



การประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำในระบบกระตุ้นคู่
DOUBLE EXCITED MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2534

008421

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2564

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำในระบบกระตุ้มคู่

- ผู้จัดทำ
1. นาย อธิ ชมภูวงศ์
 2. นาย จิระวัฒน์ สมบัติพิบูลย์
 3. นาย บัณฑิต คณะรักษาสันติ



อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ผศ.ประภาพร ไพโรสุวรรณ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด Wound Rotor	38
บทที่ 4 การทดลอง	40
บทที่ 5 ผลการทดลอง	50
บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์ กิตติกรรมประกาศ	62 84
บรรณานุกรม	85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำในระบบกระตุ้นคู่

DOUBLE EXCITED MACHINE

นาย อธิติ ชมภูวงศ์ 31.1114

นาย อธิระวัฒน์ สมบัติพิบูลย์ 31.1118

นาย ปันพิต คณะรักษ์สันติ 31.1136

นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ ผศ. ประภาพร ไพรสุวรรณา

อาจารย์ อธิระวัฒน์ โพธิ์เวชกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ปัญหานี้พบระดับนี้ เป็นกรณีเอาคุณสมบัติของ AC machine มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น โดยทำการเพิ่มความเร็วยรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด Wound rotor 4 pole ให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เพื่อทำให้มอเตอร์ตัวใหม่นี้มีพิกัดกำลัง ๘ จุดใช้งานเพิ่มขึ้นและยังมีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำดังกล่าว ที่ความเร็วปกติ 1500 rpm ในการเพิ่มความเร็วยรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำจนเป็น 3000 rpm นั้นจะใช้การเสริมสนามแม่เหล็กทางด้านโรเตอร์เข้าไปให้มีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กทางด้านสเตเตอร์เดิม โดยการป้อนไฟกระแสสลับเข้าทางโรเตอร์ ดังนั้นมอเตอร์ตัวใหม่นี้จะเปลี่ยนจากมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นแบบ single excited ไปเป็น double excited machines โดยมีการป้อนไฟเข้าทั้งด้านโรเตอร์และสเตเตอร์ ซึ่งจะทำให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ synchronous motor คือ จะมีค่าความเร็วคงที่ ที่ทุกสภาวะโหลด และมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคล้ายกับ synchronous motor ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DOUBLE EXCITED MACHINE

Mr. THITI CHOMPONGWONG No. 31.1114

Mr. TEERAWAT SOMBATHIBOON No. 31.1118

Mr. BUNDIT KANARAKSANTI No. 31.1135

STUDENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

Mr. PRAPAS PRISUWANNA

Mr. SURIWAT POTIWECHAKUN

ADVISER

Abstract

The project research a characteristic of AC machine to apply and use more advantageously by increasing speed of wound rotor 4-pole induction motor up to 2 times of normal speed. To enable the new motor has rated power at operating point increase and efficiency is higher than induction motor that has normal speed at 1500 rpm. For increasing speed of induction motor to 3000 rpm that is to create rotor magnetic field in the same direction of stator magnetic field by apply three-phase supply to rotor winding. So by changing from an induction motor which is single excited type to double excited machine by supply electric power both rotor and stator winding. The new motor will give the characteristic like synchronous motor. That is the speed is constant at every load condition and has the specific characteristic like synchronous machine too.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

มอเตอร์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า

(Induction Motor)

บทนำ

มอเตอร์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำนี้ อาจเป็นแบบเฟสเดียวหรือหลายเฟสก็ได้ uly ักจะหมายความถึงแบบที่เป็น 3 เฟสซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

ก. แบบที่มีตัวหมุนคล้ายกรงกระรอก (squirrel cage rotor) ซึ่งเป็นแบบที่ไม่ต้องการวงแหวน (slip ring) ติดอยู่ที่ตัวหมุนหรือเรียกว่า "non-slip ring machines"

ข. แบบที่ตัวหมุนมีขดลวดพันอยู่รอบๆ (wound rotor) การพันที่ตัวหมุนนี้อาจเป็น 2 เฟสหรือ 3 เฟสก็ได้

ขดขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้น บนตัวหมุนนี้จะต้องมีจำนวนขั้วเท่ากับที่มีอยู่ บนตัวอยู่กับที่ (stator) แบบนี้จะต้องใช้วงแหวนติดอยู่ที่บนตัวหมุน เพื่อนำขดลวดที่พันอยู่บนตัวหมุนนั้นต่อออกมายังวงจรภายนอก หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "slip ring machines"

ทั้งสองแบบนี้ต่างก็มีหลักการทางาน เช่นเดียวกัน ส่วนที่แตกต่างกันก็เพียงแต่ ำโครงสร้างของส่วนที่สอง (secondary element) ซึ่งก็คือตัวหมุนหรือโรเตอร์นั่นเอง สำหรับส่วนที่อยู่กับที่คือ stator element นั้นก็มีโครงสร้างเช่นเดียวกับ เครื่องกำเนิดกระแสสลับ และนับเป็นส่วนที่หนึ่งของเครื่อง (primary element)

โครงสร้าง (Construction)

มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำตัวหนึ่ง ๆ นั้นต่างก็ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ สองส่วนคือ

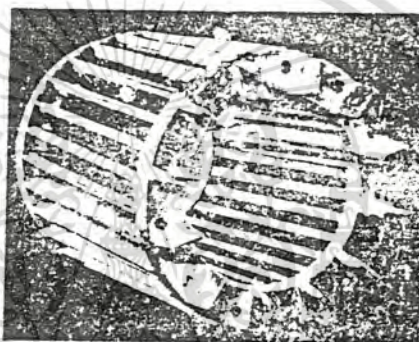
ก. ตัวอยู่กับที่ (stator)

ข. ตัวหมุน (rotor)

ก. ตัวอยู่กับที่นี้มีขดลวดพันอยู่ ้นช่องภายในของตัวอยู่กับที่ ักจะรอบ การพันนี้อาจเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่กับที่และมี 2 เฟสที่ตัวหมุนหรือกลับกันก็ได้ แต่เนื่องจากว่า มอเตอร์ชนิดนี้จะหมุนได้ก็ต่อเมื่อวงจรทางตัวหมุนต่อวงจรครบในตัวหรือขดลวดที่พันอยู่บนตัวหมุนครบวงจร ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงแหวนอื่นอีก 3 หรือ 4 วง เพื่อต่อตัวนำเบี่ยงวงจรภายนอก เพื่อสัดวงจรหรือต่อกับความต้านทานเพื่อการใช้งานการเดินเครื่องด้วย



a₁) ขดลวดตัวหมุนกรงกระรอกที่ได้จากการหล่อตายแบบด้วยแรงอัดที่ยังไม่ได้ใส่แกนเหล็กเข้าไป



a₂) ตัวหมุนแบบกรงกระรอกที่สมบูรณ์แบบแล้ว

A die-cast aluminum rotor for a ball-bearing, squirrel-cage induction motor. (Wagner Electric Corp.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่รูปที่ 1.2 (a) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



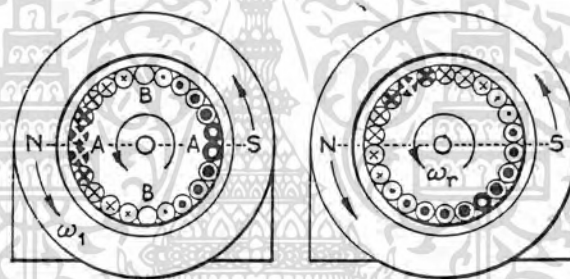
Phase-wound or slip-ring type of rotor.

รูปที่ 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การท างานของ Induction Machine ในอุดมคติ

จากรูปที่ 1.4 แสดงลักษณะของ 2 pole Induction Machine (การพันขดลวดหลายเฟสบนสเตเตอร์ไม่ได้อัดแสดงไว้)ซึ่งจะก่อให้เกิด travelling sine distribution mmf บนช่องอากาศที่สั้นและเป็น uniform และท ำให้เกิด travelling wave ของ flux โดยมีค่า peak ϕ_m จาก diagram ที่แสดงแกนของ flux ในช่องอากาศที่ขณะใดขณะหนึ่ง และทิศทางของมันที่เคลื่อนที่ไป ด้านจ ำรเตอร์จะมีกลุ่มของการพันขดลวดแบบ uniformly distributed full-pitch turns



a **b**
Elements of the induction machine.

รูปที่ 1.4

จากรูป (a) ขดลวด AA' ไม่มี flux เกี่ยวค ำงเลย แต่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของ flux leakage สูงสุด และดังนั้นจะเป็นต ำแหน่งที่มีค่า emf ที่เหนี่ยวน ำขึ้นมามีค่าสูงสุด ขดลวด BB' มี flux เกี่ยวค ำงสูงสุด แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงขณะนั้นมีค่าเป็น 0 ดังนั้นจึงไม่มี emf กระแสที่ไหลในแต่ละขดลวดจ ำรเตอร์ที่เวลาต ำ ขึ้นอยู่กับ emf และ impedance ถ้าสมมติให้เป็น resistive อย่างเดียว รูปแบบของกระแสแสดงจ ำน (a) จะเหมือนกันกับรูปของ emf แต่ในความเป็นจริงแต่ละขดลวดจะมีค่า inductance ดังนั้น กระแสสลับจ ำรเตอร์จะมีเฟส lag ไปดังรูป (b) จ ำนแต่ละกรณีการกระจายกระแสรอบจ ำรเตอร์ gap surface จะเป็นรูป sine ผลที่เกิดตามม ำ คือ แรงทางกลที่มีปฏิกริยาต่อกันซึ่งถูกท ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดขึ้นบนตัวนำของจอร์เตอร์ จะถูกกระตุ้นให้หมุนเบนทิศทางเดียวกับการหมุนของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ ดังนั้นแรงบิดลัพธ์ในรูป (b) จะน้อยกว่าในรูป (a)

พฤติกรรมของ machine จะขึ้นอยู่กับ 2 ตัวแปร คือ

- 1) ความเร็วเชิงครนิต
- 2) ค่า slip

สิ่งแรกจะเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นของสนามในช่องอากาศ และสิ่งหลัง คือ ส่วนของจำนวนที่ความเร็วเชิงมุมของการหมุนของจอร์เตอร์ แตกต่างจากความเร็วเชิงครนิต
ความเร็วเชิงครนิต : สำหรับ machine ที่มี 2 pole ความเร็วเชิงมุมเชิงครนิต ω_s จะเท่ากับความเร็วเชิงมุม $\omega_1 = 2\pi f_1$ ของแหล่งจ่ายสเตเตอร์ ใน machine ที่มีจำนวนคู่ขั้ว p : $\omega_s = \omega_1/p$

Slip : ถ้าความเร็วเชิงมุมของการหมุนของจอร์เตอร์ คือ ω_r ดังนั้นค่า per-unit slip uly $s = (\omega_s - \omega_r)/\omega_s$

การพันขดลวดของจอร์เตอร์จะแยกต่างหาก นั่นคือ จะไม่มีส่วนใดต่อกับแหล่งจ่ายและ power ของมันที่ถูกย้ายมาโดย mutual gap flux ซึ่ง power จำนวนนี้จะเป็นฟังก์ชันของ slip ขณะที่จอร์เตอร์หยุดนิ่ง เราจะเรียกสภาวะนี้ว่า stand still uly $\omega_r=0$ ดังนั้น $s=1$ ทั้งสเตเตอร์และจอร์เตอร์จะหยุดนิ่งอยู่ uly ความถี่เชิงมุม ω_2 ของจอร์เตอร์ emf และกระแสจะเป็นค่าเดียวกันกับ ω_1 (ความถี่ของสเตเตอร์ emf และกระแส) uly ให้ค่าความต้านทานและ leakage reactance ของเพลของจอร์เตอร์แทนด้วย r_2 และ x_2 และค่า emf ของมันแทนด้วย E_2 ดังนั้นค่ากระแสจอร์เตอร์ $I_2 = E_2/(r_2 + jx_2)$ จะ lag ค่า E_2 มีค่า phase angle = $\arctan(x_2/r_2)$ รูปแบบการเคลื่อนที่ของจอร์เตอร์ mmf รอบช่องอากาศ ในสภาวะ synchronism เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของสนามสเตเตอร์ interaction torque จะเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับสนามของสเตเตอร์ สเตเตอร์จะรับกระแสที่ จะทำให้เกิดการสมดุลของจอร์เตอร์ emf ซึ่งจะเหมือนกับกรณีที่ด้าน primary ของหม้อแปลง จะต้องทำให้ secondary mmf สมดุล สำหรับประโยชน์ของ supply voltage ที่เข้ากับขดลวดสเตเตอร์จะต้องมีสนามแม่เหล็กในช่องอากาศ และการสมดุลของ mmf ระหว่าง สเตเตอร์และจอร์เตอร์ uly ประมาณ ถ้าเราละทิ้งค่า stator leakage impedance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่าความสมดุลนี้จะถูกต้องแน่นอน ซึ่งจะเหมือนกับหม้อแปลงงานอุดมคติ

เมื่อจรเตอร์หมุนภายใต้ torque ที่ความเร็ว ω_r ในทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีค่า slip ระหว่าง 1 และ 0 อัตราการเปลี่ยนแปลงของ linkage ในขดลวดจรเตอร์จะตกลงและค่า emf จะลดลงเป็น sE_2 ที่ความถี่ต่ำกว่า คือ $s\omega_1 = \omega_2 = \omega_1 - \omega_r$ ค่า leakage reactance จะลดลงด้วย และค่า leakage impedance จะเป็น $r_2 + jx_2$ ดังนั้นกระแสจรเตอร์อาจจะน้อยกว่าขณะที่มันหยุดนิ่งเมามากนัก นอกจากนั้นมุมการ lag ของมันจะเล็กลงและผลที่ตามมา คือ ค่า torque ถูกทำให้สูงขึ้น รูปแบบของจรเตอร์ mmf ยังคงอยู่ในสภาวะ synchronism เช่นเดียวกับสเตเตอร์ uly มันจะหมุนที่ความเร็วมุม ω_2 เมื่อเทียบกับจรเตอร์ surface และจะหมุนเบที่ความเร็ว ω_r ดังนั้นจะได้อัตราการเคลื่อนที่เชิงมุมทั้งหมดเท่ากับ $\omega_2 + \omega_r = \omega_1$

ถ้าจรเตอร์หมุนที่ความเร็วซิงโครนัส uly $\omega_r = \omega_1$ และ $s = 0$ ขดลวดจรเตอร์จะเคลื่อนที่ใน undamping flux ดังนั้นจะได้ค่าของจรเตอร์ $emf \ sE_2 = 0$ ก็จะไม่มีการกระแสและแรงบิดเกิดขึ้น ซึ่ง machine จะก่อให้เกิดแรงบิดได้ก็ต่อเมื่อ machine ตัวนั้นมีจรเตอร์ emf และกระแส คือมีค่าสลิปที่แน่นอนนั่นเอง

สภาวะการทำงาน

เมื่อเพส voltage V_1 ถูกจ่ายเข้าที่ขดลวดสเตเตอร์ มันจะถูกทำให้สมดุล (ไม่ติดค่า resistance) uly $emf \ E_1$ ที่เกิดขึ้นจากฟลักซ์แม่เหล็ก มีเพียงบางส่วนของฟลักซ์นี้ที่เกี่ยวข้องกับจรเตอร์ และสามารถที่จะย้ายพลังงานผ่านช่องว่างอากาศได้ ส่วนที่เหลือจะเป็น leakage flux ซึ่งมีค่าแปรผันกับค่าของกระแสสเตเตอร์ ยิ่งค่าของกระแสสเตเตอร์มากขึ้นค่าของฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องนี้จะยิ่งลดลง ดังนั้นค่าของ C_m จะมีค่าลดลงตามการเพิ่มของจลตใน machine ที่เป็นอุดมคติ เราจะไม่ได้คำนึงถึงค่า leakage impedance ของสเตเตอร์ และสมมติว่าค่าของฟลักซ์ที่เกี่ยวข้อง ϕ_m มีค่าคงที่ และเพื่อการวิเคราะห์ที่ง่ายขึ้นเราจะทำการวิเคราะห์ machine ในลักษณะ 2 pole

เราจะแบ่งการพิจารณาการทำงานของ machine ออกเป็น 3 จมตการทำงาน uly เรียกว่าเป็น motor (มีค่าของสลิปอยู่ระหว่าง 1 และ 0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่าเป็น generator (มีค่าของสลิปเป็นลบ คือจรรยาเตอร์จะหมุนที่ความเร็วสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส)

และเรียกว่าเป็น break motor (มีค่าของสลิปมากกว่า 1 คือจรรยาเตอร์จะหมุนกลับทิศทางทิศทางของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์)

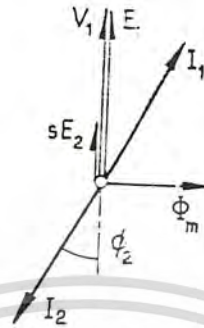
จากสมมติฐานที่เข้ากับหม้อแปลงนอคมคติ ซึ่งประกอบด้วย

- 1) ขดลวดทางด้านสเตเตอร์และทางด้านจรรยาเตอร์จะมีลักษณะเหมือนกันในลักษณะของการกระจายพลังค์ และมีจำนวนของรอบต่อเฟสเหมือนกัน
- 2) ด้านสเตเตอร์จะใช้แรงดันเฟส V_1 ที่มีขนาดและความถี่คงที่
- 3) พลังค์ในช่องอากาศ \mathcal{O}_m มีค่าคงที่และจะหมุนเบที่ความเร็วเชิงมุมซิงโครนัส ω_1
- 4) ค่าการสูญเสียจะมีเพียงใน rotor resistance r_2 เท่านั้น
- 5) ค่าของ magnetizing mmf จะหายเบน้อยมาก ดังนั้นจะไม่คิดค่าของ leakage impedance ในขดลวดสเตเตอร์

ถึงแม้ว่าสมมติฐานข้างต้นจะทำการพิจารณาข้างขึ้น แต่ machine นอคมคติกก็ยังคงแสดงคุณสมบัติสำคัญบางอย่างอยู่

Magnetization: ขดลวดจรรยาเตอร์จะมีการ short-circuit ในตัวมันเอง และจะไม่มีขนาดของขดลวดที่ต่ออยู่กับภายนอก กระแสที่เกิดขึ้นในขดลวดจรรยาเตอร์จะถูกทำให้เกิดขึ้นโดยพลังค์ในช่องอากาศ จากผลดังกล่าวนี้เองทำให้ขดลวดสเตเตอร์ต้องทำหน้าที่ในการรักษา magnetization ใดยรับค่า reactive power ที่เหมาะสมจากแหล่งจ่าย ค่าของ emf E_1 ที่เกิดขึ้นโดยพลังค์ \mathcal{O}_m จะทำให้แรงดัน V_1 ที่จ่ายให้กับสเตเตอร์มีค่าสมดุล และเป็นผลให้เกิดแรงดันในขดลวดจรรยาเตอร์ด้วยค่า $E_2 = E_1$ ในขณะที่มันหยุดนิ่ง และค่าของ sE_2 จะมีค่าเท่ากับ sE_1 ที่ค่าสลิป s กระแสจรรยาเตอร์จะมีค่าเท่ากับกระแสสเตเตอร์แต่จะมีทิศทางตรงกันข้ามกัน $I_1 = -I_2$ เพื่อที่จะรักษาค่าของ mmf ให้เท่ากันและค่าของ \mathcal{O}_m ด้วย ซึ่งแสดงว่าลักษณะของเฟสเซอร์เดอะแกรมดังรูปที่ 1.5 กระแสสเตเตอร์ซึ่งเทียบกับ V_1 จะแสดงค่า input ของ machine และกระแสจรรยาเตอร์จะแสดงค่า output ซึ่งเท่ากับ sE_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



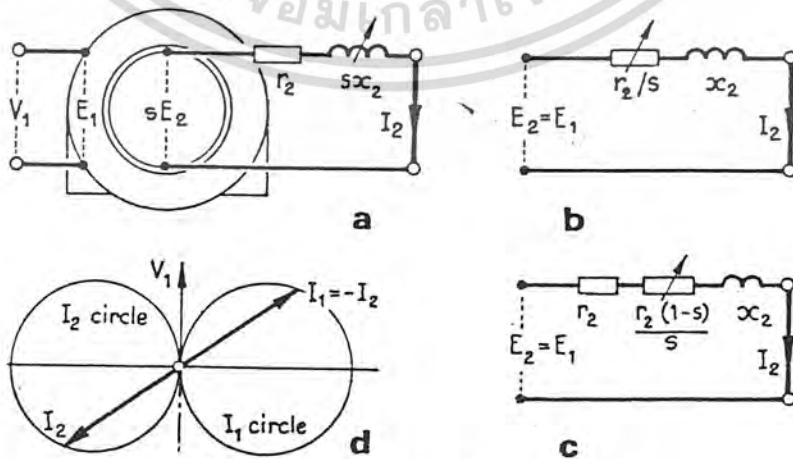
Ideal induction machine: phasor diagram.

