



22.พ.ย. 253๖

027018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสทวาทมอเทอรแบบสทวาท-เคลททาโคยกระแสไม่กระชาก

SOFT WYE-DELTA STARTING MOTOR

ลัคทาโคย



1. นายพาสัน อินทรพรหม

MR. PAS INTARAPROM

2. นายอนันต์ ธิษยพงษ์

MR. ANANI THISYAPONG

อจารย์ทปริญษา

1. ผศ. ทองใบ อรรถเศษฐ

MR. THONGDAI ATTASETHI M. Eng.

วิทยานพนรสำหรับปริญษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2532

ปริญญาโททางการศึกษา 2532

เรื่อง การสมัครขอเตอร์แบบสตา-เคลต้า โดยกระแสไม่กระชาก

- นักศึกษาจัดทำ 1. นายพาสัน อินทรพรหม
2. นายอนันต์ กิยพงษ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ทองใบ กรรตเกรนฐ)

027018

การสภารมอ: คอร์แบบสตา์-เคลต้าโดยกระแสไม่กระชาก

พาสน์ อินทรพรหม

อนันต์ กิษยพงษ์

ศต.ทองใบ อรรถเศรษฐ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสภารมอคอร์แบบสตา์-เคลต้าต่อร่วมกับความต้านทานในบทแรก ๆ จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ 3 เฟส, ความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์, คุณสมบัติทั่วไปของความต้านทานเป็นต้น ส่วนบท-หลัง ๆ จะเป็นการกล่าวถึงการทดสอบและการออกแบบซึ่งเป็นหัวข้อของการทำโครงการนี้เช่น การทดสอบมอเตอร์ด้วยวิธีต่าง ๆ, การทดสอบแมคเนติกคอนแทกเตอร์, การทดสอบการสภารมอ มอเตอร์โดยใช้ความต้านทานต่อร่วมกับวงจรสตา์-เคลต้า สำหรับการสภารมอ มอเตอร์ด้วยวิธี สตา์-เคลต้าต่อร่วมกับความต้านทานนี้ จากการศึกษาและทดสอบจะพบว่า การกระชากของกระแส ในขณะสตา์มอ มีแนวโน้มที่จะลดลงได้เป็นอย่างมากโดยวิธีการนี้

SOFT WYE-DELTA STARTING MOTOR

PAS INTARAPROM

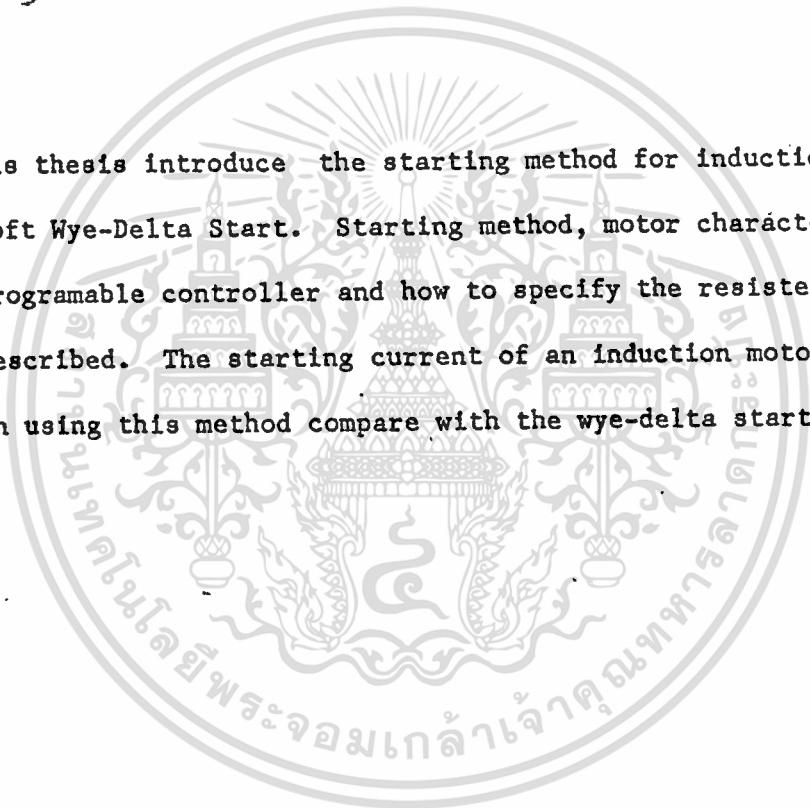
ANAN DISYAPONG

THONGBAI ATTASETH ADVISOR

1989

Abstract

This thesis introduce the starting method for induction motor, as Soft Wye-Delta Start. Starting method, motor characteristics, programable controller and how to specify the resistor value are described. The starting current of an induction motor is reduced when using this method compare with the wye-delta start.



สารบัญ

บทที่

| | |
|--|----|
| 1. บทนำ | 1 |
| 2. วิธีการต่าง ๆ ในการสคาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ | 4 |
| - การสคาร์ทโดยใช้ถักคาไฟฟ้าเต็มที | 4 |
| - การสคาร์ทโดยการลคถักคาไฟฟ้า | 4 |
| - ข้อดี, ข้อเสีย, ของการสคาร์ทมอเตอร์วิธีต่าง ๆ | 14 |
| 3. สมบัติความเร็วรอบ - แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ | 16 |
| 4. การหาจรรยาสมมูลยของมอเตอร์ 3 เฟส | 23 |
| - การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟส | 24 |
| 5. ความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ | 34 |
| - หลักการทำงานของ PC | 34 |
| - การใช้ PC ทดแทนวงจรรีเลย์ | 36 |
| - ขั้นตอนการใช้งานและคำสั่งเบื้องต้น | 36 |
| 6. ความต้านทาน | 48 |
| - กฎของความต้านทาน | 48 |
| - ความต้านทานเจ้าเขาะ | 49 |
| - โลหะผสมและวัตถุที่ไ้เป็นตัวต้านทาน | 51 |
| - สัมประสิทธิ์และอุณหภูมิของความต้านทาน | 51 |
| - การอยกแบบตัวต้านทาน | 54 |
| 7. การทดสอบมอเตอร์ | 64 |
| - การทดสอบมอเตอร์สคาร์ทแบบโดยครง | 65 |
| - แผนผังวงกลม | 69 |
| 8. การทดสอบแมกเนติก คอนแทคเตอร์ | 74 |
| - การหา TIME DELAY ของแมกเนติก คอนแทคเตอร์ | 77 |

| | |
|--|-----|
| 9. การสกรีนหมอเทอร์-เคลต้าค่อร่วมกับควมค้ำนทวน | 79 |
| - การทคคอง | 79 |
| - การสกรีนหมอเทอร์แบบคองทรวง | 79 |
| - การสกรีนหมอเทอร์แบบ สกรีน - เคลต้า | 84 |
| - การสกรีนหมอเทอร์แบบ SOFT WYE-DELTA | 91 |
| บทสรุปร | 100 |
| กิตติกรรมประการ | 101 |
| เอกรสารอั้งอิง | 102 |



บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากในการสคาร์ทมอเตอร์ จะทำให้กระแสขณะสคาร์ทมีค่าสูงมากประมาณ 5 - 7 เท่าของกระแสเต็มทีกัก ซึ่งทำให้เกิดผลเสียแก่โลกอื่น ๆ ซึ่งเกิดขึ้นเป็นประจำ สำหรับมอเตอร์ขนาดแรงม้าสูง ๆ ทำให้เกิดไฟตกในสายส่ง ซึ่งทำให้โปรบวกระบบ อิเล็กทรอนิกส์ เช่น พวกอุปกรณ์ที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมทำให้โปรแกรมเสียหาย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีวิธีการสคาร์ท เพื่อลดกระแสขณะสคาร์ทลง และสำหรับปริวิตฐานพันธฉบับนี้ ก็เป็นการศึกษาถึงการสคาร์ทมอเตอร์แบบ สคาร์ - เกลต้า โดยไม่ให้กระแสกระชาก

ในปัจจุบันนี้ มีวิธีการสคาร์ทมอเตอร์เนี่ยวนำอยู่หลายวิธีด้วยกันในแต่ละวิธี ก็จะมีข้อดี - ข้อเสียแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของมอเตอร์และคุณสมบัติของโลก ดังนั้นในการเลือกวิธีการสคาร์ท เราจึงมีความจำเป็นต้องเลือกให้มีความเหมาะสมที่สุด โดยการพิจารณารายละเอียดในแต่ละวิธี

สำหรับการใช้ตัวต้านทานเพื่อเสริมทารามิเตอร์ในมอเตอร์ โค้ทำการหาค่าตัวต้านทานให้เหมาะสมที่สุด และออกแบบวงจรควบคุมให้เหมาะสมที่สุด และออกแบบวงจรควบคุมให้เหมาะสมที่สุด จึงจะโค้วาระการสคาร์ทที่ดีที่สุด

ในการสคาร์ทมอเตอร์เนี่ยวนำวิธีนี้ เป็นการสคาร์ทแบบลดศักดาไฟฟ้า และลดกระแสเข้าโดยตรง โดยให้ศักดาไฟฟ้าส่วนหนึ่งตกคร่อม ตัวต้านทานและในขณะที่ยอมมอเตอร์เนี่ยวนำ RUN ก็จะไม่มีการสคาร์ทที่ตัวต้านทานเลย โดยการใช่วงจรควบคุมแบบ อ็คโนมิติ

ปกติแล้วมอเตอร์เนี่ยวนำส่วนใหญ่ไม่ว่าจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ตาม จะถูกออกแบบมาให้มีความทนทานต่อการสคาร์ทเข้ากับแหล่งจ่าย แรงดันไฟฟ้าได้โดยตรงโดยที่ขลวดของมอเตอร์ไม่เกิดความเสียหาย ถึงแม้กระแสไฟฟ้าในช่วงสคาร์ท จะมีค่าสูงประมาณ 5 - 7 เท่าของกระแสที่ทีกักไหลผ่านขลวดสเตเตอร์ เมื่อต่อมอเตอร์ตามแรงดันที่ทีกักไหลผ่านขลวดสเตเตอร์ เมื่อต่อมอเตอร์ตามแรงดันที่ทีกักของมอเตอร์ชนิดนี้

ในมอเตอร์ขนาดใหญ่ จะมีการสคาร์ทอย่างรุนแรงและกระแสในช่วงสคาร์ทจะสูงมาก ทำให้เกิดสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาอยู่ 2 ประเภท คือ ประการแรกระบบไฟเมนที่จ่ายให้กับ

มอเตอร์ อาจมีขีดความสามารถจำกัดในการจ่ายกำลังไฟฟ้า หรือจะต้องมีขนาดใหญ่มาก
ทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์ขนาดใหญ่ ต้องการค่า Starting KVA. สูง ประการที่สอง
การกระแสะศรที่สูง ๆ เป็นสาเหตุทำให้เกิดแรงดันตกในสายมากเกินไป เป็นผลทำให้แรง
ดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ มีค่าลดลงและเนื่องจากแรงบิดของมอเตอร์แปรผัน ตามกำลังยก
ยกกำลังสอง ($\propto V^2$) แรงบิดขณะสครที่จึงลดลงเป็นอย่างมาก อาจทำให้มอเตอร์ไม่
สามารถทำงานในขณะในขณะมีโหลดต่ออยู่ได้ หากการสครที่ใช้เวลานาน มอเตอร์ก็อาจ
ไหม้เสียหายได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าลดลงไปชั่วขณะ และเกิดการรบกวนระ
บบไฟฟ้าข้างเคียงที่ต่อรวมในวงจร เกี่ยวกันกับมอเตอร์อีกด้วย ดังนั้นเราจึงต้องวางเงื่อนไข
ความต้องการขั้นต่ำในการสครมอเตอร์ คือ กระแสะขณะสครจะต้องถูกจำกัดให้อยู่ในขีด
ความสามารถของระบบเมน ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แต่จะต้องมีให้เพียงพอที่จะทำ
ให้มอเตอร์สามารถสร้างแรงบิด เพื่อ เริ่มหมุนตัวเองหรือดูดโหลดให้เริ่มหมุนได้อีกด้วย
(ถ้าจำเป็น)

จากเงื่อนไขความต้องการขั้นต่ำนี้เองที่จะต้องนำมาพิจารณาว่า ควรจะต่อมอเตอร์
เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันโดยตรง หรือมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณช่วยสคร เพื่อช่วย
ลดกระแสะขณะสครที่นั่นลงด้วยหรือไม่ และเนื่องจากอุปกรณ์ช่วยสครมอเตอร์ก็มีอยู่มากมา
หลายชนิด การเลือกใช้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาว่า แต่ละชนิดสามารถช่วยลดกระแสะ
ขณะสครที่ลงได้มากน้อยเพียงใด ราคาแตกต่างกันมากหรือไม่ รวมทั้งการตรวจสอบ และ
บำรุงรักษา สามารถทำได้ง่ายหรือยากเพียงใดอีกด้วย

ในการสครอินตักชั้นมอเตอร์นั้น ถ้าเป็นมอเตอร์ตัวเล็ก ๆ ขนาดไม่เกิน 2 - 3
แรงม้า เรามักจะต่อมอเตอร์เข้ากับไลน์โดยตรง (Direct on Line) และไม่สนใจว่า
กระแสะเริ่มหมุนของมันจะสูงมากน้อยเพียงใด ทั้งที่รู้ว่ากระแสะเริ่มหมุนนั้นมากกว่ากระแสะเต็ม
พิกัด (Full load) หลายเท่า ทั้งนี้เพราะจำนวนกระแสะดังกล่าวไม่สูงมาก จนกระทบ
กระเทือนต่อแรงดันตกที่จะเกิดขึ้น และรบกวนต่อระบบการที่กระแสะไหลสูงมากเป็นเวลานาน ๆ
นั้นอาจทำให้เครื่องป้องกันตัดมอเตอร์ออกจากวงจรก่อนที่มอเตอร์จะหมุนถึงพิกัด เมื่อต้องการ
สครมอเตอร์ใหม่อีก จะเป็นการรบกวนแรงดันในไลน์ให้เปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ซึ่งจะส่งผล
เสียต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และรบกวนต่อระบบแสงสว่าง จากสาเหตุดังกล่าวในการสครที่
อินตักชั้นมอเตอร์ จำเป็นต้องจำกัดกระแสะให้น้อยและต่อกับโหลดที่เหมาะสม

การต่อมอเตอร์เข้ากับไลน์โดยตรงนั้นมีผลก็คือ จะช่วยให้มอเตอร์เร่งความเร็วถึงที่กักได้ไวกว่า และสามารถดูดโหลดหนัก ๆ ขณะเริ่มหมุนได้ ดังนั้นการเริ่มหมุนมอเตอร์ขนาดใหญ่มักอาจต่อตรงเข้ากับไลน์ หรือใช้แรงดันเต็มพิกัด (Rated Voltage) ได้โดยไม่มีข้อสงสัยเลย ถ้าออกแบบสายเมนไว้เหมาะสมและตำแหน่งที่ติดตั้งนั้น อยู่ใกล้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ ๆ เช่น อยู่ในบริเวณโรงไฟฟ้า (Generating Station) สามารถต่อมอเตอร์ขนาดหลาย ๆ ร้อยแรงม้าพร้อมไลน์ได้ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยหมุน (compensator) พิเศษใด ๆ เลย อาทิเช่น มอเตอร์ที่ใช้สำหรับปิด - เปิด ประตูน้ำของเขื่อน เป็นต้น

แต่ถ้าแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีความสามารถในการจ่าย (capacity) ก้อนข้างจำกัด ถ้าจำเป็นต้องคำนึงถึงแรงดันตกที่เกิดจากกระแสเริ่มหมุนไหลผ่านทั้งในตัวแหล่งจ่ายเองและในสายเมน กล่าวคือ ถ้าให้มอเตอร์ขับโหลดหนัก ๆ ก่อนหมุน ขณะที่มิแหล่งจ่ายไฟฟ้าและสายเมนไม่เหมาะสม จะทำให้แรงดันตกในไลน์มาก เมื่อแรงดันตกมอเตอร์อาจสร้างแรงบิดได้ไม่สูงพอที่จะเร่งให้โหลดหมุนถึงที่กักได้อย่างรวดเร็ว กระแสที่ไหลสูงเป็นเวลานาน ๆ อาจทำให้เครื่องป้องกันคัทมอเตอร์ออกก่อนมอเตอร์จะหมุนถึงที่กัก และถ้าต้องการสาร์ทใหม่อีก ก็เท่ากับเป็นการรบกวนแรงดันในไลน์ให้เปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ (Fluctuate) ซึ่งจะมีผลเสียต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และยังรบกวนต่อระบบแสงสว่างอีกด้วย จากสาเหตุดังกล่าวนี้ ในการสาร์ทอินคักชั่นมอเตอร์จึงจำเป็นต้องจำกัดกระแสให้พอเหมาะ และต่อกับโหลดที่เหมาะสม

ตามปกติสวิตเซอร์เกิลอินคักชั่นมอเตอร์ชั้น A (class A) เมื่อต่ออยู่กับแรงดันเต็มพิกัด จะใช้กระแสเริ่มหมุนประมาณ 5 ถึง 10 เท่าของกระแสเต็มพิกัด อาจมีข้อยกเว้นสำหรับมอเตอร์บางชั้นที่ใช้กระแสเริ่มหมุนน้อยกว่ามอเตอร์ชั้น เอ. ถ้ากระแสนี้หาได้จากผลหารของแรงดันต่อค่าอิมพีแดนซ์รวมของมอเตอร์ขณะหยุดนิ่ง ดังนั้นถ้าลดแรงดันลงไปครึ่งหนึ่งของค่าเต็มพิกัด จะทำให้กระแสเริ่มหมุนลดลงไปครึ่งหนึ่งด้วย แต่การที่แรงดันลดลงไปครึ่งหนึ่ง จะทำให้แรงบิดเริ่มหมุนลดลงไปเหลือเพียง 1/4 ของพิกัด ดังนั้น การเริ่มหมุนโดยวิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะต่อมอเตอร์ไว้กับโหลดหนัก ๆ ก่อนหมุน เพราะถ้าแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้นมีน้อยกว่าแรงบิดของโหลด มอเตอร์จะไม่หมุนเลย การสาร์ทมอเตอร์โดยวิธีลดแรงดันนี้เหมาะที่จะใช้กับมอเตอร์ที่ดูดโหลดเบา ๆ หรือไม่มีโหลดเลย เช่น พัดลม หรือ เครื่องมือกลบางชนิดที่เริ่มหมุนด้วยแรงบิดต่ำ ๆ

บทที่ 2

วิธีการต่าง ๆ ในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(Induction motor starting methods)

เมื่อเริ่มสตาร์ทอินดักชันมอเตอร์ขึ้น จะมีค่ากระแสขณะสตาร์ทที่สูงมากบางครั้งอาจเท่ากับ 5 - 7 เท่าของกระแสขณะมี load เพิ่มขึ้นที่อยู่ที่นั้นโดยลักษณะดังกล่าว อาจทำให้เกิดปัญหาขึ้น คือ

- 1) ค่าของศักดาไฟฟ้าของระบบไฟตกทันทีทันใด และเป็นผลให้ load อื่น ๆ ที่อยู่ในวงจรจ่ายไฟเดียวกัน เช่น มอเตอร์ ไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์อื่น ๆ มีผลเสียหายได้
- 2) ค่ากระแสขณะสตาร์ทที่สูง จะทำให้เกิดค่าแรงบิดสูงขณะกระชาก อาจทำให้เกิดการเสียหายแก่เครื่องจักร load และมอเตอร์เองได้

จากปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้ต้องสตาร์ทมอเตอร์ โดยกรรมวิธีต่อไปนี้ คือ

การสตาร์ทโดยใช้ศักดาไฟฟ้าเต็ม

เป็นการป้อนศักดาไฟฟ้าเต็มพิกัดเข้าสู่มอเตอร์โดยตรง วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกที่สุด เพราะระบบสตาร์ทไม่ยุ่งยาก ความผิดพลาดในการเดินเครื่องน้อย การติดตั้งประหยัด และประสิทธิภาพในการทำงานสูง แต่สามารถใช้วิธีการสตาร์ทนี้ได้กับมอเตอร์ ที่มีขนาดเล็กเท่านั้น คือ

มอเตอร์กรงกระรอกแบบธรรมดา ตั้งแต่ 5.5 kw. ลงมา

มอเตอร์กรงกระรอกแบบพิเศษ ตั้งแต่ 11 kw. ลงมา

สำหรับการควบคุมการสตาร์ทใช้แบบ สวิตช์แม่เหล็ก หรือ เซอร์คิตเบรกเกอร์ชนิดโมด

การสตาร์ทโดยการลดศักดาไฟฟ้า

วิธีการสตาร์ทแบบนี้ใช้กับอินดักชันมอเตอร์ชนิดกรงกระรอก เพื่อต้องการลดค่ากระแสขณะสตาร์ท หรือ ลดค่าแรงบิดขณะสตาร์ทลง โดยการป้อนศักดาไฟฟ้าต่ำกว่าศักดาไฟฟ้าเต็มพิกัดของมอเตอร์ในขณะเริ่มสตาร์ท การสตาร์ทด้วยวิธีนี้ แบ่งออกเป็นได้หลายแบบ คือ

1. การสตาร์ทโดยใช้้อโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ลดแรงดัน (Reduced voltage auto-Transformer starting)

2. การสตาร์ทโดยใช้รีซิสเตอร์ หรือรีแอคเตอร์ต่ออินคัมกับแรงดัน

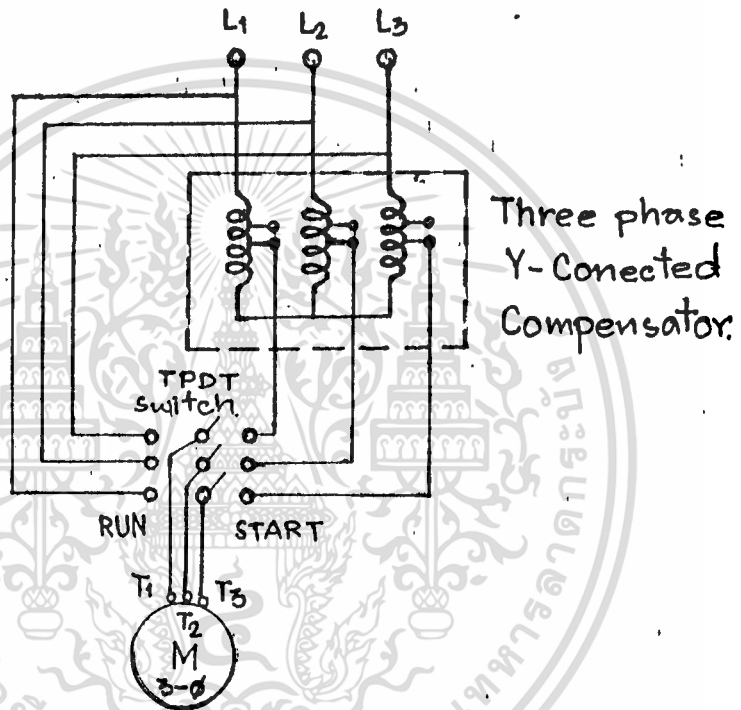
(Reduced voltage primary resistor or Reactor starting)

3. การสตาร์ทโดยการต่อสตาร์ท - เกลด้า (Star-Delta starting)

4. การสตาร์ทโดยต่อกับบางส่วนของขดลวด (part-winding starting)

5. การสตาร์ท เวนด์ โรเตอร์ (Wound-rotor starting)

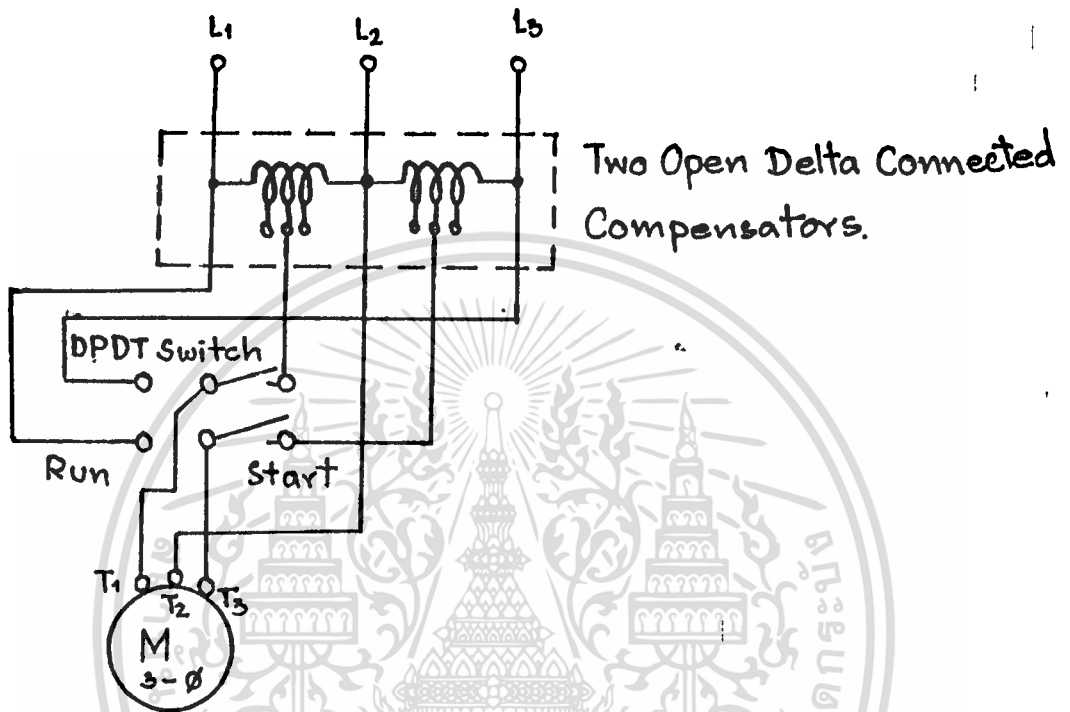
การสตาร์ทโดยใช้ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ลดแรงดัน



รูป 2.1 วงจรการสตาร์ทมอเตอร์โดยใช้ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ลดแรงดัน

จากรูป 2.1 แสดงให้เห็นการต่อระหว่าง สโควเรลเจจอินคัมกับมอเตอร์ 3 เฟส เข้ากับเครื่องช่วยหมุน 3 เฟส ที่ถือเป็นแบบสตาร์ท การแสดงลักษณะนี้จะไม่บอกถึงรายละเอียดปลีกย่อยอื่น ๆ เช่น รีเลย์, เครื่องป้องกันแรงดันตก (Under voltage protection) หรือการทำงานของหน้าสัมผัสที่สัมพันธ์กับคันโยกโดยอัตโนมัติ เป็นต้น จะเห็นว่าในรายละเอียดที่ให้นี้จะเป็นออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ 3 เฟส มีปุ่มต่อแยก (tap) เพื่อปรับแรงดันได้ 2 ระดับ (ในทางปฏิบัติจะมีมากกว่า 2 ระดับก็ได้) คือปุ่มแรกเป็นแรงดันค่าประมาณ 50% ของทิกคแรงดัน และปุ่มหลังก็เป็นแรงดันสูงประมาณ 80% ของทิกคแรงดัน ถ้าขณะที่ต่ออยู่กับปุ่มแรกมอเตอร์ไม่สามารถขับโหลดและเร่งความเร็วขึ้นไปได้ ก็ให้เลื่อนไปใช้ปุ่มที่มีระดับแรงดันสูงกว่า ซึ่งให้แรงบิดเริ่มหมุนสูงตามต้องการ ให้เมื่อเลือกปุ่มที่เหมาะสมก็ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับโหลดแล้ว จะต่ออยู่กับสวิตช์โยกชนิด 3 ชั้น 2 ทาง (TPDT) ดังในรูป 2.2



รูป 2.2 แสดงการต่ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์เลือกแรงดันไฟฟ้า

จากรูป 2.2 เมื่อต้องการให้มอเตอร์เริ่มหมุนจะโยกไปทางตำแหน่ง "start" ก่อน รอจนกระทั่งมอเตอร์เร่งความเร็วขึ้นจนเกือบถึงพิกัด จึงโยกไปสู่ตำแหน่ง "Run" ที่ตำแหน่งนี้ มอเตอร์จะต่อกล่อมอเตอร์โดยตรง จะเห็นว่าเครื่องช่วยหมุนนี้ใช้เฉพาะช่วงสตาร์ท ซึ่งเป็นระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น ดังนั้น การออกแบบพิกัดกระแสของเครื่องจึงขึ้นอยู่กับช่วงเวลาใช้งานที่เป็นห้วง ๆ (Intermittent Duty) ในทางปฏิบัติจะกำหนดค่าไว้ต่ำกว่าหม้อแปลงธรรมดาที่ใช้เป็นตัวจ่ายกำลังให้อินตักซ์มอเตอร์ชนิดต่อเนื่อง (Continuous) ออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ ที่ใช้เป็นเครื่องช่วยหมุนนี้จะทำหน้าที่ลดกระแสได้ถึง 2 ทาง คือ

1. ลดลงเนื่องจากผลของการลดแรงดันที่ป้อนเข้ามอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

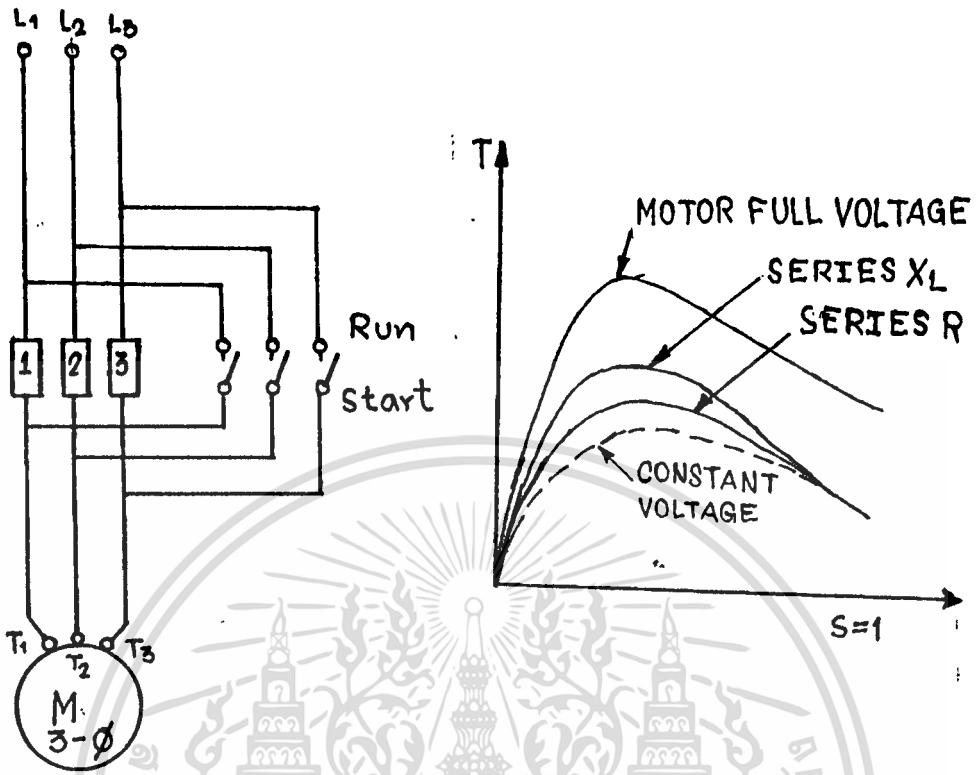
2. ลดลงเนื่องจากอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง (transformation ratio) ทำให้กระแสในไลน์ทางบ้านปฐมภูมิ ต่ำกว่ากระแสทางบ้านทุติยภูมิที่ไหลผ่านมอเตอร์

ถ้า m เป็นอัตราส่วนของ auto-transformer

เพราะฉะนั้น กระแสเริ่มแรกจะลดลงไป m^2 ของกระแสขณะสาร์ทที่ศึกษาเต็ม หักัด และแรงบิดก็จะลดลงไปเป็น m^2 ด้วย

