



ปีการศึกษา 2531

เขตเทศบาลนครเชียงใหม่

โดย

นายประยุทธ์

เจริญธรรม

28.1137

น.ส. สุกัลยา

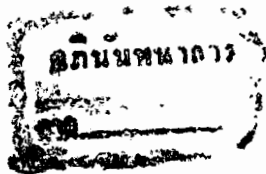
ณัฐพลวัฒน์

28.1268

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ. ทองใบ

อรุณไพรัช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

023218

10.ลค.ว532

เซตเดดโพลมอเตอร์

ปรยุกช เจริญธรรม
สกุลยา ณัฐพลวัฒน์
ผศ. ทองใบ อรรถเศรษฐ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2531

บทคัดย่อ

ในบรรดามอเตอร์เหนี่ยวนำ ทังเฟส เซตเดดโพลมอเตอร์ (SHADED - POLE MOTOR) นับว่าเป็น ชนิดที่มีการศึกษาน้อยที่สุด ดังนั้นจึงได้จัดทำปริญานินพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา ได้ศึกษาถึงทฤษฎีต่างๆ และการคำนวณ คุณสมบัติของมอเตอร์ชนิดนี้ ที่ ความเร็วต่างๆ โดยอาศัยทฤษฎี รีโวลวี่งฟิลด์ (revolving field theory) เป็นหลักในการคำนวณ ได้รวบรวมบทความหลายๆบทความจาก วารสาร IEEE ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โลอตัส 123 (lotus 123) ในการคำนวณคุณสมบัติ และออกแบบบางส่วน พร้อมทั้งเปลี่ยนแปลง พารามิเตอร์ ที่มีผลทำให้คุณสมบัติของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไป สุดท้ายมีการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลที่ได้จากการทดสอบต้นแบบจริง

SHADED - POLE MOTOR

PORAYUTH CAIROENDIHAM

SUKANLAYA NUTTAPULWAT

ASSISTANT PROFESSOR THONGBAI ATTASETH

ADVISOR

1988

Abstract.

All of single phase induction motor, SHADED POLE MOTOR is a type which has minimum study. Thus, this thesis was made. Study about various theory and calculate performance of motor at vary speed. Revolving field theory is a main theory for calculation. Collected many paper from IEEE. Used LOTUS 123 for calculation and design some part. Altogether, vary parameter which can make performance to change. At last, had compare between result of calculation with data test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	เรื่อง	หน้า
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการของ เซกเตคโพลมอเตอร์	3
	2.1 สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	
	จากทฤษฎีสถนามแม่เหล็กขวง	4
	2.1.1 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส	4
	2.1.2 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	7
	2.1.2.1 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขลวดคตัวนำหลัก	7
	2.1.2.2 สนามแม่เหล็กที่สร้างโดยโรเตอร์	9
	2.1.2.3 สนามแม่เหล็กหมุน	9
	2.1.3 การเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส	9
	2.2 สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	
	จากทฤษฎีสถนามแม่เหล็กหมุน	11
	2.3 ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของ เซกเตคโพลมอเตอร์	13
	2.4 การเริ่มหมุนของ เซกเตคโพลมอเตอร์	14
	2.5 ทฤษฎีทั่วไปของ เซกเตคโพลมอเตอร์	16
บทที่ 3	การคำนวณคุณสมบัติและการสร้างโปรแกรม	22
	3.1 หลักการออกแบบ	22
	3.1.1 หลักการออกแบบทั่วไปของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส	22
	3.1.2 การพิจารณาและคำนวณค่าลิกเกจรีแอกแตนซ์	28
	3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์เซกเตคโพลมอเตอร์	30
	3.2.1 การพิจารณาความยาวของแสตค	30
	3.2.2 การพิจารณาจำนวนรอบของขลวดหลักที่ใช้พัน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3	การพิจารณาขนาดของ ซิลวาคัทวันนำหลัก	32
3.2.4	การพิจารณาความยาวของ ช่องอากาศ	32
3.2.5	การพิจารณาพื้นที่หน้าตัดของ เซคคิง คอยล์	32
3.2.6	การคำนวณค่าแรงบิดที่เบรคควาน์	33
3.3	การคำนวณคุณสมบัติของ เซคเคคโหลมอเตอร์	34
3.3.1	การคำนวณค่ารีซีสแตนซ์	34
3.3.2	การคำนวณค่ารีแอคแตนซ์	35
3.3.3	การคำนวณคุณสมบัติทั้งหมดของมอเตอร์	36
3.4	การออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์	37
3.4.1	หลักการ	37
3.4.2	โพลชาร์ตของการออกแบบและการคำนวณคุณสมบัติ	38
3.4.3	รายละเอียดโปรแกรม	42
3.4.4	กราฟแสดงผลการคำนวณที่ความเร็วต่าง ๆ	57
บทที่ 4	ผลการทดสอบ	66
4.1	ผลของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่มีต่อคุณสมบัติของมอเตอร์	66
4.2	การเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลที่ได้จากการทดสอบจริงจากมอเตอร์ต้นแบบ	75

บทที่ 5	บทสรุปและวิจารณ์	84
---------	------------------	----

ภาคผนวก ก. สำระสำคัญของเซคเคคโหลมอเตอร์

ภาคผนวก ข. การใช้ Z - TEST

ภาคผนวก ค. รายละเอียดของมอเตอร์ต้นแบบ

ภาคผนวก ง. กราฟ ตาราง และวงจรรสมูลย์ที่ใช้ประกอบการออกแบบ

สารบัญรูป

		หน้า
รูป 2.1	ระบบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสอง เฟส	5
รูป 2.2	สนามแม่เหล็กหมุนของ มอเตอร์เหนี่ยวนำสอง เฟส	5
รูป 2.3	สนามแม่เหล็กของ มอเตอร์เหนี่ยวนำ เฟสเดียว	8
รูป 2.4	การเปรียบเทียบสนามแม่เหล็กหมุนระหว่างมอเตอร์เฟสเดียวกับ มอเตอร์หลายเฟส	10
รูป 2.5	กราฟแสดงถึง แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	11
รูป 2.6	คลื่นหยุดนิ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด ซึ่ง เกิดจากการรวมคลื่นหมุน 2 ลูก ที่มีขนาดคงที่แต่ทิศทาง ตรงข้ามกัน	13
รูป 2.7	เซคเคตโพลมอเตอร์	13
รูป 2.8	ขั้วแม่เหล็กของ เซคเคตโพลมอเตอร์	14
รูป 2.9	การเคลื่อนของ แกนของ ขั้วแม่เหล็กจากส่วนอัน เซคเคตไปส่วนเซคเคต	15
รูป 2.10	กลุ่มของ ลีแกฟลักซ์ในสเตเตอร์หึ่ง 4 กลุ่ม	17
รูป 2.11	วงจรรวมมูลย์ทางด้านโรเตอร์	18
รูป 2.12	วงจรรวมมูลย์ของ เซคเคตโพลมอเตอร์จากทฤษฎีสานแม่เหล็กขวาง	19
รูป 2.13	การแปลง รูปโดยใช้หลักการที่-เซอร์กิต	19
รูป 2.14	วงจรรวมมูลย์ที่ได้จากการใช้หลักการที่-เซอร์กิตแปลง รูป 2.6	20
รูป 2.15	วงจรรวมมูลย์ของ เซคเคตโพลมอเตอร์จากทฤษฎีสานแม่เหล็กหมุน	21
รูป 3.1	โครงสร้าง ของ สลอตที่แสดง ถึง ลีแกฟลักซ์	28
รูป 3.2	การเกิดขิกแซก ลีแกฟ รีแอกแตนซ์	30
รูป 3.3	โครงสร้าง ของ แสตก	31
กราฟ	แสดง คุณสมบัติของ 1 ขดเซคคตัง	58
กราฟ	แสดง คุณสมบัติของ 2 ขดเซคคตัง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟ	แสดงผลของการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของ ขค.เซคคิง	67
กราฟ	แสดงผลของการเปลี่ยนจำนวนรอบของ ขค.ลวดคัตว์นำหลัก	71
กราฟ	เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลที่วัดได้จากการทดสอบ มอเตอร์ชนิด 1 ขค.เซคคิง	77
กราฟ	เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลที่วัดได้จากการทดสอบ มอเตอร์ชนิด 2 ขค.เซคคิง	79



สารบัญตาราง

เรื่อง

หน้า

ตาราง	แสดงผลการคำนวณโดยใช้โลตัส 123	75
ตาราง	แสดงผลที่ได้จากการทดสอบจริงจากมอเตอร์ต้นแบบ	76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

ACT	=	น้ำพักเบี่ยงเฉลี่ยของขดลวดสเตเตอร์แต่ละสล็อต
Am	=	พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำหลัก
B	=	ความหนาแน่นเส้นฟลักซ์แม่เหล็กของแกนเหล็ก
Bav	=	ภาระจำเพาะทางแม่เหล็ก
C	=	จำนวนตัวนำที่มีอยู่จริง
Cn	=	จำนวนตัวนำที่ยังผลของเฟสหลักที่ ฮาร์โมนิก n
Cn'	=	จำนวนตัวนำที่ยังผลของเฟสช่วยที่ ฮาร์โมนิก n
Co	=	สัมประสิทธิ์เอาท์พุท
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของสเตเตอร์
De	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของสเตเตอร์ ที่จุดกึ่งกลางของสล็อต
Di	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของสเตเตอร์
Dr	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์
E	=	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
Eff.	=	ประสิทธิภาพ
F1	=	แรงเคลื่อนแม่เหล็กของขดลวดตัวนำหลัก
F2	=	แรงเคลื่อนแม่เหล็กของขดลวดตัวนำช่วย
Im	=	กระแสในขดลวดตัวนำหลัก
Is, Ia	=	กระแสในเซตตั้งคอยล์
Jm	=	ความหนาแน่นกระแสของขดลวดตัวนำหลัก
Kp	=	แฟกเตอร์ของฟลักซ์ต้านปรมาณู
Ks1	=	ค่าคงที่ของการใส่ขดปรมาณูลงสล็อต
Ks2	=	ค่าคงที่สล็อตของเซตตั้งคอยล์ที่เกิดขึ้นภายในช่องสล็อต
Ks''	=	ค่าคงที่โรเตอร์สล็อต
Kw	=	แฟกเตอร์การกระจายของขดลวดหลัก
Kwm	=	แฟกเตอร์การกระจายของขดลวดตัวนำช่วย
L	=	ความยาวของแกนเหล็กสเตเตอร์ (สเตต)
Nm	=	จำนวนรอบที่ใช้พันของขดลวดตัวนำหลัก
Na	=	จำนวนรอบที่ใช้พันของเซตตั้งคอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P	=	จำนวนเข้าของเซตเตตโพลมอเตอร์
P.F.	=	พาวเวอร์แฟกเตอร์
Pm	=	ค่าความเ้าของแม่เหล็ก
Q	=	พิกัด VA ของมอเตอร์
R	=	ความต้านทานของขดลวดตัวนำด้านปฐมภูมิ
Ra	=	ความต้านทานของเซตตั้งคอยล์
Rn	=	ความต้านทานของโรเตอร์ที่ฮาร์โมนิก n
Rs	=	ค่ารีลักแตนซ์ของเซตตั้งคอยล์
S	=	อัตราส่วนความเร็วมอเตอร์ต่อความเร็วซิงโครนัส
S1	=	จำนวนสเตเตอร์สล็อต
Sa	=	พื้นที่หน้าตัดของเซตตั้งคอยล์
Sc	=	พื้นที่หน้าตัดของแกนตัวนำโรเตอร์
Sr	=	พื้นที่หน้าตัดของวงแหวนที่โรเตอร์
Ss	=	จำนวนของตัวนำที่โรเตอร์
SK	=	ค่าคงที่ของการสควที่โรเตอร์
Tbd1	=	ค่าแรงบิดที่เบรคดาวน
Tf"	=	โรเตอร์ทูมเพช
V	=	พิกัดตักดาไฟฟ้าที่ใช้งาน
X1', X2', X3' X4'	=	ค่าลิกเกจรีแอกแตนซ์ที่เกิดจาก $\phi_1', \phi_2', \phi_3', \phi_4'$
Xmm	=	มิชชวลรีแอกแตนซ์ที่ฮาร์โมนิก n
Xn'	=	โรเตอร์ลิกเกจรีแอกแตนซ์ที่ฮาร์โมนิก n
uc	=	ภาวะจำเพาะทางไฟฟ้า
dy1	=	ความลึกขงสเตเตอร์นี้แข็ง
dy2	=	ความลึกของโรเตอร์นี้แข็ง
f	=	ความถี่ของไฟฟ้าที่ใช้
hp	=	กำลังเอาท์พุทในรูปของแรงม้า
la	=	ความยาวต่อรอบของเซตตั้งคอยล์
lg	=	ความยาวของแอร์แกบที่มิล
n	=	อันดับของฮาร์โมนิก
n _r	=	ความเร็วรอบของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n_s	=	ความเร็วเชิงโคโรนา
rpm.	=	ความเร็วรอบต่อวินาที
s.f.	=	สแตกกิ้ง แฟกเตอร์
span1, span2	=	ค่าคงที่พอยล์สแปนของขดลวดตัวนำหลักและเซตตั้งคอยล์
t	=	ความหนาของแผ่นลามีเนทที่ใช้ประกอบเป็นสเตเตอร์
x_m	=	แมกนีโตซีรีแอกแตนซ์
ϕ	=	เส้นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดตัวนำหลักทั้งหมด
ϕ_1'	=	เส้นฟลักซ์รั่วไหลที่คล้องเพียงขดปฐมภูมิเท่านั้น
ϕ_2'	=	เส้นฟลักซ์รั่วไหลที่คล้องเพียงเซตตั้งคอยล์เท่านั้น
ϕ_3'	=	เส้นฟลักซ์รั่วไหลที่คล้องเซตตั้งคอยล์ 1 ขด ปฐมภูมิ 1 ขด
ϕ_4'	=	เส้นฟลักซ์รั่วไหลที่คล้องเซตตั้งคอยล์ 1 ขด ปฐมภูมิ 2 ขด
ϕ_b	=	แมกเนติก บริดจ์ ฟลักซ์
ϕ_s	=	เส้นฟลักซ์แม่เหล็กของเซตตั้งคอยล์
μ	=	ความซึมซาบได้ของตัวกลาง
μ_r	=	อัตราส่วนความซึมซาบได้ของสารกับที่สูญญากาศ
τ_p	=	ระยะห่างระหว่างขั้วแม่เหล็ก
τ_z	=	ซิกแซก สเตปไฟไนท์ เปอร์มีเช่
θ_m	=	มุมของส่วนที่ไม่ถูกบังด้วยเซตตั้งคอยล์
θ_s	=	มุมของส่วนที่บังด้วยเซตตั้งคอยล์
θ_{sh}	=	มุมของโรเตอร์สคว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การออกแบบมอเตอร์เพื่อให้ใช้งานได้ตามความต้องการนั้น เป็นเรื่องที่ยากยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส ซึ่งมีความแตกต่างจากมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสอยู่หลายประการ การศึกษามอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสมีทฤษฎีที่ใช้งานอยู่ 2 ทฤษฎี ได้แก่ ทฤษฎีครอสฟิลด์ (cross field theory) และทฤษฎีรีโวลวี่ฟิลด์ (revolving field theory) สำหรับเซดเดดโพลมอเตอร์ (shaded pole motor) ซึ่งเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสชนิดหนึ่งนั้น ใช้ทฤษฎีรีโวลวี่ฟิลด์ในการคำนวณ โดยการคำนวณคุณสมบัติของเซดเดดโพลมอเตอร์ถือว่าเป็นหลักสำคัญในการศึกษาโครงงานนี้ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 ในการคำนวณมิได้นำค่าสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็กมาใช้ แต่ให้ความสำคัญกับค่าลี้กเจอร์แอคแตนซ์ (leakage reactance) ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในวงจรสมมูลของเซดเดดโพลมอเตอร์

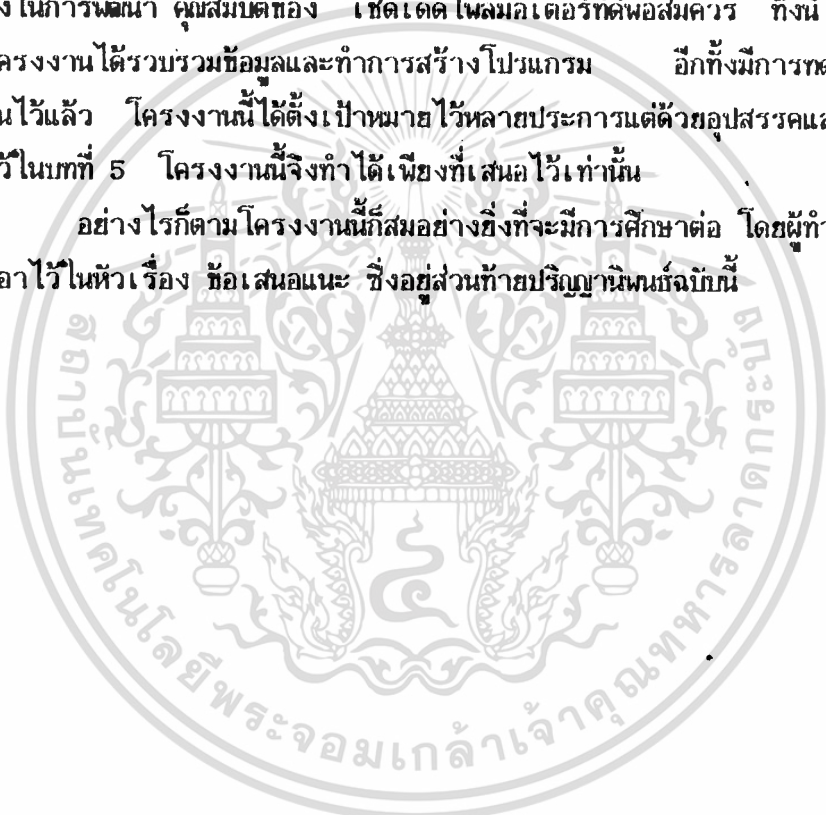
โดยทั่วไปเซดเดดโพลมอเตอร์มีที่ใช้งานมาก เนื่องจากราคาถูก โครงสร้างง่าย แต่ไม่มีความสามารถทำงานกับภาระที่ต้องการแรงบิดมากๆ ได้ ดังนั้นในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หรือในเรื่องของการพัฒนาเทคโนโลยี จึงไม่ค่อยเห็นความสำคัญในการศึกษาเรื่องนี้เท่าใดนัก เพราะฉะนั้นโครงงานนี้ถือว่าเป็นโครงงานใหม่สำหรับประเทศไทย แต่ในระดับสากล นั้นมีการศึกษากันมากพอสมควร อาทิเช่น โดย H.Ooka ได้ศึกษาเรื่องนี้จนมีชื่อเสียง แม้กระทั่ง T.T. Shimkevicius ประเทศแคนาดา ได้ศึกษาจนยกเลิกการใช้เซดเดดคอล์ (shading coil) แต่อาศัยช่องว่างระหว่างอากาศ (air gap length) แตกต่างกันหลายๆส่วน หรือมองในลักษณะของสเตเตอร์ (stator) ที่ไม่สมมาตร ก็สามารถทำให้มอเตอร์นั้นเกิดแรงบิดได้ ทั้งนี้พื้นฐานความคิดและการคำนวณก็มาจากการศึกษา เซดเดดโพลมอเตอร์นั่นเอง

ในปฏิญานพิเศษฉบับนี้ กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้สำหรับการศึกษามอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส ทฤษฎีการทำงานของเซดเดดโพลมอเตอร์ ไว้ในบทที่ 2 ได้เสนอการวิเคราะห์และคำนวณคุณสมบัติต่างๆของแต่ละความเร็ว ส่วนในบทที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์บางตัวเพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ โดยสรุปอ้างอิงทฤษฎีใช้งานทั่วไป และบทความต่างๆ สุดท้ายมีการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดสอบจากมอเตอร์ที่ใช้งานจริง ซึ่งเป็นมอเตอร์ของพัดลม ผู้ทำโครงงานถือว่าเป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับการออกแบบมอเตอร์ที่จะต้องมีโปรแกรมการคำนวณที่แม่นยำสามารถจะแสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อการออกแบบเปลี่ยนแปลง

ค่าคุณสมบัติที่ความเร็วนั้นๆเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร อาทิเช่น เดิมออกแบบให้ความยาว แสตค (stack) 14 มม. จะได้ค่าแรงบิด 3 มิลลินิวตันเมตร ที่ความเร็ว 2600 RPM มีค่าแรงบิดที่เบรกดาวน์(brakedown torque) 5 มิลลินิวตันเมตร แต่ถ้าใช้ ค่าความยาว แสตคเป็น 7 มม. จะได้ค่าดังกล่าวเป็นอย่างไบบ้าง ส่วนเรื่องการออกแบบให้ได้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นนั้น ก็ได้เสนอไว้ในสาระสำคัญ เป็นการรวบรวมเอาจากบทความที่ได้มีการศึกษาไว้แล้ว การจะเพิ่มประสิทธิภาพของเซดเดดโพลมอเตอร์ มีส่วนประกอบหลายอย่าง เช่นการขยายส่วนของรีลักแตนซ์ออกเมนต์(reluctance augment) การเลือกใช้วัสดุที่นำมาทำเป็นสเตเตอร์ เป็นต้น .

ถึงแม้ว่าโครงการนี้จะไม่ได้ให้การออกแบบที่สมบูรณ์มากนัก แต่ก็สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนา คุณสมบัติของ เซดเดดโพลมอเตอร์ที่สพอสมควร ทั้งนี้ เพราะผู้ศึกษาโครงการได้รวบรวมข้อมูลและทำการสร้างโปรแกรม อีกทั้งมีการทดลองทำเป็นเบื้องต้นไว้แล้ว โครงการนี้ได้ตั้งเป้าหมายไว้หลายประการแต่ด้วยอุปสรรคและปัญหาดังกล่าวไว้ในบทที่ 5 โครงการนี้จึงทำได้เพียงที่เสนอไว้เท่านั้น

อย่างไรก็ตามโครงการนี้ก็สมอย่างยิ่งที่จะมีการศึกษาต่อ โดยผู้ทำโครงการได้กล่าวเอาไว้ในหัวเรื่อง ข้อเสนอแนะ ซึ่งอยู่ส่วนท้ายปฏิญานี้ฉบับนี้



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการของ เซคเคคโพลมอเตอร์

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว เป็นมอเตอร์ที่มีโครงสร้างและหลักการทำงานในการที่จะให้มันหมุนได้คล้ายกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส (polyphase induction) แต่ว่าประสิทธิภาพต่ำกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสในการใช้งานทดแทนกัน มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวต่างกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสคือ มอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสสามารถสตาร์ทได้ด้วยตัวของมันเอง ขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนั้นไม่สามารถสตาร์ทได้ด้วยตัวของมันเอง เหมือนมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส เนื่องจากที่สเตเตอร์ (stator) มีการพันขดลวดแบบเฟสเดียวและได้รับไฟจากไฟเฟสเดียวด้วย ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเป็นคลื่นรูปไซน์ (sine) ที่ขั้วแม่เหล็กกลับไปมาทุก ๆ ครึ่งรอบของคลื่นที่สเตเตอร์ ซึ่งไม่ใช่สนามแม่เหล็กหมุนที่ความเร็วซิงโครนัส (synchronous) เหมือนอย่างกับพวกที่พันแบบสองเฟสหรือสามเฟส จากเหตุผลนี้ทำให้เส้นแรงที่สลับไปมาไม่สามารถทำให้เกิดแรงบิดหมุนขณะที่โรเตอร์ (rotor) อยู่นิ่งเพื่อสตาร์ทด้วยตัวเองได้

อย่างไรก็ตามถ้าหากมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนั้นถูกกระทำด้วยแรงทางกล เช่น ใช้มือหมุนให้ส่วนของโรเตอร์หมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งแล้ว ย่อมทำให้เกิดแรงบิดและอัตราเร่ง เกิดขึ้นกับมอเตอร์นั้น มอเตอร์ก็จะหมุนได้อย่างต่อเนื่อง

การที่กล่าวว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวมีโครงสร้างและหลักการทำงานในการที่จะทำให้มันหมุนได้คล้ายกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสนั้นหมายความว่า มอเตอร์ชนิดนี้มีทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์ โดยที่สเตเตอร์มีการพันขดลวดตัวนำเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในช่วงเริ่มแรกหรือตลอดไป โดยอาศัยอุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ เช่น ตัวเก็บประจุ (capacitor) ขดทำให้เริ่มหมุน (starting winding) หรือทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไป ส่วนทางด้านโรเตอร์นั้นส่วนใหญ่เป็นแบบกรงกระรอก (squirrel cage) แต่อาจไม่ใช่ก็ได้ แต่ต้องสามารถทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในตัวเองได้เมื่อมีสนามแม่เหล็กหมุนผ่านตัวมัน เพื่อทำให้เกิดแรงบิดขึ้นได้

สำหรับการศึกษาและวิเคราะห์มอเตอร์เหนี่ยวนำนั้น ในกรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสโดยทั่วไป จะอธิบายและวิเคราะห์โดยทฤษฎีเดียวคือ ทฤษฎีสันแม่เหล็กหมุน (revol-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ving - field theory) ส่วนมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวในการวิเคราะห์นิยมใช้สองทฤษฎี คือ ทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุน และทฤษฎีสนามแม่เหล็กขวาง (cross-field theory) ซึ่งทฤษฎีทั้งสองนี้จะแสดงให้เห็นว่าทำไมขณะหยุดนิ่ง (standstill) จึงไม่มีสนามแม่เหล็กหมุน และไม่มีแรงบิดเกิดขึ้น รวมทั้งแสดงว่าสนามแม่เหล็กหมุนสร้างขึ้นได้อย่างไร และบอกอะไรเกี่ยวกับตัวมันบ้าง

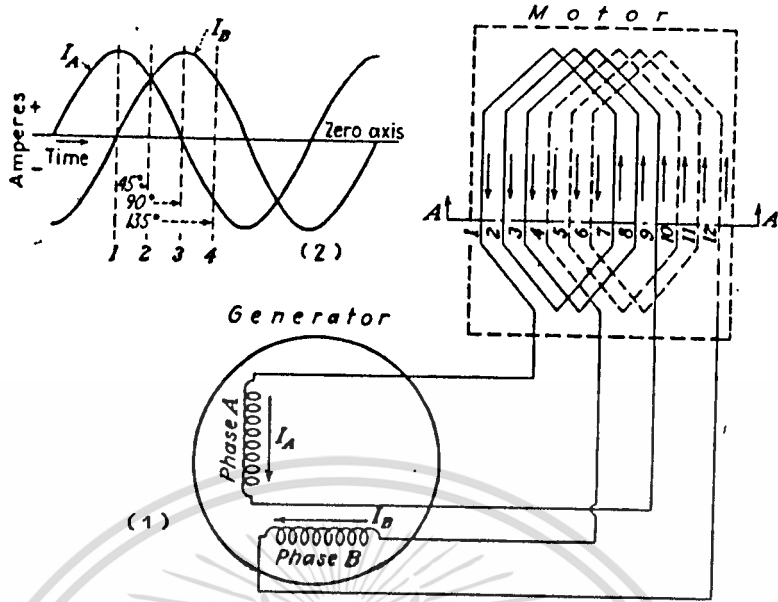
2.1 สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว จากทฤษฎีสนามแม่เหล็กขวาง

ในมอเตอร์ขนาดเล็กลักษณะนั้น ถึงแม้ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสจะใช้น้อยกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว แต่จะขออธิบายเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสก่อน ซึ่งในที่นี้จะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส เพราะว่าสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่าการอธิบายด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว และที่ไม่ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมาอธิบายก็เพราะว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสสามารถอธิบายได้ง่ายกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส นอกจากนั้นการอธิบายเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวในภายหลังจะตรงกว่าการเริ่มต้นอธิบายด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

2.1.1 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส

ประกอบด้วยวงจรที่แตกต่างกันทางไฟฟ้าสองวงจรหรือสองเฟส ให้ชื่อว่าเฟส A เฟส B โดยเฟสทั้งสองนี้จะก่อให้เกิดโวลเตจ (voltage) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่ต่างเฟสกัน 90° ถ้าต่อภาระทางไฟฟ้า (load) เข้ากับเฟสทั้งสองให้สมดุลกัน กระแสในเฟสทั้งสองจะสมดุลกัน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

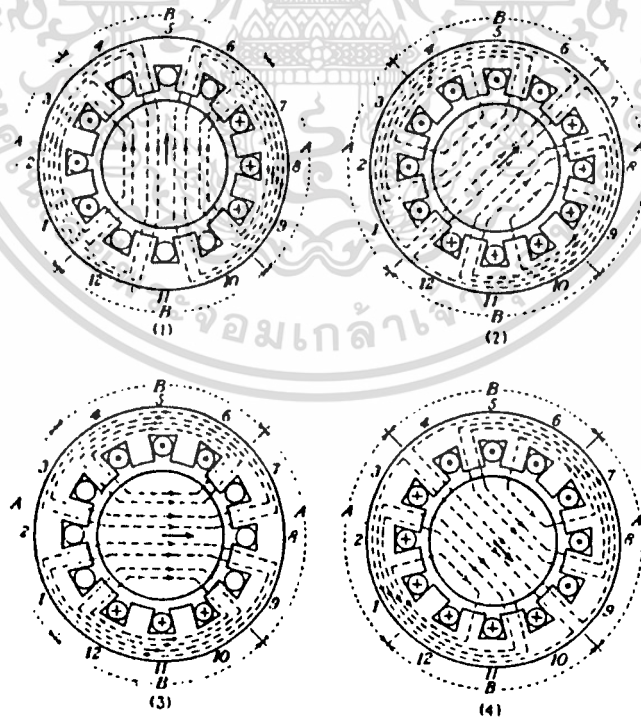
สำหรับสนามแม่เหล็กหมุนถูกสร้างขึ้นได้อย่างไรนั้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงถึงกระแสในขณะนั้นในตัวนำต่าง ๆ และสนามแม่เหล็กที่สัมพันธ์กัน ซึ่งถูกสร้างขึ้นในมอเตอร์ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน 4 ช่วง โดยสนามแม่เหล็กขณะนั้นถูกสร้างโดยกระแสในขดลวดทั้งสองเฟสที่ช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูป 2.1 ระบบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส

(1) ทิศของกระแสที่ไหลในขดลวด

(2) ความสัมพันธ์ของกระแสทั้ง 2 เฟส



รูป 2.2 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.2 (1) ที่เวลาขณะนี้ กระแสในเฟส A อยู่ที่ค่าบวกสูงสุด แต่ในเฟส B จะไม่มีกระแสไหล โดยสังเกตได้จากรูป 2.1 (2) ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสที่เวลานี้ แสดงได้ด้วยจุด (dot) และกากบาท (cross) ในรูป 2.2 (1) นี้มีจำนวนสล็อต (slot) 12 สล็อต ซึ่งเท่ากับจำนวนสล็อตในรูป 2.1 (1) และจากทิศทางการไหลของกระแสทั้งรูป จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นตั้ง แสดงด้วยเส้นประและมีทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กตามลูกศร

รูป 2.2 (2) ที่เวลาถัดมา 45 องศา กระแสในเฟสทั้งสองมีค่าบวก ถึงแม้ว่าจะไม่อยู่ที่ค่าสูงสุด แต่กระแสทั้งสองเฟสก็มีค่าเท่ากัน ซึ่งทิศทางของกระแสในคั่นนำแต่ละตัว แสดงได้ดังรูป ส่วนสนามแม่เหล็กหรือเส้นแรงแม่เหล็กที่ล้นนั้นแสดงด้วยเส้นประ แต่สนามแม่เหล็กนี้เคลื่อนที่โดยหมุนไปจากเดิม 45 องศา ในทิศตามเข็มนาฬิกา

รูป 2.2 (3) ที่ 90 องศา ในเวลาถัดมาเมื่อเทียบกับเวลาของรูป 2.2 (1) กระแสในเฟส A จะเป็นศูนย์ แต่กระแสในเฟส B มีค่าเป็นบวกสูงสุด ซึ่งสนามแม่เหล็กจะมีทิศทางดังรูป แต่หมุนไปอีก 45 องศา เมื่อเทียบกับรูป 2.2 (2)

รูป 2.2 (4) ที่ 135 องศา เมื่อเทียบกับเวลาของรูป 2.2 (1) กระแสในเฟส A และเฟส B มีค่าเท่ากันอีกครั้ง แต่มีทิศตรงกันข้าม โดยกระแสในเฟส A จะไหลในทิศตรงข้ามกับลูกศรรูป 2.1 (1) กระแสที่ไหลในแต่ละคั่นนำมีทิศดังรูป และจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา แต่สนามนี้จะหมุนไปอีก 45 องศาเมื่อเทียบกับรูป 2.2 (3) หรือ 135 องศาเมื่อเทียบกับรูป 2.2 (1)

สิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส ใ้แก่

- ก. ขดลวดของเฟสทั้งสองของมอเตอร์นั้นควรแยกจากกัน 90 องศาทางไฟฟ้า
- ข. แหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับของทั้งสองเฟสควรมีขนาดเท่ากัน และต่างเฟสกัน 90 องศา

ในมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสนั้น มีสนามแม่เหล็กต่างกันสองสนาม ซึ่งต่างเฟสกัน 90 องศา สนามแม่เหล็กอันหนึ่งถูกสร้างโดยขดลวดของเฟส A อีกสนามถูกสร้างโดยขดลวดของเฟส B ตามความเป็นจริงแล้วในช่วงเวลาต่าง ๆ นั้น สนามแม่เหล็กทั้งสองไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน เฉพาะผลลัพธ์เท่านั้นที่เกิดขึ้น ซึ่งผลลัพธ์นี้คือสนามแม่เหล็กหมุนซึ่งมีขนาดคงที่

จากหลักการอันนี้ เราสามารถแสดงได้ว่าในมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส สนามแม่เหล็กหมุนถูกสร้างขึ้นมาในทำนองเดียวกัน การวิเคราะห์เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสนี้ จะช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวได้ง่ายขึ้น

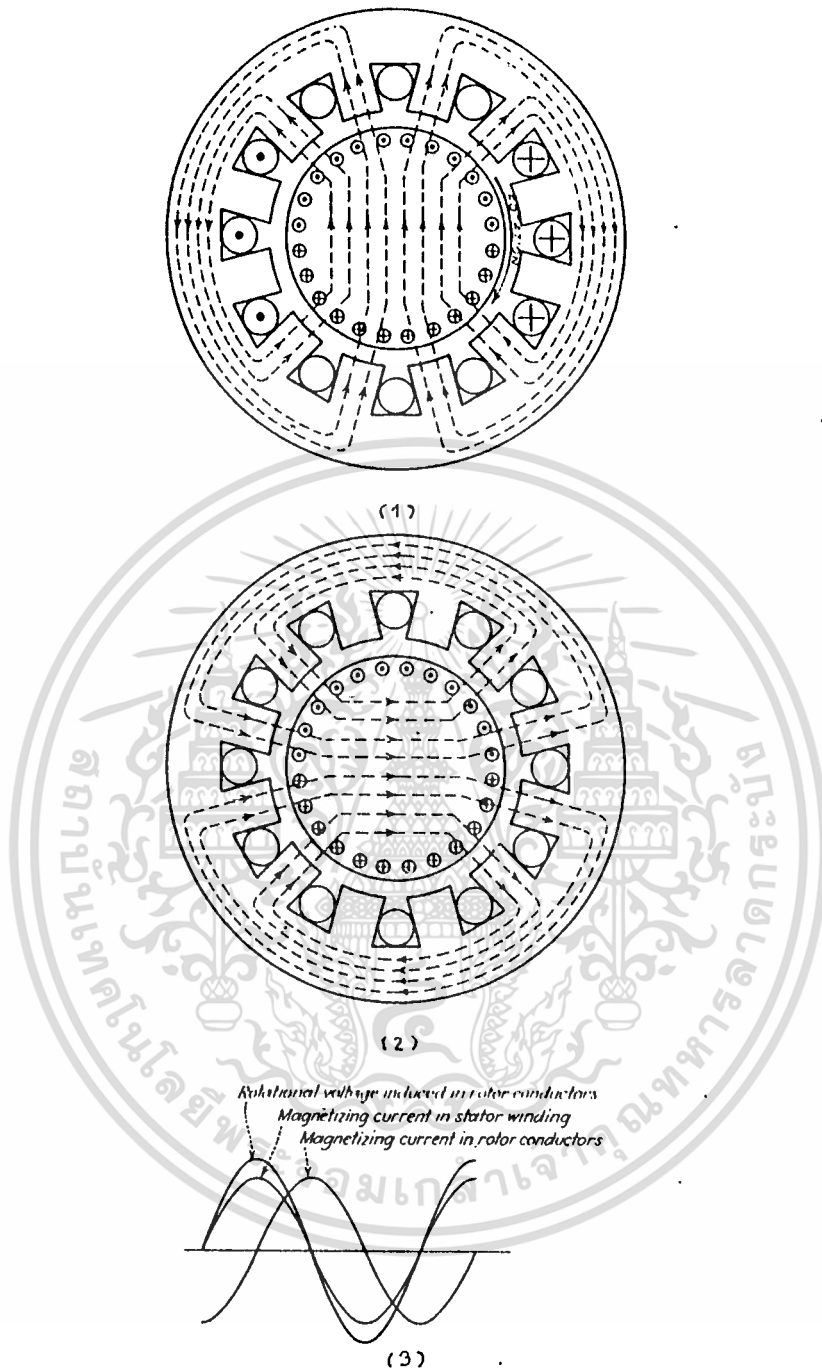
2.1.2 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

สมมติว่าขลวดของเฟส B ในมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสที่อธิบายไปแล้วนั้นถูกตัดทิ้งไป เราก็จะได้มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว ซึ่งแสดงได้ดังรูป 2.3 (1)

ในมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสที่เราศึกษาไปนั้น มีสนามแม่เหล็กประกอบ (component field) สองสนามที่อยู่หนึ่ง แต่มีการเปลี่ยนขนาด สนามแม่เหล็กประกอบทั้งสองนี้จะรวมกันก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กลัพธ์หนึ่งสนามที่มีขนาดคงที่ แต่หมุนไปเรื่อย ๆ สนามแม่เหล็กประกอบอันหนึ่งถูกสร้างโดยเฟสหนึ่ง และสนามประกอบอีกสนามหนึ่งถูกสร้างโดยอีกเฟสหนึ่ง ซึ่งสนามแม่เหล็กประกอบทั้งสองสนามนี้ถูกสร้างมาจากขลวดคัตวนำหลัก (stator winding) อย่างไรก็ตามก็ในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวมีขลวดคัตวนำสเตเตอร์ขดเดียว ซึ่งสามารถสร้างสนามแม่เหล็กประกอบได้เพียงสนามเดียว เราจะศึกษาว่าสนามแม่เหล็กประกอบอีกสนามนั้นจะสร้างขึ้นได้อย่างไร แต่ตอนนี้เราจะตรวจสอบสนามแม่เหล็กที่สร้างโดยขลวดคัตวนำหลักก่อน