รูปที่ 1.5

กระแสจลจรเตออร์: ที่ค่าสลิปใด ๆ เราจะพิจารณาตาบองกระแสจลจรเตออร์จากตาบอง emf sE_2 และตาบอง leakage impedance ที่เหมาะสม $Z_{2s} = r_2 + jsx_2$ ดั่งนั้นจะเต้กระแสที่ลมดลกับกระแส I_2 คือ

$$I_1 = -I_2 = sE_2/Z_{2s} = sE_2/(\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}) = E_2/(\sqrt{(r_2/s)^2 + x_2^2}) \dots 1)$$

ซึ่งมีค่ามุมของเฟส lag เป็เป็นมุม $\phi_2 = \arctan(sx_2/r_2)$



Ideal induction machine: rotor circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหารูปที่ 1.6 และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกประการ 0084211

กระแสในรูป (a) และ (b) จะมีลักษณะเหมือนกัน แต่ในรูป (b) นั้น ค่าของแรงดัน $E_1 = E_2$ จากสมมติฐานที่กำหนดและมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าของ active power ในวงจรทั้งสองจึงมีค่าต่างกัน คือในรูป (a) จะมีค่าเท่ากับ $I_2^2 r_2$ และในรูป (b) จะมีค่าเท่ากับ $I_2^2 r_2 / s$ ค่า active power ที่แตกต่างกันนี้สามารถแสดงโดยการเขียนค่า r_2 / s ในรูปของการต่ออนุกรมของ r_2 กับ $r_2(1-s)/s$ ดังรูป (c) จุดเข้าค่าของ I_2^2 ส่วนแรกก็จะเป็นค่าของการสูญเสียของจรรยาเตอร์ ($I^2 r$) และส่วนหลังจะเป็นค่าของ power ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเป็นค่ากำลังทางกลนั่นเอง

Current locus: จดโดยการสมมติให้ค่าของ $E_2 = E_1 = V_1 = 100V$ และกำหนดให้ค่าของ leakage impedance ในวงจรจรรยาเตอร์ประกอบด้วย $r_2 = 0.1$ และ $x_2 = 0.5 \Omega$ เมื่อกระแสด้าน primary มีความสมดุล ที่ค่าสลิปเท่ากับ 0.05 pu. เราจะได้ว่าค่าของ $r_2/s = 2.0$ และค่าของ $I_1 = 48A$ lag ค่า E_1 ไปเท่ากับ $\phi_1 = \arctan(0.5/2.0)$ ซึ่งเท่ากับ 14° ในลักษณะเดียวกันเมื่อค่าของสลิปมีค่าเท่ากับ 0.2 pu. ได้ค่า $I_1 = 141A$ จดจะ lag ค่าของ E_1 ไปเป็นมุม 79° สำหรับสลิปที่มีค่าเป็นลบซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.05 pu. จะมีกระแสเท่ากับ 48A เท่ากับเมื่อค่าของสลิปเป็น 0.05 pu. แต่จะมีมุม lag ไปเป็น ϕ_2 เท่ากับ 166° ซึ่งแสดงว่าส่วนของ active component จะถูกทวงตรงข้ามกับ active component เดิม และ machine จะกลายเป็น generator ไป สำหรับที่ความเร็วเชิงจรรยาณ์ส ค่าสลิปมีค่าเป็น 0 กระแสจะมีค่าเป็น 0 จดที่ค่าของสลิปขณะนี้มีค่าเป็น ∞ กระแสจะมีค่าเท่ากับ $E_1/x_2 = 200A$ ที่ค่าของมุมเฟสเท่ากับ 90° ดังนั้นเมื่อนำกระแสทั้งหมดมา plot ก็จะได้ locus ของกระแสเป็นดังรูปที่ 1.6d

Power: จากรูปที่ 1.5 ค่าของ input active power ของสเตเตอร์จะหาได้จาก

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \phi_2 = E_1 (-I_2) \cos \phi_2 = E_2 (-I_2) \cos \phi_2 = P_2 \quad \dots \dots (2)$$

เมื่อพิจารณาที่ ideal สเตเตอร์ คือไม่มีค่าการสูญเสีย ค่าทั้งหมดของ power input P_1 จะถูกย้ายไปยังด้านจรรยาเตอร์โดย transformer action ส่วนค่าจรรยาเตอร์ input P_2 ส่วนหนึ่งจะเป็นค่าของการสูญเสีย $I^2 r$ ในวงจรจรรยาเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_2^2 r_2 = (sE_2) I_2 \cos \theta_2 = sP_2$$

และส่วนที่เหลือจะเป็นค่าของ power ที่แปรค่าเป็นกำลังทางกลนั่นเอง

$$P_m = (1-s)P_2$$

ข้อสรุปที่สำคัญก็คือ สำหรับ power P_2 ที่ส่งผ่านช่องว่างอากาศไปยังจอร์เตอร์ เศษส่วน s จะกลายเป็นการสูญเสีย $I^2 r$ และเศษส่วน $(1-s)$ จะเกิดขึ้นเป็นกำลังทางกล (ซึ่งรวมค่าของ windage และ friction loss ไว้ด้วย) ดังนั้นจะได้

$$P_2 : P_m : I^2 r = 1 : (1-s) : s \quad \dots\dots 3)$$

ที่ค่าสลลิปมีค่าน้อยๆ คือมีความเร็วเข้าใกล้ความเร็วซิงโครนัส จะมีข้อดีตรงที่ค่าประสิทธิภาพของจอร์เตอร์จะเท่ากับ $P_m/P_2 = (1-s)$

Torque: ที่ค่าของสลลิปเท่ากับ s ความเร็วของจอร์เตอร์จะมีค่าเป็น $w_r = w_1(1-s)$ และจะได้ค่าของแรงบิดทางกลมีค่าเท่ากับ

$$M = P_m/w_r = P_2(1-s)/w_1(1-s) = P_2/w_1 \quad \dots\dots 4)$$

ค่าแรงบิดจะมีค่าแปรผันกับค่าของ input power ของจอร์เตอร์ โดยไม่คำนึงถึงค่าของสลลิป ค่า power P_2 อาจประมาณได้เท่ากับค่าของ torque in synchronus power เพราะเป็นกำลังซึ่งค่าของแรงบิดจริงๆ จะเกิดขึ้น เมื่อมีค่าคงที่ ดังนั้นก็จะขึ้นอยู่กับค่าของความเร็วซิงโครนัส w_1 มากกว่าความเร็วที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นจะได้ค่าแรงบิดเท่ากับ

$$M = (1/w_1)((sE_2^2 r_2)/(r_2^2 + (sx_2^2))) = (s\alpha)K/(s^2 + \alpha^2) \quad \dots\dots 5)$$

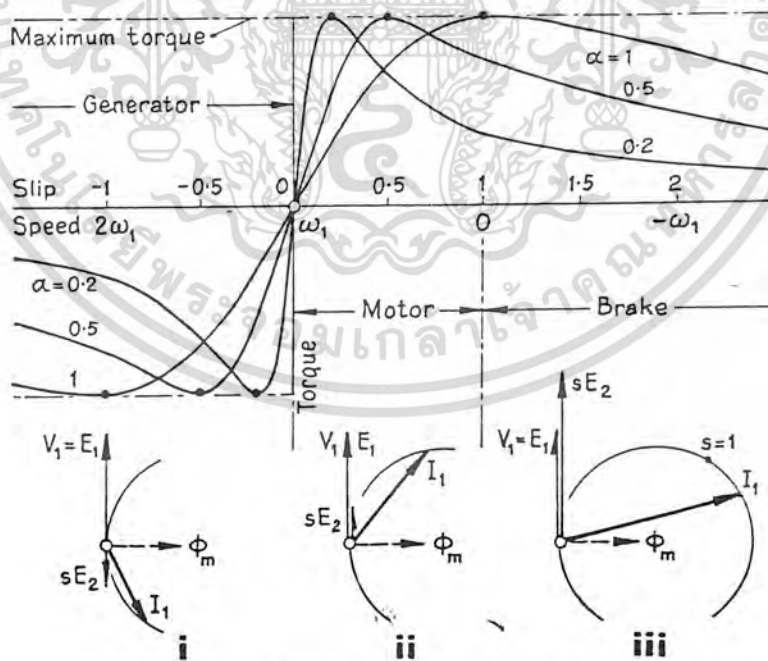
เมื่อ $K = E_2^2/w_1 \times 2$ และ $\alpha = r_2/x_2$

ดังนั้นสำหรับ machine ในอุดมคติดังกล่าว ค่าของแรงบิดจะเปลี่ยนแปลงไปกับค่าของสลลิป และอัตราส่วนของ rotor resistance กับค่าของ leakage reactance ในขณะหยุดนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้องการค่าแรงบิดมีค่าสูงสุดจะสมมติให้ $s^2 = \alpha^2$ ดังนั้นเราจะได้ค่าของสลลิป $s = \pm\alpha$ ซึ่งจะได้ค่า peak torque $M_{max} = K\alpha^2/2\alpha^2 = K/2$ ที่ทั้งสองค่าของความเร็วจนโดยที่ค่าของความเร็วมืดมีค่าสูงกว่าความเร็วเชิงจรนัสและอีกค่าหนึ่งต่ำกว่าความเร็วเชิงจรนัส ค่า factor K ซึ่งประกอบด้วยเทอม $1/x_2$ ดังนั้นขนาดของแรงบิดสูงสุดจะเพิ่มขึ้นถ้าค่าของ reactance ของจรเตอร์ขณะหยุดนิ่งมีค่าลดลง และค่าของกระแสจรเตอร์จะเพิ่มขึ้นถ้าค่าของ impedance ของวงจรจรเตอร์มีค่าลดลง ซึ่งผลดังกล่าวจะทาวให้เห็นฝาคูณ่กกลางของ locus current มีค่าเพิ่มขึ้นดังรูป 1.6d

ความสัมพันธ์ของแรงบิดต่อสลลิปและแรงบิดต่อความเร็วสาหรับค่าของ $\alpha = r_2/x_2$ จะแสดงไว้ดังรูปที่ 1.7 สาหรับค่า leakage reactance ที่มีค่าคงที่ แต่ค่าความต้านทาน r_2 จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ค่าของแรงบิดสูงสุดจะเท่ากันในทุกกรณี และการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงเฉพาะค่าของสลลิปที่มีแรงบิดเกิดขึ้น



Ideal induction machine: torque/slip relations and phasor diagrams.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่รูปที่ 1.7 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสภาวะการทำงานโดยปกติที่วเบ machine จะมีการทำงานที่ใกล้กับความเร็วซิงโครนัส ซึ่งค่าของสลิบจะมีค่าน้อย (ไม่เกิน 0.05 pu.) จากสมการที่ 5 เราสามารถละทิ้งค่าของ s^2 ได้ และจะได้ค่าของแรงบิดเป็น

$$M \approx s(K/\omega)$$

เมื่อเรากำหนดค่าของ K/ω เราจะได้ว่าค่าของแรงบิดแปรตามค่าของสลิบ ซึ่งเป็นผลให้ค่าของความเร็วจะตกเพียงเล็กน้อยเมื่อค่าของแรงบิดเปลี่ยนเบ ซึ่งเราอาจประมาณได้ว่าเป็นคุณสมบัติที่เป็นความเร็วคงที่ เหมือนกับ DC shunt machine

ลักษณะการทำงานที่เป็นมอเตอร์

สภาวะของจอร์เตอร์ emf ซึ่งแสดงในรูป 1.4(a) และแสดงกระแสจอร์เตอร์ในรูป (b) machine จะมีการทำงานอยู่ในช่วงของความเร็วของ machine ในขณะหยุดนิ่งและความเร็วซิงโครนัส ซึ่งมีค่าของสลิบเป็นบวกอยู่ระหว่าง 1 และ 0 เมื่อ machine เดินเครื่องในขณะ no-load ค่าของสลิบโดยที่วเบจะมีค่าน้อยกว่า 0.01 pu. ค่าของจอร์เตอร์ emf จะมีค่าน้อยมาก ค่า impedance ของวงจรถูกจะถือเป็นค่าของ pure resistance และจะมีกระแสเกิดขึ้นเพียงพอที่จะทำให้เกิดการหมุนได้

เมื่อมีโหลดทางกลใส่เข้ามาที่เพล่า จอร์เตอร์จะหมุนช้าลงและจะเป็นการเพิ่มค่าสลิบ ค่าของจอร์เตอร์ emf จะมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งขนาดและความถี่ ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดกระแสและแรงบิดมีค่าเพิ่มขึ้น トラบเท่าที่ผลของ leakage reactance ยังถูกจำกัดไว้ เมื่อเราทำการเพิ่มโหลดเข้าเบมากขึ้น ค่าของแรงบิดจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าของ maximum pull-out ก็จะทำให้มอเตอร์หยุดลงกลางคัน

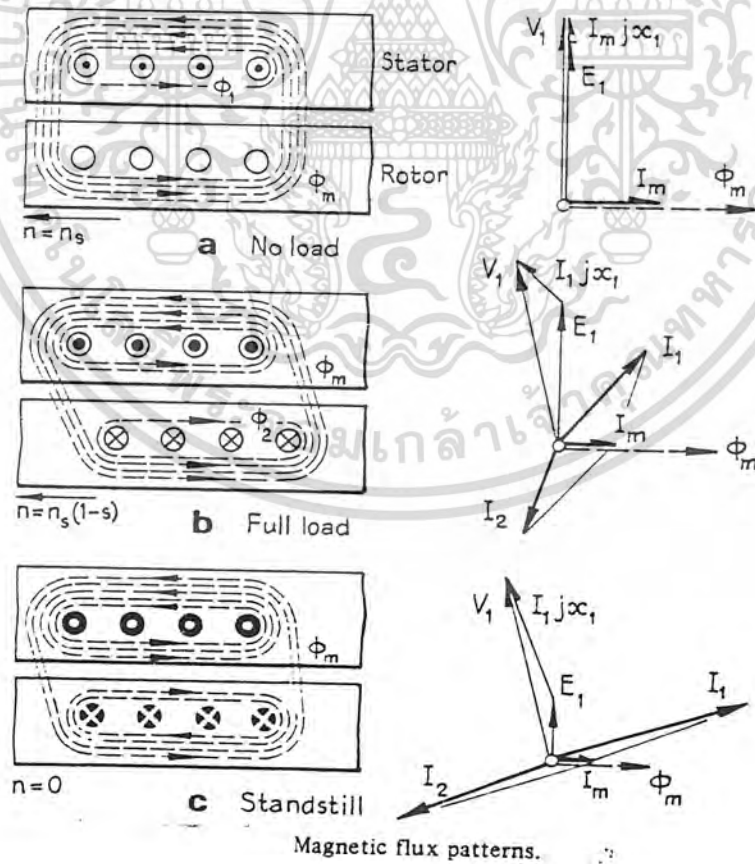
ค่าจำกัดของการเกิดแรงบิดที่ค่าของสลิบต่ำๆ คือค่าความต้านทานของจอร์เตอร์ ซึ่งควรจะมีค่าน้อย ในขณะทำการสตาร์ทกระแสจะถูกจำกัดมาให้มีค่าสูงเกินเบโดยค่าของ leakage reactance แต่เราสามารถปรับปรุงค่าของแรงบิดได้โดยการเพิ่มค่าความต้านทาน แม้ว่ามันจะเป็นผลให้ค่าของ impedance รวมสูงขึ้น ค่ามุม lag ลดลง และเป็นผลให้ active power ที่จอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น จากสมการที่ 4 จะเห็นว่าค่าของแรงบิดจะสูงขึ้นเมื่อค่าของ active power มีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 1.7 จะแสดงเฟสเซอร์เดอแยมแกรมของสเตเตอร์ โดยที่การเปลี่ยนแปลงของ สลิป กระแสของสเตเตอร์จะเคลื่อนที่ตาม locus วงกลม

Induction Machine ในทางปฏิบัติ

ในทางปฏิบัติที่ gap reluctance จะต้องใช้ magnetizing mmf ดังนั้นกระแสทางด้านสเตเตอร์จะต้องสมดุลกับกระแสทางด้านโรเตอร์ จะเกิดกระแส magnetizing และเกิดการสูญเสียแกนเหล็กขึ้นมาด้วย เมื่อมีค่าของ stator winding inductance และค่าของ leakage reactance จะทำให้ไม่สามารถใช้สมมติฐานที่ว่าฟลักซ์ในช่องอากาศ มีค่าคงที่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหารูปที่ 1.8 อย่างยิ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์

การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์จะทำการพิจารณาที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ ดังรูปที่ 1.8 ในรูป a ในสภาวะ no-load ซึ่งถือว่าไม่มีค่ากระแสเตอร์ ค่าฟลักซ์ส่วนใหญ่จะเป็นฟลักซ์เกี่ยวคล้อง ϕ_m และจะมีค่าฟลักซ์ ϕ_1 เพียงเล็กน้อย ดังนั้นจะได้ค่าฟลักซ์ของสเตเตอร์ทั้งหมดเท่ากับ $\phi_m + \phi_1$ ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนตามส่วนของ E_1 และ $I_m \times x_1$ ของสายของแรงดันที่เข้า V_1 เมื่อ I_m คือค่าของกระแส magnetizing และค่าของ voltage drop ในความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์จะเมื่อนามาคิด ที่สภาวะ full-load ในรูป (b) ค่าของฟลักซ์เกี่ยวคล้องจะมีค่าลดลง จะเกิด emf และกระแสขึ้นในจอร์เตอร์ เป็นผลทำให้เกิดฟลักซ์ขึ้นในจอร์เตอร์ ϕ_2 และจะต้องการส่วนประกอบของกระแสสเตเตอร์ที่สมดุล ททางให้เป็นการเพิ่มค่าของ stator leakage ซึ่งจำเป็นต้องเพิ่มค่าของ V_1 และค่าของค่าประกอบของฟลักซ์เกี่ยวคล้องมีค่าลดลง E_1 และค่าของ ϕ_m จะลดลงเล็กน้อย ที่ขณะหยุดนิ่ง จอร์เตอร์ emf และกระแสจะมีค่ามากขึ้นรวมทั้งกระแสสเตเตอร์ด้วย leakage flux ที่สเตเตอร์จะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าฟลักซ์เกี่ยวคล้องจะมีค่าลดลงแบบประมาณครึ่งหนึ่งของฟลักซ์ที่สภาวะ no-load ซึ่งผลต่าง ๆ เหล่านี้จะนำมาประกอบกันกับค่าของสเตเตอร์เพลส resistance และค่าของ leakage reactance รวมเป็นวงจรสมมูลย์ดังที่จะกล่าวต่อไป

วงจรสมมูลย์

วงจรสมมูลย์จะถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงลักษณะเพลสของสเตเตอร์และจอร์เตอร์ อดยสร้างขึ้นจาก element circuit ในรูปที่ 1.6 ความต้านทานของสเตเตอร์ r_1 และ leakage reactance x_1 จะแยกออกจากวงจรแม่เหล็กหลัก ค่าของ magnetizing และค่าของการสูญเสีย current loss จะพิจารณาเป็นรูปของกระแสที่ไหลผ่าน r_m และ x_m ซึ่งจะได้วงจรสมมูลย์แสดงไว้ดังรูปที่ 1.9 ในรูป (a) ค่า emf ของจอร์เตอร์จะมีค่าเท่ากับ sE_2 และมีค่ากระแส I_2 ไหลผ่านความต้านทาน r_2 และ leakage reactance sx_2 ค่าของกำลังทางด้านจอร์เตอร์จะแสดงด้วยค่าของการสูญเสีย I^2r ที่เกิดขึ้นใน r_2 ในลักษณะที่ถูกต้องแล้วเราจะใช้วงจรรูป 1.6(c) เพื่อจะรวมค่าการแปลงกำลังงานทางกลด้วย ดังนั้นค่าของจอร์เตอร์ emf จะเปลี่ยนค่าเป็น E_2 และมีค่า impedance ของจอร์เตอร์เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r_2/s และ x_2 และจะแบ่งส่วนของ r_2/s ออกเป็นสองส่วนคือ r_2 และ $r_2(1-s)/s$ ดังนั้นก็จะเป็นการรวมกำลังทางกลที่แปลงเข้ามาด้วยเท่ากับ $P_m = I_2^2 r_2(1-s)/s$

งานขั้นสุดท้ายจะทำการยุบวงจรสมมูลข้างต้นขึ้นดังจากรูป 1.9(b) โดยการสมมติขดลวดแกนเฟสของจอร์เตอร์ให้มีจำนวนรอบที่ข้เหมือนกับด้านสเตเตอร์ และเรียกการกระทำเช่นนี้ว่าเป็น equivalent rotor referred to the stator ซึ่งปริมาณต่างๆ ที่ย้ายมาทางด้านสเตเตอร์นั้นไม่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลง เราจะระบุปริมาณที่ย้ายมาด้วยชื่อเครื่องหมาย prime ดังนั้นเราจะได้

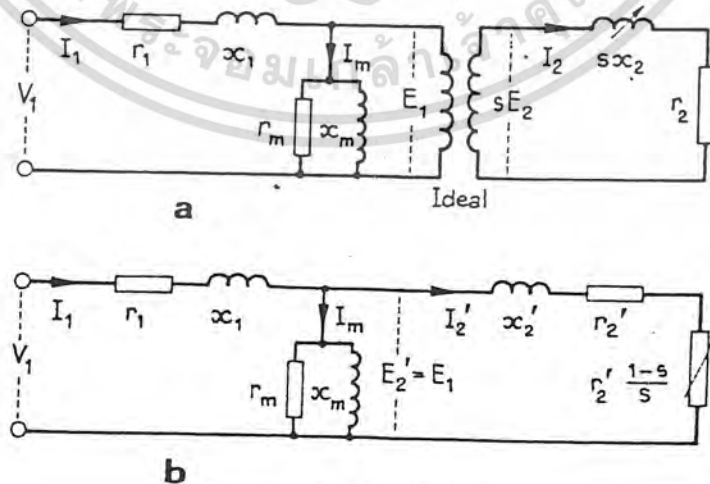
$$E'_2 = E_1, I_2'^2 r'_2 = I_2^2 r_2 \text{ และ } I_2'^2 x'_2 = I_2^2 x_2$$

Slip-ring rotor winding

เราจะได้ค่าต่างๆ ดังนี้คือ

$$E'_2 = K_t E_2, r'_2 = K_t^2 r_2 \text{ และ } x'_2 = K_t^2 x_2 \quad \dots\dots 6)$$

เมื่อ K_t มีค่าเท่ากับ $(K_{w1} N_1 / K_{w2} N_2)$ โดยข้ค่าของจำนวนรอบต่อเฟสในการต่ออนุกรมที่เหมาะสม (N) และค่าของ winding factor (K_w)

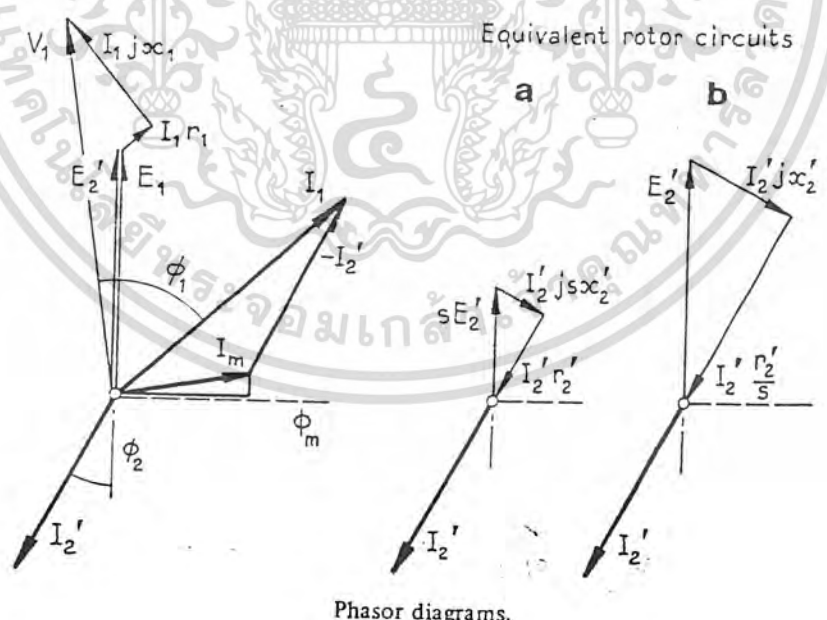


Equivalent circuits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ 19 อย่างไรก็ดีเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phasor diagram