การสาร์ทโดยใช้รีซิสเตอร์หรือรีแอคเตอร์ต่ออันกับลดแรงดัน

ถ้าใช้รีซิสเตอร์ R หรือ รีแอคเตอร์ X_L ต่อกันระหว่างไลน์กับมอเตอร์ ก็จะทำให้กระแสและแรงบิดเริ่มหมุนลดลงได้เช่นเดียวกัน วิธีการสาร์ทแบบนี้ บางครั้งเรียกว่า "Primary Impedance Acceleration" ดังรูป 2.3.(ก) ซึ่งเป็นรูปการต่อวงจรควบคุมและรูป 2.3 (ข) เป็นรูปของกราฟของแรงบิด - สลิปที่ได้จากการต่อ R หรือ X_L อันดับเข้าไป ซึ่งจะแตกต่างกับกราฟของการลดแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงที่มีแรงดันคงที่ และกราฟขณะทำงานเต็มหักัดแรงดัน (Full voltage) ซึ่งอาจอธิบายผลแตกต่างนี้ได้ว่า ขณะหักัด R หรือ X_L เข้าไปในวงจรและให้มอเตอร์เริ่มหมุน กระแสในขณะนี้มีค่าสูงมากเมื่อไหลผ่าน R หรือ X_L จะเกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงตามไปด้วย ทำให้แรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ลดลงทันทีทันใด ซึ่งแรงบิดเริ่มหมุนที่แปรตามแรงดันตกกำลังสอง ก็จะมีค่าลดลงด้วย แต่ในขณะที่มอเตอร์เร่งความเร็วขึ้น กระแสในไลน์จะค่อย ๆ ลดลงและมีค่าน้อยกว่าขณะเริ่มหมุนมาก จึงทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R หรือ X_L ค่อย ๆ ลดลงด้วย ซึ่งหมายความว่าแรงดันคร่อมสเตเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์หมุนแล้ว มีค่าสูงกว่าขณะเริ่มหมุน จึงทำให้แรงบิดที่แปรตามแรงดันตกกำลังสองมีค่าสูงกว่าแรงบิดของมอเตอร์ เมื่อรักษาแรงดันให้คงที่



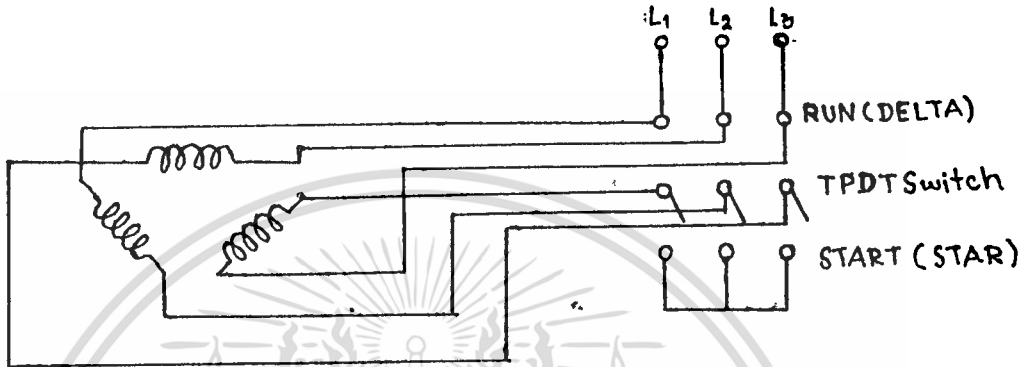
รูป 2.3 การสํารทโคจรใช้รีซิสเตอร์หรือรีแอคเตอร์ต่ออินคัมบคณรงคณ

อันที่จริงการลดแรงคณขณะเริ่มหมุน โดยวิธีการต่อความคณทาน R อันคัมกับสเตรเตอร์นี้ จะช่วยแก้เทว่วอร์แฟคเตอร์ (P.f) ขณะเริ่มหมุนให้สูงขึ้น แต่เนื่องจากมีกำลังสูญเสียที่เกิดจาก I^2R มากกว่า จึงทำให้กราฟแรงบิคสูงสุด มีค่าคํ่ากว่าเมื่อใช้รีแอคเตอร์ X_L ที่มีคํ่าอิมพีแดนซ์ขนาดเทว่ ๆ กันมาต่อ ตามรูป 2.3 (ข) ก็ จะเห็นว่คํ่าอิมพีแดนซ์ของ R และ X_L มีคํ่าเทว่กัน จะทำให้กระแสและแรงบิคเริ่มหมุนในช่วงสํารทเทว่กัน แต่ประโยชน์ของการใช้ X_L สํารท จะช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจาก I^2R ลงได้ จึงทำให้แรงบิคสูงสุด มีคํ่าสูงกว่าและราคาก็จะแพงว่คํ่าย ในการใช้ X_L สํารทนี้ส่วนมากจะใช้กับอินคัมบคณเตอร์ ที่มีแรงมํามาก ๆ

กฎสํารทมอเตอร์โคจรต่อสํารท - เกลคํ่า

ขกวดททางสเตรเตอร์ของสโควเรลเจจอินคัมบคณเตอร์ชนิด 3 เฟส ส่วนใหญ่จะคํ่าเป็นแบบเกลคํ่า และผู้ผลิตนิยมไหลซ้วยสําย เพื่อคํ่าใช้งานไว้ขํางนอก โดยม้อกษรคํ่ากับซ้วยเอกสารนเป็นเอกสารทสงวนไว้สํารทการใช้งานเพื่อการศึกษาเทว่กัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกรคํ่าไม่ว่กรณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื่อหา และต้องอํางอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายไว้ในกรณีนี้ที่สคาร์ท เป็นแบบสคาร์ทจะมีแรงดันตกคร่อมขดลวดแต่ละขด เพียงเศษหนึ่งส่วน
สแควรูทสาม $(1/\sqrt{3})$ หรือ 57.8% ของแรงดันไลน์ แสดงว่าการสลับแบบสคาร์ท-เคลต้า
ด้วยวิธีง่าย ๆ โดยใช้ TPDT Switch ดังรูป 4



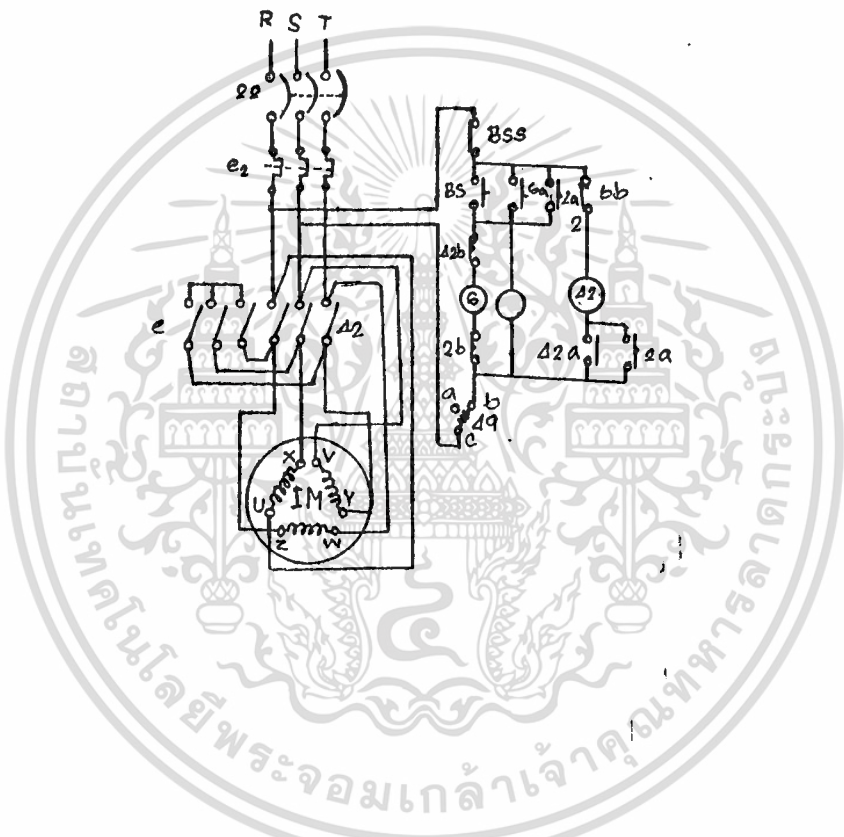
รูป 2.4 การสคาร์ทมอเตอร์แบบ สคาร์ท - เคลต้า โดยใช้ TPDT SWITCH

จากรูปเมื่อสคาร์ทมอเตอร์ให้สลับสวิทช์ TPDT ไปในตำแหน่งสคาร์ท ซึ่งจะทำให้
ขดลวดคือเป็นแบบสคาร์ท และได้รับแรงดันเกินครึ่งที่กักไปเล็กน้อย แต่เมื่อหมุนถึงสภาวะหนึ่ง
จึงสลับสวิทช์ ให้คือเป็นเคลต้าและแรงดันเต็มทัก เนื่องจากแรงบิดเปลี่ยนแปลงตามแรงดัน
ยกกำลังสอง ดังนั้นการลดแรงดันลงเศษหนึ่งส่วนสแควรูทสาม $(1/\sqrt{3})$ เท่าของทัก จึงทำ
ให้แรงบิดเกิดขึ้นเพียง 1/3 เท่าของขณะที่ป้อนแรงดันเต็มทักเท่านั้น ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึง
ไม่ควรต่อโหลดหนัก ๆ ไว้กับมอเตอร์ ควรเลือกโหลดที่มีค่าพอเหมาะในการสคาร์ทแบบนี้

ถึงแม้ว่าการสคาร์ทแบบนี้ จะให้แรงบิดเริ่มหมุนค่าแค่กระแสร่วมหมุนก็ลดลงเหลือ
เพียงประมาณ 58% ของขณะสคาร์ทเต็มทัก ซึ่งเป็นที่น่าพอใจ จะเห็นว่าการสคาร์ทโดยวิธีนี้
จะมีราคาถูกที่สุด เมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ ที่ต้องต่ออุปกรณ์หรือเครื่องช่วยหมุนเข้าไปในวงจร
จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก

ในการสลับสวิทช์ที่เปลี่ยนการต่อขดลวดจากสคาร์ทเป็นเคลต้า จะต้องทำอย่างรวดเร็ว
เท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้เพื่อขจัดกระแสทรานเซียนท์สูง (high transient currents)
ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในขณะโยกสวิทช์ และทำให้เกิดกำลังสูญเสียชั่วคราว (momentary
power loss) ขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงไม่ควรใช้สวิทช์ใบมีด (knife-blade switch)

โดยใช้มือโยกกับงานชิ้นนี้ ดังนั้น TPDT Switch ที่แสดงคังรูป 2.4 จึงไม่เหมาะสม จะต้องเปลี่ยนเป็นสวิตช์ที่มีสปริงช่วยคืนกลับอย่างรวดเร็ว (Spring load Snap Action) ในขณะสับสวิตช์เปลี่ยนตำแหน่ง หรือจะใช้แมกเนติกสวิตช์ คังรูป 2.5 แทนก็ได้



รูป 2.5 วงจรสแตร์มอเตอร์แบบสแตร์-เคลต้า โดยใช้แมกเนติกสวิตช์

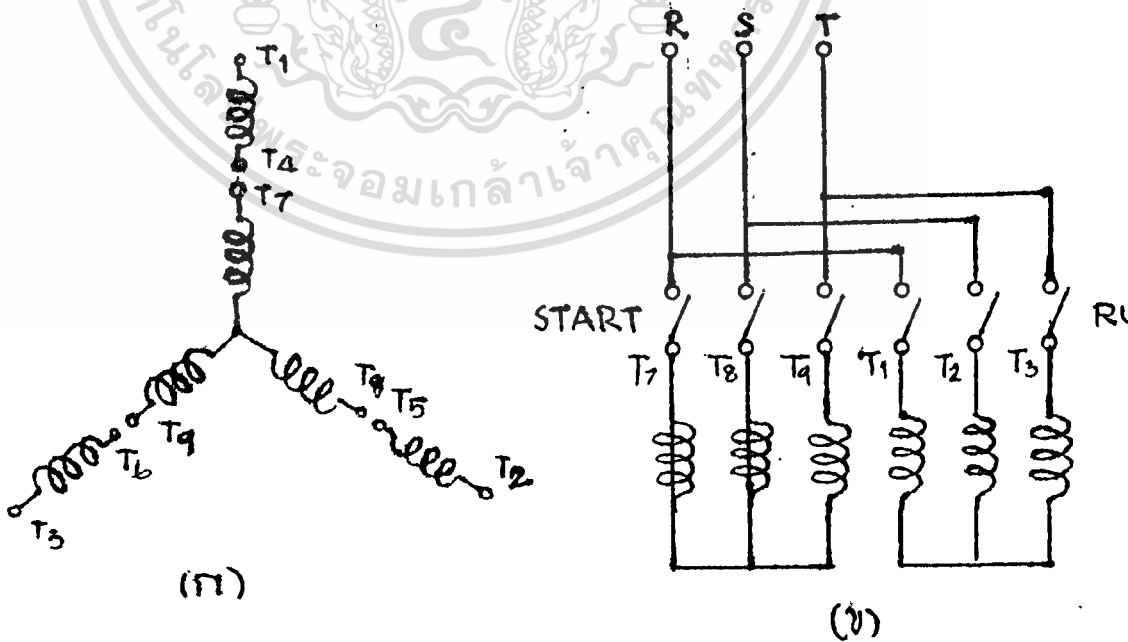
- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| IM = มอเตอร์เหนี่ยวนำ | 2 = ตัวคั้งเวลาหน่วง |
| BS = สวิตช์กัก (เปิด) | 6 = คอนแทกแม่เหล็กสำหรับค้ววงจรสแตร์ |
| BSS = สวิตช์กัก (ปิด) | 22 = เซอร์กิตเบรกเกอร์ |
| a = วงจรปิดเมื่อขลาควคได้รับกระแส | 42 = คอนแทกแม่เหล็กสำหรับวงจร เคลต้า |
| b = วงจร เปิดเมื่อขลาควคได้รับกระแส | 49 = เทอร์โมสแตท |

วงจรสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์ท - เคลตา โดยใช้สวิตช์แม่เหล็กแม่เหล็ก ดังรูป 2.5 ใช้กับมอเตอร์ชนิดกรงกระรอก ที่ออกแบบให้มีขนาดกำลังเต็มพิกัด เมื่อต่อวงจรของมอเตอร์แบบ delta ใช้กับมอเตอร์ขนาด 5.5 kw. - 15 kw.

ขณะเริ่มสตาร์ท ตัวสตาร์ทจะต่อวงจรสเตเตอร์ของมอเตอร์แบบสตาร์ท ทำให้กระแสขณะเริ่มสตาร์ทลดลง และเมื่อมอเตอร์เร่งขึ้นสู่ความเร็วรอบของการ RUN วงจรสตาร์ทจะถูกปลดออกและต่อวงจรเป็นแบบ DELTA แทนเพื่อใช้งานปกติระบบ การควบคุมการตัดต่อเปลี่ยนวงจร STAR - DELTA อาศัยคอนแทกแม่เหล็ก ถ้าอิมพีแดนซ์ วงจร STAR และ DELTA ต่างกันอยู่ถึง 3 เท่า เพราะฉะนั้น กระแสเริ่มแรกจะลดลงเป็น 1/3 ของกระแสเริ่มสตาร์ทแบบ DELTA และแรงบิดเริ่มแรกจะลดลงเป็น 1/3 เท่า ของแรงบิดแบบ DELTA

การสตาร์ทมอเตอร์โดยต่อกับบางส่วนของขลวด

สไลด์แรง เจริญศักดิ์ขึ้นมอเตอร์ ชนิด 3 เฟส จะพบข้อ ๆ ว่า ขลวดทางสเตเตอร์นั้นแยกพันออกเป็น 2 ชุด โดยมีจำนวนรอบและขนาดขลวดเท่ากันทุกประการ ขลวดทั้งสองชุดนี้จะต้องพันให้มีขั้วแม่เหล็กเท่ากัน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนค่าเดียวกัน ที่ปลายขลวดชุดหนึ่งจะต่อเป็นแบบสตาร์ทและไหลปลายสายที่เหลืออีก 9 ขั้ว ออกมาเพื่อต่อใช้งาน ดังแสดงในรูป 2.6 (ก)



รูป 2.6 การสตาร์ทมอเตอร์โดยต่อกับบางส่วนของขลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์ของการพันแบบนี้ ก็เพื่อให้มอเตอร์ทำงานกับแรงดัน 2 ระดับ เช่น 220/440 V ถ้าจะให้มอเตอร์ใช้กับระบบแรงดันสูง 440V ต้องต่อขลาคอนตัน (series) กันคือ ต่อปลายสาย T₄ กับ T₇ T₅ กับ T₈ และ T₆ กับ T₉ แต่ถ้าจะทำงานกับระบบแรงดันค่า 220V ต้องต่อขลาคอนตันเป็นแบบสตาร์ 2 ชูค โดยต่อปลาย T₄ T₅ และ T₆ เข้าด้วยกันเป็นจุดสตาร์ ชูคที่ 2 (second star point) ดังแสดงในรูป 2.6 (ข)

การต่อขลาคอนตันแบบสตาร์ 2 ชูคนี้ นอกจากจะต่อเพื่อให้เหมาะสมกับแรงดันใช้งานแล้ว การแยกขลาคอนตันยังมีประโยชน์ในการควบคุมกระแสเริ่มหมุนของมอเตอร์อีกด้วย กล่าวคือในการสตาร์ทถ้าต่อขลาคอนตันใช้งานเพียงชูคเดียว จะช่วยลดกระแสเริ่มหมุนลงเหลือประมาณ 65% ของกระแสเริ่มหมุนเต็มพิกัดโดยเทียบกับเมื่อต่อขลาคอนตัน 2 ชูค และป้อนแรงดันเต็มพิกัด จะเห็นว่าวิธีการสตาร์ทมอเตอร์วิธีนี้ เป็นการต่อขลาคอนตันบางส่วนในขณะที่เริ่มหมุน (part winding Starting) หรืออาจกล่าวได้ว่า ใช้ขลาคอนตันเพียงครึ่งหนึ่ง ช่วยในการหมุนแต่เมื่อมอเตอร์และเร่งความเร็วขึ้นจนเกือบถึงพิกัดจึงสับสวิทช์ RUN ให้ขลาคอนตันที่ 2 ต่อขานเข้าไปอีกชูคหนึ่ง เพื่อเพิ่มแรงบิดจุดไหลกให้กับมอเตอร์ขณะหมุน

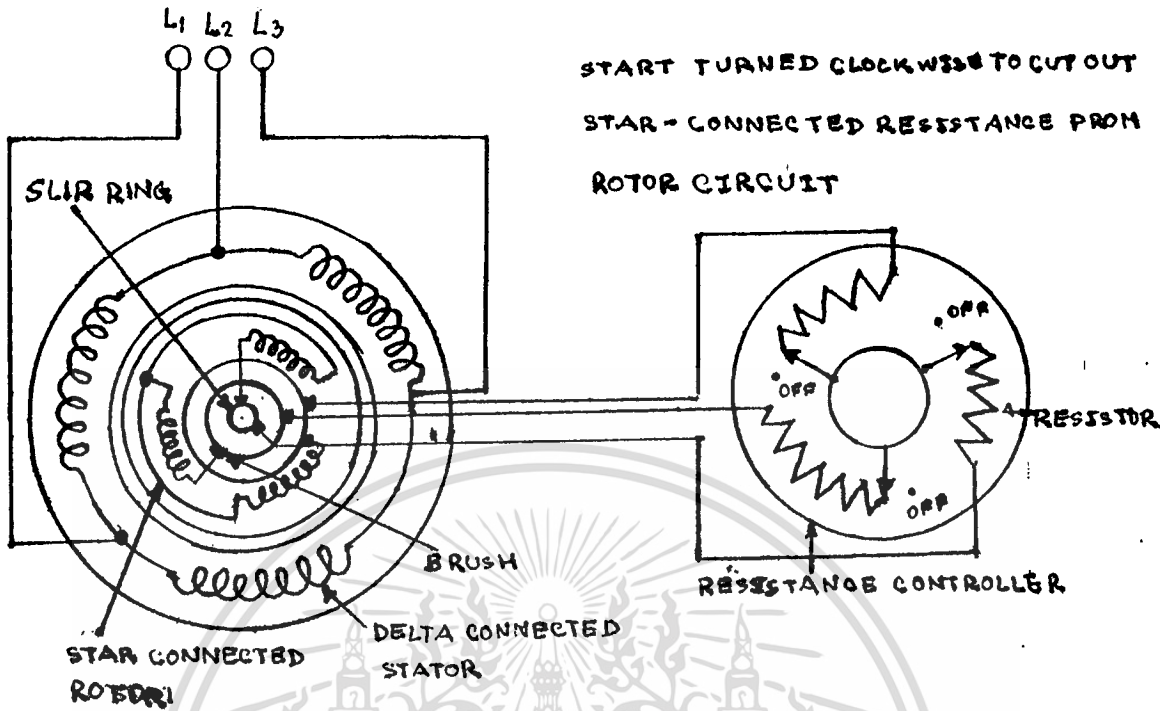
การลดกระแสเริ่มหมุนโดยวิธีนี้ ก็จะทำให้แรงบิดเริ่มหมุนลดลงเช่นเดียวกัน คือแรงบิดจะเหลือประมาณ 45% ดังนั้นในสภาวะเริ่มหมุนจึงการให้มอเตอร์จุดไหลกเบา ๆ หรือไม่ต่อไหลกนั้นคือ มอเตอร์ที่สตาร์ทโดยวิธีนี้ การนำไปใช้กับงานประเภทหัดลม หรือหัดลมเป่าอากาศ เป็นต้น

การสตาร์ทมอเตอร์แบบทอตัวความต้านทานทาน PRIMARY START

ตัวสตาร์ทชนิดนี้ใช้ตัวต้านทานแทนลงในวงจรเหนี่ยวนำดังกล่าวมาแล้วข้างต้น และตัวความต้านทานสตาร์ทก็ใช้ลักษณะเดียวกันกับตัวเหนี่ยวนำสตาร์ท

การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ WOUND ROTOR

ในการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด SOUND ROTOR ส่วนใหญ่จะใช้วิธีสตาร์ทโดยใช้ความต้านทานต่อเข้าสู่วงจรทางทาน ROTOR



WIRING DIAGRAM SHOWING RESISTANCE CONTROLLER CONNECTED TO A WOUND-ROTOR MOTOR FOR STARTING.

รูป 2.7

รูป 2.7 Wiring Diagram ของการสตาร์ทอินคักชั่นมอเตอร์ชนิด Wound Rotor

เราจะทำการต่อความต้านทานภายนอกผ่านวงแหวนลื่นเข้าสู่วงจรทุติยภูมิ และถอย ๆ ลดค่าความต้านทานลงขณะมอเตอร์เร่งความเร็วหลังจากการเริ่มสตาร์ท

สำหรับตัวความต้านทานที่ใช้โดยทั่วไปใช้ความต้านทานโลหะขดลวด แต่สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ ๆ อาจใช้ความต้านทานของเหลวได้ แต่ความต้านทานทางคานวงจร rotor ไม่สามารถทำหน้าที่ใช้เป็นตัวความต้านทาน สำหรับการควบคุมความเร็วรอบได้

จากการศึกษารายละเอียดของการสตาร์ทมอเตอร์เหนือนำในแคละวิธีที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์พิจารณาถึงข้อดี ข้อเสียของการสตาร์ทในแต่ละวิธีได้ดังนี้

การสตาร์ทโดยใช้สัดักคาไฟฟ้าเต็มทิกัก

หมายถึงการสตาร์ทโดยการบ่อนสัดักคาไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์โดยตรง

- ข้อดี**
- 1) วิธีนี้เป็นวิธีที่ดี มีความต้องการมากที่สุด เพราะระบบสตาร์ทไม่ยุ่งยาก
 - 2) ความผิดพลาดในการเดินเครื่องน้อย
 - 3) การติดตั้งประหยัด
 - 4) มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง

ข้อเสีย 1) เนื่องจากการสตาร์ทโดยวิธีนี้ จะมีค่ากระแสขณะสตาร์ทสูงมาก ทำให้ไม่สามารถสูงมาก ทำให้ไม่สามารถใช้ไค้กับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่มาก โดยมีขนาดจำกัด คือ

มอเตอร์กรงกระรอกแบบธรรมดา ตั้งแต่ 5.5 kw. ลงมา

มอเตอร์กรงกระรอกพิเศษ ตั้งแต่ 11 kw. ลงมา

- 2) ต้องใช้ตัวควบคุมการสตาร์ทแบบสวิตซ์แม่เหล็กหรือ เซอร์คิตเบรกเกอร์ชนิดโมล

การสตาร์ทโดยการลัดสัดักคาไฟฟ้า

นิยมใช้กับมอเตอร์เหนียวนำชนิดกรงกระรอก เพื่อต้องการลัดค่ากระแสขณะสตาร์ท

โดยการลัดสัดักคาไฟฟ้าที่บ่อนเข้ามอเตอร์ มีผลทำให้แรงบิกขณะสตาร์ทมีค่าลดลงด้วย สำหรับวิธีต่าง ๆ ที่นิยมใช้มีดังนี้

(1) การสตาร์ทแบบ STAP - DELTA START

- ข้อดี**
- 1) กระแสขณะสตาร์ทจะลดลงเหลือเพียง 1/3 เท่าของ I_L ขณะสตาร์ทเต็ม
 - 2) ระบบการติดตั้งประหยัดกว่าในการสตาร์ทแบบลัดสัดักคาไฟฟ้าด้วยกัน

ข้อเสีย 1) แรงบิกขณะสตาร์ทจะลดลงเหลือ 1/3 เท่าของแรงบิกเต็มด้วย ทำให้ใช้กับการ Start ของมอเตอร์ที่มีแรงบิกเริ่มแรกต่ำ

- 2) นิยมใช้กับมอเตอร์กรงกระรอกที่ออกแบบให้มีขนาดกำลังเต็มทิกัก เมื่อต่อวงจร stator แบบ delta และมอเตอร์ที่ใช้มีขนาด 5.5 kw. - 15 kw.

(2) การสตาร์ทแบบ AUTO - TRANSFORMER START

- ข้อดี**
- 1) การลัดสัดักคาไฟฟ้าที่บ่อนเข้ามอเตอร์สามารถเลือกใช้ไค้หลายค่า โดยการเลือก tap

- 2) ถ้าสัดักกาลดลงจากเต็มเป็น m เท่า กระแสขณะสตาร์ทจะลดลงเป็น m^2 เท่าของกระแสขณะสตาร์ทเต็ม

- ข้อเสีย 1) แรงบิกขณะสาร์ทที่จะลดลงไปเหลือ m^2 เท่า ของแรงบิกเดิมควย ทำให้ไม่สามารถลดค่าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ได้มากนัก
- 2) ค่าใช้จ่ายในการสาร์ท วิธีนี้สิ้นเปลืองมากกว่าวิธีที่กล่าวมา
- 3) การสาร์ทเป็นแบบ manual
- (3) การสาร์ทแบบใช้ตัวเหนี่ยวนำต่อทางคาน PRIMARY
มีลักษณะคุณสมบัติคล้ายกับการสาร์ทแบบ auto-transformer
- (4) การสาร์ทแบบใช้ความต้านทานต่อทางคาน PRIMARY
การสาร์ทวิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้กัน เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในตัวความต้านทาน

การสาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด WOUND ROTOR

โดยอาศัยการต่อความต้านทานเข้าทางคานวงจรของ

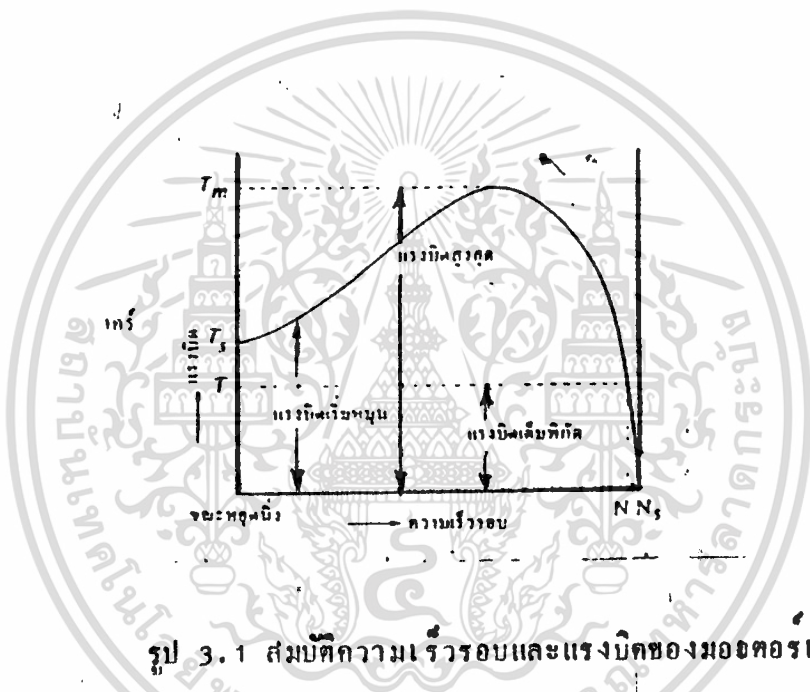
- ข้อดี 1) สามารถลดค่ากระแสสาร์ท โดยอาศัยความต้านทานภายนอกที่ใช้ต่อ
- 2) สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของความเร็ว - แรงบิกของมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายนอก
- ข้อเสีย 1) ใช้ได้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด wound rotor เท่านั้น
- 2) ประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าต่ำ เนื่องจากการสูญเสียในความต้านทาน
- 3) จะมีน้ำหนักราว 120% - 150% มีราคาสูง
- 4) มีค่า power factor ต่ำ

บทที่ 3

สมบัติความเร็รรอบ - แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(TORQUE-SPEED CHARACTERISTIC OF INDUCTION MOTOR)

สมบัติความเร็รรอบ - แรงบิดของมอเตอร์จะแสดงถึงแรงบิดที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็รรอบของมอเตอร์ รูป 3.1 แสดงลักษณะแรงบิดที่ความเร็รรอบต่าง ๆ ของมอเตอร์เริ่มต้นจากจุดเริ่มสตาร์ทไปจนถึงความเร็รรอบเต็มพิกัดโหลด N แล้วเลยออกไปถึงความเร็รรอบ ซิงโครนัส N_s



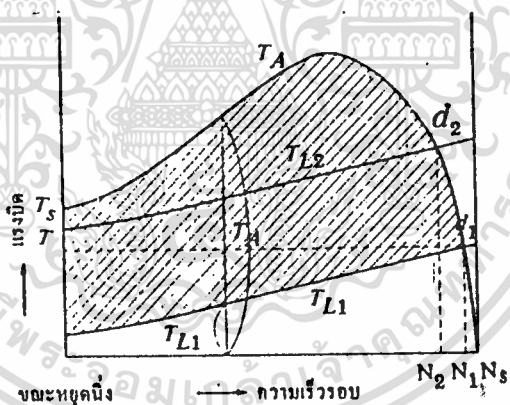
รูป 3.1 สมบัติความเร็รรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสชนิดกรงกระรอก

แรงบิดขณะเริ่มสตาร์ท T_s คือ แรงบิดของมอเตอร์ขณะที่เดินเครื่องใช้งานเต็มพิกัดกำลัง และความเร็รรอบของมอเตอร์ที่แรงบิดนี้เรียกว่าความเร็รรอบเต็มพิกัด

ถ้าเพิ่มโหลดขึ้นเรื่อย ๆ จากขณะที่มอเตอร์เดินเต็มพิกัด โหลดอยู่จนกระทั่งโหลดสูงมาก จนทำให้ค่าแรงบิดที่ต้องการสูงเกินแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ มอเตอร์จะลดความเร็วลงอย่างรวดเร็ว เสียสมดุลและหยุดลงในที่สุด ค่าแรงบิดสูงสุดที่รับได้ของมอเตอร์นี้จะเรียกว่า ค่าแรงบิดสูงสุด T_m

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วค่าแรงบิด T_s และ T_m ของมอเตอร์จะเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงบิดขณะโหลดเต็มที่ T

ถ้าเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และแรงบิดของมอเตอร์เป็น T_A และเส้นแสดงความสัมพันธ์ แรงบิดที่ต้องการของเครื่องจักรโหลดเป็น T_{L1} แล้วส่วนต่างกันระหว่างแรงบิดทั้งสอง ถ้ายิ่งมากเท่าไรก็จะทำให้การเริ่มต้นสตาร์ทเป็นไปได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งค่าดังกล่าวเราเรียกว่าค่าแรงบิดเร่ง (accelerating torque) $(T_A - T_{L1})$ ส่วนแรงขาของรูป 3.2 จะแสดงพื้นที่ของแรงบิดเร่งดังกล่าวที่จุดตัด d_1 ของเส้นกราฟ T_A และ T_{L1} จะเป็นจุดสมดุลที่แรงบิดเร่งเป็นศูนย์ ดังนั้นมอเตอร์จะเดินเครื่องใช้งานที่ความเร็วรอบที่จุดนี้ซึ่งอยู่ที่ N_1 ถ้าแรงบิดขณะใช้งานเต็มพิกัดของมอเตอร์อยู่ที่จุด d_1 มอเตอร์ก็จะมีขนาดพอดีเหมาะสมที่จะเลิกใช้งานในลักษณะดังกล่าว



รูป 3.2 แรงบิดส่วนเร่ง (accelerating torque) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ถ้าแรงบิดที่ต้องการของโหลดเพิ่มขึ้นเป็น T_{L2} มอเตอร์ก็จะมีแรงที่วะสตาร์ทได้แต่โดยที่แรงบิดเร่งลดน้อยลง จะมีผลทำให้เครื่องจักรรวมสตาร์ทได้ช้าและมอเตอร์ต้องการใช้งานที่แรงบิด d_2 ซึ่งพอดีกับความเร็วยรอบที่ลดลงสู่ความเร็วรอบใหม่ N_2 ซึ่งจะมีผลทำให้ระบบเครื่องอยู่ในลักษณะโอเวอร์โหลด ดังนั้นถ้ากราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

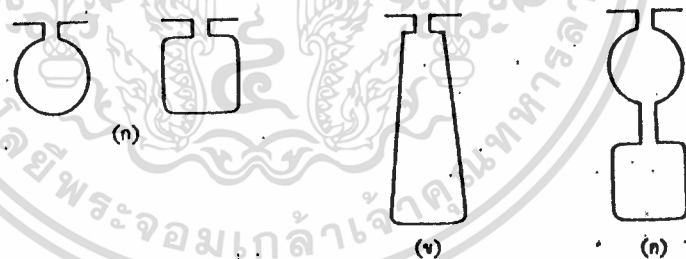
ขึ้นพอเหมาะที่จะใช้งานในแรงบิดที่เพิ่มขึ้น

การเปรียบเทียบสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสชนิดโรเตอร์กรงกระรอกแบบต่าง ๆ กัน

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสชนิดโรเตอร์กรงกระรอกจะให้สมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดต่าง ๆ กันตามสภาพโครงสร้างของโรเตอร์ ซึ่งสามารถแยกประเภทออกได้ดังนี้

(1). โรเตอร์กรงกระรอกธรรมดา

โครงสร้างสล็อตของโรเตอร์เป็นไปดังแสดงในรูป 3.3 (ก) ซึ่งมอเตอร์ดังกล่าวนี้จะมีใช้กันอยู่ทั่วไปในมอเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งมีพิทักกำลังตั้งแต่ 3.7 kw. (5 แรงม้า) ลงมา มีช่วงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบน้อยเป็นมอเตอร์ที่มีสภาพใช้งานทั่ว ๆ ไป เหมาะสมที่ไม่ต้องการ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ



รูป 3.3 ลักษณะของร่องสล็อตในโรเตอร์ชนิดต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำกรงกระรอก

ลักษณะสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดของมอเตอร์ดังกล่าวเป็นไปดังเส้นโค้ง A ในรูป 3.4 ซึ่งแสดงค่า ความเร็วรอบไว้เป็นเปอร์เซ็นต์ของความเร็วรอบซิงโครนัสในค่านแกนนอน และแรงบิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงบิดเต็มพิทักไว้ในค่านแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

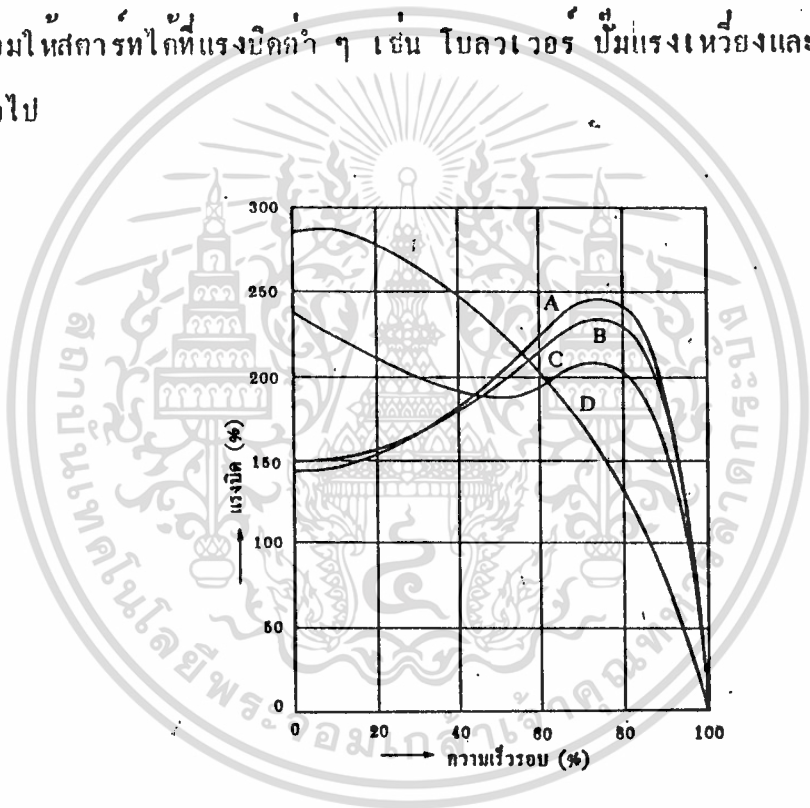
แรงบิดขณะเริ่มสตาร์ท

ค่าประมาณแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทของมอเตอร์ประเภทนี้ขึ้นอยู่กับจำนวน ขั้วของมอเตอร์โดยมีขนาด

| | |
|--------|-----------------------------|
| 2P, 4P | ราว 150% ของแรงบิดเต็มพิกัด |
| 6P | ราว 135% ของแรงบิดเต็มพิกัด |
| 8P | ราว 125% ของแรงบิดเต็มพิกัด |

การนำไปใช้งาน

มอเตอร์ชนิดนี้จะเหมาะสมใช้งานกับโหลดที่มีความเร็วรอบคงที่และ ยอมให้สตาร์ทได้ที่แรงบิดค่า ๆ เช่น โบลเวอร์ ปั่นแรงเหวี่ยงและเครื่องจักรกล ทั่วไป



รูป 3.4 สมบัติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิด ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวที่ใช้โรเตอร์แบบกรงกระรอก

(2). โรเตอร์กรงกระรอกพิเศษ (สลอตลึก)

ถ้าสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดของมอเตอร์ดังกล่าวแสดงไว้ในรูป B ของรูป 3.4 ค่าของแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทจะสูงกว่าเล็กน้อยและค่าแรงบิดสูงสุดจะลดลงเล็กน้อยเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีรูป A ของมอเตอร์ชนิดดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ส่วนหนึ่งสำหรับใช้ภายในหน่วยงานที่มอบหมายให้จัดทำเอกสารนี้ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

มอเตอร์ชนิดโรเตอร์กรงกระรอกธรรมดา

(3). โรเตอร์กรงกระรอกพิเศษ (กรงกระรอกสองชั้น-แท่ง ตัวนำอย่าง
ธรรมดา)

ช่องสล็อตของโรเตอร์แยกออกเป็นสองแถวตั้งฉากไว้ในรูป 3.3 (ก)
และค่าความต้านทานของตัวนำต่ำ ทำจากทองแดงหรือลুমินีเยียม

ค่าสัมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดของมอเตอร์ดังกล่าว แสดงไว้ในรูป C
ของรูป 3.4 แรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทจะสูงขึ้นเป็น 200 ถึง 250% ของแรงบิดเต็ม
พิกัด แต่ค่าแรงบิดสูงสุดจะลดลงกว่าในกรณี A และ B

การนำไปใช้งาน

มอเตอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับโหลดที่มีความเร็วรอบคงที่ และต้องการแรง
บิดขณะเริ่มสตาร์ทสูง เช่น สายพานส่งของ เครื่องอัด เครื่องใส่ เครื่องกวาด หรือ
เครื่องสูบน้ำ

(4). โรเตอร์กรงกระรอกพิเศษ (กรงกระรอกสองชั้นแท่งตัวนำความ
ต้านทานสูง)

ช่องสล็อตของตัวโรเตอร์เป็น เน้นเดียวกับแสดงไว้ในรูป 3.3 (ก)
ซึ่งจะเหมือนกับในกรณี (3) แต่ใช้ตัวนำที่มีความต้านทานสูงแทน

ค่าสัมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดของมอเตอร์เป็นไปตามกราฟ ของรูป
3.4 ค่าของแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทจะเพิ่มมากขึ้นเป็นราว 250-350% ของแรงบิดเต็ม
พิกัดแต่ค่าแรงบิดสูงสุดจะลดลง และมีค่าสลิปสูงถึงราว 12-16%

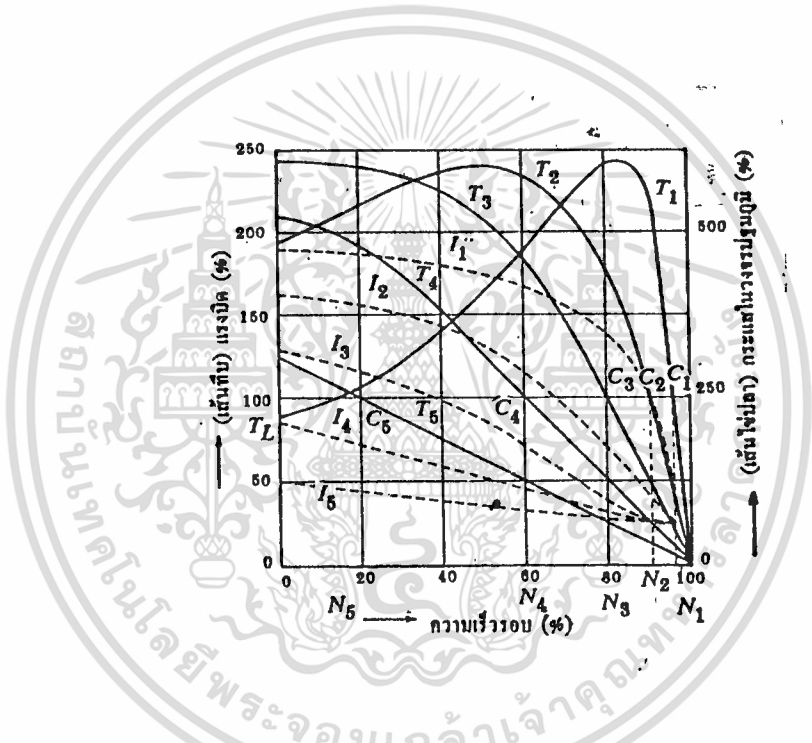
การนำไปใช้งาน

มอเตอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับนำไป ใช้งานกับโหลดประเภทที่ เก็บพลังงาน
ไว้ในล้อน้ำหนัก (fly-wheel) ขณะเร่งรอบขึ้นและจ่ายพลังงานเพื่อใช้ขณะลดความ
เร็วรอบลงเช่นในกรณีของเครื่องตัด และเครื่องกรดกระแทกขึ้นรูป และใช้กับโหลดที่
มีการหยุดเป็นช่วง ๆ เช่นในกรณีของบันจันและลิฟท์ มอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุม
ความเร็วรอบได้ และบางครั้งสามารถใช้งานเป็นมอเตอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเร็ว
รอบได้

ลักษณะสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิด ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ชนิดโรเตอร์พันขดลวด

ธรรมชาติในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์กรงกระรอกวงจักร โรเตอร์ถูกลัดวงจรด้วยวงแหวนตอนปลาย และค่าความต้านทานของโรเตอร์ตายตัวปรับไม่ได้ แต่ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์พันขดลวด กางพื้นวงจรโรเตอร์ (หรือวงจรทุติยภูมิ) เป็นการพันขดลวด แบบสามเฟสและมีการต่อวงจรเข้าสู่วงแหวนแล้วผ่านแปรงถ่านเข้าสู่ความต้านทานภายนอก ดังนั้นค่าความต้านทานของวงจรโรเตอร์ จึงสามารถปรับค่าได้โดยการเปลี่ยนค่าของความต้านทานภายนอก



รูป 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ-แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสชนิดโรเตอร์พันขดลวด

จากรูป 3.5 เมื่อมีค่าแรงบิดโหลด T_L มอเตอร์ที่มีค่าสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิด T_1 จุดใช้งานจะอยู่ที่จุด C_1 และมีค่าความเร็วใช้งานที่จะนี้เท่ากับค่าความต้านทานของวงจรโรเตอร์เพิ่มขึ้นเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติความเร็วรอบ-แรงบิดของมอเตอร์เป็น T_2 จุดใช้งานจะเปลี่ยนจาก C_1 และ N_1 ไปเป็น C_2 และ N_2 ซึ่งถ้าเพิ่มค่าความต้านทานของวงจรโรเตอร์ขึ้นไปอีก ถ้าสมบัติความเร็วรอบแรงบิดของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงจาก T_2 เป็น T_3, T_4 และ T_5 ซึ่งจะมีผลทำให้จุดใช้งานและความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงจาก C_2 และ N_2 ไปเป็น C_3, C_4 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้าหรือการเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_5, N_3, N_4 และ N_5 ตามลำดับ

ดังนั้นในกรณีของมอเตอร์เหี่ยวนำสามเฟสชนิดโรเตอร์พันขลวด ค่าความต้านทานของวงจรโรเตอร์จะสามารถปรับค่าได้ สำหรับปรับค่าความเร็วรอบ โดยการเปลี่ยนค่าของความต้านทานที่ต่ออยู่ภายนอกในขณะเดียวกัน การเพิ่มค่าความต้านทานของวงจรโรเตอร์จะเพิ่มค่าแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทและอัตราเร่งเป็นไปอย่างรวดเร็ว เพิ่มคุณสมบัติการสตาร์ทของมอเตอร์อย่างไรก็ดี มอเตอร์ชนิดนี้จะมีน้ำหนักราว 120-150% มีราคาสูงขึ้น และค่าหาเวอร์เพลทเตอร์และประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับมอเตอร์โรเตอร์กรงกระรอกที่มีขนาดพิกัดกำลังเดียวกัน

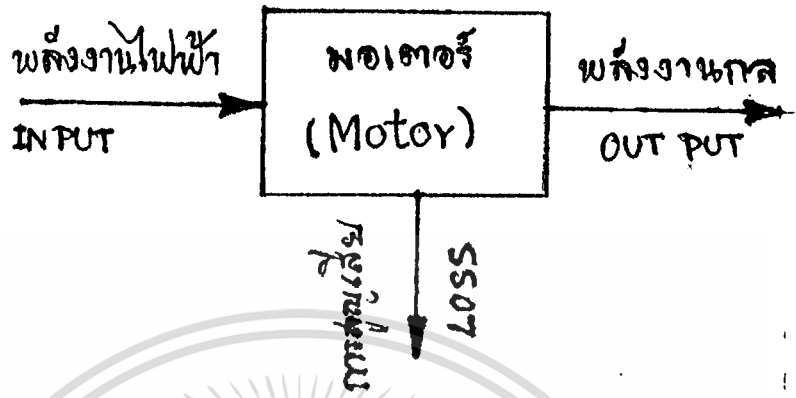
การนำไปใช้งาน

มอเตอร์ชนิดนี้เหมาะสำหรับโหลดที่ต้องการค่าแรงบิดขณะเริ่มสตาร์ทสูง และต้องการใช้งานที่ความเร็วรอบ คงที่หลังจากที่สตาร์ทเช่น สายพานส่งของ โรงสี เครื่องอัด ฯลฯ และสำหรับโหลดที่ต้องการใช้งานที่เปลี่ยนค่าความเร็วรอบได้ เช่น บันจันหรือโบลเวอร์ อย่างไรก็ดี เมื่อมีค่าสลิตเท่ากับ 50% ค่าประสิทธิภาพลดลงสู่ราว 50% หรือน้อยกว่าจึงจะมีประสิทธิภาพลดลงเรื่อย ๆ เมื่อค่าสลิตสูงขึ้นเรื่อย ๆ ต่อเนื่องกันไป ดังนั้นในช่วงการควบคุมปรับความเร็วรอบ จึงมีขีดจำกัดทางการปฏิบัติจากสาเหตุดังกล่าว

.....

บทที่ 4

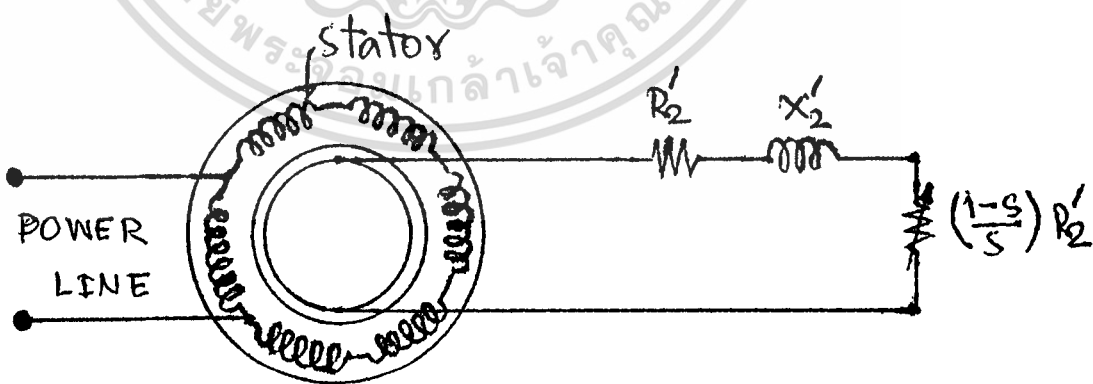
การหาวงจรมุมลยของมอเตอร์ 3 เฟส



รูป 4.1

ปัญหาทางค่านเทคโนโลยีต่าง ๆ เกือบ 100% ไม่สามารถที่จะแก้ได้ โดยการใช้ Exact Solution แต่ถ้าใช้ Approximate Solution ก็สามารรถที่จะแก้ได้ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ก็เช่นเดียวกันในการแก้ปัญหาต่าง ๆ นั้น ก็ใช้หลักการ Approximate มาใช้ ดังนั้นขั้นตอนต่อไปนี้จะเป็นการแก้ปัญหาโดยใช้หลัก Approximate เพื่อหา Parameter ต่าง ๆ ของมอเตอร์ 3 เฟส

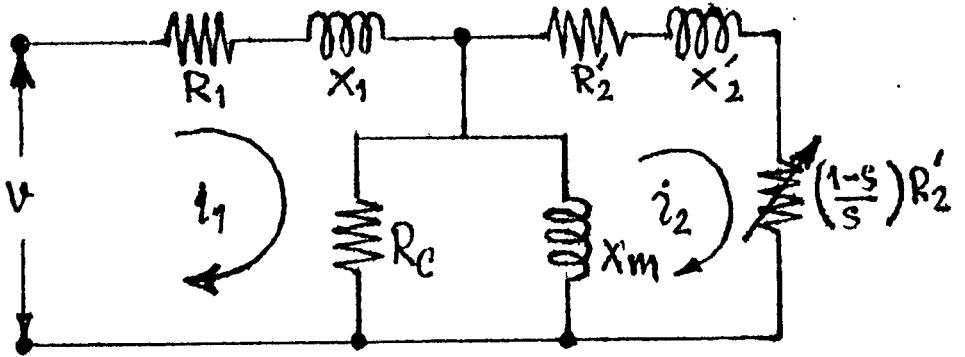
จากรูป 4.1 สามารถนำมาเขียนเป็นวงจรชลวคของมอเตอร์ได้ คือ



รูป 4.2 วงจรภายในมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.2 จะได้ว่าวงจรสมมูลภายในมอเตอร์ คือ



จากรูป 4.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์

การหาค่า Parameter ของมอเตอร์ 3 เฟส

ตัวอย่าง มอเตอร์ขนาด 7.5 H.P. 4 Pole ใช้แรงดัน 208 V, 60Hz, design class A ต่อแบบสตาร์ ซึ่งได้ทำการทดสอบค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. ทำ DC test $V_{dc} = 13.6V, I_{dc} = 28.0 A$

2. ทำ No-load test $V_T = 208V, f = 60 Hz$

$I_A = 8.12 A \quad P_{in} = 420 w.$

$I_B = 8.20 A$

$I_C = 8.18 A$

3. ทำ locked-rotor test $V_T = 25 V, f_{test} = 15 Hz$

$I_A = 28.1 A \quad P_{in} = 920 w.$

$I_B = 28.0 A$

$I_C = 27.6 A$

วิธีทำ จากการทำ D.C. test จะหาค่าความต้านทาน R_1 ได้ดังนี้

$$R_1 = \frac{V_{dc}}{2I_{dc}} = \frac{13.6}{2(28.0A)} = 0.243 \Omega$$

จากการทำ No-load test

$$I_{L, nl} = \frac{8.12A + 8.20A + 8.18A}{3} = 8.17 A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V\phi, n1 = \frac{208V}{\sqrt{3}} = 120V.$$

นำไปหาค่า Impedance $|Z_{nl}| = \frac{120V.}{8.17A} = 14.7 = x_1 + x_m$

เมื่อรู้ค่า x_1 จะสามารถหาค่า x_m ได้

หาค่า stator copper loss จาก $P_{scl} = 3I_1^2 R_1 = 3(8.17A)^2 (0.243\Omega) = 48.7Watt$

หาค่าสูญเสียขณะมอเตอร์หมุนแบบไม่มีโหลด (No-load rotational loss)

$$P_{rot} = P_{in,nl} - P_{scl, nl} = 420 w - 48.7 w. = 371.3 w.$$

จากการทำ lock-rotor test $I_L = \frac{28.14 + 28.0A + 27.6A}{3} = 27.9 A$

หาค่า Impedance ได้ $|Z_{LR}| = \frac{V\phi}{I_L} = \frac{V_T}{\sqrt{3} I_L} = \frac{25V}{\sqrt{3}(27.9A)} = 0.517 \Omega$

คังนั้นมุมของ Impedance จะได้คังนี้

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{P_{in}}{3 V_T V_L} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{920 w.}{3 (25V)(27.9A)} \right) = \cos^{-1} 0.762 = 40.4^\circ$$

ซึ่งจะได้ค่า $R_{LR} = 0.517 \cos 40.4^\circ = 0.394 \Omega$

$R_1 = 0.243 \Omega$; คังนั้น R_2 จะมีค่า = 0.151Ω

ค่า reactance ที่ $15 H_z$ เป็นคังนี้

$$X'_{LR} = 0.517 \sin 40.4^\circ = 0.335 \Omega$$

คังนั้นค่า reactance $60 H_z$ $15 H_z$

$$X_{LR} = \left(\frac{60H_z}{15H_z} \right) (0.335 \Omega) = 1.34 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 15H_z ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับมอเตอร์ตัวนี้กำหนดที่ Name plate เป็นมอเตอร์ design class ซึ่งค่า reactance อ่านได้จากตารางข้างล่างนี้

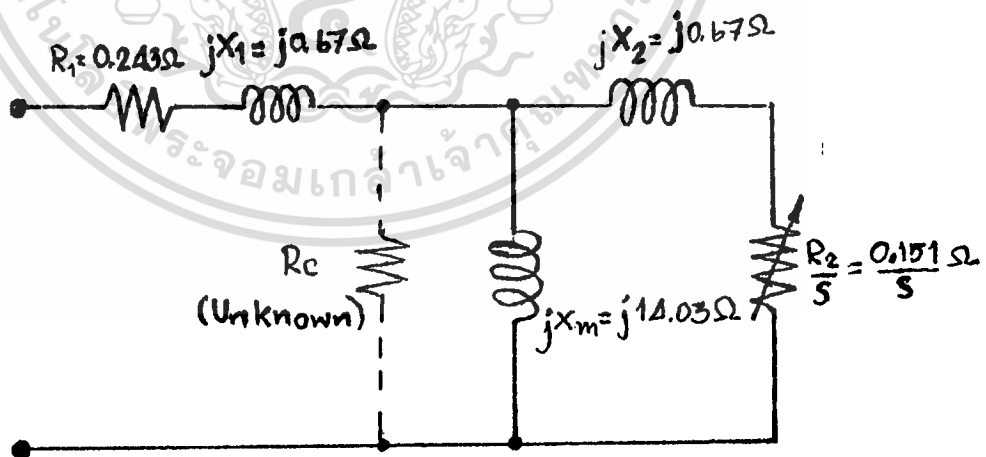
| Rotor design | X_1 and X_2 as function of X_{LR} | |
|--------------|---|--------------|
| | X_1 | X_2 |
| wound rotor | $0.5 X_{LR}$ | $0.5 X_{LR}$ |
| Design A | $0.5 X_{LR}$ | $0.5 X_{LR}$ |
| Design B | $0.4 X_{LR}$ | $0.6 X_{LR}$ |
| Design C | $0.3 X_{LR}$ | $0.7 X_{LR}$ |
| Design D | $0.5 X_{LR}$ | $0.5 X_{LR}$ |

ดังนั้น $X_1 = X_2 = 0.5 X_{LR} = 0.5 \times 1.34 = 0.67 \Omega$

และ $X_m = 14.03 \Omega$

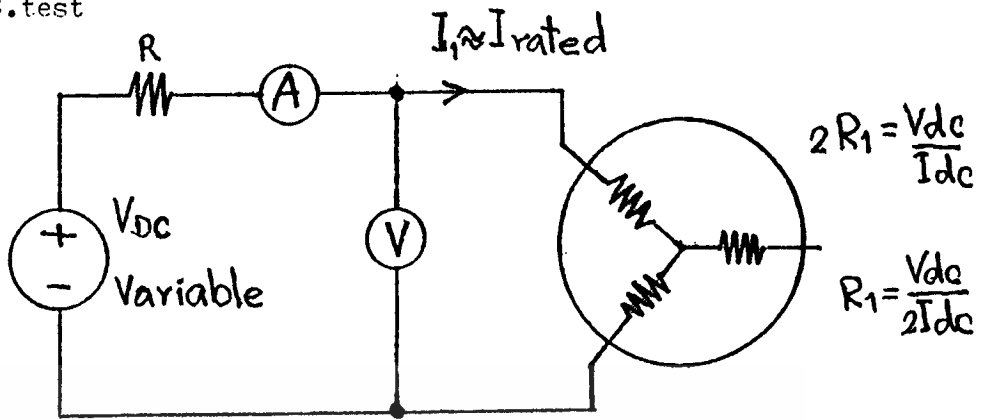
จาก $Z_{nl} = X_1 + X_m = 14.7 \Omega$

จากการกำหนดจะได้อัตรา Parameter ดังนี้



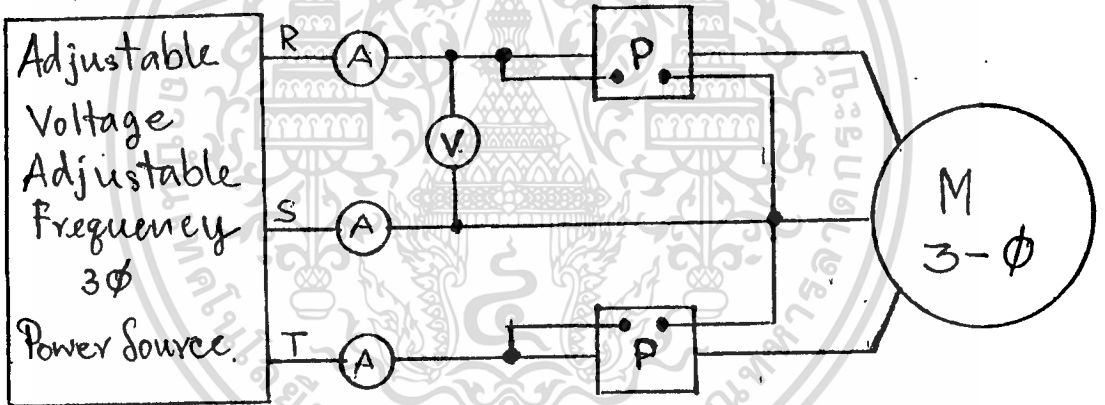
วงจรการทดลองจากการกำหนดข้างต้น

การทำ DC.test



R เป็น Current Limiting resistor

การทำ No-load test และ lock rotor test

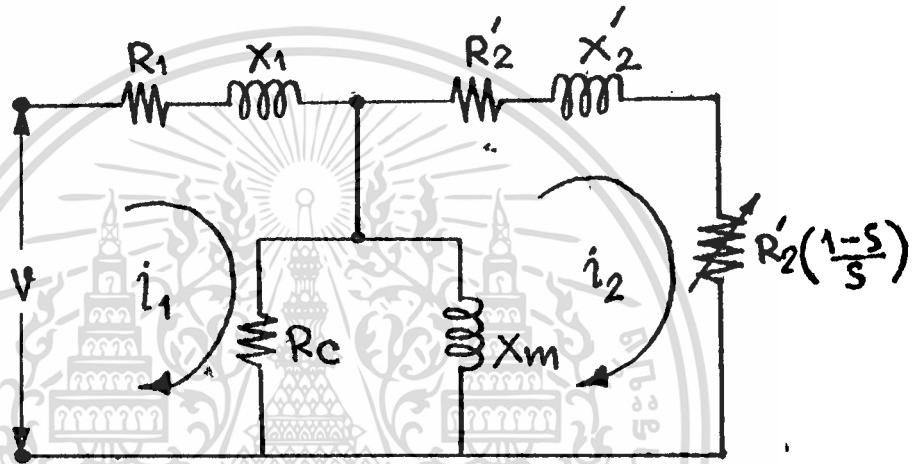
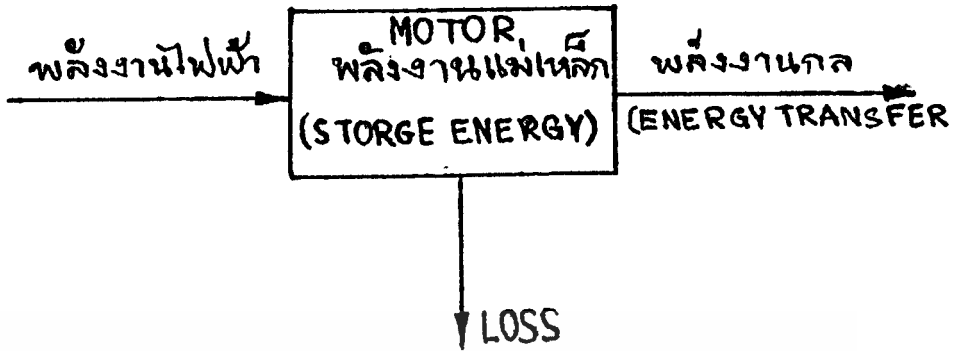


ขณะ No-load test ให้ V rated

ขณะ Lock rotor test ให้ I rated และทำการ Lock rotor ให้

ไถ่วงจรสมมุติ คือ

ได้อางจรสมมุคย คอ



จากรูปข้างบน
ที่

LOSS = A

STORGE ENERGY = B

ENERGY TRANSFER = C

∴ ได้

$R_1 = A$

$R_c = A$

$R_2' = A$

$X_1 = B$

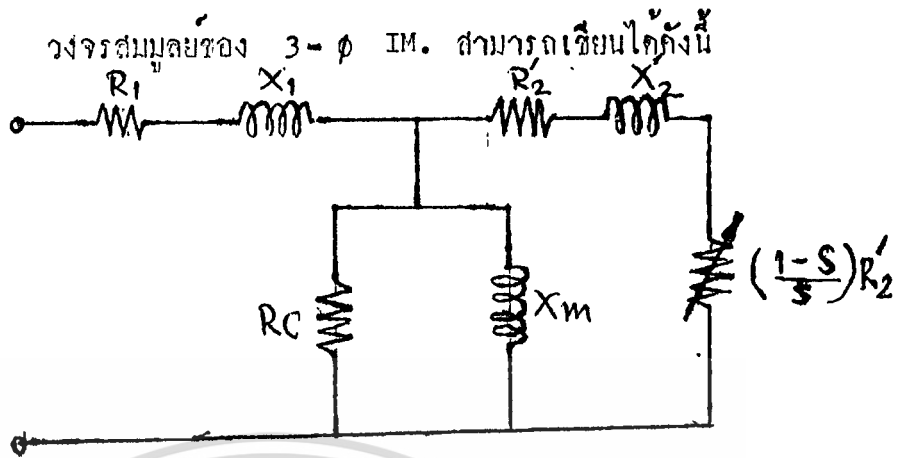
$X_2' = B$

$X_m = B$

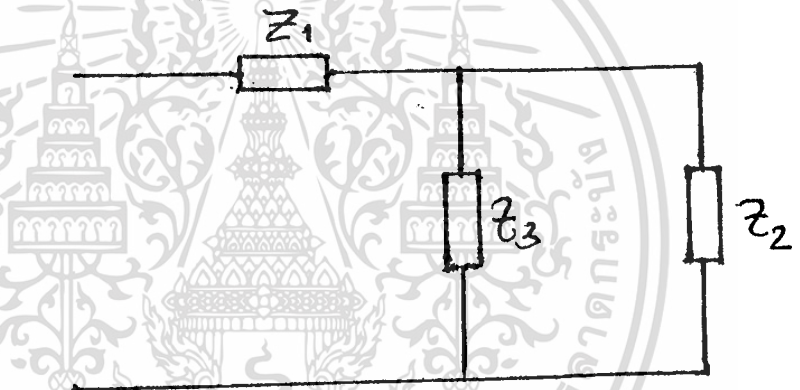
$R_2'(1-s/s) = C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าขณะมอเตอร์เริ่มหมุน