2.1.2.1 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขลวดคัตวนำหลัก เมื่อขลวดคัตวนำหลักในรูป 2.3 (1) ถูกเหนี่ยวนำด้วยกระแสไหลสลับที่เวลาใด ๆ เมื่อกระแสมีค่าเป็นบวก และมีทิศทางไหลที่แสดงโดยจุดและกากบาทในสล้อตของสเตเตอร์ สนามแม่เหล็กจะถูกสร้างขึ้นดังแสดงในรูป ถ้าเราไม่คิดผลของโรเตอร์สนามแม่เหล็กนี้จะอยู่หนึ่งแต่ขนาดเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีค่าสูงสุดเมื่อกระแสมีค่าสูงสุด และมีค่าเป็นศูนย์เมื่อกระแสเป็นศูนย์ สนามแม่เหล็กที่อยู่หนึ่งไม่หมุนนี้คล้ายกับในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส

เพราะว่าสนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างโดยขลวดคัตวนำหลักนี้ไม่ได้หมุน จึงไม่สามารถทำให้โรเตอร์หมุนได้ ฉะนั้นจึงไม่มีค่าแรงบิดที่สล้อตโรเตอร์ ต่อเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนและวิ่งไป จึงจะทำให้เกิดแรงบิดขึ้น เนื่องจากการกระทำของสนามแม่เหล็กขวางที่ถูกสร้างโดยโรเตอร์ซึ่งสนามแม่เหล็กขวางนี้ถูกสร้างได้ อย่างไรนั้นจะอธิบายในหัวข้อถัดไป



รูป 2.3 สนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

- (1) สนามแม่เหล็กสเตเตอร์และโวลเตจในโรเตอร์ที่ถูกเหนี่ยวนำโดยสเตเตอร์
- (2) สนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างโดยกระแสที่ไหลในแท่งตัวของโรเตอร์
- (3) กระแสในสเตเตอร์, โวลเตจเหนี่ยวนำในตัวของโรเตอร์, กระแสในโรเตอร์



2.1.2.2 สนามแม่เหล็กโดยโรเตอร์ สมมติว่าโรเตอร์นี้หมุนโดยการสตาร์ทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งซึ่งไม่ใช่การสตาร์ทด้วยตัวเอง แท่งตัวนำจะหมุนตัดผ่านสนามแม่เหล็กจากสเตเตอร์ ซึ่งโวลเตจจะถูกเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำแต่ละตัว โดยการชักกฎสามนิ้วมือขวาของเฟลมมิง จะได้ว่ากระแสในแท่งตัวนำมีทิศทางการไหลตั้งรูป โดยกระแสในแท่งตัวนำที่อยู่เหนือเส้นผ่าศูนย์กลางในแวนอนของโรเตอร์จะมีทิศทางเข้าหาผู้ดู ส่วนกระแสในแท่งตัวนำที่อยู่ใต้เส้นผ่าศูนย์กลางจะมีทิศทางออกจากผู้ดู ทิศทางนี้แสดงได้ด้วยสัญลักษณ์จุดและกากบาทในรูป 2.3(1) และ 2.3 (2)

เนื่องจากโวลเตจเหนี่ยวนำที่แท่งตัวนำของโรเตอร์เกิดจากการหมุนตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กที่สร้างจากกระแสแม่เหล็กในสเตเตอร์ โวลเตจเหนี่ยวนำที่โรเตอร์จึงมีเฟสตรงกับสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์และกระแสแม่เหล็กในสเตเตอร์ดังแสดงในรูป 2.3(3) แต่เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ (impedance) ในแท่งตัวนำของโรเตอร์เป็นค่ารีแอคทีฟ (reactive) เกือบทั้งสิ้น ดังนั้นกระแสแม่เหล็กในแท่งตัวนำของโรเตอร์จะแลค (lag) จากค่าโวลเตจเหนี่ยวนำเกือบ 90 องศา ดังแสดงในรูป 2.3 (3)

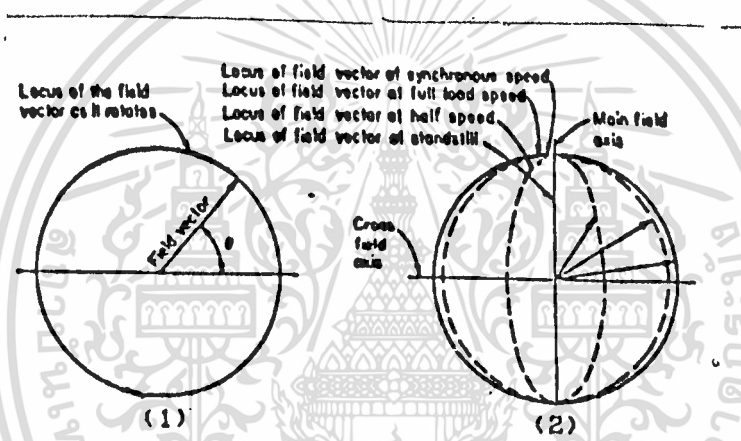
กระแสแม่เหล็กในโรเตอร์นี้จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาซึ่งเรียกว่าสนามแม่เหล็กขวาง ดังแสดงในรูป 2.3 (2) สนามแม่เหล็กขวางนี้จะต่างเฟส 90 องศา เมื่อเทียบกับสนามแม่เหล็กในรูป 2.3 (1) อีกนัยหนึ่งผลของกระแสแม่เหล็กที่ไหลในโรเตอร์เหมือนกับผลของกระแสที่ไหลในเฟส B ในรูป 2.2 (3)

2.1.2.3 สนามแม่เหล็กหมุน ถ้าโรเตอร์หมุนที่ความเร็วเชิงโคโรนัส ตัดผ่านสนามแม่เหล็กจากสเตเตอร์ สนามแม่เหล็กที่สร้างจากโรเตอร์จะมีขนาดเท่ากับสนามแม่เหล็กที่สร้างจากสเตเตอร์ ดังนั้นสนามแม่เหล็กหมุนจะถูกสร้างขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว เหมือนกับสร้างในมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส

2.1.3 การเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส

ความแตกต่างในสนามแม่เหล็กหมุน กล่าวคือในมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสที่ถูกออกแบบไว้อย่างดี ความเข้มของสนามแม่เหล็กหมุนจะไม่เปลี่ยนแปลง เหมือนการหมุนของมัน

สภาพเช่นนี้สามารถแสดง โดยการ ใช้รูปเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็กหมุนดังรูป 2.4 (1) ตำแหน่งของสนามแม่เหล็กหมุนถูกแทนได้ด้วยตำแหน่งมุมของเวกเตอร์ และความเข้มของสนามแม่เหล็กแทนด้วยความยาวของเวกเตอร์ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสตำแหน่งของเวกเตอร์สนามแม่เหล็กหมุนที่หมุนไปนี้จะเป็นวงกลม แต่กรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวตำแหน่งของเวกเตอร์สนามแม่เหล็กจะเป็นรูปวงรีดังแสดงในรูป 2.4 (2) เนื่องจากวิธีนี้เป็นการแสดงถึงสนามแม่เหล็กหมุน ทำให้ในบางครั้งจะได้ยินว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวมีลักษณะของสนามแม่เหล็กเป็นวงรี ซึ่งคำว่าวงรีนี้ที่จริงหมายถึงรูปร่างของตำแหน่งของเวกเตอร์สนามแม่เหล็กที่หมุนไป ไม่ใช่สนามแม่เหล็กเป็นวงรี



(1) มอเตอร์หลายเฟส

(2) มอเตอร์เฟสเดียว

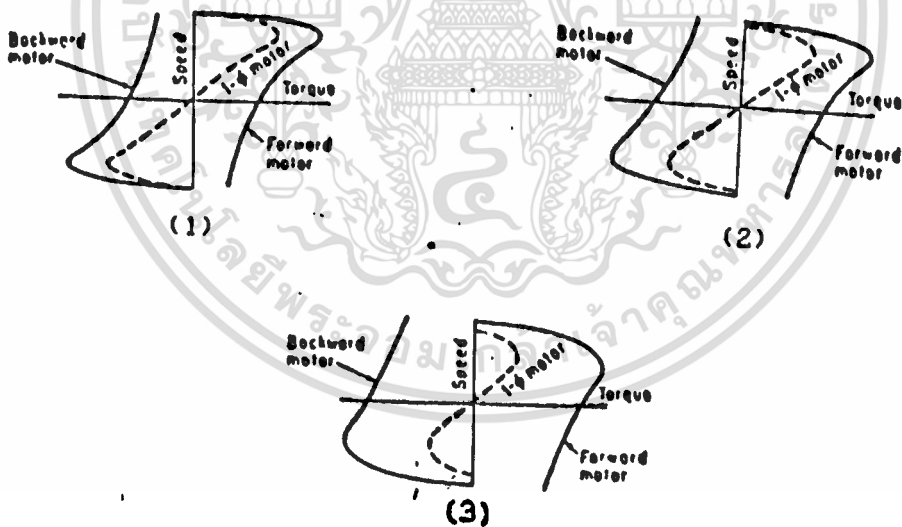
รูป 2.4 การเปรียบเทียบสนามแม่เหล็กหมุนระหว่างมอเตอร์เฟสเดียวกับมอเตอร์หลายเฟส

ตำแหน่งของเวกเตอร์สนามแม่เหล็กหมุนที่หมุนไปเป็นรูปวงรีของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวดังรูปนี้ เนื่องจากความเข้มของสนามแม่เหล็กขวางจะขึ้นกับความไวการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นความเข้มของสนามแม่เหล็กขวางจะลดลงเมื่อความเร็วมอเตอร์ลดลง รูปวงรีจึงเปลี่ยนไปเมื่อความเร็วเปลี่ยน ที่ความเร็วเชิงโคจรสนามแม่เหล็กขวางจะมีขนาดเท่ากับสนามแม่เหล็กจากสเตเตอร์ ดังนั้นตำแหน่งของเวกเตอร์จึงเป็นรูปทรงกลมเหมือนกับในมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส เมื่อความเร็วลดลงรูปวงรีจะเห็นเด่นชัดยิ่งขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดเมื่อมอเตอร์หยุดนิ่งรูปวงรีก็จะกลายเป็นเส้นตรงในแนวตั้ง ดังนั้นเมื่อมอเตอร์อยู่นิ่งจะมีสนามแม่เหล็ก

ตามแกนสนามแม่เหล็กหลักแต่ไม่หมุนไปไหนอยู่นิ่งกับที่

2.2 สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว จากทฤษฎีสถนามแม่เหล็กหมุน

เป็นที่ทราบกันดีว่าผลรวมของเวกเตอร์หมุนสองจำนวนที่มีขนาดเท่ากัน แต่ทิศทางการหมุนตรงข้ามกันจะมีค่าเท่ากับตลอดเวลา โดยจะก่อให้เกิดเวกเตอร์ใหม่ที่คงที่และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังนั้นจึงมีผู้ให้เหตุผลไว้ว่าถ้านำมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสสองตัวที่มีค่าพิกัดเดียวกัน นำมาต่อเข้าสำหรับตำแหน่งการหมุนที่ตรงข้ามกัน จะให้ผลลัพธ์คือมีแรงบิดเท่าๆ ไปเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส แสดงดังรูป 2.5 โดยในรูป 2.5 (1) นั้น เส้นทึบแสดงถึงแรงบิดของฟอร์เวิร์ดมอเตอร์และแบคเวิร์ดมอเตอร์ ซึ่งเมื่อรวมกันทางวิธีพีชคณิตจะได้แรงบิดที่ความเร็วใด ๆ ซึ่งเส้นกราฟที่ได้แสดงด้วยเส้นประที่มีลักษณะคล้ายกัน ส่วนในรูป 2.5 (2) และ 2.5 (3) นั้น เป็นกราฟสำหรับมอเตอร์หลายเฟสสองตัวที่มีค่าโรเตอร์รีซิสแตนซ์ (rotor resistance) มากกว่าในรูป 2.5 (1)



รูป 2.5 กราฟแสดงถึงแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

- (1) มอเตอร์ที่มีค่าโรเตอร์รีซิสแตนซ์ต่ำ
- (2) มอเตอร์ที่มีค่าโรเตอร์รีซิสแตนซ์ปกติ
- (3) มอเตอร์ที่มีค่าโรเตอร์รีซิสแตนซ์สูง

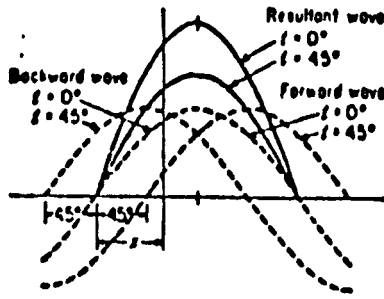
กราฟรูป 2.5 นี้แสดงให้เห็นว่าแรงบิดขณะล้อคโรเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ และมอเตอร์สามารถเริ่มหมุนเข้าสู่ความเร็วได้ก็เท่า ๆ กันทั้งสองทิศทางการหมุน ขึ้นอยู่กับว่าขณะที่สาร์ทนั้นมอเตอร์เริ่มหมุนไปในทิศทางใด ซึ่งการอธิบายโดยวิธีนี้เป็นคำอธิบายของเฟอราริส การอธิบายนี้จะช่วยในการจำ แต่มีค่าความไม่แน่นอนสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณมากไป

สนามแม่เหล็กในรูปของพัลซันนั้นสามารถแปลงให้เป็นสนามแม่เหล็กหมุนที่มีขนาดคงที่แต่ทิศทางการตรงข้ามกันได้ โดยวิธีที่ดีที่สุดในการแยกสนามแม่เหล็กที่อยู่หนึ่งนี้ออกเป็นองค์ประกอบที่หมุนได้ก็โดยการสมมติให้มีสนามแม่เหล็กหมุนสองจำนวนทิศทางตรงกันข้ามโดยมีขนาดคงที่แล้วบวกค่าทั้งสองเข้าด้วยกันในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อหาผลลัพธ์รวม ซึ่งหลักการนี้แสดงดังรูป 2.6

คลื่นหยุดนิ่งรูปขายนี่มีการเปลี่ยนขนาด ซึ่งแสดงด้วยเส้นทึบดังรูป 2.6 จะเห็นว่าเส้นทึบนี้มีอยู่หลายเส้น และมีขอบเขตความยาวคลื่นเท่ากันซึ่งแสดงถึงการหยุดนิ่ง แต่ขนาดไม่เท่ากันต่างกันไปตามผลรวมของกราฟเส้นประที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน โดยกราฟเส้นประนั้นแสดงถึงคลื่นหมุนที่มีขนาดคงที่ 2 ลูก แต่ทิศทางการเคลื่อนที่ตรงข้ามกันตามเวลาที่เปลี่ยนไป กล่าวคือเมื่อเวลา $t = 0$ กราฟคลื่นหมุนทั้ง 2 ลูกจะอยู่ทับกันพอดี มองเห็นเป็นคลื่นหมุนเดี่ยว แต่เมื่อเวลาผ่านไปคลื่นหมุนทั้ง 2 ลูก จะแยกจากกันมองเห็นเป็น 2 คลื่นดังในรูปโดยคลื่นลูกหนึ่งเคลื่อนที่ไปทางขวา เรียกว่า ฟอร์เวิร์คเวฟ ส่วนคลื่นอีกลูกหนึ่งเคลื่อนที่ไปทางซ้าย เรียกว่า แบคเวิร์คเวฟ

เวลา $t = 0$ นั้น ฟอร์เวิร์คเวฟกับแบคเวิร์คเวฟจะทับกันพอดี โดยคลื่นทั้งสองจะรวมค่าในแต่ละจุดทำให้คลื่นลัพท์เกิดขึ้น เป็นคลื่นรูปขายนี่เวฟที่มีขนาดเป็นสองเท่าจากเดิม ดังแสดงด้วยกราฟเส้นทึบในรูป 2.6 แต่หลังจากเวลาผ่านไป 45 องศา ฟอร์เวิร์คเวฟจะเคลื่อนที่ไปทางขวา 45 องศา และแบคเวิร์คเวฟจะเคลื่อนที่ไปทางซ้าย 45 องศา เมื่อบวกคลื่นทั้งสองนี้เข้าด้วยกัน จะได้คลื่นลัพท์เกิดขึ้นใหม่เป็นคลื่นรูปขายนี่เวฟ ที่มีตำแหน่งเดียวกับคลื่นลัพท์ขณะเวลาเท่ากับศูนย์ แต่มีขนาดลดลงดังแสดงด้วยเส้นทึบอีกเส้นหนึ่ง

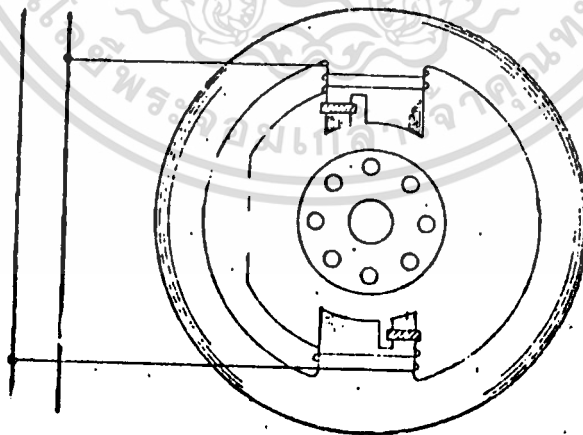
เนื่องจากฟอร์เวิร์คเวฟกับแบคเวิร์คเวฟเท่ากัน ดังนั้นแรงบิดจากสนามหนึ่งก็จะหักล้างแรงบิดจากอีกสนามหนึ่ง แรงบิดล้อคโรเตอร์จึงไม่มี ผลลัพท์ที่ได้จึงเหมือนกับที่พบโดยใช้ทฤษฎีอื่น



รูป 2.6 คลื่นยุคหนึ่งที่มีการเปลี่ยนขนาด ซึ่งเกิดจากการรวมคลื่นหมุน 2 ลูกที่มีขนาดคงที่แต่ทิศทางตรงข้ามกัน

2.3 ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของ เซคเคคโพลมอเตอร์

เซคเคคโพลมอเตอร์เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวที่มีโครงสร้างง่าย มีลักษณะเป็นแบบขั้วระณ (salient pole) โดยในแต่ละขั้วจะมีขั้วส่วนหนึ่งถูกบังไว้ ตัวที่ไปบังขั้วนี้คือขดลวดตัวนำหรือขดลวดทองแดงที่ครบวงจรในตัวมันเองอยู่แล้ว และนำไปบังขั้วประมาณ 1/3 ของขั้วแต่ละขั้วดังรูป 2.7

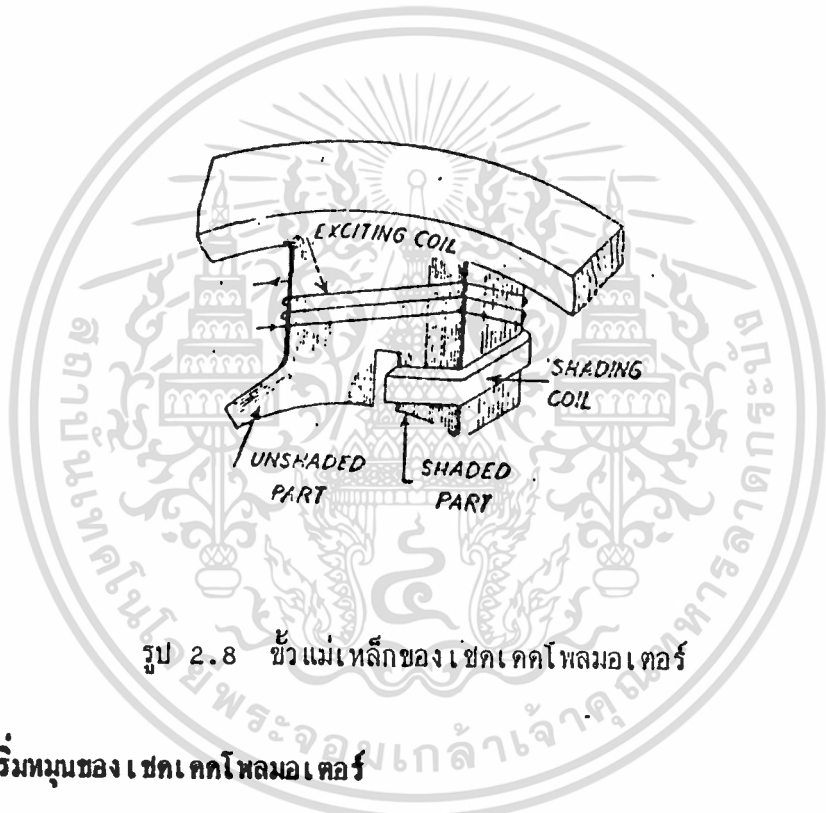


รูป 2.7 เซคเคคโพลมอเตอร์

จากรูป 2.7 จะสังเกตเห็นว่าขั้วที่อยู่ตรงข้ามกันนั้น ส่วนที่ถูกบังขั้วของขั้วที่อยู่ตรงข้ามกันจะอยู่เยื้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

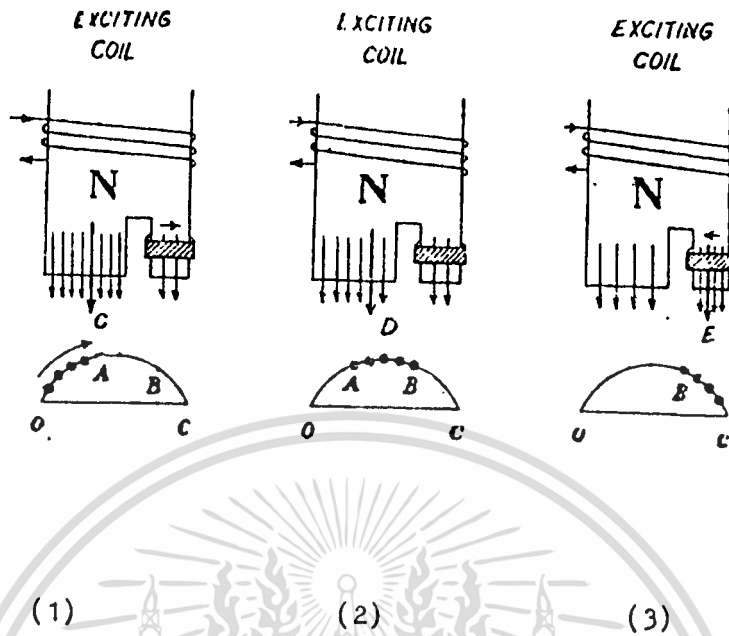
ส่วนรูป 2.8 แสดงขั้วแม่เหล็กเพียงขั้วหนึ่ง จะเห็นว่าขั้วแม่เหล็กถูกทำให้เป็นช่อง กล่าวคือ ในหนึ่งขั้วแม่เหล็กถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งยาวประมาณ $1/3$ ของความยาวขั้วทั้งหมด ซึ่งมีส่วนที่ถูกพันด้วยลวดตัวนำหรือลวดทองแดงล้อมรอบลัควงจรส่วนนี้ไว้ ขดลวดทองแดงลัควงจรที่ใส่ไปนี้เรียกว่าเชดคิงคอยล์ (shading coil) ขั้วส่วนที่ถูกบังนี้จึงเรียกว่าส่วนเชดเคด (shaded portion) อีกส่วนหนึ่งของขั้วที่ยาวประมาณ $2/3$ ของความยาวขั้วทั้งหมด ซึ่งไม่ถูกขดลวดทองแดงลัควงจรนั้นเรียกว่าส่วนอันเชดเคด (unshaded portion)



รูป 2.8 ขั้วแม่เหล็กของ เชดเคดโพลมอเตอร์

2.4 การเริ่มหมุนของ เชดเคดโพลมอเตอร์

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดกระตุ้น (exciting coil หรือ primary coil) ที่พันอยู่รอบ ๆ ขั้วแม่เหล็กทั้งขั้ว จะทำให้แกนของขั้วแม่เหล็กเลื่อนจากส่วนอันเชดเคดไปยังส่วนเชดเคด ซึ่งการที่แกนของขั้วแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปนี้คล้ายกับว่ามีขั้วแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปทำให้โรเตอร์เริ่มหมุนไปในทิศเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของแกนของขั้วแม่เหล็ก คือเคลื่อนจากส่วนอันเชดเคดไปยังส่วนเชดเคด ซึ่งสามารถอธิบายได้จากรูป 2.9



รูป 2.9 การเคลื่อนของแกนของขั้วแม่เหล็กจากส่วนอันเซคเตดไปส่วน

เซคเตด

จากรูป 2.9 (1) เมื่อกระแสที่ไหลผ่านขดลวดกระตุ้นเพิ่มอย่างรวดเร็วจาก 0 ไป A จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ขดเซคเตด ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสจำนวนมากไหลในขดเซคเตดที่มีความต้านทานต่ำ แต่ค่าอินดักทีฟ (inductive) สูง เนื่องจากขดเซคเตดนั้นจะมีขนาดใหญ่ กระแสที่เกิดในขดเซคเตดนี้จะไปในทิศทางเดียวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดเซคเตด กระแสนี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กส่วนกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดกระตุ้น ทำให้สนามแม่เหล็กบริเวณส่วนเซคเตดลดน้อยลงไป สนามแม่เหล็กส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณส่วนอันเซคเตด โดยแกนของสนามแม่เหล็กบริเวณส่วนอันเซคเตดนี้จะอยู่ที่กึ่งกลางของส่วนนี้ตามแนว NR

เมื่อพิจารณาต่อไป จากรูป 2.9 (2) จะเห็นว่ากระแสที่ไหลในขดลวดกระตุ้นมีค่าเกือบถึงค่าสูงสุดคือจาก A ไป B ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กข้ามแกนไม่เปลี่ยนแปลงเลย ทำให้ไม่มีการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ขดเซคเตด ทำให้ไม่มีกระแสในขดเซคเตดไปทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหักล้างกับสนามแม่เหล็กจากขดกระตุ้น สนามแม่เหล็กจึงมีค่าสูงสุด คือกระจายสม่ำเสมอทั่วขั้วแม่เหล็กทั้งส่วนอันเซคเตดและส่วนเซคเตด แกนของ

สนามแม่เหล็กจึงเคลื่อนมาอยู่ที่ศูนย์กลางของขั้ว (NS) คือเคลื่อนจากแนว NR ไป NS

ต่อมาจากรูป 2.9 (3) เมื่อกระแสที่ไหลผ่านขดลวดกระตุ้นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว คือลดจาก B ไป C แรงเคลื่อนไฟท์ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในขดเชดคั้งจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในขดเชดคั้ง ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กเสริมกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดกระตุ้น สนามแม่เหล็กบริเวณส่วนเชดเคคจึงหนาแน่นเพิ่มขึ้นกว่าส่วนอันเชดเคค ดังนั้นแกนของสนามแม่เหล็กจึงเลื่อนมาอยู่ที่ส่วนเชดเคคตรงแนวกึ่งกลางของส่วนนี้ตามแนว NT

จากรูป 2.9 (1) - 2.9 (3) จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่กระแสที่ไหลผ่านขดลวดกระตุ้นมีค่าเป็นบวกนั้น ขั้วแม่เหล็กจะเป็นขั้วเหนือ โดยทำให้เกิดการเคลื่อนของแกนของสนามแม่เหล็ก จากส่วนที่เป็นอันเชดเคคไปยังส่วนเชดเคคของขั้วแม่เหล็กนั้น ๆ สำหรับในกรณีที่กระแสไหลผ่านขดลวดกระตุ้นมีค่าเป็นลบนั้น ก็จะทำให้เกิดขั้วใต้ขึ้น โดยเส้นแรงแม่เหล็กกลับทิศกับขั้วเหนือ แต่การเคลื่อนของแกนของขั้วแม่เหล็กยังเคลื่อนจากส่วนอันเชดเคคไปยังส่วนเชดเคคเหมือนเดิม ฉะนั้นจึงทำให้โรเตอร์มีทิศทางการหมุนจากส่วนที่เป็นอันเชดเคคไปยังส่วนเชดเคคเสมอ

2.5 ทฤษฎีทั่วไปของเชคเคคโพลมอเตอร์

เชคเคคโพลมอเตอร์เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูกแต่การวิเคราะห์ค่อนข้างซับซ้อนเมื่อเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบอื่น ซึ่งทฤษฎีการวิเคราะห์ที่จะใช้อธิบายมีอยู่หลายแนวทาง แต่ที่ใช้อธิบายในการทำวิทยานิพนธ์นี้มีหลักการทั่วไปดังนี้กล่าวคือเชคเคคโพลมอเตอร์นั้นมีการวิเคราะห์ค่อนข้างซับซ้อนเมื่อเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบอื่นทั่วไปเนื่องมาจากสาเหตุ 2 กรณีคือ

1. กลุ่มของฮาร์โมนิก (harmonic) ต่าง ๆ
2. กลุ่มของลึคเกจรีแอคแตนซ์ (leakage reactances) ในสเตเตอร์

ซึ่งพออธิบายโดยสังเขปคือ

1. กลุ่มของฮาร์โมนิกต่าง ๆ คาดว่ามีแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกฟลักซ์ (harmonic flux) ในเชคเคคโพลมอเตอร์ที่อาจเป็นไปได้ออยู่ 3 แหล่งกำเนิด แต่เรากำหนดเพียงแหล่ง

กำเนิดเดียวคือสเตเตอร์ยาร์โมนิกแมกเนโตโมที่ฟอรัช เนื่องจากว่าแหล่งกำเนิดอีกสองแหล่งนั้น เราสามารถปรับให้มีค่าต่ำสุดได้จนถือว่ามีผลน้อยมากต่อการออกแบบเซคเตดโพลมอเตอร์

2. กลุ่มของลิกเกจรีแอกแตนซ์ (X') ในสเตเตอร์ ซึ่งมีอยู่ 4 กลุ่มคือ

- X'_1 เกิดจากลิกเกจฟลักซ์ (leakage flux) เกี่ยวคล้องเฉพาะขดลวดกระตุ้น
- X'_2 เกิดจากลิกเกจฟลักซ์เกี่ยวคล้องเฉพาะขดเซคตัง
- X'_3 เกิดจากลิกเกจฟลักซ์เกี่ยวคล้องขดลวดกระตุ้น 1 ขด กับขดเซคตัง 1 ขด
- X'_4 เกิดจากลิกเกจฟลักซ์เกี่ยวคล้องขดลวดกระตุ้น 2 ขด กับขดเซคตัง 1 ขด

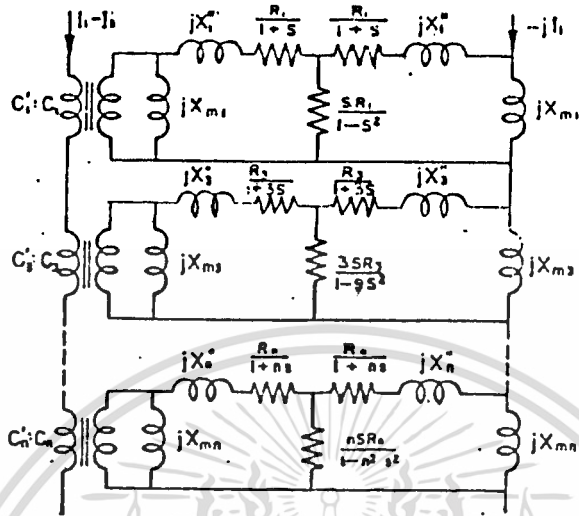
ซึ่งแสดงดังรูป 2.10



รูป 2.10 กลุ่มของลิกเกจฟลักซ์ในสเตเตอร์ทั้ง 4 กลุ่ม

ในการวิเคราะห์เซคเตดโพลมอเตอร์นั้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดตัวแปรต่าง ๆ นั้นศึกษาได้จากสมการที่ได้จากวงจรสมมูลตามทฤษฎีสานแม่เหล็กขวางและทฤษฎีสานแม่เหล็กหมุน โดยวงจรสมมูลที่ได้จากทฤษฎีทั้งสองนี้กันคว่าได้มาในวิธีเดียวกันซึ่งวงจรสมมูลนี้ประกอบด้วย

ก. วงจรสมมูลย์ทางด้านโรเตอร์ มีลักษณะดังรูป 2.11



รูป 2.11 วงจรสมมูลย์ทางด้านโรเตอร์

ข. วงจรสมมูลย์ทางด้านสเตเตอร์ ซึ่งจะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ

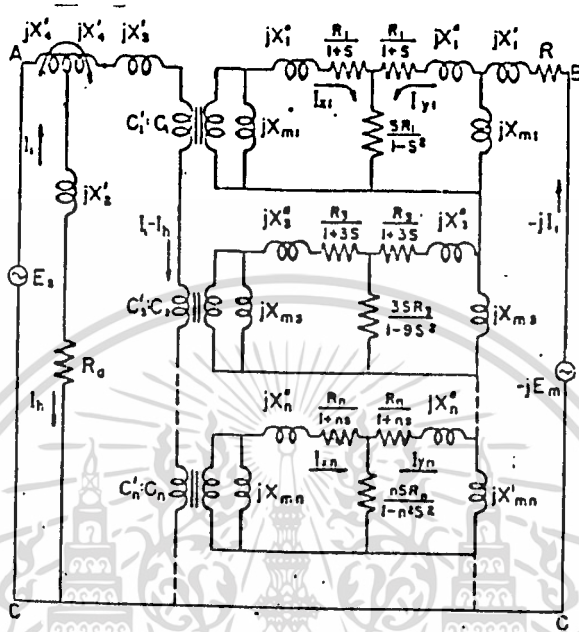
1. วงจรเมนเฟส (main phase)
2. วงจรออกซิลเลียร์เฟส (auxiliary phase)

โดยเฟสทั้งสองนี้ต่ออนุกรมกันแต่ต่างเฟสกัน 90 องศา วงจรทางด้านสเตเตอร์นี้ประกอบไปด้วยความต้านทานของขดลวดกระตุ้น ความต้านทานของขดเชดคัง และกลุ่มของลิกเกอริแอกแทนซ์ 4 กลุ่ม ซึ่งถูกแสดงในวงจรสมมูลย์ดังนี้

- ขดเชดคัง แสดงในรูปความต้านทาน (R_a) ที่ต่อขนานคร่อมวงจรออกซิลเลียร์เฟส
- X'_1 แสดงในรูปรีแอกแทนซ์ที่ต่ออนุกรมกับวงจรเมนเฟส
- X'_2 แสดงในรูปรีแอกแทนซ์ที่ต่ออนุกรมอยู่กับ R_a
- X'_3 แสดงในรูปรีแอกแทนซ์ที่ต่ออนุกรมกับวงจรออกซิลเลียร์เฟส
- X'_4 แสดงในรูปรีแอกแทนซ์ที่ต่อคัมเปิล (couple) แมมอนุกรมกับ X'_1 และ X'_3

เมื่อรวมองค์ประกอบทางค่านสเทเตอร์เข้ากับวงจรสมมูลย์ทางค่านโรเตอร์

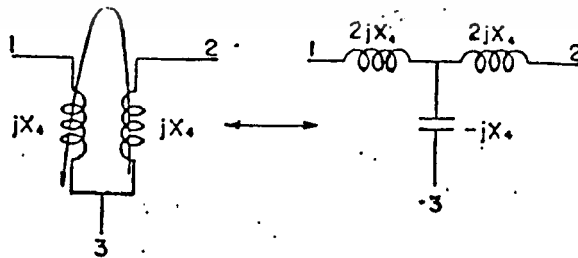
(รูป 2.11) จะได้วงจรสมมูลย์ที่สมบูรณ์ดังรูป 2.12



รูป 2.12 วงจรสมมูลย์ของเซคเคคโพลมอเตอร์จากทฤษฎีสนามแม่เหล็กขวาง

กระแสที่ไหลในวงจรเฟสทั้ง 2 วงจรนั้นจะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากได้รับจากขดลวดกระตุ้นเหมือนกันแต่ต่างเฟสกัน 90 องศา

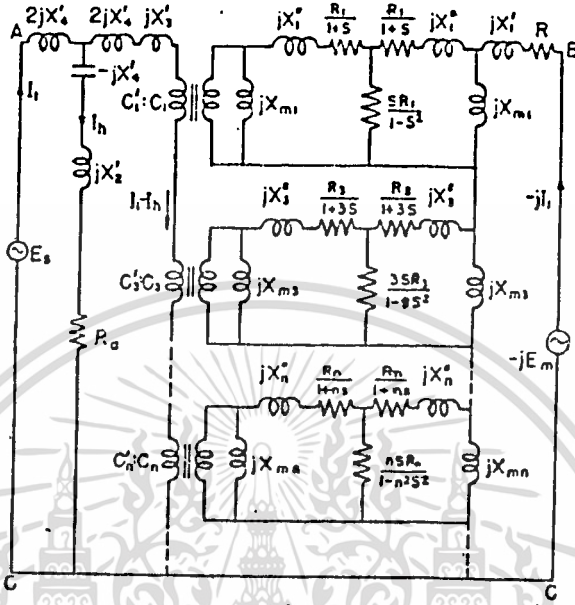
ค่ามิชชวลรีแอคแตนซ์ (mutual reactance) หรือ jX'_{14} นี้สามารถถูกแทนโดยใช้หลักการที-เซอร์กิต (t-circuit) ซึ่งมีหลักการดังแสดงในรูป 2.13