วงจรมมมูลย์ในรูป 1.9 สามารถใช้สร้าง phasor diagram สำหรับการดำเนินงานที่สถานะ steady-state ที่ค่าที่กำหนดของ slip รูปแบบ 2 ชนิดแสดงในรูป 1.10 โดย diagram จะเป็นปริมาณทางไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ขณะที่ (b) จะรวม power ของโรเตอร์ทั้งหมด กระแสสเตเตอร์จะประกอบด้วยส่วนประกอบ $-I_2'$ เพื่อ balance ค่า mmf ของโรเตอร์และ magnetizing และส่วนประกอบ core loss ซึ่งจะสร้างกระแส I_m ซึ่งจำเป็นสำหรับการ magnetize machine แรงดันสเตเตอร์ V_1 จะพิจารณาจาก leakage impedance volt drop ของสเตเตอร์ $I_1 r_1$ และ $I_1 jx_1$ ซึ่งจะก่อให้เกิด emf E_1 โดยที่ จะสัมพันธ์กับเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศในโรเตอร์, E_2' ซึ่งได้มาจาก sE_2 ทหารด้วยค่า leakage impedance ของโรเตอร์ $(r_2' + jsx_2')$ ในรูป (a) แต่ในรูป (b) มันจะได้จากค่า E_2' ทหารด้วย $[(r_2'/s) + jx_2']$



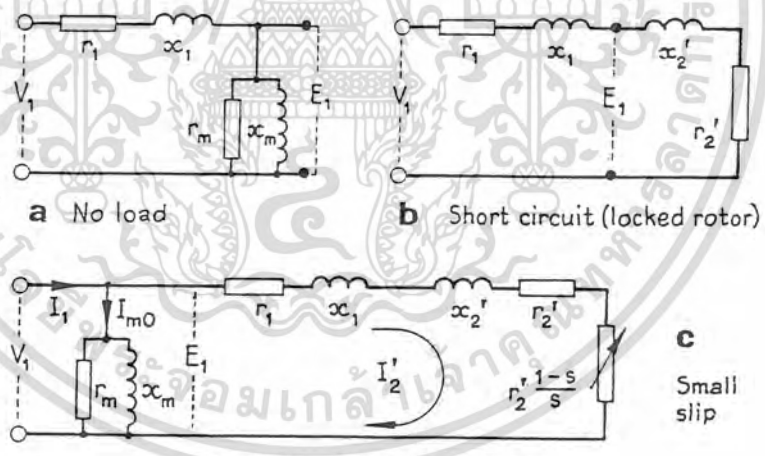
รูปที่ 1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสมมูลย์โดยประมาณ

วงจรสมมูลย์ในรูป 1.9 คุณสมบัติของ induction machine ซึ่งจะหาค่าสำหรับสภาวะที่เป็น steady-state โดยขบวนการธรรมดาของการแก้ปัญหาโครงข่ายวงจรไฟฟ้า a.c. การประมาณค่าที่เป็นประโยชน์ สามารถทำได้สำหรับสภาวะการทำงานปกติที่มีค่า slip เป็นบวกหรือลบน้อยๆ และสำหรับสภาวะ no-load และ short-circuit

No Load : ที่สภาวะ no-load ค่า slip จะน้อยมาก นั่นคือ r_2' / s จะมีค่าสูงมากจะทำให้โรเตอร์เกือบจะเปิดวงจร ทำให้ได้วงจรสมมูลย์ดังรูป 1.11(a) ค่า magnetizing impedance จะมีค่ามากกว่า r_1 และ x_1 มากๆ ดังนั้น $E_1 = V_1$ ค่า loss = V_1^2 / r_m อย่างไรก็ตาม ยังมีค่า loss จำนวนน้อยๆ ในความเสียดทานและความต้านทานลม ซึ่งเมื่อต้องการแรงบิดจะมีกระแสโรเตอร์และกระแสสเตเตอร์ที่สมดุล ดังนั้นกระแส no load จริงๆ คือ I_0 การทดสอบ machine ที่ no load จะให้ค่า stator input, core และ mechanical loss รวมกัน โดยที่เกือบจะไม่ต้องคิดค่าการสูญเสีย $I^2 R$ เลย



Equivalent-circuit approximations.

รูปที่ 1.11

Short Circuit: ในสภาวะนี้ สเตเตอร์จะถูกกระตุ้น(ที่สภาวะปกติ, หรือสำหรับ machine ที่ใหญ่ขึ้น, ที่ reduced voltage) และโรเตอร์จะหยุดอยู่กับที่ (locked) สภาวะในรูป (b) แสดงค่า E_1 ซึ่งจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่าที่สภาวะ no load และกระแสโรเตอร์จะใหญ่ขึ้น

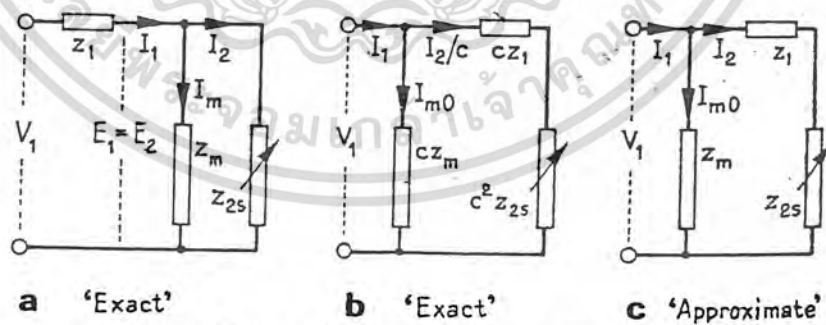
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่กระแส magnetizing จะไม่นำมาคิด กระแสสเตเตอร์จะถูกจำกัดโดยค่าความต้านทานที่ประกอบกัน $R_1 = r_1 + r_2'$ และ ค่า reactance ที่ประกอบกัน $X_1 = x_1 + x_2'$ ค่า active power input โดยที่มีการจับให้มอเตอร์หยุดหมุน จะเป็นค่าการสูญเสีย $I^2 R$ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับค่า stray loss

การทำงานโดยมีค่า slip น้อยๆ: ตราบเท่าที่ค่า slip ยังคงมีค่าน้อย machine สามารถที่จะพิจารณาได้ว่ามันจะ run ด้วยค่าเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศที่เกือบจะคงที่และ magnetizing branches r_m และ x_m สามารถที่จะย้ายไปยังขั้วของทาง primary ดังรูป (c) จากการมองโครงข่ายวงจรไฟฟ้าดังกล่าว จะทำให้การพิจารณาง่ายขึ้นและโดยธรรมดาแล้วสภาวะการทำงานต่างๆจะยอมให้มีการใช้วงจรสมมูลย์โดยประมาณนี้ สำหรับการทำงานที่ง่ายขึ้น

Steady-State Theory

พฤติกรรมของ machine จะสืบหาได้โดยใช้วงจรสมมูลย์ มันจะถูกสมมติว่าค่าที่ถูกต้องสามารถที่จะถูกกำหนดเป็น parameters เพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานต่างๆ การทำงานจะพิจารณาในสภาวะ steady-state โดยมีค่าแรงดันที่ป้อนที่สเตเตอร์และความถี่คงที่และค่าทั้งหมดจะเป็น per phase



Exact and approximate equivalent circuits.

รูปที่ 1.12

เพื่อที่จะให้ประกอบด้วยพลังงานที่แปลงมาอย่างแน่นอนดังนั้นวงจรสมมูลย์จะใช้รูป 1.9 (b) เพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น network ของรูป 1.12(a) จะนำมาใช้กับสมมติฐานที่ว่า สเตเตอร์/โรเตอร์ effective turn ratio = 1/1 ในการใช้ผลสำหรับการคำนวณทั่วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป มันมีความจำเป็นที่จะต้องรู้ว่าค่า z_2, r_2 , และ x_2 หมายความว่าถึง z'_2, r'_2 และ x'_2 เราจะสามารถหากระแส I_1, I_2 และ I_m และแรงบิด สำหรับค่า slip ที่กำหนด

สแตเตอร์

กระแสสแตเตอร์ คือ $I_1 = I_m + I_2 = (E_1/z_m) + (E_1/z_{2s})$ และค่าแรงดันที่

ใช้ คือ $V = E_1 + I_1 z_1 = E_1 + (I_m + I_2) z_1 = E_1 [1 + (z_1/z_m) + (z_1/z_{2s})]$

โดยขณะนี้ z_1 จะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ z_m แต่ทั้งสองเป็นค่า inductive และมี impedance angles of the same order

$$c = 1 + (z_1/z_m) = c \text{ ไซ} \quad \dots\dots 7)$$

จำนวนเชิงซ้อนนี้จะมีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อย (เช่น 1.1) โดยมีมุม ϕ เล็กๆ ซึ่งมักจะเป็นลบ ดังนั้น

$$V_1 = E_1 [c + (z_1/z_{2s})]$$

ตัวอย่างของ curve สำหรับการเปลี่ยนแปลงของ E_1 และ I_1 กับ slip แสดงในรูป 1.13

โรเตอร์

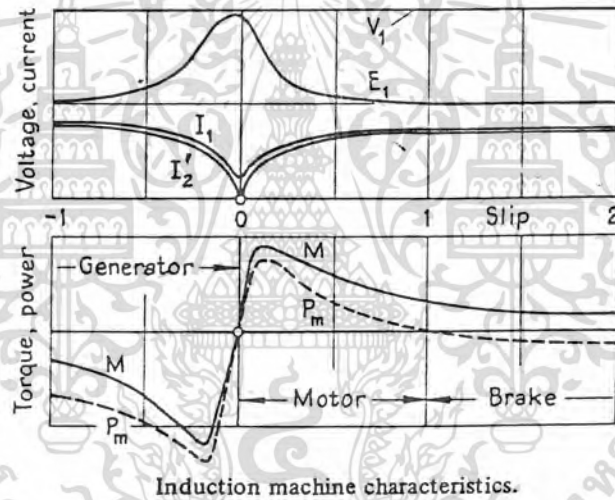
เราสามารถที่จะหาค่า I_2 ในเทอมของ V_1

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{E_1}{z_{2s}} = \frac{V_1}{z_1 + c z_{2s}} = \frac{V_1}{(r_1 + jx_1) + c(r_2/s + jx_2)} \\ &= \frac{V_1}{(r_1 + cr_2/s) + j(x_1 + cx_2)} \quad \dots\dots 8) \end{aligned}$$

วงจรของ impedance $r+jx$ ใดๆ ที่มีส่วนประกอบหนึ่ง (คือ reactance) เป็นค่าคงที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่อีกอันหนึ่งจะเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจะมี impedance locus เป็นเส้นตรงและผลที่ตามมาคือ locus ของ กระแส phasor ของมันที่มีค่าแรงดันคงที่จะเป็น circular arc ค่า scalar ของขนาดของกระแสโรเตอร์ (โดยที่ค่า c เป็น pure numeric) คือ

$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{[(r_1 + cr_2/s)^2 + (x_1 + cx_2)^2]}} \quad \dots\dots 9)$$



Induction machine characteristics.

รูปที่ 1.13

แรงบิด

input powerของโรเตอร์ทั้งหมดต่อเฟส คือ

$P_2 = I_2^2 r_2/s$ และแรงบิด คือ P_2/ω_m และจากสมการ จะได้ค่าแรงบิด

$$M = \frac{V_1^2 (r_2/s)}{\omega_m [(r_1 + cr_2/s)^2 + (x_1 + cx_2)^2]} \quad \dots\dots 10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของ curve ของแรงบิด (และ input power ของโรเตอร์) จะแสดงในรูป 1.13 จากการแก้สมการ $dM/ds = 0$ สำหรับค่าแรงบิดสูงสุด จะได้ค่า slip สำหรับแรงบิดนี้ คือ

$$s_m = \frac{cr_2}{\sqrt{[r_1^2 + (x_1 + cx_2)^2]}} \dots\dots 11)$$

สำหรับค่าแรงบิดสูงสุด จะเป็นดังนี้

$$M_m = \frac{1}{\omega_s} \frac{V_1^2 / 2c}{r_1 + \sqrt{[r_1^2 + (x_1 + cx_2)^2]}} \dots\dots 12)$$

กระแส Magnetizing

ที่ค่า slip เป็นศูนย์ กระแสโรเตอร์จะหายไป และกระแส magnetizing $I_{m0} = V_1 / (z_1 + z_m) = V_1 / cz_m$ เมื่อค่า slip เกิดขึ้นจำนวนหนึ่ง กระแสโรเตอร์จะไหล และค่า emf จะตกลงเป็น $E_1 = V_1 - I_1 z_1$ กระแส magnetizing จะลดลงเป็น I_m โดยการให้กระแสเตเตอร์ $I_1 = I_m + I_2$ และเขียนแทนด้วย $I_1 = I_{m0} + I_n$

$$I_n = I_2 + I_m - I_{m0} = I_2 + (E_1 / z_m) - (V_1 / cz_m)$$

จะหาค่า I_n ได้จากการที่ $E_1 = V_1 - (I_{m0} + I_n)z_1$ เราจะได้ผลว่า $I_n = I_2 / c$

ดังนั้น $I_m = I_{m0} - I_2 [(c-1)/c] = I_{m0} - I_2 [z_1 / (z_1 + z_m)]$

เมื่อ I_n มี circular locus เดียวกับ I_2 กระแส magnetizing I_m สำหรับ slip s คือค่า I_{m0} ที่ slip เป็นศูนย์ ภายใต้ phasor ซึ่งตัวมันเองเป็น circular locus ในเทอมของกระแสโรเตอร์

$$I_m = I_{m0} + I_2 [(c-1)/c] = I_{m0} - I_2 [z_1 / (z_1 + z_m)] \dots\dots 13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสสเตเตอร์

จาก $I_1 = I_m + I_2$ และใช้สมการ 13 จะได้

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_m} - I_2 \frac{c-1}{c} + I_2 = \frac{1}{c} \frac{V_1}{z_m} + I_m \dots\dots 14)$$

เมื่อ $c = 1 + (z_1 / z_m)$ จากสมการ 7 และ I_2 จากสมการ 8 สมการ 14 สามารถแสดงโดยวงจรสมมูลย์อีกอันหนึ่งในรูป 1.12(b)

จากการเปรียบเทียบผลต่างๆที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่า impedance ของสเตเตอร์จะมีอิทธิพลที่สำคัญต่อพฤติกรรมของ machine โดยทั่วไปค่าความต้านทาน และ reactance สมมูลย์ของโรเตอร์และสเตเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกัน ปริมาณทางสเตเตอร์จะไม่สามารถตัดทิ้งได้ โดยปราศจาก serious error

ภายใต้ข้อจำกัดซึ่งกำหนดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานและค่า leakage reactance เนื่องจากการ saturation และความถี่ สมการ 8 ถึง 11 สามารถนำมาใช้คำนวณ machine performance ได้

Approximate Theory

โดยการใช่วงจรสมมูลย์ในรูป 1.12c จะให้การแสดงที่ง่ายขึ้นสำหรับข้อมูลโดยทั่วไป แต่จะเป็นการประมาณค่า จากผลดังกล่าว, กระแส magnetizing จะเป็นค่าคงที่ และ conversion branch ของโครงข่ายวงจรไฟฟ้าจะเป็นค่าของ z_1 และ z_{2m} ต่ออนุกรมกัน โดยมีค่าแรงดันที่ใช้ V_1 คงที่, ค่าจำนวนเชิงซ้อน c จะมีค่าเป็น 1

กระแสโรเตอร์

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{V_1}{Z_2} = \frac{V_1}{Z_2} \dots\dots 15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $X_1 = x_1 + x_2$ คือค่าผลรวมทั้งหมดของ leakage reactance ของสเตเตอร์และโรเตอร์ ที่ความถี่แหล่งจ่าย โดยได้ย้ายมาทางขดลวดสเตเตอร์ ค่า scalar ของกระแสคือ

$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{[r_1 + r_2/s]^2 + X_1^2}} \quad \dots\dots 16)$$

ซึ่งจะเป็น circular locus

แรงบิด

จากสมการ 10 จะถูกทำให้ง่ายขึ้นโดย

$$M = \frac{V_1^2 (r_2/s)}{w_m [(r_1 + r_2/s)^2 + X_1^2]} \quad \dots\dots 17)$$

สำหรับค่า slip

$$s_m = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + X_1^2}}$$

ดังนั้นแรงบิดจะมีค่าสูงสุดคือ

$$M_m = \frac{1}{2} \frac{V_1^2 / s}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + X_1^2}} \quad \dots\dots 18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใ้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่เป็นลบ คือสภาวะที่มีค่า slip เป็นลบ คือ (โหมดการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ค่าความต้านทานของโรเตอร์จะมีผลต่อความเร็วสำหรับแรงบิดสูงสุด แต่จะไม่มีผลโดยตรงต่อแรงบิด เพื่อที่จะให้ได้ค่าแรงบิดสูงสุดขณะ start ($s=1$) ค่าความต้านทานของโรเตอร์ r_2 จะต้องเท่ากับ $\sqrt{r_1^2 + X_1^2}$

Losses และ ประสิทธิภาพ

จากค่าความสูญเสีย $I^2 R$ คือ $I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2$ per phase และ ขึ้นอยู่กับโหลด นอกจากนี้ยังมีค่า stray losses ต่าง ๆ ซึ่งอาจจะถูกใช้เมื่อมี load-dependent ค่า loss ต่าง ๆ ที่มีค่าแน่นอนจะถูกนำมารวมกันเป็นค่าคงที่ อย่างน้อยที่สุดในช่วงการทำงานปกติของความเร็ว คือค่าความเสียดทาน, ความต้านทานลม และ core losses สำหรับที่ค่า per phase, ประสิทธิภาพ หรืออัตราส่วนของ $[\text{output}/\text{output}+\text{losses}]$ จะได้มาโดยประมาณสำหรับ electromagnetically converted power P_m และ loss ทางกล p โดย

$$\eta = \frac{P_m - p}{(P_m - p) + [I_2^2(r_1 + r_2) + p_s] + [I_{m0}^2(r_1 + r_m) + p]}$$

เมื่อ p_s คือค่า stray loss และค่า core loss จะถูกแทนด้วย $I_{m0}^2 r_m$

Motor Performance ในสภาวะ Steady State

ขณะ no load ขดลวดโรเตอร์จะลัดวงจรอยู่ machine จะ run ที่ความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วซิงโครนัส โดยที่การเคลื่อนที่ของคลื่นของสนามสเตเตอร์หมุนอยู่ ค่ากระแสโรเตอร์จะมีค่าน้อยมาก เพราะว่าจะมีเพียงค่า loss torque (สำหรับความเสียดทานและความต้านทานลม) เท่านั้นที่เกิดขึ้น สเตเตอร์จะมี corresponding active current กับกระแส core loss ซึ่งคือส่วนประกอบของ active no load current กระแส magnetizing จะมีค่ามากกว่า active current มาก ดังนั้นค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ no load จะมีค่าต่ำ เช่น 0.1 หรือสำหรับมอเตอร์ขนาดเล็ก = 0.25

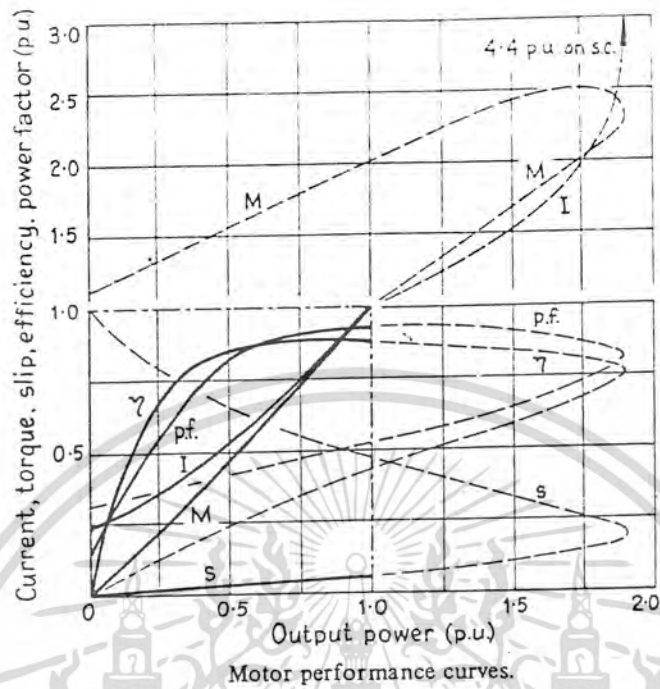
ถ้ามีแรงบิด ของโหลดกระทำต่อเพลา โรเตอร์ก็จะลดความเร็วลง ค่าความถี่ของโรเตอร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอร์จะต่ำมาก, ค่า inductive reactance จะมีผลน้อยมาก และกระแสโรเตอร์เกือบจะ in phase กับ emf ของโรเตอร์ คือมันจะเกิดแรงบิดขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดกระแส ค่า slip จะเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะเกิดกระแสโรเตอร์ และแรงบิดที่เพียงพอ และยังใกล้เคียงกัน ค่าแรงบิดของโหลดและ slip จะแปรผกผันกัน ดังนั้นความสัมพันธ์ทั้ง slip/แรงบิด และ ความเร็ว/แรงบิด จะเคลื่อนไหวเป็นเส้นตรง การเพิ่มขึ้นของกระแสโรเตอร์ จะเป็นการบังคับให้มีการเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบ active ของกระแสสเตเตอร์ และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะสูงขึ้น

ที่ full load ค่า slip อาจจะมีประมาณ 0.05 pu. ในมอเตอร์ขนาด 2kW และจะลดลงมาที่ประมาณ 0.01 pu. ใน machine ขนาด 1MW และค่ากระแสสเตเตอร์ที่ full load จะประมาณ 3 เท่าของค่าที่ no load ค่าของเพาเวอร์แฟกเตอร์จะเพิ่มขึ้นโดยอยู่ระหว่าง 0.8 และ 0.9 ประสิทธิภาพซึ่งจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ no load จะเพิ่มขึ้นเป็นค่าสูงสุดที่ full load (หรือมักจะต่ำกว่า) ค่าสูงสุดนี้จะเกิดขึ้นอย่างคร่าว ๆ เมื่อค่าการสูญเสีย I^2R ในสเตเตอร์และโรเตอร์ รวมกันเป็นจำนวนเท่ากับ no load "constant" loss เมื่อโหลดมีค่าสูงขึ้น, การสูญเสีย I^2R จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่า ดังนั้นประสิทธิภาพจะตกลงอย่างช้า ๆ

สำหรับการ overload ที่ไม่รุนแรง กระแสสเตเตอร์ และค่า slip จะเพิ่มขึ้นโดยแปรผกผันกับโหลด ขณะที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ซึ่งระบุโดย circle diagram จะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับการ overload ที่มากขึ้นทั้งกระแสและ slip จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงค่าโหลดสูงสุด (ประมาณ 100% overload) กระแสอาจจะมีค่าถึง 3 เท่าของกระแสที่ full-load โดยที่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะอยู่ในย่าน 0.7 เมื่อมาถึงขั้นนี้ การเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยของการ overload จะเป็นสาเหตุให้มอเตอร์ หยุดโดยทันทีทันใด ค่ากระแสจะเพิ่มขึ้น เช่นประมาณ 5 เท่าของค่า full-load ที่พิกัด, ค่าแรงบิดจะลดลง และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะต่ำลงเหลือประมาณ 0.2-0.4 machine จะไม่สามารถ start ได้ใหม่ จนกระทั่งค่าแรงบิดของโหลดจะถูกลดลงต่ำกว่าค่าที่ใช้ได้ขณะ start ค่า rating ของมอเตอร์จะถูกคำนวณจากความสัมพันธ์กับค่า pull out หรือ ค่าแรงบิดสูงสุด ซึ่งความสัมพันธ์โดยปกติของค่าแรงบิดสูงสุดกับแรงบิดที่ full-load จะเป็น 2:1