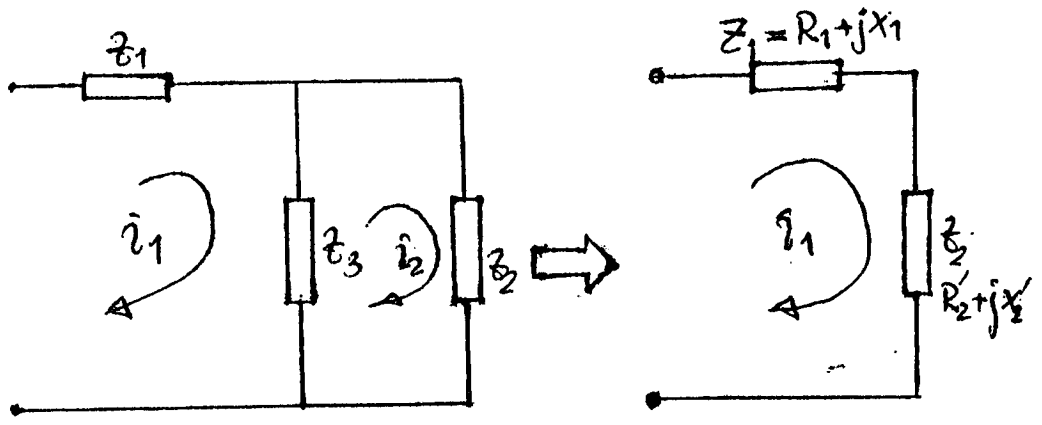
จากวงจรสมมูล สามารถเขียนเป็น Net work ได้ดังนี้



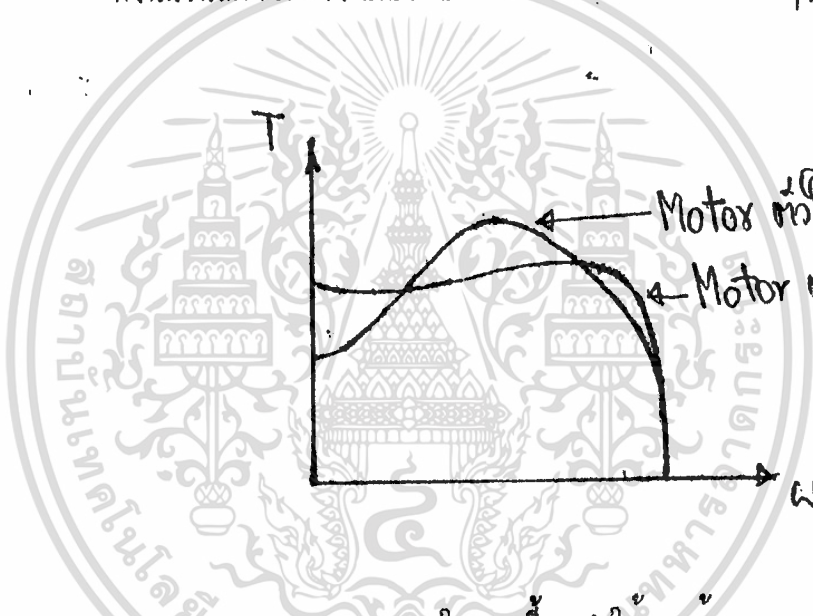
จากสถานะทั่วไป ขณะ no-load ถ้า power factor ค่า
 ขณะ start (lock rotor) ถ้า power factor ค่า

พิจารณา Net work ในสถานะ locked rotor

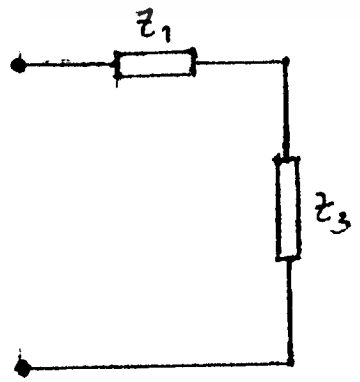
สถานะในตอนนี้จะทำให้มองข้าม Z_3 ไป เพราะ Z_3 ไม่มีผลต่อ
 สองต่อ Network มากนัก ตัวที่ผลต่อสองต่อ Network มากคือ Z_1, Z_2
 เท่านั้น



ดังนั้นในสภาวะช่วงนี้มอเตอร์จะได้อัตราความถี่ที่ $x_1, x_2 \gg R_1, R_2'$



สถานะ No-load สถานะในตอนที่ให้ค่าให้มองข้าม z_2 ไปเพราะ z_2 ไม่มีผลต่อสถานะของ Network มากนัก ตัวที่มีผลต่อสถานะของ Network มากก็คือ z_1, z_3 เท่านั้น



$energy\ storage > energy\ loss$
 $X_m < R_c$
 $i_m^2 X_m \gg i_c^2 R_c$
 $X_1, X_2', R_1, R_2' \ll X_m R_c$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น Parameter ภายในมอเตอร์ในสภาวะที่เกิดขึ้นควรมีค่าดังนี้

$$X_1, X_2' \gg R_1, R_2' \Rightarrow X_1, X_2' \gg R_1, R_2'$$

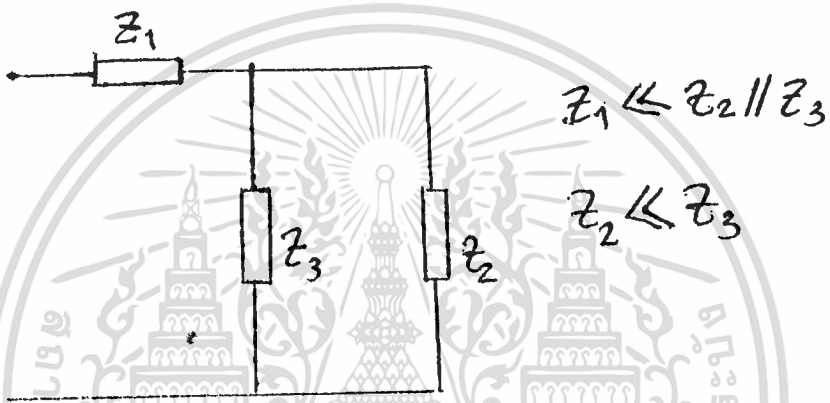
$$X_m < R_c$$

วิธีการทำให้ $X_m < R_c$ ก็คือ การทำให้ flux density B

เพิ่มขึ้น

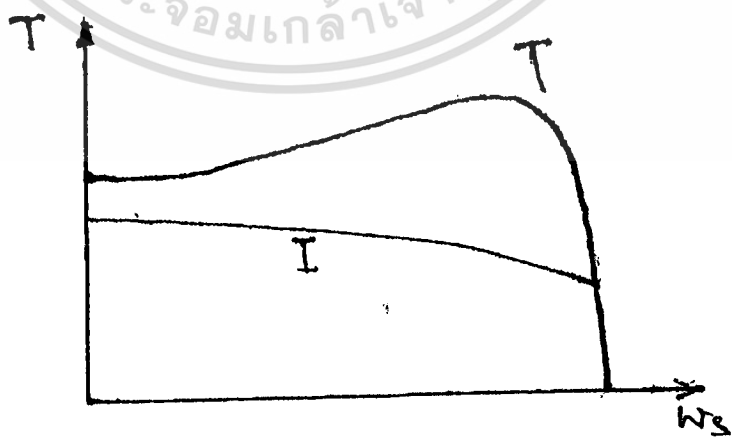
สภาวะ full-load แสดงค่าโดยประมาณของ Parameter

ใน 3 ϕ IM ซึ่งเป็นการ Approximated ที่ใกล้เคียงสภาวะความเป็นจริงที่สุด



ถ้า $Z_1 \approx 1; Z_2 \approx 10; Z_3 \approx 100$
 $Z_1 \approx 10; Z_2 \approx 100; Z_3 \approx 1000$

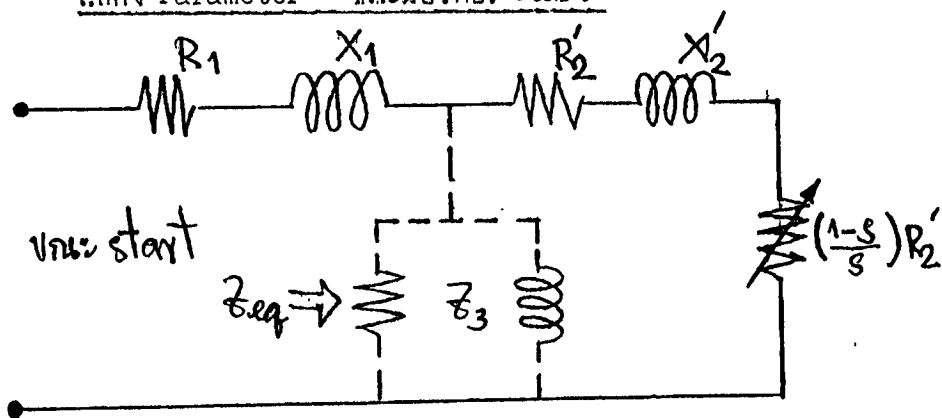
พิจารณากระแสและสภาวะที่



กราฟแสดงแรงบิด-กระแส ต่อความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดง Parameter ของมอเตอร์ Start



ขณะ start Z_3 ไม่มีผลในวงจรจะมองข้ามไป

Ex $X_1 = X'_2 = 10\Omega$

$R_1 = R'_2 = 1\Omega$

$Z_{eq} = \sqrt{20^2 + 2^2}$

ดูตารางแสดงค่า Z_{eq} ที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็ว

| | | | | | |
|----------------------------------|----|------|-------|-----|------|
| s | 1 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 0.05 |
| $X_1 + X'_2$ | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| $R_1 + R'_2 + \frac{1-s}{s}R'_2$ | 2 | 3 | 5 | 11 | 21 |
| Z_{eq} | 20 | 20.2 | 20.26 | 23 | 29 |

จากตารางจะเห็นว่าที่ความเร็วของ start Z_{eq} เฉลี่ยแล้วใกล้เคียงกันทำให้กระแสสตาร์ทที่สูงในขณะมอเตอร์ออกตัว และเมื่อมอเตอร์ออกตัวไปแล้ว ถึงความเร็วค่าหนึ่ง ($s = 0.05$) ค่า Z_{eq} จะเพิ่มขึ้นจากเดิมทำให้กระแสที่จุดนี้ลดลงไป

ต่อไปลองเพิ่มค่า R ให้กับ Stator แล้วดูการเปลี่ยนแปลงค่า กระแสขณะสตาร์ทสร้างตารางใหม่โดยเพิ่มค่า R เป็น 5 Ω

$$X_1 = X_2' = 10 \Omega$$

$$R_1 = R_2' = 5 \Omega \quad * R \text{ เพิ่มเข้าที่ stator} *$$

ได้ตารางแสดงค่า Zeq หลังจากเพิ่มค่า R ที่ stator

| s | 1 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 0.05 |
|---|----|-----|------|------|-------|
| $X_1 + X_2'$ | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| $R_1 + R_2' + \left(\frac{1-s}{s}\right)R_2'$ | 10 | 15 | 25 | 55 | 105 |
| Zeq | 20 | 25 | 32 | 58.5 | 106.8 |

จากตารางจะเห็นว่าที่ความเร็วช่วง start Zeq เพิ่มขึ้นจากตัว อย่างเดิมทำให้กระแสขณะสตาร์ทลดลงไป และที่ความเร็ว (s = 0.05) Zeq มีความมากทำให้กระแสยิ่งไหลน้อยในจุดนี้ คงเห็นในการออกแบมค่า จะคงค่านึงถึง ผลที่ตามมา ค่า Torque ของมอเตอร์จะลดลงตามกระแสที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเนื่อง มาจาก

$$\text{Power} = T_x \times \text{speed}$$

$$T = \frac{\text{Power}}{\text{speed}}$$

ซึ่งหมายความว่าเมื่อกระแสเปลี่ยน Torque ก็เปลี่ยนแปลงตาม

บทที่ 5

ความรู้เกี่ยวกับ Programmable Controllers

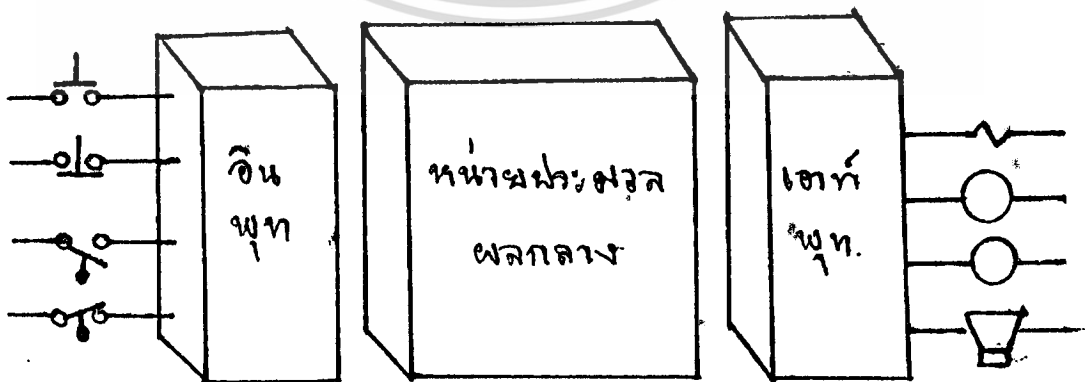
Programmable Controller เป็นระบบของการควบคุมโดยการ
ใช้โปรแกรมในการควบคุมชนิดหนึ่ง ซึ่งการควบคุมหรือจำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้
ดังนี้

1. ON/OFF
2. PSC Program sequence control
3. PLC Programmable logic controller
4. PC Programmable controller

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 เป็นต้นมาความเจริญก้าวหน้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และไมโครโปรเซสเซอร์ ทำให้โฉมหน้าของ PC ตลอดจนลักษณะของการควบคุมการทำงานเปลี่ยนไปทั้งด้านซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์

หลักการท างานของ PC

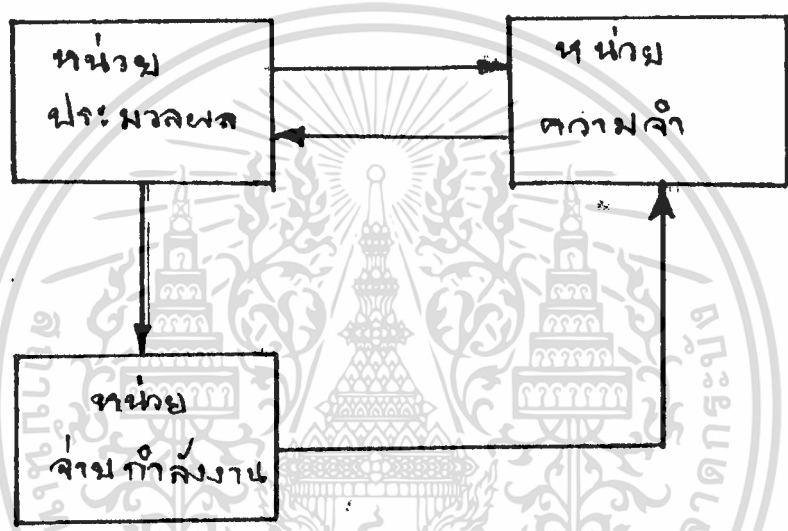
PC เป็นอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิต โดยใช้โปรแกรมในหน่วยความจำ กำหนดเงื่อนไขการควบคุมผ่านทางหน่วยอินพุต/เอาต์พุต PC ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU. และหน่วยอินพุต/เอาต์พุต ดังแสดงในรูป 5.1



รูป 5.1 โครงสร้างของ PC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 5.2 แสดงรายละเอียดของ CPU. ซึ่งประกอบด้วยหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ และหน่วยจ่ายกำลังงาน (Power supply) CPU. เป็นส่วนประกอบสำคัญของ PC. ทำหน้าที่ตัดสินใจและควบคุมการทำงานทั้งหมดของ PC. โดยการรับคำสั่งภาวะต่าง ๆ ของเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตผ่านทางหน่วยอินพุตประมวลผลตามโปรแกรมของผู้ใช้ที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ส่งไปควบคุมเครื่องจักรทางหน่วยเอาต์พุต การทำงานของ PC ทั้งหมดนี้เรียกว่า การสแกน (Scanning) หน่วยจ่ายกำลังมีหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ CPU. และหน่วยความจำทำงานตามปกติ



รูป 5.2 โครงสร้างของ CPU.

หน่วยอินพุต/เอาต์พุต ทำหน้าที่ติดต่อระหว่าง PC กับเครื่องจักร กระบวนการผลิตหรืออุปกรณ์ภายนอก หน่วยอินพุต ทำหน้าที่รับคำสั่งจากอินพุตในรูปแบบต่าง ๆ จากภายนอก เช่น สวิตช์ต่าง ๆ หรืออุปกรณ์ตรวจจับ (sensor) ที่วัดค่าสัญญาณอะนาล็อกแล้วปรับระดับของสัญญาณให้เหมาะสมกับ PC หน่วยเอาต์พุตทำหน้าที่ส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ภายนอกต่าง ๆ เช่น หลอดไฟฟ้า กระจกมอเตอร์ไฟฟ้า และวาล์วควบคุม (control valve)

PC นอกจากจะประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU หน่วยอินพุต/เอาต์พุตแล้ว ยังประกอบด้วยหน่วยป้อนโปรแกรม (Programming Unit) ซึ่งทำหน้าที่ติดต่อระหว่าง PC กับผู้ใช้ รับโปรแกรมที่เขียนขึ้นเก็บไว้ในหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติหน่วยป้อนโปรแกรมจะเชื่อมต่อกับ PC เมื่อผู้ใช้ต้องการป้อน ตรวจสอบหรือแก้ไขโปรแกรมเท่านั้นและ PC เองก็สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องพึ่งหน่วยป้อนโปรแกรม

การใช้ PC ทดแทนวงจรรีเลย์

ปัจจุบัน PC มีราคาถูกลงและการทำงานมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรรีเลย์ การผลิตมีประสิทธิภาพดีขึ้น ถ้าใช้ PC ควบคุมแทนวงจรรีเลย์ แต่ในบางกรณีการนำ PC เข้าทดแทนระบบเดิมที่มีอยู่อาจไม่คุ้มค่าเมื่อพิจารณาในแง่การลงทุนการใช้ PC จะเกิดประโยชน์เต็มที่เมื่อมีความต้องการต่อไปนี้

1. ระบบควบคุมที่แก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ง่าย.
2. ความน่าเชื่อถือสูง
3. เนื้อที่จำกัด
4. ขยายจำนวน อินพุท/เอาต์พุทในอนาคต
5. เก็บรวบรวมข้อมูลการผลิต
6. แก้ไขลักษณะการควบคุมบ่อยครั้ง และใช้เวลาน้อยที่สุด
7. การควบคุมลักษณะคล้ายกันถูกใช้กับ เครื่องจักรหลาย เครื่องพร้อมกัน
8. ระบบควบคุมมีการขยายตัวในอนาคต
9. จัดหาและฝึกอบรมบุคลากรที่ทำหน้าที่ดูแลรักษา PC ได้

ระบบรีเลย์ เหมาะสมกับการควบคุมขนาดเล็ก และไม่มี การขยายในอนาคต เนื่องจากวงจรรีเลย์ จะมีราคาต่ำกว่า PC แต่สำหรับงานควบคุมขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน ควรใช้ PC เพราะมีประสิทธิภาพการลงทุนสูงกว่าระบบรีเลย์ เมื่อคำนึงถึงประโยชน์อื่น ๆ ด้วย เช่นการติดตั้งง่าย การทำงานมีความเร็วและความน่าเชื่อถือสูงมีระบบการตรวจสอบตัวเอง บำรุงรักษาง่าย

ขั้นตอนการใช้งานและคำสั่ง เบื้องต้น

1. ขั้นตอนการใช้งาน PC

1.1 Logic design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ออกแบบวงจร Ladder diagram
- Check จำนวน Input-Output
- เขียน Logic program
- ป้อนข้อมูลและตรวจสอบข้อมูล

1.2 Wiring

- เดินสาย I/O

1.3 Debugging

- ตรวจสอบการทำงาน

2. เปรียบเทียบการทำงานระหว่าง Hardware control กับ Programmable Control .

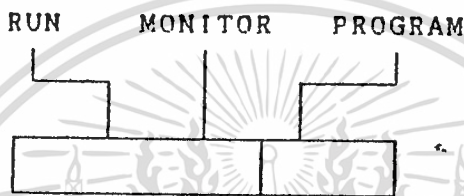
| <u>Hardware Control</u> | | <u>Programmable control.</u> | |
|-------------------------|---------------|------------------------------|--------------------|
| Planning | 4 day | Planning | 4 day |
| Part list | 3 day | Programming | 1 hr. |
| Production | 3 day | Checking | 1 hr. |
| Wiring | 3 day | Wiring | 1 day |
| Debugging | 2 day | Operation total | <u>5 day 2 hr.</u> |
| Operation total | <u>15 day</u> | | |

3. Key color

- White ⇒ Key data
- Red ⇒ Key clear

- Yellow ⇒ function การทำงานและการแก้ไขโปรแกรมต่าง ๆ
- Gray ⇒ Key คำสั่ง Logic Input

4. Mode Selector sw.



1. Program เมื่อ sw. อยู่ตำแหน่งนี้เราสามารถสร้าง, แก้ไข ลบ, แทรก ข้อมูลต่าง ๆ ได้
2. Monitor CPU จะ RUN โดยที่เราจะขอทดสอบภาวะต่าง ๆ ของ Relay Timer/Counter data และสามารถเปลี่ยนค่า TIM/CNT/DATA; SET/RESET Relay ได้
3. RUN จะเหมือนกับ Monity แต่ไม่สามารถเปลี่ยนค่าใน TIM/CNT/DATA; SET/RESET Relay ได้

การเขียนโปรแกรมเบื้องต้นและคำสั่งพื้นฐาน

1. Basic Programming Instructions.

| <u>Instruction</u> | <u>Symbol</u> | <u>Mnemonic</u> | <u>Data</u> |
|--------------------|---------------|-----------------|-------------|
| Load | ---]C--- | LD | Point No. |
| Load Not | ---]/[--- | LD-Not | Point No. |

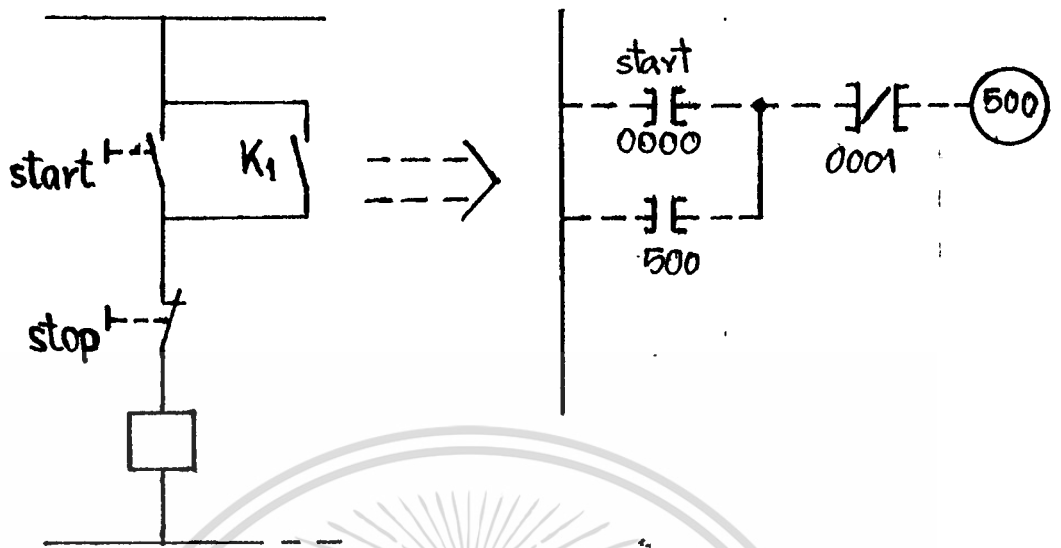
| <u>Instruction</u> | <u>Symbol</u> | <u>Mnemonic</u> | <u>Data</u> |
|--------------------|---|-----------------|---------------------------|
| And | ---] [--- | And | Point No. |
| And not | ---] / [--- | And-Not | Point No. |
| Or | ---] [--- | OR | Point No. |
| Or Not | ---] / [--- | OR-Not | Point No. |
| AND Load | --- | And-LD | |
| Or Load | --- | OR-LD | |
| Out | --- ○ | OUT | Point No. |
| Out Not | --- ○ | Out-Not | Point No. |
| Timer | --- (TIM) | TIM | Timer No. Set value. |
| Counter | <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;">CP</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; width: 60px; height: 60px; display: flex; flex-direction: column; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">CNT</div> <div style="margin-bottom: 5px;">R</div> </div> <div style="margin-left: 10px;">CNT</div> </div> | | Counter No. Set value. |

ความหมายของคำสั่งพอสั่ง เชน

- LD, LD-NOT : ใช้เมื่อ Start แต่ละ Logic line หรือ เริ่มต้นแต่ละBlock
- AND, AND-NOT: ใช้สำหรับ Contact 2 ตัว หรือมากกว่าต่อ series กัน
- OR, OR-NOT : ใช้สำหรับ Contact 2 ตัว หรือมากกว่าต่อ parallded กัน
- หมายเหตุ NOT: ใช้เมื่อ Contact Normally Closed ถูกใช้งาน
- AND-LD: ใช้เมื่อ block 2 block หรือมากกว่าต่อ series กัน
- OR-LD : ใช้เมื่อ block 2 block หรือมากกว่าต่อ parallded กัน
- END: ใช้เมื่อสิ้นสุดการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเขียน Ladder diagram และการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น



| address | Instruction | Data |
|---------|-------------|------|
| 0000 | LD | 0000 |
| 0001 | OR | 500 |
| 0002 | AND-NOT | 0001 |
| 0003 | OUT | 500 |
| 0005 | END (01) | |

3. การ Clear ข้อมูลก่อนเข้าโปรแกรม

1. จ่าย Power Supply ให้กับเครื่อง

<PROGRAM>

<PASSWORD>

2. โต้ Selector sw. อยู่ตำแหน่ง Program จากนั้น

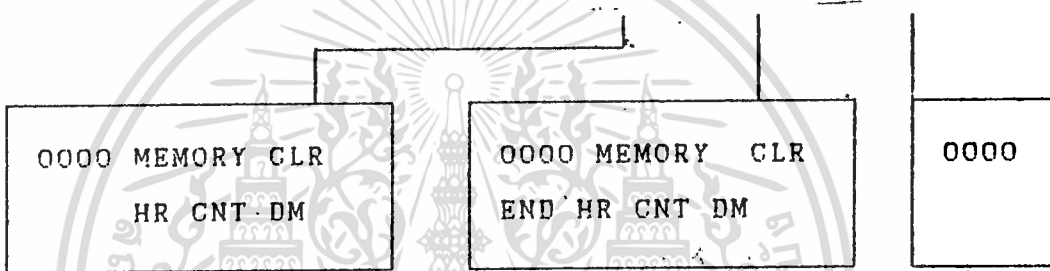
key: CLR ⇒ MONTR ⇒ CLR

ขณะนี้ LCD indicating จะถูก clear แต่ข้อมูลที่ถูกลบไปของเดิม จะยังคงถูกเก็บไว้ใน RAM เหมือนเดิม

0000

3. เมื่อจะ Clear ข้อมูลทั้งหมดทำได้โดย

Key: CLR ⇒ SET ⇒ NOT ⇒ RESET ⇒ MONTR ⇒ CLR



ขณะนี้ข้อมูลของ เดิมจะถูกลบออกไป

4. การป้อนโปรแกรม

หลังจาก Clear ข้อมูลเก่าแล้วก็นำการป้อนโปรแกรมได้โดยทันทีภายหลังทุกคำสั่งจะกด key: WRITE เสมอเป็นการบันทึกคำสั่งนั้นลงในหน่วยความจำ

5. การ Set address เช่น เมื่อต้องการ Set ไป address

1000 ทำได้โดย key: CLR ⇒ 1000 ⇒ V

6. Program Read เป็นการอ่านข้อมูลใน address ต่าง ๆ

เช่น ต้องการอ่านข้อมูลใน address 1000 ทำได้โดย key: CLR ⇒ 1000 ⇒ V

7. Program Check เมื่อป้อนโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว เรา
 ควรทำการ check ว่าเป็นถูกต้องหรือไม่ อาจมีการเขียน Logic ผิดเราสามารถ
 ตรวจสอบได้โดย key: CLR \Rightarrow SRCH.

8. การค้นหาข้อมูลโดยการใส่คำสั่งค้นหา Instruction Search
 เป็นการช่วยให้เราค้นหาข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น

| start | stop | address | Instruction | Date |
|-------|------|---------|-------------|------|
| | | 0000 | LD | 0000 |
| | | 0001 | OR | 500 |
| | | 0002 | AND-NOT | 0001 |
| | | 0003 | OUT | 500 |
| | | 0004 | END(01) | |

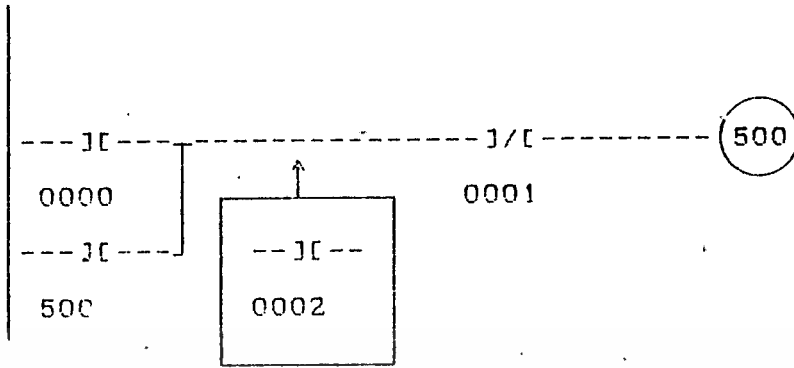
เช่นเมื่อต้องการค้นหาคำสั่ง AND-NOT 0001 ทำได้โดย
 key; CLR เพื่อจะ clear LCD display จนปรากฏ :-

0000

จากนั้น key; AND \Rightarrow NOT \Rightarrow 0001 \Rightarrow SRCH

0002 SRCH
 AND NOT 0001

9. การแทรกข้อมูลโดยใช้คำสั่ง Insert



| address | Instruction | Data |
|---------|-------------|------|
| 0000 | LD | 0000 |
| 0001 | OR | 500 |
| 00002 | AND-NOT | 0001 |
| 0003 | OUT | 500 |
| 0004 | END(01) | |

เมื่อเราต้องการแทรกคำสั่ง AND 0002 เข้าไปหน้าคำสั่ง

AND-NOT

0001 ทำได้โดย

1. ค้นหาคำสั่ง AND-NOT 0001

โดย

Key; $AND \Rightarrow NOT \Rightarrow 1 \Rightarrow SRCH$

| | |
|---------|------|
| 0002 | SRCH |
| AND NOT | 0001 |

หรือโดยการให้โปรแกรมไปที่ Address

| | |
|---------|------|
| 0002 | READ |
| AND NOT | 0001 |

0002 โดยการ key: $CLR \Rightarrow 2 \Rightarrow V$.

