การพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PACKAGE FOR SMALL INDUCTION MOTORS DESIGN

T027281

นายวัลลภ เรืองด้วยธรรม

MR.WONLOP RUENGDUAYTAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2539

ISBN 974-621-748-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 27281
วัน, เดือน, ปี 18 ส.ค. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PACKAGE FOR SMALL INDUCTION MOTORS DESIGN

WONLOP RUENGDUAYTAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1996

ISBN 974-621-748-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก
นักศึกษา	นายวัลลภ เรืองด้วยธรรม
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ศุลี บรรจงจิตร
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2539

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการวิจัยเพื่อพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก โดยงานวิจัยนี้นับว่าก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ผลิตมอเตอร์ภายในประเทศเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กนั้นซอฟแวร์จะอ้างอิงข้อมูลแผ่นเหล็กที่นำไปใช้ในการสร้างสเตเตอร์และโรเตอร์ที่ผู้ผลิตภายในประเทศใช้กันอยู่ ซอฟท์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้จะมีการติดต่อกับผู้ใช้ในรูปแบบกราฟฟิคและจะทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดว์ จึงทำให้เป็นซอฟท์แวร์ที่ใช้ได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้แล้วทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางซึ่งเป็นทฤษฎีที่สามารถทำการคำนวณและทำความเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็ว จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็เพื่อช่วยผู้ผลิตมอเตอร์ภายในประเทศในการวิจัยและพัฒนามอเตอร์เหนี่ยวขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ซอฟแวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ สามารถออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กได้หลายชนิดด้วยกัน ดังต่อไปนี้ Capacitor - start Motor, Split - phase Motor, Permanent - split Capacitor Motor, Two - value Capacitor Motor, Split - phase Capacitor Motor, Two - value, Dual Aux. wdg., Capacitor Motor นอกจากนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังแสดงตัวอย่างในการนำเอาซอฟท์แวร์นี้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Thesis title	Development of a Software Package for Small Induction Motors Design
Student	Mr.Wonlop Ruengduaytam
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Sulee Bunjongjitr
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering
Department	Electrical Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1996

Abstact

This thesis describes the research and development of a software package for small induction motors (SIM) design. It will be benefit to the domestic motor manufacturers, since it refers to the local steel sheet data which is used to make the stator and rotor lamination. This new package is an easily and efficiently operated software package because it has a graphical user interface (GUI) and runs on a personal computer along with Microsoft Windows. In addition, the cross - field theory is used to calculate the characteristic and performance of SIM as this theory give more speed and ease in calculation and understanding. The main propose of this project is to assist the domestic motor manufacturers on SIM efficiency improvement.

With this package, a user can design a variety of SIM. They are as follows: Capacitor - start Motor, Split - phase Motor, Permanent - split Capacitor Motor, Two - value Capacitor Motor, Split - phase Capacitor Motor, Two - value, Dual Aux. wdg., Capacitor Motor. Furthermore, the application of this package in SIM are illustrated by a few examples in this thesis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาจาก รองศาสตราจารย์ศุลี บรรจงจิตรและผู้ช่วยศาสตราจารย์มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะนำผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาแนะนำและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ขอขอบคุณ โครงการทุนบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วัลลภ เรืองด้วยธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....VIII

บทที่

1. บทนำ.....1

แนวความคิดของวิทยานิพนธ์.....1

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....2

ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์.....3

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....3

2. มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก.....4

มอเตอร์แยกเฟส (Split - phase Motor).....4

มอเตอร์แบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Motor).....6

3. ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง.....11

ขณะต่อเพียงขดลวดเดียว (Single Winding).....12

ขณะต่อหลายขดลวด (Combined Windings).....25

4. ขั้นตอนการทำงานซองซอฟท์แวร์.....32

ผังงานของซอฟท์แวร์.....32

การออกแบบโรเตอร์.....34

การออกแบบขดลวด.....38

การคำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์ขนาดเล็ก..... 44

การคำนวณหาคุณลักษณะและสมรรถนะ.....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

การออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท....55
การออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท....60
ผลของค่าคงที่ที่มีต่อคุณลักษณะและสมรรถนะ....65
5. การพัฒนาซอฟท์แวร์....70
วิชวลเบสิก (Visual Basic)....70
การติดต่อกันระหว่างผู้ใช้กับซอฟท์แวร์ในรูปแบบกราฟฟิค (Graphical User Interface, GUI)....71
การพัฒนาซอฟท์แวร์แบบตามเหตุการณ์ (Event-driven Programming)....75
ซอฟท์แวร์ประยุกต์แบบเอ็มดีไอ (Multiple-Document Interface ,MDI)....76
6. วิธีการใช้ซอฟท์แวร์....78
ซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors Design Software Package, SIMDSP)....78
การเริ่มต้นและจบการทำงาน SIMDSP....78
คำสั่งในเมนูต่างๆ....80
ขั้นตอนการออกแบบมอเตอร์....88
ขั้นตอนการออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท....108
ขั้นตอนการออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท....113
7. ตัวอย่างการใช้งาน....118
ตัวอย่างการใช้งานกับมอเตอร์แยกเฟส....118
ตัวอย่างการใช้งานกับมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร....126
8. สรุปผลและข้อเสนอแนะ....134

บรรณานุกรม....137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....139
ก. กราฟคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแผ่นเหล็กซิลิกอน เกรด H60 หนา 0.5 ม.ม. 140
ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....142
ประวัติผู้เขียน.....156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1. แสดงส่วนที่ต่อในวงจรของมอเตอร์ขนาดเล็กในแต่ละสภาวะ....11
2. แสดงข้อมูลอ้างอิง เพื่อใช้ออกแบบขดลวดหลัก....40
3. แสดงข้อมูลอ้างอิง เพื่อใช้ออกแบบขดลวดช่วย....41
4. แสดงการใช้ SNGWDG และ CBDWDG ในแต่ละสภาวะความเร็ว....54
5. แสดงตารางจำนวนช่องสล๊อตสเตเตอร์ที่สัมพันธ์กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก และนิยมใช้กันในมอเตอร์ขนาดเล็ก....56
6. แสดงตารางจำนวนช่องสล๊อตโรเตอร์ที่สัมพันธ์กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก และจำนวนช่องสล๊อตสเตเตอร์....62
7. แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จาก SIMDSP กับผลการทดสอบมอเตอร์แยกเฟสในทางปฏิบัติ....120
8. แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์แยกเฟสเดิมกับมอเตอร์แยกเฟสที่ได้ออกแบบใหม่....122
9. แสดงต้นทุนวัตถุดิบมอเตอร์แยกเฟสเดิม....125
10. แสดงต้นทุนวัตถุดิบมอเตอร์แยกเฟสที่ได้ออกแบบใหม่....125
11. แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จาก SIMDSP กับผลการทดสอบมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรในทางปฏิบัติ....128
12. แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะและสมรรถนะมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรเดิมกับมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรที่ได้ออกแบบใหม่....129
13. แสดงต้นทุนวัตถุดิบมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรเดิม....132
14. แสดงต้นทุนวัตถุดิบมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรที่ออกแบบใหม่....133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1. แสดงวงจรของมอเตอร์แยกเฟส....5
2. แสดงกราฟความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์แยกเฟส....5
3. แสดงวงจรของมอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ....6
4. แสดงกราฟความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ....7
5. แสดงวงจรของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่า....7
6. แสดงวงจรของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร....8
7. แสดงกราฟความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร....9
8. แสดงวงจรของมอเตอร์แยกเฟสและต่อตัวเก็บประจุขณะหมุน....9
9. แสดงวงจรของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่าและมีขดลวดช่วยสองชุด....10
10. แสดงสเตเตอร์ขณะสร้าง ϕ_M และ ϕ_1 13
11. แสดงโรเตอร์ขณะสร้าง ϕ_C 13
12. แสดงแผนภาพเวกเตอร์แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำจาก ϕ_M 15
13. แสดงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดในโรเตอร์ , E_{SMx} 15
14. แสดงการเชื่อมต่อของโรเตอร์ในการพิจารณาตามกระแส I_x 16
15. แสดงทิศทางของ ϕ_C ที่เกิดขึ้น....16
16. แสดงแผนภาพเวกเตอร์ของ ϕ_C ที่เกิดขึ้น (ในเชิงเวลา)....16
17. แสดงทิศทางของ ϕ_C และฟลั๊กซ์รั่วที่เกิดขึ้น....17
18. แสดงแผนภาพเวกเตอร์ของ E_{TCx} และ E_{SMx} 17
19. แสดงความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา....18
20. แสดงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและฟลั๊กซ์แม่เหล็ก ณ.เวลา t_1 18
21. แสดงแผนภาพเวกเตอร์ความสัมพันธ์ของ E_{TMy} และ E_{SCy} 20
22. แสดงแผนภาพเวกเตอร์ของ I_y''และ I_y 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

23. แผนภาพเวกเตอร์แสดงความสัมพันธ์ทั้งหมดของฟลั๊กซ์แม่เหล็กกระแส และแรงเคลื่อนไฟฟ้า....22
24. แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ขนาดเล็กขณะต่อเพียงขดลวดเดียว โดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง....24
25. แสดงแผนภาพเวกเตอร์สมการความสัมพันธ์ของขดลวดหลักและขดลวดช่วย....27
26. แสดงแผนภาพเวกเตอร์ค่ากระแสต่างๆของขดลวดหลักและขดลวดช่วย....27
27. แสดงแผนภาพเวกเตอร์ของค่ากระแสต่างๆในโรเตอร์....29
28. แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ขนาดเล็กขณะต่อหลายขดลวด โดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง....30
29. แสดงผังงานของซอฟท์แวร์....33
30. แสดงส่วนประกอบของโรเตอร์....35
31. แสดงผังงานของการออกแบบโรเตอร์....36
32. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของเอาต์พุตกับพิกัดแรงม้า....37
33. แสดงผังงานของการออกแบบขดลวด....39
34. แสดงการพันขดลวดแบบร่วมศูนย์กลาง (Concentric Winding)....40
35. แสดงผังงานการคำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์ขนาดเล็ก....44
36. แสดงแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท....55
37. แสดงแกนเหล็กสเตเตอร์....55
38. แสดงรูปแบบของช่องสล๊อตสเตเตอร์....56
39. แสดงแผ่นโรเตอร์ลามิเนท....60
40. แสดงรูปของช่องสล๊อตโรเตอร์....61
41. แสดงผลของความต้านทานของโรเตอร์ที่มีต่อคุณลักษณะของมอเตอร์....66
42. แสดงลักษณะของปุ่มคำสั่ง (Command Botton)....71
43. แสดงลักษณะของกล่องรับข้อมูล (Text Box)....72
44. แสดงลักษณะของปุ่มตัวเลือก (Option Botton)....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

45. แสดงลักษณะของกล่องเช็ค (Check Box)....73
46. แสดงลักษณะของกล่องรายการ (List Box)....73
47. แสดงลักษณะของกล่องร่วมแบบดรอบดาวน์ (Drop-down Combo Box)....74
48. แสดงลักษณะของกล่องร่วมแบบธรรมดา (Simple Combo Box)....74
49. แสดงลักษณะของกล่องร่วมแบบกล่องรายการดรอบดาวน์ (Drop-down List Box)....74
50. แสดงลักษณะของบาร์เลื่อน (Scroll Bar)....75
51. แสดงการมีเอ็มดีไอของซอฟท์แวร์ File Manager....76
52. แสดงกลุ่มโปรแกรม"SIMDSP"และไอคอน"SIMDSP"....79
53. แสดง SIMDSP ขณะเริ่มการทำงาน....79
54. แสดงเมนู"Close"ที่กล่องคอนโทรล (Control Box)บนวินโดว์"SIMDSP"....80
55. แสดงเมนู"แฟ้ม"....81
56. แสดงเมนู"แก้ไข"....81
57. แสดงเมนู"ผลการออกแบบ"....82
58. แสดงเมนู"กราฟ"....83
59. แสดงเมนู"อื่นๆ"....83
60. แสดงเมนู"วินโดว์"....84
61. แสดงวินโดว์ต่างๆที่ถูกจัดเรียงติดกัน....84
62. แสดงวินโดว์ต่างๆที่ถูกจัดซ้อนกัน....85
63. แสดงวินโดว์ต่างๆที่ถูกจัดอยู่ในรูปไอคอนทั้งหมด....86
64. แสดงเมนู"วิธีใช้"....86
65. แสดงวินโดว์"สารบัญวิธีใช้ SIMDSP"....87
66. แสดงวินโดว์"Search"....87
67. แสดงวินโดว์"How to use help"....88
68. แสดงวินโดว์"ข้อมูลอินพุต"เมื่อคลิกเมนู"ออกแบบใหม่..."....89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

69. แสดงวินโดว์"เปิดแฟ้ม" 89
70. แสดงวินโดว์"เปิดแฟ้มข้อมูลอินพุต" 90
71. แสดงวินโดว์"ข้อมูลอินพุต" พร้อมกับข้อมูลที่เลือกเอาไว้ 90
72. แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"รายละเอียดหลัก" 91
73. แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"สเตเตอร์ลามิเนท" 93
74. แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"โรเตอร์ลามิเนท" 94
75. แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"โรเตอร์" 95
76. แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"รายละเอียดขดลวด" 96
77. แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"รูปแบบการพันขดลวด" 97
78. แสดงกล่องไดอะล็อก"แก้ไขข้อมูลหรือไม่"เมื่อคลิกปุ่มคำสั่ง"คำนวณ" 98
79. แสดงแท็ปผลการออกแบบ"ค่าคงที่ที่คำนวณได้"(ค่าคงที่ของขดลวดต่างๆ) 99
80. แสดงแท็ปผลการออกแบบ"ค่าคงที่ที่คำนวณได้"(ค่าคงที่ของวงจรแม่เหล็ก) 100
81. แสดงแท็ปผลการออกแบบ"ค่าคงที่ที่คำนวณได้"(ค่าคงที่ของความสูญเสีย) 101
82. แสดงแท็ปผลการออกแบบ"ค่าคงที่ที่คำนวณได้" (ค่าคงที่ของวงจรสมมูลย์) 102
83. แสดงแท็ปผลการออกแบบ"สมรรถนะขณะรับโหลด" 104
84. แสดงแท็ปผลการออกแบบ"สมรรถนะที่ความเร็วต่างๆ" 105
85. แสดงวินโดว์"กราฟ" 106
86. แสดงวินโดว์"บันทึกแฟ้ม" 107
87. แสดงวินโดว์"บันทึกแฟ้มข้อมูลอินพุต" 107
88. แสดงวินโดว์"พิมพ์ข้อมูล" 108
89. แสดงวินโดว์"ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท"ขณะรอรับข้อมูลอินพุต 109
90. แสดงกล่องไดอะล็อก"ตรวจสอบอีกครั้ง" 110
91. แสดงวินโดว์"ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท"ขณะแสดงผลการออกแบบ 111
92. แสดงวินโดว์"บันทึกแฟ้มข้อมูลสเตเตอร์ลามิเนท" 112
93. แสดงวินโดว์"ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท"ขณะรอรับข้อมูลอินพุต 114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

94. แสดงกล่องไดอะล็อก"ตรวจสอบอีกครั้ง" 115
95. แสดงวินโดว์"ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท"ขณะแสดงผลการออกแบบ....116
96. แสดงวินโดว์"บันทึกแฟ้มข้อมูลโรเตอร์ลามิเนท" 117
97. แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของแผ่นสเตเตอร์ลามิเนทของ มอเตอร์แยกเฟสตัวอย่าง....119
98. แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของแผ่นโรเตอร์ลามิเนทของ มอเตอร์แยกเฟสตัวอย่าง....119
99. แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของโรเตอร์ของมอเตอร์แยกเฟสตัวอย่าง....119
100. แสดงรายละเอียดของขดลวดของมอเตอร์แยกเฟสตัวอย่าง....120
101. แสดงรายละเอียดของขดลวดของมอเตอร์แยกเฟสที่ออกแบบใหม่....121
102. แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับแรงบิด....123
103. แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับกระแสไลน์....123
104. แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับกำลังไฟฟ้าอินพุต....124
105. แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับประสิทธิภาพ....124
106. แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของแผ่นสเตเตอร์ลามิเนทของ มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรตัวอย่าง....126
107. แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของแผ่นโรเตอร์ลามิเนทของ มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรตัวอย่าง....127
108. แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของโรเตอร์ของ มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรตัวอย่าง....127
109. แสดงรายละเอียดของขดลวดของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรตัวอย่าง....127
110. แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของโรเตอร์ของ มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรที่ออกแบบใหม่....130
111. แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับแรงบิด....130
112. แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับกระแสไลน์....131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

113. แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับกำลังไฟฟ้าอินพุต.....131
114. แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับประสิทธิภาพ.....132
115. แสดงเส้นโค้งการอิ่มตัวของแผ่นเหล็กซิลิกอน เกรด H60 หนา 0.5 ม.ม. 140
116. แสดงความสูญเสียแกนเหล็กของแผ่นเหล็กซิลิกอน เกรด H60 หนา 0.5 ม.ม. 141

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

<u>แนวความคิดของวิทยานิพนธ์</u>

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ส่วนใหญ่จะมีมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors) หรือ มอเตอร์ขนาดเล็ก เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ซึ่งปัจจุบันการผลิตมอเตอร์ขนาดเล็กทั่วไปมี 2 วิธีคือการผลิตโดยการลอกเลียนแบบดัดแปลง และการผลิตโดยการซื้อเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ซึ่งต้องสูญเสียค่าลิขสิทธิ์และค่าเทคโนโลยีเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ต่างประเทศจะเปิดเผยและถ่ายทอดเทคโนโลยีเพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำการวิจัยและพัฒนามอเตอร์ขนาดเล็กขึ้นเองได้ ส่วนที่มีการผลิตโดยลอกเลียนแบบดัดแปลงนั้น ผู้ผลิตก็จะไปคำนึงถึงต้นทุนการผลิตเป็นหลัก โดยไม่สนใจในเรื่องของคุณภาพ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์ขนาดเล็กเหล่านั้นไม่มีมาตราฐานเพียงพอ

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีผู้ผลิตมอเตอร์บางรายเริ่มทำการวิจัยและพัฒนามอเตอร์ขนาดเล็กกันขึ้นมาเอง แต่ก็ยังประสบปัญหาต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ค่าใช้จ่าย ความยุ่งยากในการคำนวณ เครื่องมือที่นำมาช่วยในการทำวิจัย เป็นต้น

ดังนั้นจึงเห็นว่า ถ้าช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นให้น้อยลง จะเป็นการสนับสนุนให้ผู้ผลิตหันมาทำการวิจัยและพัฒนากันมากขึ้น จนสามารถผลิตมอเตอร์ขนาดเล็กขึ้นมาโดยเทคโนโลยีของประเทศเองแล้ว จะสามารถลดการนำเข้าค่าเทคโนโลยีมอเตอร์ขนาดเล็กจากต่างประเทศลงได้และยังเพิ่มการผลิตภายในประเทศให้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังทำให้มอเตอร์ขนาดเล็กที่ผลิตภายในประเทศมีประสิทธิภาพที่ดีและประหยัดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นการสนับสนุนนโยบายของรัฐบาลได้อีกทางหนึ่งด้วย

วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนองานวิจัยและพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาด้วย Microsoft Visual Basic[11] ที่จะทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ภาษาไทย โดยซอฟท์แวร์นี้จะเข้ามาช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ผลิตมอเตอร์ได้ อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ผลิตสามารถทำการวิจัยและพัฒนามอเตอร์ขนาดเล็กได้ง่าย รวดเร็วและถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์</u>

1. สร้างซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถทำการวิจัยและพัฒนามอเตอร์ขนาดเล็กได้ง่าย รวดเร็วและถูกต้องมากขึ้นกว่าเดิม
2. สร้างซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์ ที่จะช่วยออกแบบและวิเคราะห์มอเตอร์ขนาดเล็กประเภทที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายคือ
    2.1 มอเตอร์แยกเฟส (Split - phase Motor)
    2.2 มอเตอร์แบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Motor)
        2.2.1 มอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor - start Motor)
        2.2.2 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร (Permanent - split Capacitor Motor)
        2.2.3 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่า (Two - value Capacitor Motor)
        2.2.4 มอเตอร์แยกเฟสและต่อตัวเก็บประจุขณะหมุน (Split - phase Capacitor Motor)
        2.2.5 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่าและมีขดลวดช่วยสองชุด (Two - value, Dual Aux. Wdg., Capacitor Motor)
3. ช่วยสนับสนุนให้ผู้ผลิตหันมาทำการวิจัยและพัฒนามอเตอร์ขนาดเล็กกันมากขึ้น
4. เป็นแหล่งข้อมูลและวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีทางด้านมอเตอร์ขนาดเล็กแก่นักวิจัยหรือนักศึกษาที่ต้องการพัฒนาและศึกษาต่อไป
5. ช่วยแก้ปัญหาให้กับผู้ผลิตบางส่วนที่นำซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์จากต่างประเทศ [1] มาใช้ แต่ประสบกับปัญหาในเรื่องต่างๆเช่น ข้อมูลแผ่นเหล็ก ความยากในการใช้งาน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์</u>

1. ผู้ผลิตมอเตอร์ขนาดเล็กภายในประเทศ สามารถที่จะทำการวิจัยและพัฒนามอเตอร์ขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพทัดเทียมหรือดีกว่ามอเตอร์ขนาดเล็กที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ได้ง่าย รวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น
2. ลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศจากการนำเข้ามอเตอร์ขนาดเล็กและซื้อเทคโนโลยีการผลิต อีกทั้งยังเป็นการยกระดับเทคโนโลยีมอเตอร์ขนาดเล็กในประเทศให้สูงขึ้น
3. ทำให้ผู้ผลิต นักวิจัย นักศึกษาและผู้ที่สนใจหันมาให้ความสนใจในการวิจัยและพัฒนามอเตอร์ขนาดเล็กกันมากขึ้น เนื่องจากสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วบนซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์
4. ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้ในการค้นคว้าและวิจัยในวงการการศึกษาได้

<u>ขอบเขตของวิทยานิพนธ์</u>

วิจัยและพัฒนาซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ภาษาไทยและมีการติดต่อกับผู้ใช้ในรูปของกราฟฟิค (Graphical User Interface, GUI) จึงทำให้เป็นซอฟท์แวร์ที่ใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพ โดยซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวขนาดเล็กได้ดังต่อไปนี้

1. มอเตอร์แยกเฟส (Split - phase Motor)
2. มอเตอร์แบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Motor)
   - 2.1 มอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor - start Motor)
   - 2.2 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร (Permanent - split Capacitor Motor)
   - 2.3 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่า (Two - value Capacitor Motor)
   - 2.4 มอเตอร์แยกเฟสและต่อตัวเก็บประจุขณะหมุน (Split - phase Capacitor Motor)
   - 2.5 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่าและมีขดลวดช่วยสองชุด (Two - value, Dual Aux. Wdg., Capacitor Motor)

แต่ซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้จะยังไม่นำผลกระทบอันเนื่องมาจากความสั่นสะเทือน (Vibration) และความร้อน (Heat) ที่อาจจะเกิดขึ้นมาเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก

มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors) หรือว่า มอเตอร์ขนาดเล็ก หมายถึงมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 1 แรงม้าและมีขนาดทางกายภาพที่เล็กกว่ามอเตอร์ทั่วๆไป และมีสภาวะการทำงานอยู่สองสภาวะคือ สภาวะเริ่มหมุน (Starting Condition) ซึ่งหมายถึงสภาวะที่มอเตอร์มีความเร็วตั้งแต่ 0 ถึง ประมาณ 80 % ของความเร็วซิงโครนัส ส่วนอีกสภาวะหนึ่งคือสภาวะขณะหมุน (Running Condition) หมายถึงสภาวะที่มอเตอร์มีความเร็วมากกว่า 80 % ของความเร็วซิงโครนัส บางครั้งมอเตอร์ขนาดเล็กนี้จะถูกเรียกตามขนาดกำลังไฟฟ้าได้เช่นกัน คือ Fractional หรือ Subfractional Horsepower Motors ซึ่งส่วนใหญ่มอเตอร์ประเภทนี้จะถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เครื่องซักผ้า ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ พัดลม คอมเพรสเซอร์ เป็นต้น ดังนั้นมอเตอร์ขนาดเล็กที่ผลิตขึ้นถ้าได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีครอบคลุมทั้งคุณสมบัติทางไฟฟ้า และประสิทธิภาพ ตลอดจนรูปร่างและขนาดของตัวมอเตอร์ขนาดเล็ก ยิ่งทำให้การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้เป็นไปได้ง่ายขึ้น

มอเตอร์ขนาดเล็กที่มีใช้กันในเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน เช่น Split-phase Motor, Shaded Pole Motor, Repulsion Motor เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ Split-phase Motor และ Capacitor Motor เพราะจากการเปรียบเทียบคุณลักษณะและสมรรถนะกับราคาโดยรวมแล้วมอเตอร์สองประเภทนี้จะดีที่สุดในมอเตอร์ขนาดเล็กด้วยกัน

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงเฉพาะมอเตอร์ 2 ประเภทนี้เท่านั้น ดังนี้

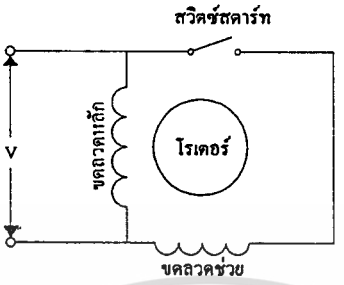
1. มอเตอร์แยกเฟส (Split - phase Motor)

มอเตอร์แยกเฟสและมอเตอร์แบบใช้ตัวเก็บประจุมีขดลวดพันอยู่ที่สเตเตอร์ 2 ชุดเหมือนกันคือ ขดลวดหลัก (Main Winding) และขดลวดช่วย (Auxiliary หรือ Starting Winding) ซึ่งวางอยู่ห่างกันบนช่องสล็อต (Slot) เป็นมุม 90 องศาไฟฟ้า โดยขดลวดช่วยมีค่าอัตราส่วนความต้านทานต่อรีแอกแตนซ์ (R/X Ratio) มากกว่าขดลวดหลัก ซึ่งทำให้เกิดการแยกเฟสขึ้น ส่วนวงจรของมอเตอร์แยกเฟสสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 1

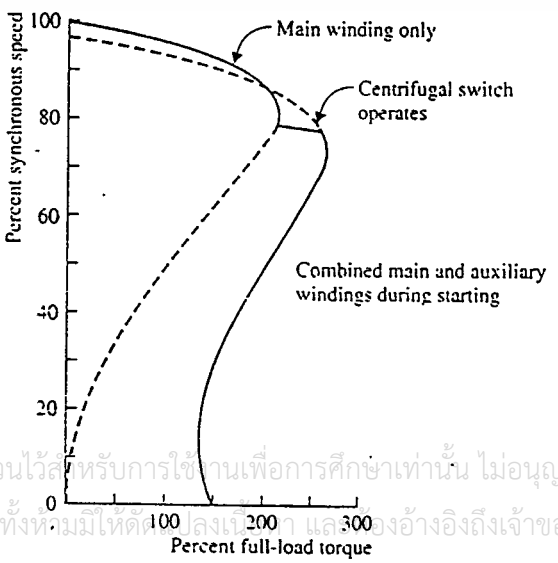
แสดงวงจรของมอเตอร์แยกเฟส



จากภาพที่ 1 แสดงการต่อวงจรของขดลวดหลัก, ขดลวดช่วยและสวิตช์สตาร์ท (Starting switch) ในขณะที่มอเตอร์อยู่ในสภาวะเริ่มหมุนนั้น ขดลวดหลักและขดลวดช่วยจะต่อขนานกันอยู่ ประกอบกับคุณสมบัติของขดลวดทั้งสองจึงทำให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดหลัก (I_M) และกระแสที่ไหลผ่านขดลวดช่วย (I_S) มีมุมต่างกันเกือบ 90 องศา และกระแส I_S จะมาทีหลัง (lag) แรงดันไฟฟ้าเป็นมุมเล็กน้อย แต่กระแส I_M จะมาทีหลังเกือบ 90 องศา เมื่อเป็นเช่นนั้นทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและแรงบิดเริ่มหมุน (Starting Torque) ขึ้น มอเตอร์จึงสามารถเริ่มหมุนเองได้ ส่วนสวิตช์สตาร์ทนั้นทำหน้าที่ตัดขดลวดช่วยออกจากวงจร ณ ที่ความเร็วประมาณ 80 % ของความเร็วซิงโครนัส เนื่องจากที่ความเร็วมากกว่านี้ขดลวดหลักเพียงขดเดียวก็สามารถสร้างแรงบิดได้ใกล้เคียงกับต่ออยู่ทั้งสองขดลวด ซึ่งพิจารณาได้จากภาพที่ 2 และอีกเหตุผลหนึ่งคือ ขดลวดช่วยมีการพันขึ้นมาจากลวดเส้นเล็กกว่าขดลวดหลัก จึงไม่สามารถทนต่อค่ากระแสได้นานนัก

ภาพที่ 2

แสดงกราฟความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์แยกเฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

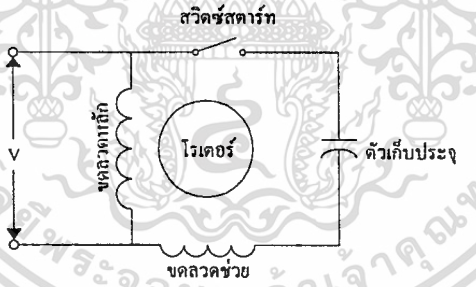
มอเตอร์แยกเฟสนี้มีแรงบิดเริ่มหมุนประมาณ 1 ถึง 2 เท่าของแรงบิดที่พิกัด โดยใช้กระแสเริ่มหมุน (Starting Current) ตั้งแต่ 5 ถึง 7 เท่าของกระแสที่พิกัด ดังนั้นมอเตอร์ชนิดนี้จึงเหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง อย่างเช่น พัดลม , เครื่องซักผ้า เป็นต้น ส่วนขนาดพิกัดของมอเตอร์มีตั้งแต่ 1/20 ถึง 1/3 แรงม้า

2. มอเตอร์แบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Motor)

มอเตอร์แบบใช้ตัวเก็บประจุได้ถูกแบ่งออกเป็นประเภทย่อยๆตามลักษณะการต่อขดลวดและตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อช่วยสตาร์ท ซึ่งแต่ละประเภทจะมีหลักการทำงาน คุณลักษณะและสมรรถนะ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 มอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor - start Motor) มอเตอร์ประเภทนี้มีลักษณะวงจรคล้ายกับมอเตอร์แยกเฟส มีเพียงตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมกับขดลวดช่วยเพิ่มเข้ามาเท่านั้น ซึ่งพิจารณาได้จากภาพที่ 3

ภาพที่ 3
แสดงวงจรของมอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ



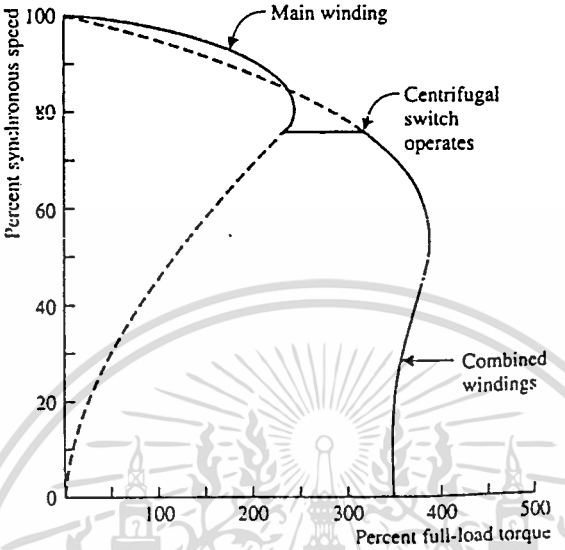
และที่เหมือนกับมอเตอร์แยกเฟสอีกประการหนึ่ง คือขนาดขดลวดตัวนำของขดลวดหลักจะใหญ่กว่าของขดลวดช่วย แต่จำนวนรอบน้อยกว่า ส่วนสิ่งที่แตกต่างกัน คือวิธีการในการแยกเฟส มอเตอร์ประเภทนี้จะใช้ตัวเก็บประจุในการแยกเฟส การต่อตัวเก็บประจุเข้าไปนั้นทำให้ I_S มาก่อน (lead) เป็นมุมมุมหนึ่งและกระแส I_M จะมาทีหลัง (lag) เป็นมุมหนึ่งเช่นกัน จึงทำให้ได้กระแสผลลัพธ์ I ซึ่งเกือบจะทับกับ V มอเตอร์ประเภทนี้จึงมีแรงบิดเริ่มหมุนสูงมากกว่า 2 เท่าของแรงบิดที่พิกัด พิจารณาได้จากภาพที่ 4 ดังนั้นมอเตอร์ประเภทนี้จึงเหมาะกับงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูงๆ อย่างเช่น คอมเพรสเซอร์ , ปั๊ม เป็นต้น

2.2 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่า (Two - value Capacitor Motor) มอเตอร์ประเภทนี้บางครั้งเรียกว่ามอเตอร์แบบเริ่มหมุนและหมุนด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor start and run Motor) เนื่องจากไม่ว่ามอเตอร์จะอยู่ในสภาวะเริ่มหมุนหรือสภาวะหมุน ขดลวดช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

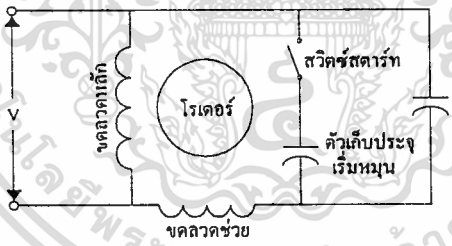
ภาพที่ 4

แสดงกราฟความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ



ภาพที่ 5

แสดงวงจรของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่า



และตัวเก็บประจุจะถูกต่ออยู่กับแรงดันไฟฟ้าตลอดเวลา แต่ขนาดของตัวเก็บประจุในแต่ละสภาวะมีค่าไม่เท่ากันซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามสวิตช์สตาร์ท ตัวเก็บประจุตัวแรกชื่อว่า ตัวเก็บประจุ**ขณะหมุน** (Running Capacitor,C_R) ส่วนอีกตัวหนึ่งชื่อว่า ตัวเก็บประจุ**เริ่มหมุน** (Starting capacitor,C_S) โดยลักษณะการต่อวงจรพิจารณาได้จากภาพที่ 5

จากภาพที่ 5 จะเห็นว่า C_R ต่ออนุกรมอยู่กับขดลวดช่วยตลอดเวลา แต่ C_S ต่อขนานกับ C_R เฉพาะสภาวะเริ่มหมุนเท่านั้น การที่มอเตอร์ประเภทนี้มีการนำ C_R มาต่อในวงจรอยู่ตลอดเวลานั้น จะทำให้เกิดผลต่อคุณลักษณะและสมรรถนะเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ ดังนี้

- แรงบิดสูงสุด (Breakdown Torque) เพิ่มขึ้น 5-30 %
- ประสิทธิภาพที่พิกัดเพิ่มขึ้น 10 %

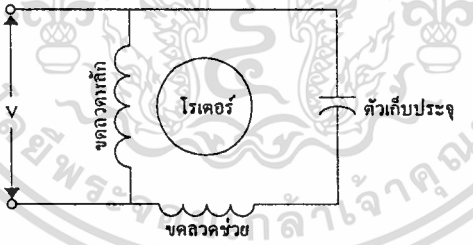
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) เพิ่มขึ้นประมาณ 5 %
- เสียงรบกวน (Noise) ลดลงขณะมอเตอร์ทำงานที่พิกัด
- แรงบิดเริ่มหมุน (Starting Torque) เพิ่มขึ้น 5-20 %

มอเตอร์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ใช้มากในคอมเพรสเซอร์ หรือใช้ในงานที่ต้องการแรงบิดสูงสุดและแรงบิดเริ่มหมุนค่าสูงๆ ส่วนในเรื่องประสิทธิภาพโดยรวมแล้ว มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่านี้จะสูงที่สุด แต่ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับประเภทอื่นๆ

2.3 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร (Permanent - split Capacitor Motor) มอเตอร์ประเภทนี้มีลักษณะวงจรเหมือนภาพที่ 3 ซึ่งเป็นวงจรของมอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ แต่มอเตอร์ประเภทนี้จะไม่มีสวิตช์สตาร์ท (Starting Switch) ซึ่งพิจารณาได้จากภาพที่ 6 ทำให้ขดลวดช่วยและตัวเก็บประจุถูกต่อเข้ากับแรงดันไฟฟ้าตลอดเวลาไม่ว่าในสภาวะเริ่มหมุนหรือสภาวะหมุนแล้วก็ตาม ดังนั้นตัวเก็บประจุในมอเตอร์ประเภทนี้ต้องเป็นแบบพิกัดต่อเนื่อง (Continuous Rated)

ภาพที่ 6
แสดงวงจรของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร



การที่มอเตอร์ประเภทนี้มีการต่อตัวเก็บประจุอยู่ตลอดเวลานั้น ทำให้แรงบิดสูงสุด (Break down Torque) ประสิทธิภาพและตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของมอเตอร์สูงขึ้น อีกทั้งยังทำให้มอเตอร์หมุนเรียบขึ้นและลดเสียงรบกวน (Noise) ลง เหมือนกับผลของ C_R ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่า ส่วนกราฟความเร็วกับแรงบิดจะแสดงดังภาพที่ 7 และการนำไปใช้งานนั้น ส่วนใหญ่จะถูกใช้เป็นพัดลม หรือตัวเป่า (blower) ในเครื่องปรับอากาศหรือใช้ในเครื่องซักผ้า ขนาดพิกัดมีตั้งแต่ 1/20 ถึง 1/3 แรงม้า

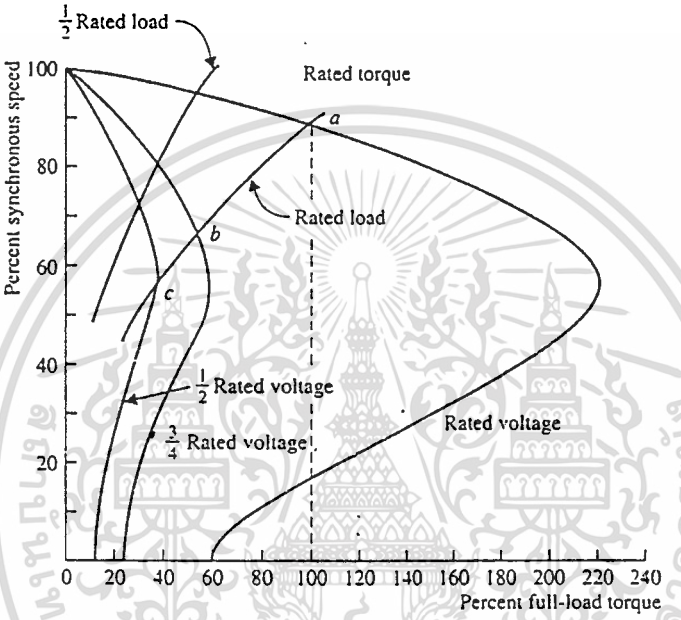
2.4 มอเตอร์แยกเฟสและต่อตัวเก็บประจุขณะหมุน (Split - phase Capacitor Motor) มอเตอร์ประเภทนี้ ในสภาวะเริ่มหมุนมีลักษณะวงจรเหมือนมอเตอร์แยกเฟส ส่วนในสภาวะขณะหมุนเหมือนกับมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร แต่ส่วนที่ต่างกันคือ สวิตช์สตาร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Starting Switch) ของมอเตอร์ประเภทนี้เป็นหนึ่งขั้วสองทาง (Single - pole Double Throw) ดังภาพที่ 8

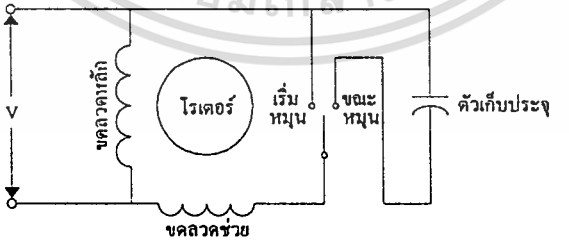
ภาพที่ 7

แสดงกราฟความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร



ภาพที่ 8

แสดงวงจรของมอเตอร์แยกเฟสและต่อตัวเก็บประจุขณะหมุน



ส่วนกราฟความเร็วกับแรงบิดนั้น สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 2 ขณะเริ่มหมุนของมอเตอร์แยกเฟส และจากภาพที่ 7 ขณะหมุนของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร

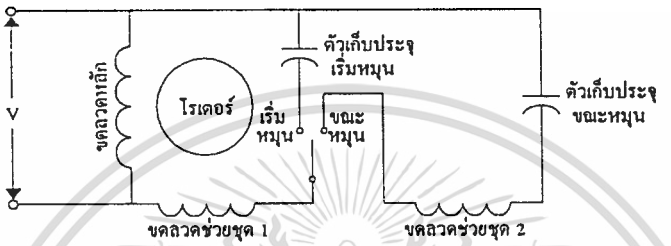
2.5 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่าและมีขดลวดช่วยสองชุด (Two - value, Dual Aux. Wdg., Capacitor Motor) ภาพที่ 9 แสดงรูปวงจรของมอเตอร์ประเภทนี้ ซึ่งมีขดลวดช่วยอยู่สองชุด คือ ชุด 1 และชุด 2 ส่วนตัวเก็บประจุมีสองตัวเช่นกันคือ C_S กับ C_R ในขณะที่มอเตอร์อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะเริ่มหมุน กระแสจะไหลผ่านขดลวดช่วยชุด 1 และ C_S และขณะตอนหมุนกระแสจะไหลผ่านขดลวดช่วยทั้งสองชุดและ C_R

ภาพที่ 9

แสดงวงจรของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่าและมีขดลวดช่วยสองชุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวไปแล้วว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กหรือมอเตอร์ขนาดเล็กจะมีการทำงานอยู่สองสภาวะ คือ สภาวะเริ่มหมุน(Starting Condition) และสภาวะตอนหมุน(Running Condition) ซึ่งในแต่ละสภาวะของมอเตอร์ขนาดเล็กแต่ละประเภทนั้นจะมีการต่อขดลวดหลัก,ขดลวดช่วยและตัวเก็บประจุที่แตกต่างกันออกไป ดังจะแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

แสดงส่วนที่ต่อในวงจรของมอเตอร์ขนาดเล็กในแต่ละสภาวะ

ประเภทมอเตอร์ขนาดเล็ก	สภาวะ	ส่วนที่ต่อในวงจร		
		ขดลวดหลัก	ขดลวดช่วย	ตัวเก็บประจุ
Split - phase Motor	เริ่มหมุน	×	×	
	ตอนหมุน	×		
Capacitor - start Motor	เริ่มหมุน	×	×	×
	ตอนหมุน	×		
Permanent-split Capacitor Motor	เริ่มหมุน	×	×	×
	ตอนหมุน	×	×	×
Two - value Capacitor Motor	เริ่มหมุน	×	×	×
	ตอนหมุน	×	×	×
Split - phase Capacitor Motor	เริ่มหมุน	×	×	
	ตอนหมุน	×	×	×
Two - value, Dual aux. Wdg., Capacitor Motor	เริ่มหมุน	×	×	×
	ตอนหมุน	×	×	×

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 1 นั้นจะเห็นว่ามอเตอร์ขนาดเล็กทั้ง 6 ประเภทมีการต่อขดลวดอยู่สองสภาวะด้วยกันโดยไม่คำนึงถึงตัวเก็บประจุ คือ

1. ขดลวดหลักและขดลวดช่วยต่อร่วมกันในวงจร เรียกว่า การต่อหลายขดลวด (Combined Winding) เช่น สภาวะเริ่มหมุนของมอเตอร์แยกเฟส สภาวะตอนหมุนของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร เป็นต้น

2. ขดลวดหลักต่ออยู่ในวงจรเพียงขดลวดเดียว เรียกว่า ต่อเพียงขดลวดเดียว (Single Winding) เช่น สภาวะตอนหมุนของมอเตอร์แยกเฟส เป็นต้น

ดังนั้น การศึกษาทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางที่จะกล่าวต่อไปจึงแบ่งออกเป็นสองส่วนตามประเภทข้างต้น ดังนี้

<u>ขณะต่อเพียงขดลวดเดียว (Single Winding)</u>[6,7]

ในการศึกษาทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางในสภาวะการต่อขดลวดแบบนี้นั้น มอเตอร์จะมีสภาพดังภาพที่ 10 โดยจากภาพนั้นเมื่อขดลวดหลักที่มีการพันขดลวดบนสเตเตอร์ให้มีสองขั้วแม่เหล็กได้รับการจ่ายไฟกระแสสลับแล้ว จะสร้างฟลั๊กซ์แม่เหล็กขึ้นมาสองส่วนคือ

1. ฟลั๊กซ์แม่เหล็กร่วม (Mutual Flux) มีขนาดและทิศทางขึ้นลง (Pulsate) ในแนวแกน y หรือแกนหลัก (Main-axis) จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ฟลั๊กซ์แม่เหล็กแกนหลัก (Main-axis Flux,ϕ_M) โดย ϕ_M นี้จะคล้องผ่านทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force) ขึ้นทั้งในสเตเตอร์และโรเตอร์ (เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กวิ่งตัดผ่านตัวนำเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า หรือ Transformer action โดยสเตเตอร์เปรียบเสมือนเป็นขดลวดปฐมภูมิและโรเตอร์เปรียบเสมือนขดลวดทุติยภูมิ) แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าทั้งสองค่าที่เกิดขึ้นในมอเตอร์นี้จะมีขนาดเท่ากัน เนื่องจากค่าอัตราส่วนของการแปลง (Ratio of Transformation) ถูกสมมุติให้มีค่าเท่ากับ 1

2. ฟลั๊กซ์แม่เหล็กรั่ว (Leakage Flux,ϕ_l) ซึ่งจะคล้องผ่านเฉพาะสเตเตอร์เท่านั้น โดย ϕ_l จะทำให้เกิดรีแอกแตนซ์รั่ว (Leakage Reactance) ขึ้นในขดลวดสเตเตอร์

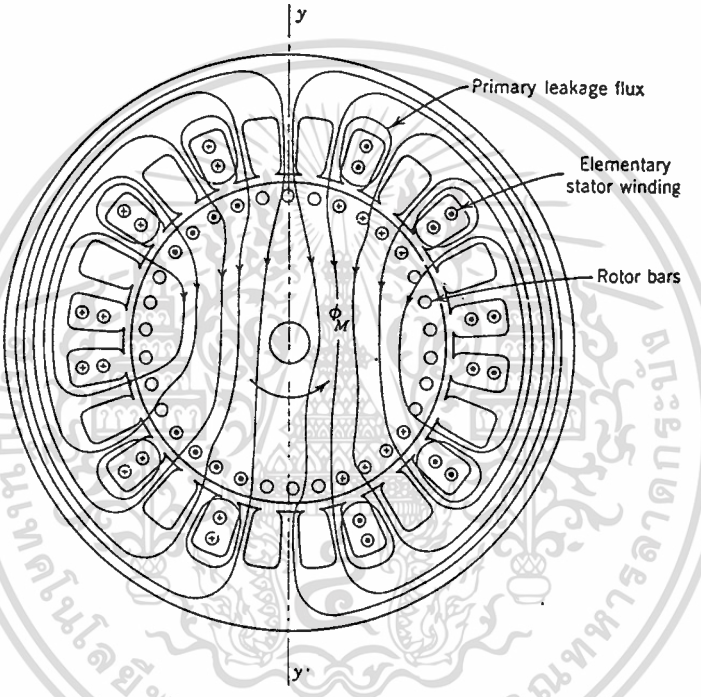
เมื่อมาพิจารณาโรเตอร์ ในขณะที่ตัวนำของโรเตอร์เคลื่อนที่ผ่าน ϕ_M จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น (เนื่องจากตัวนำตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก หรือ Speed Action) และเนื่องจากว่ามอเตอร์ขนาดเล็กจะมีโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก ซึ่งโรเตอร์ประเภทนี้ตัวนำทุกตัวจะถูกลัดวงจรอยู่ ทำให้เกิดกระแสไหลภายในตัวนำ แสดงทิศทางได้ดังภาพที่ 11 และจากกระแสนี้เองที่ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของฟลั๊กซ์แม่เหล็กแกนขวาง (Cross-axis Flux,ϕ_c) ที่มีทิศทางตามแนวแกน x หรือแกนขวาง (Cross-axis) และด้วยเหตุที่ ϕ_c นี้เกิดมาโดย Speed Action ดังนั้นขณะโรเตอร์หยุดนิ่ง ϕ_c นี้จะไม่เกิดขึ้นมา

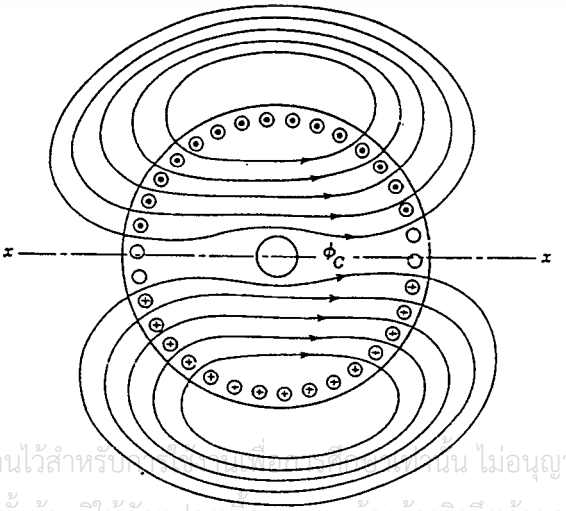
ภาพที่ 10

แสดงสเตเตอร์ขณะสร้าง ϕ_M และ ϕ_l



ภาพที่ 11

แสดงโรเตอร์ขณะสร้าง ϕ_c



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϕ_M และ ϕ_C ที่เกิดขึ้นมานี้เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางต่อไป ในแง่ของความสัมพันธ์ของฟลั๊กซ์แม่เหล็ก กระแส แรงดันและอิมพิแดนซ์ แต่ก่อนที่จะศึกษาต่อไปนั้นต้องพิจารณาถึงอักษรห้อย (Subscript) ที่ต้องใช้ก่อน ดังนี้

S หรือ T ระบุว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นเกิดจาก การที่ตัวนำวิ่งตัดผ่านฟลั๊กซ์แม่เหล็ก (Speed Action) หรือ จากการที่ตัวนำถูกฟลั๊กซ์แม่เหล็กวิ่งมาตัดผ่าน (Transformer Action)

M หรือ C ระบุว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นเกิดจาก ผลของฟลั๊กซ์แม่เหล็กในแนวแกนหลัก (ϕ_M) หรือ ฟลั๊กซ์แม่เหล็กในแนวแกนขวาง (ϕ_C)

y หรือ x ระบุว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นจะไปทำให้เกิดกระแสในขดลวดที่อยู่ในแนวแกนหลัก (แกน y) หรือ ที่อยู่ในแนวแกนขวาง (แกน x)

จากการกำหนดอักษรห้อยขึ้นมานี้ ทำให้สามารถศึกษาทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางได้สะดวกขึ้น ซึ่งเมื่อนำการกำหนดนี้ไปใช้งานจะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 4 ค่า ดังนี้

1. E_{TMy} เกิดจากการเหนี่ยวนำในลักษณะของ Transformer Action โดย ϕ_M และมีผลทำให้เกิดกระแสในขดลวดแนวแกน y หรือแกนหลัก โดย E_{TMy} นี้จะเกิดในโรเตอร์และได้กล่าวถึงไปแล้วข้างต้น

2. E_{SMx} เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าอีกค่าหนึ่งที่กล่าวถึงไปแล้วข้างต้น โดยเกิดจากการที่ตัวนำโรเตอร์วิ่งไปตัดผ่าน ϕ_M จึงเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในลักษณะ Speed Action ทำให้เกิดกระแสและแรงเคลื่อนแม่เหล็กขึ้นบนขดลวดในแนวแกน x หรือแกนขวาง

3. E_{TCx} เกิดจากการแกว่งตัวของ ϕ_C ไปตัดตัวนำในโรเตอร์ (Transformer Action) และเกิดกระแสขึ้นในขดลวดแกน x หรือแกนขวาง

4. E_{SCy} เกิดขึ้นโดยตัวนำในโรเตอร์วิ่งไปตัดผ่าน ϕ_C (Speed Action) และเกิดกระแสไหลในขดลวดแกน y หรือแกนหลัก

ในตอนนี้จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมา 4 ค่าด้วยกัน โดยเป็นผลจาก ϕ_M สองค่า และ ϕ_C สองค่าเช่นกัน แรงเคลื่อนไฟฟ้าแต่ละตัวจะไปมีความสัมพันธ์ในเชิงเวกเตอร์กับกระแสและอิมพิแดนซ์อีก การศึกษาความสัมพันธ์จะได้กล่าวดังต่อไปนี้

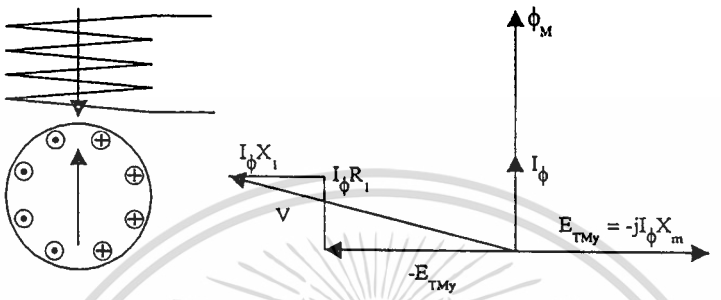
เมื่อกลับมาพิจารณา E_{TMy} ซึ่งเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาจาก ϕ_M และตามหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว E_{TMy} นี้จะมาทีหลัง (lag) ฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่เหนี่ยวนำตัวมันเองเป็นมุม 90 องศา และ E_{TMy} นี้จะมีค่าเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในสเตเตอร์ ($-E_{TMy}$) ทำให้สามารถเขียนแผนภาพเวกเตอร์ได้ดังภาพที่ 12 โดยจากแผนภาพเวกเตอร์จะไม่นำส่วนของกระแสกระตุ้น (Magnetizing Current) ของความสูญเสียแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Core loss) มารวมด้วย ส่วน R_l และ X_l นั้น เป็นความต้านทานและรีแอกแตนซ์ของขดลวดสเตเตอร์

ภาพที่ 12

แสดงแผนภาพเวกเตอร์แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำจาก ϕ_M

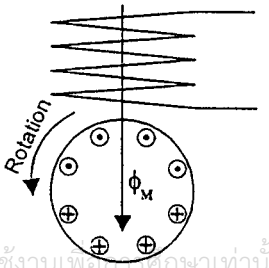


ขั้นต่อมาพิจารณาในขณะที่ตัวนำในโรเตอร์หมุนผ่าน ϕ_M ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิด E_{SMx} ขึ้น ดังภาพที่ 13 ตัวนำด้านบนมีทิศทางแรงเคลื่อนทิศหนึ่ง ส่วนตัวนำตัวล่างจะมีทิศทางแรงเคลื่อนตรงกันข้าม ทำให้เกิดกระแสไหลขึ้นเนื่องจากตัวนำถูกเชื่อมต่อในลักษณะลัดวงจรทุกตัวนำ (โรเตอร์แบบกรงกระรอก) และมีลักษณะเชื่อมต่อในการพิจารณาแสดงเป็นเส้นปะ ดังภาพที่ 14

E_{SMx} ที่เกิดขึ้นมาจากการเหนี่ยวนำของ ϕ_M นั้นมีค่าสูงสุด เมื่อ ϕ_M มีค่าสูงสุด ดังนั้น ϕ_M และ E_{SMx} จะทับกัน (in phase) เมื่อพิจารณาในเชิงเวลา ดังในภาพที่ 16 จากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่า E_{SMx} ทำให้เกิดกระแสในตัวนำของโรเตอร์ และทำให้เกิด ϕ_C ขึ้นดังภาพที่ 15 ส่วนกระแสที่เกิดขึ้นในโรเตอร์เนื่องจาก E_{SMx} นั้น (I_x) จะมาทีหลัง E_{SMx} เป็นมุมเกือบ 90 องศาในเชิงเวลา เนื่องจากแนวแกนขวางของโรเตอร์จะเสมือนเป็นคอยล์รีแอกแตนซ์นั่นเอง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 16 ส่วนทิศทางของ ϕ_C ในเชิงเวลานั้น เนื่องจาก ϕ_C มีค่าสูงสุดเมื่อ I_x มีค่าสูงสุด ดังนั้น ϕ_C จะทับกันกับ I_x จึงสรุปได้ว่า ϕ_M และ ϕ_C นั้นห่างกันเป็นมุม 90 องศาทั้งในเชิงเวลาและระยะทาง

ภาพที่ 13

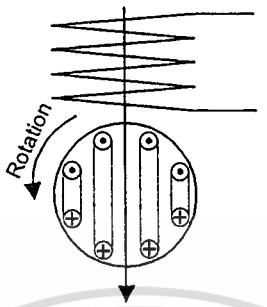
แสดงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดในโรเตอร์ , E_{SMx}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

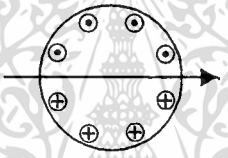
ภาพที่ 14

แสดงการเชื่อมต่อของโรเตอร์ในการพิจารณาตามกระแส I_x



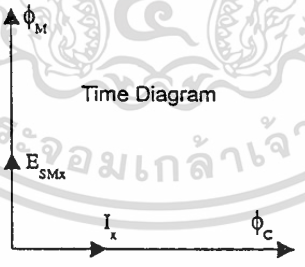
ภาพที่ 15

แสดงทิศทางของ ϕ_C ที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 16

แสดงแผนภาพเวกเตอร์ของ ϕ_C ที่เกิดขึ้น (ในเชิงเวลา)