ตัวอย่างของกลุ่ม characteristic curves บนช่วงต่าง ๆ ที่สมบูรณ์ จะแสดงในรูปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.14

ค่าประสิทธิภาพ และเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่โหลดที่หนัก จะขึ้นอยู่กับขนาด (size) และการนำไปใช้งาน โดยเฉพาะที่ความเร็วปกติ $n_p = f/p$ (r/s) หรือ $60f/p$ (r/min) สำหรับ machine ที่มีจำนวนคู่ขั้ว = p และความถี่ของแหล่งจ่าย f เพราะฉะนั้นเนื่องจากการใช้ material อย่างแท้จริงมีน้อยกว่า และค่า leakage inductance จะมากกว่า จึงทำให้ machine ความเร็วต่ำ มีน้ำหนักมากกว่า, ประสิทธิภาพต่ำกว่าและมีค่า reactive มากกว่าใน machine ความเร็วสูง รูปข้างล่างจะเปรียบเทียบข้อมูลสำหรับ machine ขนาด 5kW ที่ความเร็วต่าง ๆ และช่วง range ของ cage และ slip ring machines

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

Synchronous Motor

โครงสร้าง (construction) โครงสร้างของ synchronous motor นั้นก็เป็นเช่นเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟสลัป แต่ก็อาจมีรูปร่างบางอย่างที่ผิดกันไปบ้างทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานว่าต้องการให้เป็นมอเตอร์หรือเครื่องกำเนิดไฟ ขั้วแม่เหล็กที่ใช้มอเตอร์นั้นเป็นแบบ salient (salient pole) ส่วนเครื่องกำเนิดไฟสลัปอาจเป็นแบบ salient pole หรือไม่ใช้ salient pole ก็ได้ (เป็นรูปทรงกระบอกก็ได้) สำหรับ stator นั้นเหมือนกันรวมทั้งการพันสนามแม่เหล็กด้วย (field winding) synchronous motor นั้นต้องการขดลวดตัวหน่วง (damper winding) พันไว้ที่บริเวณผิวหน้าของขั้วแม่เหล็กเพื่อป้องกันการคราง (Hunting) และยังช่วยในการเริ่มทำให้มอเตอร์หมุนถึงความเร็วที่ต้องการโดยใช้วิธีการ start แบบ induction ทั้งเครื่องกำเนิดไฟและมอเตอร์ต่างก็มีขดลวดสนามแม่เหล็กรับกระแสไฟตรงมาจากวงจรภายนอก ในห้องทดลองนั้นมักใช้เครื่องๆเดียวกันเป็นทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนในแหล่งที่จ่ายกำลัง (power house) ก็อาจใช้เครื่องกำเนิดไฟเป็นมอเตอร์ได้ ในกรณีที่ตัดตัวต้นกำลังออกไปในขณะที่มันกำลังทำงานชานอยู่ก็อยู่กับเครื่องอื่นๆซึ่งอาจจะเป็นไปโดยตั้งใจหรือไม่ก็ได้

synchronous motor ทำงานได้ที่เพียงความเร็วค่าเดียวที่คงที่ตลอดไป ไม่ว่าจะมิลoad หรือไม่มี load ก็ตาม ความเร็วที่กล่าวนี้คือความเร็วที่ synchronous ซึ่งมีค่าเป็น N_s โดยมีค่าเท่ากับ

$$N_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ N_s = ความเร็วที่ synchronous (รอบ/นาที)

f = ความถี่ของไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (รอบ/นาที)

p = จำนวนหน่วยขั้วแม่เหล็กภายในมอเตอร์นั้นจึงต้องใช้ตัวต้นกำลังอื่นมา

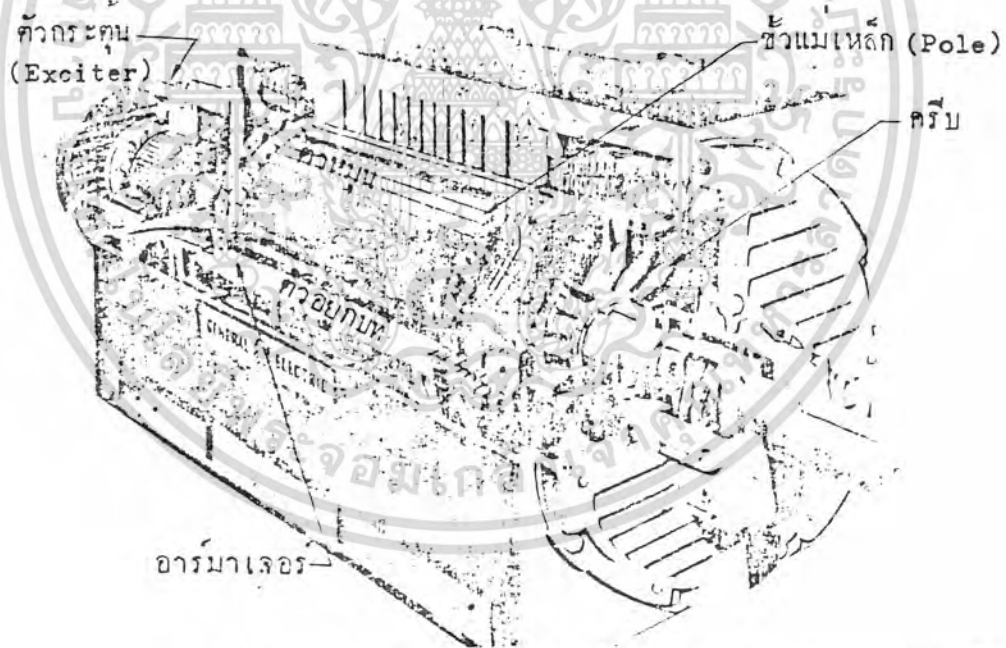
ช่วยหมุนมันเพื่อให้มีความเร็ว synchronous เสียก่อนแล้วจึงจะทำให้มันหมุนด้วยตัวของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เองได้ที่ความเร็ว synchronous ตลอดไป ในการใช้งานนั้น ตัวมันจะมีความเร็วคงที่ตลอดเวลาในช่วงที่มันสามารถจ่าย load ได้ ดังนั้นจึงมีวิธีการเดียวที่จะปรับความเร็วของ synchronous motor ได้โดยการปรับความสามารถในการปรับตัวองค์ประกอบกำลัง (P.F) ได้ในช่วงกว้างมากทั้ง lead และ lag p.f. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ควบคุม

โดยปกติแล้วมอเตอร์ชนิดนี้มีอาร์มาเจอร์อยู่ที่ตัวอยู่กับที่ (stator) และให้ขั้วแม่เหล็กเป็นตัวหมุนแทนโดยให้อยู่กับที่ rotor ส่วนไฟตรงที่จะจ่ายให้กับแม่เหล็กนั้นเอามาจากเครื่องกำเนิดกระแสไฟตรงตัวเล็กๆ อีกตัวหนึ่งที่ต่ออยู่บนแกนเดียวกันที่ปลายขั้วงัดไต่ข้างหนึ่งของมอเตอร์หรืออาจจะแยกเอาไว้ต่างหากก็ได้ ดังรูปที่ 2.1



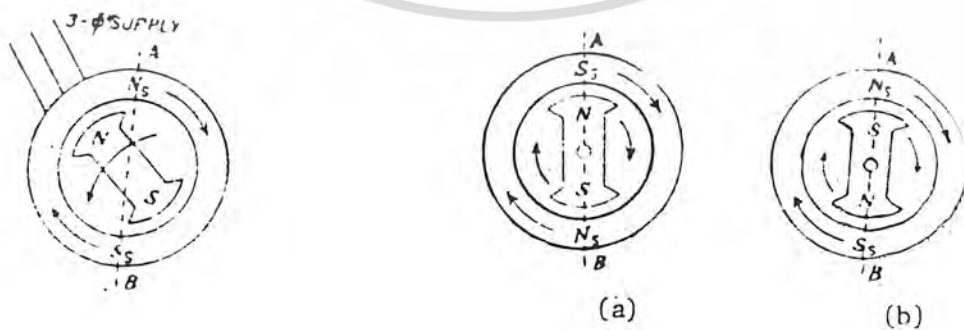
รูปตัดของ เครื่องกลไฟฟ้าแบบหมุนไปพร้อม ๆ กัน (Synchronous machines) ชนิดขั้วแม่เหล็กยื่น

รูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของการทำงาน (Principle of Operation)

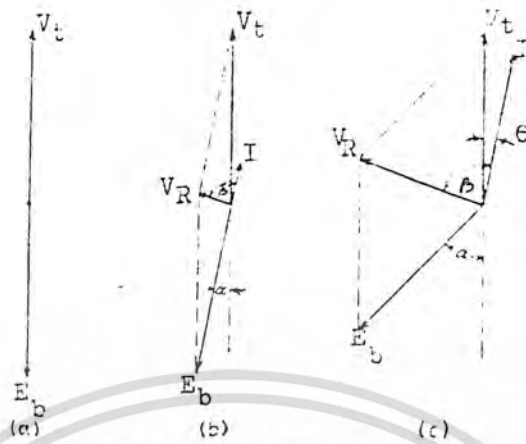
จากรูปที่ 2.2 เมื่อใส่ไฟ 3-เฟส เข้าไปที่ตัวอยู่กับที่ (stator) ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นรอบๆ ด้วยความเร็วที่ synchronous บนตัวอยู่กับที่นั้น สมมติให้มีขั้วแม่เหล็กเกิดขึ้น 2 ขั้วที่ตัวอยู่กับที่ คือ N_s และ S_s ดังรูปที่ 2 ซึ่งวิ่งไปตามเข็มนาฬิกาและมีตำแหน่งของขั้วของแม่เหล็กที่อยู่บน Rotor ดังรูปที่ 2.2 สมมติให้ตำแหน่งขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขั้วขณะนั้นอยู่ที่ A และ B โดยที่ให้ N_s อยู่ที่ A และ S_s อยู่ที่ B จะเห็นได้ว่ามีขั้วที่เหมือนกันอยู่สองคู่ขั้วคือ N ของตัวหมุนกับ N_s ของตัวอยู่กับที่ และ S_s ของตัวหมุนกับ S_s ของตัวอยู่กับที่ ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงผลักซึ่งกันและกัน แรงผลักนี้จะทำให้ตัวหมุนเริ่มจะเคลื่อนที่ไปในทิศสวนเข็มนาฬิกาในครึ่งแรกของไฟที่จ่ายให้กับตัวอยู่กับที่ แต่ว่าช่วงครึ่งหลังของไฟที่จ่ายเข้าไปที่ตัวอยู่กับที่นั้นจะทำให้เห็นเสมือนว่าขั้วแม่เหล็กวิ่งไปอีก 180° ไฟฟ้านั้นคือที่ตำแหน่ง A บนตัวอยู่กับที่ได้กลายเป็นขั้ว S_s ไปแล้ว เช่นเดียวกับที่ตำแหน่ง B ของครึ่งหลังก็ได้กลายเป็นขั้ว N_s ไปเช่นกัน เมื่อเป็นเช่นนั้น ก็จะทำให้เกิดแรงดูดกันขึ้นมาระหว่างคู่ขั้วทั้งสองคือ N กับ S_s ที่ A และ S_s กับ N_s ที่ B ดังนั้นก็จะทำให้ตัวหมุนมีทิศทางวิ่งกลับคือวิ่งไปตามเข็มนาฬิกา จากเหตุผลนี้จึงทำให้ตัวหมุนไม่สามารถที่จะรับการเปลี่ยนแปลงของขั้วที่ตัวอยู่กับที่ซึ่งหมุนไปอย่างรวดเร็วได้ทัน ทั้งนี้เพราะว่าตัวมันเองมีความเฉื่อย จึงไม่อาจทำให้มันหมุนไปทางใดทางหนึ่งได้ นั่นคือทำให้มอเตอร์หยุดอยู่กับที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น รูปที่ 2.3 รูปที่ 2.3
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราลองมาพิจารณาถึงสภาพที่ได้จากรูป 2.3a ซึ่งมีขั้วที่ตัวอยู่กับที่และตัวหมุนต่างก็ขูดซึ่งกันและกัน สมมติว่าตัวหมุนไม่หยุดอยู่กับที่แต่มีความเร็วในการหมุนที่จะทำให้มันหมุนไปได้หนึ่ง pole-pitch ซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับขั้วแม่เหล็กที่ตัวอยู่กับที่ เปลี่ยนขั้วจาก S_1 ไปเป็น N_1 และจาก N_2 ไปเป็น S_2 ดังรูป 2.3b ณ จุดนี้เราจะเห็นได้เช่นเดียวกับอีกว่าขั้วแม่เหล็กทั้ง 2 คู่ ขั้วต่างก็ขูดซึ่งกันและกันอีก ซึ่งก็หมายความว่าขั้วที่ตัวหมุนเปลี่ยนตำแหน่งไปตามการเปลี่ยนตำแหน่งของขั้วที่อยู่กับที่ ดังนั้นจึงทำให้มันหมุนไปในทิศทางเดียวกันตลอดไปอย่างต่อเนื่อง นั่นคือหมุนไปตามเข็มนาฬิกา ดังรูป 2.3 สำหรับความเร็วของมอเตอร์ก็หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ และจำนวนขั้วแม่เหล็กที่มีอยู่ดังสมการ 1

ภายหลังจากที่มอเตอร์วิ่งด้วยความเร็วคงที่โดยที่ถูกรับแรงอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ตัวอยู่กับที่อันเนื่องมาจากความถี่ของไฟที่จ่ายเข้าไปแล้วมันก็จะวิ่งด้วยความเร็วคงที่ตลอดไป การจับตัวแน่นระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวอยู่กับที่กับตัวหมุนนั้นต้องนำมาพิจารณากันอีกทีว่า มีอะไรเกิดขึ้นบ้างในกรณีที่ยังไม่ต้องหมุน load นั้น $E_g = V_c$ ดังรูป 2.4a (ในกรณีที่ไม่มี losses) นั่นคือ ไม่มีกระแสไหล เมื่อเป็นเช่นนี้ก็ไม่ต้องการกำลังไฟจากข้างนอกเข้าไปใช้งาน ในขณะที่มอเตอร์ได้รับ load เพิ่มขึ้นนั้นก็ไม่ได้ทำให้ความเร็วของมันลดหรือเปลี่ยนไป แต่ว่าตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กที่ตัวหมุนกับตัวอยู่กับที่จะไม่อยู่ในแกนเดียวกันแล้วนั่นคือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าสวนกลับ E_g ที่เกิดขึ้นก็จะไม่ out of phase กับ V_c ไป 180° แล้ว แต่ว่าจะถอยหลังกลับไปเป็นมุม dc (ทั้งนี้เพราะ E_g เกิดขึ้นช้ากว่าเดิมไปอีกเป็นมุมเรเดียน) ดังนั้นก็ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟล้น V_c ขึ้นซึ่งแรงเคลื่อนนี้จะทำให้เกิด I ขึ้น เมื่อเป็นเช่นนั้นก็ทำให้มอเตอร์ต้องการกำลังไฟมากขึ้นอีกเพื่อชดเชยการดิ่ม load ของมอเตอร์ที่ได้รับ ในทำนองกลับกันเมื่อลด load ของมอเตอร์ หรือเอา load ออกไปก็ไม่ทำให้ความเร็วของมันเพิ่มขึ้น สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือตำแหน่งขั้วของตัวหมุนวิ่งกลับมาอยู่ในสภาวะที่ลัดกำลังไฟที่จ่ายเข้าไปให้กับมอเตอร์นั่นเอง



รูปเวกเตอร์ที่ใช้แสดงอาการหรือการกระทำ (action) ของมอเตอร์ที่วิ่งไปพร้อมกับสนามแม่เหล็กหมุน (Synchronous motor) ที่โหลดต่าง ๆ

รูปที่ 2.4

รูปเวกเตอร์ของรูป 2.4 สมมติให้การ synchronize ความเร็วของมอเตอร์โดยใช้มอเตอร์อีกตัวหนึ่งแยกต่างหาก ดังนั้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่ทำการ synchronize เข้าไปแล้วในสภาวะที่ไม่มี load ก็ไม่ทำให้เกิดมีกระแสไหลเข้าไป ทั้งนี้เพราะแรงเคลื่อนไฟ E_b ที่เกิดขึ้นภายในขดลวดของอาร์มาเจอร์ซึ่งเป็นแรงเคลื่อนสวน (back emf.) นั้นมีขนาดเท่าและทิศทางตรงกันข้ามกับ V_t ตามรูป 2.4 แต่เมื่อมี load เพิ่มขึ้นเล็กน้อย มอเตอร์ที่ตัดออกไปแล้วก็ทำให้ตัวหมุนถอยหลังกลับไปเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งของสนามแม่เหล็กที่ stator ฉะนั้นจึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนล้น V_R ซึ่งทำให้เกิดกระแสไหลเพิ่มเข้าไปที่ตัวอยู่กับที่หรือที่อาร์มาเจอร์นั้นคือทำให้มอเตอร์ต้องการกำลังไฟเพิ่มขึ้นอีก มุม α นี้เรียกว่า "มุมของแรงบิด (torque angle)" มอเตอร์ที่ออกแบบให้มีมุม α ใหญ่เรียกว่า "คูควบอ่อนเมื่อได้รับ ทันทันทันใด แต่การที่แบบคูควบอ่อนมีมุมของการเลื่อน (มุม α) ใหญ่นั้นก็อาจทำให้เกิดการไม่มีเสถียรภาพ (unstable) เกิดขึ้นได้ในบางครั้งของการใช้งาน

มุมระหว่าง V_t กับ I นั้นเป็นมุมใหญ่มาก (เกือบ = 90°) ทั้งนี้เพราะค่า reactance มากกว่าค่าความต้านทานของขดลวดมาก โดยที่ I lag V_t เกือบ 90° แต่มุมนี้ไม่ใช่มุมที่ทำให้เกิดการกินกำลังไฟเข้าไป มุมที่ทำให้เกิดการกินกำลังไฟคือมุมที่ I ทำกับ V_t คือ $V_t I \cos \theta$ นั่นเอง ดังนั้นจึงไม่ได้หมายความว่ามุมของ p.f. จำเป็นต้องมีค่าต่ำตามที่อ่านได้จากเครื่องวัด ทั้งนี้เพราะแรงเคลื่อนไฟที่ขั้วคือ V_t ไม่ใช่ V_R

การที่มอเตอร์ได้รับ load มากเกินจุดหนึ่งจะเป็นสาเหตุให้มอเตอร์หยุดหมุนไปเลย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มค่าของ V_r ตามรูป 2.4c ทำให้มอเตอร์กินกระแสไฟมากขึ้น และมุม θ ซึ่งเป็นมุมที่กระแส I_a รางเคลื่อนไฟฟ้าใส่เข้าไปก็เพิ่มขึ้นด้วยเมื่อ load เพิ่ม และเมื่อจุดๆหนึ่งซึ่งเป็นจุดที่กำลังไฟที่มอเตอร์ต้องการใช้มากที่สุดก็จะทำให้มอเตอร์ช้าและหยุดไปในที่สุด เมื่อ load ได้เพิ่มมากเกินไปจนกว่าจุดนี้ไปคือ $V_{r, \text{load } \theta}$ จุดที่เกินแรงบิดที่มอเตอร์จะสามารถหมุนได้นี้เรียกว่า "จุดที่ถูกดึงหลุดไป (pull-out point)" โดยปกติแล้วมอเตอร์สามารถทนต่อ load มากเกินไป (over load) ได้บ้าง แต่ว่าการที่มอเตอร์ได้รับ load ทันทันทันใดและเกินจุดที่ถูกดึงหลุดออกไปนี้จึงทำให้มันหยุดไป กรณีเช่นนี้มักจะไม่เกิดขึ้นทั้งนี้เพราะตัวหมุนมีแรงเฉื่อยซึ่งต่อกับ load ด้วย ฉะนั้นเมื่อเพิ่ม load เข้าและออกทันทีทันใดจึงมีการต้านทานจากแรงเฉื่อยนี้ให้ช้าลงไปจากการปรับค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าใส่เข้าไปที่อาร์มาเจอร์และการปรับความเข้มสนามแม่เหล็กจึงทำให้จุดหลุดของแรงบิด (pull-out torque) เปลี่ยนไปด้วย ในทำนองเดียวกันการที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าใส่ให้กับมอเตอร์เกิดมีค่าต่ำกว่าปกติก็ย่อมทำให้มอเตอร์หลุดจากการ synchronize และหยุดไปในที่สุด แม้ว่าในขณะที่นั้นมอเตอร์จะได้รับ load ตามปกติก็ตาม

วิธีการทำให้ synchronize motor เริ่มหมุน (Method of Starting)

การทำให้มอเตอร์แบบนี้เริ่มหมุนค่อนข้างมีวิธีการซับซ้อนแตกต่างไปจากมอเตอร์แบบอื่นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากว่ามันไม่มีกำลังในตัวเองในการทำให้ตัวมันเองเริ่มหมุนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการที่จะทำให้มันเริ่มหมุน วิธีการที่จะทำให้มันเริ่มหมุนนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

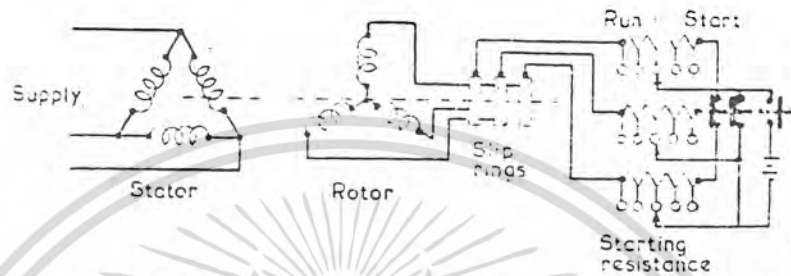
1. ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เริ่มหมุน (induction start)
2. ใช้ตัวต้นกำลังจากภายนอกมาหมุนตัวมัน

1. ในการใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เริ่มหมุน (induction start) นี้ ก็ใช้หลักการเดียวกับการให้ induction motor เริ่มหมุนเช่นกันซึ่งแบ่งออกได้เป็นดังนี้

ก. ใช้ความต้านทานต่ออนุกรมเข้ากับตัวหมุนดังรูป 2.5 แล้วใส่ไฟตามพิกัดเข้าไปที่ตัวอยู่กับที่หรือที่อาร์มาเจอร์ จากรูป 2.5 จะเห็นได้ว่าขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนนั้น ค่าความต้านทานในวงจรของตัวหมุนมีค่าสูงสุดและที่อยู่ตำแหน่ง start ต่อจากนั้นก็ค่อยๆ เลื่อนหัวลูกศร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