รูป 2.13 การแปลงรูปโดยใช้หลักการที-เซอร์กิต

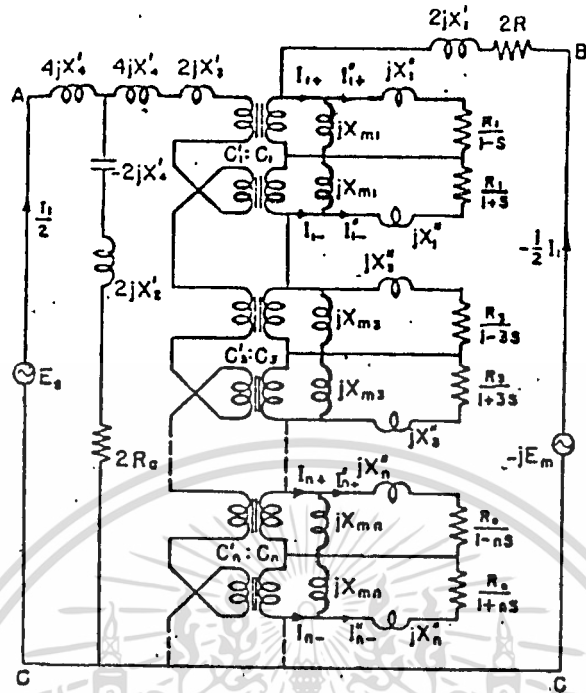
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ที-เซอร์กิตนี้สำหรับทดแทนมิชชวลรีแอกแตนซ์ จะทำให้ผลของพลักซ์ต่าง ๆ
ปรากฏเด่นชัดขึ้น ซึ่งเมื่อแทนลงไปในรูปแบบ 2.12 จะได้วงจรสมมูลย์ใหม่ดังรูป 2.14



รูป 2.14 วงจรสมมูลย์ที่ได้จากการใช้หลักการที-เซอร์กิตแปลง รูป 2.6

วงจรสมมูลย์รูป 2.12 และ 2.14 นี้ เป็นวงจรสมมูลย์ตามทฤษฎีสนามแม่เหล็ก-
ขวาง ส่วนวงจรสมมูลย์ตามทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุนได้มาในทำนองเดียวกัน แสดงได้ดังรูป
2.15



รูป 2.15 วงจรสมมูลของเซตเตคโพลมอเตอร์จากทฤษฎีสานแม่เหล็กหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณคุณสมบัติและการสร้างโปรแกรม

3. หลักการออกแบบ

3.1.1 หลักการออกแบบทั่วไปของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส

ในความเป็นจริงแล้วการออกแบบ shaded - pole motor นั้น เป็นเรื่องที่จะกำหนดให้เกิดความสัมพันธ์ที่เป็นสมการเมื่อกำหนด พิกัด ที่ต้องการได้ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากมีการทดสอบกันน้อยมาก ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสชนิดอื่นๆ ไม่ว่าจะแบบ split-phase , permanent capacitor ที่มีการศึกษามากจนสามารถกำหนดสมการในการออกแบบที่สอดคล้องเพื่อหา ขนาด ของมอเตอร์ที่ต้องการตามพิกัดได้ง่าย แต่ก็ เป็น เรื่องที่จำเป็นอย่างหนึ่งที่จะต้องรู้แนวทางในการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ที่ต้องการ จะเห็นว่า รูปร่าง และ โครงสร้างของ shaded-pole motor แตกต่างกับชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะในการเกิดแรงบิด นั้น ก็อาศัยหลักการเดียวกัน เพราะฉะนั้น ในบทนี้จึงเสนอ การออกแบบทั่วไป ของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสขนาดเล็กทั่วไป เพื่อเป็นตัวอย่างในการออกแบบของ shaded-pole motor ได้สะดวก และมีแนวทางยิ่งขึ้น

ถึงแม้มอเตอร์เหนี่ยวนำ จะมีส่วนของรายละเอียดโครงสร้างที่ยุ่งยาก ซับซ้อน แต่เพื่อความสะดวกในการพิจารณา จะแบ่งส่วนต่างๆ เป็น 3 ส่วน คือ

1. ส่วนของสเตเตอร์
2. ส่วนของโรเตอร์
- 3: ส่วนประกอบอื่นๆ

มีรายละเอียดการออกแบบส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

ส่วนของสเตเตอร์

ในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กนั้น ต้องการให้ได้คุณสมบัติตามที่กำหนด แต่ถ้าการออกแบบเป็นไปในทางพาณิชย์แล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องให้การออกแบบให้ได้คุณสมบัติตามที่มาตรฐานต่างๆ เช่น NEMA หรือ ASAยอมรับได้ด้วย

การออกแบบแรกๆนั้น เราอาจทดลองแบบ หรือเรียกว่า "trial and error" ซึ่งเหมือนกับการลองผิดลองถูก แล้วดูผลของมัน โดยการอิงทฤษฎีบ้าง เมื่อทำการทดลองหลายๆครั้ง จนในที่สุดก็จะสามารถสรุปเป็นสมการเพื่อความสะดวกในการออกแบบครั้งต่อไป วิธีการออกแบบนี้เป็นวิธีที่ตรงไปตรงมาและง่ายที่สุด ก่อนที่จะออกแบบจำเป็นที่จะต้องแสดงพิกัดสำหรับการออกแบบด้วย ค่าพิกัดที่จำเป็นจะต้องแสดงมี power output voltage source, breakdown torque, lock rotor torque, lock rotor

amp, maximum od. of stator punching พิจารณาเป็นส่วนๆคือ

1. การพิจารณาปริมาตรของโลหะที่ใช้

ประมาณ 20 กว่าปีที่แล้ว P.H. TRICKEY ได้ทำการศึกษาในเรื่องนี้ส่วนหนึ่ง จากผลลัพธ์ที่เขาได้ศึกษา รวมกับประสบการณ์ ทำให้เขาสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$D^2L = C_1 * hp/rpm * C_2 * C_3 * 1000000$$

จากสมการทำให้เห็นว่า ปริมาตร (D²L) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงบิด ค่าคงที่ที่แสดงในสมการมีอยู่ 3 ค่าคือ

C₁ เป็นความสัมพันธ์ของ พิกัดแรงม้าและจำนวนโพล

C₂ แสดงให้เห็นว่าปริมาตรของมอเตอร์ทำให้ค่าแรงบิดลดลงเมื่อ ความถี่ลดลง เพราะว่าความถี่ต่ำสามารถทำงานความหนาแน่นสูงกว่า

C₃ เป็นตัวบอกว่าชนิดนี้ต้องการปริมาตรของโลหะที่ใช้มากกว่า หรือน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชนิด polyphase

2. หลังจากได้ปริมาตรของโลหะที่ต้องการใช้แล้ว ต้องมาเลือกว่าจะต้องใช้ความ ยาวของสแตกเท่าไร โดยคิดค่า D ให้เป็นค่าที่พิกัด เพื่อความสะดวก เพราะฉะนั้นจะได้

$$L = D^2L/D^2$$

เพื่อให้ประโยชน์ในการออกแบบที่ดีที่สุด TRICKEY แนะนำว่า

$$L = 0.3 * D \text{ หรือ } D = \sqrt[3]{D^2L/0.3}$$

มีการนำเอาอัตราส่วนของ ความยาวของแกน (core length) กับ ระยะห่าง ระหว่างขั้ว (pole pitch) มาช่วยในการเลือกค่า D และ L ดังสมการ

$$D = \sqrt{P * D^2L / \pi (L/\pi p) * (D_1/D)}$$

แล้วเลือกค่า ตามความต้องการดังนี้

- SQUARE POLE FACE เลือกค่า $L/\pi p = 1$
- ราคาต่ำที่สุด เลือกค่า $L/\pi p = 2$
- มอเตอร์มีขนาดเล็ก เลือกค่า $L/\pi p = 0.6$
- ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ดีเลือกค่า $L/\pi p = 1/7.1$

การออกแบบขนาด เมื่อเราต้องการให้มอเตอร์มีคุณสมบัติเป็นเช่นไร โดยค่าของ ให้สอดคล้องกับค่าดังกล่าวข้างต้น

3. การเลือก stator bore dimension (D₁)

T.C.Lloyd ได้ทำการศึกษางสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$D_1 = (D - 0.647) / (1.175 + (1.03/P))$$

Trickey ก็ได้ทำการศึกษาเรื่องนี้เช่นเดียวกัน โดยทั่วไปกล่าวว่า ข้อมูลของ Trickey เหมาะสมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสขนาดเล็ก ในขณะที่ T.C. Lloyd จะใช้ได้กับ polyphase การเพิ่มค่านี้ จะทำให้ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้นที่ประสิทธิภาพเดียวกัน แต่ถ้าทำให้เล็กกว่าจะทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้นแต่จะให้ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ที่เลวลง

4. การเลือกจำนวน stator slot และรายละเอียดส่วนต่างๆเกี่ยวกับ slot จะไม่ขอล่าถึงในปริศยานี้ฉบับนี้ เนื่องจาก มอเตอร์ เซดเดด โพล ไม่ได้ใช้การพันที่ลง slot สำหรับผู้สนใจสามารถหาได้จากการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสชนิด สปลิตเฟส และ คาปาซิเตอร์ถาวร ตามเอกสารอ้างอิง ด้านหลังในปริศยานี้ฉบับนี้

ส่วนของโรเตอร์

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์นั้นถูกกำหนดขึ้นแล้วจาก ขนาดของ สเตเตอร์ และ ความยาวของช่องว่างอากาศ และความยาวของแกนโรเตอร์ (rotor core) ก็มีขนาดเท่ากับค่าสแตกของส่วนสเตเตอร์ ดังนั้นส่วนที่เหลือที่จะต้องกำหนดคือ จำนวนของ โรเตอร์สล็อต ขนาดของตัวนำ และขนาดของเอนด์ริง

1. การเลือกจำนวนของ rotor slot

จากการศึกษาได้ข้อสรุปเกี่ยวกับจำนวนของ rotor slot ดังนี้

1.1 จำนวนของ โรเตอร์สล็อต มากๆจะเป็นประโยชน์ เพราะว่าทำให้ค่าสล็อต และ ชิกแซก รีแอกแตนซ์ น้อย เพราะฉะนั้นจะเป็นการเพิ่มค่าแรงบิดที่เบรกดาวน์ ทำให้ลด cogging, cusps และ noise สามารถ รักษา ค่า tooth pulsations และ resultant surface losses สำหรับ copper cage rotor การมีจำนวนสล็อตมากๆ จะทำให้มีราคาแพง และมีการสูญเสีย space factor ส่วน die cast rotor ราคาจะไม่มีผลมากนัก ยกเว้น lamination และ lamination die ราคาจะมีผลกระทบกระเทือน แต่อย่างไรก็ตาม die cast ก็จะต้องทำให้ไม่เล็กเกินไปจนเป็นปัญหาในการทำ die casting

stray load loss ถูกกระทบกระเทือนโดยความแตกต่างระหว่างจำนวนของโรเตอร์สล็อตและจำนวนของสเตเตอร์สล็อต โดยเฉพาะ เมื่อจำนวนของโรเตอร์สล็อตมากกว่าจำนวนของสเตเตอร์สล็อต ผลกระทบนี้จะชัดเจนเมื่อเป็น die cast rotor และ จะรุนแรงมากด้วย

โดยทั่วไปส่วนไม่ดีที่เกิดขึ้นจากการเลือกจำนวนของสลอต คือ cogging หรือ locking, asynchronous cusps, synchronous noise และ vibration จากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญหลายท่านสามารถสรุปเป็นกฎต่างๆ ได้ดังนี้

a) การหลีกเลี่ยงจำนวนบางจำนวน Kuhlmann สรุปไว้ว่า

1. การที่จะให้ค่า noise และ vibration น้อยๆ

$$S_1 - S_s \text{ ต้องไม่เท่ากับ } +1, -1, +2, -2, +(P+1), +(P+2)$$

2. การหลีกเลี่ยงจุดตาย หรือ cogging

$$S_1 - S_s \text{ ต้องไม่เท่ากับ } +mP, -mP$$

3. การหลีกเลี่ยง cusps

$S_1 - S_s$ ต้องไม่เท่ากับ $+P, -P$ หรือสำหรับ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสต้องไม่เท่ากับ $-2P$ และ $-5P$

สำหรับกฎของ Kuhlmann เหล่านี้เราต้องรวมให้ความสำคัญและสังเกตมากกว่านี้

b) กฎบางกฎสำหรับการรวมที่ดี ข้อคิดเห็นมีดังนี้

1. การใช้ combination ถ้ามีประสบการณ์ก็จะให้ประสบการณ์สำเร็จ

2. การทำให้จำนวนของสลอต หายได้โดยจำนวนโพล จากประสบการณ์ จะเห็นว่าจะได้มอเตอร์ที่เงียบ ถึงแม้ว่าจะเกิด cogging บ้างก็ตาม

3. สำหรับความต้องการมอเตอร์ที่เงียบ ควรให้ S_s ต่างจาก S_1 20%หรือมากกว่า

4. สำหรับวีแอกแตนท์ที่ต่ำ ควรให้ S_s มากกว่า S_1

5. สำหรับ stray load loss ต่ำ ๆ S_s ต้องมีค่าน้อยกว่า S_1 ประมาณ 15%

2.yoke depth and vent holes

จากเหตุผลเดิม total tooth section of rotor ต้องไม่ใหญ่เท่าของ สเตเตอร์ ดังนั้น total core section of rotor จะเล็กกว่าของ สเตเตอร์ rotor yoke depth เป็น 95%ของสเตเตอร์ ดังนั้น

$$dy_2 = 0.95 dy_1$$

3. พื้นที่หน้าตัดของโรเตอร์บาร์

ตัวนำในโรเตอร์แบบกรงกระรอก อาจเป็นทองแดงหรืออลูมิเนียมหล่อก็ได้ ซึ่งตัวนำแบบทองแดงจะให้คุณสมบัติที่ดีกว่าตัวนำแบบอลูมิเนียมมีราคาในการผลิตที่ต่ำกว่า โดยทั่วไปอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดตัวนำทองแดงทั้งหมดในโรเตอร์ต่อพื้นที่หน้าตัดตัวนำทองแดงทั้งหมดในสเตเตอร์ มีค่าประมาณ 0.5 ถึง 0.8 ส่วนในกรณีที่พื้นที่หน้าตัดตัวนำในโรเตอร์เป็นอลูมิเนียม อัตราส่วนควรมีค่าเป็น 1.0 ถึง 1.6 เนื่องจากอลูมิเนียม

จะมีค่ารีซิสติวิตี (resistivity) ประมาณ 2 เท่าของทองแดง
นั่นคือถ้า

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่สเตเตอร์} ; A_m = 2 * N_m * a_m$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวนำโรเตอร์} ; S_c = S_u * a_b$$

$$\text{ดังนั้น} \quad S_c / A_m = 0.5 - 0.8 \text{ (ทองแดง)}$$

$$= 1.0 - 1.6 \text{ (อลูมิเนียม)}$$

4. พื้นที่หน้าตัดของวงแหวน

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของวงแหวน} (S_r) = (0.32 * S_c / P) * (\delta_b / \delta_m)$$

δ_b = ความหนาแน่นของกระแสต่อตาราง
มิลลิเมตรที่แท่งตัวนำในโรเตอร์

δ_m = ความหนาแน่นของกระแสต่อตาราง
มิลลิเมตรที่วงแหวนของโรเตอร์

โดยทั่วไปแล้วความหนาแน่นกระแสในโรเตอร์บาร์และวงแหวนมักมีค่าเท่ากัน

$$\text{ดังนั้น} = 0.32 * S_u * a_b / P \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$\text{ความยาวช่องอากาศ} (l_g) = 0.0071 * D_1 / \text{SQRT}(P)$$

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์} = D_1 - 2 * l_g$$

ส่วนประกอบอื่นๆ

ที่สำคัญและจำเป็นต้องพิจารณามี

1. ขดลวดหลัก
2. ความยาวช่องอากาศ

มีรายละเอียดแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

ขดลวดหลัก

เมื่อขนาดของฟันซึ่ง (punching) และขนาดของแอสตัก ถูกกำหนดเรียบร้อยแล้ว
ขั้นต่อไปก็คือ การกำหนดขดลวดตัวนำที่เหมาะสม ขนาดของเอนด์ริง ก็ต้องกำหนดด้วย ค่า
คงที่ควรจะคำนวณจากคุณสมบัติขณะรันนิ่ง (running) ควรจะได้ขดลวดหลักที่น่าพอใจก่อน
ที่จะออกแบบขดลวดช่วย

การเริ่มต้นเลือกขดลวดหลัก

ฟลักซ์เดนซิตี (flux density) ที่ยอมรับได้ , ฟลักซ์เดนซิตีไ้มหลายๆ
ส่วนของวงจรมแม่เหล็ก ของขดลวดหลักมีความสำคัญไม่ยอมเตอร์เหนียวนำมา เพื่อให้อัด

ประสงค์ของการประมาณขนาดลวดหลักให้ได้สัดส่วนของพันซึ่งที่ดี จะพิจารณาเพียงสเตเตอร์
ทฤษฎี เดนซิตี (บางคนพิจารณา แอร์แกป เดนซิตีด้วย) ถ้าความหนาแน่นที่ใช้ต่ำเกินไปโม
เตอร์ก็จะใหญ่เกินไป หนักเกินไป แล้วก็แพงเกินไปด้วย

ลำดับต่อไปในการพิจารณานั้นเป็นเรื่องของการลงสล็อตของขดลวดหลักเพราะ
ฉะนั้นจึงไม่ขอกล่าวถึงด้วยเหตุผลดังที่เคยกล่าวไว้แล้วในตอนต้น

ความยาวช่องอากาศ

ค่านี้ต้องใช้ความระมัดระวังในการเลือก จะมีค่าสูงสุดสำหรับทุกๆการออกแบบ
ขึ้นกับความสัมพันธ์ของหลายแฟกเตอร์ สำหรับการออกแบบที่ดี ควรคำนวณอย่างน้อย 3 ค่า
ความยาวที่แตกต่างกัน

สมมุติ เราสามารถเลือกแอร์แกปที่ดีที่สุดได้แล้ว ถ้าเราเพิ่มความยาวแอร์แกป
ขึ้นไปจะมีผลกระทบกระเทือนดังนี้

1. แอร์แกปแอมแปร์เทิน (air gap ampere turns) จะเพิ่มขึ้นเกือบเป็นสัดส่วน
โดยตรงกับความยาวที่เพิ่มขึ้น จะเพิ่มกระแสกระตุ้น และเพิ่มค่าสูญเสียด้วย ท้ายที่สุดทำให้
ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์และประสิทธิภาพ ลดลง
2. ฟลักซ์ พัลเซตัง (flux pulsating) ในสเตเตอร์และโรเตอร์ที่ข ลดลงทำให้
ลดค่าการสูญเสียที่ผิวหน้า (surface loss)
3. ไฮ พิตแมกเนติก นอยส์ (high pitch magnetic noise) ลดลงเพราะการ
ลดลงของทูล พัลเซชัน (tooth pulsation)
4. "60 cycle hum" จะเพิ่มขึ้นเพราะ ดับเบิ้ลฟรีควเอนซีพัลเซตังทอร์ค (double
frequency pulsating torque) เพิ่มขึ้น
5. อันตรายจากการกระทบของ โรเตอร์กับสเตเตอร์น้อยลง
6. ลีเกจ รีแอกแตนซ์โดยทั่วไปจะน้อยลง
7. ผลกระทบของ คอกกิ้ง และ ครีพส์ น้อยลง
8. สเตร์ โหลด ลอส (stray load loss) ลดลง

ถ้าเป็นการลดลงของความยาวของช่องอากาศ ผลกระทบก็จะเป็นไปในทาง
ตรงกันข้ามกับที่กล่าวมาแล้ว

สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส และ โพลีเฟส ที่มี สเตเตอร์บอร์ ไม่เกิน
8 นิ้ว ได้จากการทดลองเพื่อให้ได้แบบที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามสำหรับมอเตอร์แบบ 2 ขั้ว
ที่มีความยาวมากกว่า 5 นิ้ว ช่องว่างส่วนที่ยาวกว่า ส่วนมากใช้สมการนี้คือ

$$l_g = 0.005 + (0.0042 * D_1) / \sqrt{P}$$

โดยจำนวนขั้วต้องไม่เกิน 6 ขั้ว

เนื่องจากการนำเส้นเอหลักในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสขึ้นมาเล็กในบทนี้ เป็นเพียงแนวทางในการออกแบบมอเตอร์ ซึ่งได้กล่าวแล้วว่า มีโครงสร้างที่แตกต่างจากแบบอื่นมาก เพราะฉะนั้นการออกแบบขดลวดช่วยที่ถือว่าเป็นส่วนสำคัญมากส่วนหนึ่ง แต่ในเซตเดดโพลมอเตอร์ไม่มีส่วนนี้ จึงไม่ขอนำมากล่าวถึง ส่วนที่เทียบเคียงกับขดลวดช่วยของมอเตอร์อื่น ๆ ก็คือ การมี เซตดิ่งคอยล์ ซึ่งจะขอนำเสนอในหัวข้อถัดไป

3. 1. 2 การพิจารณาและการคำนวณค่าลิกเกจรีแอกแตนซ์

ลิกเกจรีแอกแตนซ์เป็นแพแอกเตอร์ที่สำคัญมากที่สุดแพแอกเตอร์หนึ่งเกี่ยวกับการคาดคะเนคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ค่าเบรกดาว์นทอร์ถูกกำหนดโดยจำนวนของลิกเกจรีแอกแตนซ์ และไม่เกี่ยวข้องกับ มิชชวล ฟลักซ์ (mutual flux) ส่วนลิกเกจฟลักซ์ถูกนิยามว่าเป็นเส้นฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องเฉพาะหนึ่งหรือสองขดลวด เพราะฉะนั้นค่าลิกเกจรีแอกแตนซ์ก็คือค่ารีแอกแตนซ์ที่เกิดจากลิกเกจฟลักซ์ องค์ประกอบของค่าลิกเกจ รีแอกแตนซ์มีหลายส่วน ในการพิจารณาเซตเดดโพลมอเตอร์ นั้น เราพิจารณาอยู่ 4 ส่วนได้แก่

1. สล็อต ลิกเกจ รีแอกแตนซ์ (slot leakage reactance)
2. เอนด์ ลิกเกจ รีแอกแตนซ์ (end leakage reactance)
3. สคิ้ว ลิกเกจ รีแอกแตนซ์ (skew leakage reactance)
4. ซิกแซก ลิกเกจ รีแอกแตนซ์ (zigzag leakage reactance)

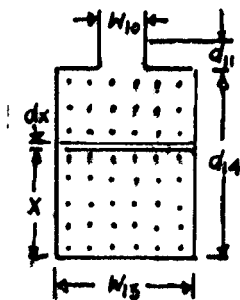
มีรายละเอียดการนิยามและการคำนวณค่าลิกเกจรีแอกแตนซ์ที่กล่าวมาแล้วดังต่อไปนี้

1. สล็อต ลิกเกจ รีแอกแตนซ์

ค่านี้เป็นการรั่วไหลที่เกิดจากฟลักซ์ที่ข้ามช่องสล็อตภายในสล็อตของมันเองทั้งหลายและไปเกี่ยวข้องกับตัวนำที่เป็นตัวสร้างฟลักซ์เหล่านี้ขึ้นมา

ในการคำนวณมีการตั้งข้อสมมุติอยู่ 2 ข้อคือ

1. ค่าเพอร์มิบิลิตี้ (permeability) ของแกนเหล็กโดยรอบ เป็นค่าอินฟินิตี้ (infinity)
2. ค่าลิกเกจ ฟลักซ์ (leakage flux) ที่ข้ามสล็อต เป็นเส้นตรงขนานกับขอบล่างของส่วนล่างของสล็อต



รูป 3.1 โครงสร้างของสล็อตที่แสดงถึงลิกเกจ ฟลักซ์

A simple rectangular slot, uniformly filled with current-carrying conductors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการคำนวณฟลักซ์ใน d_x , การเกี่ยวค้ำของฟลักซ์ , จำนวนของการเกี่ยวค้ำ, ค่าลิกเกจที่เกิดขึ้นใน d_x นี้ เราคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Flux in tube } d_x = 3.19 * i * L * C_n * (x/d_{14}) * (d_x/w_{13})$$

และ
$$\text{INDUCTANCE} = \int_0^{d_{14}} 3.19 * L * (C_n * (x/d_{14})^2 * (d_x/w_{13}) / 100000000$$

$$= 3.19 * C_n^2 * (d_{14}/3w_{13}) / 100000000$$

และสุดท้ายจะได้ค่า สลอตลิกเกจรีแอกแตนซ์โดยสมการ

$$X_{\text{slot}} = 2\pi * f * C_n^2 * [3.19L * ((d_{14}/3w_{13}) + (d_{11}/w_{10}))]$$

จากสมการข้างบนนี้มีส่วนที่เป็นค่าคงที่ของ สลอต คือ

$$K_{s1} = (d_{14}/3w_{13}) + (d_{11}/w_{10})$$

สำหรับ โรเตอร์สลอต ลิกเกจ รีแอกแตนซ์ นั้นสามารถหาได้จากการแทนค่าคงที่ของ โรเตอร์สลอต ลงในค่าคงที่ ของสเตเตอร์สลอต และ S_2 แทน S_1 ลงในสมการคำนวณเดิม สรุปแล้วเราจะได้ค่า สลอต ลิกเกจรีแอกแตนซ์ ทั้งหมดจากการรวมโรเตอร์สลอต ลิกเกจ รีแอกแตนซ์ กับ สเตเตอร์ สลอต ลิกเกจ รีแอกแตนซ์ ที่ได้มา

2. เอนด์ ลิกเกจ รีแอกแตนซ์

เป็นค่ารีแอกแตนซ์ที่เกิดจากลิกเกจฟลักซ์ที่เกี่ยวค้ำกับเอนด์เทินของขดลวดหลักและกับเอนด์ริงของโรเตอร์ สังเกตได้ว่าค่าลิกเกจนี้เป็นผลของรูปร่างขดลวดความใกล้ชิดกับโลหะที่เป็นแม่เหล็ก และอีกหลายแฟกเตอร์ที่แปรเปลี่ยนตามการออกแบบ จากการศึกษาค่าเอนด์ลิกเกจ รีแอกแตนซ์ ดังนี้

$$X_{\text{end}} = K_x * (1.57m * D * ACT/S_1 * P)$$

สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำทรงเฟสให้ค่า $m = 2$

3. สคว ลิกเกจ รีแอกแตนซ์

ค่าลิกเกจรีแอกแตนซ์ขึ้นอยู่กับ มิชชวล ฟลักซ์ ถ้าโรเตอร์ทำ สคว ค่า mmf ที่ทุกจุดจะมีค่าเท่ากันและตรงกันข้าม ผลกระทบของการทำสควเป็นการเพิ่มค่า สลอต ลิกเกจ ซึ่งถูกเปลี่ยนขนาดจากการทำสคว และเพิ่มค่า ซิกแซก ลิกเกจด้วย

เมื่อโรเตอร์ สคว ทำ สควด้วยมุม α องศาไฟฟ้า เพราะฉะนั้นจะได้

$$SK = \sin(\alpha/2) / (\pi\alpha/360)$$

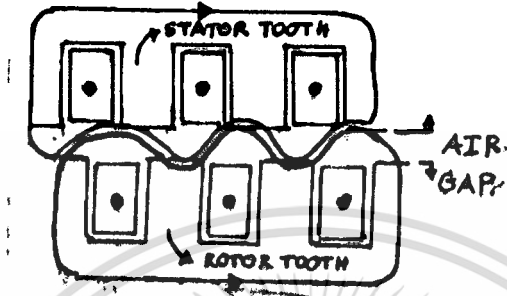
จะเห็นว่า ค่ารีแอกแตนซ์ทั้งหมดของขดลวดไม่เปลี่ยน ดังนั้นแมกเนติก รีแอกแตนซ์จะลดลง โดยจำนวนของ สคว ลิกเกจ การทำสควที่โรเตอร์ จึงมีผลต่อ มิชชวลฟลักซ์เท่านั้น ดังนั้น แมกเนโตอิงรีแอกแตนซ์ จะลดลงขณะที่ ค่า สคว ลิกเกจ ถูกรวมกับค่าลิกเกจคงที่

สูตรการคำนวณค่า สคว ลีเกจ วีแอกแตนซ์ คือ

$$X_{skew} = (1 - SK^2) * X_m * K_p$$

4. ซิกแซก ลีเกจ วีแอกแตนซ์

เกิดจากฟลักซ์ล่องผ่านจากสเตเตอร์ที่ยังไปยังโรเตอร์โดยผ่านแอร์แกปในลักษณะซิกแซกดังรูป



รูป 3.2 การเกิดซิกแซก ลีเกจ วีแอกแตนซ์

ขนาดของเส้นฟลักซ์ขึ้นอยู่กับความยาวแอร์แกป และระยะทางสัมพันธ์ระหว่างซี่ของ สเตเตอร์และซี่ของโรเตอร์ โดยได้สมการซิกแซกลีเกจวีแอกแตนซ์ดังนี้

$$X_{z \text{ zigzag}} = 16\pi^2 * f * (N_m * K_{wm})^2 * l * \mu_z / S_1$$

3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ เซดเดคโพลมอเตอร์

3.2.1 การพิจารณาความยาวของแสตค

มอเตอร์โดยทั่วไปจะมีสเตเตอร์เป็นรูปทรงกระบอก เพราะฉะนั้นจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งภายในและภายนอก แต่เซดเดคโพลมอเตอร์มิได้เป็นเช่นนั้น โครงสร้างของ สเตเตอร์เป็นแบบ สเกเลตัน (skeleton) ดังรูปในภาคผนวก ดังนั้นค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง จึงเฉลี่ยเอาจากผลรวมของค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสเตเตอร์

โดยอ้างอิงจากหลักการออกแบบทั่วไป เพื่อจะหาสูตรความสัมพันธ์ของพิกัด VA ของมอเตอร์กับความยาวของแสตค เราจึงจำเป็นต้องกำหนดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ สเตเตอร์ไว้ที่ค่าค่าหนึ่ง

ในโครงการนี้ เราได้ใช้เซดเดคโพลมอเตอร์ของบริษัท ซันโย ฯ เป็นต้นแบบ ในการคำนวณ ดังนั้น เส้นผ่านศูนย์กลางที่จะใช้เป็นค่ากำหนด เป็นค่านี้สำหรับสมการที่ใช้คือ

$$Q = 11 B_{av} * ac * K_w * D^2 * L * n_m$$

ให้

K_w (approx.)	=	0.85
B_{av} (cal.)	=	0.318
ac (cal.)	=	5395.24

หมายเหตุ ค่า ac เปลี่ยนแปลงเมื่อค่ากระแสที่พิกัดเปลี่ยนแปลง

$$\begin{aligned} \text{กึ่งนำกำหนดที่ } Q &= 220 * 0.056 && \text{(VA)} \\ I_m &= 0.056 && \text{(A)} \\ D &= 32 && \text{(mm)} \\ L &= 15.4 && \text{(mm)} \\ N_m &= 4850 && \text{รอบ} \end{aligned}$$

การที่เรากำหนดค่าข้างต้น ก็เพื่อที่จะหา B_{av} , ac ที่เป็นมาตรฐานในการคำนวณสำหรับพิจารณาความยาวของแสตก ที่ Q (VA) อื่นๆ ถ้าเราไม่กำหนดค่าข้างต้น การพิจารณาความยาวของแสตกจะเป็นไปได้ยาก เพราะไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนรอบของขดลวดหลักอีก ทำให้ไม่สามารถแก้สมการได้ และจำนวนรอบของขดลวดหลักก็ยังเป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่เรารู้จำเป็นต้องพิจารณาในการออกแบบเป็นลำดับต่อมาด้วย

สุดท้ายเราจะได้ความสัมพันธ์ของความยาวของแสตกเมื่อกำหนดพิกัด VA ดังนี้คือ

$$L = 1.217 Q \quad \text{(mm)}$$

3.2.2 การพิจารณาจำนวนรอบของขดลวดหลักที่ใช้พัน

ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดใดการพิจารณาเกี่ยวกับขดลวดหลัก จะเหมือนกันเนื่องจากใช้หลักการในการส่งผ่านพลังงานจาก สเตเตอร์สู่วอเตอร์ ผ่านช่องว่างอากาศเหมือนกัน เพราะฉะนั้นได้สมการ

$$N_m = E / (4.44 * B * A * f * s.f.)$$

โครงสร้างสเกเลตันที่พื้นหน้าตัดที่ใช้คำนวณมี 2 ด้าน คือ

1. ความยาวของแสตก
2. ความยาวด้านหน้า (d) ดังรูป



รูป 3.3 โครงสร้างของแสตก

เพราะฉะนั้น $A = L * d$ และเนื่องจากเรากำหนดให้แผ่น ลามิเนต (laminat) ของสเตเตอร์มีขนาดที่คงที่ ดังนั้นค่า d ในหัวข้อที่ 2 จะคงที่มีค่า 14 มม. จากการพิจารณามอเตอร์ต้นแบบเราได้ค่า

$$B = 0.935 \quad \text{(cal.)}$$

$$s.f. = t / (t + 0.00129) = 0.98 \quad \text{(cal.)}$$

สุดท้ายจะได้จำนวนรอบหลังจากพิจารณาความยาวของแสตก ได้แล้วคือ

$$N_m = 77250.977 / L \quad \text{รอบ}$$

3.2.3 การพิจารณาขนาดของขดลวดตัวนำหลัก

เพื่อที่จะหาขนาดของพื้นที่หน้าตัดของตัวนำหลักที่จะใช้ให้และความต้านทานของตัวนำหลักที่พันเรียบร้อยแล้ว เราใช้สมการ

$$A_m = I_m / J_m$$

ต้องการดูว่ามอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นแบบนี้มีค่าความหนาแน่นกระแสเท่าใด จึงคำนวณหาจาก

$$R = 417 \text{ ohm}, N_m = 4850 \text{ รอบ}$$

ลวดเบอร์ 38 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 มม.

$$\text{ดังนั้นได้ } J_m = 3.18 \text{ (A/mm}^2\text{)}$$

ใช้ค่านี้ในการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของขดลวด เมื่อกำหนดกระแสที่พิกัดโดยใช้ร่วมกับตารางของขดลวดซึ่งเสนอไว้ในภาคผนวก

สุดท้ายเราจะได้ เบอร์ของขดลวดที่ต้องการ, พื้นที่หน้าตัดของขดลวดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด และคำนวณหาความต้านทานของขดลวดหลักโดยใช้ค่าความยาวเฉลี่ยต่อรอบเป็น 82.9 มม.

