สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

AC Voltage Controller for 3 Phase Induction Motor

โดย

นายลีนะวัต มุสิกบุตร

นายประพันธ์ เคณาภูมิ

นายสุพจน์ ศาสะวัตกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.พิชิต ลำยอง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37002
วัน, เดือน, ปี 30 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ผู้จัดทำ

1. นายลีนะวัต มุสิกบุตร
2. นายประพันธ์ เคณาภูมิ
3. นายสุพจน์ ศาสะวัตกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.พิชิต ลำยอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

นายลีนะวัต มุสิกบุตร
นายประพันธ์ เคณาภูมิ
นายสุพจน์ ศาศะวัตกุล
ผศ.พิชิต ลำยอง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้นำวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หลักการของเฟสคอนโทรล ไปใช้ในการเลือกมุมในการเริ่มหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ในการเริ่มหมุน ณ ตำแหน่งมุมต่าง ๆ ของแรงดันไฟฟ้าที่เริ่มต้น และนำไปใช้ในการเริ่มหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำอย่างนิ่มนวล (Soft Start) ซึ่งจะลดการกระชากของกระแสเริ่มหมุน เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เปรียบเทียบกับการ เริ่มหมุนมอเตอร์โดยการต่อโดยตรง และนำไปใช้ในการปรับ แรงดันไฟฟ้า 3 เฟสที่ป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งอยู่ในสภาวะไม่สมดุล (Unbalance) ให้สมดุล เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการที่มีแรงดันไม่สมดุล เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการปล่อยให้แรงดันไม่สมดุล กับการปรับแรงดันให้สมดุลแบบควบคุมมุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Voltage Controller For 3 Phase Induction Motor

LEENAVAT MUSIKABUTR
PRAPHAN KHENAPHOOM
SUPOT SASAWATTAKUL
Asst.Prof. PICHIT LUMYONG

1999

ABSTRACT

This project takes the method of AC voltage controller which is used the principle of phase-controlled. For selection starting angle of induction motor to studies the effects on motor at different angle of initial voltage. For soft start which is reduced starting current to studies the effect on motor compared with starting by direct on line. For adjustment 3 phase voltage at unbalance condition into balance condition feed to the motor to studies the result compared with motor operation at unbalance voltage condition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 วงจรสมมูล 1-เฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส 2
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรควบคุมแรงดันแบบ 1 เฟส 4
รูปที่ 2.3 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ $\alpha<\phi$ 5
รูปที่ 2.4 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ $\alpha>\phi$ 6
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการต่อวงจรควบคุมกับโหลด 3 เฟสแบบต่าง ๆ 7
รูปที่ 2.5 แสดงลักษระกระแสและแรงดันสำหรับโหมด A 9
รูปที่ 2.6 แสดงลักษระกระแสและแรงดันสำหรับโหมด B 9
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างภายในของ 8051 13
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรการเลือกมุมสตาร์ทมอเตอร์ 17
รูปที่ 3.2 รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าเมื่อสับสวิตช์ ณ มุม 30 องศา, มุมโหลดเท่ากับ 60 องศา 18
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องสตาร์ทมอเตอร์แบบโซลิดสเตท 20
รูปที่ 3.4 แสดงองค์ประกอบฮาร์โมนิคการควบคุมแบบไลน์ต่อเป็นแบบสตาร์มีภาระเป็นความต้านทานและความเหนี่ยวนำ มุมของภาระเท่ากับ 30 องศา 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 วงจรลำดับบวก 22
รูปที่ 3.5 วงจรลำดับลบ 22
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
แบบควบคุมมุมเฟส 23
รูปที่ 4.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ทริกเอสซีอาร์ 24
รูปที่ 4.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก 25
รูปที่ 4.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล 26
รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด 27
รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเลือกมุมสตาร์ท 28
รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมซอฟท์สตาร์ท 29
รูปที่ 4.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมปรับแรงดันไฟฟ้าให้สมดุล 30
รูปที่ 5.1 แสดงแรงดันการเลือกมุมสตาร์ทที่มุม 0 องศา 32
รูปที่ 5.2 แสดงกระแสการเลือกมุมสตาร์ทที่มุม 0 องศา 33
รูปที่ 5.3 แสดงแรงดันการเลือกมุมสตาร์ทที่มุม 30 องศา 34
รูปที่ 5.4 แสดงกระแสการเลือกมุมสตาร์ทที่มุม 30 องศา 35
รูปที่ 5.5 แสดงแรงดันการเลือกมุมสตาร์ทที่มุม 59 องศา 36
รูปที่ 5.6 แสดงกระแสการเลือกมุมสตาร์ทที่มุม 59 องศา 37
รูปที่ 5.7 แสดงแรงดันในขณะสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท 39
รูปที่ 5.8 แสดงกระแสในขณะสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท 40
รูปที่ 5.9 แสดงแรงดันชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงแรก 41
รูปที่ 5.10 แสดงกระแสชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงแรก 41
รูปที่ 5.11 แสดงแรงดันชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงกลาง 42
รูปที่ 5.12 แสดงแรงดันชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงกลาง 42
รูปที่ 5.13 แสดงแรงดันชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงปลาย 43
รูปที่ 5.14 แสดงกระแสชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงปลาย 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.15 ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นจากการทดลอง 48
รูปที่ 6.1 แสดงวงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำ 49
รูปที่ 6.2 รูปแสดงกระแสกระชากรวมทั้งหมดของมอเตอร์ 51
รูปที่ 6.3 แสดงผลของกระแสที่ได้จากการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ ที่มุม 30 องศาของเฟส A 52
รูปที่ 6.4 กระแสขณะเริ่มหมุนมอเตอร์แบบต่อโดยตรง 54
รูปที่ 6.5 กระแสขณะเริ่มหมุนมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท 54
รูปที่ 6.6 แสดงผลของกระแสฮาร์โมนิกที่ได้การจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ 55
รูปที่ 6.7 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของแรงดันและกระแส ณ โหลดมุม 60 องศา ทริกที่ 75 องศา 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับแรงดันไม่สมดุลขณะไม่มีโหลด 44
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับแรงดันไม่สมดุลขณะมีโหลด = 3 กก. 45
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับแรงดันไม่สมดุลขณะมีโหลด = 4 กก. 45
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อเลือกมุมสตาร์ทมอเตอร์ที่ค่าต่างๆ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสและวงจรควบคุม	2
บทที่ 3 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับเงื่อนไขต่าง	17
บทที่ 4 การออกแบบวงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์ตามเงื่อนไข และการออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์	23
บทที่ 5 การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสตามเงื่อนไข	31
บทที่ 6 วิเคราะห์ผลจากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสตามเงื่อนไข	49
บทที่ 7 บทสรุปและวิจารณ์	58
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

เครื่องต้นกำลังในปัจจุบัน มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องต้นกำลังที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในอุตสาหกรรม และโดยทั่วไปเครื่องต้นกำลังใช้มอเตอร์เหนี่ยวเป็นส่วนมาก ทั้งนี้เพราะมอเตอร์เหนี่ยวนำ มีความแข็งแรงทนทาน มีราคาถูก มีประสิทธิภาพสูง มีความแน่นอนในการใช้งานสูง และบำรุงรักษาสะดวก

ปัจจุบันการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเราสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการจะควบคุมอะไรและใช้วิธีใดในการควบคุม ซึ่งการใช้เฟสคอนโทรลก็เป็นทางเลือกหนึ่งการควบคุมมอเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นการเริ่มหมุน ความเร็ว แรงบิด เป็นต้น และโครงงานนี้จะทำการศึกษาผลจากการควบคุมตามเงื่อนไขต่างๆ ยังได้ศึกษาถึงผลที่จะเกิดกับมอเตอร์ในแต่ละเงื่อนไข

จุดประสงค์ของโครงงานนี้

- การกำหนดมุมเริ่มต้นในการเริ่มทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ในการเริ่มหมุน ณ ตำแหน่งมุมต่างๆ ของแรงดันไฟฟ้าที่เริ่มต้น
- การควบคุมแรงดันในการเริ่มหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบซอฟท์สตาร์ท สำหรับทำการลดกระแสในการเริ่มต้นการหมุนของมอเตอร์ จากการทำการเริ่มต้นการหมุนของมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เปรียบเทียบกับการสตาร์ทมอเตอร์โดยการต่อโดยตรง
- การควบคุมแรงดันของแหล่งจ่ายแบบไม่สมดุลให้สมดุล แล้วจ่ายโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการที่มีแรงดันไม่สมดุล เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการปล่อยให้แรงดันไม่สมดุล กับการปรับแรงดันให้สมดุลแบบควบคุมมุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

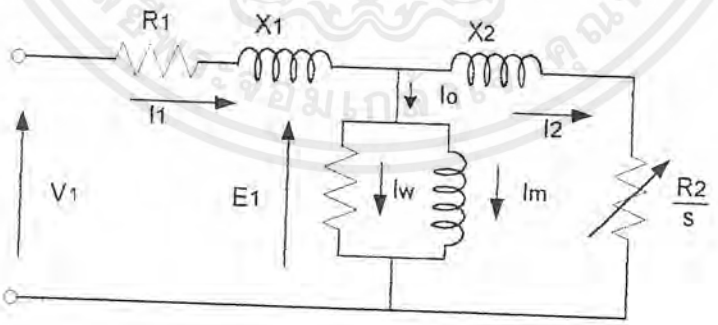
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสและวงจรควบคุม

ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีขดลวดสเตเตอร์ชนิด 3 เฟสที่สมมาตรกัน ดังนั้นขดลวดโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะไม่มีการต่อใด ๆ ทางด้านภายนอก และโรเตอร์จะได้ซัพพลายโดยการเหนี่ยวนำจากสเตเตอร์ กระแสสเตเตอร์จะสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุนขึ้นในแอร์แก็ป และแรงเคลื่อนแม่เหล็กนี้จะสร้างคลื่นฟลักซ์ขนาดคงที่ซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบสม่ำเสมอผ่าน 2 ขั้วแม่เหล็กในแต่ละไซเกิลของซัพพลาย ดังนั้นความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนนี้คือ $\omega_1 = 2\pi f_1/p$ rad/sec หรือ $n_1 = 60f_1/p$ รอบ/นาที โดยที่ p คือ จำนวนคู่ขั้วทางด้านสเตเตอร์ และ f_1 คือ ความถี่ซัพพลายในหน่วย ไซเกิล/วินาทีหรือ Hz (n_1 นี้คือ ความเร็วรอบซิงโครนัสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ)

วงจรสมมูล

วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะคล้ายกับวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงทั่ว ๆ ไปเนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำก็คือ หม้อแปลงที่มีขดทุติยภูมิที่หมุนได้นั่นเอง ในทำนองเดียวกับหม้อแปลงสเตติค



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูล 1-เฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสซีอาร์ (SCR)

ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานสมัยก่อน ๆ นั้น มักใช้ตัวต้านทานที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ที่มีขนาดใหญ่ หรือไม่ก็ใช้หลอดไทราตรอน (Thyratron) ซึ่งเป็นผลทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ และที่สำคัญคือราคาแพง

ต่อมาได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นมาชนิดหนึ่งที่รู้จักชื่อกนว่า ไทริสเตอร์ (Thyristor) อุปกรณ์ชนิดนี้เมื่อนำมาใช้งานพบว่ามีประสิทธิภาพที่เชื่อถือได้พอที่จะแทนที่หลอดไทราตรอน

ไทริสเตอร์ไม่ได้หมายถึงอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งโดยเฉพาะ แต่หมายถึงกลุ่มของอุปกรณ์พวกหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยเอสซีอาร์ (SCR:Silicon Controlled Rectifier) เป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานในการควบคุมกำลังงานอย่างกว้างขวางที่สุด CSCR (Complemenetary Silicon Controlled Rectifier), Triac, SCS (Silicon Unilateral Switch) ASR (Asymmetrical Silicon Rectifier), SUS (Silicon Unilateral Switch) และ SBS (Silicon Bilateral Switch) ฯลฯ

และนอกจากอุปกรณ์ที่กล่าวถึงเหล่านี้และยังมีอุปกรณ์อื่น ๆ อีกบางตัวที่สามารถนำมาใช้เป็นสวิตซ์อัตโนมัติได้ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในวงจร

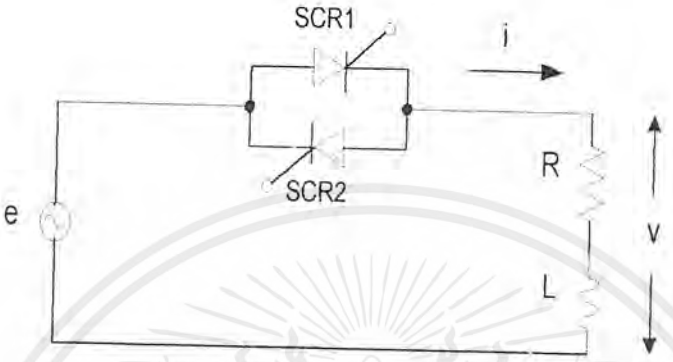
ในการที่เราจะนำอุปกรณ์พวกนี้ไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ เราควรจะมาทำความเข้าใจและรู้จักกับคุณสมบัติ อัตราและขีดจำกัดที่สำคัญเสียก่อน เพื่อที่จะนำไปใช้ประกอบในการออกแบบวงจร

การทริกเกต

เกณฑ์ขยายกระแส α ของทรานซิสเตอร์จะเป็นฟังก์ชั่นของกระแสอีมิทเตอร์ และนั่นคือถ้าจังชั่นระหว่างเบสและอีมิทเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งได้รับฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forword bias) แล้ว ผลรวมของเกณฑ์ขยายของกระแส ($\alpha_1 + \alpha_2$) จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์กลับเข้าสู่สภาวะนำกระแสได้ ปกติจะใช้เบสของทรานซิสเตอร์ n-p-n เป็นขาเกตซึ่งเป็นขาที่ใช้ป้อนสัญญาณเพื่อให้ทรานซิสเตอร์สวิทช์เข้าสู่สภาวะนำกระแส ไทริสเตอร์จะยังคงนำกระแสอยู่ต่อไปแม้เมื่อปลดหรือดับสัญญาณเกตแล้วก็ตาม ทั้งนี้กระแสโหลดจะต้องมีค่าเกินกระแสโฮลด์(Hold current) หรือกระแสซัสเทน (Sustent) ไปแล้วเท่านั้น เมื่อกระแสโหลดมีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลด์ จะได้ $(\alpha_1 + \alpha_2) < 1$ และไทริสเตอร์จะกลับคืนสู่สภาวะที่สามารถกันกระแสไม่ให้ไหลในทิศฟอร์เวิร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสคอนโทรล



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรควบคุมแรงดันแบบ 1 เฟส

การควบคุมแรงดันแบบ 1 เฟส

จากวงจรเมื่อโหลดประกอบด้วยความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ ในขณะทำงานจะมีเอสซีอาร์ทำงานนำกระแสเพียง 1 ตัวในช่วงครึ่งไซเคิลหนึ่ง และเปลี่ยนเป็นอีกตัวหนึ่งในอีกครึ่งไซเคิล ถ้าในช่วงหนึ่งเราพิจารณาให้ SCR1 ทำงานนำกระแส เราจะได้สมการของกระแสใน SCR1 คือ

$$I_{SCR1} = \frac{\sqrt{2}V}{Z}[\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi)e^{(R/L)(\alpha-\omega t)/\omega}] \quad .....2.1$$

$$Z = [R^2 + \omega L^2]^{1/2} \quad \Omega$$

$$\phi = \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$$

ที่มุมหยุดนำกระแส($\omega t=\beta$) ; i=0 อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นจากสมการ 2.4 จะได้ความสัมพันธ์

$$\sin(\beta - \phi) = \sin(\alpha - \phi)e^{(R/L)(\alpha-\beta)/\omega} \quad .....2.2$$