ส่วนความสัมพันธ์ของ E_{TMy} และ E_{SMx} นั้น เมื่อตัวนำในโรเตอร์วิ่งตัดผ่าน ϕ_M ด้วยความเร็ว S เท่าของความเร็วซิงโครนัส จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ (E_{SMx}) เป็น S เท่าของแรงเคลื่อนที่เกิดจาก ϕ_M ไปตัดผ่าน (E_{TMy}) ดังนั้น จะได้ว่า

$$E_{SMx} = SE_{TMy} \qquad (3.1)$$

โดย $S = N / N_S$ = ความเร็วจริง / ความเร็วซิงโครนัส (3.2)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในการศึกษาทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางมีทั้งหมด 4 ค่าซึ่งได้กล่าวไปแล้วข้างต้น 2 ค่า อีก 2 ค่าที่เหลือคือ E_{TCx} และ E_{SCy} สามารถหาความสัมพันธ์ของ

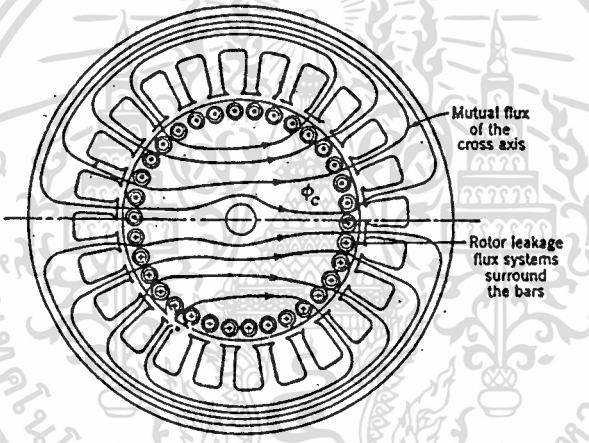
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แรงเคลื่อนไฟฟ้าทั้ง 2 ค่านี้กับกระแสและอิมพิแดนซ์ จากการพิจารณาภาพที่ 17 ซึ่งเป็นภาพแสดงทิศทางของ ϕ_C และฟลั๊กซ์รั่วที่เกิดขึ้น โดย ϕ_C จะคล้องผ่านช่องว่างอากาศ (Air Gap) สองครั้ง และผ่านสเตเตอร์ ดังนั้นความนำแม่เหล็ก (Permeance) ของทางเดิน ϕ_C นี้จะเท่ากับ ϕ_M และด้วยเหตุที่โรเตอร์มีความสมมาตรทั้งแกน x และแกน y ทำให้รีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ในแต่ละแกนมีค่าเท่ากันและฟลั๊กซ์ร่วมของ ϕ_C นี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ I_xX_m (เปรียบเทียบกับ $I_\phi X_m$ อันเนื่องมาจาก ϕ_M) ซึ่งจะเห็นว่ากระแสทั้งหมดในแกน x หรือแกนขวางคือ I_x

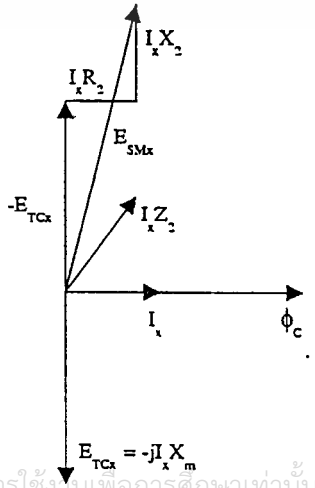
ภาพที่ 17

แสดงทิศทางของ ϕ_C และฟลั๊กซ์รั่วที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 18

แสดงแผนภาพเวกเตอร์ของ E_{TCx} และ E_{SMx}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

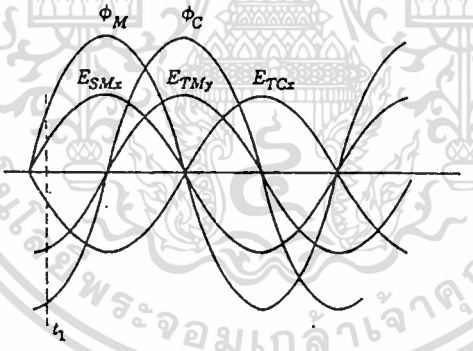
เป็นกระแสกระตุ้น (Magnetizing Current) ค่า I_xX_m นี้เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดโดย Transformer Action จาก ϕ_C จึงใช้ชื่อว่า E_{TCx} และเหมือนกับที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์ I_x นี้จะผ่าน Z_2 ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขึ้นซึ่งทั้งหมดแสดงได้ดังภาพที่ 18

โดยเวกเตอร์ทุกค่าในภาพที่ 18 ได้จากความเร็วทั้งหมด ขนาดของเวกเตอร์เปลี่ยนแปลงตามความเร็วของโรเตอร์ ถ้าโรเตอร์หยุดนิ่ง เวกเตอร์จะมีค่าเป็นศูนย์

ส่วน E_{SCy} เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าตัวสุดท้ายที่นำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ E_{SCy} เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดย Speed Action จาก ϕ_C การพิจารณาหาความสัมพันธ์ E_{SCy} กับ ϕ_M, ϕ_C, E_{SMx}, E_{TMy}, E_{TCx} จะถูกพิจารณาในภาพที่ 19 โดยพิจารณาแรงเคลื่อนไฟฟ้าและฟลั๊กซ์แม่เหล็กทั้งหมด ณ.เวลา t_1 ซึ่งเป็นเวลาที่ ϕ_M มีขนาดเล็กและกำลังเพิ่มขึ้นในทิศทางบวก ส่วนภาพที่ 20 นั้นแสดงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและฟลั๊กซ์แม่เหล็ก ณ. เวลา t_1

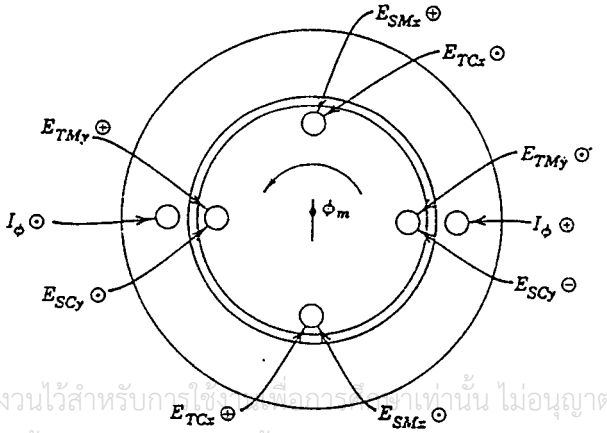
ภาพที่ 19

แสดงความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา



ภาพที่ 20

แสดงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและฟลั๊กซ์แม่เหล็ก ณ.เวลา t_1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 19 และ 20 สามารถนำมาพิจารณาหาทิศทางของ E_{SCy} ได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ϕ_M กำลังเพิ่มขึ้นในทิศทางบวกหรือทิศทางพุ่งขึ้น ณ.เวลา t_1

2. การเปลี่ยนแปลงของ ϕ_M นี้ ทำให้เกิด E_{TMy} ในแกน y หรือแกนหลัก เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 20 จะเห็นว่ามีทิศทางเข้าในด้านซ้ายและทิศทางออกในด้านขวา

3. ในขณะโรเตอร์หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา จะเกิด E_{SMx} ในแกน x หรือแกนขวาง ซึ่งมีทิศทางเข้าในด้านบนและทิศทางออกในด้านล่าง

4. จากข้อ 3. E_{TCx} ในแกนขวางมีทิศทางออกในด้านบนและทิศทางเข้าในด้านล่าง

5. การที่ E_{TCx} มีทิศทางดังข้อ 4. ได้นั้น เกิดได้จาก 2 กรณี คือ ϕ_C มีทิศทางจากซ้ายมาขวาและกำลังลดลง หรือ ϕ_C มีทิศทางจากขวามาซ้ายและกำลังเพิ่มขึ้น แต่จากภาพที่ 19 ณ.เวลา t_1 นั้น ϕ_C กำลังลดลง ดังนั้น ϕ_C จึงมีทิศทางจากซ้ายมาขวา

6. จาก ϕ_C มีทิศทางตามข้อ 5. ทำให้ตัวนำของโรเตอร์หมุนไปตัดผ่านจนเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิด E_{SCy} ขึ้น โดยมีทิศทางออกในด้านซ้ายและทิศทางเข้าในด้านขวา

7. ทิศทางของ E_{SCy} ที่เกิดขึ้นจะตรงข้ามกับ E_{TMy} ดังนั้นเมื่อนำไปเขียนแผนภาพเวกเตอร์เปรียบเทียบกับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าอื่นๆ E_{SCy} จะมีมุมต่างกันกับ ϕ_C 180 องศา

จากทั้งหมดนี้จะเห็นว่า ϕ_M และ ϕ_C สร้างสนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และ ณ.ที่ความเร็วซิงโครนัส ϕ_M และ ϕ_C มีขนาดเท่ากัน ทำให้สนามแม่เหล็กที่ใช้มีขนาดเท่ากันตลอดและหมุนด้วยความเร็วเท่ากับโรเตอร์ โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าในโรเตอร์เป็นศูนย์ เนื่องจากไม่มีการวิ่งตัดผ่านฟลั๊กซ์แม่เหล็กนั่นเอง

และจากความสัมพันธ์ในสมการ(3.1) และ (3.2) จะได้ E_{SCy} มีขนาดเป็น S เท่าของ E_{TCx}

$$E_{SCy} = SE_{TCx} \tag{3.3}$$

ส่วนทิศทางนั้น E_{SCy} จะมีทิศทางที่ไปรวมกับ E_{TMy} แล้วทำให้เกิดกระแส (I_y'') ขึ้นในแนวแกน y หรือแกนหลักของโรเตอร์ โดยแสดงเป็นเวกเตอร์ดังภาพที่ 21 และสมการ (3.4) โดย Z_2 เป็นอิมพิแดนซ์ของโรเตอร์

$$-E_{SCy} + I_y''Z_2 = E_{TMy} \tag{3.4}$$

ค่ากระแส I_y'' จะสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กเหมือนกับที่ขดลวดทุติยภูมิสร้างขึ้นในหม้อแปลง โดยแรงเคลื่อนแม่เหล็กนี้มีทิศทางตรงกันข้ามกับที่สร้างโดยขดลวดของสเตเตอร์ ดังนั้น I_y'' สร้างฟลั๊กซ์แม่เหล็กสวนทางกับ ϕ_M ซึ่งก็เป็นทิศทางลบนั่นเอง และค่า I_y'' นี้ต้องมีกระแสทางด้านปฐมภูมิ (สเตเตอร์) เพื่อสร้างความสมดุลย์ โดยกระแส I_y นี้มีค่าเท่ากับ I_y'' แต่ทิศทางตรงข้าม ดังพิจารณาได้จากสมการ (3.5) และภาพที่ 22

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

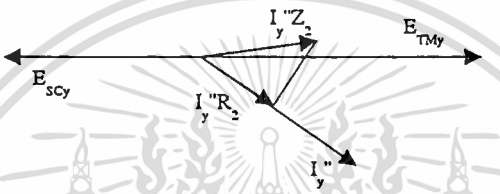
$$I_y = -I_y'' \tag{3.5}$$

และเมื่อนำ I_y นี้ไปรวมกับกระแสกระตุ้น จะได้กระแสทั้งหมดของมอเตอร์ขนาดเล็ก ดังสมการ (3.6)

$$I_1 = I_y + I_\phi \tag{3.6}$$

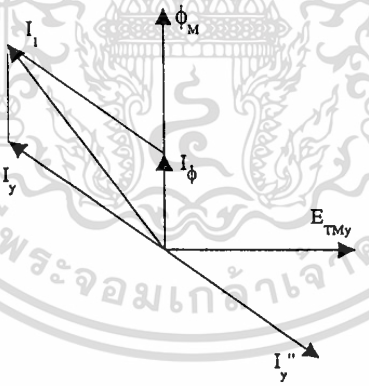
ภาพที่ 21

แสดงแผนภาพเวกเตอร์ความสัมพันธ์ของ E_{TMy} และ E_{SCy}



ภาพที่ 22

แสดงแผนภาพเวกเตอร์ของ I_y'' และ I_y



ในขณะนี้เราได้ทราบถึงความสัมพันธ์ทางเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กและกระแสทั้งหมดแล้ว ในขั้นต่อไปเป็นการพิจารณาให้อยู่ในรูปของค่าอิมพิแดนซ์ต่างๆ และสร้างให้อยู่ในรูปสมการที่สามารถหาค่าคำตอบได้ ดังนี้

ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจาก Transformer Action มีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสกระตุ้นกับรีแอกแตนซ์กระตุ้น (Magnetizing Reactance) ดังนั้น

$$E_{TMy} = I_\phi X_m \tag{3.7}$$

และในรูปเวกเตอร์จะได้

$$E_{TMy} = -jX_m(I_1 - I_y) \tag{3.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎพื้นฐานของเคอร์ชอฟฟ์สำหรับสเตเตอร์ จะได้

$$V = I_1Z_1 - E_{TMy} \quad (3.9)$$

$$V = I_1Z_1 + jX_m(I_1 - I_y) \quad (3.10)$$

โดยสมการ (3.10) เป็นสมการแรกที่นำไปใช้ในการหาคำตอบหรือหาค่ากระแสต่างๆ คือ I_1, I_y''และ I_x

ส่วนสมการที่ 2 ที่ต้องนำไปใช้นั้นหาได้จากแรงเคลื่อนไฟฟ้าในแนวแกน x หรือแกนขวาง ดังนี้

$$E_{SMx} = SE_{TMy} \quad (3.11)$$

เมื่ออยู่ในรูปเวกเตอร์ จะได้

$$E_{SMx} = SX_m(I_1 - I_y) \quad (3.12)$$

$$E_{TCx} = -jX_mI_x \quad (3.13)$$

และจากภาพที่ 18 จะได้

$$E_{SMx} + E_{TCx} = I_xZ_2 \quad (3.14)$$

$$SX_m(I_1 - I_y) - jX_mI_x = I_xZ_2 \quad (3.15)$$

แต่ต้องคำนึงถึงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Speed Action ไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะจากการที่โรเตอร์ไปตัดผ่านฟลั๊กซ์ร่วมเท่านั้น แต่โรเตอร์ยังไปตัดผ่านฟลั๊กซ์รั่วด้วย ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้มีค่าเท่ากับ S เท่าของแรงดันตกคร่อมรีแอกแตนซ์รั่วที่ทำให้เกิดฟลั๊กซ์รั่วนี้ขึ้นมา โดยมีทิศทางเหมือนกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากฟลั๊กซ์ร่วม ดังนั้นสมการ (3.15) จะเป็น

$$SX_m(I_1 - I_y) - jX_mI_x - SI_yX_2 = I_xZ_2 \quad (3.16)$$

และสมการที่ 3 ได้จากแรงเคลื่อนไฟฟ้าในแนวแกน y หรือแกนหลัก ดังนี้

$$E_{TMy} = -jX_m(I_1 - I_y) \quad (3.17)$$

$$E_{SCy} = -SX_mI_x \quad (3.18)$$

จากภาพที่ 21 จะได้

$$E_{TMy} + E_{SCy} = I_y''Z_2 \quad (3.19)$$

$$-jX_m(I_1 - I_y) - SX_mI_x = I_y''Z_2 \quad (3.20)$$

หรือ

$$-jX_m(I_1 - I_y) - SX_mI_x = -I_yZ_2 \quad (3.21)$$

เมื่อคำนึงถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Speed Action โดยโรเตอร์ตัดผ่านฟลั๊กซ์รั่ว จะได้

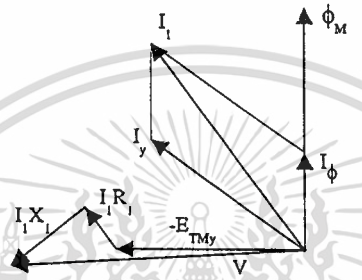
$$-jX_m(I_1 - I_y) - SI_x(X_m + X_2) = -I_yZ_2 \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

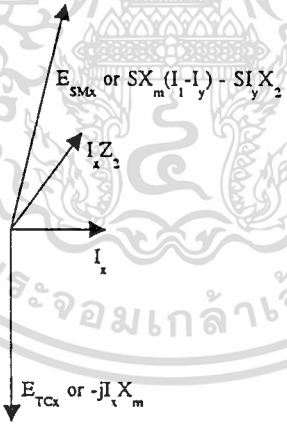
โดยจากความสัมพันธ์ทั้งหมดที่ได้ดังสมการ (3.10), (3.16)และ(3.22) สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพเวกเตอร์ได้ดังภาพที่ 23

ภาพที่ 23
แผนภาพเวกเตอร์แสดงความสัมพันธ์ทั้งหมดของฟลั๊กซ์แม่เหล็กกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้า

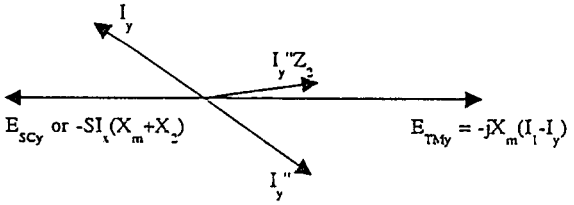
(a) สมการ (3.10)



(b) สมการ (3.16)



(c) สมการ (3.22)



การพิจารณาหาความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแส และอิมพิแดนซ์ที่ผ่านมานั้น ยังไม่มีการคำนึงถึงผลของความสูญเสียแกนเหล็กเข้ามาในการพิจารณา ซึ่งในการนำเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณานั้นความสูญเสียของแกนเหล็กนี้จะถูกแทนด้วยความต้านทาน (R_{fe}) ต่อขนานอยู่กับรีแอกแตนซ์กระตุ้น (Magnetizing Reactance ,X_m) และเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาส่วนที่ต่อขนานกันอยู่นี้ จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปการต่ออนุกรม ได้อิมพิแดนซ์ Z_0 ขึ้นมา และเมื่อแทน Z_0 นี้ไปในสมการ (3.10), (3.16) และ (3.22) จะได้สมการความสัมพันธ์ใหม่ที่คำนึงถึงผลของความสูญเสียแกนเหล็ก ดังนี้

สำหรับส่วนของสเตเตอร์

$$I_1(Z_1 + Z_0) + I_y(-Z_0) = V \tag{3.23}$$

สำหรับส่วนของแกนหลัก

$$I_1(-Z_0) + I_y(Z_0 + Z_2) + I_x[S(jZ_0 - X_2)] = 0 \tag{3.24}$$

สำหรับส่วนของแกนขวาง

$$I_1(-jSZ_0) + I_y[S(jZ_0 - X_2)] + I_x[(-Z_0 - Z_2)] = 0 \tag{3.25}$$

โดย $Z_0 = R_0 + jX_0 = 1 / [(1/R_{fe}) + (1/jX_m)]$ (3.26)

และกำหนดให้ V_{sm} เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Speed Action ทั้งหมดในแกน y หรือแกนหลัก และ V_{sc} เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Speed action ทั้งหมดในแกน x หรือแกนขวาง จะได้

$$V_{sm} = I_x[S(jZ_0 - X_2)] \tag{3.27}$$

$$V_{sc} = I_1(-jSZ_0) + I_y[S(jZ_0 - X_2)] \tag{3.28}$$

แทนค่าลงในสมการ (3.23) - (3.25) จะได้

$$I_1(Z_1 + Z_0) + I_y(-Z_0) = V \tag{3.29}$$

$$I_1(-Z_0) + I_y(Z_0 + Z_2) + V_{sm} = 0 \tag{3.30}$$

$$I_x[-(Z_0 + Z_2)] + V_{sc} = 0 \tag{3.31}$$

และเมื่อนำสมการความสัมพันธ์ทั้งสามสมการข้างต้นมาเขียนวงจรสมมูลย์ (Equivalent Circuit) จะได้ดังภาพที่ 24 ส่วนในการหาค่ากระแสสามารถใช้วิธีการได้หลายวิธี เช่น Cramer's Rule , Gauss Elimination Method เป็นต้น

ส่วนขั้นตอนในการนำค่ากระแสต่างๆที่คำนวณได้ ไปทำการคำนวณหาคุณลักษณะและสมรรถนะ (Characteristic and performance) ของมอเตอร์ขนาดเล็กขณะต่อเพียงขดลวดเดียว ณ ที่ความเร็วต่างๆ สามารถทำได้ดังนี้

1. คำนวณหากำลังไฟฟ้าอินพุต

$$P_{IN} = V^* RE(I_1) \quad W \tag{3.32}$$

2. คำนวณหาความสูญเสียในส่วนต่างๆ

2.1 ความสูญเสียของขดลวดในขดลวดหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$CL_{MAIN} = I_1^2 * R_1. \quad W \quad (3.33)$$

2.2 ความสูญเสียของตัวนำในโรเตอร์

$$CL_{ROTOR} = (I_y^2 + I_x^2) * R_2 \quad W \quad (3.34)$$

2.3 ความสูญเสียรวม

$$L_{TOTAL} = CL_{MAIN} + CL_{ROTOR} + \text{Core Loss} + \text{F\&W Loss} \quad W \quad (3.35)$$

3. คำนวณหากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต

$$P_{OUT} = P_{IN} - L_{TOTAL} \quad W \quad (3.36)$$

4. คำนวณหาแรงบิด

$$T = 112.7 * P_{OUT} / (S * N_S) \quad Oz\text{-}ft \quad (3.37)$$

5. คำนวณหาประสิทธิภาพ

$$\eta = (P_{OUT} / P_{IN}) * 100 \quad \% \quad (3.38)$$

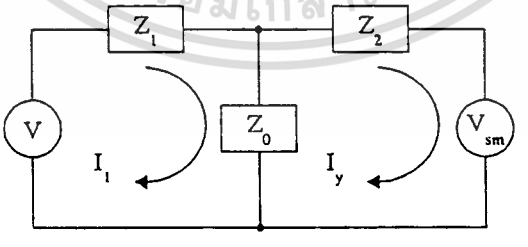
6. คำนวณหาตัวประกอบกำลัง

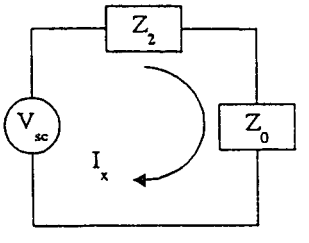
$$P.F. = P_{IN} / (V * I_1) \quad (3.39)$$

ภาพที่ 24

แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ขนาดเล็กขณะต่อเพียงขดลวดเดียว

โดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ขณะต่อหลายขดลวด (Combined Winding)</u>[6, 7]

ในสภาพการต่อขดลวดแบบนี้นั้น ที่สเตเตอร์ของมอเตอร์ขนาดเล็กจะมีขดลวดตั้งแต่สองขดลวดขึ้นไปพันอยู่ในช่องสล๊อต และอาจมีตัวเก็บประจุต่ออยู่ ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของมอเตอร์ขนาดเล็กดังที่กล่าวมาแล้วในตารางที่ 1 แต่เพื่อความสะดวกในการศึกษาทฤษฎีนี้ จึงสมมติสภาพการต่อขดลวดของมอเตอร์ขนาดเล็กแบบต่อตัวเก็บประจุถาวร ซึ่งขดลวดช่วยจะมีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมอยู่ตลอดการทำงาน ในขดลวดช่วย (Auxiliary หรือ Starting Winding) นี้จะถูกพันลงในช่องสล๊อตห่างจากขดลวดหลัก (Main Winding) เป็นมุม 90 องศา จึงเกิดแนวแกนสำหรับอ้างอิงขึ้นมาสองแกน คือ แกน y หรือแกนหลัก(Main axis) กับแกน x หรือแกนสตาร์ท (Start axis) และใช้อักษรห้อย S กับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับขดลวดช่วย และใช้ M กับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับขดลวดหลัก

โดยปกติแล้ว จำนวนรอบของขดลวดช่วยมีไม่เท่ากับจำนวนรอบของขดลวดหลัก ดังนั้นจึงเกิดอัตราส่วน a ขึ้นมา ในอัตราส่วน a นี้นำมาใช้ในกรณีที่ต้องการโอนย้ายตัวแปรระหว่างตัวแปรที่อ้างอิงแกน x หรือแกนสตาร์ท กับตัวแปรที่อ้างอิงแกน y หรือแกนหลัก

$$a = \frac{\text{จำนวนรอบประสิทธิผลของขดลวดช่วย}}{\text{จำนวนรอบประสิทธิผลของขดลวดหลัก}} \tag{3.40}$$

การนำทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางมาศึกษาสมการความสัมพันธ์ของมอเตอร์ขนาดเล็กขณะต่อหลายขดลวด สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. ในสมการความสัมพันธ์แรก จะได้มาจากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดหลัก มีค่าเท่ากับ แรงดันตกคร่อมอิมพิแดนซ์ของขดลวดหลักรวมกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาจากฟลั๊กซ์ร่วมของฟลั๊กซ์ในแนวแกนหลัก ซึ่งแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำนี้นำมาเป็นเวกเตอร์อ้างอิง และมีค่าเท่ากับ

$$E_M = I_{\phi M} Z_{OM} \tag{3.41}$$

โดย $I_{\phi M}$ = กระแสกระตุ้นของขดลวดหลัก

Z_{OM} = อิมพิแดนซ์กระตุ้นของขดลวดหลัก

$$= 1 / [(1/R_{fe}) + (1/jX_{mM})] \tag{3.42}$$

R_{fe} = ความต้านทานซึ่งแทนความสูญเสียแกนเหล็ก

X_{mM} = รีแอกแตนซ์กระตุ้นของขดลวดหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง Z_{OM} นี้เป็นอิมพิแดนซ์ซึ่งแปลงมาจากอิมพิแดนซ์กระตุ้นเดิมที่มี R_{fe} และ X_{mM} ขนานกันอยู่ โดย Z_{OM} จะแปลงส่วนที่ขนานกันอยู่นี้ให้อยู่ในรูปความต้านทานและรีแอกแตนซ์ที่อนุกรมกันอยู่เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา

2. กระแสซึ่งไหลเข้าขดลวดหลักจะได้มาจาก ผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านอิมพิแดนซ์กระตุ้น(Exciting Branch Current ,$I_{\phi M}$)กับกระแสในแกนหลักของโรเตอร์เมื่ออ้างอิงมายังสเตเตอร์ (I_y) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการ (3.43) และพิจารณาแผนภาพเวกเตอร์ได้จากภาพที่ 26

$$I_M = I_y + I_{\phi M} \quad \text{หรือ} \tag{3.43}$$

$$I_{\phi M} = I_M - I_y \tag{3.44}$$

นำสมการ (3.44) แทนในสมการ (3.41) จะได้

$$E_M = (I_M - I_y)Z_{OM} \tag{3.45}$$

สุดท้ายจะได้สมการตามที่อ้างอิงไว้ในข้อ 1.

$$V = Z_{OM}(I_M - I_y) + I_M Z_{1M} \tag{3.46}$$

โดยที่ Z_{1M} = อิมพิแดนซ์ของขดลวดหลัก = $R_{1M} + jX_{1M}$ (3.47)

ซึ่งเวกเตอร์สมการ (3.46) ที่ได้สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 25

3. สมการความสัมพันธ์ที่สอง ได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดช่วยมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันตกคร่อมอิมพิแดนซ์ของขดลวดช่วย,แรงดันตกคร่อมอิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาจากฟลั๊กซ์ร่วมของฟลั๊กซ์ในแนวแกนขวางหรือแกนสตาร์ท โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมีค่าเท่ากับ

$$E_S = I_{\phi S}Z_{OS} \tag{3.48}$$

ซึ่ง $I_{\phi S}$ = กระแสกระตุ้นของขดลวดช่วย

$$Z_{OS} = \text{อิมพิแดนซ์กระตุ้นของขดลวดช่วย} = a^2 Z_{OM} \tag{3.49}$$

4. กระแสทั้งหมดของขดลวดช่วย สามารถหาได้จากผลรวมของกระแสกระตุ้นของขดลวดช่วยกับกระแสในแกนสตาร์ทของโรเตอร์เมื่ออ้างอิงมายังสเตเตอร์ (I_x)

$$I_S = I_x + I_{\phi S} \quad \text{หรือ} \tag{3.50}$$

$$I_{\phi S} = I_S - I_x \tag{3.51}$$

นำสมการ (3.51) แทนในสมการ (3.48) จะได้

$$E_S = (I_S - I_x)Z_{OS} \tag{3.52}$$

สุดท้ายจะได้สมการ

$$V = Z_{OS}(I_S - I_x) + I_S(Z_{1S} + Z_C) \tag{3.53}$$

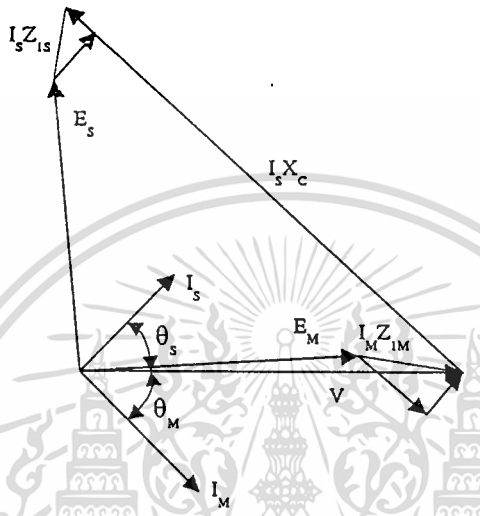
โดยที่ Z_{1S} = อิมพิแดนซ์ของขดลวดช่วย = $R_{1S} + jX_{1S}$ (3.54)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z_C = อิมพิแดนซ์ของตัวเก็บประจุ $= R_C - jX_C$ (3.55)

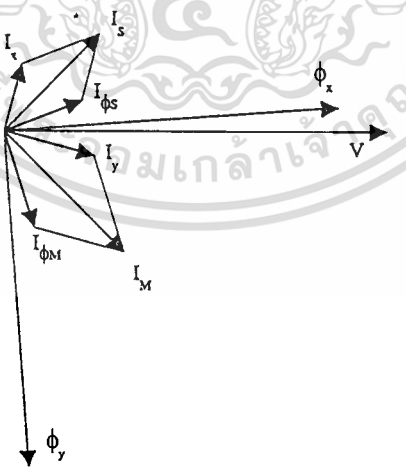
ภาพที่ 25

แสดงแผนภาพเวกเตอร์สมการความสัมพันธ์ของขดลวดหลักและขดลวดช่วย



ภาพที่ 26

แสดงแผนภาพเวกเตอร์ค่ากระแสต่างๆของขดลวดหลักและขดลวดช่วย



5. กระแสที่ไหลในแกน y หรือ แกนหลักของโรเตอร์เป็นผลมาจากแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 ค่าด้วยกัน คือ

5.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Transformer Action อันเนื่องมาจากฟลั๊กซ์แม่เหล็กแกนหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_{OM}(I_M - I_y) \tag{3.56}$$

5.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Speed Action (V_{SM}) ซึ่งได้มาจากตัวนำในโรเตอร์หมุนไปตัดผ่านฟลั๊กซ์แม่เหล็กในแกนสตาร์ท

$$jSZ_{OS}(I_S - I_x) + SI_xX_2 \tag{3.57}$$

เปลี่ยนสมการ (3.57) มาอ้างอิงแกน y หรือแกนหลัก

$$jS(Z_{OS}/a^2)(I_S - I_x)a + SaI_xX_2 \tag{3.58}$$

สุดท้าย จะได้ V_{SM} เท่ากับ

$$S[j(Z_{OS}/a)(I_S - I_x) + aI_xX_2] \tag{3.59}$$

และด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์ ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในข้อ 5.1 และ 5.2 กับแรงดันตกคร่อมอิมพิแดนซ์ของโรเตอร์ในแนวแกนหลัก เท่ากับศูนย์

$$Z_{OM}(I_M - I_y) + S[j(Z_{OS}/a)(I_S - I_x) + aI_xX_2] + I_y''Z_2 = 0 \tag{3.60}$$

หรือ

$$Z_{OM}(I_M - I_y) + V_{SM} - I_yZ_2 = 0 \tag{3.61}$$

ซึ่งสมการ (3.61) นี้เป็นสมการความสัมพันธ์ สมการที่ 3 และสามารถพิจารณาแผนภาพเวกเตอร์ในภาพที่ 27

6. ในแกน x หรือแกนสตาร์ทของโรเตอร์ เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 ค่าเช่นเดียวกับในแกนหลัก

6.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Transformer Action

$$Z_{OS}(I_S - I_x) \tag{3.62}$$

แปลงสมการ (3.62) ให้มาอ้างอิงแกนหลัก

$$(Z_{OS}/a)(I_S - I_x) \tag{3.63}$$

6.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Speed Action (V_{SC}) ซึ่งได้มาจากตัวนำในโรเตอร์หมุนไปตัดผ่านฟลั๊กซ์แม่เหล็กในแกนหลัก

$$-jSZ_{OM}(I_M - I_y) - SI_yX_2 \tag{3.64}$$

$$S[-jZ_{OM}(I_M - I_y) - I_yX_2] \tag{3.65}$$

และด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์ ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในข้อ 6.1 และ 6.2 กับแรงดันตกคร่อมอิมพิแดนซ์ของโรเตอร์ในแนวแกนสตาร์ท เท่ากับ 0

$$(Z_{OS}/a)(I_S - I_x) + S[-jZ_{OM}(I_M - I_y) - I_yX_2] + I_x''Z_2 = 0 \tag{3.66}$$

หรือ

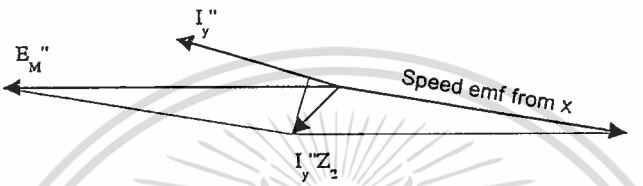
$$(Z_{OS}/a)(I_S - I_x) + V_{SC} - aI_xZ_2 = 0 \tag{3.67}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (3.67) เป็นสมการความสัมพันธ์สุดท้ายและสามารถพิจารณาแผนภาพเวกเตอร์ได้ดังภาพที่ 27

ภาพที่ 27
แสดงแผนภาพเวกเตอร์ของค่ากระแสต่างๆในโรเตอร์

(a) สมการ (3.61)



(b) สมการ (3.67)

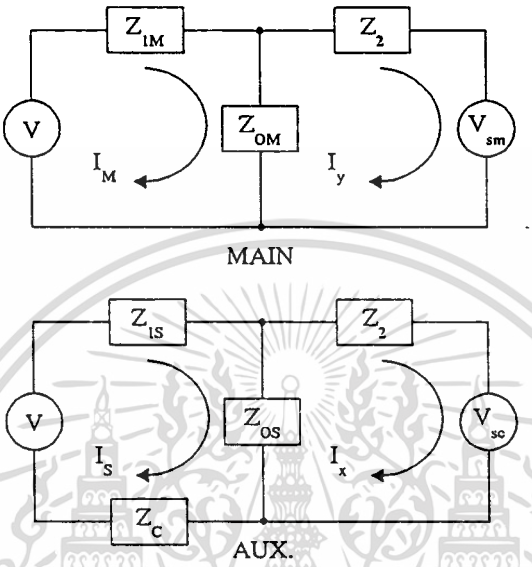
ถึงตอนนี้ได้สมการความสัมพันธ์ 4 สมการคือ สมการ (3.46), (3.53), (3.61) และ (3.67) ซึ่งตัวแปรค่ากระแสอยู่ 4 ค่าคือ I_M, I_S, I_y และ I_x ในการหาคำตอบสามารถหาได้โดยวิธีการทั่วๆไป ที่ใช้ในการหาคำตอบของสมการเชิงเส้น ส่วนภาพวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ขนาดเล็กเมื่อทำการพิจารณาขณะต่อหลายขดลวด แสดงดังภาพที่ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 28

แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ขนาดเล็กขณะต่อหลายขดลวด

โดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง



ส่วนขั้นตอนในการนำค่ากระแสต่างๆที่คำนวณได้ ไปทำการคำนวณหาคุณลักษณะและสมรรถนะ (Characteristic and performance) ของมอเตอร์ขนาดเล็กขณะต่อหลายขดลวด ณ ที่ความเร็วต่างๆ สามารถทำได้ดังนี้

1. คำนวณหากระแสอินพุตหรือกระแสไลน์

$$I_L = I_M + I_S \quad A \qquad (3.68)$$

2. คำนวณหาแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

$$E_C = I_S * Z_C \quad V \qquad (3.69)$$

3. คำนวณหากำลังไฟฟ้าอินพุต

$$P_{IN} = V^* [\, RE(I_M) + RE(I_S) \,] \quad W \qquad (3.70)$$

4. คำนวณหาความสูญเสียในส่วนต่างๆ

4.1 ความสูญเสียของขดลวดในขดลวดหลัก

$$CL_{MAIN} = I_M^{\,2} * R_{1M} \quad W \qquad (3.71)$$

4.2 ความสูญเสียของขดลวดในขดลวดช่วย

$$CL_{AUX} = I_S^{\,2} * (R_{1S} + R_C) \quad W \qquad (3.72)$$

4.3 ความสูญเสียของตัวนำในโรเตอร์

$$CL_{ROTOR} = (I_y^{\,2} + a^2 I_x^{\,2}) * R_2 \quad W \qquad (3.73)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ความสูญเสียรวม

$$L_{TOTAL} = CL_{MAIN} + CL_{AUX} + CL_{ROTOR} + \text{Core Loss} + \text{F\&W Loss} \quad W \quad (3.74)$$

5. คำนวณหากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต

$$P_{OUT} = P_{IN} - L_{TOTAL} \quad W \quad (3.75)$$

6. คำนวณหาแรงบิด

$$T = 112.7 * P_{OUT} / (S * N_S) \quad Oz\text{-}ft \quad (3.76)$$

7. คำนวณหาประสิทธิภาพ

$$\eta = (P_{OUT} / P_{IN}) * 100 \quad \% \quad (3.77)$$

8. คำนวณหาตัวประกอบกำลัง

$$P.F. = P_{IN} / (V * I_L) \quad (3.78)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนการทำงานของซอฟท์แวร์

ผังงานของซอฟท์แวร์

ผังงานหรือโฟล์วชาร์ท (Flowchart) การทำงานของซอฟท์แวร์แสดงได้ดังภาพที่ 29 และขั้นตอนการทำงานอธิบายได้ดังนี้

1. ขั้นตอนแรกซอฟท์แวร์รับข้อมูลอินพุตมาจากผู้ใช้ ซึ่งผู้ใช้เป็นผู้เลือกเองว่าจะนำข้อมูลอินพุตเข้ามาโดยวิธีใดวิธีหนึ่งจาก 3 วิธี คือ ผู้ใช้ใส่ข้อมูลเข้ามาเอง , ใช้ข้อมูลจากการออกแบบครั้งที่ผ่านมา หรือนำข้อมูลอินพุตมาจากแฟ้มข้อมูล (Data File) ที่ทำการเก็บบันทึกเอาไว้

2. เมื่อซอฟท์แวร์รับข้อมูลอินพุตแล้ว จะทำการตรวจสอบข้อมูลที่รับเข้ามา ซึ่งข้อมูลมีอยู่ 4 กลุ่มด้วยกันคือ รายละเอียดหลักทางไฟฟ้า, ข้อมูลแผ่นลามิเนท, รายละเอียดของโรเตอร์ และข้อมูลเกี่ยวกับขดลวด ซึ่งข้อมูล 2 กลุ่มหลังเป็นข้อเลือกที่ผู้ใช้ไม่ต้องใส่ข้อมูลก็ได้ โดยซอฟท์แวร์จะออกแบบเป็นค่าเริ่มต้นให้ต่อไป ส่วนข้อมูลรายละเอียดหลักทางไฟฟ้าและข้อมูลแผ่นลามิเนทเป็นข้อมูลที่บังคับผู้ใช้ต้องใส่เข้ามา

3. ซอฟท์แวร์ทำการออกแบบโรเตอร์ให้กับผู้ใช้ ถ้าในขั้นตอนที่ผ่านมาซอฟท์แวร์ตรวจสอบแล้วพบว่าผู้ใช้ไม่ได้ใส่ข้อมูลรายละเอียดของโรเตอร์มาเป็นข้อมูลอินพุต ซึ่งการออกแบบจะกล่าวในหัวข้อการออกแบบโรเตอร์

4. ขั้นตอนนี้เหมือนกับขั้นตอนที่ 3 แต่เป็นการออกแบบหารายละเอียดของขดลวด ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อการออกแบบขดลวด

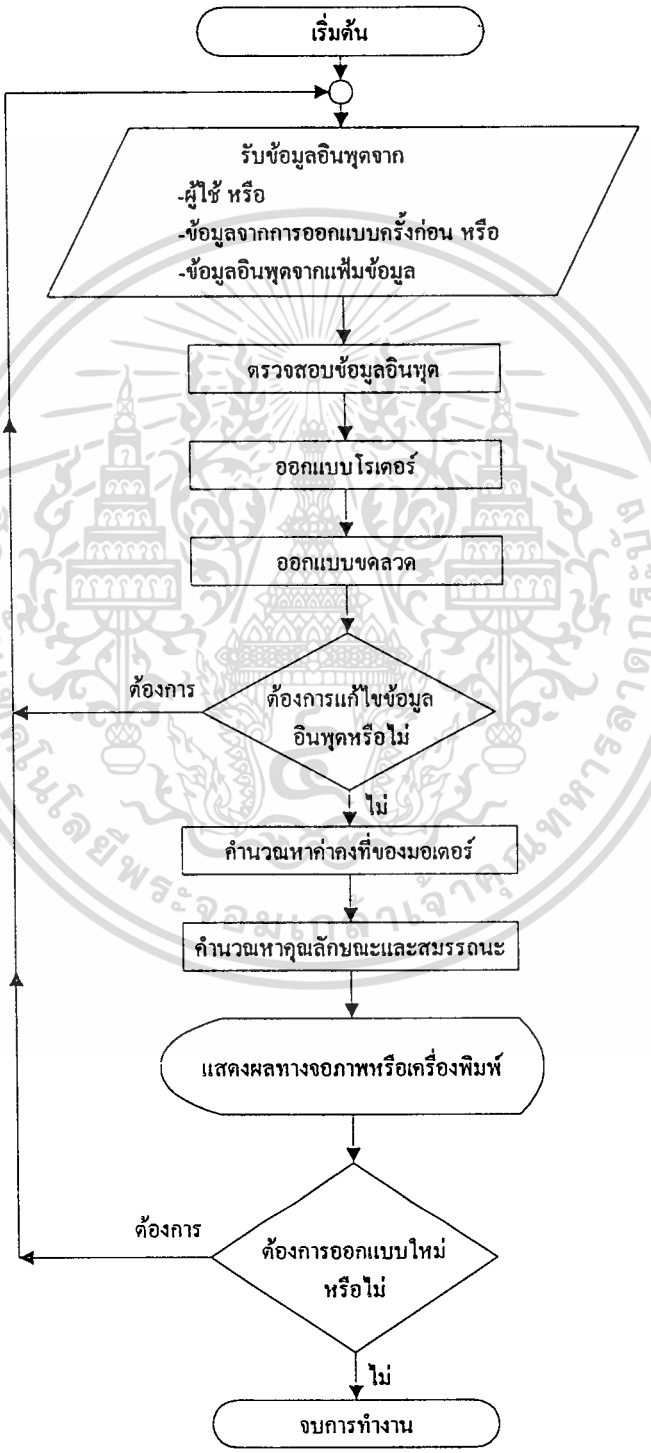
5. ขั้นตอนนี้เป็นการเลือกของผู้ใช้ว่า ต้องการแก้ไขข้อมูลอินพุตหรือไม่ถ้าต้องการซอฟท์แวร์จะกลับไปเริ่มขั้นตอนแรกเพื่อให้ผู้ใช้แก้ไข ถ้าไม่ต้องการซอฟท์แวร์จะทำงานในขั้นตอนต่อไป

6. คำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์ขนาดเล็กที่ทำการออกแบบไว้ เช่น ความต้านทานของสเตเตอร์และโรเตอร์ รีแอกแตนซ์ของขดลวดช่วย เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดการคำนวณอยู่ในหัวข้อการคำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 29

แสดงผังงานของซอฟท์แวร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. คำนวณหาค่าสมรรถนะและคุณลักษณะของมอเตอร์ โดยใช้ค่าคงที่ได้ในขั้นตอนที่ผ่านมา เช่น กำลังไฟฟ้าอินพุต แรงบิด เป็นต้น และรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อการคำนวณหาคุณลักษณะและสมรรถนะ

8. ซอฟท์แวร์ทำการแสดงผลการออกแบบและคำนวณทั้งหมดทางจอภาพหรือทางเครื่องพิมพ์ (Printer)

9. ขั้นตอนนี้ผู้ใช้ซอฟท์แวร์ต้องพิจารณาว่า ผลการออกแบบมอเตอร์ขนาดเล็กที่ได้ เป็นที่พอใจหรือไม่ ซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลอินพุตเพื่อเริ่มการออกแบบใหม่ได้ โดยการออกแบบจะวนรอบลักษณะนี้จนกระทั่งผู้ใช้พอใจ หรือไม่สามารถออกแบบที่ดีกว่าเดิมได้

นอกจากการทำงานในผังงานนี้แล้ว ซอฟท์แวร์สามารถออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนทและแผ่นโรเตอร์ลามิเนทได้ แต่เนื่องจากว่าการออกแบบแผ่นลามิเนทเป็นซอฟท์แวร์ย่อยๆและเรียกมาใช้ขณะใดก็ได้ จึงไม่บรรจุการออกแบบแผ่นลามิเนทลงในขั้นตอนของผังงาน ส่วนรายละเอียดของการออกแบบแผ่นลามิเนทอยู่ในหัวข้อการออกแบบแผ่นสเตเตอร์และโรเตอร์ลามิเนท

<u>การออกแบบโรเตอร์</u> [1, 2]

ในมอเตอร์ขนาดเล็กประเภทแยกเฟส (Split-phase Motor) และประเภทที่ใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Motor) โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) เพราะมีความแข็งแรงทนทาน ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor) โรเตอร์กรงกระรอกประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ แกนเหล็ก เป็นแผ่นโรเตอร์ลามิเนทมาวางซ้อนกัน เพื่อให้ได้ความหนาตามต้องการ , แกนเพลา และตัวนำโรเตอร์ที่ใช้อลูมิเนียมมาทำเป็นตัวนำ โดยในการผลิตอลูมิเนียมจะถูกหลอมละลายและฉีดเข้าสู่แกนเหล็ก เพื่อหล่อขึ้นรูปเป็นตัวนำโรเตอร์และวงแหวนลัดวงจร (End Rings) แสดงในภาพที่ 30

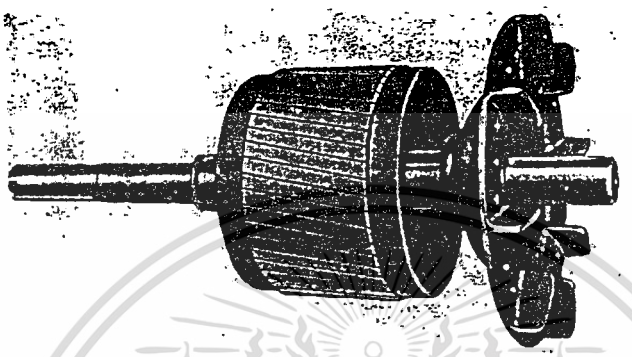
ส่วนการออกแบบโรเตอร์มีผังงานแสดงในภาพที่ 31 มีการคำนวณ 5 ขั้นตอนด้วยกัน โดยทุกขั้นตอนมีสิ่งที่เหมือนกัน คือ จะทำการคำนวณก็ต่อเมื่อผู้ใช้ไม่ได้ทำการใส่ค่านั้นมาเป็นข้อมูลอินพุต หมายถึงว่าผู้ใช้ต้องการนำค่าเหล่านี้มาเป็นค่าเริ่มต้นสำหรับการออกแบบนั่นเอง โดยแต่ละขั้นตอนย่อยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. GI ; ความยาวแกนเหล็ก (Length of Core Stack) หรือ ความหนาของแกนเหล็ก คำนวณได้ตามขั้นตอนดังนี้

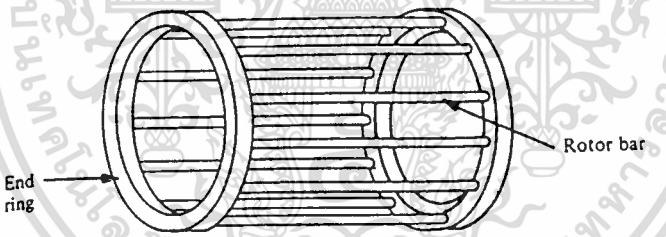
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 30
แสดงส่วนประกอบของโรเตอร์

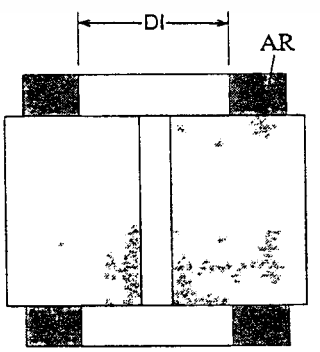
(ก)



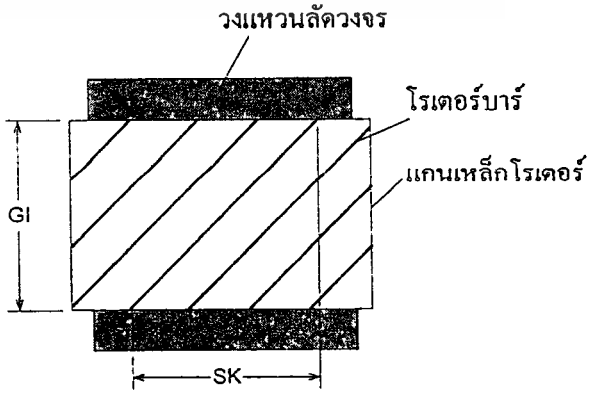
(ข)



(ค)



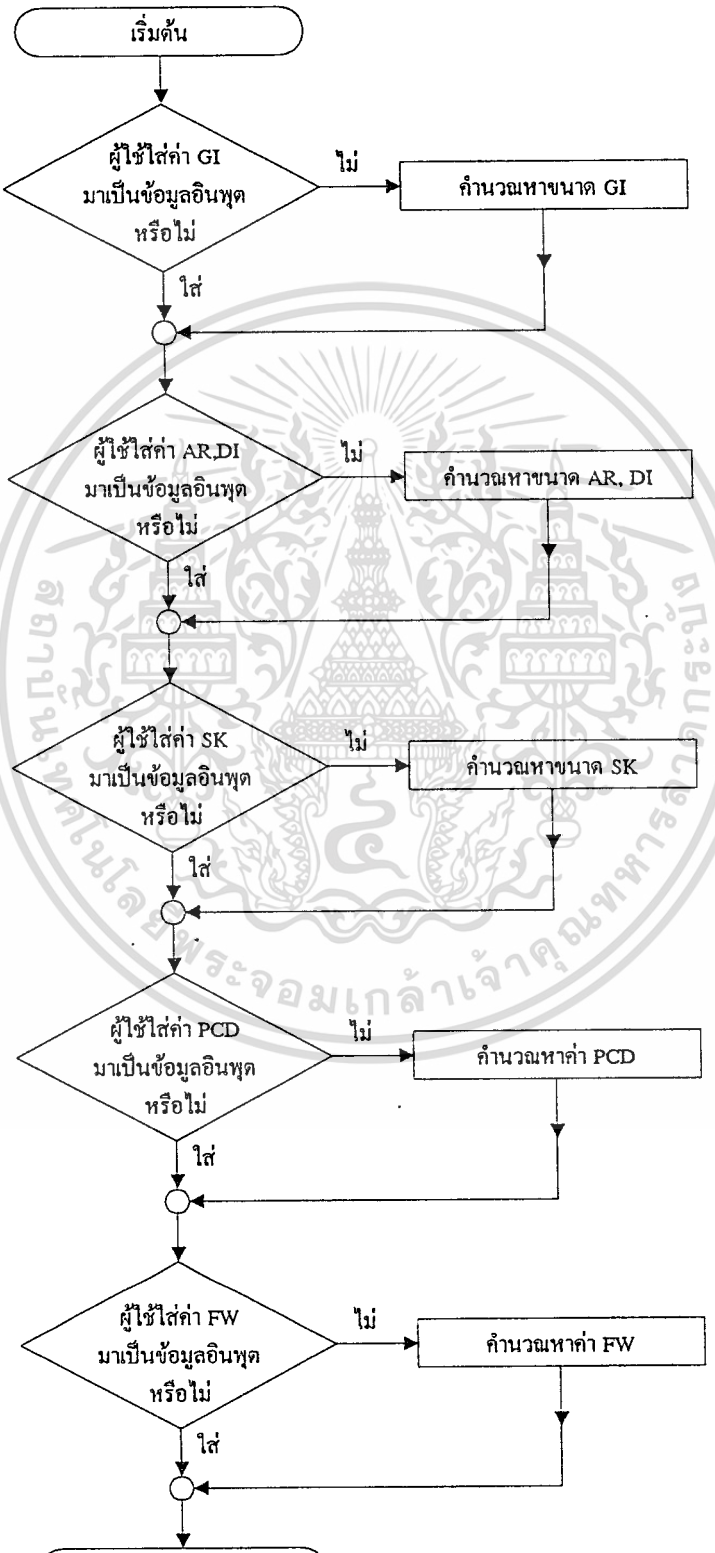
(ง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 31

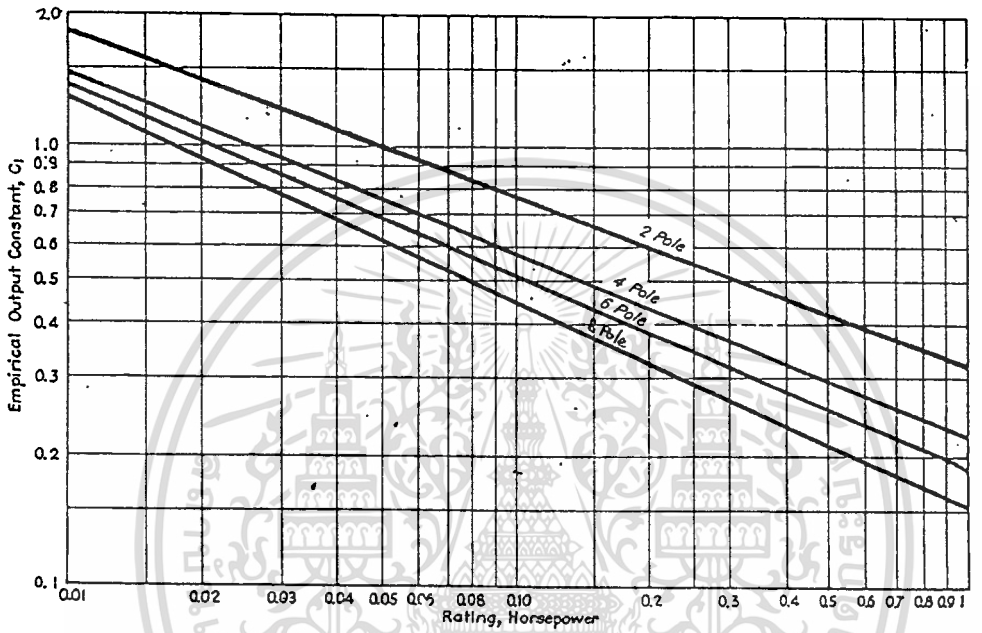
แสดงผังงานของการออกแบบโรเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 32

แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของเอาต์พุตกับพิกัดแรงม้า



1.1 หาค่า D^2L ; ปริมาตรแกนเหล็กของมอเตอร์ [8]

$$D^2L = 10588*HP*P*C_f*C_1/f \quad \text{ลูกบาศก์นิ้ว} \quad (4.1)$$

1.2 หาค่าความยาวแกนเหล็ก

$$GI = D^2L / D^2 \quad \text{นิ้ว} \quad (4.2)$$

2. AR ; พื้นที่หน้าตัดของวงแหวนลัดวงจร และ DI ; เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของวงแหวนลัดวงจร ซึ่งวงแหวนนี้ทำหน้าที่ลัดวงจรตัวนำในโรเตอร์

$$AR = AB*S2 / (P*\pi) \quad \text{ตารางนิ้ว} \quad (4.3)$$

$$DI = D2 - 2\sqrt{AR} \quad \text{นิ้ว} \quad (4.4)$$

3. SK ; ระยะห่างของการวางสล๊อตเฉียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SK = \pi*D2 / S1 \quad \text{นิ้ว} \quad (S1 < S2) \qquad (4.5)$$

$$= \pi*D2 / S2 \quad \text{นิ้ว} \quad (S1 \geq S2) \qquad (4.6)$$

4. PCD ; เปอร์เซนต์สภาพนำ(% Conductivity) ของตัวนำโรเตอร์และวงแหวนลัดวงจร ซอฟท์แวร์กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 50 ซึ่งเป็นเปอร์เซนต์สภาพนำของอลูมิเนียมเทียบกับสภาพนำของทองแดง

5. FW ; ความสูญเสียเนื่องจากแรงลมและแรงเสียดทาน (Friction and Windage Loss) โดยเป็นความสูญเสีย ณ ความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ขนาดเล็ก แต่ในมอเตอร์ขนาดเล็กนั้น ความสูญเสียเป็นผลมาจากแรงเสียดทานเป็นส่วนใหญ่

$$FW = D^3*f / (P*592) \quad \text{วัตต์} \qquad (4.7)$$

ส่วนความหมายของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบขั้นตอนนี้ มีดังนี้

AB = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำโรเตอร์ (ตารางนิ้ว)

C_f = ค่าคงที่ของความถี่

$$= 0.7695 + 0.003824*f \quad \text{ถ้า } f \leq 60 \qquad (4.8)$$

$$= 0.9118 + 0.00147*f \quad \text{ถ้า } f > 60 \qquad (4.9)$$

C_1 = ค่าคงที่ของเอาต์พุต (หาได้จากภาพที่ 32)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสเตเตอร์ (นิ้ว)

D2 = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของโรเตอร์ (นิ้ว)

f = ความถี่ (Hz)

HP = พิกัดแรงม้าของมอเตอร์ (แรงม้า)

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก (ขั้ว)

S1 = จำนวนช่องสล๊อตของสเตเตอร์ (ช่อง)

S2 = จำนวนช่องสล๊อตของโรเตอร์ (ช่อง)

