



ปีการศึกษา 2530

มอเตอร์เหนียวนำเพลิงเดี่ยวชนิดคาปาซิเตอร์ถาวร

โดย

นายวันชัย ไพริชราธร 27.1174

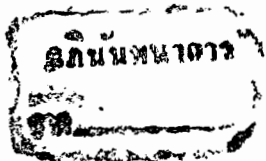
นายสุชาติ แซ่ตั้ง 27.1221

นายสรนันท์ ไหล่สั้น 27.1233

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ทองใบ อรรถเศรษฐ

ผศ. ศลิ บรรจงจิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทการศึกษา 2530

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคาปาซิเตอร์ถาวร

ผู้จัดทำ

1. นายวันชัย โพธิ์ศิริราช 27.1174
2. นายสุชาติ แซ่ตั้ง 27.1221
3. นายสุรนนท์ ไหล่สั้น 27.1233

ผศ. ทองใบ อรรถเศรษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

()

ผศ. ศุภิส บวรจงจิตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

()

()

## มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคาปาซิเตอร์ถาวร

๑ วันชัย โปธิวิจิตร

สุชาติ แซ่ตั้ง

สุรนต์ ไหลสัน

ผศ. ทองใบ อรรถเศรษฐ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ศุภี บรรจงจิตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2530

### บทคัดย่อ

ปริศยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคาปาซิเตอร์ถาวร โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโลตัส 123 ช่วยในการคำนวณเพื่อลดขั้นตอนในการทำงานซ้ำกัน และใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวาง (Cross Field Theory) ในการวิเคราะห์หาคุสมบัติต่างๆของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ เช่น กำลังเอาต์พุต แรงบิด กระแส เป็นต้น แล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้ผ่านการทดสอบแล้วอย่างถูกต้อง เพื่อทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ

# SINGLE PHASE INDUCTION PERMANENT CAPACITOR MOTOR

Wanchai Potivachiratorn

Suchat Saetang

Suranun Lailon

Associate Professor Thongbai Attaseth Advisor

Associate Professor Sulee Banjonggit Advisor

1987

## Abstract

The purpose of this thesis is to demonstrate how to design the Single-Phase Induction Motor, permanent capacitor type. By using Electronics Spreadsheet, Lotus 123 made fast and easily in step of calculation. The motor performances such as, power input, power output, line current, and torque etc. was analyzed based on the Cross Field Theory. The comparison of results from calculations and tests was done, in order to check the accuracy of program in motor performance prediction.

## สารบัญ

	เรื่อง	หน้า
<b>บทที่ 1</b>	<b>มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว</b>	
	- ทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุน	2
	- ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางโรเตอร์	3
	- หลักการทำงาน	4
<b>บทที่ 2</b>	<b>หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบมอเตอร์</b>	
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดและขนาดของมอเตอร์	5
2.1.1	ขนาด	5
2.1.2	ภาระจำเพาะ	5
2.1.3	สมการเอาที่พูด	5
2.1.4	องค์ประกอบที่มีผลต่อขนาดของมอเตอร์	6
2.1.5	วิธีเลือกค่าภาระทางแม่เหล็กจำเพาะ	7
2.1.6	วิธีเลือกค่าภาระทางไฟฟ้าจำเพาะ	8
2.2	วิธีคำนวณค่า D และ L จากค่า $D^2L$	9
2.3	ผลของเส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึม	9
2.4	ลิกเกจรีแอกแตนซ์	9
2.5	อาร์เมเจอร์ลิกเกจ	10
<b>บทที่ 3</b>	<b>ขั้นตอนการออกแบบมอเตอร์</b>	
	- องค์ประกอบของมอเตอร์เฟสเดียวชนิดคาปาซิเตอร์ถาวร	16
	- ขั้นตอนในการออกแบบมอเตอร์เฟสเดียวชนิดคาปาซิเตอร์ถาวร	16
	- การคำนวณคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	21
	- โฟล์ชาร์ตแสดงการออกแบบ	25
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการทดลองโปรแกรม</b>	
	- โปรแกรมการออกแบบมอเตอร์	32



## สารบัญ

รูปที่	หน้า
1.1 กราฟแสดงความเข้มสนามแม่เหล็กหมุนสองสนามเทียบกับเวลา	1
1.2 สเตเตอร์แบบ 2 ขั้ว	1
1.3 แสดงผลของสนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางตรงข้ามกันเทียบกับเวลา	2
1.4 กราฟแสดงแรงบิดขณะหยุดนิ่ง	4
1.5 สเตเตอร์แบบ 2 ขั้ว แสดงกระแสที่เหนียวเข้าขึ้นในโรเตอร์ขณะหมุน โดยมีเฟสล่าหลังกระแสอยู่มากกว่า $80^\circ$	4
1.6 สนามแม่เหล็กหลักจากสเตเตอร์และสนามแม่เหล็กตัดขวางที่โรเตอร์	4
1.7 วงจรสมมูลของมอเตอร์ขั้วสตาร์ท	4
1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสขั้วสตาร์ท	4
2.1 Main Dimension	5
2.2 Tapered Teeth	7
2.3 กราฟ B-H	8
2.4 ลักษณะของซิกแซกสลิคเกจ	10
2.6 ลักษณะของโอเวอร์แองด์สลิคเกจ	10
2.7 กราฟของ Factor Ks	10
2.8 ลักษณะของสลีต	12
2.9 กราฟแสดงค่า $\phi$	13
2.10 กราฟแสดงค่า F	14
2.11 กราฟแสดงค่า Kc	15

## สัญลักษณ์

- $A_m$  = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของขดลวดตัวนำหลัก  
 $A_r$  = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของตัวนำแท่งโรเตอร์  
 $B$  = ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กของแกนเหล็ก  
 $B_{av}$  = ภาวะจำเพาะทางแม่เหล็ก  
 $B_{tm}$  = ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่บริเวณสเตเตอร์ที่ค  
 $C_o$  = สัมประสิทธิ์เอาท์พุท  
 $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของสเตเตอร์  
 $D_{ri}$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของวงแหวนลัดวงจร  
 $D_{ro}$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของวงแหวนลัดวงจร  
 $D_i$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของสเตเตอร์  
 $D_o$  = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสเตเตอร์  
 $E$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  
 $EFF$  = ประสิทธิภาพ  
 $F_m$  = แฟลคเตอร์อิมิตัว  
 $I$  = กระแสของมอเตอร์  
 $I_1$  = กระแสของขดลวดตัวนำหลัก  
 $I_{2m}$  = กระแสทุติยภูมิในแนวแกนสนามแม่เหล็กหลัก  
 $I_{2a}$  = กระแสทุติยภูมิในแนวแกนสนามแม่เหล็กตัดขวาง  
 $I_a$  = กระแสของขดลวดตัวช่วย  
 $I_x$  = กระแสในแต่ละขดลวดตัวนำ  
 $K_{ring}$  = สัมประสิทธิ์วงแหวน  
 $K_w$  = แฟลคเตอร์การกระจายของขดลวด  
 $K_{wm}$  = แฟลคเตอร์การกระจายของขดลวดตัวนำหลัก  
 $K_{wam}$  = แฟลคเตอร์การกระจายของขดลวดตัวนำช่วย  
 $K_1$  = ค่าคงที่ลลิตสติกเกจ  
 $L$  = ความยาวของแกนเหล็กสเตเตอร์  
 $L_b$  = ความยาวของแท่งตัวนำที่โรเตอร์  
 $L_{mcm}$  = ความยาวเฉลี่ยต่อรอบของขดลวดตัวนำหลัก  
 $L_{mcam}$  = ความยาวเฉลี่ยต่อรอบของขดลวดตัวนำช่วย



PF	=	เพาเวอร์แฟคเตอร์
Q	=	พิกัด VA ของมอเตอร์
$R_c$	=	ความต้านทานของคาปาซิเตอร์
S	=	อัตราส่วนความเร็วรอบต่อความเร็วเชิงโคโรนัส
$S_r$	=	จำนวนของโรเตอร์สลีต
$S_m$	=	จำนวนของสเตเตอร์สลีต
T	=	จำนวนรอบของตัวนำสเตเตอร์ทั้งหมด
$T_u$	=	จำนวนรอบทั้งหมดของชุดขดลวดตัวนำช่วย
$T_{up}$	=	จำนวนรอบของชุดขดลวดตัวนำช่วยต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก
$T_m$	=	จำนวนรอบทั้งหมดของชุดขดลวดตัวนำหลัก
$T_{mp}$	=	จำนวนรอบของชุดขดลวดตัวนำหลักต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก
V	=	พิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า
$W_{or}$	=	ความกว้างของปากสลีตที่โรเตอร์
$W_{om}$	=	ความกว้างของปากสลีตที่สเตเตอร์
$W_{tr}$	=	ความกว้างของทึบที่โรเตอร์
$W_{tm}$	=	ความกว้างของทึบที่สเตเตอร์
$X_{om}$	=	รีแอกแตนซ์เมื่อเปิดวงจรทางด้านโรเตอร์
Z	=	จำนวนของตัวนำสเตเตอร์ทั้งหมด
a	=	อัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดตัวนำช่วยต่อจำนวนรอบของขดลวดตัวนำหลัก
$a_b$	=	พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำช่วย
ac	=	ภาระจำเพาะทางไฟฟ้า
$a_u$	=	พื้นที่หน้าตัดของวงแหวนลัดวงจร
$a_m$	=	พื้นที่หน้าตัดของชุดขดลวดตัวนำหลัก
dc <sub>s</sub>	=	ความยาวของส่วนคอร์ของสเตเตอร์
ds <sub>s</sub>	=	ความลึกของสเตเตอร์สลีต
f	=	ความถี่ของไฟฟ้าที่ใช้
$k_{cr}$	=	สัมประสิทธิ์ของคาร์เตอร์
$k_{grr}$	=	องค์ประกอบแก้ปคอนแทรกชัน (Gap contraction factor) สำหรับโรเตอร์สลีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง สเตเตอร์สลีต เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $l_m$  = ความยาวของแอร์เก็บ  
 $n$  = ความเร็วรอบของมอเตอร์  
 $n_o$  = ความเร็วเชิง โครนัส  
 $p$  = จำนวนขั้วแม่เหล็ก  
 $r_1$  = ความต้านทานของขดลวดตัวนำหลัก  
 $r_2$  = ความต้านทานทุติยภูมิ แปลงมาทางด้านขดลวดตัวนำหลัก  
 $r_{1m}$  = ความต้านทานของขดลวดตัวนำช่วย  
 $r_{2m}$  = ความต้านทานทุติยภูมิ แปลงมาทางด้านขดลวดตัวนำช่วย  
 $x_1$  = ลิกเกจรีแอกแตนซ์ปฐมภูมิของขดลวดตัวนำหลัก  
 $x_2$  = ลิกเกจรีแอกแตนซ์ทุติยภูมิ แปลงมาทางด้านขดลวดตัวนำหลัก  
 $x_{1m}$  = ลิกเกจรีแอกแตนซ์ปฐมภูมิของขดลวดตัวนำช่วย  
 $x_{2m}$  = ลิกเกจรีแอกแตนซ์ปฐมภูมิ แปลงมาทางด้านขดลวดตัวนำช่วย  
 $x_{1m}$  = ลิกเกจรีแอกแตนซ์รวม  
 $x_m$  = แมกเนไตซิงรีแอกแตนซ์ของขดลวดตัวนำหลัก  
 $x_{m2}$  = แมกเนไตซิงรีแอกแตนซ์ของขดลวดตัวนำช่วย  
 $x_o$  = โอเวอร์แองรีแอกแตนซ์  
 $x_s$  = สล๊อตลิกเกจรีแอกแตนซ์  
 $x_{sk}$  = สกิวลิกเกจรีแอกแตนซ์  
 $y_{rr}$  = ระยะห่างระหว่างสล๊อตที่โรเตอร์  
 $y_{rs}$  = ระยะห่างระหว่างสล๊อตที่สเตเตอร์  
 $\phi$  = ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก  
 $\lambda_{rr}$  = เปอร์มีนซ์จำเพาะสำหรับสล๊อตที่สเตเตอร์  
 $\lambda_{rs}$  = เปอร์มีนซ์จำเพาะสำหรับสล๊อตที่โรเตอร์  
 $\delta_b$  = ความหนาแน่นกระแสที่แท่งโรเตอร์  
 $\delta_m$  = ความหนาแน่นกระแสที่วงแหวนลัดวงจร  
 $\delta$  = ความหนาแน่นของกระแส  
 $\delta_b$  = ความหนาแน่นของกระแสของแท่งโรเตอร์  
 $\delta_m$  = ความหนาแน่นของกระแสของวงแหวนลัดวงจร  
 $\tau$  = ระยะห่างของขั้วแม่เหล็ก  
 $\theta_m$  = มุมของการสกีว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็กเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถ้าที่ประสิทธิภาพเปลี่ยนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

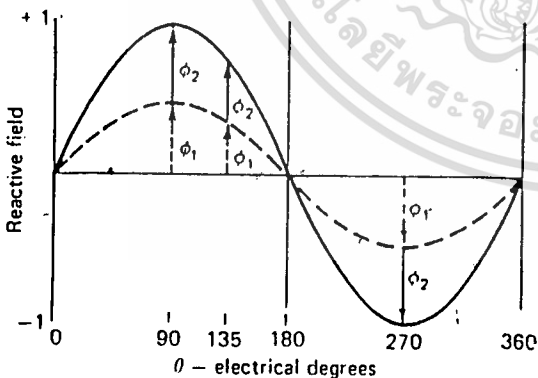
# บทที่ 1

## มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

(Single phase induction motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้กันในบ้านเรือน ธุรกิจ และโรงงานขนาดเล็ก อาจกล่าวได้ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวมีประสิทธิภาพต่ำกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในการใช้งานเช่นกัน แต่ในระบบไฟสามเฟสนี้ไม่แพร่หลายนัก ยกเว้นในธุรกิจขนาดใหญ่และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากไฟฟ้าที่ใช้อยู่ภายในบ้านเป็นระบบเฟสเดียวจึงทำให้มอเตอร์ในยุคแรกเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวต่างกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวไม่สามารถสตาร์ทได้ด้วยตัวมันเองได้ สนามแม่เหล็กเฟสเดียวจะมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ (sine wave) ดังรูปที่ 1.1 โดยขั้วของสนามแม่เหล็กจะกลับไปมาทุกครึ่งรอบของคลื่น แต่มันจะไม่หมุนด้วยตัวมันเอง หรืออีกนัยหนึ่งถ้ามอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนี้ถูกกระทำด้วยแรงทางกลให้ส่วนของโรเตอร์ (rotor) หมุนอย่างรวดเร็ว มอเตอร์ก็จะหมุนอย่างต่อเนื่องได้และจะมีคุณสมบัติคล้ายกับมอเตอร์สามเฟสแบบซิงโครนัส (Three phase synchronous motor) ในอดีตการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจะทำโดยการพันเชือกหรือหนังแล้วดึงให้เพลาหมุน ปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจะสตาร์ทโดยการสร้างไฟเฟสที่สองขึ้นในตัวมอเตอร์ โดยใช้ไฟเฟสเดียวเป็นแหล่งจ่าย



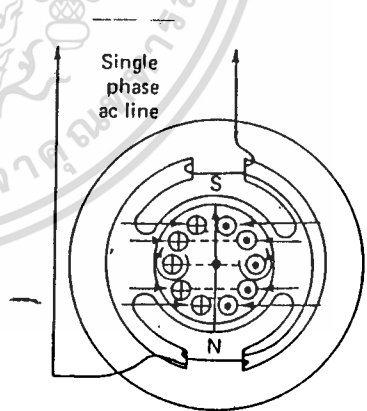
กราฟแสดงความเข้มสนามแม่เหล็กหมุนสองสนามเทียบกับเวลา

รูปที่ 1.1

รูปที่ 1.2 แสดงสเตเตอร์ (stator) แบบขาค้นโพล (salient pole) ชนิด

สองขั้วและโรเตอร์แบบกรงกระรอก (squirrel cage) จะมีข้อเท็จจริงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ การคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมายและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สเตเตอร์แบบ 2 ขั้ว

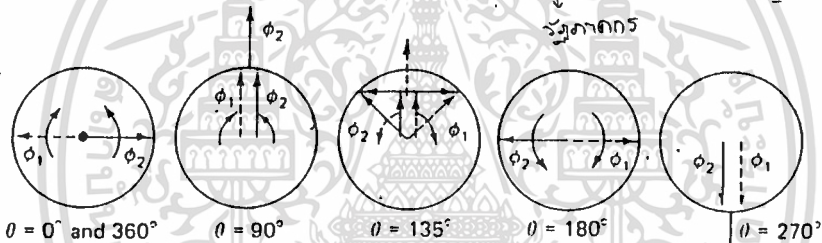
(แสดงกระแสที่เหนี่ยวนำขึ้นในโรเตอร์)

รูปที่ 1.2

2. โดยหลักการแปลง จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในส่วนโรเตอร์ ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดกระแสไหลวนในโรเตอร์ ทิศทางการไหลของกระแสแสดงดังรูปที่ 1.2

3. กระแสในโรเตอร์นี้จะทำให้เกิดแรงกระทำต่อเส้นแรงแม่เหล็กในแนวตั้งฉาก แรงนี้กระทำเฉพาะที่แขนของโมเมนต์ (moment arm) ขึ้นอยู่กับตำแหน่งในโรเตอร์ ทำให้เกิดเป็นแรงบิดเป็นส่วนๆ แรงบิดเหล่านี้จะสมมาตรกันจึงไม่มีแรงบิดสุทธิเกิดขึ้น

ทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุนคู่ (Double Revolving Field Theory) เป็น 1 ใน 2 ทฤษฎีหลักที่ใช้ในการอธิบายการไม่มีแรงบิดขณะสตาร์ท ในรูปที่ 1.1 แสดงถึงคลื่นรูปไซน์ ผลรวมของเฟสเซอร์ (phasor) ของสนาม 2 สนามและเฟสเซอร์ที่มีการหมุนกลับทิศตรงกันข้ามในช่วง 1 รอบ โดยการแสดงของเฟอร์รารี (Ferraris) จะได้ว่าเฟสเซอร์นี้สามารถแทนได้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยการแยกเป็น 2 เฟสเซอร์ที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม



แสดงผลของสนามแม่เหล็กหมุนในทิศตรงข้ามกันเทียบกับเวลา

$\phi_1$  - หมุนตามเข็มนาฬิกา  $\phi_2$  - หมุนทวนเข็มนาฬิกา

รูปที่ 1.3

รูปที่ 1.3 แสดงสภาวะแตกต่างกัน 5 แบบ ซึ่งกำหนดให้มีความเข้มสนามเป็นต่อกันโดยวิธีการทางเฟสเซอร์ ที่  $\theta = 0^\circ$  หรือ  $360^\circ$  ผลรวมทางเฟสเซอร์จะเป็นศูนย์ ที่  $\theta = 90^\circ$  ผลรวมจะมีค่าเป็น 2 เท่าของแต่ละเฟสเซอร์ ที่  $\theta = 135^\circ$  ผลรวมมีค่าเป็น 1.414 เท่าของแต่ละเฟสเซอร์ย่อยในแนวตั้ง ส่วนในแนวนอนผลรวมมีค่าเป็นศูนย์ ที่  $\theta = 180^\circ$  ผลรวมมีขนาดเหมือนที่  $\theta = 0^\circ$  หรือ  $360^\circ$  แต่องค์ประกอบของเฟสเซอร์สลับเปลี่ยนที่กัน

ถ้าเราพิจารณาแยกสนามแต่ละส่วนของสนามแม่เหล็กหมุนคู่ขณะโรเตอร์เคลื่อนที่ โดยพิจารณาเฉพาะ  $\phi_1$  ก่อน ตามรูปที่ 1.4 จะถูกแทนที่โดยแรงบิดของโรเตอร์ เส้นเคอร์ฟลากจากค่าสลิป (slip) = 0 ถึง 2 คอแวลต์แรกที่ 1 แสดงค่าแรงบิดตามปกติ โดยมีค่าสูงสุดที่ค่าสลิป = 0.25 คอแวลต์แรกที่ 4 แสดงถึงแรงบิดที่ยังคงลดลงในขณะที่ค่าสลิปเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (inductive reactance) มีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ค่าสลิปเพิ่มขึ้น ที่ค่าสลิป = 2 หมายถึงการหมุนกลับทิศที่ความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed) ค่ารีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ที่เพิ่มขึ้นอย่างมากนี้มีผลทำให้กระแสในโรเตอร์ลดลง และจะดึงกระแสให้มีเฟสล่าช้าลง แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากขึ้น ซึ่งค่าแรงบิดต่ำสุดอยู่ที่ค่าสลิป = 2 คอแวลต์แรกที่ 2 และ 3

แสดงถึงสนามแม่เหล็กหมุน  $\phi_2$  ในโรเตอร์ตัวเดียวกัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกับ  $\phi_1$  เมื่อโรเตอร์หมุนเร็วเกือบเท่าความเร็วเชิงโคโรนัส ค่า  $\phi_1$  จะมากแต่ค่า  $\phi_2$  จะน้อย จากทฤษฎีนี้จะเห็นว่าที่ค่าสลิป=1 ค่าแรงบิดที่เกิดจากแต่ละส่วนจะมีทิศทางตรงข้ามกัน ผลรวมของแรงบิดจึงมีค่าเป็นศูนย์

**ทฤษฎีสานามแม่เหล็กตัดขวางโรเตอร์ (Rotor Cross Field Theory)** เป็นทฤษฎีที่เหมาะสมสำหรับการอธิบายในช่วงการทำงานมากกว่าช่วงการสตาร์ท และช่วยอธิบายถึงการสร้างเฟสที่สองเพื่อช่วยในการสตาร์ท ในขั้นแรกพิจารณาสภาพของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากไฟเฟสเดียวดังรูปที่ 1.2 จะยังคงหยุดนิ่งไม่สามารถหมุนได้เอง แต่ถ้าใช้วิธีทางกลเข้าช่วยและทำให้หมุนจนมีความเร็วที่เหมาะสมก็สามารถมีสภาพดังรูปที่ 1.5 ได้

1. จากรูปที่ 1.5 แสดงมอเตอร์สองขั้วแบบกรงกระรอกคล้ายกับรูปที่ 1.2 โดยโรเตอร์กำลังหมุนอยู่ จะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้น ทำให้เกิดกระแสไหลในโรเตอร์ โดยกระแสมีเฟสล่าช้าหลังเกือบ  $90^\circ$  จากแรงดันเหนี่ยวนำ เนื่องจากผลของอินดักทีฟรีแอคแตนซ์ของโรเตอร์ กระแสที่ไหลในโรเตอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก  $\phi_r$  ขึ้นในโรเตอร์และเหลื่อมกับสนามแม่เหล็กทางสเตเตอร์  $\phi_s$  เกือบ  $90^\circ$  เนื่องจากยังมีผลของค่าความต้านทาน (resistance) เข้ามาเกี่ยวข้อง

2. จากรูปที่ 1.6 แสดงสนามแม่เหล็ก 2 ส่วน คือ ส่วนของสเตเตอร์ ( $\phi_s$ ) และ ส่วนของโรเตอร์ ( $\phi_r$ ) โดย  $\phi_r$  จะล่าช้าหลัง  $\phi_s$  ประมาณ  $80^\circ$  และความเข้มสนามของโรเตอร์จะน้อยกว่าสเตเตอร์เนื่องจากมีส่วนที่สูญเสีย (loss) ดังรูป 1.6

3. เนื่องจากมีคลื่นสนามแม่เหล็กแบบไซน์ 2 สนามซึ่งมีเฟสต่างกัน จึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน จากที่กล่าวมาแล้วความเข้มสนามของสเตเตอร์และโรเตอร์ไม่เท่ากันและมีเฟสที่ล่าช้ากันไม่เท่ากับ  $90^\circ$  พอดี ดังนั้นสนามแม่เหล็กลัพธ์จึงมีลักษณะเป็นวงรี สภาพดังกล่าวจึงคล้ายกับมอเตอร์มีแหล่งจ่ายไฟ 2 เฟส

สนามแม่เหล็กหมุนที่จะสร้างแรงบิดขึ้นในโรเตอร์เสมือนกับว่าถูกสร้างจากสนามแม่เหล็กที่มีแหล่งจ่ายไฟ 2 เฟส เพราะว่าโรเตอร์จะยังคงหมุนอยู่ถ้ามีสนามแม่เหล็กหมุน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีสร้างสนามแม่เหล็กหมุนขณะสตาร์ท เพื่อให้โรเตอร์สามารถหมุนด้วยตัวเองขณะสตาร์ทได้ด้วยวิธีการต่างๆ วิธีการหนึ่งที่ใช้คือการสร้างไฟเฟสที่สองให้เกิดขึ้นในวงจรขณะสตาร์ท

มอเตอร์แบบคาปาซิเตอร์ถาวร เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดหนึ่งที่มีขดลวดสตาร์ทกับขดลวดหลักทำงานร่วมกันตลอดเวลา จะมีคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกับขดลวดสตาร์ท ข้อได้เปรียบของมอเตอร์ชนิดนี้เมื่อเทียบกับชนิดอื่นๆ คือ

1. ไม่มีสวิตช์แรงเหวี่ยง
2. การควบคุมความเร็วทำได้ง่าย

3. สามารถหมุนกลับทิศทางได้

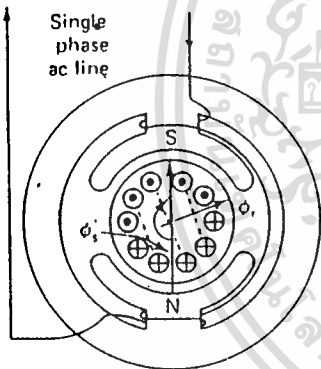
4. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor) สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ

มอเตอร์ชนิดนี้พบมากในอุปกรณ์ที่ใช้ในการดูดเป่าอากาศเช่น พัดลม เครื่องดูดอากาศ หลักการทำงานของมอเตอร์ชนิดนี้ พิจารณาจากรูปที่ 1.7 เป็นลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์ชนิดนี้ที่มีคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกับขดลวดสตาร์ทและต่อขนานกับขดลวดหลัก จากรูปที่ 1.8 เมื่อป้อนไฟจากแหล่งจ่ายให้กับมอเตอร์ กระแสที่ขดลวดหลักจะล่าหลังแรงดันไฟเป็นมุม  $\phi_r$  และกระแสที่ขดลวดสตาร์ทจะนำหน้าแรงดันไฟเป็นมุม  $\phi_s$  เนื่องจากมีการต่อคาปาซิเตอร์อยู่ ผลจากการที่กระแสของขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ทมีลักษณะเป็น 2 เฟส ดังนั้นมอเตอร์ก็สามารถที่จะทำการสตาร์ท ด้วยตัวมันเอง และผลของการรวมกระแสระหว่างกระแสจากขดลวดหลักและกระแสจากขดลวดสตาร์ทจะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงซึ่งเป็นข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้

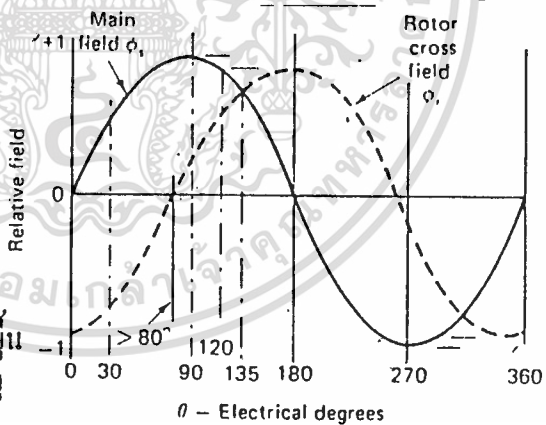
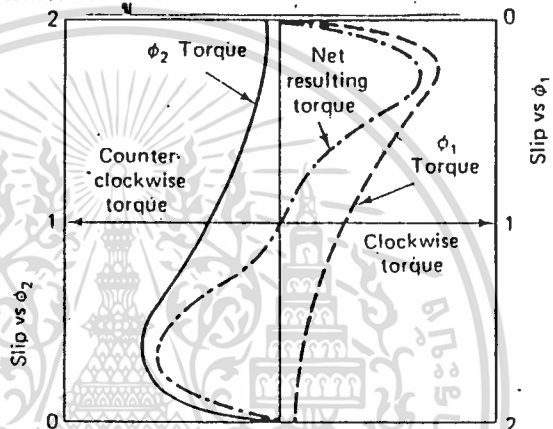
แรงบิดขณะหยุดนิ่ง หรือ  
เกิดจากผลรวมของสนามแม่เหล็ก  
หมุนทั้งสอง มีค่าแรงบิดสุทธิ = 0