$$\gamma = \beta - \alpha \quad .....2.3$$

β คือ มุมที่เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

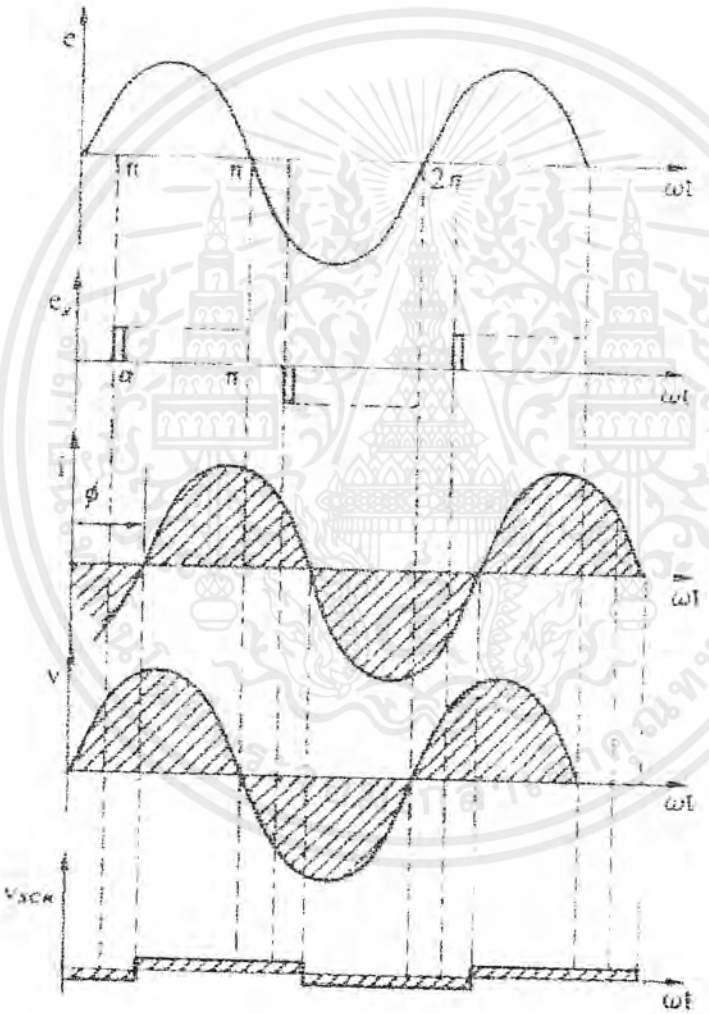
ϕ คือ มุมโหลด

α คือ มุมที่เอสซีอาร์เริ่มนำกระแส

γ คือ ช่วงการนำกระแสของเอสซีอาร์เป็นองศา

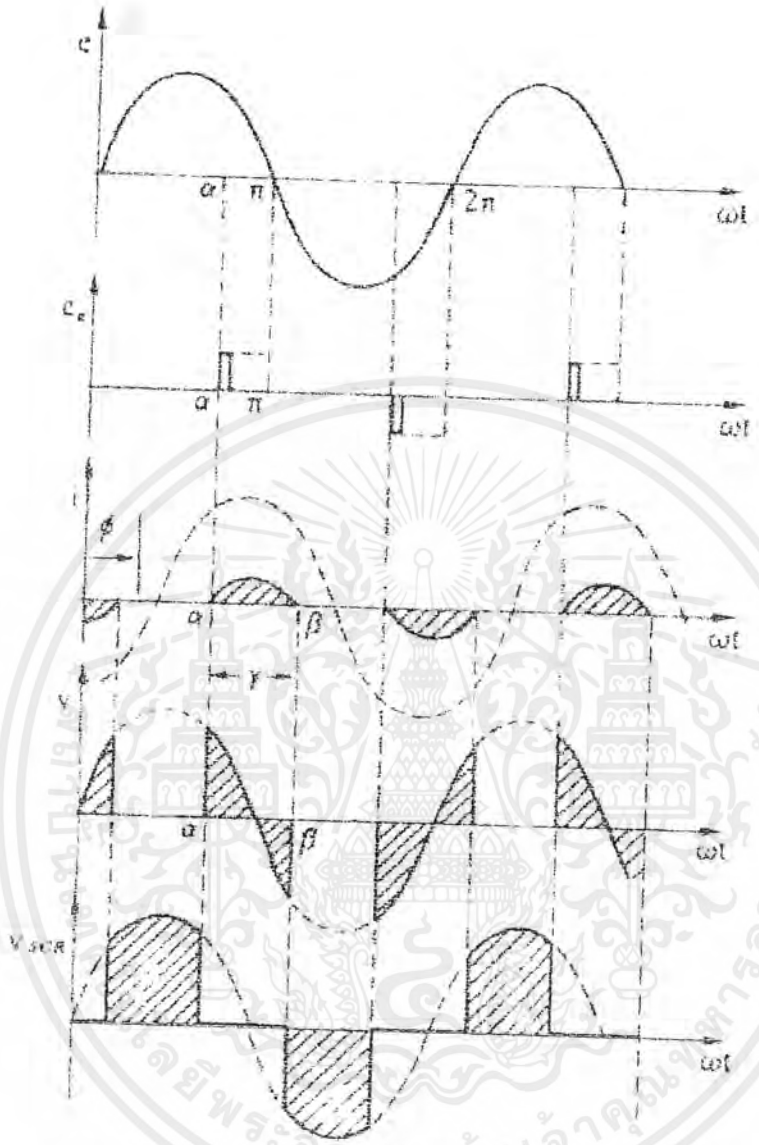
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $\alpha<\phi$ เมื่อให้สัญญาณทริกขาเกตเอสซีอาร์เป็นแบบ ลองพัลส์ (long pulse) จะทำให้กระแสไหลต่อเนื่องและจะได้รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่โหลดอย่างต่อเนื่องเป็นรูปไซน์ ดังรูป 2.3 สำหรับกรณี $\alpha>\phi$ เอสซีอาร์จะทำงานสลับกันตัวละครึ่งไซเคิลโดยจะทำงานคล้ายกับเป็นวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นและให้รูปกระแสและแรงดันขาดตอนเป็นช่วง ๆ ดังแสดงในรูป 2.4



รูปที่ 2.3 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ $\alpha<\phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ $\alpha>\phi$

โดยมีเงื่อนไขว่า การนำกระแสจะต้องไม่กินมุม γ เกินกว่า 180 องศา ซึ่งเราจะมองเห็นอย่างชัดเจนว่า ขณะที่เราลดมุม α ลงจนกระทั่ง γ=180 องศา สำหรับกรณี $\alpha=\phi$ เราจะได้รูปคลื่นของ I และ V เข้าใกล้รูปคลื่นไซน์มาก จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง α,γ,ϕ,β

จากสมการ 2.2 และ 2.3 เมื่อสมการ $\alpha=\phi$ จะได้

$$\sin(\beta-\phi)=\sin(\beta-\alpha)=0$$

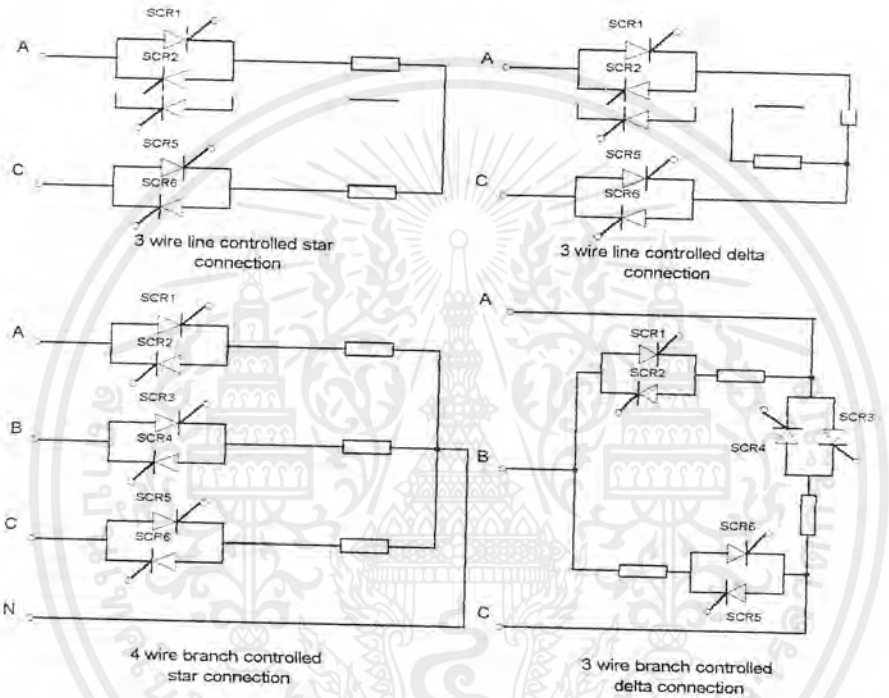
$$\beta-\alpha=\gamma=180^{\circ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแรงดันแบบ 3 เฟส แบ่งได้เป็น 2 แบบ

1. การควบคุมแบบไลน์ (Line Controller)
2. การควบคุมแบบบรานช์ (Branch Controller)

ซึ่งการควบคุมมุมทั้ง 2 แบบ สามารถต่อเป็นการควบคุมภาระทางไฟฟ้าแบบสตาร์(star) และเดลต้า(delta) โดยรูปแบบของวงจรดังรูป



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการต่อวงจรควบคุมกับโหลด 3 เฟสแบบต่าง ๆ

เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการควบคุมแต่ละแบบ

-การควบคุมแบบบรานช์

ข้อดี 1. มีช่วงการควบคุมกว้างคือตั้งแต่มุมโหลดถึง 180 องศา ซึ่งเหมือนกับการควบคุมแบบเฟสเดียว

2. สำหรับการต่อแบบเดลต้าสามารถลดพิกัดของเอสซีอาร์ลงได้ เพราะกระแสที่ไหลผ่าน เอสซีอาร์ มีค่าน้อยกว่าแบบไลน์ และการต่อแบบนี้ยังให้ดิสทอร์ชั่นแฟคเตอร์ (Distortion Factor) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการต่อแบบอื่นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย 1. สำหรับการต่อแบบเดลต้า การต่อจะไม่สะดวกเพราะต้องใช้สายออกจากมอเตอร์ถึง 6 เส้น เมื่อนำมาต่อกับเอสซีอาร์และยิ่งถ้าในกรณีที่มอเตอร์อยู่ห่างจากแผงควบคุมมากจะทำให้สิ้นเปลืองสาย และการเดินสายทำได้ลำบาก

2. สำหรับการต่อแบบสตาร์ จะทำให้เกิดฮาร์โมนิคกระแสสูงสุด และกระแสที่ไหลในนิวตรอนสูงสุดด้วย

-การควบคุมแบบไลน์

ข้อดี 1. การต่อใช้งานจะสะดวก เพราะใช้สายที่ต่อออกจากตัวมอเตอร์เพียง 3 เส้นเพื่อมาต่อกับ เอสซีอาร์ซึ่งถ้ามีมอเตอร์ที่มีการต่อสายออกมา 3 เส้นอยู่แล้ว สามารถใช้การควบคุมแบบนี้ได้เลย

ข้อเสีย 1. มีช่วงการควบคุมแคบกว่าแบบบรานช์ คือตั้งแต่มุมโหลดถึง 150 องศา

2. มีรูปคลื่นแรงดันที่ได้ผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์ มากกว่าการควบคุมแบบบรานช์ที่ต่อแบบ เดลต้า จะได้ดิสทอร์ชั่นแฟคเตอร์ต่ำกว่า แต่จะสูงกว่าการควบคุมแบบบรานช์ที่ต่อแบบ สตาร์

เนื่องจากการควบคุมแบบไลน์ มีการต่อใช้งานที่สะดวก ถึง แม้ว่าดิสทอร์ชั่นแฟคเตอร์จะไม่สูงเท่ากับการควบคุมแบบบรานช์ที่มีการต่อแบบเดลต้า แต่ก็มีฮาร์โมนิคกระแสน้อยกว่าการควบคุมแบบบรานช์ที่มีการต่อแบบสตาร์ และยังเป็นที่นิยมใช่ในอุตสาหกรรมอยู่ทั่วไปด้วย เหตุผลเหล่านี้ทำให้ในโครงงานนี้จะเลือกใช้การควบคุมแบบไลน์มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์

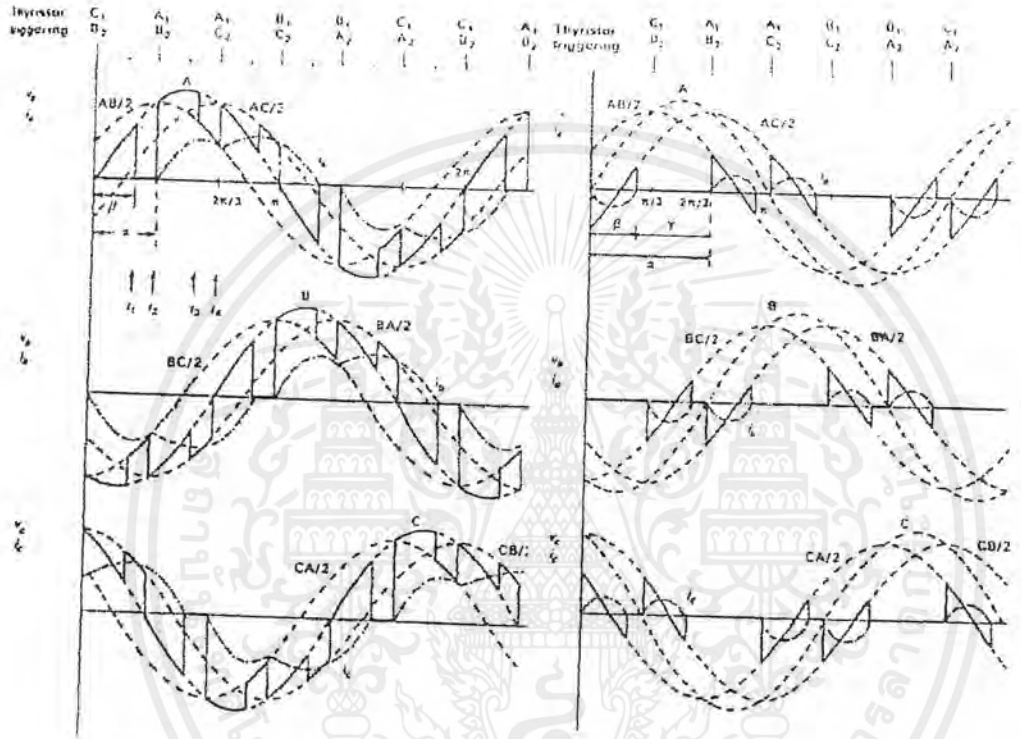
การควบคุมแบบไลน์

การควบคุมแบบไลน์มีวงจรการต่อดังรูปสตาร์และเดลต้า ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนกัน จึงขอกล่าวถึงการต่อแบบสตาร์ จากวงจรการต่อ จะไม่มีการต่อสายนิวตรอลจากแหล่งจ่ายเข้ากับโหลด ดังนั้นจะต้องมีเอสซีอาร์ทำงานพร้อมกันอย่างน้อยที่สุด 2 ตัว จึงจะมีกระแสไหลผ่านได้ เพราะฉะนั้นสัญญาณทริกขาเกตจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขนี้ ดังนั้นสัญญาณพัลส์ทริก จะต้องมีความกว้างอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ $\pi/3$ rad และซีเควนซ์ (Sequence) ของสัญญาณพัลส์ทริกที่จะไปทริกเอสซีอาร์ในแต่ละเฟส จะต้องมีซีเควนซ์ ตรงกับแหล่งจ่าย

สำหรับการควบคุมแบบไลน์ที่มีโหลดเป็นความต้านทานและความเหนี่ยวนำ จะสามารถควบคุมมุมทริกได้ตั้งแต่ $\alpha=\phi$ ถึง $\alpha=150$องศา ซึ่งสามารถแบ่งการควบคุมออกได้เป็น 2 โหมดคือ โหมด A ($\phi \leq \alpha \leq \alpha_c$) ซึ่งจะมีทั้งช่วงการทำงานของเอสซีอาร์ที่พร้อมกันทั้ง 3 ตัวหรือ 2 ตัวซึ่งแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะกระแสและแรงดันดังรูปที่ 2.6 และโหมด B ($\alpha_c \leq \alpha \leq 150°$) ซึ่งจะมีเฉพาะแต่ช่วงการทำงานของ
เอสซีอาร์ที่พร้อมกัน 2 ตัวเท่านั้นซึ่งแสดงลักษณะกระแสและแรงดันดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะกระแสและแรงดันสำหรับโหมด A

รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะกระแสและแรงดันสำหรับโหมด B

โดยที่ α_c คือ มุมทริกที่จะทำให้การทำงานเปลี่ยนจากโหมด A เป็นโหมด B และ α_c มีความสัมพันธ์กับมุมที่หยุดนำกระแส(β)ดังนี้

$$\alpha_c = \beta + \pi/3$$

สมการสำหรับแรงดันโหลด v_{LA} ของเฟส A และกระแสไลน์ i_{LA} สำหรับโหมด A และโหมด B มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด A ($\phi \le \alpha \le \alpha_c$)

$$v_{LA} = \sqrt{2}\cdot V\left[\sin\omega t\Big|_{\alpha}^{\beta+\frac{\pi}{3}} + \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{6}\right)\Big|_{\beta+\frac{\pi}{3}}^{\alpha+\frac{\pi}{3}} + \sin\omega t\Big|_{\alpha+\frac{\pi}{3}}^{\beta+\frac{2\pi}{3}}\right.$$
$$\left. + \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{6}\right)\Big|_{\beta+\frac{2\pi}{3}}^{\alpha+\frac{2\pi}{3}} + \sin\omega t\Big|_{\alpha+\frac{2\pi}{3}}^{\beta+\pi}\right]$$

$$i_{LA} = \frac{\sqrt{2}}{|Z|}V\left[\sin\left\{(\omega t-\phi)+K_1e^{p\omega t}\right\}_{\alpha}^{\beta+\frac{\pi}{3}} + \left\{\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{6}-\phi\right)+K_2e^{p\omega t}\right\}_{\beta+\frac{\pi}{3}}^{\alpha+\frac{\pi}{3}}\right.$$
$$+\left\{\sin(\omega t-\phi)+K_3e^{p\omega t}\right\}_{\alpha+\frac{\pi}{3}}^{\beta+\frac{2\pi}{3}} + \left\{\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{6}-\phi\right)+K_4e^{p\omega t}\right\}_{\beta+\frac{2\pi}{3}}^{\alpha+\frac{2\pi}{3}}$$
$$\left.+\left\{\sin(\omega t-\phi)+K_5e^{p\omega t}\right\}_{\alpha+\frac{2\pi}{3}}^{\beta+\pi}\right]$$

โดยที่

$$p = -\cot\phi$$

และค่าคงที่ K_1 ถึง K_5 หาได้จาก

$$K_1 = -\sin(\alpha-\phi)e^{-p\alpha}$$
$$K_2 = K_1 + \frac{1}{2}\sin(\beta-\phi)e^{-p\left(\beta+\frac{\pi}{3}\right)}$$
$$K_3 = K_2 - \frac{1}{2}\sin(\alpha-\phi)e^{-p\left(\alpha+\frac{\pi}{3}\right)}$$
$$K_4 = K_3 - \frac{1}{2}\sin(\beta-\phi)e^{-p\left(\beta+\frac{2\pi}{3}\right)}$$
$$K_5 = K_4 + \frac{1}{2}\sin(\alpha-\phi)e^{-p\left(\alpha+\frac{2\pi}{3}\right)}$$

เมื่อทราบค่า α และ ϕ สามารถหาค่า β ได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sin(\phi-\beta)-K_6\sin(\alpha-\phi)e^{p(\beta-\alpha)}=0$$

โดยที่

$$K_6=\frac{\left(2e^{p\pi}+e^{\frac{2p\pi}{3}}-e^{\frac{p\pi}{3}}\right)}{\left(2-e^{\frac{2p\pi}{3}}+e^{\frac{p\pi}{3}}\right)}$$

โหมด B ($\alpha_c \le \alpha \le 150°$)

$$v_{LA}=\sqrt{2}V\left[\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{6}\right)\Big|_{\alpha}^{\beta+\frac{2\pi}{3}}+\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{6}\right)\Big|_{\alpha+\frac{\pi}{3}}^{\beta+\pi}\right]$$

$$i_{LA}=\frac{\sqrt{2}}{|Z|}V\left[\left\{\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{6}-\phi\right)+K_7e^{p\omega t}\right\}_{\alpha}^{\beta+\frac{2\pi}{3}}+\left\{\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{6}-\phi\right)+K_8e^{p\omega t}\right\}_{\alpha+\frac{\pi}{3}}^{\beta+\pi}\right]$$

โดยที่

$$K_7=-\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\alpha+\frac{\pi}{6}-\phi\right)e^{-p\alpha}$$

$$K_8=-\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\left(\alpha+\frac{\pi}{6}-\phi\right)e^{-p\left(\alpha+\frac{\pi}{3}\right)}$$

และสามารถหาค่า β ได้จากสมการ

$$\sin\left(\phi-\beta+\frac{\pi}{6}\right)-\sin\left(\alpha-\phi+\frac{\pi}{6}\right)e^{p\left(\frac{2\pi}{3}+\beta-\alpha\right)}=0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจุดชนวนเกตแบบควบคุมเฟส

Phase Control Trigger Circuits:

TCA 785 Integrated Phase Control

คุณสมบัติของ TCA 785 อินทิเกรทเฟสคอนโทรล (Integrated Phase control)

TCA 785 อินทิเกรทเฟสคอนโทรล เป็นวงจรรวมที่สร้างพัลส์จุดชนวนเกต เอสซีอาร์และไทรแอก (ซึ่งต่อไปจะเรียกรวมว่าไทริสเตอร์) โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่อไปนี้

1. วงจรเรียงกระแส แบบควบคุมได้เต็มที่และครึ่งเดียวทั้งแบบเฟสเดียวและสามเฟส
2. วงจรควบคุมมุมเฟสแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวและสามเฟส

TCA 785 มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ดังนี้

- สามารถจุดชนวนเกตไทริสเตอร์ได้อย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถเลื่อนมุมจุดชนวนเกตได้ระหว่าง 0 ถึง 180°
- ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 8-18 โวลท์
- กระแสภายในวงจรรวมใช้ประมาณ 4.5 มิลลิแอมป์ถึง 10 มิลลิแอมป์
- สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ –25 ถึง 85 องศาเซลเซียส
- กระแสจุดชนวนเกต สามารถจ่ายได้ถึง 250 มิลลิแอมป์สัญญาณจุดชนวนเกต สามารถควบคุมได้โดยขา อินฮิบิตฟังชั่น (Inhibit function)
- ลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกต สามารถที่จะกำหนดได้เป็นแบบเดี่ยวและแบบต่อเนื่อง
- ใช้งานกับวงจร ตรวจจับศูนย์ (Zero Crossing)
- ความถี่ใช้งาน 10-500 เฮิรตซ์

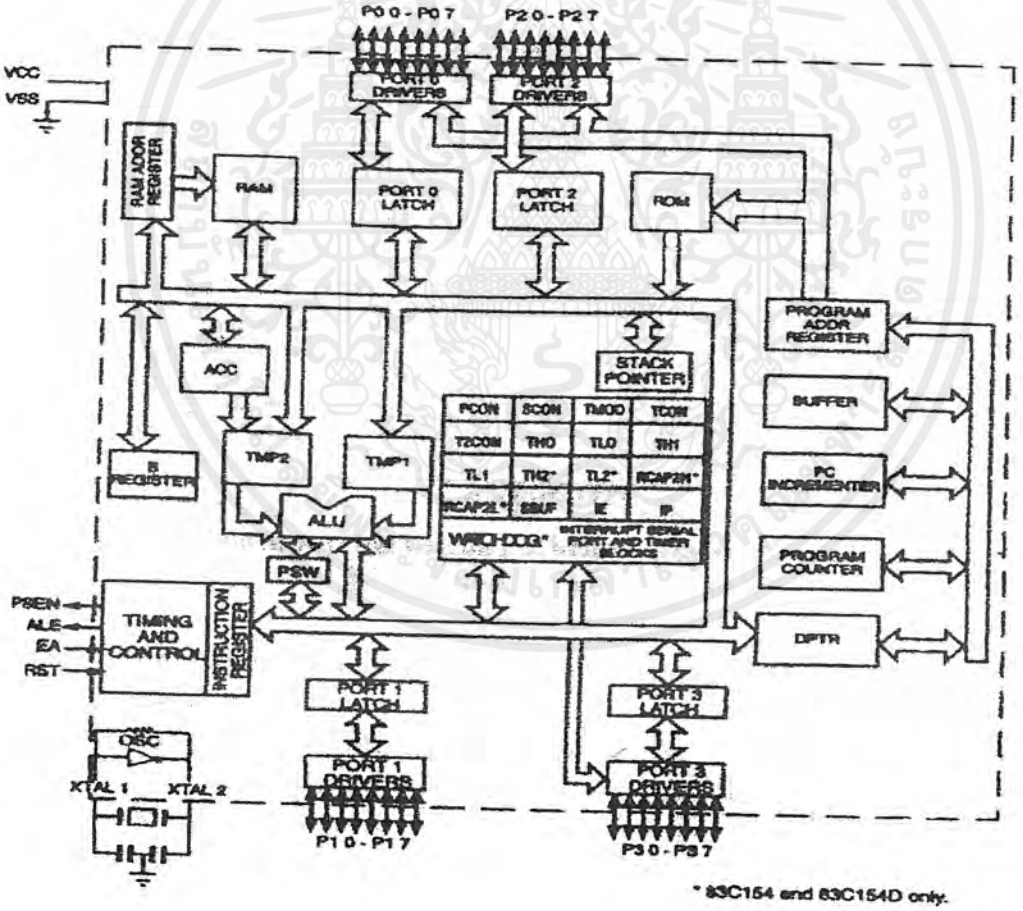
ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) 8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ที่บริษัท อินเทลผลิตขึ้น โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นไมโครโปรเซสเซอร์(Microprocesser) ขนาด 8 บิตสำหรับงานควบคุมต่าง ๆ
- มีความสามารถประมวลผลของลอจิกระดับบิต
- มีขนาดของหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมทำงานได้ถึง 64 kbytes (Program Memory)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลได้ถึง 64 kbytes (Data Memory)
- มีหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายในขนาด 4 kbytes
- มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 bytes
- มีพอร์ตสำหรับควบคุม 4 พอร์ตและสามารถอ้างอิงพอร์ตได้ระดับบิตต่อบิต
- มีชุด Timer/Counter ขนาด 16 บิต 2 ชุด
- มี Full duplex UART
- มีโครงสร้างการรับการอินเตอร์รัพท์(Interrupt) จาก 6 แหล่งกำเนิดสัญญาณและ 5 ตำแหน่งโปรแกรมทำงานตอบรับการอินเตอร์รัพท์โดยสามารถจัดระดับความสำคัญได้ 2 ระดับ
- มีแหล่งกำเนิดความถี่อ้างอิงการทำงานในตัวโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างภายในของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีไอซี 8255

8255A เป็นชิพขนาด 40 ขามีอยู่ 3 พอร์ตคือ A,B,C เป็นพอร์ต 8 บิต ที่สามารถโปรแกรมให้เป็นอินพุตหรือเอาท์พุตก็ได้ โดยที่พอร์ต C ยังแบ่งเป็น 4 บิตล่างและ 4 บิตบน

โหมดการทำงาน

การทำงานมีอยู่ด้วยกัน 3 โหมด

โหมด 0 มีการทำงานแบบ BASIC I/O ไม่มี แฮนด์แช็ค(handshake)

โหมด 1 โหมดนี้ใช้พอร์ต A,B ในการรับหรือส่งข้อมูล และใช้พอร์ต C ในการตรวจสอบสัญญาณ แฮนด์แช็ค

โหมด 2 โหมดนี้ใช้พอร์ต A ในการรับส่งข้อมูล 2 ทิศทางและพอร์ต B ในการรับหรือส่งข้อมูลและใช้พอร์ต C บิต 0,1,2 ในการรับส่งข้อมูลบิตและบิต 4,5,6 เป็นสัญญาณ แฮนด์แช็ค

สัญญาณต่าง ๆ ของ 8255

D7-D0	บัสข้อมูลเชื่อมโยงกับ ซีพียู (CPU)
A1-A0	ใช้เลือกพอร์ต A,B,C และพอร์ตควบคุม
RESET	เมื่อขานี้ได้รับสัญญาณกระตุ้นลอจิก 1 จะทำให้ 8255 ถูกรีเซ็ตมีผลทำให้ทุกพอร์ตเป็นอินพุตทันที
PA7-PA0	เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต
PB7-PB0	เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต
PC7-PC0	เป็นพอร์ตขนาน 8 บิต
RD	ในการอ่านข้อมูลที่พอร์ตของ 8255 ต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก 0 พร้อมกับ CS
WR	ในการเขียนข้อมูลหรือโปรแกรมลงบน 8255 ต้องทำให้ขานี้เป็นลอจิก 0 พร้อมกับ CS
CS	เป็นขาเลือกชิพ 8255 ได้ ขานี้มักจะต่อกับ ตัวถอดรหัสอินพุต/เอาท์พุต I/O Decoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนาล็อก-ดิจิตอล คอนเวอร์เตอร์(Analog to Digital Converter)

หลักการทำงานของวงจร อนาล็อก-ดิจิตอล คอนเวอร์เตอร์ คือจะเริ่มจากการที่มีสัญญาณอินพุตอนาลอกเข้าในวงจรและจะแปลงสัญญาณดังกล่าวให้ได้สัญญาณเอาท์พุตเป็นสัญญาณดิจิตอล และสามารถส่งค่าดังกล่าวเพื่อนำออกไปใช้งานต่อไป

ดิจิตอล-อนาล็อก คอนเวอร์เตอร์ (Digital to Analog Converter)

หลักการทำงานของวงจร ดิจิตอล-อนาล็อก คอนเวอร์เตอร์ คือจะเริ่มจากการที่มีสัญญาณอินพุตดิจิตอลเข้าในวงจรและจะแปลงสัญญาณดังกล่าวให้ได้สัญญาณเอาท์พุตเป็นสัญญาณอนาลอก และสามารถส่งค่าดังกล่าวเพื่อนำออกไปใช้งานต่อไป

คีย์บอร์ด (Keyboard)

คีย์บอร์ด เป็นอุปกรณ์ที่จะนำข้อมูลเข้าระบบไมโครโปรเซสเซอร์สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบคือ

1. แบบ แถวเดี่ยว (Single Column)
2. แบบ แมตทริก (X-Y Matrix)

เนื่องจากว่าโครงสร้างของ คีย์บอร์ด ทำมาจากโลหะสัมผัสกัน ดังนั้นเวลากดแล้วปล่อยจะเกิดอาการเด้งของสวิตช์ (Bounce) วิธีแก้ การเด้งของสวิตช์ มีได้ 2 วิธีคือใช้ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และ ซอฟท์แวร์ (Software)ในส่วนนี้เราจะนำซอฟท์แวร์ มาใช้เพราะประหยัดค่าใช้จ่าย

การประยุกต์ใช้งาน ไอซีเข้ารหัส (IC Key Encoder) ร่วมกับ MCS-51

เป็นการอินเตอร์เฟส คีย์บอร์ดร่วมกับการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการใช้งาน ไอซีเข้ารหัส นี้จะมีลักษณะฟังก์ชั่นในรูปแบบของ คีย์บอร์ดคือ ลักษณะของ แมตริก สวิตช์ (Matrix Switch)โดย ไอซีเข้ารหัสที่กล่าวถึงนั้นจะมีรายละเอียดคุณสมบัติตลอดจนตัวอย่างวงจรและตัวอย่างโปรแกรมการใช้งานโดยจะกล่าวถึงต่อไป

โดยไอซีเข้ารหัสที่เราจะพูดถึงต่อไปนี้เป็นไอซีเบอร์ 74C922 ซึ่งจะเป็นชนิด 16 ช่องสัญญาณป้อนเข้า (16 Key Encoder)โดยจะเป็น ไอซี ชนิด ซีมอส (CMOS) กินพลังงานต่ำและจะต้องมีการใช้งานควบคู่กันกับสวิตช์ชนิดกดติดปล่อยดับซึ่งเป็นสวิตช์ชนิดเดียวกันกับการใช้งานคีย์สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลซีดี (LCD)

แอลซีดีโมดูล (LCD Module) ที่ผ่าน ๆ มาอุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงผลที่เราคุ้นเคยและรู้จักกันดีนั้น แอลอีดี (LED) และ 7 เซ็กเม้นท์ (7-Segment) คงจัดเป็นอุปกรณ์แสดงผลที่อยู่ในระดับแนวหน้า แต่อุปกรณ์แสดงผลดังกล่าวนั้นจะไม่สามารถแสดงผลในลักษณะของสัญลักษณ์หรือตัวอักษรพิเศษนอกเหนือไปจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของมันเองได้ อุปกรณ์แสดงผลที่สามารถแสดงสัญลักษณ์ตัวอักษรหรือรูปแบบต่าง ๆ ตามที่เราต้องการ (กรณีที่สามารถออกแบบสัญลักษณ์ได้) ได้นั้นจะอยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์แสดงผลประเภท แอลซีดี (LCD:Liquid Crystal Display) ซึ่งงานที่นำไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาใช้นั้น อุปกรณ์แสดงผลที่นิยมนำมาใช้ร่วมกันก็คือ แอลซีดีนี่เอง

โดย แอลซีดี ที่นิยมนำมาใช้งานนั้นพอจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. คาเรคเตอร์แอลซีดีโมดูล (Character LCD Module)
2. กราฟิคแอลซีดีโมดูล (Graphic LCD Module)

สุดท้ายที่จะต้องคำนึงถึงเสมอเมื่อมีการใช้งาน แอลซีดีโมดูล คือ การส่งข้อมูลหรือคำสั่งต่างๆ ไปยังตัวคอนโทรลเลอร์จะกระทำได้ต่อเมื่อคอนโทรลเลอร์ได้ทำคำสั่งก่อนหน้านั้นเสร็จสิ้นแล้วเท่านั้น จึงจะรับข้อมูลหรือคำสั่งใหม่ที่ส่งมาต่อไป ซึ่งเราจะสามารถตรวจสอบหรือทราบได้ว่าตัวคอนโทรลเลอร์พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งได้ 2 วิธี

1. ใช้การตรวจเช็คแฟลกว่าง (BF) ของคอนโทรลเลอร์

โดยวิธีนี้จะมีข้อเสียคือ เมื่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเร็วมากๆ จะเกิดความผิดพลาดขึ้นในการตรวจเช็ค และขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมการตรวจเช็คก็ค่อนข้างยุ่งยาก แต่มีความแน่นอนสูงในการทำงาน

2. ใช้การหน่วยเวลา

โดยวิธีนี้เนื่องจาก คอนโทรลเลอร์จะใช้เวลาในการรับคำสั่งและประมวลผลมีค่าเวลาประมาณไม่เกิน 2 ms (ที่ความถี่ 270 kHz ซึ่งเป็นฐานเวลาภายในตัวคอนโทรลเลอร์) ซึ่งเป็นค่าเวลาสูงสุดในการทำงานของคอนโทรลเลอร์ต่อหนึ่งคำสั่ง ฉะนั้นเมื่อมีการหน่วงเวลานี้แล้วล่ะก็จะไม่เกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลหรือคำสั่งไปยังคอนโทรลเลอร์เลย วิธีนี้จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากเขียนโปรแกรมการใช้งานได้ง่ายกว่าวิธีแรกนั่นเอง

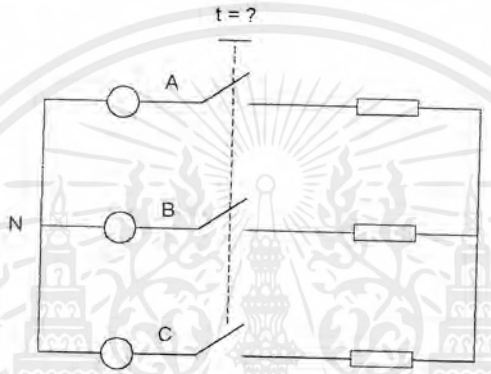
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับเงื่อนไขต่าง ๆ

การเลือกมุมสตาร์ท

เมื่อเราต้องการสับสวิตช์ ณ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่เราต้องการให้พร้อมกันทั้ง 3 เฟส อุปกรณ์แมกเนติกทั่วไปไม่สามารถทำได้ ดังนั้นเราจึงใช้อุปกรณ์โซลิดสเตท



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรการเลือกมุมสตาร์ทมอเตอร์

เมื่อสวิตช์ปิด เราสามารถวิเคราะห์กระแสที่ไหลในแต่ละเฟสได้ดังนี้

$$Ri + L\frac{di}{dt} = \sqrt{\frac{2}{3}}V\sin\omega t$$

จะได้

$$i = i_a + i_b = \sqrt{\frac{2}{3}}\frac{V}{Z}\sin(\omega t - \phi) - \sqrt{\frac{2}{3}}\frac{V}{Z}\sin(\alpha - \phi)e^{(R/L)(\alpha-\omega t)/\omega}] \qquad .....3.1$$

โดยที่

$$Z = [R^2 + \omega L^2]^{1/2} \qquad \Omega$$

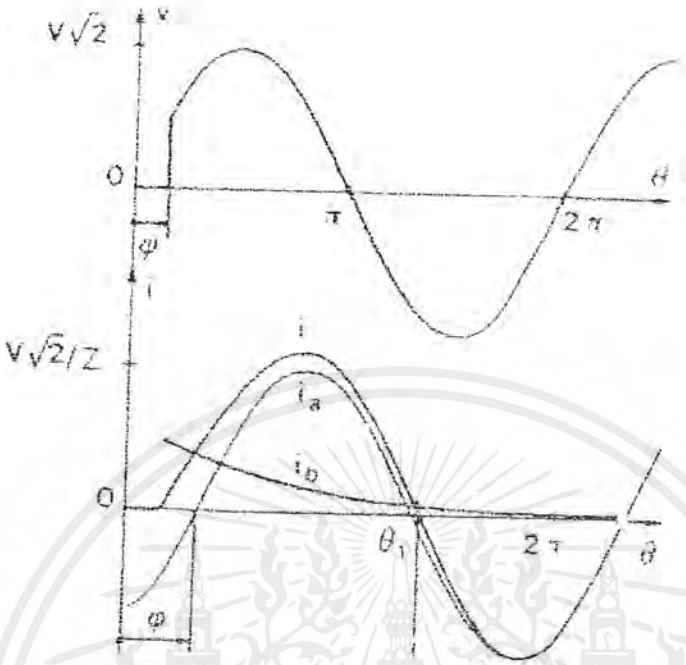
$$\phi = \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$$

α = มุมในการสับสวิตช์

ตัวอย่างเช่น เมื่อต่อโหลดแบบสถิตย์และให้มุมโหลดเท่ากับ 60 องศา และสับสวิตช์ที่ 30 องศาเทียบที่เฟส A จะได้รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเฟส A ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37002



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าเมื่อสับสวิตช์ ณ มุม 30 องศา,มุมโหลดเท่ากับ 60 องศา

จากสมการที่ 3.1 จะเห็นว่าเมื่อมุมเริ่มต้นสับสวิตช์เท่ากับมุมโหลดกระแส i_b จะเป็นศูนย์ จะมีเพียงกระแส i_a และเมื่อมุมสับสวิตช์ไม่เท่ากับมุมโหลด จะทำให้เกิดกระแส i_b ขึ้นเช่นดังรูปที่ 3.2 ซึ่งจะเห็นว่ามีเทอมของกระแส i_b เกิดขึ้น ซึ่งกระแส i_b นี้จะทำให้เกิดผลกระทบต่อแรงบิดในช่วงเริ่มต้นการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นโครงงานนี้จึงจะทำการศึกษาผลกระทบต่อโหลดในช่วงเริ่มต้นการหมุน ณ ตำแหน่งมุมเริ่มต้นต่าง ๆ

การสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท

สาเหตุที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีกระแสในขณะสตาร์ทสูงก็เนื่องจาก แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนตัวโรเตอร์มีค่ามากในขณะเวลาสตาร์ทนั่นเอง ดังนั้นถ้าต้องการที่จะลดค่ากระแสขณะ สตาร์ทจำเป็นต้องหาทางลดแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ให้ได้ ในการที่จะลดแรงเคลื่อนนั้นสามารถทำได้ โดยการลดความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับโรเตอร์หรือลดขนาดของสนามแม่เหล็กหมุน สำหรับความเร็วสัมพัทธ์นั้นไม่สามารถลดได้ เนื่องจากความถี่ของแหล่งจ่ายไฟคงที่ทำให้ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนั้นมีค่าคงที่ ดังนั้นเราจึงจำเป็นที่จะต้องลดขนาดของสนามแม่เหล็กหมุนแทน โดยขนาดของสนามแม่เหล็กหมุนนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าของศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \sqrt{2}\,\pi f N \phi_p K_w \quad \ldots\ldots 3.2$$

E : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นค่าอาร์เอ็มเอส

ϕ_p : ฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดต่อขั้ว f : ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า

N : จำนวนรอบของขดลวดต่อเฟส K_w : ตัวประกอบการพันขดลวดอาร์เมเจอร์

จากสมการจะเห็นว่า

$$E \propto \phi_p$$

ดังนั้นถ้าเราต้องการที่จะลดขนาดของสนามแม่เหล็กหมุน เราก็ต้องลดศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์แทน

เมื่อเวลาผ่านไป โรเตอร์ก็มีความเร็วเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับโรเตอร์มีค่าน้อยลงและแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำน้อยลง ทำให้สามารถที่จะเพิ่มขนาดของสนามแม่เหล็กหมุนได้ (โดยการเพิ่มศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ตัวมอเตอร์) จนกระทั่งถึงค่าที่พิกัด

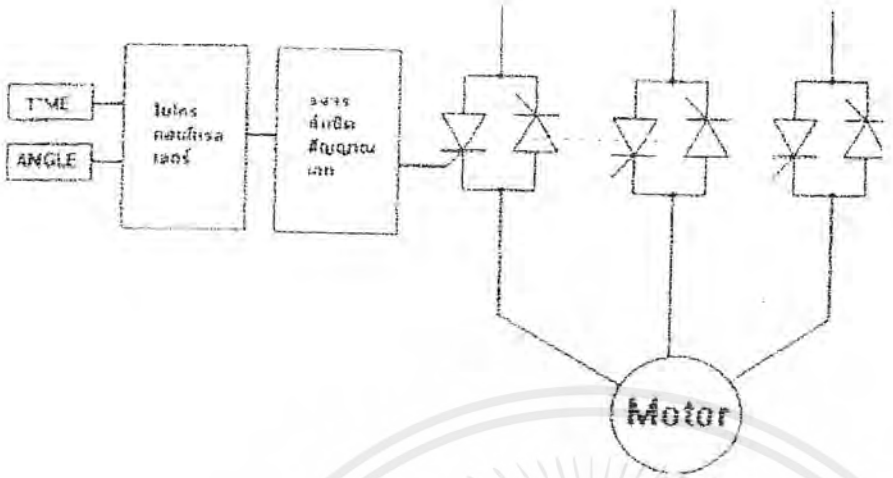
จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปหลักการสตาร์ทมอเตอร์ได้ว่า "เริ่มต้นด้วยการป้อนศักดาไฟฟ้าค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าพิกัดให้กับตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากนั้นก็ค่อย ๆ เพิ่มศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ตัวมอเตอร์ตามความเร็วของโรเตอร์ที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อความเร็วโรเตอร์ถึงค่าที่พิกัด ศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ก็เท่ากับพิกัดพอดี"

จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าการใช้โซลิดสเตทมีข้อดีมากกว่าวิธีอื่นและเป็นที่นิยมใช้ทั่วไป โครงงานนี้จึงได้เลือกทำการศึกษาผลของการสตาร์ทมอเตอร์ด้วยวิธีนี้

หลักในการสตาร์ทโดยใช้โซลิดสเตทเอสซีอาร์

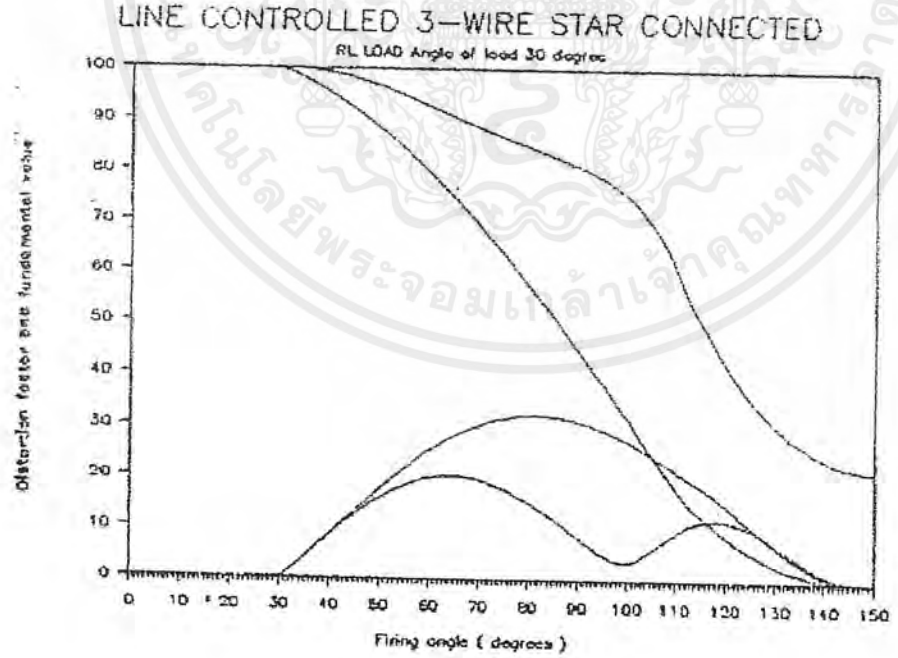
ในการควบคุมกระแสขณะสตาร์ท เราจะทำการเซ็ตเปอร์เซ็นต์โวลเตจเริ่มต้นและเวลาในการ สตาร์ทเอาไว้ โดยเอสซีอาร์จะได้รับการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในการทริกแต่ละมุม จะมีการลดมุมเฟสลงเรื่อย ๆ ในการควบคุมให้สัมพันธ์กับเวลาที่ตั้งเอาไว้ โดยในขั้นแรกจะทำการ ทริกที่มุมตามที่ตั้งเอาไว้ก่อนแล้วค่อย ๆ ลดมุมในการทริกลดลงเรื่อย ๆ เพื่อให้เปอร์เซ็นต์โวลเตจเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเต็มลูกคลื่นจนสามารถทำการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ตามเวลาที่กำหนดให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะในการลดมุมทริกสามารถเปลี่ยนแปลงระหว่าง $\phi<\alpha<150°$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องสตาร์ทมอเตอร์แบบโซลิดสเตท

จากการศึกษาการปรับมุมทริกที่มุมต่าง ๆ ของวงจรซอฟท์สตาร์ทจะให้ผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิคแสดงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งฮาร์โมนิคที่เกิดขึ้นจะเป็นผลให้เกิดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าเนื่องจากฮาร์โมนิคขึ้นที่มอเตอร์และการกระเพื่อมของทอร์ค



รูปที่ 3.4 แสดงองค์ประกอบฮาร์โมนิคการควบคุมแบบไลน์ต่อเป็นแบบสตาร์มีภาระเป็นความต้านทานและความเหนี่ยวนำ มุมของภาระเท่ากับ 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายสามเฟสไม่สมดุล

จะมีผลต่อแรงบิดขับโหลดตกลงและจะมีผลทำให้กระแสเข้ามอเตอร์มากขึ้น ตัวมอเตอร์จะมีความร้อนสูงจนเป็นอันตรายแก่มอเตอร์ หากสมมุติให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายสามเฟส V_a V_b และ V_c เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ไม่สมดุล ดังนั้นจะได้สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าลำดับบวกเป็น

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c)$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าลำดับลบเป็น

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c)$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าลำดับศูนย์เป็น

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$$

การย้ายค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ มายังด้านสเตเตอร์ทำได้โดยคูณด้วยค่าตัวประกอบการย้าย คูณกับค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ ซึ่งค่าตัวประกอบการย้ายคือ

$$a_n^2 = [\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{K_{ps}K_{ds}}{K_{pr}K_{dr}}]^2$$

N_1 = จำนวนรอบขดลวดสเตเตอร์

N_2 = จำนวนรอบขดลวดโรเตอร์

K_{ps} = ค่าตัวประกอบพิตช์ของขดสเตเตอร์

K_{pr} = ค่าตัวประกอบพิตช์ของขดโรเตอร์

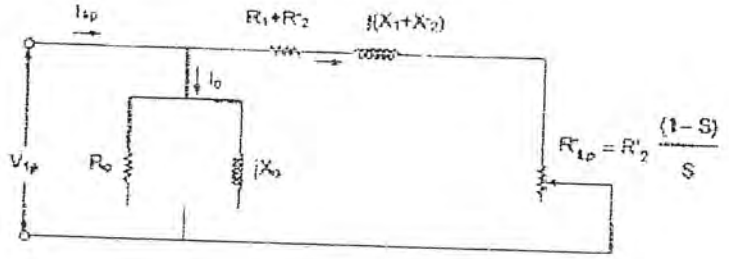
K_{ds} = ค่าตัวประกอบการกระจายของขดสเตเตอร์

K_{dr} = ค่าตัวประกอบการกระจายของขดโรเตอร์

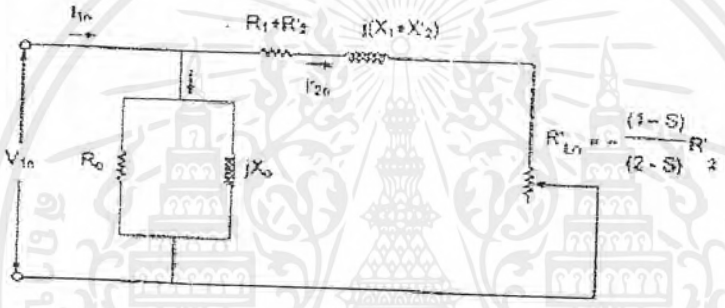
เมื่อขดลวดของมอเตอร์อยู่ในสภาพที่สมดุลจึงจะเกิดกระแสลำดับบวก และกระแสลำดับลบเท่านั้น แต่จะไม่เกิดกระแสลำดับศูนย์ จึงเกิดสนามแม่เหล็กลำดับบวกหมุนเคลื่อนที่ไปในทิศทาง โรเตอร์หมุนและเกิดสนามแม่เหล็กลำดับ จนหมุนเคลื่อนที่ไปในทิศทางสวนทางกับโรเตอร์หมุน วงจรลำดับบวกและวงจรลำดับลบจะเป็นอิสระต่อกัน วงจรลำดับบวกจะได้ดังรูปที่ 3.5

ในการทำงานจะกำหนดค่ายอมรับได้ของความไม่สมดุลของแรงดันไม่เกิน 5 % เทียบกับเฟสที่มีแรงดันน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรลำดับบวก

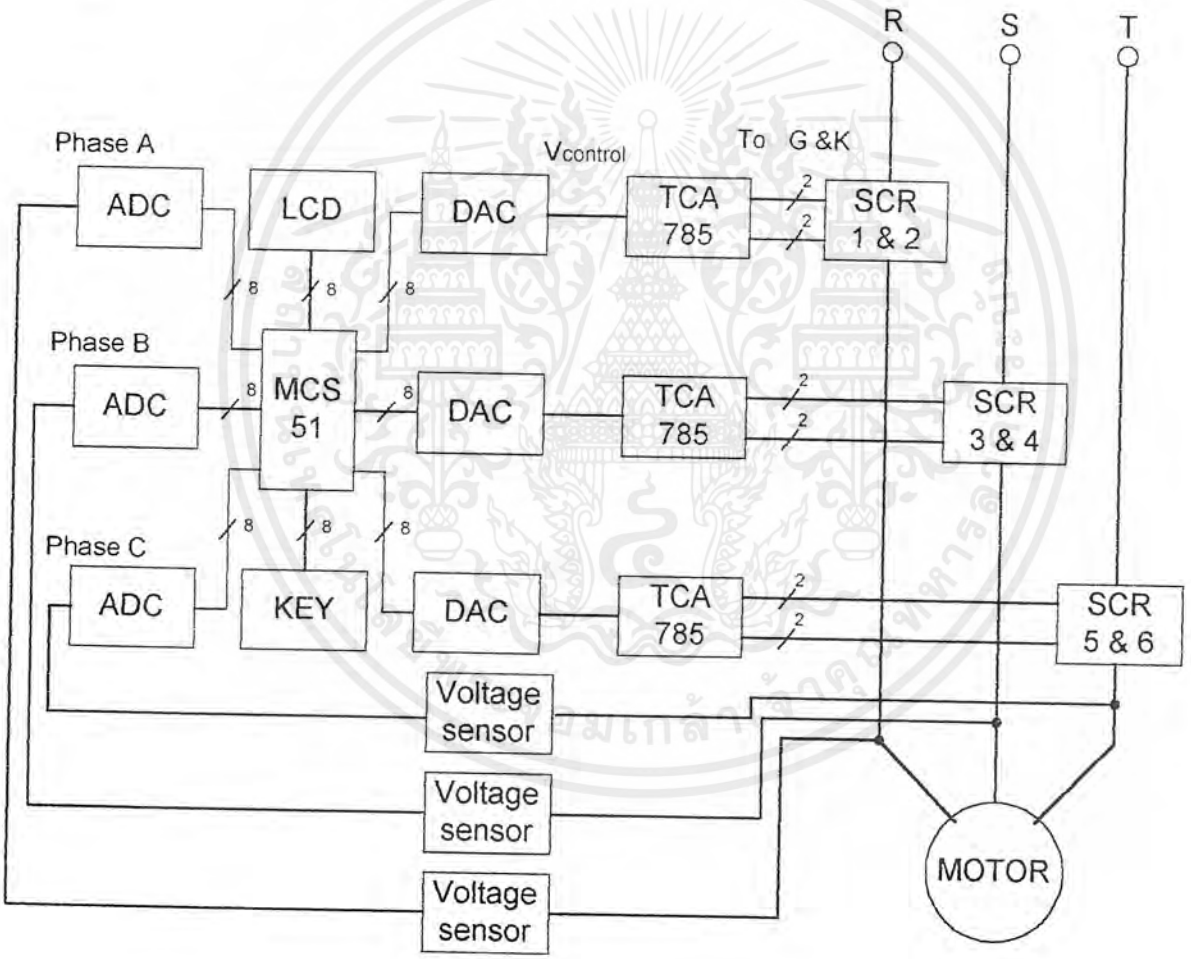


รูปที่ 3.6 วงจรลำดับลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

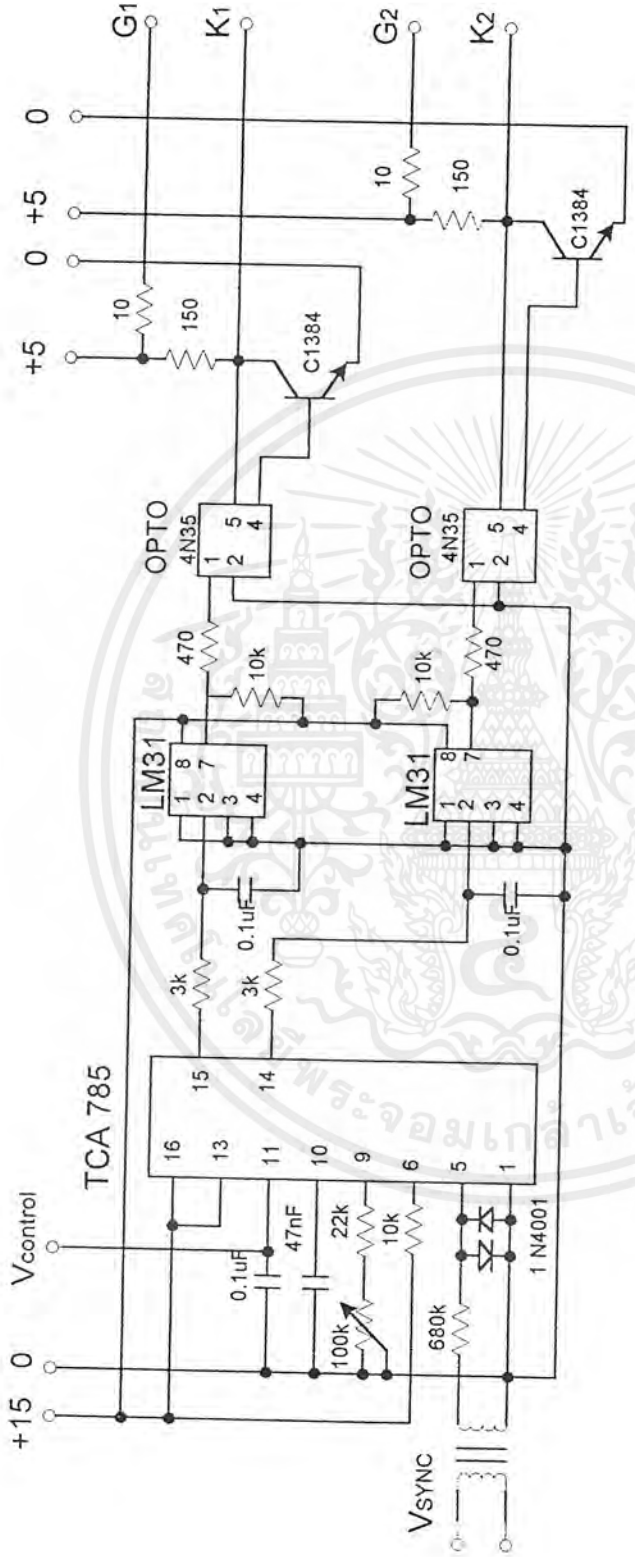
บทที่ 4 การออกแบบวงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์ตามเงื่อนไข และการออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนประกอบทั้งหมดของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบควบคุมมุมเฟสแสดงดังรูป