<u>การออกแบบขดลวด</u> [1]

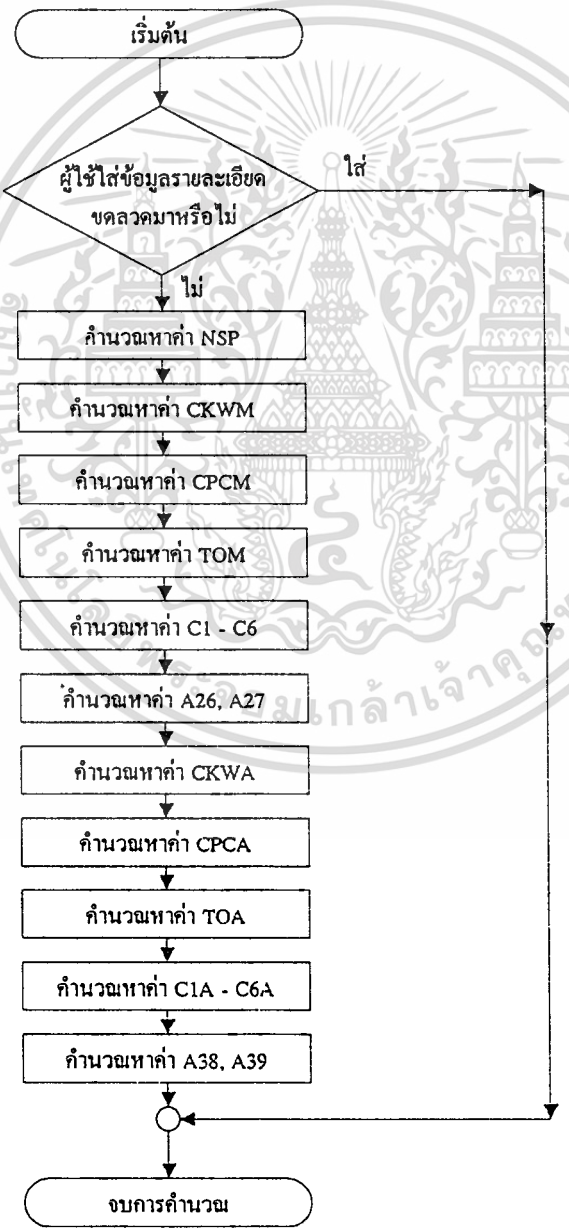
ขดลวดหลักและขดลวดช่วยที่พันอยู่ในสเตเตอร์ของมอเตอร์ขนาดเล็ก ปกติพันในรูปแบบของการพันแบบร่วมศูนย์กลาง (Concentric Winding) ดังภาพที่ 34 ส่วนในการออกแบบแสดงเป็นผังงานในภาพที่ 33 พบว่ามีส่วนที่เหมือนกันกับผังงานของการออกแบบโรเตอร์ คือ ผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถขอข้อมูลอินพุตเบื้องต้นจากซอฟท์แวร์ได้ด้วยการไม่ใส่ค่าเหล่านี้เข้าไป ซึ่งซอฟท์แวร์อาศัยค่าจำนวนช่องสล๊อตต่อขั้วแม่เหล็ก (Slot per Pole , NSP) ในการอ้างอิงข้อมูล และออกแบบขดลวด ข้อมูลเหล่านี้เก็บในรูปฟังก์ชันเพื่อความสะดวกในการเรียกใช้งาน แสดงไว้ในตารางที่ 2 และ 3

ภาพที่ 33

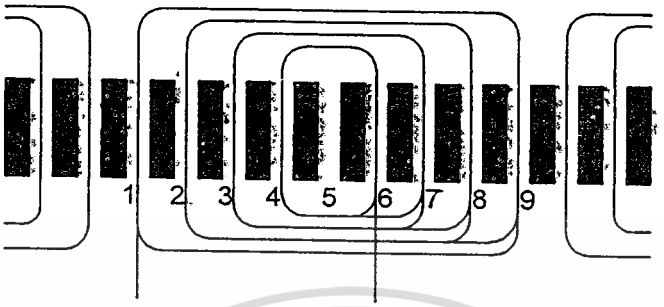
แสดงผังงานของการออกแบบขดลวด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 34

แสดงการพันขดลวดแบบร่วมศูนย์กลาง (Concentric Winding)



ตารางที่ 2

แสดงข้อมูลอ้างอิง เพื่อใช้ออกแบบขดลวดหลัก

NSP	TOM	การกระจายขดลวด						ตัวประกอบการกระจาย	จำนวนเทิร์นของขดลวด
		M1	M2	M3	M4	M5	M6		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	1	0	0	0	0	0	1	2
3	3	1	0	0	0	0	0	0.86603	2
4	5	1	1	0	0	0	0	0.85355	4
5	5	2	1	0	0	0	0	0.82997	6
6	6	1	1	0	0	0	0	0.83652	4
7	7	2	2	1	0	0	0	0.78948	10
8	8	2	2	1	0	0	0	0.83602	10
9	9	2	2	1	0	0	0	0.86889	10
10	10	1	1	1	0	0	0	0.86193	6
11	11	2	2	2	1	0	0	0.83586	14
12	12	2	2	2	1	1	0	0.80110	16
13	13	2	2	2	1	1	0	0.82866	16
14	14	2	2	2	1	1	0	0.85097	16
15	15	2	2	2	2	1	0	0.85525	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3

แสดงข้อมูลอ้างอิง เพื่อใช้ออกแบบขดลวดช่วย

NSP	TOA	การกระจายขดลวด						ตัวประกอบการกระจาย	จำนวนเทิร์นของขดลวด
		A1	A2	A3	A4	A5	A6		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	1	0	0	0	0	0	1	2
3	4	1	0	0	0	0	0	1	2
4	5	1	1	0	0	0	0	0.85355	4
5	6	1	1	0	0	0	0	0.90451	4
6	6	1	0	0	0	0	0	0.96593	2
7	8	1	1	0	0	0	0	0.95048	4
8	8	2	1	0	0	0	0	0.93101	6
9	10	1	2	1	0	0	0	0.91136	8
10	10	1	1	0	0	0	0	0.93935	4
11	12	1	2	1	0	0	0	0.94006	8
12	12	2	1	1	0	0	0	0.92503	8
13	14	1	2	1	1	0	0	0.91517	10
14	14	2	2	1	1	0	0	0.90484	12
15	16	1	2	2	1	0	0	0.93207	12

จากตารางที่ 2 และ 3 จะเป็นตารางแสดงข้อมูลอ้างอิงสำหรับใช้ในการออกแบบขดลวดหลักและขดลวดช่วยตามลำดับ โดยข้อมูลจะอ้างอิงตามจำนวนช่องสล็อตต่อจำนวนขั้วแม่เหล็ก(NSP) ส่วนค่าตัวแปรอื่นๆมีความหมายดังนี้

TOM หมายถึง ด้านนอกสุดของขดลวดใส่อยู่ในช่องสล็อตที่ 1 กับ TOM ยกตัวอย่างจากภาพที่ 34 ขดลวดจะมี TOM เท่ากับ 9 และมีระยะช่วง (Span) เท่ากับ TOM - 1 = 8 ช่องสล็อต

TOA มีความหมายเช่นเดียวกับ TOM แต่เป็นค่าสำหรับขดลวดช่วย

M1 - M6 หมายถึง ชุดของขดลวดย่อย โดยจะเริ่มจาก M1 เป็นขดลวดย่อยด้านนอกสุดและ M2, M3, M4, M5, M6 จะเป็นขดลวดย่อยด้านในถัดเข้ามา ยกตัวอย่างในภาพที่ 34 ขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อย M1 คือขดลวดย่อยที่อยู่ในช่องสล็อตที่ 1 กับ 9 ขดลวดย่อย M2 คือขดลวดย่อยที่อยู่ในช่องสล็อตที่ 2 กับ 8 เป็นต้น ส่วนตัวเลข 1 และ 2 ในตารางนั้น แสดงถึงจำนวนเท่าของจำนวนตัวนำที่จะถูกใส่เข้าไปในช่องสล็อตนั้นๆ เช่น ตัวอย่างขดลวดในภาพที่ 34 มีการกระจายขดลวดย่อย M1 M2 M3 M4 เป็น 2 2 1 1 ตามลำดับ ดังนั้นถ้า M1 มีจำนวนตัวนำ 80 เส้น ย่อมหมายความว่าขดลวดย่อย M2 M3 M4 จะมี 80 40 40 เส้นตามลำดับ เป็นต้น

A1 - A6 มีความหมายเช่นเดียวกับ M1 - M6 แต่เป็นค่าสำหรับขดลวดช่วย

ตัวประกอบการกระจาย หมายถึง ค่าตัวประกอบการกระจายของขดลวดแบบใดๆ

จำนวนเท่ารวมของขดลวด หมายถึง จำนวนเท่ารวมทั้งหมดในการกระจายของขดลวดแบบนั้นๆ เช่นจากตัวอย่างข้างต้นนั้น จะมีจำนวนเท่ารวมเท่ากับ (2+2+1+1)*2 = 12

ส่วนแต่ละขั้นตอนย่อยในการออกแบบขดลวด อธิบายได้ดังนี้

1. NSP ; จำนวนช่องสล็อตต่อขั้วแม่เหล็ก (Slots per Pole)

$$NSP = S1/P \quad \text{ช่อง} \tag{4.10}$$

2. CKWM ; จำนวนตัวนำประสิทธิผลของขดลวดหลัก หาได้โดยการสมมุติค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของซี่สล็อตสเตเตอร์มีค่า 90 Kline/ตารางนิ้ว ได้สมการดังนี้

$$CKWM = 761.8*V / (A107*f) \quad \text{เส้น} \tag{4.11}$$

3. CPCM ; จำนวนตัวนำสำหรับหนึ่งเท่า เป็นการคำนวณหาว่า หนึ่งเท่าของลวดตัวนำมีทั้งหมดกี่เส้น โดยใช้สมการดังนี้

$$CPCM = CKWM / (P * \text{ตัวประกอบการกระจาย} * \text{จำนวนเท่ารวมของขดลวด}) \quad \text{เส้น} \tag{4.12}$$

4. TOM ; ช่องสล็อตที่ใส่ขดลวดย่อย M1 โดยขดลวดย่อย M1 ถูกใส่อยู่ในช่องสล็อต TOM และ 1 โดยค่า TOM หาได้จากตารางที่ 2

5. C1 - C6 ; จำนวนตัวนำของแต่ละขดลวดย่อย หาได้จาก

$$Ci = CPCM * \text{จำนวนเท่าของขดลวดย่อย Mi (หาได้จากตารางที่ 2)} \quad \text{เส้น} \tag{4.13}$$

โดยที่ i = 1 ถึง 6

6. A27 ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวดตัวนำ ในการคำนวณจะอาศัยขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำ มีค่าประมาณ 65% ของพื้นที่หน้าตัดช่องสล็อตที่ใส่ขดลวดตัวนำนั้นอยู่ ในการหา A27 ต้องทำการคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจริง (XDIA) ก่อนดังนี้

$$XDIA = \sqrt{(0.65 * SWA) / CXX} \quad \text{นิ้ว} \tag{4.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า XDIA ที่คำนวณได้เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจริงของขดลวดตัวนำ และอาจจะไม่ตรงกับขนาดมาตรฐานของลวดตัวนำ ดังนั้นในการทำงานจริงของซอฟท์แวร์ จึงมีการสร้างฟังก์ชันเก็บขนาดมาตรฐานไว้ เพื่อนำค่า XDIA ไปเปรียบเทียบหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรวมฉนวน (A27) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่รวมฉนวน (A26) ที่ใกล้เคียงต่อไป

7. CKWA ; จำนวนรอบประสิทธิผลของขดลวดช่วย หาได้จากความสัมพันธ์ของ CKWM โดยค่า CKWA จะแยกออกไปสำหรับมอเตอร์แต่ละประเภท ดังนี้

สำหรับมอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ, แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่า, แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่าและมีขดลวดช่วยสองชุด

$$CKWA = 1.25*CKWM \quad (4.15)$$

สำหรับมอเตอร์แยกเฟส

$$CKWA = 0.6*CKWM \quad (4.16)$$

สำหรับมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร, แบบแยกเฟสและต่อตัวเก็บประจุขณะหมุน

$$CKWA = 1.7*CKWM \quad (4.17)$$

ส่วนในการคำนวณหาจำนวนตัวนำสำหรับหนึ่งเท่าของขดลวดช่วย (CPCA) , ช่องสล๊อตที่ใส่ขดลวด A1 (TOA) , จำนวนตัวนำของในแต่ละสล๊อต (C1A - C6A) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวดตัวนำ (A38,A39) สามารถคำนวณได้โดยวิธีเดียวกันกับขดลวดหลักในขั้นตอนที่ 3 - 6 แต่อ้างอิงข้อมูลในตารางที่ 3 แทน

ความหมายของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบขั้นตอนนี้ มีดังนี้

A107 = พื้นที่ของซี่สล๊อตสเตเตอร์ (ตารางนิ้ว)

$$= 0.93*GI*SI*T1 / P \quad (4.18)$$

CXX = จำนวนลวดตัวนำต่อหนึ่งช่องสล๊อต (เส้น)

$$= CPCM \quad \text{ถ้า NSP} = 2,3,4,6 \text{ และ } 10 \quad (4.19)$$

$$= 2*CPCM \quad \text{ถ้า NSP เป็นค่าอื่นๆ} \quad (4.20)$$

f = ความถี่ (Hz)

GI = ความยาวแกนเหล็ก (นิ้ว)

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก (ขั้ว)

SWA = พื้นที่หน้าตัดของช่องสล๊อต (ตารางนิ้ว)

S1 = จำนวนช่องสล๊อตของสเตเตอร์ (ช่อง)

T1 = ความกว้างของซี่สล๊อตสเตเตอร์ (นิ้ว)

V = แรงดัน (โวลท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์ขนาดเล็ก [1, 2, 9-10, 13-15]

จากผังงานของซอฟท์แวร์ (ภาพที่ 29) พบว่าขั้นตอนการคำนวณหาค่าคงที่ จะทำหลังจากที่ซอฟท์แวร์ทราบค่าอินพุตทั้งหมดแล้ว (โดยผู้ใช้กำหนดเองหรือซอฟท์แวร์คำนวณให้เป็นค่าเริ่มต้น) โดยผังงานของการคำนวณค่าคงที่แสดงในภาพที่ 35 และการคำนวณแต่ละขั้นตอนทำได้ดังนี้

1. ค่าคงที่ของขดลวด ซึ่งจะคำนวณแยกสำหรับขดลวดหลักและขดลวดช่วย แต่จะมีขั้นตอนในการคำนวณที่เหมือนกันดังต่อไปนี้

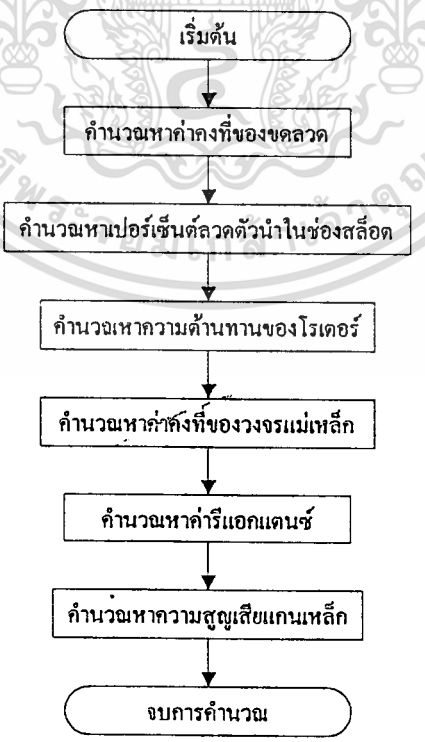
1.1 ACT ; ระยะห่างเฉลี่ยในแต่ละด้านของขดลวดย่อย

$$ACT = (C1T1 + C2T2 + C3T3 + ...)/(C1+C2+C3+ ...) \qquad (4.21)$$

1.2 LMC ; ความยาวเฉลี่ยของลวดตัวนำ

$$LMC = GI + [(\pi * DE * ACT * \gamma) / S1] + EX \quad \text{นิ้ว} \qquad (4.22)$$

ภาพที่ 35
แสดงผังงานการคำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์ขนาดเล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 CONDS ; จำนวนลวดตัวนำทั้งหมดของขดลวด

$$CONDS = 2*P*(C1+C2+C3+C4+C5+C6) / Q \quad \text{เส้น} \qquad (4.23)$$

1.4 W ; ตัวประกอบความยาวสำหรับการคำนวณความต้านทาน

$$W = (0.8832 \times 10^{-4}) * CONDS * LMC / PC \qquad (4.24)$$

1.5 CM1, CM2 ; ตัวประกอบพื้นที่สำหรับขดลวด 2 ชุด

$$CM1 = STD1*DBARE1^{2}*Q /SECTS \qquad (4.25)$$

$$CM2 = STD2*DBARE2^{2}*Q /SECTS \qquad (4.26)$$

1.6 COLD R ; ความต้านทานของขดลวดที่ 25 องศาเซลเซียส

$$COLD\ R = W / (CM1 + CM2) \quad \text{โอห์ม} \qquad (4.27)$$

1.7 WT1,WT2 ; น้ำหนักของขดลวดชุดที่หนึ่งและชุดที่ 2

$$WT1 = 0.265 * CONDS * LMC * CM1 \qquad (4.28)$$

$$WT2 = 0.265 * CONDS * LMC * CM2 \qquad (4.29)$$

1.8 R1 ; ความต้านทานของขดลวดที่อุณหภูมิใดๆ

$$R1 = COLD\ R * (259.5+TR) / 259.5 \quad \text{โอห์ม} \qquad (4.30)$$

1.9 CKW; จำนวนตัวนำประสิทธิผลของขดลวด

$$CKW = CONDS*KW \quad \text{เส้น} \qquad (4.31)$$

ขั้นตอนการคำนวณ 1.1 - 1.9 นี้ เมื่อนำไปคำนวณหาค่าคงที่ของขดลวดหลักและขดลวดช่วยแล้ว จะสามารถคำนวณหาอัตราส่วนจำนวนตัวนำประสิทธิผลระหว่างขดลวดหลักและขดลวดช่วยได้ดังนี้

$$\text{อัตราส่วน } a = \frac{\text{จำนวนตัวนำประสิทธิผลของขดลวดช่วย}}{\text{จำนวนตัวนำประสิทธิผลของขดลวดหลัก}} \qquad (4.32)$$

2. SF ; เปอร์เซนต์ลวดตัวนำในช่องสล๊อต เป็นอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำทั้งหมดต่อพื้นที่หน้าตัดของช่องสล๊อต และนำมาคิดเป็นเปอร์เซนต์ ได้ดังนี้

$$SF = 100 * AW/SWA \quad \% \qquad (4.33)$$

ค่า SF ที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์ขนาดเล็กมีค่าประมาณ 65%

3. R2 ; ความต้านทานของโรเตอร์ เป็นผลรวมของความต้านทานของตัวนำในโรเตอร์และความต้านทานของวงแหวนลัดวงจร ดังนั้นในการคำนวณจะหาความต้านทานในแต่ละส่วนก่อน แล้วจึงนำมารวมกันในภายหลัง มีขั้นตอนดังนี้

3.1 BAR R; ความต้านทานตัวนำในโรเตอร์

$$BAR\ R = K_{R2}*\sqrt{GI^{2} + SK^{2}} * 100 / (S2*AB*PCD) \quad \text{โอห์ม} \qquad (4.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 RNG R; ความต้านทานของวงแหวนลัดวงจร

$$RNG\ R = K_{R2}*63.7*DOR*K_{ring} / (AR*P^2*PCD) \quad \text{โอห์ม} \quad (4.35)$$

3.3 COLD R2; ความต้านทานของโรเตอร์ ที่ 25 องศาเซลเซียส

$$COLD\ R2 = BAR\ R + RNG\ R \quad \text{โอห์ม} \quad (4.36)$$

3.4 R2; ความต้านทานของโรเตอร์ที่อุณหภูมิใดๆ

$$R2 = COLD\ R2*(225+TR)/250 \quad \text{โอห์ม} \quad (4.37)$$

4. ค่าคงที่ของวงจรแม่เหล็ก ในมอเตอร์ขนาดเล็ก ทางเดินของฟลั๊กซ์แม่เหล็กจะถูกแบ่งเป็น 5 ส่วน คือ แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) , ซี่สล๊อตสเตเตอร์ (Stator Teeth) , แกนเหล็กโรเตอร์ (Rotor Core) , ซี่สล๊อตโรเตอร์ (Rotor Teeth) และช่องว่างอากาศ (Air Gap) ซึ่งขั้นตอนการคำนวณจะทำการหาแอมแปร์ - รอบ (Ampere-turns) ที่ต้องการในแต่ละส่วน , หาแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม และหาตัวประกอบการอิ่มตัว (Saturation Factor) ดังต่อไปนี้

4.1 พื้นที่หน้าตัดของทางเดินฟลั๊กซ์แม่เหล็ก

- แกนเหล็กสเตเตอร์

$$A106 = 2*A105*GI*DY1 \quad \text{ตารางนิ้ว} \quad (4.38)$$

- ซี่สล๊อตสเตเตอร์

$$A107 = A105*GI*S1*T1 / P \quad \text{ตารางนิ้ว} \quad (4.39)$$

- แกนเหล็กโรเตอร์

$$A108 = 2*A105*GI*DY2 \quad \text{ตารางนิ้ว} \quad (4.40)$$

- ซี่สล๊อตโรเตอร์

$$A109 = A105*GI*S2*T2 / P \quad \text{ตารางนิ้ว} \quad (4.41)$$

- ช่องว่างอากาศ (A111)

$$G = \text{ความยาวของช่องว่างอากาศ} = (D1 - D2)/2 \quad \text{นิ้ว} \quad (4.42)$$

$$A110 = \text{พิตช์ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pitch)} = \pi*(D2 + G) / P \quad \text{นิ้ว} \quad (4.43)$$

$$A111 = GI*A110 \quad \text{ตารางนิ้ว} \quad (4.44)$$

4.2 ความยาวของทางเดินฟลั๊กซ์แม่เหล็ก

- แกนเหล็กสเตเตอร์

$$A112 = \pi*(D - DY1) / (2*P) \quad \text{นิ้ว} \quad (4.45)$$

- ซี่สล๊อตสเตเตอร์

$$A113 = TL1 \quad \text{นิ้ว} \quad (4.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แกนเหล็กโรเตอร์

$$A114 = \pi*[D2 - (2*TL2) - DY2] / (2*P) \quad \text{นิ้ว} \quad (4.47)$$

- ซี่สล๊อตโรเตอร์

$$A115 = TL2 \quad \text{นิ้ว} \quad (4.48)$$

- ช่องว่างอากาศ (GE)

$$TP1 = \text{พิตช์ของซี่สล๊อตสเตเตอร์} = \pi*D1/S1 \quad \text{นิ้ว} \quad (4.49)$$

$$TP2 = \text{พิตช์ของซี่สล๊อตโรเตอร์} = \pi*D2/S2 \quad \text{นิ้ว} \quad (4.50)$$

AK1 = ตัวประกอบช่องว่างอากาศของสเตเตอร์

$$= \{TP1*[(5*G) + ES]\} / \{[TP1*((5*G) + ES)] - ES^2\} \quad (4.51)$$

AK2 = ตัวประกอบช่องว่างอากาศของโรเตอร์

$$= \{TP2*[(5*G) + ER]\} / \{[TP2*((5*G) + ER)] - ER^2\} \quad (4.52)$$

$$GE = G*AK1*AK2 \quad \text{นิ้ว} \quad (4.53)$$

4.3 ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็ก

- แกนเหล็กสเตเตอร์

$$BY1 = FLUX / A106 \quad \text{Klines/ตารางนิ้ว} \quad (4.54)$$

- ซี่สล๊อตสเตเตอร์

$$BT1 = FLUX * \pi/(2*A107) \quad \text{Klines/ตารางนิ้ว} \quad (4.55)$$

- แกนเหล็กโรเตอร์

$$BY2 = FLUX * AKV/A108 \quad \text{Klines/ตารางนิ้ว} \quad (4.56)$$

- ซี่สล๊อตโรเตอร์

$$BT2 = FLUX*AKV*\pi/(2*A109) \quad \text{Klines/ตารางนิ้ว} \quad (4.57)$$

- ช่องว่างอากาศ

$$BG = FLUX*AKV*\pi/(2*A111) \quad \text{Klines/ตารางนิ้ว} \quad (4.58)$$

4.4 แอมแปร์ - รอบ

- แกนเหล็กสเตเตอร์

$$ATY1 = HY1 * 2 * A112 / \pi \quad (4.59)$$

- ซี่สล๊อตสเตเตอร์

$$ATT1 = HT1 * TL1 \quad (4.60)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แกนเหล็กโรเตอร์

$$ATY2 = HY2 * 2 * A114 / \pi \quad (4.61)$$

- ซี่สล๊อตโรเตอร์

$$ATT2 = HT2 * TL2 \quad (4.62)$$

- ช่องว่างอากาศ

$$ATG = 313 * GE * BG \quad (4.63)$$

4.5 แอมแปร์ - รอบรวมของวงจรแม่เหล็ก

$$AT = ATY1 + ATT1 + ATY2 + ATT2 + ATG \quad (4.64)$$

4.6 ตัวประกอบการอิ่มตัว

$$SFM = AT / ATG \quad (4.65)$$

5. รีแอกแตนซ์ โดยคำนวณหารีแอกแตนซ์ร่วม (Mutual Reactance) และรีแอกแตนซ์รั่ว (Leakage Reactance)ของมอเตอร์ ซึ่งรีแอกแตนซ์รั่วแบ่งออกเป็น 5 ส่วนประกอบ คือ รีแอกแตนซ์รั่วช่องสล๊อต (Slot Leakage Reactance) , รีแอกแตนซ์รั่วซิกแซก (Zig-zag Leakage Reactance) , รีแอกแตนซ์รั่วส่วนปลาย (End Leakage Reactance) , รีแอกแตนซ์รั่วสายพาน (Belt Leakage Reactance) และรีแอกแตนซ์รั่วสล๊อตเฉียง (Skew Leakage Reactance) โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.1 AKZZ ; ค่าคงที่ซิกแซก

T10 = ระยะตามแนวเส้นรอบวงของซี่สล๊อตสเตเตอร์

$$= TP1 - ES \quad \text{นิ้ว} \quad (4.66)$$

T20 = ระยะตามแนวเส้นรอบวงของซี่สล๊อตโรเตอร์

$$= TP2 - ER \quad \text{นิ้ว} \quad (4.67)$$

$$AKZZ = (T10 + T20)^2 / [4*(TP1+TP2)] \quad (4.68)$$

5.2 AKB ; ค่าคงที่สายพาน

$$AKB = 0.6 + [(20*P) / (S1+S2)] \quad (4.69)$$

5.3 SKANG ; มุมสล๊อตเฉียง

$$SKANG = SK*P*180 / (\pi*D2) \quad \text{องศาไฟฟ้า} \quad (4.70)$$

5.4 CXM ; ตัวประกอบสำหรับการกระจายของขดลวดหลัก

$$CXM = [(C1^2+C2^2+C3^2+...)*S1] / [(C1+C2+C3+...)^2*KW^2*4*P] \quad (4.71)$$

5.5 CSK ; ตัวประกอบสำหรับการคำนวณหารีแอกแตนซ์รั่วสล๊อตเฉียง

$$CSK = [Sin(SKANG*\pi/360)*360] / (\pi*SKANG) \quad (4.72)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 AKM ; ตัวประกอบสำหรับความนำแม่เหล็ก

$$AKM = A111 / (GE*SFM*P) \quad (4.73)$$

5.7 AKX ; ตัวประกอบจำนวนรอบ

$$AKX = 2*\pi*f*CKWM^{2}/(1x10^{5}) \quad (4.74)$$

5.8 PSLOT ; ความนำแม่เหล็กรั่วช่องสล๊อตของสเตเตอร์

$$PSLOT = 6.38*GI*CXM*(FKS1A+FKS1W)/S1 \quad (4.75)$$

5.9 SSLOT ; ความนำแม่เหล็กรั่วช่องสล๊อตของโรเตอร์

$$SSLOT = 6.38*GI*(FKS2W+FKS2A)/S2 \quad (4.76)$$

5.10 ZIGZAG ; ความนำแม่เหล็กรั่วซิกแซก

$$ZIGZAG = 2.13*GI*AKZZ/(S1*G) \quad (4.77)$$

5.11 ENP ; ความนำแม่เหล็กรั่วส่วนปลาย

$$ENP = \pi*DE*ACTM/(S1*P) \quad (4.78)$$

5.12 BELT ; ความนำแม่เหล็กรั่วสายพาน

$$BELT = 0.00236 * AKM * AKB \quad (4.79)$$

5.13 SKEW ; ความนำแม่เหล็กรั่วสล็อตเฉียง

$$SKEW = 1.2936*AKM*(1 - CSK) \quad (4.80)$$

5.14 XPS ; รีแอกแตนซ์รั่วช่องสล๊อตของสเตเตอร์

$$XPS = AKX * PSLOT \quad \text{โอห์ม} \quad (4.81)$$

5.15 XSS ; รีแอกแตนซ์รั่วช่องสล๊อตของโรเตอร์

$$XSS = AKX * SSLOT \quad \text{โอห์ม} \quad (4.82)$$

5.16 XND ; รีแอกแตนซ์รั่วส่วนปลาย

$$XND = AKX * ENP \quad \text{โอห์ม} \quad (4.83)$$

5.17 XSK ; รีแอกแตนซ์รั่วสล๊อตเฉียง

$$XSK = AKX * SKEW \quad \text{โอห์ม} \quad (4.84)$$

5.18 XZZ ; รีแอกแตนซ์รั่วซิกแซก

$$XZZ = AKX * ZIGZAG \quad \text{โอห์ม} \quad (4.85)$$

5.19 XBL ; รีแอกแตนซ์รั่วสายพาน

$$XBL = AKX * BELT \quad \text{โอห์ม} \quad (4.86)$$

5.20 GAPL ; ตัวประกอบรีแอกแตนซ์รั่วช่องว่างอากาศ

$$GAPL = (BELT + ZIGZAG +SKEW)/2 \quad (4.87)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.21 X1 ; รีแอกแตนซ์รั่วของขดลวดหลัก

$$X1 = AKX*(PSLOT+ENP+GAPL) \quad \text{โอห์ม} \quad (4.88)$$

5.22 X2 ; รีแอกแตนซ์รั่วของโรเตอร์เมื่ออ้างอิงขดลวดหลัก

$$X2 = AKX*(SSLOT+GAPL) \quad \text{โอห์ม} \quad (4.89)$$

5.23 XM ; รีแอกแตนซ์กระตุ้นของขดลวดหลัก

$$XM = AKX*0.6468*AKM*CSK \quad \text{โอห์ม} \quad (4.90)$$

5.24 X1A ; รีแอกแตนซ์รั่วของขดลวดช่วย

$$X1A = (\text{อัตราส่วน a})^2 *X1*(KWA/KWM)^2 \quad \text{โอห์ม} \quad (4.91)$$

6. ความสูญเสียแกนเหล็ก มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

6.1 FCF ; ตัวประกอบสำหรับแก้ไขความถี่

$$FCF = [0.3*(f/50)] + [0.7*(f/50)^2] \quad (4.92)$$

6.2 A150 ; ปริมาตรของแกนเหล็กสเตเตอร์

$$A150 = A106*A112*P \quad \text{ลูกบาศก์นิ้ว} \quad (4.93)$$

6.3 A151 ; ปริมาตรของซี่สล๊อตสเตเตอร์

$$A151 = A107*A113*P \quad \text{ลูกบาศก์นิ้ว} \quad (4.94)$$

6.4 A155A ; ความสูญเสียต่อปริมาตรของแกนเหล็กสเตเตอร์

$$A155A = W*FCF \quad \text{วัตต์/ลูกบาศก์นิ้ว} \quad (4.95)$$

6.5 A155 ; ความสูญเสียของแกนเหล็กสเตเตอร์

$$A155 = A155A*A150 \quad \text{วัตต์} \quad (4.96)$$

6.6 A156A ; ความสูญเสียต่อปริมาตรของซี่สล๊อตสเตเตอร์

$$A156A = W*FCF \quad \text{วัตต์/ลูกบาศก์นิ้ว} \quad (4.97)$$

6.7 A156 ; ความสูญเสียของซี่สล๊อตสเตเตอร์

$$A156 = A156A*A151 \quad \text{วัตต์} \quad (4.98)$$

6.8 A158 ; ความสูญเสียเนื่องจากพื้นผิว

$$A158 = (1.85 \times 10^{-8})*BG^{2.3}*(f/P)^{1.55}*D1^{2.05}*S1^{0.5}*(ES/G)^{1.22}*GI \quad \text{วัตต์} \quad (4.99)$$

6.9 FE ; ความสูญเสียแกนเหล็กรวม

$$FE = A155+A156+A158 \quad \text{วัตต์} \quad (4.100)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความสูญเสียแกนเหล็กรวมที่คำนวณได้ในขั้นตอน 6.9 นี้ จะถูกนำมาใช้เพื่อหาความต้านทานที่แทนความสูญเสียแกนเหล็ก(R_{fe}) ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณหาคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ จากหลักการของ A.F.Puchstein[6] นั้นจะแบ่งความสูญเสียแกนเหล็กรวมออกเป็น 2 ส่วน คือความสูญเสียแกนเหล็กในแนวแกนหลัก (Main-axis Core Loss,FEM) และความสูญเสียแกนเหล็กในแนวแกนขวาง(Cross-axis Core Loss,FEC) โดย FEM มีค่าประมาณ 55% และ FEC ประมาณ 45% ของความสูญเสียแกนเหล็กรวม ซึ่ง FEM เป็นส่วนที่นำไปรวมในสเตเตอร์ในรูปของความต้านทานที่ต่อขนานอยู่กับรีแอกแตนซ์กระตุ้น (Mangnetizing Reactance) ส่วน FEC นั้นเป็นส่วนที่นำไปรวมในโรเตอร์ โดย R_{fe} หาได้ดังนี้

$$R_{fe} = E^2 / FEM \quad \text{โอห์ม} \qquad (4.101)$$

ส่วนความหมายของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าคงที่ มีดังนี้

AB = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำในโรเตอร์ (ตารางนิ้ว)

ACTM = ระยะห่างเฉลี่ยในแต่ละด้านของขดลวดย่อยในขดลวดหลัก

AKV = ตัวประกอบสำหรับแรงดันตกคร่อม เนื่องจากรีแอกแตนซ์รั่วของขดลวดหลัก

AR = พื้นที่หน้าตัดของวงแหวนลัดวงจร (ตารางนิ้ว)

AW = พื้นที่หน้าตัดรวมของตัวนำในช่องสล๊อต (ตารางนิ้ว)

A105 = ตัวประกอบการเคลือบฉนวนบนแผ่นเหล็ก

A117 = ตัวประกอบสำหรับแรงดันตกคร่อม เนื่องจากความต้านทานของขดลวดหลัก

Ci = จำนวนตัวนำของขดลวดย่อย i ; i = 1 - 6 (เส้น)

CKWM = จำนวนตัวนำประสิทธิผลของขดลวดหลัก (เส้น)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสเตเตอร์ (นิ้ว)

DBARE1, DBARE2 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวดตัวนำในขดลวดชุดแรกและชุดที่ 2 ตามลำดับ (นิ้ว)

DE = เส้นผ่าศูนย์กลาง ณ จุดกึ่งกลางของช่องสล๊อตของสเตเตอร์ (นิ้ว)

DI = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของวงแหวนลัดวงจร (นิ้ว)

DOR = เส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ที่จุดกึ่งกลางของตัวนำ (นิ้ว)

DY1 = ความลึกของโครงสเตเตอร์ (Stator Yoke) (นิ้ว)

DY2 = ความลึกของโครงโรเตอร์ (Rotor Yoke) (นิ้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D1 = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของสเตเตอร์ (นิ้ว)

D2 = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของโรเตอร์ (นิ้ว)

E = แรงดันที่ตกคร่อม r_{fe} ในวงจรสมมูลย์ (โวลท์)

ER = ความกว้างของปากช่องสล๊อตโรเตอร์ (นิ้ว)

ES = ความกว้างของปากช่องสล๊อตสเตเตอร์ (นิ้ว)

EX = ความยาวของขดลวดส่วนที่ยื่นเกินออกมาจากแกนเหล็ก (นิ้ว)

f = ความถี่พิกัด (Hz)

FKS1A = ค่าคงที่ช่องสล๊อตของสเตเตอร์ส่วนที่เป็นอากาศ

FKS1W = ค่าคงที่ช่องสล๊อตของสเตเตอร์ส่วนที่เป็นขดลวด

FKS2A = ค่าคงที่ช่องสล๊อตของโรเตอร์ส่วนที่เป็นอากาศ

FKS2W = ค่าคงที่ช่องสล๊อตของโรเตอร์ส่วนที่เป็นขดลวด

FLUX = ฟลั๊กซ์แม่เหล็กต่อขั้วแม่เหล็ก = 45000*V*A117 / (f*CKWM)

Klines/ตารางนิ้ว (4.102)

GI = ความยาวแกนเหล็ก (นิ้ว)

HY1, HT1, HY2, HT2 = แอมแปร์ - รอบต่อนิ้วของแต่ละส่วนทางเดินฟลั๊กซ์แม่เหล็ก ซึ่งจะได้จากกราฟคุณสมบัติของแผ่นเหล็กผสมซิลิกอน เกรด H60 หนา 0.5 ม.ม.

K_{ring} = ตัวประกอบแก้ไขค่าความต้านทาน สำหรับวงแหวนลัดวงจรที่มีขนาดกว้าง

$$= (P/2) * [1-(DI/DOR)] * \{[1+(DI/DOR)^{P}] / [1-(DI/DOR)^{P}]\} \quad (4.103)$$

K_{R2} = ตัวประกอบในการความต้านทานโรเตอร์

$$= 138.6 * CKWM^{2} / (I^{2} \times 10^{8}) \quad (4.104)$$

KW = ตัวประคอ์บการกระจายของขดลวด

KWA = ตัวประกอบการกระจายของขดลวดช่วย

KWM = ตัวประกอบการกระจายของขดลวดหลัก

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก (ขั้ว)

PC = เปอร์เซนต์สภาพนำของขดลวด (%)

PCD = เปอร์เซนต์สภาพนำของตัวนำ (%)

Q = จำนวนขดลวดที่ต่อขนานกันอยู่ (ชุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SECTS = จำนวนชุดของขดลวด (ชุด)

SK = ระยะห่างของการวางสล๊อตเฉียง (นิ้ว)

STD1, STD2 = จำนวนเกลียวของขดลวดตัวนำในขดลวดชุดแรกและชุดที่ 2

SWA = พื้นที่หน้าตัดของช่องสล๊อต (ตารางนิ้ว)

S1 = จำนวนช่องสล๊อตของสเตเตอร์ (ช่อง)

S2 = จำนวนช่องสล๊อตของโรเตอร์ (ช่อง)

Ti = ระยะห่างของด้านทั้งสองของขดลวดย่อย i (ช่อง)

TL1 = ความยาวประสิทธิผลของซี่สล๊อตสเตเตอร์ (นิ้ว)

TL2 = ความยาวประสิทธิผลของซี่สล๊อตโรเตอร์ (นิ้ว)

TR = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสำหรับการคำนวณความต้านทาน ($^{\circ}C$)

T1 = ความกว้างประสิทธิผลของซี่สล๊อตสเตเตอร์ (นิ้ว)

T2 = ความกว้างประสิทธิผลของซี่สล๊อตโรเตอร์ (นิ้ว)

V = แรงดันพิกัด (โวลท์)

W = ความสูญเสียของแกนเหล็ก ซึ่งได้จากกราฟคุณสมบัติของแผ่นเหล็กผสมซิลิกอน เกรด H60 หนา 0.5 ม.ม.

γ = ค่าคงที่สำหรับความยาวเฉลี่ยของลวดตัวนำ

= 1.3 สำหรับมอเตอร์ 2 ขั้วแม่เหล็ก (4.105)

= 1.5 สำหรับมอเตอร์ 4 ขั้วแม่เหล็ก (4.106)

= 1.7 สำหรับมอเตอร์ที่มี 6 ขั้วแม่เหล็กขึ้นไป (4.107)

<u>การคำนวณหาคุณลักษณะและสมรรถนะ</u> [1, 2, 6-7]

ดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ว่า มอเตอร์ขนาดเล็กทั้ง 6 ชนิด มีสภาพการต่อขดลวด ณ ความเร็วต่างๆ และการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง แบ่งเป็น 2 สภาพ คือ ขณะมีการต่อเพียงขดลวดเดียว (Single Winding) และขณะมีการต่อหลายขดลวด (Combined-winding) ดังตารางที่ 1 โดยซอฟท์แวร์อาศัยความสัมพันธ์นี้ทำการสร้างซับรูทีน (Sub Routine) ชื่อว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SNGWDG และ CBDWDG เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ขนาดเล็ก ณ ความเร็ว S ใดๆ ขณะมีการต่อเพียงขดลวดเดียวและต่อหลายขดลวดตามลำดับ ซึ่งการนำซับรูทีนทั้งสองไปใช้ในแต่ละสภาวะของมอเตอร์ขนาดเล็กทั้ง 6 ชนิดนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4

แสดงการใช้ SNGWDG และ CBDWDG ในแต่ละสภาวะความเร็ว

ประเภทมอเตอร์ขนาดเล็ก	สภาวะ	ซับรูทีนที่ใช้	
		SNGWDG	CBDWDG
Split - phase Motor	เริ่มหมุน		×
	ตอนหมุน	×	
Capacitor - start Motor	เริ่มหมุน		×
	ตอนหมุน	×	
Permanent - split Capacitor Motor	เริ่มหมุน		×
	ตอนหมุน		×
Two - value Capacitor Motor	เริ่มหมุน		×
	ตอนหมุน		×
Split - phase Capacitor Motor	เริ่มหมุน		×
	ตอนหมุน		×
Two - value, Dual aux. Wdg., Capacitor Motor	เริ่มหมุน		×
	ตอนหมุน		×

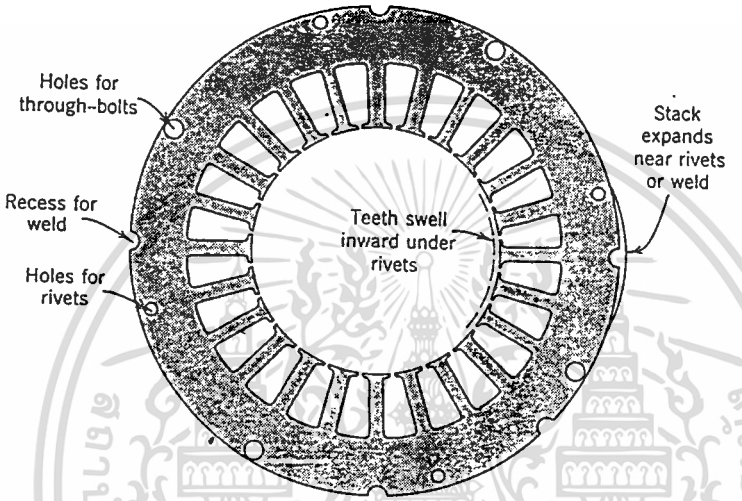
ซึ่งซับรูทีน SNGWDG และCBDWDG นี้ทำให้การคำนวณหาสมรรถนะขณะรับโหลดที่ 10,50,100,150 เปอร์เซนต์ของโหลดแต่ละพิกัด และคำนวณหาสมรรถนะที่ความเร็วต่างๆทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท [1, 2, 13]

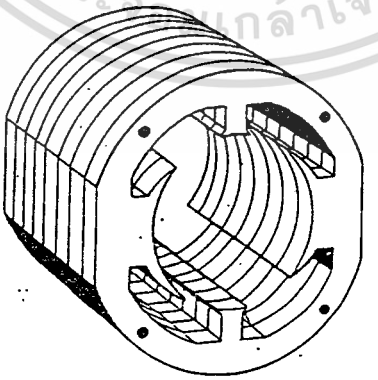
ภาพที่ 36

.แสดงแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท



ภาพที่ 37

แสดงแกนเหล็กสเตเตอร์



แผ่นสเตเตอร์ลามิเนทเป็นแผ่นเหล็กบาง (ในประเทศไทย ผู้ผลิตส่วนใหญ่ใช้ความหนา ตามมาตราฐานประเทศญี่ปุ่น 0.5 ม.ม. เกรด H60) ที่นำมาเรียงซ้อนกันเป็นแกนเหล็กสเตเตอร์ ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

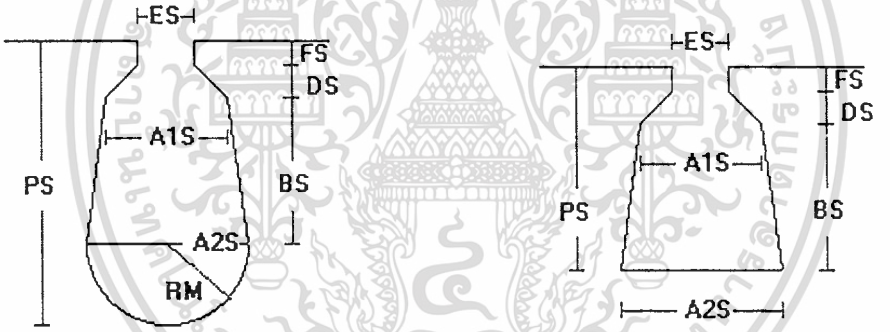
ภาพที่ 36 และ 37 แผ่นสเตเตอร์ลามิเนทเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมาก เพราะเป็นทั้งทางเดินของฟลั๊กซ์แม่เหล็กและยังเป็นส่วนที่รองรับขดลวดของมอเตอร์อีกด้วย ดังนั้นค่าคงที่ต่างๆที่ได้ จึงมีผลโดยตรงต่อคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์

ในการออกแบบของซอฟท์แวร์นั้น จะอ้างอิงแบบของช่องสล๊อต 2 แบบ คือ แบบก้นสล๊อตกลม (Round-bottom Slots) และแบบก้นสล๊อตแบน (Flat-bottom Slots) ดังภาพที่ 38 ซึ่งแสดงรูปแบบของช่องสล๊อตพร้อมตัวแปรแทนขนาดในส่วนต่างๆของช่องสล๊อต ส่วนข้อมูลอินพุตของซอฟท์แวร์ที่ต้องใช้สำหรับการคำนวณนั้นสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ดังนี้

ภาพที่ 38

แสดงรูปแบบของช่องสล๊อตสเตเตอร์

(ก) แบบก้นสล็อตกลม (ข) แบบก้นสล็อตแบน



ตารางที่ 5

แสดงตารางจำนวนช่องสล๊อตสเตเตอร์ที่สัมพันธ์กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก และนิยมใช้กันในมอเตอร์ขนาดเล็ก

ขั้วแม่เหล็ก	S1 ที่เหมาะสม											
2	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
4	6	12		24		36		48		60		72
6			18			36			54			72
8				24				48				72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ข้อมูลบังคับที่ต้องทราบ

1.1 D ; เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (นิ้ว)

1.2 S1 ; จำนวนช่องสล๊อต (ช่อง) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมอเตอร์ขนาดเล็กมีจำนวนช่องสล๊อตที่เหมาะสมดังตารางที่ 5

1.3 P ; จำนวนขั้วแม่เหล็ก (ขั้ว) ส่วนใหญ่จะมี 2, 4, 6 หรือ 8 ขั้ว

2. ข้อมูลที่ผู้ใช้อาจจะทราบหรือไม่ทราบค่าก็ได้ โดยข้อมูลอินพุตกลุ่มนี้ ถ้าผู้ใช้มิได้กำหนดค่าให้กับซอฟท์แวร์ในระหว่างการออกแบบ ซอฟท์แวร์จะทำการคำนวณค่าเริ่มต้นให้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบต่อไปของผู้ใช้ ซึ่งข้อมูลอินพุตกลุ่มนี้มีดังต่อไปนี้

2.1 D1 ; เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (นิ้ว)

$$D1 = \{[(D - 0.647)/(1.175+1.03/P)] + (R*D)\} / 2 \quad (4.108)$$

โดย

$$R = 0.5 \quad \text{ถ้า } P = 2 \quad (4.109)$$

$$= 0.585 \quad \text{ถ้า } P = 4 \quad (4.110)$$

$$= 0.639 \quad \text{ถ้า } P = 6 \quad (4.111)$$

$$= 0.668 \quad \text{ถ้า } P = 8 \quad (4.112)$$

2.2 ST_TYPE ; รูปแบบของช่องสล๊อต (จากภาพที่ 38)

$$ST_TYPE = 1 \quad \text{ช่องสล๊อตแบบก้นสล๊อตกลม} \quad (4.113)$$

$$= 2 \quad \text{ช่องสล๊อตแบบก้นสล๊อตแบน} \quad (4.114)$$

โดย ST_TYPE จะเท่ากับ 1 หรือเป็นแบบก้นสล๊อตกลม ถ้าผู้ใช้มิได้กำหนดค่าอินพุตมา

2.3 BTBY ; อัตราส่วนความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กในส่วนของซี่สล๊อต กับโคร่ง (YOKE)

$$BTBY = 1.15 \quad (4.115)$$

2.4 CELL ; ความหนาของฉนวนรองช่องสล๊อต (นิ้ว) โดยฉนวนรองช่องสล๊อตนี้จะวางลงในช่องสล๊อตก่อนที่จะมีการพันขดลวด เพื่อป้องกันการลัดวงจรลงในโครงมอเตอร์

$$CELL = 0.012 \quad (4.116)$$

2.5 MID_S ; ความหนาของฉนวนคั่นขดลวด (นิ้ว) ซึ่งเป็นฉนวนที่คั่นกลางระหว่างขดลวดสองขดที่พันลงในช่องสล๊อตเดียวกัน

$$MID_S = 0.003 \quad (4.117)$$

2.6 T1 ; ความกว้างของซี่สล๊อต (นิ้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T1 = [1.1 + (0.08*D1)] * (D1/S1) \quad \text{ถ้า } P = 2 \tag{4.118}$$

$$T1 = [1.27 + (0.09*D1)] * (D1/S1) \quad \text{ถ้า } P > 2 \tag{4.119}$$

2.7 FS ; ความลึกช่วงปลายของซี่สล๊อต (นิ้ว)

$$FS = 0.03 \tag{4.120}$$

2.8 DS ; ความลึกปากช่องสล๊อต (นิ้ว)

$$DS = FS*4/3 \tag{4.121}$$

2.9 ES ; ความกว้างของปากช่องสล๊อต (นิ้ว)

$$ES = 0.027 + (0.0175*D1) \quad \text{ถ้า } S1 < 30 \tag{4.122}$$

$$= 0.015 + (0.0175*D1) \quad \text{ถ้า } 30 \leq S1 < 42 \tag{4.123}$$

$$= 0.0175*D1 \quad \text{ถ้า } S1 \geq 42 \tag{4.124}$$

2.10 PS ; ความลึกของช่องสล๊อตทั้งหมด (นิ้ว)

ถ้า ST_TYPE = 1

$$PS = \{[B * (1+H)] + (0.2*A)\} / [1 + (0.8*H)] \tag{4.125}$$

โดย

$$B = [0.5*(D-D1)] - DY1 \tag{4.126}$$

$$DY1 = BTBY*S1*T1 / (\pi*P) \tag{4.127}$$

$$H = Sin(\pi/S1) \tag{4.128}$$

$$A = [(D1*H) - T1] / 2 \tag{4.129}$$

ถ้า ST_TYPE = 2

$$PS = BS+FS+DS \tag{4.130}$$

โดย

$$BS = [(D-D1)/2] - (FS+DS+DY1) \tag{4.131}$$

2.11 A1S ; ความกว้างช่องสล๊อตส่วนบน (นิ้ว)

ถ้า ST_TYPE = 1

$$A1S = \{2*[RM - (BS*H)]\} / Cos(\pi/S1) \tag{4.132}$$

โดย

$$RM = [A+(B*H)] / [1+(0.8*H)] \tag{4.133}$$

$$BS = PS - (RM+FS+DS) \tag{4.134}$$

ถ้า ST_TYPE = 2

$$A1S = \{[\pi*(D1+(2*(FS+DS)))] / S1\} - T1 \tag{4.135}$$

2.12 A2S ; ความกว้างช่องสล๊อตส่วนก้น (นิ้ว)

ถ้า ST_TYPE = 1

$$A2S = 2*RM \tag{4.136}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า ST_TYPE = 2

$$A2S = A1S + (2*BS*Tan(\pi/S1) \quad (4.137)$$

โดยค่าอินพุตทั้ง 2 กลุ่มนี้ เป็นขนาดต่างๆของแผ่นสเตเตอร์ลามิเนทที่จำเป็นต้องนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าเอาต์พุตต่อไป ซึ่งมีดังต่อไปนี้

2.13 DE ; เส้นผ่าศูนย์กลางที่จุดกึ่งกลางช่องสล๊อต (นิ้ว)

$$DE = D1+PS+FS+DS \quad (4.138)$$

2.14 TL1 ; ความยาวของซี่สล๊อต (นิ้ว)

$$TL1 = PS - (RM/2) \quad (4.139)$$

2.15 DY1 ; ความลึกของส่วนโครง (นิ้ว)

ถ้า ST_TYPE = 1

$$DY1 = [(D-D1)/2] - PS + (0.1*A2S) \quad (4.140)$$

ถ้า ST_TYPE = 2

$$DY1 = [(D-D1)/2] - PS \quad (4.141)$$

2.16 SWA ; พื้นที่หน้าตัดของช่องสล๊อต (ตารางนิ้ว)

ถ้า ST_TYPE = 1

$$GSWA = [BS*(A1S+A2S)/2] + (\pi*A2S^2/8) \quad (4.142)$$

$$SWA = GSWA - \{[(2*BS)+(\pi*0.5*A2S)]*CELL\} - (A2S*MID_S) \quad (4.143)$$

ถ้า ST_TYPE = 2

$$GSWA = BS*[(A1S+A2S)/2] \quad (4.144)$$

$$SWA = GSWA - \{[(2*BS)+A2S]*CELL\} - (A2S*MID_S) \quad (4.145)$$

2.17 FKSIA ; ค่าคงที่ช่องสล๊อตของส่วนที่เป็นอากาศ

$$FKSIA = (FS/ES) + \{(4*DS) / [(3*ES)+A1S]\} \quad (4.146)$$

2.18 FKS1W ; ค่าคงที่ช่องสล๊อตของส่วนที่เป็นขดลวด

ถ้า ST_TYPE = 1

$$FKS1W = 0.284 - (0.143*XX) + \{(BS/A2S) / [(2.87*XX)+0.18]\} \quad (4.147)$$

โดย $XX = A1S/A2S$ (4.148)

ถ้า ST_TYPE = 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

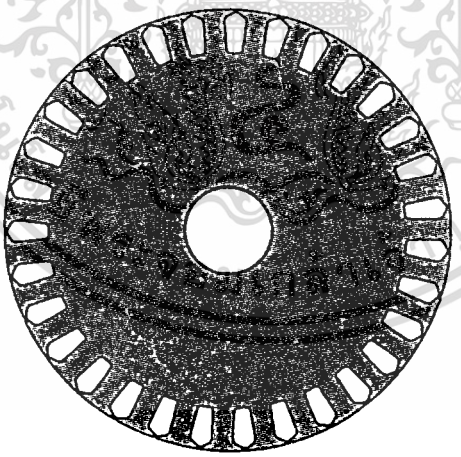
$$FKS1W = PHI*BS/A2S \quad (4.149)$$

โดย $$PHI = [0.3281 - (0.0019*XX^2)] / XX \quad (4.150)$$

<u>การออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท</u> [1, 2, 13]

แผ่นโรเตอร์ลามิเนทมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กบางเช่นเดียวกับแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท แต่จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเล็กกว่า ดังภาพที่ 39 อีกทั้งตัวนำในช่องสล๊อตนั้นจะแตกต่างกันอีกด้วย คือ ตัวนำที่ใช้ในสเตเตอร์เป็นลวดทองแดง ส่วนในโรเตอร์เป็นอลูมิเนียมซึ่งถูกหลอมละลายและถูกหล่อ (cast) เข้ากับแกนเหล็กโรเตอร์

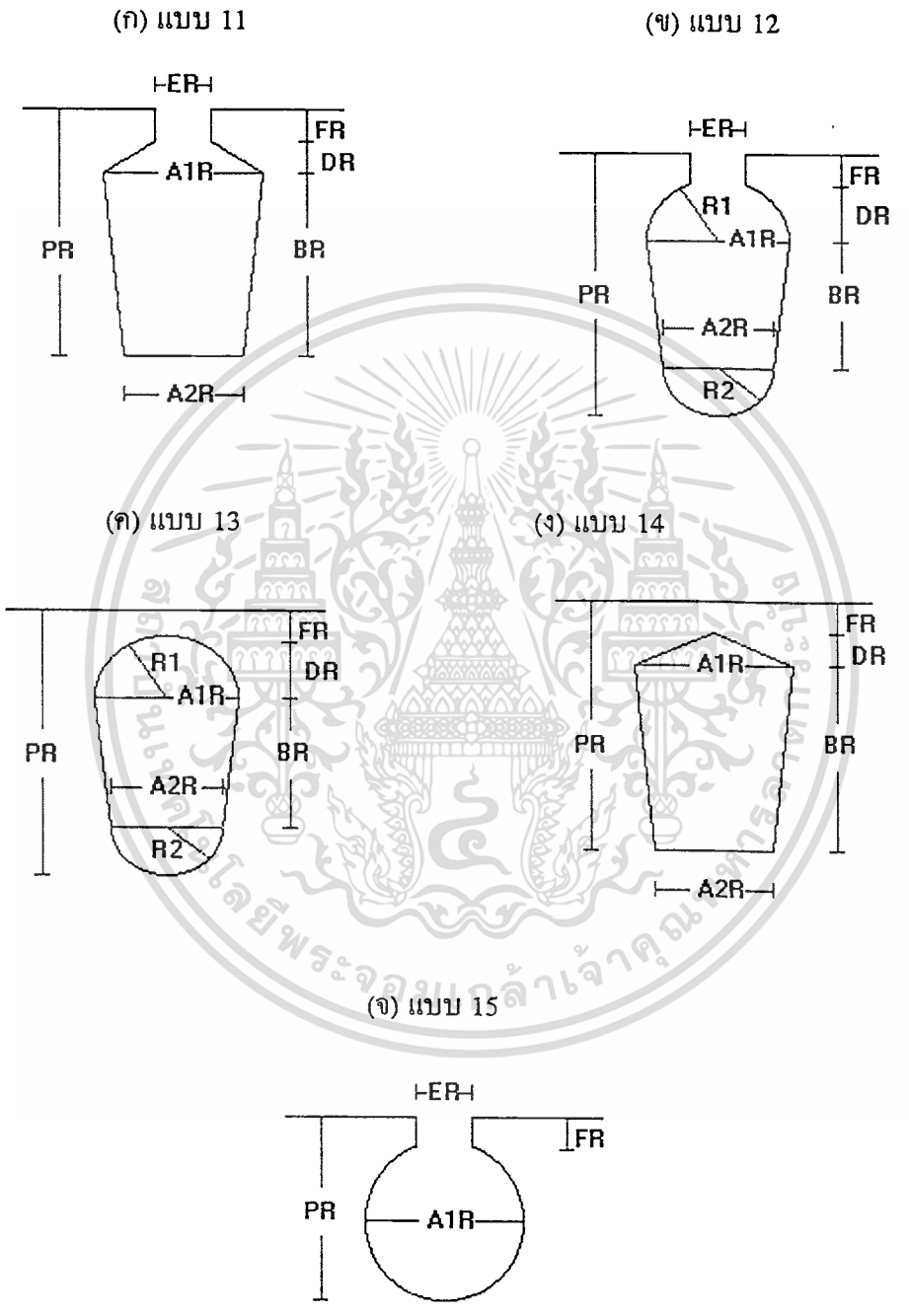
ภาพที่ 39
แสดงแผ่นโรเตอร์ลามิเนท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 40