รูปที่ 1.4

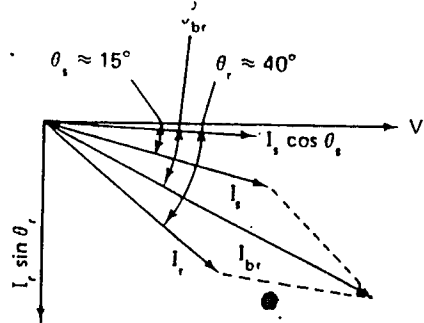
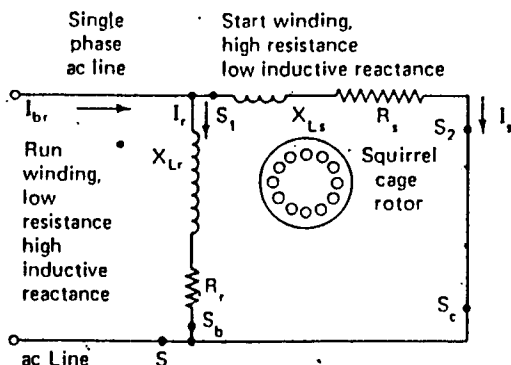


รูปที่ 1.5

สเตเตอร์แบบ 2 ขั้ว แสดงกระแสที่เหนี่ยวนำขึ้น  
ในโรเตอร์ขณะหมุน โดยมีเฟสลาหลังกระแสอยู่  
มากกว่า  $80^\circ$



รูปที่ 1.6 สนามแม่เหล็กหลักจากสเตเตอร์  
และสนามแม่เหล็กตัดขวางที่โรเตอร์



รูปที่ 1.7 วงจรสมมูลของมอเตอร์ขณะสตาร์ท

รูปที่ 1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสขณะสตาร์ท

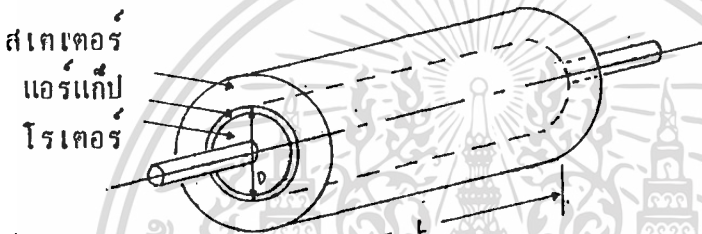
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีเหตุใดก็ตามที่เอกสารนี้ถูกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบมอเตอร์

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดและขนาดของมอเตอร์ ในบทนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของมอเตอร์กับขนาดรูปร่างของมอเตอร์ และวิธีการคำนวณหาหลักเกณฑ์แยกแยะต่าง ๆ

2.1.1 ขนาด (Main Dimension) ประกอบด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสเตเตอร์ D และความยาวของแกนเหล็ก L



รูปที่ 2.1 MAIN DIMENSION

2.1.2 ภาระจำเพาะ (Specific Loadings)

ภาระทางแม่เหล็กจำเพาะ (Specific magnetic loading) คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กเฉลี่ยเหนือบริเวณแอร์แก๊ป (air gap)

Specific magnetic loading

$$B_{av} = \frac{\text{จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดรอบๆแอร์แก๊ป}}{\text{พื้นที่ของเส้นแรงแม่เหล็กที่แอร์แก๊ป}}$$
$$= \frac{p\phi}{\pi DL} \quad \text{เวเบอร์ต่อตารางเมตร} \quad (2.1)$$

$$= \frac{\phi}{\tau L} \quad (2.2)$$

ภาระทางไฟฟ้าจำเพาะ (Specific electric loading) คือ จำนวนแอมแปร์ในตัวนำของสเตเตอร์ต่อความยาวรอบวงของสเตเตอร์บริเวณแอร์แก๊ป

Specific electric loading

$$ac = \frac{\text{จำนวนแอมแปร์ทั้งหมดในตัวนำสเตเตอร์}}{\text{ความยาวรอบวงของสเตเตอร์บริเวณแอร์แก๊ป}}$$
$$= \frac{I_a Z}{\pi D} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็น 2.1.3 สมการเอาท์พุท (Output Equation) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด พิกัด VA ของมอเตอร์ Q เป็นเนื้อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาท์พุท x กระแสไฟฟ้าที่มีการนำไปใช้

$$Q = EI$$

จากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  $E = 4.44f\phi TK_w$

$$Q = 4.44f\phi TK_w I \quad (2.4)$$

โดยที่

$$f = pn_g/2$$

ดังนั้นเราจะได้

$$Q = 2.22pn_g TK_w I \\ = 1.11K_w (p\phi) (2IT)n_g$$

เพราะว่า  $I_z = I$  และ  $Z = 2T$

ดังนั้น

$$Q = 1.11K_w (p\phi) (I_z Z)n_g \quad (2.5) \\ = 1.11K_w (\text{ภาระทางแม่เหล็กรวม}) (\text{ภาระทางไฟฟ้ารวม}) \\ (\text{เชิงโคโรนัสปีดในหน่วย rps})$$

แต่  $p\phi = \pi DLB_{av}$  (จาก 2.1) และ  $I_z Z = \pi Dac$  (จาก 2.3)

แทนค่าเหล่านี้ในสมการ 2.5 เราจะได้

$$Q = 1.11K_w (\pi DLB_{av}) (\pi Dac)n_g \\ = (1.11\pi^2 B_{av} acK_w) D^2 Ln_g \quad (2.6) \\ = (11B_{av} acK_w) D^2 Ln_g$$

$$Q = CoD^2 Ln_g \quad (2.7)$$

โดยที่

$$Co = 11B_{av} acK_w \quad (2.8)$$

สมการ 2.7 เรียกว่า สมการเอาต์พุทของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับ  $Co$  คือ สัมประสิทธิ์เอาต์พุท (Output Co-efficient)

2.1.4 องค์ประกอบที่มีผลต่อขนาดของมอเตอร์ เมื่อพิจารณาสมการเอาต์พุท (สมการ 2.7) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เราจะพบว่าผลคูณ  $D^2L$  จะลดลงเมื่อเพิ่มค่าของความเร็ว หรือเพิ่มค่าของสัมประสิทธิ์เอาต์พุท ดังนั้น ขนาดและค่าใช้จ่ายของมอเตอร์จะลดลงเมื่อเพิ่มค่าของความเร็วหรือเพิ่มค่าของสัมประสิทธิ์เอาต์พุท ต่อไปนี้เราจะพิจารณาในรายละเอียด

1. ความเร็ว จะเห็นได้จากสมการ 2.7 ว่า ปริมาตรของส่วนที่มีประสิทธิผล (volume of active part)  $D^2L$  จะแปรผกผันกับความเร็ว ที่ค่าพิกัดเดียวกัน ถ้าออกแบบให้มีความเร็วมากขึ้น จะมีขนาดของมอเตอร์เล็กลง และต้นทุนต่ำกว่าถ้าออกแบบให้มีความเร็วต่ำกว่า

การเลือกความเร็วสูงสุดในทางปฏิบัตินั้น ถูกจำกัดด้วยแรงเค้นทางกลของวัสดุที่ใช้ทำเป็นสเตเตอร์

2. สัมประสิทธิ์เอาต์พุท (Output Co-efficient) จากสมการ 2.7 จะเห็นได้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมการศึกษานอกโรงเรียน กระทรวงศึกษาธิการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ว่า  $D^2L$  จะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์เอาท์พุท  $C_o$  ดังนั้น เมื่อเพิ่มค่า  $C_o$  ให้มากขึ้น จะทำให้ขนาดและราคาของมอเตอร์ลดลง

$$\text{จาก } C_o = 11B_{av} acK_w$$

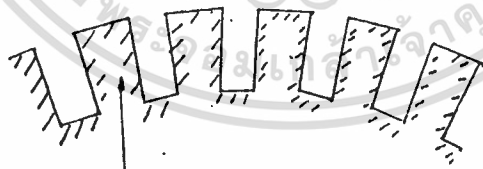
$$\text{หรือ } C_o \propto B_{av} \cdot ac$$

เพราะว่าสัมประสิทธิ์เอาท์พุทจะเป็นสัดส่วนกับผลคูณของภาระทางแม่เหล็กจำเพาะกับภาระทางไฟฟ้าจำเพาะ เราสามารถลดขนาดและราคาของมอเตอร์ได้โดยการเพิ่มค่าภาระทางแม่เหล็กจำเพาะและภาระทางไฟฟ้าจำเพาะ ถ้าพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์ เราจะลดขนาดลงได้โดยการเพิ่มภาระทางแม่เหล็กจำเพาะกับภาระทางไฟฟ้าจำเพาะให้สูงขึ้นเท่าที่จะทำได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้ค่าภาระทั้งสองสูงจะมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิเพิ่ม (temperature rise) , ประสิทธิภาพ, เพาเวอร์แฟกเตอร์ เลวลง ในการออกแบบจะเลือกค่าภาระทั้งสองที่ทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ ได้ตามต้องการ และในขณะเดียวกันจะให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในต้นทุนที่ต่ำที่สุด

2.1.5 วิธีเลือกค่าภาระทางแม่เหล็กจำเพาะ ค่าที่ใช้งานจะอยู่ระหว่าง  $0.35 - 0.55 \text{ Wb/m}^2$  ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

1. ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดในเหล็ก ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดในเหล็กต้องต่ำกว่าค่าที่เหล็กสามารถทนได้ ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กเฉลี่ยที่แอร์แก๊ป ในมอเตอร์ที่ออกแบบดีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดจะอยู่ในทิส (teeth) และความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กที่ทิสจะสัมพันธ์กับเส้นแรงแม่เหล็กบริเวณแอร์แก๊ปดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กในทิส } B_t = \frac{y}{w} \cdot B_{av}$$



Tapered tooth

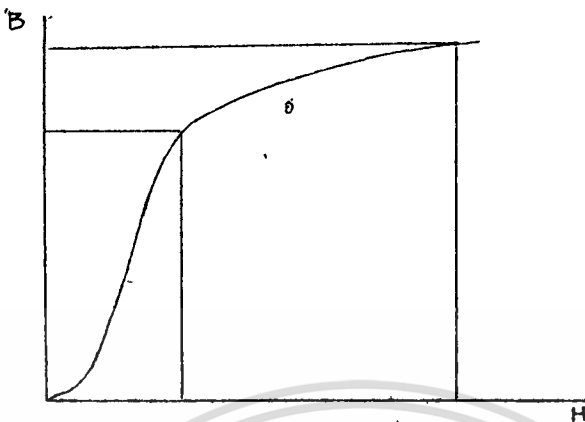
รูปที่ 2.2 Tapered teeth

โดยทั่วไปมอเตอร์จะมีทิสเป็นลักษณะเทเปอร์ (taper) ดังนั้นความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กในทิสจะต่างกันตามความสูงของทิส ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดจะอยู่บริเวณที่แคบที่สุดของทิส ในมอเตอร์ขนาดเล็กลักษณะเทเปอร์ของทิสจะมีความสำคัญมาก ดังนั้นอัตราส่วน  $B_t/B_{av}$  จะมีค่ามากกว่าบริเวณทิสที่แคบที่สุด และ  $B_t$  มีค่าสูงสุดทำให้เราต้องลดค่า  $B_{av}$  ลง โดยทั่วไปมอเตอร์ขนาดเล็กจึงมีค่าภาระทางแม่เหล็กจำเพาะต่ำ

2. กระแสกระตุ้น (Magnetizing Current) กระแสกระตุ้นเป็นสัดส่วนกับค่า  $\text{mmf}$  ที่ต้องใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กผ่านแอร์แก๊ปและแกนเหล็ก ค่า  $\text{mmf}$  ที่แอร์แก๊ปเป็นการคำนวณสัดส่วนกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่แอร์แก๊ป  $\text{mmf}$  ของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในไปใช้



แกนเหล็กที่ขึ้นอยู่กับภาระทางแม่เหล็กจำเพาะ



รูปที่ 2.3 กราฟ B-H

ถ้าค่าภาระทางแม่เหล็กจำเพาะต่ำ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กก็จะต่ำซึ่งจะทำงานอยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรงของกราฟ B-H ค่า mmf ที่แอร์เก็บเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่แอร์เก็บ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กที่ขึ้นอยู่กับภาระทางแม่เหล็กจำเพาะ

ถ้าค่าภาระทางแม่เหล็กจำเพาะสูง ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจะสูง ซึ่งก็คือทำงานอยู่ในส่วนที่อ้อมตัวของกราฟ B-H ค่า mmf ที่ใช้ก็มีค่าสูงมาก ดังนั้น กระแสกระตุ้นก็จะสูงตามไปด้วย

ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ การเพิ่มของกระแสกระตุ้น จะทำให้ค่าเฟาเวอร์แฟคเตอร์ขณะทำงานมีค่าต่ำ

3. พลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก เนื่องจากพลังงานสูญเสียในวงจรแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งจะใช้ในการออกแบบ แต่ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนกับค่าภาระทางแม่เหล็กจำเพาะ เราจึงสรุปได้ว่าพลังงานสูญเสียในแกนเหล็กจะเปลี่ยนแปลงตามค่าภาระทางแม่เหล็กจำเพาะ ดังนั้น ค่าภาระทางแม่เหล็กจำเพาะสูงจะมีผลทำให้พลังงานสูญเสียเพิ่มขึ้น , ประสิทธิภาพลดลง และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

2.1.6 วิธีเลือกค่าภาระทางไฟฟ้าจำเพาะ ค่าที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 5000 - 15000 แอมแปร์คอนดัคเตอร์/เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

1. ค่าอุณหภูมิเพิ่มที่ยอมรับได้ (Permissible Temperature Rise) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพิ่ม (Temperture Rise) ในมอเตอร์ที่มีอุณหภูมิเพิ่มสูงจะใช้ค่าภาระทางไฟฟ้าจำเพาะสูงได้ ค่าอุณหภูมิสูงสุดของมอเตอร์นั้นถูกจำกัดด้วยคุณสมบัติของฉนวนที่ใช้ เช่น ลวดตัวนำ Class E จะสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 120 °C ดังนั้นการใช้ฉนวนที่มีคุณภาพดีจะทำให้มอเตอร์นั้นสามารถทนอุณหภูมิเพิ่มได้สูง เราก็สามารถใช้ค่าภาระทางไฟฟ้าจำเพาะเพิ่มขึ้นได้ และลดขนาดของลุ่มอเตอร์ได้

- สัมประสิทธิ์การระบายความร้อน (Cooling Co-efficient) ค่าสัมประสิทธิ์การระบายความร้อน  $\alpha$  ขึ้นอยู่กับสภาพการระบายความร้อนของมอเตอร์ มอเตอร์ระบายความร้อนดีจะมีค่าสัมประสิทธิ์การระบายความร้อนต่ำ ดังนั้นสามารถใช้ค่าภาระทางไฟฟ้าจำเพาะสูงได้ สำหรับมอเตอร์ที่มีความเร็วสูงก็ใช้ค่าภาระทางไฟฟ้าจำเพาะสูงได้เช่นกัน

2. ขนาดของมอเตอร์ (Size of Machine) ค่าภาระทางไฟฟ้าจำเพาะนั้นค่อนข้างจะเป็นสัดส่วนกับขนาดของมอเตอร์ ในมอเตอร์ขนาดใหญ่จะมีความลึกของสล็อตมากขึ้นก็สามารถใช้ค่าภาระทางไฟฟ้าจำเพาะสูงขึ้นได้

3. ความหนาแน่นของกระแส การเลือกค่าความหนาแน่นของกระแสต่ำจะสามารถเลือกใช้ค่าภาระทางไฟฟ้าจำเพาะสูงๆได้

2.2 วิธีคำนวณ D และ L จากค่า D<sup>2</sup>L คุณสมบัติต่างๆขณะทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นมีอิทธิพลจากอัตราส่วน  $L/\tau$

- สำหรับต้นทนต์ต่ำที่สุด  $L/\tau = 1.5$  ถึง  $2.0$
- สำหรับเฟาเวอร์เพลกเตอร์สูง  $L/\tau = 1.0$  ถึง  $1.25$
- สำหรับประสิทธิภาพสูง  $L/\tau = 1.5$
- สำหรับคุณสมบัติต่างๆดี  $L/\tau = 1.0$

2.3 ผลของเส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึม เมื่อใดก็ตามที่มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กรั่วซึม มันจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดที่มันคล้องอยู่ รีแอกแตนซ์ที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้านี้มีบทบาทมากต่อคุณสมบัติต่างๆของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับ คือ มันเป็นตัวการที่ทำให้เกิดพลังงานสูญเสียในตัวมอเตอร์

2.4 ลิกเกจรีแอกแตนซ์ (Leakage Reactance) อินดักแตนซ์คือจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องวงจรต่อหนึ่งหน่วยกระแส พิจารณาขดลวด 1 ชุด มีจำนวน T รอบ แต่ลวดรอบรับกระแสไฟฟ้า I และค่าเปอร์มีนซ์ (permeance) คือ  $\Lambda$

$$\begin{aligned} \text{อินดักแตนซ์} &= \frac{\text{จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องขดลวด}}{\text{กระแส}} \\ &= T\phi/I \\ \text{แต่ที่ว่า } \phi &= mmf \times \text{เปอร์มีนซ์} = TIA \\ \text{ฉะนั้น อินดักแตนซ์} &= \frac{T \times TIA}{I} = T^2\Lambda \end{aligned}$$

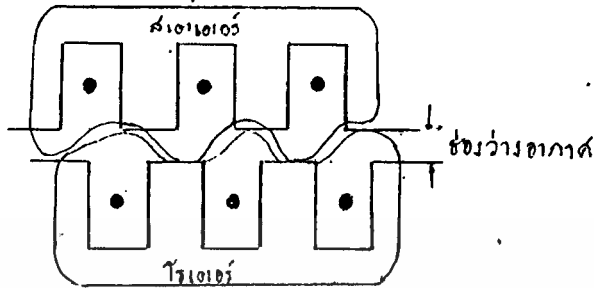
เมื่อเป็นไฟฟ้ากระแสสลับมีความถี่  $f$  เราจะได้รีแอกแตนซ์เท่ากับ

$$X = 2\pi f \times \text{อินดักแตนซ์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่าโดยวิธีใดก็ตาม ค่าสเปกซิฟิกร์เปอร์มีนซ์ของส่วนที่เกิดลิกเกจข้างของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 อาร์เมเจอร์ลิกเกจ (Armature Leakage) ประกอบด้วย

1. ซิกแซกลิกเกจ (Zigzag Leakage) เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กผ่านจากที่หนึ่งไปยังที่อื่นในลักษณะซิกแซกข้ามแอร์แก๊ป (รูป 2.4) ค่าลิกเกจนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของแอร์แก๊ปและตำแหน่งของทิต



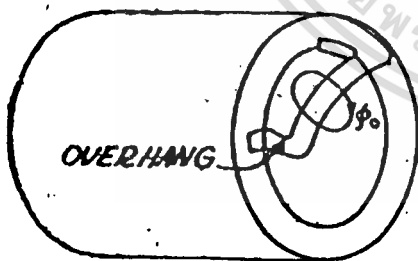
รูปที่ 2.4

$$\text{Zigzag specific permeance } \lambda_s = \frac{\mu_0 W_{ts} W_{tr} (W_{ts}^2 + W_{tr}^2)}{12 l y_{ts}^2 y_{tr}}$$

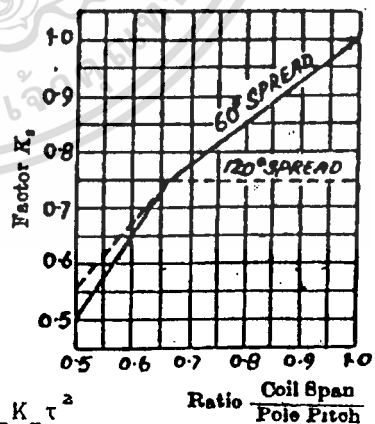
โดยที่

- $y_{ts}$  = ระยะห่างของสเตเตอร์สล็อต
- $W_{ts}$  = ความกว้างของสเตเตอร์ทิต
- $y_{tr}$  = ระยะห่างของโรเตอร์สล็อต
- $W_{tr}$  = ความกว้างของโรเตอร์ทิต
- $l$  = ความยาวของแอร์แก๊ป

2. โอเวอร์แฮงลิกเกจ (Overhang Leakage) เกิดจากส่วนโอเวอร์แฮงของขดลวด สเตเตอร์ผลิตลิกเกจหลักที่แยกต่างหาก ค่าโอเวอร์แฮงลิกเกจจะขึ้นอยู่กับการจัดเรียงของลวดที่เป็นโอเวอร์แฮง และคุณสมบัติของเหล็กที่ใช้



รูปที่ 2.6



รูปที่ 2.7

$$\text{Specific overhang permeance } \lambda_o = \frac{\mu_0 K_o \tau^2}{L_o \pi y_{ts}}$$

โดยที่

- $K_o$  = ค่าที่หาได้จากรูป 2.7
- $\tau$  = ระยะห่างของขั้วแม่เหล็ก
- $L_o$  = ความยาวของลวดตัวนำในส่วนโอเวอร์แฮง
- $y_{ts}$  = ระยะห่างของสล็อต

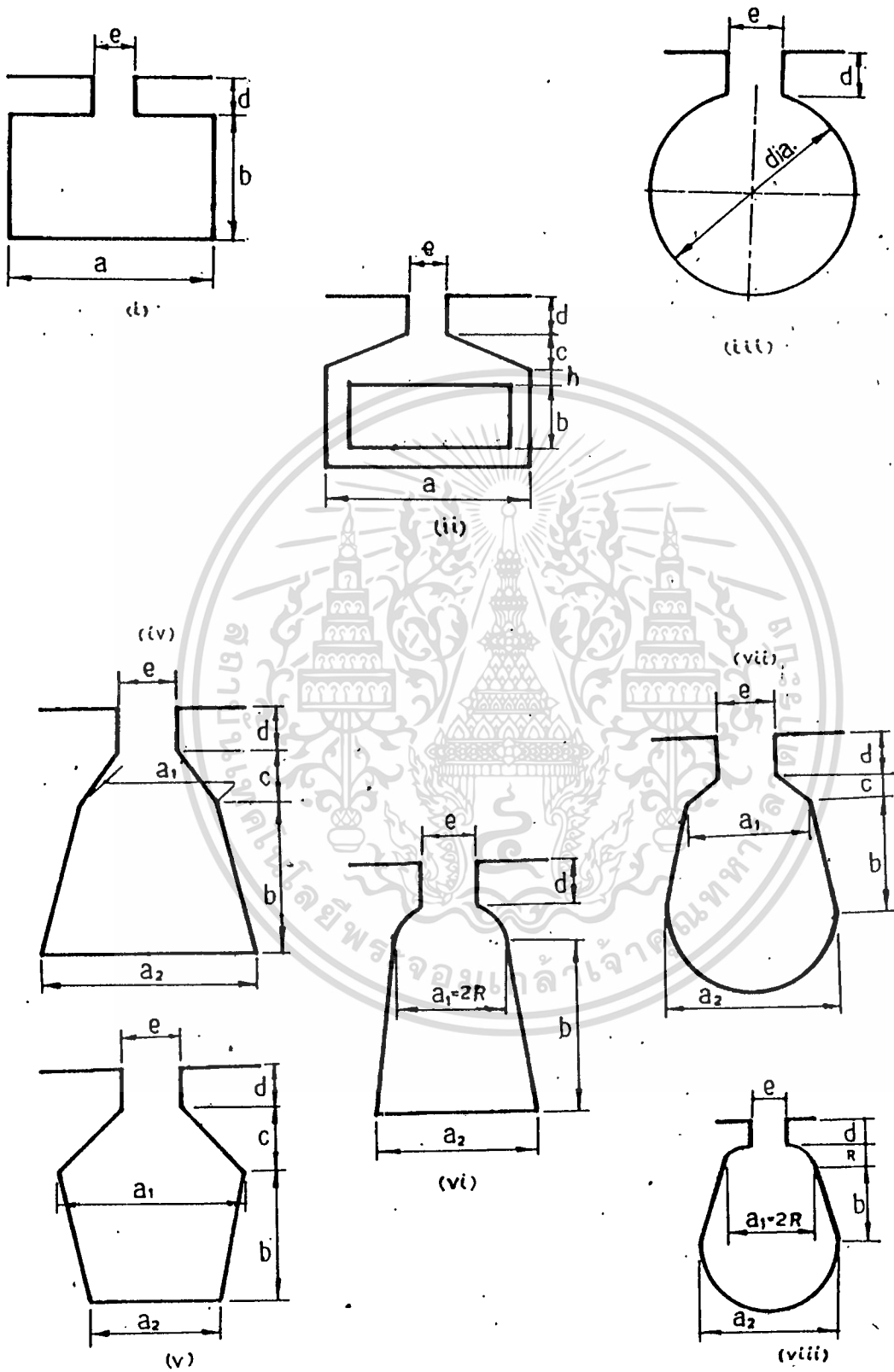
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ 3. สล็อตลิกเกจ (Slot Leakage) เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กที่ข้ามสล็อตจากที่หนึ่งไปยังที่อื่น

หนึ่งไปยังที่ถัดไป, เกี้ยวคล่องกับลวดตัวนำข้างใต้มัน และจะเดินทางกลับผ่านส่วนที่เป็นเหล็ก  
 ค่าสล็อตลิกเกจเปอร์มีนซ์ขึ้นอยู่กับรูปร่างของสล็อต และการจัดเรียงของขดลวด  
 ในสล็อต

