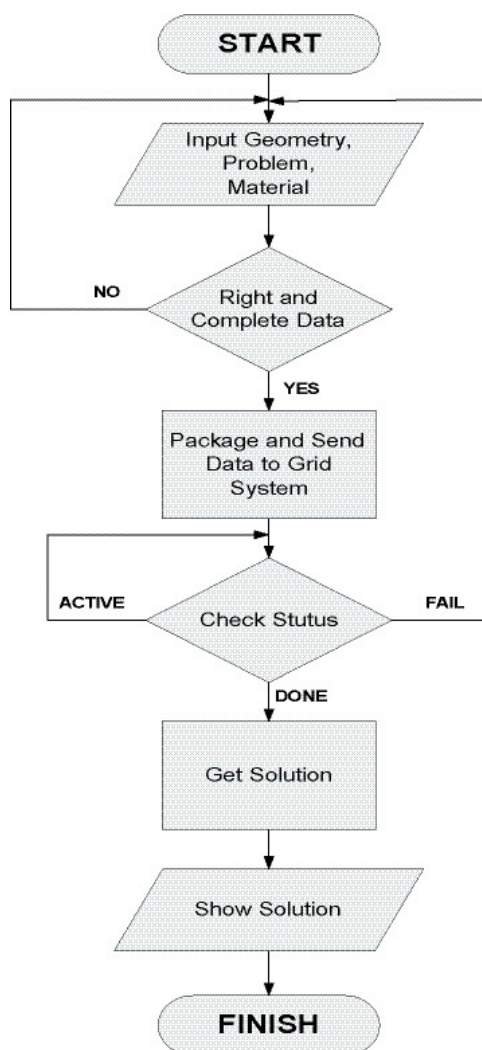
4.2.1 การส่งข้อมูลให้ระบบกริด จะใช้คำสั่ง *globusrun-ws* ซึ่งคำสั่งนี้สามารถใช้ทั้งการส่งงาน (Submit Job), ตรวจสอบสถานะการทำงาน (Job Status) และยกเลิกการทำงาน (Kill Job) เพื่อเป็นการสะดวกในการส่งข้อมูล ควรจะมีการรวมไฟล์ ทำการบีบอัดให้เป็นไฟล์เดียว แล้วส่งไปครั้งเดียวในแต่ละงาน

4.2.2 การตรวจสอบสถานะการทำงาน จะใช้คำสั่งเดียวกันกับการส่ง คือ *globusrun-ws* ซึ่งอาจมีการตอบกลับมาว่า กำลังทำงาน (Active), ล้มเหลว (Fail) หรือเสร็จแล้ว (Done) ซึ่งถ้าเกิดการทำงานผิดพลาด หรือล้มเหลวจะได้ทำการส่งข้อมูลใหม่

4.2.3 การรับข้อมูลจากระบบกริด เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้นข้อมูลจะถูกเก็บไว้ที่เซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการ ซึ่งการรับผลก็ให้การส่งไฟล์จากเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการแทน ซึ่งกระบวนการทำงานทั้งหมดของระบบการส่งและรับข้อมูลกับระบบกริดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4-8

4.3 การแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ

เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดเรียบร้อยแล้วก็จะนำข้อมูลมาแสดงผลโดยโปรแกรมแมทแล็บ โดยที่ข้อมูลต่างที่ได้จะมี 2 ลักษณะ ก็คือแบบรูปภาพซึ่งสามารถนำมาแสดงผลได้เลย ส่วนอีกรูปแบบก็คือ ไฟล์ข้อมูลตัวอักษรซึ่งสามารถนำไปแสดงผลรูปของกราฟ หรือนำไปวิเคราะห์ในแง่ของเสียงรบกวนต่อไปอีกรูปแบบหนึ่งก็นำผลที่ได้จากการคำนวณนี้ไปใช้งานกับโปรแกรมย่อยในแมทแล็บ อย่างซิมมูลิง (Simulink) โดยนำไปสร้างพารามิเตอร์ซึ่งอยู่ภายในโมเดลของสวิตช์รีดักแตนท์มอเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4-9 แต่การที่จะนำไปตั้งค่าเป็นพารามิเตอร์ต่างๆ ของซิมมูลิงนี้ จำเป็นต้องทำการคำนวณหลายสถานะ ผลที่ได้จึงจะครอบคลุมช่วงการทำงานทั้งหมดของมอเตอร์



ภาพที่ 4-8 กระบวนการทำงานทั้งหมดของระบบการส่งและรับข้อมูลกับระบบกริด

ผลจากการจำลองจากโปรแกรมซิมูลิง โดยใช้พารามิเตอร์จากการคำนวณ พบว่าได้ผลลัพธ์เป็นที่ดี มีความใกล้เคียงกับสถานะจริงมากกว่าที่ใช้พารามิเตอร์ของโปรแกรมเมทแล็บเอง