2. จากนั้นเขียนคำสั่ง

0002 ที่ต้องการแทนลงไปโดย

key : $AND \Rightarrow 2$

3. ทำการแทรกโดยการ AND 0002 เพื่อแทรกข้อมูลและ

key: V

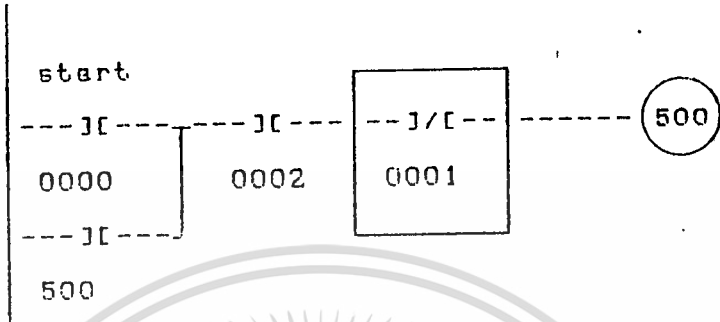
ข้อมูลที่จะถูกแทรกลงเครื่องไป

```

0002 INSERT ?
AND 0002

```

10. การลบข้อมูลโดยการใช้ Instruction Delete



| address | Instruction | Data |
|---------|-------------|------|
| 0000 | LD | 0000 |
| 0001 | OR | 500 |
| 0002 | AND | 0002 |
| 0003 | AND-NOT | 0001 |
| 0004 | OUT | 500 |
| 0005 | END(O1) | |

เมื่อจบการลบคำสั่ง AND-NOT 0001 ทำได้โดย

1. ค้นหาคำสั่งนี้ก่อนโดย key; CLR => AND => NOT

⇒ 1 ⇒ SRCH

```

0003 SRCH
AND NOT 0001

```

2. จากนั้น Key: DEL ⇒ ^

```

0003 DELETE
AND NOT 0001

```

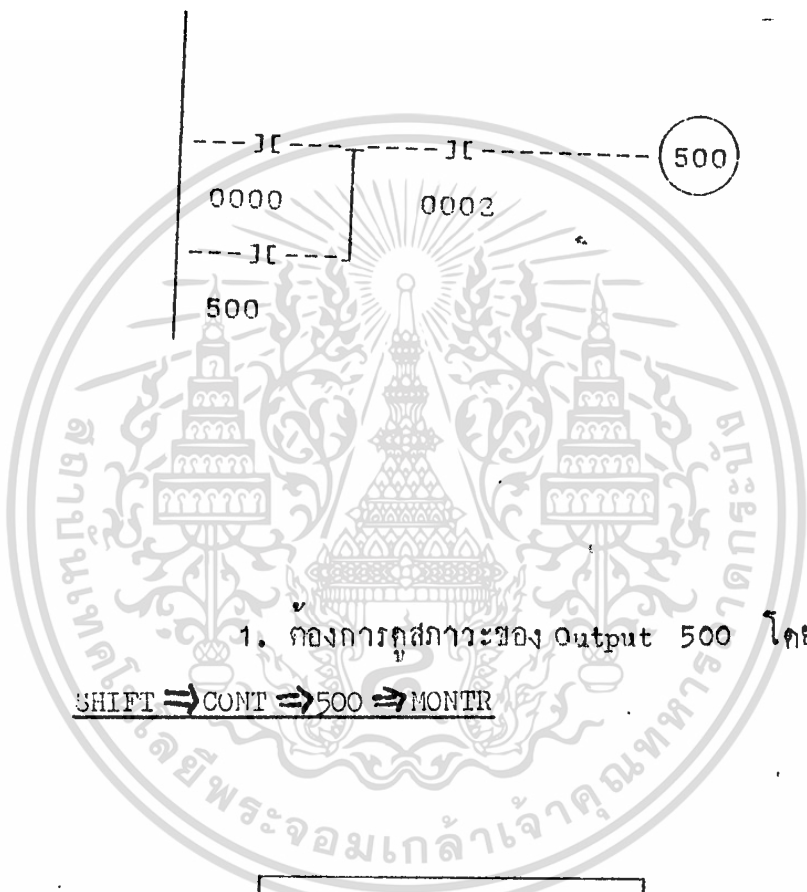
```

0003 DELETE END
OUT 500

```

11. Data Monitor and multidata Monitor

เป็นการให้ PC แสดงสถานะของ I/O area, Internal auxiliary relay, HR area, Special relay, ค่าใน TIM/CNT และ DM Chanal



| |
|------|
| 0500 |
| OFF |

2. คอไปตองการกฏภาวะของ Relay No. 0000 ทำโดย Key:

SHIFT ⇒ CONT ⇒ 0000 ⇒ MONTR

| | |
|------|------|
| 0000 | 0500 |
| OFF | OFF |

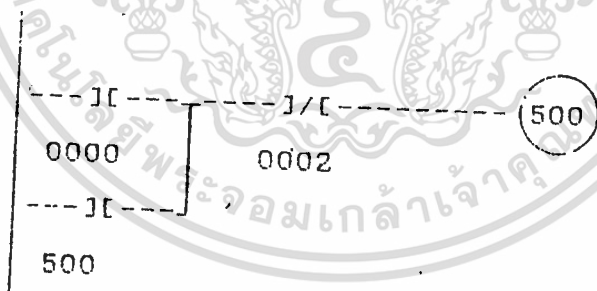
3. คอไปตองการกฏค่าใน Timer 00 Key:

TIM ⇒ 00 ⇒ MONTR

| | | |
|------|------|------|
| TIM | 0000 | 0500 |
| 0000 | OFF | OFF |

12. Force Set/Reset

สถานะของ I/O, internal auxiliary relays, holding relay และ TIM/CNT เราสามารถใช้ Soft ware สั่งให้มัน Set หรือ Reset ได้แต่ถ้า selector sw. อยู่ในโหมด RUN จะสั่งไม่ได้



จาก Ladder diagram เก็บค่าสั่ง AND 0002 เป็น AND NOT 0002

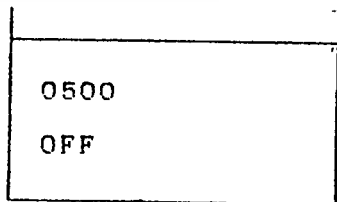
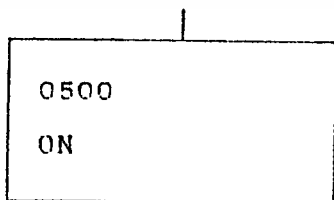
| <u>Address</u> | <u>Instruction</u> | <u>Data</u> |
|----------------|--------------------|-------------|
| 0000 | LD | 0000 |
| 0001 | OR | 0500 |
| 0002 | AND-NOT | 0002 |
| 0003 | OUT | 0500 |
| 0004 | END(01) | |

เมื่อกองการให้ OUTPUT 0500 ON เราสามารถใช้ soft ware
สั่งให้ ON หรือ OFF ก็ได้โดย

KEY : CLR OUT 0500 MONTR



จากนั้น Key : SET =====> RESET



บทที่ 6

ความต้านทาน
(Resistance)

ความต้านทานที่มีอยู่ในสารทุกชนิด ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของสารนั้น ๆ ความต้านทานก็คือ สิ่งที่ต้านต่อการไหลของอิเล็กตรอนหรือการไหลของกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านสารนั้น ตัวนำไฟฟ้าที่ดี เช่น เงิน ทองแดง และ อลูมิเนียมจะมีความต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า น้อยมาก แต่ตัวนำไฟฟ้าที่เลวหรือฉนวน เช่น แก้ว ไม้ กระจก จะมีความต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าสูงมาก

กฎของความต้านทาน (Law of Resistance)

1. ความต้านทานของตัวนำไฟฟ้าจะแปรค่าไปกับความยาวของมันโดยตรง คือ ถ้าตัวนำทองแดงที่มีความยาว 1 เมตร มีความต้านทาน 0.04 โอห์มแล้ว เมื่อ ทองแดงมีความยาวเพิ่มเป็น 2 เมตร ความต้านทานก็เพิ่มขึ้นเป็น 0.8 โอห์ม หรือถ้าความยาวเพิ่มเป็น 50 เมตร ความต้านทานก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 โอห์ม

2. ความต้านทานจะแปรค่าเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ คือ ถ้าพื้นที่หน้าตัดมีค่ามากขึ้น ความต้านทานจะมีค่าน้อยลง และถ้าพื้นที่หน้าตัดมีค่าน้อยลง ความต้านทานก็จะมีค่ามากขึ้น

3. ความต้านทานของตัวนำต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุที่มีอยู่ตามธรรมชาติของมัน ดังนั้นความสัมพันธ์ของความต้านทานก็จะเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

เมื่อ

R = ค่าความต้านทานมีหน่วย เป็นโอห์ม

L = ความยาวของตัวนำมีหน่วย เป็น เมตร

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำมีหน่วย เป็นตาราง เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P = ค่าคงที่ของวัตถุซึ่งเรียกว่าความต้านทาน
จำเพาะมีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร

โอห์ม (The Ohm)

เป็นหน่วยของความต้านทานทางไฟฟ้า ค่าความต้านทาน 1 โอห์ม
หมายถึงความต้านทานของลวดปรอทที่โตเท่ากับตลอดของลวดปรอทที่โตเท่ากับตลอด
ยาว 106.3 ซม. มีมวล 14.452 กรัมที่ 0° C หรืออาจกำหนดให้เป็นความต้านทาน
ที่กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ไหลผ่านแล้วทำให้เกิดพลังงานความร้อนด้วยอัตราของ
กำลังไฟฟ้า 1 วัตต์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎได้ดังนี้

$$P = I^2 R$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้าเป็นวัตต์ (W)

I = กระแสไฟฟ้าเป็นแอมป์

R = ความต้านทานเป็นโอห์ม

และพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ

$$H = I^2 RT$$

เมื่อ t = เวลาเป็นวินาที (s)

ความต้านทานจำเพาะ (Resistivity or Specific Resistance)

ความต้านทานจำเพาะของสารต่าง ๆ ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 6-1
ซึ่งได้เปรียบเทียบไว้ทั้ง 3 ระบบคือ F.P.S., C.G.S. และ M.K.S.

| ตัวนำ | โอห์ม-ฟุตหรือโอห์ม- ต่อ เซอร์กิวลาร์ฟุต | โอห์ม-ซม. หรือโอห์ม- ต่อ ลูกบาศก์ เซนติเมตร | โอห์ม-เมตรหรือ โอห์ม-ต่อลูกบาศก์ เมตร |
|------------|--|--|--|
| อลูมิเนียม | 16.9 | 2.63×10^{-6} | 2.63×10^{-8} |
| ทองเหลือง | 36.1 - 42.1 | $6 - 8 \times 10^{-6}$ | $6 - 8 \times 10^{-8}$ |
| คาร์บอน | 21,000-42,000 | $3,500-7,000 \times 10^{-6}$ | $3,500-7,000 \times 10^{-8}$ |
| ทองแดง | 10.4 | 1.72×10^{-6} | 1.72×10^{-8} |
| เหล็ก | 60 - 84 | $10 - 14 \times 10^{-6}$ | $10 - 14 \times 10^{-8}$ |
| ตะกั่ว | 132 | 22×10^{-6} | 22×10^{-8} |
| แมงกานีส | 265 | 44×10^{-6} | 44×10^{-8} |
| ปรอท | 566 | 94×10^{-6} | 94×10^{-8} |
| นิกโครม | 602 | 100×10^{-6} | 100×10^{-8} |
| พลาตินัม | 66.2 | 11×10^{-6} | 11×10^{-8} |
| เงิน | 8.85 | 1.47×10^{-6} | 1.47×10^{-8} |
| หิ้งสแตน | 33.1 | 5.5×10^{-6} | 5.5×10^{-8} |
| สังกะสี | 36.7 | 6.1×10^{-6} | 6.1×10^{-8} |
| ทอง | 14.7 | 2.44×10^{-6} | 2.44×10^{-8} |

ตารางที่ 6 - 1 ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำไฟฟ้าที่ 20°C (68°F)

โลหะผสมและวัสดุที่ใช้เป็นตัวต้านทาน (Resistor Materials and Alloys)

ตัวต้านทานที่ใช้กับวงจรไฟฟ้า อาจใช้รีโอสตาตส์ (Rheostats) ตัวความร้อน (Heater Units) ตัวจำกัดกระแสไฟฟ้า (Current Limiters) ใช้ในวงจรเครื่องวัด (Instrument Circuit) ใช้เป็นชั๊นท์ (shunt) นอกจากนี้ยังใช้ในงานอุตสาหกรรมมากมายหลายอย่าง วัสดุที่ใช้ทำเป็นตัวต้านทานนี้มีหลายชนิด ส่วนมากแล้วจะเป็นโลหะผสม เช่น โลหะผสม นิกเกิล-โครเมียม (Nickel Chromium) ซึ่งมีความต้านทานจำเพาะสูง มีสัมประสิทธิ์ อุณหภูมิของความต้านทานต่ำ และมีการต่อต้านสูงต่อการผสมกับออกซิเจนและยังทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง ๆ ได้อีกด้วย ตามปกติแล้วจะใช้ทำเป็น ตัวให้ความร้อน (heater) ซึ่งใช้กับงานที่มีอุณหภูมิสูง ๆ นอกจากนี้แล้วยังมีโลหะผสมอื่น ๆ อีก เช่น เหล็กกล้าผสมโครเมียม-นิกเกิล (Chromium-Nickel Steel) โลหะผสมเฟอร์โรนิกเกิล (Ferro-nickel Alloys), โลหะผสมทองแดง-นิกเกิล, โลหะผสมทองแดง-แมงกานีส

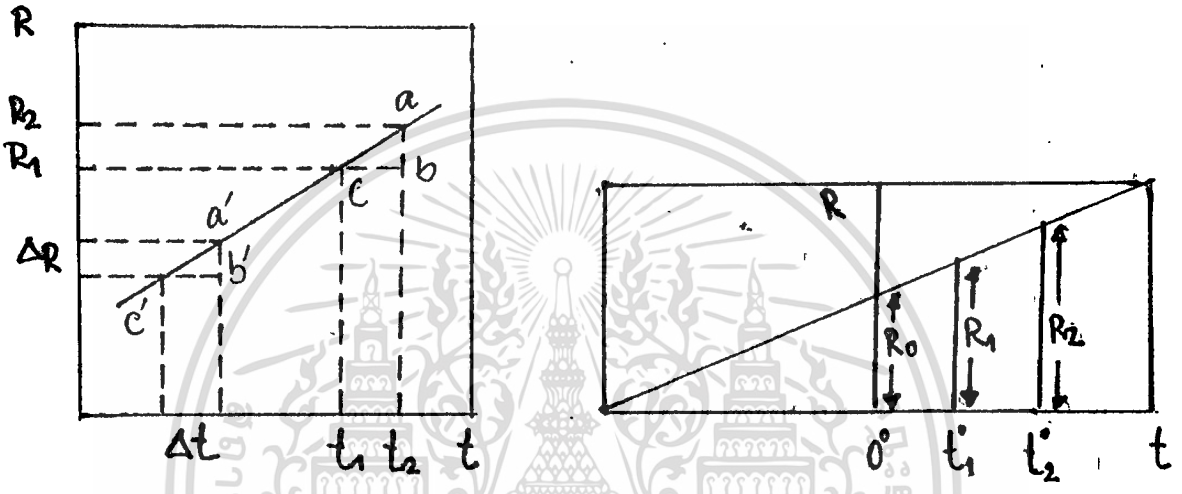
สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน

ความต้านทานของวัสดุต่าง ๆ ที่โลกกล่าวมาแล้วจะเห็นว่ามันแปรค่าไป กับส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ 3 อย่าง อย่างไรก็ตามยังมีส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ความต้านทานของวัสดุแปรค่าไป นั่นคือความร้อน ซึ่งความต้านทานของทองแดง หรือโลหะไม่ผสมอย่างอื่นจะมีค่ามากขึ้นตามค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในการทำงานของตัวนำไฟฟ้าจะแปรค่าไปตามกระแสไฟฟ้าและยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่อยู่รอบ ๆ อีกด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความต้านทาน เช่น อุณหภูมิของเครื่องกลไฟฟ้าในขณะทำงานจะสูงกว่าอุณหภูมิที่อยู่รอบ ๆ และอุณหภูมิของขลกลวดจะหาได้จากกรวัดค่าความต้านทานของมัน

ในระหว่างที่จำกัดไว้ช่วงหนึ่งของอุณหภูมิจะทำให้ค่าความต้านทานของโลหะตัวนำไฟฟ้าแปรค่าเป็นสัดส่วน โดยตรงกับอุณหภูมิ ดังแสดงในกราฟรูป 6.1 โดยกำหนดให้ R_2 และ R_1 เป็นความต้านทานที่อุณหภูมิ t_2 และ t_1 ดังนั้นจากสามเหลี่ยมคล้าย abc และ a'b'c' จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\Delta R}{\Delta t} = \frac{R_2 - R_1}{t_2 - t_1} \quad \text{--- ①}$$



รูป 6.1 กราฟแสดงความต้านทานที่แปรค่าไปตามอุณหภูมิ

จากสมการ (1) ทหารถาย R_1

$$\frac{\Delta R}{\Delta t(R_1)} = \frac{R_2 - R_1}{(t_2 - t_1)R_1} = \alpha_1 \quad \text{--- ②}$$

$$R_2 - R_1 = \alpha_1 R_1 (t_2 - t_1)$$

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)]$$

ถ้าจะกิกที่ 0°C สมการ (2) จะกลายเป็น

$$R_2 = R_0 [1 + \alpha_0 (t_2 - t_0)]$$

$$= R_0 (1 + \alpha_0 t_2) \quad \text{--- ③}$$

เมื่อ R_0 เป็นค่าความต้านทานและ α_0 เป็นค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ
ของความต้านทานที่ 0°C

สำหรับทองแดงค่า α_0 จะเท่ากับ 0.00427 ซึ่งหมายความว่า
ความต้านทานของทองแดงจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.427 ของ 1% ต่อการเพิ่มในแต่ละองศา
เซลเซียสเหนือ 0°C เช่น สมมุติว่าขดลวดทองแดงมีความต้านทาน 100 โอห์มที่
 0°C ทั้งนี้ แต่ละองศาของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นความต้านทานของขดลวดจะเพิ่มขึ้นเป็น
 $100 + 0.00427$ โอห์มหรือ 0.427 โอห์ม ดังนั้นถ้าอุณหภูมิอยู่ที่ 40°C ความต้าน
ทานจะเพิ่มขึ้นเป็น $40 + 0.427 = 17.08$ โอห์ม และค่าความต้านทานที่ 40°C นี้
จะมีค่าเป็น $100 + 17.08 = 117.08$ โอห์ม ถ้าทราบค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ
หนึ่งที่สูงกว่า 0°C อาจหาค่าความต้านทานที่ 0°C ก่อนแล้ว จึงใช้สมการที่ 3

ในการหาค่าความต้านทานที่ 0°C อาจเปลี่ยนสมการที่ 3 ให้อยู่

ในรูป

$$R_0 = \frac{R_2}{1 + \alpha_0 T_2}$$

ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของทองแดงที่อุณหภูมิเริ่มแรกต่าง ๆ ได้จาก

ตารางที่ 6 - 2

| อุณหภูมิเริ่มแรก | ความต้านทานที่เพิ่มต่อ 1°C |
|------------------|--|
| 0 | 0.00427 |
| 5 | 0.00418 |
| 10 | 0.00409 |
| 15 | 0.00401 |
| 20 | 0.00393 |
| 25 | 0.00385 |
| 30 | 0.00378 |
| 35 | 0.00371 |

| อุณหภูมิเริ่มแรก | ความต้านทานที่เพิ่มขึ้น |
|------------------|-------------------------|
| 40 | 0.00364 |
| 45 | 0.00358 |
| 50 | 0.00352 |

ตาราง 6 - 2 สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแกนที่อุณหภูมิเริ่มแรกต่าง ๆ

จากสูตร $\alpha = \frac{1}{234.5 + t}$

การออกแบบตัวต้านทาน

พิจารณาในเรื่องของความหนาแน่นของกระแส

จาก $I = \frac{dQ}{dt}$

เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้ามีค่าเป็น ΔI ต่ออัตราส่วนเพิ่มของพื้นที่คือ ΔS จะได้ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสเป็น

$$\Delta I = J \cdot \Delta S$$

ดังนั้นผลรวมของกระแสไฟฟ้าหาได้จาก

$$I = \int_S J \cdot dS$$

$$\text{และ } V_{ab} = - \int_b^a E \cdot dL = -E \int_b^a dL$$

หรือ $V = EL$

แต่ $J = \frac{I}{S} = \sigma E = \frac{V}{L}$

หรือ $V = \frac{L}{\sigma S} I$ แต่ $R = \frac{V}{I}$

ดังนั้นจะได้ $R = \frac{L}{\sigma S}$

ตัวอย่างคำนวณ จงหาค่าความต้านทานของลวดตัวนำเบอร์ 16 ซึ่ง
มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.0508 นิ้ว (1.291×10^{-3} เมตร) มีพื้นที่หน้าตัด 3.308×10^{-6}
 m^2 และลวดตัวนำยาว 1 ไมล์ ($1,609$ เมตร)

วิธีคำนวณ จากสูตร $R = \frac{L}{\sigma S}$

แทนค่า

$L = 1,609$ เมตร

$\sigma = 5.80 \times 10^7$ ซี/ม. (จากตาราง 6 - 3)

$S = 3.308 \times 10^{-6} m^2$

ได้

$R = \frac{1,609}{(5.80 \times 10^7)(3.308 \times 10^{-6})}$

$R = 21.2 \Omega$

ซึ่งลวดทองแดง เบอร์ 16 นี้สามารถนำกระแสขณะใช้งานอย่างปลอดภัย

ได้ 10 Amp.

| Material | $\sigma, \text{U/m}$ | Material | $\sigma, \text{U/m}$ |
|-----------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| Silver | 6.17×10^7 | Graphite | 7×10^4 |
| Copper | 5.80×10^7 | Silicon | 1,200 |
| Gold | 4.10×10^7 | Ferrite (typical) | 100 |
| Aluminum | 3.82×10^7 | Water (sea) | 5 |
| Tungsten | 1.82×10^7 | Limestone | 10^{-2} |
| Zinc | 1.67×10^7 | Clay | 5×10^{-3} |
| Brass | 1.5×10^7 | Water (fresh) | 10^{-3} |
| Nickel | 1.45×10^7 | Water (distilled) | 10^{-4} |
| Iron | 1.03×10^7 | Soil (sandy) | 10^{-5} |
| Phosphor bronze | 1×10^7 | Granite | 10^{-6} |
| Solder | 0.7×10^7 | Marble | 10^{-8} |
| Carbon steel | 0.6×10^7 | Bakelite | 10^{-9} |
| German silver | 0.3×10^7 | Porcelain (dry process) | 10^{-10} |
| Manganin | 0.227×10^7 | Diamond | 2×10^{-13} |
| Constantan | 0.226×10^7 | Polystyrene | 10^{-16} |
| Germanium | 0.22×10^7 | Quartz | 10^{-17} |
| Stainless steel | 0.11×10^7 | | |
| Nichrome | 0.1×10^7 | | |

TABLE C.3

| Material | μ_R |
|-------------------|------------|
| Bismuth | 0.9999986 |
| Paraffin | 0.99999942 |
| Wood | 0.9999995 |
| Silver | 0.99999981 |
| Aluminum | 1.00000065 |
| Beryllium | 1.00000079 |
| Nickel chloride | 1.00004 |
| Manganese sulfate | 1.0001 |
| Nickel | 50 |
| Cast iron | 60 |
| Cobalt | 60 |
| Powdered iron | 100 |
| Machine steel | 300 |
| Ferrite (typical) | 1,000 |
| Permalloy 45 | 2,500 |
| Transformer iron | 3,000 |
| Silicon iron | 3,500 |
| Iron (pure) | 4,000 |
| Mumetal | 20,000 |
| Sendust | 30,000 |
| Supermalloy | 100,000 |

ตาราง 6-3 แสดง ค่า σ และ μ_R ของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 6.4 การเปรียบเทียบราคากลางค่าไฟฟ้า

| เบอร์ ร.พ.อ. | เงินค่าฐานยกวาง | | เงินค่านำเข้า | | ทุนรวมต่อ (A) | | ไร่เป็นกิโล ทุนรวม ต่อ (A) | น้ำหมักกษ ความยาว 100 ม. (กก) | ก.ท.ท.ท ความยาว 100 ม. (ก) | เบอร์ ร.พ.อ. |
|-----------------|-----------------|----------|---------------|------------|---------------|----------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| | ปี | ม.ม. | เซอร์กิตลามี | การวาง เมา | ขุมขาง | ลวกเปลว | | | | |
| 0000 | .4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 000 | .372 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 00 | .344 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 19/12 0 | .324 | 8.23 | 106,500 | 54,186 | 125 | 200 | - | 47.925 | .033 | 0 |
| 1 | .3 | 7.62 | 90,000 | 46,451 | - | - | - | - | - | - |
| 19/13 - | - | - | 83,690 | - | 100 | 150 | - | 37.994 | .042 | 1 |
| 2 | .276 | 7.06 | 77,176 | 39,847 | - | - | - | - | - | - |
| 19/14 3 | .252 | 5.4 | 66,370 | 32,768 | 96 | 125 | - | 30.185 | .052 | 2 |
| 19/16 4 | .232 | 5.89 | 52,630 | 27,753 | - | - | - | 23.895 | .066 | 3 |
| 5 | .212 | 5.38 | 41,740 | 23,155 | 76 | 90 | - | 18.960 | .033 | 4 |
| 19/18 6 | .192 | 4.85 | 33,100 | 18,215 | - | - | - | 15.030 | .105 | 5 7/14 |
| 7 | .176 | 4.46 | 30,976 | 15,913 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | .16 | 4.06 | 26,250 | 13,026 | 50 | 70 | - | 11.925 | .133 | 6 |
| 9 | .144 | 3.66 | 20,766 | 10,716 | - | - | - | 9.45 | .167 | 7 |
| 7/16 10 | .128 | 3.24 | 16,510 | 8,398 | 35 | 50 | - | 7.5 | .211 | 8 |
| 11 | .166 | 2.94 | 13,090 | 6,914 | - | - | - | 5.945 | .266 | 9 |
| 7/18 12 | .104 | 2.642 | 10,816 | 5,504 | 25 | 30 | - | 4.175 | .335 | 10 |
| 13 | .092 | 2.336 | 8,234 | 5,504 | - | - | - | 3.738 | .424 | 11 |
| 7/20 14 | .08 | 2.03 | 6,530 | 3,296 | 20 | 25 | 232 | 2.965 | .534 | 12 |
| 15 | .072 | 1.828 | 5,178 | 2,673 | - | - | - | 2.352 | .673 | 13 |
| 7/22 16 | .064 | 1.625 | 4,107 | 2,112 | 15 | 20 | 165 | 1.864 | .850 | 14 3/16 |
| 17 | .056 | 1.422 | 3,257 | 1,617 | - | - | - | 1.479 | 1.070 | 15 3/20 |
| - | - | - | 2,583 | - | 6 | 10 | - | 1.173 | 1.350 | 16 3/22 |
| 18 | .048 | 1.219 | 2,048 | 1,188 | - | - | 1107 | .93 | 1.703 | 17 |
| 19 | .04 | 1.061 | 1,624 | .825 | 3 | 5 | - | .738 | 2.148 | 18 |
| 20 | .036 | .914 | 1,288 | .668 | - | - | 70 | .585 | 2.706 | 19 |
| 21 | .032 | .812 | 1,022 | .527 | - | - | - | .464 | 3.112 | 20 |
| 22 | .028 | .711 | 810.1 | .404 | - | - | 48 | .368 | 4.302 | 21 |
| 23 | .024 | .61 | 624.4 | .297 | - | - | - | .292 | 5.425 | 22 |
| 24 | .022 | .553 | 509.5 | .249 | - | - | 33.4 | .231 | 6.847 | 23 |
| 25 | .02 | .506 | 404.0 | .206 | - | - | - | .183 | 8.630 | 24 |
| 26 | .018 | .457 | 320.4 | .167 | - | - | 24.7 | .145 | 10.89 | 25 |
| 27 | .016 | .406 | 254.1 | .131 | - | - | - | .115 | 13.728 | 26 |
| 28 | .0148 | .376 | 201.5 | .113 | - | - | 18.4 | .091 | 17.292 | 27 |
| 29 | .0136 | .345 | 184.9 | .095 | - | - | - | - | - | - |
| 30 | .012 | .304 | 159.8 | .073 | - | - | 14.1 | .073 | 21.783 | 28 |
| 31 | .011 | .29 | 126.7 | .067 | - | - | - | .057 | 27.522 | 29 |
| 32 | .0102 | .274 | 116.6 | .06 | - | - | 11.5 | - | - | - |
| 33 | .01 | .254 | 100.5 | .051 | - | - | - | .045 | 34.782 | 30 |
| 34 | .009 | .228 | 81.0 | .041 | - | - | 9.0 | - | - | - |
| 35 | .008 | .203 | 79.1 | .032 | - | - | - | .036 | 43.758 | 31 |
| - | - | - | 63.21 | - | - | - | - | .029 | 55.176 | 32 |
| 36 | .0076 | .193 | 50.15 | .029 | 2 | - | 6.8 | .023 | 69.564 | 33 |
| 37 | .0068 | .172 | 39.75 | .023 | - | - | - | .018 | 87.714 | 34 |
| 38 | .0061 | .155 | 31.52 | .018 | - | - | 4.7 | .014 | 110.714 | 35 |
| 39 | .0052 | .132 | 25.0 | .013 | - | - | - | .011 | 139.59 | 36 |
| 40 | .0048 | .121 | - | .011 | - | - | 3.4 | - | - | - |
| 41 | .0044 | .111 | 19.8 | .0098 | - | - | - | .009 | 175.89 | 37 |
| 42 | .004 | .1 | 15.72 | .008 | - | - | .6 | .007 | 222.09 | 38 |
| 43 | .0036 | .0914 | 12.47 | .0066 | - | - | - | .005 | 279.51 | 39 |
| 44 | .0032 | .0812 | 9.89 | .0052 | - | - | 1.85 | .004 | 352.44 | 40 |
| 45 | .0028 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 46 | .0024 | นากกรฐาน | นากกรฐาน | นากกรฐาน | นากกรฐาน | นากกรฐาน | นากกรฐาน | นากกรฐาน | นากกรฐาน | นากกรฐาน |
| 47 | .002 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 48 | .00166 | ร.พ.อ. | ร.พ.อ. | ร.พ.อ. | ร.พ.อ. | ร.พ.อ. | ร.พ.อ. | ร.พ.อ. | ร.พ.อ. | ร.พ.อ. |
| 49 | .0012 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 50 | .001 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือข้อผิดพลาด กรุณาแจ้งมาที่ฝ่ายเอกสารทุกครั้งเพื่อทำการแก้ไข

การหาวนาคของตัวต้านทานที่เหมาะสม

วัดค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์โดยใช้มัลติมิเตอร์ ซึ่งเมื่อวัดแล้วจะได้ค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ตัวที่ใช้ทดลอง คือ

1. วัดค่าความต้านทานขดลวดชุด

$U - X$ ได้ค่าความต้านทาน 9Ω

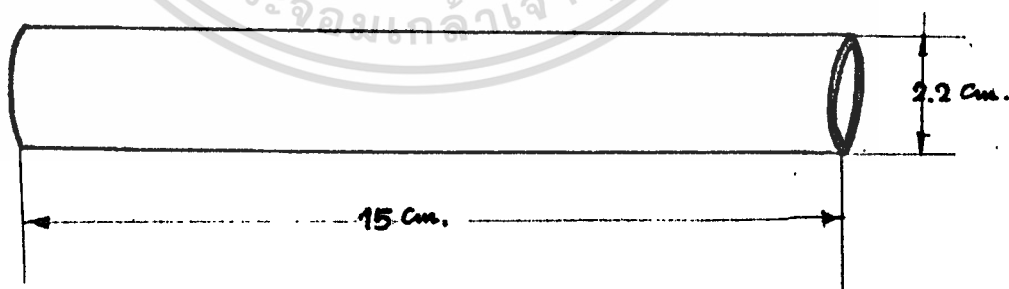
2. วัดค่าความต้านทานขดลวดชุด

$V - Y$ ได้ค่าความต้านทาน 9Ω

3. วัดค่าความต้านทานขดลวดชุด

$W - Z$ ได้ค่าความต้านทาน 9Ω

เมื่อได้ค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์แล้ว ก็พิจารณาเลือกขนาดของลวดทองแดง เพื่อนำมาทำเป็นตัวต้านทาน และลวดทองแดงที่นำมาใช้นั้นจะต้องทนกระแสไฟฟ้าขณะใช้งานได้ประมาณ 48 - 70 Amp ซึ่งพิจารณาแล้วใช้ลวดทองแดงเบอร์ 21 สฟค. โดยจะพันไว้นบนท่อ พี.วี.ซี. (PVC) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 ซม. และความยาวของท่อ 15 ซม. แล้วทำการคำนวณได้ค่าความต้านทานเท่ากับค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์คือ มีค่า 9 โอห์มต่อชุด