**ตารางแสดงค่าสล็อตลิกเกจเปอร์มีนซ์ (Slot leakage permeance)**

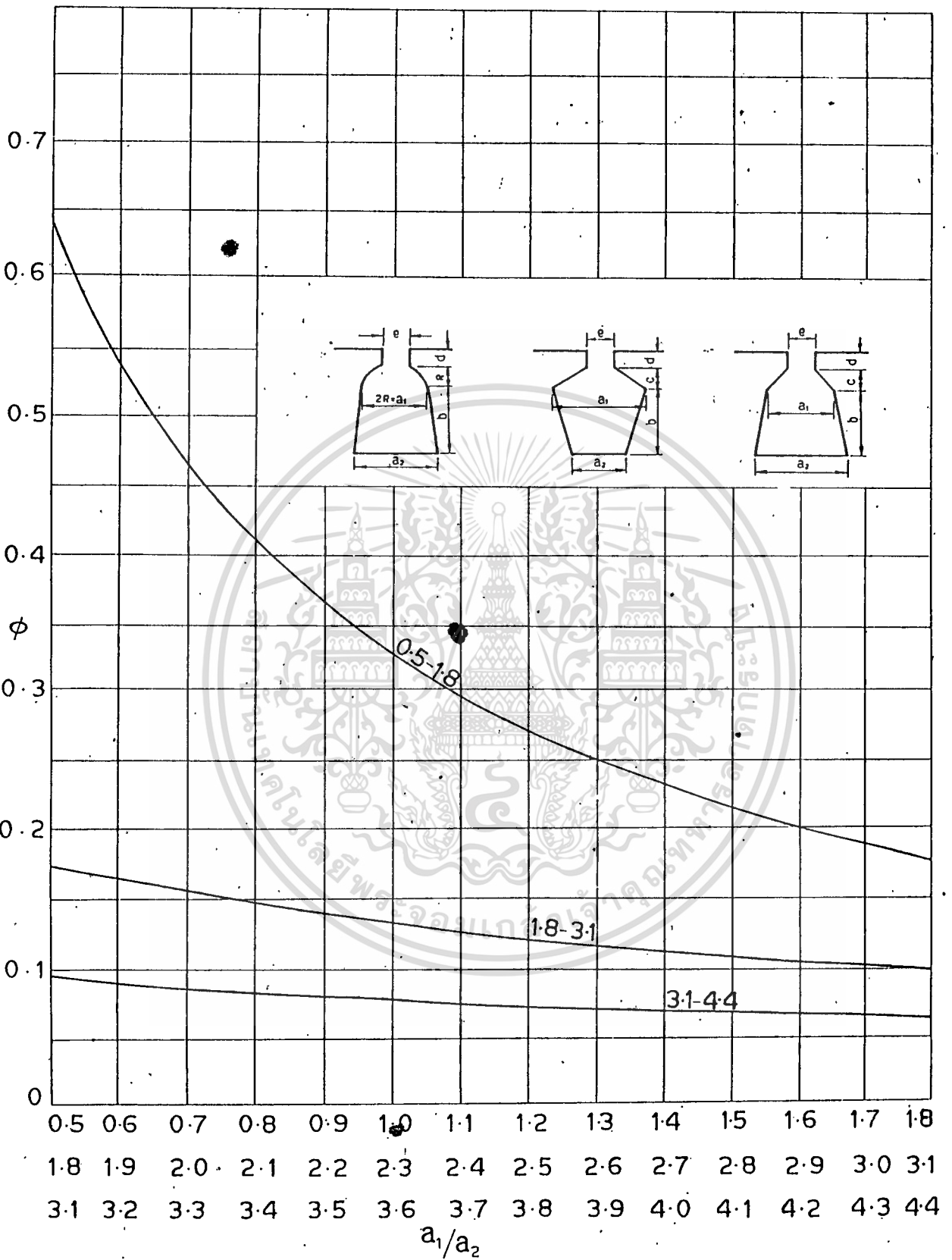
ลักษณะของสล็อต	สูตรคำนวณค่าสล็อตลิกเกจเปอร์มีนซ์
1. รูปที่ 2.8 (i)	$\lambda = \mu_0 \left[ \frac{b + d}{3a \cdot e} \right]$
2. รูปที่ 2.8 (ii)	$\lambda = \mu_0 \left[ \frac{b + h + \frac{2c + d}{a + e}}{3a} \right]$
3. รูปที่ 2.8 (iii)	$\lambda = \mu_0 \left[ \frac{0.623 + d}{e} \right]$
4. รูปที่ 2.8 (iv)	$\lambda = \mu_0 \left[ \frac{\phi b}{a_2} + \frac{d}{e} + \frac{2c}{e + a_1} \right]$
5. รูปที่ 2.8 (v)	$\lambda = \mu_0 \left[ \frac{\phi b}{a_2} + \frac{d}{e} + \frac{2c}{e + a_1} \right]$
6. รูปที่ 2.8 (vi)	$\lambda = \mu_0 \left[ \frac{\phi b}{a_2} + \frac{d}{e} + \frac{\pi \cos^{-1}(e/2R)}{4 \cdot 90} \right]$
7. รูปที่ 2.8 (vii)	$\lambda = \mu_0 \left[ \frac{F}{e} + \frac{d}{e} + \frac{2c}{e + a_1} \right]$
8. รูปที่ 2.8 (viii)	$\lambda = \mu_0 \left[ \frac{F}{e} + \frac{d}{e} + \frac{\pi \cos^{-1}(e/2R)}{4 \cdot 90} \right]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทศงานวิชาสำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 หมายเหตุ: ค่า  $\phi$  หาได้จากรูป 2.9 และ ค่า F หาได้จากรูป 2.10  
 ไม่มีการรับประกันว่าสิ่งนี้ อื่นๆที่พิมพ์มาจะไม่ผิดพลาด และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



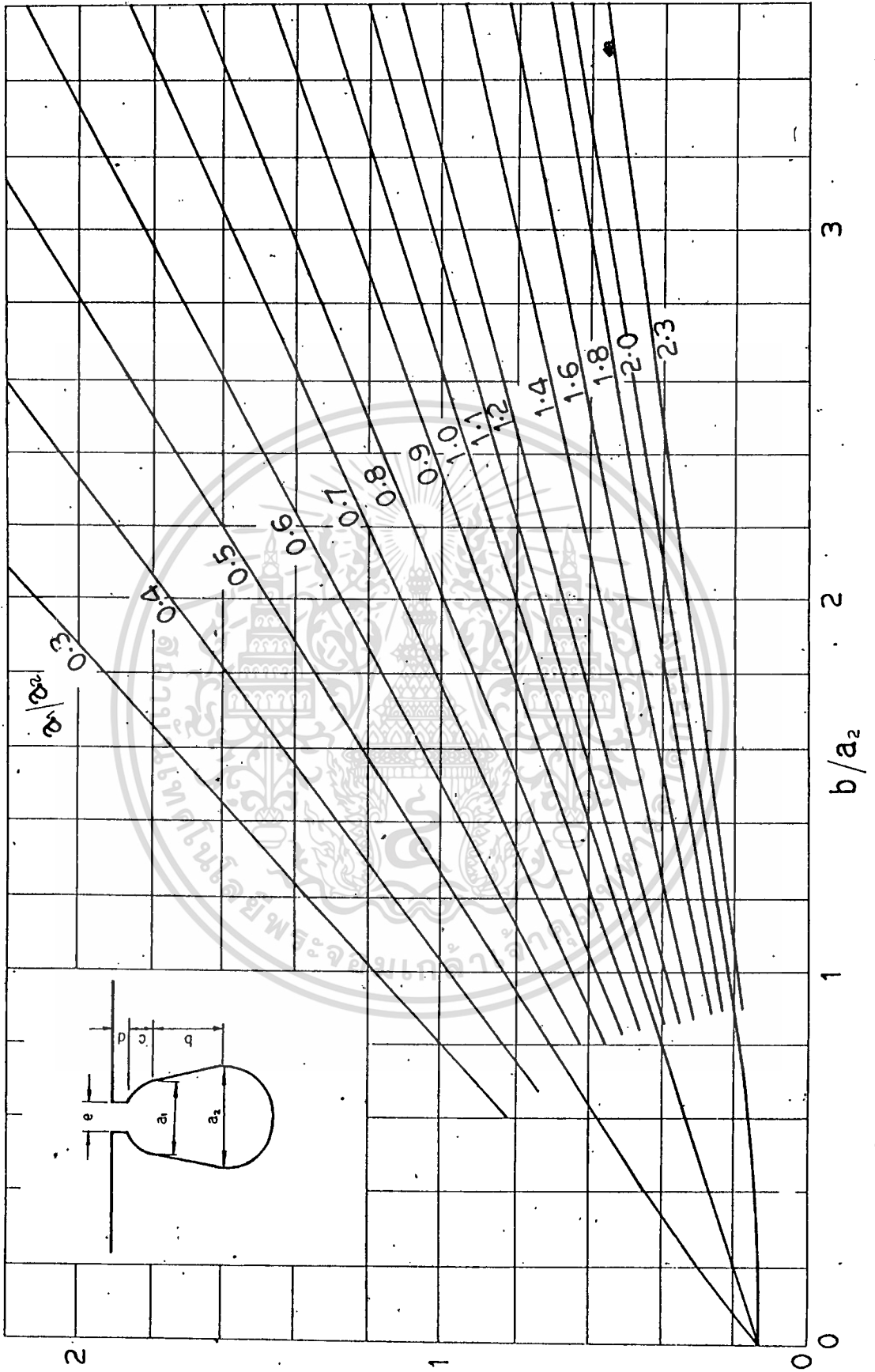
รูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9

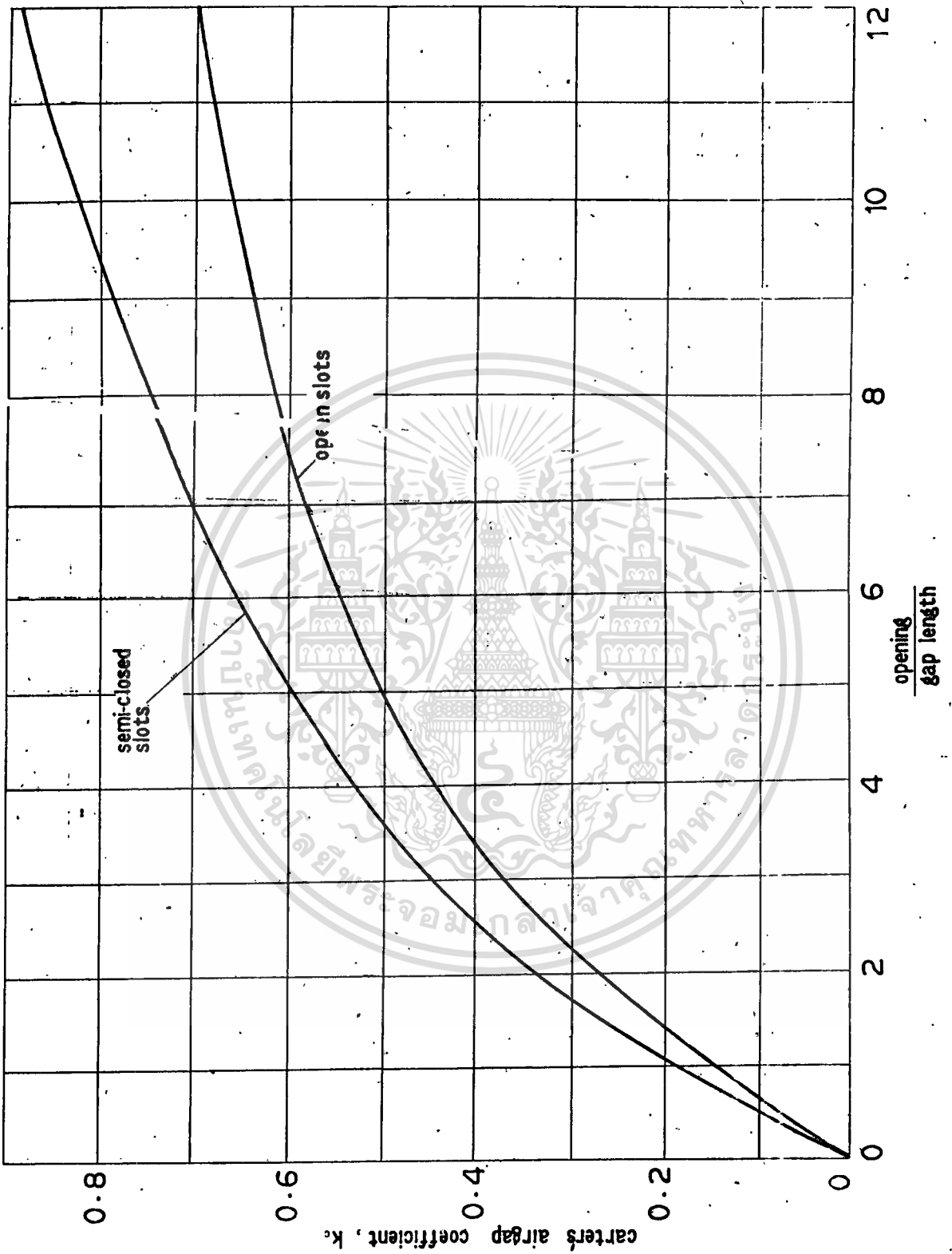
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

### ขั้นตอนการออกแบบมอเตอร์

#### วัตถุประสงค์

1. แสดงขั้นตอนในการคำนวณหาชิ้นส่วนต่างๆที่นำมาประกอบเป็นมอเตอร์
2. แสดงการคำนวณหาค่าความต้านทานและค่าลิกเกจรีแอคแตนซ์
3. แสดงการคำนวณหาคุณสมบัติของมอเตอร์ (characteristic of motor)

#### องค์ประกอบของมอเตอร์เฟสเดียวชนิดคาร์ปาสีเตอร์ถาวร

มอเตอร์เฟสเดียวชนิดคาร์ปาสีเตอร์ถาวรมีส่วนต่างๆที่นำมาประกอบเป็นมอเตอร์มีดังนี้คือ

1. สเตเตอร์ (stator) คือแผ่นเหล็กที่ผ่านการขบวนการผลิตเพื่อใช้กับมอเตอร์โดยเฉพาะ แผ่นเหล็กที่ได้จะนำมาป้อนให้ได้รับรูปร่างตามที่ต้องการหลังจากนั้นนำแผ่นเหล็กมาวางซ้อนกันจนได้ความยาวตามที่ต้องการแล้วนำไปเข้าเครื่องอัด

2. ขดลวดตัวนำที่สเตเตอร์ (stator winding) คือขดลวดตัวนำที่มานั่งอยู่ในช่องสลีตของสเตเตอร์ ซึ่งขดลวดตัวนำที่พันบนสเตเตอร์มีอยู่ 2 ชุดด้วยกัน คือ

2.1 ชุดขดลวดตัวนำหลัก (main winding)

2.2 ชุดขดลวดตัวนำช่วย (auxillary winding)

ซึ่งลักษณะการพันขดลวดตัวนำบนสเตเตอร์จะพันขดลวดแบบคอนเซนตริก (concentric winding : ขดลวดชุดหนึ่งจะมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน) เพื่อลดผลของฮาร์โมนิก (harmonic) ที่เกิดขึ้น

3. โรเตอร์ (rotor) คือแผ่นเหล็กที่นำมาซ้อนกันเหมือนกับสเตเตอร์ แต่ที่ช่องสลีตของโรเตอร์แทนที่จะพันด้วยขดลวดตัวนำกลับพันด้วยโลหะตัวนำ (aluminum, copper) และทำการลัดวงจรด้วยวงแหวน (end ring) นอกจากนี้ยังมีการทำสกีล (skew) เพื่อให้แรงบิดของมอเตอร์ราบเรียบ ไม่เกิดการกระตุกขึ้น

4. คาร์ปาสีเตอร์คือตัวประจุไฟฟ้าที่ต่ออนุกรมกับขดลวดตัวนำช่วยเพื่อให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ดีขึ้น ลดกระแสขณะสตาร์ทและค่าแรงบิดเริ่มต้นดีขึ้น

#### ขั้นตอนในการออกแบบมอเตอร์เฟสเดียวชนิดคาร์ปาสีเตอร์ถาวร

ขั้นตอนที่ 1 หาปริมาตรของแกนเหล็กสเตเตอร์ที่กำลังวัดเอาที่ทุกที่ต้องการ

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$D^2 L = (\text{Watt Output}) / (P.F. * ac * Eff * 1.1 * 10^{-2} * B_{av} * K_w * N_s) \text{ เมตร}^3 \text{ --- 1}$$

$$\text{ค่า } B_{av} = 0.35 - 0.55 \text{ เวเบอร์/เมตร}^2$$

$$ac = 5000 - 15000$$

ขั้นตอนที่ 2 หาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสเตเตอร์ (D) และความหนาของแกนเหล็ก (L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดเริ่มแรกเราจะกำหนดค่าอัตราส่วน  $L/\tau = X$  ค่าของอัตราส่วนนี้ขึ้นอยู่กับที่มีการนำไปใช้

ความเหมาะสมคือ เพื่อ

•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•

ดังนั้น  $L = X * \pi * D / P$  เมตร -----2

นำค่า L ในสมการ2 แทนในสมการ1 เพื่อแก้สมการหาค่า D หลังจากนั้นนำค่า D ที่คำนวณได้แทนกลับไปในสมการที่ 1 เพื่อหาค่า L ดังนั้นเราจะได้อ่า D และ L ตามต้องการ เมื่อเราได้ขนาดของ D เราก็จะเลือกหาขนาดของสเตเตอร์ที่เหมาะสมมาใช้

**ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบขดลวดตัวนำหลัก**

เนื่องจากเรามีการพันขดลวดแบบคอนเซนตริกและต้องการฟลักซ์ที่ไหลผ่านแอร์เก็บมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ (sine wave) ดังนั้นในแต่ละช่องสล็อตจะมีจำนวนรอบไม่เท่ากัน

สมมติให้ ใน 1 ขั้วมี 9 สล็อต

ขดลวดชุด	(1-9)	มีจำนวนสล็อตห่างกัน (span)	8	สล็อต
"	(2-8)	"	6	"
"	(3-7)	"	4	"
"	(4-6)	"	2	"

หาค่าคอสซิลส์แปนแฟคเตอร์ (coil span factor)

$= \sin(\text{span} * 90^\circ / (\text{slot per pole}))$

ขดลวดชุด	(1-9)	คอสซิลส์แปนแฟคเตอร์	$\sin(8*90^\circ/9) = 0.985$
"	(2-8)	"	$\sin(6*90^\circ/9) = 0.866$
"	(3-7)	"	$\sin(4*90^\circ/9) = 0.643$
"	(4-7)	"	$\sin(2*90^\circ/9) = 0.342$

ผลรวมของคอสซิลส์แปนแฟคเตอร์ = 2.836

หาค่าเปอร์เซ็นต์รอบของคอสซิลส์

ขดลวดชุด	(1-9)	เปอร์เซ็นต์รอบของคอสซิลส์	$0.985*100/2.836 = 34.60$
"	(2-8)	"	$0.866*100/2.836 = 30.60$
"	(3-7)	"	$0.643*100/2.836 = 22.70$
"	(4-7)	"	$0.342*100/2.836 = 12.10$

หาค่าพิทแฟคเตอร์ของคอสซิลส์  $\sin(\text{span}*90^\circ/(\text{slot per pole}))$ .

ขดลวดชุด	(1-9)	ค่าพิทแฟคเตอร์	$\sin(8*90^\circ/9) = 0.985$
"	(2-8)	"	$\sin(6*90^\circ/9) = 0.866$

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่าง การใช้งานจริงต้องอ้างอิงถึงคู่มือการใช้งานจากผู้ผลิต ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ (2-8) ัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าที่รับใช้

" (3-7) "  $\sin(4 \times 90^\circ / 9) = 0.643$   
 " (4-7) "  $\sin(2 \times 90^\circ / 9) = 0.342$

กำหนดให้  $P_{n-m}$  = พิกแฟคเตอร์  
 $T_{n-m}$  = เปอร์เซนต์รอมของคอยล์

หาค่าคงที่ของขดลวดตัวนำ (winding factor : Kw)

$$K_w = \frac{\{(P_{1-9} * T_{1-9}) + (P_{2-8}) * T_{2-8}) + (P_{3-7}) * T_{3-7}) + (P_{4-6}) * T_{4-6}\}}{(T_{1-9} + T_{2-8} + T_{3-7} + T_{4-6})}$$

หาจำนวนรอบทั้งหมดของขดลวดหลักที่แม่เหล็กสเตเตอร์

ให้ flux per pole ( $\phi$ ) =  $B_{av} * \pi * D * L/P$

จำนวนรอบทั้งหมด ( $T_m$ ) =  $E / (4.44 * f * \phi * K_{wm})$

ค่า E = 0.95 \* V

จำนวนรอบต่อขั้ว ( $T_{mp}$ ) =  $T_m / P$

จำนวนรอบของขดลวดในสเตเตอร์ (1-9) =  $T_m * T_{1-9} / P$   
 " (2-8) =  $T_m * T_{2-8} / P$   
 " (3-7) =  $T_m * T_{3-7} / P$   
 " (4-6) =  $T_m * T_{4-6} / P$

**ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดของขดลวดตัวนำที่ขดลวดตัวนำหลัก**

$I = \text{Watt} / (V * \text{Eff} * P.F.)$

กำหนดค่าความหนาแน่นของกระแส (density current :  $\delta$ ) = 3-4 แอมป์/มม.<sup>2</sup>

ดังนั้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวดตัวนำ =  $I / \delta$  มม.<sup>2</sup>

**ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณในส่วนของโรเตอร์**

พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวนำในโรเตอร์: แท่งตัวนำที่ฉีดเข้าไปในช่องสลีตของโรเตอร์ อาจจะเป็นทองแดงหรืออลูมิเนียม เมื่อผลิตเป็นอุตสาหกรรมจะใช้อลูมิเนียมเนื่องจากมีราคาถูกกว่า ที่หัวและท้ายของแท่งตัวนำจะลัดวงจรด้วยวงแหวน ค่าความต้านทานที่โรเตอร์สูงจะมีผลทำให้แรงบิดขณะสตาร์ทสูงแต่ทำให้ประสิทธิภาพเลวลงในช่วงการทำงาน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่สเตเตอร์กับพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวนำที่โรเตอร์มีค่าระหว่าง 0.5-0.8 ในกรณีของอลูมิเนียม

พื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่สเตเตอร์:  $A_m = 2T_m * a_m$  มม.<sup>2</sup>

พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวนำโรเตอร์:  $A_r = S_r * a_b$  มม.<sup>2</sup>

ดังนั้น  $A_r / A_m = 0.5-0.8$  (อลูมิเนียม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางการศึกษาเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในข้อนี้

ไม่ว่ากรณีใด พื้นที่หน้าตัดของวงแหวน  $a_{\text{วงแหวน}} = S_r * a_b * \delta_{\text{วงแหวน}} / (\pi * P * \delta_{\text{วงแหวน}})$  ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\delta_b = \delta_u$   
 $\delta_b$  = ความหนาแน่นของกระแสต่อตารางมิลลิเมตรที่แท่งตัวนำในโรเตอร์  
 $\delta_u$  = ความหนาแน่นของกระแสต่อตารางมิลลิเมตรที่วงแหวนของโรเตอร์

ดังนั้น  $a_u = 0.32 * S_r * a_b / P$  มม.<sup>2</sup>

ความยาวช่องอากาศ ( $l_u$ ) =  $0.007D_1 / \text{SQRT}(P)$

เส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ =  $D_1 - 2l_u$

**ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าความต้านทาน**

ค่าความต้านทานที่ขดลวดหลัก

เนื่องจากการคำนวณค่าความต้านทานของขดลวด เราจำเป็นที่จะต้องรู้ความยาวทั้งหมดของขดลวดที่ใช้ วิธีที่ใช้ในการหาค่าความยาวของขดลวดจะใช้การหาความยาวเฉลี่ยต่อรอบ

length of mean turn :  $L_{mtn} = 8.4(D_1 + d_{ms}) / S_r * \text{ช่วงห่างของสลีต} + 2L$

เมื่อ  $L_{mtn}$  คือความยาวของขดขดลวดที่ n ใน 1 ขั้วเมื่อ  $n=1,2,3...$

$L_{mtm} = L_{mtn} / T_m$

ความต้านทานของขดลวดหลัก

$r_{sm} (\text{Hot}) = T_m * L_{mtm} * (r/Km)$  ที่  $75^\circ\text{C}$

$r_{sm} (\text{Cold}) = T_m * L_{mtm} * (r/Km)$  ที่  $20^\circ\text{C}$

ความต้านทานของโรเตอร์ที่แปลงมาทางด้านสเตเตอร์ ( $r_{r'm}$ )

$L_b = \text{SQRT}((L)^2 + (Y_{sr})^2)$

นำอัตราส่วนของ  $D_{ar1} / D_{bro}$  ไปเปิดกราฟเพื่อหาค่า  $K_{rins}$

$r_{sm} (\text{Cold}) = 8T_m^2 * K_{wm}^2 * \rho_{20} [L_b / S_{ra_b} + 2De * K_{rins} / (\pi * P^2 * a_u)]$

$r_{sm} (\text{Hot}) = 8T_m^2 * K_{wm}^2 * \rho_{75} [L_b / S_{ra_b} + 2De * K_{rins} / (\pi * P^2 * a_u)]$

เมื่อ  $\rho$  คือค่า  $r/Km$

**ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาค่าคงที่ต่างๆ**

แก้ปคอนแทรกชันแฟคเตอร์ (Gap contraction factor):  $K_g$

ใช้อัตราส่วน slot opening ( $W_{os}$ ) / gap length ( $lg$ ) ไปเปิดกราฟเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของคาร์เตอร์ (Carter's coefficient) ที่สลีตแบบกึ่งปิด (semi-enclosed) จะได้ค่า  $K_{cs}$  แล้วนำไปคำนวณหาแก้ปคอนแทรกชันแฟคเตอร์ของสลีตของสเตเตอร์ ( $K_{gs}$ ) ตามสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เขียนไว้สำหรับใช้ประกอบการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น  $K_{gs} = \frac{Y_{os}}{Y_{os} - K_{cs} * W_{os}}$  อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าแก้ปคอนแทรกชันแฟคเตอร์ของสล๊อตของโรเตอร์ ( $K_{gr}$ )

ให้อัตราส่วน  $W_{gr}/1$  ไปเปิดกราฟสัมพันธ์ของคาร์เตอร์:  $K_{gr}$  ในกรณีที่  $W_{gr}$  ไม่สามารถหาค่าได้เนื่องเป็นสล๊อตแบบปิดเราจะให้  $W_{gr}$  ของโรเตอร์ = 1 มม.

$$Y_{gr} = \pi * D_r / S_r$$

$$K_{gr} = Y_{gr} / (Y_{gr} - K_{gr} * W_{gr})$$

$$K_g = K_{gr} * K_{gs}$$

แฟคเตอร์อิ่มตัว (saturation factor):  $F_s$  ในที่นี้เราจะให้เท่ากับ 1.15

$$F_s = 1.15$$

### ขั้นตอนที่ 8 คำนวณหาค่าลิกเกจรีนอคแทนท์

การคำนวณหาค่าสเปคิฟิเคเปอร์มีนของสเตเตอร์ (specific permeance)

( $\lambda_{gr}$ ) หรือที่โรเตอร์ ( $\lambda_{rr}$ ) ขึ้นอยู่กับรูปแบบของสล๊อต

$$X_g = 16\pi * f * (T_m * K_{wm})^2 * L * (C_x * \lambda_{ss} + S_s * \lambda_{gr} / S_r) / S_g$$

เมื่อ  $C_x = (Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 + Z_4^2) * S_s / ((Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4)^2 * K_{wm}^2 * 4P)$

$$X_z = 16\pi * f * (T_m * K_{wm})^2 * L * \lambda_z / S_g$$

เมื่อ  $\lambda_z = \mu_o * W_{ts} * W_{tr} * (W_{ts}^2 + W_{tr}^2) / (12 * 1_g * Y_{gr}^2 * Y_{rr})$

$$X_m = 16\pi * f * (T_m * K_{wm})^2 * \mu_o * L * \tau / (101 * K_g * P * F_s)$$

$$X_o = 16\pi * f * (T_m * K_{wm})^2 * (\pi * (D + d_{ss}) * (average coil span) / (6.4 * S_g * P)$$

$$X_{sk} = X_m * \theta_g^2 * K_1 / 12$$

เมื่อ  $\theta_g = \pi * 1_g * S_r * P / (S_r * S_g)$

$$K_1 = \text{ค่าคงที่สเตเตอร์สล๊อตลิกเกจ มีค่าประมาณ 0.95}$$

$$X_{1m} = X_g + X_z + X_o + X_{sk}$$

$$X_{om} = X_m + X_{1m} / 2$$

$$K_r = (X_{om} - X_{1m}) / X_{om}$$

$$K_1 = \text{SQRT}(K_r)$$

### ขั้นตอนที่ 9 การคำนวณค่าสูญเสียต่างๆทางกล

ค่าสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็กเราจะแบ่งเป็น 2 ส่วน

1. ที่ฟันของสเตเตอร์ (stator teeth)
2. ที่คอร์ของสเตเตอร์ (stator core)

- น้ำหนักของฟันสเตเตอร์ =  $S_g * W_{ts} * d_{ss} * L_i * (\text{Mass/Vol})$  ของแกนเหล็ก

ค่าความหนาแน่นของปลั๊กสูงสุดที่ฟันสเตเตอร์ =  $\pi * B_{ts} / 2$

นำค่านี้ไปหาค่าความสูญเสียต่อน้ำหนัก (Watt/Kg)

ดังนั้น ค่าความสูญเสียเนื่องจากผนังสเตเตอร์ = น้ำหนัก\*ค่าความสูญเสียต่อน้ำหนัก  
- น้ำหนักของคอร์สเตเตอร์ =  $\pi * (D_o - d_{cs}) * d_{cs} * L_i * (Mass/Vol)$

ค่าความหนาแน่นของปลั๊กที่คอร์  $B_{cs} = \phi / (2 * L_i * d_{cs})$

นำค่านี้ไปหาค่าความสูญเสียต่อน้ำหนัก

ดังนั้น ค่าความสูญเสียเนื่องจากคอร์สเตเตอร์ = น้ำหนัก\*ค่าความสูญเสียต่อน้ำหนัก

ค่าความสูญเสียรวมทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์ =  $2.2 * (\text{สูญเสียที่ (โรเตอร์+สเตเตอร์)})$

ค่าคงที่ที่นำมาคูณนี้มีค่าระหว่าง 1.75-2.2 ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและได้จากการทดสอบมอเตอร์