4.4 ตัวอย่างโปรแกรมสำหรับผู้ใช้งาน

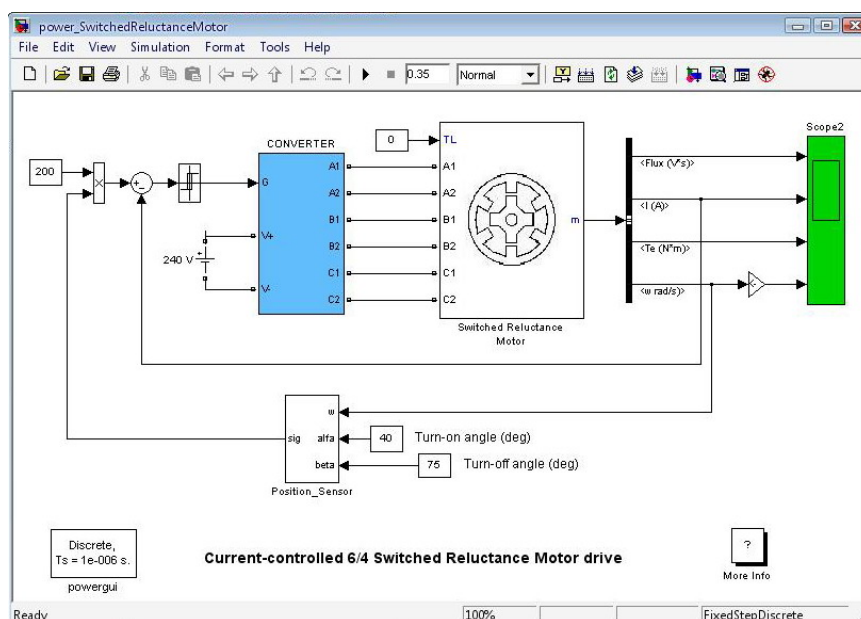
การเริ่มต้นใช้งานผู้ใช้ต้องคัดลอก (Copy) ไฟล์ทั้งหมดไว้ในส่วนที่โปรแกรมเมทแล็บใช้งาน ก่อน จากนั้นไปที่ Command Window แล้วพิมพ์

»start

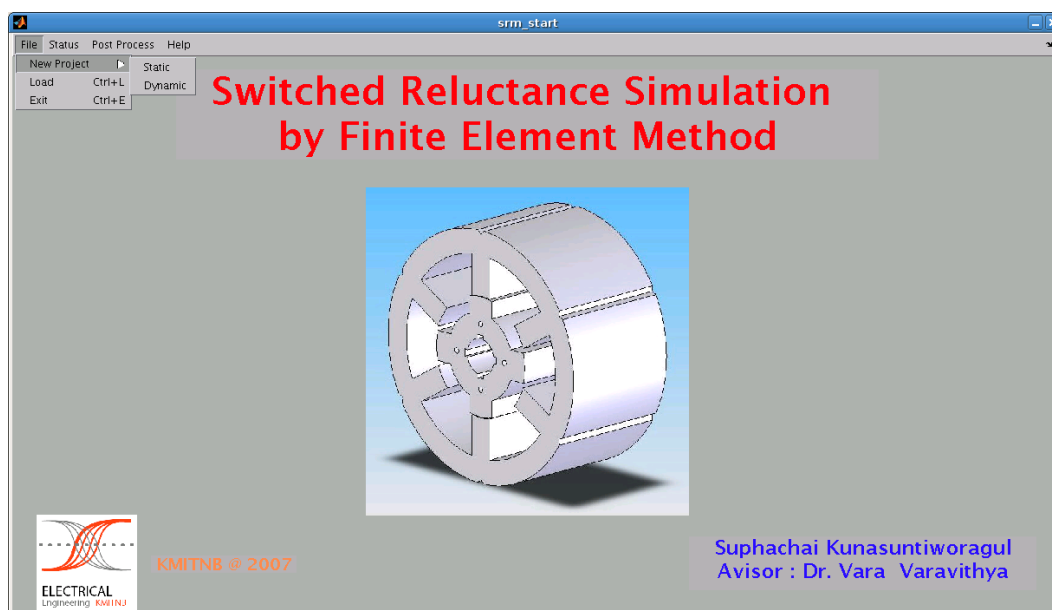
จะขึ้นหน้าจอเริ่มต้นใช้งานดังภาพที่ 4-10

ในการใช้งานโปรแกรม จะแบ่งเป็น 2 แบบคือแบบสถิตย์ และแบบพลวัต

4.4.1 แบบสถิตย์ เริ่มต้นจากการเลือกที่แถบเครื่องมือด้านบนเลือก File จากนั้นเลือก New Project และเลือก Static จะแสดงหน้าจอตามภาพที่ 4-11 แล้วทำตามขั้นตอน ดังนี้

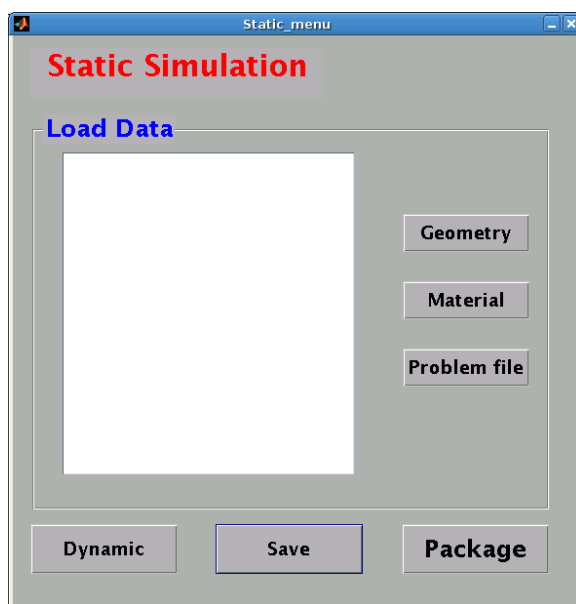


ภาพที่ 4-9 หน้าจอของซิมมูลิ่งที่นำมาใส่พารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ



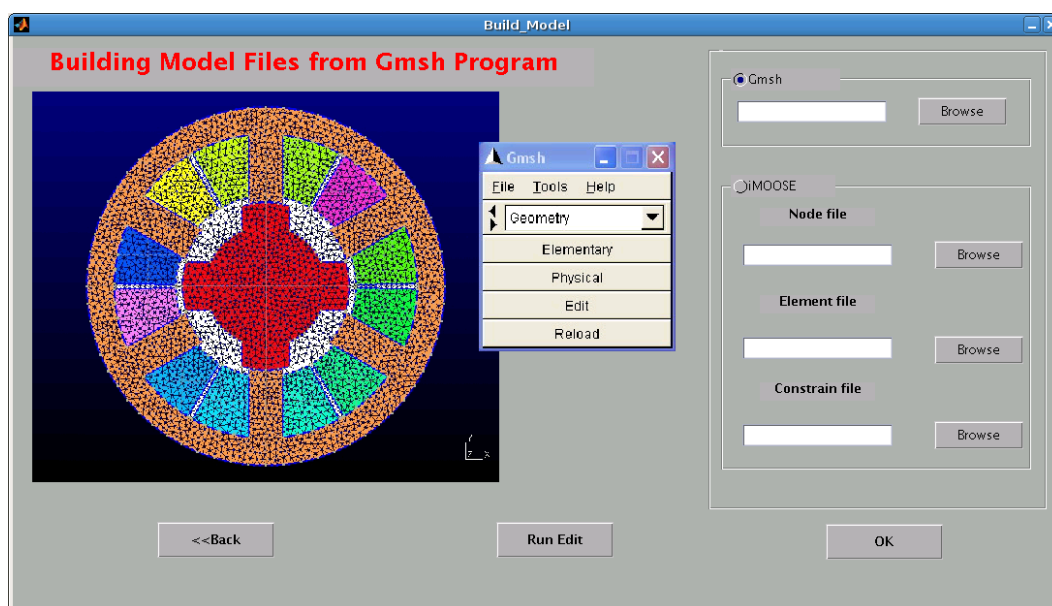
ภาพที่ 4-10 หน้าจอเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

4.4.1.1 การสร้างไฟล์โมเดล เลือกไปที่ Geometry แล้วก็โหลดไฟล์ที่จะใช้งานขึ้นมา โดยโมเดลไฟล์นี้จะได้จากโปรแกรมจีเมส หรือถ้ามีไฟล์ในรูปแบบของโปรแกรมไอมูสอยู่แล้วก็สามารถโหลดขึ้นได้เช่นกัน หรืออาจจะทำการสร้างขึ้นมาใหม่จากโปรแกรมตัวอักษร (Text Editor) ก็เลือก Run Edit ที่อยู่ด้านล่าง ดังภาพที่ 4-12 และภาพที่ 4-13 เมื่อเรียบร้อยแล้วก็เลือก OK เพื่อกลับไปยัง



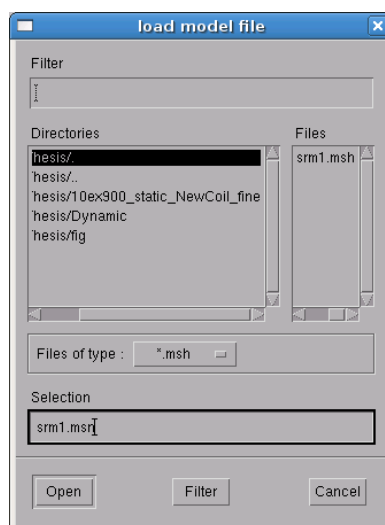
ภาพที่ 4-11 หน้าจอเมนูของการคำนวณแบบสถิตย์

หน้าจอเมนู



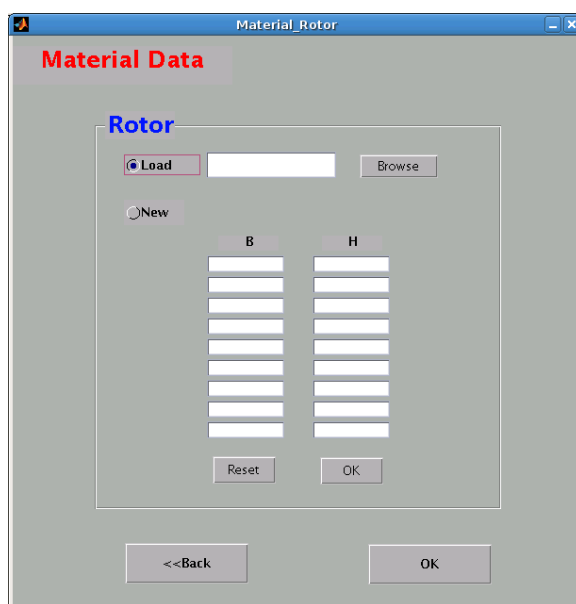
ภาพที่ 4-12 หน้าจอการสร้างโมเดลไฟล์

4.4.1.2 การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆก็จะคล้ายกับการสร้างไฟล์โมเดลคือสามารถโหลดไฟล์ที่มีอยู่แล้วเข้าไปได้เลย หรืออาจจะใส่ค่าเข้าไปใหม่ก็ได้ค่าที่ใส่จะเป็นค่า B และ H ของวัสดุนั้นๆ โดยจะต้องใส่ทั้งในส่วนที่เป็นโรเตอร์และสเตเตอร์ ดังภาพ