รูป 6.2 ขนาดของท่อพี.วี.ซี (PVC)

จากรูป 6.2 เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ = 2.2 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ความยาวท่อ} &= 15 \text{ ซม.} \\ \text{ได้เส้นรอบวงท่อ} &= \pi d \\ &= 3.14 \times 2.2 = 7 \text{ ซม.} \\ \text{พื้นผิว 1 รอบ จะได้ความยาว} &= 7 \text{ ซม.} \end{aligned}$$

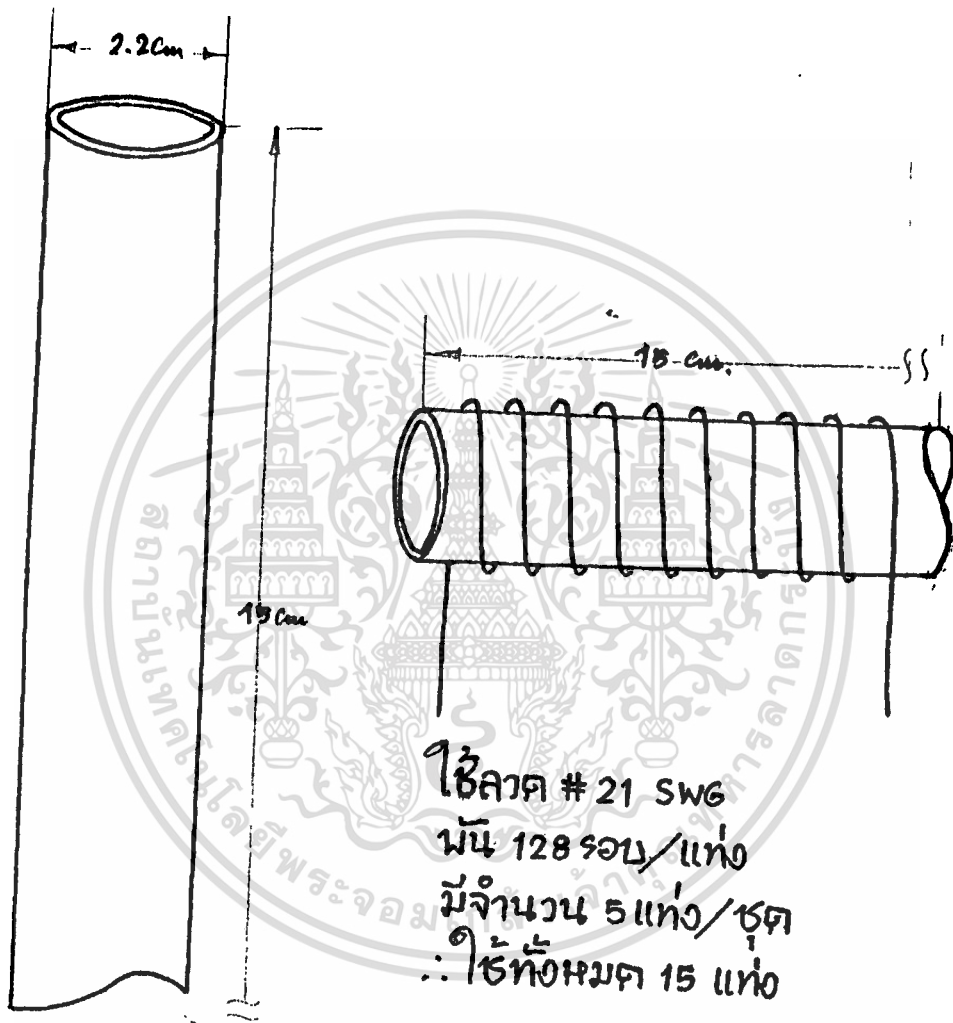
ความยาวท่อ 15 ซม. จะพื้นผิวทองแดงได้ 128 รอบ
 ถ้าพื้นผิวทองแดงทั้งหมด 128 รอบ จะได้ความยาว $7 \times 128 = 896$ ซม.
 โดยทำเป็นตัวต้านทาน 3 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ตัว

$$\begin{aligned} \text{แต่ละกลุ่มจะมีความยาวของลวดตัวนำ} &= 5 \times 896 = 4480 \text{ ซม.} \\ \text{หรือ} &= 44.80 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

จากตาราง 6 - 4 ไซลด์เบอร์ 21 ซึ่งจะได้ค่าความต้านทานคือ

| | |
|---|--|
| ลวดเบอร์ 21 ยาว 100 เมตร จะมีความต้านทาน = | 3.412 Ω |
| ลวดเบอร์ 21 ยาว 44.8 เมตร จะมีความต้านทาน = | $\frac{44.8 \times 3.412}{100} \Omega$ |
| ∴ ได้ค่าความต้านทาน | = 1.53 Ω |

การหาค่าความต้านทาน



ใช้ลวด # 21 SWG
 มี 128 รอบ/แท่ง
 มีจำนวน 5 แท่ง/ชุด
 ∴ ใช้ทั้งหมด 15 แท่ง

รูป 6.3 ผลลวดความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการพันขดลวดความถี่สูง



รูป 6.4 การ เกิดการ เหมี่ยวผ่านขดลวดให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 6.4 เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้น โดยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวด โดยอำนาจแม่เหล็กที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้น คือ

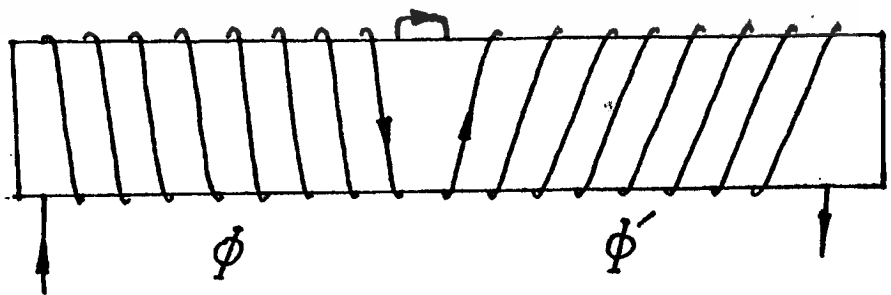
$$\begin{aligned}
 (N\Phi)_{total} &= \Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_i + \dots + \Phi_N \\
 &= \sum_{i=1}^N \Phi_i
 \end{aligned}$$

ถ้าเกิดการลวดทองแดงลงบนท่อ ซี.วี.ซี (FVC) ก็จะให้เกิดค่า L ขึ้นขดลวดด้วย และขดลวดที่พันกันเป็นขดลวดแกนอากาศ

ซึ่งค่า L เกิดขึ้นเนื่องจาก

$$\begin{aligned}
 \text{ค่า } L &= \lambda / i ; \lambda = N\Phi \\
 \therefore L &= \frac{N\Phi}{i}
 \end{aligned}$$

เมื่อขดลวดทำให้เกิดค่า L ขึ้นแนวการทดลองต้องการใช้แค่เพียงความต้านทานอย่างเดียว ก็มีวิธีแก้ไข L หายไปก็คือ การพันขดลวดในวิธีการพันแบบ Reversing winding ดังรูป 6.5



รูป 6.5 การพันขดลวดแบบ Reversing Winding.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพันขดลวดแบบ Reversing Winding จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำหักล้างกันหมดไป แต่ค่าความต้านทานจะยังคงเหลือเหมือนเดิม ซึ่งพิสูจน์ได้คือ

$$(N\Phi)_{total} = (\Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_{10}) - (\Phi'_1 + \Phi'_2 + \dots + \Phi'_{10})$$

$$= 0$$

จาก $L = \frac{N\Phi}{i}$

เมื่อ $N\Phi = 0$

$\therefore L = 0$ ควช

และค่า R คือ $R = \rho \frac{l}{A}$

หรือ $R = \frac{l}{\rho s}$

เมื่อ $l =$ ความยาวลวดตัวนำ

$\rho =$ ค่าสัมประสิทธิ์ของกร เป็นตัวนำ

$s =$ พื้นที่หน้าตัดตัวนำ



บทที่ 7

การทดสอบมอเตอร์
(Motor test)

Induction Motor 3 phase มี Name plate ติดไว้ที่ตัวมอเตอร์
กึ่งต่อไปนี้

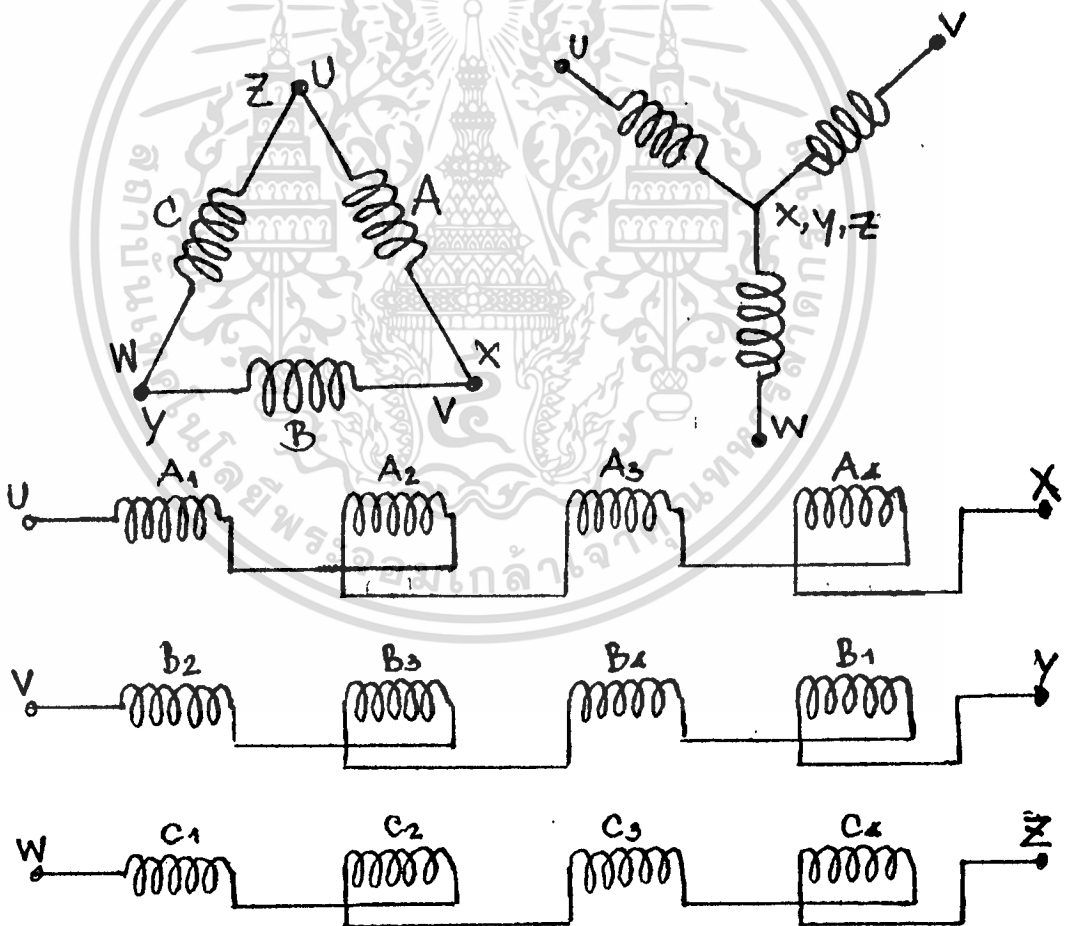
220/380 V

13.5/7.9A

3.2 kw.

$\cos \phi = 0.7$

speed = 1420 rpm.



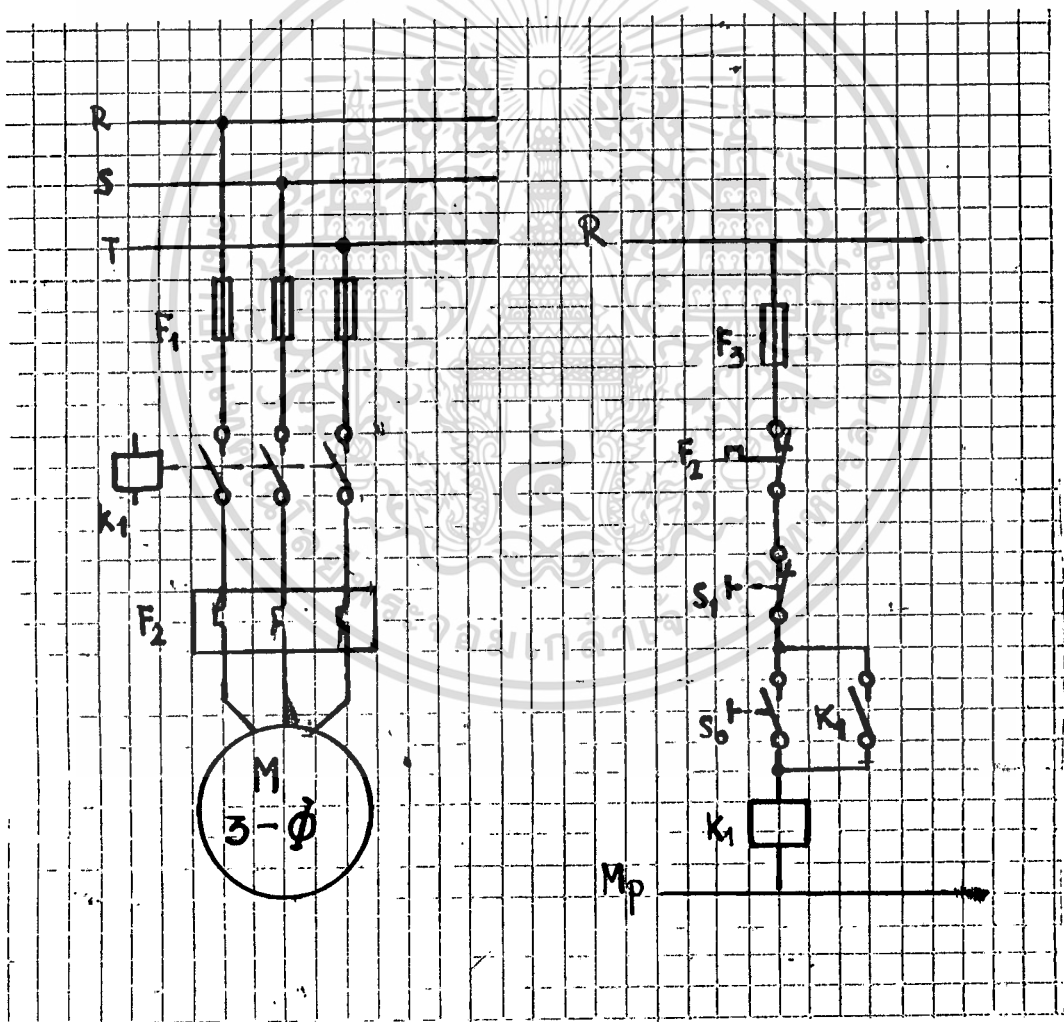
รูป 7.1 แสดงการต่อขดลวดสเตเตอร์ภายในมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบมอเตอร์แบ่งออกเป็นขั้น ๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

- การทดสอบการ Start-Run 3phase Induction motor แบบต่อโดยตรงหรือ Direct on Line
- การทดสอบแบบ no-load test (open circuit test)
- การทดสอบแบบ Lock-rotor test (short circuit test)

1. การทดสอบการ Start-Run มอเตอร์แบบ Direct online



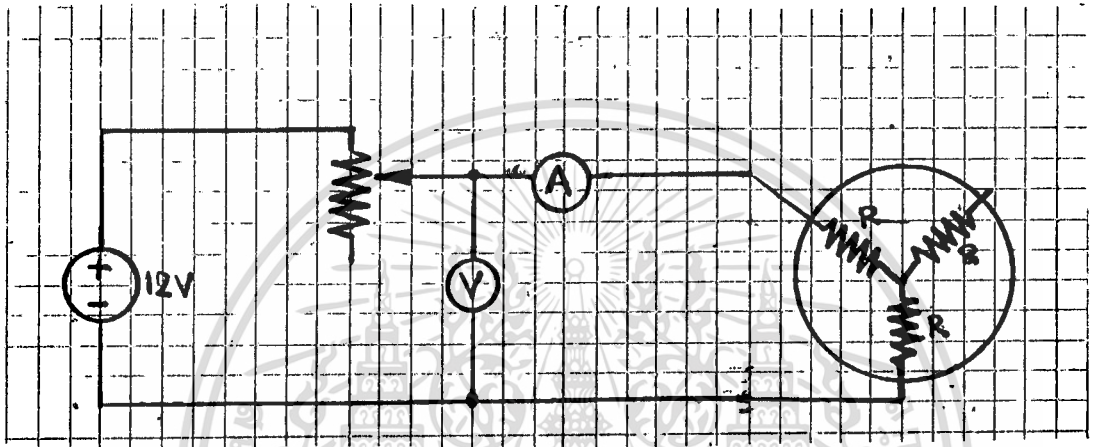
รูป 7.2 แสดงการต่อวงจรสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct online

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบ เพื่อที่จะนำเอาข้อมูลที่ได้ออกจากการทดสอบไปใช้เขียน แผนผังวงกลม (Circle Diagram) ซึ่งจะเป็นแผนผังสำหรับทำนายสภาวะต่าง ๆ ของมอเตอร์ได้ เช่น แรงบิด, กำลัง, กระแสค่าสูญเสียในตัวมอเตอร์ ฯลฯ

การทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานที่สเตเตอร์ (Stator Resistance)

ทำการทดสอบได้โดยใช้วิธี V-I Method



รูป 6.3 วงจรทดสอบหาค่าความต้านทาน V-I Method

| I-A | V | A | R | Average R |
|-----|------|-----|------|-----------|
| V-A | 0.56 | 0.4 | 1.4 | 1.4 |
| | 1.2 | 0.8 | 1.5 | |
| | 1.6 | 1.2 | 1.3 | |
| U-V | 0.6 | 0.4 | 1.5 | 1.37 |
| | 1 | 0.8 | 1.25 | |
| | 1.7 | 1.2 | 1.4 | |
| V-V | 0.6 | 0.4 | 1.5 | 1.43 |
| | 1.2 | 0.8 | 1.5 | |
| | 1.6 | 1.2 | 1.3 | |

ตาราง 6.1 ค่าความต้านทาน จากการทดสอบรูป 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง 6.1 จะได้ว่า resistance Line to Line = $\frac{1.4+1.37+1.43}{3}$

= 1.4 Ω

ได้ Resistance per phase = $\frac{1.4}{2} = 0.7 \Omega$

ได้ R (sc) = 0.7 + 1.3 = 0.91 Ω

ทำการทดสอบมอเตอร์ขณะ No-load test ใกล้เคียง ๆ ดังตาราง

7.2

| A | VI-L | WI-L |
|-----|------|-------|
| 2.0 | 200 | 210 |
| 3.0 | 275 | 480 |
| 4.0 | 320 | 810 |
| 4.5 | 340 | 990 |
| 4.8 | 350 | 1,100 |
| 5.0 | 360 | 1,130 |
| 5.9 | 380 | 1,300 |

ตาราง 7.2 ผลจากการทดสอบมอเตอร์ขณะ No-load test

จากตาราง 6.2 ที่ rate Voltage 380V ใกล้เคียง 5.9 Amp, P= 1300 Watt

จาก $P = \sqrt{3} I E \cos \alpha$

$\cos \alpha = \frac{P}{\sqrt{3} I E}$

$\cos = \frac{1,300}{\sqrt{3} + 5.9 + 380} = 0.335$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = \cos^{-1} 0.335 = 70.4^\circ$$

ทำการทดสอบมอเตอร์แบบ Lock-rotor test ซึ่งจะได้อ่านค่าต่าง ๆ
ดังตารางที่ ๕.3

| A | VL-L | WL-L |
|-----|------|------|
| 2.3 | 20 | 68 |
| 2.9 | 40 | 95 |
| 3.3 | 50 | 110 |
| 4.8 | 60 | 230 |
| 5.5 | 70 | 310 |
| 6.5 | 80 | 420 |
| 7.5 | 90 | 534 |
| 7.8 | 95 | 615 |
| 7.9 | 98 | 640 |

จากตาราง ๕.3 ผลจากการทดสอบมอเตอร์แบบ Lock rotor test

จากตาราง ๕.3 ทำการทดลองไปจนถึง Rate Current 7.9 A

ได้ VL-L = 98 V. และ WL-L = 640 watt

$$\text{จาก } P = \sqrt{3} I_L \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{P}{\sqrt{3} I_L} = \frac{640}{\sqrt{3} \times 7.9 \times 98}$$

$$\cos \alpha = 0.47$$

$$\alpha = \cos^{-1} 0.47 = 61.5^\circ$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่ได้จากการวาง 6.2 และ 6.3 มาเขียน CIRCLE DIAGRAM

การร่าง CIRCLE DIAGRAM

จาก No-load test ได้

$$I_0 = 5.9 \text{ A}$$

$$V_0 = \frac{380\text{V}}{3} = 220 \text{ V}$$

$$\theta_0 = 70.4^\circ$$

จาก Lock-rotor test

$$I_{sc} = 7.9 \text{ A}$$

$$I_S \text{ ที่หักแรงกัน} = I_{sc} \frac{V_0}{V_{sc}} = 7.9 \frac{220}{98} = 23.47 \text{ A}$$

$$V_{sc} = 98 \text{ V}$$

$$\theta_{sc} = 61.5^\circ$$

ลำดับการร่าง CIRCLE DIAGRAM

1. ร่าง Vector MI_0 ทั่วมุมกับ V_0 เป็นมุม 70.4° I_0 มีความยาว 5.9 A โดยใช้อัตราส่วน 2 A / 1 CM
2. ร่าง Vector IA ทั่วมุมกับ V_0 เท่ากับ 61.5° มีความยาว เท่ากับ I_S โดยใช้ I_0 ยาวเท่ากับ 23.47A
3. ต่อเส้นตรงจากจุด $O (I_0)$ ไปยัง A ซึ่งจะเท่ากับ VECTOR $I'r$
4. แบ่งครึ่ง Vector OA และลากเส้นตั้งฉากมาพบกับเส้นตรงที่ต่อจากจุด O ขนานกับแนวระดับที่จุด C' ซึ่งจะเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมที่เป็น Locus ของ $I'r$

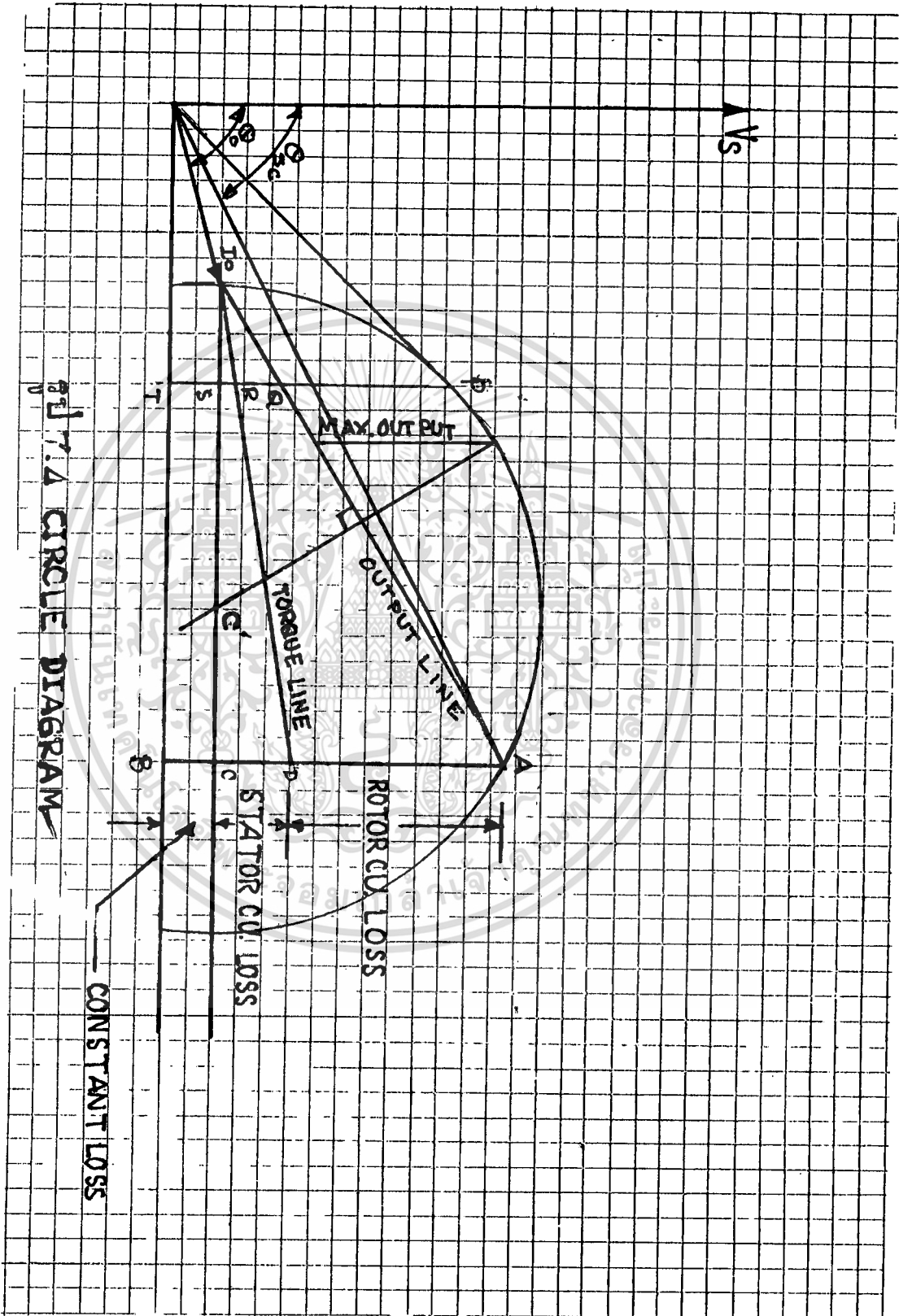
5. จากจุด A ลากเส้นตรงในแนวตั้งขนานกับ V_S ถึงเส้นตรงที่ลากจากจุด I' ในแนวราบที่จุด B และแบ่งเส้นตรง AB ออกเป็นสองส่วนที่จุด D

$$CD = \frac{I_S^2 R_S}{V_S}$$

$$= \frac{(23.47)^2 \cdot 0.91}{220}$$

$$CD = 2.27$$





รูปที่ 4 CIRCLE DIAGRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดาด } CD = \frac{2.27}{2} = 1.135 \text{ ซม.}$$

หากำลังไฟฟ้าขณะ Lock rotor ที่แรงดันเบี่ยงตกแรง

$$\begin{aligned} \text{จาก } P_{sc} &= V_s I_s \cos \theta_{sc} \\ &= 220 (23.47) \cos 61.5^\circ \\ &= 2465 \text{ W} = 2.465 \text{ kW.} \end{aligned}$$

$$\text{Power/DT} = \frac{2.465}{AB} = \frac{2.465}{5.6} = 0.44 \text{ kW/cm}$$

$$\text{ที่ค่า } \theta_{sc} \text{ (S)} = 0.5$$

$$\begin{aligned} \text{EFFICIENCY} &= \frac{QF}{P_{sc}} \times 100 \\ &= \frac{2.8}{4.6} \times 100 = 60.86\% \end{aligned}$$

$$\text{TORQUE} = \frac{3RP}{2\pi N_s} \text{ N/M}$$

$$\begin{aligned} RP &= 3.55 + 0.44 \frac{\text{kw} \cdot \text{cm}}{\text{cm}} \\ &= 1562 \text{ W.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TORQUE} &= \frac{3 + 1562}{2\pi + 1500} \\ &= 0.49 \text{ N/M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power output} &= QF + 0.44 \\ &= 2.75 + 0.44 = 1.21 \text{ KW.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Stator loss} &= SR + 0.44 \\ &= 0.3 + 0.44 = 132 \text{ W.} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{Rotor loss} &= RQ + 0.44 \\ &= 0.85 + 0.44 = 374 \text{ W.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{STARTING TORQUE} &= \frac{3 sD + 0.44 + 1000}{2\pi n_s} \\ &= \frac{3 + 3.5 + 0.44 + 1000}{2\pi + 1500} \\ &= 0.49 \text{ N/M} \end{aligned}$$



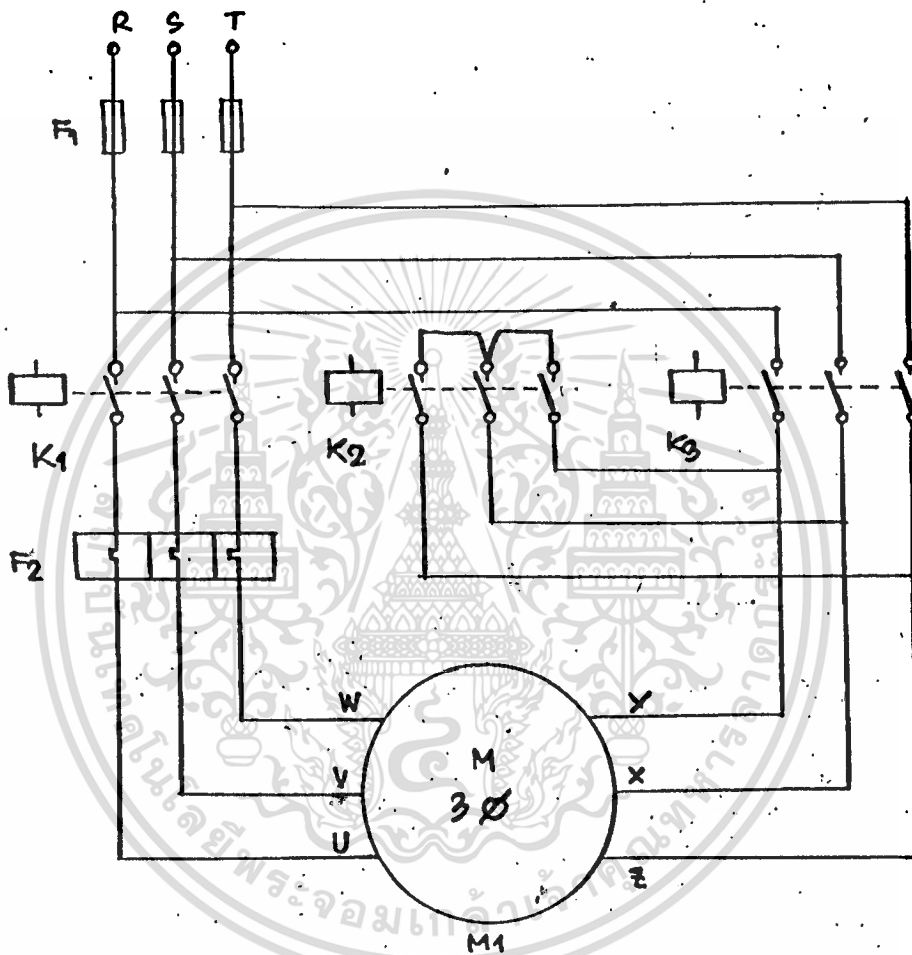
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การทดสอบแมกเนติก คอนแทคเตอร์

(Magnetic Contactor tester)

การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า (WYE-DELTA STARTOR) จากบทที่ 2 เป็นวิธีการเริ่มเดินของมอเตอร์วิธีหนึ่ง โดยวิธีการลดศักดาไฟฟ้าลงจากเดิมในขณะสตาร์ท ดังนั้นในขณะที่มอเตอร์เริ่มเดิน (start) ก็จะมีการต่อวงจรของขดลวดภายในสเตเตอร์ (Stator) เป็นแบบสตาร์ (Star) ทำให้แรงดันของมอเตอร์ลดลง $1/3$ เท่ากระแสและแรงบิดของมอเตอร์ก็จะลดลง เป็น $1/3$ เท่าของกระแสและแรงบิดปกติ และเมื่อถึงเวลาเปลี่ยนในวงจรขดลวดที่ stator ของมอเตอร์ ทำงานแบบเดลต้า (Delta) ก็จะทำให้กระแสและแรงบิด เพิ่มขึ้นเป็นกระแสและแรงบิดปกติ ก็จะเกิดการกระชากทางไฟฟ้าขึ้นมา และในวงจรกำลัง (Power) ของวงจรการสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า (WYE-DELTA STARTOR) ดังรูปที่ 8.1 ถ้าหากว่า แมกเนติก คอนแทคเตอร์ แต่ละตัวทำงานไม่พร้อมกัน คือในขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป ถ้าหากว่าหน้าสัมผัสของ Contact ของ Magnetic แต่ละตัว ต่อวงจรหรือตัดวงจรไม่พร้อมกันแล้วจะก่อให้เกิดปัญหา คือเกิดการลัดวงจรขึ้นมาได้ ในช่วงเวลาการเปลี่ยนการทำงานของมอเตอร์จากแบบสตาร์ (star) ไม่เป็นแบบเดลต้า (Delta)

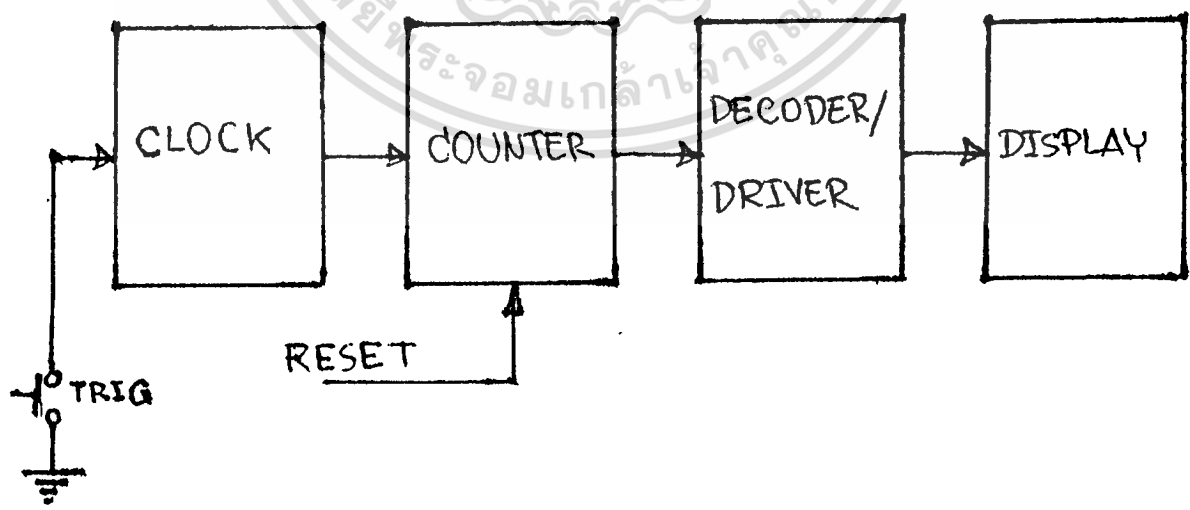


รูป 8.1 วงจร power ของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ สตาร์-เดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.1 จะเห็นได้ว่า ในขณะที่ให้มอเตอร์เริ่มทำงาน (start) การต่อวงจรของขดลวดภายในมอเตอร์ (Stator) จะต่อแบบ สตาร์ (Star) ซึ่งในขณะนี้การทำงานของ Magnetic Contactor คือ K_1 กับ K_2 เพื่อที่จะให้มอเตอร์ทำงาน และเมื่อมอเตอร์ทำงานไปสักครู่ ก็จะเปลี่ยนการต่อวงจรของขดลวดที่ สเตเตอร์ (Stator) เป็นแบบ Delta โดยที่ในช่วงนี้ Magnetic Contactor K_2 ก็จะหยุดการทำงานและ Magnetic Contactor K_3 ก็จะทำงานแทนและจะทำพร้อมกัน ดังนั้นในช่วงนี้ ถ้าสังเกตรูปที่ 6.1 จะเห็นได้ว่า ถ้าหากว่า Magnetic Contactor K_2 ยังไม่หยุดการทำงานแต่ Magnetic Contactor K_3 ทำงานแล้วก็จะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ทำให้ F_1 ลัดวงจรทำให้มอเตอร์หยุดการทำงาน ไม่สามารถที่จะให้มอเตอร์ทำงานต่อไปในแบบ Delta ได้

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาอันนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาเวลาการลัด-ต่อวงจรของ Magnetic Contactor เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ Magnetic Relay ว่าเป็นระยะเวลาานเท่าไร ที่ Magnetic Relay จึงจะทำงานและเมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าแล้ว เป็นระยะเวลาเท่าไร Magnetic Relay ถึงจะตัดวงจร ซึ่งการหาค่าเวลานี้ หรือเราเรียกว่า Time delay เราสามารถหาได้โดยใช้วงจรมับ (Counter) เป็นตัวช่วย ซึ่งลักษณะ Block diagram ของการทำงานของวงจรมับเป็นไป ดังรูปที่ 8.2

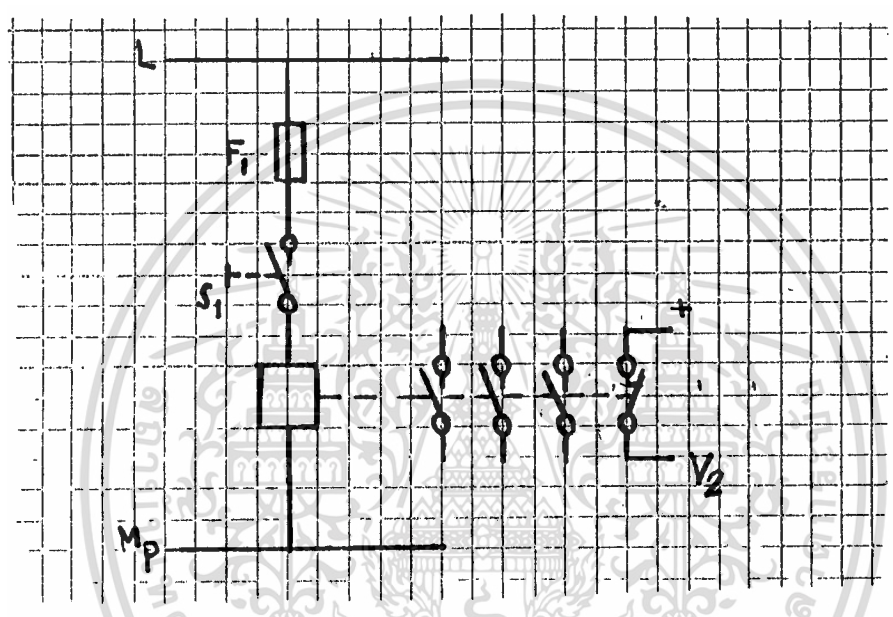


รูป 8.2 Block Diagram ของวงจรมับจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.2 Block Diagram ของวงจรนับจับเวลา ซึ่งจะประกอบด้วยตัวสร้างสัญญาณนาฬิกา (clock) เพื่อส่งตัวให้ตัวนับ (clock) แล้วส่งไปยังตัวแสดงผล (Display) ซึ่งแสดงผลออกทาง 7 segment เป็นดิจิทัล ส่วนสัญญาณ TRIG มีไว้เพื่อให้วงจร Clock เริ่มทำงาน และ RESET เมื่อกดปุ่มนี้ก็จะทำให้ 7 Segment แสดงค่าเป็นศูนย์ หรือกลับสู่สถานะเดิม เพื่อร่วมทำงานใหม่ได้

การทดลองหา Time Delay ของ Magnetic Contactor



รูป 8.3 แสดงการใช้วงจรนับต่อกับ Magnetic Contactor เพื่อจับเวลาการทำงาน

จากรูป 8.3 นำเอา Contact P.C ไปต่อกับขั้ว + และ V_2 ของชุดจับเวลา ซึ่งขั้วทั้งสองนี้จะอยู่ในช่วงของ Counter เมื่อ Magnetic Contactor เริ่มทำงาน เมื่อ S_1 ถูกกดวงจรจับเวลาก็จะทำงานทันทีและ Coil ของ Magnetic Contactor ก็จะเริ่มทำงานด้วย และเมื่อ Contact N.O. ถูกทำให้ต่อวงจร Contact M.C. ก็ถูกทำให้ตัดวงจรจะทำงานวงจร Counter หยุดนับ แต่ก็ยังคงแสดงผลที่ได้ไว้ที่ Display และถ้าเราต้องการให้ Display แสดงผลเป็นค่าศูนย์ ก็สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม RESET

ตารางแสดงผลการทดลองจับเวลาของ Magnetic Contactor

| ครั้งที่ | เวลา / 1/100 sec | | | |
|----------|------------------|----|----|----|
| | k1 | k2 | k3 | k4 |
| 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 3 | 5 | 3 | 1 | 2 |
| 4 | 2 | 6 | 3 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 1 |

จากตารางผลการทดลองนำมาหาค่าเฉลี่ยของเวลา

ได้ $K_1 = \frac{3+1+5+2+3+1+3}{7} = \frac{2.57}{100} = 25.7 \text{ m Sec}$

$K_2 = 22.8 \text{ m Sec}$

$K_3 = 18.6 \text{ m Sec}$

$K_4 = 14.3 \text{ m Sec}$

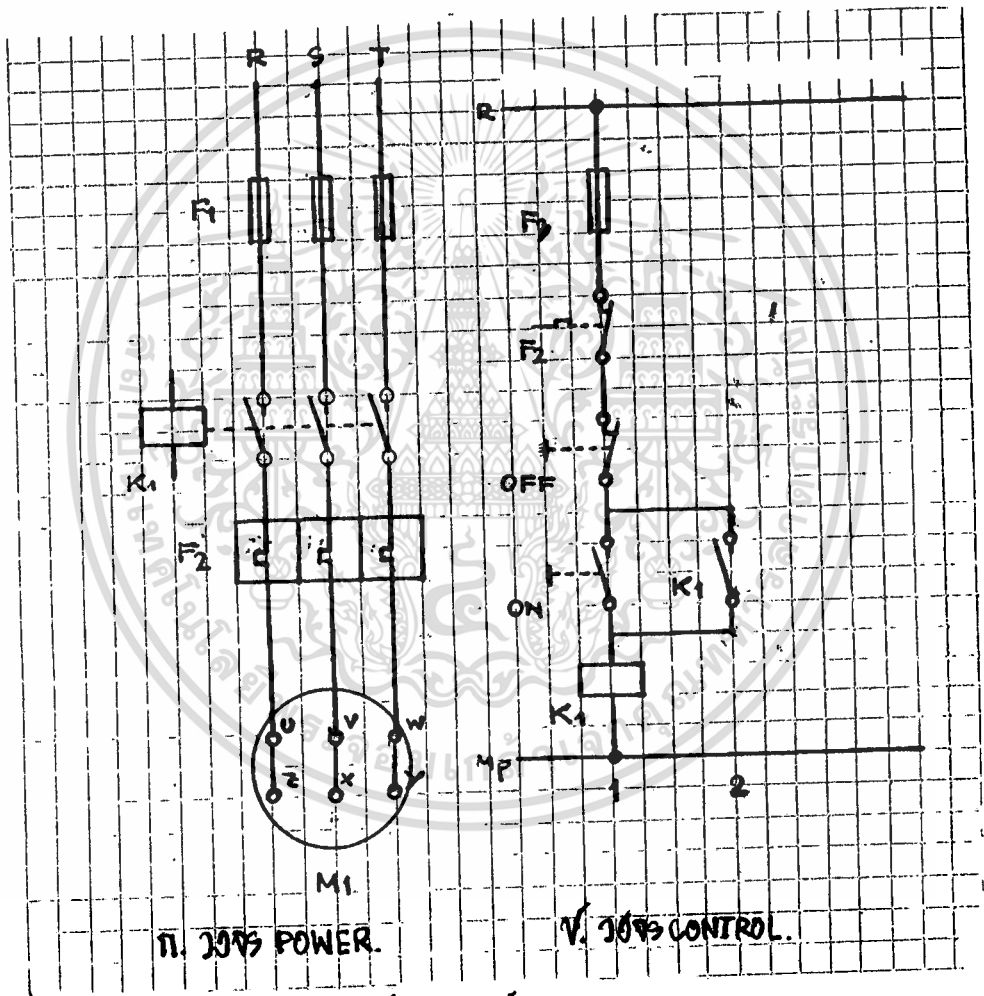
จากผลการทดลองจับเวลาการทำงาน (Time delay) ของ Magnetic Contact ในครั้งนี้จะเห็นได้ว่า Time delay ของ Magnetic Contactor แต่ละตัวนั้นต่างกัน ซึ่งในการทดลองนั้นใช้ Magnetic Contactor ขนาดต่างกันและต่างยี่ห้อกัน เพื่อแสดงให้เห็นผลแตกต่างกันแต่การใช้งานในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้วนั้น จะใช้ Magnetic Contactor ที่มีขนาดเท่ากัน และยี่ห้อเดียวกัน เพื่อให้ได้ Time delay ของ Magnetic Contactor เท่ากัน เวลาใช้งานในวงจรจะช้จัดปัญหาการเกิดการลัดวงจรได้

บทที่ 9

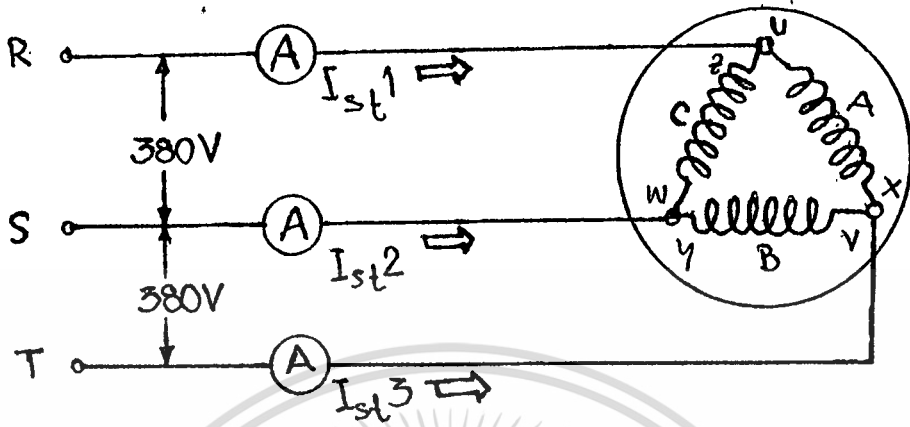
การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์ - เคลต้า ค่อยร่วมกับความต้านทาน
(WYE-DELTA STARTER)

การทดลอง

1. การสตาร์ทมอเตอร์แบบโดยตรง (Direct on line) โดยวงจรมอเตอร์
ค่อแบบเคลต้า และใช้วงจรคอนโทรลแบบ Self holding มอเตอร์ใช้กับแรงดัน
380/660 V 50 Hz วงจรการค่อมอเตอร์สามารถทำได้ ดังวงจรรูปที่ 9.1



รูป 9.1 วงจรสตาร์ทมอเตอร์แบบ Direct On Line



รูป 9.2 แสดงการต่อแอมป์มิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

จากรูป 9.2 แสดงการต่อเครื่องวัด เพื่อทำการวัดกระแสของมอเตอร์ ขณะสตาร์ท ซึ่งจะวัดกระแสสตาร์ท 3 ตัว คือ

I_{st1} = คือ กระแสขณะสตาร์ทของเฟส R

I_{st2} = คือ กระแสขณะสตาร์ทของเฟส S

I_{st3} = คือ กระแสขณะสตาร์ทของเฟส T

และนอกจากนั้น จากรูป 9.2 ยังได้กระแสขณะที่มอเตอร์ทำงาน ซึ่งค่ากระแสนี้ คือ

I_R = กระแสขณะมอเตอร์รัน

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงทั้งตาราง 9 - 1 , 9 - 2

| ครั้งที่ ครั้งที่ | I_{st1} A | I_{st2} A | I_{st3} A | $I_{st\ av}$ A | I_R A |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|------------|
| 1 | 19.5 | 19.8 | 19.5 | 19.6 | 4.6 |
| 2 | 19.4 | 19.4 | 19.5 | 19.43 | 4.5 |
| 3 | 19.4 | 19.4 | 19.6 | 19.46 | 4.4 |
| 4 | 19.4 | 19.7 | 19.5 | 19.53 | 4.5 |
| 5 | 19.3 | 19.4 | 19.8 | 19.5 | 4.6 |
| 6 | 19.6 | 19.8 | 19.4 | 19.6 | 4.5 |
| 7 | 19.7 | 19.7 | 19.8 | 19.7 | 4.6 |
| 8 | 19.8 | 19.5 | 19.6 | 19.6 | 4.4 |
| 9 | 19.7 | 19.7 | 19.6 | 19.66 | 4.5 |
| 10 | 19.5 | 19.4 | 19.7 | 19.53 | 4.5 |

ตาราง 9 - 1 แสดงค่ากระแสสแตร์ที่มอเตอร์แบบ Direct On Line ขณะ No Load จากตาราง 9 - 1 จะได้กระแสขณะสแตร์ที่เฉลี่ย คือ

กระแสสแตร์ที่เฉลี่ย $I_{st\ Average} = 19.56\ A$
กระแสรัน $I_R\ Average = 4.51\ A$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

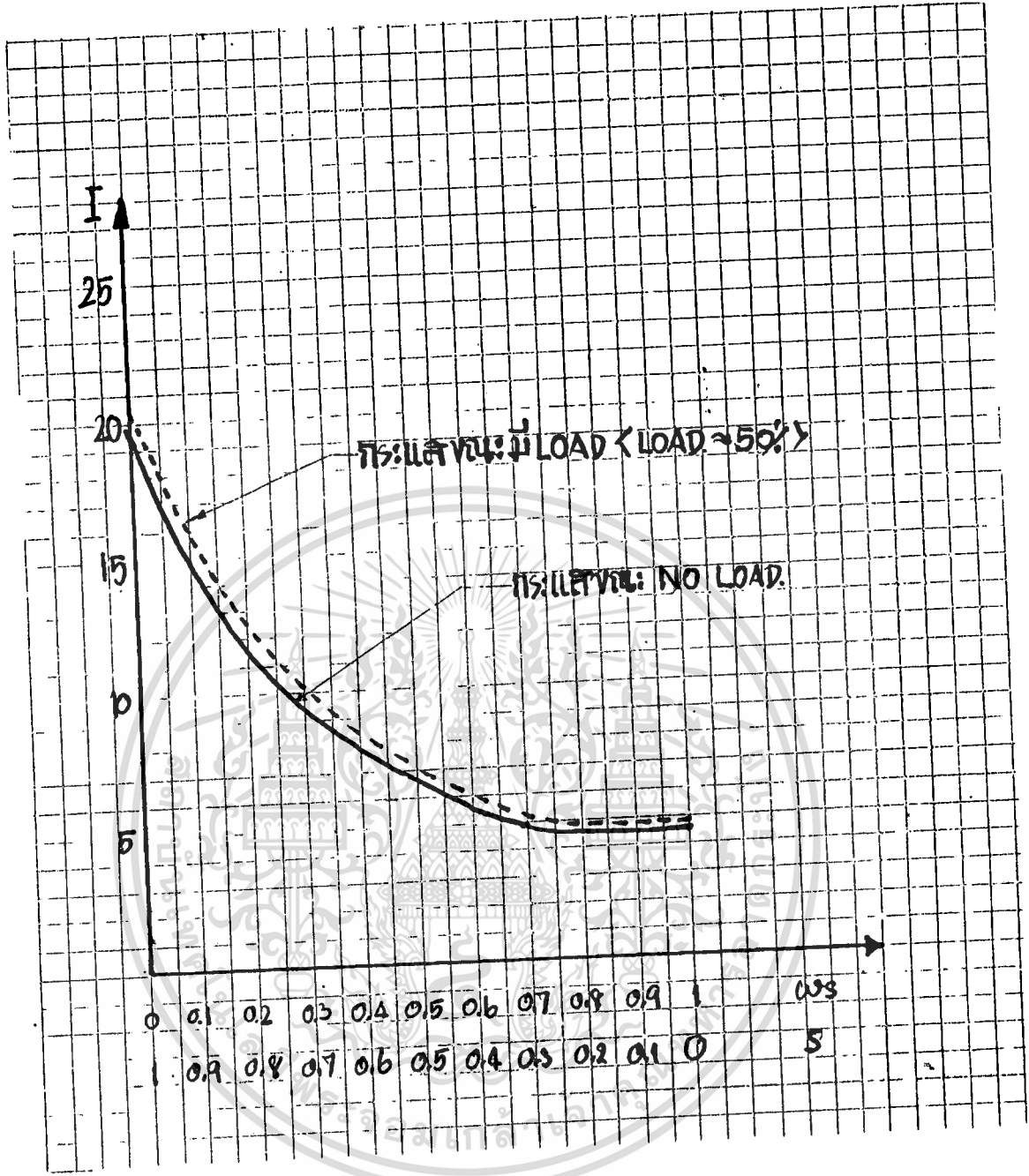
| จุดวัด ครั้งที่ | Ist1 A | Ist2 A | Ist3 A | Ist av A | I _R A |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------------------|
| 1 | 20.0 | 20.1 | 20.0 | 20.03 | 4.7 |
| 2 | 20.1 | 20.2 | 20.0 | 20.1 | 4.8 |
| 3 | 20.1 | 20.0 | 20.1 | 20.06 | 4.9 |
| 4 | 20.0 | 20.1 | 20.2 | 20.3 | 4.8 |
| 5 | 20.3 | 20.1 | 20.0 | 20.13 | 4.9 |
| 6 | 20.1 | 20.0 | 20.1 | 20.06 | 4.8 |
| 7 | 20.1 | 20.2 | 20.0 | 20.1 | 4.9 |
| 8 | 20.1 | 20.0 | 20.0 | 20.03 | 4.9 |
| 9 | 20.2 | 20.0 | 20.0 | 20.06 | 4.9 |
| 10 | 20.1 | 20.1 | 20.0 | 20.06 | 4.8 |

ตาราง 9 - 2 แสดงว่ากระแสไฟฟ้าแบบ Direct On Line ~~ขณะ~~ Full load

จากตาราง 9 - 2 จะได้ I start average = 20.093 A

I run average = 4.84 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

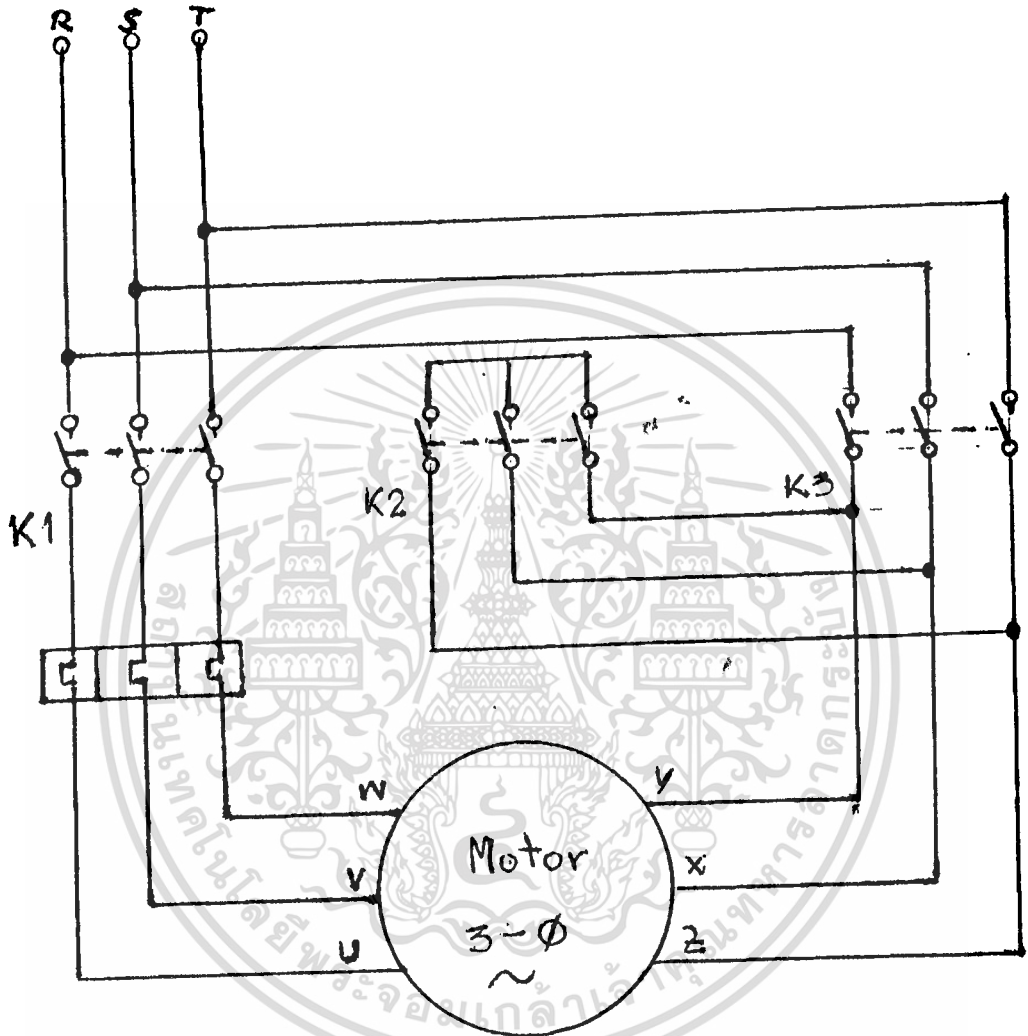


รูป 9.3 กราฟแสดงค่ากระแสจากตาราง 9 - 1, 9 - 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสตาร์ทมอเตอร์แบบ สตาร์ท - เคลตต้า (WYE-DELTA STARTOR)

ใช้มอเตอร์ตัวเดิม 380/660 V 50 Hz 4 Pole 36 Slot



รูป 9.4 วงจร OVER การสตาร์ทมอเตอร์แบบ สตาร์ท - เคลตต้า

การทำงาน

- F₁ และ F₂ ทำงานพร้อมกันเป็นการทำงานแบบสตาร์ท
- K₁ และ K₃ ทำงานโดย K₂ หยุดทำงานเป็นการทำงานแบบเคลตต้า

ผลการทดลอง จากรูปที่ 9.4 แสดงทั้งตารางที่ 9 - 3, 9 - 4

| ครั้งที่ วงจรที่ | I_{st1} A | I_{st2} A | I_{st3} A | $I_{st\ av}$ A | I_R A |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|------------|
| 1 | 5.6 | 5.7 | 5.8 | 5.7 | 1.2 |
| 2 | 5.8 | 5.8 | 5.7 | 5.76 | 1.1 |
| 3 | 5.8 | 5.7 | 5.6 | 5.7 | 1.2 |
| 4 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 1.2 |
| 5 | 5.7 | 5.8 | 5.7 | 5.73 | 1.2 |
| 6 | 5.7 | 5.7 | 5.8 | 5.73 | 1.1 |
| 7 | 5.8 | 5.8 | 5.7 | 5.76 | 1.1 |
| 8 | 5.7 | 5.8 | 5.8 | 5.76 | 1.2 |
| 9 | 5.7 | 5.7 | 5.8 | 5.73 | 1.2 |
| 10 | 5.8 | 5.7 | 5.7 | 5.73 | 1.1 |

ตาราง 9 - 3 แสดงค่ากระแสแต่ละสแตร์ที่เป็นสแตร์ ขณะ No load

ได้ $I_{st\ \text{star no load}} = 5.74\ \text{A}$

$I_R\ \text{star no load} = 1.16\ \text{A}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ข้อ คircuit | I _{st 1} A | I _{st 2} A | I _{st 3} A | I _{st av.} A | I _R A |
|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 18 | 19 | 18 | 18.33 | 4.6 |
| 2 | 18 | 19 | 19 | 18.66 | 4.7 |
| 3 | 19 | 19 | 18 | 18.66 | 4.8 |
| 4 | 19 | 18 | 18 | 18.33 | 4.7 |
| 5 | 18 | 19 | 18 | 18.33 | 4.6 |
| 6 | 19 | 19 | 18 | 18.66 | 4.6 |
| 7 | 18 | 18 | 19 | 18.33 | 4.7 |
| 8 | 18 | 19 | 19 | 18.66 | 4.7 |
| 9 | 19 | 19 | 18 | 18.66 | 4.6 |
| 10 | 18 | 19 | 19 | 18.66 | 4.7 |

ตาราง 9 - 4 แสดงค่ากระแสขณะเปลี่ยนจาก Y

ขณะ No Load

$$I_{st} \text{ Y - no load} = 18.52A$$

$$I_R \text{ no load} = 4.67A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองจากรูป. 9.4 ขณะมี load (แสดงถึงตารางที่ 9-5, 9-6

| ลำดับ ครั้งที่ | I_{st1} A | I_{st2} A | I_{st3} A | $I_{st av}$ A | I_R A |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------|
| 1 | 5.7 | 5.9 | 5.8 | 5.8 | 1.2 |
| 2 | 5.9 | 5.9 | 5.8 | 5.86 | 1.3 |
| 3 | 5.7 | 5.8 | 5.8 | 5.76 | 1.3 |
| 4 | 5.8 | 5.9 | 5.9 | 5.86 | 1.3 |
| 5 | 5.9 | 5.8 | 5.8 | 5.83 | 1.3 |
| 6 | 5.9 | 5.8 | 5.7 | 5.8 | 1.2 |
| 7 | 5.8 | 5.7 | 5.8 | 5.76 | 1.3 |
| 8 | 5.8 | 5.8 | 5.7 | 5.76 | 1.3 |
| 9 | 5.7 | 5.8 | 5.9 | 5.8 | 1.3 |
| 10 | 5.9 | 5.9 | 5.8 | 5.86 | 1.3 |

ตาราง 9 - 5 แสดงผลการระแคะระคายต่อสภาวะแบบ Y ON Load

จากตาราง 9 - 5 ได้ I_{st} star on load average = 5.8 A

I_R star on load average = 1.28A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