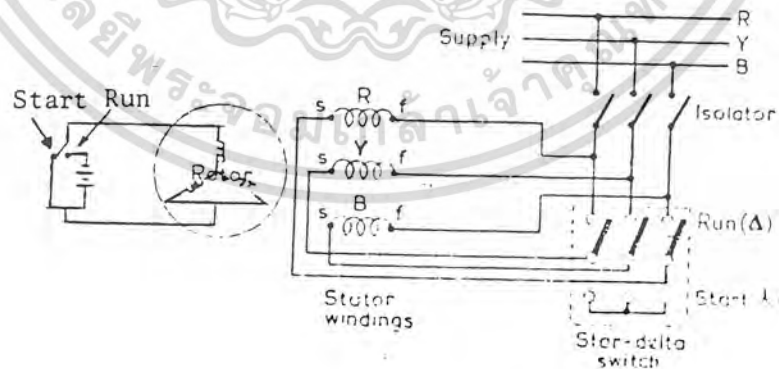
ไปทางซ้าย (จากขวาไปซ้าย) จนกระทั่งอยู่ในตำแหน่ง RUN ก็ใช้ได้ หลังจากนั้นก็ตัดความ
 ด้านทวนที่ต่อกับตัวหมุนออกไปแล้วก็ใส่ไฟตรง เข้าไปตามพิกัดที่กำหนดไว้ของตัวหมุนก็เป็นอันใช้
 ได้



การทำให้มอเตอร์ที่มีตัวหมุนเป็นแบบพันขดลวด (wound) เริ่มหมุน

รูปที่ 2.5

ข. ใช้การต่อแบบ star-delta ที่ stator winding หรืออาร์มาเจอร์ดัง
 รูป 6 ส่วนที่ rotor นั้นทำการลัดวงจรเสีย หลังจากทีสลัสวิชช์ให้มอเตอร์เริ่มหมุนไปที่
 star แล้วเปลี่ยนไปที่ delta จนมอเตอร์หมุนเข้าใกล้ synchronous speed แล้วก็ให้
 เปิดวงจรทาง rotor ที่ลัดวงจรนั้นออกเสีย ต่อจากนั้นก็สับไฟตรงตามพิกัดใส่ เข้าไปที่ตัว
 หมุนก็เป็นอันใช้ได้

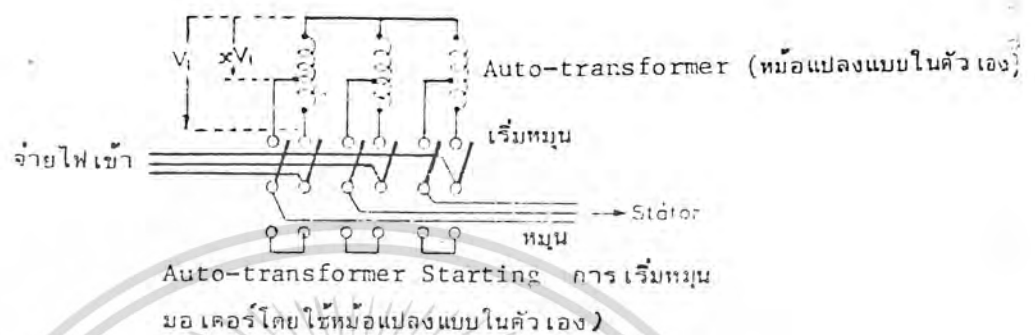


รูปที่ 2.6

ค. ใช้ Auto transforme ก็มีวิธีการดำเนินการเช่นเดียวกับแบบ star-delta
 start เหมือนกัน เพียงแต่ว่าลดไฟที่ใส่เข้าไปที่อาร์มาเจอร์หรือที่ตัวอยู่กับที่โดยใช้ Auto

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

transformer แทนเท่านั้นดังรูป 7



รูปที่ 2.7

2. ใช้ตัวต้นกำลังจากภายนอก วิธีนี้อาจใช้มอเตอร์กระแสไฟตรง induction motor หรือเครื่องชนิดที่ต่อกันโดยตรงกับเฟลาของ synchronous มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนก็ได้ วิธีนี้ทำได้โดยที่เราใส่ไฟตรงเข้าไปที่ขั้วแม่เหล็กที่อยู่บนตัวหมุนจนกระทั่งได้แรงเคลื่อนไฟออกมาเท่ากับพิกัด (rated) ตามที่กำหนดไว้บนแผ่นป้ายชื่อ (name plate) ของเครื่องนั้นๆ จากนั้นก็ต้องตรวจสอบลำดับของเฟสให้ถูกต้องเสียก่อนโดยใช้ synchronizing lamp แล้วจึงค่อยสลับไฟจากวงจรภายนอกเข้าไปก็จะกลายเป็น synchronous มอเตอร์ทันที จากนั้นก็ตัดตัวต้นกำลังออกไป

คุณลักษณะที่นำมาใช้งาน (Operating Characteristics)

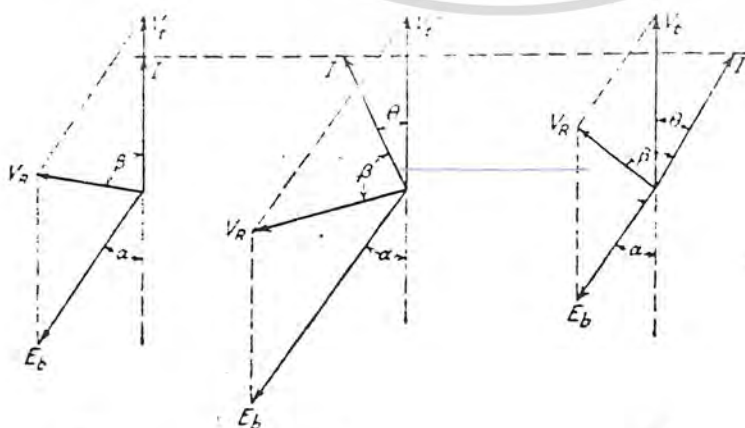
เนื่องจากว่า synchronous มอเตอร์มีคุณสมบัติที่ดีเด่นอยู่ 2 ประการคือ

1. มีการควบคุมความเร็วที่สมบูรณ์ที่สุด (perfect speed regulation) นั่นคือความเร็วคงที่ตลอดเวลาโดยไม่ขึ้นอยู่กับ load นอกเสียว่า over load เท่านั้นก็จะทำให้มันหยุดไป การควบคุมความเร็วทำได้โดยการเปลี่ยนความถี่ของไฟที่จ่ายให้กับเครื่อง

2. มีช่วงกว้างในการควบคุมให้ p.f. เป็นได้ทั้ง load และ lag กว้างมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ควบคุมว่าจะทำได้เท่าไร จากคุณลักษณะอันนี้จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการแก้ p.f. ของระบบสายส่งหรือระบบจำหน่ายตามจุดต่างๆ ที่ต้องการซึ่งช่วยทำให้ลดการสูญเสียในระบบสายส่งต่างๆ ได้มาก การปรับ p.f. ได้มากเช่นนี้ไม่มีผลต่อตัวมันเองมากนัก ผลที่เกิดขึ้นคือการแก้ p.f. ของระบบสายส่งดังกล่าวแล้ว

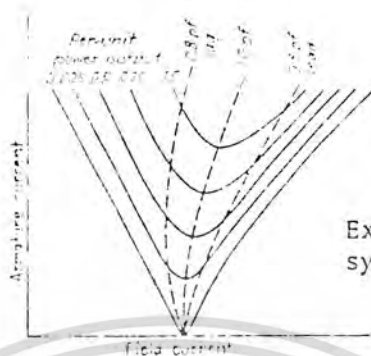
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติของข้อที่ ๒ ซึ่งมอเตอร์ทำงานขณะที่มีภาระรวมมีตัวอะไรสักอย่างที่มผลต่อการควบคุม p.f. ดังรูปเหล่านี้ เราทราบอยู่แล้วว่า synchronous มอเตอร์มีความเร็วคงที่ไม่ว่า load ที่ค่าใดก็ตาม และทราบว่า E_b เป็นสัดส่วนโดยตรงกับสนามแม่เหล็ก ฉะนั้นเมื่อกำหนดให้มอเตอร์มี load ที่ค่าคงที่ค่าหนึ่งก็จะทำให้ E_b out of phase กับ V_t ออกไปเป็นมุมน้อยกว่า 180 นั่นคือ $(180-\alpha)$ ดังรูปที่ ๘(a) ซึ่งแสดงให้เห็นในกรณี unity p.f. นั่นคือ V_t กับ I ทั้กัน (inphase) นี้เกิดจากแรงเคลื่อนลัพท์ V_t และ $\text{Lag } V_t$ ไปเป็นมุม $\theta = \tan^{-1}(X_s/R_s) \approx 90^\circ$ ($\because R_s \ll X_s$) ส่วน V_t นั้นเกิดจากการรวมตามเวกเตอร์ระหว่าง V_t กับ E_b จะเห็นได้ว่า $E_b = V_t$ ตามรูป ๘(a) สำหรับ V_t นั้นโดยปกติก็คงที่อยู่แล้ว ดังนั้นถ้าจะเปลี่ยนแปลงให้มากหรือน้อยได้ก็มี E_b อยู่ตัวเดียวเท่านั้น นั่นคือตัวที่จะบังคับ E_b ก็คือ ϕ ซึ่ง ϕ นี้ก็ขึ้นอยู่กับ I ซึ่งเป็นกระแสของสนามกระตุ้นนั่นเอง ดังนั้นเมื่อเพิ่ม I ขึ้นก็ทำให้ E_b เพิ่มขึ้น เมื่อ E_b เพิ่มขึ้นก็ทำให้ V_t เพิ่มขึ้นและทำให้มุมระหว่าง V_t กับ V_t เพิ่มขึ้นไปอีก นั่นคือทำให้ I เพิ่มขึ้นและวิ่งไปก่อน V_t (lead V_t) ไปเป็นมุม θ ดังรูป ๘(b) ในทำนองกลับกันเมื่อลด E_b ก็จะทำให้ I วิ่งมาทีหลัง V_t (I lag V_t) ไปเป็นมุม θ แต่กระแสก็ยังคงเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อ unity p.f. ดังรูป ๘(c) จากทั้ง ๓ รูปจึงกำหนดได้ว่าค่ากระแส I ของมอเตอร์จะน้อยที่สุดเมื่อเป็น unity p.f. และทางเดิน (locus) ของกระแสก็เป็นเส้นตรงด้วยตามเส้นประที่เห็นอยู่ในรูป ๘ จากรูป ๘ ก็สังเกตเห็นได้ว่า α, θ และ V_t เป็นตัวคงที่อยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพราะ α เกิดจาก load คงที่ค่าหนึ่ง θ เกิดจากค่าคงที่ของ X_s กับ R_s และ V_t คงที่ เนื่องจากไฟที่จ่ายเข้าไปคงที่



ผลของการปรับการกระตุ้นจึงทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเป็นโพลของมอเตอร์คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาก็และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Excitation characteristics of a synchronous motor.

รูปที่ 2.9

เส้นกราฟตัววี (V-Curves)

เส้นกราฟรูปตัววีนี้เป็นกราฟที่แสดงคุณลักษณะถึงความสัมพันธ์ระหว่าง I_f กับกระแสของอาร์มาเจอร์ ณ ค่า load ต่างๆกันของ synchronous มอเตอร์ เส้นกราฟรูปตัววีนี้อาจเรียกว่า "คุณลักษณะของเฟส (phase characteristics)" หรือ "คุณลักษณะในการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก (excitation characteristics)" จากรูป 9 จะเห็นได้ว่ากระแสในอาร์มาเจอร์จะมีค่าต่ำสุดเมื่อเป็น unity p.f. และค่าของกระแสของสนามกระตุ้นจะเปลี่ยนแปลงไปเพิ่มขึ้นเมื่อ unity p.f. ตั้งเส้นประซึ่งเป็นทาง (locus) ของ unity p.f.

บทที่ 3

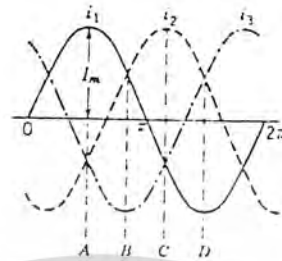
การประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด wound rotor

โครงการนี้เป็นการทำงานนำมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด wound type มาประยุกต์ใช้ โดยการใช้หลักการเบื้องต้นของทั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำและซิงโครนัสมอเตอร์มาประยุกต์เข้าด้วยกัน ในการใช้งานปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทางด้านขดลวดทางโรเตอร์เราจะช็อตเข้าด้วยกัน แต่สำหรับซิงโครนัสมอเตอร์จะป้อนไฟตรงเข้าทางโรเตอร์ ทางสเตเตอร์จะป้อนไฟสลับเหมือนกัน ซึ่งจากหลักการเดิมที่เราทราบในทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำแล้วคือ สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์จะเหนี่ยวนำให้มีความเร็วขึ้นในโรเตอร์ กระแสอันเกิดจากแรงดันเหนี่ยวนำนี้ ซึ่งไหลอยู่ในวงจรรโรเตอร์จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นอีกใหม่ สนามแม่เหล็กทั้งสองแห่งนี้ จะทำปฏิกิริยาต่อกันทำให้โรเตอร์หมุนได้

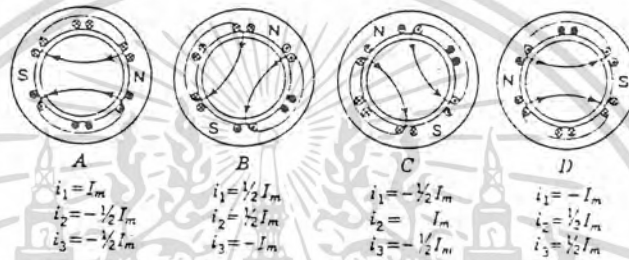
ซึ่งจากกฎของเลนซ์ที่กล่าวว่า " กระแสเหนี่ยวนำใดๆ ที่เกิดขึ้นจะพยายามสร้างสนามแม่เหล็กใหม่ของตนต้านสนามแม่เหล็กเดิมที่เหนี่ยวนำแต่แรก " ดังนั้นในกรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้การที่สนามสเตเตอร์เปลี่ยนตำแหน่งและหมุนอยู่ ซึ่งทำให้เกิดแรงกระทำกับโรเตอร์ให้มีความเร็วปฏิกิริยาระหว่างโรเตอร์กับสนามสเตเตอร์ที่พยายามจะต้านทิศทางการหมุนของสนามสเตเตอร์นั้น ผลคือ โรเตอร์จะหมุนไปในทิศทางเดียวกับสนามหมุนสเตเตอร์ ที่จุดนี้ถ้าเรานำมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด wound type มาและทำการป้อนกระแสไฟสลับเข้าทางโรเตอร์ ในทิศทางที่จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กของทางโรเตอร์ไปเสริมกับ สนามแม่เหล็กทางด้านสเตเตอร์ก็จะทำให้สนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น เหมือนกับลักษณะของ Double excite ที่มีในแบบของซิงโครนัสมอเตอร์ แต่ในแบบซิงโครนัสมอเตอร์ ขั้วแม่เหล็กจะถูกป้อนด้วยไฟตรง ขั้วแม่เหล็กในโรเตอร์จะคงที่ตลอดการหมุนและเกาะติดไปกับสนามแม่เหล็กบนสเตเตอร์ ดังรูปที่

3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)



(c)

รูปที่ 3.1

เช่นเดียวกันในมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่เราป้อนไฟสลับเข้าทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์ ก็มีลักษณะชั่วแว่เหล็กที่เกาะติดกันไป โดยมี torque ที่เกิดจากครที่เรป้อนไฟเข้าทางโรเตอร์มาเสริมทำให้แรงหมุนมีมากขึ้นเป็น 2 เท่า แต่มอเตอร์ที่ได้ทดลองทำอยู่นี้ไม่สามารถหมุนด้วยตัวเองจนถึงความเร็ว 2 เท่าของความเร็ว synchronous ดังนั้นจึงได้ใช้ต้นกำลังจากภายนอกเป็นตัวหมุนจนได้ความเร็วที่ต้องการคือ 2 เท่าของ rated speed เดิม แล้วจึงป้อนไฟเข้าที่สเตเตอร์และโรเตอร์ตามลำดับจน synchronize เข้าด้วยกัน แล้วจึงทำการตัดต้นกำลังจากภายนอกออก ซึ่งตัวต้นกำลังที่ใช้ในการทดลองนี้เป็น Dc motor ชนิด separate excited

ซึ่งเมื่อได้ความเร็วที่เป็นสองเท่าของความเร็วเดิมแล้ว จึงได้ทำการทดลองต่อโหลดเข้าไป โดย Dc motor ซึ่ง coupling อยู่ในระบบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวใหม่ ซึ่งขณะนี้ได้กลายเป็น Dc generator ไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

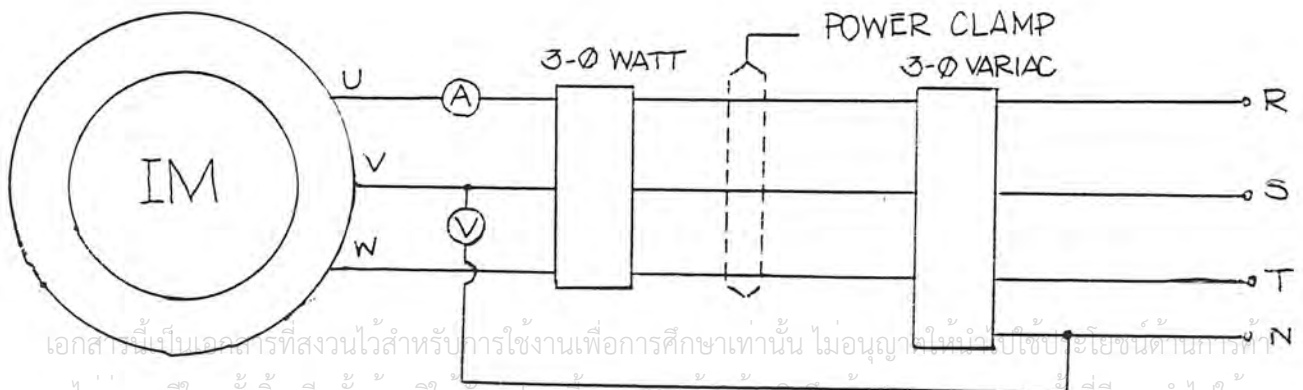
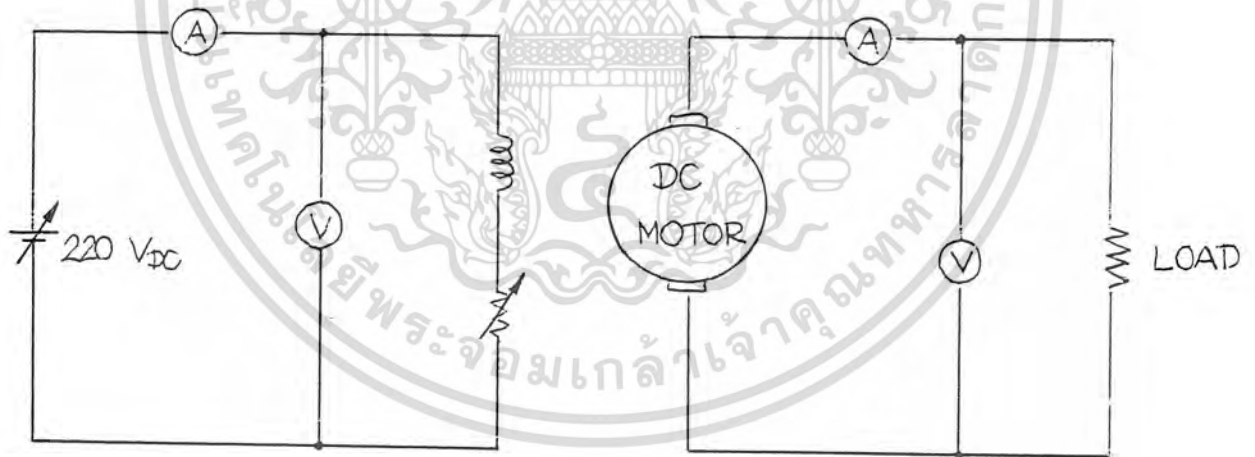
บทที่ 4

การทดลอง

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของ induction motor ปกติที่ความเร็ว 1500 รอบและ มอเตอร์ตัวใหม่ที่มีความเร็ว 3000 รอบ ซึ่งมีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

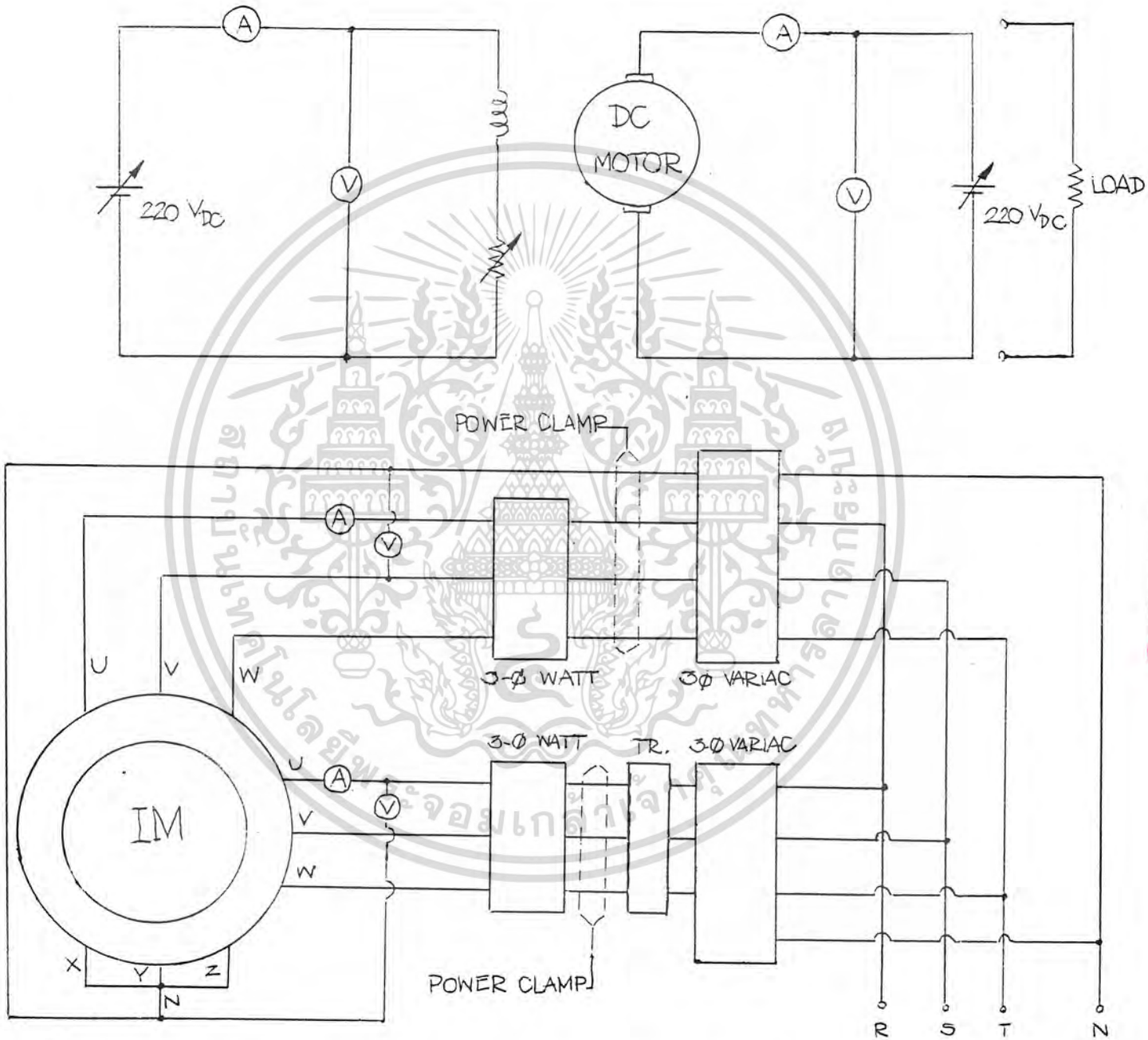
1. หาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของ induction motor โดย short-circuit test และ open-circuit test
2. ทำการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ตามต้องการ