ค่าความสูญเสียเนื่องจากความผิดและลมมีค่าระหว่าง 4-8 % ของกำลังวัตต์

เอาที่พุก ดังนั้น

ค่าสูญเสียทั้งหมด = สูญเสียเนื่องจากสเตเตอร์และโรเตอร์ + สูญเสียเนื่องจากความผิดและลม

ค่าสูญเสียทั้งหมดจะแปรตามกำลังสองของอัตราส่วนของความเร็วนะไร้ไหลต่อความเร็วรอบที่ค่าไหลที่เพิ่มขึ้น

### ขั้นตอนที่ 10 ออกแบบขดลวดช่วย

ในการออกแบบขดลวดช่วยนี้เราจะทำการกำหนดอัตราส่วนระหว่างขดลวดช่วยกับขดลวดหลักให้เป็น (a) เมื่อเราทราบจำนวนรอบของขดลวดหลักเราก็จะหาจำนวนรอบของขดลวดช่วยได้ การจัดเรียงขดขดลวดช่วยจะให้อัดห่างจากขดลวดหลัก 90° ทางไฟฟ้า ลักษณะการคำนวณหารอบในแต่ละสล็อตยังใช้วิธีเหมือนกับขดลวดหลัก การคำนวณค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ก็ใช้วิธีเหมือนเดิม

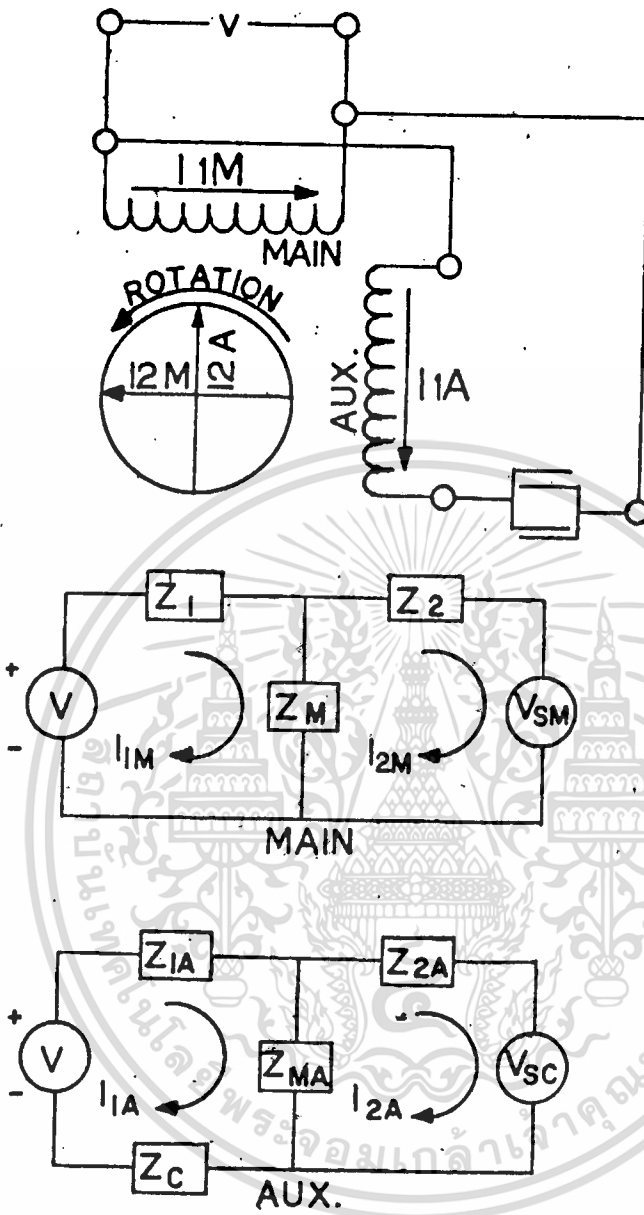
$$T_{m_u} = T_m * a * K_{wm} / K_{wa}$$

### การคำนวณคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำผลการคำนวณค่ารีแอคแตนซ์และค่าความต้านทานมาคำนวณโดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางโรเตอร์ เพื่อหาคุณสมบัติต่างๆของมอเตอร์ดังนี้

1. ต้องการทราบค่ากำลังวัตต์เอาที่พุกที่ความเร็วรอบต่างๆ
2. ต้องการทราบค่าแรงบิดที่ความเร็วรอบต่างๆ
3. ต้องการทราบประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ
4. ต้องการทราบค่ากำลังวัตต์อินพุทที่ความเร็วรอบต่างๆ
5. ต้องการทราบกระแสที่เข้าสู่มอเตอร์, ขดลวดหลัก และขดลวดช่วยที่ความเร็วรอบต่างๆ

6. ต้องการทราบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ  
จากทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัดขวางโรเตอร์จะได้วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ดังรูปที่มีการนำไปใช้



จากวงจรสมมูลย์เราสามารถเขียนสมการโวลท์เตจได้ดังนี้

$$I_1(r_1 + j(X_m + X_1)) + I_{2m}(-jX_m) + I_m(0) + I_{2a}(0) = V \quad (1)$$

$$I_1(-jX_m) + I_{2m}(r_2 + j(X_m + X_2)) + I_m(SX_{ma}/a) + I_{2a}(-S(X_{ma} + X_{2a}))/a = 0 \quad (2)$$

$$I_1(0) + I_{2m}(0) + I_m((r_1 + R_c) + j(X_1 + X_m + X_c)) + I_{2a}(-jX_{ma}) = V \quad (3)$$

$$I_1(-SaX_m) + I_{2m}(Sa(X_m + X_2)) + I_m(-jX_{ma}) + I_{2a}(r_{2a} + j(X_{ma} + X_{2a})) = 0 \quad (4)$$

**ข้อสมมติฐานในการคำนวณ**

1. ค่าความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก ความผิดและลมจะนำมาลบออกจากกำลังวัตต์เอาท์พุทที่โรเตอร์ และแปรตามความเร็วรอบกำลังสอง
2. เราจะคิดค่าเฉพาะผลของความถี่หลักมูล (fundamental) ไม่คิดผลของฮาร์โมนิกนำไปใช้



โมดูล

- 3. ผลของการอิมิตัวของแกนเหล็กให้พิจารณาเป็นค่าคงที่
- 4.  $X_1 = X_2$  ,  $X_{1m} = a^2 X_1$  ,  $X_{2m} = a^2 X_2$  ,  $r_{2m} = a^2 r_2$  ,  $X_{mm} = a^2 X_m$
- 5.  $X_o = X_m + X_1$  (เมื่อ  $X_1 = X_2$  ดังนั้น  $X_o = X_m + X_2$ )

จากข้อสมมติฐานข้างต้นเราสามารถเขียนสมการโวลท์ที่เตจได้ใหม่ดังนี้

$$\begin{aligned}
 I_1(r_1 + jX_0) + I_{2m}(-jX_m) + I_m(\emptyset) + I_{2m}(\emptyset) &= V \\
 I_1(-jX_m) + I_{2m}(r_2 + jX_o) + I_m(SaX_m) + I_{2m}(-SaX_o) &= \emptyset \\
 I_1(\emptyset) + I_{2m}(\emptyset) + I_m(r_{1m} + Rc) + j(a^2 X_o + X_c) + I_{2m}(-ja^2 X_m) &= V \\
 I_1(-SaX_m) + I_{2m}(SaX_o) + I_m(-ja^2 X_m) + I_{2m}(a^2 r_2 + ja^2 X_o) &= \emptyset
 \end{aligned}$$

จากสมการโวลท์ที่เตจทั้ง 4 สมการข้างต้นเราจะแก้สมการหาค่าของกระแสต่างๆ โดยใช้วิธีการทางเมตริก สมการข้างต้นสามารถจัดให้อยู่ในรูปของเมตริกได้ดังนี้

$$[I]([R] + j[X]) = [V]$$

เนื่องจากมีส่วนจินตภาพ สามารถจัดรูปใหม่ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [R] & [X] \\ -[X] & [R] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [V_1] \\ [V_2] \end{bmatrix}$$

ทำการอินเวอร์สเมตริกเพื่อหาค่ากระแส

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [R] & [X] \\ -[X] & [R] \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} [V_1] \\ [V_2] \end{bmatrix}$$

การคำนวณค่าแรงบิด

หลังจากที่เราสามารถหาค่ากระแสได้แล้ว เราจะนำผลการคำนวณของกระแสนี้มาใช้ในการคำนวณแรงบิดของมอเตอร์ได้ดังนี้

$$T = 0.94(P/f)[X_m(I_1 - I_{2m}) * a(I_{2m})^2 - X_m(1a - I_{2m})a^2 * (I_{2m}/a)^2]$$

การคำนวณค่ากำลังวัตต์เอาท์พุท

$$Output = T * (Sf / (0.94P)) - Loss M \quad \text{วัตต์}$$

ซึ่ง Loss M ในที่นี้หมายถึงการสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก ความผิดพลาดและลม

การคำนวณค่าสูญเสียทางไฟฟ้า

$$Loss E = I_1^2 r_1 + I_m^2 r_2 + I_a^2 r_{1m} + I_a^2 Rc + I_{2m}^2 r_{2m}$$

การคำนวณค่ากำลังวัตต์อินพุท

$$Input = Output + Loss M + Loss E$$

การคำนวณประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$Eff = Output / Input * 100\%$$

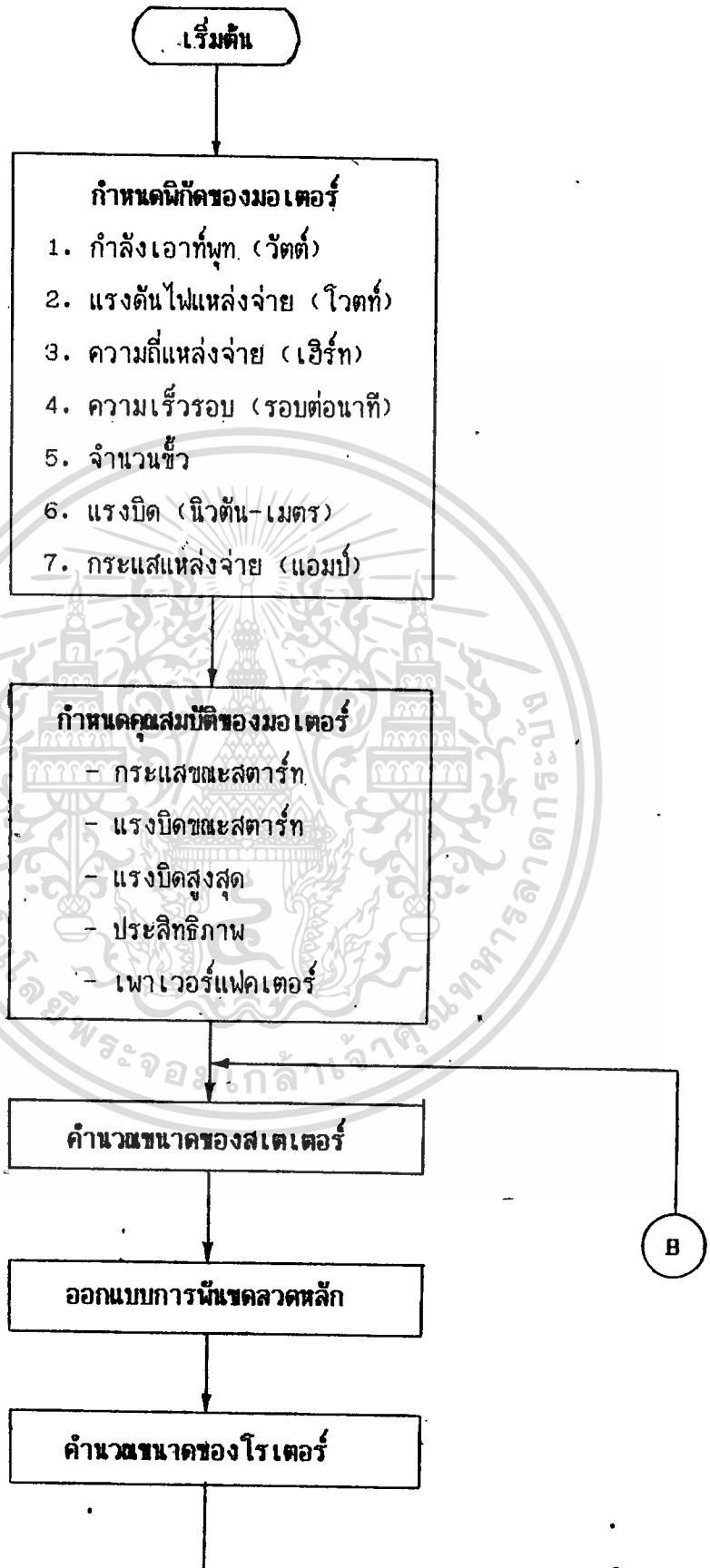
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบสลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

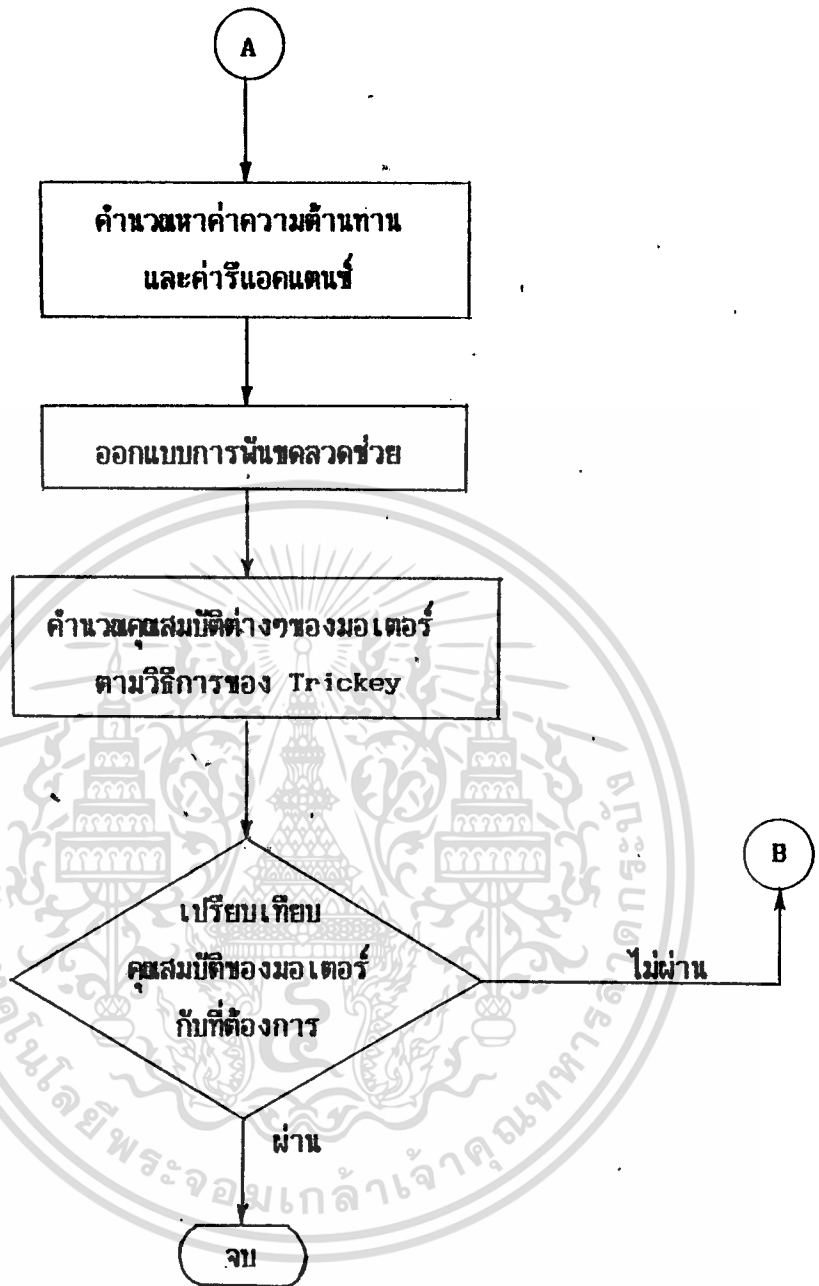
$$P.F. = \text{Input} / (V * I_1 + I_a)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

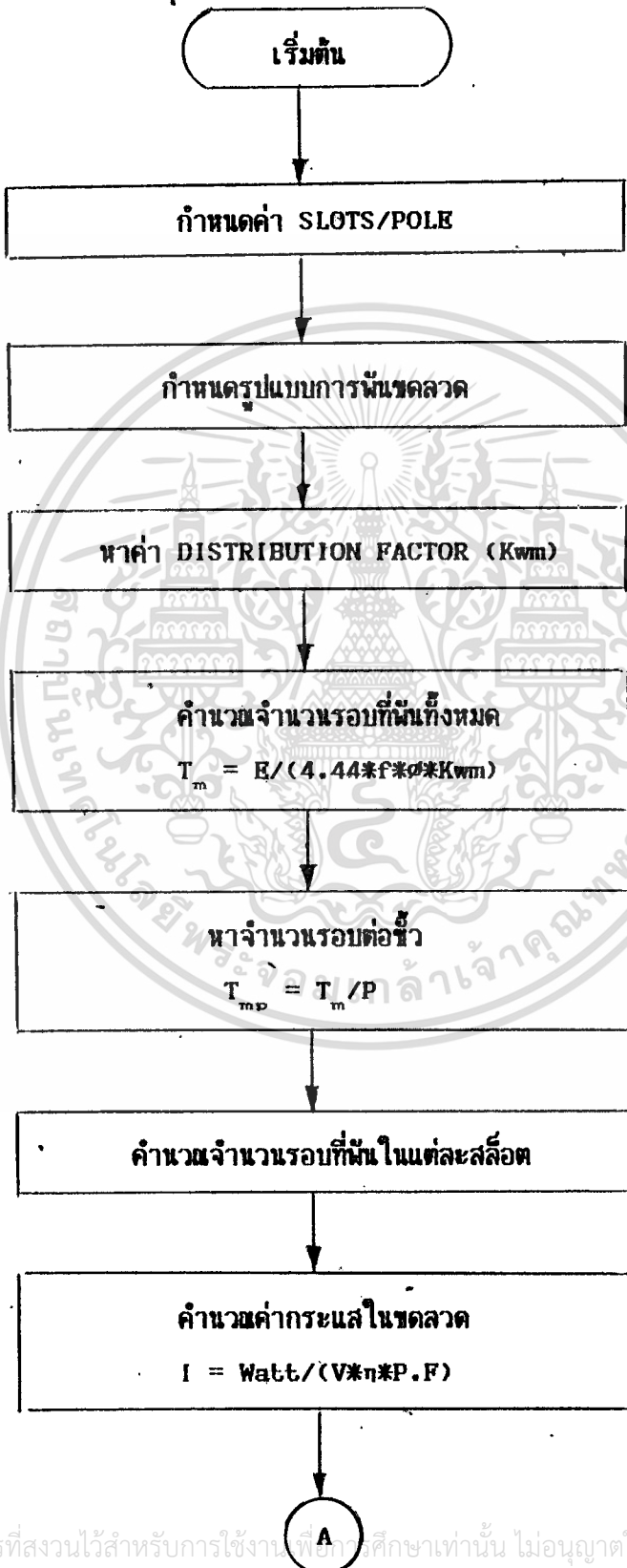


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ A ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

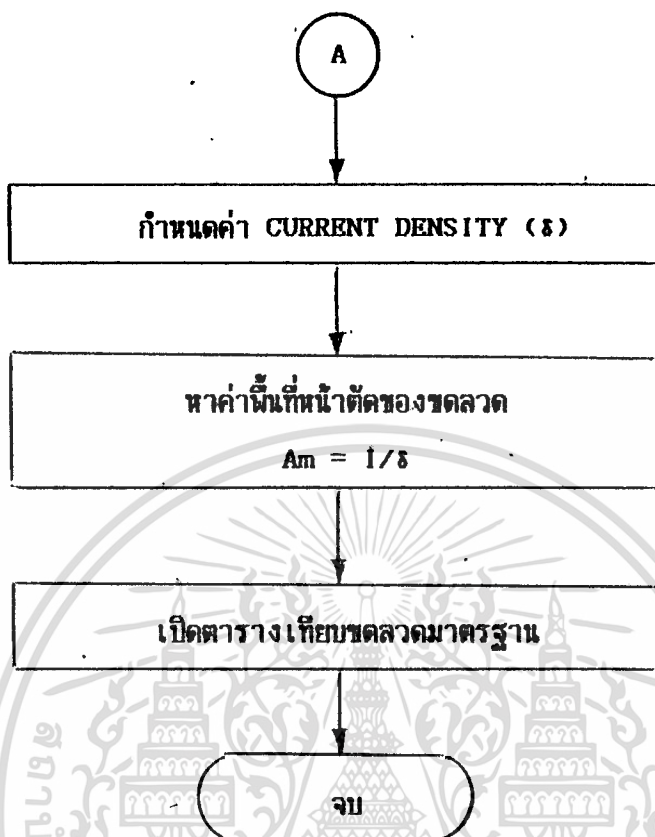


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การออกแบบพัดลวดหลัก

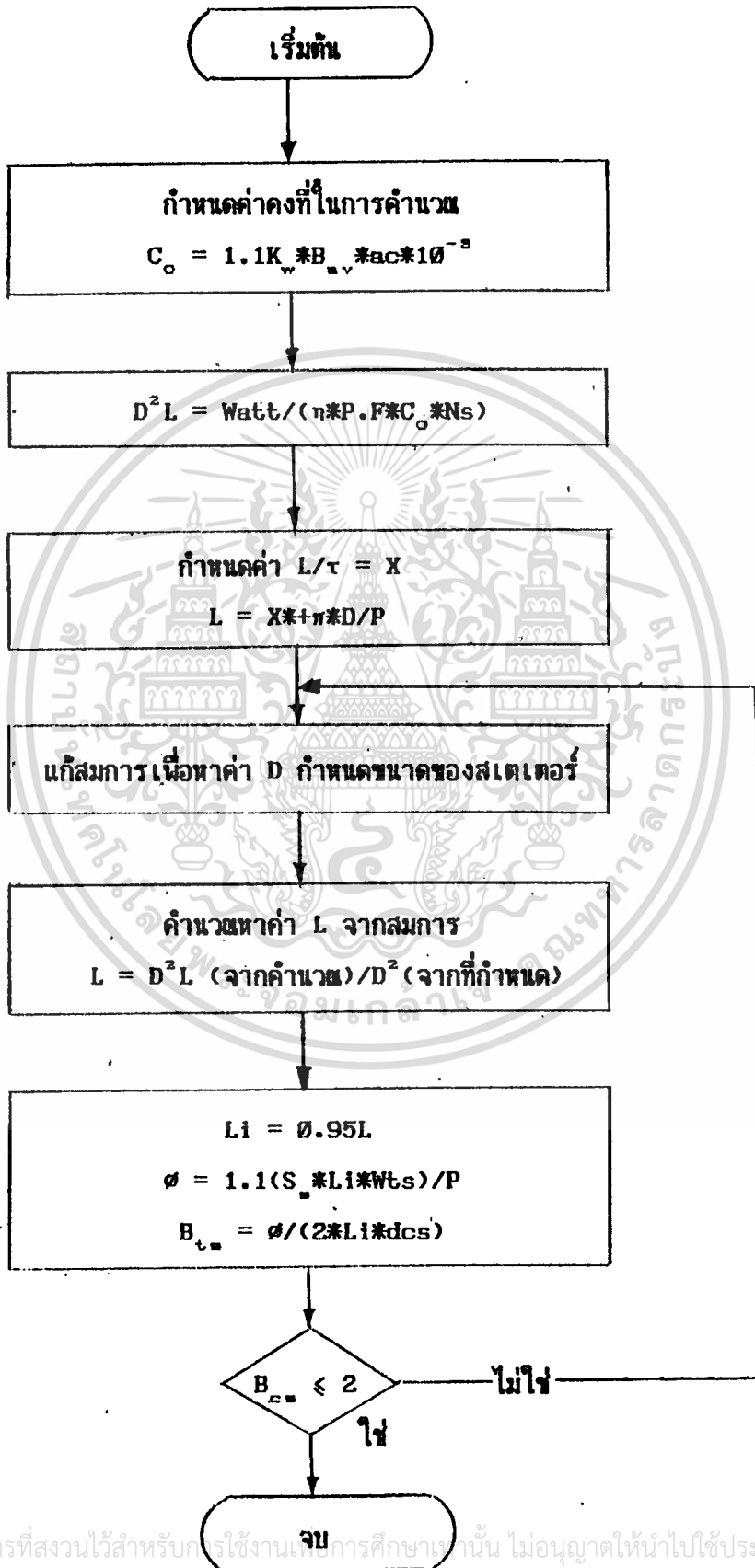


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เอกรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



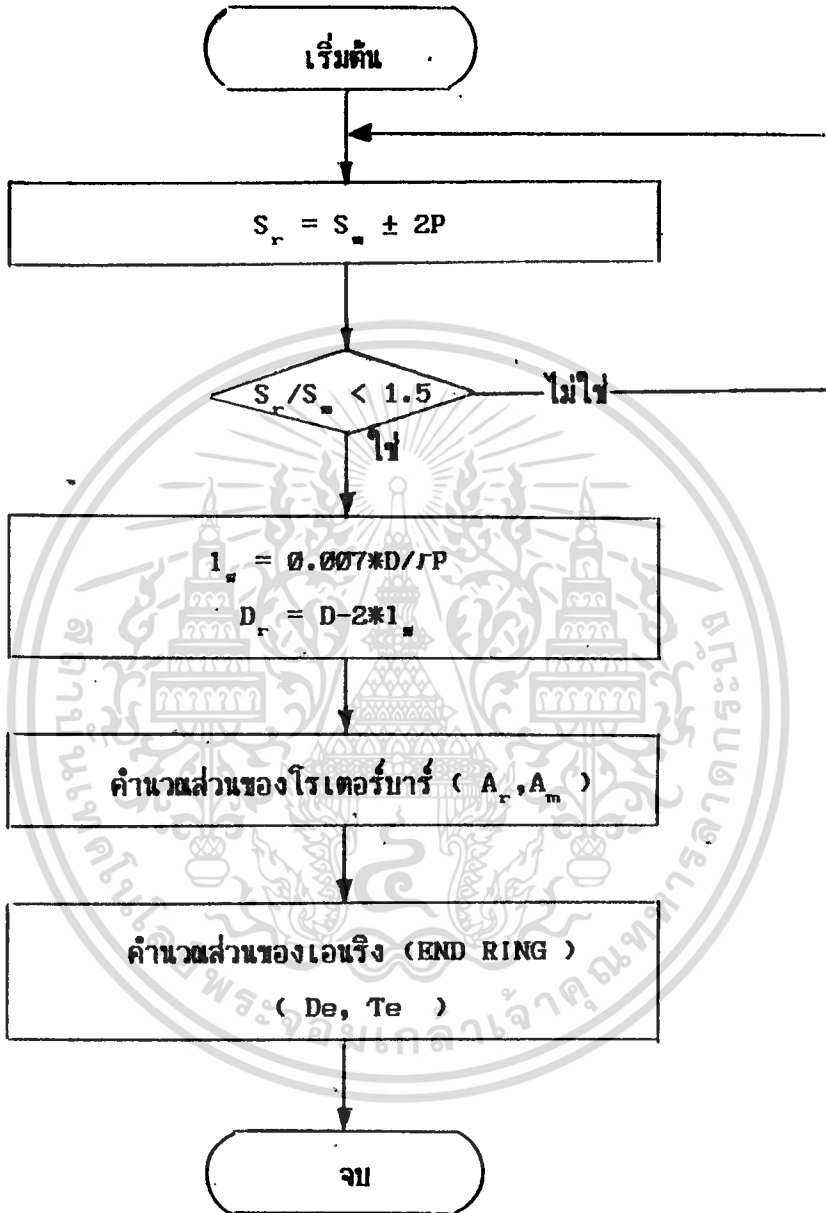
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การออกแบบสเตเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