ภาพที่ 4-13 การโหลดไฟล์ต่างๆ

ที่ 4-14 และภาพที่ 4-15

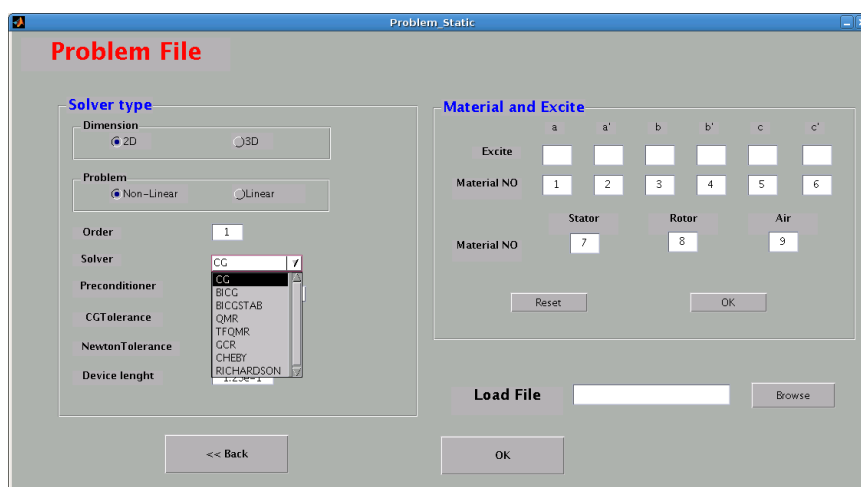


ภาพที่ 4-14 หน้าจอการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆของโรเตอร์

4.4.1.3 การกำหนดปัญหาและรูปแบบการคำนวณต่างๆ ในส่วนของการกำหนดปัญหาค่อนข้างจะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆมาก ผู้ใช้จึงควรศึกษาการเลือกค่าต่างๆให้ดี (รายละเอียดจากบทที่ 3) ถ้าหากผู้ใช้ไม่กำหนด โปรแกรมจะทำการตั้งค่าต่างๆตามพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้ตั้งแต่แรก ดังภาพที่ 4-16 ส่วนสำคัญอีกอย่างของของการกำหนดปัญหาก็คือ การกำหนดเลขของวัสดุชิ้นต่างๆ ซึ่งผู้ใช้ต้องทราบจากการสร้างโมเดลในโปรแกรมจีเมส

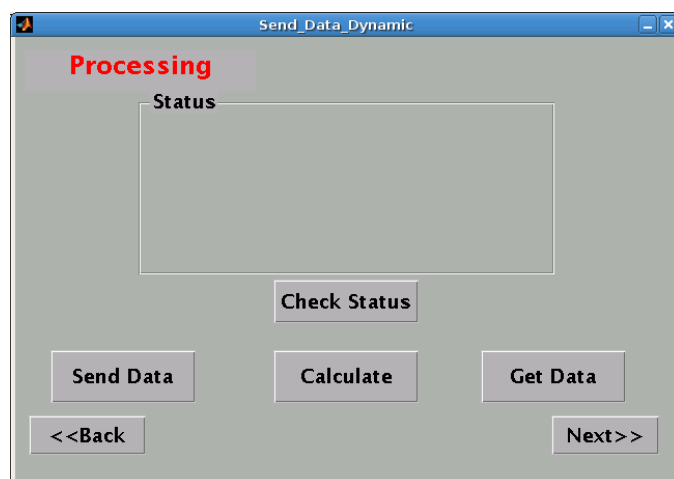


ภาพที่ 4-15 หน้าจอการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆของสเตเตอร์



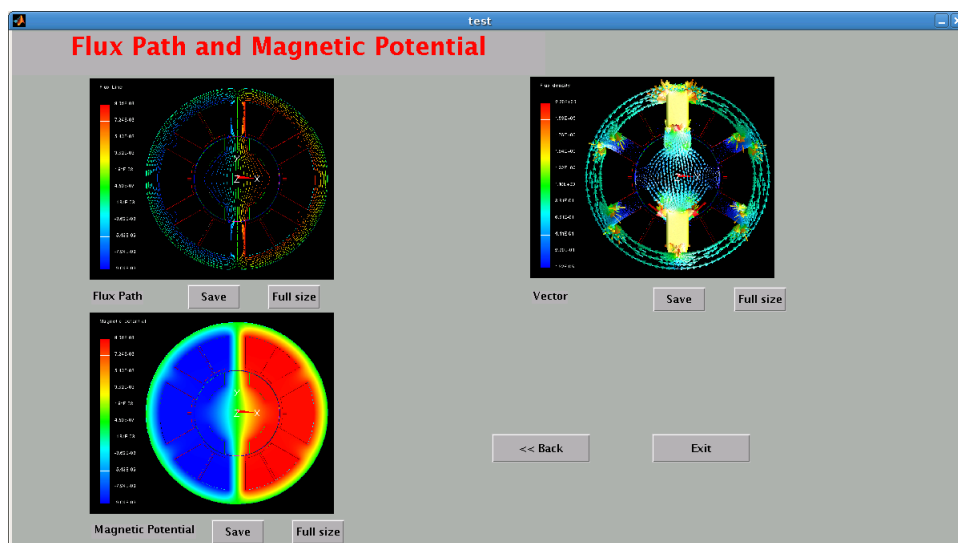
ภาพที่ 4-16 หน้าจอการกำหนดปัญหาและรูปแบบการคำนวณต่างๆ