3.2.4 การพิจารณาความยาวของช่องอากาศ

จากโครงสร้างจะเห็นว่า ความยาวแอร์แกป ตลอดช่วงของเส้นรอบวงของโรเตอร์ไม่เท่ากันเมื่ออยู่ 2 ค่า เรื่องการพิจารณาความยาวช่องว่างอากาศ และระยะของช่องอากาศที่ไม่เท่ากันนั้น มีการศึกษากันมาก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์และลดต้นทุนการผลิต การมีช่องว่างอากาศที่ไม่เท่ากันนั้น เส้นฟลักซ์แม่เหล็กก็จะไม่เท่ากันด้วยในแต่ละช่วง ซึ่งสุดท้ายจะทำให้เกิดแรงบิดผันผวนได้

สมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$l_g = 0.007D_1 / \sqrt{P} \quad (\text{mm})$$

3.2.5 การพิจารณาพื้นที่หน้าตัดของเซตคิงคอสส์

เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ หนึ่งเฟสชนิดอื่นๆ ส่วนนี้คงเทียบได้กับขดลวดช่วยจึงนับว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากเช่นกันในการเริ่มออกตัว

หลังจากพิจารณาสมการต่างๆร่วมกับผลการทดสอบกับมอเตอร์ต้นแบบจริงผู้ทำโครงการมีข้อเสนอในการคำนวณดังนี้

1. เริ่มจากการคำนวณหาเส้นฟลักซ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นก่อน จากขดลวดหลักโดยสมการ

$$\phi = B * A$$

$$\text{เมื่อ } B = 0.935 \text{ และ } A = 2 \pi * D * l_g$$

2. สมมติให้ $\phi_s = \phi / 2$ แล้วคำนวณหา μ_n จาก

$$\phi * R_u = F_1 + F_2 = N_m * I_m + N_u * I_u$$

เป็นการยากที่จะคำนวณหากระแสที่ไหลใน เซลล์คอกซ์ จึงเทียบจากผลการทดสอบได้

$$I_u = 5.56 * I_m$$

และจาก

$$R_u = 1 / P_m = I_u / (\mu * S_u)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ค่า

3. จากสมการความเหนียวที่ต้องการ = $n * \phi / I_u$

เมื่อ n คือจำนวนรอบของเซลล์คอกซ์

4. สรุปโดยสมการ

$$\text{ความเหนียว} = 0.4 \pi * N_m^2 * \mu_n * A / (1 * 100) \quad (\mu H)$$

จะสามารถหาพื้นที่หน้าตัดของเซลล์คอกซ์ได้ โดยสูตรข้างต้นค่า A คือนั้นที่

หน้าตัดที่ต้องการ ส่วนค่า I จะถูกกำหนดจากค่าความยาวของแสดกรวมกับค่า 34.12 มม. เนื่องจากสเตเตอร์กำหนด

3.2.6 การคำนวณค่าแรงบิดที่เบรคความ

โดยสมการ

$$T_{bd} \text{ (oz-ft)} = (V/115)^2 * (P/4) * (60/f) * \{345 - (9.2(R/X))^2\} / (r+X) * K_r$$

จะเห็นว่าตัวแปรที่สำคัญคือ

R คือผลรวมของความต้านทานทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

X คือค่ารีแอกแตนซ์ที่เกิดจากการลัดวงจร

K_r คือแฟกเตอร์ของพลังค์ทั้งหมด มีความสัมพันธ์โดย

$$K_r = K_p^2 = \{x_m / (x_m + x_1)\}^2$$

แต่ก่อนที่เราจะคำนวณได้ต้องสามารถหาส่วนของ รีซิสแตนซ์และรีแอกแตนซ์ที่มีอยู่ในสมการทั้งหมดให้ได้ก่อน ซึ่งในโครงการนี้ก็ได้อาจมาจากรูปแบบการคำนวณคุณสมบัติของเซตเคดโพลมอเตอร์นั่นเอง และสามารถประมาณค่าสลิตที่แรงบิดเบรคความได้โดยอ่านจากกราฟในภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์ในหัวข้อนี้คงเป็นได้เพียงแนวทางสำหรับการออกแบบที่สมบูรณ์เท่านั้น เพราะยังมีหลายส่วนที่ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ได้เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอ อีกทั้งการวิเคราะห์ที่ได้เสนอไปนั้นเป็นการกำหนดค่าบางค่าเพื่อให้ได้สมการสำเร็จรูปขึ้นมา ส่วนโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้นมาใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โลตัส ช่วยในการคำนวณ มีรายละเอียดส่วนโปรแกรมในท้ายบทนี้

3.3 การคำนวณคุณสมบัติของเซตเดดโพลมอเตอร์

เป็นเรื่องสำคัญในการหาแนวทางเพื่อออกแบบเซตเดดโพลมอเตอร์ จำเป็นที่จะต้องมีการคำนวณคุณสมบัติทั้งหมดของมอเตอร์นี้ เพื่อพิจารณาผลที่ความเร็วต่างๆ เพราะเมื่อหลังจากการออกแบบและทำตามต้นแบบทั้งหมดนั้นแล้ว จะได้ผลของมอเตอร์ตามทีออกแบบไว้หรือไม่

ในช่วงแรกของการทำโครงการนี้ เราพิจารณาการคำนวณที่สอดคล้องกับเซตเดดโพลมอเตอร์ที่มีเพียง 1 เซตคิงคอสล์ ดังนั้นเราจึงใช้บทความของ SSL.CHANG เป็นเอกสารอ้างอิง ที่ผลการคำนวณเป็นที่น่าพอใจแต่ขอเสนอเพียงตัวโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณในส่วนท้ายของบทนี้ ลำดับขั้นตอนการคำนวณและรายละเอียดต่างๆ ไม่ขอนำมากกล่าว เนื่องจากเป้าหมายหลักของโครงการเป็นการศึกษาโปรแกรมการคำนวณของเซตเดดโพลที่มี 2 เซตคิงคอสล์ เพราะในปัจจุบันมีที่ใช้งานมากกว่า และคุณสมบัติที่ ขนาดเดียวกันดีกว่า

ต่อไปจะเป็นการกล่าวถึงรายละเอียดของการคำนวณคุณสมบัติเซตเดดโพลมอเตอร์ที่มี 2 เซตคิงคอสล์ โดยใช้บทความของ FC.TRUTT เป็นบทความหลักในการคำนวณ เรื่องหลักที่จะต้องพิจารณาก่อนที่จะคำนวณคุณสมบัติเป็นเรื่องของ วิธีสแตนท์และรีแอกแตนซ์ที่เกิดขึ้นของมอเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า ลิกเกจรีแอกแตนซ์ดูเหมือนจะเป็นเรื่องสำคัญที่สุด เมื่อพิจารณาค่าเหล่านี้ได้ครบถ้วนแล้วก็จะเป็นการกำหนดค่าขนาด และค่าตัวแปรของมอเตอร์ แล้วจึงเข้าสู่การหาค่า แรงบิด และค่าต่างๆที่สำคัญเป็นลำดับต่อมา เพื่อความเข้าใจที่ดีขอแนะนำเป็นหัวข้อดังนี้

3.3.1 การคำนวณค่ารีแอกแตนซ์

สำหรับเซตเดดโพลมอเตอร์ ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ที่สเตเตอร์ และที่ โรเตอร์ มีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

ที่สเตเตอร์
1. ความต้านทานของขดลวดหลัก คำนึงจะหาได้ 2 วิธีคือ

1.1 วัดโดยตรง

1.2 คำนวณจากขนาดของสายที่ใช้และจำนวนรอบที่ใช้พัน

2. ความต้านทานส่วนเซตคิงคอสล์ คำนวณจาก ขนาดของเซตคิงคอสล์และจำนวนตัวนำที่มีผลกระทบกระเทือน โดยสูตร

$$R_n = 0.693 * l_n * C^2 / (S_n * 4P * 10000000) \text{ ohm}$$

ที่โรเตอร์

ความต้านทานที่โรเตอร์ การพิจารณาจะต้องรวมการพิจารณาผลของฮาร์โมนิก ด้วย โดยสมการ

$$R_n = [(L + SK^2 / S_c * S_n) + (0.637D_r / (S_n P^2 * n^2)) * 1.385C_n^2 / 1000000$$

3.3.2 การคำนวณค่ารีแอกแตนซ์

การคำนวณค่ารีแอกแตนซ์ที่เกิดขึ้นในตัวเซดเคคโพลมอเตอร์ถือว่าเป็นเรื่องสำคัญมากต่อการหาคุณสมบัติของมอเตอร์ ดังนั้นจะต้องทราบขนาดและค่าต่างๆรวมทั้งความหมายให้ดีกว่าก่อนที่จะทำการศึกษาคือ เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆแล้วมาพิจารณาค่ารีแอกแตนซ์ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 3 กลุ่มคือ

1. มิชชวลรีแอกแตนซ์
2. สเตเตอร์ลิกเกจรีแอกแตนซ์
3. โรเตอร์ลิกเกจรีแอกแตนซ์

ในแต่ละกลุ่มมีรายละเอียดการคำนวณหาได้ดังนี้

มิชชวลรีแอกแตนซ์ ค่านี้มีผลของ ฮาร์โมนิกด้วยได้สมการคือ

$$X_{mn} = 2 \left\{ f C_n^2 / 100000000 (0.647L \sqrt{1/Pn^2}) * (\sin n\theta_s/2) / (n\theta_s/2) \right\}$$

สเตเตอร์ลิกเกจรีแอกแตนซ์ ค่าลิกเกจนี้ถูกแบ่งตามการเกี่ยวค้องของเส้น

ฟลักซ์เป็น 4 กลุ่ม

1. เส้นฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องเพียงขดปฐมภูมิ
 2. เส้นฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องเพียงขดเซด
 3. เส้นฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องขดเซด 1 ขดและขดปฐมภูมิ 1 ขด
 4. เส้นฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องขดเซด 1 ขดและขดปฐมภูมิ 2 ขด
- จะได้สมการทั้งหมดดังนี้

$$X_1' = 2 \left\{ f C_n^2 / 100000000 \left\{ (3.19LK_{s1}/2P) + (\text{span}1/2P) + (3.19L \sqrt{p\theta_s/41P}) \right\} - (X_{m1} + X_{m3} + \dots) \right\}$$

$$X_2' = 2 \left\{ f C_n^2 / 100000000 \left\{ (3.19LK_{s2}/4P) + (\text{span}2/4P) \right\} \right\}$$

$$X_3' = 2 \left\{ f C_n^2 / 100000000 \left\{ (3.19L \sqrt{p\theta_s/4P}) \right\} - (X_{m1} * (C_1'/C_1) + X_{m3} (C_3'/C_3) + \dots) \right\}$$

$$X_4' = 2 \left\{ f C_n^2 / 100000000 \left\{ (3.19L/4p) + (\phi_b f C^2 / 90000000 P m m f) \right\} \right\}$$

โรเตอร์ลิกเกจรีแอกแตนซ์ มีการพิจารณาตามโครงสร้างที่โรเตอร์จะได้

ค่าลิกเกจรีแอกแตนซ์อยู่ 4 กลุ่ม คือ

1. เกิดจาก สลอลลิกเกจรีแอกแตนซ์
2. เกิดจาก เอนด์ลิกเกจรีแอกแตนซ์
3. เกิดจาก เฟควลลิกเกจรีแอกแตนซ์
4. เกิดจาก ชิกแซกลิกเกจรีแอกแตนซ์

ได้สมการการคำนวณค่าดังกล่าวข้างต้นดังนี้

$$\begin{aligned}
 X_{n=1ot} &= 2\sqrt{fc_n^2/100000000*6.38LK_n''/S_n} \\
 X_{n=ond} &= 2\sqrt{fc_n^2/100000000* \lambda_p/2Pn^2} \\
 X_{n=akew} &= 2\sqrt{fc_n^2/100000000*(0.647L\lambda_p/1_n Pn^2) \{1-(\sin \theta_{n/2}) \\
 &\quad /(\sin \theta_{n/2})\}} \\
 X_{n=1gzag} &= 2\sqrt{fc_n^2/100000000*6.38LT_f''/S_n 4l_g}
 \end{aligned}$$

3.3.3 การคำนวณคุณสมบัติทั้งหมดของมอเตอร์

สุดท้ายโดยพิจารณาจากวงจรสมมูลซึ่งเสนอไว้ในภาคผนวก ของมอเตอร์
 เห็นว่า ทิ้งเฟส เราก็จะหาคุณสมบัติต่างๆได้ ในที่นี้เริ่มจากสมการของแรงบิด โดย
 มีสมการทั้งหมดดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Torque} &= 1/n_s \text{ Real}[n I_m * I_1 (Z_{f1mn} - Z_{b1mn})] \\
 \text{Output} &= \text{Torque} * n_s \\
 \text{Current} &= I + I' + I'' \\
 \text{Input} &= \text{Current} * V \\
 \text{P.F.} &= \text{Output} / VA \\
 \text{Eff.} &= \text{Output} / \text{Input}
 \end{aligned}$$

มีรายละเอียดการคำนวณและการสร้างเมตริกซ์เพื่อหาค่ากระแสในหัวข้อการ
 คำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ ส่วนการคำนวณค่าแรงบิดที่เบรคความถี่ อยู่ในบทการวิเคราะห์
 เซคเตดโพลมอเตอร์ เนื่องจากการคำนวณค่านี้ได้ใส่ไว้ในโปรแกรมการออกแบบ

3.4 การออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์

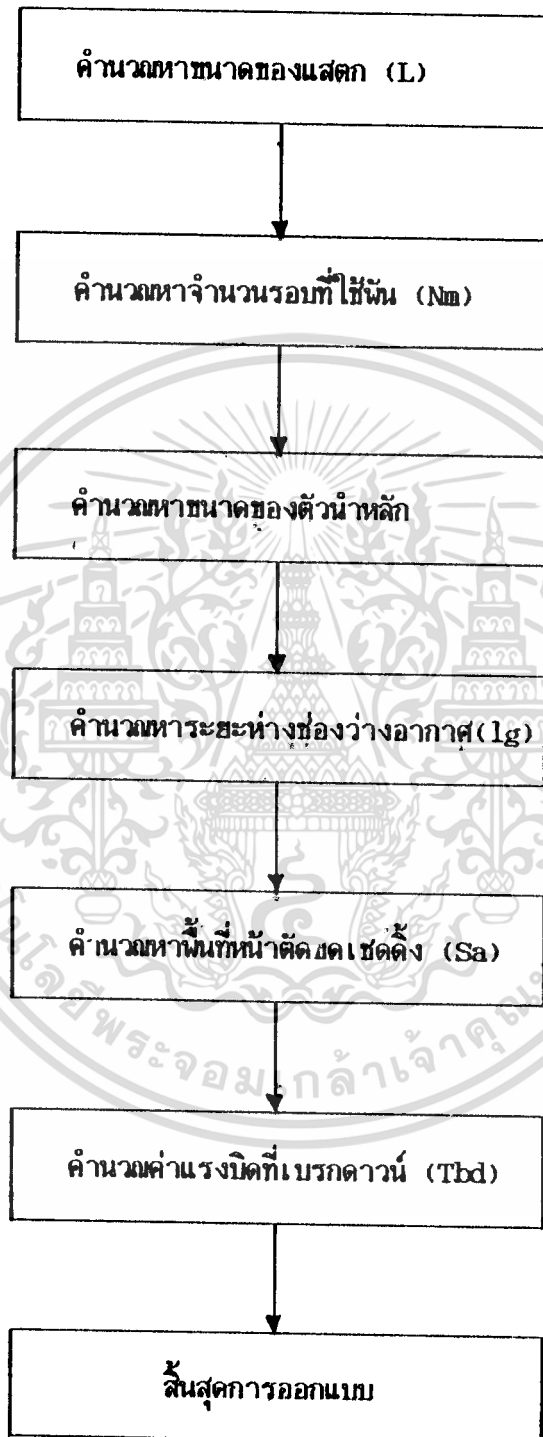
3.4.1 หลักการ

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีบทบาทในการช่วยงานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง การออกแบบมอเตอร์ก็เช่นเดียวกัน เนื่องจากการออกแบบเป็นการคำนวณซ้ำสำหรับโครงการที่เราใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โหลดส 123 เป็นตัวช่วย ถึงแม้การคำนวณจะช้ากว่าการใช้ภาษาในการคำนวณ แต่ความสะดวกในการเปลี่ยนแปลงค่าใดค่าหนึ่งและการแสดงผลจะดีกว่า เพราะเพียงเราเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ใดๆ ก็จะทำให้ค่าที่เกี่ยวข้องเปลี่ยนแปลงไปในทางที่สอดคล้องกัน อีกทั้งยังมีส่วนของมาโคร ที่ทำงานเหมือนการเขียนภาษาคิว เรานำมาช่วยในการคำนวณหาคุณสมบัติของมอเตอร์ ที่เราทำการวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบว่าได้ค่าที่พิกัด หรือได้ค่าตามที่ต้องการหรือไม่ และเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ ยังสามารถสร้างกราฟในโปรแกรมนี้ได้ทันทีเลย นับว่าสะดวกและเหมาะสมพอสมควร

การคำนวณคุณสมบัติของมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆ เราใช้ค่า สลิป (slip) เป็นตัวหลักที่ใช้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอื่นๆ

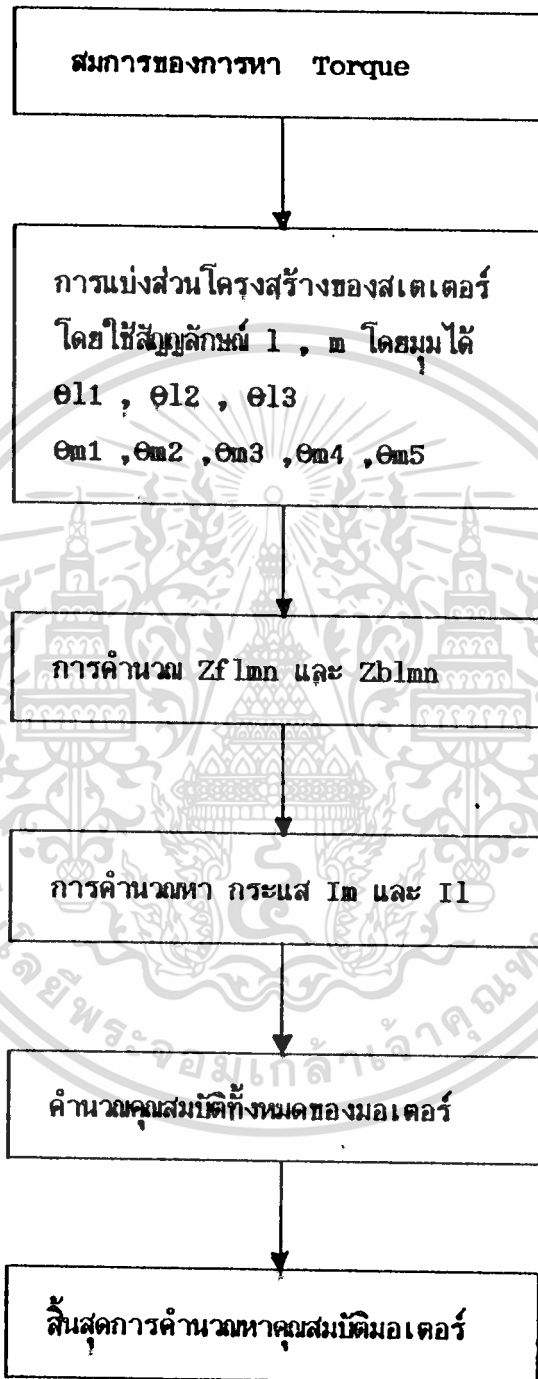


3.4.2 โฟลวชาร์ตของการออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลวาร์ตการแสดงการคำนวณคุณสมบัติของชนิด 2 เซตตั้งคอยล์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลาร์ต้อยแสดงการคำนวณ Zflmn และ Zblmn

หาค่า impedance ที่เกี่ยวข้องมี
 X_{2mn}, X_{mn}, R_{2n}

คำนวณ

$$Z_{fmn} = \frac{(jX_{2mn}/2) + (R_{2n}/2(1-nS))}{(jX_{mn}/2)}$$
$$Z_{bmn} = \frac{(jX_{2mn}/2) + (R_{2n}/2(1+nS))}{(jX_{mn}/2)}$$

คำนวณ

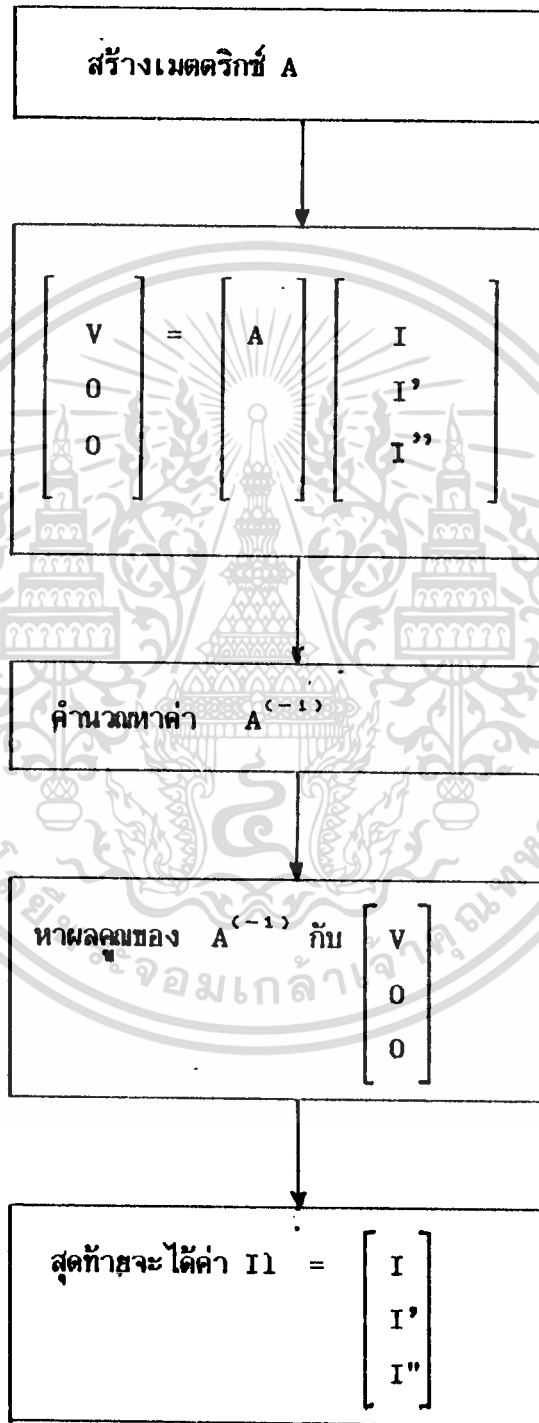
$$Z_{flmn} = \sin(n\theta_l/2) \sin(n\theta_m/2) Z_{fmn} * e^{jn\beta_{lm}}$$
$$Z_{blmn} = \sin(n\theta_l/2) \sin(n\theta_m/2) Z_{bmn} * e^{-jn\beta_{lm}}$$

β_{lm} คือมุมที่วัดจากจุดกึ่งกลางของส่วน l และ m.

หมายเหตุ

การระบุค่าของอิมพีแดนซ์ตามที่แสดงไว้ นั้น ได้มาจากการมองวงจรสมมูลของเซตเคเบิลโพลมอดเตอร์ที่มี 2 เซตคิงคอสส์ แบบ สเกลเลตัน ตามแบบบทความของ FC. Trutt ซึ่งเสนอรายละเอียดโครงสร้างไว้ในส่วนของภาคผนวก ง.

ไฟล์เวิร์ดตัวอย่างแสดงการคำนวณกระแส II



หมายเหตุ เมตริกซ์ A เขียนรายละเอียดไว้ในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 รายละเอียดของโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการคำนวณของ 1 ring

DESIGN OF SHADED-POLE INDUCTION MOTOR
SKELETON TYPE

-----Rating specification-----

Rated voltage (Volt)	220
Rated current (Amp)	0.055
Rated power output (Watt)	1.0
Rated speed (rpm)	2600
Rated frequency (Hz)	50
Number of pole (P)	2
Number of shading-coil	2

-----How to design-----

1. size of conductor (main winding)

From rating:

we use the value of current (approximately) 0.055

Assume:

J: current density (A/mm²) 4.0

we get the area of conductor (mm²) 0.015

Area (mm ²)	Diameter (mm)	Resistance (Ohm/km)
0.0079	0.100	2381
0.0095	0.110	1957
0.0113	0.120	1636
0.0133	0.130	1389
0.0154	0.140	1193
0.0177	0.150	1073
0.0201	0.160	908
0.0227	0.170	803
0.0254	0.180	714
0.0284	0.190	640
0.0314	0.200	577
0.0346	0.210	522
0.0415	0.230	438
0.0491	0.250	370

Choose the diameter of conductor;

0.130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impedance for calculation current

Za	=	2934.7	+j	228.3
Z1+	=	225.8	+j	2883.9
Z3+	=	-172.3	+j	92.7
Z5+	=	-12.6	+j	84.6
Z7+	=	-2.3	+j	24.0
Z1-	=	508.8	+j	340.5
Z3-	=	99.9	+j	29.1
Z5-	=	8.6	+j	82.7
Z7-	=	1.9	+j	23.6
Zs	=	-1940.8	+j	4177.8
Zm	=	328.8	+j	1780.5
Zt	=	568.4	+j	-946.8

Calculation current of motor

I1	=	0.025	+j	-0.037	=	0.044
Is	=	-0.008	+j	-0.024	=	0.0250
Ih	=	0.032	+j	-0.013	=	0.0347
I1+	=	-0.024	+j	-0.031	=	0.0394
I3+	=	-0.018	+j	-0.011	=	0.0209
I5+	=	-0.006	+j	0.025	=	0.0263
I7+	=	-0.022	+j	-0.023	=	0.0319
I1-	=	0.012	+j	-0.006	=	0.0140
I3-	=	0.019	+j	0.014	=	0.0235
I5-	=	0.031	+j	0.050	=	0.0586
I7-	=	0.015	+j	0.001	=	0.0150

Calculation characteristic of motor

T1	=	0.0188	Oz.Ft.
T3	=	-0.0294	Oz.Ft.
T5	=	-0.0143	Oz.Ft.
T7	=	-0.0015	Oz.Ft.
t torque	=	-0.0263	Oz.Ft.
	=	-2.23	mN-m
Output	=	-0.678	Watt
Input	=	5.641	Watt
p.F.	=	0.579	
Eff	=	-12.020	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance of motor

Speed	Slip	Current	Torque	Output	Input	P.F.	Eff
5	0.002	0.049	1.26	0.001	10.282	0.946	0.006
100	0.033	0.049	1.49	0.016	10.275	0.945	0.151
200	0.067	0.049	1.73	0.036	10.254	0.945	0.354
300	0.100	0.049	1.95	0.061	10.219	0.943	0.601
400	0.133	0.049	2.14	0.090	10.171	0.942	0.882
500	0.167	0.049	2.28	0.119	10.111	0.940	1.181
600	0.200	0.049	2.37	0.149	10.039	0.937	1.486
700	0.233	0.048	2.43	0.178	9.954	0.934	1.792
800	0.267	0.048	2.48	0.207	9.856	0.931	2.105
900	0.300	0.048	2.52	0.238	9.743	0.927	2.438
1000	0.333	0.047	2.58	0.271	9.616	0.922	2.815
1100	0.367	0.047	2.69	0.310	9.474	0.917	3.268
1200	0.400	0.047	2.84	0.358	9.317	0.911	3.837
1300	0.433	0.046	3.06	0.417	9.148	0.903	4.563
1400	0.467	0.046	3.35	0.491	8.965	0.895	5.476
1500	0.500	0.045	3.68	0.579	8.772	0.885	6.596
1600	0.533	0.045	4.05	0.679	8.568	0.874	7.921
1700	0.567	0.044	4.42	0.788	8.354	0.861	9.430
1800	0.600	0.044	4.78	0.901	8.133	0.846	11.077
1900	0.633	0.043	5.08	1.011	7.905	0.830	12.789
2000	0.667	0.043	5.29	1.109	7.672	0.811	14.461
2100	0.700	0.043	5.39	1.186	7.435	0.791	15.946
2200	0.733	0.043	5.33	1.227	7.197	0.769	17.053
2300	0.767	0.042	5.06	1.220	6.960	0.745	17.535
2400	0.800	0.043	4.57	1.150	6.725	0.719	17.095
2500	0.833	0.043	3.82	0.999	6.495	0.692	15.385
2600	0.867	0.043	2.77	0.754	6.271	0.664	12.022
2700	0.900	0.043	1.41	0.400	6.053	0.635	6.602
2800	0.933	0.044	-0.25	-0.075	5.844	0.607	-1.280
2900	0.967	0.044	-2.23	-0.678	5.641	0.579	-12.020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการคำนวณของ 2 RING.

PERFORMANCE CALCULATION OF SHADED-POLE INDUCTION MOTOR
SKELETON TYPE

RATING OF MOTOR	
Rated voltage (Volt)	220.0
Rated current (Amp)	0.055
Rated power output (Watt)	1.0
Rated speed (rpm)	2900.0
Rated frequency (Hz)	50.0
Number of pole	2.0

PARAMETER OF MOTOR	
Line voltage (V) (volts)	220
Frequency of supplied voltage (f) (Hz)	50
Number of pole (P)	2
Number of shading coil	2
Number of rotor conductors (Ss)	18
Number of turns per pole of primary winding (N)	4850
Number of actual conductors (C)	27436
Rotor slot constant (Ks")	1.000
Primary winding slot constant (Ks1)	0.600
Slot constant of the shading coil inside slot (Ks2)	2.500
Long length of air gap (Lg1) (inches)	0.087
Short length of air gap (Lg2) (inches)	0.012
Length per turn of shading coil (inches)	
No.1 (la1)	2.524
No.2 (la2)	1.929
Total section of shading coil conductor (inches ²)	
No.1 (Sa1)	0.178
No.2 (Sa2)	0.325
Section of rotor conductor (Sc) (inches ²)	0.041
Section of rotor end ring (Sr) (inches ²)	0.033
Rotor ring diameter (Dr) (inches)	1.236
Rotor skew (SK) (inches)	0.950
Rotor skew angle (Osk) (radians)	1.047
Rotor tooth face (Tf") (inches)	0.059
Length of stack (W) (inches)	0.606
Sector angle of motor (degree)	
(O1)	45
(O2)	75
(O3)	20
(O4)	20
(O5)	20
Angle of the unshaded pole arc (Om) (radians)	2.003
Angle of the shaded pole arc (radians)	
(Os_1)	1.135
Pole pitch (Pp) (inches)	1.856
Coil span of primary (span1) (inches)	1.147
Coil span of shading coils (span2) (inches)	0.744
Coil span of shading coils (span3) (inches)	0.831

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 CALCULATION THE RESISTANCE & REACTANCE OF MOTOR

Primary winding resistance (R1)		403.600
Primary winding reactance (X1)		9195.503
Core resistance (Rc)		2000.000
Shading coil resistance		
(Rs1)		92.407
(Rs2)		33.700
Rotor resistance at n-th harmonic		
n=1 (R21)		5609.356
n=3 (R23)		37.998
n=5 (R25)		1660.655
Shading coil reactance		
(Xs1)		1869.994
(Xs2)		1921.394
Main winding and the shade1 reactance (X11=X1+Xs1)		11065.5
Main winding and the shade2 reactance (X12=X1+Xs2)		11116.9
Main winding and the shade1 and shade2 reactance		
(X112=X1+Xs1+Xs2)		12986.9
The shade1 and shade2 reactance (Xs12=Xs1+Xs2)		3791.388
Pole-bridge reactance (Xb)		65.000
Mutual reactance of m-th sector at n-th harmonic		
n=1 :	m=1 :	(X11) 6758.2
	m=2 :	(X21) 49560.1
	m=3 :	(X31) 49560.1
	m=4 :	(X41) 49560.1
	m=5 :	(X51) 6758.2
n=3 :	m=1 :	(X13) 11.7
	m=2 :	(X23) 86.1
	m=3 :	(X33) 86.1
	m=4 :	(X43) 86.1
	m=5 :	(X53) 11.7
n=5 :	m=1 :	(X15) 69.0
	m=2 :	(X25) 506.0
	m=3 :	(X35) 506.0
	m=4 :	(X45) 506.0
	m=5 :	(X55) 69.0
		164134.3
Rotor leakage reactance of m-th sector at n-th harmonic		
n=1 :	m=1 :	(X211) 1523.807
	m=2 :	(X221) 3934.577
	m=3 :	(X231) 3934.577
	m=4 :	(X241) 3934.577
	m=5 :	(X251) 1523.807
n=3 :	m=1 :	(X213) 18.668
	m=2 :	(X223) 70.266
	m=3 :	(X233) 70.266
	m=4 :	(X243) 70.266
	m=5 :	(X253) 18.668
n=5 :	m=1 :	(X215) 872.649
	m=2 :	(X225) 3222.224
	m=3 :	(X235) 3222.224
	m=4 :	(X245) 3222.224
	m=5 :	(X255) 872.649

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ หรือ การใช้ (X245) ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิ้งค์หน้าเว็บให้ข้อมูลรายละเอียดข้ออ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE TABLE FOR ALL CALCULATION (Z1mn)

l	m	n	B1	Om	O1m	nB1/2	nOm/2
1 (I)	1	1	2.0953	0.7858	0.655	1.0477	0.3929
		3	2.0953	0.7858	0.655	3.1430	1.1786
		5	2.0953	0.7858	0.655	5.2383	1.9644
	2	1	2.0953	1.3096	0.000	1.0477	0.6548
		3	2.0953	1.3096	0.000	3.1430	1.9644
		5	2.0953	1.3096	0.000	5.2383	3.2740
	3	1	2.0953	0.3492	1.222	1.0477	0.1746
		3	2.0953	0.3492	1.222	3.1430	0.5238
		5	2.0953	0.3492	1.222	5.2383	0.8731
	4	1	2.0953	0.3492	1.572	1.0477	0.1746
		3	2.0953	0.3492	1.572	3.1430	0.5238
		5	2.0953	0.3492	1.572	5.2383	0.8731
	5	1	2.0953	0.3492	1.921	1.0477	0.1746
		3	2.0953	0.3492	1.921	3.1430	0.5238
		5	2.0953	0.3492	1.921	5.2383	0.8731
2 (I')	1	1	2.445	0.7858	0.829	1.222	0.3929
		3	2.445	0.7858	0.829	3.667	1.1786
		5	2.445	0.7858	0.829	6.111	1.9644
	2	1	2.445	1.3096	0.218	1.222	0.6548
		3	2.445	1.3096	0.218	3.667	1.9644
		5	2.445	1.3096	0.218	6.111	3.2740
	3	1	2.445	0.3492	1.048	1.222	0.1746
		3	2.445	0.3492	1.048	3.667	0.5238
		5	2.445	0.3492	1.048	6.111	0.8731
	4	1	2.445	0.3492	1.397	1.222	0.1746
		3	2.445	0.3492	1.397	3.667	0.5238
		5	2.445	0.3492	1.397	6.111	0.8731
	5	1	2.445	0.3492	1.746	1.222	0.1746
		3	2.445	0.3492	1.746	3.667	0.5238
		5	2.445	0.3492	1.746	6.111	0.8731
3 (I'')	1	1	2.794	0.7858	1.004	1.397	0.3929
		3	2.794	0.7858	1.004	4.191	1.1786
		5	2.794	0.7858	1.004	6.984	1.9644
	2	1	2.794	1.3096	0.044	1.397	0.6548
		3	2.794	1.3096	0.044	4.191	1.9644
		5	2.794	1.3096	0.044	6.984	3.2740
	3	1	2.794	0.3492	0.873	1.397	0.1746
		3	2.794	0.3492	0.873	4.191	0.5238
		5	2.794	0.3492	0.873	6.984	0.8731
	4	1	2.794	0.3492	1.222	1.397	0.1746
		3	2.794	0.3492	1.222	4.191	0.5238
		5	2.794	0.3492	1.222	6.984	0.8731
	5	1	2.794	0.3492	1.572	1.397	0.1746
		3	2.794	0.3492	1.572	4.191	0.5238
		5	2.794	0.3492	1.572	6.984	0.8731

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากทำไปใช้เพื่อประโยชน์อื่นใด เจ้าของเอกสารขอสงวนสิทธิ์ที่มีการไปใช้

 THE FIRST MATRIX FOR CALCULATE CURRENT (I, I', I'')

$$\begin{matrix} 220 & = & I & [A]= \\ 0 & = & I' \\ 0 & = & I'' \end{matrix}$$

INVERSE OF THE FIRST MATRIX

```

***** +j *****-0.000001 +j 0.000036
***** +j *****-0.000003 +j -0.000042
***** +j *****-0.000005 +j -0.000057
    
```

1
 RESULT OF CURRENT

$$\begin{matrix} I & = & 0.002 & +j & -0.012 \\ I' & = & 0.007 & +j & -0.008 \\ I'' & = & 0.007 & +j & 0.026 \end{matrix}$$

 DETERMINATION OF CURRENT IN M-TH SECTION

$$\begin{matrix} I_1 & = & I & = & 0.002 & +j \\ I_2 & = & I - I' & = & -0.005 & +j \\ I_3 & = & I' & = & 0.007 & +j \\ I_4 & = & I' - I'' & = & 0.000 & +j \\ I_5 & = & I'' & = & 0.007 & +j \\ I_0 & = & I + I' + I'' & = & 0.086 & \end{matrix}$$

 THE SECOND MATRIX FOR CALCULATE MAIN CURRENT (OPEN CCT.)

$$\begin{matrix} 220 & = & I_p \\ 0 & = & I_p' \\ 0 & = & I_p'' \end{matrix}$$

INVERSE MATRIX OF THE SECOND MATRIX

MULTIPLY OF

```

***** (j) *****
***** (j) *****
***** (j) *****
    
```

RESULT OF MAIN CURRENT

$$\begin{matrix} I_p & = & ***** & (j) & 0.005805 \\ I_p' & = & ***** & (j) & 0.002400 \\ I_p'' & = & ***** & (j) & -0.002562 \\ I_{pt} & = & ***** & (j) & 0.005644 \end{matrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น ถึงห้ามมิให้คัดลอกและตีพิมพ์ (j) อิงถึงเจ้าขอ 0.005644 รังที่มีกรณไปใช้

THE LAST PERFORMANCE OF SHADED POLE MOTOR FOR

$$s = \frac{\text{actual speed} - \text{synchronous speed}}{\text{synchronous speed}}$$

Speed	Slip	Torque	Pout	Pin	I _{main}	P.F.	Eff
5	0.002	0.00058	0.000	8.481	0.062	0.619	0
100	0.033	0.00148	0.083	9.600	0.070	0.619	1
200	0.067	0.00147	0.071	5.805	0.043	0.619	1
300	0.100	0.00148	0.106	5.800	0.043	0.620	2
400	0.133	0.00149	0.142	5.799	0.043	0.620	2
500	0.167	0.00151	0.178	5.801	0.043	0.620	3
600	0.200	0.00153	0.215	5.806	0.043	0.620	4
700	0.233	0.00156	0.252	5.813	0.043	0.621	4
800	0.267	0.00159	0.291	5.823	0.043	0.621	5
900	0.300	0.00163	0.332	5.836	0.043	0.621	6
1000	0.333	0.00167	0.374	5.852	0.043	0.622	6
1100	0.367	0.00173	0.418	5.870	0.043	0.622	7
1200	0.400	0.00179	0.464	5.892	0.043	0.623	8
1300	0.433	0.00185	0.513	5.916	0.043	0.623	9
1400	0.467	0.00192	0.565	5.942	0.043	0.624	10
1500	0.500	0.00201	0.620	5.972	0.043	0.625	10
1600	0.533	0.00209	0.678	6.004	0.044	0.625	11
1700	0.567	0.00219	0.740	6.039	0.044	0.626	12
1800	0.600	0.00229	0.806	6.078	0.044	0.627	13
1900	0.633	0.00239	0.875	6.121	0.044	0.628	14
2000	0.667	0.00250	0.946	6.168	0.045	0.628	15
2100	0.700	0.00260	1.019	6.221	0.045	0.629	16
2200	0.733	0.00268	1.090	6.282	0.045	0.630	17
2300	0.767	0.00273	1.155	6.356	0.046	0.630	18
2400	0.800	0.00272	1.206	6.447	0.046	0.631	19
2500	0.833	0.00262	1.230	6.568	0.047	0.631	19
2600	0.867	0.00236	1.210	6.735	0.049	0.631	18
2700	0.900	0.00185	1.117	6.984	0.050	0.630	16
2800	0.933	0.00096	0.908	7.377	0.053	0.628	12
2900	0.967	-0.00051	0.549	8.066	0.059	0.623	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนมาโครที่ใช้ในการคำนวณ

```
\G {GOTO}B270~
Y /RV~E265~
  {CALC}
  /DMII178.K180~Q178~
  /DMMQ178.S180~M178.O180~U178~
  /DMM178.O180~U178.W180~Y178~
  /dmiacl78.ae180~ag178~
  /dmm178.o180~ag178.ai180~ak178~
  /DMMQ178.S180~AK178.AM180~AO178~
  {RIGHT}
  /RVK252~~
  {RIGHT}
  /RVK253~~
  {RIGHT}
  /RVK254~~
  {RIGHT}
  /RVK255~~
  {RIGHT}
  /RVK256~~
  {RIGHT}
  /RVK257~/rvj265~e265~{calc}
  {DOWN}
  {LEFT 6}
  {IF E265=1}{BRANCH X}
  {BRANCH Y}
X {GOTO} A266~
```


1. LENGTH OF STACK (Lw)

APPARENT POWER INPUT (P) = 5.863
 KW = 0.850
 Bav = 0.158
 ac = 5403.31

equa. $Q = 11 * Bav * ac * Kw * D^2 * L * ns$

2. NUMBER OF TURN (Nm)

FLUX DENSITY (B) = 0.935
 SECTION AREA OF CORE (ACC) = 0.000200
 THICKNESS OF LAMINATE (T) = 0.063
 STACKING FACTOR (s.f.) = 0.980

equa. $V = 4.44 * B * A * F * Nm * s.f.$

3. SIZE OF CONDUCTOR

CURRENT DENSITY (J) = 3

equa. $Am = I/J$
 $= 0.013666$

=====
 area SWG diameter resistance
 (mm²) (mm) (ohm/km)
 =====

0.0079	42	0.10	2381.0
0.0095	41	0.11	1957.0
0.0113	40	0.12	1636.0
0.0133	39	0.13	1389.0
0.0154	38.5	0.14	1193.0
0.0177	38	0.15	1037.0
0.0201	37.5	0.16	908.7
0.0227	37	0.17	803.2
0.0254	36.5	0.18	714.9
0.0284	36	0.19	640.6
0.0314	35.5	0.20	577.1
0.0346	35	0.21	522.8
0.0415	34	0.23	438.6
0.0491	33	0.25	370.2
0.0531	32.5	0.26	341.8
0.0573	32	0.27	316.6
0.0707	31	0.30	254.0
0.0804	30	0.32	222.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้ใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าจะเลือกสาย CONDUCTOR BY SWG NUMBER IS ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIAMETER IS