แสดงรูปของช่องสล๊อตโรเตอร์



ส่วนรูปแบบของช่องสล๊อตโรเตอร์ที่นิยมใช้มีอยู่ 5 แบบ ดังภาพที่ 40 จะเห็นว่ามีช่องสล๊อตอยู่ 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ ช่องสล๊อตเปิด (Opened-slot) และช่องสล๊อตปิด (Closed-slot) ส่วนข้อมูลอินพุตมีการแบ่งกลุ่มเหมือนกับการออกแบบแผ่นสเตเตอร์ คือมี 2 กลุ่ม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ข้อมูลบังคับที่ต้องทราบ

1.1 D2 ; เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (นิ้ว)

1.2 S2 ; จำนวนช่องสล๊อต (ช่อง) ซึ่ง S2 ต้องมีจำนวนช่องสัมพันธ์กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก และ S1 ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6

แสดงตารางจำนวนช่องสล๊อตโรเตอร์ที่สัมพันธ์กับจำนวนขั้วแม่เหล็ก

และจำนวนช่องสล๊อตสเตเตอร์

S1	2 ขั้วแม่เหล็ก	4 ขั้วแม่เหล็ก	6 ขั้วแม่เหล็ก	8 ขั้วแม่เหล็ก
12	17 18 28	28	28	
16		11 19		
18	23			
24	17 18 29 33 36	17 20 31 34 35	18 23 34	17 30
30	45			
32	25 38	38 44		36 39 41
36	28 31 45 46 47	28 30 44 45 48	24 27 33 42 47	
48	28 57	40 57 62	36 57 60 62	62 64

1.3 P ; จำนวนขั้วแม่เหล็ก (ขั้ว)

1.4 T2 ; ความกว้างของซี่สล๊อต (นิ้ว)

1.5 FR ; ความลึกช่วงปลายของซี่สล๊อต (นิ้ว)

1.6 PR ; ความลึกของช่องสล๊อตทั้งหมด (นิ้ว)

2. ข้อมูลที่ผู้ใช้อาจจะทราบหรือไม่ทราบค่าก็ได้ ซึ่งซอฟท์แวร์จะคำนวณค่าเริ่มต้นให้ดังนี้

2.1 RT_TYPE ; รูปแบบของช่องสล๊อต ซอฟท์แวร์กำหนด RT_TYPE = 13 ซึ่งเป็นช่องสล๊อตปิด (Closed-Slot) ถ้าผู้ใช้มิได้กำหนดรูปแบบของช่องสล๊อตมาให้

2.2 AIR ; ความกว้างช่องสล๊อตส่วนบน (นิ้ว)

$$AIR = 2*R1 \tag{4.151}$$

โดย

$$R1 = \{[((D2/2)-FR)*H] - (T2/2)\} / (1+H) \tag{4.152}$$

$$H = \sin(\pi/S2) \tag{4.153}$$

2.3 A2R ; ความกว้างช่องสล๊อตส่วนก้น (นิ้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A2R = 2*R2 \quad (4.154)$$

ถ้า RT_TYPE = 11, 12, 13 หรือ 14

$$R2 = \{[((D2/2)-PR)*H] - (T2/2)\} * (1+H) \quad (4.155)$$

ถ้า RT_TYPE = 15

$$R2 = 0 \quad (4.156)$$

2.4 DR ; ความลึกปากช่องสล๊อต (นิ้ว)

$$DR = R1 \quad \text{ถ้า RT_TYPE = 12 หรือ 13} \quad (4.157)$$

$$DR = R1/2 \quad \text{ถ้า RT_TYPE = 11 หรือ 14} \quad (4.158)$$

$$DR = 0 \quad \text{ถ้า RT_TYPE = 15} \quad (4.159)$$

2.5 ER ; ความกว้างของปากช่องสล๊อต (นิ้ว)

$$ER = 0 \quad \text{ถ้า RT_TYPE = 13 หรือ 14} \quad (4.160)$$

และถ้า RT_TYPE = 11, 12 หรือ 15

$$ER = 0.027 + (0.0175*D2) \quad \text{ถ้า } S2 < 30 \quad (4.161)$$

$$ER = 0.015 + (0.0175*D2) \quad \text{ถ้า } 30 \leq S2 < 42 \quad (4.162)$$

$$ER = 0.0175*D2 \quad \text{ถ้า } S2 \geq 42 \quad (4.163)$$

2.6 BR ; ความลึกของส่วนสี่เหลี่ยมคางหมู (นิ้ว)

$$BR = PR-FR-DR \quad \text{ถ้า RT_TYPE = 11 หรือ 14} \quad (4.164)$$

$$BR = PR-R1-R2-FR \quad \text{ถ้า RT_TYPE = 12 หรือ 13} \quad (4.165)$$

$$BR = 0 \quad \text{ถ้า RT_TYPE = 15} \quad (4.166)$$

2.7 DB ; เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (นิ้ว)

ถ้า RT_TYPE = 11, 14 หรือ 15

$$DB = D2 - (2*PR) - (2*DY2) \quad (4.167)$$

ถ้า RT_TYPE = 12 หรือ 13

$$DB = D2 - \{2*[PR - (0.2*R2)]\} - (2*DY2) \quad (4.168)$$

โดย $$DY2 = 0.35*S2*T2/P \quad (4.169)$$

เมื่อค่าอินพุตที่กล่าวมาข้างต้น ถูกผู้ใช้ใส่เข้ามาหรือซอฟท์แวร์เป็นผู้คำนวณเสร็จเรียบร้อยแล้ว ซอฟท์แวร์จะทำการคำนวณหาค่าเอาต์พุต ดังนี้

2.8 DOR ; เส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ ณ จุดกึ่งกลางของตัวนำในช่องสล๊อต (นิ้ว)

$$DOR = D2-PR-FR \quad (4.170)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 BDP ; ความลึกของตัวนำในช่องสล๊อต (นิ้ว)

BDP = PR-FR ถ้า RT_TYPE = 11, 12, 13 หรือ 14 (4.171)

BDP = A1R ถ้า RT_TYPE = 15 (4.172)

2.10 TL2 ; ความยาวของซี่สล๊อต (นิ้ว)

ถ้า RT_TYPE = 11 หรือ 14

TL2 = BDP (4.173)

ถ้า RT_TYPE = 12 หรือ 13

TL2 = BDP - [0.1*(A1R+A2R)] (4.174)

ถ้า RT_TYPE = 15

TL2 = A1R/3 (4.175)

2.11 DY2 ; ความลึกของส่วนโครง (นิ้ว)

ถ้า RT_TYPE = 11, 14 หรือ 15

DY2 = 0.5*[D2-DB-(2*PR)] (4.176)

ถ้า RT_TYPE = 12 หรือ 13

DY2 = {0.5*[D2 - DB - (2*PR)]} + (0.1*A2R) (4.177)

2.12 RSA ; พื้นที่หน้าตัดของช่องสล๊อต (ตารางนิ้ว)

ถ้า RT_TYPE = 11 หรือ 14

RSA = {[(A1R+A2R)*BR] + [(A1R+ER)*DR]} / 2 (4.178)

ถ้า RT_TYPE = 12 หรือ 13

RSA = {[(A1R+A2R)*BR] + [π*(A1R^2+A2R^2)/4]} / 2 (4.179)

ถ้า RT_TYPE = 15

RSA = π*A1R^2/4 (4.180)

2.13 FKS2A ; ค่าคงที่ช่องสล๊อตของส่วนที่เป็นอากาศ

ถ้า RT_TYPE = 11 หรือ 12

FKS2A = (FR/ER) + {(4*DR) / [(3*ER)+A1R]} (4.181)

ถ้า RT_TYPE = 13 หรือ 14

FKS2A = 1 (4.182)

ถ้า RT_TYPE = 15

FKS2A = FR/ER (4.183)

2.14 FKS2W ; ค่าคงที่ช่องสล๊อตของส่วนที่เป็นขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า RT_TYPE = 11 หรือ 14

$$FKS2W = PHI*BR/A2R \quad (4.184)$$

โดย $$PHI = [0.3281 - (0.0019*XX^2)] / XX \quad (4.185)$$

$$XX = A1R/A2R \quad (4.186)$$

ถ้า RT_TYPE = 12 หรือ 13

$$FKS2W = 0.284 - (0.143*XX) + \{(BR/A2R) / [(2.87*XX)+0.18]\} + 0.78 \quad (4.187)$$

ถ้า RT_TYPE = 15

$$FKS2W = 0.625 \quad (4.188)$$

<u>ผลของค่าคงที่ที่มีต่อคุณลักษณะและสมรรถนะ</u>

ค่าคงที่หรือตัวแปรบางค่า จะมีผลอย่างมากต่อคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งการศึกษาผลนี้มีประโยชน์มากในการออกแบบ เนื่องจากผู้ออกแบบต้องนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบให้มอเตอร์มีคุณลักษณะและสมรรถนะตามที่ต้องการ

1. จำนวนช่องสล๊อตสเตเตอร์ [2, 9-10, 13]

จำนวนช่องสล๊อตสเตเตอร์หรือ S1 ต้องเป็นค่าที่สามารถหาได้ลงตัวด้วยจำนวนขั้วแม่เหล็ก ดังตารางที่ 5

โดย S1 มีผลต่อค่าต่างๆดังนี้

- S1 มีค่ามากๆ สามารถลดความสูญเสียและสัญญาณรบกวนได้
- ฟลั๊กซ์แม่เหล็กรั่วและรีแอกแตนซ์รั่วจะน้อยลง ถ้าเพิ่ม S1 ให้มากขึ้น
- มอเตอร์รับโหลดเกินพิกัดได้มากขึ้น ถ้า S1 มีจำนวนมากขึ้น
- ถ้า S1 มีค่ามาก จะทำให้ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กในซี่สล๊อตมีค่ามากเกินไป ซึ่งจะทำให้กระแสกระตุ้นและความสูญเสียแกนเหล็กมีค่าสูงตามไปด้วย
- ค่า S1ที่มากขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เนื่องจากจำนวนขดลวด,ฉนวนและขบวนการผลิตจะมากขึ้น

2. จำนวนช่องสล๊อตโรเตอร์ [2, 13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

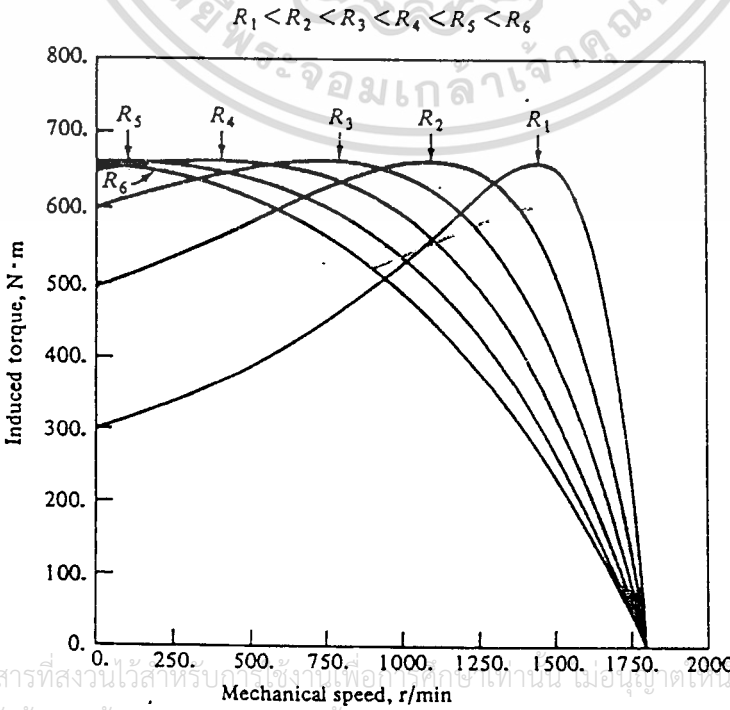
ตารางที่ 6 แสดงจำนวนช่องสล๊อตโรเตอร์หรือ S2 ที่เหมาะสม โดยอาศัยความสัมพันธ์จากจำนวนช่องสล๊อตสเตเตอร์และจำนวนขั้วแม่เหล็ก ซึ่งจำนวนS2ที่มีค่ามากๆจะมีข้อดีคือ จะไปลดค่ารีแอกแตนซ์รั่วซึ่งทำให้แรงบิดสูงสุดมีค่ามากขึ้น และไปลดสัญญาณรบกวน,การสั่นสะเทือนและความสูญเสียพื้นผิว แต่จำนวน S2 นี้ไม่ค่อยมีผลต่อต้นทุนการผลิตมากนัก เพราะโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก โดยในการเลือก S2 นอกจากใช้ตารางที่ 6 แล้วยังสามารถพิจารณาได้ดังนี้

- S2 ต้องมีจำนวนที่สามารถใช้จำนวนขั้วแม่เหล็กหารได้ลงตัว
- ถ้าต้องการลดสัญญาณรบกวนและการสั่นสะเทือน S1 - S2 ไม่ควรที่จะเท่ากับ ±1, ±2, ±(P±1) หรือ ±(P±2)
- S1 ต้องไม่เท่ากับ K*S2 เมื่อ K= 1,2,3,...
- ถ้าต้องการลดเสียงดัง S2 ต้องแตกต่างจาก S1 ประมาณ 20% หรือมากกว่า
- ถ้าต้องการรีแอกแตนซ์ต่ำ S2 ต้องมากกว่าS1
- ถ้าต้องการลดความสูญเสียปลีกย่อยเนื่องจากโหลด (Stray-load Losses) S2 ต้องน้อยกว่า S1 ประมาณ 15%

3. ความต้านทานของโรเตอร์ [15, 18]

ภาพที่ 41

แสดงผลของความต้านทานของโรเตอร์ที่มีต่อคุณลักษณะของมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานของโรเตอร์ จะมีผลต่อคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ขนาดเล็กอย่างมาก โดยจะมีผลต่อแรงบิดเริ่มหมุน (Starting Torque) และความเร็ว ณ จุดที่เกิดความเร็วสูงสุด (Maximum หรือ Breakdown Torque) ดังแสดงในภาพที่ 41 ซึ่งแสดงกราฟคุณลักษณะความเร็วต่อแรงบิดของมอเตอร์ตัวหนึ่ง จากรูปจะเห็นว่าถ้าความต้านทานของโรเตอร์มีค่ามากขึ้น แรงบิดเริ่มหมุนจะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ส่วนแรงบิดสูงสุดจะเกิดขึ้น ณ ที่ความเร็วต่ำลงไป

4. รูปแบบของช่องสล็อตสเตเตอร์ [10]

ในมอเตอร์ขนาดเล็ก ช่องสล็อตสเตเตอร์จะเป็นแบบกึ่งปิด (Semi-closed Slot) ซึ่งช่องสล็อตแบบนี้จะทำให้กระแสกระตุ้นมีค่าน้อยกว่าช่องสล็อตแบบเปิด จึงเป็นผลให้มีค่าความสูญเสียเนื่องจากซี่สล็อตต่ำและมอเตอร์จะหมุนได้เรียบและเงียบกว่า

5. รูปแบบของช่องสล็อตโรเตอร์ [10]

ช่องสล็อตโรเตอร์ที่ใช้กันมากในมอเตอร์ขนาดเล็กนั้น มีอยู่สองแบบคือ กึ่งปิดและปิด ซึ่งช่องสล็อตแบบปิดจะมีข้อดีกว่าคือ ค่ากระแสกระตุ้นที่ใช้จะน้อยกว่าเนื่องจากความต้านทานแม่เหล็กของช่องว่างอากาศมีค่าน้อย อีกทั้งช่องสล็อตแบบนี้จะมีพื้นผิวของโรเตอร์เรียบซึ่งมีผลให้มอเตอร์จะเงียบกว่าในขณะหมุน ส่วนข้อดีอีกประการหนึ่งคือช่องสล็อตแบบปิดจะมีค่ารีแอกแตนซ์รั่วสูงกว่า ทำให้ไปจำกัดกระแสเริ่มหมุนได้ จึงเหมาะกับมอเตอร์ที่ต้องการกระแสเริ่มหมุนต่ำๆ แต่การที่ค่ารีแอกแตนซ์รั่วมีค่าสูงก็มีข้อเสียเช่นกันคือ จะไปลดความสามารถในการรับโหลดเกินพิกัดของมอเตอร์ลงไป

6. จำนวนขั้วแม่เหล็ก [10]

จำนวนขั้วแม่เหล็ก (P) นี้มีผลโดยตรงต่อจำนวนฟลั๊กซ์แม่เหล็กต่อขั้วแม่เหล็ก ซึ่งฟลั๊กซ์แม่เหล็กนี้จะมีผลต่อจำนวนรอบลวดตัวนำของสเตเตอร์โดยจะแปรผกผันซึ่งกันและกัน ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตสูงสุด, กำลังไฟฟ้าอินพุตที่โหลดเต็มพิกัด, กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตและค่าตัวประกอบกำลัง จะแปรผกผันกับจำนวนขั้วแม่เหล็กเช่นกัน

7. ความถี่ [10]

ถ้ามีการลดความถี่ลงจะทำให้กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตลดลง, กำลังไฟฟ้าอินพุตขณะโหลดเต็มพิกัดและประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดลงไปด้วย

8. อัตราส่วนระหว่างความยาวแกนเหล็กกับระยะพิตช์ขั้วแม่เหล็ก [2, 10]

ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 2 มอเตอร์จะมีต้นทุนการผลิตต่ำ, 1 ถึง 1.25 มอเตอร์จะมีตัวประกอบกำลังที่ดี, 1.5 มอเตอร์จะมีประสิทธิภาพและถ้ามีค่าเท่ากับ 1 มอเตอร์จะมีการออกแบบโดยรวมที่ดี แต่อัตราส่วนที่มีค่าสูงๆนั้นอาจจะมีผลทำให้การจัดช่องสล็อตให้ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเป็นจำนวนคู่ทำได้ยาก โดยทั่วๆไปแล้วอัตราส่วนนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 2 ขึ้นอยู่กับขนาดของมอเตอร์และคุณลักษณะที่ต้องการ

9. ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กเฉลี่ยในช่องว่างอากาศ [10]

ถ้าความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กเฉลี่ยในช่องว่างอากาศลดลงแล้ว ตัวประกอบกำลังจะมีค่าลดลงตามไปด้วย ส่วนถ้าความหนาแน่นนี้มีค่ามากขึ้น ความสูญเสียแกนเหล็ก, ประสิทธิภาพและความสามารถในการรับโหลดเกินพิกัดจะดีขึ้น

10. ความยาวช่องว่างอากาศ [10]

ถ้าช่องว่างอากาศยาวเพิ่มขึ้น มอเตอร์ก็จะต้องใช้กระแสกระตุ้นเพิ่มขึ้นด้วย และจะทำให้ตัวประกอบกำลังของมอเตอร์ลดลง แต่กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตและแรงบิดสูงสุดจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง

นอกจากผลของค่าคงที่ข้างต้น ที่มีต่อคุณลักษณะและสมรรถนะแล้วยังมีข้อแนะนำเพื่อช่วยในการปรับเปลี่ยนค่าคงที่เพื่อให้ได้คุณลักษณะและสมรรถนะตามที่ต้องการ [1] ซึ่งสามารถอธิบายแยกเป็นข้อได้ดังนี้

1. ถ้ากำหนดให้ความยาวแกนเหล็กมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว แรงบิดสูงสุดและแรงบิดเริ่มหมุนจะแปรผกผันกับจำนวนรอบประสิทธิผลของขดลวดหลัก (CKWM)

2. ถ้ากำหนดให้ความยาวแกนเหล็กมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว แรงบิดสูงสุดและแรงบิดเริ่มหมุนจะแปรผันตามค่ายกกำลังสองของความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็ก

3. ถ้ากำหนดให้ความยาวแกนเหล็กมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กจะแปรผกผันกับจำนวนรอบประสิทธิผลของขดลวดหลัก (CKWM)

4. การเปลี่ยนแปลงค่า R1, R2, X1 หรือ X2 เพียงเล็กน้อย จะทำให้แรงบิดสูงสุดแปรผกผันกับผลรวมของค่าตัวแปรทั้งสี่ตัว

5. การเปลี่ยนจำนวนตัวนำของขดลวดหลักเพียงเล็กน้อย ค่าสลิป (Slip) ขณะโหลดเต็มพิกัดจะแปรผันกับค่ายกกำลังสองของ CKWM

6. แรงบิดเริ่มหมุนจะแปรผกผันโดยตรงกับ R2 ถ้า R2 เปลี่ยนแปลงค่าไปไม่มาก แต่ถ้ามีการปรับเปลี่ยนค่า R2 ต่อไปมากๆแล้ว แรงบิดเริ่มหมุนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก

7. ถ้าทำการลดขนาดลวดตัวนำของขดลวดช่วยลงหนึ่งขนาด จะทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขณะเริ่มหมุนลดลง

8. ถ้าปรับเปลี่ยนขนาดความยาวแกนเหล็ก โดยค่าต่างๆของขดลวดหลักคงที่แล้ว จะทำให้ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงในลักษณะผกผันกับความยาวแกนเหล็ก แต่แรงบิดจะแปรผกผันกับรากที่สองของความยาวแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ในการปรับขนาดของความยาวแกนเหล็ก(เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์) โดยยังคงแรงบิดไว้ที่ค่าใดๆ ค่า CKWM จะแปรผกผันกับรากที่สองของความยาวแกนเหล็ก

10. การเพิ่มขนาดของความยาวแกนเหล็ก จะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่ามากขึ้น

11. การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ลวดตัวนำในช่องสล็อตให้สูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นด้วย

12. ถ้ารักษาความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กให้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแล้ว แรงบิดจะแปรผันเป็นสัดส่วนกับความยาวแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การพัฒนาซอฟท์แวร์

<u>วิชวลเบสิก (Visual Basic)</u>

วิชวลเบสิกเป็นซอฟท์แวร์แปลภาษา (Compiler) ที่นักพัฒนาซอฟท์แวร์นิยมใช้กันมาก ในการพัฒนาซอฟท์แวร์ประยุกต์ (Application Software) ที่จะทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ (Microsoft Windows) โดยวิชวลเบสิกนี้จะทำให้ผู้ใช้สามารถใช้ภาษาเบสิกสร้างซอฟท์แวร์ประยุกต์ได้ง่ายและรวดเร็วมากด้วยชุดคำสั่งที่ใกล้เคียงกับภาษาเบสิกทั่วไป วิธีการรัน (Run) และดีบัก (Debug) นั้นทำได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ว่าจะเป็นการทำงานทีละคำสั่ง, การกำหนดจุดหยุดทำงาน, การขอดูค่าตัวแปรต่างๆ

การสร้างซอฟท์แวร์ประยุกต์ด้วยวิชวลเบสิกนั้นมีมุมมองแตกต่างไปจากซอฟท์แวร์แปลภาษาอื่นๆ เช่น เทอร์โบปาสคาลสำหรับวินโดว์ หรือ เทอร์โบซีพลัสพลัสสำหรับวินโดว์ เป็นต้น ปกติการที่จะสร้างซอฟท์แวร์ประยุกต์ขึ้นมาบนระบบปฏิบัติการวินโดว์นั้นจะต้องสร้างวินโดว์หรือหน้าต่าง (Window) ขึ้นมาก่อน เช่น ในเทอร์โบซีพลัสพลัสก็จะต้องกำหนดคลาสที่ดีไรว์มาจากคลาส TApplication แล้วเรียกฟังก์ชัน WinMain( ) เพื่อให้มีการสร้างวินโดว์ แต่ในวิชวลเบสิกนั้นวินโดว์ที่จะต้องสร้างนี้วิชวลเบสิกจะจัดการให้เอง ผู้ใช้ไม่ต้องเขียนโค้ด (Code) จัดการใดๆ

ในวิชวลเบสิกจะเรียกวินโดว์ว่าเป็นฟอร์ม (Form) เมื่อเริ่มต้นสร้างซอฟท์แวร์ประยุกต์ วิชวลเบสิกจะให้ผู้ใช้ออกแบบลักษณะหน้าตาของฟอร์ม โดยผู้ใช้จะต้องเลือกคอนโทรลแล้วนำมาวางไว้ในฟอร์มในตำแหน่งที่ต้องการ โดยฟอร์มและคอนโทรลนี้จะเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ซอฟท์แวร์ประยุกต์โดยตรง และเมื่อมีผู้ใช้เลือกคอนโทรลที่ต้องการแล้วสามารถที่จะแก้ไขคุณสมบัติ (Properties) ของคอนโทรลได้ เช่นตำแหน่ง,ขนาด,รูปแบบตัวอักษร เป็นต้น หลังจากที่แก้ไขคุณสมบัติแล้วผู้ใช้จะต้องเขียนโค้ดที่คอยควบคุมเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นกับคอนโทรลนั้น ซึ่งจะเรียกว่าโพรซีเดอร์ตามเหตุการณ์หรือโปรแกรมย่อย (Event Procedure) สรุปแล้วการสร้างซอฟท์แวร์ประยุกต์ด้วยวิชวลเบสิกจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

1. สร้างส่วนที่จะติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ฟอร์มและคอนโทรลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แก้ไขคุณสมบัติของฟอร์มและคอนโทรลแต่ละตัว

3. เขียนโค้ดที่เป็นโพรซีเดอร์ตามเหตุการณ์ของฟอร์มและคอนโทรล

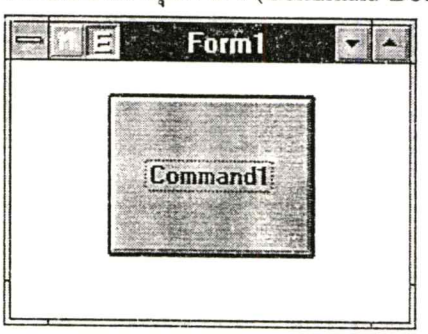
การติดต่อกันระหว่างผู้ใช้กับซอฟท์แวร์ในรูปแบบกราฟฟิค (Graphical User Interface, GUI)

ระบบปฏิบัติการวินโดว์ (Microsoft Windows) และซอฟท์แวร์ประยุกต์ที่ทำงานบนตัวมัน เช่น Microsoft Word,Visio เป็นต้น จะมีการติดต่อผู้ใช้ในรูปแบบกราฟฟิคทั้งสิ้น การติดต่อแบบนี้ทำให้ผู้ใช้สามารถกระทำการใดๆกับซอฟท์แวร์ได้ง่ายและรวดเร็วกว่าเดิม โดยจะอาศัยรูปภาพกราฟฟิคซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสามมิติมาเป็นสื่อในการรับหรือส่งข้อมูลที่ผ่านไปมาระหว่างผู้ใช้กับซอฟท์แวร์ เช่น ปุ่มคำสั่ง (Command Botton) มีหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้ให้กระทำการใดๆหรือกล่องใส่ภาพ (Picture Box) มีหน้าที่ส่งภาพเพื่อแสดงแก่ผู้ใช้ เป็นต้น โดยรูปภาพหรือปุ่มคำสั่งนี้จะเรียกว่าออบเจ็กต์ (Objects) หรือคอนโทรล (Control) ซึ่งคอนโทรลที่พบบ่อยๆในวินโดว์และซอฟท์แวร์ประยุกต์จะมีดังต่อไปนี้

1. ปุ่มคำสั่ง (Command Botton) มีลักษณะเป็นสามมิติเหมือนกับว่ากดปุ่มจริงๆ เมื่อผู้ใช้กดแล้วก็จะคาดเดาได้ว่ามีการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้น โดยพิจารณาจากตัวหนังสือที่แสดงไว้บนตัวปุ่มคำสั่งเอง เช่น “ยกเลิก”หมายถึงการเลิกการกระทำอย่างใดอย่างหนึ่งเป็นต้น ลักษณะของปุ่มคำสั่งแสดงดังภาพที่ 42

ภาพที่ 42

แสดงลักษณะของปุ่มคำสั่ง (Command Botton)

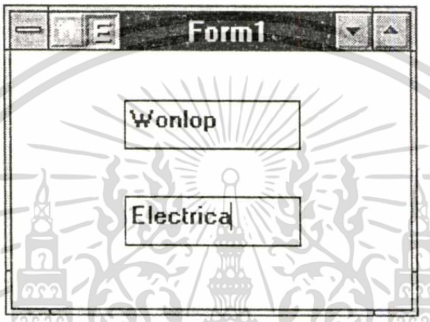


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กล่องรับข้อมูล (Text Box) มีหน้าที่รับข้อความหรือข้อมูลประเภทอักขระจากผู้ใช้โดยตรง โดยผู้ใช้จะพิจารณาเองว่าจะใส่ข้อความหรือข้อมูลลงในกล่องมากน้อยเพียงใด เพราะผู้ใช้จะทราบอยู่ก่อนแล้วว่ากล่องต้องการรับข้อความหรือข้อมูลอะไร ส่วนภาพที่ 43 แสดงลักษณะของกล่องรับข้อมูล

ภาพที่ 43

แสดงลักษณะของกล่องรับข้อมูล (Text Box)



3. ปุ่มตัวเลือก (Option Botton) ปกติแล้วปุ่มตัวเลือกนี้อยู่กันเป็นกลุ่มเรียกว่ากลุ่มตัวเลือก (Option Group) ซึ่งจะแสดงกลุ่มของตัวเลือกที่ผู้ใช้สามารถเลือกได้เพียงตัวเลือกเดียว ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มของตัวเลือกวัยของคนก็จะมี"เด็ก", "หนุ่ม-สาว"และ"แก่" ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกได้เพียงตัวเลือกเดียวเป็นต้น ลักษณะของปุ่มตัวเลือกแสดงดังภาพที่ 44

ภาพที่ 44

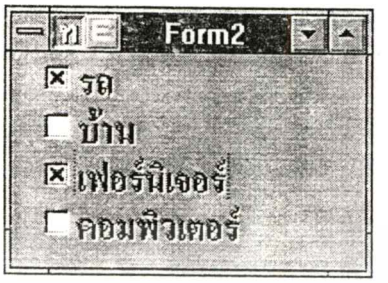
แสดงลักษณะของปุ่มตัวเลือก (Option Botton)

4. กล่องเช็ค (Check Box) กล่องเช็คจะมีลักษณะเหมือนกับปุ่มตัวเลือกแต่สิ่งที่ต่างกันคือ ผู้ใช้สามารถเลือกได้หลายตัวเลือกนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มของกล่องเช็คสำหรับสิ่งที่ต้องการจะซื้อ"รถ","บ้าน","เฟอร์นิเจอร์"และ"คอมพิวเตอร์"ซึ่งผู้ใช้สามารถซื้อกี่อย่างก็ได้ตามต้องการ เป็นต้น ดังในภาพที่ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 45

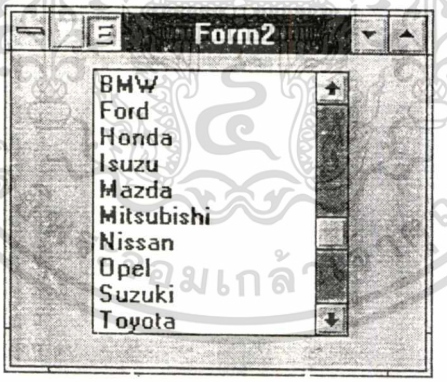
แสดงลักษณะของกล่องเช็ค (Check Box)



5. กล่องร่วมและกล่องรายการ (Combo Box and List Box) กล่องร่วมและกล่องรายการเป็นคอนโทรลที่มีไว้สำหรับแสดงรายการของข้อเลือก โดยปกติแล้วการแสดงรายการจะอยู่ในรูปแถวแนวตั้งแถวเดียว โดยในภาพที่ 46 แสดงตัวอย่างกล่องรายการ ซึ่งในกรณีที่จำนวนรายการมีมากเกินกว่าที่กล่องจะแสดงได้ บาร์เลื่อน (Scroll Bar) จะถูกเพิ่มเข้ามาในกล่องโดยอัตโนมัติ

ภาพที่ 46

แสดงลักษณะของกล่องรายการ (List Box)



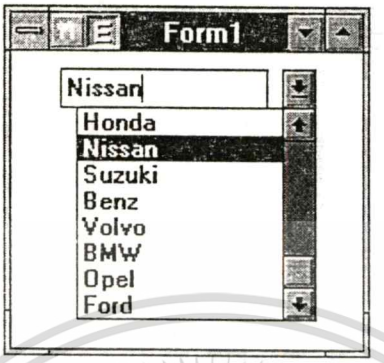
ส่วนกล่องร่วมนั้นจะเป็นการนำเอากล่องรับข้อมูล (Text Box) มาใช้ร่วมกับกล่องรายการข้างต้น ทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะเลือกใส่ข้อมูลเข้าไปเองหรือจะเลือกจากกล่องรายการก็ได้ ซึ่งกล่องร่วมจะมีอยู่ 3 รูปแบบดังนี้

5.1 กล่องร่วมแบบดรอบดาวน์ (Drop-down Combo Box) ภาพที่ 47 แสดงกล่องร่วมแบบนี้ โดยปกติกล่องรายการจะแสดงรายการของข้อเลือกก็ต่อเมื่อผู้ใช้คลิกที่ลูกศรกล่องร่วมแบบนี้ผู้ใช้สามารถเลือกข้อมูลโดยการเลือกจากในกล่องรายการหรือใส่เข้าไปเองที่กล่องรับข้อมูลก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

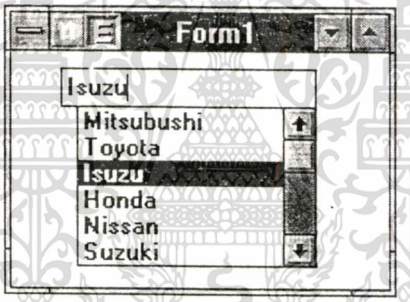
ภาพที่ 47

แสดงลักษณะของกล่องร่วมแบบดรอบดาวน์ (Drop-down Combo Box)



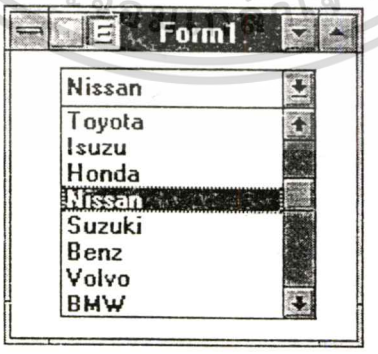
ภาพที่ 48

แสดงลักษณะของกล่องร่วมแบบธรรมดา (Simple Combo Box)



ภาพที่ 49

แสดงลักษณะของกล่องร่วมแบบกล่องรายการดรอบดาวน์ (Drop-down List Box)



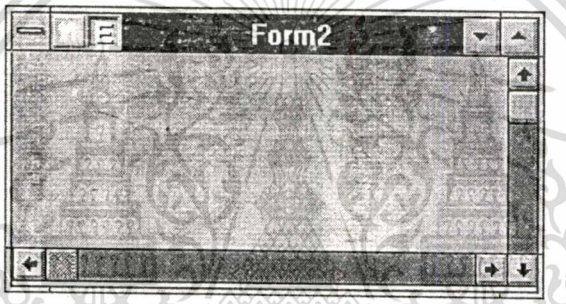
5.2 กล่องร่วมแบบธรรมดา (Simple Combo Box) กล่องร่วมแบบนี้เหมือนกับแบบแรกทุกประการ มีข้อแตกต่างเพียงกล่องรายการของกล่องร่วมแบบนี้มีแสดงให้ผู้ใช้เลือกอยู่ตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 กล่องร่วมแบบกล่องรายการดรอบดาวน์ (Drop-down List Box) กล่องร่วมแบบนี้ต่างจากแบบแรกคือ ผู้ใช้ไม่สามารถใส่ข้อมูลเข้าไปเองที่กล่องรับข้อมูลได้ ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้สามารถเลือกข้อมูลได้จากที่แสดงในกล่องรายการเท่านั้น ดังในภาพที่ 49

6. บาร์เลื่อน (Scroll Bar) เป็นลักษณะบาร์ที่สามารถเลื่อนซ้ายหรือขวาได้ ดังภาพที่ 50 โดยบาร์เลื่อนนี้ใช้ในการเปลี่ยนค่าในช่วงที่กำหนดนำไปประยุกต์ใช้กับโค้ดหรือคอนโทรลอื่นได้ดี โดยเฉพาะเมื่อต้องการให้ผู้ใช้เปลี่ยนค่ามากน้อยอย่างต่อเนื่องได้ในช่วงจำกัดหนึ่ง

ภาพที่ 50
แสดงลักษณะของบาร์เลื่อน (Scroll Bar)



<u>การพัฒนาซอฟท์แวร์แบบตามเหตุการณ์ (Event-driven Programming)</u>

การพัฒนาซอฟท์แวร์แบบนี้จะแตกต่างจากการพัฒนาซอฟท์แวร์แบบเก่าๆมาก อย่างเช่น ภาษาเบสิกแบบเก่าๆนั้นโค้ดจะเริ่มถูกกระทำ(execute)จากบนสุดของโมดูลหลัก(Main Module) และกระทำต่อไปตามลำดับทีละบรรทัดเรื่อยลงไป เมื่อพบกับคำสั่ง GOTO หรือ GOSUB การกระทำก็จะมีการกระโดดข้ามไปยังตำแหน่งที่ระบุเอาได้ การกระทำต่อโค้ดที่เขียนขึ้นจะหยุดเมื่อพบกับคำสั่ง STOP, END หรือ EXIT แต่กับการพัฒนาซอฟท์แวร์แบบตามเหตุการณ์ที่ใช้ในวิชวลเบสิกนี้ โค้ดจะถูกกระทำก็ต่อเมื่อผู้ใช้ซอฟท์แวร์กระทำการใดๆ เช่น ใช้เมาส์ (Mouse) คลิกลงบนปุ่มคำสั่งเป็นต้น หรือซอฟท์แวร์เป็นตัวกระทำให้เกิดการกระทำกับโค้ดเอง

ในวิชวลเบสิก ฟอร์ม (Form) และคอนโทรล (Control) ทุกตัวจะถูกกำหนดให้มีกลุ่มของเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นอยู่แล้ว ถ้ามีเหตุการณ์เกิดขึ้นกับฟอร์มหรือคอนโทรล วิชวลเบสิกจะทำการเรียกหรือกระทำการกับโพรซีเดอร์(Procedure)หรือโปรแกรมย่อยที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้น ส่วนโค้ดที่อยู่ภายในโพรซีเดอร์ผู้ใช้จะต้องกำหนดเอง ยกตัวอย่างโพรซีเดอร์เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

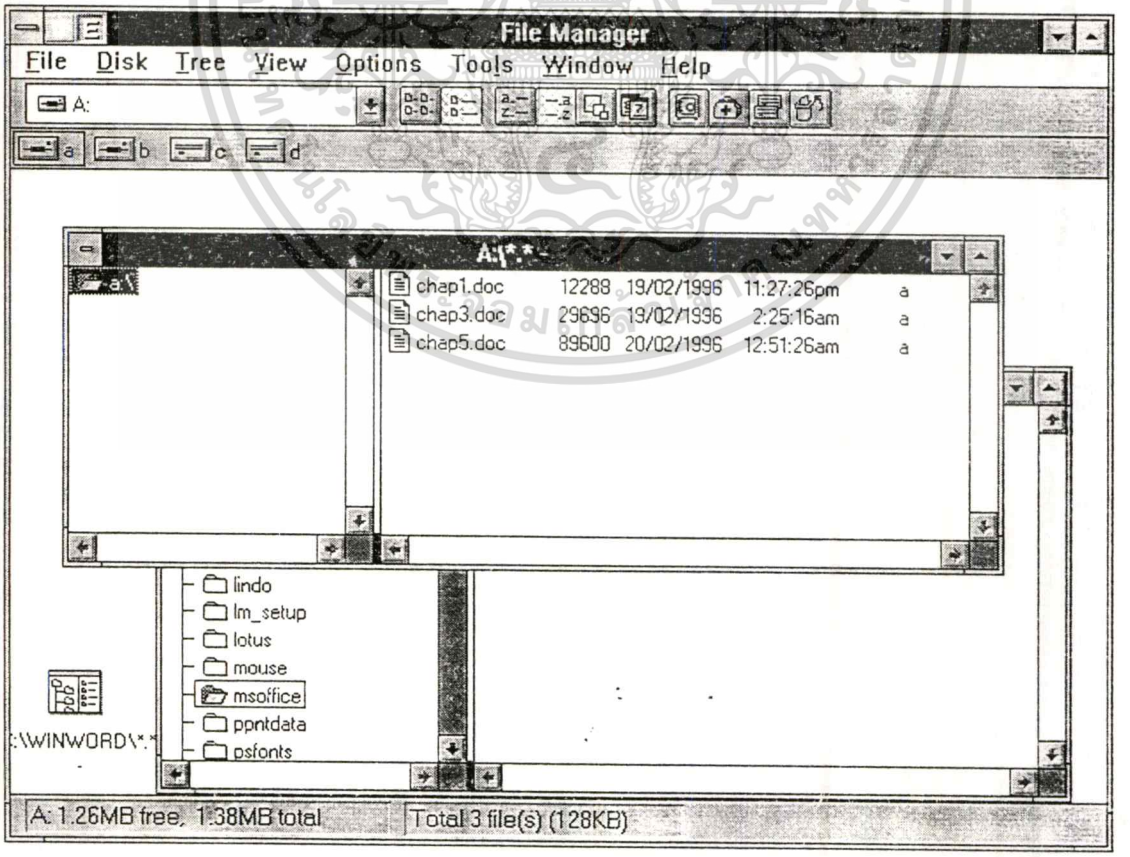
```
SUB  OK_Click ( )
     C  = A+B
     Print C
End Sub
```

โดยโพรซีเดอร์ตัวอย่างนี้เป็นโพรซีเดอร์ที่จะถูกกระทำเมื่อปุ่มคำสั่ง (Command Botton) ชื่อ OK ถูกผู้ใช้เมาส์คลิกบนปุ่ม ส่วนอีกความหมายหนึ่งก็คือ C จะเท่ากับ A บวก B และทำการแสดงผล C ก็ต่อเมื่อผู้ใช้ใช้เมาส์คลิกบนปุ่มคำสั่งชื่อ OK เท่านั้นนั่นเอง

ซอฟท์แวร์ประยุกต์แบบเอ็มดีไอ (Multiple-document Interface, MDI)

ภาพที่ 51

แสดงการมีเอ็มดีไอของซอฟท์แวร์ File Manager



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอฟท์แวร์ประยุกต์แบบเอ็มดีไอจะมีฟอร์มหลัก (Parent Form หรือ Main Form) และฟอร์มลูก (Child Form) ซึ่งเป็นฟอร์มทั่วๆไปได้หลายฟอร์ม โดยฟอร์มลูกนี้จะอยู่ภายในฟอร์มหลักเสมอ เพราะฟอร์มหลักจะเป็นแบคกราวด์ให้กับฟอร์มลูกตลอดเวลา ยกตัวอย่างซอฟท์แวร์ประยุกต์ที่เป็นแบบเอ็มดีไอ เช่น Microsoft Excel,Microsoft Word,VISIO,File Manager เป็นต้น โดยตัวอย่างในภาพที่ 51 แสดงการมีเอ็มดีไอของซอฟท์แวร์ File Manager ซึ่งจะเห็นว่าฟอร์มลูกก็จะแสดงรายชื่อของแฟ้มข้อมูลในแต่ละช่องเก็บ และฟอร์มลูกแต่ละฟอร์มจะมีขนาดและสภาวะที่แตกต่างกันอย่างเป็นอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิธีการใช้ซอฟท์แวร์

ซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors Design Software Package, SIMDSP)

ซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors Design Software Package) หรือ SIMDSP เป็นชื่อของซอฟท์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ Microsoft Visual Basic [11] และมีคุณสมบัติของซอฟท์แวร์ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows ตามที่อธิบายในบทที่ 5 ส่วนข้อจำกัดของการใช้งาน SIMDSP นั้นมีดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ ต้องมีซีพียู 80386 ขึ้นไป
2. หน่วยความจำหลัก 4 MB ขึ้นไป
3. จอภาพแบบ VGA ขึ้นไป
4. เมาท์ (Mouse)
5. ติดตั้ง DOS 3.1 ขึ้นไป
6. ติดตั้ง Microsoft Windows 3.1 ขึ้นไป
7. ผู้ใช้ต้องมีพื้นฐานการใช้งานซอฟท์แวร์ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows

การเริ่มต้นและจบการทำงาน SIMDSP

การเริ่มการทำงาน SIMDSP สามารถทำได้ 2 วิธีการคือ

1. ใช้เมาท์ดับเบิลคลิก(คลิกสองครั้งติดกัน)ที่ไอคอน "SIMDSP" ที่อยู่ในกลุ่มโปรแกรม "SIMDSP" ดังภาพที่ 52

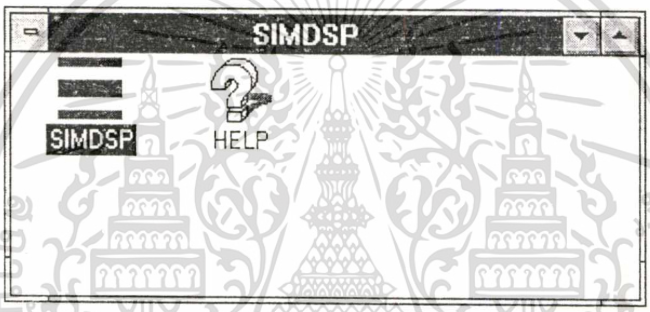
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้แป้นลูกศร ↑ ↓ ← → บนแป้นพิมพ์ (Keyboard) เพื่อเลือกไอคอน "SIMDSP" แล้วกดแป้น Enter บนแป้นพิมพ์

เมื่อ SIMDSP เริ่มทำงานแล้ว ปรากฏจอภาพดังภาพที่ 53 ซึ่งแสดงวินโดว์ที่จะแสดงรายละเอียดของ SIMDSP ผู้ใช้สามารถที่จะเริ่มการออกแบบโดยการคลิกที่ปุ่มคำสั่ง"ปิด"หรือกดแป้น Enter บนแป้นพิมพ์

ภาพที่ 52

แสดงกลุ่มโปรแกรม"SIMDSP"และไอคอน"SIMDSP"



ภาพที่ 53

แสดง SIMDSP ขณะเริ่มการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

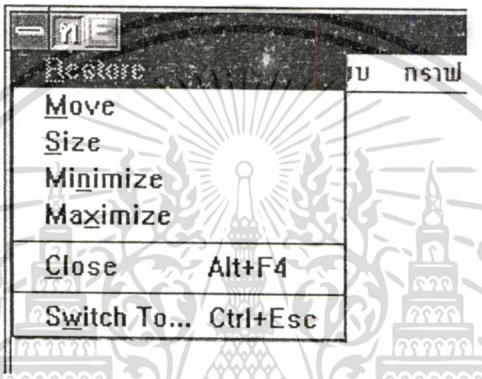
ส่วนการจบการทำงาน SIMDSP สามารถกระทำได้สองวิธีการเช่นกันคือ

1. คลิกเมนู"Close"ที่กล่องคอนโทรล(Control Box) บนวินโดว์"SIMDSP"ดังภาพที่ 54

2. คลิกเมนู"จบการทำงาน"บนวินโดว์"SIMDSP"

ภาพที่ 54

แสดงเมนู"Close"ที่กล่องคอนโทรล (Control Box)บนวินโดว์"SIMDSP"



<u>คำสั่งในเมนูต่างๆ</u>

SIMDSP มีเมนูหลักทั้งหมด 7 เมนู ซึ่งแต่ละเมนูหลัก จะมีเมนูย่อยและคำอธิบายดังต่อไปนี้

1. เมนู"แฟ้ม"

เมนู"แฟ้ม"จะมีเมนูย่อย 6 เมนู ดังภาพที่ 55 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1.1 เมนูย่อย"ออกแบบใหม่..." เริ่มต้นออกแบบมอเตอร์ใหม่ โดยกล่องรับข้อมูล (Text Box) และปุ่มตัวเลือก (Option Button) ที่อยู่บนวินโดว์"ข้อมูลอินพุต" จะถูกกำหนดให้มีค่าเริ่มต้นใหม่

1.2 เมนูย่อย"เปิดแฟ้มออกแบบ..." นำเข้าข้อมูลอินพุตจากแฟ้มข้อมูล โดยเป็นการออกแบบมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลเก่าซึ่งเก็บอยู่ในแฟ้มข้อมูล เมนูนี้จะใช้ร่วมกับการนำเข้าข้อมูลแผ่นลามิเนทจากแฟ้มข้อมูลด้วย ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะเลือกได้ว่า ต้องการนำเข้าข้อมูลใด โดยเลือกจากกล่องเช็ค (Check Box) ซึ่งอยู่บนวินโดว์"เปิดแฟ้ม"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 55

แสดงเมนู“แฟ้ม”

1.3 เมนูย่อย“ปิด” จบการออกแบบมอเตอร์ โดยถ้าผู้ใช้ยังไม่ได้ทำการจัดเก็บข้อมูล จะมีกล่องไดอะล็อก (Dialog Box) สอบถามผู้ใช้ก่อนว่า“ข้อมูลอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง จะเก็บข้อมูลก่อนหรือไม่ ?”