4.4.1.4 การส่งค่าให้กับโปรแกรมไอโอมูสเพื่อทำการคำนวณ เมื่อใส่ค่าทั้งหมดแล้วจะกลับมาที่หน้าจอเมนู ให้เลือก Package เพื่อรวมไฟล์ต่างๆเข้าด้วยกัน เตรียมที่จะส่งไปคำนวณ เมื่อกด Package จะเข้าสู่หน้าจอของการส่งข้อมูล ดังภาพที่ 4-17 ให้กดปุ่ม Send Data ข้อมูลจะถูกส่งไปที่ระบบที่จะคำนวณ จากนั้นก็กดปุ่ม Calculate เพื่อทำการส่งคำสั่งการคำนวณและทำการคำนวณ ในระหว่างนี้สามารถจะตรวจสอบสถานะต่างๆของการคำนวณได้จากปุ่ม Check Status โดยจะแสดงได้ 3 สถานะ คือ กำลังทำการคำนวณ (Active), การคำนวณล้มเหลว (Fail), และเสร็จสิ้นการคำนวณ (Done) เมื่อเสร็จสิ้นการคำนวณก็กดปุ่ม Get Data เพื่อรับข้อมูลที่คำนวณเสร็จแล้วมาแสดงผล



ภาพที่ 4-17 หน้าจอแสดงการส่งข้อมูล และตรวจสอบสถานะ

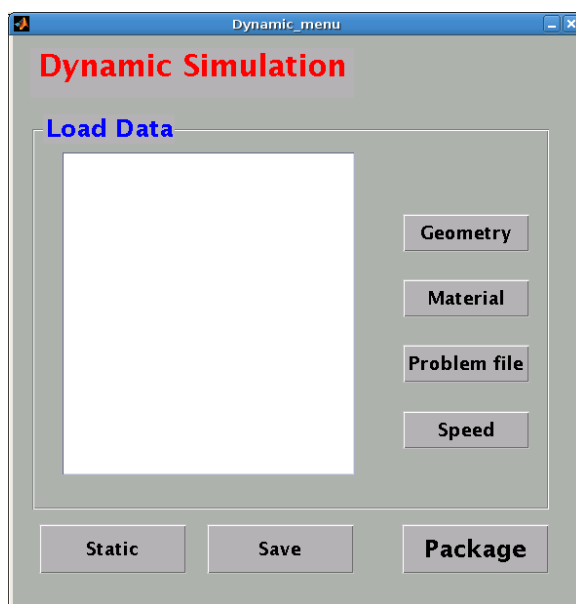
4.4.1.5 การแสดงผลแบบสถิติ หลังจากรับข้อมูลการคำนวณมาแล้วให้กดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่หน้าจอของการแสดงผลดังภาพที่ 4-18



ภาพที่ 4-18 หน้าจอแสดงผลการคำนวณแบบสถิติ

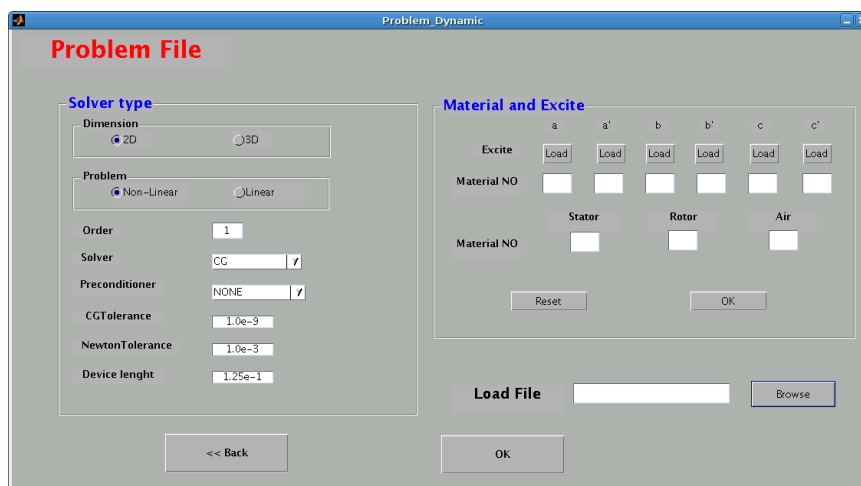
4.4.2 แบบพลวัตร สำหรับการคำนวณแบบพลวัตร เริ่มต้นใช้งานก็จะเหมือนกันกับแบบสถิติ คือ เลือกที่แถบเครื่องมือด้านบนเลือก File จากนั้นเลือก New Project และเลือก Dynamic จะแสดงหน้าจอตามภาพที่ 4-19 ซึ่งในขั้นตอนต่างๆก็จะทำในลักษณะเดียวกัน จะแตกต่างกันในบางฟังก์ชัน ดังนี้