วงจรการทดลองของ induction motor ที่ความเร็ว 1500 รอบ ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงวิธีการทดลอง จะแสดงเพียงวงจรที่ใช้เท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรการทดลองของมอเตอร์ใหม่ที่มีความเร็ว 3000 รอบ



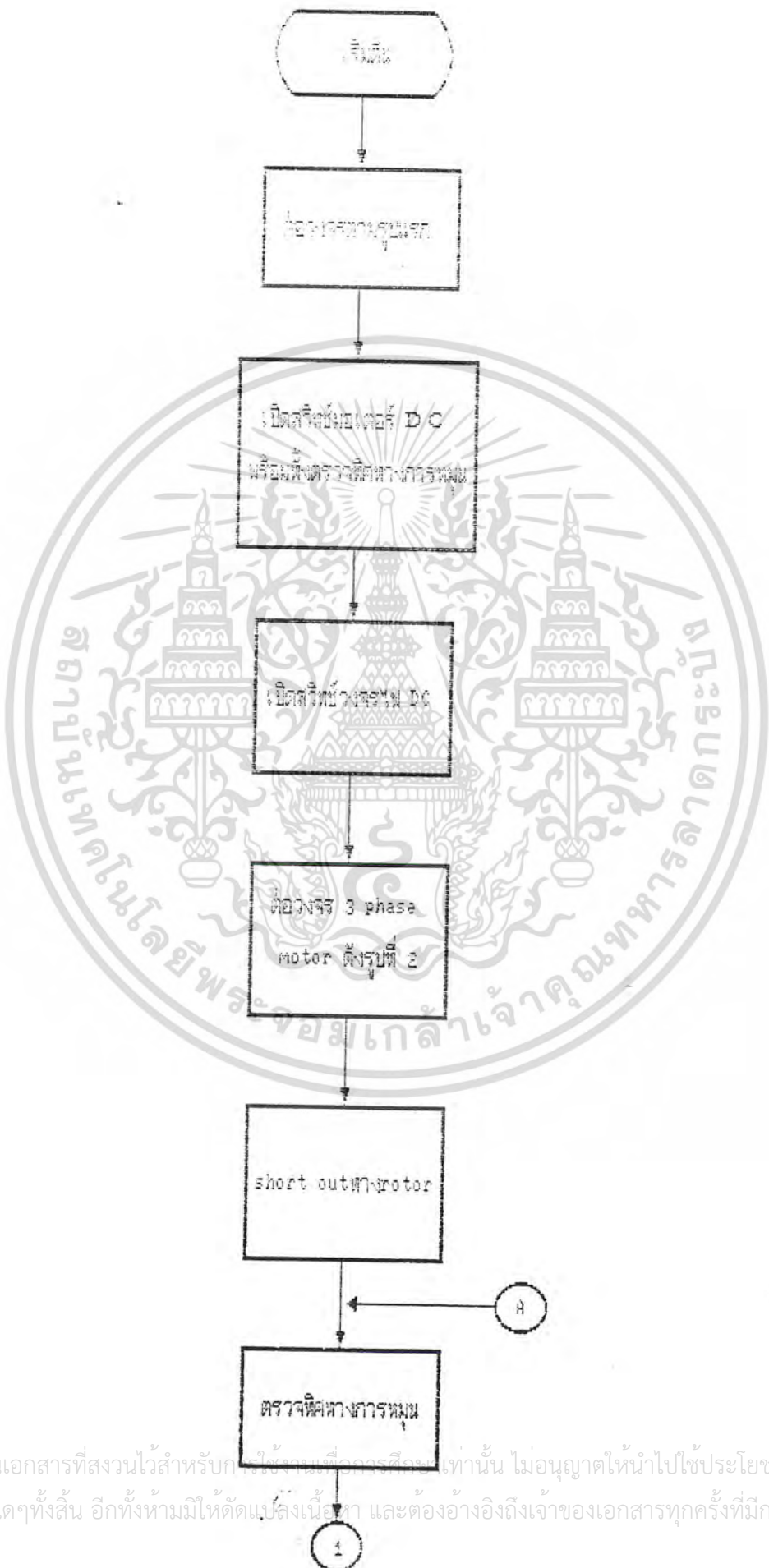
ในการทดลอง run มอเตอร์ที่มีความเร็ว 3000 รอบ จะมีลำดับของการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

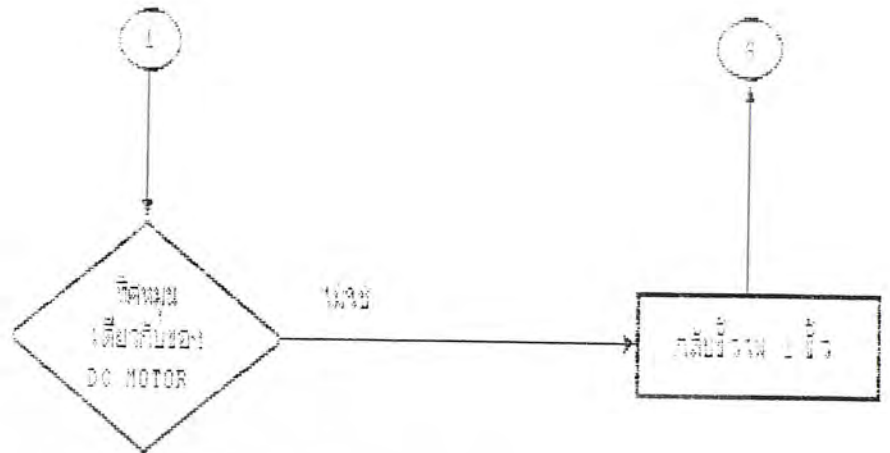
อุปกรณ์ที่ใช้ทำลวดทดลอง

1. 3- ϕ VARIAC	2 ตัว
2. 1- ϕ VARIAC	2 ตัว
3. WATTMETER 1- ϕ	1 ตัว
WATTMETER 3- ϕ	3 ตัว
4. DC AMMETER 30 A	1 ตัว
DC AMMETER 1 A	1 ตัว
5. DC VOLTMETER 300 V	2 ตัว
6. AC AMMETER 30 A	1 ตัว
AC AMMETER 10 A	1 ตัว
7. AC VOLTMETER 300 V	2 ตัว
8. DIODE BRIDGE RECTIFIER	2 ตัว
9. REOSTAT 990 OHMS	2 ตัว
10. CLAMP AMMETER	
11. POWER CLAMP	
12. TRANSFORMER	
13. TECO METER	
14. OSCILLOSCOPE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เปิดสวิตช์ไฟ AC ของ STATOR

จดค่าไฟไว้

short circuit ทางด้าน STATOR

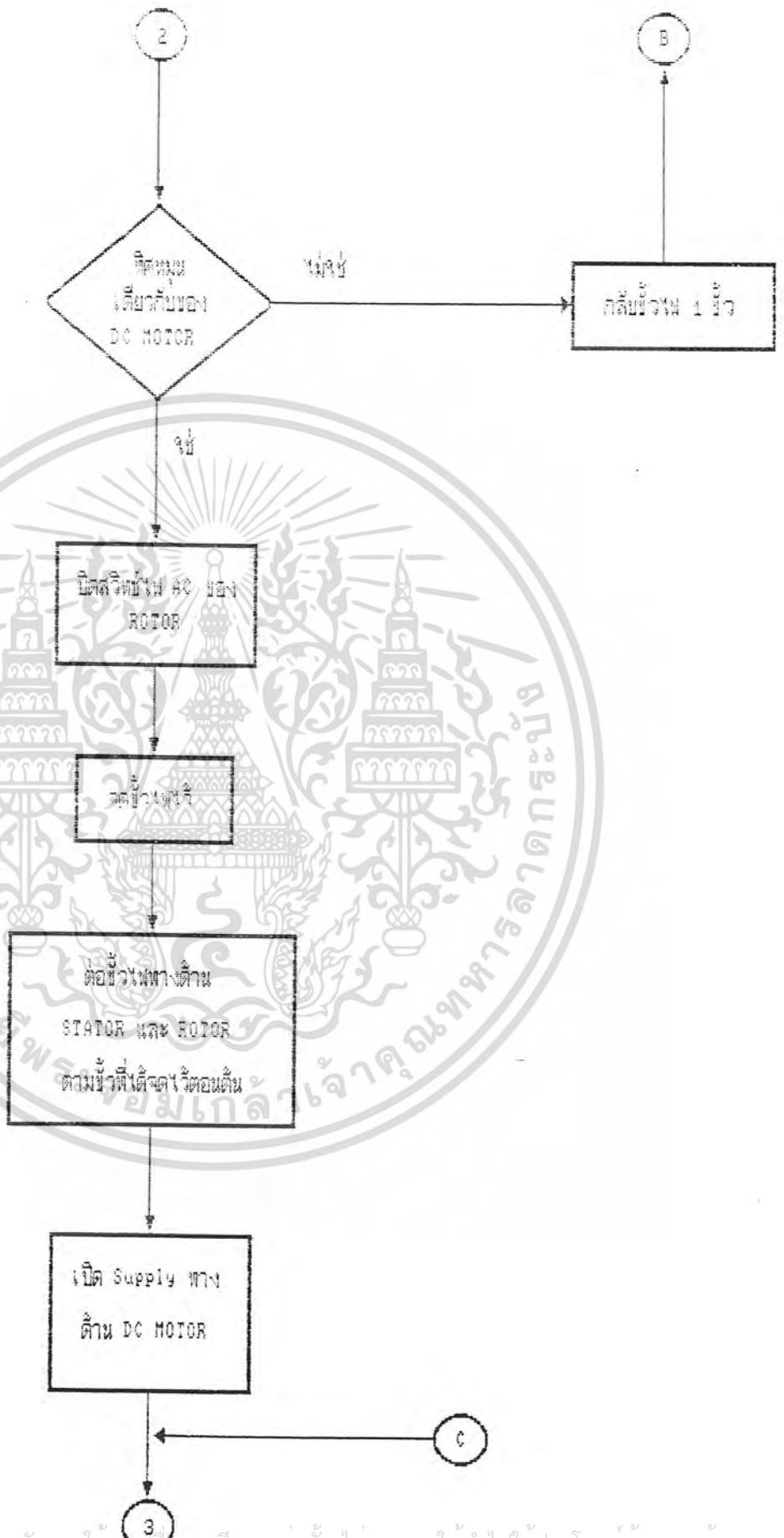
ป้อนไฟ AC เข้า ทาง ROTOR

ตรวจทิศทาง การหมุน

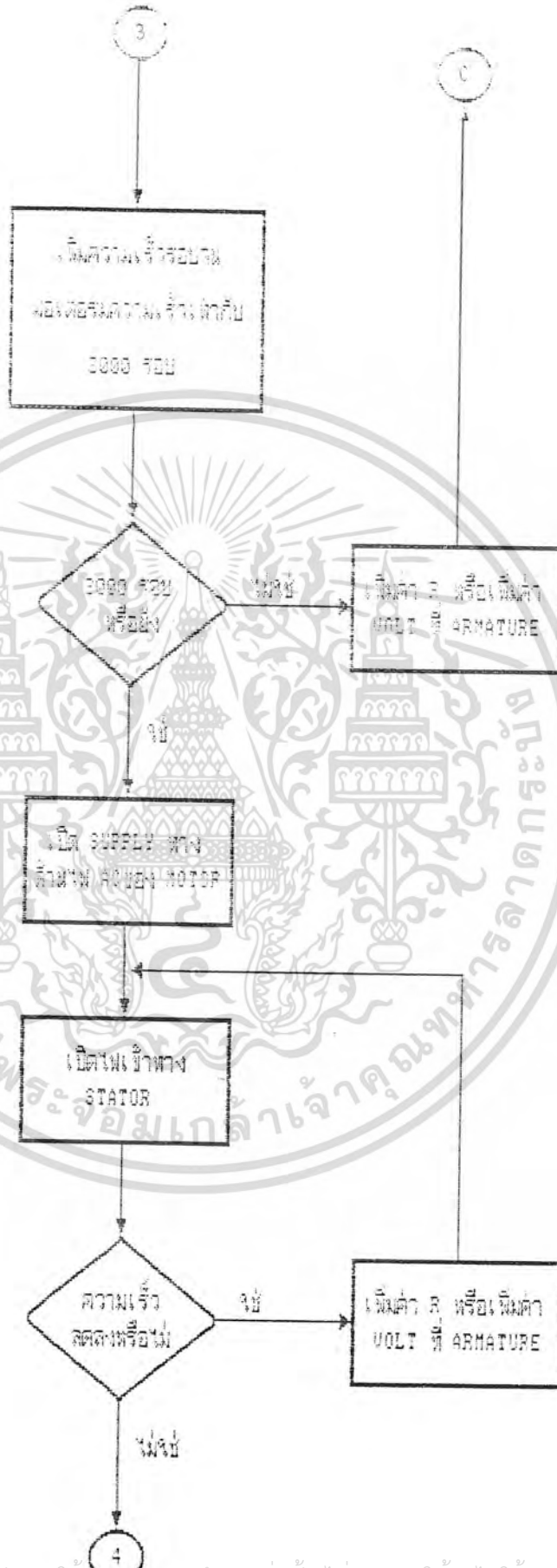
2

B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4
VOLT ทาง STATOR
ประมาณ 40-60 VOLT

เปิดเฟ้าทาง
ROTOR

สังเกต รั่วมีเตอร์ทั้ง
ทาง STATOR และ
ROTOR

เพิ่มแรง
หรือไม่

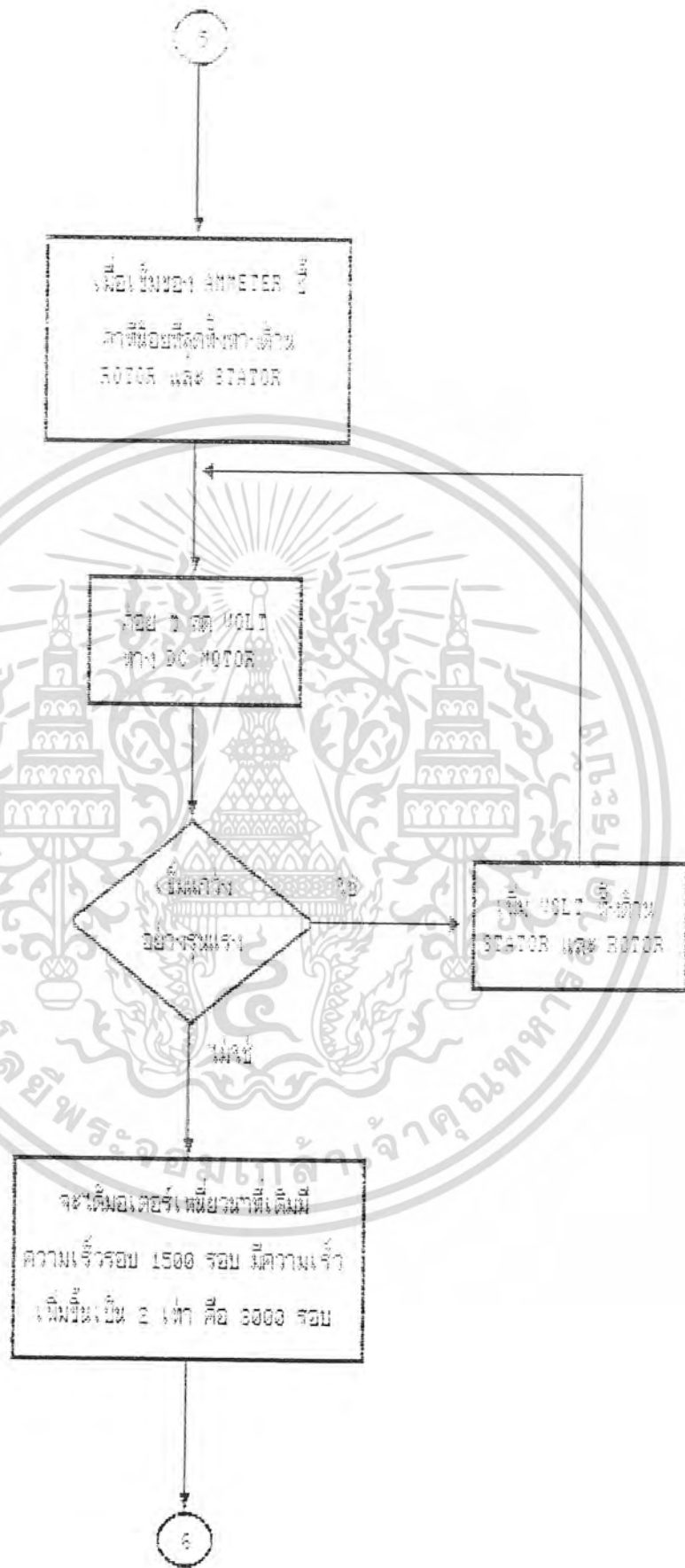
เพิ่ม volt ต้านตรง
ข้ามกับที่ ขั้วแก้ว

สังเกตค่าของกระแส

กระแสของ
ตัวทดสอบเกินขีด

เพิ่ม volt ต้านตรง
ข้ามกับที่ ขั้วแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6

ภาพการทดลองต่อ
ชนิดต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

1. ทำการ Test คุณสมบัติของ Induction Machine โดยการ Open-circuit Test และ Short-circuit Test ได้ผลดังนี้

จากการ Open-circuit Test วัดค่า แรงดัน ค่ากระแส และค่าของมูม ϕ ได้ค่า แรงดันขณะ Open-circuit เท่ากับ 220 V
กระแสขณะ Open-circuit เท่ากับ 5.5 A
มูม ϕ ขณะ Open-circuit เท่ากับ 83.61 องศา

จากการ Short-circuit Test วัดค่า แรงดัน ค่ากระแส และค่าของมูม ϕ ได้ค่า แรงดันขณะ Short-circuit เท่ากับ 50 V
กระแสขณะ Short-circuit เท่ากับ 7.9 A
มูม ϕ ขณะ Short-circuit เท่ากับ 63 องศา

จากการทำ VI Method เพื่อหาค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ได้ผลตามตาราง

	U_1, X_1	V_1, Y_1	W_1, Z_1
I (A)	9.4	3.0	10.25
V (V)	22.2	19.45	20.3
R_1 (ohm)	2.3617	2.4363	2.5658

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	$U_1 X_1$	$V_1 Y_1$	$W_1 Z_1$
I (A)	5.9	11.25	6.25
V (V)	15.8	29.65	17.3
R_1 (ohm)	2.6779	2.5422	2.768

จากค่าของ R_1 ทั้ง 2 ตารางจะได้ค่าเฉลี่ยของ R_1 เท่ากับ 2.5579 ohms

	$U_2 V_2$	$U_2 W_2$	$V_2 W_2$
I (A)	5.0	5.2	4.75
V (V)	5.74	6.8	6.4
$2R_2$ (ohm)	1.14	1.3076	1.3473

	$U_2 V_2$	$U_2 W_2$	$V_2 W_2$
I (A)	9.75	9.75	9.75
V (V)	9.8	10.2	10.7
$2R_2$ (ohm)	1.005	1.0461	1.2029

จากค่าของ R_2 ทั้ง 2 ตาราง ได้ค่าเฉลี่ยของ R_2 เท่ากับ 0.5786 ohms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการ Open circuit วัดค่าของแรงดันทางด้านโรเตอร์ โดยใส่ไฟเข้าด้านสเตเตอร์ ได้ผลตามตาราง