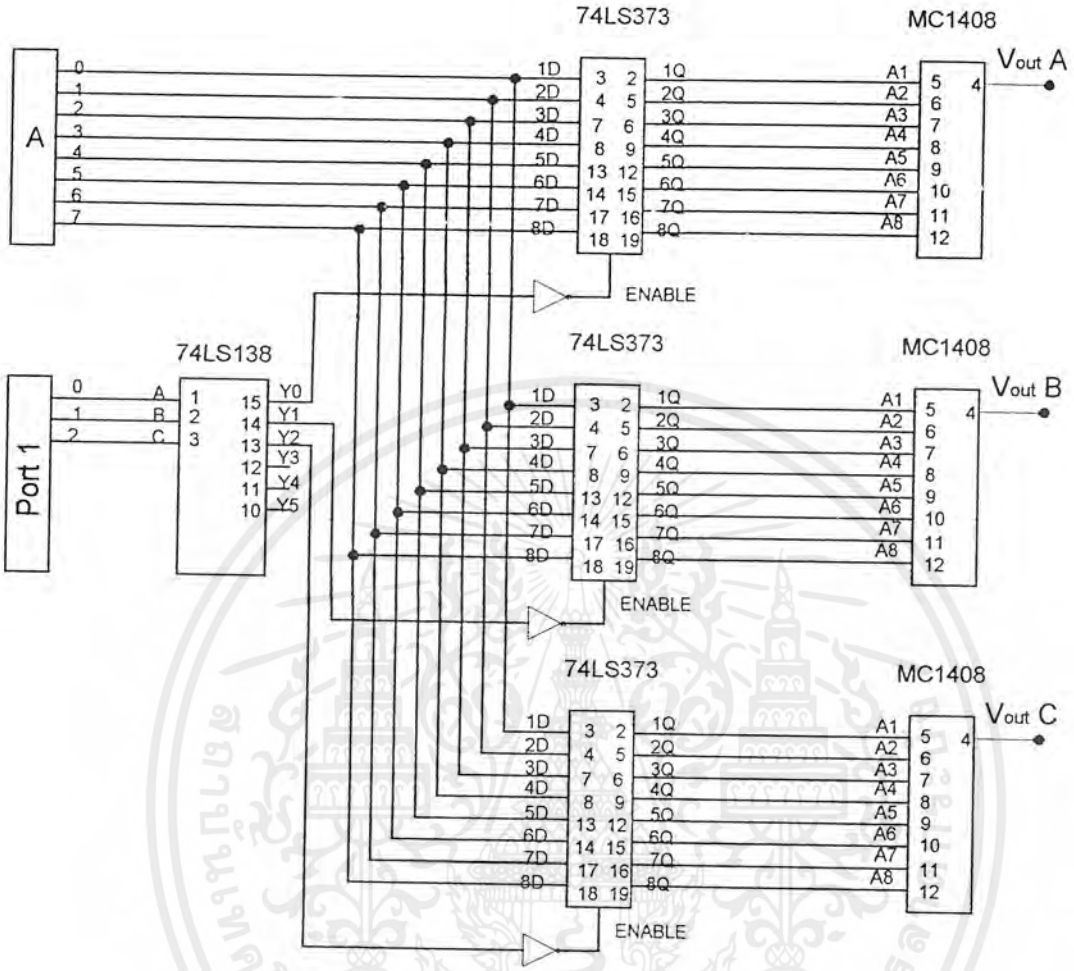
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบควบคุมมุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



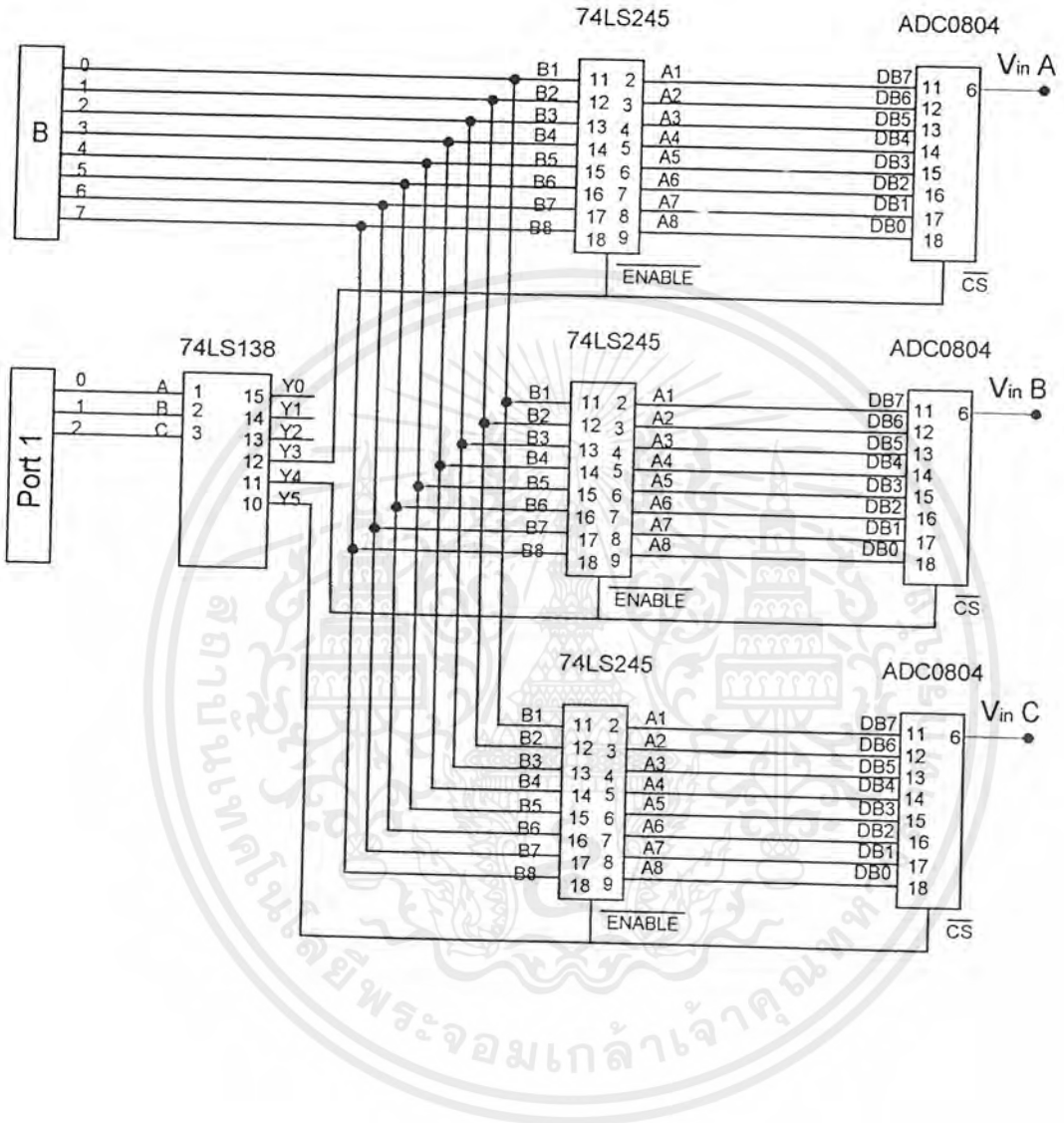
รูปที่ 4.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ทริก SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



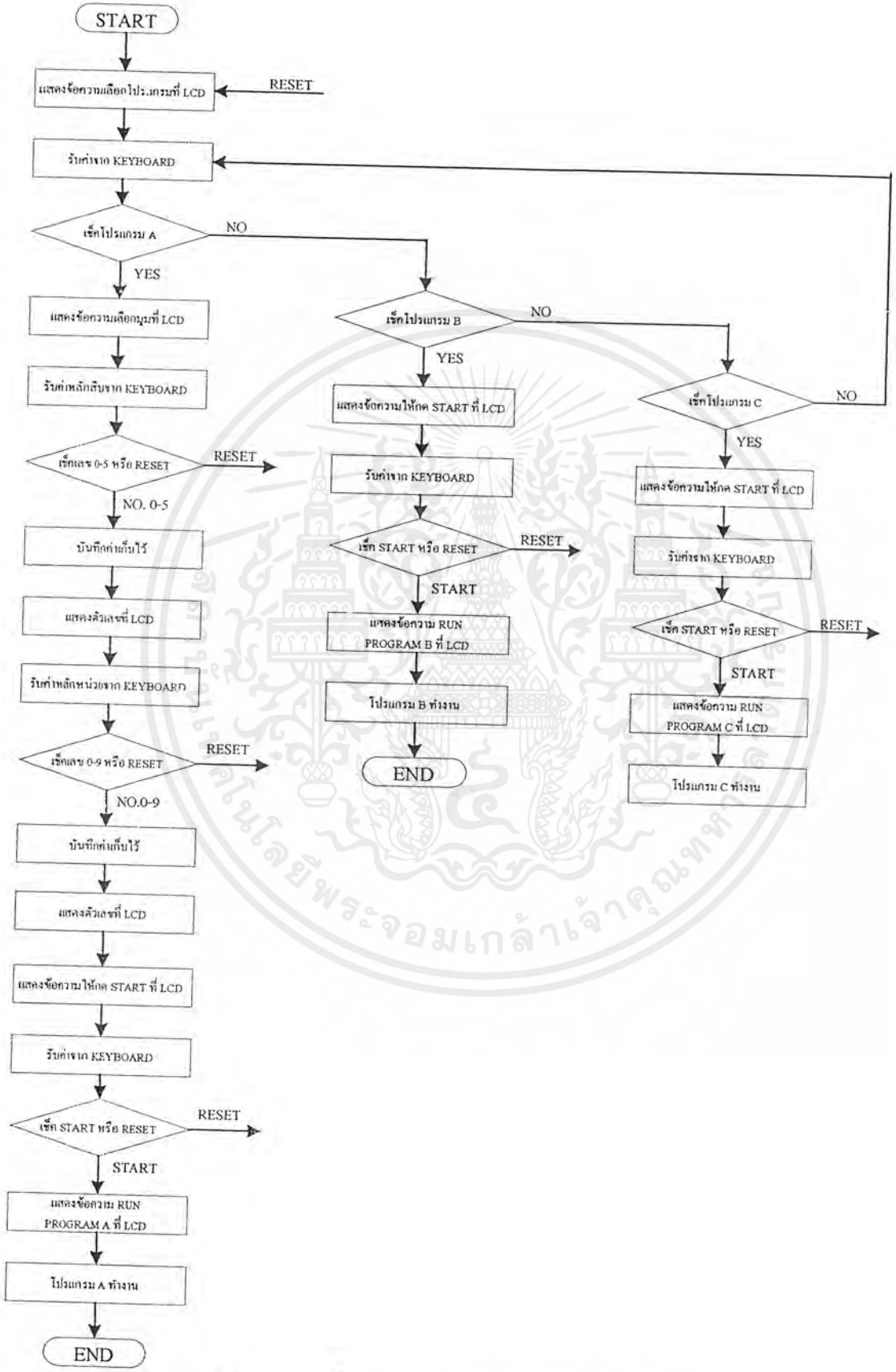
รูปที่ 4.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



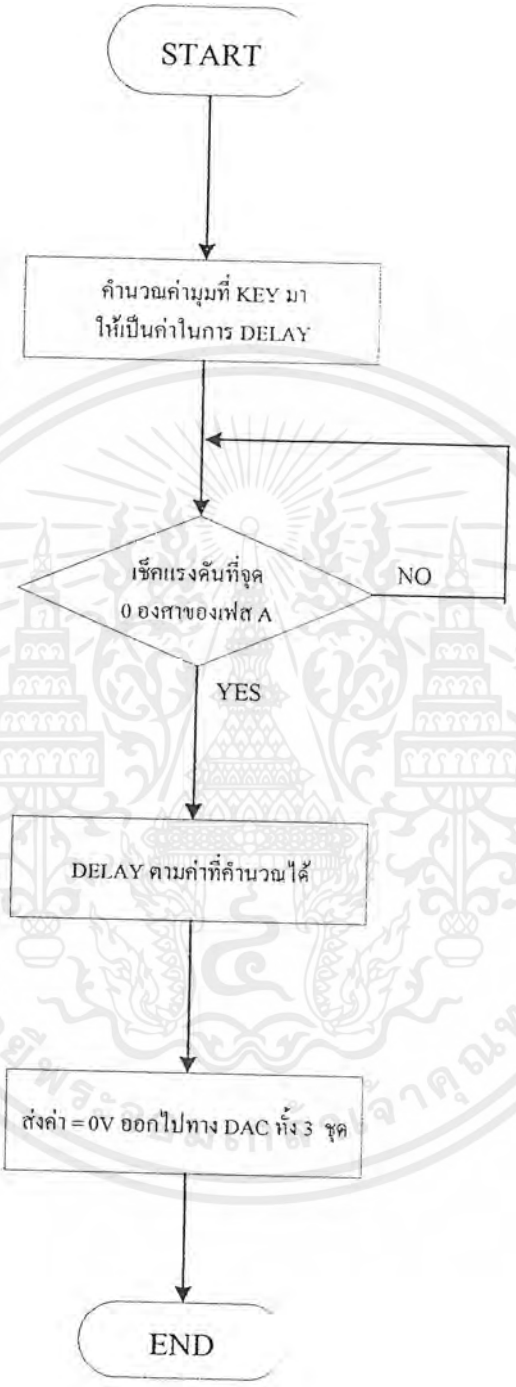
รูปที่ 4.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



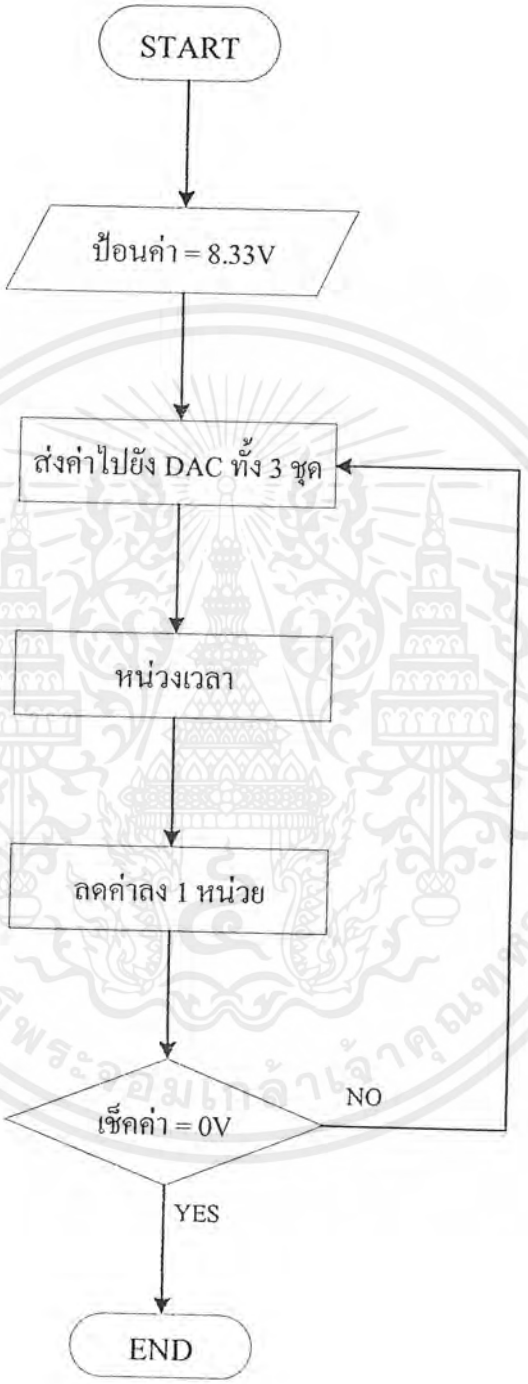
รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



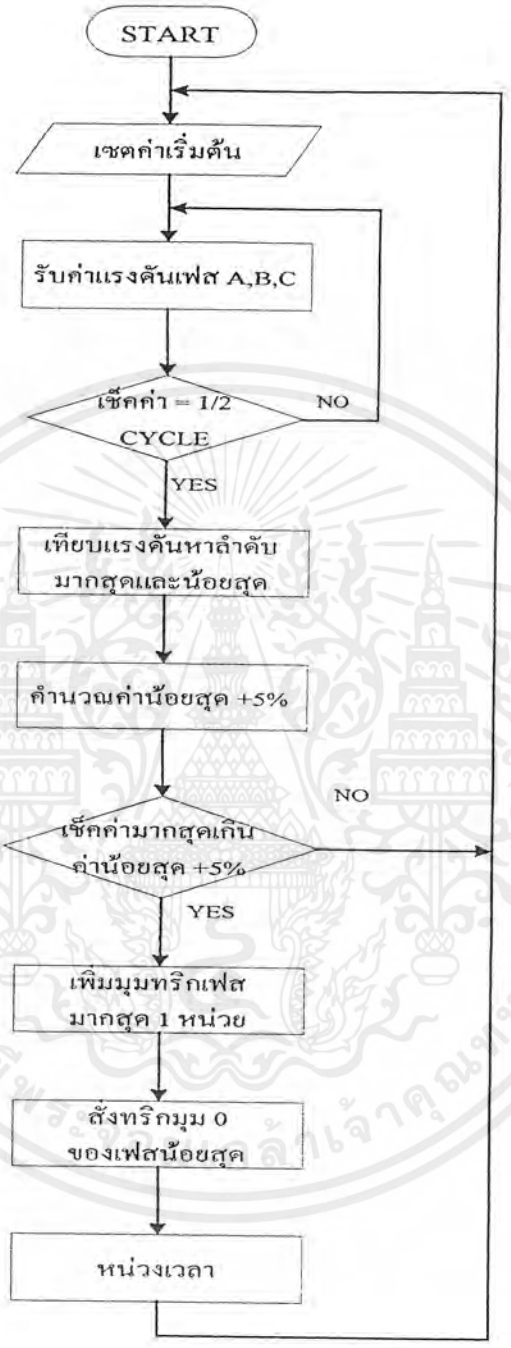
รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเลือกมุมสตาร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมซอฟท์สตาร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมปรับแรงดันไฟฟ้าให้สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสตามเงื่อนไข

อุปกรณ์การทดลอง

ชุดมอเตอร์ 3 เฟสขนาด 1 แรงม้า	1 ชุด
ออสซิโลสโคปพร้อมโพรบ	2 ชุด
เทคโคมิเตอร์	1 ตัว
มัลติมิเตอร์	1 ตัว
คลิปแอมป์มิเตอร์	1 ตัว
จังชั่นบล็อก	2 ตัว
สายต่อ	30 เส้น
แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ 0-220 โวลต์ 1 เฟส	3 ชุด

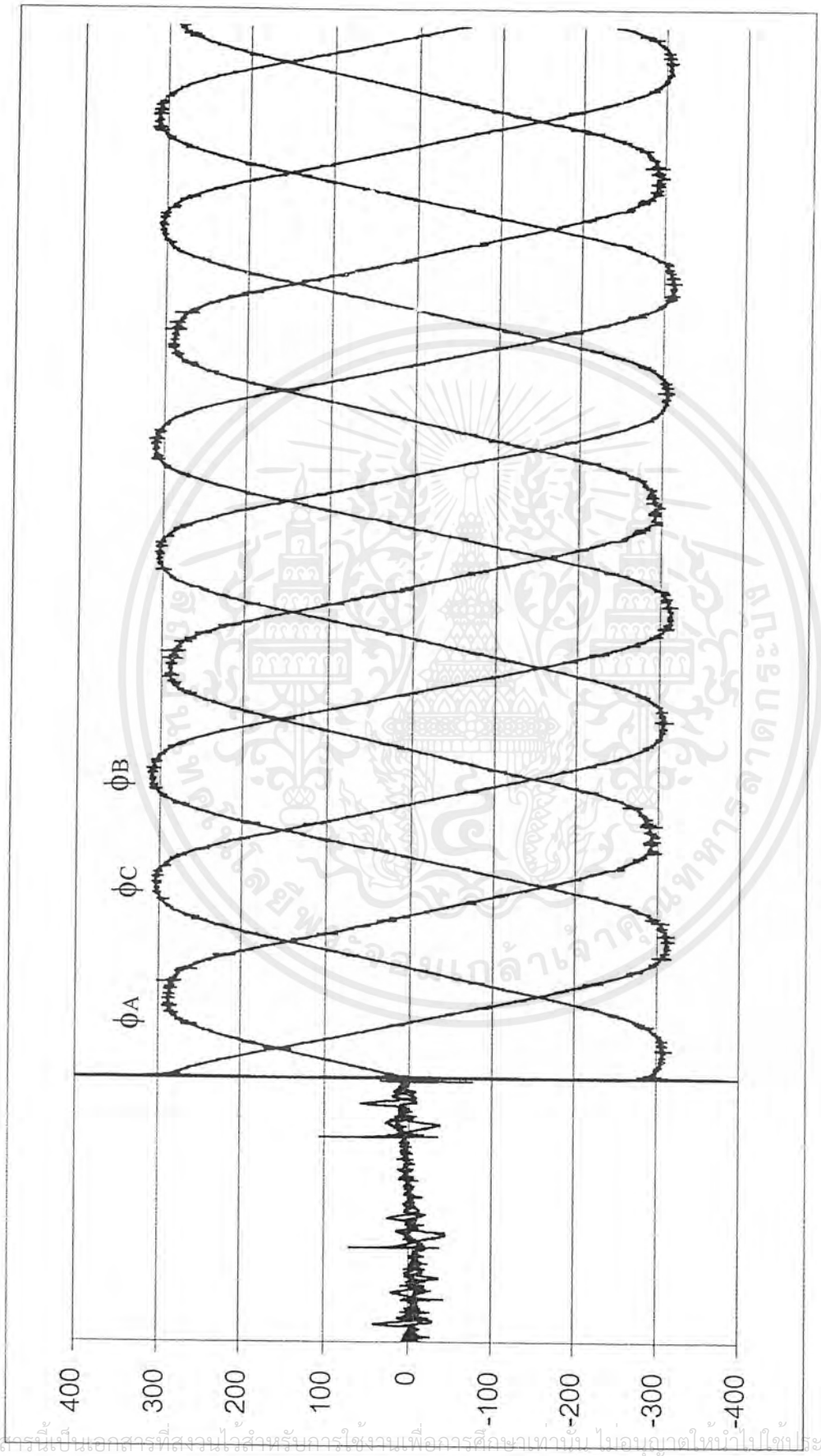
การทดลองที่ 1 การเลือกมุมในการสตาร์ทมอเตอร์