4.4.2.1 การกำหนดปัญหาและรูปแบบการคำนวณต่างๆ เมื่อเข้าสู่หน้าจอของการกำหนดปัญหาของแบบพลวัตรพบว่าคล้ายกับหน้าจอของการกำหนดปัญหาของแบบสถิติ แตกต่าง



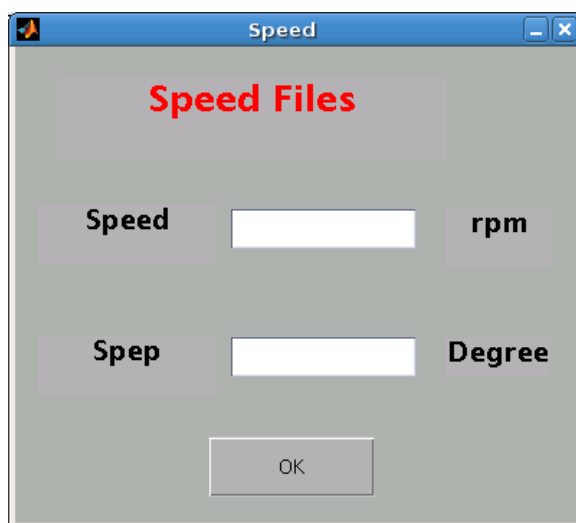
ภาพที่ 4-19 หน้าจอเมนูของการคำนวณแบบพลวัต

กันตรงที่ไฟล์กระตุ้น (Excite Files) ต้องมีไฟล์ข้อมูลของกระแสที่เฟสต่างๆก่อน เพื่อที่จะโหลดเข้าไปได้ แสดงดังภาพที่ 4-20



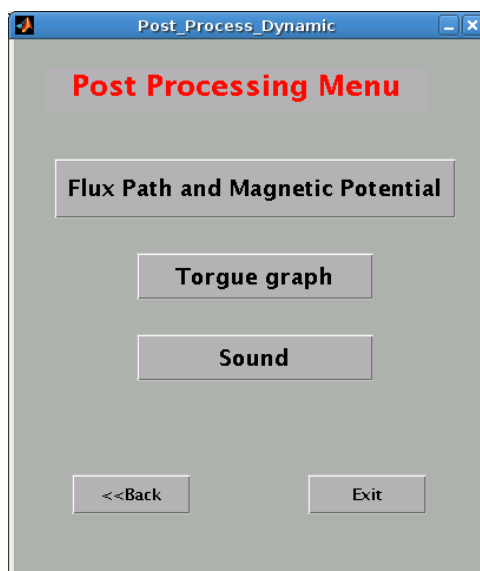
ภาพที่ 4-20 หน้าจอการกำหนดปัญหาและรูปแบบการคำนวณต่างๆแบบพลวัต

4.4.2.2 การตั้งค่าความเร็วรอบ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากหน้าจอเมนูว่ามีส่วนของการตั้งค่าความเร็วเพิ่มเข้ามา เมื่อเลือกเข้าไปจะพบหน้าจอ ดังภาพที่ 4-21 โดยจะมีค่าให้ใส่ได้ 2 ค่า คือ ค่าความเร็วรอบมีหน่วยเป็น รอบต่อนาที ส่วนค่าที่ 2 เป็นค่าขององศาในการหมุนแต่ละครั้ง ถ้ายังมี ความละเอียดมาก เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะนานขึ้น



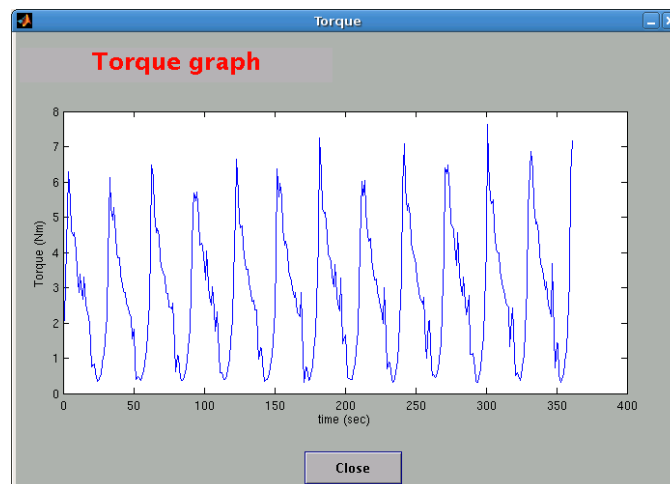
ภาพที่ 4-21 หน้าจอการตั้งค่าความเร็วรอบ

4.4.2.3 การแสดงผล ในการแสดงผลแบบพลวัตจะมีส่วนที่เพิ่มเข้ามาก็คือ กราฟของแรงบิด และเสียงเนื่องจากการหมุนของสวิตช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์ แสดงดังภาพที่ 4-22 และภาพที่ 4-23 โดยในหน้าจอของการแสดงทางเดินของฟลักซ์นั้นก็มีรูปแบบเดียวกัน แต่เป็นภาพที่สามารถเคลื่อนไหวได้