V_{sup}	20	60	100	120	140	160	180	200	220
V_r	8	24	39	43	55	64	73	83	92

จากการทำ Open-circuit Test นำมาคำนวณค่าต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับ Circle Diagram ได้ดังนี้

$$\theta_o = 83.61$$

$$V_o = 220 \text{ V}$$

$$I_o = 5.5 \text{ A} = 5.5/\sqrt{3} = 3.1754 \text{ A/PHASE}$$

$$W_o = 220 * 5.5 * 0.112 * \sqrt{3}$$

$$= 233.051 \text{ W}$$

จากการทำ Short-circuit Test นำมาคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$\theta_{sc} = 63$$

$$V_{sc} = 50 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 7.9 \text{ A} = 7.9/\sqrt{3} = 4.561 \text{ A/PHASE}$$

$$W_{sc} = 50 * 7.9 * 0.455 * \sqrt{3}$$

$$= 310.608 \text{ W}$$

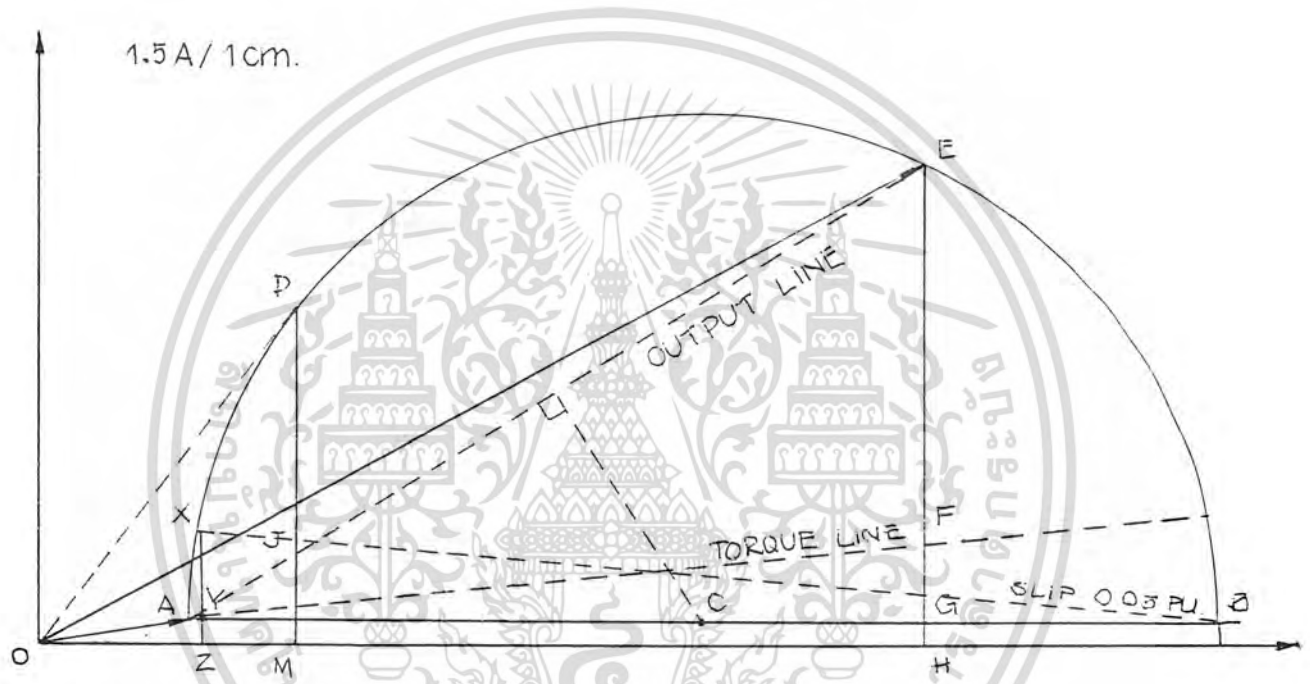
และจาก VI METHOD ค่าของ $R_1 = 2.5578 \text{ ohms}$

$$R_2 = 0.5786 \text{ ohms}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะได้ค่าของกระแสทางด้าน secondary เท่ากับ $I_{s2} = 1000 * 7.9 / 50\sqrt{3}$
 ได้ $I_{s2} = 20.0686$ A

และนำมาเขียนเป็น circle diagram ได้ดังรูป



จาก circle diagram

เราจะได้ ประสิทธิภาพเท่ากับ $((PJ)/(PM)) * 100\%$
 $= (3.33/44) * 100\%$
 $= 75.68\%$

และที่ค่าสลิปเท่ากับ 0.05 pu.
 $= ((XY)/(XZ)) * 100\%$
 $= (1.05/1.45) * 100\%$
 $= 72.41\%$

2. ทำการเก็บข้อมูลเมื่อใส่ภาระให้กับ machine ทั้งที่ 1500 และ 3000 รอบ ได้ผลแสดง
 ดังตารางในหน้าถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สัญลักษณ์ตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ มีค่าตามสมการที่กล่าวไว้

I_r	= กระแสโรเตอร์
I_s	= กระแสสเตเตอร์
V_r	= แรงดันโรเตอร์
V_s	= แรงดันสเตเตอร์
P_r	= power ที่โรเตอร์
P_s	= power ที่สเตเตอร์
$\text{COS}\theta_r$	= เชน่ากำลังที่โรเตอร์
$\text{COS}\theta_s$	= เชน่ากำลังที่สเตเตอร์
P_{in}	= input power
P_{out}	= output power
I_L	= กระแสโหลด
I_f	= กระแส field
V_a	= แรงดันโหลด
V_f	= แรงดัน field
EFF_{sys}	= ประสิทธิภาพของระบบ
EFF_m	= ประสิทธิภาพของมอเตอร์
SLIP	= ค่าไสล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการทดสอบมอเตอร์ 1500 รอบ (ตารางที่ 1)

NO.1	Ts	TR	Vr	Pin	COSφ	SPEED	TF	TI.
NO LOAD	5.60	2.30	220	875	0.24	1490	0.30	0.00
R1	5.80	5.10	220	1300	0.34	1471	0.34	1.80
R2	6.00	5.50	220	1700	0.43	1454	0.37	3.50
R3	6.40	6.90	220	2200	0.52	1439	0.40	5.30
R4	6.85	9.60	220	2700	0.60	1427	0.43	7.00
R5	7.25	13.20	220	3100	0.65	1413	0.48	8.80
R6	7.50	16.50	220	3400	0.69	1405	0.49	9.80
NO LOAD	5.50	2.60	220	900	0.25	1489	0.29	0.00
R1	5.50	3.20	220	1100	0.30	1479	0.30	0.90
R2	5.60	4.20	220	1340	0.36	1470	0.32	1.80
R3	5.70	5.30	220	1950	0.52	1461	0.32	2.56
R4	5.80	6.20	220	1780	0.46	1454	0.35	3.50
R5	6.00	8.70	220	2050	0.52	1446	0.36	4.40
R6	6.50	10.30	220	2420	0.56	1435	0.40	6.20
R7	6.70	10.60	220	2700	0.61	1424	0.42	7.05
R8	7.00	11.40	220	2880	0.62	1418	0.44	7.90
R9	7.20	12.50	220	3180	0.67	1413	0.46	8.80
R10	7.50	16.50	220	3400	0.69	1405	0.49	9.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ตารางที่ 1) (ต่อ)

Va	Vf	Pout	SI,IP	FFFSyk	FFFM
220	142	0	0.01	0.00	0.00
220	158	396	0.02	30.46	36.92
220	172	770	0.03	45.29	54.90
220	185	1166	0.04	53.00	64.24
220	200	1540	0.05	57.04	69.14
220	221	1936	0.06	62.45	75.70
220	232	2156	0.06	63.41	76.86
220	140	0	0.01	0.00	0.00
220	144	198	0.01	18.00	21.82
220	152	396	0.02	29.55	35.82
220	158	563.2	0.03	28.88	35.01
220	165	770	0.03	43.26	52.43
220	173	968	0.04	47.22	57.24
220	188	1364	0.04	56.36	68.32
220	200	1551	0.05	57.44	69.63
220	209	1738	0.05	60.35	73.15
220	220	1936	0.06	60.88	73.79
220	232	2156	0.06	63.41	76.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการทดสอบเทอร์โมสแตท 1500 Tsp (ตารางที่ 2)

NO. 2	Ts	TR	Vs	Pin	COSφ	SPRFD	Tf	Tt.
NO LOAD	4.80	5.00	220	970	0.31	1490	0.31	0.00
R1	5.10	3.50	220	1400	0.42	1471	0.34	1.80
R2	5.40	4.20	220	1620	0.45	1462	0.35	2.65
R3	5.80	6.60	220	2100	0.55	1445	0.38	4.40
R4	6.00	8.80	220	2500	0.63	1428	0.42	6.20
R5	6.60	11.30	220	2900	0.67	1414	0.45	7.90
NO LOAD	5.10	2.50	220	700	0.21	1489	0.29	0.00
R1	5.30	2.80	220	950	0.27	1481	0.30	4.90
R2	5.55	4.20	220	1500	0.41	1463	0.33	2.60
R3	5.80	5.80	220	1870	0.49	1449	0.37	4.40
R4	6.10	11.30	220	2360	0.59	1430	0.40	6.20
R5	6.60	11.30	220	2900	0.67	1414	0.45	7.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ตารางที่ 2) (ต่อ)

Va	Vf	Pont	SI,TP	FFFSyR	FFFM
220	150	0	0.01	0.00	0.00
220	162	396	0.02	28.29	34.29
220	170	583	0.03	35.99	43.62
220	183	968	0.04	46.10	55.87
220	200	1364	0.05	54.56	66.13
220	218	1738	0.06	59.93	72.64
220	140	0	0.01	0.00	0.00
220	144	1078	0.01	113.47	137.54
220	160	572	0.02	38.13	46.22
220	176	968	0.03	51.76	62.75
220	195	1364	0.05	57.80	70.06
220	218	1738	0.06	59.93	72.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ตารางที่ ๑) (ต่อ)

Va	Vf	Pour	ST.TP	FFFSys	FFFm
220	148	0	0.01	0.00	0.00
220	164	616	0.02	54.51	66.08
220	176	770	0.03	48.13	58.33
220	193	1166	0.04	55.52	67.30
220	210	1562	0.05	58.50	70.91
220	220	1760	0.06	61.97	75.12
220	138	0	0.01	0.00	0.00
220	146	198	0.01	20.63	25.00
220	163	572	0.03	44.00	53.33
220	174	968	0.04	53.78	65.19
220	198	1364	0.05	59.30	71.88
220	220	1760	0.06	61.97	75.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบขดเคเบิล 1500 รอบ (ตารางที่ 4)

NO.4	Ts	TR	Vs	Pin	COSφ	SPEED	TF	TI.
NO LOAD	4.90	1.90	220	650	0.20	1489	0.31	0.00
R1	5.05	3.90	220	900	0.27	1474	0.33	1.30
R2	5.15	5.10	220	1200	0.35	1461	0.35	2.65
R3	5.30	6.00	220	1520	0.43	1450	0.37	4.00
R4	5.60	7.30	220	1900	0.51	1438	0.39	5.30
R5	5.90	9.10	220	2280	0.59	1427	0.44	6.65
R6	6.30	12.30	220	2680	0.64	1415	0.45	8.00
R7	6.60	13.40	220	2900	0.67	1405	0.47	8.90
NO LOAD	4.55	1.70	220	650	0.22	1490	0.29	0.00
R1	4.90	3.00	220	830	0.26	1486	0.31	0.90
R2	5.10	4.60	220	1120	0.33	1468	0.32	2.20
R3	5.20	5.20	220	1450	0.42	1450	0.35	3.50
R4	5.40	8.90	220	1790	0.50	1442	0.37	4.90
R5	5.75	9.60	220	2190	0.58	1434	0.39	6.20
R6	6.15	11.90	220	2520	0.62	1418	0.42	7.50
R7	6.60	13.40	220	2900	0.67	1405	0.47	8.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ตารางที่ 4) (ต่อ)

Va	Vf	Point	SI,TP	FFFSYS	FFFM
220	141	0	0.01	0.00	0.00
220	156	286	0.02	31.78	38.52
220	165	583	0.03	48.58	58.89
220	174	880	0.03	57.89	70.18
220	185	1166	0.04	61.37	74.39
220	196	1463	0.05	64.17	77.78
220	214	1760	0.06	65.67	79.60
220	223	1958	0.06	67.52	81.84
220	138	0	0.01	0.00	0.00
220	146	198	0.01	23.86	28.92
220	155	484	0.02	43.21	52.38
220	165	770	0.03	53.10	64.37
220	176	1078	0.04	62.28	75.49
220	187	1364	0.04	62.28	75.49
220	202	1650	0.05	65.48	79.37
220	223	1958	0.06	67.52	81.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคข้อสอบเคมี 1300 TOP (ทางที่ ๒)

NO.5	Ta	TR	Vs	Pin	COSO	SPEED	Tf	Tl.
NO I.OAD	4.90	1.70	220	670	0.21	1491	0.31	0.00
R1	4.98	2.30	220	1000	0.30	1476	0.33	1.30
R2	5.05	4.00	220	1300	0.39	1460	0.35	2.60
R3	5.30	4.80	220	1600	0.46	1454	0.36	3.95
R4	5.50	8.60	220	1980	0.55	1438	0.39	5.30
R5	5.90	9.20	220	2230	0.57	1426	0.41	6.60
R6	6.35	10.60	220	2650	0.63	1413	0.45	7.95
R7	6.70	13.70	220	2920	0.66	1406	0.48	8.85
NO I.OAD	4.90	1.50	220	700	0.22	1490	0.29	0.00
R1	4.95	3.70	220	870	0.27	1475	0.30	0.90
R2	5.20	5.40	220	1230	0.36	1465	0.32	2.20
R3	5.30	6.60	220	1450	0.41	1453	0.35	3.50
R4	5.55	8.70	220	1800	0.49	1443	0.37	4.85
R5	5.85	10.00	220	2200	0.57	1429	0.40	6.20
R6	6.20	10.70	220	2550	0.62	1418	0.44	7.50
R7	6.70	13.70	220	2920	0.66	1406	0.48	8.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้
 ใ้แก่ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ตาราง ๕) (ต่อ)

Va	Vf	Point	SLIP	EFFsys	EFFm
220	144	0	0.01	0.00	0.00
220	155	286	0.02	28.60	34.67
220	165	572	0.03	44.00	53.33
220	174	869	0.03	54.31	65.83
220	186	1166	0.04	58.89	71.38
220	196	1452	0.05	65.11	78.92
220	214	1749	0.06	66.00	80.00
220	220	1947	0.06	66.68	80.82
220	138	0	0.01	0.00	0.00
220	145	198	0.02	22.76	27.59
220	154	484	0.02	39.35	47.70
220	167	770	0.03	53.10	64.37
220	177	1067	0.04	59.28	71.85
220	190	1365	0.05	62.00	75.15
220	208	1650	0.05	64.71	78.43
220	220	1947	0.06	66.68	80.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบมอเตอร์ 1500 รอบ (ทดลองที่ 6)

NO.6	Ts	TR	Vs	Pin	COSØ	SPEED	Tf	Tl.
NO LOAD	5.00	2.10	220	600	0.18	1489	0.31	0.00
R1	5.00	2.60	220	780	0.24	1478	0.33	0.90
R2	5.10	4.00	220	1020	0.30	1455	0.34	1.80
R3	5.20	4.40	220	1210	0.35	1459	0.35	2.65
R4	5.30	5.30	220	1400	0.40	1449	0.37	3.50
R5	5.52	6.00	220	1800	0.49	1434	0.39	4.90
R6	5.95	8.60	220	2300	0.59	1425	0.43	6.60
R7	6.20	11.50	220	2500	0.61	1417	0.45	7.50
R8	6.50	12.80	220	2790	0.65	1408	0.46	8.40
R9	6.80	13.00	220	3080	0.69	1400	0.49	9.30
NO LOAD	4.90	1.80	220	680	0.21	1481	0.29	0.00
R1	5.00	3.20	220	1000	0.30	1474	0.31	1.30
R2	5.10	4.20	220	1300	0.39	1454	0.32	2.65
R3	5.30	7.30	220	1570	0.45	1448	0.35	4.00
R4	5.45	8.40	220	1800	0.50	1442	0.37	4.85
R5	5.65	10.50	220	2050	0.55	1433	0.39	5.75
R6	5.90	11.60	220	2280	0.59	1427	0.41	6.60
R7	6.20	12.00	220	2580	0.63	1416	0.43	7.50
R8	6.48	12.70	220	2750	0.64	1410	0.45	8.40
R9	6.80	13.00	220	3080	0.69	1400	0.49	9.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6) (ต่อ)

Va	Vf	Pout	SI,TP	FFFSyk	FFFM
220	141	0	0.01	0.00	0.00
220	150	198	0.01	25.38	30.77
220	158	396	0.02	38.82	47.06
220	164	583	0.03	48.18	58.40
220	172	770	0.03	55.00	66.67
220	182	1078	0.04	59.89	72.59
220	198	1452	0.05	63.13	76.52
220	210	1650	0.06	66.00	80.00
220	218	1848	0.06	66.24	80.29
220	230	2046	0.07	66.43	80.52
220	135	0	0.01	0.00	0.00
220	147	286	0.02	28.60	34.67
220	158	583	0.03	44.85	54.36
220	167	880	0.03	56.05	67.94
220	174	1067	0.04	59.28	71.85
220	184	1265	0.04	61.71	74.80
220	191	1452	0.05	63.68	77.19
220	202	1650	0.06	63.95	77.52
220	214	1848	0.06	67.20	81.45
220	230	2046	0.07	66.43	80.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการทดสอบท่อเหล็ก 3000 มม

NO.2	Ir	Is	Vr	Vs	Ps	Pr	COSOr	COSOr
NO LOAD	2.00	5.70	110	220	1000	425	0.27	0.56
R1	4.00	5.80	110	220	1300	675	0.34	0.89
R2	4.90	6.20	110	220	1500	900	0.37	0.82
R3	6.30	6.50	110	220	1700	1125	0.40	0.83
R4	8.00	6.90	110	220	1950	1375	0.43	0.87
R5	8.90	6.80	110	220	2150	1675	0.48	0.72
R6	10.00	7.00	110	220	2350	1850	0.51	0.69
R7	11.80	7.50	110	220	2700	2125	0.55	0.92
R8	13.00	7.60	110	220	2900	2400	0.58	0.93
R9	14.00	7.90	110	220	3000	2550	0.58	0.89
NO LOAD	3.50	5.60	110	220	1000	450	0.27	0.62
R1	4.00	5.40	110	220	1100	550	0.31	0.71
R2	4.40	5.85	110	220	1300	750	0.34	0.91
R3	5.50	6.00	110	220	1500	975	0.38	0.92
R4	6.60	6.35	110	220	1750	1200	0.42	0.83
R5	7.80	6.40	110	220	1950	1450	0.46	7.35
R6	9.35	6.85	110	220	2200	1725	0.49	0.82
R7	10.60	7.10	110	220	2400	1950	0.51	0.91
R8	12.00	7.35	110	220	2750	2250	0.57	0.89
R9	14.00	7.90	110	220	3000	2550	0.58	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารการทดสอบท่อเหล็ก 3000 มม (ทางที่ 1)
 ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin	If	IL	Va	Vf	Pout	FFFvs	FFPm
1425	0.08	0.00	220	88	0	0.00	0.00
1975	0.09	2.20	220	95	484	24.51	29.70
2400	0.09	4.00	220	100	880	36.67	44.44
2825	0.10	5.70	220	105	1254	44.39	53.81
3325	0.11	7.50	220	112	1650	49.62	60.15
3825	0.12	9.30	220	124	2046	53.49	64.84
4200	0.12	10.60	220	132	2332	55.52	67.30
4825	0.14	12.40	220	146	2728	56.54	68.53
5300	0.15	14.10	220	158	3102	58.53	70.94
5550	0.16	15.00	220	163	3300	59.46	72.07
1450	0.08	0.00	220	83	0	0.00	0.00
1650	0.08	0.90	220	86	198	12.00	14.55
2050	0.08	2.70	220	88	594	28.98	35.12
2475	0.09	4.40	220	92	968	39.11	47.41
2950	0.10	6.20	220	102	1364	46.24	56.05
3400	0.10	8.00	220	110	1760	51.76	62.75
3925	0.11	9.80	220	120	2156	54.93	66.58
4350	0.13	11.50	220	132	2530	58.16	70.50
5000	0.14	13.30	220	147	2926	58.52	70.93
5550	0.16	15.00	220	163	3300	59.46	72.07

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO.3	Ir	Is	Vr	Vs	Ps	Pr	COSOs	COSOr
NO LOAD	2.00	5.65	110	220	950	425	0.25	0.64
R1	3.60	5.90	110	220	1100	600	0.28	0.73
R2	4.60	5.80	110	220	1300	750	0.34	0.85
R3	5.80	6.10	110	220	1600	1000	0.40	0.88
R4	7.00	6.60	110	220	1850	1250	0.42	0.91
R5	8.20	6.45	110	220	2050	1500	0.48	0.72
R6	9.50	7.00	110	220	2250	1700	0.49	0.77
R7	10.30	7.10	110	220	2400	1925	0.51	0.94
R8	12.00	7.55	110	220	2650	2175	0.53	0.94
R9	13.20	7.50	110	220	2900	2450	0.59	0.91
R10	14.70	7.90	110	220	3200	2750	0.61	0.85
NO LOAD	3.00	5.40	110	220	900	450	0.25	0.75
R1	4.10	5.60	110	220	1200	700	0.32	0.71
R2	5.10	5.90	110	220	1400	900	0.36	0.76
R3	6.30	6.00	110	220	1600	1175	0.40	0.83
R4	7.60	6.30	110	220	1850	1375	0.44	0.85
R5	9.00	6.60	110	220	2100	1650	0.48	0.84
R6	10.20	6.80	110	220	2300	1900	0.51	0.92
R7	11.60	7.00	110	220	2600	2200	0.56	0.91
R8	13.00	7.50	110	220	2900	2450	0.59	0.92
R9	14.70	7.90	110	220	3200	2750	0.61	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้เฉพาะที่อาคารคือของสถาบัน ไมออนดกตใหม่ไม่ไช่ประโยชน์ด้านการค้า
 การทดสอบโหลด 3000 วัตต์ (ตารางที่ 2)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin	If	IL	Va	Vf	Pout	FFFSys	FFFM
1375	0.08	0.00	220	94	0	0.00	0.00
1700	0.09	1.80	220	100	396	23.29	28.24
2050	0.09	3.10	220	105	682	33.27	40.33
2600	0.10	4.90	220	110	1078	41.46	50.26
3100	0.10	6.60	220	118	1452	46.84	56.77
3550	0.11	8.40	220	128	1848	52.06	63.10
3950	0.12	9.60	220	136	2112	53.47	64.81
4325	0.13	11.00	220	146	2420	55.95	67.82
4825	0.14	12.80	220	160	2816	58.36	70.74
5350	0.15	14.60	220	176	3212	60.04	72.77
5950	0.16	16.30	220	188	3586	60.27	73.05
1350	0.08	0.00	220	90	0	0.00	0.00
1900	0.09	2.20	220	98	484	25.47	30.88
2300	0.09	4.00	220	104	880	38.26	46.38
2775	0.10	5.70	220	112	1254	45.19	54.77
3225	0.10	7.50	220	118	1650	51.16	62.02
3750	0.11	9.30	220	130	2046	54.56	66.13
4200	0.12	11.00	220	142	2420	57.62	69.84
4800	0.14	12.80	220	157	2816	58.67	71.11
5350	0.15	14.60	220	170	3212	60.04	72.77
5950	0.16	16.30	220	188	3586	60.27	73.05

(ตาราง 2) (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก้านำไปใช้

NO.4	Ir	Is	Vr	Vs	Ps	Pr	COS ϕ s	COS ϕ r
NO LOAD	2.00	5.70	110	220	950	425	0.25	0.58
R1	4.00	6.20	110	220	1200	650	0.29	0.71
R2	5.10	6.20	110	220	1400	900	0.34	0.78
R3	6.50	6.20	110	220	1600	1125	0.39	0.92
R4	7.90	6.50	110	220	1800	1375	0.42	0.92
R5	9.10	6.60	110	220	2100	1625	0.48	0.86
R6	10.45	6.90	110	220	2300	1900	0.51	0.86
R7	11.90	7.10	110	220	2600	2175	0.55	0.86
R8	13.40	7.50	110	220	2850	2450	0.58	0.92
R9	14.20	7.70	110	220	3000	2600	0.59	0.91
NO LOAD	2.00	5.50	110	220	850	425	0.23	0.54
R1	3.20	5.50	110	220	900	600	0.24	0.66
R2	4.70	5.70	110	220	1200	800	0.32	0.68
R3	5.70	5.80	110	220	1300	1050	0.34	0.73
R4	7.00	6.00	110	220	1500	1250	0.38	0.80
R5	8.20	6.30	110	220	1800	1500	0.43	0.82
R6	9.50	6.60	110	220	2050	1750	0.47	0.90
R7	11.00	6.85	110	220	2450	2025	0.54	0.87
R8	12.50	7.30	110	220	2700	2300	0.56	0.86