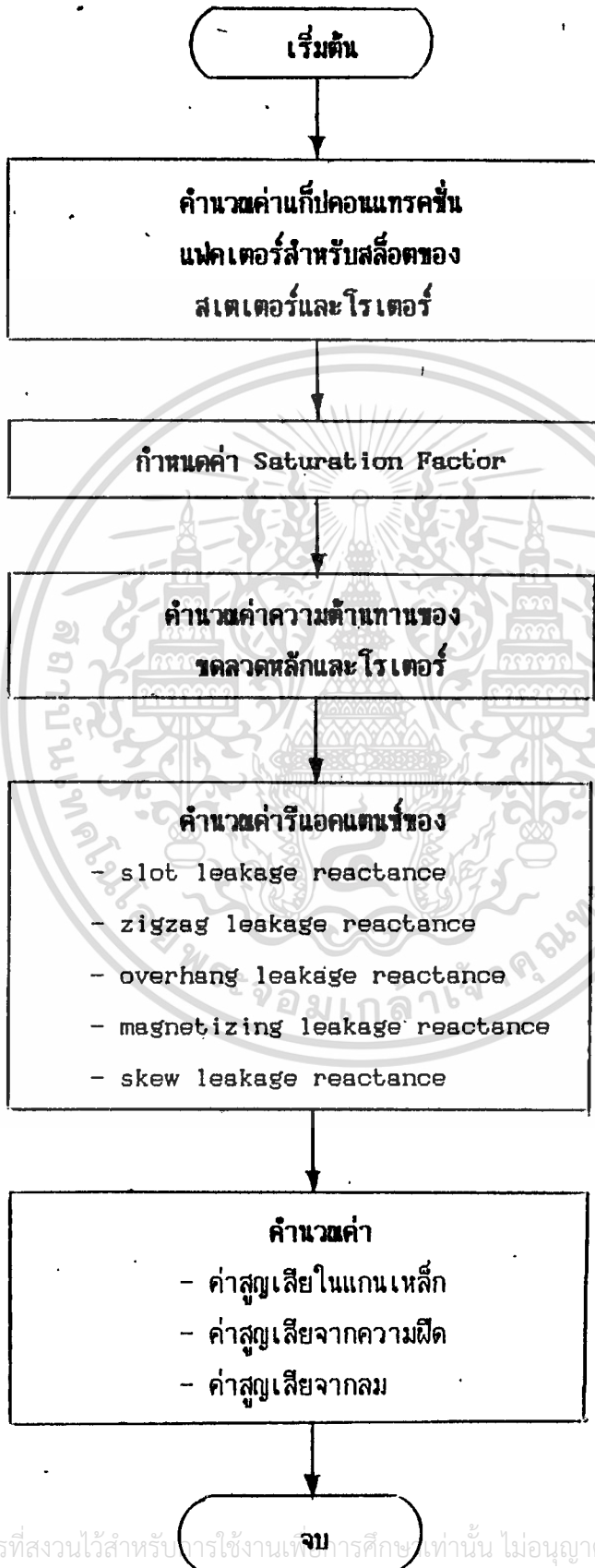
## ออกแบบโรเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## การคำนวณค่าความต้านทานและรีแอคแตนซ์ของมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองโปรแกรม

ในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบบคาปาซิเตอร์ถาวรนั้นเราไม่ได้ทำการออกแบบจริง เพียงแต่นำรายละเอียดของมอเตอร์ของญี่ปุ่นขนาด 55 วัตต์มาใส่ในโปรแกรมการออกแบบที่ใช้ซอฟต์แวร์โลตัส 1-2-3 ช่วยการออกแบบ แล้วคำนวณคุณสมบัติของมอเตอร์เทียบ กับข้อมูลจากญี่ปุ่น เพื่อทำการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ

ข้อมูลของมอเตอร์ที่ได้จากญี่ปุ่นสามารถแบ่ง เป็นส่วนๆดังนี้

1. รายละเอียดและขนาดของสเตเตอร์และโรเตอร์
2. รายละเอียดและขนาดของการพันขดลวดตัวนำ
3. ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบต่างๆ

รายละเอียดมอเตอร์ของญี่ปุ่นดูได้จากภาคผนวก

### โปรแกรมการออกแบบมอเตอร์

หลังจากได้รายละเอียดของมอเตอร์ญี่ปุ่น เราก็จะนำรายละเอียดดังกล่าวมาใส่ในโปรแกรมการออกแบบ เพื่อทำการคำนวณคุณสมบัติต่างๆของมอเตอร์ โดยรายละเอียดของโปรแกรมและผลของการคำนวณมีดังนี้

DESIGN OF SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR

\*\*\*\*\* PERMANENT CAPACITOR MOTOR \*\*\*\*\*

SPECIFICATIONS :

RATING

OUTPUT (W)	55.00
VOLTAGE (Volt)	220.00
FREQUENCY of source (Hz)	50.00
CURRENT (Amp)	0.57
Number of POLE	6.00
SPEED (rpm)	771.00
TORQUE (Kg-cm)	6.90

CHARACTERISTIC

Voltage (volt)	50.00
Frequency of source (Hz)	220.00
STARTING CURRENT (amp)	0.76
STARTING TORQUE (Kg-cm)	4.21
MAXIMUM TORQUE (Kg-cm)	7.25
EFFICIENCY (%)	35.00
POWER FACTOR (%)	100.00

===== STAMPING DESIGN =====

We use LENGTH PER POLE PITCH = 0.80

W = Power Output of motor (W)	55.00
EFF = Efficiency (%)	0.35
PF = Power factor (%)	1.00
Bav = SPECIFIC MAGNETIC LOADING (wb/sq.m.)	0.45
ac = SPECIFIC ELECTRIC LOADING (AT/m.)	10000.00
Ns = Synchronous speed (rps)	16.67
(rpm) =	1000.00
Volume of Stamping (cu.m.)	0.00
D = Inside diameter of stator stamping (m.)	0.08
L = Stack height of stamping (m.)	0.03

SELECT STATOR DIMENSION :

STATOR SLOTS	36.0000
OUTER DIAMETER of stator, stamping, Do (m.)	0.1380
INNER DIAMETER of stator stamping, D (m.)	0.0800
STACK HEIGHT L (m.)	0.0310
WIDTH of stator TEETH, Wts (m.)	0.0032
WIDTH of stator SLOT OPENING, Wos (m.)	0.0023
DEPTH of STATOR SLOT, Dss (m.)	0.0175
depth of stator core, Dcs (m.)	0.0115
stator slot pitch, Yss (m.)	0.0070
Slot area, As (sq.mm.) maximum	87.9840
minimum	87.9840

Set: Flux density in the stator teeth, Bts (wb/sq.m.)	1.50
Flux per pole, (wb.)	0.00
Flux density in stator core, Bcs (wb/sq.m.)	1.25

\*\*\*\*\* MAIN WINDING \*\*\*\*\*

slot per pole = 6.00

Winding arrangement

Coil ( 5-8 ) give coil span	3.00
Coil ( 4-9 ) give coil span	5.00
Coil ( ) give coil span	0.00
Coil ( ) give coil span	0.00
Coil ( ) give coil span	0.00

Turn require for each coil to form a sinusoidal distribution

Pitch factor for coil ( 5-8 )	0.71
Pitch factor for coil ( 4-9 )	0.97
Pitch factor for coil ( )	0.00
Pitch factor for coil ( )	0.00
Pitch factor for coil ( )	0.00

Total 1.67

Percentage of turn per pole in coil ( 5-8 )	42.26
Percentage of turn per pole in coil ( 4-9 )	57.74
Percentage of turn per pole in coil ( )	0.00
Percentage of turn per pole in coil ( )	0.00
Percentage of turn per pole in coil ( )	0.00

Winding factor for main winding,  $K_{wm}$  (turns) 0.86

Number of series turn in main winding,  $T_m$  (turns) 1214.90

Number of series turn per pole,  $T_{pm}$  (turns) 202.48

CHOOSE  $T_{pm}$  (turns) 430.00

$T_m$  (turns) 2580.00

Turns in each coil per pole

	CHOOSE
Coil (5- 8)	181.74 turn 150.00
Coil (4- 9)	248.26 turn 280.00
Coil ( )	0.00 turn 0.00
Coil ( )	0.00 turn 0.00
Coil ( )	0.00 turn 0.00

Total 430.00

CONDUCTOR SIZE (mm.)

Current in Main Winding (amp.)	0.71
ASSUME current density of conductor (amp/sq.mm.)	6.00
Cross section area of Main Winding conductor, $A_m$ (sq.mm.)	0.1190
Diameter of conductor (mm.)	0.389

SWG No. 28.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก USE : มมีให้ตัดแปลงเนื้อหา SWG No. 31.0 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร 31.0 รั้งที่มีการนำไปใช้

Diameter of conductor (mm.)	0.30
Cross section area (sq.mm.)	0.0707
Overall cross section area (sq.mm.)	0.0968
Maximum of conductor resistance at 20 deg.C (ohm/Km)	254.0000

Length of mean turn (m.)			
Lmt( 5-8 )	Lmt#T	0.13	19.54
Lmt( 4-9 )	Lmt#T	0.18	49.21
Lmt( )	Lmt#T	0.00	0.00
Lmt( )	Lmt#T	0.00	0.00
Lmt( )	Lmt#T	0.00	0.00

Length of mean turn of main winding, Lmtm (m.) 0.16

\*\*\*\*\* ROTOR DESIGN \*\*\*\*\*

ROTOR SLOTS	48.00
Check; ratio rotor slot/stator slot (If less than 1.5 is satisfied)	1.33
Length of Air Gap, lg (m.)	0.00
SET lg	0.00
Rotor diameter, Dr (m.)	0.08
WIDTH of ROTOR SLOT OPENING, Wor (m.)	0.00
WIDTH of ROTOR TEETH, Wtr (m.)	0.00
Rotor slot pitch, Ysr (m.)	0.01
Rotor bar	
ROTOR BAR AREA, Ab (sq.mm.)	11.85
Total rotor bars area, Ar (sq.mm.)	568.80
End ring	
END RING AREA, Ae (sq.mm.)	30.34
USE Te (mm.)	6.500
De (mm.)	6.350
Ae (sq.mm.)	41.28
Total area of Stator conductors, Am (sq.mm.)	364.74
Ratio Ar/Am	1.56

Gap contraction factor :

Ratio of stator slot opening/gap length	7.67
Kcs = Carter's Coefficient (p.125)	0.75
Kg for stator slot, Kgss	1.33
Ratio of slot opening/gap length	3.33
Kcr = Carter's Coefficient (p.125)	0.50
Kg for rotor slot, Kgsr	1.11
Kg =	1.47

Saturation factor (assumed value), Fs 1.15

\*\*\*\*\* RESISTANCE \*\*\*\*\*

Main winding

Rsm (at 20 deg.C) 104.77  
 (at 75 deg.C) 129.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้...  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rotor

The slot are skewed through one slot pitch	
Length of each rotor bar, $L_b$ (m.)	0.03
OUTER diameter of end ring, $D_{ero}$ (m.)	0.08
INNER diameter of end ring, $D_{eri}$ (m.)	0.07
Mean diameter of end ring, $D_e$ (m.)	0.07
Ratio $D_{eri}/D_{ero}$	0.84
SD, K ring (p.780)	1.00
Resistance of rotor refered to main winding	
$R_{rm}$ ' (at 75 deg.C)	74.72
(at 20 deg.C)	60.48

\*\*\*\*\* REACTANCE \*\*\*\*\* WE INPUT THE PERMEANCE \*

Slot leakage reactance

From the stator constant

$a_1 =$	0.0041	mm.
$a_2 =$	0.0068	mm.
$b =$	0.0015	mm.
$c =$	0.0008	mm.
$d =$	0.0007	mm.
$e =$	0.0023	mm.
$b/a_2 =$	0.2206	
$a_1/a_2 =$	0.6029	

from fig 4.38 (p.165),  $F = 0.42$

From the rotor slot constant

$h =$	7.3750
$h_4 =$	0.1150
$W_s =$	3.0700

Specific permeance for stator slots, $L_{ss}$	8.43E-07
Specific permeance for rotor slot, $L_{sr}$	2.68E-06
$C_x$	1.12

Slot leakage reactance in term of main winding,  $X_s$  33.64

Specific permeance for zigzag leakage,  $L_z$  1.26E-07

Zigzag leakage reactance in term of main winding,  $X_z$  1.33

Overhang leakage reactance,  $X_o$  13.67

Magnetizing reactance,  $X_m$  658.37

Angle of skew (rad.) 0.52

Assumed stator slot leakage factor,  $K_l$  0.95

Skew leakage reactance,  $X_{sk}$  14.29

Total leakage reactance refer to main winding,  $X_{lm}$  (ohm) 62.93

Open circuit reactance,  $X_{om}$  (ohm) 689.83

Leakage factor,  $K_r =$  0.91

$K_l$ (new) 0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 \*\*\*\*\* CORE LOSS \*\*\*\*\*  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Core material : H6C		
‡	Thickness (m.)	0.00
‡	Density of lamination, (Kg/sq.m.)	7600.00
‡	Maximum core loss at 1.5 wb/sq.m. (Watt/Kg.)	11.00
	Weight of stator teeth, (Kg)	0.45
	Maximum flux density in stator teeth, (wb/sq.m.)	2.36
	loss per kg at flux density in stator teeth	11.00
	iron loss in stator teeth	4.96
	Mean diameter of stator core(Do-dcs)	0.13
	Weight of stator core, (Kg.)	1.02
	flux density in core	1.12
	loss per kg at flux density in stator core	3.60
	iron loss in core	3.68
	Core loss due to fundamental flux, (Watt)	8.65
	TOTAL core loss (stator + rotor)	17.29
	Friction and windage loss assumed to be	0.30

Design for auxiliary winding

‡	Assume, $A = Ta \cdot Kwa / Tm \cdot Kw$	1.04
	Coil ( 7-12) give coil span	5.00
	Coil ( 8-11) give coil span	3.00
	Coil (     ) give coil span	0.00
	Coil (     ) give coil span	0.00

Turn require for each coil to form a sinusoidal distribution

	Pitch factor for coil ( 7-12)	0.97
	Pitch factor for coil ( 8-11)	0.71
	Pitch factor for coil (     )	0.00
	Pitch factor for coil (     )	0.00

Total 1.67

	Percentage of turn per pole in coil ( 7-12)	57.74
	Percentage of turn per pole in coil ( 8-11)	42.26
	Percentage of turn per pole in coil (     )	0.00
	Percentage of turn per pole in coil (     )	0.00

Winding factor for Auxilary winding, Kwa 0.86

Number of series turn in auxilary winding, Ta (turns) 2683.20

Tpa 447.20

Turns in each coil per pole

			Choose
Coil ( 7-12)	258.19	turn	300.00
Coil ( 8-11)	189.01	turn	150.00
Coil (     )	0.00	turn	0.00
Coil (     )	0.00	turn	0.00

Total 450.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก USED; ไม่มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

‡	Diameter of conductor (mm.)	0.05	0.26
	Maximum of conductor resistance at 20 dec.C (ohm/Km)		341.80
	Cross section area (sq.mm.)		0.05
	Overall cross section area (sq.mm.)		0.07
		SWG No.	32.50
	Length of mean turn, Lmt (m.)		
	Lmt(2 -7)	Lmt*T	0.18 52.73
	Lmt(3-6 )	"	0.13 19.54
	Lmt(    )	"	0.00 0.00
	Lmt(    )	"	0.00 0.00
	Length of mean turn of auxiliary winding, Lmta (m.)		0.16

RESISTANCE

Aux winding	
Rsa (at 20 deg.C)	147.27
(at 75 deg.C)	181.93

\*\*\*\*\* PERFORMANCE CALCULATION \*\*\*\*\*

x2 = secondary leakage reactance, referred to main winding	35.53
x1 = primary leakage reactance of main winding	27.40
X0 = "open circuit" reactance	685.77
	Kp = 0.96
	X = 61.51

(\*\*SEE CELL W1\*\*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SIZE OF CONDUCTOR (by area)

area (mm <sup>2</sup> )	diameter (mm)	SWG	area add insulator	dia-insulation (mm)	resistance at 20 C
0.0079	0.10	42.00	0.0152	0.139	2381.000
0.0095	0.11	41.00	0.0174	0.149	1957.000
0.0113	0.12	40.00	0.0204	0.161	1636.000
0.0133	0.13	39.00	0.0230	0.171	1389.000
0.0154	0.14	38.50	0.0257	0.181	1193.000
0.0177	0.15	38.00	0.0287	0.191	1037.000
0.0201	0.16	37.50	0.0324	0.203	908.700
0.0227	0.17	37.00	0.0356	0.213	803.200
0.0254	0.18	36.50	0.0398	0.225	714.900
0.0284	0.19	36.00	0.0434	0.235	640.600
0.0314	0.20	35.50	0.0471	0.245	577.100
0.0346	0.21	35.00	0.0511	0.255	522.800
0.0415	0.23	34.00	0.0603	0.277	438.600
0.0491	0.25	33.00	0.0693	0.297	370.200
0.0531	0.26	32.50	0.0750	0.309	341.800
0.0573	0.27	32.00	0.0799	0.319	316.600
0.0707	0.30	31.00	0.0968	0.351	254.000
0.0804	0.32	30.00	0.1081	0.371	222.800
0.0962	0.35	29.00	0.1263	0.401	185.700
0.1134	0.38	28.00	0.1466	0.432	157.100
0.1257	0.40	27.50	0.1619	0.454	141.700
0.1385	0.42	27.00	0.1780	0.476	129.400
0.1590	0.45	26.00	0.2011	0.506	112.100
0.1963	0.50	25.00	0.2445	0.558	89.950
0.2376	0.55	24.00	0.3000	0.618	74.180
0.2827	0.60	23.00	0.3526	0.670	62.640
0.3318	0.65	22.50	0.4094	0.722	53.260
0.3848	0.70	22.00	0.4705	0.774	45.840
0.4418	0.75	21.50	0.5385	0.828	39.870
0.5027	0.80	21.00	0.6082	0.880	35.170
0.5675	0.85	20.50	0.6822	0.932	31.110
0.6362	0.90	20.00	0.7605	0.984	27.710
0.7088	0.95	19.50	0.8430	1.036	24.840
0.7854	1.00	19.00	0.9503	1.100	22.490
1.1310	1.20	18.00	1.3314	1.302	15.660
1.5394	1.40	17.00	1.7813	1.506	11.500
2.0106	1.60	16.00	2.2966	1.710	8.793

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIZE OF CONDUCTOR (by SWG)

SWG	area (mm <sup>2</sup> )	diameter (mm)	area add insulator	dia-insulation (mm)	resistance at 20 C
16.00	2.0106	1.60	2.2966	1.710	8.793
17.00	1.5394	1.40	1.7813	1.506	11.500
18.00	1.1310	1.20	1.3314	1.302	15.660
19.00	0.7854	1.00	0.9503	1.100	22.490
19.50	0.7088	0.95	0.8430	1.036	24.840
20.00	0.6362	0.90	0.7605	0.984	27.710
20.50	0.5675	0.85	0.6822	0.932	31.110
21.00	0.5027	0.80	0.6082	0.880	35.170
21.50	0.4418	0.75	0.5385	0.828	39.870
22.00	0.3848	0.70	0.4705	0.774	45.840
22.50	0.3318	0.65	0.4094	0.722	53.260
23.00	0.2827	0.60	0.3526	0.670	62.640
24.00	0.2376	0.55	0.3000	0.618	74.180
25.00	0.1963	0.50	0.2445	0.558	89.950
26.00	0.1590	0.45	0.2011	0.506	112.100
27.00	0.1385	0.42	0.1780	0.476	129.400
27.50	0.1257	0.40	0.1619	0.454	141.700
28.00	0.1134	0.38	0.1466	0.432	157.100
29.00	0.0962	0.35	0.1263	0.401	185.700
30.00	0.0804	0.32	0.1081	0.371	222.800
31.00	0.0707	0.30	0.0968	0.351	254.000
32.00	0.0573	0.27	0.0799	0.319	316.600
32.50	0.0531	0.26	0.0750	0.309	341.800
33.00	0.0491	0.25	0.0693	0.297	370.200
34.00	0.0415	0.23	0.0603	0.277	438.600
35.00	0.0346	0.21	0.0511	0.255	522.800
35.50	0.0314	0.20	0.0471	0.245	577.100
36.00	0.0284	0.19	0.0434	0.235	640.600
36.50	0.0254	0.18	0.0398	0.225	714.900
37.00	0.0227	0.17	0.0356	0.213	803.200
37.50	0.0201	0.16	0.0324	0.203	908.700
38.00	0.0177	0.15	0.0287	0.191	1037.000
38.50	0.0154	0.14	0.0257	0.181	1193.000
39.00	0.0133	0.13	0.0230	0.171	1389.000
40.00	0.0113	0.12	0.0204	0.161	1636.000
41.00	0.0095	0.11	0.0174	0.149	1957.000
42.00	0.0079	0.10	0.0152	0.139	2381.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C2: 'DESIGN OF SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR

C3: '-----

A4: '

A5: '\*\*\*\*\* PERMANENT CAPACITOR MOTOR \*\*\*\*\*

A7: 'SPECIFICATIONS :

B9: 'RATING

C10: 'OUTPUT (W)

G10: [W9] 55

C11: 'VOLTAGE (Volt)

G11: [W9] 220

C12: 'FREQUENCY of source (Hz)

G12: [W9] 50

C13: 'CURRENT (Amp)

G13: [W9] 0.573

C14: 'Number of POLE

G14: [W9] 6

C15: 'SPEED (rpm)

G15: [W9] 771

C16: 'TORQUE (Kg-cm)

G16: [W9] 6.9

B18: 'CHARACTERISTIC

C19: 'Voltage (volt)

G19: [W9] +F

C20: 'Frequency of source (Hz)

G20: [W9] +V

C21: 'STARTING CURRENT (amp)

G21: [W9] 0.755

C22: 'STARTING TORQUE (Kg-cm)

G22: [W9] 4.21

C23: 'MAXIMUM TORQUE (Kg-cm)

G23: [W9] 7.25

C24: 'EFFICIENCY (%)

G24: [W9] 35

C25: 'POWER FACTOR (%)

G25: [W9] 100

A27: '===== STAMPING DESIGN =====

A29: 'We use LENGTH PER POLE PITCH =

E29: 0.8

B30: 'W = Power Output of motor (W)

H30: [W9] +OUTPUT

B31: 'EFF = Efficiency (%)

H31: (F2) [W9] +EFF/100

B32: 'PF = Power factor (%)

H32: (F2) [W9] +PF/100

B33: 'Bav = SPECIFIC MAGNETIC LOADING (wb/sq.m.)

H33: (F2) [W9] 0.45

B34: 'ac = SPECIFIC ELECTRIC LOADING (AT/m.)

H34: [W9] 10000

B35: 'Ns = Synchronous speed (rps)

H35: [W9] 24F/P

E36: '(rpm) =

H36: [W9] 1204F/P

B37: 'Volume of Stamping (cu.m.)

H37: [W9] +OUTPUT\*10000/(11\*KMM\*BAV\*AC\*EFF\*PF\*RPS)

B38: 'D = Inside diameter of stator stamping (m.)

H38: [W9] (D2LCAL\*P/(E294\*PI))^0.333333

B39: 'L = Stack height of stamping (m.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H39: [W9] +D2LCAL/(H38\*H38)  
 A41: 'SELECT STATOR DIMENSION :  
 B43: 'STATOR SLOTS  
 H43: (F4) [W9] 36  
 B44: 'OUTER DIAMETER of stator stamping, Do (m.)  
 H44: (F4) [W9] 0.138  
 B45: 'INNER DIAMETER of stator stamping, D (m.)  
 H45: (F4) [W9] 0.08  
 B46: 'STACK HEIGHT L (m.)  
 H46: (F4) [W9] 0.031  
 B47: 'WIDTH of stator TEETH, Wts (m.)  
 H47: (F4) [W9] 0.0032  
 B48: 'WIDTH of stator SLOT OPENING, Wos (m.)  
 H48: (F4) [W9] 0.0023  
 B49: 'DEPTH of STATOR SLOT, Dss (m.)  
 H49: (F4) [W9] 0.0175  
 B50: 'depth of stator core, Dcs (m.)  
 H50: (F4) [W9] 0.0115  
 B51: 'stator slot pitch, Yss (m.)  
 H51: (F4) [W9] @PI\*DI/SS  
 B52: 'Slot area, As (sq.mm.) maximum  
 H52: (F4) [W9] 87.984  
 B53: ' minimum  
 H53: (F4) [W9] 87.984  
 B55: 'Set: Flux density in the stator teeth, Bts (wb/sq.m.)  
 H55: [W9] 1.5  
 B56: 'Flux per pole, (wb.)  
 H56: [W9] +BTS\*SS\*0.96\*L\*WTS/P  
 B57: 'Flux density in stator core, Bcs (wb/sq.m.)  
 H57: [W9] +FLUX/(2\*0.96\*L\*DCS)  
 A59: \*\*\*\*\* MAIN WINDING \*\*\*\*\*  
 D61: 'slot per pole =  
 H61: [W9] +SS/P  
 A63: 'Winding arrangement  
 D64: 'Coil ( 5-8 ) give coil span  
 G64: (H) [W9] @IF(SPAN1=0,0,1)  
 H64: [W9] 3  
 D65: 'Coil ( 4-9 ) give coil span  
 G65: (H) [W9] @IF(SPAN2=0,0,1)  
 H65: [W9] 5  
 D66: 'Coil ( ) give coil span  
 G66: (H) [W9] @IF(SPAN3=0,0,1)  
 H66: [W9] 0  
 D67: 'Coil ( ) give coil span  
 G67: (H) [W9] @IF(SPAN4=0,0,1)  
 H67: [W9] 0  
 D68: 'Coil ( ) give coil span  
 G68: (H) [W9] @IF(SPAN5=0,0,1)  
 H68: [W9] 0  
 G69: (H) [W9] @SUM(G64..G68)  
 A70: 'Turn require for each coil to form a sinusoidal distribution  
 C72: 'Pitch factor for coil ( 5-8 )  
 H72: [W9] @SIN((SPAN1/\$SPP)\*90\*PI/180)  
 C73: 'Pitch factor for coil ( 4-9 )  
 H73: [W9] @SIN((SPAN2/\$SPP)\*90\*PI/180)  
 C74: 'Pitch factor for coil ( การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 H74: [W9] @SIN((SPAN3/\$SPP)\*90\*PI/180)  
 H74: [W9] @SIN((SPAN3/\$SPP)\*90\*PI/180)