ภาพที่ 4-22 หน้าจอการแสดงผลแบบพลวัต

เทคโนโลยีการคำนวณระบบกริด จัดว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพเป็นอย่างมากในการพัฒนาระบบการประมวลผล (Computing) และเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับจากทั่วโลก รวมไปถึงมีการจัดตั้งโครงการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวในหลายประเทศ รวมไปถึงประเทศไทย จึงจัดได้ว่าเทคโนโลยี



ภาพที่ 4-23 หน้าจอการแสดงผลของแรงบิด

ดังกล่าวมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง และยังมีความเป็นไปได้ในการขยายตัวต่อไปอีกในอนาคต ผู้พัฒนาระบบจำเป็นต้องเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมในการพัฒนาระบบกริดของตัวเอง จึงจะทำให้ได้ระบบกริดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และตรงตามความต้องการในการใช้งานมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ระบบการจำลองทำงานของสวิทช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ ร่วมกับการพัฒนาระบบช่วยในการออกแบบ เป็นระบบการทำงานที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องทำการทดลองจริง ซึ่งการทดลองจะทำให้เสียเวลา เสียค่าใช้จ่าย รวมไปถึงอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ นอกจากนี้ระบบที่พัฒนานี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการคำนวณที่ซับซ้อนอื่นๆได้เป็นอย่างดี

โปรแกรมโอมูส เป็นโปรแกรมคำนวณประสิทธิภาพสูง สำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะใช้เวลาในการคำนวณมาก ระบบได้ทำการคำนวณผ่านระบบเครือข่าย ซึ่งสามารถใช้คอมพิวเตอร์ หรือคลัสเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการคำนวณได้ แต่ข้อเสียก็คือ ตัวโปรแกรมไม่สามารถสร้างโมเดลและแบ่งเอลิเมนต์เองได้ จำเป็นต้องใช้โปรแกรมอื่นมาช่วยในการสร้างโมเดลและแบ่งเอลิเมนต์ จิเมสเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการสร้างเมชโดยเฉพาะ จึงได้ถูกนำมาใช้ นอกจากนี้ในเรื่องของรูปแบบไฟล์อินพุตที่ใช้กับโปรแกรมโอมูสซึ่งมีเตรียมได้ยาก ไม่มีรูปแบบวิธีการที่แน่นอนจากผู้ออกแบบโปรแกรม ก็ได้ทำการพัฒนาระบบช่วยซึ่งจะสามารถสร้างไฟล์เหล่านี้ได้อย่างอัตโนมัติ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์สวิทช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ผ่านการคำนวณโดยโปรแกรมโอมูส มาใช้ร่วมกับระบบกริด เพื่อให้ได้การคำนวณที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้เวลาการคำนวณน้อย นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มเติมในส่วนของการเชื่อมโยงในการออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งผลที่ได้ก็เป็นที่น่าพอใจ ระบบสามารถทำงานได้เร็วมากขึ้นเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ และสามารถแสดงทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งการวัดในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ นอกจากนี้ระบบที่สร้างขึ้นสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ง่าย ไม่ว่าจะเป็น ความเร็วรอบ ไฟล์ปัญหา และคุณสมบัติของวัสดุ เนื่องจากกระทำผ่านกราฟฟิกที่ติดต่อกับผู้ใช้ (Graphical User Interface) ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน แม้แต่ผู้ที่ไม่มีความรู้ในโปรแกรมโอมูส หรือระบบกริดก็สามารถใช้งานได้เช่นกัน

นอกจากประโยชน์ที่ได้รับข้างต้นแล้ว สำหรับผู้ที่มีความรู้เฉพาะในด้านต่างๆ ก็สามารถนำไปเป็นแนวทางหรือพัฒนาไปใช้ในงานอื่นๆได้ ผู้ที่มีความรู้ทางด้านเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามารถที่จะนำไปวิเคราะห์มอเตอร์ไฟฟ้าแบบอื่นได้ ส่วนผู้ที่มีความรู้ทางด้านระบบเครือข่ายเองก็สามารถนำการคำนวณประสิทธิภาพสูงนี้ไปประยุกต์ใช้ระบบอื่นได้เช่นกัน

ระบบพัฒนาช่วยในการออกแบบที่ได้ทำในงานวิจัยนี้ สามารถวิเคราะห์สวิทช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ได้ 2 มิติ ทำการวิเคราะห์ในเรื่องของการแกว่งของแรงบิด และเสียงรบกวน โดยที่มีรูปแบบของข้อมูลที่รับเข้ามาในรูปแบบของโปรแกรมที่ใช้เท่านั้น ดังนั้น แนวทางในการพัฒนาก็คือ สามารถทำให้รับ

ข้อมูลเข้ามาในรูปแบบที่เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เช่น รูปแบบของเอ็กซ์เอ็มแอล (xml) ส่วนการวิเคราะห์สวิตช์รีเซ็ตแดนซ์มอเตอร์ก็สามารถที่จะขยายผลเพื่อสามารถรองรับ 3 มิติ รวมไปถึงวิเคราะห์ในเรื่องของการสันสะเทือนต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