1.4 เมนูย่อย“บันทึกแฟ้ม” จัดเก็บข้อมูลอินพุตของการออกแบบมอเตอร์หรือจัดเก็บข้อมูลเอาต์พุตของการออกแบบแผ่นลามิเนทลงในแฟ้มข้อมูล ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกที่จะเก็บข้อมูลอะไรลงแฟ้มข้อมูลได้จากกล่องเช็ค (Check Box) ซึ่งอยู่บนวินโดว์“บันทึกแฟ้ม”

1.5 เมนูย่อย“พิมพ์ข้อมูล” พิมพ์ข้อมูลอินพุตหรือเอาต์พุตต่างๆออกทางเครื่องพิมพ์ (Printer) โดยผู้ใช้สามารถเลือกข้อมูลที่จะพิมพ์ได้จากกล่องเช็ค (Check Box) ซึ่งอยู่บนวินโดว์“พิมพ์ข้อมูล”

1.6 เมนูย่อย“จบการทำงาน” จบการทำงานของ SIMDSP

2. เมนู“แก้ไข”

เมนู“แก้ไข”จะมีเมนูย่อย 4 เมนู ดังภาพที่ 56 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

ภาพที่ 56

แสดงเมนู“แก้ไข”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 เมนูย่อย“ตัด” ตัดข้อความที่เลือกเอาไว้ลงคลิปบอร์ด ซึ่งสามารถที่จะใช้คำสั่งวางเพื่อนำข้อความไปใช้ที่อื่นได้

2.2 เมนูย่อย“คัดลอก” คัดลอกข้อความที่เลือกเอาไว้ลงคลิปบอร์ด ซึ่งสามารถที่จะใช้คำสั่งวางเพื่อนำข้อความไปใช้ที่อื่นได้

2.3 เมนูย่อย“วาง” นำข้อความที่ถูกตัด หรือ คัดลอกอยู่ในคลิปบอร์ดมาใช้

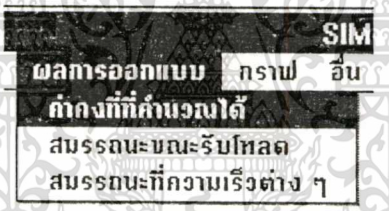
2.4 เมนูย่อย“ล้าง” ลบข้อความที่เลือกเอาไว้

3. เมนู“ผลการออกแบบ”

เมนู“ผลการออกแบบ”จะมีเมนูย่อย 3 เมนู ดังภาพที่ 57 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

ภาพที่ 57

แสดงเมนู“ผลการออกแบบ”



3.1 เมนูย่อย“ค่าคงที่ที่คำนวณได้” แสดงผลการออกแบบในส่วนของค่าคงที่ต่างๆ

3.2 เมนูย่อย“สมรรถนะขณะรับโหลด” แสดงผลการออกแบบในส่วนของสมรรถนะของมอเตอร์ที่ออกแบบขณะรับโหลดที่ 0, 50, 100 และ 150 % ของโหลดเต็มพิกัด

3.3 เมนูย่อย“สมรรถนะที่ความเร็วต่างๆ” แสดงผลการออกแบบในส่วนของสมรรถนะของมอเตอร์ที่ออกแบบที่ความเร็วต่างๆ

4. เมนู“กราฟ”

เมนู“กราฟ” ดังภาพที่ 58 แสดงกราฟคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ที่ออกแบบ

5. เมนู“อื่นๆ”

เมื่อทำการคลิกเมนู“อื่นๆ”จะปรากฏเมนู“ออกแบบแผ่นลามิเนท” ซึ่งจะมีเมนูย่อยลงไปอีก ดังภาพที่ 59 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 58

แสดงเมนู“กราฟ”

ภาพที่ 59

แสดงเมนู“อื่นๆ”

5.1 เมนูย่อย“สเตเตอร์” แสดงวินโดว์ “ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท” ซึ่งการออกแบบแผ่นลามิเนทนี้การแสดงผลของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตจะอยู่ในวินโดว์เดียวกัน อีกทั้งการออกแบบนี้จะเป็นส่วนที่แยกต่างหากจากการออกแบบมอเตอร์ คือผู้ใช้สามารถทำการออกแบบแผ่นลามิเนทขณะใดก็ได้

5.2 เมนูย่อย“โรเตอร์” แสดงวินโดว์ “ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท” ซึ่งการออกแบบแผ่นลามิเนทนี้การแสดงผลของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตจะอยู่ในวินโดว์เดียวกัน อีกทั้งการออกแบบนี้จะเป็นส่วนที่แยกต่างหากจากการออกแบบมอเตอร์ คือผู้ใช้สามารถทำการออกแบบแผ่นลามิเนทขณะใดก็ได้

6. เมนู“วินโดว์”

เมนู“วินโดว์”จะมีเมนูย่อย 5 เมนู ดังภาพที่ 60 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

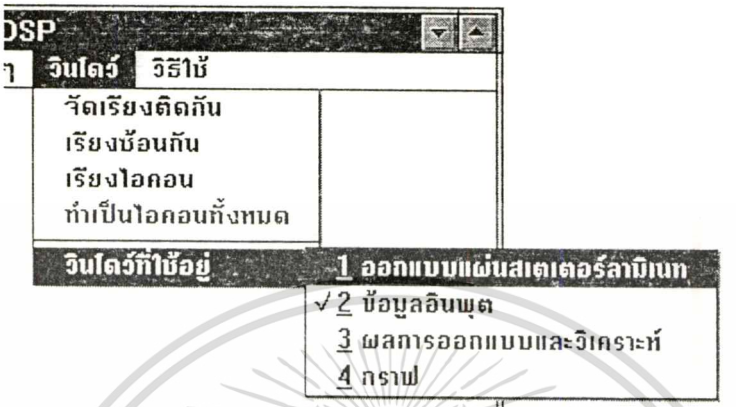
6.1 เมนูย่อย“จัดเรียงติดกัน” ทำการจัดเรียงวินโดว์ที่แสดงอยู่ให้มาเรียงติดกันเต็มจอภาพ ดังภาพที่ 61 โดยการสลับเปลี่ยนวินโดว์สามารถทำได้โดยกดแป้น Ctrl และ Tab พร้อมกันบนแป้นพิมพ์

6.2 เมนูย่อย“เรียงซ้อนกัน” ทำการจัดเรียงวินโดว์ที่แสดงอยู่ให้มาเรียงซ้อนกัน ดังภาพที่ 62 โดยการสลับเปลี่ยนวินโดว์สามารถทำได้โดยกดแป้น Ctrl และ Tab พร้อมกันบนแป้นพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

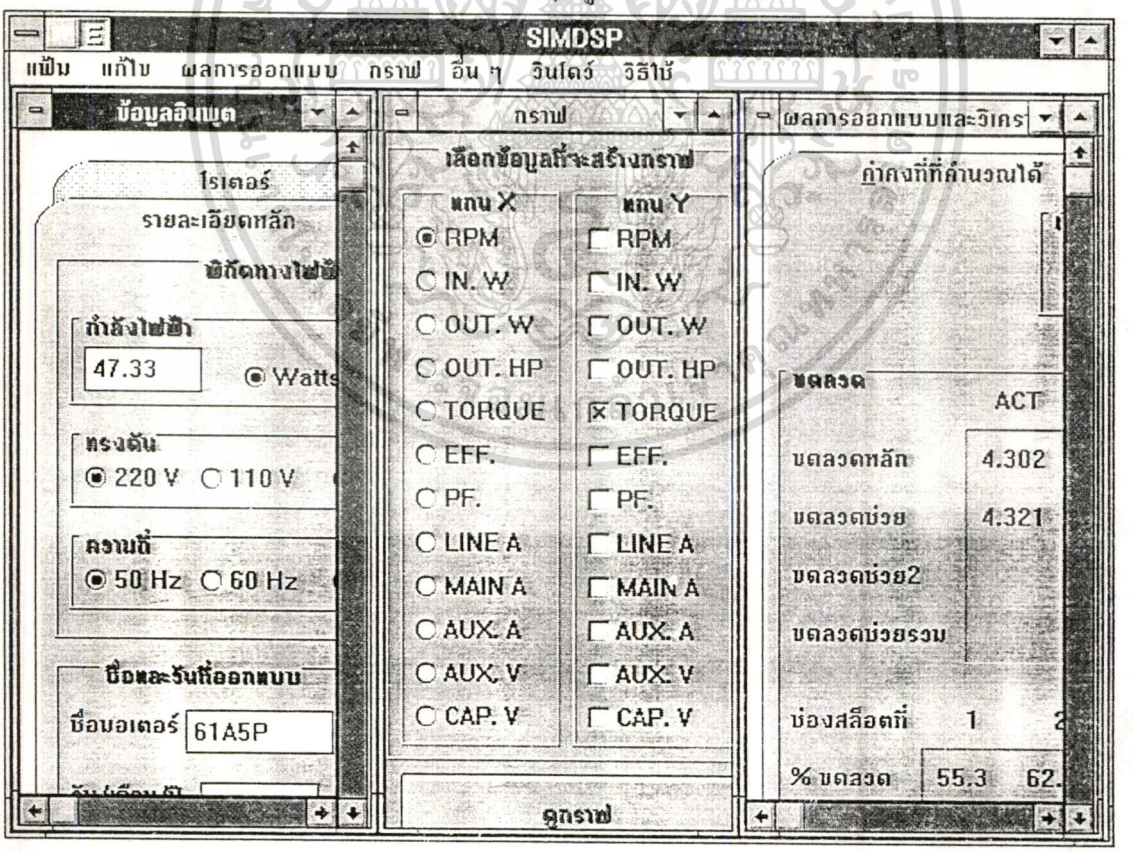
ภาพที่ 60

แสดงเมนู"วินโดว์"



ภาพที่ 61

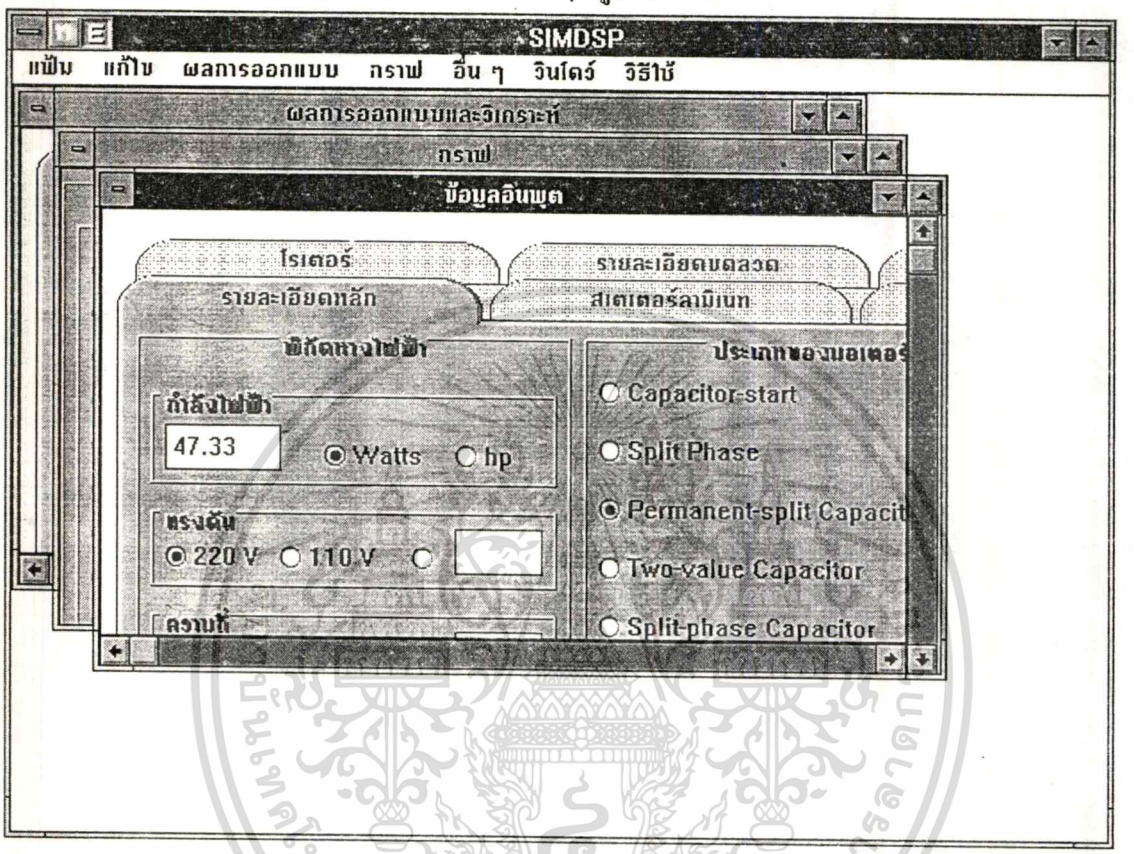
แสดงวินโดว์ต่างๆที่ถูกจัดเรียงติดกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 62

แสดงวินโดว์ต่างๆที่ถูกจัดซ้อนกัน



6.3 เมนูย่อย“เรียงไอคอน” จัดเรียงไอคอน (Icon) ที่แสดงอยู่ให้เป็นระเบียบ

6.4 เมนูย่อย“ทำเป็นไอคอนทั้งหมด” ทำวินโดว์ที่แสดงอยู่ให้อยู่ในรูปไอคอนทั้งหมด ดังภาพที่ 63

6.5 เมนูย่อย“วินโดว์ที่ใช้อยู่” เมื่อทำการคลิกที่เมนูนี้ จะปรากฏเมนูย่อยแสดงรายชื่อของวินโดว์ที่มีการใช้อยู่ ผู้ใช้สามารถกดคลิกไปที่รายชื่อวินโดว์ใดก็ได้ เพื่อให้วินโดว์นั้นมาแสดงอยู่บนจอภาพ

7. เมนู“วิธีใช้”

เมนู“วิธีใช้”จะมีเมนูย่อย 4 เมนู ดังภาพที่ 64 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

7.1 เมนูย่อย“สารบัญ” แสดงวินโดว์ “สารบัญวิธีใช้ SIMDSP” ซึ่งเป็นข้อแนะนำและวิธีใช้ SIMDSP ในการออกแบบ ดังภาพที่ 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 63

แสดงวินโดว์ต่างๆที่ถูกจัดอยู่ในรูปไอคอนทั้งหมด

ภาพที่ 64

แสดงเมนู "วิธีใช้"

7.2 เมนูย่อย"ค้นหาวิธีใช้ของ...." แสดงวินโดว์"Search" ซึ่งเป็นวินโดว์แสดงหัวข้อวิธีใช้ SIMDSP เพื่อความสะดวกในการค้นหาวิธีใช้ ดังภาพที่ 66

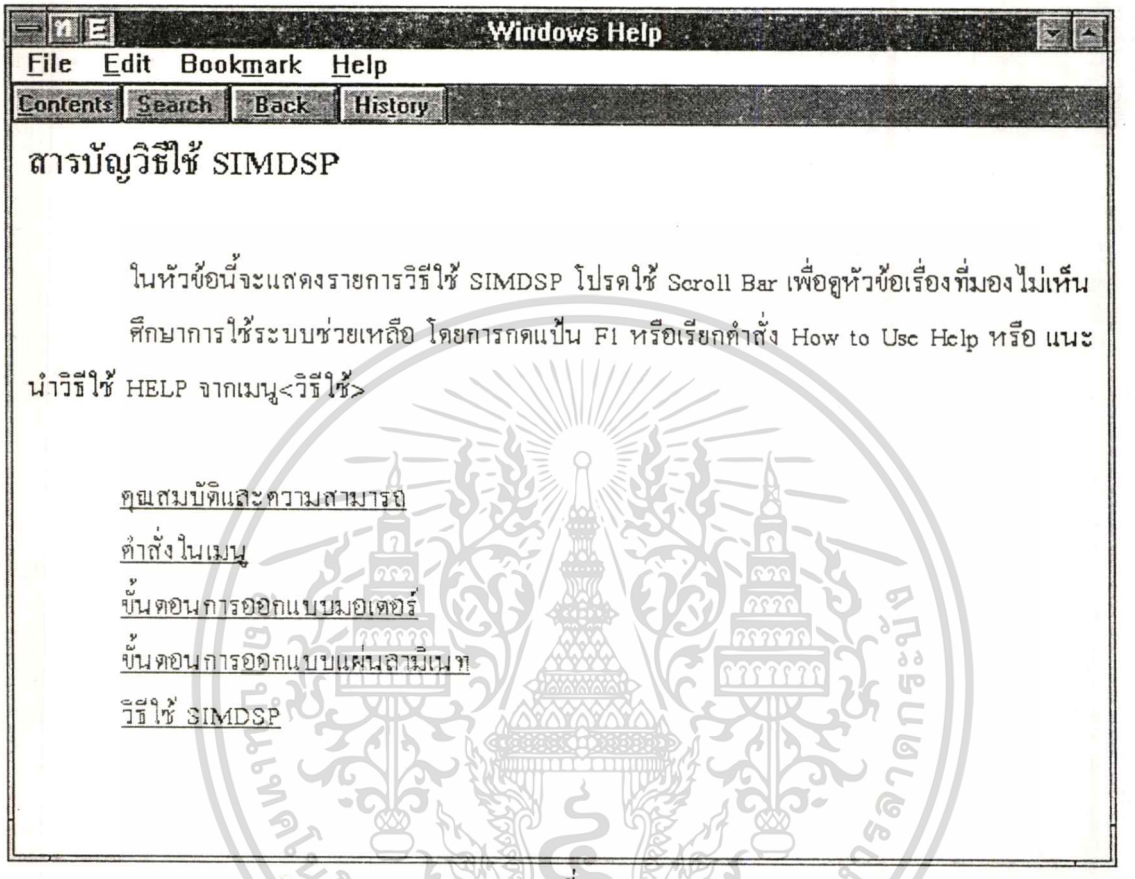
7.3 เมนูย่อย"แนะนำวิธีใช้ Help"แสดงวินโดว์"How to use help" ซึ่งเป็นข้อแนะนำและวิธีใช้ระบบช่วยเหลือ (Help) ดังภาพที่ 67

7.4 เมนูย่อย"เกี่ยวกับ SIMDSP" แสดงวินโดว์ที่แสดงรายละเอียดของ SIMDSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

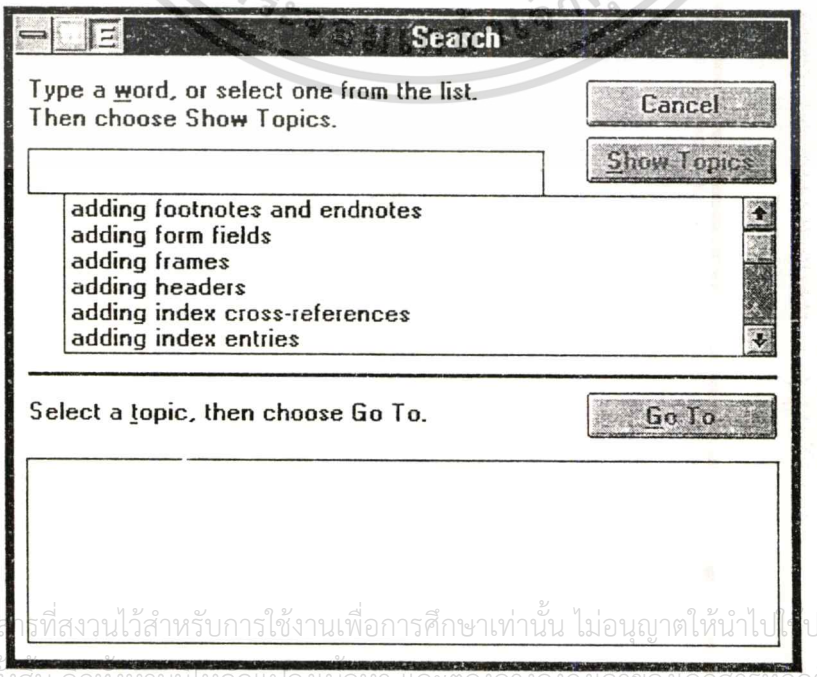
ภาพที่ 65

แสดงวินโดว์"สารบัญวิธีใช้ SIMDSP"



ภาพที่ 66

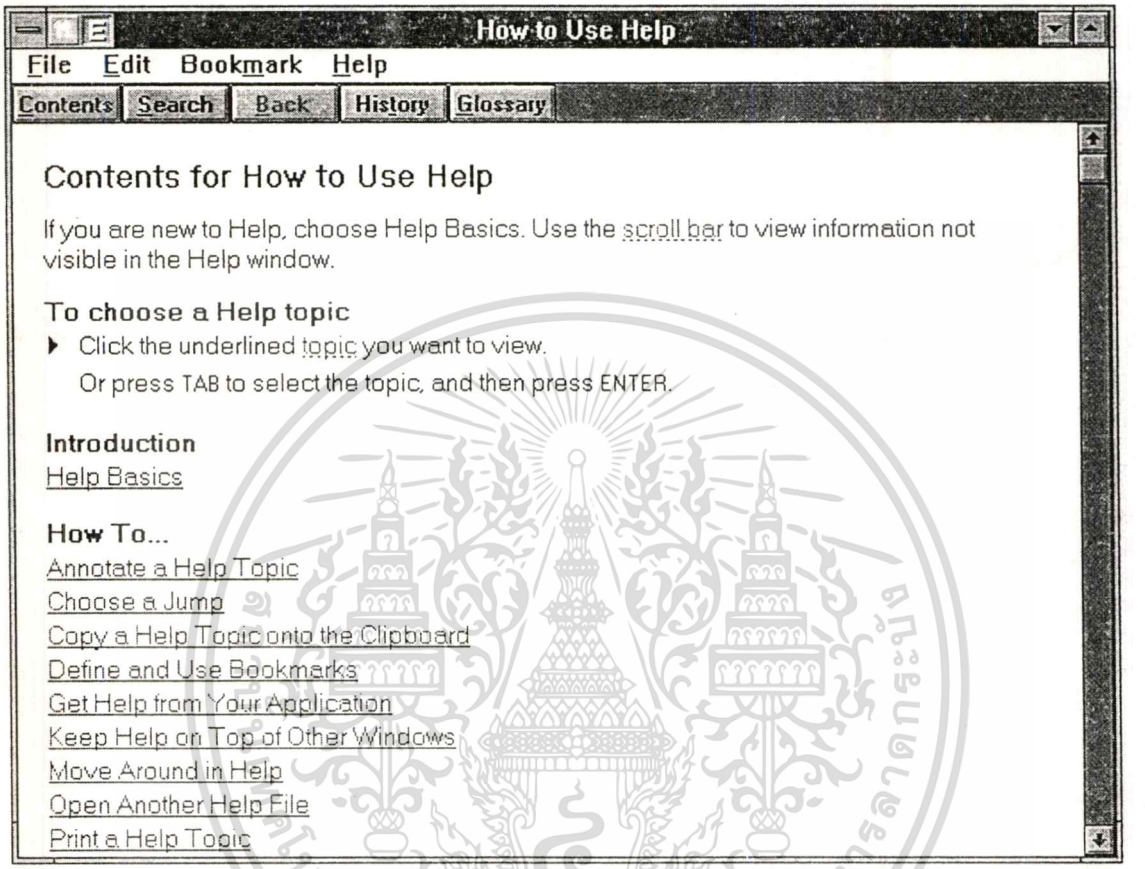
แสดงวินโดว์"Search"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 67

แสดงวินโดว์"How to use help"



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขั้นตอนการออกแบบมอเตอร์

ในการใช้ SIMDSP เพื่อทำการออกแบบมอเตอร์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้นการออกแบบมอเตอร์

การเริ่มต้นออกแบบมอเตอร์สามารถทำได้สองวิธีการ คือ

1.1 คลิกเมนู"ออกแบบใหม่..."ซึ่ง SIMDSP จะแสดงวินโดว์"ข้อมูลอินพุต"ที่คอนโทรลรับข้อมูลทุกตัวถูกรีเซ็ทไปสู่สภาพพร้อมรับข้อมูลดังภาพที่ 68

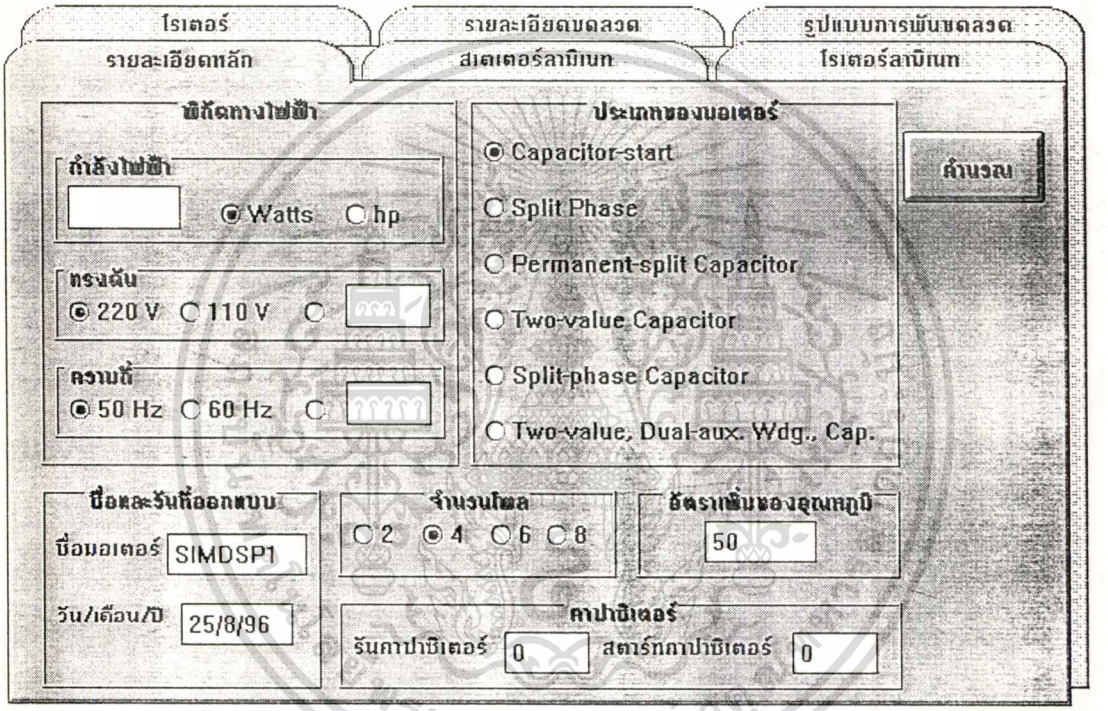
1.2 คลิกเมนู"เปิดแฟ้มออกแบบ..." SIMDSP จะแสดงวินโดว์"เปิดแฟ้ม"ดังภาพที่ 69 เพื่อให้ผู้ใช้เลือกที่กล่องเช็ค (Check Box) ว่าต้องการเปิดแฟ้มข้อมูลเกี่ยวกับอะไร แต่ในกรณีนี้เช็คที่กล่องเช็ค"ข้อมูลอินพุต"และคลิกปุ่มคำสั่ง"ตกลง" SIMDSP จะแสดงวินโดว์ "เปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟ้มข้อมูลอินพุต"ดังภาพที่ 70 เพื่อให้ผู้ใช้เลือกแฟ้มข้อมูลที่มีนามสกุล SIM และทำการคลิกที่ปุ่มคำสั่ง"OK" เพื่อแสดงถึงการเลือกแฟ้มข้อมูลเรียบร้อยแล้ว วินโดว์"ข้อมูลอินพุต"จะปรากฏขึ้นมาพร้อมกับข้อมูลที่เลือกเอาไว้ ดังภาพที่ 71

ภาพที่ 68

แสดงวินโดว์"ข้อมูลอินพุต"เมื่อคลิกเมนู"ออกแบบใหม่..."



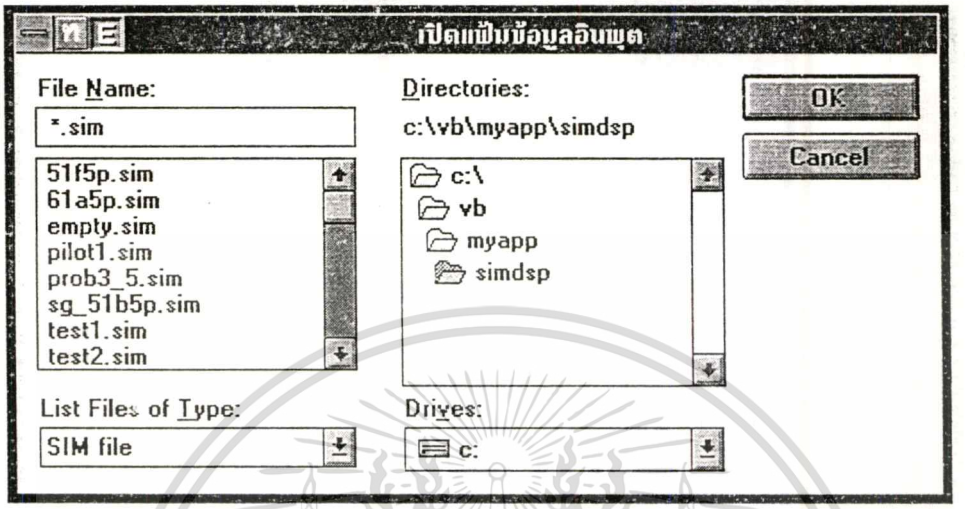
ภาพที่ 69

แสดงวินโดว์"เปิดแฟ้ม"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

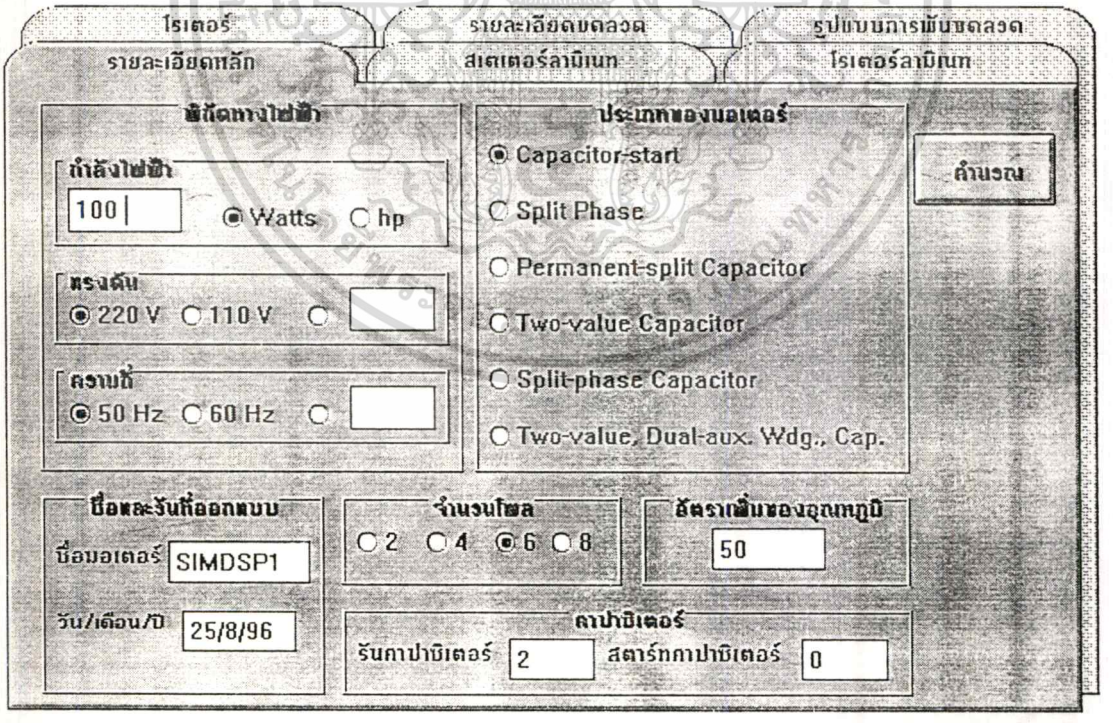
ภาพที่ 70

แสดงวินโดว์“เปิดแฟ้มข้อมูลอินพุต”



ภาพที่ 71

แสดงวินโดว์“ข้อมูลอินพุต” พร้อมกับข้อมูลที่เลือกเอาไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใส่หรือแก้ไขข้อมูลอินพุต

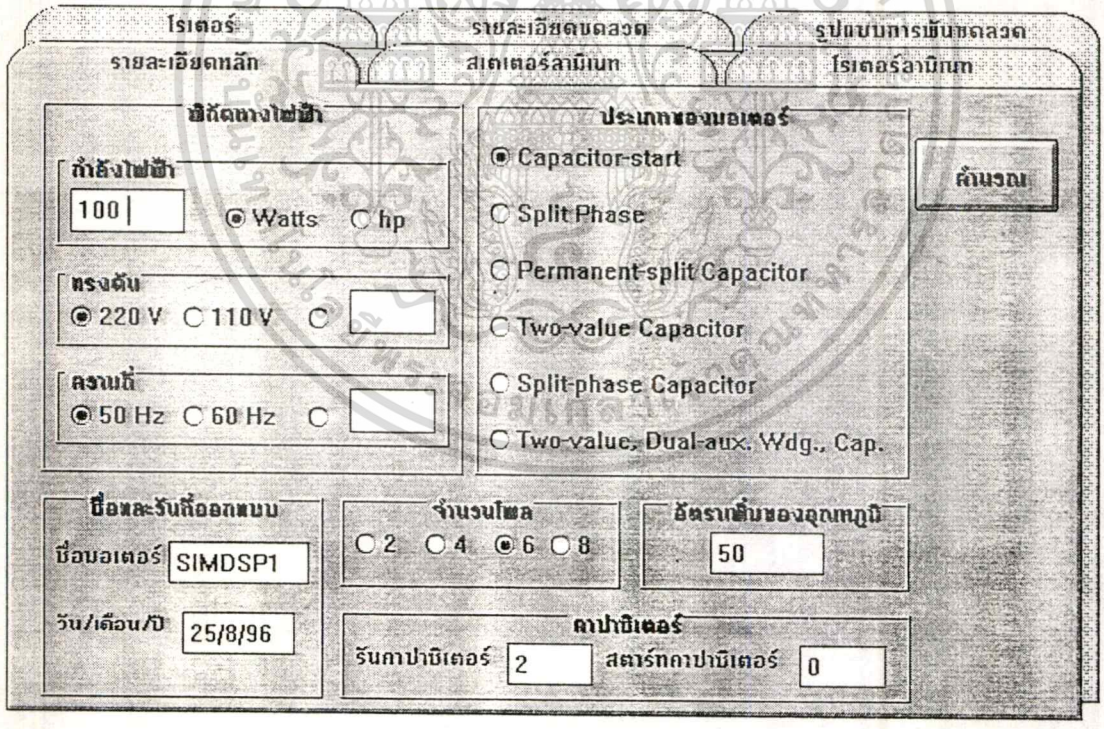
การใส่หรือแก้ไขข้อมูลอินพุตจะทำผ่านวินโดว์ "ข้อมูลอินพุต" ซึ่งจะนำข้อดีของคอนโทรลแท็ป (Tab Control) มาทำการจัดกลุ่มของข้อมูลอินพุต ให้ผู้ใช้สามารถใส่หรือแก้ไขข้อมูลอินพุตได้ง่ายขึ้น โดยการเปลี่ยนแท็ปสามารถทำได้โดยใช้เมาท์คลิกไปที่บริเวณป้ายชื่อของแท็ปที่ต้องการ วินโดว์"ข้อมูลอินพุต"จะแบ่งกลุ่มของข้อมูลอินพุตโดยใช้แท็ปทั้งหมด 6 แท็ป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 แท็ป"รายละเอียดหลัก"

ข้อมูลอินพุตในส่วนของรายละเอียดหลัก ซึ่งอยู่ในแท็ปดังภาพที่ 72 จะอธิบายได้ดังนี้

ภาพที่ 72

แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"รายละเอียดหลัก"



2.1.1 พิกัดกำลังไฟฟ้า ซึ่งสามารถเลือกหน่วย (Watts หรือ hp) ได้จากปุ่มตัวเลือก (Option Button) ส่วนขนาดนั้นสามารถกำหนดค่าได้ในกล่องรับข้อมูล(Text Box)

2.1.2 พิกัดแรงดัน เลือกแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ปุ่มตัวเลือกหรือจะกำหนดค่าเองโดยใช้กล่องรับข้อมูลก็ได้

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 พิกัดความถี่ เลือกความถี่โดยใช้ปุ่มตัวเลือกหรือจะกำหนดค่าเองโดยใช้กล่องรับข้อมูลก็ได้

โดยค่าข้อมูลอินพุตทั้งสามนี้จะเป็นข้อมูลอินพุตบังคับที่ผู้ใช้จะต้องใส่ค่าเข้ามาเป็นข้อมูลเริ่มต้นก่อนการออกแบบเสมอ (สังเกตุตัวอักษรสีแดงบนจอภาพ) มิฉะนั้นจะมีกล่องไดอะล็อก "ใส่ค่าอินพุตไม่ถูกต้อง" เตือนเกิดขึ้น

2.1.4 ประเภทของมอเตอร์ ที่จะออกแบบสามารถถูกเลือกได้โดยการคลิกที่ปุ่มตัวเลือกต่างๆ ซึ่งมีอยู่ 6 ประเภท ดังนี้

- Capacitor - start Motor
- Split - phase Motor
- Permanent - split Capacitor Motor
- Two - value Capacitor Motor
- Split - phase Capacitor Motor
- Two - value, Dual Aux. Wdg., Capacitor Motor

2.1.5 ชื่อและวันที่ออกแบบ เป็นส่วนของการระบุชื่อของมอเตอร์ที่ออกแบบเพื่อนำไปอ้างอิงในภายหลัง อีกทั้งยังนำไปกำหนดชื่อแฟ้มข้อมูลขณะเก็บหรือนำเอาแฟ้มข้อมูลออกมาใช้งานอีกด้วย ส่วนวันที่ออกแบบจะนำไปเพื่ออ้างอิงวันที่ทำการออกแบบ

2.1.6 อัตราเพิ่มของอุณหภูมิ เป็นการใส่ค่าผ่านกล่องรับข้อมูล (Text Box) เพื่อกำหนดอัตราเพิ่มของอุณหภูมิ ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณความต้านทานต่อไป

2.1.7 คาปาซิเตอร์ หรือ ตัวเก็บประจุ ในส่วนนี้รันคาปาซิเตอร์และสตาร์ทคาปาซิเตอร์ จะถูกกำหนดค่าโดยการใส่ค่าเข้าไปในกล่องรับข้อมูลโดยผู้ใช้

2.1.8 จำนวนโพล เป็นการกำหนดจำนวนโพล(ขั้วแม่เหล็ก)ของมอเตอร์ที่จะทำการออกแบบซึ่งจะกำหนดโดยการคลิกที่ปุ่มตัวเลือกของจำนวนโพลที่ต้องการ

2.2 แท็ป"สเตเตอร์ลามิเนท"

เป็นข้อมูลอินพุตในส่วนของสเตเตอร์ลามิเนทของมอเตอร์ที่ต้องการจะออกแบบ ซึ่งอยู่ในแท็ปดังภาพที่ 73 โดยในส่วนนี้การใส่ค่าจะผ่านกล่องรับข้อมูล (Text Box) ทั้งหมด ซึ่งมีดังต่อไปนี้

2.2.1 NAME ; กำหนดชื่อสเตเตอร์ลามิเนทสำหรับอ้างอิง

2.2.2 S1 ; จำนวนช่องสล็อตสเตเตอร์

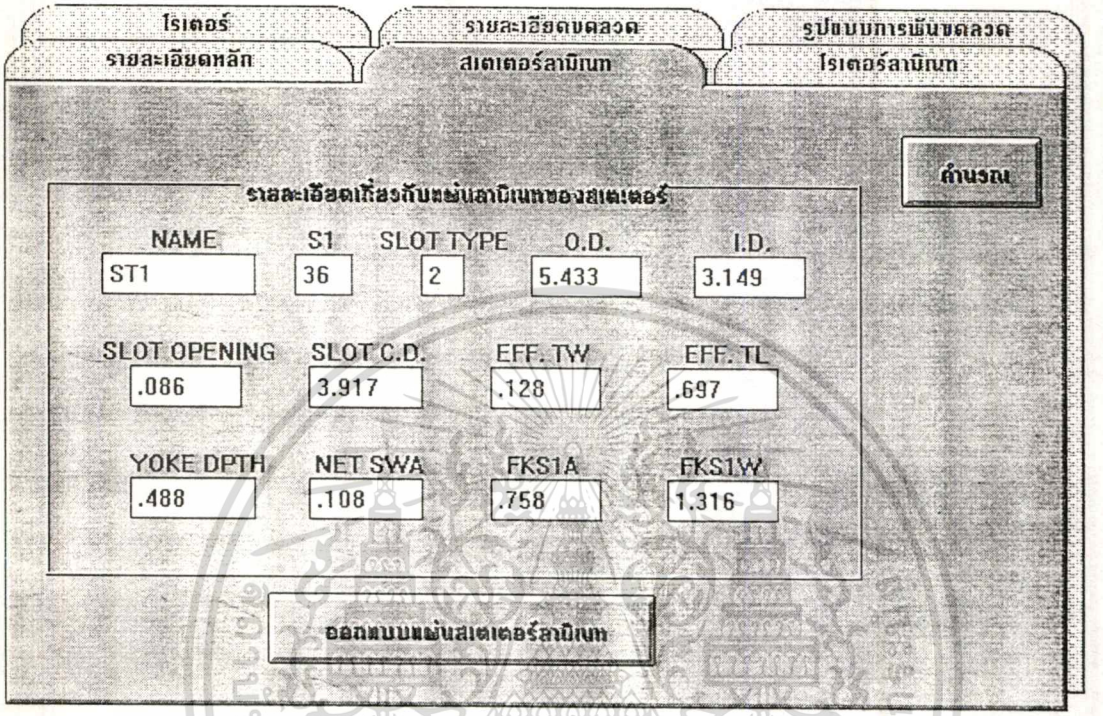
2.2.3 SLOT TYPE ; รูปแบบของช่องสล็อต

2.2.4 O.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 73

แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"สเตเตอร์ลามิเนท"



2.2.5 I.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

2.2.6 SLOT OPENING ; ความกว้างของปากช่องสล็อต

2.2.7 SLOT C.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่จุดกึ่งกลางช่องสล็อต

2.2.8 EFF. TW ; ความกว้างของซี่สล็อตสเตเตอร์

2.2.9 EFF.TL ; ความยาวของซี่สล็อตสเตเตอร์

2.2.10 YOKE DPTH ; ความลึกส่วนโครง

2.2.11 NET SWA ; พื้นที่หน้าตัดของช่องสล็อต

2.2.12 FKS1A ; ค่าคงที่ช่องสล็อตของส่วนที่เป็นอากาศ

2.2.13 FKS1W ; ค่าคงที่ช่องสล็อตของส่วนที่เป็นขดลวด

ข้อมูลอินพุตของสเตเตอร์ลามิเนทนี้ จะเป็นข้อมูลอินพุตบังคับที่ผู้ใช้จะต้องใส่เข้ามาเป็นข้อมูลเริ่มต้นเสมอ (ตัวอักษรสีแดงบนจอภาพ) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถหามาได้จาก 3 วิธีการดังนี้

1. ใส่ค่าเข้าไปโดยตรงที่กล่องรับข้อมูล

2. นำเข้าข้อมูลมาจากแฟ้มข้อมูล โดยใช้เมนู"เปิดแฟ้มออกแบบ..."

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

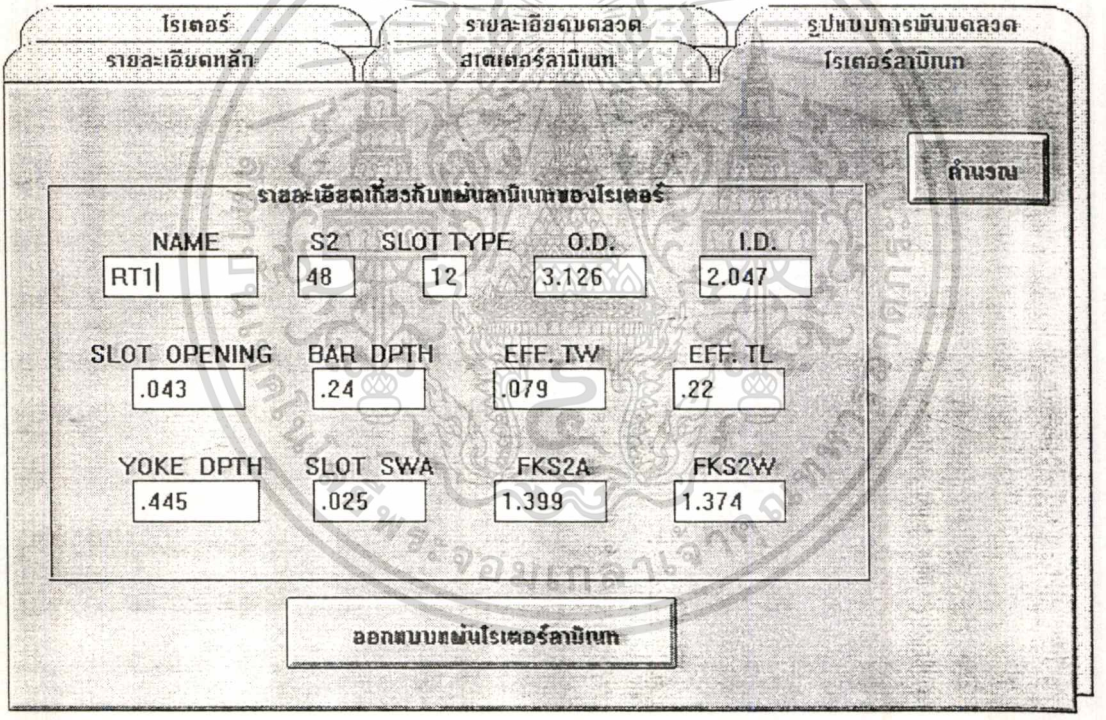
3. ทำการออกแบบโดยคลิกปุ่มคำสั่ง “ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท” ซึ่งเป็นการเข้าสู่ส่วนในการออกแบบแผ่นลามิเนทโดยเฉพาะ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในภายหลัง

2.3 แท็ป“โรเตอร์ลามิเนท”

เป็นข้อมูลอินพุตในส่วนของโรเตอร์ลามิเนทของมอเตอร์ที่ต้องการจะออกแบบ ซึ่งอยู่ในแท็ปดังภาพที่ 74 โดยในส่วนนี้การใส่ค่าจะผ่านกล่องรับข้อมูล (Text Box) ทั้งหมด ซึ่งมีดังต่อไปนี้

ภาพที่ 74

แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต“โรเตอร์ลามิเนท”



2.3.1 NAME ; กำหนดชื่อโรเตอร์ลามิเนทสำหรับอ้างอิง

2.3.2 S2 ; จำนวนช่องสล็อตโรเตอร์

2.3.3 SLOT TYPE ; รูปแบบของช่องสล็อต

2.3.4 O.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก

2.3.5 I.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

2.3.6 SLOT OPENING ; ความกว้างของปากช่องสล็อต

2.3.7 BAR DPTH. ; ความลึกของตัวนำในช่องสล็อต

2.3.8 EFF. TW ; ความกว้างของซี่สล็อตโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.9 EFF.TL ; ความยาวของซี่สล็อตโรเตอร์

2.3.10 YOKE DPTH ; ความลึกส่วนโครง

2.3.11 SLOT SWA ; พื้นที่หน้าตัดของช่องสล็อต

2.3.12 FKS2A ; ค่าคงที่ช่องสล็อตของส่วนที่เป็นอากาศ

2.3.13 FKS2W ; ค่าคงที่ช่องสล็อตของส่วนที่เป็นขดลวด

ข้อมูลอินพุตของโรเตอร์ลามิเนทนี้ จะเป็นข้อมูลอินพุตบังคับที่ผู้ใช้จะต้องใส่เข้ามาเป็นข้อมูลเริ่มต้นเสมอ (ตัวอักษรสีแดงบนจอภาพ) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถหามาได้จาก 3 วิธีการดังนี้

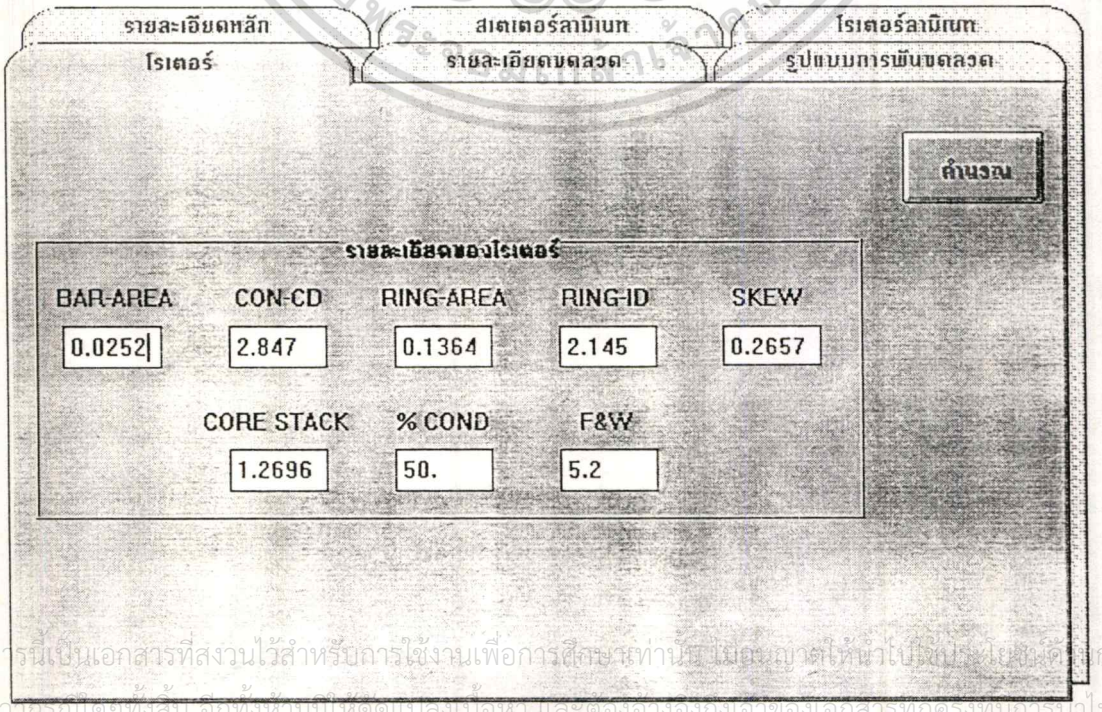
1. ใส่ค่าเข้าไปโดยตรงที่กล่องรับข้อมูล
2. นำเข้าข้อมูลมาจากแฟ้มข้อมูล โดยใช้เมนู"เปิดแฟ้มออกแบบ..."
3. ทำการออกแบบโดยคลิกปุ่มคำสั่ง"ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท" ซึ่งเป็นการเข้าสู่ส่วนในการออกแบบแผ่นลามิเนทโดยเฉพาะ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในภายหลัง

2.4 แท็ป"โรเตอร์"

ค่าข้อมูลอินพุตในส่วนของโรเตอร์นี้ จะเป็นการกำหนดขนาดต่างๆของแกนเหล็กโรเตอร์, วงแหวนลัดวงจรและตัวนำโรเตอร์ โดยใช้กล่องรับข้อมูล(Text Box) ซึ่งอยู่ในแท็ปดังภาพที่ 75 โดยมีค่าต่างๆดังต่อไปนี้

ภาพที่ 75

แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"โรเตอร์"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 BAR-AREA ; พื้นที่หน้าตัดของตัวนำโรเตอร์

2.4.2 COND-CD ; เส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ ณ จุดกึ่งกลางของตัวนำในช่องสล็อต

2.4.3 RING-AREA ; พื้นที่หน้าตัดของวงแหวนลัดวงจร

2.4.4 RING-ID ; เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของวงแหวนลัดวงจร

2.4.5 SKEW ; ระยะห่างของการวางสล็อตเฉียง

2.4.6 CORE STACK ; ความยาวแกนเหล็ก

2.4.7 % COND ; เปอร์เซ็นต์สภาพนำของตัวนำโรเตอร์

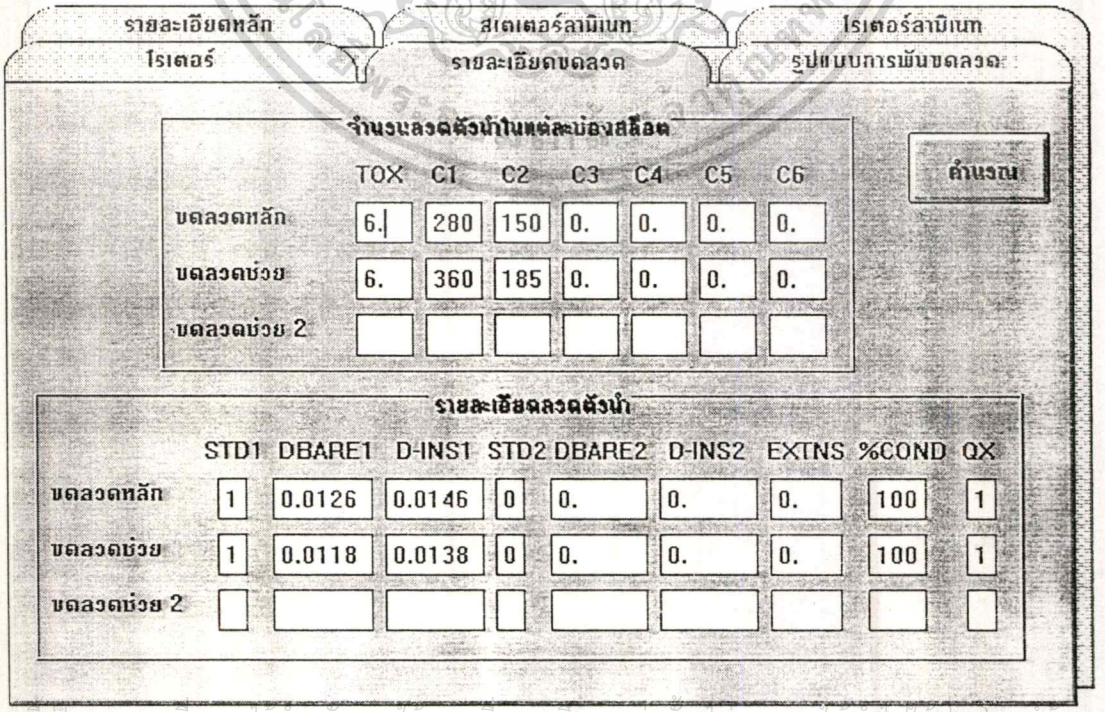
2.4.8 F&W ; ความสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน

2.5 แท็ป"รายละเอียดขดลวด"

เป็นข้อมูลอินพุตในส่วนของรายละเอียดการวางขดลวด, จำนวนรอบของลวดตัวนำและขนาดของลวดตัวนำที่ใช้ ซึ่งข้อมูลที่ถูกใส่ผ่านกล่องรับข้อมูล (Text Box) จะเป็นการใส่ข้อมูลแต่ละชุดขดลวด คือ ขดลวดหลัก, ขดลวดช่วยและขดลวดช่วย 2 ซึ่งอยู่ในแท็ปดังภาพที่ 76 โดยมีค่าต่างๆดังต่อไปนี้

ภาพที่ 76

แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"รายละเอียดขดลวด"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 TOX ;ช่องสล็อตที่ใส่ขดลวดด้านนอกสุด(ช่องสล็อตที่ 1 และ TOX)ของแต่ละขดลวด

2.5.2 C1-C6 ; จำนวนลวดตัวนำในช่องสล็อตที่ 1 - 6

2.5.3 STD1 และ STD2 ; จำนวนเกลียวของลวดตัวนำในขดลวดชุดแรกและชุดที่ 2

2.5.4 DBARE1 และ DBARE2 ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำในขดลวดชุดแรกและชุดที่ 2

2.5.5 D-INS1 และ D-INS2 ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรวมฉนวนของลวดตัวนำในขดลวดชุดแรกและชุดที่ 2

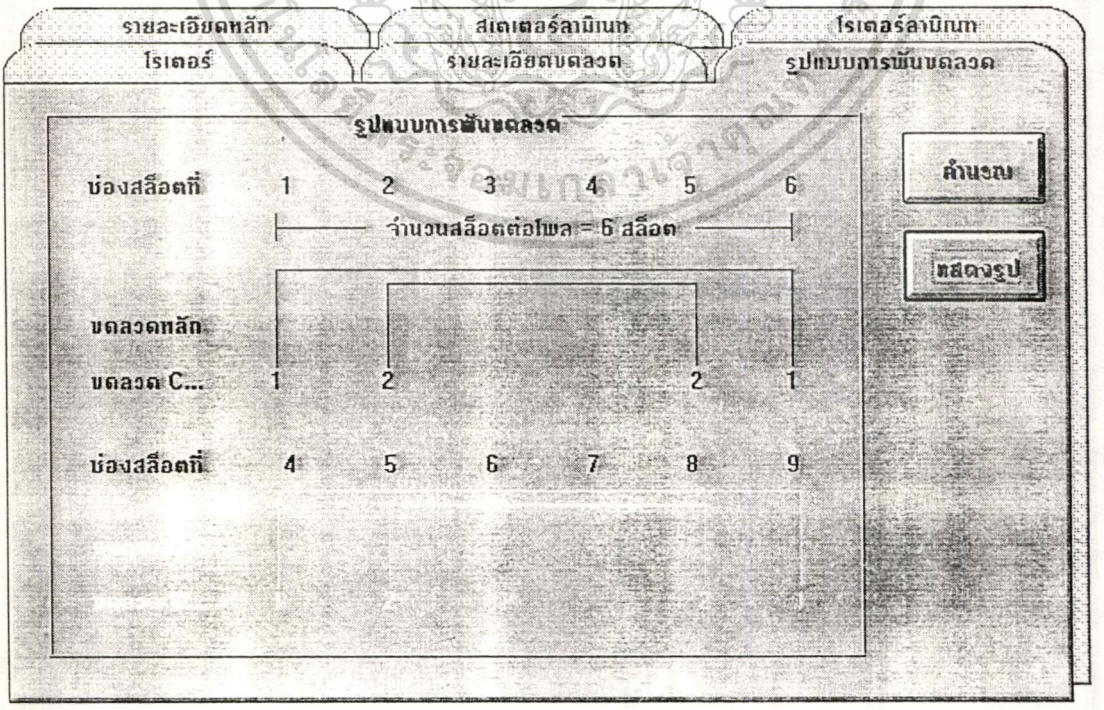
2.5.6 EXTNS ; ความยาวของขดลวดส่วนที่ยื่นเกินออกมาจากแกนเหล็ก

2.5.7 %COND ; เปอร์เซ็นต์สภาพนำของขดลวด

2.5.8 QX ; จำนวนขดลวดที่ต่อขนานกันอยู่

ภาพที่ 77

แสดงแท็ปข้อมูลอินพุต"รูปแบบการพันขดลวด"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แท็ป"รูปแบบการพันขดลวด"

การแสดงการวางตำแหน่งของขดลวดที่ได้ใส่เป็นข้อมูลอินพุตเอาไว้ ในลักษณะรูปภาพซึ่งการที่จะให้ SIMDSP แสดงรูปนั้น ผู้ใช้จะต้องคลิกที่ปุ่มคำสั่ง"แสดงรูป" ซึ่งจะแสดงแท็ปดังภาพที่ 77

3. สั่งให้ SIMDSP รับข้อมูลอินพุต

เมื่อผู้ใช้ทำการใส่ข้อมูลอินพุตเรียบร้อยแล้ว จะต้องคลิกปุ่มคำสั่ง"คำนวณ"เพื่อให้ SIMDSP รับข้อมูลอินพุตไปทำการคำนวณและวิเคราะห์ต่อไป หรือให้ SIMDSP คำนวณหาข้อมูลอินพุตให้ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ใส่ค่าเข้ามา โดยก่อนที่ผู้ใช้จะไปพิจารณาผลการออกแบบจะปรากฏกล่องไดอะล็อก"แก้ไขข้อมูลหรือไม่"เพื่อสอบถามความต้องการในการแก้ไขข้อมูล ดังภาพที่ 78

ภาพที่ 78

แสดงกล่องไดอะล็อก"แก้ไขข้อมูลหรือไม่"เมื่อคลิกปุ่มคำสั่ง"คำนวณ"

4. พิจารณาผลการออกแบบ

การพิจารณาผลการออกแบบสามารถทำได้เมื่อผู้ใช้คลิกที่เมนู"ผลการออกแบบ"จะปรากฏวินโดว์"ผลการออกแบบ"ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวินโดว์"ข้อมูลอินพุต"คือใช้คอนโทรลแท็ป (Tab Control) มาช่วยแบ่งกลุ่มในการแสดงผลการออกแบบออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

4.1 แท็ป"ค่าคงที่ที่คำนวณได้"

แท็ปนี้จะแสดงค่าคงที่ต่างๆ ซึ่ง SIMDSP คำนวณได้โดยอาศัยข้อมูลอินพุตที่รับเข้าไป ค่าคงที่ที่คำนวณได้นี้จะถูกแบ่งย่อยออกเป็น 4 กลุ่ม ในการพัฒนาซอฟท์แวร์ได้ใช้ข้อดีของกล่องร่วม (Combo Box) ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกพิจารณาโดยการคลิกที่ปุ่ม ↓ ข้างกล่องร่วม กล่องร่วมจะแสดงรายการค่าคงที่ให้ผู้ใช้เลือกที่จะพิจารณา ซึ่งมี 4 กลุ่มดังนี้

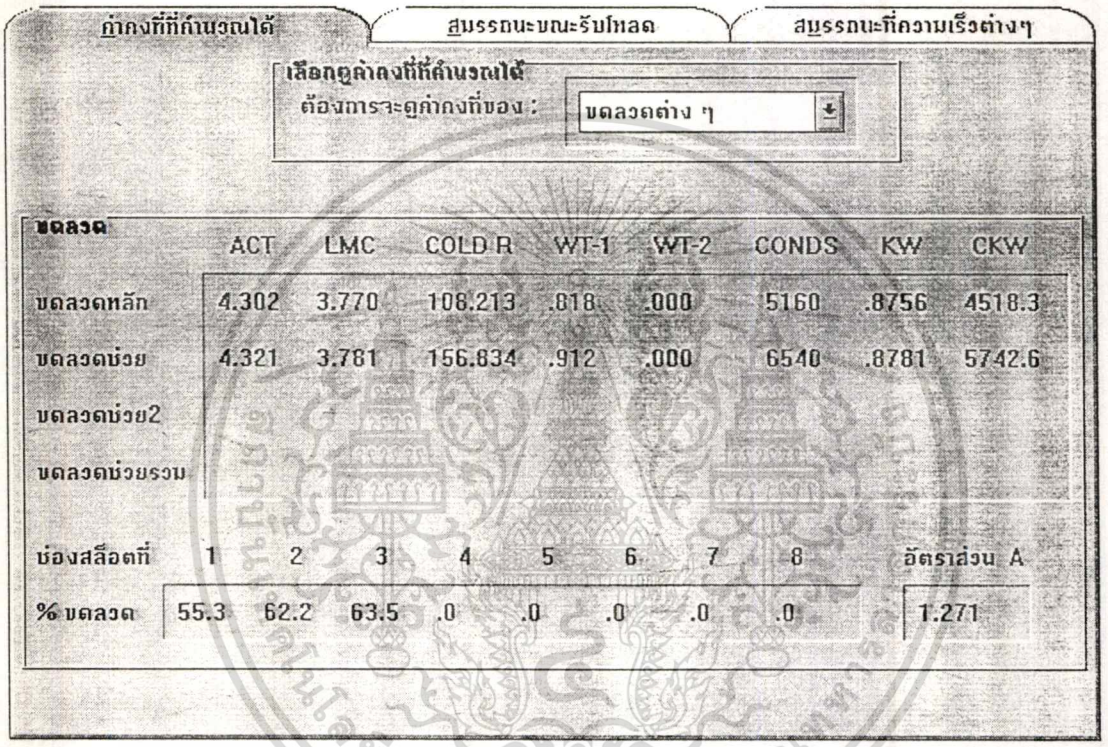
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ค่าคงที่ของขดลวดต่างๆ

แสดงค่าคงที่ของขดลวดต่างๆ ดังภาพที่ 79 และมีความหมายดังนี้

ภาพที่ 79

แสดงแท็ปผลการออกแบบ"ค่าคงที่ที่คำนวณได้"(ค่าคงที่ของขดลวดต่างๆ)



4.1.1.1 ACT ; ระยะห่างเฉลี่ยในแต่ละด้านของขดลวดย่อย

4.1.1.2 LMC ; ความยาวเฉลี่ยของลวดตัวนำ

4.1.1.3 COLD R ; ความต้านทานของขดลวดที่ 25 °C

4.1.1.4 WT-1 และ WT-2 ; น้ำหนักของขดลวดชุดที่ 1 และ 2

4.1.1.5 CONDS ; จำนวนลวดตัวนำทั้งหมดของขดลวด

4.1.1.6 KW ; ตัวประกอบการกระจายของขดลวด

4.1.1.7 CKW ; จำนวนตัวนำประสิทธิผลของขดลวด

4.1.1.8 % ขดลวด ; อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำทั้งหมดต่อพื้นที่หน้าตัดของช่องสล็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