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C75: 'Pitch factor for coil ( )  
 H75: [W9] @SIN((SPAN4/\$SPP)\*90\*PI/180)  
 C76: 'Pitch factor for coil ( )  
 H76: [W9] @SIN((SPAN5/\$SPP)\*90\*PI/180)  
 H77: [W9] \-  
 A78: ' Total  
 H78: [W9] @SUM(H72..H76)  
 H79: [W9] \-  
 B80: 'Percentage of turn per pole in coil ( 5-8 )  
 H80: [W9] (PITCH1/\$SUMPITCH)\*100  
 B81: 'Percentage of turn per pole in coil ( 4-9 )  
 H81: [W9] (PITCH2/\$SUMPITCH)\*100  
 B82: 'Percentage of turn per pole in coil ( )  
 H82: [W9] (PITCH3/\$SUMPITCH)\*100  
 B83: 'Percentage of turn per pole in coil ( )  
 H83: [W9] (PITCH4/\$SUMPITCH)\*100  
 B84: 'Percentage of turn per pole in coil ( )  
 H84: [W9] (PITCH5/\$SUMPITCH)\*100  
 A86: 'Winding factor for main winding,  $K_{wm}$  (turns)  
 H86: [W9] (PITCH1\*PERCENT1+PITCH2\*PERCENT2+PITCH3\*PERCENT3+PITCH4\*PERCENT4+PITCH5\*PERCENT5)/100  
 A88: 'Number of series turn in main winding,  $T_m$  (turns)  
 H88: [W9] 0.9\*V/(4.44\*F\*FLUX\*KWM)  
 A90: 'Number of series turn per pole,  $T_{pm}$  (turns)  
 H90: [W9] +H88/P  
 E92: 'CHOOSE  $T_{pm}$  (turns)  
 H92: [W9] 430  
 E94: '  $T_m$  (turns)  
 H94: [W9] +TPM\*P  
 A95: 'Turns in each coil per pole  
 H96: [W9] "CHOOSE  
 C97: 'Coil ( 5- 8 )  
 E97: +\$TPM\*PERCENT1/100  
 F97: ^turn  
 H97: [W9] 150  
 C98: 'Coil ( 4- 9 )  
 E98: +\$TPM\*PERCENT2/100  
 F98: ^turn  
 H98: [W9] 280  
 C99: 'Coil ( )  
 E99: +\$TPM\*PERCENT3/100  
 F99: ^turn  
 H99: [W9] 0  
 C100: 'Coil ( )  
 E100: +\$TPM\*PERCENT4/100  
 F100: ^turn  
 H100: [W9] 0  
 C101: 'Coil ( )  
 E101: +\$TPM\*PERCENT5/100  
 F101: ^turn  
 H101: [W9] 0  
 H102: [W9] \-  
 G103: [W9] 'Total  
 H103: [W9] @SUM(H97..H101)  
 H104: [W9] \-  
 A105: 'CONDUCTOR SIZE (mm.)

```

B108: 'ASSUME current density of conductor (amp/sq.mm.)
H108: [W9] 6
C109: 'Cross section area of Main Winding
C110: '      conductor, Am (sq.mm.)
H110: (F4) [W9] +CURRENT/DENSITY
C111: 'Diameter of conductor (mm.)
H111: (F3) [W9] @SQRT(H110*4/@PI)
E112: 'SWG No.
H112: (F1) [W9] @VLOOKUP(H110,WIRE,2)
B114: 'USE :
E114: 'SWG No.
H114: (F1) [W9] 31
C115: 'Diameter of conductor (mm.)
H115: (F2) [W9] @VLOOKUP(H114,WIRE1,2)
C116: 'Cross section area (sq.mm.)
H116: (F4) [W9] @VLOOKUP(H114,WIRE1,1)
C117: 'Overall cross section area (sq.mm.)
H117: (F4) [W9] @VLOOKUP(H114,WIRE1,3)
C118: 'Maximum of conductor resistance
D119: 'at 20 dec.C (ohm/Km)
H119: (F4) [W9] @VLOOKUP(H114,WIRE1,5)
B121: 'Length of mean turn (m.)
C122: 'Lmt( 5-8 )      Lmt*T
G122: [W9] @IF(SPAN1=0,0,8.4*(%DI+%DSS)*(SPAN1/%SS)+2*%L)
H122: [W9] +COIL1*G122
C123: 'Lmt( 4-9 )      Lmt*T
G123: [W9] @IF(SPAN2=0,0,8.4*(%DI+%DSS)*(SPAN2/%SS)+2*%L)
H123: [W9] +COIL2*G123
C124: 'Lmt(      )      Lmt*T
G124: [W9] @IF(SPAN3=0,0,8.4*(%DI+%DSS)*(SPAN3/%SS)+2*%L)
H124: [W9] +COIL3*G124
C125: 'Lmt(      )      Lmt*T
G125: [W9] @IF(SPAN4=0,0,8.4*(%DI+%DSS)*(SPAN4/%SS)+2*%L)
H125: [W9] +COIL4*G125
C126: 'Lmt(      )      Lmt*T
G126: [W9] @IF(SPAN5=0,0,8.4*(%DI+%DSS)*(SPAN5/%SS)+2*%L)
H126: [W9] +COIL5*G126
B128: 'Length of mean turn of main winding,Lmtm (m.)
H128: [W9] @SUM(H122..H126)/TPM
A130: '***** ROTOR DESIGN *****
B132: 'ROTOR SLOTS
H132: [W9] 48
B133: 'Check; ratio rotor slot/stator slot
H133: [W9] +SR/SS
B134: '      (If less than 1.5 is satisfied)
B135: 'Length of Air Gap, lg (m.)
H135: [W9] 0.007*DI/@SQRT(P)
F136: 'SET lg
H136: [W9] 0.0003
B138: 'Rotor diameter, Dr (m.)
H138: [W9] 0.0794
B139: 'WIDTH of ROTOR SLOT OPENING, Wor (m.)
H139: [W9] 0.001
B140: 'WIDTH of ROTOR TEETH, Wtr (m.)
H140: [W9] 0.002
B141: 'Rotor slot pitch, Ysr (m.)
H141: [W9] @PI*DR/SR

```

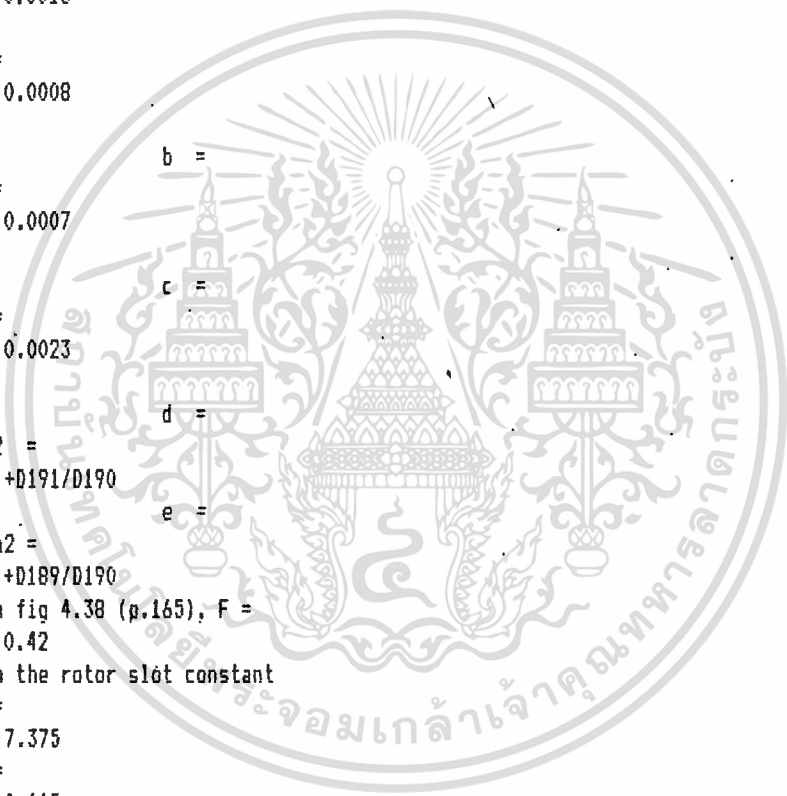
A142: 'Rotor bar  
 B143: 'ROTOR BAR AREA, Ab (sq.mm.)  
 H143: [W9] 11.85  
 B144: 'Total rotor bars area, Ar (sq.mm.)  
 H144: [W9] +SR\*AB  
 A145: 'End ring  
 A146: ' Area of each end ring (sq.mm.)  
 B146: 'END RING AREA, Ae (sq.mm.)  
 H146: (F2) [W9] 0.32\*SR\*AB/P  
 D147: 'USE Te (mm.)  
 H147: (F3) [W9] 6.5  
 D148: ' De (mm.)  
 H148: (F3) [W9] 6.35  
 D149: ' Ae (sq.mm.)  
 H149: (F2) [W9] +DE\*TE  
 B151: 'Total area of Stator conductors, Am (sq.mm.)  
 H151: [W9] 2\*TM\*AM  
 D152: 'Ratio Ar/Am  
 H152: [W9] +H144/H151  
 A154: 'Gap contraction factor :  
 B155: 'Ratio of stator slot opening/gap length  
 H155: [W9] +WOS/LG  
 B156: 'Kcs = Carter's Coefficient (p.125)  
 H156: [W9] 0.75  
 B157: 'Kg for stator slot, Kgss  
 H157: [W9] +YSS/(YSS-H156\*WOS)  
 B158: 'Ratio of slot opening/gap length  
 H158: [W9] +WDR/LG  
 B159: 'Kcr = Carter's Coefficient (p.125)  
 H159: [W9] 0.5  
 B160: 'Kg for rotor slot, Kgsr  
 H160: [W9] +YSR/(YSR-H159\*WDR)  
 F162: 'Kg =  
 H162: [W9] +H160\*H157  
 A164: 'Saturation factor (assumed value), Fs  
 H164: [W9] 1.15  
 A166: '\*\*\*\*\* RESISTANCE \*\*\*\*\*  
 B168: 'Main winding  
 A169: ' Rsm (at 20 deg.C)  
 H169: [W9] +H119\*LNTM\*TM\*0.001  
 A170: ' (at 75 deg.C)  
 H170: [W9] +H169\*0.21/0.17  
 B172: 'Rotor  
 C173: 'The slot are skewed through one slot pitch  
 C174: 'Length of each rotor bar, Lb (m.)  
 H174: [W9] @SQRT(L\*L+YSR^2)  
 C175: 'OUTER diameter of end ring, Dero (m.)  
 H175: [W9] 0.0797  
 C176: 'INNER diameter of end ring, Deri (m.)  
 H176: [W9] 0.067  
 C177: 'Mean diameter of end ring, De (m.)  
 H177: [W9] (H175+H176)/2  
 D178: 'Ratio Deri/Dero  
 H178: [W9] +H176/H175  
 D179: 'SQ, K ring (p.780)  
 H179: [W9] 1

เอกสารนี้ 17179: 1 ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 C181: 'Resistance of rotor referred to main winding  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C182: 'Rrm' (at 75 deg.C)
H182: [W9] B*(TM*KWM)^2*0.034*(H174/(SR*AB)+2*H177*H174/(@PI*P^2*AE))
C183: ' (at 20 deg.C)
H183: [W9] 0.017*H182/0.021
A185: '***** REACTANCE ***** WE INPUT THE PERNEANCE ***
B187: 'Slot leakage reactance
C188: 'From the stator constant
C189: 'a1 =
D189: (F4) 0.0041
E189: "mm.
C190: 'a2 =
D190: (F4) 0.0068
E190: "mm.
C191: 'b =
D191: (F4) 0.0015
E191: "mm.
C192: 'c =
D192: (F4) 0.0008
E192: "mm.
A193: '
C193: 'd =
D193: (F4) 0.0007
E193: "mm.
A194: '
C194: 'e =
D194: (F4) 0.0023
E194: "mm.
A195: '
C195: 'b/a2 =
D195: (F4) +D191/D190
A196: '
C196: 'a1/a2 =
D196: (F4) +D189/D190
E197: 'from fig 4.38 (p.165), F =
H197: [W9] 0.42
C198: 'From the rotor slot constant
C199: 'h =
D199: (F4) 7.375
E200: 'h4 =
D200: (F4) 0.115
C201: 'Ws =
D201: (F4) 3.07
B202: 'Specific permeance for stator slots, Lss
H202: (S2) [W9] 0.000000843
B203: 'Specific permeance for rotor slot, Lsr
H203: (S2) [W9] 0.00000268
F204: 'Cx
H204: [W9] (COIL1^2+COIL2^2+COIL3^2+COIL4^2+COIL5^2)/TPM^2*SS/(KWM^2*4*P)
B206: 'Slot leakage reactance in term of main winding, Xs
H206: [W9] 16*@PI*F*TM^2*KWM^2*(L/SS)*H204*(LSS+(SS/SR)*LSR)
B208: 'Specific permeance for zigzag leakage, Lz
H208: (S2) [W9] @PI*0.0000004*WTS*WTR*(WTS^2+WTR^2)/(12*L6*YSS^2*YSR)
B210: 'Zigzag leakage reactance in term of main winding, Xz
H210: [W9] 16*@PI*F*TM^2*KWM^2*(L/SS)*H208
B212: 'Overhang leakage reactance, Xo
H212: [W9] 16*@PI*F*TM^2*KWM^2*(0.0000004*@PI/(6.4*SS*P))*@PI*(DI+DSS)*(@SUM(H64..H68)/G69)
B214: 'Magnetizing reactance, Xm

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ยังไม่ผ่านการแก้ไขและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

H214: [W9] 16*(PI*F*(TM*KWM)^2*(PI*0.0000004*L*PI*DI/P)/(10*L6*KB*P*FS)
A216: ' Angle of skew (rad.)
H216: [W9] @PI/(SR/P)*(SR/SS)
A217: ' Assumed stator slot leakage factor, K1
H217: [W9] 0.95
B219: 'Skew leakage reactance, Xsk
H219: [W9] +XM*(H216^2/12)*KL
A221: 'Total leakage reactance refer to main winding, Xlm (ohm) 26.57870
H221: [W9] +XS+XZ+XO+XSK
B223: 'Open circuit reactance, Xom (ohm)
H223: [W9] +XM+XLM/2
B224: 'Leakage factor, Kr =
H224: [W9] (XOM-XLM)/XOM
B225: ' K1(new)
H225: [W9] @SQRT(H224)
A227: '***** CORE LOSS *****
A229: ' Core material : H60
A230: ' Thickness (m.) .0005
H230: [W9] 0.0005
A231: ' Density of lamination, (Kg/sq.m.) 7850
H231: [W9] 7600
A232: ' Maximum core loss at 1.5 wb/sq.m. (Watt/Kg.) 8.5
H232: [W9] 11
A233: ' Weight of stator teeth, (Kg)
H233: [W9] +SS*WTS*DSS*0.95*L*H231
A234: ' Maximum flux density in stator teeth, (wb/sq.m.) 1.706210
H234: [W9] @PI/2*BTS
A235: ' loss per kg at flux density in stator teeth
H235: [W9] 11
A236: ' iron loss in stator teeth
H236: [W9] +H233*H235
A237: ' Mean diameter of stator core(Do-dcs)
H237: [W9] +DO-DCS
A238: ' Weight of stator core, (Kg.)
H238: [W9] @PI*H237*DCS*0.95*L*H231
B239: 'flux density in core
H239: [W9] 1.12
A240: ' loss per kg at flux density in stator core
H240: [W9] 3.6
A241: ' iron loss in core
H241: [W9] +H238*H240
A242: ' Core loss due to fundamental flux, (Watt)
H242: [W9] +H236+H241
A244: ' TOTAL core loss (stator + rotor)
H244: [W9] 2*H242
A246: ' Friction and windage loss assumed to be
H246: [W9] 0.3
A248: '=====
A250: ' Design for auxiliary winding
A252: ' Assume, A = Ta*Kwa/Tm*Knm 1
H252: [W9] 1.04
A254: ' Coil ( 7-12) give coil span
B254: (H) [W9] @IF(H254=0,0,1)
H254: [W9] 5
A255: ' Coil ( 8-11) give coil span

```

เอกสารนี้ B255: (H) [W9] @IF(H255=0,0,1) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

A256: ' Coil ( ) give coil span
G256: (H) [W9] @IF(H256=0,0,1)
H256: [W9] 0
A257: ' Coil ( ) give coil span
G257: (H) [W9] @IF(H257=0,0,1)
H257: [W9] 0
G258: (H) [W9] @SUM(G254..G257)
A259: 'Turn require for each coil to form a sinusoidal distribution
A261: ' Pitch factor for coil ( 7-12)
H261: [W9] @SIN((H254/$SPP)*90*PI/180)
A262: ' Pitch factor for coil ( 8-11)
H262: [W9] @SIN((H255/$SPP)*90*PI/180)
A263: ' Pitch factor for coil ( )
H263: [W9] @SIN((H256/$SPP)*90*PI/180)
A264: ' Pitch factor for coil ( )
H264: [W9] @SIN((H257/$SPP)*90*PI/180)
A266: ' Total
H266: [W9] @SUM(H261..H264)
A268: ' Percentage of turn per pole in coil ( 7-12)
H268: [W9] (H261/$H$266)*100
A269: ' Percentage of turn per pole in coil ( 8-11)
H269: [W9] (H262/$H$266)*100
A270: ' Percentage of turn per pole in coil ( . )
H270: [W9] (H263/$H$266)*100
A271: ' Percentage of turn per pole in coil ( )
H271: [W9] (H264/$H$266)*100
A273: (T) 'Winding factor for Auxilary winding, Kwa
H273: [W9] (H261*H268+H262*H269+H263*H270+H264*H271)/100
A275: 'Number of series' turn in auxilary winding, Ta (turns)
H275: [W9] +H252*TM*KWM/H273
A276: ' Tpa
H276: [W9] +TA/P
A277: 'Turns in each coil per pole
A278: ' Choose
C279: 'Coil ( 7-12)
E279: +H268*H$276/100
F279: ^turn
H279: [W9] 300
C280: 'Coil ( 8-11)
E280: +H269*H$276/100
F280: ^turn
H280: [W9] 150
C281: 'Coil ( )
E281: +H270*H$276/100
F281: ^turn
H281: [W9] 0
C282: 'Coil ( )
E282: +H271*H$276/100
F282: ^turn
H282: [W9] 0
A283: ' -----
A284: ' Total 300
H284: [W9] @SUM(H279..H282)
A285: ' USED;
A286: ' * Diameter of conductor (mm.)
G286: [W9] (H286/2)^2*PI
H286: [W9] 0.26

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่าการเปิดเผยหรือเผยแพร่ข้อมูลนี้ให้ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

A287: ' Maximum of conductor resistance
A288: ' at 20 deg.C (ohm/Km)
H288: [W9] @VLOOKUP(G286,WIRE,5)
A289: ' Cross section area (sq.mm.)
H289: [W9] @VLOOKUP(G286,WIRE,0)
A290: ' Overall cross section area (sq.mm.)
H290: [W9] @VLOOKUP(G286,WIRE,3)
G291: [W9] 'SWG No.
H291: [W9] 32.5
A292: ' Length of mean turn, Lmt (m.)
A293: ' Lmt(2 -7) Lmt*T
G293: [W9] @IF(H254=0,0,8.4*(%DI+%DSS)*(H254/%SS)+2*L)
H293: [W9] +H279*G293
A294: ' Lmt(3-6 ) "
G294: [W9] @IF(H255=0,0,8.4*(%DI+%DSS)*(H255/%SS)+2*L)
H294: [W9] +H280*G294
A295: ' Lmt( ) "
G295: [W9] @IF(H256=0,0,8.4*(%DI+%DSS)*(H256/%SS)+2*L)
H295: [W9] +H281*G295
A296: ' Lmt( ) "
G296: [W9] @IF(H257=0,0,8.4*(%DI+%DSS)*(H257/%SS)+2*L)
H296: [W9] +H282*G296
A298: ' Length of mean turn of auxiliary winding,Lmta (m.)
H298: [W9] @SUM(H293..H297)/H284
A300: 'RESISTANCE
A302: ' Aux winding
A303: ' Rsa (at 20 deg.C)
H303: [W9] +TA*LMTA*H288*0.001
A304: ' (at 75 deg.C)
H304: [W9] +H303*0.21/0.17
A306: '***** PERFORMANCE CALCULATION *****
A308: ' x2 = secondary leakage reactance.
A309: ' referred to main winding 6.741357
H309: [W9] 16*PI*F*(TM*KWM)^2*(L/SS)*(SS/SR)*LSR+XSK
A311: ' x1 = primary leakage reactance of main winding 19.83734
H311: [W9] +XLM-H309
A313: ' X0 = "open circuit" reactance 299.4396
H313: [W9] +H311+XM
A315: ' Kp = .9337518
H315: [W9] +XM/H313
A317: ' X = 26.13210
H317: [W9] +H311+(H309*H315)
A318: ' (**SEE CELL W1**)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่โปรแกรมคำนวณองค์ประกอบของมอเตอร์ ค่าความต้านทานและลี้คเกจรีแอคแตนซ์ของขดลวด ต่อไปเราจะนำค่าเหล่านี้มาคำนวณหาคุณสมบัติของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากมอเตอร์ที่ปู้นที่ความเร็วรอบเดียวกัน โดยเขียนกราฟเทียบกับความเร็วรอบต่างๆ ต่อไปนี้จะแสดงผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม คำสั่งมาโครที่ใช้สั่งการทำงานโปรแกรมในส่วนของการคำนวณคุณสมบัติและแสดงกราฟคุณสมบัติต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A= 1.046 S= 0.101  
 R1= 129.420 RC= 0.100  
 R2= 74.710 XC= -909.5  
 XD= 704.550 x2= 35.530  
 R1a= 182.970 floss= 17.000  
 Xm= 658.370  
 X1= 46.180

A 129.420 0.000 0.000 0.000  
 0.000 74.710 69.554 -74.433  
 0.000 0.000 183.070 0.000  
 -69.554 74.433 0.000 81.741

B 704.550 -658.370 0.000 0.000  
 -658.370 704.550 0.000 0.000  
 0.000 0.000 -138.597 -720.333  
 0.000 0.000 -720.333 770.859

129.420	0.000	0.000	0.000	707.010	-658.370	0.000	0.000	
0.000	74.710	69.554	-74.433	-658.370	707.010	0.000	0.000	
0.000	0.000	183.070	0.000	0.000	0.000	-135.906	-720.333	
-69.554	74.433	0.000	81.741	0.000	0.000	-720.333	773.551	
-707.010	658.370	0.000	0.000	129.420	0.000	0.000	0.000	
658.370	-707.010	0.000	0.000	0.000	74.710	69.554	-74.433	
0.000	0.000	135.906	720.333	0.000	0.000	183.070	0.000	
0.000	0.000	720.333	-773.551	-69.554	74.433	0.000	81.741	
0.004	-0.004	0.000	0.000	-0.002	-0.002	0.000	0.000	220.000
0.004	0.004	0.000	0.000	-0.002	-0.002	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	220.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
0.002	0.002	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000
0.002	0.002	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

0.885 I1 0.997  
 0.860 I2M 0.923  
 0.086 IA 0.261  
 0.046 I2A 0.242  
 0.460  
 0.333 IL 0.995  
 -0.246  
 -0.237

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.980	0.806	0.701	0.606	0.505	0.400	0.302	0.207	0.101
I1	0.293	0.564	0.712	0.803	0.871	0.921	0.955	0.979	0.997
I2M	0.074	0.479	0.635	0.728	0.796	0.846	0.880	0.904	0.923
IA	0.405	0.297	0.274	0.265	0.260	0.259	0.258	0.259	0.261
I2A	0.177	0.213	0.223	0.229	0.233	0.236	0.238	0.240	0.242
IL	0.311	0.701	0.812	0.875	0.921	0.953	0.974	0.987	0.995
ilm	-0.012	0.493	0.637	0.720	0.779	0.822	0.850	0.870	0.885
i2m	-0.071	0.476	0.621	0.703	0.760	0.801	0.827	0.846	0.860
ila	0.320	0.205	0.168	0.145	0.128	0.114	0.103	0.095	0.086
i2a	0.003	0.016	0.023	0.029	0.034	0.038	0.041	0.043	0.046
ilim	0.293	0.274	0.319	0.356	0.389	0.416	0.435	0.449	0.460
ji2m	-0.022	0.057	0.134	0.190	0.237	0.274	0.300	0.319	0.333
ji1a	-0.249	-0.214	-0.217	-0.221	-0.227	-0.232	-0.237	-0.241	-0.246
ji2a	-0.177	-0.213	-0.222	-0.227	-0.230	-0.233	-0.234	-0.236	-0.237

1.000	0.980	0.806	0.701	0.606	0.505	0.400	0.302	0.207	0.101
2.000	1.046	1.046	1.046	1.046	1.046	1.046	1.046	1.046	1.046
3.000	0.003	0.017	0.024	0.030	0.035	0.039	0.043	0.045	0.048
4.000	0.185	0.223	0.232	0.237	0.241	0.243	0.245	0.247	0.248
5.000	-0.012	0.493	0.637	0.720	0.779	0.822	0.850	0.870	0.885
6.000	0.293	0.274	0.319	0.356	0.389	0.416	0.435	0.449	0.460
7.000	-0.071	0.476	0.621	0.703	0.760	0.801	0.827	0.846	0.860
8.000	-0.022	0.057	0.134	0.190	0.237	0.274	0.300	0.319	0.333
9.000	0.059	0.017	0.016	0.017	0.019	0.021	0.023	0.024	0.025
10.000	0.315	0.217	0.185	0.166	0.152	0.142	0.135	0.130	0.126
11.000	658.370	658.370	658.370	658.370	658.370	658.370	658.370	658.370	658.370
12.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
13.000	0.001	0.004	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006
14.000	0.011	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006
15.000	-0.058	-0.048	-0.043	-0.039	-0.037	-0.035	-0.033	-0.032	-0.031
16.000	-38.279	-31.603	-28.059	-25.636	-23.694	-22.191	-21.146	-20.394	-19.805
17.000	-7.797	-4.922	-5.376	-5.945	-6.522	-7.041	-7.448	-7.778	-8.082
18.000	-0.074	0.498	0.650	0.735	0.795	0.838	0.866	0.885	0.900
19.000	-0.023	0.060	0.140	0.199	0.248	0.287	0.314	0.333	0.349
20.000	0.320	0.205	0.168	0.145	0.128	0.114	0.103	0.095	0.086
21.000	-0.249	-0.214	-0.217	-0.221	-0.227	-0.232	-0.237	-0.241	-0.246
22.000	0.003	0.016	0.023	0.029	0.034	0.038	0.041	0.043	0.046
23.000	-0.177	-0.213	-0.222	-0.227	-0.230	-0.233	-0.234	-0.236	-0.237
24.000	0.317	0.189	0.145	0.117	0.094	0.076	0.062	0.051	0.040
25.000	-0.072	-0.002	0.005	0.005	0.003	0.001	-0.002	-0.005	-0.009
26.000	-0.023	0.094	0.094	0.086	0.075	0.064	0.054	0.045	0.036
27.000	0.005	-0.001	0.003	0.004	0.003	0.000	-0.002	-0.005	-0.008
28.000	-0.007	0.011	0.020	0.023	0.023	0.022	0.020	0.017	0.014
29.000	-0.002	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	0.001	0.002	0.003
30.000	-16.460	62.109	61.509	55.691	48.695	41.866	36.125	31.075	25.874
31.000	1.205	-6.922	-15.464	-17.812	-17.134	-14.640	-11.492	-8.059	-3.992
32.000	-9.002	2.001	10.087	11.867	10.612	7.599	4.044	0.281	-4.089
33.000	-21.819	-93.712	-89.568	-81.326	-72.389	-64.057	-57.271	-51.469	-45.679
34.000	21.819	93.712	89.568	81.326	72.389	64.057	57.271	51.469	45.679
35.000	21.383	75.532	62.787	49.284	36.556	25.623	17.296	10.654	4.614
36.000									
37.000	11.148	41.212	65.680	83.469	98.187	109.818	118.024	124.009	128.770
38.000	0.407	17.151	30.170	39.593	47.378	53.533	57.881	61.064	63.611
39.000	30.082	16.121	13.776	12.836	12.391	12.229	12.224	12.295	12.431
40.000	0.016	0.009	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกหนึ่งก้าวเพื่อตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.000	2.565	3.722	4.065	4.269	4.423	4.542	4.630	4.700	4.768
floss 42	17.000	11.499	8.698	6.500	4.514	2.832	1.614	0.758	0.181
tloss 43	61.218	89.714	122.397	146.675	166.900	182.962	194.380	202.832	209.766
44.000									
o/p 45	4.383	64.032	54.089	42.783	32.042	22.791	15.682	9.896	4.433
rpm 46	980.000	806.000	701.000	606.000	505.000	400.000	302.000	207.000	101.000
tor 47	0.436	7.743	7.520	6.881	6.184	5.553	5.061	4.659	4.278
i/d 48	65.601	153.747	176.486	189.458	198.943	205.752	210.061	212.728	214.199
eff 49	6.681	41.648	30.648	22.582	16.106	11.077	7.465	4.652	2.070
p.f 50	0.959	0.997	0.988	0.984	0.982	0.981	0.981	0.980	0.979

DATA

OUTPUT	4.670	54.400	52.100	44.200	34.300	24.900	17.300	10.700	4.620
TORQUE	0.464	6.581	7.236	7.097	6.653	6.068	5.571	5.051	4.451
EFF	6.670	45.500	38.000	30.000	22.000	15.600	10.600	6.530	2.790
P.F	0.993	1.000	0.998	0.995	0.992	0.989	0.987	0.987	0.986
IL	0.321	0.543	0.623	0.671	0.708	0.732	0.747	0.757	0.762
INPUT	70.000	119.000	136.000	147.000	154.000	159.000	162.000	164.000	165.400
Im	0.291	0.387	0.493	0.567	0.628	0.673	0.704	0.727	0.743
Ia	0.423	0.334	0.305	0.289	0.279	0.274	0.271	0.271	0.271

MACRO

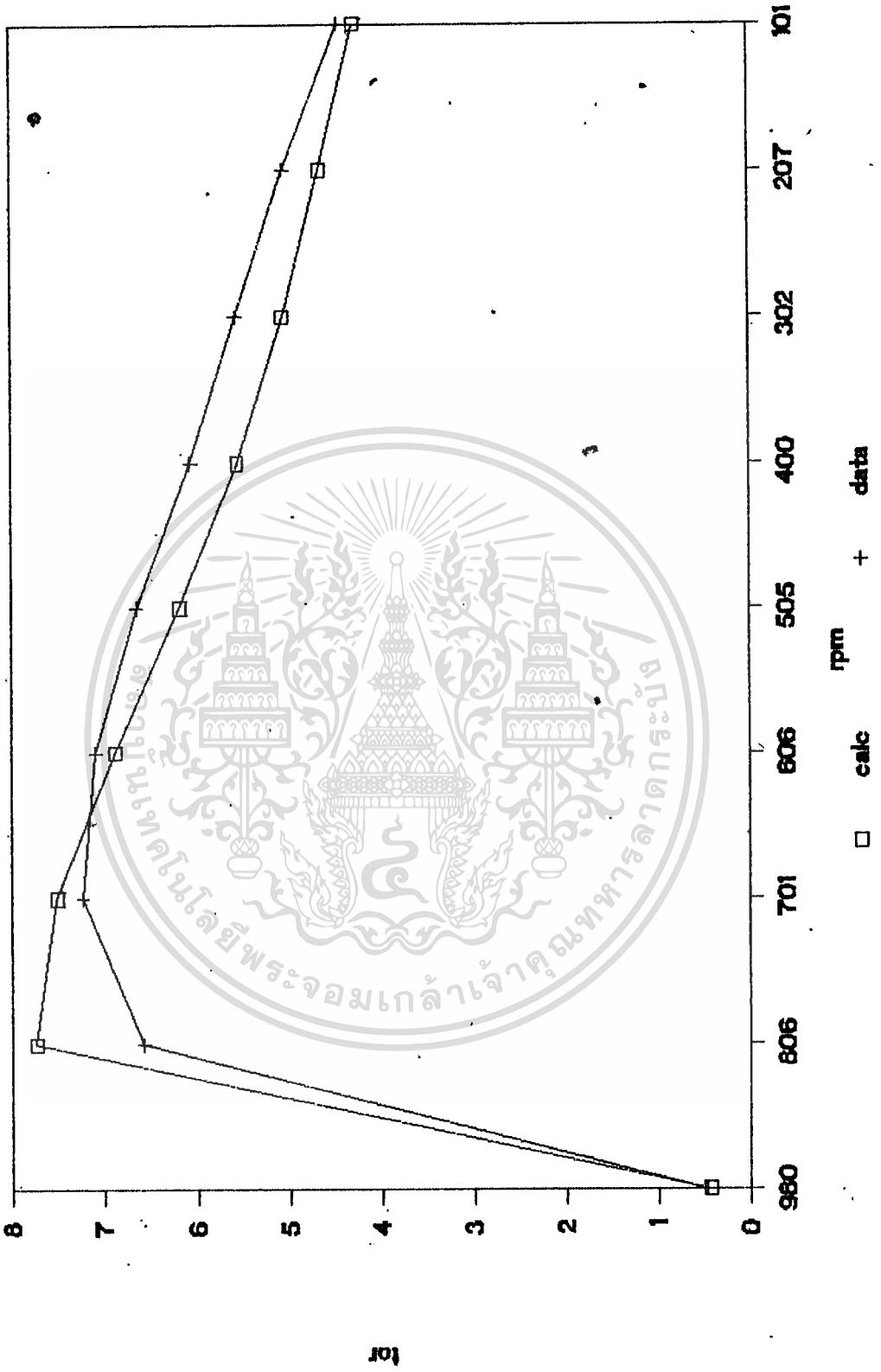
```