1. Ramu, K. *Switched Reluctance Motor Drives : Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications*. United State of Kingdom : CRC Press, c2001.
2. Change, L. "Modeling of Switched Reluctance Motors." *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. 2 (May 1997) : 866-869.
3. Zhou, H., Ding, W. and Yu, Z. "A Nonlinear Model for the Switched Reluctance Motor." *International Conference on Electrical Machines and Systems*. 1 (September 2005) : 568-571.
4. Dragu, C. S. and Belmans, R. "Measurement of Magnetic Characteristics of Switched Reluctance Motor." *European Conference on Power Electronics and Applications*. (September 2003).
5. Parreira, B., et al. "Obtain the Magnetic Characteristic of an 8/6 Switched Reluctance Machine : From FEM Analysis to the Experimental Tests." *IEEE Transaction on Industrial Electronics*. 52 (December 2005) : 1635-1642.
6. Rasmeni, S., et al. "Finite Element Based Simulation of the Current Waveform of the Switched Reluctance Machine." *IEEE Africon Conference in Africa*. 2 (October 2002) : 681-683.
7. Lee, J. W., et al. "New Rotor Shape Design for Minimum Torque Ripple of SRM Using FEM." *IEEE Transaction on Magnetics*. 40 (March 2004) : 754-757.
8. Garip, M., Ozoglu, Y. and Mese, E. "An Approach to Torque Ripple Reduction in Fully Pitched Switched Reluctance Motors by Pole Tip Shaping." *IEEE Mediterranean on Electrotechnical Conference*. (May 2002) : 157-161.
9. Ye, Z. Z., Martin, T. W. and Balda, J. C. "Maximization of Starting Torque of A 10/8 SRM with Short Flux Path Based on Numerical Analysis and Calculation." *Annual Conference of the IEEE on Industrial Electronic Society*. 1 (October 2000) : 362-368.
10. Cui, Y. L., et al. "The Simulation Study for Switched Reluctance Motor Drives Based on Matlab 6.5." *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. 2 (August 2005) : 1076-1081.

11. Chen, H., et al. "Models and Simulation of the Switched Reluctance Motor Drive with the Microcomputer Control Based on Matlab Software Package." *IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems*. (December 2000) : 493-496.
12. Soares, F. and Branco, P. J. C. "Simulation of a 6/4 Switched Reluctance Motor Drives Based on Matlab/Simulink Environment." *IEEE Transaction on Aerospace and Electronics System*. 37 (July 2001) : 989-1009.
13. *The Mathworks : Accelerating the Pace of Engineering and Science*. [online] 1994. [cited 8 March 2007]. Available from : URL : <http://www.mathworks.com>.
14. Miller, T. *PC-SRD 7.0 User's Manual*. Glasgow : Glasgow University, c1999.
15. *Ansys : A Global Innovator of Simulation Software and Technologies Designed to Optimize Product Development Processes*. [online] 2004. [cited 30 March 2007]. Available from : URL : <http://www.ansys.com>.
16. *Moving Motor Forward*. [online] 2000. [cited 1 April 2007]. Available from : URL : <http://www.motor-design.com>.
17. Arians, G., et al. *Innovative Modern Object-Oriented Solving Environment : iMOOSE*. [online] 2002. [cited 9 March 2007]. Available from : URL : <http://imoose.sourceforge.net>.
18. Meeker, D. *Finite Element Method Magnetics*. [online] 2006. [cited 30 March 2007]. Available from : URL : <http://femm.foster-miller.net>.
19. Rasmussen, P. O. *Design and Advanced Control of Switched Reluctance Motors*. Ph.D.Thesis, Aalborg University, 2002.
20. Geuzaine, C. and Remacle. J. F. *Gmsh : A Three-Dimensional Finite Element Mesh Generator with Built-in Pre- and Post-Processing Facilities*. [online] 2006. [cited 30 March 2007]. Available from : URL : <http://www.geuz.org/gmsh>.
21. Jun, Z. and Umetani, Y. "A Problem Solving Environment for Automatic Matlab 3D Finite Element Code Generation and Simplified Grid Computing." *IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing*. (December 2006) : 89-99.
22. *The Globus Toolkit*. [online] 2002. [cited 1 April 2007]. Available from : URL : <http://www.globus.org/toolkit>.
23. Julia Schiffer, C. S. and Riesen. D. V. *iMOOSE.trinity*. [online] 2003. [cited 1 April 2007]. Available from : URL : http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=57974.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายศุภชัย คุณาสันติวรกุล
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : ระบบช่วยการคำนวณสำหรับโปรแกรมไอโมสเพื่อจำลองการทำงานของ
 สวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ผ่านการคำนวณระบบกริด
 สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัย
 มหิดล ปี พ.ศ. 2546

ปริญญาตรี บริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาการจัดการทั่วไป จากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
 ปี พ.ศ. 2548

ประวัติการทำงาน

อาจารย์ประจำแผนกไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนเซนต์จอร์จตันโปลีเทคนิค ปี พ.ศ. 2547 - 2548

อาจารย์พิเศษ งานประลองไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบัน
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี พ.ศ. 2548 - 2550

สถานที่ติดต่อ

27/1 หมู่ 4 ตำบลบ้านไร่ อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี 70000