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองดังรูปในบทที่ 4
2. เลือกโหมดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เงื่อนไขการเลือกมุมสตาร์ท
3. เลือกมุมในการสตาร์ทที่มุมต่างๆ
4. วัดและบันทึกผลการการทดลอง

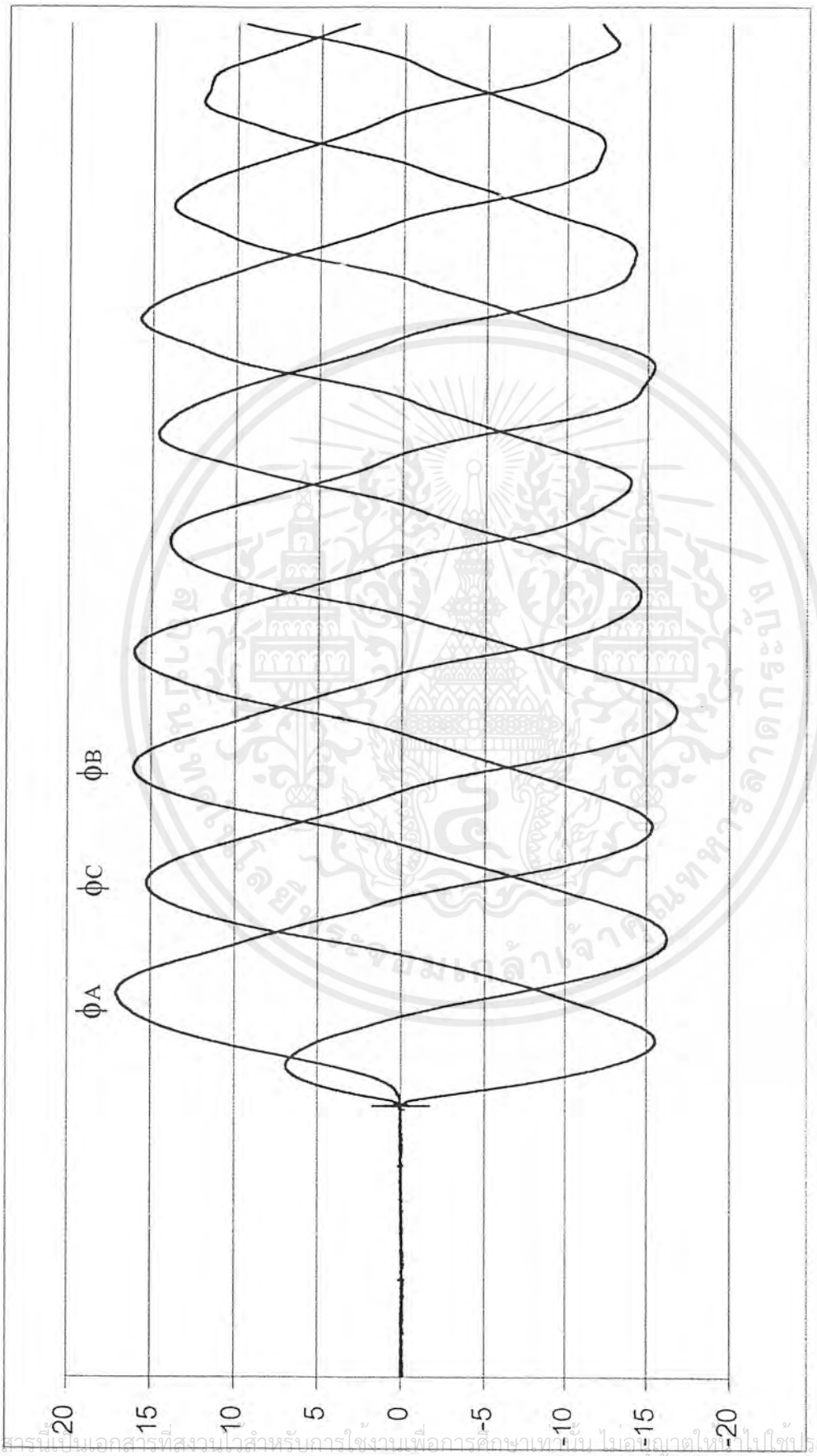
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



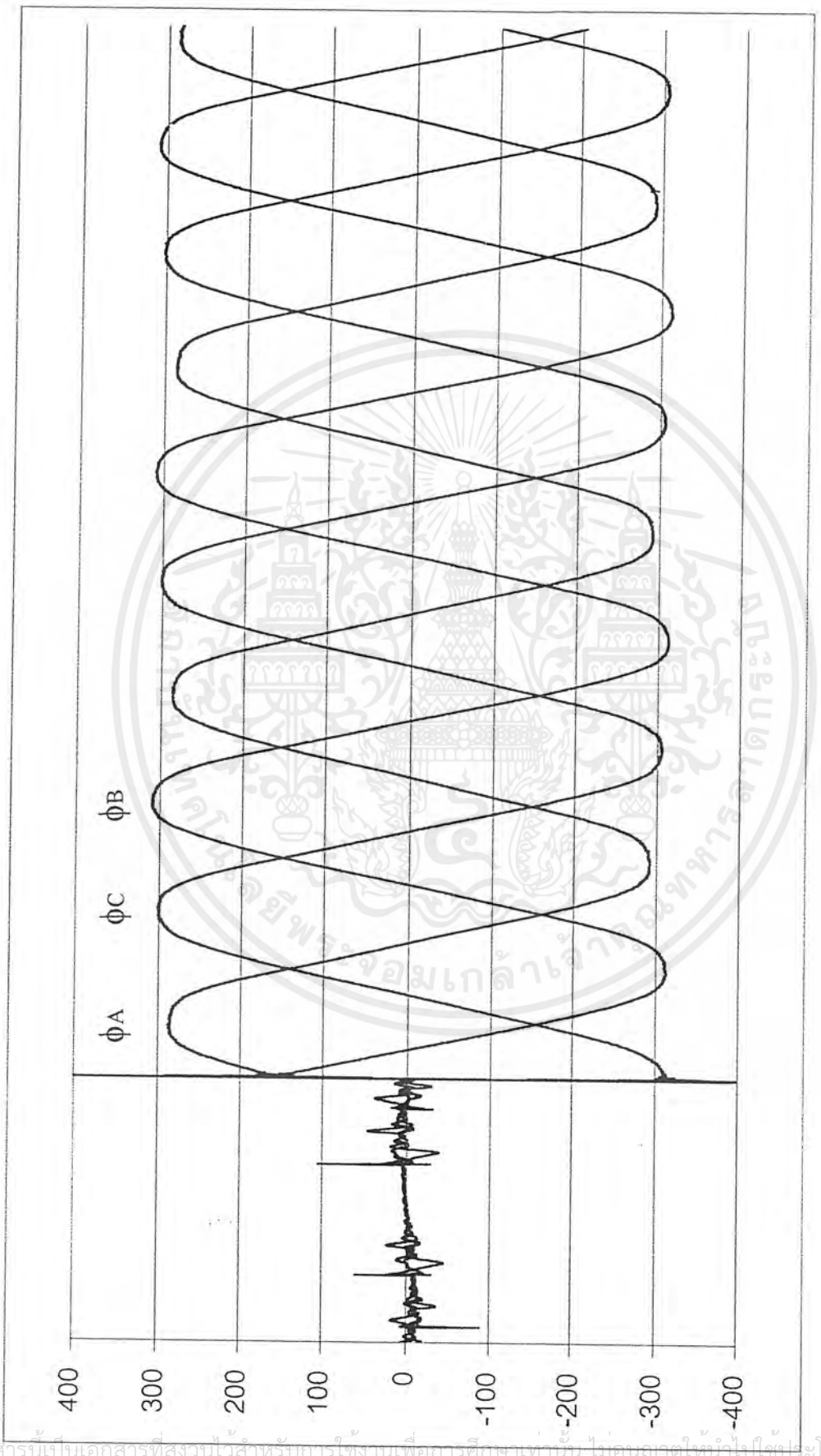
รูปที่ 5.1 แสดงแรงดันการเลือกมุมสตาร์ทที่มุม 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



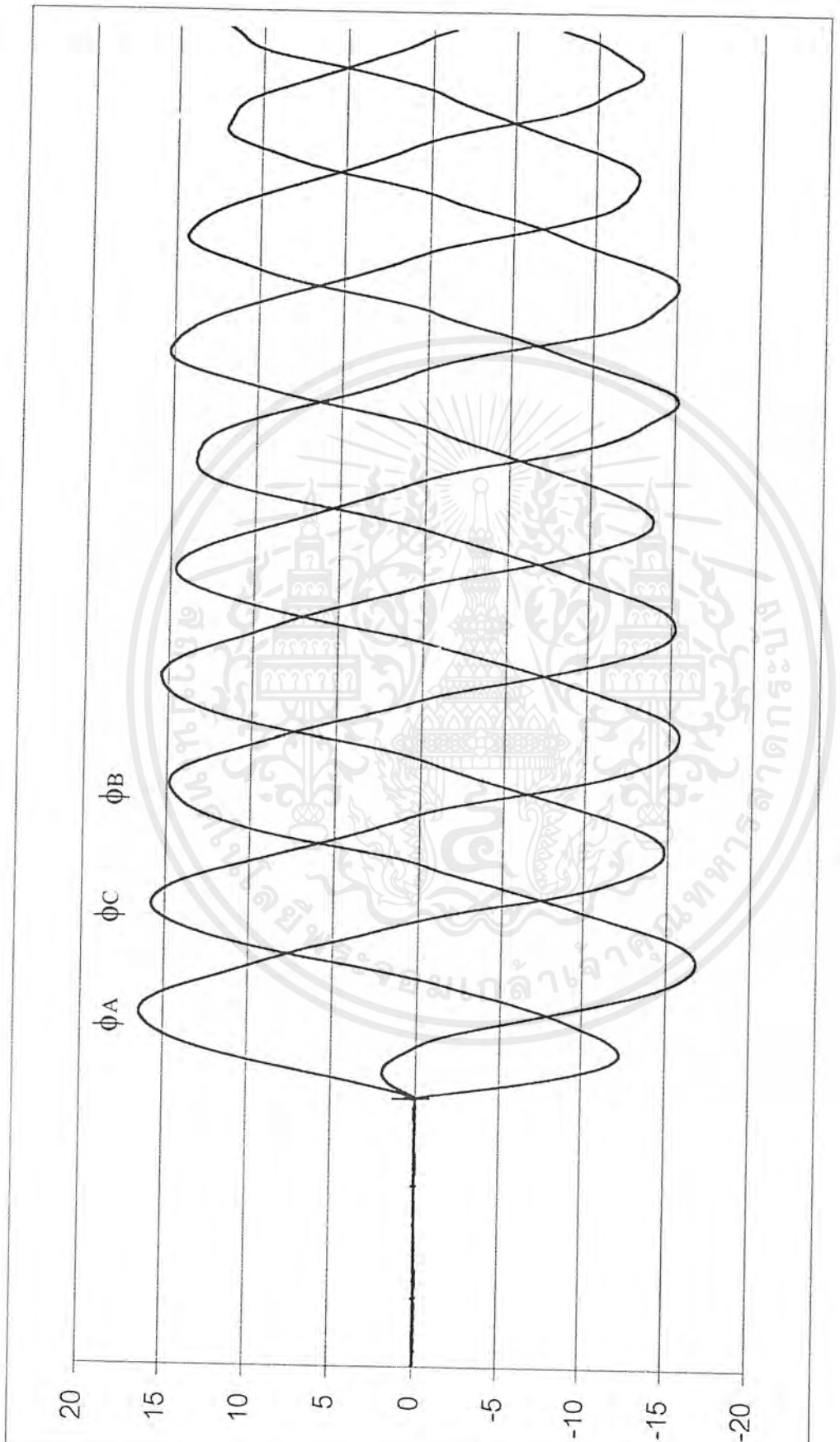
รูปที่ 5.2 แสดงกระแสการเลือกมุมสตาร์ที่มุม 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



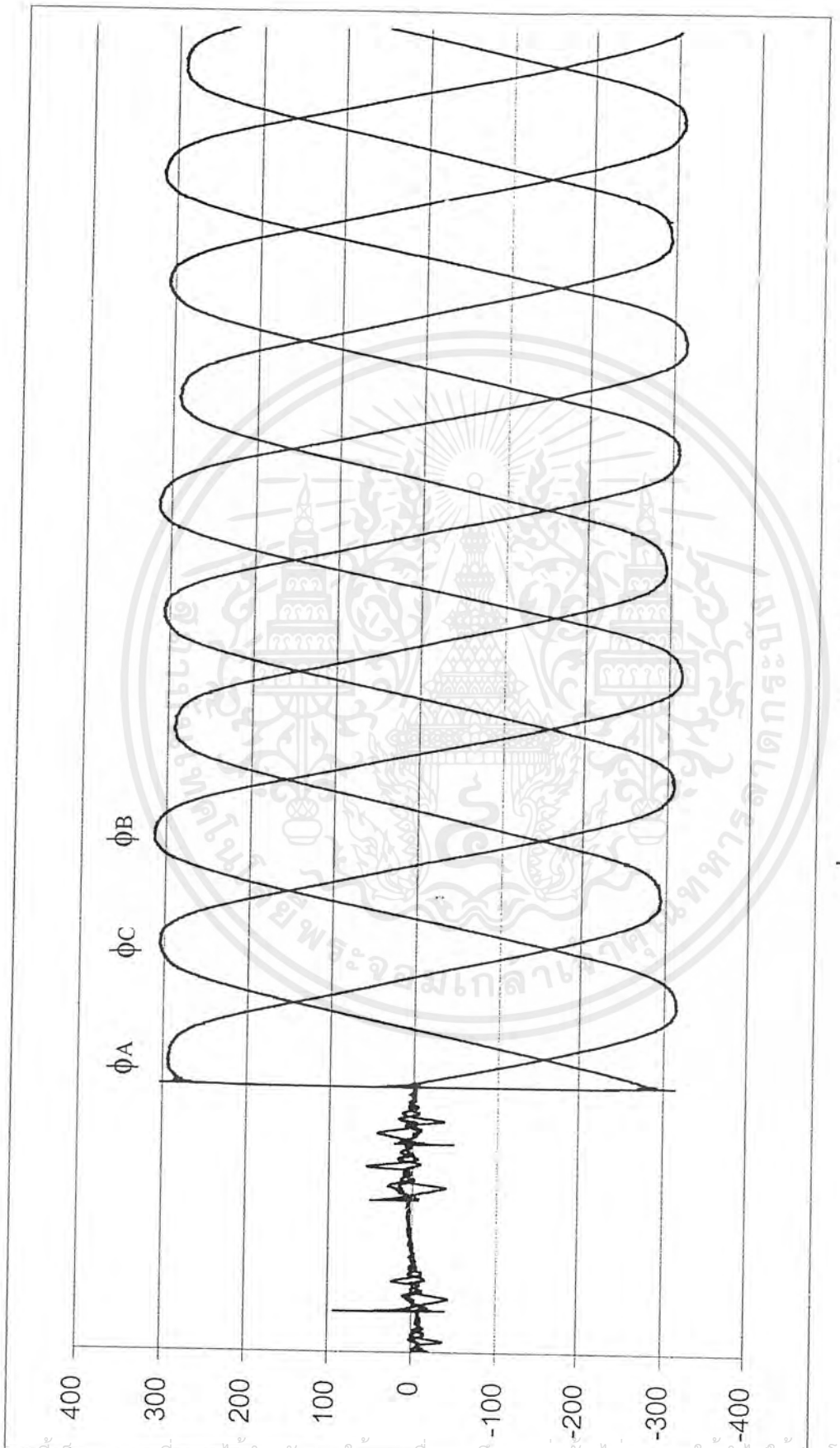
รูปที่ 5.3 แสดงแรงดันการเลือกมุมสตาร์ทมุม 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