การทดสอบมอเตอร์ 3000 รอบ (ตารางที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin	If	IL	Va	Vf	Pout	FFPays	FFPm
1375	0.08	0.00	220	92	0	0.00	0.00
1850	0.09	2.20	220	100	484	26.16	31.71
2300	0.10	4.00	220	106	880	38.26	46.38
2725	0.10	5.80	220	112	1276	46.83	56.76
3175	0.10	7.50	220	120	1650	51.97	62.99
3725	0.11	9.30	220	130	2046	54.93	66.58
4200	0.12	11.00	220	140	2420	57.62	69.84
4775	0.12	12.80	220	158	2816	58.97	71.48
5300	0.15	14.60	220	168	3212	60.60	73.46
5600	0.16	15.40	220	176	3388	60.50	73.33
1275	0.08	0.00	220	86	0	0.00	0.00
1500	0.08	1.40	220	90	308	20.53	24.89
2000	0.09	3.10	220	93	330	24.10	41.33
2350	0.09	4.90	220	100	1078	45.87	55.60
2750	0.10	6.60	220	111	1452	52.80	64.00
3300	0.11	8.40	220	120	1848	56.00	67.88
3800	0.12	10.10	220	130	2222	58.47	70.88
4475	0.13	11.90	220	145	2618	58.50	70.91
5000	0.14	13.60	220	158	2992	59.84	72.53
5600	0.16	15.40	220	176	3388	60.50	73.33

(ตารางที่ ๓) (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO.5	Tr	Ts	Vr	Vs	Pr	Pr	COSφs	COSφr
NO LOAD	1.90	5.60	110	220	800	425	0.22	0.56
R1	4.00	5.80	110	220	1000	650	0.26	0.71
R2	5.10	5.90	110	220	1200	900	0.31	0.76
R3	6.70	6.10	110	220	1450	1125	0.36	0.76
R4	7.80	6.20	110	220	1650	1375	0.40	0.82
R5	9.20	6.50	110	220	1900	1650	0.44	0.82
R6	11.30	7.05	110	220	2350	2025	0.51	0.87
R7	13.00	7.40	110	220	2600	2325	0.53	0.85
R8	14.20	7.70	110	220	2950	2600	0.58	0.86
NO LOAD	3.00	5.30	110	220	800	400	0.23	0.64
R1	3.50	5.50	110	220	900	575	0.25	0.78
R2	4.70	5.70	110	220	1150	775	0.31	0.74
R3	5.90	5.95	110	220	1350	1000	0.34	0.73
R4	7.00	6.10	110	220	1600	1250	0.40	0.78
R5	8.60	6.40	110	220	1850	1500	0.44	0.77
R6	9.15	6.45	110	220	1950	1650	0.46	0.79
R7	10.40	6.75	110	220	2200	1900	0.49	0.85
R8	12.60	7.20	110	220	2600	2300	0.55	0.85
R9	14.20	7.70	110	220	2950	2600	0.58	0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหอบทศวี ๖๐๐๐ ๖๖๖ (ภาคที่ 4)

Pin	Tf	Tl	Va	Vf	Pout	FFFSys	FFPm
1225	0.08	0.00	220	90	0	0.00	0.00
1650	0.09	2.20	220	98	484	29.33	35.56
2100	0.10	4.00	220	102	880	41.90	50.79
2575	0.10	5.70	220	108	1254	48.70	59.03
3025	0.11	7.50	220	115	1650	54.55	66.12
3550	0.12	9.30	220	125	2045	57.63	69.86
4375	0.13	11.90	220	140	2618	59.84	72.53
4925	0.14	13.70	220	155	3014	61.20	74.18
5550	0.16	15.40	220	168	3388	61.05	73.99
1200	0.08	0.00	220	83	0	0.00	0.00
1475	0.08	1.40	220	87	308	20.88	25.31
1925	0.09	3.10	220	92	682	35.43	42.94
2350	0.09	4.90	220	98	1078	45.87	55.60
2850	0.10	6.60	220	104	1452	50.95	61.75
3350	0.10	8.40	220	115	1848	55.16	66.87
3600	0.11	9.30	220	122	2046	56.83	68.89
4100	0.12	11.00	220	130	2420	59.02	71.54
4900	0.14	13.60	220	150	2992	61.06	74.01
5550	0.16	15.40	220	168	3388	61.05	73.99

(ตารางที่ 4) (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO.11	Tr	Ts	Vr	Vs	Ps	Pr	COSφs	COSφr
NO LOAD	7.10	4.70	110	220	950	500	0.31	0.45
R1	6.70	5.00	110	220	1150	675	0.35	0.69
R2	6.50	5.30	110	220	1350	875	0.39	0.80
R3	6.70	5.60	110	220	1600	1100	0.43	0.91
R4	7.40	6.00	110	220	1800	1325	0.45	0.96
R5	8.50	6.35	110	220	2050	1575	0.49	0.83
R6	9.20	6.60	110	220	2200	1700	0.51	0.98
R7	10.60	7.00	110	220	2400	1850	0.52	0.83
R8	12.50	7.50	110	220	2700	2250	0.55	0.93
R9	14.40	8.20	110	220	3000	2550	0.55	0.92
NO LOAD	7.10	4.80	110	220	1000	620	0.32	0.53
R1	6.60	5.00	110	220	1200	700	0.36	0.52
R2	6.40	5.15	110	220	1300	850	0.38	0.67
R3	6.50	5.45	110	220	1500	1000	0.42	0.73
R4	7.00	5.80	110	220	1750	1200	0.46	0.87
R5	7.80	6.15	110	220	1900	1450	0.47	0.74
R6	9.20	6.60	110	220	2200	1700	0.51	0.58
R7	10.70	7.00	110	220	2450	1975	0.53	0.57
R8	12.40	7.55	110	220	2700	2275	0.54	0.47
R9	14.40	8.20	110	220	3000	2550	0.55	0.42

การทดสอบพ้อเกอ์ 3000 วัตต์ (ตารางที่ 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin	Tf	Tl.	Va	Vf	Pout.	FFFSYA	FFPM
1450	0.08	0.00	220	94	0	0.00	0.00
1825	0.09	1.80	220	98	396	21.70	26.30
2225	0.09	3.50	220	105	770	34.61	41.95
2700	0.10	5.30	220	110	1166	43.19	52.35
3125	0.10	7.10	220	118	1562	49.98	60.59
3625	0.11	8.80	220	126	1936	53.41	64.74
3900	0.12	9.60	220	133	2112	54.15	65.64
4250	0.12	11.40	220	144	2508	59.01	71.53
4950	0.14	13.20	220	156	2904	58.67	71.11
5550	0.15	14.50	220	170	3190	57.48	69.67
1620	0.08	0.00	220	88	0	0.00	0.00
1900	0.08	1.80	220	94	396	20.84	25.26
2150	0.08	2.60	220	94	572	26.60	32.25
2500	0.09	4.40	220	100	968	38.72	46.93
2950	0.09	6.20	220	108	1364	46.24	56.05
3350	0.10	7.90	220	117	1738	51.88	62.89
3900	0.11	9.60	220	127	2112	54.15	65.64
4425	0.12	11.50	220	140	2530	57.18	69.30
4975	0.14	13.20	220	155	2904	58.37	70.75
5550	0.15	14.50	220	170	3190	57.48	69.67

(ตารางที่ 5) (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO.12	Tr	Tg	Vr	Vs	Ps	Pr	COSφs	COSφr
NO I.OAD	6.65	4.75	110	220	1000	500	0.32	0.37
R1	6.20	5.00	110	220	1200	650	0.36	0.54
R2	6.10	5.40	110	220	1400	850	0.39	0.67
R3	6.50	5.75	110	220	1600	1075	0.42	0.80
R4	7.40	6.15	110	220	1850	1300	0.46	0.86
R5	8.70	6.60	110	220	2100	1550	0.48	0.96
R6	10.40	7.10	110	220	2350	1800	0.50	0.77
R7	12.20	7.70	110	220	2650	2100	0.52	0.94
R8	15.00	8.40	110	220	3000	2425	0.54	0.88
NO I.OAD	6.25	4.80	110	220	900	500	0.28	0.58
R2	6.00	5.00	110	220	1100	675	0.33	0.53
R3	6.40	5.40	110	220	1350	875	0.38	0.82
R4	7.40	5.90	110	220	1650	1100	0.42	0.70
R5	8.80	6.30	110	220	1900	1350	0.46	0.85
R6	10.20	6.65	110	220	2100	1575	0.48	0.91
R7	12.10	7.20	110	220	2400	1850	0.51	0.94
R8	15.00	7.70	110	220	2650	2100	0.52	0.87
		8.40	110	220	3000	2425	0.54	0.88

(ตารางที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin	Tf	Tl	Va	Vf	Pout	FFFSvs	FFPm
1500	0.08	0.00	220	94	0	0.00	0.00
1850	0.09	1.75	220	99	385	20.81	25.23
2250	0.09	3.50	220	106	770	34.22	41.48
2675	0.10	5.30	220	112	1166	43.59	52.83
3150	0.10	7.05	220	118	1551	49.24	59.68
3650	0.11	8.80	220	128	1936	53.04	64.29
4150	0.12	10.60	220	140	2332	56.19	68.11
4750	0.13	12.40	220	152	2728	57.43	69.61
5425	0.14	14.10	220	167	3102	57.18	69.31
1400	0.08	0.00	220	91	0	0.00	0.00
1775	0.08	1.70	220	94	374	21.07	25.54
2225	0.09	3.50	220	100	770	34.61	41.95
2750	0.09	5.20	220	105	1144	41.60	50.42
3250	0.10	6.70	220	114	1474	45.35	54.97
3675	0.11	8.80	220	123	1936	52.68	63.85
4250	0.12	10.50	220	136	2310	54.35	65.88
4750	0.13	12.40	220	149	2728	57.43	69.61
5425	0.14	14.10	220	167	3102	57.18	69.31

(ตารางที่ 6) (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO.13	Tr	Tr	Vr	Vs	Ps	Pr	COSφs	COSφi
NO LOAD	6.00	5.10	110	220	1100	475	0.33	0.33
R1	5.70	5.40	110	220	1300	650	0.36	0.57
R2	5.70	5.80	110	220	1500	850	0.39	0.64
R3	6.20	6.20	110	220	1700	1075	0.42	0.87
R4	6.20	6.50	110	220	2000	1300	0.47	0.90
R5	8.40	6.90	110	220	2200	1550	0.48	0.93
R6	10.20	7.40	110	220	2500	1825	0.51	0.97
R7	12.20	7.80	110	220	2600	2100	0.51	0.91
R8	15.00	8.50	110	220	2950	2450	0.53	0.85
R9	16.80	9.00	110	220	3200	2700	0.54	0.85
NO LOAD	5.80	4.90	110	220	1000	500	0.31	0.36
R1	5.40	5.10	110	220	1150	675	0.34	0.56
R2	5.50	5.45	110	220	1350	875	0.38	0.63
R3	6.10	5.80	110	220	1600	1100	0.42	0.84
R4	7.20	6.30	110	220	1800	1325	0.43	0.83
R5	8.60	6.60	110	220	2050	1575	0.47	0.96
R6	10.20	7.10	110	220	2300	1850	0.49	0.91
R7	12.10	7.80	110	220	2650	2125	0.51	1.00
R8	14.40	8.40	110	220	2900	2425	0.52	0.91
R9	16.80	9.00	110	220	3200	2700	0.54	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ในงานของวารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ทางที่ ๗)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

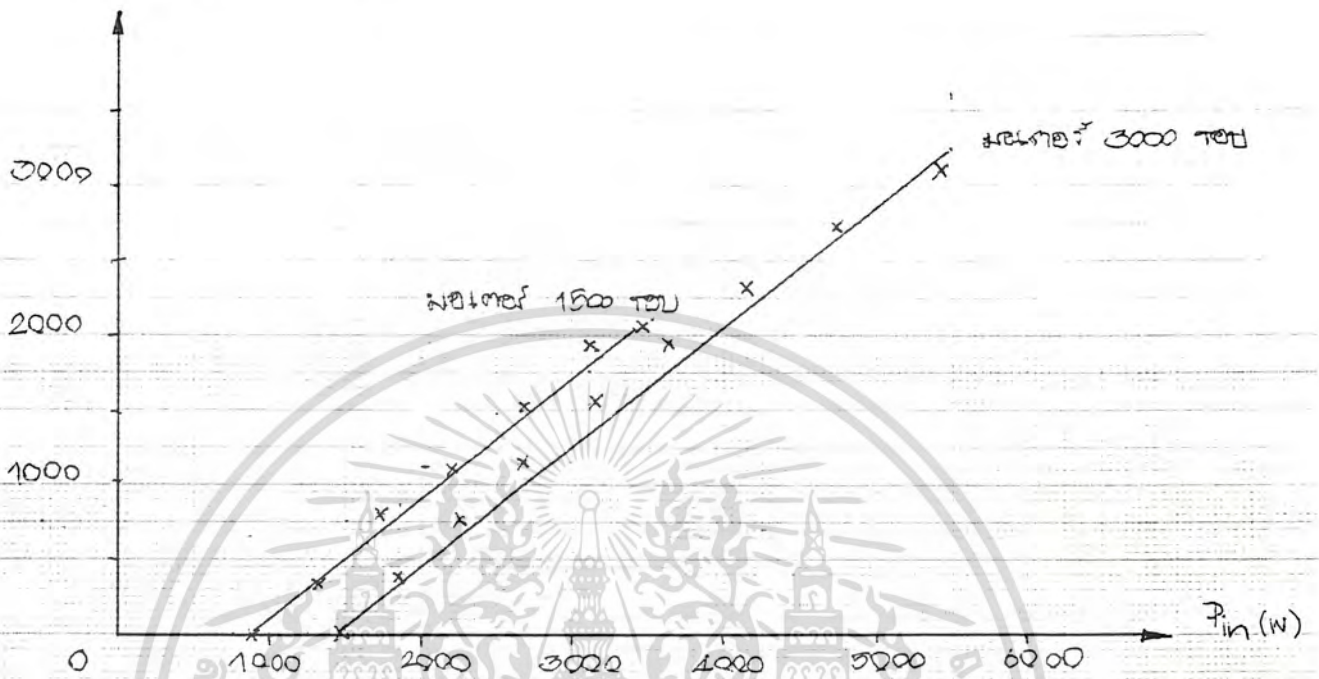
Pin	Tf	Tt	Va	Vf	Pout	FFFSv/s	FFFm
1575	0.08	0.00	220	88	0	0.00	0.00
1950	0.09	1.80	220	94	396	20.31	24.62
2350	0.09	3.50	220	97	770	32.77	39.72
2775	0.09	5.30	220	104	1166	42.02	50.93
3300	0.10	7.05	220	112	1551	47.00	56.97
3750	0.11	8.80	220	120	1936	51.63	62.58
4325	0.12	10.60	220	131	2332	53.92	65.36
4700	0.13	12.40	220	142	2728	58.04	70.35
5400	0.14	14.20	220	158	3124	57.85	70.12
5900	0.15	14.80	220	168	3256	55.19	66.89
1500	0.08	0.00	220	84	0	0.00	0.00
1825	0.08	1.80	220	88	396	21.70	26.30
2225	0.09	3.60	220	92	792	35.60	43.15
2700	0.09	5.30	220	100	1166	43.19	52.35
3125	0.10	7.00	220	105	1540	49.28	59.73
3625	0.11	8.40	220	117	1848	50.98	61.79
4150	0.12	10.60	220	127	2332	56.19	68.11
4775	0.13	12.40	220	140	2728	57.13	69.25
5325	0.14	14.10	220	152	3102	58.25	70.61
5900	0.15	14.80	220	168	3256	55.19	66.89

(ตารางที่ 7) (ต่อ)

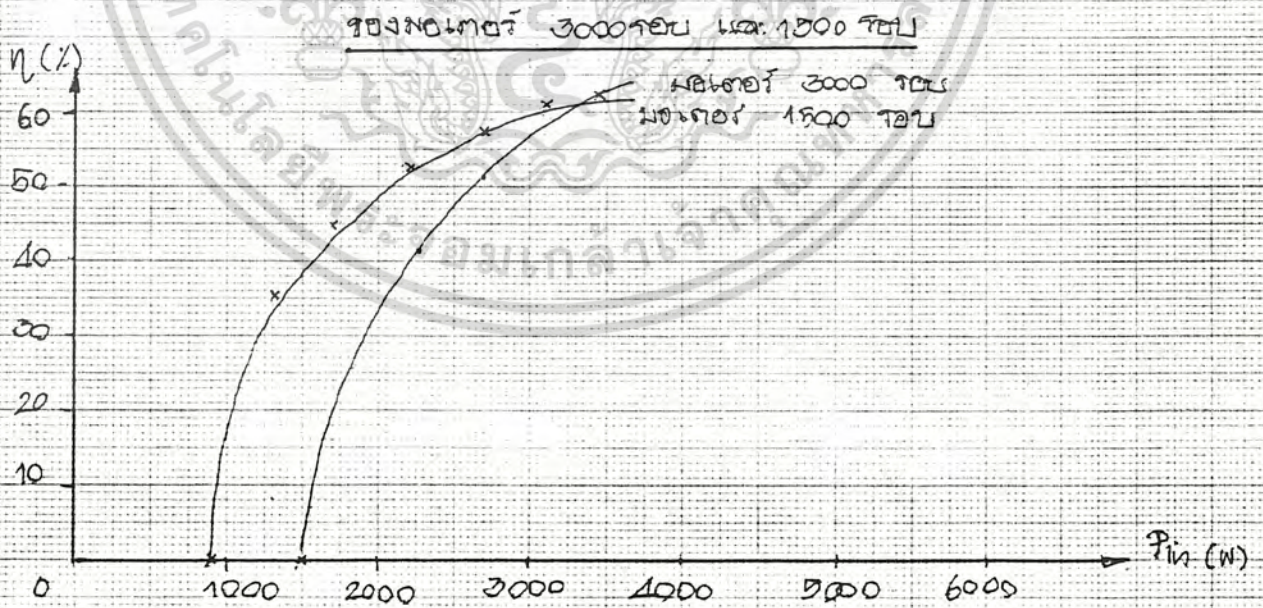
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{out} (W)

กราฟแสดงลักษณะการทำงานของ



กราฟแสดงลักษณะการทำงานของ



กราฟแสดงลักษณะการทำงานของ

ของมอเตอร์ 3000 รอบ และ 1500 รอบ

บทที่ 6

สรุปผลและวิจารณ์

จากการที่ได้ประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด wound type โดยใช้หลักการและวิธีการข้างต้น เราจะได้มอเตอร์ตัวใหม่ที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของความเร็วเดิมคือมีความเร็วคงที่ที่ 3000 รอบ ในทุกๆสภาวะโหลดและมีคุณสมบัติเฉพาะตัวต่างๆคล้าย ซิงโครไนล์มอเตอร์

จุดประสงค์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ในการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำนี้ ก็คือ ความสามารถในการที่จะรับโหลดได้มากขึ้นกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความเร็ว 1500 รอบ

จากสมการ $P = Tw$

เมื่อ w เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

โดยที่จากการทดลอง ทั้งที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเดิม และที่ n_{sl} เป็น double excited motor เมื่อมีค่ากระแสโรเตอร์เท่ากับ Δ เนื่องจาก $T \propto I^2$ นั่นคือ แรงบิดจะมีค่าคงที่

ดังนั้น $P \propto w$

นั่นคือ ที่ double excited motor เราจะได้ว่า พิกัดกำลังทางเอาต์พุต ควรจะมีค่าเป็น 2 เท่าของพิกัดกำลังทางเอาต์พุตของมอเตอร์เหนี่ยวนำปกติ เมื่อใช้ machine ตัวเดียวกัน แต่กำลังที่ได้ออกมาจริงๆ จะมีค่าน้อยกว่านี้ ทั้งนี้เนื่องจากค่าของ windage loss มีค่าเพิ่มขึ้น

จากการทดลองและจากสมมติฐานที่กล่าวมาทั้งหมดจะพบว่าเมื่อตัว machine รับโหลดค่าค่าหนึ่ง เมื่อ machine ตัวนี้เปลี่ยนมาเป็นระบบ double excited machine คือเดินเครื่องที่ความเร็วมีค่าเป็น 2 เท่าของความเร็วเดิม จะทำให้ machine ตัวนี้สามารถรับโหลดที่ค่าเท่าเดิม โดยที่ใช้กำลังที่ป้อนเข้าในการขับโหลดมีค่าน้อยกว่าเดิม ซึ่งจะหมายความว่า ประสิทธิภาพในการใช้งานของ machine ตัวใหม่นี้ดีขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นจะได้มอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดกำลังทางเอาต์พุตเพิ่มขึ้น โดยมีขนาดของตัวมอเตอร์เท่ากับมอเตอร์ที่มีพิกัดกำลังทางเอาต์พุตเดิม จึงเป็นการลดขนาดของตัวมอเตอร์ลง และส่งผลให้ราคาของมอเตอร์มีค่าลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเรื่องนี้ยังเป็นเรื่องที่ใหม่อยู่ และอาจจะเป็นแนวทางที่จะสร้างทฤษฎีใหม่ขึ้นมา ซึ่งแตกต่างจากทฤษฎีเดิมที่ใช้กันอยู่ ดังนั้นจึงนำเอาหลักการกว้างๆของทฤษฎีเดิมมาประยุกต์ใช้และนำเอาผลการทดลองที่ได้มาต่างถึงโดยนำเสนอความสัมพันธ์ในรูปของตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติ ในลักษณะของรูปภาพ เรื่องที่เข้าสนใจและอาจจะเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป ก็คือ ถ้าใช้สมการตัวใหม่นี้สามารถสสารได้ด้วยวิธีที่ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้นกว่าเดิมจากสารที่ต้องใช้ DC Notor มาช่วยขับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บรรณานุกรม

1. ดร. พีรศักดิ์ วรสุภะโรสด, "เครื่องจักรไฟฟ้า 1 วงจรแม่เหล็กและเครื่องจักรไฟฟ้า กระแสตรง", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิชาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2523.
2. ศศ. สัมพันธ์ ทาญชเล, "เครื่องกลไฟฟ้า 2 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, 2531.
3. สุพจน์ โกณฑาสิก และ สันบุรณ์ คงทองวัฒนา, "อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากระบบไฟฟ้า และการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ", วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ปีการศึกษา 2528.
4. M.G. Say, "Alternating Current Machines", 5th Edition, Longman Scientific & Technical, England, 1983.
5. M. Kostenko & L. Piotrovsky, "Electrical Machines Vol.2", 3rd Edition, Moscow, MIR, 1977.
6. H. Hopwood, "Alternating Current Motor Winding", Bombay, D.B. Taraporevala, 1970.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้