/H
A
/C*D1~
{CALC}~
/RVB10.E13*B20~
/RVB10.E13*F24~
/DMI~~
/DMH~~~
{DOWN}
/RVD40.D45~~
{down 6}
/rvb40.b47~~
{up 6}
{RIGHT}
{UP}
{BRANCH A}~

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

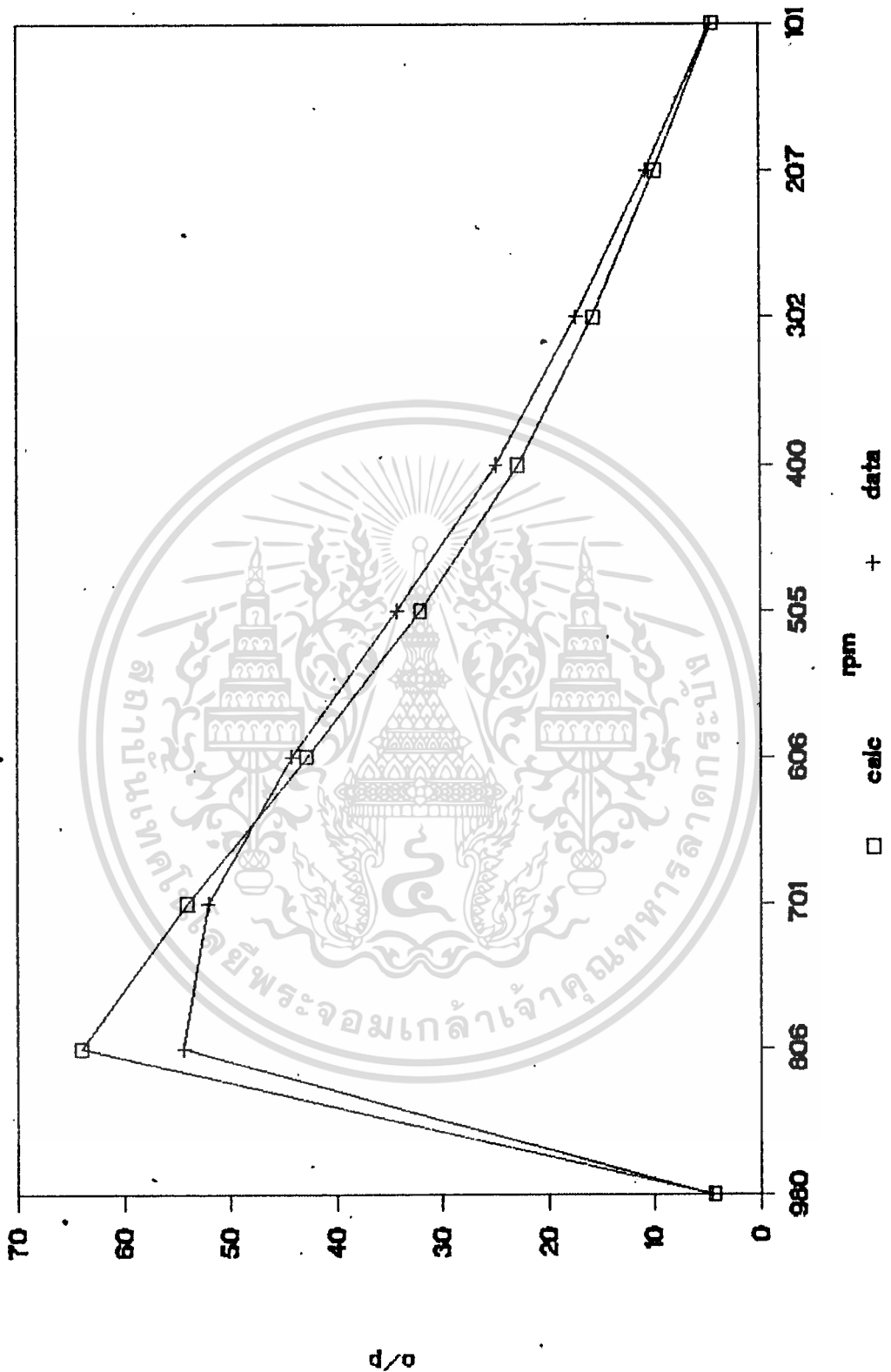
# curve between rpm and tor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

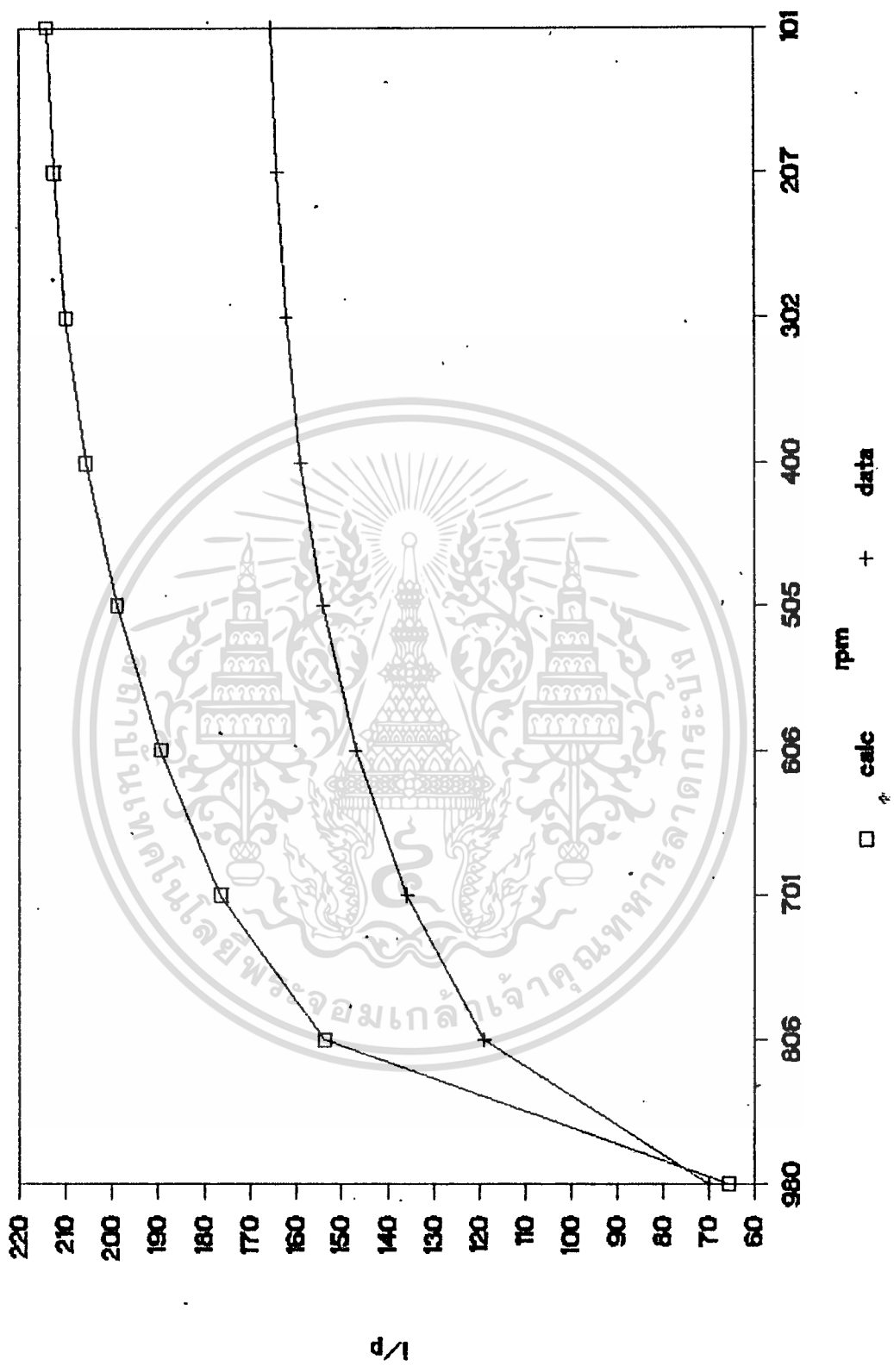


# curve between rpm and o/p



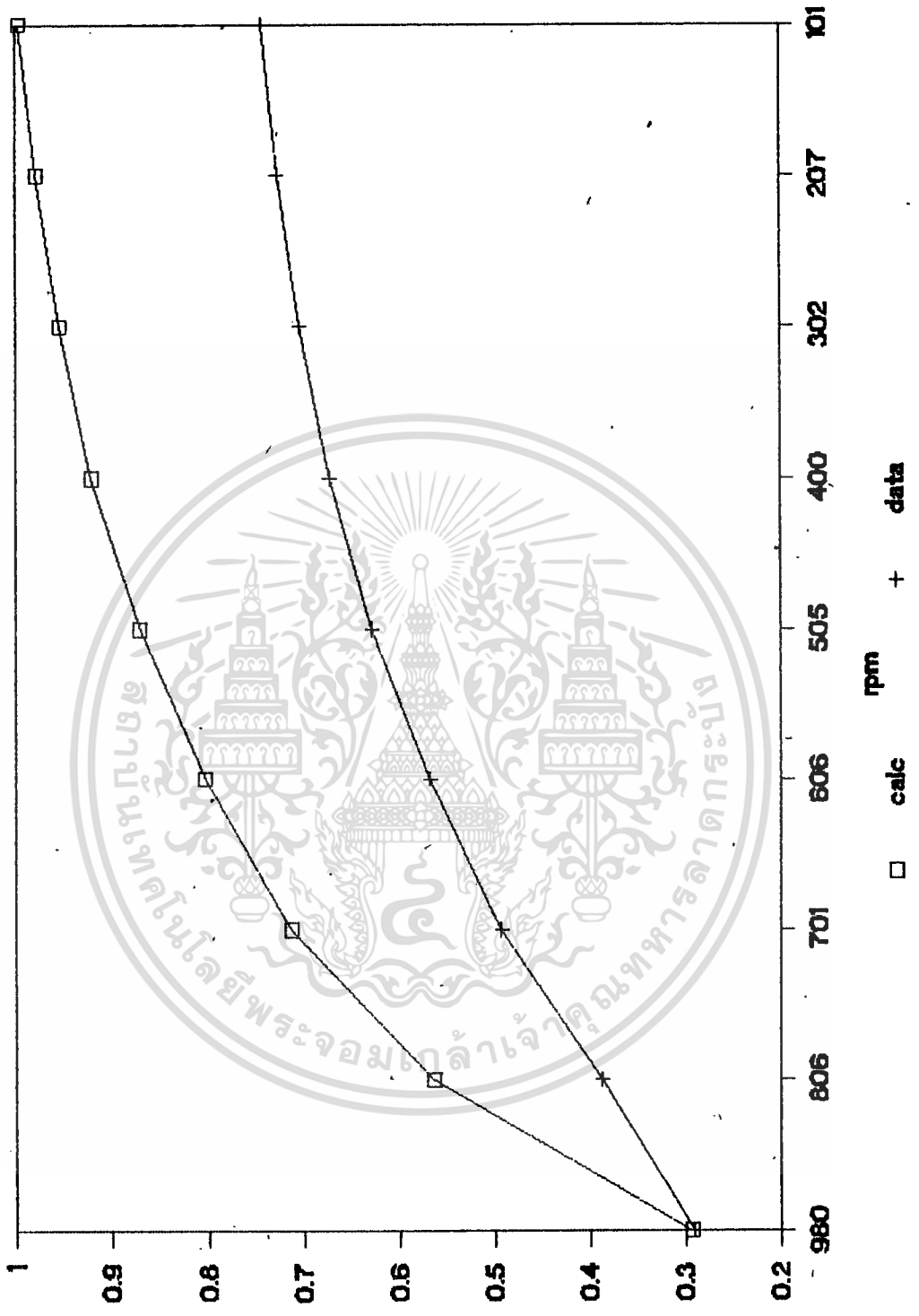
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

curve between rpm and i/p



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

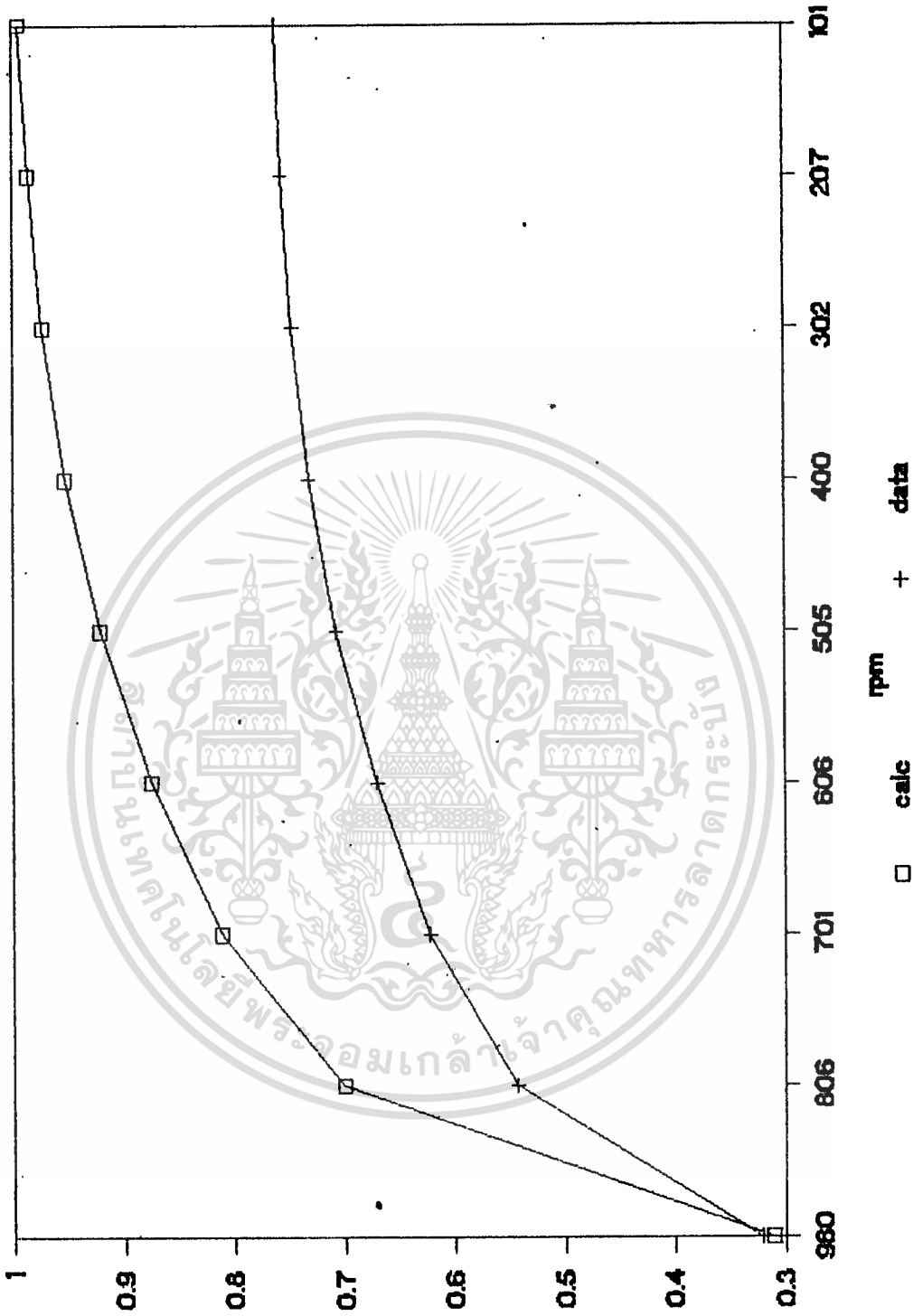
# curve between rpm and Im



๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

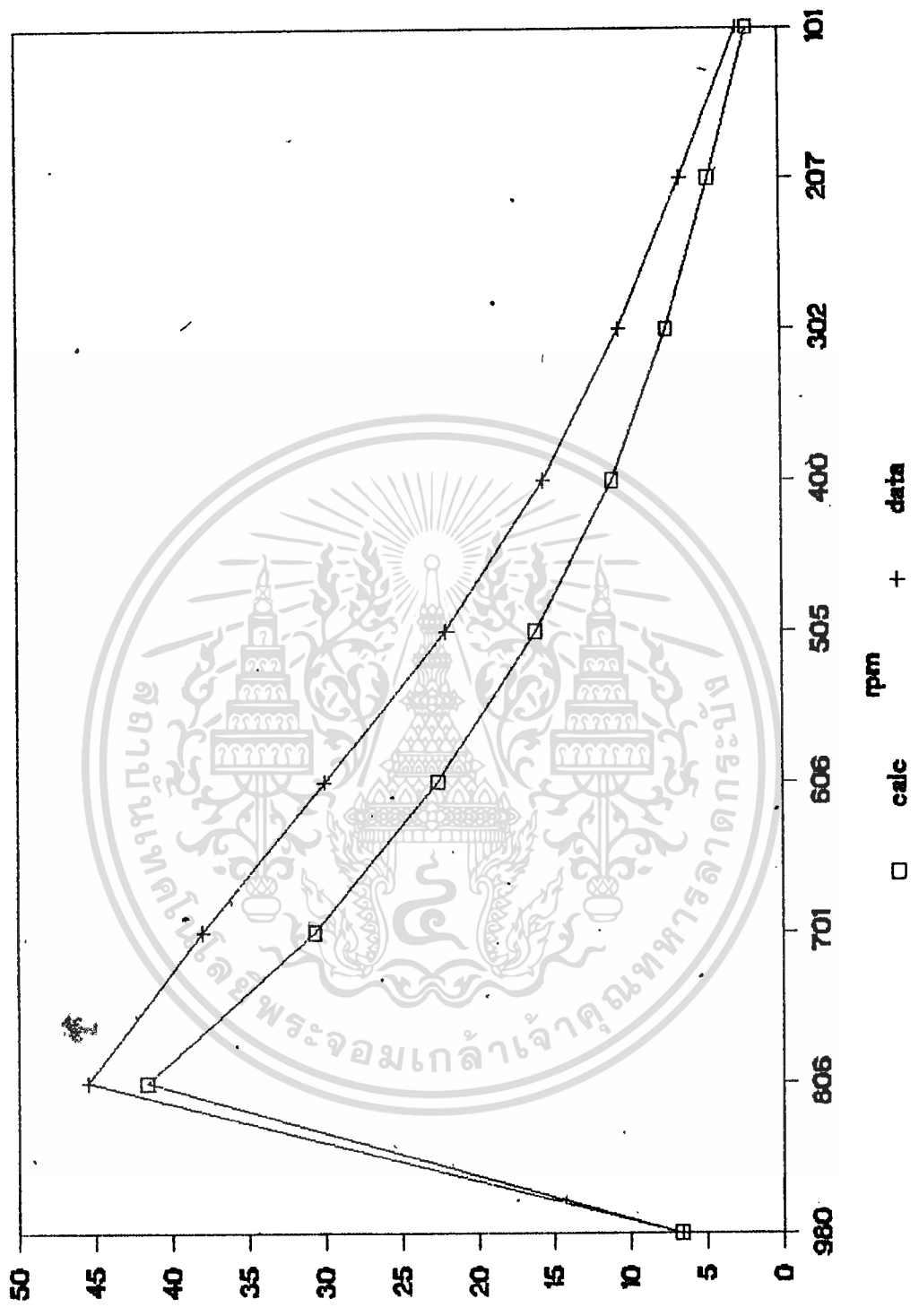
# curve between rpm and II



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



curve between rpm and eff



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและวิจารณ์

งานที่ทำในปริกฤณานิพนธ์นี้ คือ ทำการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบมอเตอร์  
เหนี่ยวนำชนิดคาปาซิเตอร์ถาวร

ขั้นตอนการทำงาน มีดังนี้คือ

1. ค้นคว้าหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ชนิดนี้จากหนังสือและวารสารทางวิชาการ  
ต่างประเทศ เช่น AIEE, IEEE, Electric machine and Electromechanical เป็นต้น  
ขั้นตอนนี้ใช้เวลาในการค้นหาพอสมควร บางบทความไม่สามารถหาได้ เนื่องจากวาร  
สารและหนังสือเหล่านี้เก่ามีอายุมากกว่า 30 ปีแล้ว และอยู่กระจัดกระจายไม่เป็นที่  
หนังสือที่ไม่สามารถหาได้ คือ Theory and design of small induction motors ดัง  
นี้จึงมีการสั่งซื้อจากประเทศสหรัฐอเมริกา

2. ทำการศึกษาทฤษฎีที่ค้นคว้าได้ และลงมือพัฒนาโปรแกรมไปพร้อมกัน เราพบว่า  
มีทฤษฎีอยู่ 2 ทฤษฎีที่อธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์ได้ ทฤษฎีที่เราใช้ คือ ทฤษฎีสนามแม่เหล็กตัด  
ขวาง (Cross Field Theory) เราเลือกใช้ Electronics Worksheet ชื่อ LOTUS123  
มาช่วยพัฒนาการออกแบบมอเตอร์ เนื่องจากซอฟต์แวร์ตัวนี้มีความสามารถในการคำนวณสูง และ  
มีความคล่องตัวในการใช้งาน คือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าใดค่าหนึ่งใน worksheet นี้ มันจะ  
ทำการคำนวณใหม่ให้เราทันที จึงเหมาะที่ใช้งาน

3. ตรวจสอบความแม่นยำของโปรแกรม โดยเราจะเปรียบเทียบผลการออกแบบ  
และคำนวณคุณสมบัติของมอเตอร์ กับข้อมูลของมอเตอร์ที่ได้จากญี่ปุ่น (SANYO) ขนาด 56 วัตต์ 6  
โพล รายละเอียดต่างๆของมอเตอร์นี้สามารถดูได้จากภาคผนวก ในการเปรียบเทียบ เราใช้  
กราฟช่วยในการพิจารณาความแม่นยำของโปรแกรม โดยนำค่าคุณสมบัติต่างๆ เช่น แรงบิด,  
กระแส, กำลังเอาต์พุต เป็นต้น มาเขียนเป็นกราฟร่วมกับข้อมูลของทางญี่ปุ่นที่ความเร็วยรอบต่างๆ  
เราพบว่า ลักษณะกราฟมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยเฉพาะกราฟแรงบิด,  
ประสิทธิภาพ, กำลังเอาต์พุต ซึ่งเป็นกราฟที่มีความสำคัญที่ต้องทราบมีค่าใกล้เคียงกัน ด้วย  
เหตุนี้จึงทำให้เรายอมรับสูตรต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมออกแบบว่ามีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้งาน  
จริงได้ โปรแกรมที่ใช้จะมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับหลายสิ่ง คือ

- การคำนวณลิกเกจรีแอกแตนซ์ต่างๆ เช่น สล๊อตลิกเกจ, แมกเนตซึ่งรีแอก  
แตนซ์ เป็นต้น เนื่องจากการคำนวณค่าเหล่านี้เป็นเพียงการประมาณเท่านั้น

- การกำหนดค่าความสูญเสียต่างๆ เช่น กำลังสูญเสียเนื่องจากความผิดและลม,  
กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อเสนอแนะ

- เราควรตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลมอเตอร์ของญี่ปุ่น โดยใช้เครื่องทดสอบมอเตอร์ ZTEST ของกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน ทำการทดสอบมอเตอร์นี้จริง เครื่องทดสอบนี้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ขนาด 16 บิตควบคุมการทำงาน จึงสามารถให้ข้อมูลที่ความละเอียดถูกต้องกว่าการทดสอบแบบธรรมดา นอกจากนี้ควรนำโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาไปใช้ในการออกแบบจริงควรจะทดสอบโปรแกรมกับมอเตอร์หลายขนาด เพื่อเพิ่มความแม่นยำของโปรแกรมยิ่งขึ้น

- ควรจะทดสอบโปรแกรมกับมอเตอร์หลายขนาด เพื่อเพิ่มความแม่นยำของโปรแกรมยิ่งขึ้น

- เมื่อโปรแกรมที่ใช้มีความแม่นยำเพียงพอแล้ว ก็ควรพัฒนาโปรแกรมให้สามารถออกแบบตัว stamping ของสเตเตอร์และโรเตอร์ควบคู่ไปด้วย และอาจจะเขียนโปรแกรมดังกล่าวด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ภาษาใดภาษาหนึ่งเพื่อเอาไปใช้งานกันอย่างจริงจัง





ภาคผนวก

รายละเอียดทางเทคนิค

ของ

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดคาปาซิเตอร์ถาวร

220 Volt, 55 Watt, 6 Pole

SANYO ; FC6S-51F5P



担当 望原千登勢

制定 1984.11.28

整理番号

機種名 <b>FC6S-51F5P</b> (コード) 52505905	共通機種名 (コード)
当初使用機種 <b>SA-165BM5-T</b>	共通機種名 (コード)

電動機の種類

単相 コンデンサラン誘導電動機  
外装 開放

Z.P

(I.P)