39
0.13

4. LENGTH OF AIR GAP (Lg)

equa. Lg = 0.007*D*2/@SQRT(P)

5. SECTION OF SHADING COIL

INDUCTANCE OF SHADING COIL	=	24.66543
PERMEABILITY	=	38.19
SECTION AREA OF CORE (ACC)	=	0.000200
LENGTH OF CORE (L1)	=	0.046345

equa. Lc = 0.4*@Pi*Nm^2*A*10^(-2)/L1

RESULT OF DESIGN

1. LENGTH OF STACK	=	0.014345
	=	14.35
2. NUMBER OF TURN	=	5385.320
	=	5385
3. SIZE OF CONDUCTOR	=	0.13
	=	39
4. LENGTH OF AIR GAP	=	0.316783
5. SECTION OF SHADING COIL	=	0.000003
	=	3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 กราฟแสดงผลการคำนวณที่ความเร็วต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะแสดงเพียงกราฟที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมที่ใช้ที่ทุกๆความเร็ว ส่วนกราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณจากโปรแกรมกับผลที่ได้จากการทดสอบจากมอเตอร์จริงอยู่ในบทที่ 4 เพื่อความเหมาะสม

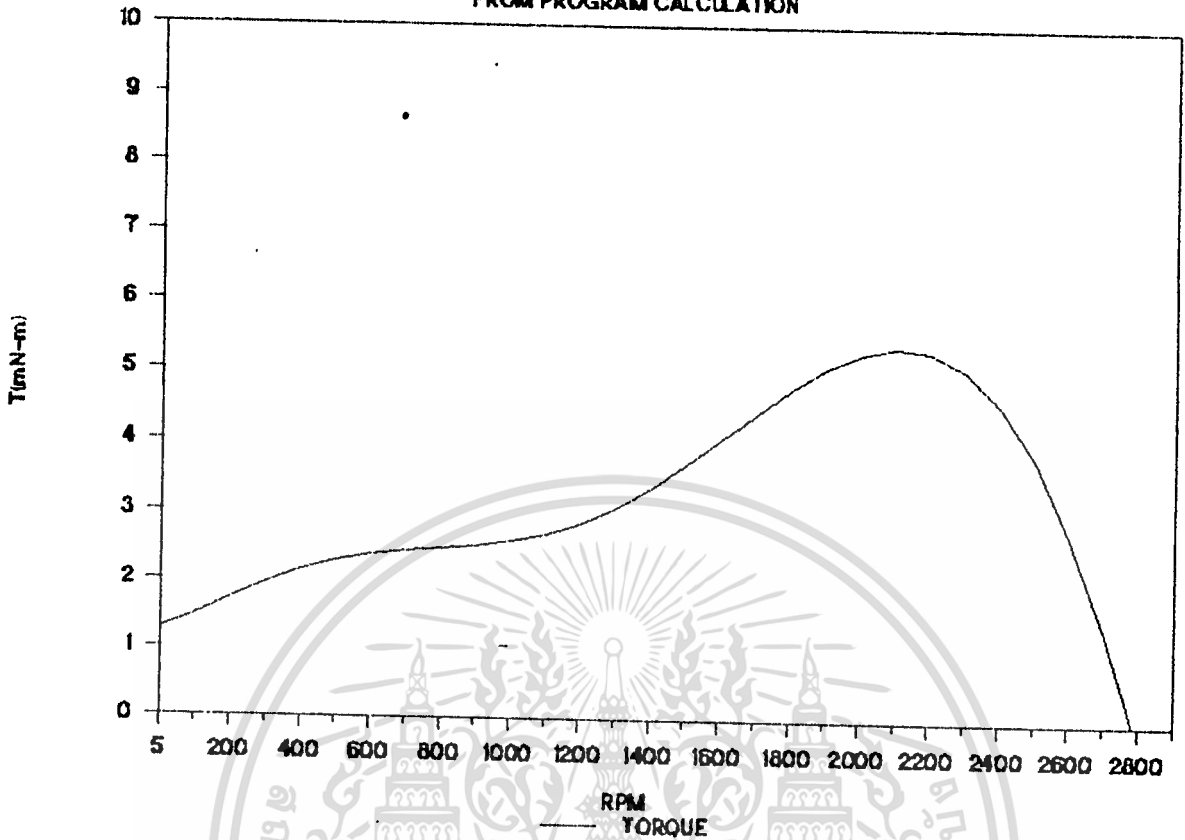


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ร่ำกรณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงคุณสมบัติของ 1 RING

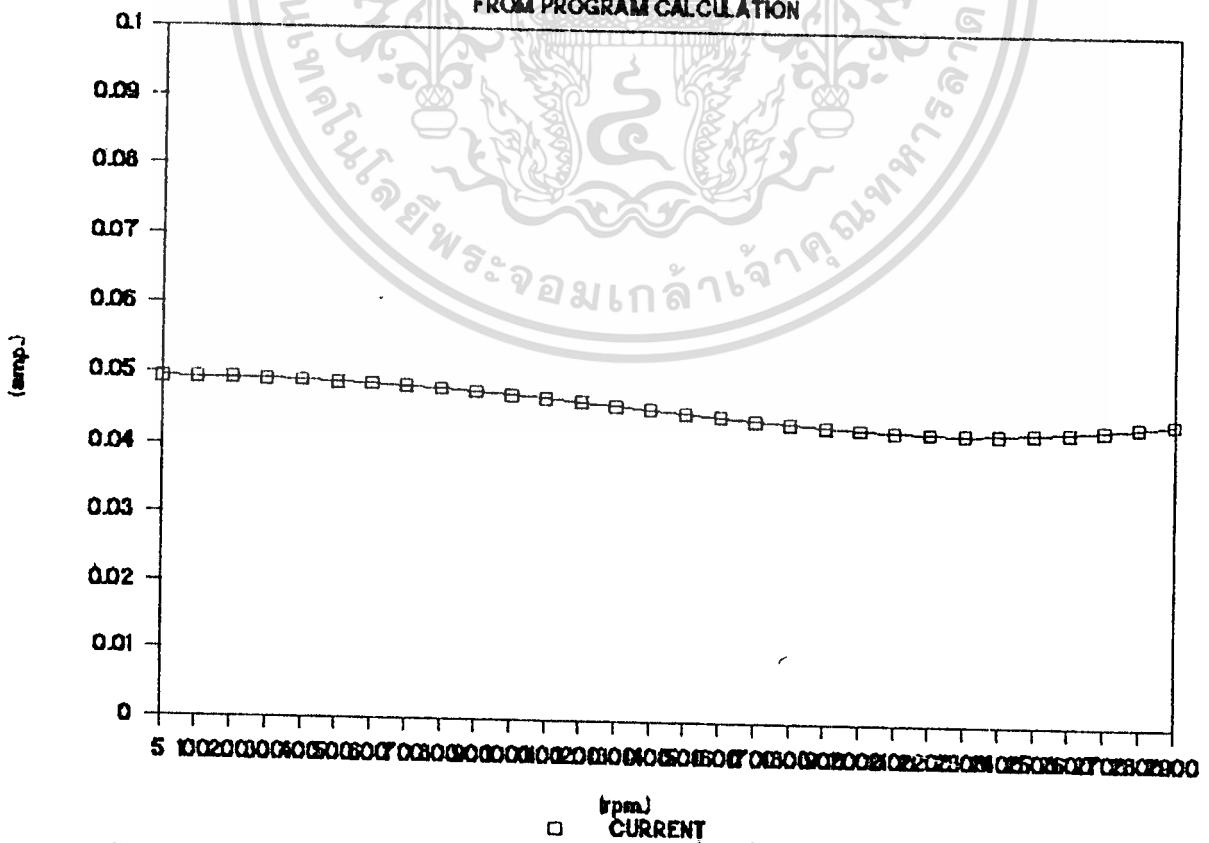
RELATION OF SPEED AND TORQUE

FROM PROGRAM CALCULATION



RELATION OF SPEED AND CURRENT

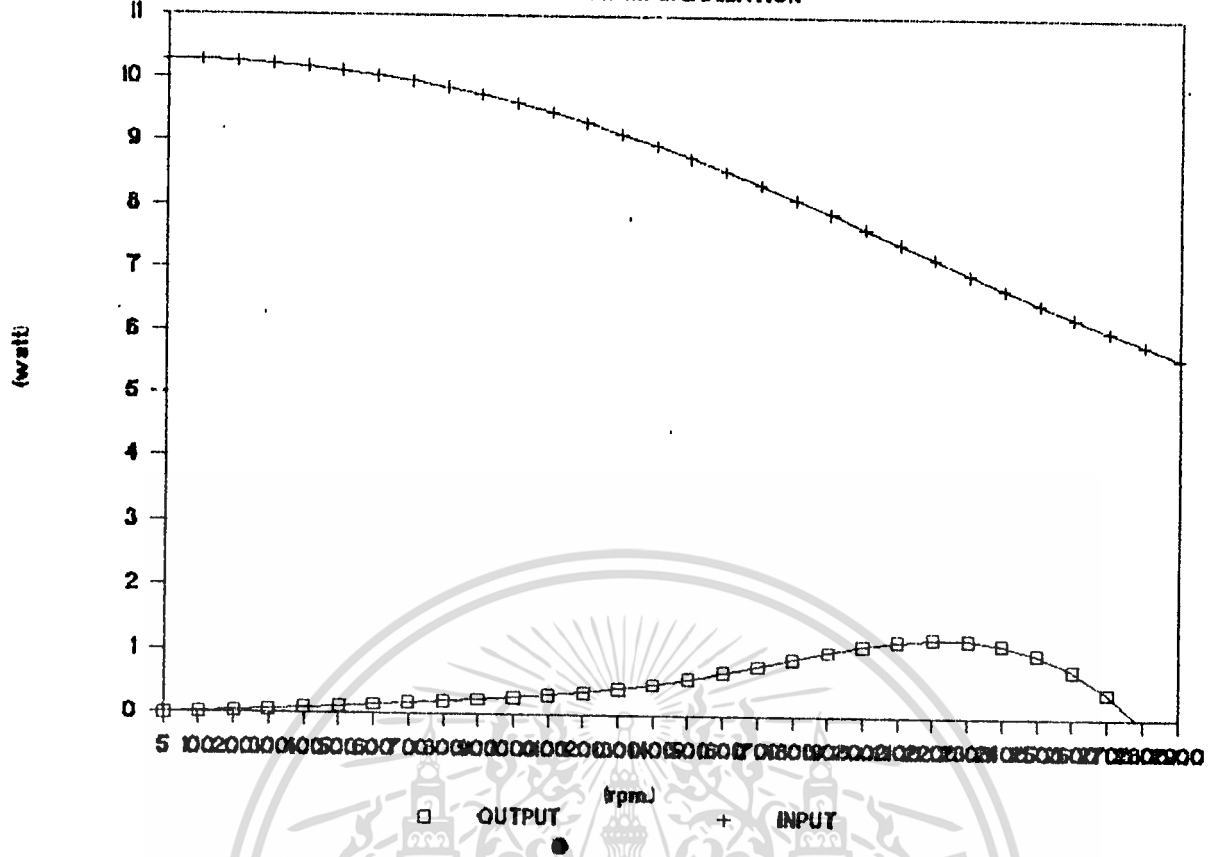
FROM PROGRAM CALCULATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

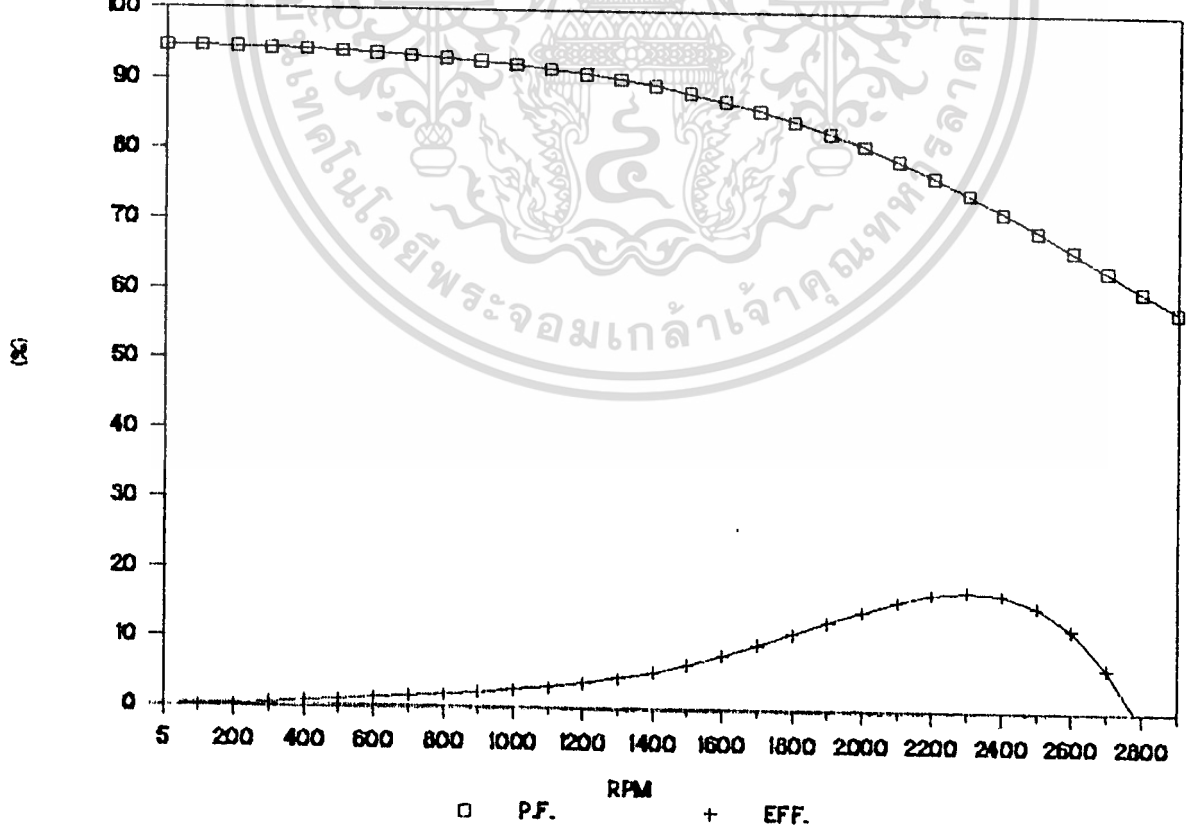
RELATION OF SPEED AND OUTPUT, INPUT

FROM PROGRAM CALCULATION



RELATION OF SPEED AND P.F., EFF.

FROM PROGRAM CALCULATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟ แสดงคุณสมบัติของ 2 RING

RELATION OF SPEED AND TORQUE

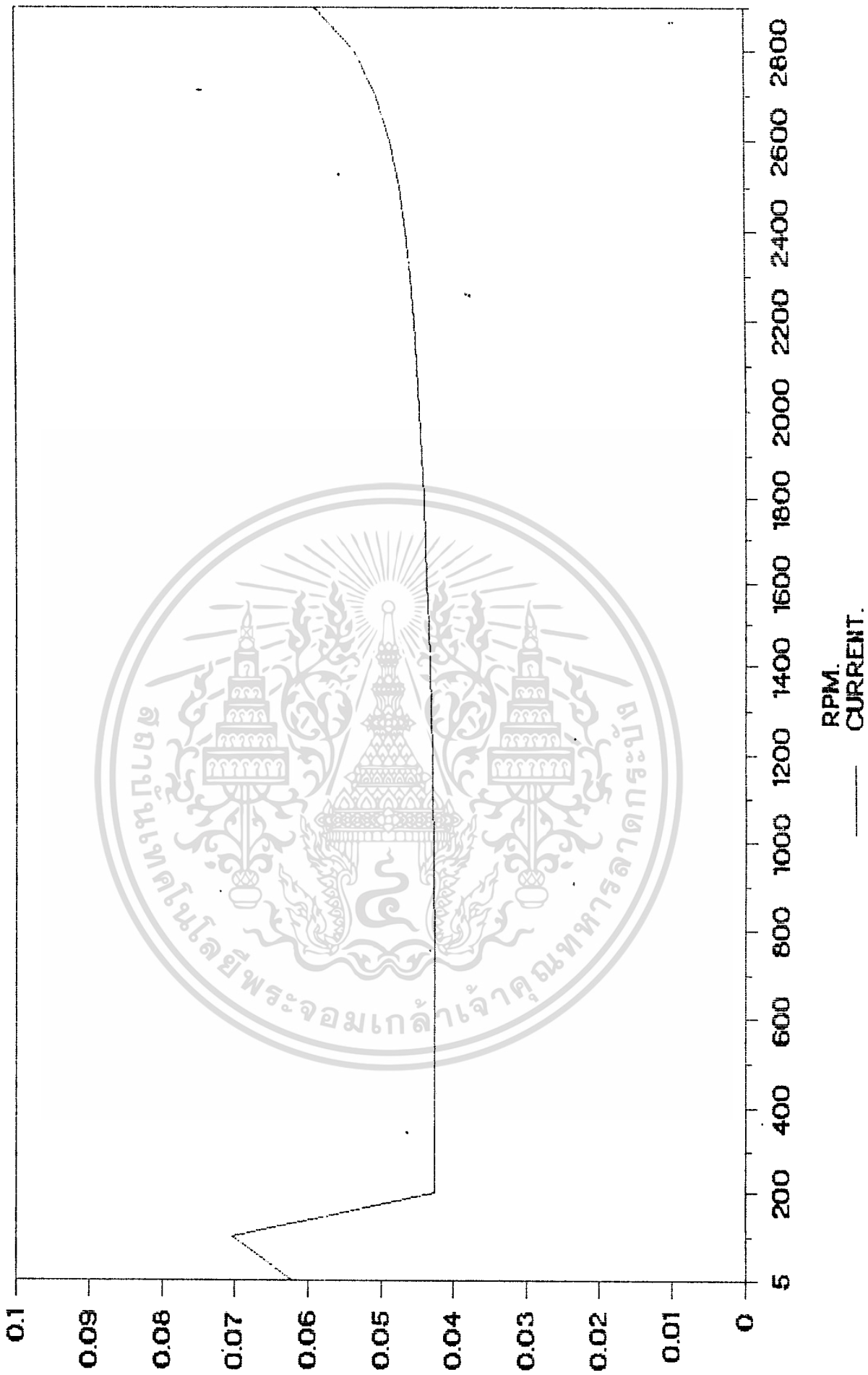
2 SHADING COIL



RPM. TORQUE

RELATION OF SPEED AND CURRENT.

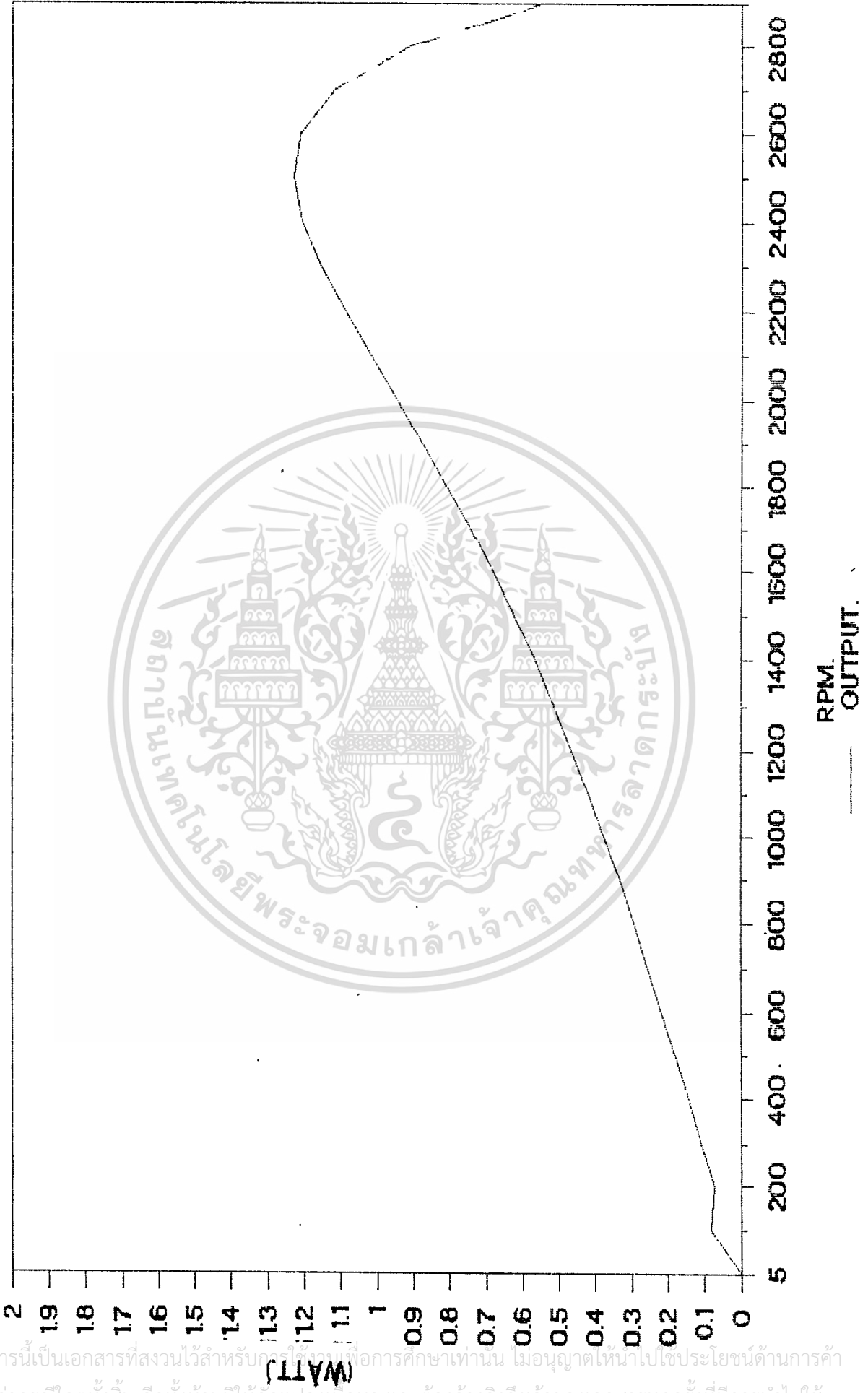
2 SHADING COIL.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RELATION OF SPEED AND OUTPUT.

2 SHADING COIL.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูได้ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RELATION OF SPEED AND INPUT.

2 SHADING COIL



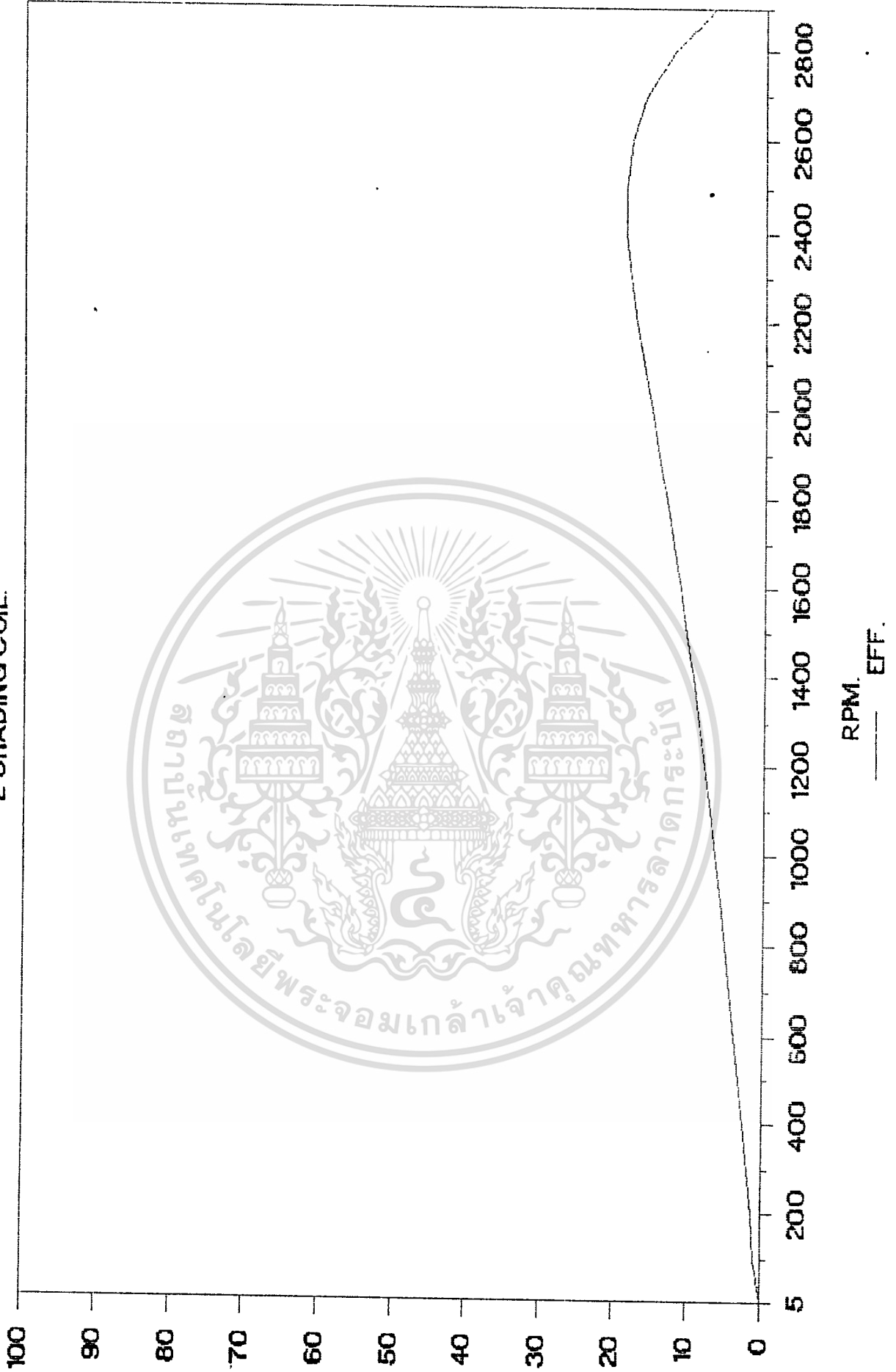
RPM. _____
INPUT.

(WATT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RELATION OF SPEED AND EFF.

2 SHADING COIL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ (๒) และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RELATION OF SPEED AND P.F.

2 SHADING COIL



— RPM.
 — POWER FACTOR.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

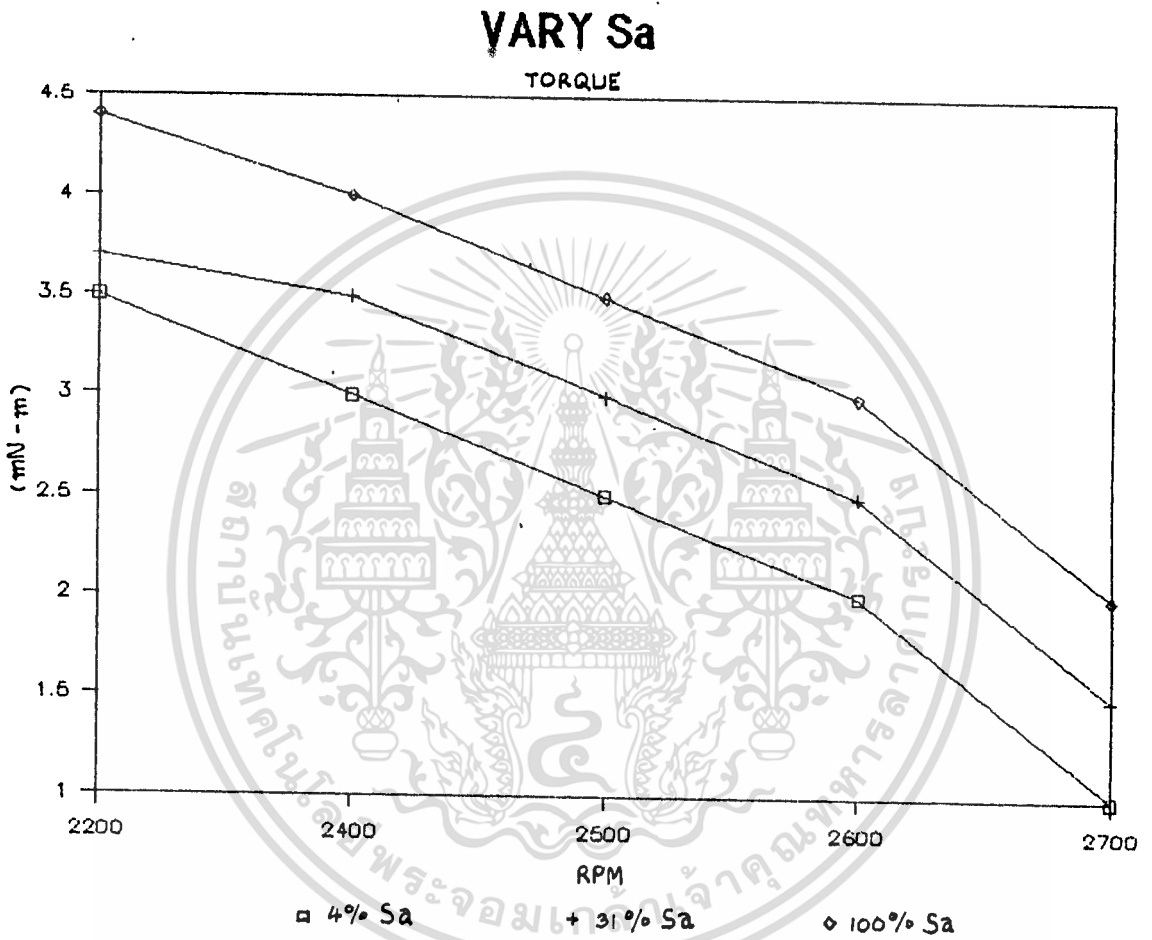
จากการที่เราได้ศึกษาทฤษฎีและการออกแบบมอเตอร์ชนิดซิงโครนัส ก่อนที่เราจะนำค่าการออกแบบที่ได้ไปทำการสร้างมอเตอร์เพื่อนำไปใช้งานนั้น เราจะต้องทดสอบมอเตอร์ด้วยเครื่องทดสอบก่อน เพื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมที่เราสร้างขึ้นมาว่าใกล้เคียงกันเพียงใด และเพื่อที่จะให้ได้ผลที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการออกแบบ จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าบางค่าจากมอเตอร์ต้นแบบ เพื่อนำไปปรับปรุงมอเตอร์ให้ดีขึ้น

4.1 ผลของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่มีต่อคุณสมบัติของมอเตอร์

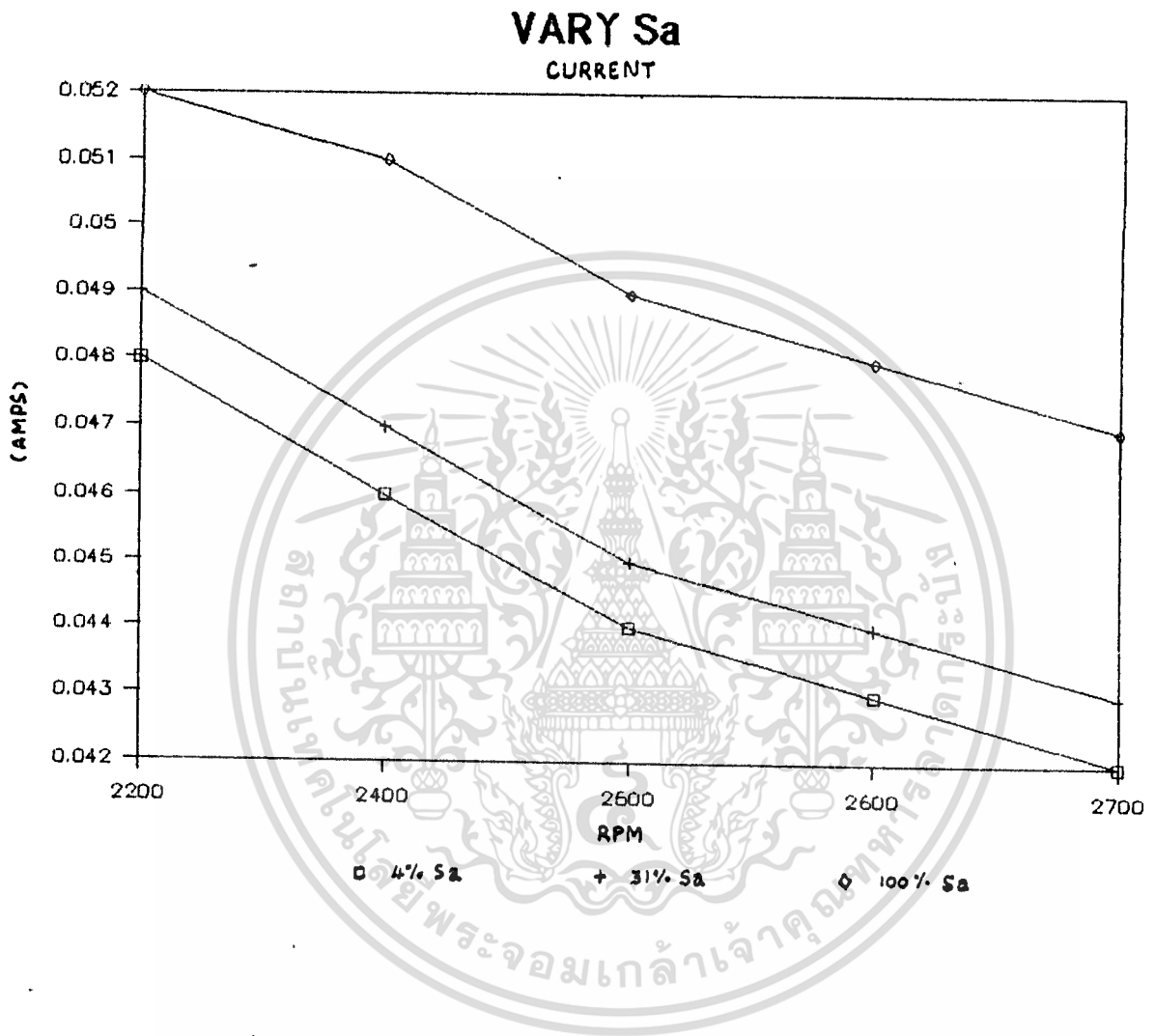
การเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ก็เพื่อที่จะศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอเตอร์ ซึ่งจะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาออกแบบมอเตอร์ เพื่อหาว่าค่าพารามิเตอร์ขนาดใดจึงจะเหมาะสมกับมอเตอร์ แต่เนื่องจากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์บางอย่างยุ่งยาก เสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก ทำให้สามารถเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ได้เพียง 2 ค่า เท่านั้นคือ

1. การเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของขดเชดคัง (s_a) ซึ่งในการทดสอบได้เปลี่ยนแปลงไว้ 3 ค่า เพื่อเปรียบเทียบหาคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์
2. การเปลี่ยนจำนวนรอบของขดลวดตัวนำหลัก (N_m) ซึ่งได้ทดสอบการเปลี่ยนแปลงไว้ 3 ค่า เช่นเดียวกัน เพื่อจะได้เปรียบเทียบหาค่าที่เหมาะสม

กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของ ขด เชคคิง



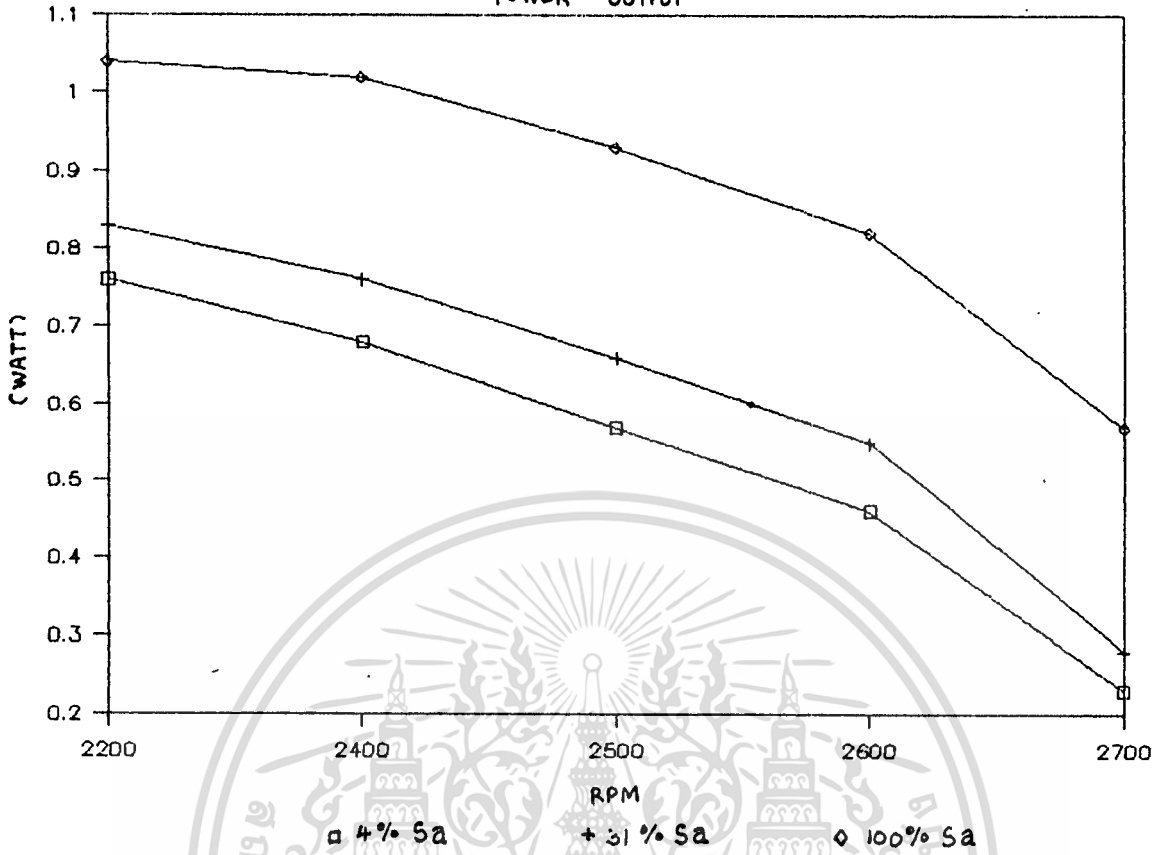
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