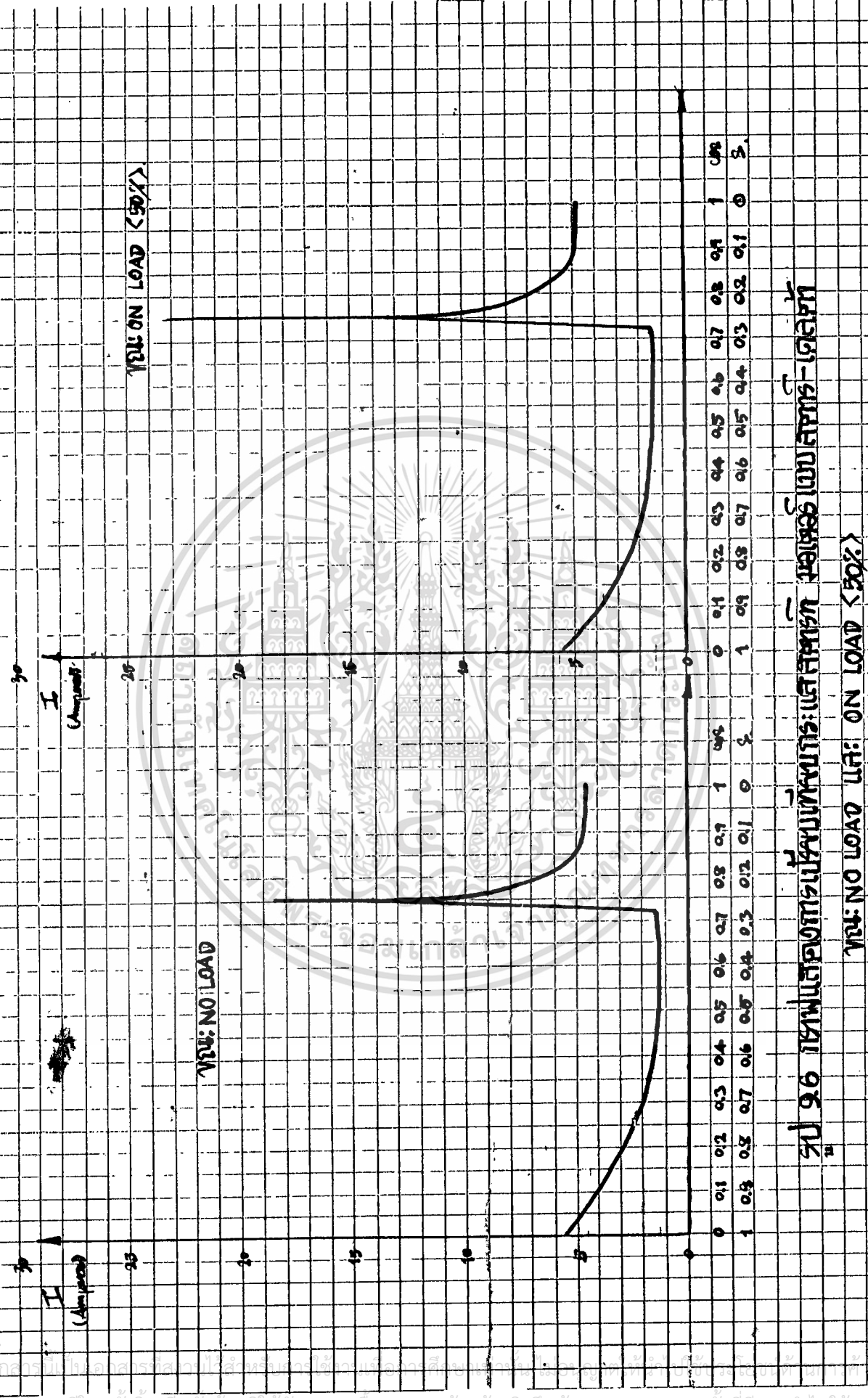
| Y ครั้งที่ | I _{st1} A | I _{st2} A | I _{st3} A | I _{st av} A | I _R A |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| 1 | 24 | 23 | 22 | 23 | 4.7 |
| 2 | 24 | 23 | 23 | 23.3 | 4.8 |
| 3 | 23 | 23 | 24 | 23.3 | 4.8 |
| 4 | 23 | 23 | 24 | 23.3 | 4.9 |
| 5 | 22 | 24 | 23 | 23 | 4.9 |
| 6 | 22 | 23 | 23 | 22.6 | 4.8 |
| 7 | 24 | 24 | 24 | 24 | 4.9 |
| 8 | 24 | 23 | 24 | 23.6 | 4.9 |
| 9 | 23 | 24 | 23 | 23.3 | 4.8 |
| 10 | 23 | 24 | 23 | 23.3 | 4.9 |

ตาราง 9 - 6 ผลการกระจายกระแสเปลี่ยนแปลง Y ขณะ ON Load

จะได้ I_Y on load average = 23.27 A

I_R on load average = 4.84 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 9.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในสายส่งเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง

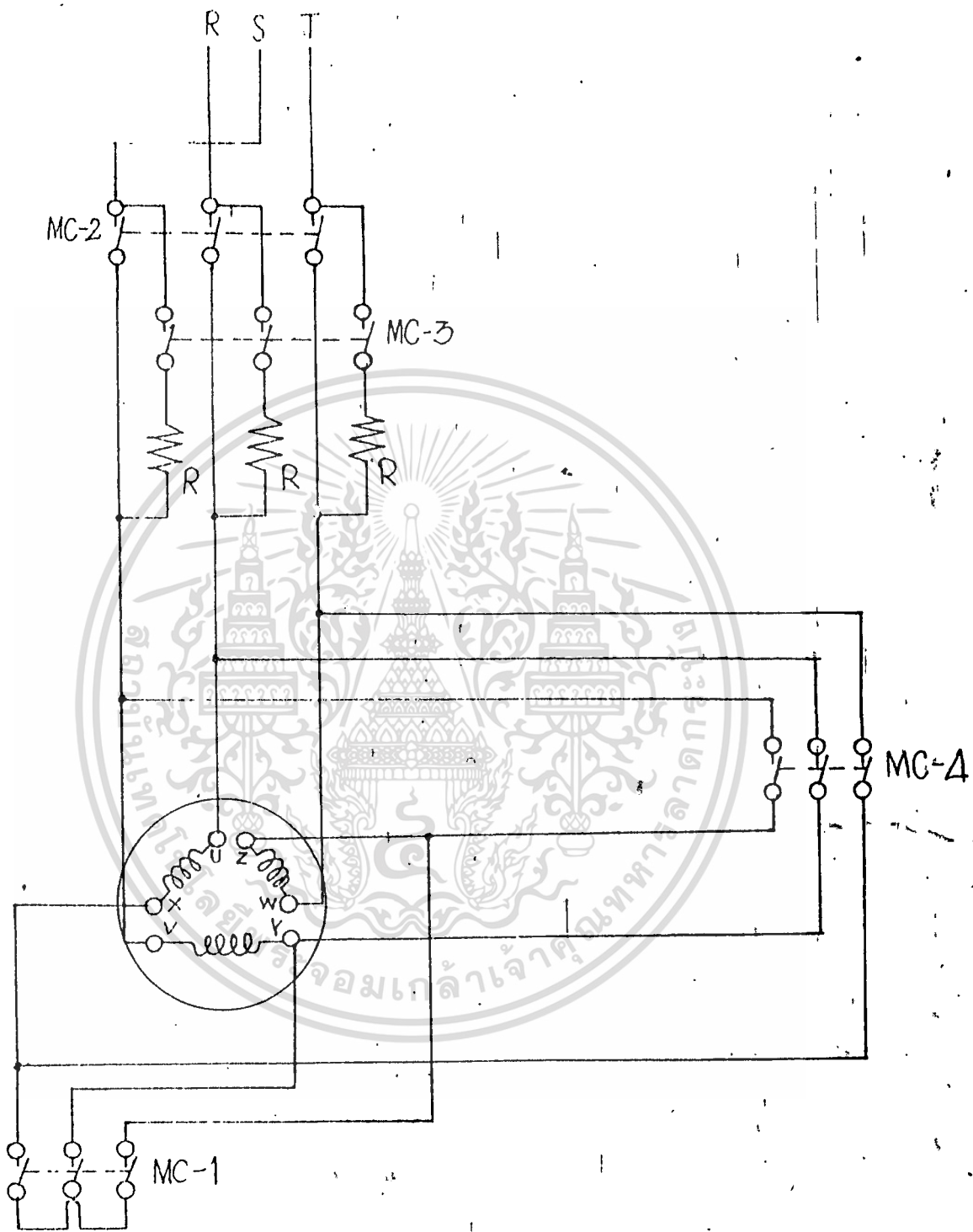
หมายเหตุ: ON LOAD และ NO LOAD

3. การสตาร์ทมอเตอร์ แบบ Soft wye delta starter

การสตาร์ทมอเตอร์แบบ สตาร์ - เคลต้า นั้น ขณะที่มอเตอร์สตาร์ทและมีภาระต่อวงจรชดลวดภายในสเตเตอร์เป็นแบบสตาร์นั้น ทำให้แรงดันตกคร่อมมอเตอร์ลดลงเป็น $1/3$ เท่า และกระแสกับแรงบิดของมอเตอร์ ก็ลดลงจากเดิมเป็น $1/3$ เท่า ของกระแสและแรงบิดปกติ และเมื่อถึงเวลาเปลี่ยนในวงจรชดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ ทำงานแบบเคลต้า ก็จะทำให้กระแสและแรงบิดเพิ่มขึ้นเป็นกระแสและแรงบิดปกติ ซึ่งทำให้เกิดการกระชากทางกระแสไฟฟ้า ขึ้นภายในวงจรได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาขึ้นกับอุปกรณ์ป้องกันโดยเฉพาะถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดโต กระแสส่วนนี้ก็จะเพิ่มมากขึ้นไปอีก และถ้าหากว่ามอเตอร์นั้นต่อให้กับโหลดตลอดเวลา ก็จะยิ่งทำให้เกิดปัญหาเพิ่มทวีขึ้นไปอีก และเพื่อแก้ปัญหาอันเกิดจากการที่กระแสจะกระชากในช่วงเปลี่ยนจากแบบสตาร์ ไปเป็นแบบเคลตตานี้ ก็มีวิธีต่าง ๆ หลายวิธีที่สามารถจะแก้ปัญหานี้ได้ และวิธี Soft wye-delta starting นี้เป็นวิธีหนึ่งที่จะแก้ปัญหานี้

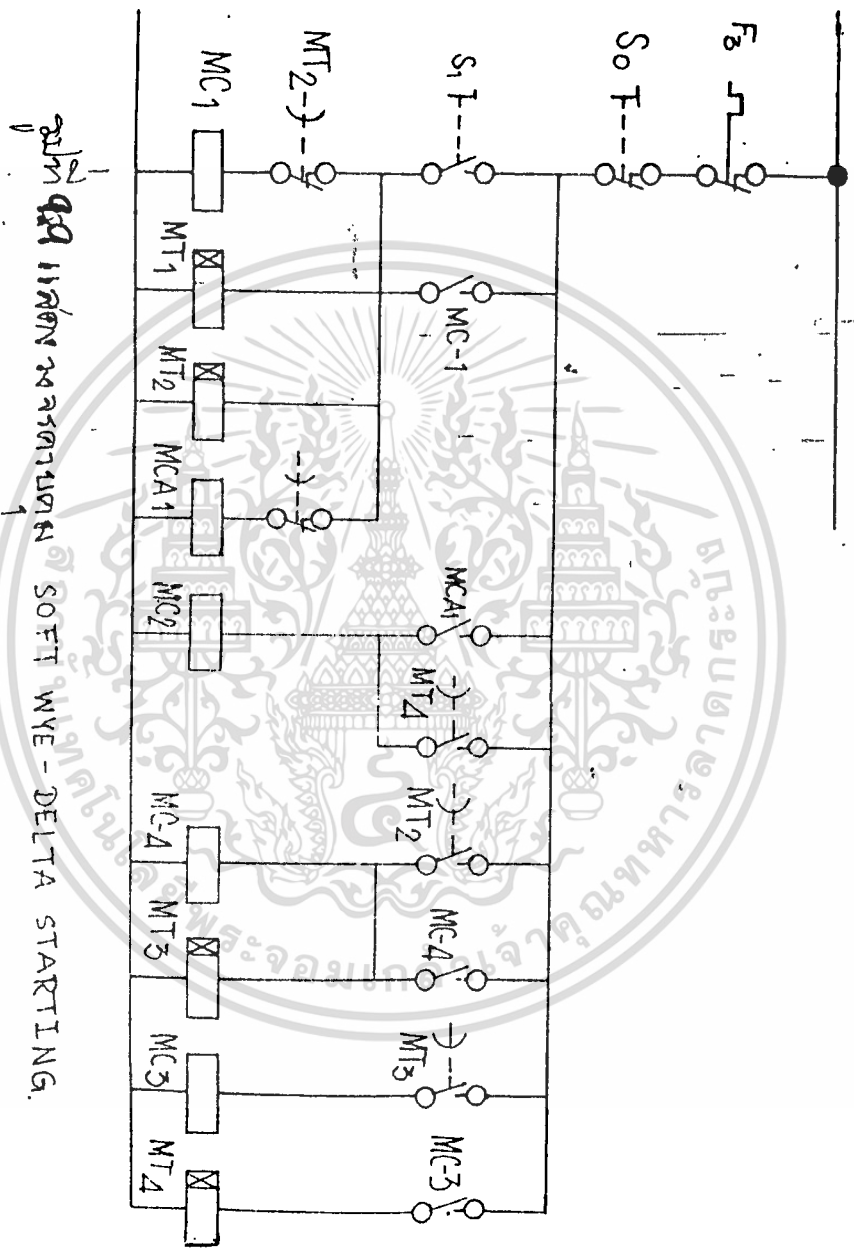
SOFT WYE-DELTA STARTING OF INDUCTION MOTOR

กระแสและแรงบิดใน Induction Motor จะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันให้กับ Induction Motor โดยตรง หลังจากที่ทำการเปลี่ยนชดลวดที่ Stator จากแบบ wye () ไปเป็นแบบ delta () ในการสตาร์ท Induction Motor แบบ SOFT WYE-DELTA STARTING นี้จะมีชุดคอนโทรลรีซีแคนท์ (Control Resistance) ที่อยู่ระหว่างขั้วของแหล่งจ่ายกับขั้วของมอเตอร์ ชุด Resistance ที่ต่ออยู่นี้จะช่วยลดกระแสและแรงบิดตอนเริ่มสตาร์ทอันทำให้เกิดแรงดันตกค้างภายในมอเตอร์ และเกิดขึ้นพร้อมกันกับแรงดันจากแหล่งจ่าย ซึ่งเรียกรวมการเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ว่า ผลเกิดจาก Three-phase re-excitation ซึ่งวิธีการสตาร์ทแบบนี้จะช่วยลดการกระชากของกระแสไฟฟ้า และหางกลไก ซึ่งลักษณะการต่อวงจรนั้น สามารถทำได้ ดังรูป 9.7

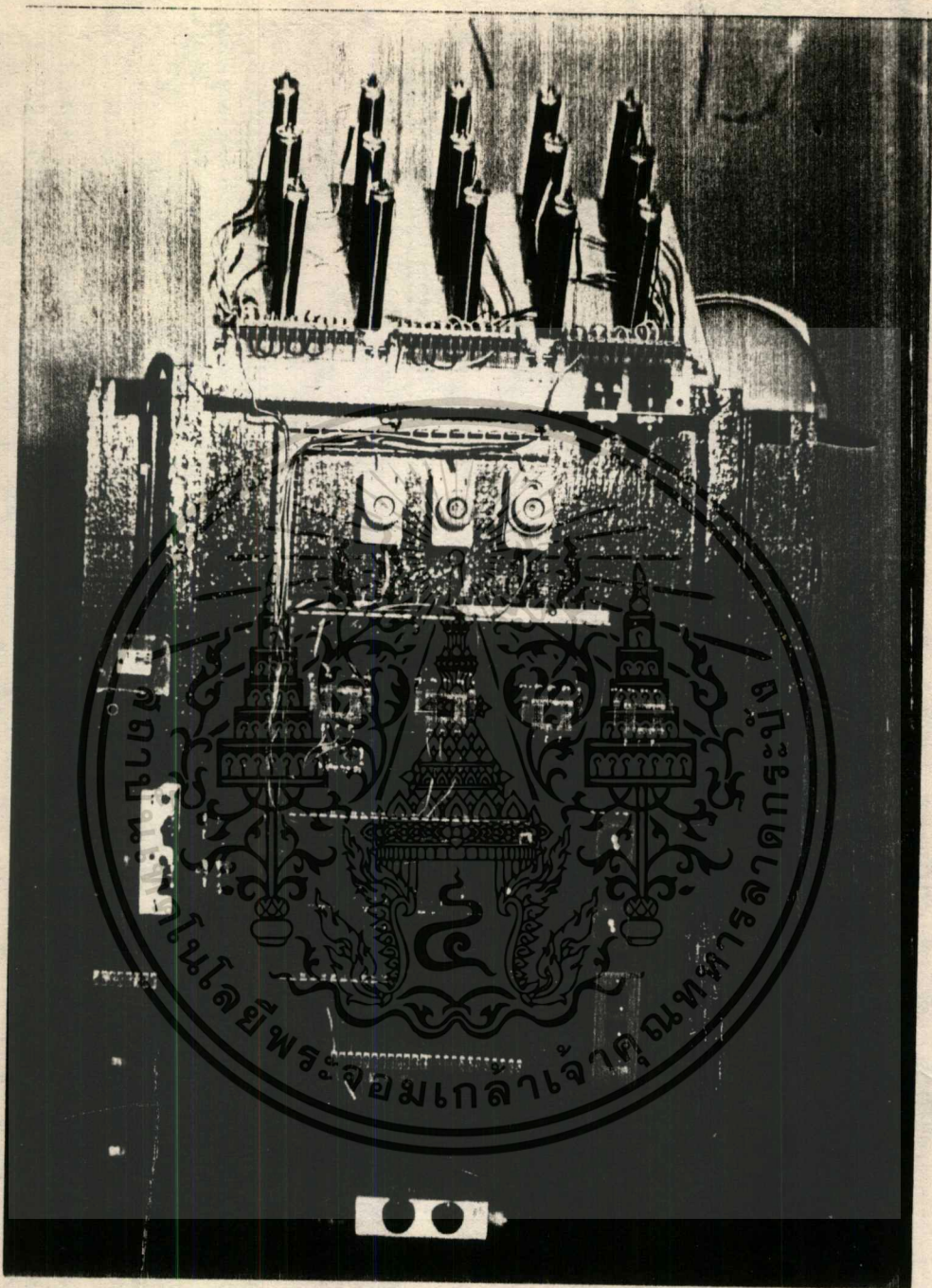


รูปที่ ๑๖๖ แสดง วงจรกำลัง SOFT WYE-DELTA STARTING

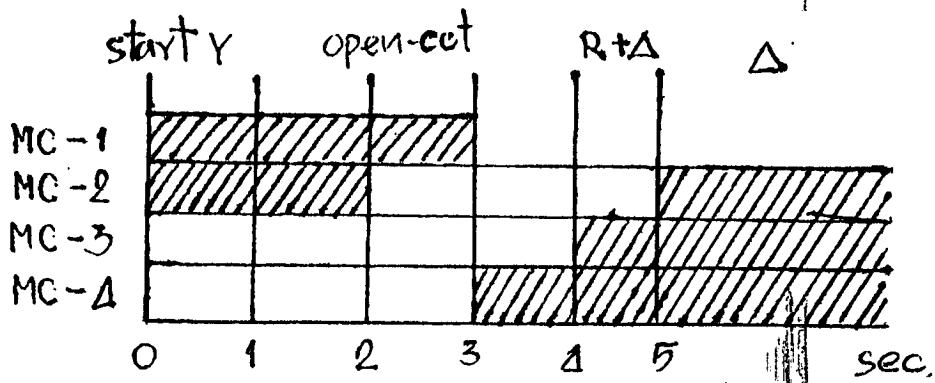
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



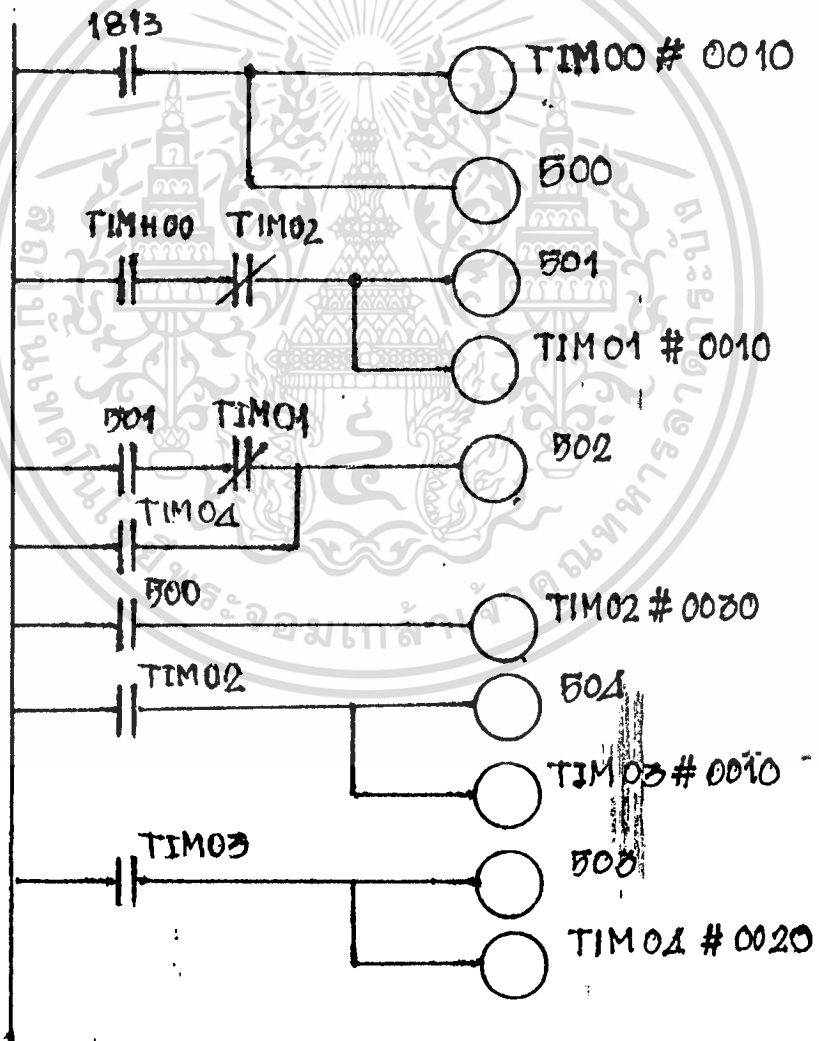
รูปที่ ๑๑๑ เครื่องควบคุมการสตาร์ทด้วย SOFT WYE-DELTA STARTING.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 9.10 TIME CHART ของรูป 9.9



รูป 9.11 LADDER DIAGRAM ของรูป 9.8

Program PC Control Soft wye - delta starter.

| Address | Instruction | Data |
|---------|-------------|-----------------|
| 0000 | LD | I813 |
| 0001 | OUT | TIM H 00 # 0010 |
| 0002 | OUT | 0500 |
| 0003 | LD | TIM H 00 |
| 0004 | AND NOT | TIM 02 |
| 0005 | OUT | 0501 |
| 0006 | OUT | TIM 01 # 0010 |
| 0007 | LD | 0501 |
| 0008 | AND NOT | TIM 01 |
| 0009 | OR | TIM 04 |
| 0010 | OUT | 0502 |
| 0011 | LD | 0500 |
| 0012 | OUT | TIM 02 # 0030 |
| 0013 | LD | TIM 02 |
| 0014 | OUT | 0504 |
| 0015 | OUT | TIM 03 # 0010 |
| 0016 | LD | TIM 03 |
| 0017 | OUT | 0503 |
| 0018 | OUT | TIM 04 # 0020 |
| 0019 | END (01) | |

| ย ครบก | I_{st1} A | I_{st2} A | I_{st3} A | $I_{st\text{ave}}$ A | I_R A |
|-----------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|------------|
| 1 | 12 | 12 | 11 | 11.6 | 4.6 |
| 2 | 11 | 11 | 11 | 11 | 4.7 |
| 3 | 11 | 11 | 12 | 11.3 | 4.8 |
| 4 | 12 | 12 | 11 | 11.6 | 4.7 |
| 5 | 11 | 11 | 12 | 11.3 | 4.6 |
| 6 | 12 | 12 | 11 | 11.6 | 4.6 |
| 7 | 12 | 11 | 12 | 11.6 | 4.7 |
| 8 | 11 | 11 | 12 | 11.3 | 4.7 |
| 9 | 11 | 12 | 11 | 11.3 | 4.6 |
| 10 | 11 | 11 | 12 | 11.3 | 4.7 |

ตาราง 9-7 แสดงกระแสขณะ มี RESISTOR ต่ออนุกรม
กับขดลวดในวงจร DELTA ขณะ NO LOAD
จากตารางนี้ได้:

$$I_{st \Delta \text{ no load average}} = 11.39 \text{ A}$$

$$I_R \Delta \text{ no load average} = 4.67 \text{ A}$$

| ครั้งที่ | I_{st1} A | I_{st2} A | I_{st3} A | $I_{st\text{ave}}$ A | I_R A |
|----------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|------------|
| 1 | 14 | 13 | 13 | 13.3 | 4.6 |
| 2 | 13 | 12 | 14 | 13 | 4.7 |
| 3 | 14 | 13 | 14 | 13.66 | 4.8 |
| 4 | 14 | 12 | 14 | 13.3 | 4.7 |
| 5 | 14 | 13 | 12 | 13 | 4.6 |
| 6 | 12 | 12 | 14 | 12.66 | 4.6 |
| 7 | 13 | 14 | 14 | 13.66 | 4.7 |
| 8 | 14 | 12 | 13 | 13 | 4.7 |
| 9 | 13 | 14 | 12 | 13 | 4.6 |
| 10 | 13 | 14 | 14 | 13.66 | 4.7 |

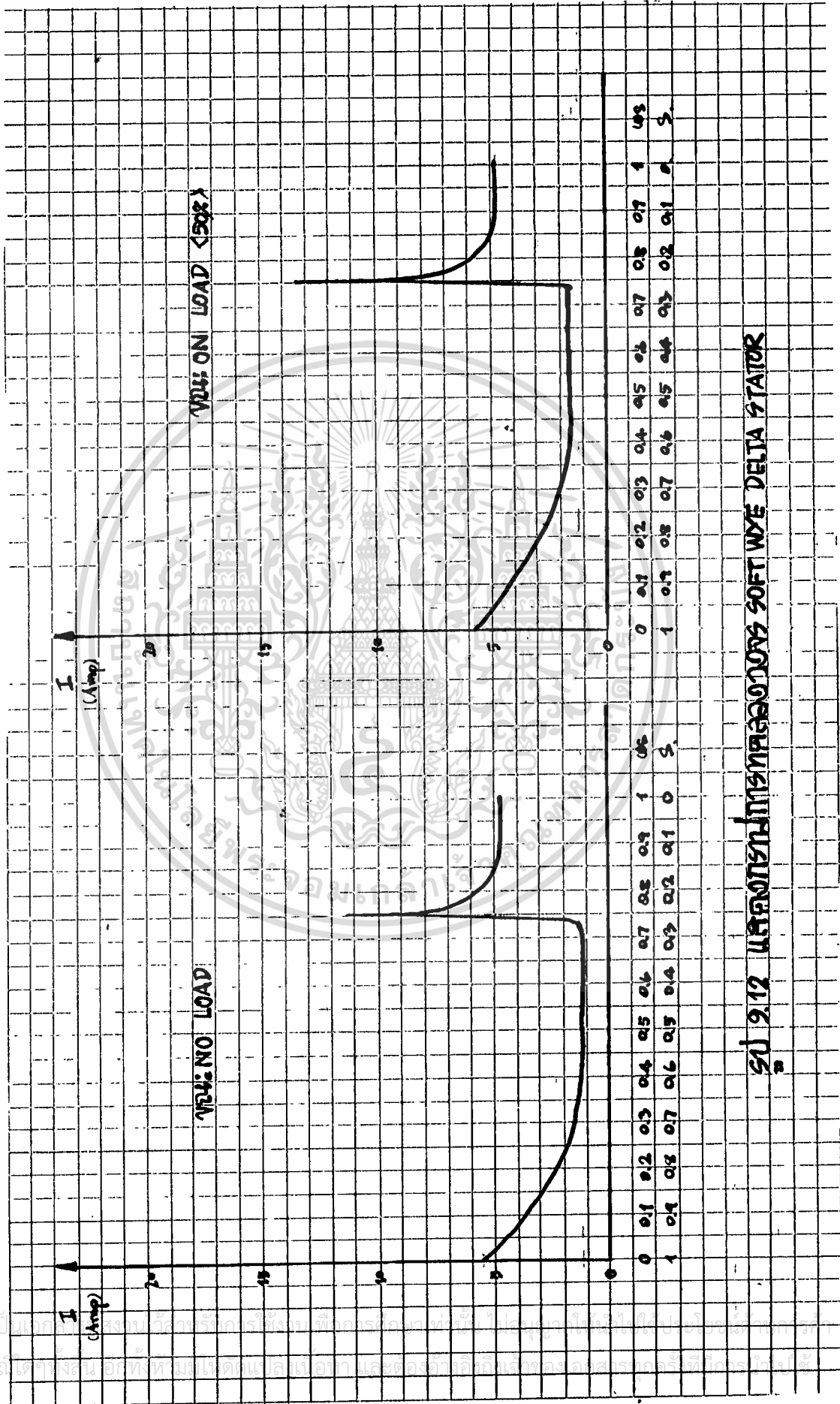
ตาราง 9 - 8 แสดงค่ากระแสขณะสแตร์ที่แบบมี Resistor ต่ออนุกรมอยู่กับวงจร DELTA ขณะ ON LOAD

จากตาราง 9 - 8 ได้

$$I_{st} \text{ ON LOAD average} = 13.22 \text{ A}$$

$$I_R \text{ (ON LOAD) average} = 4.84 \text{ A}$$

หมายเหตุ การเริ่มสแตร์ที่แบบ STAR ของการสแตร์ที่มอเตอร์แบบ SOFT WYE-DELTA STAR นี้ จะมีค่าเหมือนกับตารางที่ 9 - 5, 9 - 6



รูป 2.12 แสดงกราฟการทดลองของ Soft Wye Delta Stator

บทสรุป

โครงการนี้ ทำให้ทราบถึงการสคาร์ทมอเตอร์ชนิดอินคักชั่นส์กวีหนึ่งที่มีมอเตอร์มีขนาดใหญ่ ๆ และมีผลกระทบต่อบริการจราจร คอมพิวเตอร์ในเชิงกระแสจราจร ซึ่งนับได้ว่าเป็นการสคาร์ทอินคักชั่นส์มอเตอร์อย่างหนึ่ง ซึ่งใช้หลักการ - กรอบกระแสหรือข้อกระแสเปลี่ยนวงจรจากแบบสคาร์ท เป็นวงจรแบบเคลต้า จะทำให้สามารถลดกระแสเปลี่ยนเป็นเคลต้าได้ ซึ่งทั้งนี้ค่าความต้านทานที่นำมาใช้ค่าเป็นการที่จะต้องใช้สอดคล้องกับค่าความต้านทานของสคาร์ทควย ทั้งนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้ทาง ๆ เกี่ยวกับค่าความต้านทานภายในมอเตอร์และความต้านทานที่จะนำมาต่อใช้งาน

จากการศึกษาและทดสอบการสคาร์ทแบบลดกระแสจราจรโดยวิธีสคาร์ท-เคลต้า แบบใช้ความต้านทานช่วยนี้มีข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้

- ข้อดี
- สามารถลดกระแสจราจรจากการเปลี่ยนรูปแบบการต่อวงจรจากสคาร์ทเป็นเคลต้าได้ ทำให้การรบกวนระบบอิเล็คตรอนคอมพิวเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมหมดไป
 - การทำงานของวงจรไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถประกอบใช้เองได้
 - การสคาร์ทเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ และอัตโนมัติ โดยใช้วงจรควบคุม

- ข้อเสีย
- ขนาดของแรงบิดจะลดลง เพราะใช้การสคาร์ทแบบสคาร์ทช่วยในช่วงแรกก่อนจะให้วงจรความต้านทานทำงาน
 - การหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมกับวงจรทำได้ลำบากและยุ่งยากในการเตรียมเพราะต้องทดลองหาหลายครั้ง
 - การสคาร์ทที่มีชั้นตอนยุ่งยาก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา คือ ผศ.ทองใบ อรรถเศรษฐ
กลลจจน อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาไฟฟ้า ที่ช่วยให้คำปรึกษา แนะนำทางคำ
วิชาการ อีกทั้งยังให้กำลังใจ จนกระทั่งโครงการ เรื่อง การสคาร์ทมอเทอร์แบบ
สำเร็จล่วงค้วช้

อนึ่ง ผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในค่านต่าง ๆ จน
ทำให้โครงการและปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ผู้จัดทำ



เอกสารอ้างอิง

1. คร.พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสถ, มาบุษิ มาการิชาวา, "เทคนิคการซ่อมแซมเลือกประเภทและติดตั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำ", บริษัทซีเอ็คยูเคชั่น จำกัด, 300 หน้า 2530
2. วิทยา ประยงพันธุ์, อำนาจ ทองผาสุข, "การควบคุมมอเตอร์", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, 2532
3. วิจิตร บุญชโรบล, "ระบบควบคุมมอเตอร์" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 265 หน้า, 2529
4. สุเชียร เกียรติสุนทร, "หลักการทํางานและเทคนิคการประยุกต์ใช้งาน บริษัท ซีเอ็คยูเคชั่น จำกัด, 201 หน้า, 2531
5. สมเกียรติ พงอากม, "ไฟฟ้ากระแสตรง", วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน, 420 หน้า 2516
6. B.L. Theraja, "A Text-Book of Electrical Technology" Mc Graw Hill, .
7. Fitzgerald/Kinsley/Urans, "Electric Machinery" Mc Graw Hill, 571 p,1985
8. William H.Hayt,Jr, "Engineering Electromagnetics" Mc Graw Hill, 527p, 1984.