仕様 SA-106B, SA-126B, SA-165B

極数 (P)	6		相数	PHASE 1	
電圧 (V)	220				
コンデンサ	3.5 $\mu$ F	440 VAC	$\mu$ F	VAC	$\mu$ F VAC
周波数 (Hz)	50	60	50	60	50 60
出力 (W)	54.9	/	/	/	/
電流 (A)	0.573	/	/	/	/
回転数 (rpm)	771	/	/	/	/
時間定格	連続 CONT.	分定格	速調段数	SPEED	2速
絶縁階級	E 種		電動機重量	WT.	4.5 kg
回転方向	(C·W) C·C·W (リード線からみたとき)				

部品

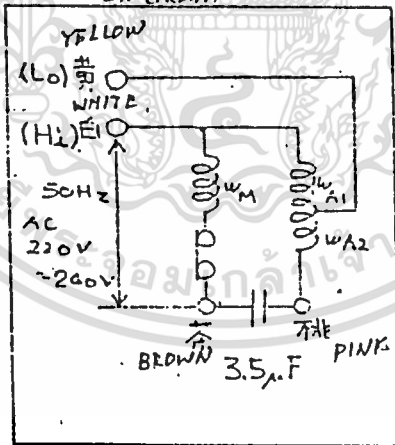
始動リレー	フ=テクタ 17AMD33A5-4	コンデンサ 始動用 $\mu$ F
-------	----------------------	----------------------

口出線(又は端子) LEAD WIRE

種類	*WL-PVC-T	サイズ	20/20.12(10.5mm)	絶縁厚	t0.8	長さ×本数×色	100mm×4本・白・黄・茶・桃
----	-----------	-----	------------------	-----	------	---------	------------------

ASSUME  $T_{room} = 35^{\circ}C$   
巻線抵抗  $\rightarrow 35 + 35$   
接続 DIAGRAM

色別	抵抗値( $\Omega$ )
WHITE 白 - BROWN 茶	119.9 $\Omega$
WHITE 白 - YELLOW 黄	37.52 $\Omega$
YELLOW 黄 - PINK 桃	107.05 $\Omega$
-	-
-	-
-	-



INS. TEST 絶縁性能 1890 V 1min

耐電圧	1500 V 1分間
絶縁抵抗	> 100 M $\Omega$ 以上

絶縁電圧	> 500 mV
振動(無負荷)	μ以下
騒音(無負荷)	m dB以下

その他  
測定条件

1. 抵抗値は=イ=温度 20℃
2. 電動機特性試験は電動機がHOT状態(無負荷ならし運転5分間)にて測定のこと。

絶縁電圧

	50Hz	60Hz	タップ	コンデンサ
C	V以下	V以下		$\mu$ F
C	V以下	V以下		$\mu$ F

端子	色	接続	色	接続	色	接続	色	接続
W	白	共通	W	白	共通	W	白	共通
A	黄	共通	A	黄	共通	A	黄	共通
C	桃	共通	C	桃	共通	C	桃	共通

© SANYO 東京三洋電機株式会社

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลอกไปอื่น SANYO 東京三洋電機株式会社 เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

電動機明細書 (2)

1 PHASE INDUCTION MOTOR LOAD CHARACTERISTICS

TYPE FC6S-51F5P  
C= 3.5 microF  
AT= 24.0 °C

DATE 1984.11.27  
NAME T.SHINOZAKI

SA-106B, SA-126B, SA165B

CHARACTERISTICS (1)

V=220[V]

Hz	NO. LOAD		FULL LOAD							B. D. T		LOCK		
	Ic (A)	Pi (W)	Ic (A)	Pi (W)	N (rpm)	P.F (%)	E.F (%)	T (Kocm)	Po (W)	TB (Kocm)	Ic (A)	Pi (W)	TS (Kocm)	
50	0.296	64.2	0.573	126.3	771	100	43.5	6.933	54.9	7.250	0.755	164.3	4.210	

CHARACTERISTICS (2)

	Hz	50				60			
		220		220					
		TAP Hi		LoI					
NO. LOAD	Ic (A)	0.296±10%	0.238±10%	±10%	±10%	±10%	±10%	±10%	±10%
	Pi (W)	64.25±15%	50.26±15%	±15%	±15%	±15%	±15%	±15%	±15%
FULL LOAD	Ic (A)	0.573±10%	0.525±10%	±10%	±10%	±10%	±10%	±10%	±10%
	Pi (W)	126.3±15%	114.4±15%	±15%	±15%	±15%	±15%	±15%	±15%
	T(Kocm)	6.933±15%	4.536±15%	±15%	±15%	±15%	±15%	±15%	±15%
	N (rpm)	771	630						
B. D. T	TB(Kocm)	6.162ABOV	3.946ABOV	ABOV	ABOV	ABOV	ABOV	ABOV	ABOV
LOCK	Ic (A)	0.755±10%	0.603±10%	±10%	±10%	±10%	±10%	±10%	±10%
	Pi (W)	164.3±15%	132.2±15%	±15%	±15%	±15%	±15%	±15%	±15%
	TS(Kocm)	3.579ABOV	2.059ABOV	ABOV	ABOV	ABOV	ABOV	ABOV	ABOV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

電動機明細書 (3)

受

	種類	型名又は材質	大きさ	潤滑剤
荷側	ボルト・ナット	G201-DDU CMR		NS7 (KGREAS-00)
負荷側	ボルト・ナット	G201-DDU CMR		NS7 (KGREAS-00)

取組

名称	材料(名称)	備考
ニズ処理	*VANIS-00 or 10	

理

ボルトナット部		1	ネジロック2号にてシール検査	TKS-
インロー部		2	防錆剤 (TES-A-087)	
シャフト部 (Dを除く)		3	防錆グリース	
ファンボス部	3	4	シリコンシーラント (KE 45 RTV)	
ロータ外周	2	5	ニボナ 2000 又は	
ブラケット部		6	黒染処理	
ステータ部		7	塗装	
ブラケット合せ部	4	8		
		9		
		10		
		11		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

鉄心 STATOR CORE ROTOR CORE

	固定子鉄心	回転子鉄心
コア記号	FC6-S	FC-R12-48
外径 D <sub>1</sub> (mm)	∅140	∅138
内径 D <sub>2</sub> (mm)	∅80	∅12
厚さ L (mm)	31	30
溝数 (Number of slots)	36	48
空隙長 (mm)	0.35	
(固定子内径) <sup>2</sup> × 厚さ	1198400 mm <sup>2</sup>	
材質及び厚さ	*H60-01	tD.5
正味鉄心重量	2.475 kg	
溝形状	オ-7 <sup>2</sup>	

回転子巻線 カゴ型

線径寸法 (断面積 × 長さ)	16.43 mm <sup>2</sup> × 31.01 mm
インドリング中心径・巾・厚さ	∅65.4 · 12 · 3
スキュー・ピッチ	一次換算 1.125 二次 1.5
溝材料質	JIS H 2102 1種・特許

(\*D1C-AL-00)

← (STATOR ID) × THICKNESS

← CORE (NET WT)

OPEN

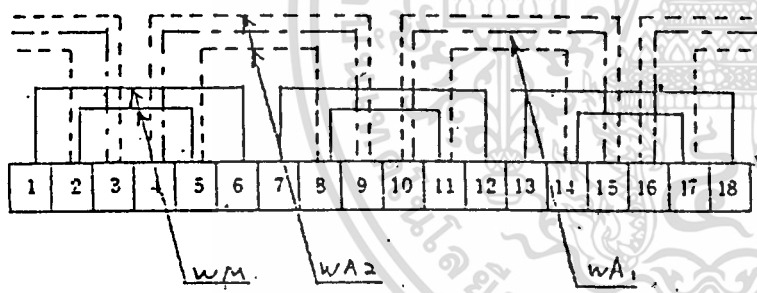
鉄心溝 STATOR SLOT AREA 固定子溝面積 91.3 mm<sup>2</sup> ROTOR SLOT AREA 回転子溝面積 16.43 mm<sup>2</sup>

固定子巻線 WIRE main winding, Auxiliary auxiliary

	主巻線/巻線	補助巻線/巻線	補助巻線/巻線	巻線	巻線
線種	IPEW-TS	特 IPEW-TS	特 IPEW-TS	TYPE	
線径 (mm)	∅0.29	∅0.29	∅0.26	DIAMETER	
巻数	150 <sup>T</sup> - 220 <sup>T</sup>	125 <sup>T</sup>	150 <sup>T</sup> - 175 <sup>T</sup>	NO. TURN	
重量 (kg)	0.278	0.087	0.166	WT.	

固定子巻線分布図溝数 (Number of slots)

(Section) of Total wire (Slot 断面積 91.3 mm<sup>2</sup> = 算出) SPACE FACTOR

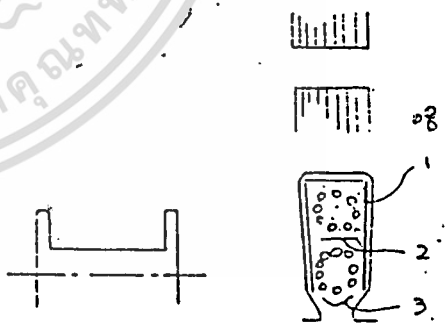


Area of slot

溝	占領率係数
1	27.83
2	27.71
3	27.22

固定子巻線絶縁材料

名称	材質
1 スロット絶縁紙	*FILM - PET.
2 層間絶縁紙	*BOARD - PRES + *FILM - PET
3 ウェッジ	*FILM - PET



均流温度上昇

可成数 (Hz)	50	60
電圧 (V)		
電流 (A)		
巻線温度 (°C)		
巻線温度 (°C)		
可成電流 (A)		
OFF		ON

# 1 PHASE INDUCTION MOTOR LOAD CHARACTERISTICS

TYPE FC6S-51F5P  
 C= 3.5 microF  
 AT= 24.0 °C

DATE 1984.11.27  
 NAME T. SHINOZAKI

## LOAD TEST

TAP	Hz	V	Pi	Ic	Im	Ia	Va	Vc	N	F.F
		(V)	(W)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(rpm)	(%)
Hi	50	220	64.25	0.296	0.309	0.433	303	389	989	98.8
Lo1	50	219	50.26	0.238	0.302	0.375	170	335	985	96.5

## LOAD TEST

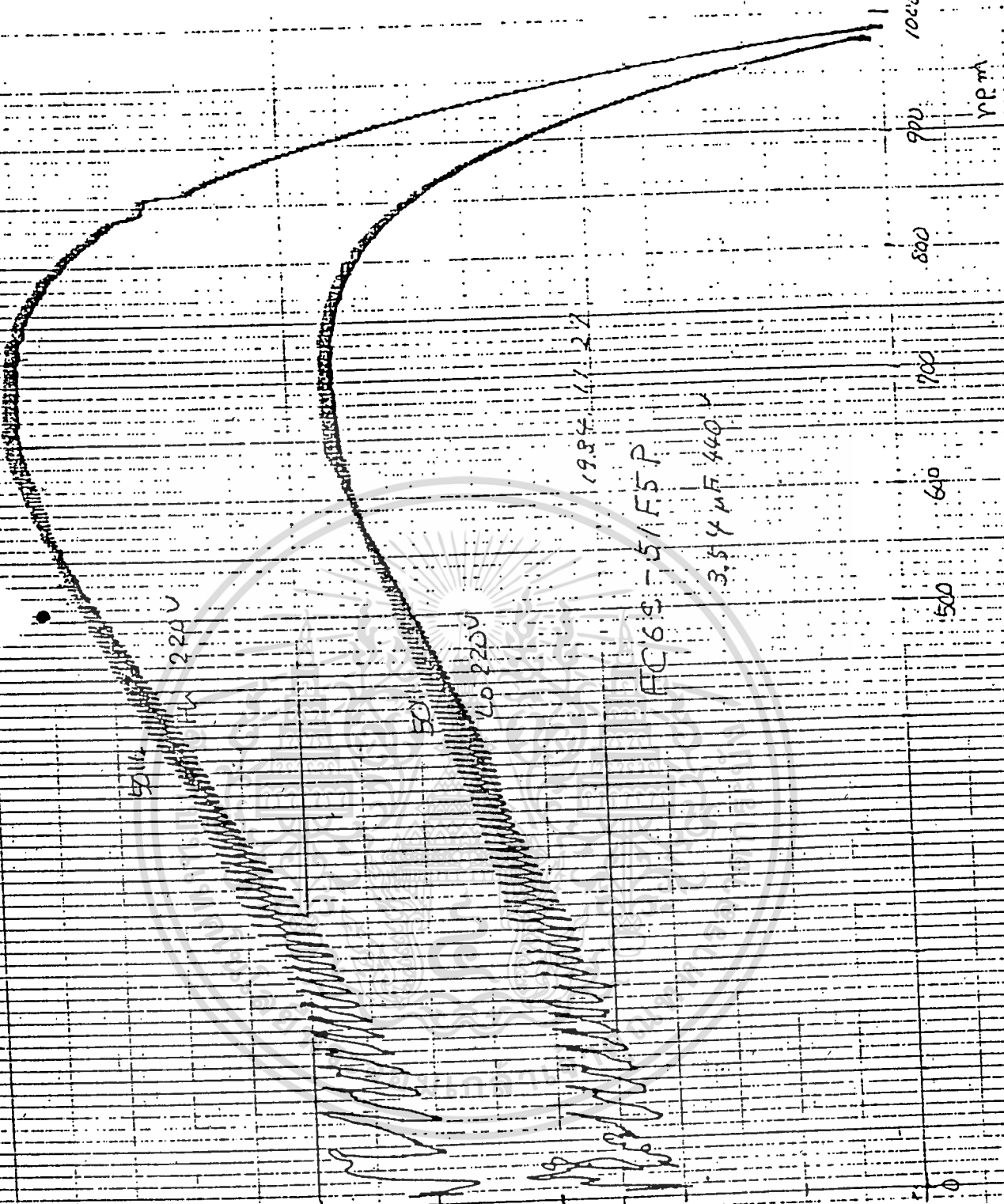
TAP	Hz	V	T	Pi	Ic	Im	Ia	Va	Vc	N	Po	E.F	P.F
		(V)	Kocm	(W)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	rpm	(W)	(%)	(%)
Hi	50	220	0.464	70.0	0.321	0.291	0.423	299	379	980	4.67	6.67	99.3
Hi	50	220	6.581	119.8	0.543	0.387	0.334	222	299	806	54.4	45.5	100
Hi	50	220	7.236	136.9	0.623	0.493	0.305	188	273	701	52.1	38.0	99.8
Hi	50	220	7.097	147.2	0.671	0.567	0.289	165	259	606	44.2	30.0	99.5
Hi	50	220	6.653	154.6	0.708	0.628	0.279	145	250	503	34.3	22.2	99.2
Hi	50	220	6.068	159.5	0.732	0.673	0.274	129	245	400	24.9	15.6	98.9
Hi	50	220	5.571	162.5	0.747	0.704	0.271	116	243	302	17.3	10.6	98.7
Hi	50	220	5.051	164.5	0.757	0.727	0.271	106	243	207	10.7	6.53	98.7
Hi	50	220	4.451	165.4	0.762	0.743	0.271	98	243	101	4.62	2.79	98.6
Lo1	50	220	0.591	55.6	0.261	0.294	0.369	165	330	969	5.88	10.6	97.1
Lo1	50	219	4.382	93.7	0.434	0.370	0.319	123	285	801	36.0	38.5	98.6
Lo1	50	219	4.642	107.3	0.494	0.440	0.304	105	271	702	33.5	31.2	99.3
Lo1	50	219	4.458	116.6	0.535	0.497	0.295	91	263	600	27.5	23.6	99.6
Lo1	50	219	4.106	122.5	0.561	0.537	0.289	81	258	504	21.3	17.4	99.9
Lo1	50	219	3.672	126.4	0.579	0.567	0.286	73	255	407	15.4	12.2	99.9
Lo1	50	219	3.316	129.2	0.591	0.590	0.285	66	254	305	10.4	8.04	99.9
Lo1	50	219	2.951	131.0	0.599	0.606	0.284	62	253	202	6.12	4.67	100
Lo1	50	219	2.768	132.0	0.604	0.616	0.284	58	253	102	2.90	2.20	99.9

## LOCK TEST

TAP	Hz	V	Pi	Ic	Im	Ia	Va	Vc	P.F	T
		(V)	(W)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(%)	(Kocm)
Hi	50	220	164.3	0.755	0.745	0.273	90	245	98.9	4.210
Lo1	50	219	132.2	0.603	0.619	0.286	55	255	100	2.422

kg/cm

8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

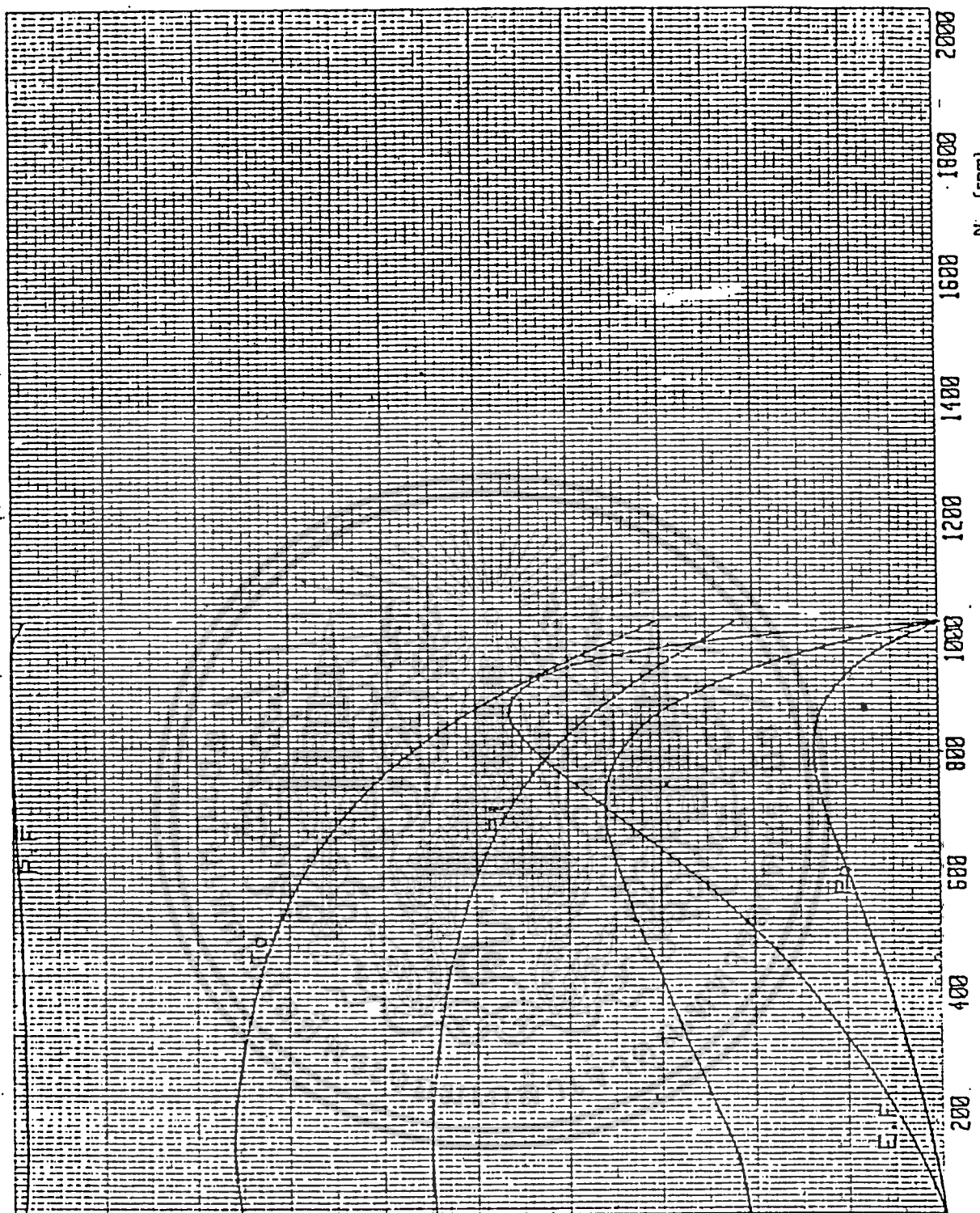


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ในทางอื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LOAD CHARACTERISTICS

TYPE FCBS-S1FSP  
 Hz 50 C 3.5 (microF)  
 TAP H1 VOLT 220 (V)

F.F. (%)	(W)	A.	(W)	(kgcm)
100	300	1.00	400	20
90	270	0.90	360	18
80	240	0.80	320	16
70	210	0.70	280	14
60	180	0.60	240	12
50	150	0.50	200	10
40	120	0.40	160	8.00
30	90.0	0.30	120	6.00
20	60.0	0.20	80.0	4.00
10	30.0	0.10	40.0	2.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

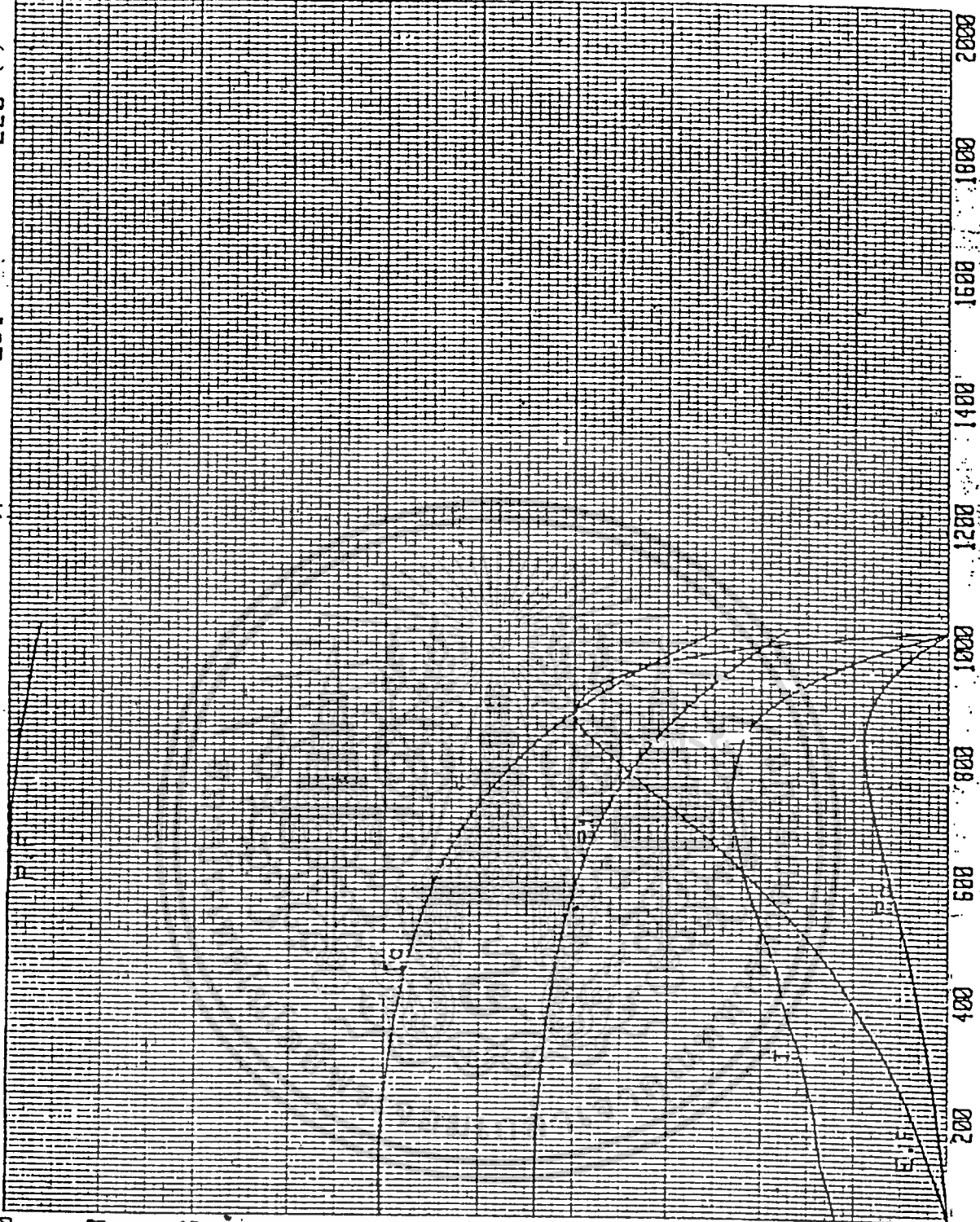


TYPE FC6S-51F5P

Hz 50 C 3.5 (microF)  
TAP Lo1 VOLT 220 (V)

LOAD CHARACTERISTICS

(%)	(W)	(A)	(W)	(kg.cm)
100	300	1.00	400	20
90	270	0.90	360	18
80	240	0.80	320	16
70	210	0.70	280	14
60	180	0.60	240	12
50	150	0.50	200	10
40	120	0.40	160	8.00
30	90.0	0.30	120	6.00
20	60.0	0.20	80.0	4.00
10	30.0	0.10	40.0	2.00



SANYO 東京三洋電機株式会社

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ファンモータ実負荷試験

品名 エアコン制御

No. \_\_\_\_\_

氏名 篠崎

昭和59年10月17日

モータ機種名  
FC6S-51F5P

品料番号

仕様

WM  $\phi$ 0.29 150-280

コンデンサ  $\mu$ F

機種名  
SA-165BM5-T

注・量・生

WA1  $\phi$ 0.29 0-125

始動コンデンサ  $\mu$ F

WA2  $\phi$ 0.26 150-175

始動リレー

フナクダ

実負荷特性  $H_i$  3.5  $L_o$  °C

電圧 (V)	50Hz						50-60Hz					
	$I_c(I)_A$	$I_w(I)_A$	$I_a(I)_A$	$V_c(L)_V$	$P_i W$	R.P.M.	$I_c(I)_A$	$I_w(I)_A$	$I_a(I)_A$	$V_c(L)_V$	$P_i W$	R.P.M.
198	0.559	0.429	0.274	248	111	714	0.449	0.436	0.263	239	96	55
220	0.575	0.410	0.321	288	127	775	0.513	0.442	0.298	269	113	63C
242	0.588	0.392	0.370	332	144	821	0.540	0.451	0.335	302	130	699

温度上昇 increase of temperature 巻線 temp. °C, その他 deg (°C)

電圧 (V)	注	WM	WA1	WA2	巻線温度	その他	電圧 (V)	注	WM	WA1	WA2	巻線温度	その他
198		14.8	52	125.9	52	17.5	220		46.58	130.7	24.5	23.5	
		= 45.1 degree		41.3 degree		-			58.0	52.8	-		

実負荷  $\phi$  beyond 21.3 37.96 108.3 52, 23.0°C

電圧	V	C	V	C
50Hz				
60Hz				
平均電圧	V	50-60Hz		
絶縁抵抗	M $\Omega$			
空電圧	V	50-60Hz		

特記事項

モータ結線 (巻線方式)

## กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จจุลวงไปได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่านและหน่วยงานหลายฝ่าย จึงขอกล่าวนามมา ณ ที่นี้เพื่อแสดงความขอบคุณ

1. ผศ. ทองใบ อรรถเศรฐ์ ในการให้คำปรึกษาและแนะนำแนวความคิดต่างๆ ที่ยังให้ความช่วยเหลือในด้านอื่นๆในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้
2. ผศ. ศุภี บรรจงจิตร ในการให้คำปรึกษาและแนะนำแนวความคิดต่างๆ ที่ยังให้ความช่วยเหลือในด้านอื่นๆในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้
3. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน ในการให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และบุคลากร
4. บริษัทชั้น โยยูนิเวอร์แซลอิเล็กทริก จำกัด ในการให้ทุนและมอบเตอร์ตัวอย่างรวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่ ซึ่งช่วยในการออกแบบมอเตอร์ได้เป็นอย่างมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. Bhag S. Guru, "Two-equation analysis of a capacitor motor by cross field theory" , Electric Machine And Electro-Mechanics, Vol .2, No.2, Jan-Mar 1978, -pp.147-153
2. Bhag S. Guru & D. Torrey, "Performance calculations on two-speed shunted capacitor motors by cross-field theory", Electric Machines And Electro-Mechanics, Vol.1, No.4, 1977, pp.315-324
3. P.H. Trickey, "Capacitor motor performance calculations by cross-field theory", AIEE Trans., Feb 1957, pp.1547-1552
4. A.K. Sawhney, "A Course in Electrical Machine Design", Dhanpat Rai & Sons, 1128 p., 1983
5. Cyril G. Veinott, "Theory and Design of Small Induction Motors", McGraw-Hill Book Company, Inc., 477 p., 1959