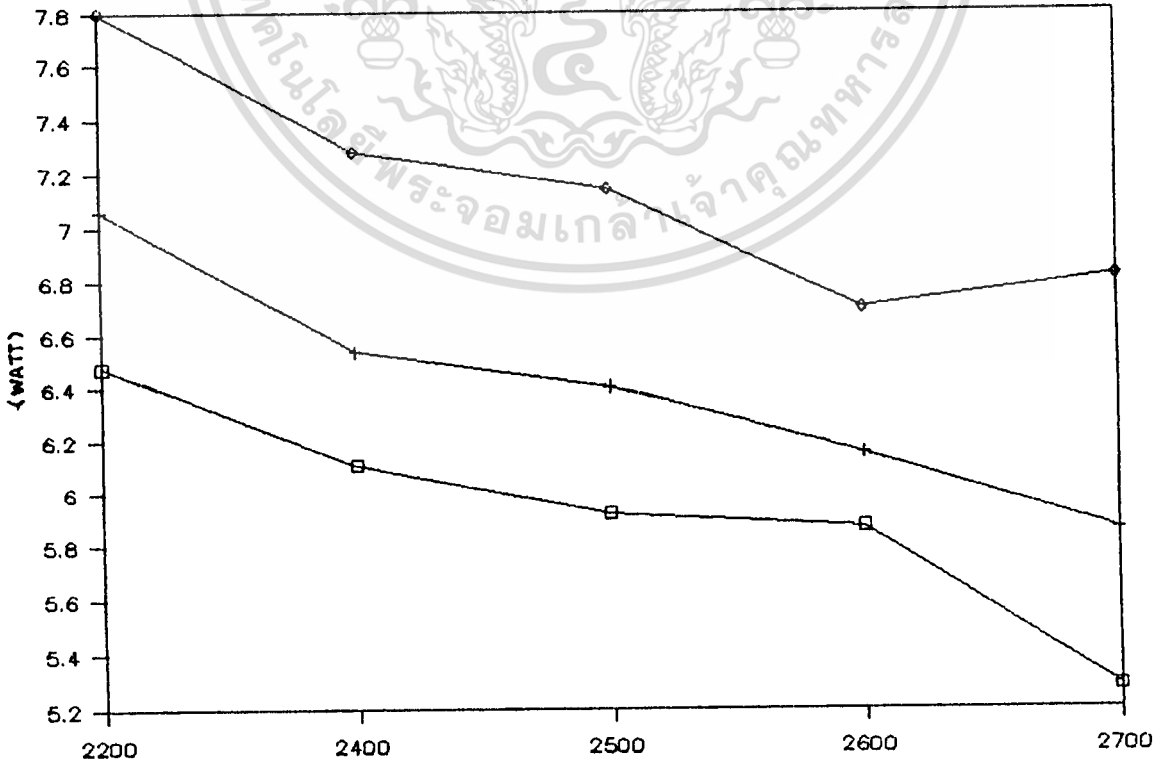
VARY Sa

POWER OUTPUT

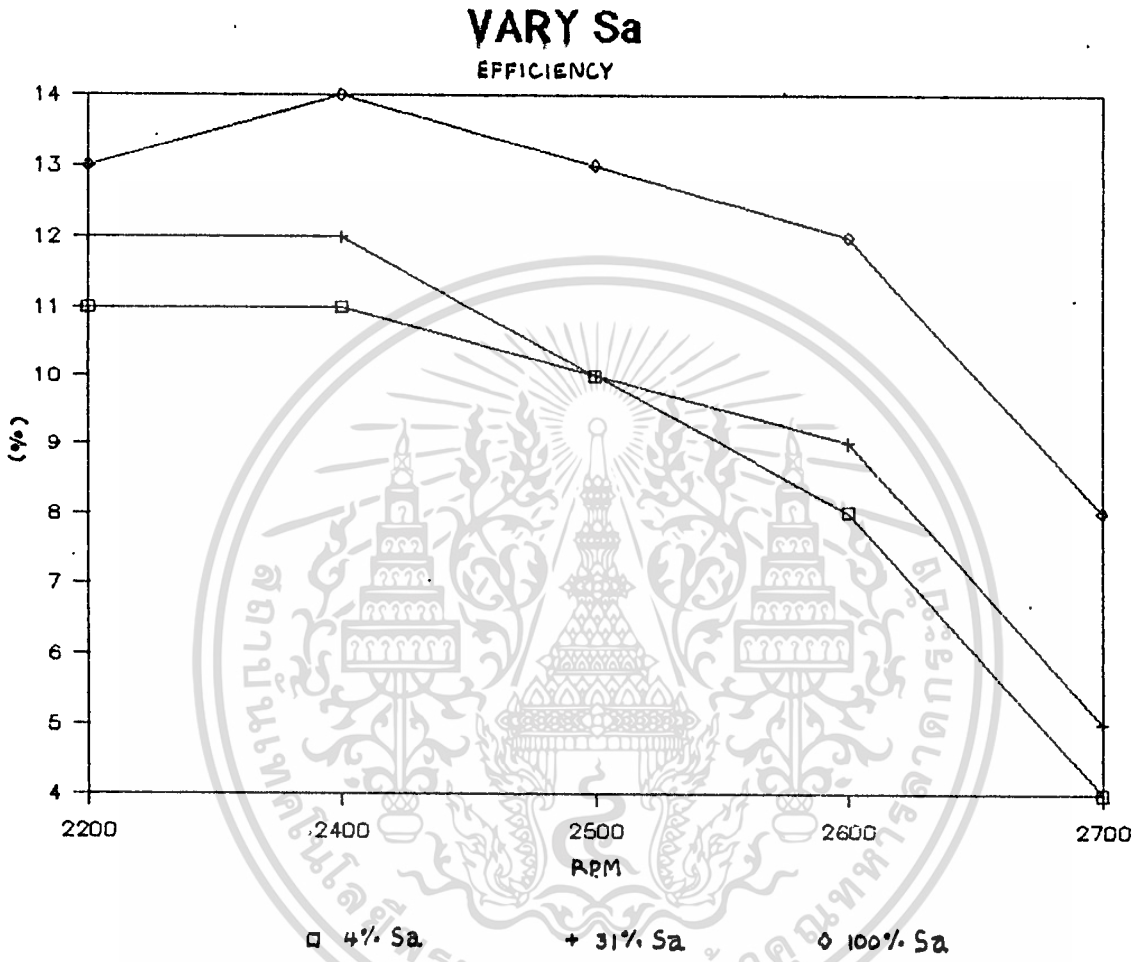


VARY Sa

POWER INPUT

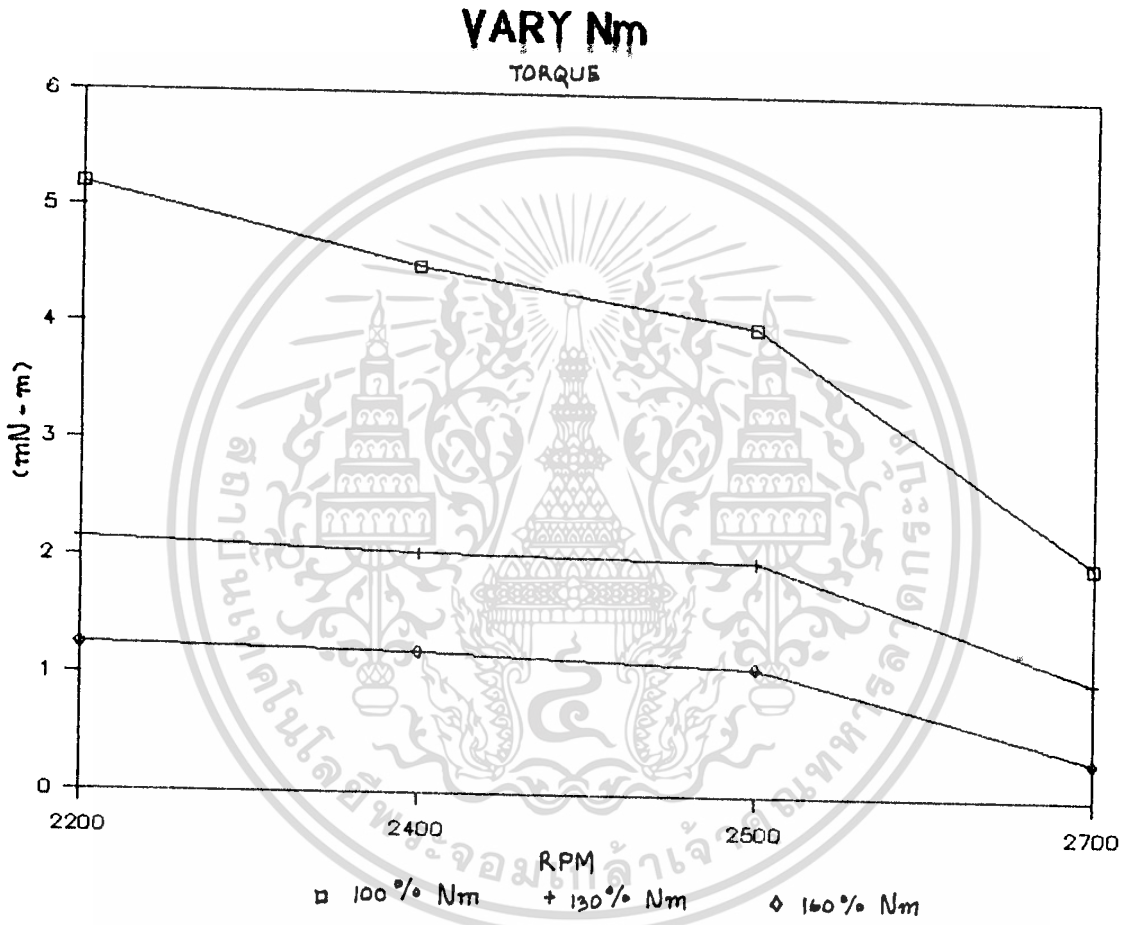


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

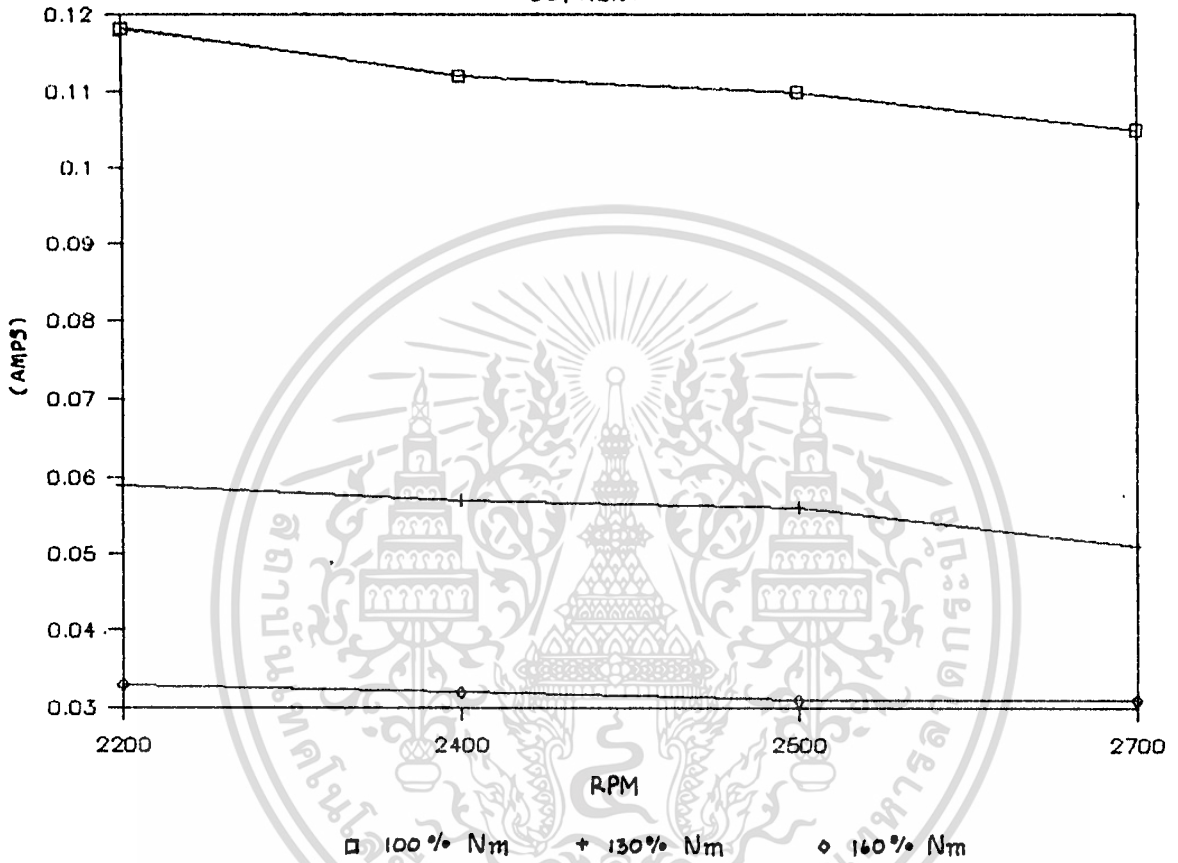
กราฟแสดงผลของการเปลี่ยนจำนวนรอบของชดวคตัวนำหลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VARY Nm

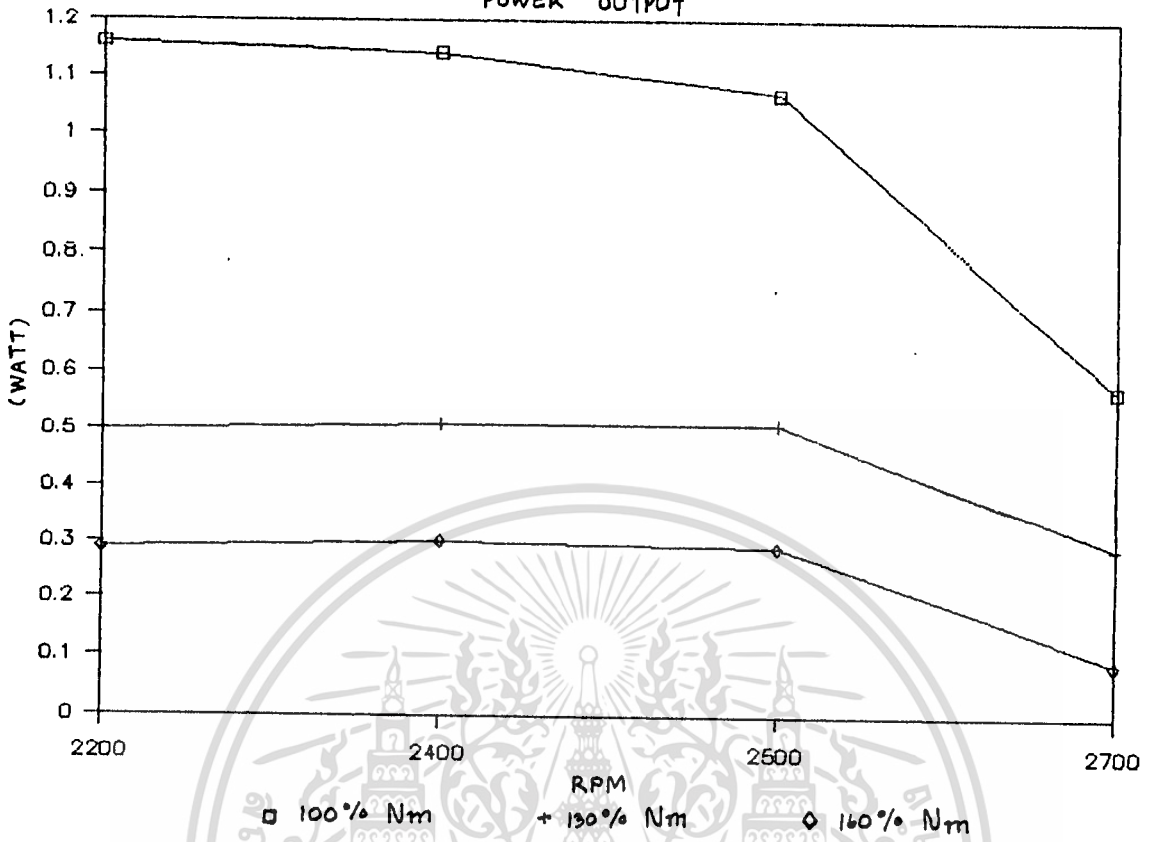
CURRENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

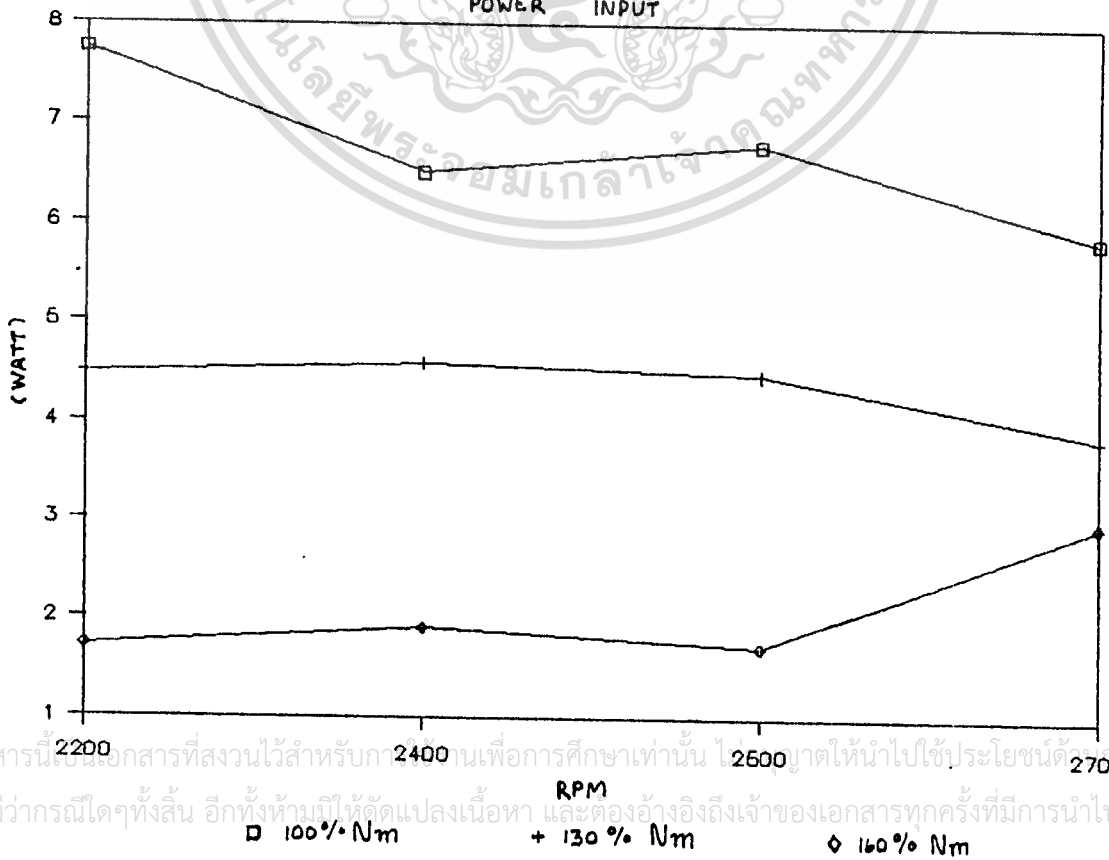
VARY Nm

POWER OUTPUT



VARY Nm

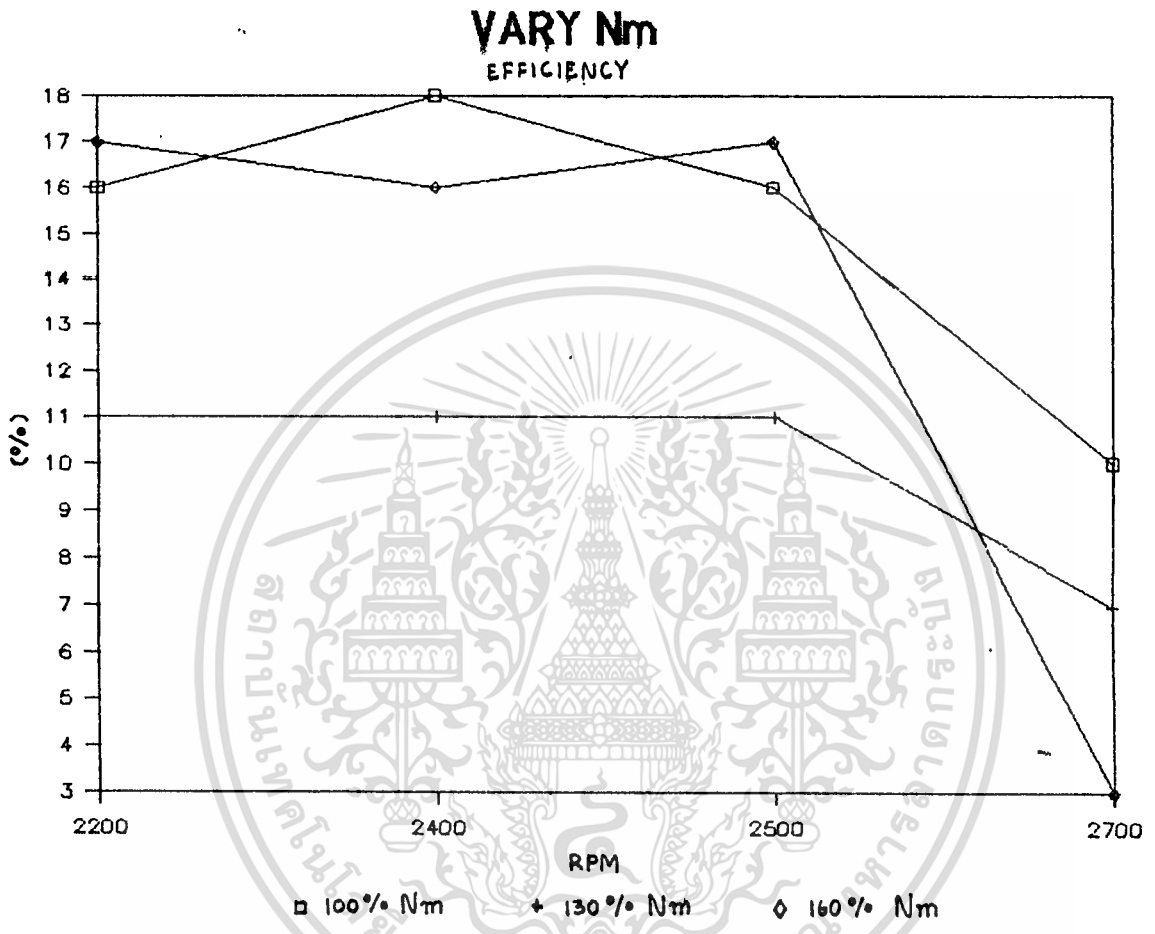
POWER INPUT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น โปรดนำไปใช้ประโยชน์ได้ 2700

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

□ 100% Nm + 130% Nm ◇ 160% Nm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลที่ได้จากการทดสอบจริงจากมอเตอร์ต้นแบบ

หลักการคำนวณ

หลังจากที่เราได้สร้างโปรแกรมที่ใช้คำนวณคุณสมบัติต่าง ๆ ดังบทที่ 3 แล้ว โดยใช้โลตัส 123 ก็ใส่ความเร็วที่ได้จากเครื่อง z - test ลงในโปรแกรม ใช้ส่วนมาโครให้โปรแกรมคำนวณคุณสมบัติที่ความเร็วนั้นออกมาได้ค่าดังนี้

Speed	Slip	Torque	Pout
2423	0.808	0.00185	1.058
2530	0.843	0.00242	1.145
2610	0.870	0.00235	1.227
2671	0.890	0.00201	1.182
2673	0.891	0.00191	1.219
2708	0.903	0.00128	0.947

Pin	Imain	P.F.	EFF.
5.950	0.043	0.631	18
6.474	0.047	0.631	18
6.809	0.049	0.631	18
6.945	0.050	0.630	17
6.994	0.050	0.630	17
6.448	0.047	0.630	15

ตาราง แสดงผลการคำนวณโดยใช้โลตัส 123

หลักการทดสอบจริงจากมอเตอร์ต้นแบบ

เนื่องจากเพื่อความแน่นอนของข้อมูลจึงใช้ z - test เป็นเครื่องมือ ซึ่งมีรายละเอียดการใช้งานเครื่องมือนี้ในส่วนภาคผนวก ข. จากการทดสอบได้ค่าดังนี้

Brake Test Results

Torque Setpoint	RPM	Watts	Line	Amps Main	Aux	Cap Volt	PF	Watt Diss	Eff	HP
1.00	2708	6.70	.048				.63	6.42	4	.0004
1.50	2673	6.79	.049				.63	6.37	6	.0006
2.00	2671	7.05	.049				.65	6.49	8	.0008
2.50	2610	7.04	.049				.64	6.35	10	.0009
3.00	2530	7.26	.050				.65	6.46	11	.0011
3.50	2423	7.50	.052				.65	6.61	12	.0012
4.00	2200	8.08	.054				.67	7.15	11	.0012
4.50		8.25	.059				.63	8.25		
0.00										
0.00										
Locked Rotor										
3.33		8.53	.060				.64			
Breakdown Torque										
4.30										
Main Resist		402.0								

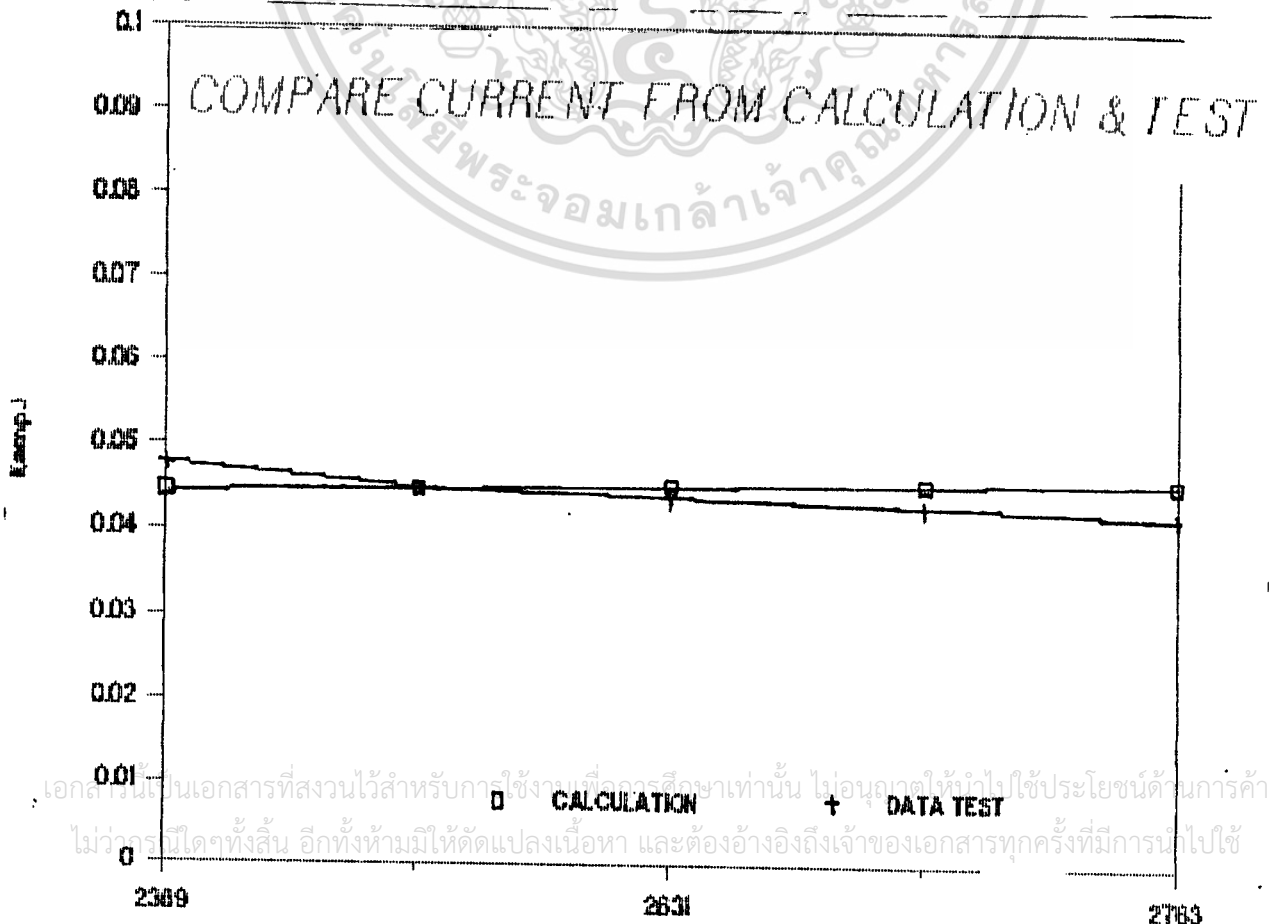
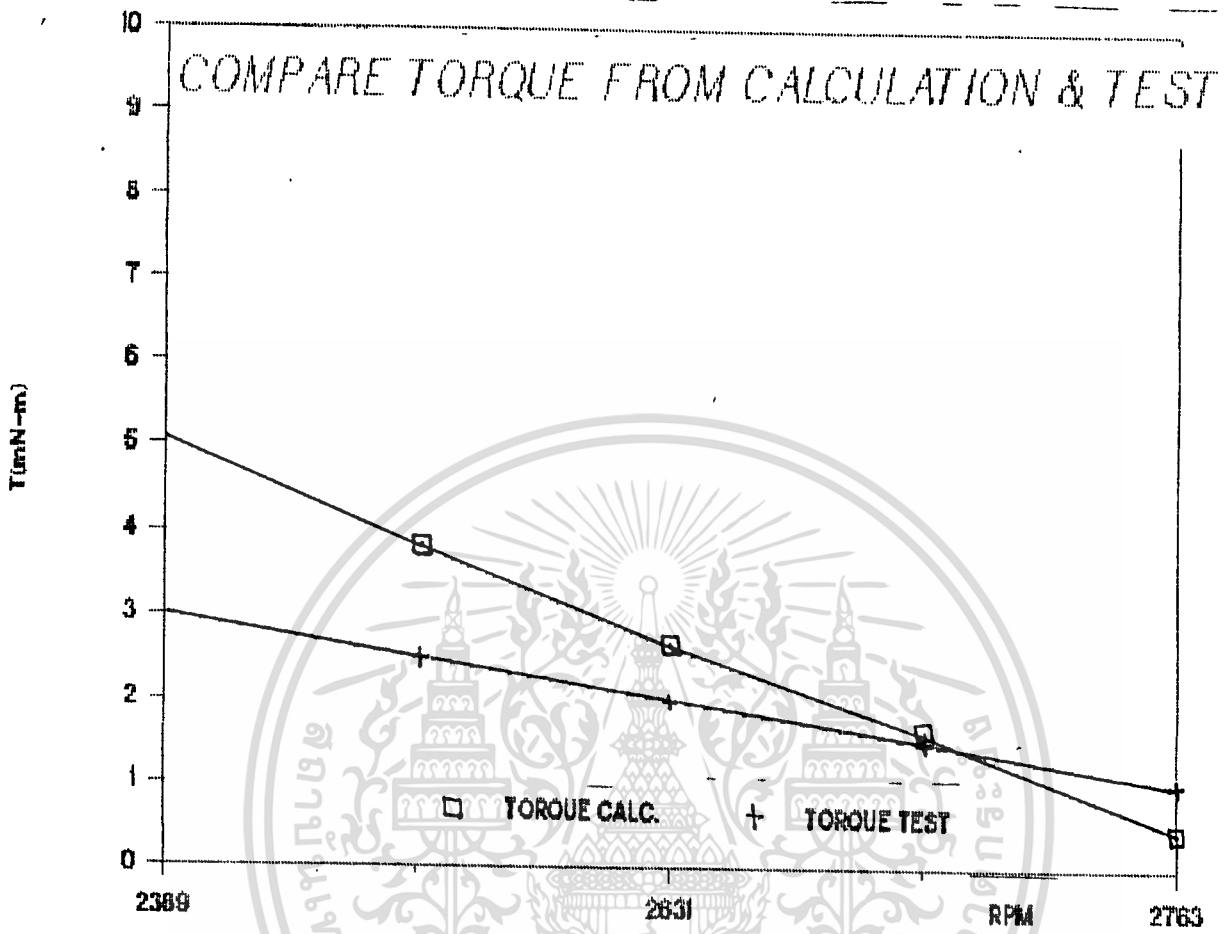
Printed on 08-29-1988 at 15:21:38

ตาราง แสดงผลที่ได้จากการทดสอบจริงจากมอเตอร์ต้นแบบ

ในการเปรียบเทียบเพื่อจะรู้ว่าโปรแกรมการคำนวณใช้ได้หรือไม่ เราใช้ส่วนของกราฟในโลตัส 123 เป็นตัวเปรียบเทียบ ได้ผลการเปรียบเทียบต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

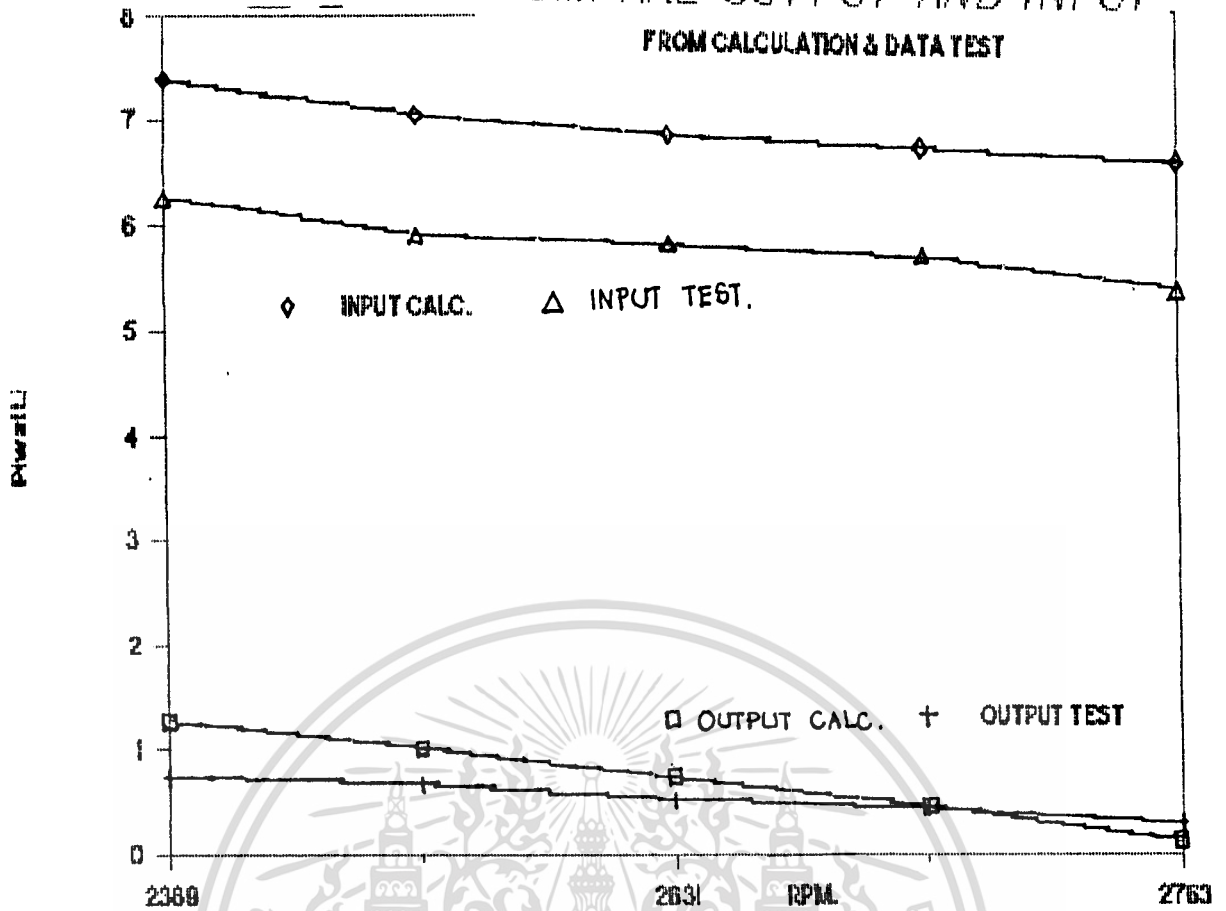
กราฟ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลที่ได้จากการทดสอบ
มอเตอร์ชนิด 1 ขดเชดกึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อนุญาตเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