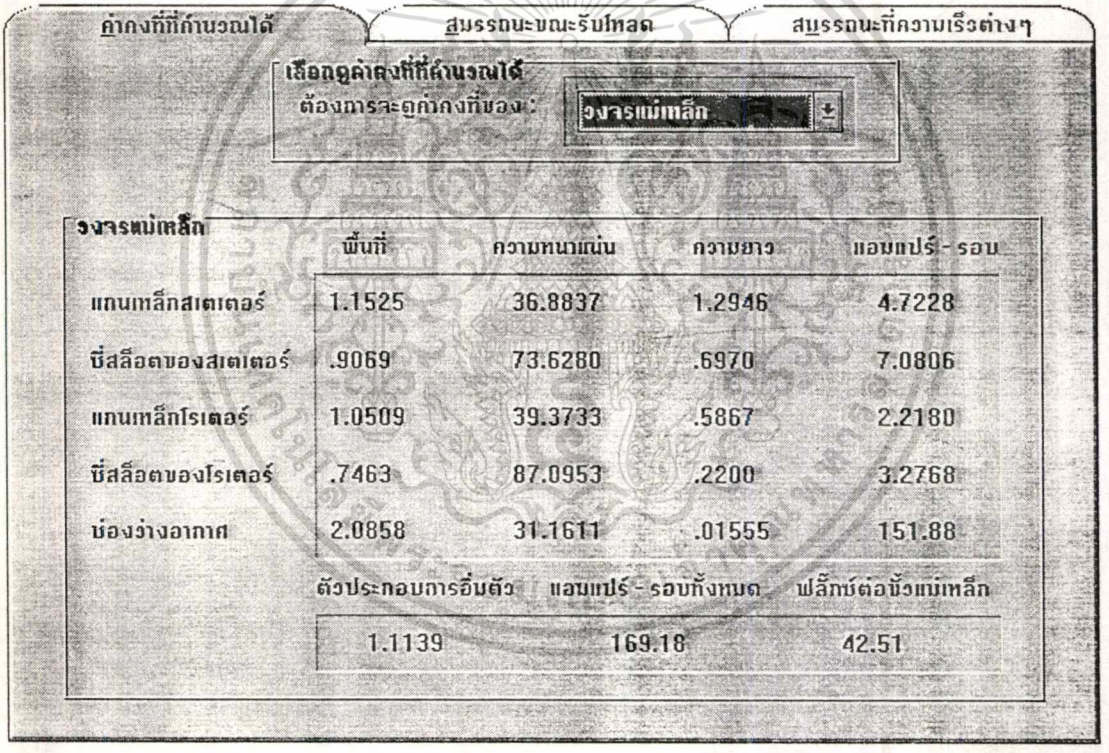
4.1.1.9 อัตราส่วน A ; อัตราส่วนจำนวนตัวนำ
ประสิทธิผลของขดลวดช่วยต่อขดลวดหลัก

4.1.2 ค่าคงที่ของวงจรแม่เหล็ก

ค่าคงที่ของวงจรแม่เหล็กที่คำนวณได้ จะเป็นค่าคงที่ของแต่ละส่วนประกอบของทางเดินฟลั๊กซ์แม่เหล็ก คือ แกนเหล็กสเตเตอร์, ชี่สล็อตของสเตเตอร์, แกนเหล็กโรเตอร์, ชี่สล็อตของโรเตอร์และช่องว่างอากาศ ดังภาพที่ 80 ซึ่งค่าคงที่ต่างๆมีดังต่อไปนี้

ภาพที่ 80

แสดงแท็ปผลการออกแบบ"ค่าคงที่ที่คำนวณได้"(ค่าคงที่ของวงจรแม่เหล็ก)



4.1.2.1 พื้นที่ ; พื้นที่หน้าตัดของทางเดินฟลั๊กซ์แม่เหล็ก

4.1.2.2 ความหนาแน่น ; ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็ก

4.1.2.3 ความยาว ; ความยาวของทางเดินฟลั๊กซ์แม่เหล็ก

4.1.2.4 แอมแปร์-รอบ ; แอมแปร์-รอบที่ต้องใช้

4.1.2.5 ตัวประกอบการอิ่มตัว ; อัตราส่วนระหว่าง
แอมแปร์-รอบทั้งหมดต่อแอมแปร์-รอบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องว่างอากาศ

4.1.2.6 แอมแปร์-รอบทั้งหมด ; ผลรวมแอมแปร์-รอบของทั้ง 5 ส่วนประกอบ

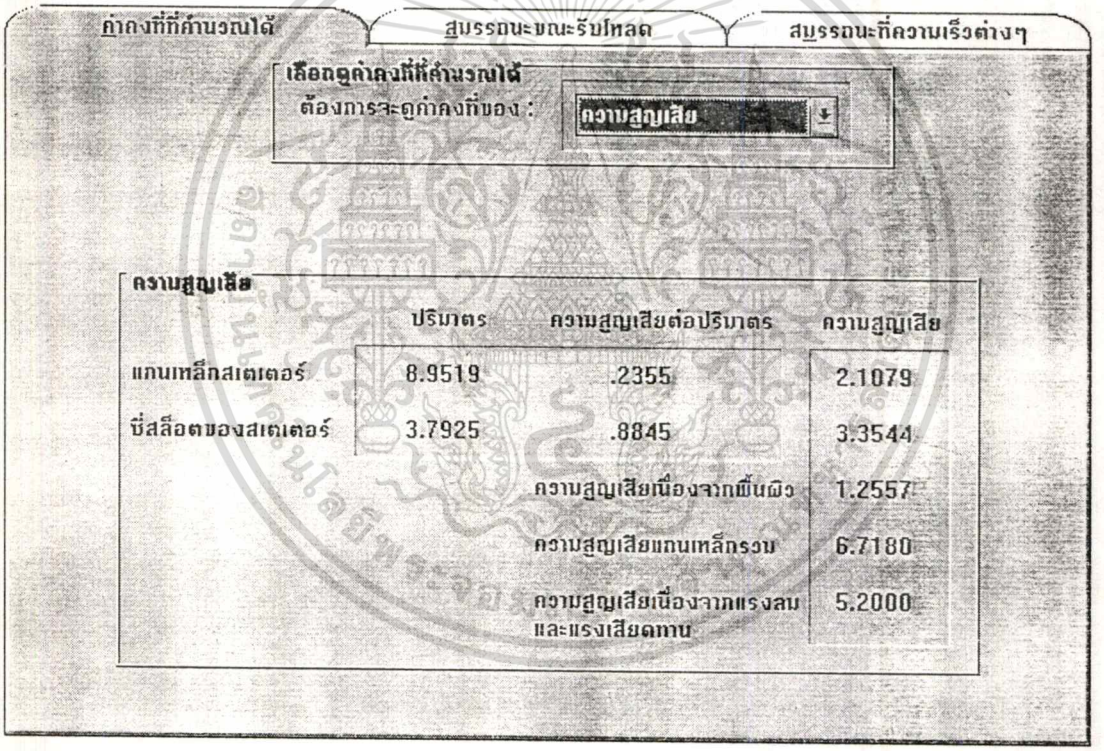
4.1.2.7 ฟลั๊กซ์ต่อขั้วแม่เหล็ก(โพล)

4.1.3 ค่าคงที่ของความสูญเสีย

ค่าคงที่ความสูญเสียที่เกิดขึ้น จะแสดงดังภาพที่ 81 และมีดังนี้

ภาพที่ 81

แสดงแท็ปผลการออกแบบ"ค่าคงที่ที่คำนวณได้" (ค่าคงที่ของความสูญเสีย)



4.1.3.1 ความสูญเสียในแกนเหล็กสเตเตอร์

4.1.3.2 ความสูญเสียในซี่สล็อตของสเตเตอร์

4.1.3.3 ความสูญเสียเนื่องจากพื้นผิว

4.1.3.4 ความสูญเสียแกนเหล็กรวม ; เป็นผลรวมของความสูญเสียทั้งสามข้างต้น

4.1.3.5 ความสูญเสียเนื่องจากแรงลมและแรงเสียดทาน

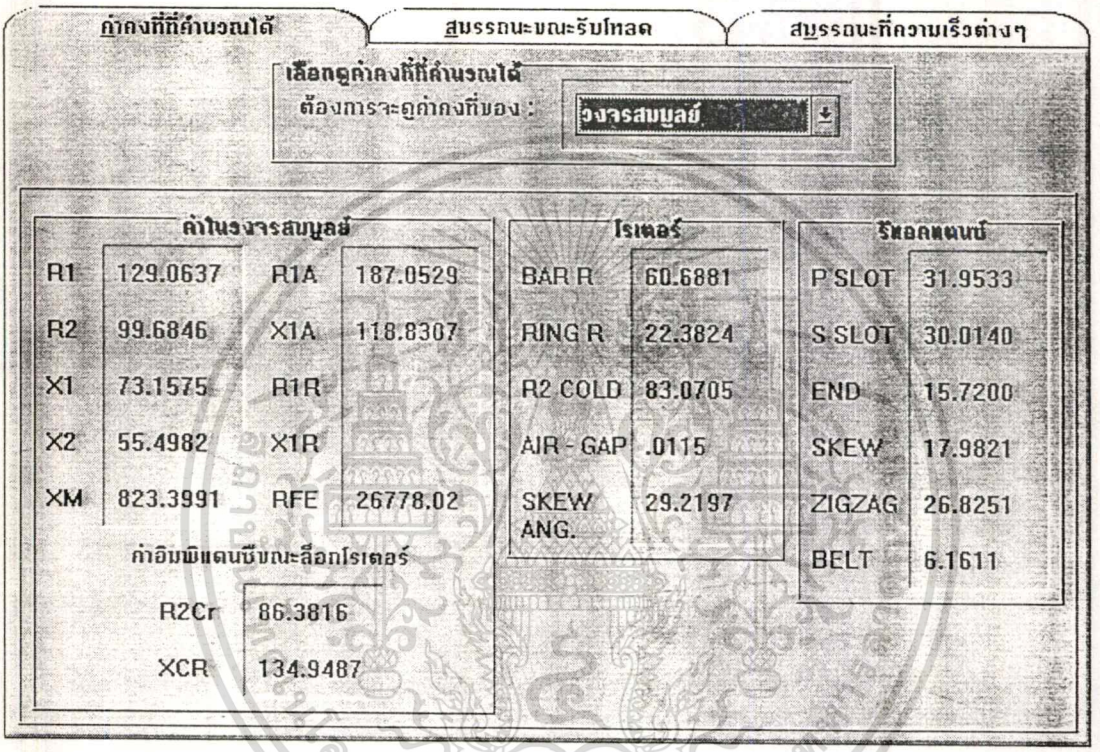
4.1.4 ค่าคงที่ของวงจรสมมูลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่นี้จะเป็นค่าที่จะนำไปคำนวณหาคุณสมบัติและสมรรถนะของมอเตอร์ที่ออกแบบเอาไว้ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 82 ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

ภาพที่ 82

แสดงแท็ปผลการออกแบบ"ค่าคงที่ที่คำนวณได้" (ค่าคงที่ของวงจรสมมูลย์)



ค่าที่ใช้ในวงจรสมมูลย์

4.1.4.1 R1 ; ความต้านทานของขดลวดหลัก

4.1.4.2 R2 ; ความต้านทานของโรเตอร์

4.1.4.3 X1 ; รีแอกแตนซ์รั่วของขดลวดหลัก

4.1.4.4 X2 ; รีแอกแตนซ์รั่วของโรเตอร์เมื่ออ้างอิงขดลวดหลัก

4.1.4.5 XM ; รีแอกแตนซ์กระตุ้นของขดลวดหลัก

4.1.4.6 R1A ; ความต้านทานของขดลวดช่วย

4.1.4.7 X1A ; รีแอกแตนซ์รั่วของขดลวดช่วย

4.1.4.8 R1R ; ความต้านทานของขดลวดช่วยรวม

4.1.4.9 X1R ; รีแอกแตนซ์รั่วของขดลวดช่วยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.10 RFE ; ความต้านทานที่แทนความสูญเสียแกนเหล็ก

ค่าอิมพิแดนซ์ขณะล๊อกโรเตอร์

4.1.4.11 R2Cr ; ความต้านทานของโรเตอร์ขณะล๊อกโรเตอร์

4.1.4.12 XCR ; รีแอกแตนซ์ของมอเตอร์ในขณะล๊อกโรเตอร์

ค่าคงที่ในส่วนของโรเตอร์

4.1.4.13 BAR R ; ความต้านทานของตัวนำในโรเตอร์

4.1.4.14 RING R ; ความต้านทานของวงแหวนลัดวงจร

4.1.4.15 R2 COLD ; ความต้านทานของโรเตอร์ที่ 25 °C

4.1.4.16 AIR-GAP ; ระยะห่างช่องว่างอากาศ

4.1.4.17 SKEW ANG. ; มุมในการวางสล็อตเฉียง

ค่ารีแอกแตนซ์

4.1.4.18 P SLOT ; รีแอกแตนซ์รั่วช่องสล็อตของสเตเตอร์

4.1.4.19 S SLOT ; รีแอกแตนซ์รั่วช่องสล็อตของโรเตอร์

4.1.4.20 END ; รีแอกแตนซ์รั่วส่วนปลาย

4.1.4.21 SKEW ; รีแอกแตนซ์รั่วสล็อตเฉียง

4.1.4.22 ZIGZAG ; รีแอกแตนซ์รั่วซิกแซก

4.1.4.23 BELT ; รีแอกแตนซ์รั่วสายพาน

4.2 แท็ป"สมรรถนะขณะรับโหลด"

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลการออกแบบและวิเคราะห์ว่ามอเตอร์จะมีสมรรถนะเป็นอย่างไร ขณะมอเตอร์ไม่มีโหลด, 50% โหลด, โหลดเต็มพิกัดและ150 % โหลด ดังแสดงในภาพที่ 83 ซึ่งค่าสมรรถนะที่พิจารณามีดังนี้

4.2.1 SLIP ; เปอร์เซ็นต์ค่าสลิปของมอเตอร์ (%)

4.2.2 RPM ; ความเร็วขณะรับโหลด (rpm)

4.2.3 IM ; กระแสขดลวดหลัก (A)

4.2.4 IA ; กระแสขดลวดช่วย (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 83

แสดงแท็ปผลการออกแบบ"สมรรถนะขณะรับโหลด"

ค่าคงที่ที่คำนวณได้ | สมรรถนะขณะรับโหลด | สมรรถนะที่ความเร็วต่างๆ

% โหลดที่มอเตอร์รับ	0%	50%	100%	150%
SLIP [%]	.01000	.03983	.09364	
RPM	990.00	960.17	906.36	
IM [A]	.2467	.2249	.2918	
IA [A]	.2675	.2477	.2187	
IL[A]	.1810	.2569	.3799	
EM [V]	211.46	198.85	178.95	
EC [V]	425.77	394.17	348.12	
EA [V]	339.41	313.11	271.58	
WL [W]	35.887	54.518	81.980	
PRI LOSS [W]	7.8559	6.5255	10.9911	
PRIA LOSS [W]	13.3870	11.4735	8.9490	
SEC LOSS [W]	.9805	.0600	3.2429	
SECA LOSS [W]	2.0055	2.1509	2.3779	
FE LOSS [W]	3.5832	3.0854	2.3777	
FR LOSS [W]	8.0594	7.5811	6.7552	
TOTAL LOSS[W]	35.87	30.88	34.69	
W OUTPUT [W]	.02	23.64	47.29	
HP OUTPUT	.00002	.03169	.06339	
TORQUE	.0018	2.7749	5.8797	
EFF [%]	.043	43.364	57.680	
PF [%]	.901	.964	.981	

4.2.5 IL ; กระแสโหลดหรือกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ (A)

4.2.6 EM ; แรงดันที่ขดลวดหลัก (V)

4.2.7 EC ; แรงดันที่ตัวเก็บประจุหรือคาปาซิเตอร์ (V)

4.2.8 EA ; แรงดันที่ขดลวดช่วย (V)

4.2.9 WL ; กำลังไฟฟ้าอินพุต (W)

4.2.10 PRI LOSS ; ค่าความสูญเสียขดลวดในขดลวดหลัก (W)

4.2.11 PRIA LOSS ; ค่าความสูญเสียขดลวดในขดลวดช่วย (W)

4.2.12 SEC LOSS ; ค่าความสูญเสียขดลวดในโรเตอร์เมื่ออ้างอิงถึงขดลวดหลัก (W)

4.2.13 SECA LOSS ; ค่าความสูญเสียขดลวดในโรเตอร์เมื่ออ้างอิงถึงขดลวดช่วย (W)

4.2.14 FE LOSS ; ค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (W)

4.2.15 FR LOSS ; ค่าความสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.16 TOTAL LOSS ; ค่าความสูญเสียรวมทั้งหมด (W)

4.2.17 W OUTPUT ; กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (W)

4.2.18 HP OUTPUT ; แรงม้าเอาต์พุต (HP)

4.2.19 TORQUE ; แรงบิด (oz-ft)

4.2.20 EFF ; ประสิทธิภาพ (%)

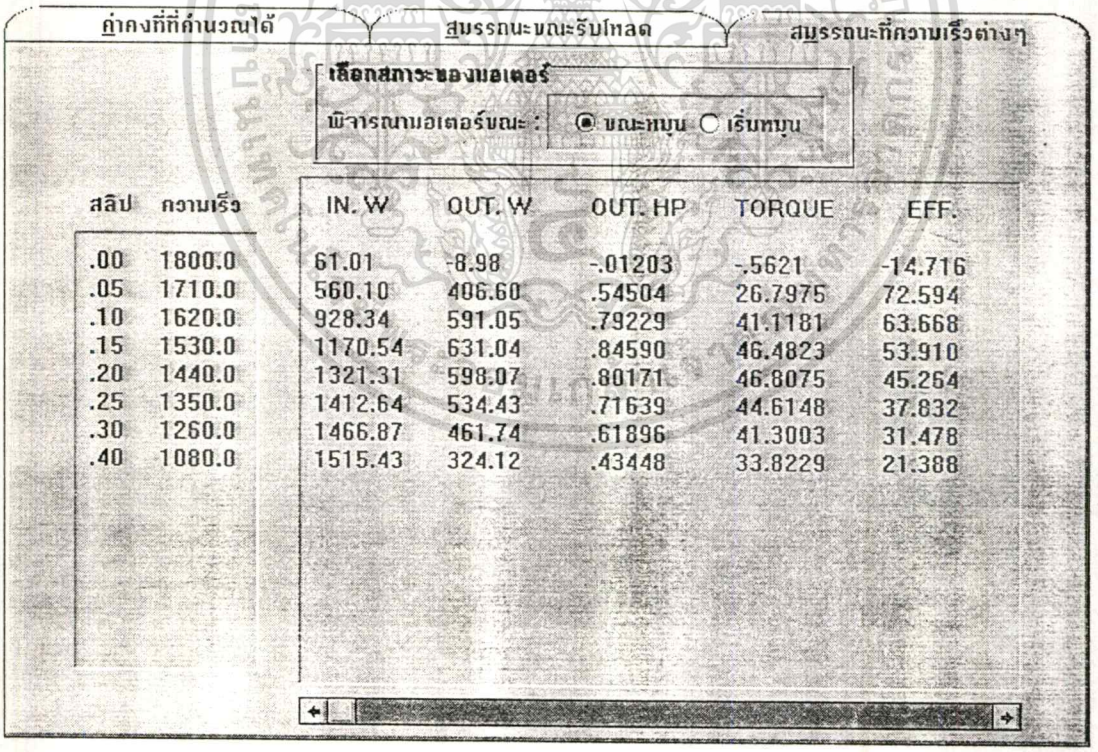
4.2.21 PF ; ตัวประกอบกำลัง (%)

4.3 แท็ป"สมรรถนะที่ความเร็วต่างๆ"

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลการออกแบบและวิเคราะห์ว่าที่ค่า SLIP ตั้งแต่ 0 - 1 นั้น มอเตอร์ที่ออกแบบเอาไว้มีคุณลักษณะและสมรรถนะเป็นอย่างไร ดังแสดงในภาพที่ 84 ซึ่งค่าที่พิจารณามีดังนี้

ภาพที่ 84

แสดงแท็ปผลการออกแบบ"สมรรถนะที่ความเร็วต่างๆ"



4.3.1 IN. W ; กำลังไฟฟ้าอินพุต (W)

4.3.2 OUT. W ; กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (W)

4.3.3 OUT. HP ; แรงม้าเอาต์พุต (HP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 TORQUE ; แรงบิด (oz-ft)

4.3.5 EFF. ; ประสิทธิภาพ (%)

4.3.6 PF. ; ตัวประกอบกำลัง (%)

4.3.7 LINE A ; กระแสโหลดหรือกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ (A)

4.3.8 MAIN A ; กระแสขดลวดหลัก (A)

4.3.9 AUX. A ; กระแสขดลวดช่วย (A)

4.3.10 AUX. V ; แรงดันที่ขดลวดช่วย (V)

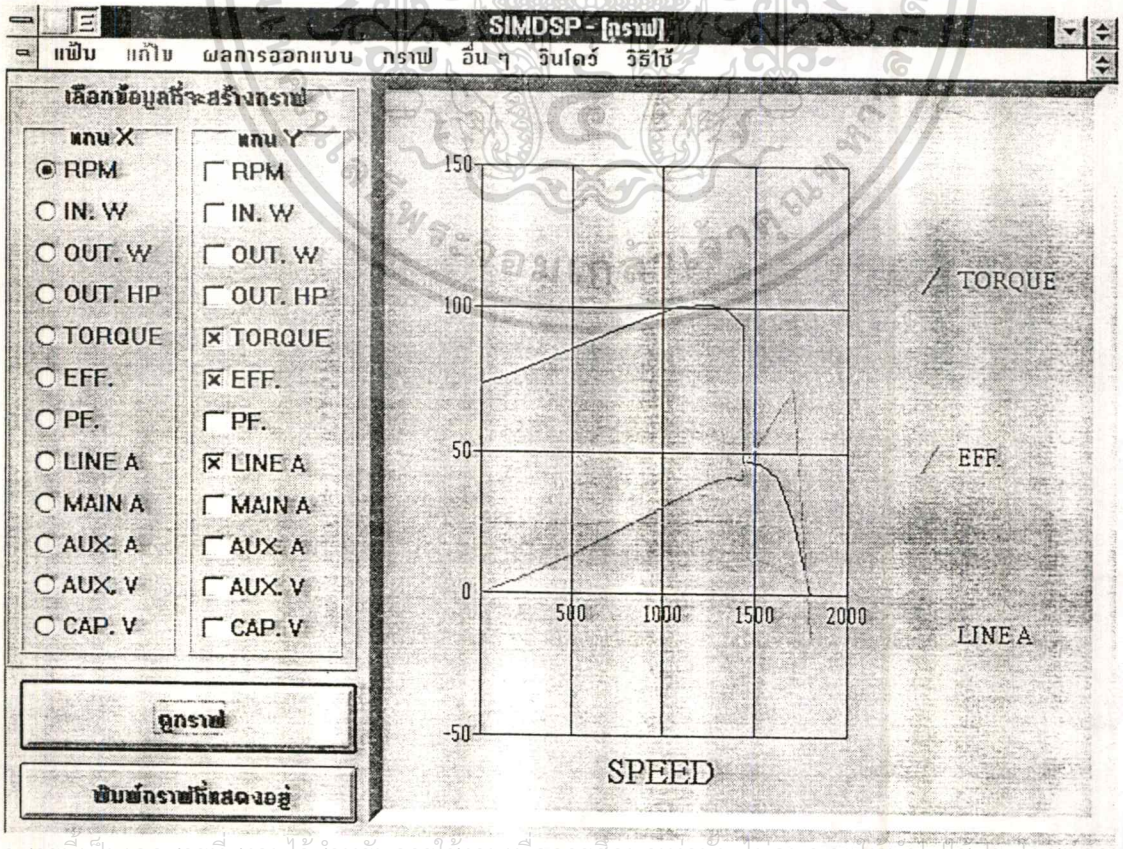
4.3.11 CAP. V ; แรงดันที่ตัวเก็บประจุหรือคาปาซิเตอร์ (V)

5. พิจารณากราฟ

เมื่อผู้ใช้คลิกที่เมนู"กราฟ" จะเป็นการแสดงสมรรถนะของมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆในรูปแบบของกราฟ ดังภาพที่ 85 ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดค่าสมรรถนะที่จะนำมาเป็นค่าแกน X และ Y ได้อย่างอิสระ อีกทั้งสามารถกำหนดค่าสมรรถนะได้หลายค่าให้กับแกน Y

ภาพที่ 85

แสดงวินโดว์"กราฟ"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

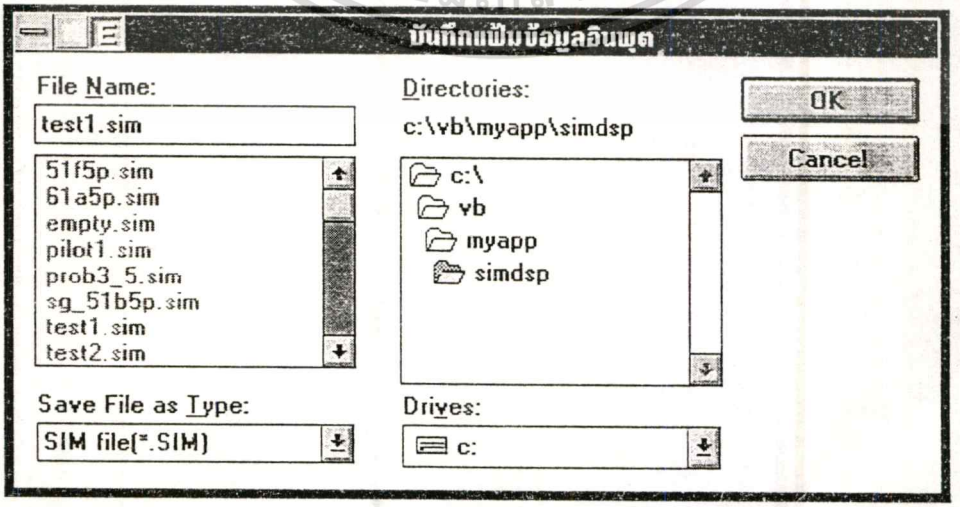
โดยจะมีปุ่มคำสั่ง“ดูกราฟ” ซึ่งเมื่อผู้ใช้คลิกกราฟจะถูกวาดใหม่ตามสภาวะที่ผู้ใช้เลือกค่าสมรรถนะที่จะนำมาเป็นค่าแกน X และ Y ส่วนปุ่มคำสั่ง“พิมพ์กราฟที่แสดงอยู่”นั้น เมื่อผู้ใช้คลิก SIMDSP จะส่งรูปกราฟที่แสดงอยู่นั้นพิมพ์ออกไปทางเครื่องพิมพ์ (Printer)

6. จัดเก็บข้อมูลอินพุต

การจัดเก็บข้อมูลอินพุตสามารถทำได้โดยใช้เมนู“บันทึกแฟ้ม” ซึ่งเมื่อผู้ใช้คลิกที่เมนูวินโดว์“บันทึกแฟ้ม”จะปรากฏให้ผู้ใช้เลือกข้อมูลที่ต้องการบันทึก โดยผ่านกล่องเช็ค ดังภาพที่ 86 เมื่อผู้ใช้เลือกกล่องเช็ค“ข้อมูลอินพุต”และคลิกปุ่มคำสั่ง“ตกลง” จะปรากฏวินโดว์“บันทึกแฟ้มข้อมูลอินพุต” ดังภาพที่ 87 เพื่อให้ผู้ใช้ใส่ชื่อแฟ้มข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บ

ภาพที่ 86
แสดงวินโดว์“บันทึกแฟ้ม“

ภาพที่ 87
แสดงวินโดว์“บันทึกแฟ้มข้อมูลอินพุต“



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. พิมพ์ข้อมูล

การพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ (Printer) ทำได้โดยการคลิกที่เมนู“พิมพ์ข้อมูล” ซึ่งปรากฏวินโดว์“พิมพ์ข้อมูล” ดังภาพที่ 88 มาให้ผู้ใช้เลือกข้อมูลที่จะพิมพ์ โดยผู้ใช้สามารถเลือกได้จากกล่องเช็ค และทำการคลิกที่ปุ่มคำสั่ง“ตกลง”ข้อมูลที่เลือกเอาไว้จะถูกพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์

ภาพที่ 88

แสดงวินโดว์“พิมพ์ข้อมูล”

8. จบการออกแบบมอเตอร์

การจบการออกแบบมอเตอร์ สามารถทำได้สองวิธีการคือ

8.1 คลิกเมนู“ปิด”

8.2 คลิกเมนู“Close”ที่กล่องคอนโทรล (Control Box) ของวินโดว์ “ข้อมูลอินพุต”

<u>ขั้นตอนการออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท</u>

ในการใช้ SIMDSP เพื่อออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท สามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มต้นออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท

การเริ่มต้นออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท สามารถทำได้สองวิธีการ คือ

1.1 คลิกเมนู“อื่นๆ”และเลือกจากเมนูย่อย“สเตเตอร์”เพื่อเริ่มต้นการออกแบบ

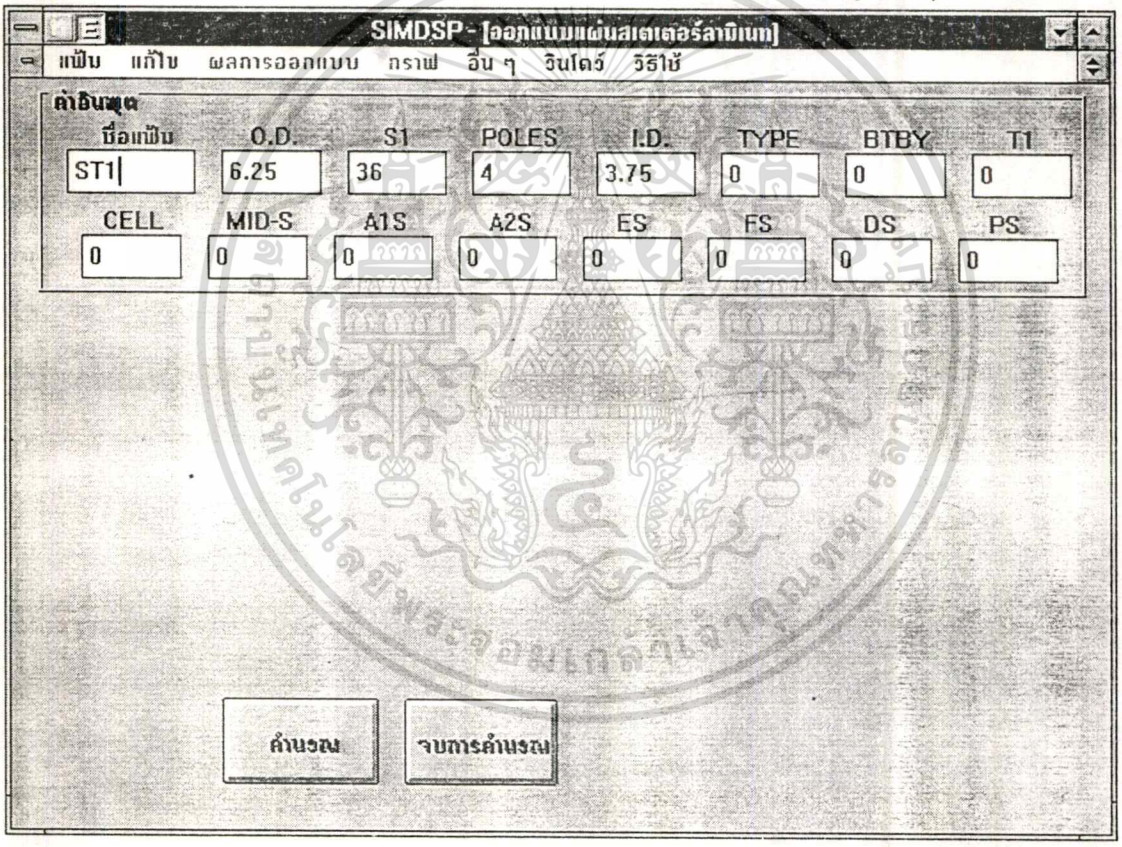
1.2 คลิกปุ่มคำสั่ง “ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท” ที่อยู่บนแท็ป“สเตเตอร์ลามิเนท” ในวินโดว์“ข้อมูลอินพุต”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเริ่มต้นการออกแบบทั้งสองวิธีการนี้ จะปรากฏวินโดว์"ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท" ดังภาพที่ 89 เหมือนกัน แต่ส่วนที่แตกต่างกันคือถ้าเป็นการเริ่มต้นการออกแบบด้วยวิธีการที่สองแล้ว จะปรากฏปุ่มคำสั่ง"ส่งค่ากลับ" เมื่อ SIMDSP ทำการออกแบบเสร็จแล้ว เพื่อให้ผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลเอาต์พุตกลับไปยังแท็ป"สเตเตอร์ลามิเนท"ในวินโดว์"ข้อมูลอินพุต" โดยผ่านทางคลิปบอร์ด (Clipboard)

ภาพที่ 89

แสดงวินโดว์"ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท"ขณะรอรับข้อมูลอินพุต



2. ใส่หรือแก้ไขข้อมูลอินพุต

จากภาพที่ 89 ผู้ใช้จะต้องใส่ข้อมูลอินพุตที่ต้องกำหนดค่าดังนี้

2.1 ชื่อแฟ้ม ; กำหนดชื่อสเตเตอร์ลามิเนทสำหรับอ้างอิง

2.2 O.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก

2.3 S1 ; จำนวนช่องสล็อตสเตเตอร์

2.4 POLES ; จำนวนขั้วแม่เหล็ก

2.5 I.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 TYPE ; รูปแบบของช่องสล็อต

2.7 BTBY ; อัตราส่วนความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็กในส่วนซี่สล็อตกับโครง

2.8 T1 ; ความกว้างของซี่สล็อตสเตเตอร์

2.9 CELL ; ความหนาของฉนวนรองช่องสล็อต

2.10 MID-S ; ความหนาของฉนวนคั่นขดลวด

2.11 A1S ; ความกว้างของช่องสล็อตส่วนบน

2.12 A2S ; ความกว้างของช่องสล็อตส่วนก้น

2.13 ES ; ความกว้างของปากช่องสล็อต

2.14 FS ; ความลึกช่วงปลายของซี่สล็อต

2.15 DS ; ความลึกปากช่องสล็อต

2.16 PS ; ความลึกของช่องสล็อตทั้งหมด

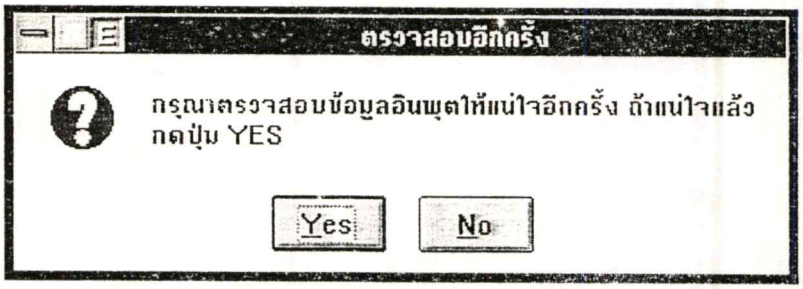
โดยข้อมูลอินพุต 2.2 – 2.5 เป็นข้อมูลบังคับที่ผู้ใช้จะต้องทราบเป็นค่าเริ่มต้นก่อนการออกแบบทุกครั้ง ส่วนข้อมูลอินพุตค่าอื่นๆนั้นเป็นทางเลือกของผู้ใช้ที่จะใส่ค่าหรือไม่ก็ได้ โดย SIMDSP จะทำหน้าที่ตรวจสอบและคำนวณค่าเริ่มต้นให้ ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ใส่ค่ามาให้

3. สั่งให้ SIMDSP รับข้อมูลอินพุต

เมื่อผู้ใช้ทำการใส่ข้อมูลอินพุตเรียบร้อยแล้ว จะต้องคลิกปุ่มคำสั่ง"คำนวณ"เพื่อให้ SIMDSP รับข้อมูลอินพุตไปทำการคำนวณต่อไป หรือให้ SIMDSP คำนวณหาข้อมูลอินพุตให้ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ใส่ค่าเข้ามา โดยก่อนที่ผู้ใช้จะไปพิจารณาผลการออกแบบจะปรากฏกล่องไดอะล็อก"ตรวจสอบอีกครั้ง"เพื่อสอบถามความต้องการในการแก้ไขข้อมูล ดังภาพที่ 90

ภาพที่ 90

แสดงกล่องไดอะล็อก"ตรวจสอบอีกครั้ง"



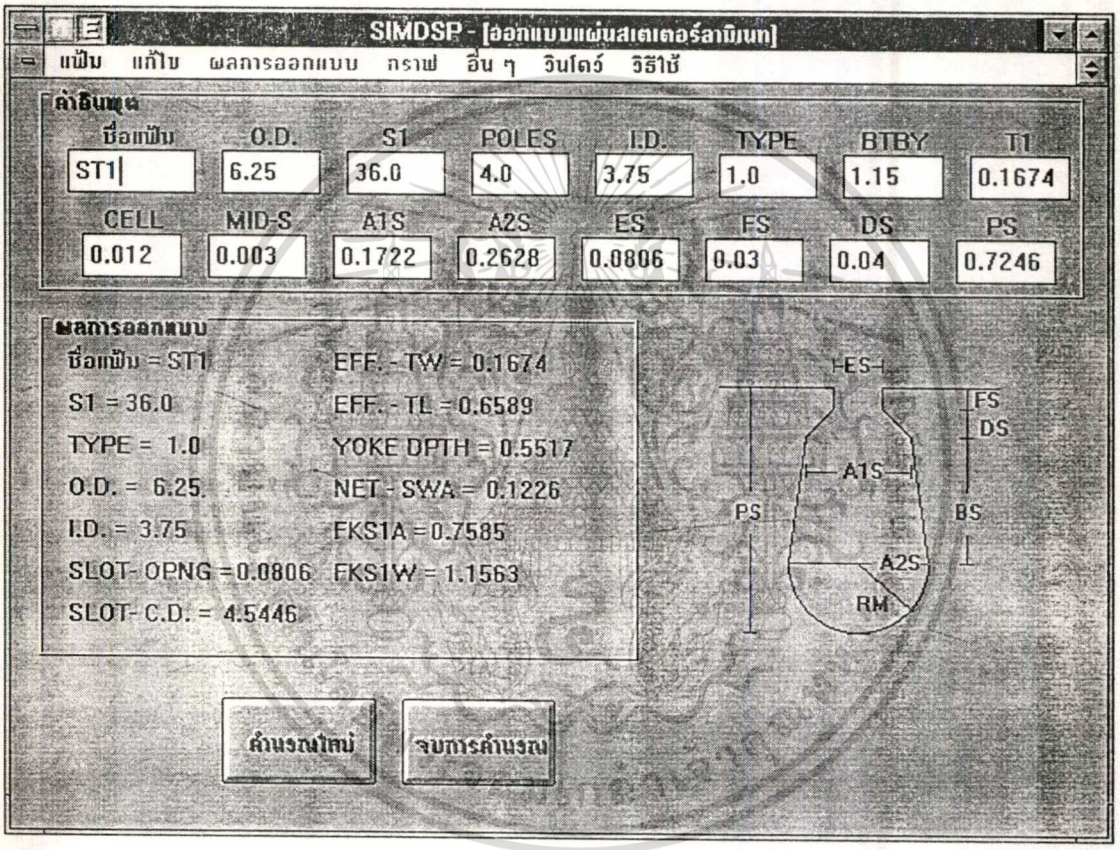
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พิจารณาผลการออกแบบ

เมื่อผู้ใช้ตอบยอมรับข้อมูลอินพุตจากกล่องไดอะล็อกในภาพที่ 90 แล้ว จะปรากฏผลการออกแบบและภาพตัวอย่างของช่องสเตเตอร์สล็อต ดังภาพที่ 91 โดยผลการออกแบบที่แสดงมีดังนี้

ภาพที่ 91

แสดงวินโดว์"ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท"ขณะแสดงผลการออกแบบ



4.1 ชื่อแฟ้ม ; กำหนดชื่อสเตเตอร์ลามิเนทสำหรับอ้างอิง

4.2 S1 ; จำนวนช่องสล็อตสเตเตอร์

4.3 TYPE ; รูปแบบของช่องสล็อต

4.4 O.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก

4.5 I.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

4.6 SLOT-OPNG ; ความกว้างของปากช่องสล็อต

4.7 SLOT-C.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่จุดกึ่งกลางช่องสล็อต

4.8 EFF. TW ; ความกว้างของซี่สล็อตสเตเตอร์

4.9 EFF.TL ; ความยาวของซี่สล็อตสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 YOKE DPTH ; ความลึกส่วนโครง

4.11 NET SWA ; พื้นที่หน้าตัดของช่องสล็อต

4.12 FKS1A ; ค่าคงที่ช่องสล็อตของส่วนที่เป็นอากาศ

4.13 FKS1W ; ค่าคงที่ช่องสล็อตของส่วนที่เป็นขดลวด

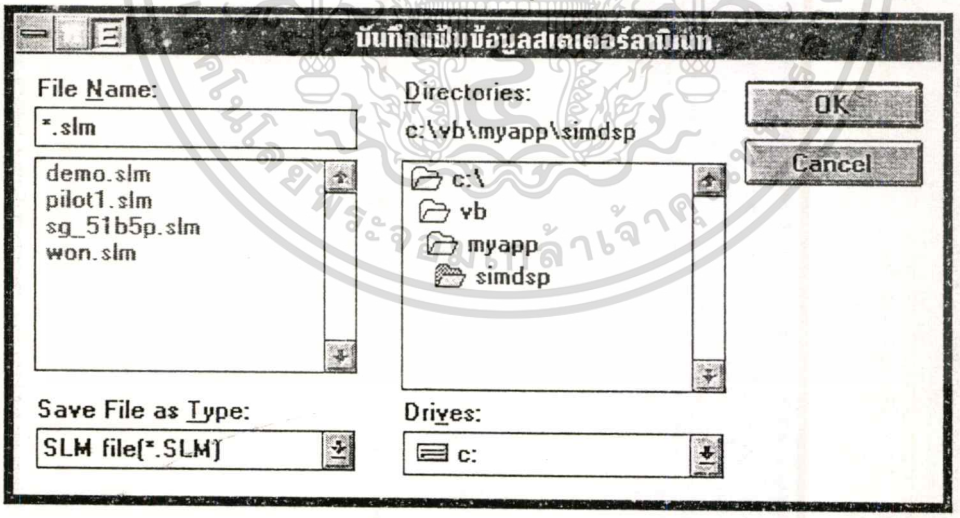
และจากการพิจารณาภาพที่ 91 จะพบว่า SIMDSP จะเปลี่ยนปุ่มคำสั่ง“คำนวณ” เป็น “คำนวณใหม่”เพื่อให้ผู้ใช้ย้อนกลับไปทำการคำนวณใหม่ได้ โดยไม่ต้องออกจากวินโดว์“ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท”

5. จัดเก็บข้อมูลเอาต์พุต

การจัดเก็บข้อมูลเอาต์พุตสามารถทำได้โดยใช้เมนู“บันทึกแฟ้ม” ซึ่งเมื่อผู้ใช้คลิกที่เมนู วินโดว์“บันทึกแฟ้ม”จะปรากฏให้ผู้ใช้เลือกข้อมูลที่ต้องการบันทึก โดยผ่านกล่องเช็ค ดังภาพที่ 86 เมื่อผู้ใช้เลือกกล่องเช็ค“ข้อมูลสเตเตอร์ลามิเนท”และคลิกปุ่มคำสั่ง“ตกลง” จะปรากฏวินโดว์ “บันทึกแฟ้มข้อมูลสเตเตอร์ลามิเนท” ดังภาพที่ 92 เพื่อให้ผู้ใช้ใส่ชื่อแฟ้มข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บ

ภาพที่ 92

แสดงวินโดว์“บันทึกแฟ้มข้อมูลสเตเตอร์ลามิเนท“



6. พิมพ์ข้อมูล

การพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ (Printer) ทำได้โดยการคลิกที่เมนู“พิมพ์ข้อมูล” ซึ่งปรากฏวินโดว์“พิมพ์ข้อมูล” ดังภาพที่ 88 มาให้ผู้ใช้เลือกข้อมูลที่จะพิมพ์ โดยผู้ใช้สามารถเลือกได้จากกล่องเช็ค และทำการคลิกที่ปุ่มคำสั่ง“ตกลง”ข้อมูลที่เลือกเอาไว้จะถูกพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. จบการออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท

การจบการออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนทสามารถทำได้สองวิธีการดังนี้

7.1 คลิกปุ่มคำสั่ง "จบการคำนวณ" บนวินโดว์ "ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท"

7.2 คลิกเมนู "Close" ที่กล่องคอนโทรล (Control Box) ของวินโดว์"ออกแบบแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท"

<u>ขั้นตอนการออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท</u>

ในการใช้ SIMDSP เพื่อออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท สามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มต้นออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท

การเริ่มต้นออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท สามารถทำได้สองวิธีการ คือ

1.1 คลิกเมนู"อื่นๆ" และเลือกจากเมนูย่อย"โรเตอร์" เพื่อเริ่มต้นการออกแบบ

1.2 คลิกปุ่มคำสั่ง "ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท" ที่อยู่บนแท็ป "โรเตอร์ลามิเนท" ในวินโดว์"ข้อมูลอินพุต"

การเริ่มต้นการออกแบบทั้งสองวิธีการนี้ จะปรากฏวินโดว์"ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท" ดังภาพที่ 93 เหมือนกัน แต่ส่วนที่แตกต่างกันคือถ้าเป็นการเริ่มต้นการออกแบบด้วยวิธีการที่สองแล้ว จะปรากฏปุ่มคำสั่ง"ส่งค่ากลับ" เมื่อ SIMDSP ทำการออกแบบเสร็จแล้ว เพื่อให้ผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลเอาต์พุตกลับไปยังแท็ป"โรเตอร์ลามิเนท"ในวินโดว์"ข้อมูลอินพุต" โดยผ่านทางคลิปบอร์ด (Clipboard)

2. ใส่หรือแก้ไขข้อมูลอินพุต

จากภาพที่ 93 ผู้ใช้จะต้องใส่ข้อมูลอินพุตที่ต้องกำหนดค่าดังนี้

2.1 ชื่อแฟ้ม ; กำหนดชื่อโรเตอร์ลามิเนทสำหรับอ้างอิง

2.2 O.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก

2.3 S2 ; จำนวนช่องสล็อตโรเตอร์

2.4 POLES ; จำนวนขั้วแม่เหล็ก

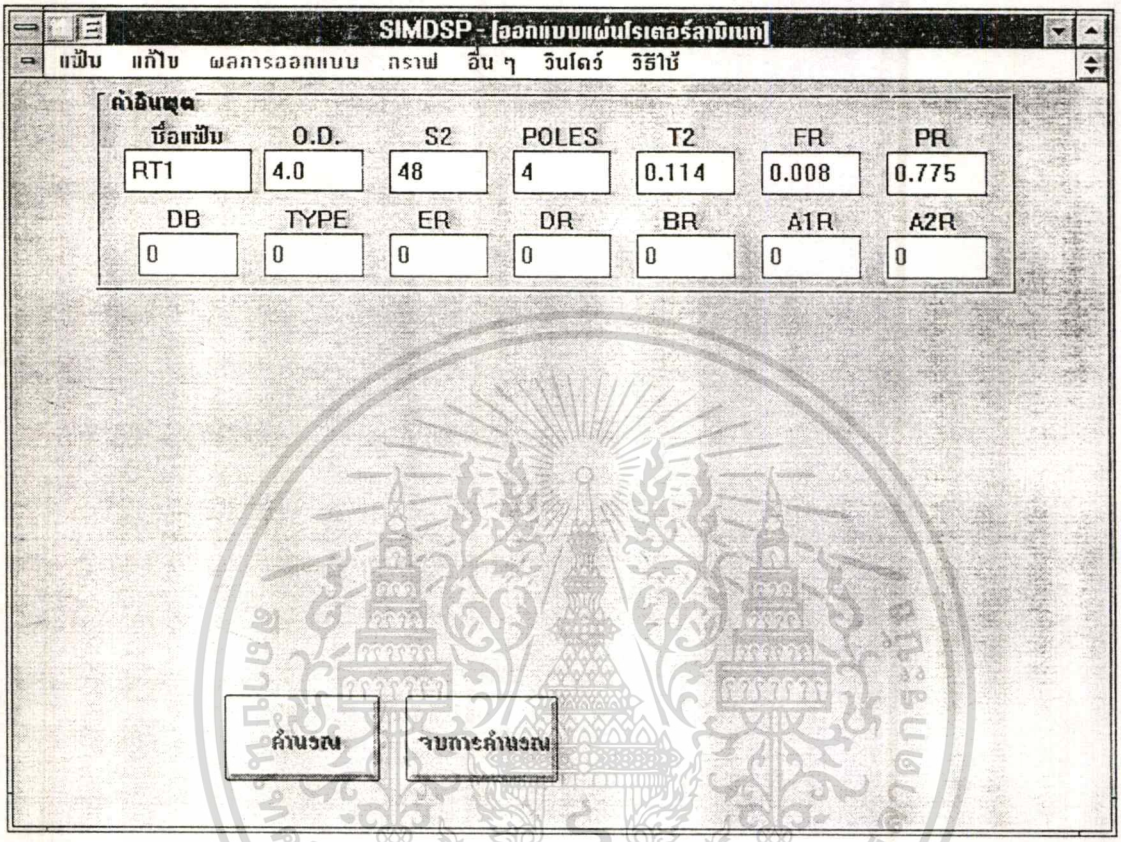
2.5 T2 ; ความกว้างของซี่สล็อตโรเตอร์

2.6 FR ; ความลึกช่วงปลายของซี่สล็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 93

แสดงวินโดว์"ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท"ขณะรอรับข้อมูลอินพุต



2.7 PR ; ความลึกของช่องสล็อตทั้งหมด

2.8 DB ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

2.9 TYPE ; รูปแบบของช่องสล็อต

2.10 ER ; ความกว้างของปากช่องสล็อต

2.11 DR ; ความลึกปากช่องสล็อต

2.12 BR ; ความลึกของส่วนสี่เหลี่ยมคางหมู

2.13 A1R ; ความกว้างของช่องสล็อตส่วนบน

2.14 A2R ; ความกว้างของช่องสล็อตส่วนก้น

โดยข้อมูลอินพุต 2.2 - 2.7 เป็นข้อมูลบังคับที่ผู้ใช้จะต้องทราบเป็นค่าเริ่มต้นก่อนการออกแบบทุกครั้ง ส่วนข้อมูลอินพุตค่าอื่นๆนั้นเป็นทางเลือกของผู้ใช้ที่จะใส่ค่าหรือไม่ก็ได้ โดย SIMDSP จะทำหน้าที่ตรวจสอบและคำนวณค่าเริ่มต้นให้ ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ใส่ค่ามาให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สั่งให้ SIMDSP รับข้อมูลอินพุต

เมื่อผู้ใช้ทำการใส่ข้อมูลอินพุตเรียบร้อยแล้ว จะต้องคลิกปุ่มคำสั่ง"คำนวณ"เพื่อให้ SIMDSP รับข้อมูลอินพุตไปทำการคำนวณต่อไป หรือให้ SIMDSP คำนวณหาข้อมูลอินพุตให้ในกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้ใส่ค่าเข้ามา โดยก่อนที่ผู้ใช้จะไปพิจารณาผลการออกแบบจะปรากฏกล่องไดอะล็อก"ตรวจสอบอีกครั้ง"เพื่อสอบถามความต้องการในการแก้ไขข้อมูล ดังภาพที่ 94

ภาพที่ 94

แสดงกล่องไดอะล็อก"ตรวจสอบอีกครั้ง"

4. พิจารณาผลการออกแบบ

เมื่อผู้ใช้ตอบยอมรับข้อมูลอินพุตจากกล่องไดอะล็อกในภาพที่ 94 แล้ว จะปรากฏผลการออกแบบและภาพตัวอย่างของช่องโรเตอร์สล็อต ดังภาพที่ 95 โดยผลการออกแบบที่แสดงมีดังนี้

4.1 ชื่อแฟ้ม ; กำหนดชื่อโรเตอร์ลามิเนทสำหรับอ้างอิง

4.2 S2 ; จำนวนช่องสล็อตโรเตอร์

4.3 TYPE ; รูปแบบของช่องสล็อต

4.4 O.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก

4.5 I.D. ; ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน

4.6 SLOT-OPNG ; ความกว้างของปากช่องสล็อต

4.7 BAR DPTH. ; ความลึกของตัวนำในช่องสล็อต

4.8 EFF. TW ; ความกว้างของซี่สล็อตโรเตอร์

4.9 EFF.TL ; ความยาวของซี่สล็อตโรเตอร์

4.10 YOKE DPTH ; ความลึกส่วนโครง

4.11 SLOT AREA ; พื้นที่หน้าตัดของช่องสล็อต

4.12 FKS2A ; ค่าคงที่ช่องสล็อตของส่วนที่เป็นอากาศ

4.13 FKS2W ; ค่าคงที่ช่องสล็อตของส่วนที่เป็นขดลวด

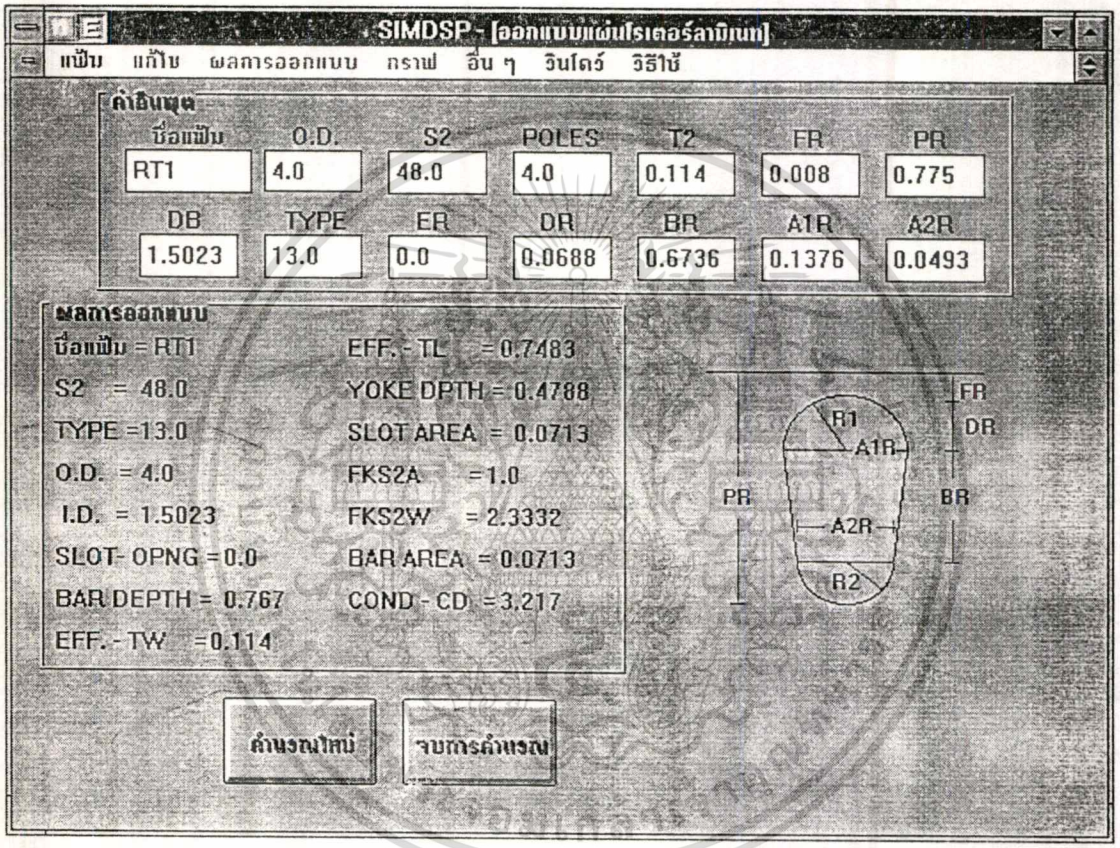
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 BAR AREA ; พื้นที่หน้าตัดของตัวนำโรเตอร์

4.15 CON-CD ; เส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ ณ จุดกึ่งกลางของตัวนำในช่องสล็อต

ภาพที่ 95

แสดงวินโดว์"ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท"ขณะแสดงผลการออกแบบ



และจากการพิจารณาภาพที่ 95 จะพบว่า SIMDSP จะเปลี่ยนปุ่มคำสั่ง"คำนวณ" เป็น "คำนวณใหม่"เพื่อให้ผู้ใช้ย้อนกลับไปทำการคำนวณใหม่ได้ โดยไม่ต้องออกจากวินโดว์"ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท"

5. จัดเก็บข้อมูลเอาต์พุต

การจัดเก็บข้อมูลเอาต์พุตสามารถทำได้โดยใช้เมนู"บันทึกแฟ้ม" ซึ่งเมื่อผู้ใช้คลิกที่เมนูวินโดว์"บันทึกแฟ้ม"จะปรากฏให้ผู้ใช้เลือกข้อมูลที่ต้องการบันทึก โดยผ่านกล่องเช็ค ดังภาพที่ 86 เมื่อผู้ใช้เลือกกล่องเช็ค"ข้อมูลโรเตอร์ลามิเนท"และคลิกปุ่มคำสั่ง"ตกลง"จะปรากฏวินโดว์"บันทึกแฟ้มข้อมูลโรเตอร์ลามิเนท" ดังภาพที่ 96 เพื่อให้ผู้ใช้ใส่ชื่อแฟ้มข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. พิมพ์ข้อมูล

การพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ (Printer) ทำได้โดยการคลิกที่เมนู"พิมพ์ข้อมูล" ซึ่งปรากฏวินโดว์"พิมพ์ข้อมูล" ดังภาพที่ 88 มาให้ผู้ใช้เลือกข้อมูลที่จะพิมพ์ โดยผู้ใช้สามารถเลือกได้จากกล่องเช็ค และทำการคลิกที่ปุ่มคำสั่ง"ตกลง"ข้อมูลที่เลือกเอาไว้จะถูกพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์

7. จบการออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท

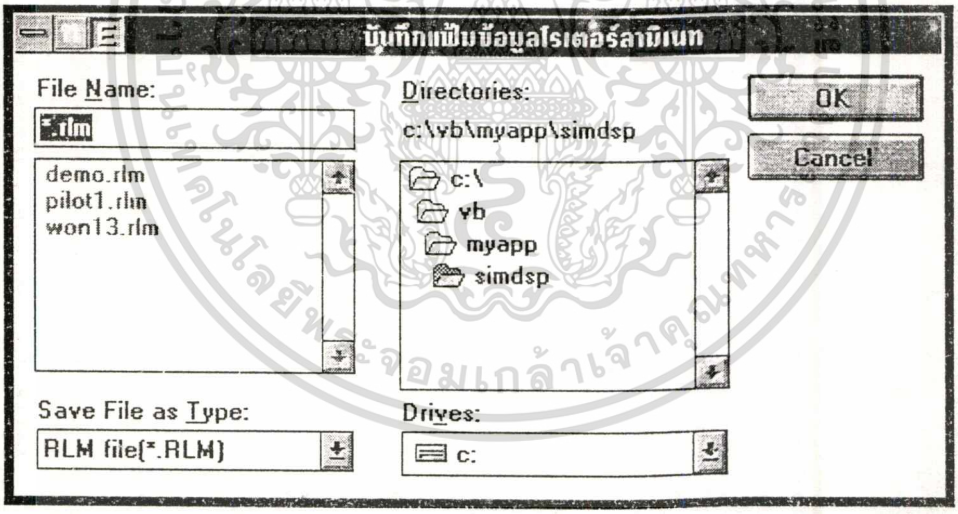
การจบการออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนทสามารถทำได้สองวิธีการดังนี้

7.1 คลิกปุ่มคำสั่ง "จบการคำนวณ" บนวินโดว์ "ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท"

7.2 คลิกเมนู"Close"ที่กล่องคอนโทรล (Control Box) ของวินโดว์"ออกแบบแผ่นโรเตอร์ลามิเนท"

ภาพที่ 96

แสดงวินโดว์"บันทึกแฟ้มข้อมูลโรเตอร์ลามิเนท"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ตัวอย่างการใช้งาน

บทนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการนำซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (SIMDSP) ไปใช้ในการออกแบบ โดยมีตัวอย่างทั้งของมอเตอร์แยกเฟส (Split - phase Motor) และมอเตอร์แบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Motor) ประเภทต่อตัวเก็บประจุถาวร (Permanent - split Capacitor Motor)

<u>ตัวอย่างการใช้งานกับมอเตอร์แยกเฟส</u>

มอเตอร์แยกเฟส (Split - phase Motor) ที่นำมาเป็นตัวอย่างในการออกแบบนี้ เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กของผู้ผลิตภายในประเทศยี่ห้อหนึ่ง ซึ่งผลิตโดยการซื้อเทคโนโลยีการผลิตจากประเทศญี่ปุ่น โดยมอเตอร์มีพิกัดทางไฟฟ้าดังนี้

HP = พิกัดแรงม้าของมอเตอร์ = 1/3 แรงม้า

V = แรงดัน = 220 โวลท์

f = ความถี่ = 50 Hz

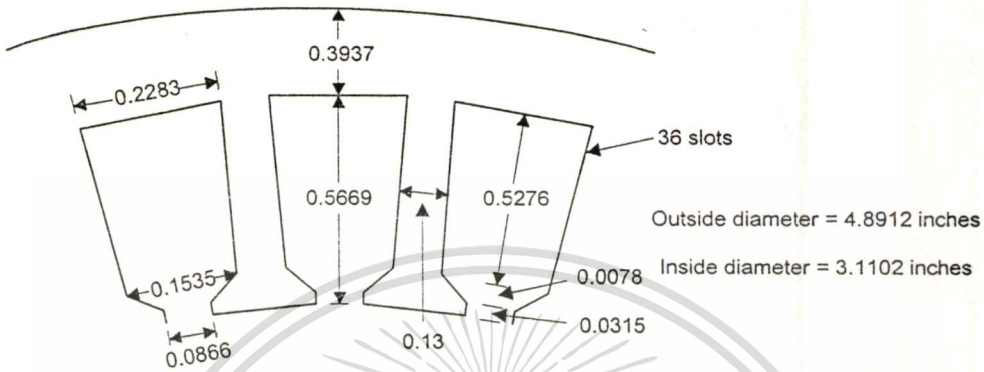
P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก = 4 ขั้ว

ส่วนขนาดของแผ่นสเตเตอร์และโรเตอร์ลามิเนท รายละเอียดของขดลวดแสดงดังภาพที่ 97 - 100 โดยพิกัดทางไฟฟ้าและลักษณะโครงสร้างในส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ตัวอย่างเหล่านี้ จะถูกนำไปเป็นค่าอินพุตใน SIMDSP และเมื่อทำการคำนวณตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้น จะมีผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 7 ซึ่งจากตารางจะเห็นว่ามีการนำค่าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์แยกเฟสตัวอย่างทางปฏิบัติที่ได้จากเครื่องทดสอบมอเตอร์ (Computerized Motor Test System) มาทำการเปรียบเทียบ เพื่อแสดงความถูกต้องของผลที่ได้จาก SIMDSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

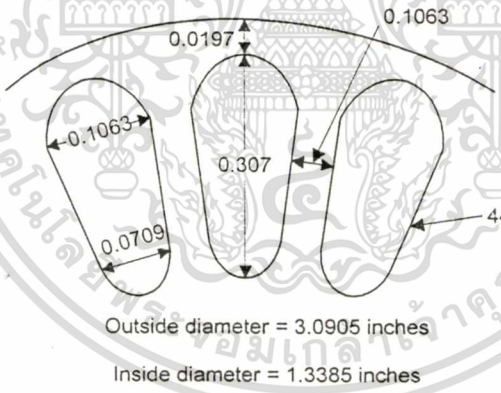
ภาพที่ 97

แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของแผ่นสเตเตอร์ลามิเนทของมอเตอร์แยกเฟสตัวอย่าง



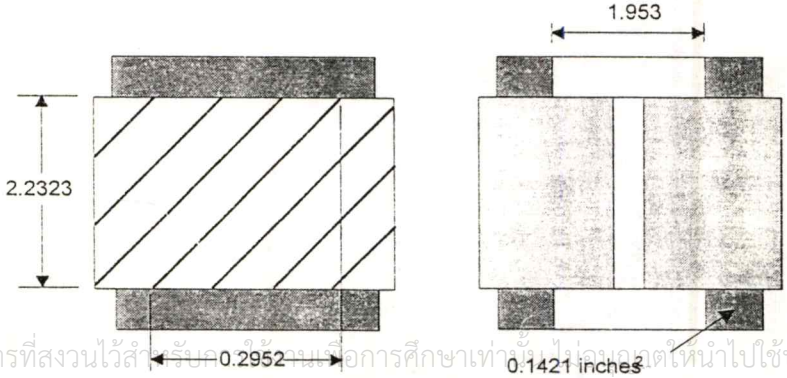
ภาพที่ 98

แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของแผ่นโรเตอร์ลามิเนทของมอเตอร์แยกเฟสตัวอย่าง



ภาพที่ 99

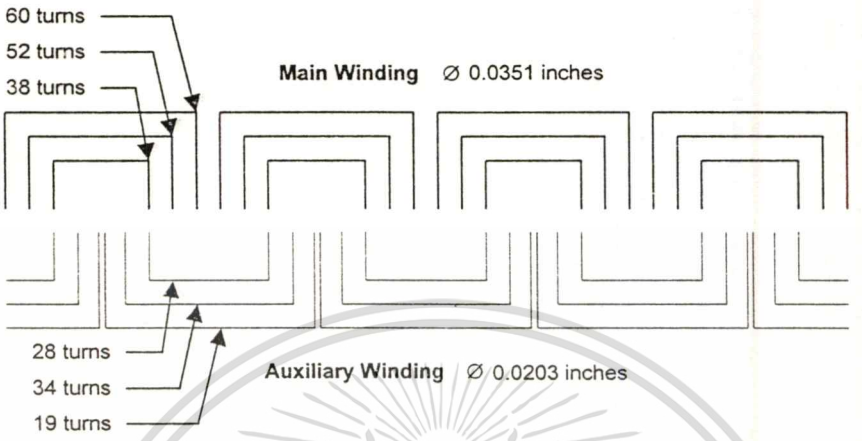
แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของโรเตอร์ของมอเตอร์แยกเฟสตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 100

แสดงรายละเอียดของขดลวดของมอเตอร์แยกเฟสตัวอย่าง



ตารางที่ 7

แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จาก SIMDSP

กับผลการทดสอบมอเตอร์แยกเฟสในทางปฏิบัติ

ผลที่ได้จาก	SIMDSP	การทดสอบ
NO LOAD		
I_L (A)	2.4778	2.49
P_{in} (W)	129.46	121.34
N (RPM)	1496	1495
P.F. (%)	24	22.25
FULL LOAD		
I_L (A)	2.9577	2.94
P_{in} (W)	413.85	404.18
N (RPM)	1433	1447
P.F. (%)	65	63.35
EFF. (%)	60.04	62.5
T (Kg - cm)	16.88	17
P_O (W)	248.47	252.62
BREAKDOWN		
T (Kg - cm)	59.24	52.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ)

แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จาก SIMDSP

กับผลการทดสอบมอเตอร์แยกเฟสในทางปฏิบัติ

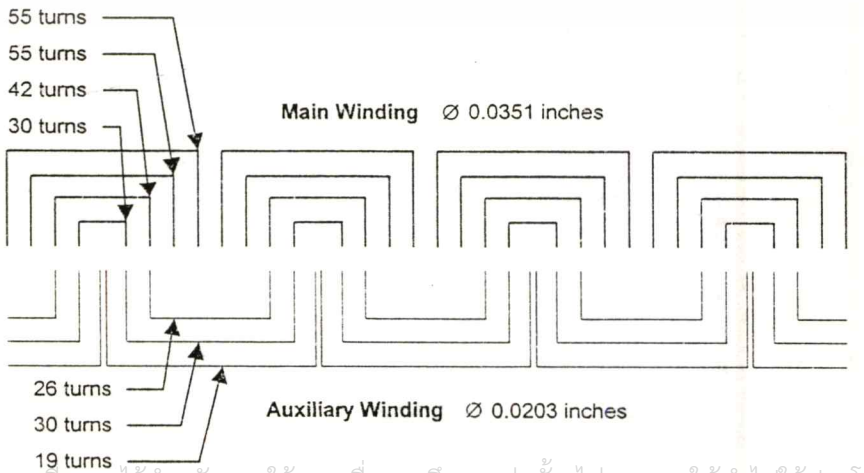
ผลที่ได้จาก	SIMDSP	การทดสอบ
LOCK ROTOR		
I_L (A)	24.15	24
P_{in} (W)	4623	4816
T (Kg - cm)	38.86	34.75

จากตารางที่ 7 พบว่าผลการคำนวณที่ได้จาก SIMDSP มีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบในทางปฏิบัติมาก ซึ่งต่อไปผู้ออกแบบสามารถออกแบบมอเตอร์ตัวอย่างใหม่ (โดยการปรับเปลี่ยนค่าอินพุตเดิมและพิจารณาผลการออกแบบโดยใช้ SIMDSP) ให้มีคุณลักษณะและสมรรถนะดีขึ้นได้ โดยผู้ออกแบบสามารถมั่นใจได้ว่าถ้านำข้อมูลที่ได้ออกแบบจาก SIMDSP ไปทำการสร้างมอเตอร์ต้นแบบแล้ว มอเตอร์ต้นแบบจะมีคุณลักษณะและสมรรถนะใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบเอาไว้

ส่วนการปรับปรุงคุณลักษณะและสมรรถนะนั้น สามารถทำได้หลายวิธีการด้วยกันเช่น การปรับเปลี่ยนความยาวแกนเหล็ก การปรับเปลี่ยนรูปแบบและจำนวนรอบของขดลวดหลัก การปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนลัดวงจร เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าวิธีการปรับเปลี่ยน

ภาพที่ 101

แสดงรายละเอียดของขดลวดของมอเตอร์แยกเฟสที่ออกแบบใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบและจำนวนรอบของขดลวดหลักใหม่น่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดทั้งด้านต้นทุนการผลิตและประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้น

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบและจำนวนรอบของขดลวดหลักใหม่ดังภาพที่ 101 จะได้คุณลักษณะและสมรรถนะใหม่ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 102 - 105 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์แยกเฟสเดิมกับมอเตอร์แยกเฟสที่ได้ออกแบบใหม่

ตารางที่ 8

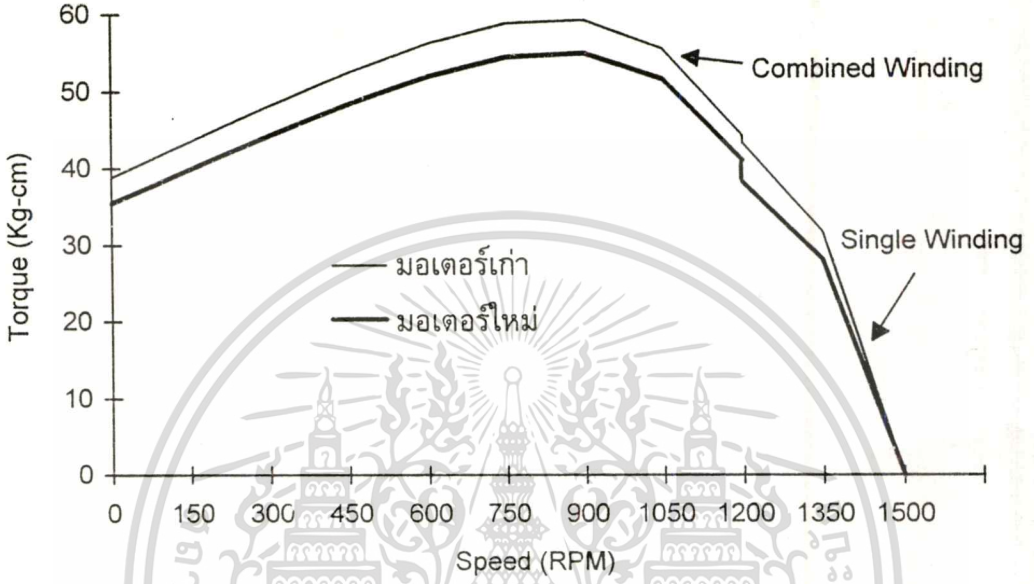
แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์แยกเฟสเดิม
กับมอเตอร์แยกเฟสที่ได้ออกแบบใหม่

ผลที่ได้จาก	มอเตอร์แยกเฟสเดิม	มอเตอร์แยกเฟสใหม่
NO LOAD		
I_L (A)	2.4778	1.931
P_{in} (W)	129.46	98.96
N (RPM)	1496	1497
FULL LOAD		
I_L (A)	2.9577	2.53
P_{in} (W)	413.85	390.23
N (RPM)	1433	1423
P.F. (%)	65	72
EFF. (%)	60.04	63.7
T (Kg - cm)	16.88	17
P_O (W)	248.47	252.53
BREAKDOWN		
T (Kg - cm)	59.24	54.98
LOCK ROTOR		
I_L (A)	24.15	23.94
P_{in} (W)	4623	4606
T (Kg - cm)	38.86	35.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

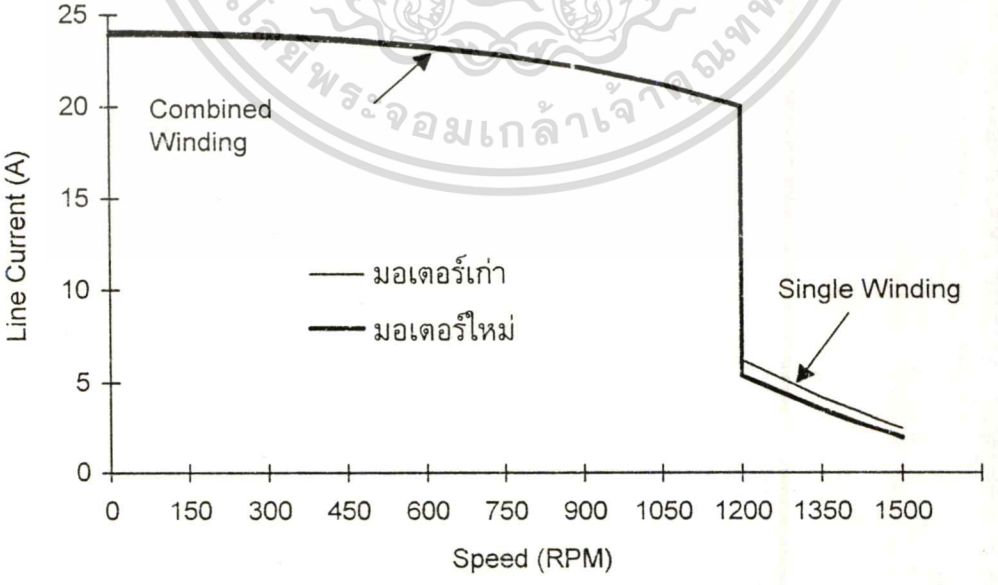
ภาพที่ 102

แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับแรงบิด



ภาพที่ 103

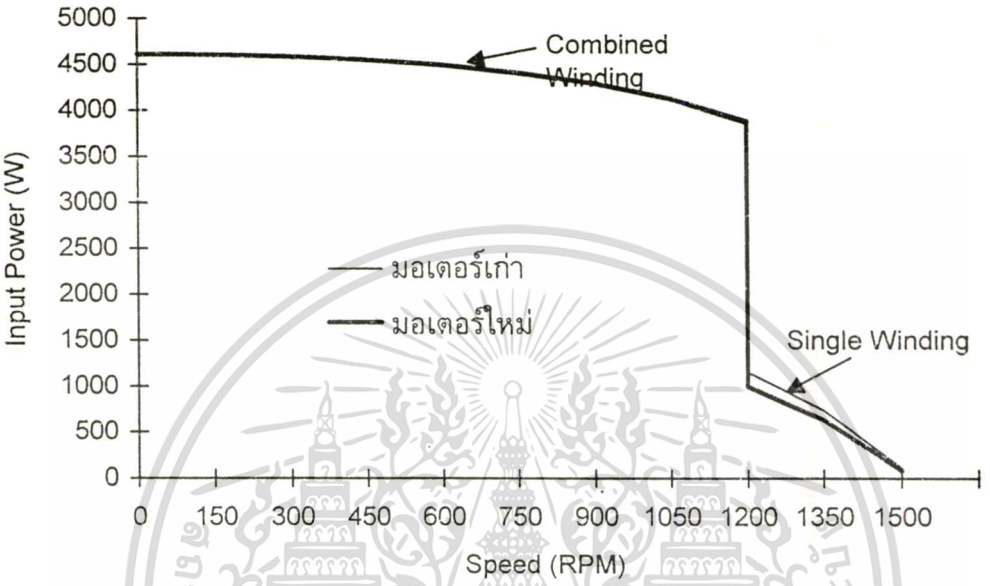
แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับกระแสไลน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

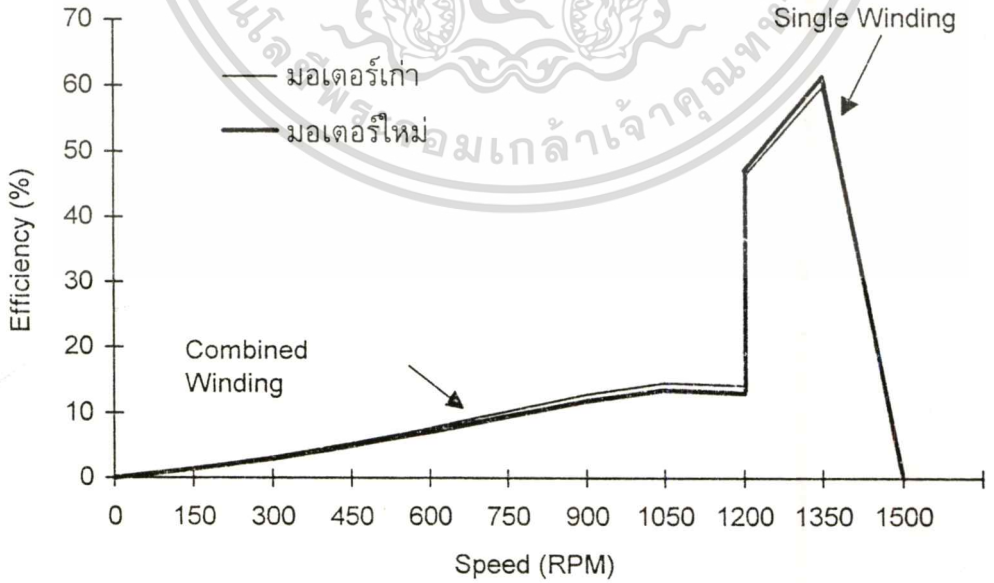
ภาพที่ 104

แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับกำลังไฟฟ้าอินพุต



ภาพที่ 105

แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมาพิจารณาทางด้านต้นทุนวัตถุดิบ จากตารางที่ 9 และ 10 จะพบว่าการปรับปรุงคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์โดยการปรับเปลี่ยนขดลวดหลักนี้ จะมีต้นทุนวัตถุดิบเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ได้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพรวมทั้งประหยัดพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาก ซึ่งผู้ผลิตสามารถใช้ข้อมูลจาก SIMDSP ในส่วนนี้ไปช่วยในการตัดสินใจในการดำเนินการผลิตได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น

ตารางที่ 9

แสดงต้นทุนวัตถุดิบมอเตอร์แยกเฟสเดิม

วัตถุดิบ	หน่วย	จำนวน	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
แผ่นลามิเนท	กิโลกรัม	3.8	20.5	77.9
ลวดตัวนำ	กิโลกรัม	0.92	130	119.6
อลูมิเนียม	กิโลกรัม	0.21	56	11.76
แกนเพลา	ชิ้น	1	20	20
แบริ่ง	ชิ้น	2	17.5	35
ฝาครอบ	ชิ้น	2	6	12
อื่นๆ	-	1	37	37
			ต้นทุนวัตถุดิบรวม (บาท)	313.26

ตารางที่ 10

แสดงต้นทุนวัตถุดิบมอเตอร์แยกเฟสที่ได้ออกแบบใหม่

วัตถุดิบ	หน่วย	จำนวน	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
แผ่นลามิเนท	กิโลกรัม	3.8	20.5	77.9
ลวดตัวนำ	กิโลกรัม	1.01	130	131.3
อลูมิเนียม	กิโลกรัม	0.21	56	11.76
แกนเพลา	ชิ้น	1	20	20
แบริ่ง	ชิ้น	2	17.5	35
ฝาครอบ	ชิ้น	2	6	12
อื่นๆ	-	1	37	37
			ต้นทุนวัตถุดิบรวม (บาท)	324.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตัวอย่างการใช้งานกับมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร</u>

มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร (Permanent - split Capacitor Motor) ที่นำมาเป็นตัวอย่างนี้ เป็นมอเตอร์ที่ผลิตในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทยโดยพิกัดทางไฟฟ้าดังนี้

P = พิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ = 47.33 วัตต์

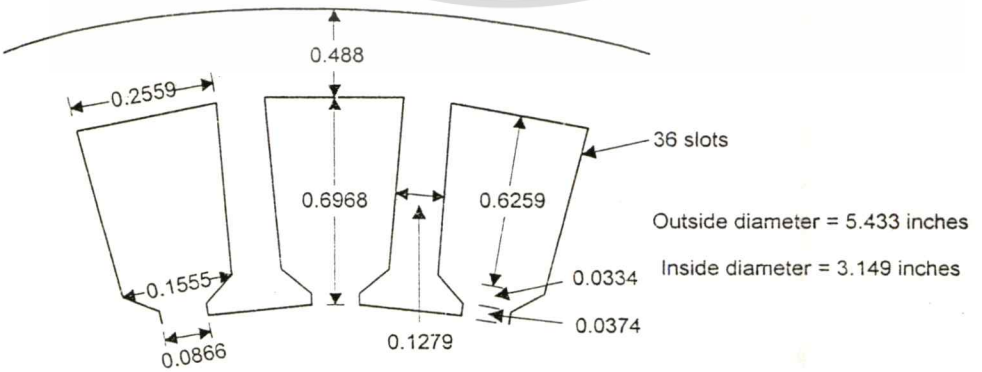
V = แรงดัน = 220 โวลท์

f = ความถี่ = 50 Hz

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก = 6 ขั้ว

ส่วนขนาดของแผ่นสเตเตอร์และโรเตอร์ลามิเนท รายละเอียดของขดลวดแสดงดังภาพที่ 106 - 109 และเช่นเดียวกันกับมอเตอร์แยกเฟสตัวอย่าง พิกัดทางไฟฟ้าและลักษณะโครงสร้างในส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ตัวอย่างเหล่านี้ จะถูกนำไปเป็นค่าอินพุตใน SIMDSP เพื่อใช้ในการคำนวณ โดยตารางที่ 11 แสดงผลการคำนวณที่ได้จาก SIMDSP เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์ตัวอย่างทางปฏิบัติที่ได้จากเครื่องทดสอบมอเตอร์ (Computerize Motor Test System)

ภาพที่ 106
แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของแผ่นสเตเตอร์ลามิเนท
ของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรตัวอย่าง

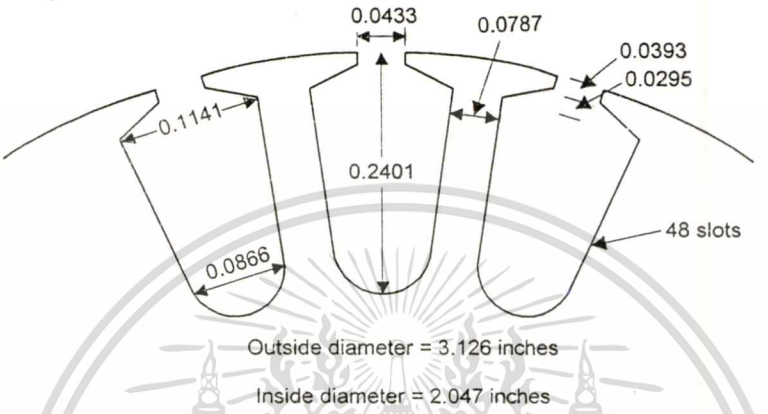


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 107

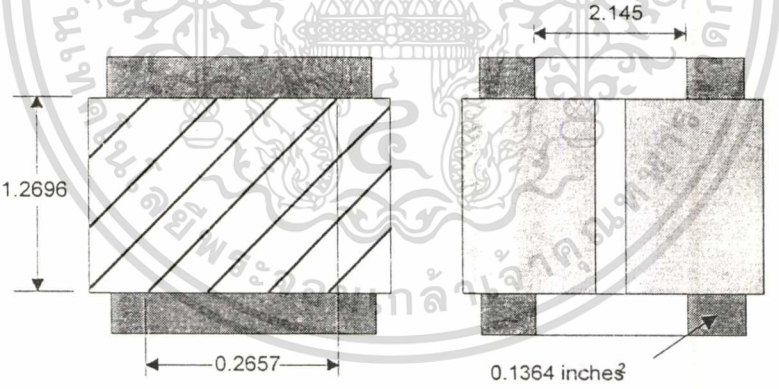
แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของแผ่นโรเตอร์ลามิเนท

ของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรตัวอย่าง



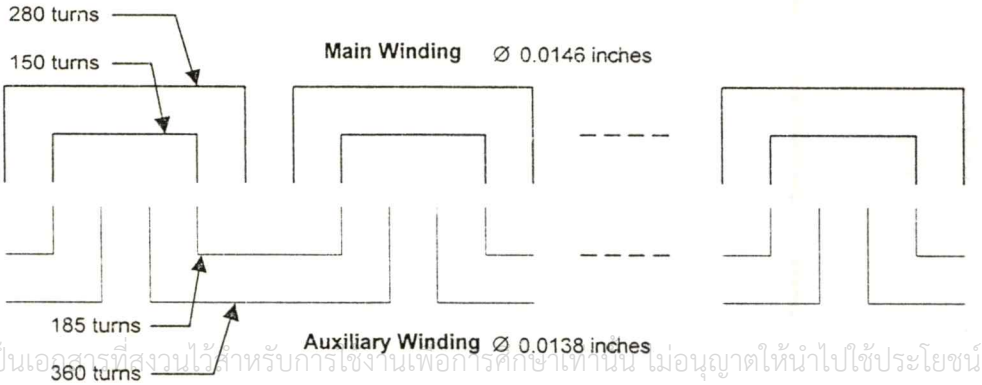
ภาพที่ 108

แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของโรเตอร์ของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรตัวอย่าง



ภาพที่ 109

แสดงรายละเอียดของขดลวดของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11

แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จาก SIMDSP

กับผลการทดสอบมอเตอร์ แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรในทางปฏิบัติ

ผลที่ได้จาก	SIMDSP	การทดสอบ
NO LOAD		
I_L (A)	0.1657	0.184
P_{in} (W)	34.72	35.2
N (RPM)	990.1	994
P.F. (%)	95	87.1
FULL LOAD		
I_L (A)	0.3693	0.385
P_{in} (W)	80.36	83
N (RPM)	910.8	910
P.F. (%)	99	98
EFF. (%)	58.85	57.1
T (Kg - cm)	5.059	5.059
P_O (W)	47.29	47.33
BREAKDOWN		
T (Kg - cm)	7.132	6.9807
LOCK ROTOR		
I_L (A)	0.8249	0.82
P_{in} (W)	168.43	165.2
T (Kg - cm)	2.731	2.4023

ข้อมูลอินพุตและผลการคำนวณที่ได้จาก SIMDSP สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ตัวอย่างได้ ซึ่งจากตัวอย่างที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์แยกเฟสตัวอย่างให้ดีขึ้นไปแล้ว ดังนั้นในตัวอย่างนี้จะเป็นการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะและสมรรถนะ โดยเลือกพิจารณาที่แรงบิดเริ่มหมุน (Starting Torque) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า แรงบิดเริ่มหมุนจะแปรผันโดยตรงกับความต้านทานของโรเตอร์ (R2) ส่วนการปรับเปลี่ยนค่า R2 นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น เปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำตัวนำ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนขนาดช่องสล็อตของโรเตอร์ เปลี่ยนขนาดวงแหวนลัดวงจร เป็นต้น แต่วิธีการที่ใช้การเปลี่ยนขนาดวงแหวนลัดวงจรนั้น จะเหมาะสมที่สุดทั้งทางด้านเวลาและต้นทุนการผลิต วงแหวนลัดวงจรใหม่ที่ใช้เป็นค่าอินพุตแสดงดังภาพที่ 110 ส่วนตารางที่ 12 และภาพที่ 111 - 114 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรเดิมกับมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรที่ได้ออกแบบใหม่

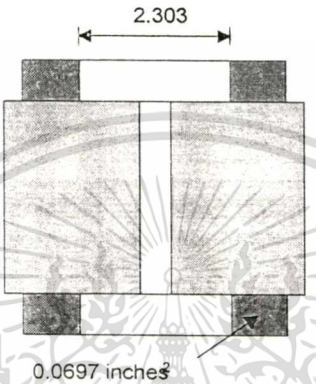
ตารางที่ 12

แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะและสมรรถนะมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรเดิมกับมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรที่ได้ออกแบบใหม่

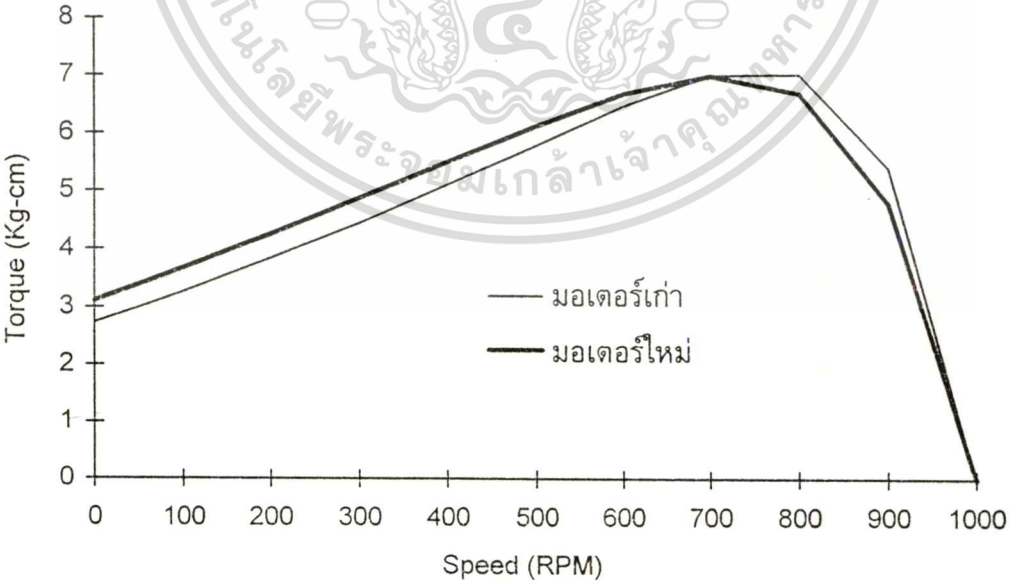
ผลที่ได้จาก	มอเตอร์เดิม	มอเตอร์ที่ออกแบบใหม่
NO LOAD		
I_L (A)	0.1657	0.1693
P_{in} (W)	34.72	35.47
N (RPM)	990.1	987.6
P.F. (%)	95	95.3
FULL LOAD		
I_L (A)	0.3693	0.3766
P_{in} (W)	80.36	81.93
N (RPM)	910.8	884.7
P.F. (%)	99	98.9
EFF. (%)	58.85	57.71
T (Kg - cm)	5.059	5.205
P_O (W)	47.29	47.29
BREAKDOWN		
T (Kg - cm)	7.132	6.995
LOCK ROTOR		
I_L (A)	0.8249	0.7734
P_{in} (W)	168.43	160.25
T (Kg - cm)	2.731	3.156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 110
แสดงโครงสร้างและขนาด (นิ้ว) ของโรเตอร์ของ
มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรที่ออกแบบใหม่



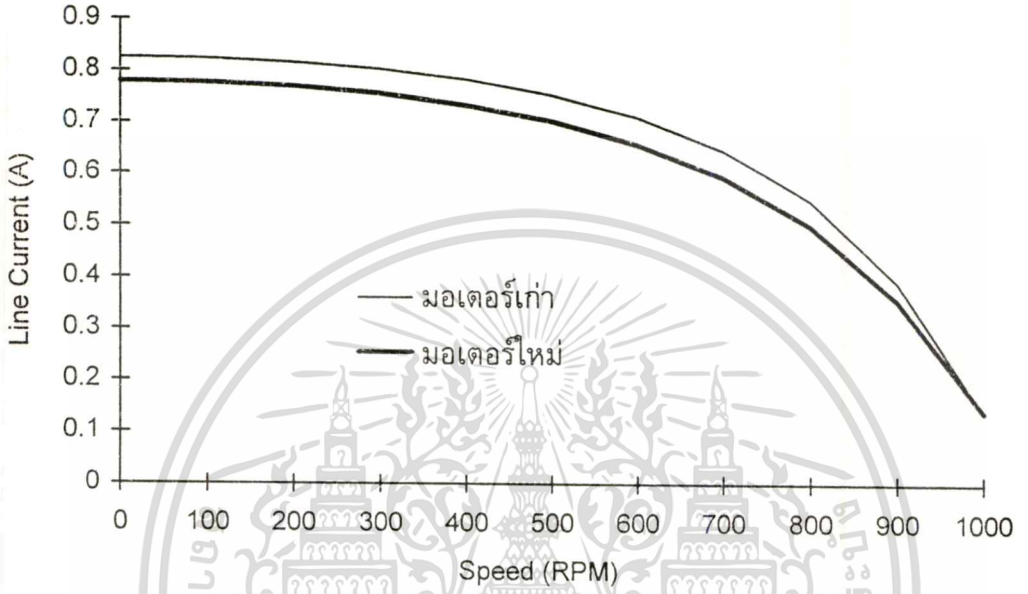
ภาพที่ 111
แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับแรงบิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

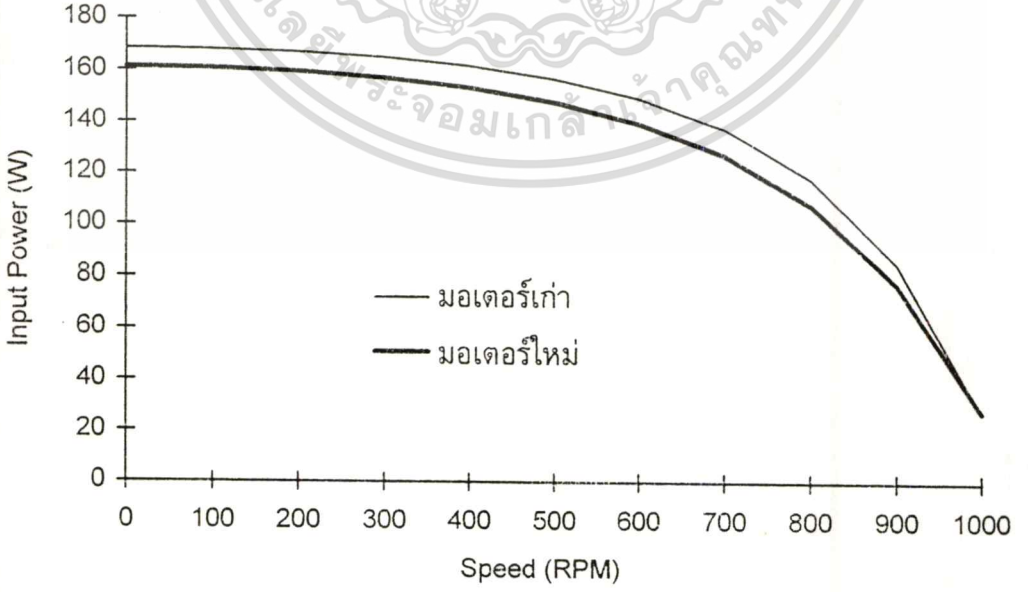
ภาพที่ 112

แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับกระแสไลน์



ภาพที่ 113

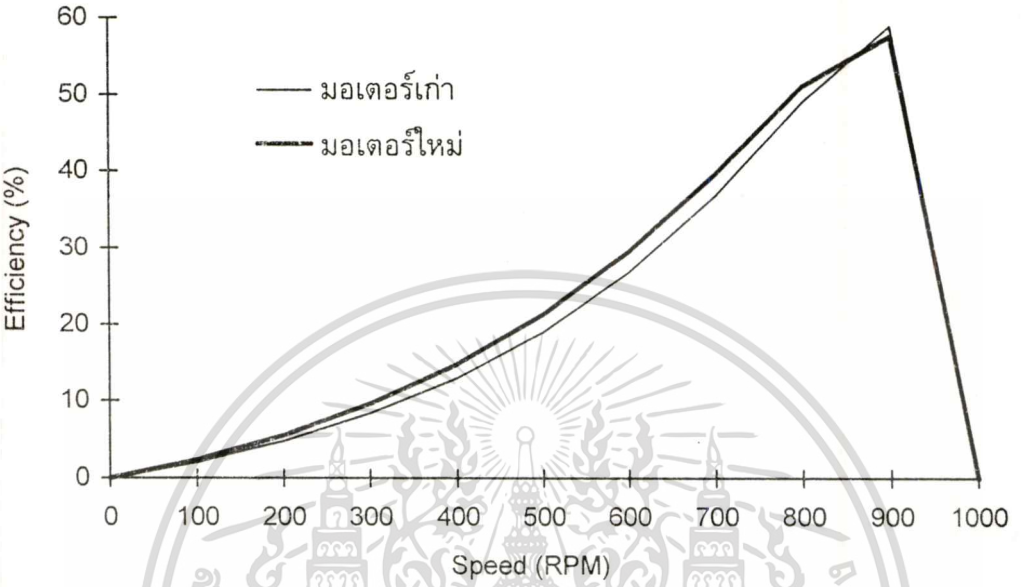
แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับกำลังไฟฟ้าอินพุต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 114

แสดงกราฟคุณลักษณะระหว่างความเร็วกับประสิทธิภาพ



ตารางที่ 13

แสดงต้นทุนวัตถุดิบมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรเดิม

วัตถุดิบ	หน่วย	จำนวน	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
แผ่นลามิเนท	กิโลกรัม	2.7	20.5	55.35
ลวดตัวนำ	กิโลกรัม	0.78	130	101.4
อลูมิเนียม	กิโลกรัม	0.1567	56	8.77
แกนเพลา	ชิ้น	1	15	15
แบริ่ง	ชิ้น	2	15	30
ฝาครอบ	ชิ้น	2	7.5	15
อื่นๆ	-	1	45	45
			ต้นทุนวัตถุดิบรวม (บาท)	270.52

ตารางที่ 13 และ 14 แสดงต้นทุนวัตถุดิบเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์เดิมกับมอเตอร์ที่ออกแบบใหม่ให้มีแรงบิดเริ่มหมุนสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าต้นทุนวัตถุดิบของมอเตอร์ใหม่นั้นจะลดลงกว่าเดิม แต่มอเตอร์ที่ออกแบบใหม่นี้ ก็จะมีข้อด้อยเช่นกันคือ แรงบิดสูงสุด (Maximum หรือ Breakdown Torque) จะน้อยลงตามไปด้วย อีกทั้งความเร็ว ณ จุดที่มอเตอร์สามารถรับโหลดได้เต็มพิกัดก็จะน้อยลงเช่นกัน ดังนั้นมอเตอร์ที่ออกแบบใหม่เหมาะสมที่จะนำไปผลิตได้ ถ้าผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรที่มีแรงบิดเริ่มหมุนสูงขึ้นกว่าเดิม และไม่สนใจข้อด้อยที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 14

แสดงต้นทุนวัตถุดิบมอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวรที่ออกแบบใหม่

วัตถุดิบ	หน่วย	จำนวน	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
แผ่นลามิเนท	กิโลกรัม	2.7	20.5	55.35
ลวดตัวนำ	กิโลกรัม	0.78	130	101.4
อลูมิเนียม	กิโลกรัม	0.1156	56	6.47
แกนเพลา	ชิ้น	1	15	15
แบริ่ง	ชิ้น	2	15	30
ฝาครอบ	ชิ้น	2	7.5	15
อื่นๆ	-	1	45	45
			ต้นทุนวัตถุดิบรวม (บาท)	268.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors Design Software Package, SIMDSP) ที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถช่วยออกแบบและวิเคราะห์มอเตอร์ขนาดเล็กได้ดังนี้คือ

1. มอเตอร์แยกเฟส (Split - phase Motor)
2. มอเตอร์แบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Motor)
   - 2.1 มอเตอร์แบบเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor - start Motor)
   - 2.2 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุถาวร (Permanent - split Capacitor Motor)
   - 2.3 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่า (Two - value Capacitor Motor)
   - 2.4 มอเตอร์แยกเฟสและต่อตัวเก็บประจุขณะหมุน (Split - phase Capacitor Motor)
   - 2.5 มอเตอร์แบบต่อตัวเก็บประจุสองค่าและมีขดลวดช่วยสองชุด (Two - value, Dual Aux. Wdg., Capacitor Motor)

โดย SIMDSP ได้นำข้อดีของทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง (Cross - field Theory) มาใช้ในการวิเคราะห์หาคุณลักษณะและสมรรถนะ การวิเคราะห์จะถูกแบ่งเป็นสองส่วนตามสภาวะการต่อขดลวดของมอเตอร์คือ สภาวะการต่อหลายขดลวด (Combined Winding) และสภาวะการต่อเพียงขดลวดเดียว (Single Winding) ซึ่งจะทำให้เข้าใจง่าย อีกทั้งยังสะดวกและรวดเร็วในการคำนวณ

และเนื่องจาก SIMDSP ถูกพัฒนาให้มีลักษณะการติดต่อกับผู้ใช้ในรูปแบบกราฟฟิคและแบบมีเอ็มดีไอ (Multiple - document Interface, MDI) จึงทำให้ SIMDSP มีจุดเด่นคือผู้ใช้สามารถใช้งานและทำความเข้าใจได้ง่าย อีกทั้งยังพิจารณาค่าอินพุต เอาต์พุตและกราฟต่างๆ ได้ง่ายและสามารถพิจารณาได้พร้อมกัน

จากการพิจารณาผลที่ได้ในตัวอย่างการใช้งานในบทที่ผ่านมา แสดงให้เห็นข้อดีอีกประการหนึ่งของ SIMDSP ที่สามารถช่วยให้ผู้ใช้หรือผู้ออกแบบสามารถออกแบบและปรับปรุงคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ขนาดเล็กได้ง่าย รวดเร็วและถูกต้อง ซึ่ง SIMDSP นี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากแก่ผู้ผลิตมอเตอร์ภายในประเทศ โดยจะทำให้การออกแบบมอเตอร์ขนาดเล็กสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและประหยัดต้นทุนแทนที่จะใช้วิธีเดิมคือ ลองผิด - ลองถูก (Trial and Error) ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แรงงานและเวลาเป็นอย่างมาก จึงเป็นการกระตุ้นและชักจูงให้ผู้ผลิตหันมาวิจัยและพัฒนามอเตอร์ขนาดเล็กให้มีคุณลักษณะและสมรรถนะที่ดีขึ้นกันมากขึ้น ซึ่งจะเกิดผลที่ตามมาในภายหลังต่อเศรษฐกิจและสังคมคือ

1. เกิดนักวิจัยที่มีขีดความสามารถในด้านเทคโนโลยีมอเตอร์ทัดเทียมนักวิจัยต่างประเทศ

2. สามารถลดการนำเข้าของมอเตอร์ขนาดเล็กจากต่างประเทศได้ หากว่ามอเตอร์ที่ผู้ผลิตวิจัยและพัฒนาขึ้นมา สามารถเป็นมอเตอร์ที่มีคุณลักษณะและสมรรถนะที่ดี จึงไม่จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

3. ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า เมื่อมีการนำเอามอเตอร์ที่ผู้ผลิตพัฒนาขึ้นไปใช้แล้ว นอกจากผู้ใช้จะได้รับประโยชน์จากการประหยัดเงินแล้ว ยังเป็นการสนองนโยบายการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของรัฐบาลอีกด้วย

4. สามารถสงวนเงินตราต่างประเทศ ซึ่งจะต้องสูญเสียไปในการซื้อลิขสิทธิ์การผลิต

5. สามารถเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพได้ภายในประเทศ ซึ่งจะมีราคาต่ำกว่าวัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศ เมื่อต้นทุนการผลิตลดลงจะทำให้ราคาจำหน่ายลดลงด้วย

6. ทำให้เกิดการจ้างงานเพิ่มขึ้น ทั้งในอุตสาหกรรมการผลิตมอเตอร์และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า

7. อุตสาหกรรมการผลิตมอเตอร์ภายในประเทศ จะเกิดการแข่งขันทั้งในด้านคุณภาพและราคา

8. สามารถนำ SIMDSP ไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนหนึ่งในการเรียนการสอนในรายวิชาเกี่ยวกับมอเตอร์ได้

ส่วนข้อด้อยของ SIMDSP คือ ยังไม่นำผลกระทบของของความสั่นสะเทือน (Vibration) และความร้อน (Heat) ที่อาจจะเกิดขึ้น มาเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการออกแบบ ซึ่งถ้ามีการนำมาเกี่ยวข้องด้วยแล้วจะทำให้ได้คุณลักษณะและสมรรถนะที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นกว่าเดิม อีกทั้งการแสดงผลการออกแบบของ SIMDSP ยังอยู่ในรูปของตัวเลขเป็นส่วนมาก ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงให้มาอยู่ในลักษณะของรูปภาพจะทำให้การพิจารณาผลการออกแบบสามารถทำได้ง่ายกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIMDSP เป็นซอฟท์แวร์ที่ช่วยออกแบบมอเตอร์ได้ดีและใช้งานง่าย รวดเร็วในระดับหนึ่ง ซึ่งในอนาคตแล้วจำเป็นต้องมีการพัฒนาให้มีขีดความสามารถมากขึ้นต่อไป ซึ่งมีอยู่หลายแนวทางดังนี้

1. พัฒนาให้สามารถออกแบบและวิเคราะห์มอเตอร์ขนาดเล็กประเภทอื่นๆ เพิ่มขึ้น อย่างเช่น Shaded - pole Motor เป็นต้น

2. พัฒนาส่วนของการแสดงผลการออกแบบให้อยู่ในลักษณะรูปภาพแสดงขนาดต่าง ๆ

3. พัฒนาซอฟท์แวร์ให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับซอฟท์แวร์ทางด้าน CAD/CAM เพื่อความรวดเร็วในการผลิต

4. พัฒนาซอฟท์แวร์ที่สามารถนำผลกระทบของความสั่นสะเทือน (Vibration) และความร้อน (Heat) ที่อาจจะเกิดขึ้น มาเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการออกแบบ

5. นำเทคนิค Optimization มาใช้ในการออกแบบ เพื่อช่วยหาคุณลักษณะและสมรรถนะที่ดีที่สุดตามความต้องการของผู้ออกแบบ

6. อาจพัฒนาไปถึงการนำเอาวิธีการไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Method) มาทำการศึกษาเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

(1) Veinott, Cyril G.. How to Design a Single - phase Motor on a Personnal Computer. Second Edition. Sarasota . FL : Published by the Author, 1989.

(2) Veinott, Cyril G.. Theory and Design of Small Induction Motors. Second Edition. Sarasota . FL : Published by the Author, 1986.

(3) Veinott, Cyril G., Joseph E.Martin. Fractional and Subfractional Horsepower Electric - Motor. Fourth Edition. Singapore : McGraw - Hill Book, 1987.

(4) Chapman, Stephen J.. Electric Machinery Fundamentals. Second Edition. Singapore : McGraw - Hill Book, 1991.

(5) สัมพันธ์ หาญชเล. เครื่องกลไฟฟ้า 2. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์, 2531.

(6) Puchstein, A.F., T.C. Lloyd and A.G. Conrad. Alternating - current Machines. New York : John Wiley & Sons, 1954.

(7) Langsdorf, Alexander S.. Theory of Alternating - current Machinery. New York : McGraw - Hill Book, 1937.

(8) Trickey, Phillip H.. Electric Motor and Generator Design Philosophy and Procedures : Duke University, 1981.

(9) Kuhlmann, John H.. Design of Electrical Apparatus. Third Edition. New York : John Wiley & Sons, 1954.

(10) Sawhney A.K.. A Course in Electrical machine Design. Fifth Edition. Delhi : Dhanpat Rai & Sons, 1984

(11) Torgerson, Thomas W.. Visual Basic Professional 3.0 Programming. New York : John Wiley & Sons, 1994.

(12) วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. ศัพท์เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2532.

(13) Hamdi, E.S.. Design of Small Electrical Machines. Chichester : John Wiley & Sons, 1994.

(14) Shanmugasundaram, A., G. Gangadharan and R. Palani. Electrical Machine Design - Data Book. New Deihi : Wiley Eastern, 1979.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(15) Cochran, Paul L.. Polyphase Induction Motors. New York : Marcel Dekker, 1989.

(16) วรวิทย์ ตันติโภคิน และ นภดล ชาญธีระเดช. การเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วย - Visual Basic ภาคปฏิบัติ . กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2537.

(17) จเร สุรวัฒน์ปัญญา. การคำนวณเชิงตัวเลขด้วย BASIC. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521.

(18) Chapman, Stephen J.. Electric Machinery Fundamentals. Second Edition. Singapore : McGraw - Hill Book, 1991.

(19) Bailey, Benjamin F.. Alternating - current Machinery. New York : McGraw - Hill Book, 1951.

(20) วัลลภ เรืองด้วยธรรม, ศุลี บรรจงจิตร และ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์. "การพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 : 33 - 37.

(21) วัลลภ เรืองด้วยธรรม และคนอื่นๆ. "การคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กโดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง." วารสารวิศวสารลาดกระบัง. ปีที่ 13, ฉบับที่ 1 (กรกฎาคม 2539) : 19 - 26.

(22) Matsh, Leander W.. Electromagnetic and Electromechanical Machines. Second Edition. New York : Harper & Rows, 1977.

(23) Lloyd, Tom C.. Electric Motors and Their Applications. New York : John Wiley & Sons, 1969.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

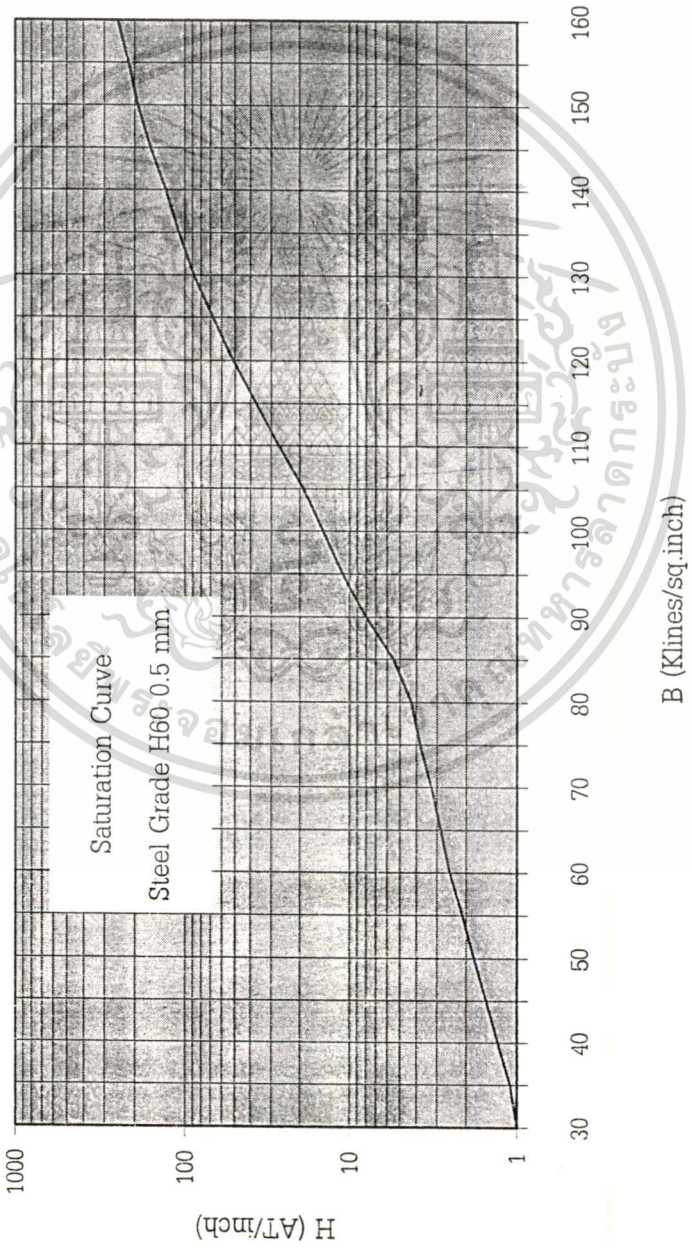
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

กราฟคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแผ่นเหล็กซิลิกอน เกรด H60 หนา 0.5 ม.ม.

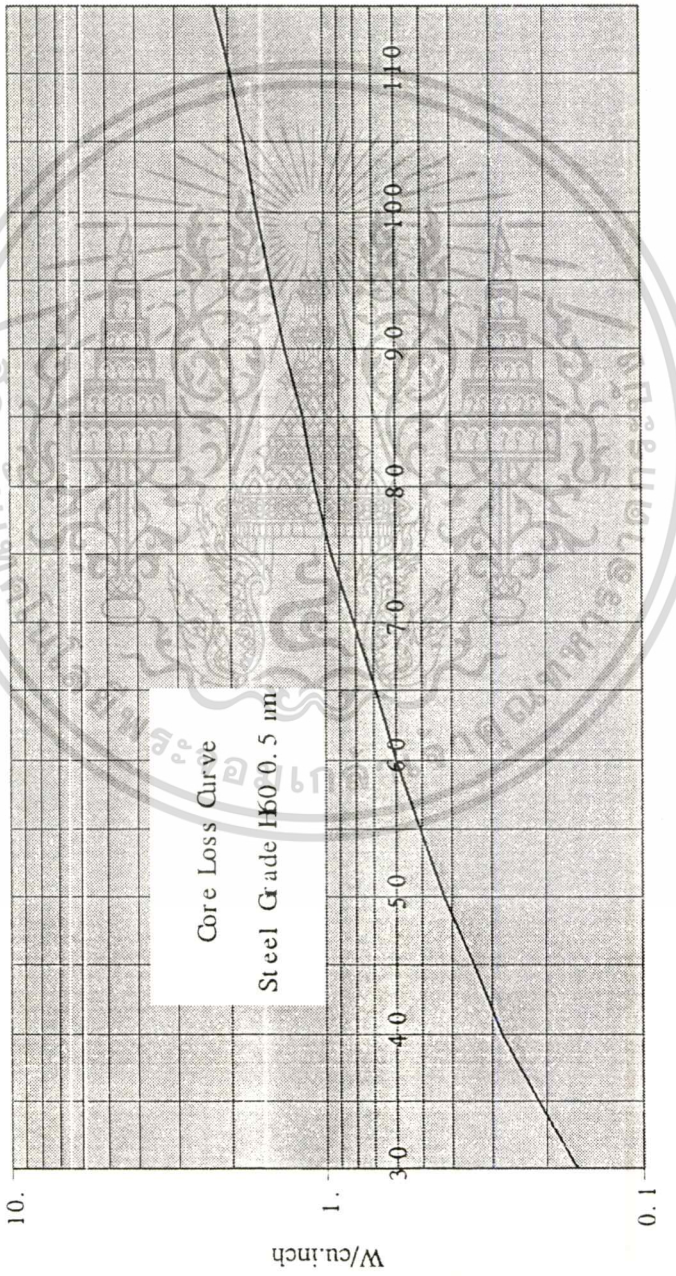
ภาพที่ 115
แสดงเส้นโค้งการอิ่มตัวของแผ่นเหล็กซิลิกอน เกรด H60 หนา 0.5 ม.ม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 116

แสดงความสูญเสียแกนเหล็กของแผ่นเหล็กซิลิกอน เกรด H60 หนา 0.5 ม.ม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ผลงานวิจัยเรื่อง "**การพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร**" ได้นำเสนอและตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 (2538) ซึ่งจัดการประชุมโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

2. ผลงานวิจัยเรื่อง "**การคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กโดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง**" ได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 (กรกฎาคม 2539)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร
Development of a Software Package for Permanent - split Capacitor Motor Design

วัฉลภ เรืองด้วยธรรม * รศ. ศุลี บรรจงจิตร ** ผศ. มณฑล ฉิลาจินดาไกรฤกษ์ **

บทคัดย่อ

งานวิจัยที่นำเสนอนี้เป็นผลการวิจัยและพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับการออกแบบมอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร โดยซอฟท์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้จะมีการติดต่อกับผู้ใช้ในรูปแบบกราฟฟิคและทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดว์ จึงทำให้เป็นซอฟท์แวร์ที่ใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพ โดยขั้นตอนในการออกแบบจะมีดังต่อไปนี้ ออกแบบแผ่นลามิเนท, ออกแบบแกนเหล็ก, ออกแบบขดลวด, คำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์และคำนวณสมรรถนะของมอเตอร์ นอกจากนั้นในตอนท้ายยังมีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากซอฟท์แวร์กับผลการทดสอบในทางปฏิบัติ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าซอฟท์แวร์ที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้มีความสามารถในการออกแบบมอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวรได้เป็นอย่างดี

Abstract

The research and development of a software package for permanent - split capacitor (PSC) motor design is presented in this article. This new package is an easily and efficiently operated software package because it has a graphical user interface (GUI) and runs on a personal computer along with Microsoft Windows. The design procedure are as follows: lamination design,core design,winding design, motors constants calculation and performance calculation. This procedure is repeated until the designer satisfied that he has the best practicable design or until he wearies and loses hope that any better design can be found. Furthermore, comparisons between experimental and theoretical results reveal that the proposed software package can be used as a good software aided PSC motor design.

* นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. บทนำ

ในรอบปีที่ผ่านมา จะเห็นว่ารัฐบาลมีนโยบายให้ประชาชนช่วยกันประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยรณรงค์ให้หันมาใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบผอม หรือ ให้คูณลากประหยัดไฟเมื่อต้องการจะซื้อตู้เย็น เป็นต้น จึงทำให้เกิดความคิดว่ายังมีอุปกรณ์ไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่งคือ มอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวรหรือ Permanent-split Capacitor (PSC) Motor ซึ่งจะพบอยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้าในทุกครัวเรือน เช่น พัดลม เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า เป็นต้น ที่ผู้ผลิตมอเตอร์ในประเทศควรจะมาช่วยกันวิจัยและพัฒนาหามอเตอร์ PSC ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากทีเดียว

แต่ผู้ผลิตมอเตอร์ในประเทศส่วนใหญ่ ยังมีปัญหาในการที่จะวิจัยและพัฒนา ยกตัวอย่างเช่น

- มีขั้นตอนในการออกแบบและวิเคราะห์ที่ยุ่งยากมาก
- เสี่ยงต่อการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แรงงานและเวลา ถ้าวิจัยพัฒนาและผลิตออกมาแล้ว ประสิทธิภาพ ไม่ได้ดีขึ้นกว่าเดิม
- ขาดอุปกรณ์หรือสิ่งที่จะช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์มอเตอร์ PSC เช่น ซอฟท์แวร์ เป็นต้น
- มีผู้ผลิตบางรายนำเอาซอฟท์แวร์จากต่างประเทศ[1] มาใช้ แต่ก็ยังมีปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลแผ่นเหล็กซิลิกอน ที่ไม่ตรงกับที่ผู้ผลิตมอเตอร์ในประเทศใช้กันอยู่

ดังนั้นจากปัญหาข้างต้น จึงขอนำเสนองานวิจัยและพัฒนาซอฟท์แวร์เพื่อช่วยออกแบบมอเตอร์ขนาดเล็กชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร โดยใช้ชื่อว่า Permanent-split Capacitor Motor Design Program (PSCMDP) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาด้วย Microsoft Visual Basic [2] ซึ่งจะทำงานบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows จึงทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายเพราะการติดต่อกับผู้ใช้โปรแกรมจะอยู่ในรูปของกราฟฟิค (Graphical User Interface, GUI) และเป็นภาษาไทยอีกด้วย

ซึ่ง PSCMDP นี้ จะเข้ามาช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้ผู้ผลิตสามารถวิจัยและพัฒนามอเตอร์ PSC ได้รวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น โดยเมื่อนำข้อมูลการผลิตที่ได้จาก PSCMDP ไปทำการสร้างมอเตอร์ต้นแบบแล้ว ผู้ผลิตสามารถมั่นใจได้ว่ามอเตอร์จะมีคุณลักษณะและสมรรถนะที่ดีตามที่ออกแบบเอาไว้จาก PSCMDP ซึ่งทำให้ผู้ผลิตสามารถลดความเสี่ยงต่อการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แรงงาน และเวลาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PSCMDP ยังช่วยในการศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ตัวใดๆของมอเตอร์ PSC ที่มีผลต่อคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ทำได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการเรียนการสอนในสถาบันการศึกษาได้อีกด้วย

อนึ่งวัตถุประสงค์ของการนำเสนองานวิจัยนี้ ยังมิได้มุ่งประเด็นไปที่ขั้นตอนการนำ PSCMDP มาใช้หามอเตอร์ PSC ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าในปัจจุบัน แต่จะเป็นเพียงการนำเสนอ PSCMDP และการตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบผลการออกแบบจาก PSCMDP กับผลของการทดสอบมอเตอร์ต้นแบบในทางปฏิบัติ

2. ทฤษฎีการคำนวณ

ในความเป็นจริงแล้วการออกแบบมอเตอร์ PSC นั้นจะมีสองส่วนคือ การออกแบบโครงสร้างและการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติและสมรรถนะของมอเตอร์ แต่ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปในส่วนหลังเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การออกแบบโครงสร้าง

2.1.1 การออกแบบแผ่นลามิเนท เป็นการออกแบบลักษณะทางกายภาพของแผ่นลามิเนท เช่น ความลึกของช่องสล็อต เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นลามิเนท เป็นต้น โดยในการออกแบบจะใช้ทฤษฎีของ Cyril G.Veinott[3] ซึ่งจะทำการออกแบบแผ่นลามิเนทของสเตเตอร์และโรเตอร์แยกจากกัน สุดท้ายเมื่อออกแบบเสร็จ จะได้ค่าคงที่ของสเตเตอร์และโรเตอร์สล็อตที่มีผลต่อการคำนวณหาค่าสล็อตลีกเกจรีแอคแตนซ์

2.1.2 การออกแบบแกนเหล็ก เป็นการคำนวณหาปริมาตรของเหล็กที่ต้องใช้ โดยการคำนวณจะอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$D^2L = 203 * C_l * HP * P \qquad (1)$$

โดยที่ $C_l = A * HP^B$

$A = 0.31185 * P^{-0.267}$

$B = -0.37 * P^{0.0805}$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของแกนเหล็ก

L = ความยาวของแกนเหล็ก

HP = พิกัดกำลังของมอเตอร์

P = จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก

โดยสมการข้างต้นเป็นสมการสำหรับมอเตอร์ PSC ที่มีขนาดไม่เกิน 1 แรงม้า ที่ความถี่ 50 Hz

2.1.3 การออกแบบขดลวด เป็นการออกแบบเพื่อหาขนาดลวดตัวนำ, จำนวนรอบต่อสล็อตและรูปแบบการพันขดลวด โดยสุดท้ายเมื่อออกแบบเสร็จจะได้แฟคเตอร์ตัวหนึ่งที่มีผลต่อค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์คือ ค่าจำนวนลวดตัวนำประสิทธิผล ,CK_w ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\overline{CK}_w = C * K_w \qquad (2)$$

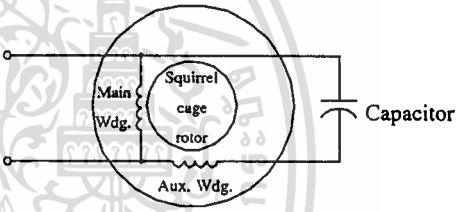
โดยที่ C = จำนวนลวดตัวนำทั้งหมด

K_w = ค่า distribution factor ของรูปแบบของการพันขดลวด

2.1.4 การคำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์ เป็นขั้นตอนในการคำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์ ที่จะต้องนำไปใช้ในการวิเคราะห์มอเตอร์ เช่น ความต้านทานของขดลวด ค่าแมกนิโต-ซิงค์รีแอคแตนซ์ ค่าความต้านทานของโรเตอร์ เป็นต้น โดยค่าคงที่ทั้งหมดที่ได้ในขั้นตอนนี้จะมีผลต่อคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์เป็นอย่างมาก เช่น ค่าความต้านทานของโรเตอร์ที่สูงขึ้นจะมีผลให้แรงบิดตอนเริ่มหมุนสูงขึ้น ความเร็วขนาดโหลดเต็มพิกัดก็จะลดลง เป็นต้น

2.2 การวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะและสมรรถนะ

ปกติมอเตอร์ PSC จะมีลักษณะวงจรดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงวงจรจริงของมอเตอร์ PSC

ในการพิจารณาการออกแบบและวิเคราะห์มอเตอร์ PSC นี้ให้ง่ายขึ้น จะต้องเปลี่ยนวงจรในรูปที่ 1 ให้อยู่ในรูปของวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้า ดังแสดงอยู่ในรูปที่2 ซึ่งได้มาจากทฤษฎี Revolving Field[3] ในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

โดยที่ V_m และ V_a เป็นแรงดันไฟฟ้าของขดลวดหลักและขดลวดช่วย

I_m' และ I_a' เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดหลักและขดลวดช่วย

I_m และ I_a เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าวงจรที่แทนส่วนโรเตอร์

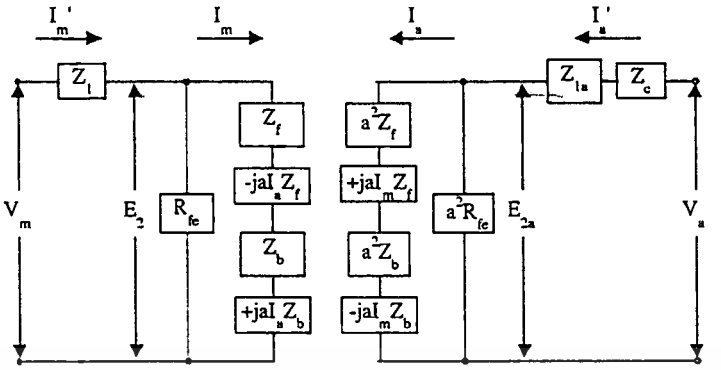
E_2 และ E_{2a} เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมความต้านทานที่แทนความสูญเสียในแกนเหล็กในด้านขดลวดหลักและขดลวดช่วย

Z_f และ Z_b เป็นอิมพิแดนซ์ของโรเตอร์ที่เกิดเนื่องจากสนามแม่เหล็กที่หมุนในทิศทาง Forward และ Backward

Z_1 และ Z_{1a} เป็นอิมพิแดนซ์ของสเตเตอร์ของขดลวดหลักและขดลวดช่วย

Z_c เป็นอิมพิแดนซ์ของคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ PSC เมื่อขดลวดหลักและขดลวดช่วยได้รับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า

R_{fe} เป็นความต้านทานที่แทนความสูญเสียในแกนเหล็ก

a เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบประสิทธิผลของขดลวดช่วยกับขดลวดหลัก

จากวงจรสมมูลย์ในรูปที่ 2 ค่าของ I_m' ,I_a' ,I_m ,I_a เป็นค่าที่ต้องถูกพิจารณาเป็นพิเศษ เนื่องจากค่าอื่นๆในวงจรสมมูลย์ทราบค่ามาแล้วก่อนที่จะถูกวิเคราะห์ และเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการหาคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ เช่น แรงบิด กำลังไฟฟ้า ความสูญเสียต่างๆ เป็นต้น ซึ่งในการวิเคราะห์หาค่ากระแสทั้งสี่ค่าจะแสดงดังนี้

จากส่วนของวงจรสมมูลย์ทางด้านซ้าย ซึ่งเป็นด้านของขดลวดหลักนั้น จะสามารถหาสมการได้สองสมการดังนี้

สมการของส่วนที่ผ่าน R_{fe}

$$(Z_1 + R_{fe})I_m' - R_{fe}I_m = V_m \quad (3)$$

สมการของส่วนที่ผ่านวงจรที่แทนส่วนโรเตอร์

$$Z_1I_m' + Z_sI_m - jaZ_dI_a = V_m \quad (4)$$

ที่ซึ่ง $Z_s = Z_f + Z_b$ และ $Z_d = Z_f - Z_b$

จากสมการ (3) และ (4) ทำการกำจัด I_m' ทิ้งและให้ $F_1 = Z_t / (Z_1 + R_{fe})$ จะได้

$$(Z_s + F_1R_{fe})I_m - jaZ_dI_a = (1 - F_1)V_m \quad .....(5)$$

ส่วนวงจรสมมูลย์ทางด้านขดลวดช่วยก็ทำเช่นเดียวกัน โดยให้ $Z_{1ac} = Z_{1a} + Z_c$

สมการของส่วนที่ผ่าน R_{fe}

$$(Z_{1ac} + a^2R_{fe})I_a' - a^2R_{fe}I_a = V_a \quad (6)$$

สมการของส่วนที่ผ่านวงจรที่แทนส่วนโรเตอร์

$$Z_{1ac}I_a' + jaZ_dI_m + a^2Z_sI_a = V_a \quad (7)$$

จากสมการ (6) และ (7) ทำการกำจัด I_a' ทิ้งและให้ $F_2 = Z_{1ac} / (Z_{1ac} + a^2R_{fe})$ จะได้

$$jaZ_dI_m + (a^2Z_s + F_2a^2R_{fe})I_a = (1 - F_2)V_a \quad .....(8)$$

นำสมการ (5) และ (8) มาเขียนในรูปเมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Z_s + F_1R_{fe} & -jaZ_d \\ jaZ_d & a^2Z_s + F_2a^2R_{fe} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_m \\ I_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 - F_1)V_m \\ (1 - F_2)V_a \end{bmatrix}$$

ใน PSCMDP ได้ใช้ Cramer's Rule ในการแก้ปัญหาหาค่าของ I_m และ I_a ซึ่งเมื่อทราบค่าของ I_m และ I_a แล้วก็สามารถหาค่าของ I_m' และ I_a' ได้จากสมการ (3) และ (6) ตามลำดับ

3. ผังงานของ PSCMDP

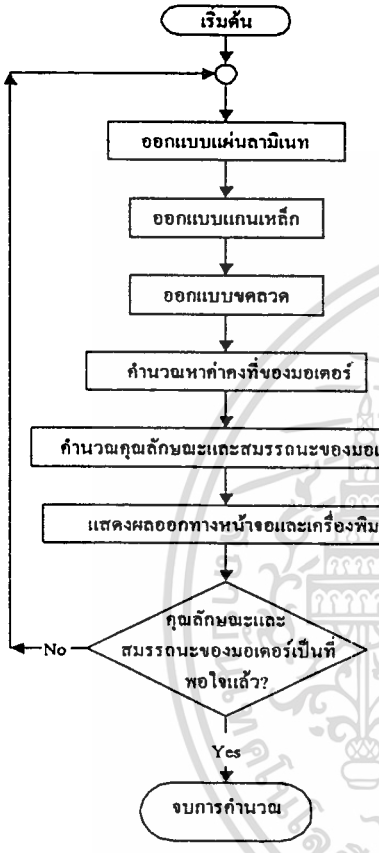
PSCMDP จะมีผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานทั้งหมดที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3 จากผังงานนั้น เมื่อ PSCMDP ทำการคำนวณวิเคราะห์คุณลักษณะ และสมรรถนะของมอเตอร์แล้ว PSCMDP จะแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์หรือเครื่องพิมพ์ ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาว่าผลทั้งหมดที่ได้ทำการออกแบบเอาไว้นั้นเป็นที่พอใจหรือยัง ถ้ายังไม่พอใจผู้ออกแบบสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์บางตัวที่มีผลต่อค่าคุณลักษณะและสมรรถนะของมอเตอร์ การคำนวณและวิเคราะห์ก็จะเริ่มอีกครั้งเป็นลักษณะวนรอบอย่างนี้เรื่อยไป จนกว่าผู้ออกแบบจะพอใจผลการออกแบบหรือจนกว่าผู้ออกแบบไม่สามารถออกแบบมอเตอร์ PSC ที่ดีไปกว่าเดิมอีก

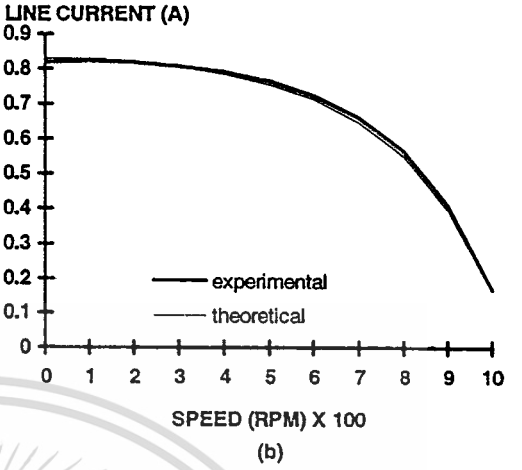
4. ผลการออกแบบและวิเคราะห์

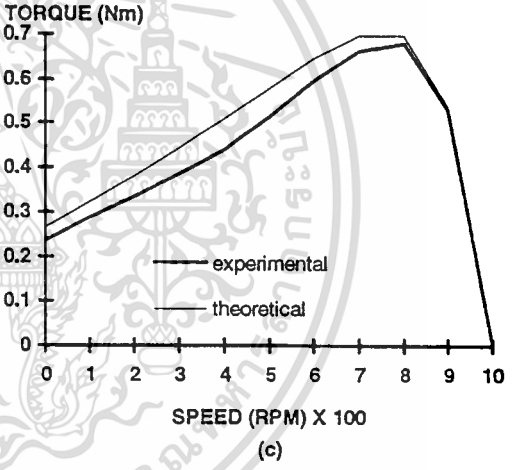
มอเตอร์ PSC ที่ถูก PSCMDP ออกแบบเอาไว้มีขนาดพิกัดดังนี้ 220V 47.33W 910rpm ใช้ตัวเก็บประจุขนาด 2 uF มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 140 ม.ม. ใช้เหล็กแผ่นซิลิกอนเกรด H-60 มาทำเป็นแผ่นลามิเนท ตัวโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก โรเตอร์และวงแหวนลัดวงจรเป็นอลูมิเนียม จำนวนช่องสล็อตของสเตเตอร์และโรเตอร์มี 36 และ 48 ช่องตามลำดับ ส่วนขดลวดหลักและขดลวดช่วยใช้ลวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

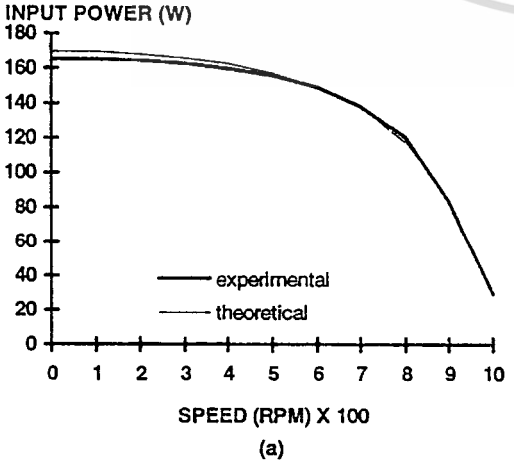
0.32 และ 0.3 ม.ม.ตามลำดับ โดยผลการออกแบบและวิเคราะห์จาก PSCMDP (Theoretical Results) จะถูกเปรียบเทียบกับผลการทดสอบมอเตอร์ต้นแบบ (Experimental Results) โดยใช้เครื่องทดสอบมอเตอร์ เพื่อแสดงความถูกต้องของการออกแบบและวิเคราะห์ของ PSCMDP ซึ่งแสดงในรูปที่ 4 และ 5

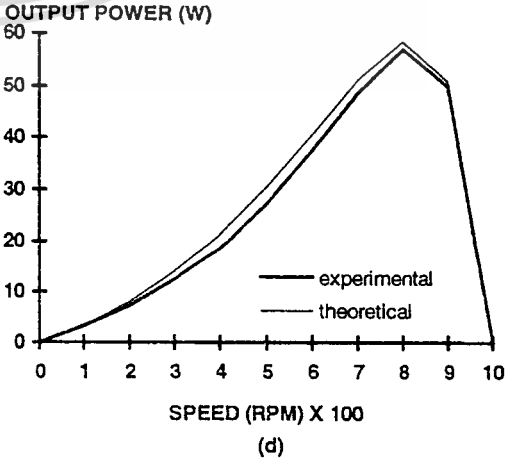




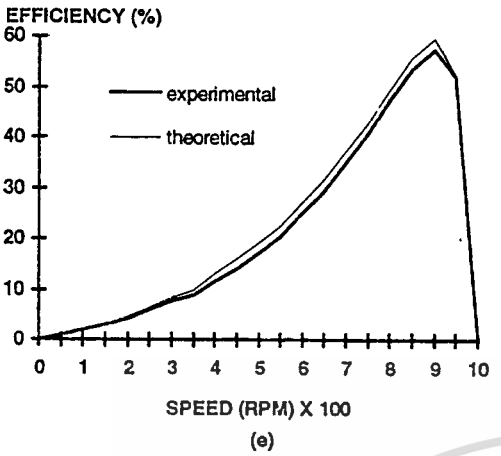


รูปที่ 3 แสดงผังการทำงานของ PSCMDP





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 (a) - (e) กราฟแสดงการเปรียบเทียบผล

	EXPERIMENTAL RESULTS	THEORETICAL RESULTS
NO LOAD		
I_L (A)	0.184	0.178
P_{in} (W)	35.2	34.8
FULL LOAD		
I_L (A)	0.385	0.368
P_{in} (W)	83	79.4
N (RPM)	910	913.5
P.F. (%)	98	98
EFF. (%)	57.1	59.6
T (Nm)	0.496	0.494
P_o (W)	47.3	47.3
BREAKDOWN		
T_{BD} (Nm)	0.684	0.7
LOCK ROTOR		
I_L (A)	0.82	0.83
P_{in} (W)	165.2	169.8
T (Nm)	0.235	0.265

รูปที่ 5 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผล

จากรูปที่ 4 (a) - (e) จะพบว่าเส้นกราฟคุณลักษณะจากผลการออกแบบและวิเคราะห์ของ PSCMDP (Theoretical Results) กับเส้นกราฟคุณลักษณะจากผลการทดสอบของเครื่องทดสอบมอเตอร์ (Experimental Results) มีแนวโน้มและค่า ณ ที่ความเร็วต่างๆ ที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนรูปที่ 5 เป็นตารางแสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบและวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับรูปที่ 4 แต่จะเป็นผลในแต่ละช่วงการทำงานต่าง ๆ ของมอเตอร์ ซึ่งจากการพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้ก็พบว่ามีความใกล้เคียงกันมาก เช่นเดียวกัน ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4 และ 5 ข้างต้นย่อมแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องและแม่นยำของ PSCMDP ได้อย่างชัดเจน ซึ่งก็เป็นวัตถุประสงค์ของการนำเสนอ PSCMDP ในงานวิจัยนี้

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้เสนอซอฟท์แวร์เพื่อช่วยในการออกแบบมอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร(PSCMDP) ที่ใช้งานง่าย รวดเร็วและมีความน่าเชื่อถือ โดยผลการออกแบบและวิเคราะห์ตามตัวอย่างข้างต้น ทำให้มั่นใจได้ว่าถ้ามีการนำข้อมูลของมอเตอร์ที่ออกแบบเอาไว้ไปสร้างมอเตอร์ต้นแบบแล้ว มอเตอร์ต้นแบบนั้นจะมีคุณลักษณะและสมรรถนะตามที่ได้ออกแบบไว้ อีกทั้ง PSCMDP ยังถูกพัฒนาให้สอดคล้องกับวัสดุแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแผ่นลามิเนทของสเตเตอร์และโรเตอร์ที่ผู้ผลิตมอเตอร์ภายในประเทศใช้กันอยู่อีกด้วย จึงกล่าวได้ว่า PSCMDP สามารถเข้ามาช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์มอเตอร์ PSC ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งเอาไว้

และจากการบรรลุวัตถุประสงค์ในการพัฒนา PSCMDP นี้เอง จึงคาดหมายว่า ในอนาคตจะได้เห็นผลการวิจัยและพัฒนามอเตอร์ PSC โดยใช้ PSCMDP ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (ในแง่ของการประหยัดพลังงานไฟฟ้า)ต่อไป ซึ่งก็เป็นวัตถุประสงค์ต่อไปในงานวิจัย และยังสอดคล้องกับนโยบายประหยัดพลังงานไฟฟ้าของรัฐบาลอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

(1) Cyril G.Veinott, "*How to design a single phase motor on a personal computer,*" Cyril G.Veinott, 1989.

(2) Taylor Maxwell, Bryan Scott, "*Visual Basic Superbible,*"The Waite Group,Inc.,1992.

(3) Cyril G.Veinott, "*Theory and Design of Small Induction Motors,*" Cyril G.Veinott, 1986.

(4) Cyril G.Veinott, Joseph E.Martin, "*Fractional and Subfractional Horsepower Electric Motor,*" McGraw-Hill Book Company, 1987.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก โดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง

Small Induction Motors Performance Calculation by Cross-field Theory

วัลลภ เรืองด้วยธรรม สัญชัยยะ ผสมกุศลศีล ศุลี บรรจงจิตร มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการนำทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางมาใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors, SIM) โดยวิธีการที่นำเสนอนี้ สมการพื้นฐานในรูปของปริมาณเวกเตอร์ที่ได้มาจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อน กระแส อิมพิแดนซ์และฟลั๊กซ์แม่เหล็ก จะถูกแปลงไปสู่สมการพื้นฐานในรูปของเลขจำนวนจริงและสุดท้ายจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์เพื่อทำการหาคำตอบ วิธีการนี้จะช่วยลดความผิดพลาดจากการคำนวณได้ อีกทั้งการนำไปใช้จะทำได้ง่ายและรวดเร็ว โดยการนำไปใช้นั้นจะต้องคำนึงถึงสภาวะการต่อของขดลวดของมอเตอร์ที่จะนำไปคำนวณว่าอยู่ในสภาวะต่ออยู่เพียงขดลวดเดียวหรือต่ออยู่หลายขดลวด นอกจากนั้นในตอนท้ายยังมีการเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณและผลทดสอบทางปฏิบัติเพื่อแสดงความถูกต้อง

Abstract

The performance calculation on small induction motors (SIM) are presented in this paper, using the concepts of cross-field theory. By the relation of voltage, current, impedance and flux, the basic equations are obtained in vector quantity. With the current development, these equations will be transformed into scalar quantity and after some rearranging these equations can be written in the matrix form. This procedure leads to be less error in numerical computation. In addition, of the merits, this approach gives more speed and ease to use. The use of this method on calculating is divided into two conditions depends on the winding connection : single winding or combined winding condition. Furthermore, comparison between the theoretical and test results for accurate confirmation is suggested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

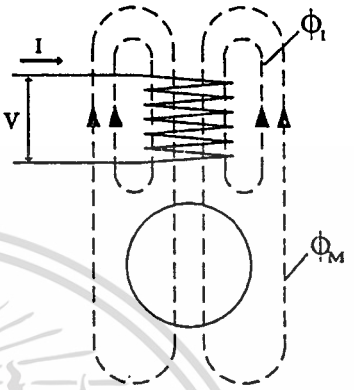
1. บทนำ

โดยปกติแล้วการคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors, SIM) นั้น จะมีเพียงสองทฤษฎีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุน (Revolving Field Theory)[1] และทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง (Cross-field Theory)[1] โดยเมื่อนำทั้งสองทฤษฎีนี้มาทำการคำนวณหาสมรรถนะของ SIM แล้ว ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จะใกล้เคียงกันมาก แต่ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางจะมีข้อดีกว่าคือ ที่ขั้นตอนการคำนวณที่ง่ายกว่า อีกทั้งยังทำความเข้าใจได้ง่ายกว่าส่วนในการคำนวณนั้น[2] ทั้งสองทฤษฎีจะมีวิธีการในการคำนวณหาค่ากระแสต่างๆ ที่เหมือนกันคือ จะเป็นการหาผลลัพธ์โดยใช้การคำนวณในเชิงเวกเตอร์ ซึ่งเป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่า การปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ใดๆ ของเวกเตอร์ จะมีความยุ่งยากและช้ากว่าเลขจำนวนจริง ดังนั้นในบทความนี้จึงนำเสนอการคำนวณหาสมรรถนะของ SIM โดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง ที่มีการคำนวณหาค่ากระแสต่างๆโดยไม่มีการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ใดๆของเวกเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยการคำนวณที่นำเสนอนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ SIM ประเภทแยกเฟส (Split Phase Motor) และชนิดต่อคาปาซิเตอร์ (Capacitor Motor) ได้ทั้งหมด

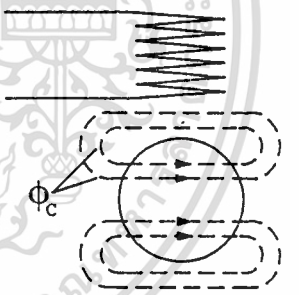
2. ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง (Cross-field Theory)

ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางเป็นทฤษฎีที่อ้างอิงถึงฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจริงใน SIM ซึ่งฟลั๊กซ์ที่เกิดขึ้นจะมีสองส่วนหลักคือ ฟลั๊กซ์แม่เหล็กหลัก (Main Flux , ϕ_M) และฟลั๊กซ์แม่เหล็กขวาง (Cross Flux, ϕ_C) โดยหลักการของทฤษฎีนี้สามารถกล่าวอย่างย่อได้ดังนี้

จากรูปที่ 1 แสดงโรเตอร์ขณะหยุดนิ่ง เมื่อขดลวดสเตเตอร์ได้รับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า จะเกิดฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่มีขนาดและทิศทางขึ้นลงตามคลื่นไซน์ของแรงดัน ซึ่งฟลั๊กซ์แม่เหล็กนี้จะมีสองส่วนคือ ฟลั๊กซ์แม่เหล็กหลัก (Main Flux ,ϕ_M) และฟลั๊กซ์แม่เหล็กรั่ว (Leakage Flux,ϕ_l) แต่จะมีเพียง ϕ_M เท่านั้นที่คล้องผ่านทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งการที่ ϕ_M ไปคล้องผ่านโรเตอร์และมีขนาดเปลี่ยนแปลง จึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นในโรเตอร์โดยมีทิศทางที่จะสร้างฟลั๊กซ์ต่อต้าน ϕ_M



รูปที่ 1 ขดลวดสเตเตอร์ขณะได้รับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าและโรเตอร์หยุดนิ่ง



รูปที่ 2 โรเตอร์ขณะเคลื่อนที่ ซึ่งทำให้เกิด ϕ_C ขึ้น

ส่วนรูปที่ 2 แสดงโรเตอร์ขณะหมุนไปตัดผ่าน ϕ_M ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นในโรเตอร์เช่นเดียวกัน (แต่ต่างกันที่แรงเคลื่อนนี้เกิดจากการที่ตัวนำในโรเตอร์ไปวิ่งตัดผ่านฟลั๊กซ์แม่เหล็ก(Speed Voltages) ส่วนแรงเคลื่อนในกรณีแรกนั้นเป็นแรงเคลื่อนที่เกิดจากการที่ฟลั๊กซ์ไปวิ่งตัดผ่านตัวนำเหมือนที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer Voltages)) โดยแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำนี้จะทำให้เกิดกระแสไหลขึ้น (ตัวนำในโรเตอร์ถูกลัดวงจร) ซึ่งกระแสนี้เองที่ไปสร้างฟลั๊กซ์แม่เหล็กขึ้นมาในทิศทางดังรูปที่ 2 โดยเรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลั๊กซ์แม่เหล็กขวาง (Cross Flux,ϕ_C) เมื่อทำการพิจารณาแล้วจะพบว่า ϕ_M จะเกิดขึ้นตลอดเวลาที่มอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้า แต่ ϕ_C นั้นจะมีค่าเกิดขึ้นในขณะที่โรเตอร์หมุนเท่านั้น ถ้าเมื่อใดที่โรเตอร์หยุดนิ่ง ϕ_C จะหมดไป

ในการนำเอาทฤษฎีนี้ไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะของ SIM นั้นจะต้องนำเอาความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อน กระแส อิมพิแดนซ์และฟลั๊กซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นมาทำการหาสมการพื้นฐาน (Basic Equations) แต่ขั้นตอนในการหาสมการพื้นฐาน[2]จะไม่ถูกนำมากล่าวในบทความ แต่จะกล่าวถึงการนำเอาสมการพื้นฐานนี้มาใช้และวิธีการหาคำตอบของสมการพื้นฐานโดยไม่มีการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ใดๆของเวกเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งสมการพื้นฐานจะถูกแบ่งเป็นสองลักษณะตามสภาวะการต่อขดลวดของ SIM ในขณะที่ทำการหาสมรรถนะ ดังนี้

2.1 ขณะมีการต่อเพียงขดลวดเดียว (Single Winding)

เป็นสภาวะในขณะที่ขดลวดหลัก (Main Winding) ของ SIM ได้รับการจ่ายแรงดันเพียงขดเดียว ส่วนขดลวดช่วย (Auxiliary Winding) ถูกตัดวงจรออกไป จากรูปที่ 3 ซึ่งแสดงทิศทางกระแสและวงจรสมมูลย์ ทำให้สามารถหาสมการพื้นฐาน[2, 3] ได้ดังนี้

$$I_{1m}(Z_1+Z_0) + I_{2m}(-Z_0) + 0 = V \quad ....(1)$$

$$I_{1m}(-Z_0) + I_{2m}(Z_2+Z_0) + V_{sm} = 0 \quad ....(2)$$

$$I_{2c}[-(Z_0+Z_2)] + V_{sc} = 0 \quad ....(3)$$

แทนค่า V_{sm} และ V_{sc} จะได้

$$I_{1m}(Z_1+Z_0) + I_{2m}(-Z_0) + 0 = V \quad ....(4)$$

$$I_{1m}(-Z_0) + I_{2m}(Z_2+Z_0) + I_{2c}[S(jZ_0-X_2)] = 0 \quad ....(5)$$

$$I_{1m}(-jSZ_0) + I_{2m}[S(jZ_0-X_2)] + I_{2c}[-(Z_0+Z_2)] = 0 \quad ....(6)$$

โดยที่

V = แรงดันไฟฟ้า

V_{sm} = Speed Voltages ในแนวแกนฟลั๊กซ์แม่เหล็กหลักของโรเตอร์

V_{sc} = Speed Voltages ในแนวแกนฟลั๊กซ์แม่เหล็กขวางของโรเตอร์

S = อัตราส่วนระหว่างความเร็วใดๆกับความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์

$I_{1m} = I_{1mRE} + jI_{1mIM}$ = กระแสขดลวดหลักของสเตเตอร์

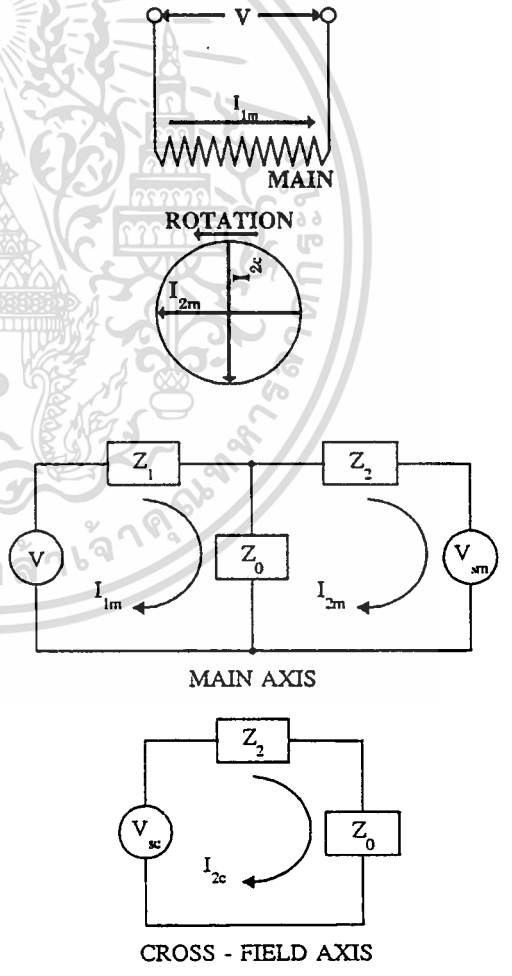
$I_{2m} = I_{2mRE} + jI_{2mIM}$ = กระแสในแนวแกนฟลั๊กซ์แม่เหล็กหลักของโรเตอร์

$I_{2c} = I_{2cRE} + jI_{2cIM}$ = กระแสในแนวแกนฟลั๊กซ์แม่เหล็กขวางของโรเตอร์

$Z_0 = r_0 + jx_0$ = อิมพิแดนซ์กระตุ้น (Magnetizing Impedance) ของขดลวดหลัก

$Z_1 = r_1 + jx_1$ = อิมพิแดนซ์รั่ว (Leakage Impedance) ของขดลวดหลัก

$Z_2 = r_2 + jx_2$ = อิมพิแดนซ์รั่วของโรเตอร์



รูปที่ 3 ทิศทางของกระแสและวงจรสมมูลย์ในขณะที่มีการต่อขดลวดเพียงขดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[Z][I] = [V] \quad \text{....(7)}$$

$$\begin{bmatrix} r_1+r_0 & -r_0 & 0 & x_1+x_0 & -x_0 & 0 \\ -r_0 & r_2+r_0 & -S(x_2+x_0) & -x_0 & x_2+x_0 & r_0 \\ Sx_0 & -S(x_2+x_0) & -(r_2+r_0) & -Sr_0 & Sr_0 & -(x_2+x_0) \\ -(x_1+x_0) & x_0 & 0 & r_1+r_0 & -r_0 & 0 \\ x_0 & -(x_2+x_0) & -r_0 & -r_0 & r_2+r_0 & -S(x_2+x_0) \\ Sr_0 & -Sr_0 & x_2+x_0 & Sx_0 & -S(x_2+x_0) & -(r_2+r_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{1mRE} \\ I_{2mRE} \\ I_{2cRE} \\ I_{1mIM} \\ I_{2mIM} \\ I_{2cIM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{RE} \\ 0 \\ 0 \\ V_{IM} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{....(8)}$$

จาก (4)-(6) เมื่อทำการแทนค่าแรงดัน กระแส และอิมพิแดนซ์ต่างๆ ด้วยส่วนจำนวนจริงและส่วนจินตภาพของตัวมันเอง และทำการจัดรูปใหม่โดยแบ่งส่วนจำนวนจริงและส่วนจินตภาพแยกจากกัน จะได้สมการทั้งหมด 6 สมการ และทำการจัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ดังสมการ (7) และ (8)

ซึ่งจากเมตริกซ์ [Z] , [I] และ [V] พบว่า ค่าองค์ประกอบจะเป็นจำนวนจริงทั้งหมดตามต้องการ ซึ่งทำให้คำนวณได้ง่ายและรวดเร็ว ส่วนในการหาคำตอบของสมการเมตริกซ์ (8) นั้นสามารถทำได้โดยการใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข เช่น Gauss Elimination Method เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้คำตอบของ I_{1m} ,I_{2m}และI_{2c} แล้ว ก็นำไปทำการหาค่าสมรรถนะค่าอื่นๆ เช่น แรงบิด กำลังไฟฟ้า เป็นต้น ต่อไป

2.2 ขณะที่มีการต่อหลายขดลวด (Combined Winding)

เป็นสภาวะที่ขดลวดหลักของ SIM ถูกขดลวดช่วยและอาจจะมีคาปาซิเตอร์มาต่อร่วมอยู่ด้วย ตามแต่ชนิดของ SIM ที่จะคำนวณหาสมรรถนะ โดยจากรูปที่ 4 ซึ่งแสดงทิศทางกระแสและวงจรสมมูลย์ ทำให้สามารถหาสมการพื้นฐาน[2, 3] ได้ดังนี้

$$I_{1m}(Z_{1m}+Z_{0m}) + I_{2m}(-Z_{0m}) + 0 + 0 = V \quad \text{....(9)}$$

$$0 + 0 + I_{1a}(Z_{1a}+Z_c+Z_{0a}) + I_{2a}(-Z_{0a}) = V \quad \text{...(10)}$$

$$I_{1m}(-Z_{0m}) + I_{2m}(Z_{0m}+Z_2) + V_{sm} = 0 \quad \text{....(11)}$$

$$I_{1a}(-Z_{0a}) + I_{2a}(Z_{0a}+a^2Z_2) + V_{sc} = 0 \quad \text{....(12)}$$

แทนค่า V_{sm} และ V_{sc} จะได้

$$I_{1m}(Z_{1m}+Z_{0m}) + I_{2m}(-Z_{0m}) + 0 + 0 = V \quad \text{....(13)}$$

$$0 + 0 + I_{1a}(Z_{1a}+Z_c+Z_{0a}) + I_{2a}(-Z_{0a}) = V \quad \text{...(14)}$$

$$I_{1m}(Z_{0m}) + I_{2m}[-(Z_{0m}+Z_2)] + I_{1a}(jSZ_{0a}/a) + I_{2a}\{-S[(jZ_{0a}/a)-aX_2]\} = 0 \quad \text{....(15)}$$

$$I_{1m}(-jSZ_{0m}) + I_{2m}[S(jZ_{0m}-X_2)] + I_{1a}(Z_{0a}/a) + I_{2a}\{-[(Z_{0a}/a)-aZ_2]\} = 0 \quad \text{....(16)}$$

โดยที่

V = แรงดันไฟฟ้า

V_{sm} = Speed Voltages ในแนวแกนฟลั๊กซ์แม่เหล็กหลักของโรเตอร์

V_{sc} = Speed Voltages ในแนวแกนฟลั๊กซ์แม่เหล็กขวางของโรเตอร์

S = อัตราส่วนระหว่างความเร็วใดๆกับความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์

a = อัตราส่วนระหว่างจำนวนตัวนำในขดลวดช่วยกับขดลวดหลัก

$I_{1m} = I_{1mRE} + jI_{1mIM}$ = กระแสขดลวดหลักของสเตเตอร์

$I_{2m} = I_{2mRE} + jI_{2mIM}$ = กระแสในแนวแกนฟลั๊กซ์แม่เหล็กหลักของโรเตอร์

$I_{1a} = I_{1aRE} + jI_{1aIM}$ = กระแสขดลวดช่วยของสเตเตอร์

$I_{2a} = I_{2aRE} + jI_{2aIM}$ = กระแสในแนวแกนฟลั๊กซ์แม่เหล็กขวางของโรเตอร์

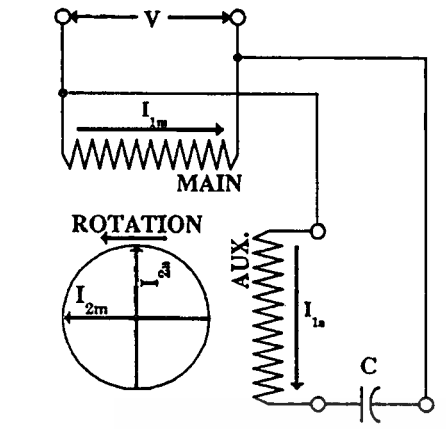
$Z_{0m} = r_{0m} + jx_{0m}$ = อิมพิแดนซ์กระตุ้น (Magnetizing Impedance) ของขดลวดหลัก

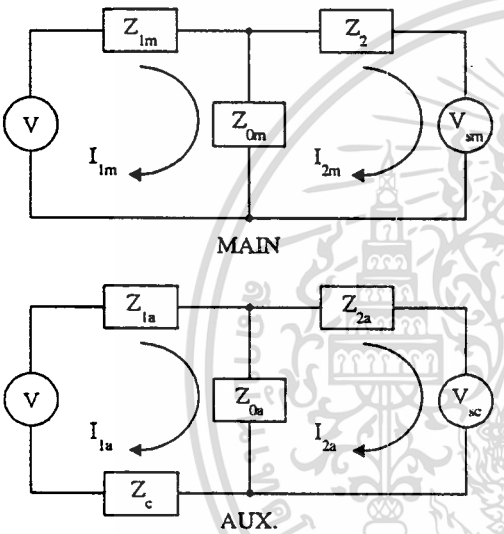
$Z_{1m} = r_{1m} + jx_{1m}$ = อิมพิแดนซ์รั่ว (Leakage Impedance) ของขดลวดหลัก

$Z_{0a} = r_{0a} + jx_{0a} = a^2Z_{0m}$ = อิมพิแดนซ์กระตุ้นของขดลวดช่วย

$Z_{1a} = r_{1a} + jx_{1a}$ = อิมพิแดนซ์รั่วของขดลวดช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4 ทิศทางของกระแสและวงจรสมมูลย์ในขณะที่มีการต่อหลายขดลวด

$Z_2 = r_2 + jx_2$ = อิมพิแดนซ์รั่วของโรเตอร์ เมื่ออ้างอิงขดลวดหลัก

$Z_{2a} = r_{2a} + jx_{2a} = a^2 Z_2$ = อิมพิแดนซ์รั่วของโรเตอร์ เมื่ออ้างอิงขดลวดช่วย

$Z_c = r_c + jx_c$ = อิมพิแดนซ์ของคาปาซิเตอร์

จากสมการ (13) - (16) เมื่อทำการแทนค่าแรงดัน กระแสและอิมพิแดนซ์ต่างๆ ด้วยส่วนจำนวนจริงและส่วนจินตภาพของตัวมันเอง และทำการจัดรูปใหม่โดยแบ่งส่วนจำนวนจริงและส่วนจินตภาพแยกจากกัน จะได้สมการทั้งหมด 8 สมการ และทำการจัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ดังสมการ (17) และ (18) ส่วนในการหาคำตอบของเมตริกซ์ และการคำนวณค่าอื่นๆ ก็สามารถทำได้เหมือนกับขณะที่มีการต่อขดลวดเดียว

3. การนำไปใช้ในการคำนวณ

การนำการคำนวณหาสมรรถนะของ SIM ทั้งสองสภาวะไปใช้งานนั้น จะต้องคำนึงถึงว่า นำไปใช้กับ SIM ชนิดใด เพราะ SIM แต่ละประเภทนั้นจะมีสภาวะการต่อขดลวดและคาปาซิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป ในแต่ละช่วงความเร็วของ SIM ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางแบ่งตามประเภทของ SIM ที่สามารถนำวิธีการคำนวณที่เสนอนี้ไปใช้ได้และยังเป็น SIM ที่นิยมใช้กันอยู่ ดังตารางที่ 1

$$[Z][I] = [V] \qquad \text{....(17)}$$

$$\begin{bmatrix}
r_{1m}+r_{0m} & -r_{0m} & 0 & 0 & x_{1m}+x_{0m} & -x_{0m} & 0 & 0 \\
0 & 0 & r_{1a}+r_c+a^2r_{0m} & -a^2r_{0-n} & 0 & 0 & x_{1a}-x_c+a^2x_{0m} & -a^2x_{0m} \\
r_{0m} & -(r_{0m}+r_2) & -Sax_{0m} & Sa(x_{0m}+x_2) & x_{0m} & -(x_{0m}+x_2) & Sar_{0m} & -Sar_{0m} \\
Sx_{0m} & -S(x_{0m}+x_2) & ar_{0m} & -a(r_{0m}+r_2) & -Sr_{0m} & Sr_{0m} & ax_{0m} & -a(x_{0m}+x_2) \\
-(x_{1m}+x_{0m}) & x_{0m} & 0 & 0 & r_{1m}+r_{0m} & -r_{0m} & 0 & 0 \\
0 & 0 & -x_{1a}+x_c-a^2x_{0m} & a^2x_{)m} & 0 & 0 & r_{1a}+r_c+a^2r_{0m} & -a^2r_{0m} \\
-x_{0m} & x_{0m}+x_2 & -Sar_{0m} & Sar_{0m} & r_{0m} & -(r_{0m}+r_2) & -Sax_{0m} & Sa(x_{0m}+x_2) \\
Sr_{0m} & -Sr_{0m} & -ax_{0m} & a(x_{0m}+x_2) & Sx_{0m} & -S(x_{om}+x_2) & ar_{0m} & -a(r_{0m}+r_2)
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix} I_{1mRE} \\ I_{2mRE} \\ I_{1aRE} \\ I_{2aRE} \\ I_{1mIM} \\ I_{2mIM} \\ I_{1aIM} \\ I_{2aIM} \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} V_{RE} \\ V_{RE} \\ 0 \\ 0 \\ V_{IM} \\ V_{IM} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

....(18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภท SIM	ความเร็ว (โดยประมาณ) (% Syn. Speed)	วิธีการที่ใช้ในการคำนวณ	
		ขดลวดเดียว	หลายขดลวด
Split Phase Motor	0 - 78		X
	79 - 100	X	
Capacitor-start Motor	0 - 78		X *
	79 - 100	X	
Permanent-split Capacitor Motor	0 - 100		X *
Two-value Capacitor Motor	0 - 78		X *
	79 - 100		X *
Split-phase Capacitor Motor	0 - 78		X
	79 - 100		X *
Two-value, Dual-aux. Wdg. Capacitor Motor	0 - 78		X *
	79 - 100		X *

* หมายถึงมีคาปาซิเตอร์ต่อร่วมด้วย

ตารางที่ 1 แสดงวิธีการที่ใช้ในการคำนวณของ SIM แต่ละประเภท

4. การคำนวณและผลการคำนวณ

ในการคำนวณหาค่ากระแสต่างๆจากเมตริกซ์ (8) และ (18) นั้น บทความนี้ได้เลือกใช้ Gauss Elimination Method เป็นวิธีการในการหาผลลัพธ์ของเมตริกซ์ ซึ่งวิธีการนี้มีข้อดีคือ สามารถมั่นใจได้ว่าจะหาผลลัพธ์ของเมตริกซ์ได้อย่างแน่นอน ในขณะที่วิธีการอื่นอย่างเช่น Gauss Seidel Method อาจไม่สามารถหาผลลัพธ์ของเมตริกซ์ได้ ถ้ามีการกำหนดค่าเริ่มต้น (Initial Value) ไม่ถูกต้อง ซึ่งทำให้การคำนวณหยุดลงทันที แต่วิธีการ Gauss Elimination Method ก็มีข้อเสียเช่นกันคือจะช้ากว่าวิธีอื่น แต่ข้อเสียนี้จะไม่เห็นผลมากนัก เนื่องจากขนาดของเมตริกซ์ (8) และ (18) ไม่ใหญ่นักนั่นเอง

ส่วนผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 2 นั้น เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง ผลทดสอบ SIM ตัวอย่าง (1), ผลลัพธ์การคำนวณโดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง(2) และผลลัพธ์การคำนวณโดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุน (3) ในสภาวะไร้โหลด (No load), โหลดเต็มพิกัด(Full load), แรงบิดเบรคดาวน์ (Breakdown torque) และล็อกโรเตอร์(Lock rotor) โดยในการทดสอบได้ใช้ SIM ที่มีขนาดและข้อมูลจำเพาะดังนี้

พิกัด	พารามิเตอร์
กำลังไฟฟ้า : 47.33 W	r_{1m} = 129.06 Ω
แรงดัน : 220 V	x_{1m} = 73.15 Ω
ความถี่ : 50 Hz	r_{1a} = 187.05 Ω
ขั้วแม่เหล็ก : 6 ขั้ว	x_{1a} = 118.83 Ω
คาปาซิเตอร์ : 2 uF	r_2 = 99.68 Ω
	x_2 = 55.50 Ω
	r_{0m} = 22.29 Ω
	x_{0m} = 822.62 Ω
	a = 1.271

ส่วนกราฟรูปที่ 5 - 8 เป็นกราฟสมรรถนะต่างๆ ของ SIM ตัวอย่าง ตั้งแต่ความเร็ว 0 - 100 % Syn. Speed ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ในตารางที่ 2 และจากกราฟ พบว่าผลลัพธ์การคำนวณโดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง ส่วนใหญ่แล้วมีค่าใกล้เคียงกับผลทดสอบ SIM ตัวอย่างและผลลัพธ์การคำนวณโดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุนมาก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าวิธีการที่นำมาใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

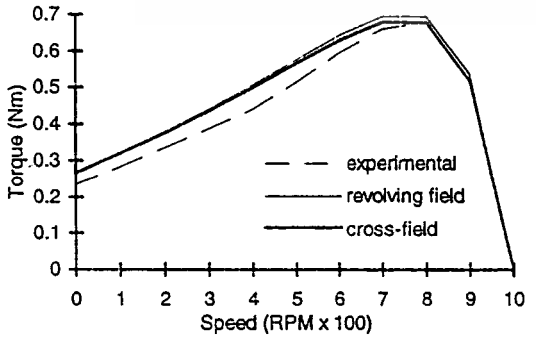
บทความนี้ สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะของ SIM ได้เป็นอย่างดี

คุณลักษณะ	(1)	(2)	(3)
NO LOAD			
I_L (A)	0.184	0.181	0.178
P_{in} (W)	35.2	35.8	34.8
FULL LOAD			
I_L (A)	0.385	0.38	0.368
P_{in} (W)	83	81.98	79.4
N (RPM)	910	906.4	913.5
P.F. (%)	98	98	98
EFF. (%)	57.1	57.68	59.6
T (Nm)	0.496	0.498	0.494
P_O (W)	47.3	47.3	47.3
BREAKDOWN			
T (Nm)	0.684	0.692	0.7
LOCK ROTOR			
I_L (A)	0.82	0.829	0.83
P_{in} (W)	165.2	169.5	169.8
T (Nm)	0.235	0.266	0.265

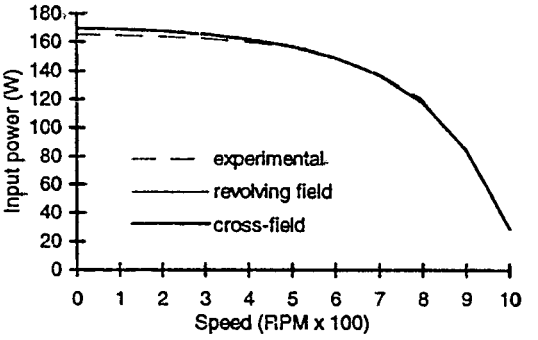
(1) = ผลทางปฏิบัติ ; (2) = ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง

(3) = ทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุน

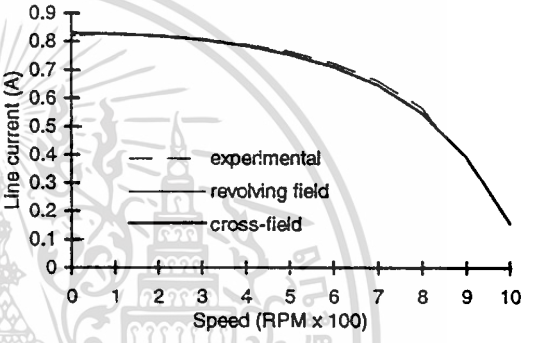
ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการคำนวณ



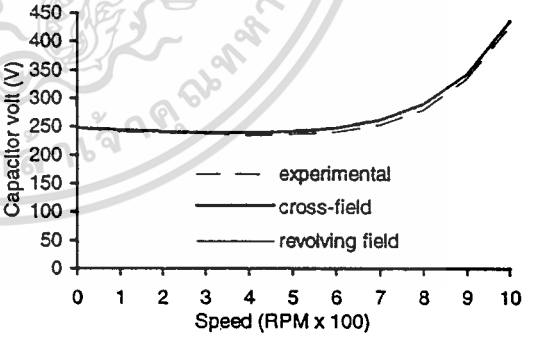
รูปที่ 5 แสดงกราฟสมรรถนะของแรงบิด (Torque)



รูปที่ 6 แสดงกราฟสมรรถนะของกำลังไฟฟ้าอินพุต (Input power)



รูปที่ 7 แสดงกราฟสมรรถนะของกระแสไลน์ (Line current)



รูปที่ 8 แสดงกราฟสมรรถนะของแรงดันคกคร่อมคาปาซิเตอร์ (Capacitor volt)

5.สรุป

ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางเป็นทฤษฎีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์หาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIM) เพราะง่ายต่อการคำนวณและทำความเข้าใจ ซึ่งวิธีการคำนวณหาสมรรถนะของ SIM ที่นำเสนอนี้ จะจัดรูปสมการพื้นฐานของแรงดัน กระแสและอิมพิแดนซ์ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ที่มีการแยกจำนวนจริง และจำนวนจินตภาพออกจากกัน จึงทำให้สามารถคำนวณได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะไม่มีการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ใดๆ ของเวกเตอร์ ส่วนในการนำเอาไปใช้ในการคำนวณนั้นจะต้องคำนึงถึงสภาวะการต่อขดลวดของ SIM ที่จะทำการคำนวณด้วย ซึ่งมีสองสภาวะคือ ต่ออยู่ขดลวดเดียวและต่ออยู่หลายขดลวด โดยวิธีการนี้ได้ถูกนำไปใช้จริงในการพัฒนาซอฟท์แวร์เพื่อช่วยออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก (Small Induction Motors Design Program , SIMDSP) ซึ่งจะได้นำเสนอในโอกาสต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการทุนบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่สนับสนุนผลงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] C.G. Veinott, "Theory and Design of Small Induction Motors", Published by The Author, 1986.

[2] A.F. Puchstein, T.C. Lioyd and A.G.Conrad, "Alternating-current Machines", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1954.

[3] A.S. Langsdorf, "Theory of Alternating-current Machinery", McGraw-hill Book Company, Inc., 1937.

[4] วัลลภ เรืองค้วยธรรม, รศ. ศุลี บรรจงจิตร และ ผศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์, "การพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร", การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่18, พฤศจิกายน 2538.

[5] Bhag S. Guru, "Two - equation Analysis of a Capacitor Motor by Cross-field Theory", Electric Machines and Electromechanics, Vol. 2, 1978.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายวัลลภ เรืองด้วยธรรม

เกิดวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2514 กรุงเทพฯ

การศึกษา อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ปีการศึกษา พ.ศ. 2536

ผลงานทางวิชาการ

1. "วิธีการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งของค่ากระแสฮามอนิกส์สูงสุดที่เกิดขึ้นบนสายส่ง" วารสารวิศวกรรมสาร ปีที่ 47 เล่มที่ 2 (กุมภาพันธ์ 2537)
2. "การพัฒนาซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบมอเตอร์ชนิดต่อคาปาซิเตอร์ถาวร" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 (2538)
3. "การคำนวณหาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กโดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง" วารสารวิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 (กรกฎาคม 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้