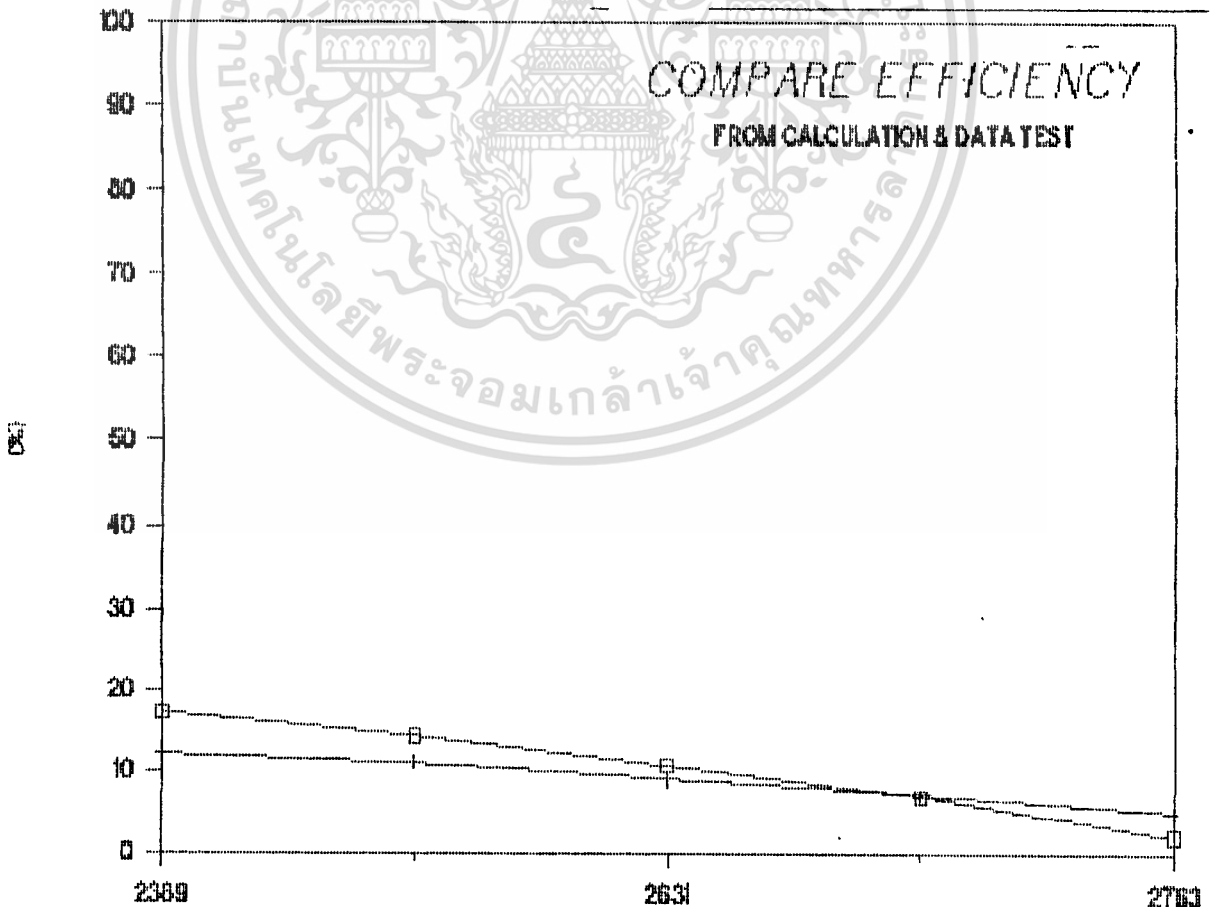
COMPARE OUTPUT AND INPUT

FROM CALCULATION & DATA TEST



COMPARE EFFICIENCY

FROM CALCULATION & DATA TEST

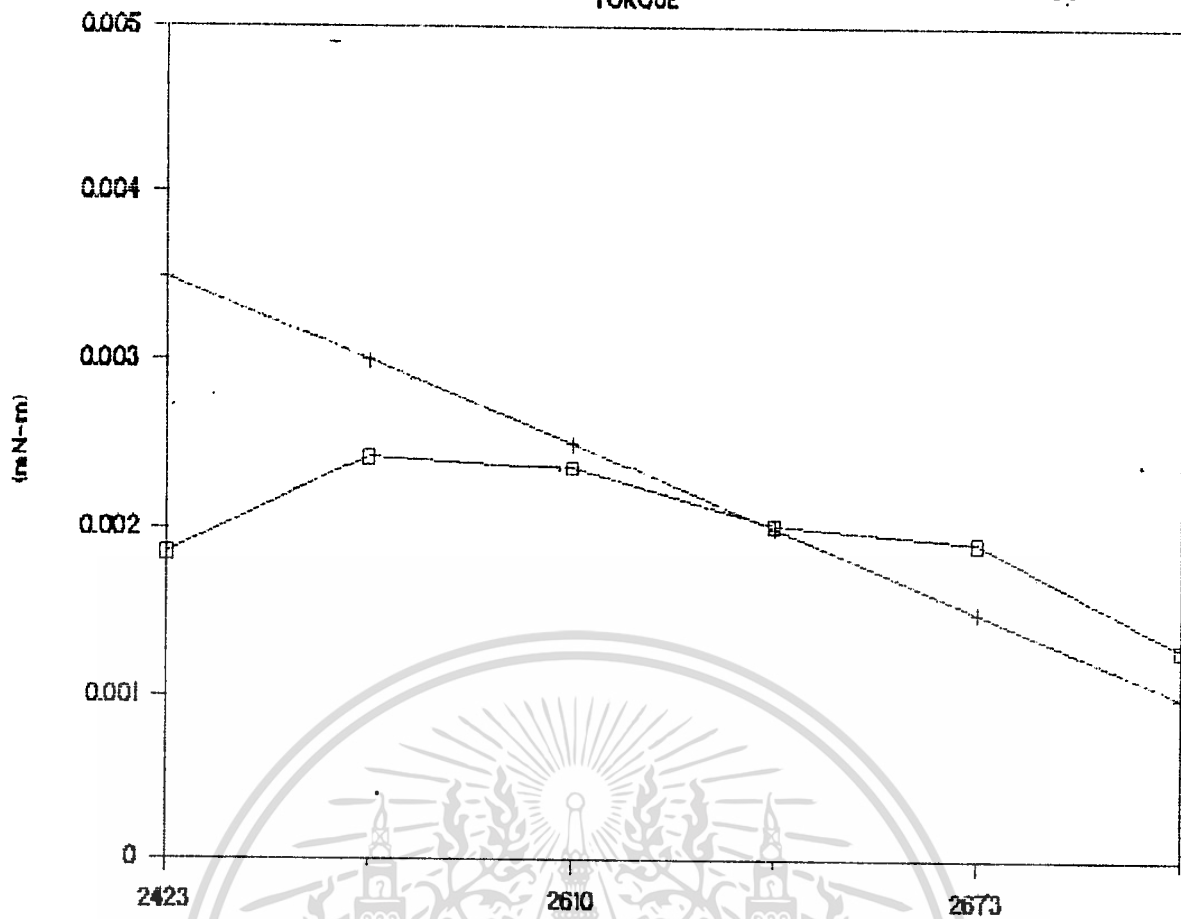


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **EFF CALC.** การศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กราฟ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลที่ได้จากการทดลอง
มอเตอร์ชนิด 2 ขดเซตคิ่ง**

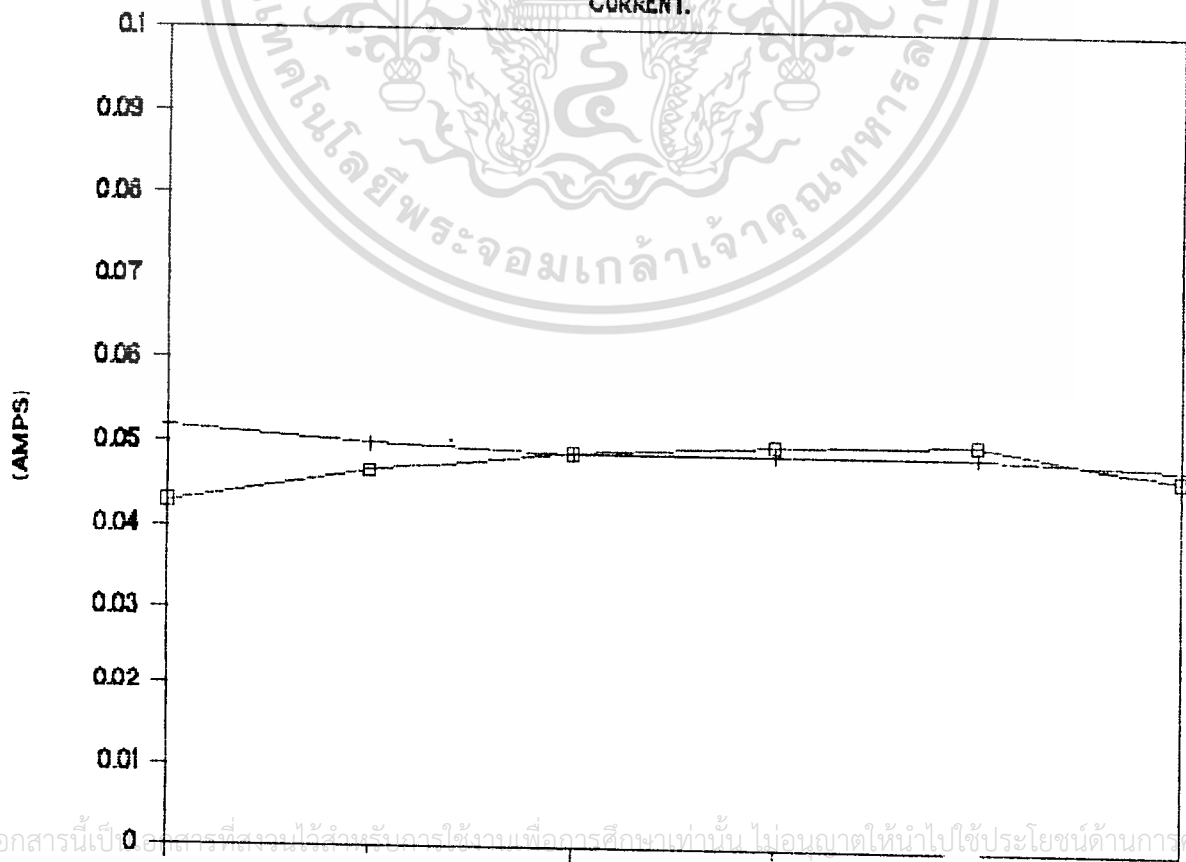


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PERFORMANCE COMPARISON.

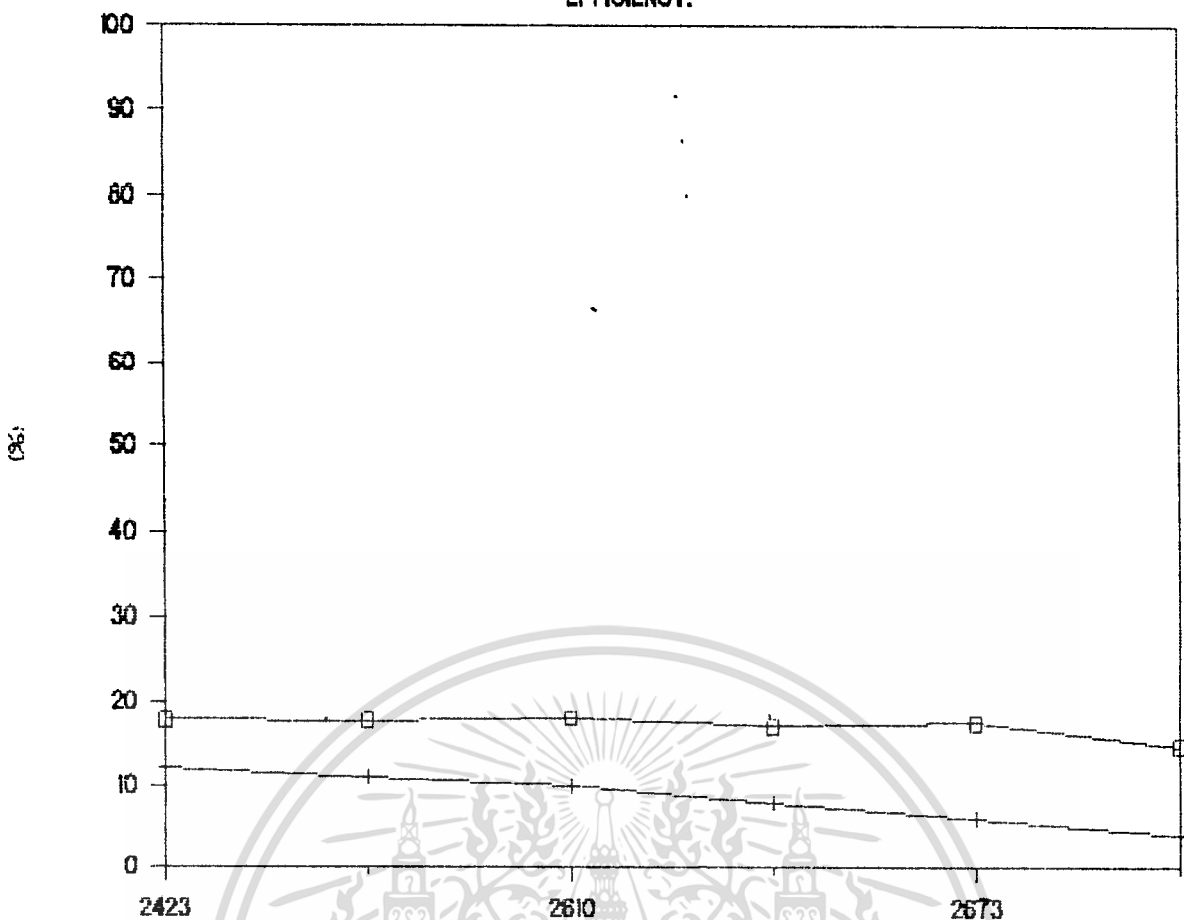
CURRENT.



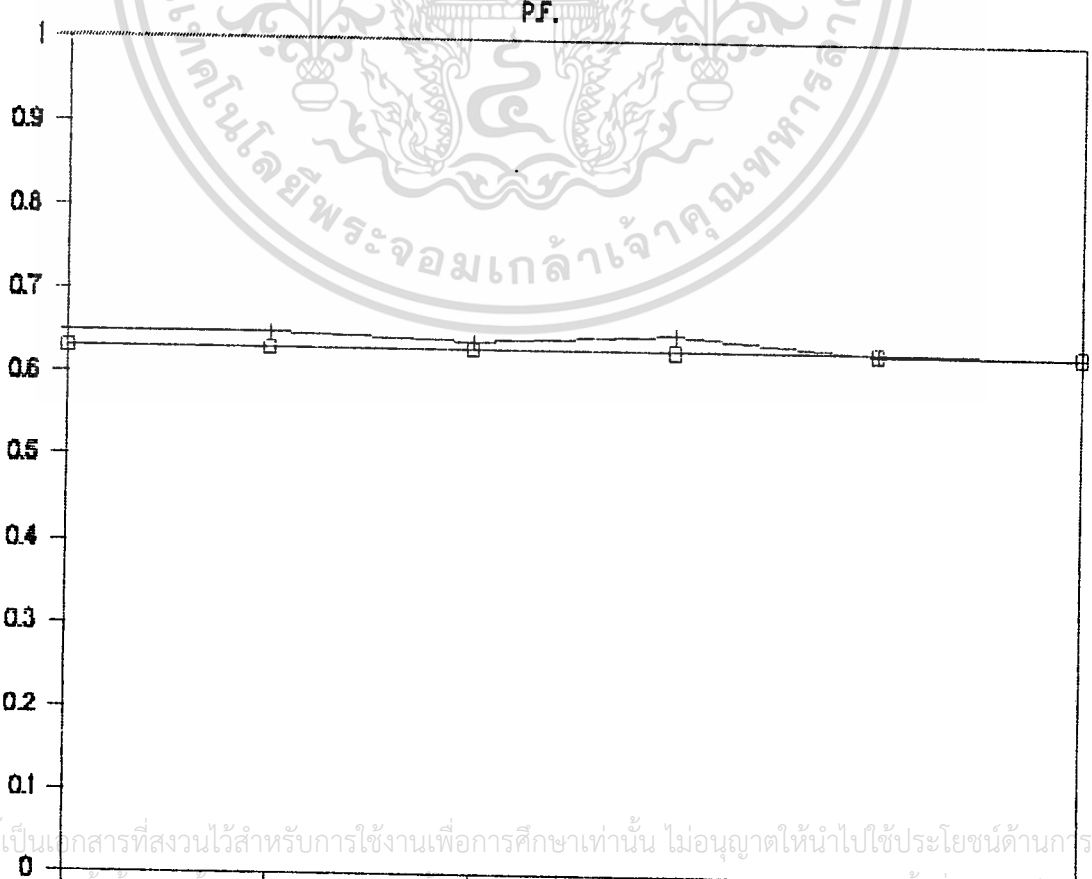
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

□ CURR. CAL

+ CURR. TEST



PERFORMANCE COMPARISON.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

สรุปสาเหตุที่ทำให้ค่าไม่เท่ากัน

จากกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบเอาไว้แล้ว นับว่าใกล้เคียงกันพอสมควร มีสาเหตุบางประการที่ทำให้ค่าต่างกันมากในบางช่วงได้แก่

1. ก่อนการทดสอบด้วยเครื่อง Z - test จำเป็นต้องอะไลน์मेंท์ (Alignment) ให้หัวของไดนามิเตอร์ (dynamometer) กับเพลลาของมอเตอร์ได้ระดับเดียวกัน ส่วนนี้เป็นส่วนที่ต้องใช้ความแม่นยำสูง ดังนั้นอาจเกิดการผิดพลาดได้
2. ในส่วนการคำนวณ ไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก
3. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณมาง่า่นั้น เราใช้จากค่าที่นำเป็นไปได้นี้เอง จากเราไม่สามารถวัดค่านั้น ๆ ได้ ซึ่งค่าที่เราเลือกอาจเป็นเพียงค่าใกล้เคียงเท่านั้นไม่ใช่ค่าของมอเตอร์อย่างแท้จริง



บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

โครงการนี้เป็นโครงการร่วมของสถาบัน 3 สถาบัน ได้แก่

1. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สนับสนุนด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด
2. บริษัท ชันโย ยูนิเวอร์ซัล อิเล็กทริก จำกัด ให้ความสะดวกในการทดสอบและสร้างต้นแบบ
3. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา-วิศวกรรมไฟฟ้า รับผิดชอบด้านการพัฒนาเทคนิคการผลิต

โดยส่วนที่ผู้ทำโครงการนี้ได้รับผิดชอบอยู่นั้น สามารถสรุปเป็นสาระสำคัญได้ 4 ส่วน คือ

1. การศึกษาสาระสำคัญของเซกเตคโพลมอเตอร์

ที่ได้เสนอในปฏิญญาพันธบัตรนั้น เป็นสาระสำคัญที่มีประโยชน์มากสำหรับผู้ที่จะศึกษาต่อ เป็นการรวบรวมจากบทความในวารสารสำคัญทางวิศวกรรมศาสตร์และจากหนังสือต่างๆ ที่เกี่ยวกับการออกแบบมอเตอร์ ถึงแม้ว่าจะนำไปเป็นหลักในการออกแบบที่สมบูรณ์เลยไม่ได้ แต่ก็ทำให้ขอบเขตในการศึกษามอเตอร์ชนิดนี้แคบเข้ามา และก็ยังเป็นแนวทางที่ดีอีกด้วย

2. ส่วนเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์

การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้บางอย่างเท่าที่กล่าวมาเท่านั้น เช่น การเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของขดเซกคิง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์บางอย่างเกี่ยวพันกับพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ทำให้ต้องเปลี่ยนแม่แบบใหม่ ซึ่งเสียเวลา ยุ่งยากและค่าใช้จ่ายสูง ทำให้ผลการทดสอบอาจไม่สมบูรณ์นัก อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์เฉพาะเท่าที่สามารถเปลี่ยนได้นี้ ก็ให้ผลการทดสอบเป็นไปตามหลักการและทฤษฎี

3. ส่วนโปรแกรมการคำนวณและการออกแบบ

แบ่งออกเป็น 3 โปรแกรมคือ

1) โปรแกรมการวิเคราะห์เซกเตคโพลมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์เป็นบางส่วนเท่านั้น และยังถูกกำหนดด้วยค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสเตเตอร์คู่ด้วย เพราะฉะนั้นจึงเป็นได้แค่เพียงตัวอย่างในการออกแบบเท่านั้น

- 2) โปรแกรมการคำนวณคุณสมบัติของเซกเตอร์โพลมอเตอร์ที่มีขดเชดคั้ง 1 ขด (ring)

การคำนวณชนิดนี้ไม่สลับซับซ้อนนัก เนื่องจากชนิด 1 ขดนี้ ไม่ต้องวิเคราะห์การแบ่งส่วนของฟลักซ์ตามส่วนของสเตเตอร์เหมือนกับชนิด 2 ขด

- 3) โปรแกรมการคำนวณคุณสมบัติของเซกเตอร์โพลมอเตอร์ที่มีขดเชดคั้ง 2 ขด

ส่วนโปรแกรมนี้ผู้ศึกษามีความพยายามอย่างมากที่จะสร้างผลการคำนวณให้สอดคล้องกับผลการทดสอบจริงที่สุด การวิเคราะห์ลำบากกว่าชนิดที่มี 1 ขดมาก มีการแบ่งส่วนของสเตเตอร์เป็นส่วน ๆ เพื่อการเคลื่อนที่ของฟลักซ์ จำเป็นต้องสร้างเมตริกซ์ของวงจรมุมมูลย์ของเซกเตอร์โพลมอเตอร์ เพื่อคำนวณค่าของกระแสที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ผลการคำนวณเป็นที่น่าพอใจ ดังปรากฏในส่วนของการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการทดสอบต้นแบบจริง

4. การเปรียบเทียบ

ส่วนนี้นับว่าจำเป็นที่จะต้องเสนอให้เห็นในปริญญานิพนธ์ เพื่อยืนยันผลการคำนวณที่มีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริง โดยใช้กราฟของ LOTUS 123 ในการเปรียบเทียบซึ่งผู้จัดทำเสนอไว้ในบทที่ 4 ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ปัญหาและอุปสรรคในโครงการ

โครงการการศึกษาเซกเตอร์โพลมอเตอร์นี้อาจกล่าวได้ว่า ยังไม่เป็นการออกแบบที่สมบูรณ์แบบนัก เนื่องจากเป็นโครงการที่ค่อนข้างจะใหม่ในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ขนาดแรงม้าต่ำ ๆ สำหรับในประเทศไทยแล้วตัวมอเตอร์ที่ใช้งานนั้นได้นำเอาต้นแบบมาจากต่างประเทศ และนำมาประกอบเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงงานภายในประเทศ และบางส่วนก็นำเข้ามาแบบสำเร็จรูป เพราะฉะนั้นจึงเกิดอุปสรรคในการศึกษาพอสมควร เนื่องจากรายละเอียดบางอย่างไม่อาจทราบได้ สามารถสรุปปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการศึกษานี้ได้ดังนี้

1. ในด้านเอกสารอ้างอิง

มีบทความที่สำคัญในการออกแบบหลายบทความ เช่น บทความเรื่อง An Analysis of the Shaded Pole Motor Trans. AIEE Vol.55 pp.1007 - 1014, 1936 ของ P.H. Trickey, " Analysis of Shaded Pole Motor with Double Shading coils " Electrical Engineering in Japan., Vol.93, pp.46 - 53, 1973 โดย H. Ooka และอื่น ๆ

แต่ไม่สามารถหาได้เนื่องจากเป็นบทความที่เก่ามาก ไม่ปรากฏอยู่ในประเทศไทย ต้องใช้ระยะเวลาในการค้นคว้าบทความที่สำคัญเหล่านี้ การแก้ปัญหาที่คือใช้เพียงบทความที่มีอยู่และค้นหาเพิ่มเติมจากหนังสือต่าง ๆ

2. ในด้านการสร้างต้นแบบ

การสร้างต้นแบบเพื่อผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ เป็นเรื่องสำคัญสำหรับการออกแบบมาก เพราะว่าเป็นสิ่งที่เป็แนวทางในการออกแบบที่ดี ดังได้กล่าวในบทของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์แล้ว

ตัวอย่างปัญหาในด้านนี้ เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสเตเตอร์ เราจำเป็นต้องทำแม่พิมพ์ใหม่ การลงทุนมากเกินไป ดังนั้นพารามิเตอร์ที่พอจะเปลี่ยนแปลงจึงมีเพียงที่ได้กล่าวมาเท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอต่อการสรุปเพื่อการออกแบบอย่างแน่นอน แต่ในขั้นต้นเราก็ถือว่าพอสมควรกับโครงการนี้

3. ในด้านระยะเวลาดำเนินโครงการ

ลักษณะของโครงการเป็นงานวิจัย ดังนั้นควรจะใช้ระยะเวลาในการดำเนินการมากพอสมควร เพื่อจะได้ทำการทดสอบและสรุปข้อมูลให้มากที่สุด การศึกษาเรื่องนี้เป็นเรื่องที่ยากจะกว้างมาก จึงใช้เวลามากกว่าที่จะหาแนวทางในการศึกษาได้ เพราะฉะนั้นเรื่องนี้ยังควรมีการศึกษาต่อได้อีกมากเช่น การเพิ่มประสิทธิภาพ, การเพิ่มแรงบิดเร็วขึ้น และอื่น ๆ ถ้ามีระยะเวลาในการดำเนินการมากเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

โครงการนี้เป็นโครงการที่น่าสนใจมากโครงการหนึ่งในการพัฒนามอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสขนาดเล็ก เนื่องจากเซคเตอร์โพลมอเตอร์นี้มีที่ใช้งานมาก แต่มีการศึกษาน้อย มอเตอร์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำ แต่ก็ไม่เป็นปัญหามากเนื่องจากเพาเวอร์อินพุตต่ำอยู่แล้ว ข้อดีคือมีโครงสร้างที่ง่าย ราคาถูกกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น ๆ

สำหรับผู้สนใจที่จะศึกษาต่อ ควรจะให้ระยะเวลามาก ๆ โดยทดสอบพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ สำหรับมอเตอร์นี้ สร้างต้นแบบแล้วทำการทดสอบด้วยเครื่อง Z - test ทำให้สามารถสรุปได้ง่ายขึ้น เพราะทฤษฎีในการออกแบบไม่แน่นอน และไม่ปรากฏเป็นขั้นตอนสำหรับการออกแบบได้เลย จึงเป็นเรื่องจำเป็นที่จะต้องทดสอบและทำการสรุปถึงช่วงที่ทำให้การออกแบบดีที่สุด หัวข้อที่น่าสนใจในการศึกษาต่ออีกก็คือ การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ชนิดนี้ และการเพิ่มแรงบิดเริ่มต้น

ส่วนการคำนวณคุณสมบัตินั้น อาจใช้ภาษาที่มีความสามารถในการคำนวณเร็วกว่า Lotus 1-2-3 จะเป็นการดีกว่า และสามารถเพิ่มการคำนวณได้อีก เช่น การสนใจ การสูญเสียในขดลวด และ แกนเหล็ก เพราะในการคำนวณนี้ไม่ได้คำนวณส่วนการสูญเสียเหล่านี้เลย

ภาคผนวก ก. สำระสำคัญของ Shaded Pole Motor

ตาม American Standard ได้ให้นิยามไว้ว่า

" A Shaded Pole Motor is a single phase induction motor provided with an auxiliary short circuit winding or winding displaced in magnetic position from the main winding (ASA C42.10)"

ในการกล่าวถึงมาตรฐานนั้น จะต้องให้ครอบคลุมไปถึง

1. พิกัดแรงม้า (horsepower rating)
2. ความเร็วที่ภาระเต็มที (full load speed)
3. ค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุดของแรงบิดที่เบรกดาวน์ (maximum and minimum breakdown torque)

มีเซตเดดโพลมอเตอร์อีกชนิดหนึ่งเรียกว่า รีลักแตนซ์ สตาร์ท มอเตอร์ (reluctance start motor) จะมีโครงสร้างที่ง่ายกว่า แต่การวิเคราะห์ก็จะยากกว่ามาก เส้นฟลักซ์แม่เหล็ก ในส่วนของช่องว่างอากาศ ด้านที่กว้างกว่าจะนำ (lead) เส้นฟลักซ์แม่เหล็กของช่องว่างอากาศด้านที่แคบกว่า การสร้างเส้นฟลักซ์แม่เหล็กจึงสร้างจากส่วนของช่องว่างอากาศด้านที่กว้างกว่าไปยังด้านที่แคบกว่า ดังนั้นมอเตอร์นี้จะวิ่งจากช่องว่างอากาศด้านที่กว้างกว่าไปสู่ช่องว่างอากาศด้านแคบกว่า ซึ่งมีการอธิบายการเกิด แรงบิดลอคโรเตอร์ (locked rotor torque) อยู่ 2 กรณี คือ

1. ความแตกต่างของลิกเกจอินดักแตนซ์ (leakage inductance) ของแท่งโรเตอร์ ในแต่ละด้าน เป็นสาเหตุที่ทำให้กระแสที่ไหลในแต่ละข้างแตกต่างกัน สร้างผลต่างของแรงบิด เหมือนในรีพลักซ์มอเตอร์ (repulsion motor)
2. ความแตกต่างของมิชชวลรีแอคแตนซ์ (mutual reactance) บนด้านทั้ง 2 ของขั้ว ทำให้กระแสที่ไหลในโรเตอร์ภายใต้ทั้ง 2 ข้างไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้สร้างแรงบิดลอคได้

แพคเกจสำหรับการออกแบบ

ผู้ออกแบบจะใช้วัสดุอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ ของเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ ในสิ่งเหล่านี้ เขาจะแนะนำขอบเขตที่กว้าง โดยกฎเกณฑ์ที่แน่นอนของการออกแบบในครั้งก่อนๆ

การจำกัดประกอบด้วย การอิ่มตัวของแม่เหล็ก (magnetic saturation) โดยฮิสเตอร์รีซิส (hysteresis) และเอ็ดดี้เคอร์เรนท์ลอส (eddy current losses)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของเหล็ก และโดยการสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวด ขนาดทางกายภาพ และความเร็วทั้ง 2 ตัวแปรนี้เป็นแฟกเตอร์สำคัญในการหาความสัมพันธ์ที่จะกระจายการสูญเสียทางด้านความร้อน

ค่าภาระทางแม่เหล็กและทางไฟฟ้า มีความหมายดังต่อไปนี้

1. ค่าภาระทางแม่เหล็ก หมายถึงการทำงานของความหนาแน่นฟลักซ์ในช่องว่างอากาศ
2. ค่าภาระทางไฟฟ้า หมายถึง แอมแปร์คอนดักเตอร์ (ampere - conductors) ต่อเมตรของรอบนอกของอาร์เมเจอร์

อย่างไรก็ตามในการออกแบบยุคใหม่ มีแนวโน้มที่จะทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเล็กลง และมีแกนที่ขาวขึ้น การพัฒนาในยุคใหม่ มีการนำวัสดุทางแม่เหล็กมาปรับปรุง พร้อมทั้งวัสดุทางด้านฉนวนด้วย ทำให้เครื่องจักรมีขนาดเล็กกว่าสำหรับจ่ายพลังงานที่เท่ากัน และการเลือกความเร็วของเครื่องจักรกระแสสลับ ก็จะถูกจำกัดด้วยความถี่ที่ใช้งาน

สำหรับ เซตเตด โพลมอเตอร์ที่มีฟลักซ์ใหญ่ๆนั้นจะมีส่วนที่เรียกว่า แมกเนติกวิดจ์ (magnetic wedge) เพิ่มเข้ามาที่ส่วนของสเตเตอร์ เหมือนการเชื่อมต่อขั้วต่างๆด้วยตัวนำ เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติให้ดีขึ้น

ส่วนชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วได้นั้น ใช้วิธีการเพิ่ม ไซค์ (choke) ภายนอกเข้าไป ส่วนในแบบ สเกเลตัน (skeleton) โครงสร้างแบบนี้ใช้การแทป (tap) จากขดลวดหลัก ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงความเร็วในรูปของการเปลี่ยนค่าสลลิป (slip)

การเพิ่มประสิทธิภาพของเซตเตด โพลมอเตอร์

มีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของแอร์แกปไฟรไฟล์ (air gap profile) ของสเตเตอร์ ที่เป็นแบบขั้วเสี้ยนที่โพล (salient pole) และมีการวิเคราะห์ความรู้ทางมอเตอร์ โดย Baum ได้ศึกษาถึงการเลิกหรือไมใส่ ขดเซตตั้ง และให้มอเตอร์สามารถถอดตัวได้ด้วยตัวของมันเองโดยขดลวดเพียงขดเดียว ในความคิดของเขา การมีขดเซตตั้งก็เหมือนการเปลี่ยนแอร์แกปไฟรไฟล์ ของมอเตอร์ การยกเลิก ขดเซตตั้ง ในมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส ก็เพื่อที่จะให้ประสิทธิภาพที่ภาระเต็มที่ดีขึ้น เป็นการเพิ่มฟลักซ์ของมอเตอร์ และยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตด้วย

ตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ เซต เคต โพลมอเตอร์

1. เต้าฝู
 2. โบลเวอร์ขนาดเล็ก
 3. พัดลมดูดอากาศ
 4. ปั๊มน้ำมัน
 5. ปั๊มขนาดเล็ก
 6. เครื่องฉายหนัง
 7. เครื่องฉายสไลด์
 8. เครื่องคั้นน้ำผลไม้
 9. เครื่องเล่นเทป
 10. เครื่องเล่นจานเสียง
 11. บัดดาเลียนตัดผลม
 12. เครื่องเป่าผม
 13. ฮีทเตอร์ (heater)
- และอุปกรณ์ที่ต้องการแรงบิดต่ำทั้งหมด

ข้อดีข้อเสียเมื่อเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสชนิดต่างๆ

ชนิด	ข้อดี	ข้อเสีย
1. เหนี่ยวนำสตาร์ทด้วยตัวเก็บประจุ	แรงบิดสตาร์ทสูง กระแสสตาร์ทต่ำ	ตัวเก็บประจุราคาแพง อายุใช้งานสั้น สวิทช์แรงเหวี่ยงอาจทำให้มีปัญหาได้
2. เหนี่ยวนำตัวเก็บประจุถาวร	ไม่มีสวิทช์แรงเหวี่ยง ตัวประกอบกำลังมีค่าสูง แรงบิดสูงเอาที่สูง กระแสสตาร์ทต่ำ	แรงบิดสตาร์ทต่ำ ขึ้นภาระหนักไม่ได้ ตัวเก็บประจุแบบกระดาษมีราคาแพง
3. เหนี่ยวนำแยกเฟส	มีลักษณะเหมือนกับสตาร์ทด้วยตัวเก็บประจุแต่มีราคาถูกกว่า เพราะไม่ใช่ตัวเก็บประจุแรงบิดสตาร์ทสูงกว่าทุกแบบยกเว้นแบบสตาร์ทด้วยตัวเก็บประจุ	กระแสสตาร์ทสูงมาก ไม่เหมาะกับงานที่สตาร์ทบ่อยๆ สวิทช์แรงเหวี่ยงอาจมีปัญหาได้
4. เซดเดดโพล	ราคาถูกมาก มีความเชื่อถือได้สูงมาก	มีประสิทธิภาพต่ำมาก แรงบิดสตาร์ทต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. การใช้ Z-Test

Z-Test เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับโครงการนี้เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องกล่าวถึงรายละเอียดของการใช้งานเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจที่จะศึกษาต่อ ดังนี้

การใช้ปุ่มด้านบนของ Z-Test ทั้ง 3 ปุ่ม คือ ดำ เหลือง แดง

1. ปุ่มสีดำ เป็นปุ่ม เปิดปิด ที่ตัว Z-Test ปุ่มนี้ทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ และ ไดนาโมมิเตอร์ (dynamometer) โดยจ่ายกระแสไฟ 110 vlot

2. ปุ่มรีเซท (reset) เป็นปุ่มสีเหลือง เป็นปุ่มที่ควบคุมกำลังไฟฟ้า ที่ทำให้เกิดการติดต่อบางวงจรทั้ง 3 ได้แก่ Z-Test , dynamometer , และ computer เข้าด้วยกัน จะกดปุ่มนี้เมื่อจะเริ่มทำการ ทดสอบทุกครั้ง และทุกครั้งจะต้องมี ซอฟต์แวร์ (software) ที่ต้องการอยู่ใน คอมพิวเตอร์ ด้วย และไม่จำเป็นต้องกดทุกครั้งที่มีการทดสอบ กดเพียงครั้งแรกก็เพียงพอเท่านั้น เพื่อทำให้เกิดการติดต่อกับระบบควบคุมกำลังไฟฟ้า หรือ เป็นการเริ่มต้นของการทดสอบใหม่ หลังจากการให้มอเตอร์หยุดด้วยปุ่ม stop ทุกครั้งหลังการหยุด จะต้องรีเซท เพื่อให้การทำงานครั้งต่อไปได้ดำเนินต่อไป

3. ปุ่มหยุด (stop) ปุ่มสีแดง จะต้องใช้เพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์ขณะทดสอบอยู่ โดยจะไม่มีกระแสเข้าตัวมอเตอร์ ถ้าหากต้องการให้มอเตอร์ทำงานจึงกดปุ่มรีเซท เป็นการเปิดให้กระแสกลับเข้าตัวมอเตอร์อย่างเดิม (ณ จุดที่จ่ายไฟ 110 volt ก็ยังมีกระแสอยู่เพราะจุดนี้ควบคุม โดยใช้ปุ่มเปิดปิด).

การเตรียมเครื่องก่อนทดสอบ

1. เปิดสวิทช์จ่าย ไฟทั้งหมด

2. SET DYNAMOMETER

2.1 นำสายไฟ 110 volt ของไดนาโมมิเตอร์ เสียบเข้ากับปลั๊กกระแสไฟ เมื่อไฟเข้าไปแล้ว พัดลมภายในหัวไดนาโมมิเตอร์จะหมุนทันที

2.2 นำสายสัญญาณ (signal) ต่อเข้าที่ด้านท้ายของไดนาโมมิเตอร์ เมื่อเสียบทั้ง 2 ปลายเรียบร้อยแล้ว จะสังเกตเห็นว่ามีแสงไฟติดที่หลอดภายในหัวไดนาโมมิเตอร์ แสดงว่า สัญญาณระหว่าง Z-Test และ ไดนาโมมิเตอร์เตรียมพร้อมแล้ว

2.3 นำสายเบรค (brake) ต่อเข้าที่ด้านท้ายของไดนาโมมิเตอร์

3. SET MOTOR การทดสอบทุกครั้งผู้ใช้งานจะต้องรู้ข้อมูลเกี่ยวกับตัวมอเตอร์ที่จะใช้ดังนี้
1. มอเตอร์ใช้กระแสไฟ กี่โวลต์ กี่แอมป์
 2. มอเตอร์มีกี่แรงม้า หรือ กี่วัตต์
 3. ขนาดของลวดตัวนำหลัก และขดลวดช่วย
 4. การต่อระบบวงจรของมอเตอร์
 5. มอเตอร์เป็นชนิดใด มีการใช้ ตัวเก็บประจุ หรือมีขดลวดช่วยหรือไม่

วิธีการ เชกมอเตอร์

1. นำกล่องตัวต่อซึ่งมีหัวแจ็กเสียบอยู่ 3 ตัวมีสีดํา แดงและเหลือง ต่อเข้ากับแจ็กด้านข้างของ Z-Test โดยเสียบแจ็กสีเหลือง กับช่อง Aux Winding สีแดงกับช่อง Main Winding สีดําจะมีช่องให้เลือก 3 ช่อง คือ 0.25, 5, 25 Amps ซึ่งแล้วแต่ตัวมอเตอร์ว่าจะใช้กระแสขนาดเท่าใด
2. นำมอเตอร์ที่ต้องการทดสอบเข้าติดตั้งกับหัว โดนาโมมิเตอร์ที่ต้องการ มีการใช้ Coupling และ Alignment นำสายของมอเตอร์ต่อเข้ากับกล่องสีดํา โดยดูจากวงจรเป็นหลัก สำหรับมอเตอร์ที่ต้องใช้ตัวเก็บประจุ มี 2 แจ็ก ให้เสียบทั้งหมด จะต้องเลือกใช้ Coupling และ มีการ Alignment ที่ดีด้วย และทุกครั้งที่ตัวมอเตอร์จะต้องต่อสายดินเสมอ

การเชก Z-Test

เรื่องนี้เป็นสิ่งสำคัญเพราะ โดนาโมมิเตอร์ทั้ง 3 ขนาดจะขึ้นอยู่กับมอเตอร์ที่จะทำการทดสอบ ดังนั้นข้อมูลก่อนการทดสอบเกี่ยวกับมอเตอร์เป็นสิ่งสำคัญ เพื่อที่จะใช้เชก Z-Test โดยเป็นการบอกให้เครื่องรับรู้ว่าต่อไปนี้จะเป็นการทดสอบของมอเตอร์ชนิดใด

OHM Range เป็นปุ่มที่ใช้เปลี่ยนช่วงของความต้านทานให้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของมอเตอร์ โดยมี 2 ขนาดให้เลือกคือ

0 - 67 ohm และ 0 - 500 ohm

การตั้งค่าของกระแสมีให้เลือก 3 ค่า คือ 0.25 , 5 , และ 25 Amps ซึ่งสามารถดูได้จากป้ายที่ติดอยู่ที่ตัวมอเตอร์ว่าใช้กระแสมากเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ ซอฟต์แวร์

ดิส (disk) ที่ใช้กับเครื่องนี้ทั้งหมด 8 แผ่น ได้แก่ UTIL , BRAKE , TRISE , SPEC , WORKS , BRAKE DATA , TRISE DATA , SPEC DATA

แบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

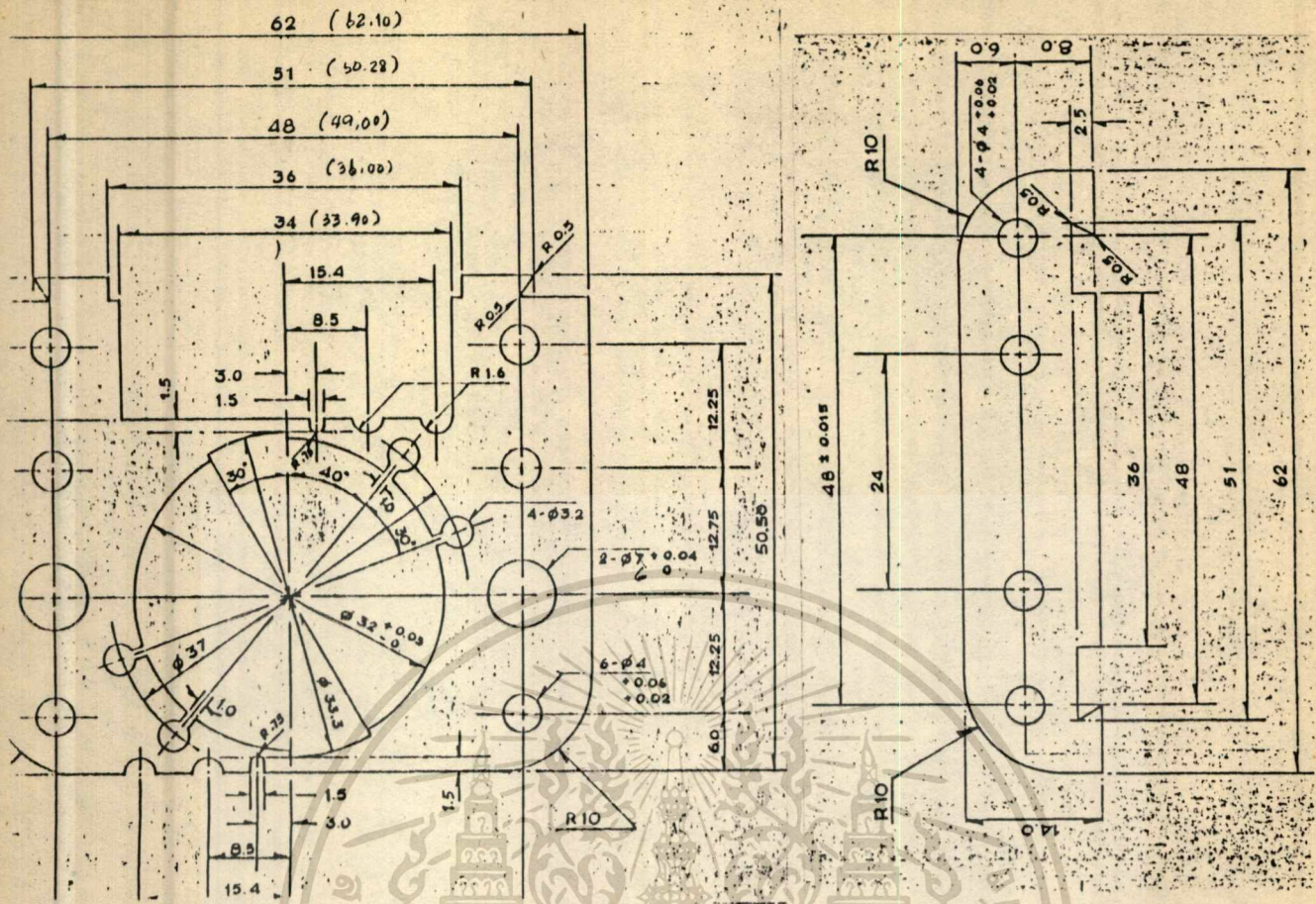
1. ใช้สำหรับ เซทระบบเครื่อง ได้แก่ UTIL PROGRAM มีหน้าที่ดังนี้คือ
 - 1.1 ใช้สำหรับการ calibration the dynamometer brake
 - 1.2 เซททิศทางการหมุนของมอเตอร์ เพื่อดูการหมุน (ใช้เฉพาะที่มีตัวเก็บประจุ)
 - 1.3 เซทศักดาไฟฟ้า โดยสามารถเซทได้ในช่วง 30 - 300 volt
 - 1.4 ดูค่าความต้านทานของขดลวดหลัก
 - 1.5 brake control value โดยสามารถ เซทค่า เบรค ระหว่าง 0-100 %
2. ใช้สำหรับทดสอบมอเตอร์ ได้แก่ BRAKE , TRISE , SPEC ซึ่งมีการทำงานดังนี้
 - 2.1 brake test เป็นโปรแกรมที่ใช้หาค่าต่างๆของมอเตอร์โดยการ ใส่ค่าแรงบิด ที่ต้องการ 10 ค่า ผลของค่าที่ออกมาได้แก่ จำนวนรอบต่อนาที กำลังเอาท์พุท กำลังอินพุท กระแส โวลเตจตกคร่อมคาปาซิเตอร์ ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ ค่ากำลังสูญเสีย และประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่นำมาทดสอบ
 - 2.2 trise เป็นโปรแกรมหาค่าของมอเตอร์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป โดย ใส่ค่าแรงบิดที่ต้องการ และตั้งระยะเวลาที่ต้องการ เวลาของการทดสอบ ต่อครั้งจะต้องอยู่ในช่วง 30-500 วินาที และจะให้มอเตอร์ทำงานแบบต่อเนื่องได้ไม่เกิน 30 ครั้ง
 - 2.3 spec เป็นโปรแกรมเปรียบเทียบค่าของมอเตอร์ที่ต้องการ โดยอยากทราบว่ามีเมื่อทดสอบกับ Z-Test แล้วจะให้ค่าที่เปลี่ยนแปลงไปจาก spec เดิมอย่างไร โดยการ ใส่ spec ต่างๆของมอเตอร์ลงไป หลังจากทำงานแล้วผลที่ปรากฏหน้าจอ ถ้าเป็นผลของค่าที่ยังใช้ไม่ได้จะปรากฏเป็นสีแดง
3. โปรแกรมที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลการทดสอบ และนำข้อมูลนั้นมาใช้งาน
 - 3.1 brake data , spec data , trise data เป็นโปรแกรมที่ใช้เก็บข้อมูลที่ปรากฏบนจอลงในแผ่นดิส โดยใส่ไว้ในตัวขับเคลื่อน b และใช้คำสั่ง save ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในแผ่นดิสโดยอัตโนมัติ
 - 3.2 works เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่นำเอาค่าของข้อมูลที่เก็บไว้ออกมาโดยประกอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปคือ Spreadsheet , Word Processor , Data Base และ Communication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

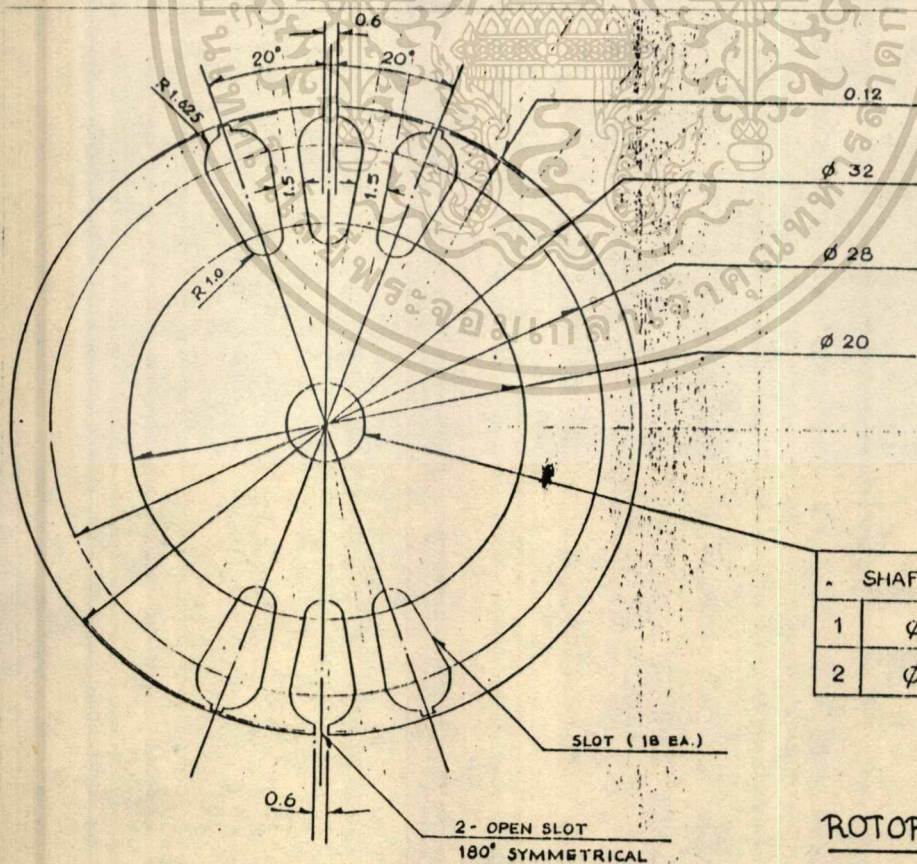
ภาคผนวก ค. รายละเอียดของมอเตอร์ต้นแบบ

RATE VOLTAGE	220	VOLT
RATE CURRENT	0.056	AMPS
RATE POWER OUTPUT	1	WATT
RATE SPEED	2600	RPM.
NUMBER OF POLE	2	
NUMBER OF SHADING COIL PER POLE	2	
NUMBER OF ROTOR BARS	18	
STATOR STACK LENGTH	15	mm.
STATOR INTERNAL DIAMETER	32	mm.
AIR GAP LENGTH	0.2	mm.
STATOR MAIN WINDING RESISTANCE	1037.0	OHM/KM.
ROTOR SKEW	60	degree
SHADING COIL RESISTANCE	17.34	OHM/KM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



STATOR



SHAFT HOLE	
1	$\phi 4 \pm 0.03$
2	$\phi 5 \pm 0.03$

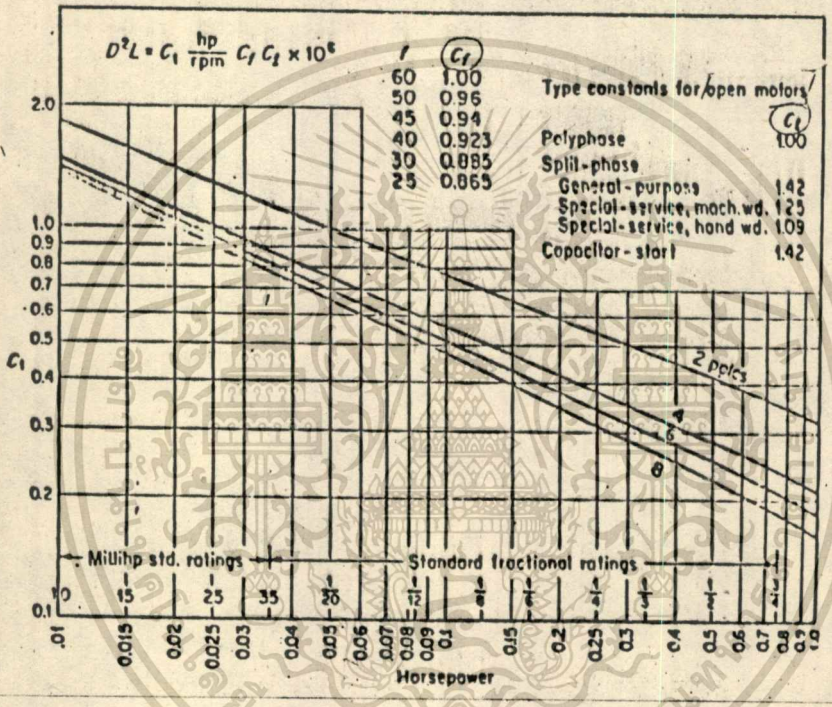
ROTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ล้วนต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

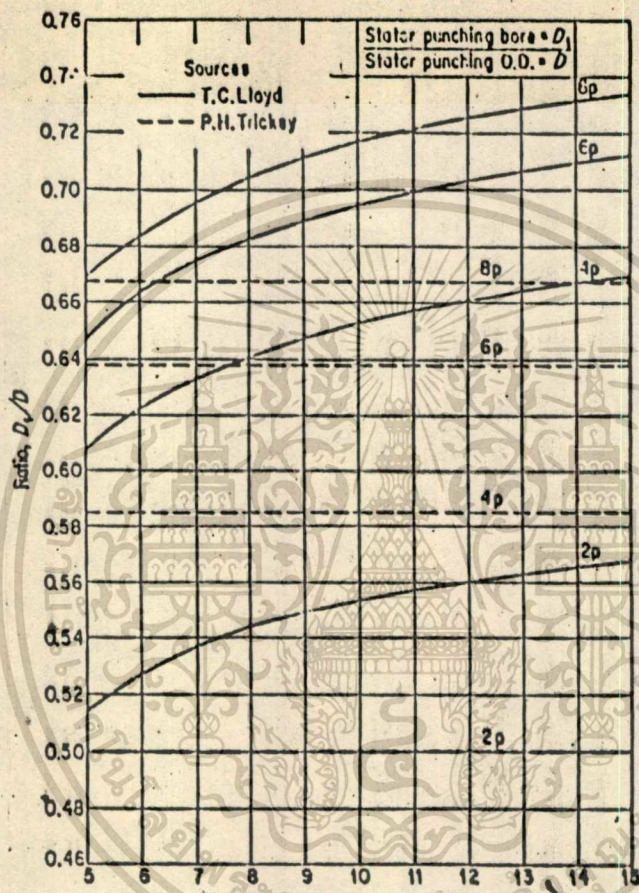
ตัวอย่าง DRAWING ของ SHADED-POLE MOTOR.

ภาคผนวก ง. กราฟ ตาราง และวงจรมวลที่ใช้ประกอบการออกแบบ



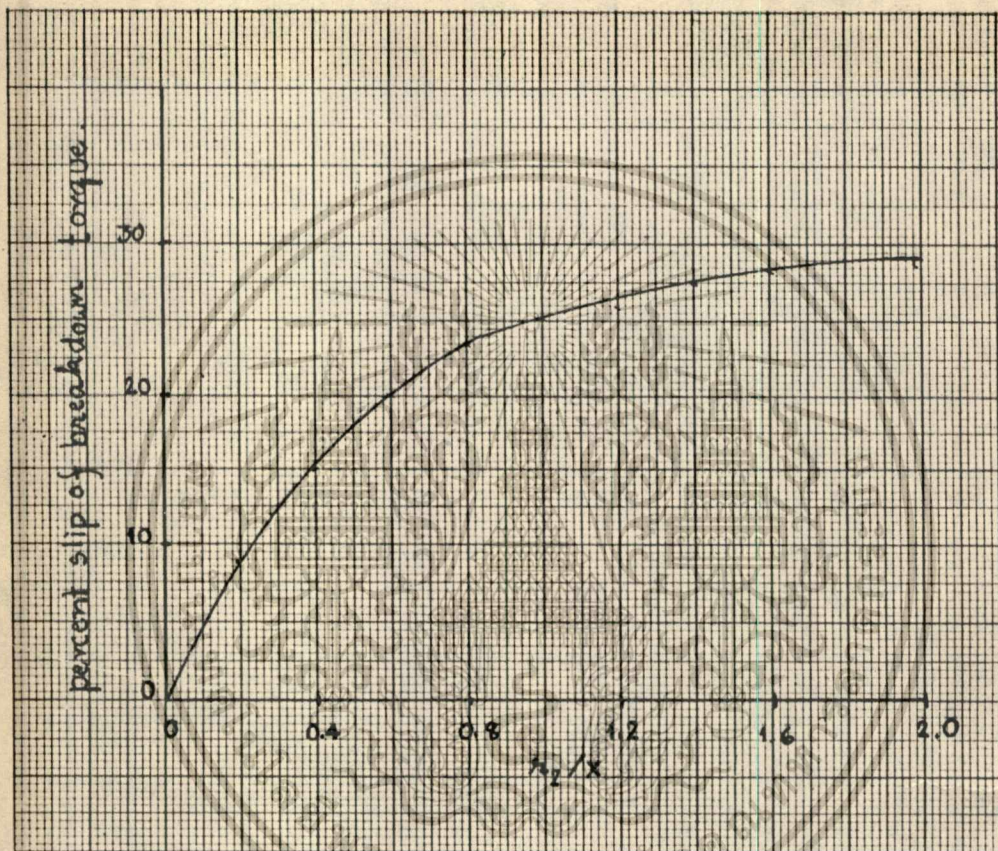
กราฟที่ 1. Fractional-horsepower induction motor core dimension according to TRICKEY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



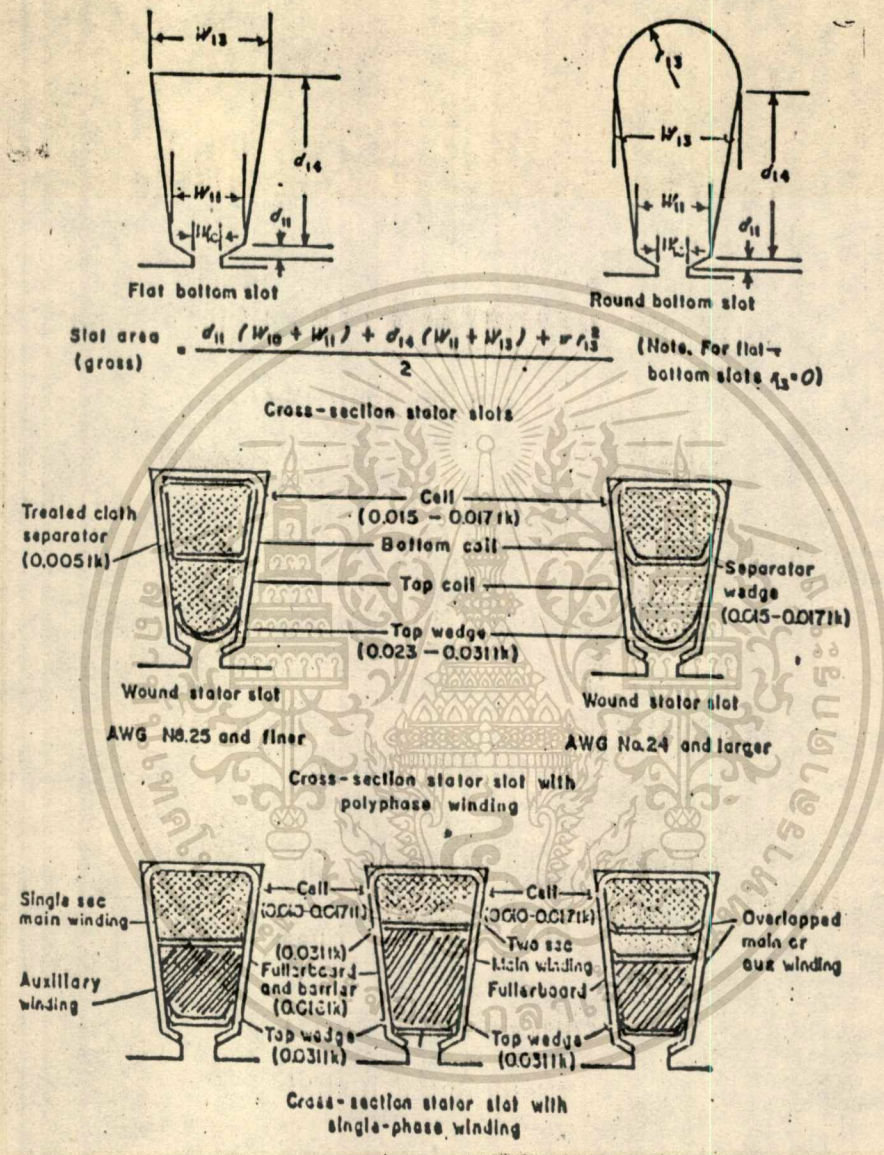
กราฟที่ 2. Stator - punching proportions .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



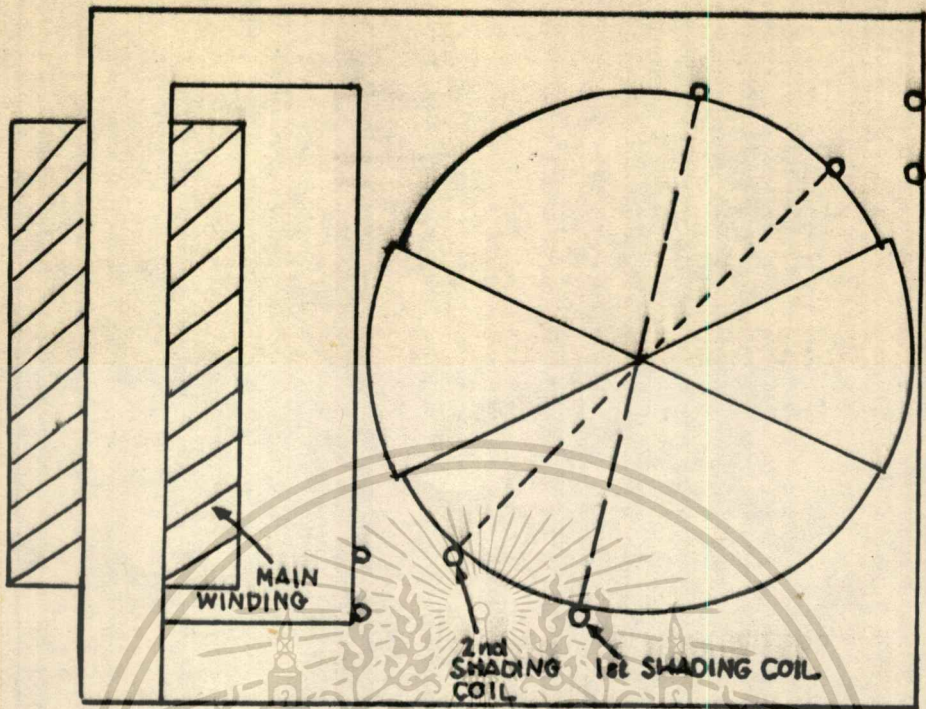
กราฟที่ 3. Approximate slip of a single - phase induction motor on main winding only at breakdown torque .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

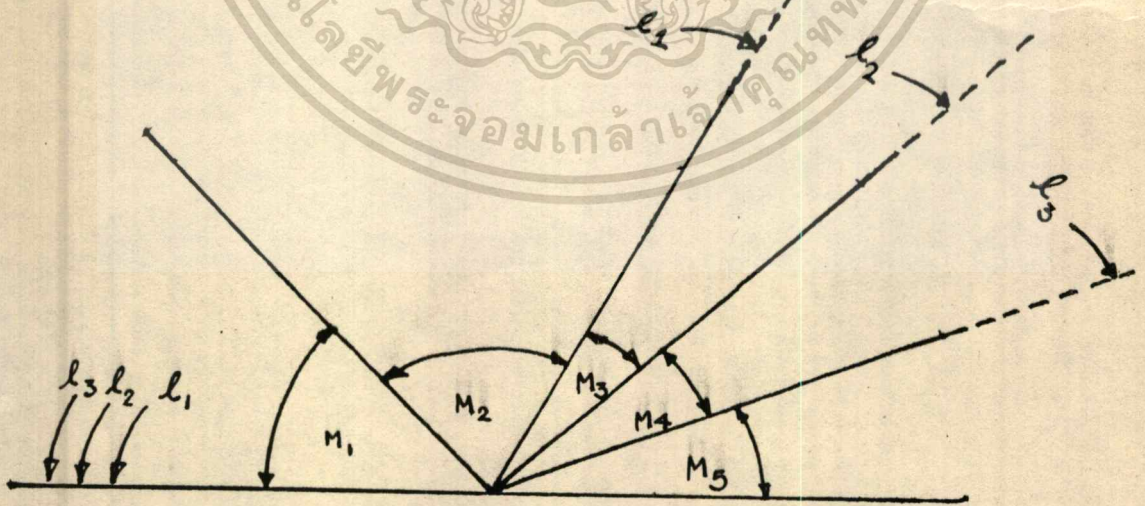


รูปที่ 1. Typical methods of insulating stator slots and method for figuring net slot - winding area .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



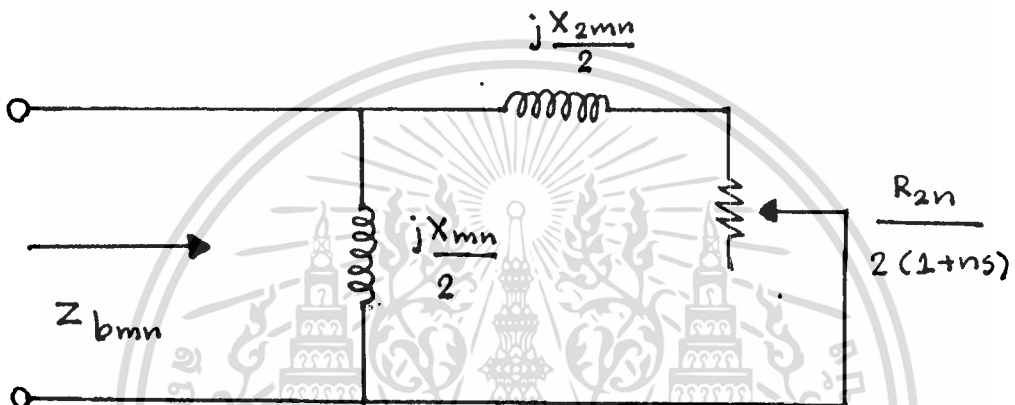
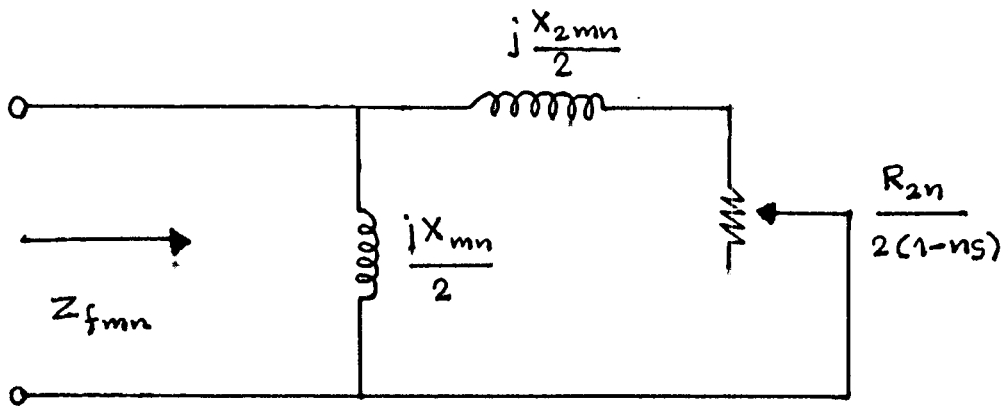
รูปที่ 2. Cross - section of a SHADED - POLE MOTOR .



แสดง มุมของการแบ่งส่วน l และ m ตามโครงสร้าง STATOR .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

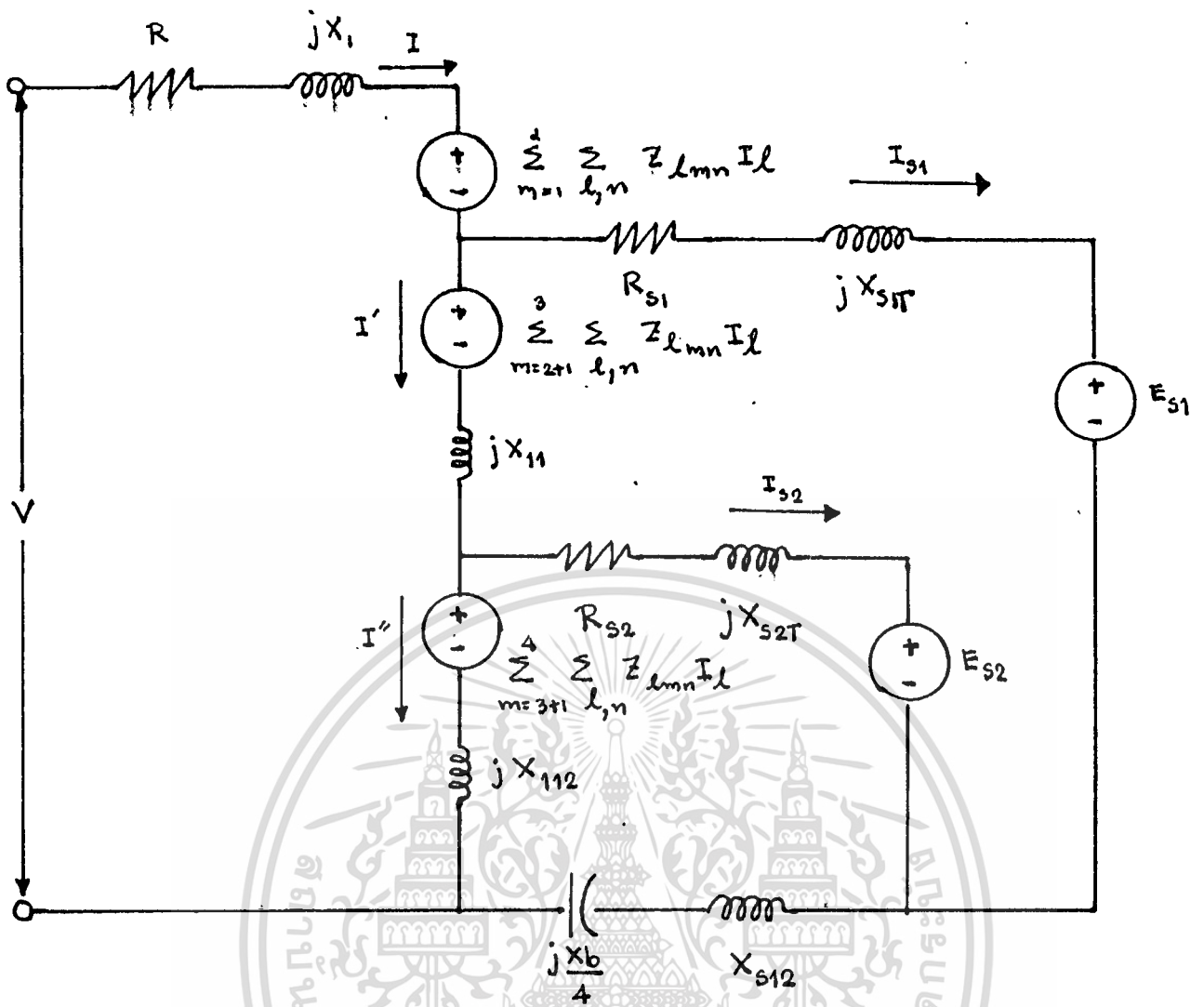


รูปที่ 3. FORWARD AND BACKWARD IMPEDANCE.

X_{mn} = n-th harmonic magnetizing reactance of the m-th sector.

X_{2mn} = n-th harmonic rotor leakage reactance of m-th sector.

R_{2n} = n-th harmonic rotor resistance of m-th sector.



รูปที่ 4. EQUIVALENT CIRCUIT OF SHADED - POLE MOTOR .

$$X_{1t} = X_{12} + 0.5X_b$$

$$X_{a1t} = X_{a1} \quad , \quad X_{a2t} = X_{a2} + X_{12}$$

ความหมายของตัว subscript เช่น

- X_{a1} เป็นค่ารีแอกแตนซ์ที่เกิดจาก ฟลักซ์ที่คล้องเพียงขดเซตตั้งที่ 1
- X_{a12} เป็นค่ารีแอกแตนซ์ที่เกิดจาก ฟลักซ์ที่คล้องขดเซตตั้งที่ 1 และ 2
- X_{112} เป็นค่ารีแอกแตนซ์ที่เกิดจาก ฟลักซ์ที่คล้องขดลวดตัวนำหลัก และ ขดเซตตั้ง ที่ 1 และ 2

เมตริกซ์ A

เป็นเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นมาจากวิเคราะห์จากวงจรสมมูล เพื่อคำนวณหากระแส I_l และ I_m ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$I_{m1} = I, I_{m2} = I - I', I_{m3} = I', I_{m4} = I' - I'', I_{m5} = I''.$$

$$[A] = \begin{bmatrix} R_1 + jX_1 + jX_{12} + 0.5jX_b + j \sum_{m,n} \sum_{l=1}^a Z_{lmn} & jX_{11} - jX_{12} + j \sum_{m,n} \sum_{l=a+1}^b Z_{lmn} & jX_{112} + jX_{12} + j \sum_{m,n} \sum_{l=b+1}^c Z_{lmn} \\ -R_{s1} - jX_{s1} - jX_{s12} + 0.25jX_d + \sum_{m=a+1}^d \sum_{l=1}^a \sum_n Z_{lmn} & R_{s1} + jX_{s1} + jX_{11} + \sum_{m=a+1}^d \sum_{l=a+1}^b \sum_n Z_{lmn} & jX_{s12} + jX_{112} + \sum_{m=a+1}^d \sum_{l=b+1}^c \sum_n Z_{lmn} \\ jX_{12} - jX_{s12} + 0.25jX_b + \sum_{m=b+1}^d \sum_{l=1}^a \sum_n Z_{lmn} & -R_{s2} - jX_{s2} - jX_{12} + \sum_{m=b+1}^d \sum_{l=a+1}^b \sum_n Z_{lmn} & R_{s2} + jX_{s2} + jX_{12} + jX_{s2} + jX_{112} + \sum_{m=b+1}^d \sum_{l=b+1}^c \sum_n Z_{lmn} \end{bmatrix}$$

การคำนวณคุณสมบัตินั้นกระแสที่ใช้สำหรับคำนวณแรงบิด กับ กระแสทางด้านอินพุต ถูกมองแยกออกจากกัน เนื่องจากใช้วงจรสมมูลต่างกัน เพราะฉะนั้นให้ เมตตริกซ์ B เป็นเมตตริกซ์ที่ใช้คำนวณค่ากระแสทางด้านอินพุต

$$[B] = \begin{array}{|c|c|c|} \hline \begin{array}{l} R1+jX1+jX12 \\ +0.5jXb \\ +j \sum_{m=1}^a X_m \end{array} & \begin{array}{l} jX11-jX12 \\ +j \sum_{m=a+1}^b X_m \end{array} & \begin{array}{l} jX12+jX112 \\ +0.5jXb \\ +j \sum_{m=b+1}^c X_m \end{array} \\ \hline \begin{array}{l} -Rs1-jXs1+jXs12 \\ +0.25jXb \end{array} & \begin{array}{l} Rs1+jXs1+jX11 \\ +j \sum_{m=a+1}^b X_m \end{array} & \begin{array}{l} jX112+jXs12 \\ +0.25jXb \\ +j \sum_{m=b+1}^c X_m \end{array} \\ \hline \begin{array}{l} jX12-jXs12 \\ +0.25jXb \end{array} & \begin{array}{l} -Rs2-jXs2-jX12 \end{array} & \begin{array}{l} Rs2+jXs2+jX12 \\ +jX112+jXs12 \\ +0.25jXb+j \sum_{m=b+1}^c X_m \end{array} \\ \hline \end{array}$$

- Rs1, Rs2 = ความต้านทานของขดเซตตั้งคอยล์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
- R1 = ความต้านทานของตัวนำหลัก
- R2n = ความต้านทานโรเตอร์เมื่อคิดค่าที่ซาร์โมนิก
- Xs1, Xs2 = ค่ารีแอกแตนซ์ของขดเซตตั้ง ที่ 1, 2 ใช้สมการที่ 18 ของ ref. 1
- Xb = ค่ารีแอกแตนซ์ของโพล บริดจ์ ฟลักซ์ เป็นค่าประมาณ
- X1 = ค่ารีแอกแตนซ์ของขดลวดตัวนำหลัก ใช้สมการที่ 17 ของ ref. 1
- X2mn = ค่าโรเตอร์ลิกเกจรีแอกแตนซ์ของทั้งหมด
- Xmn = ค่า สเตเตอร์ รีแอกแตนซ์ที่ปรากฏทั้งหมดในวงจร

กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่านและหน่วยงานหลายฝ่าย จึงขอกล่าวนามมา ณ ที่นี้เพื่อแสดงความขอบคุณ

1. ผศ.ทองใบ อรรถเศรษฐ์ ในการให้คำปรึกษาและแนะนำความคิดต่าง ๆ ทั้งยังให้ความช่วยเหลือในด้านอื่น ๆ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้
2. ภาควิชาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน ในการให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และบุคลากร
3. บริษัทชนัญญานิเวอร์แซลอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ในการให้ข้อมูลและมอเตอร์ตัวอย่าง รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่ ซึ่งช่วยในการออกแบบมอเตอร์ได้เป็นอย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. S.S.L. Chang, " Equivalent Circuits and Their Application in Designing Shaded Pole Motors ", Trans. AIEE, Vol.70, pp.690 - 699, 1959.
2. F.C. Trutt, " EQUIVALENT CIRCUIT ANALYSIS OF SHADED - POLE MOTORS " , Electric Machines and Electromechanics, Hemisphere Publishing Corporation, 1981.
3. Cyril G. Veinott, " Theory and Design of Small Induction Motors ", McGraw - Hill Book Company, Inc., 1959.
4. O.I. Butter and A.K. Wallace, " Effect of parameter changes on the performance on shaded - pole motors ", Proc. IEE, Vol.116, No.5, MAY 1969.