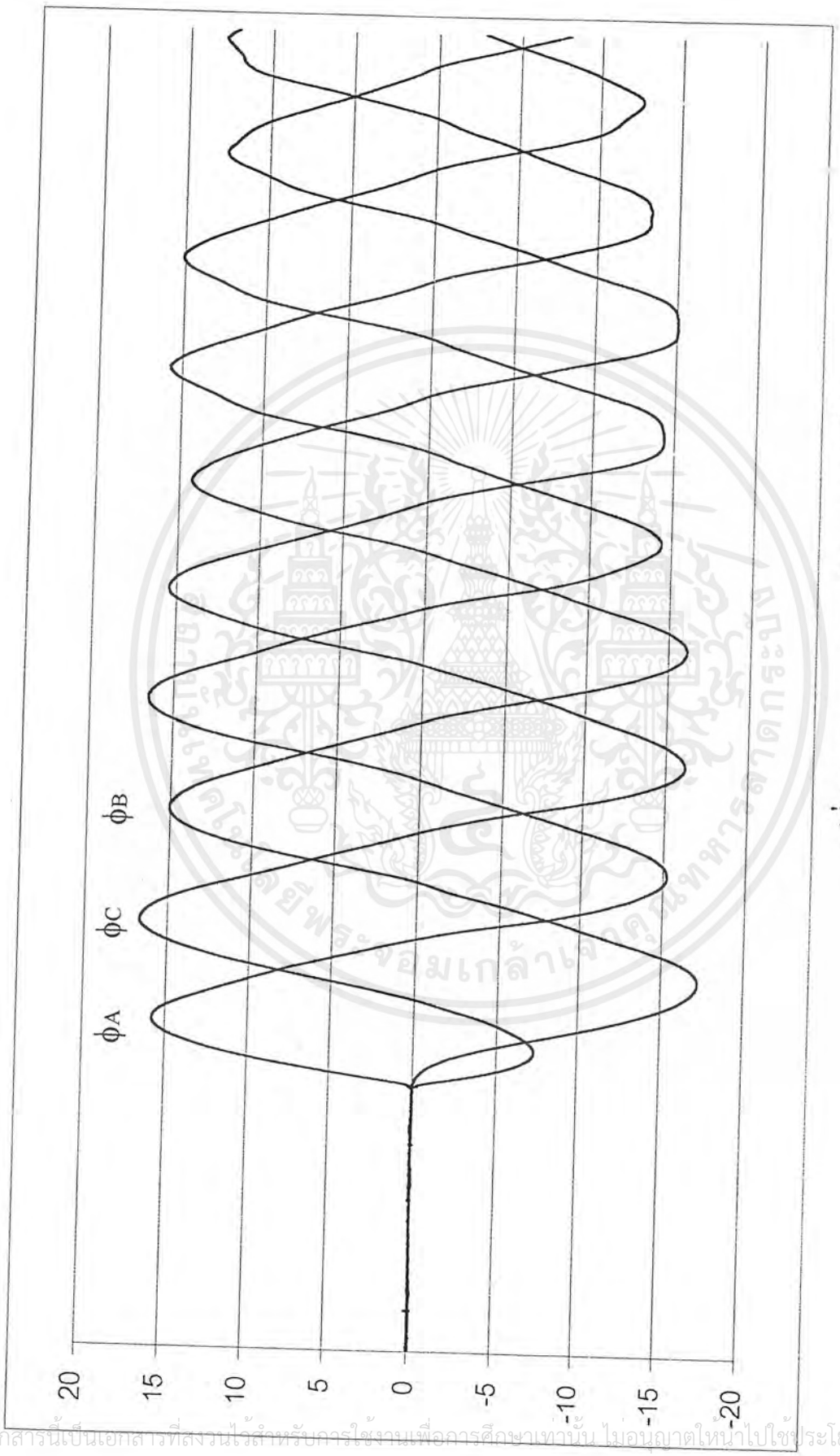
รูปที่ 5.4 แสดงกระแสการเลือกมุมสตาร์ทที่มุม 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงแรงดันการเลือกมุมสตาร์ทที่มุม 59 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงกระแสการเลือกมุมสตาร์ที่มุม 59 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 การสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท

ลำดับขั้นการทดลอง

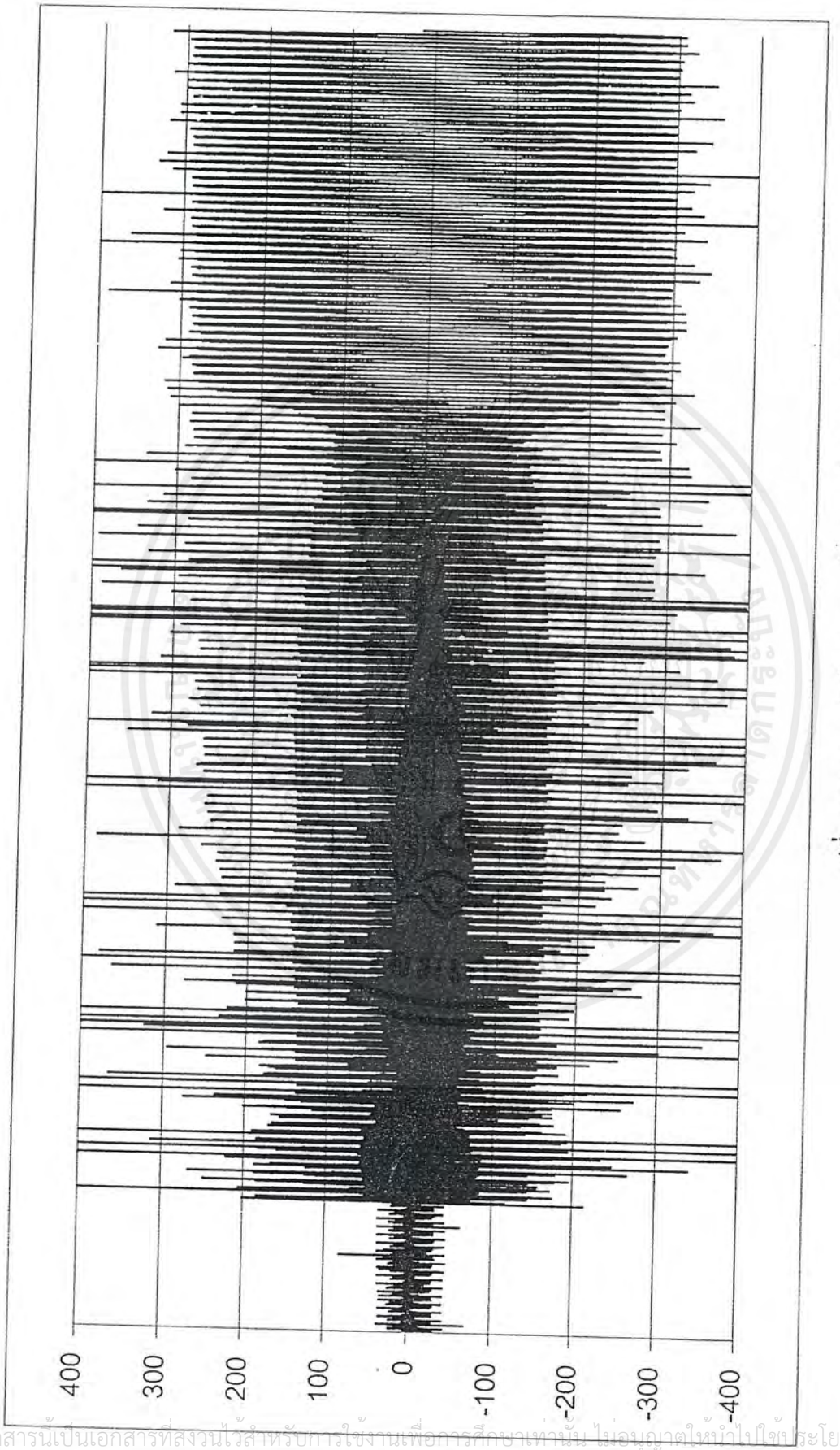
1. ต่อวงจรการทดลองดังรูปในบทที่ 4
2. เลือกโหมดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ การสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท
3. วัดและบันทึกผลการการทดลอง

ผลการทดลอง

หมายเหตุผลการทดลอง

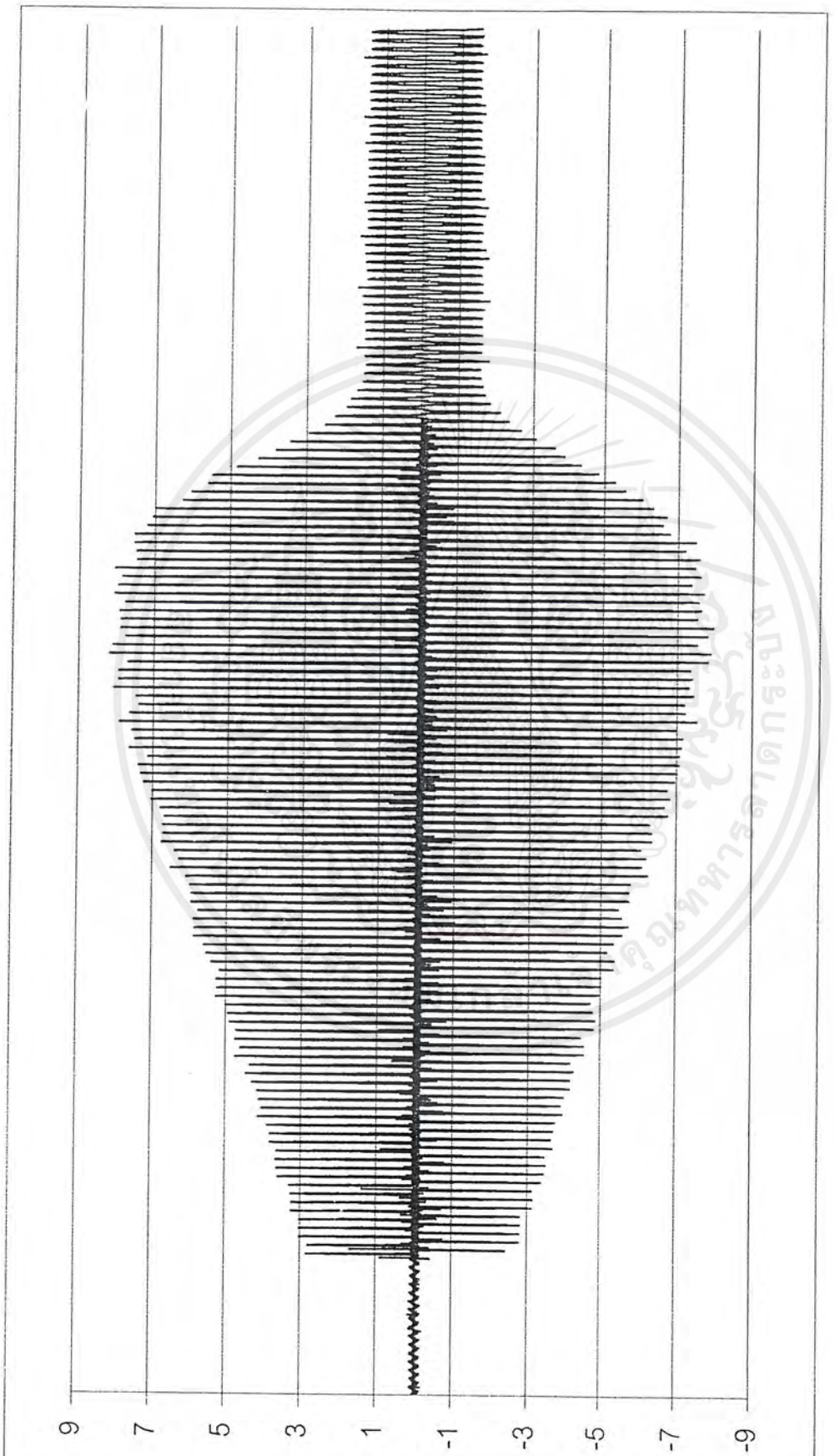
จากรูปผลการทดลองที่ได้จะเกิดในช่วงเวลาที่รวดเร็วมาก ดังนั้นจะทำการแสดงรูปของกระแสและแรงดันในขณะซอฟท์สตาร์ทของมอเตอร์ทั้งหมดก่อน และจะทำการขยายรูปของกระแสและแรงดันในช่วงต่างๆ อีกครั้งหนึ่งเพื่อความละเอียดของผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



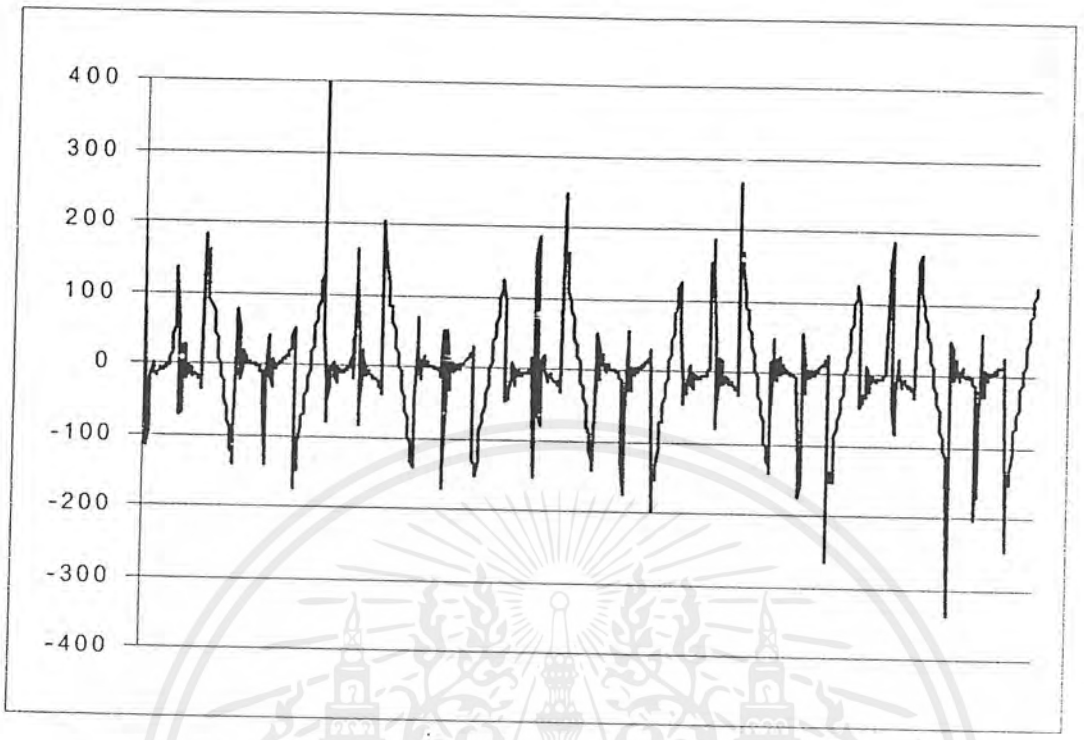
รูปที่ 5.7 แสดงแรงดันในขณะสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงกระแสในขณะสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท

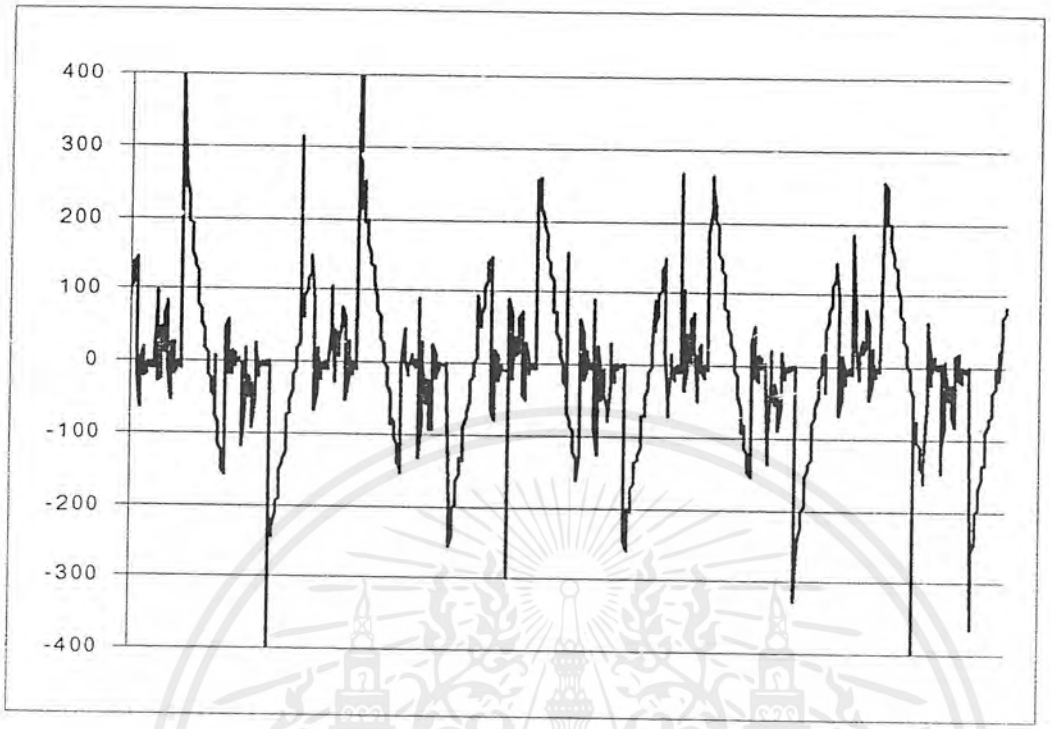
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



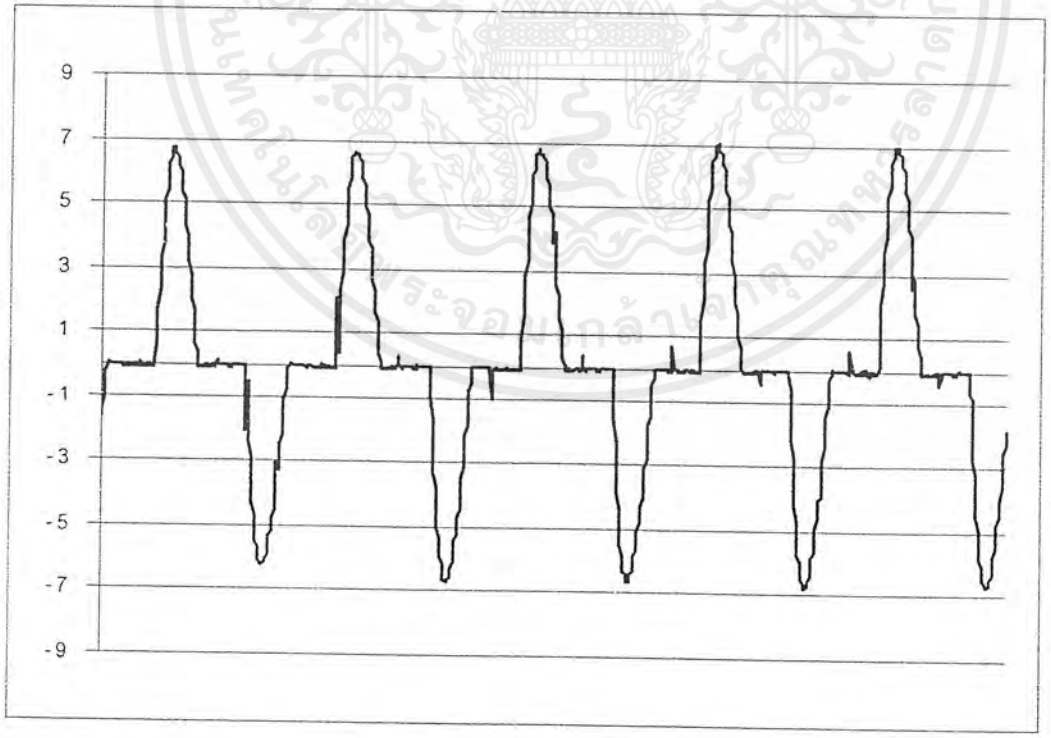
รูปที่ 5.9 แสดงแรงดันชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงแรก

รูปที่ 5.10 แสดงกระแสชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

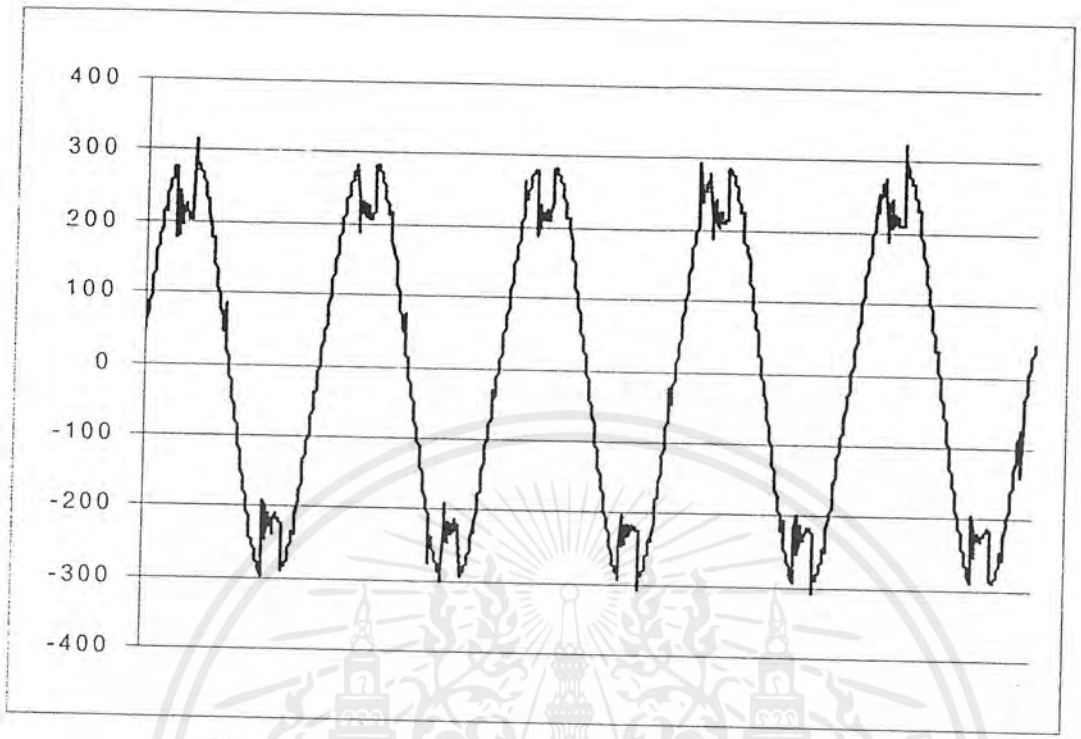


รูปที่ 5.11 แสดงแรงดันชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงกลาง

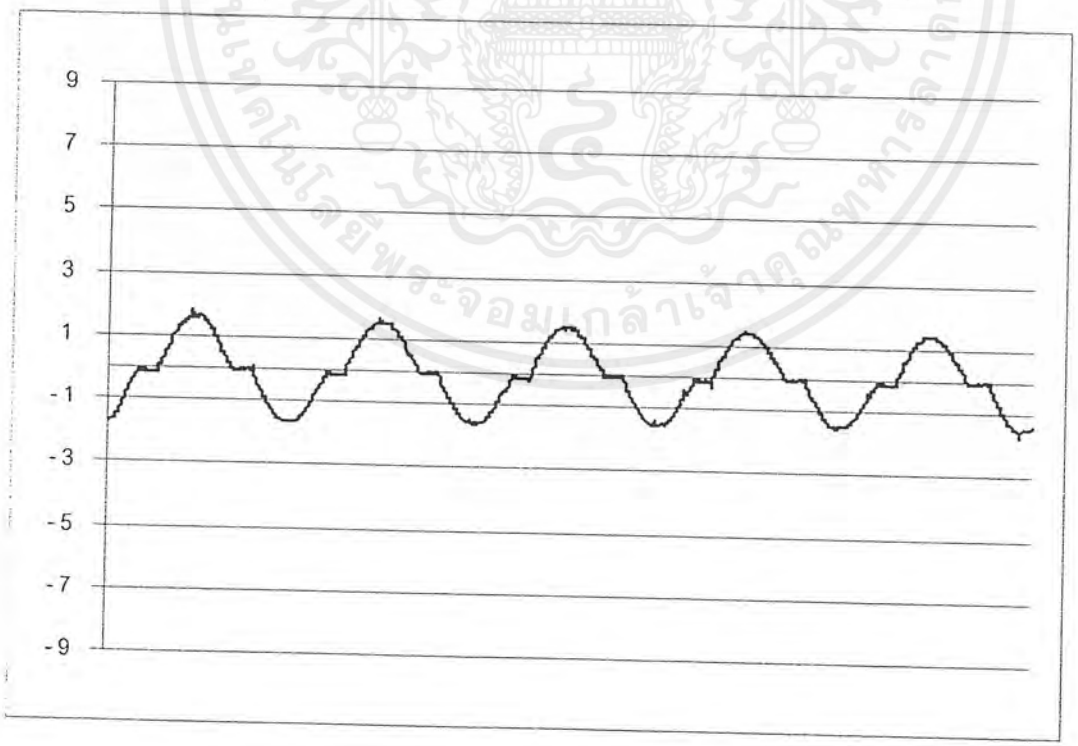


รูปที่ 5.12 แสดงแรงดันชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงแรงดันชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงปลาย



รูปที่ 5.14 แสดงกระแสชั่วขณะเมื่อสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทช่วงปลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 การควบคุมระดับแรงดันให้สมดุล

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองดังรูปในบทที่ 4
2. เลือกโหมดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ การควบคุมระดับแรงดันให้สมดุล
3. วัดและบันทึกผลการการทดลอง

หมายเหตุการทดลอง

การทดลองจะปรับแรงดันอ้างอิง 220 V ที่เฟส C และจะปรับแรงดันของเฟส A และเฟส B ตามค่าต่างๆ ในตาราง ช่อง 1 หมายถึงปรับเฟส A ตามค่าในตารางส่วนแรงดันเฟส B จะปรับเท่ากับ 220 V และช่อง 2 หมายถึงปรับเฟส A และเฟส B ตามค่าในตาราง

ผลการทดลอง

		1	2	1	2	1	2	1	2
LOAD	V	180	180	200	200	240	240	260	260
NO	V_A	180	180	200	200	224	216	226	226
	V_B	184	180	205	200	220	215	220	225
	V_C	185	183	206	205	220	220	220	220
	I_A	0.93	0.93	0.96	1.02	1.24	1.06	1.22	1.27
	I_B	0.85	0.9	1.09	1.02	1.3	1.13	1.32	1.27
	I_C	0.96	0.85	1.14	1.12	1.29	1.41	1.29	1.28
	Nr	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับแรงดันไม่สมดุลขณะไม่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		1	2	1	2	1	2	1	2
LOAD	V	180	180	200	200	240	240	260	260
3 kg.	V_A	180	180	200	200	224	227	227	227
	V_B	183	180	206	200	220	227	220	227
	V_C	184	183	205	205	220	220	220	220
	I_A	1.46	1.39	1.23	1.31	1.59	1.63	1.66	1.59
	I_B	1.28	1.27	1.45	1.22	1.46	1.63	1.43	1.58
	I_C	1.49	1.25	1.46	1.53	1.45	1.34	1.41	1.43
	Nr	1443	1444	1455	1456	1464	1465	1465	1464

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับแรงดันไม่สมดุลขณะมีโหลด = 3 กก.

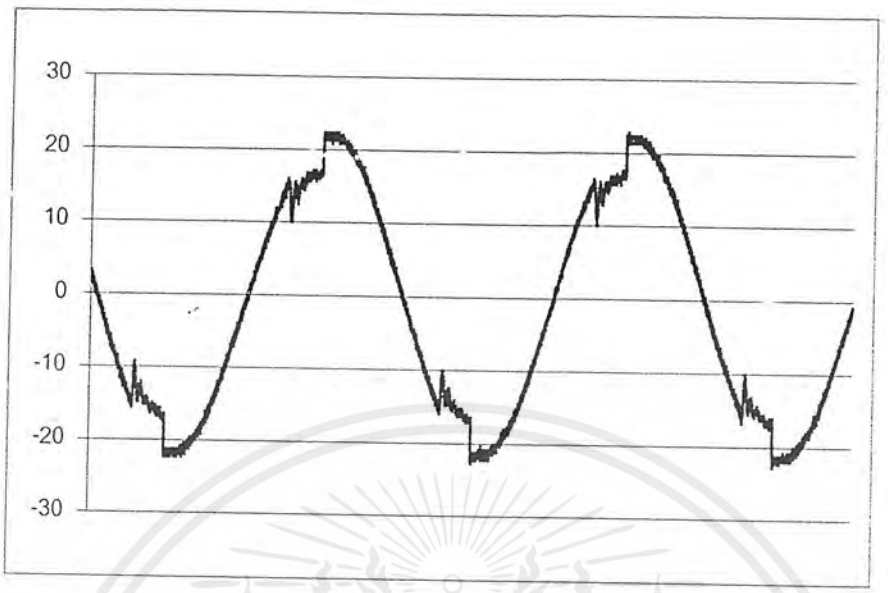
		1	2	1	2	1	2	1	2
LOAD	V	180	180	200	200	240	240	260	260
4 kg.	V_A	180	180	200	200	220	224	227	222
	V_B	183	180	205	200	220	217	220	226
	V_C	181	185	204	205	220	220	220	220
	I_A	1.79	1.63	1.38	1.5	1.56	1.85	1.85	1.5
	I_B	1.52	1.42	1.6	1.34	1.64	1.35	1.53	1.85
	I_C	1.64	1.65	1.65	1.71	1.61	1.65	1.5	1.67
	Nr	1427	1426	1441	1441	1450	1449	1451	1451

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองเมื่อปรับแรงดันไม่สมดุลขณะมีโหลด = 4 กก.

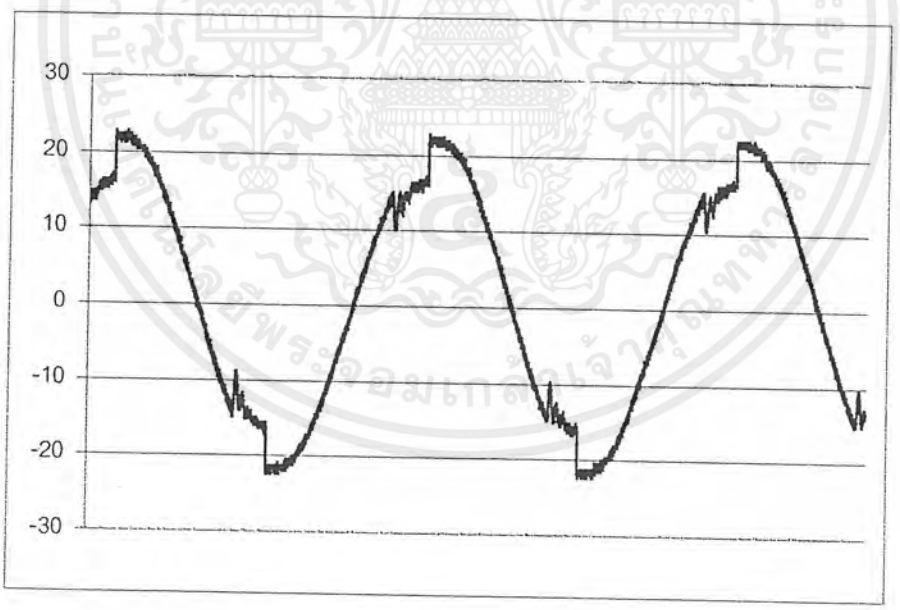
ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นจากการทดลอง

เมื่อต่อโหลดที่ 4 กก. ปรับแรงดันเฟส A = 200 V , เฟส B = 220 V , เฟส C = 220 V แสดงรูปคลื่นแรงดันเฟส B และเฟส C และกระแสของทั้งสามเฟส และกระแสไหลเข้านิวตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

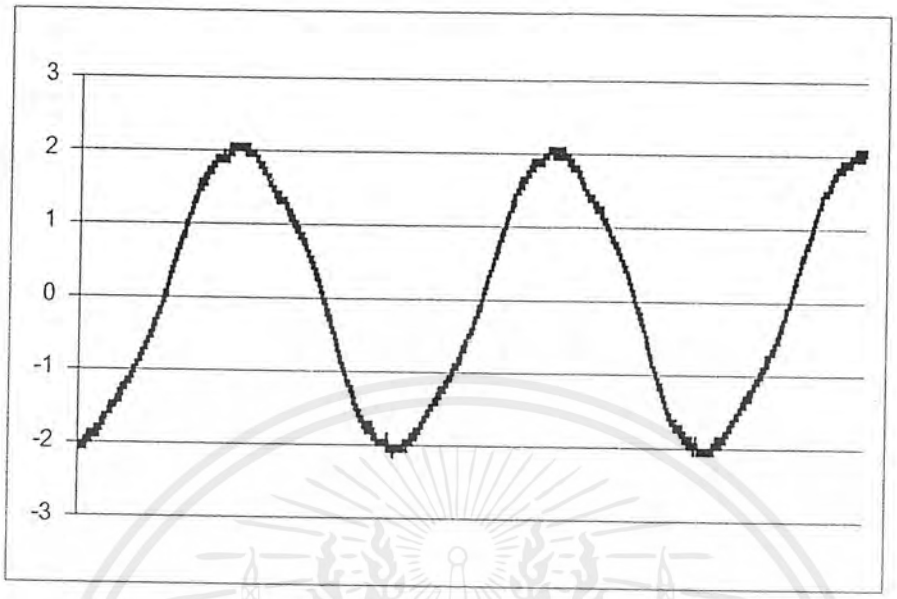


แรงดันเฟส B

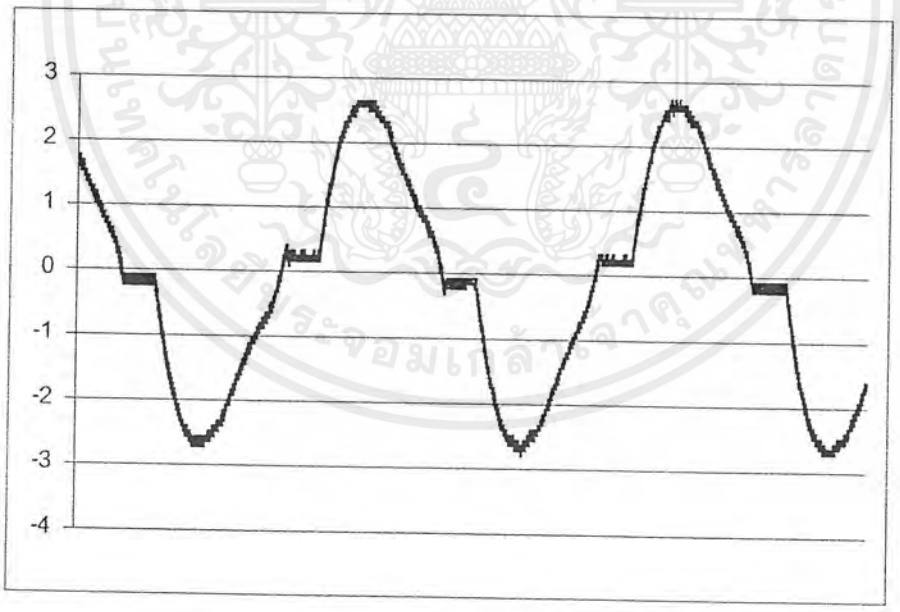


แรงดันเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

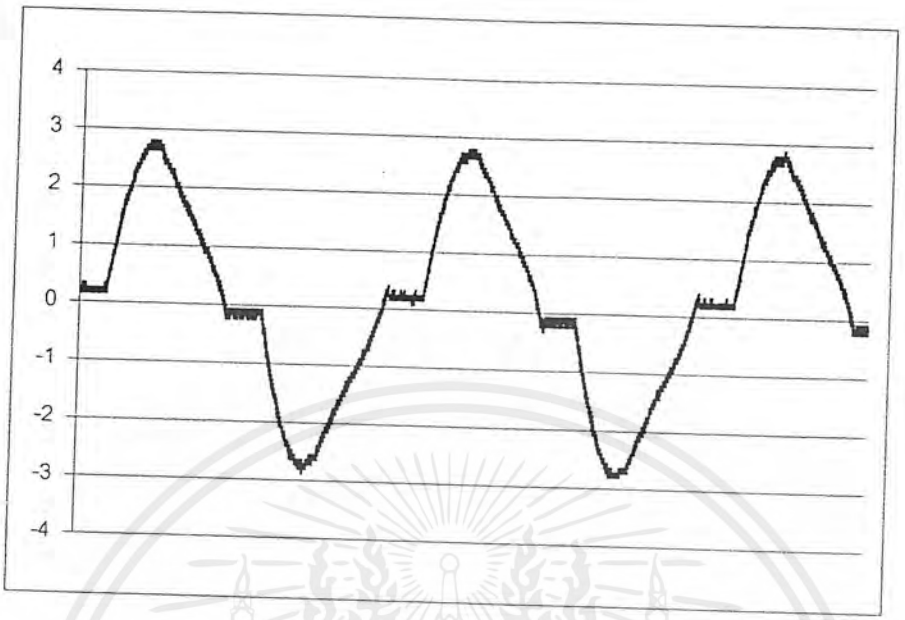


กระแสเฟส A

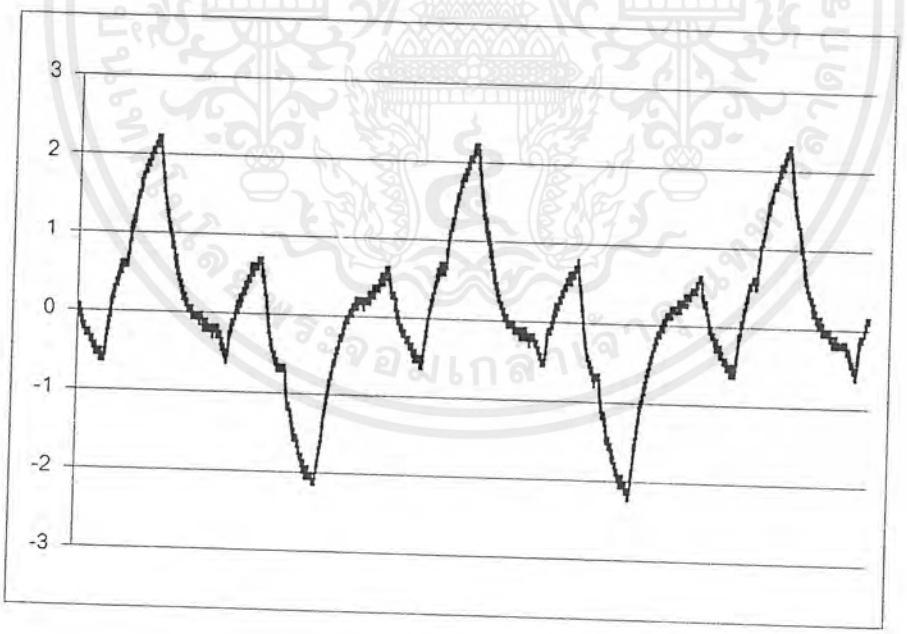


กระแสเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กระแสเฟส C



กระแสนิวตรอน

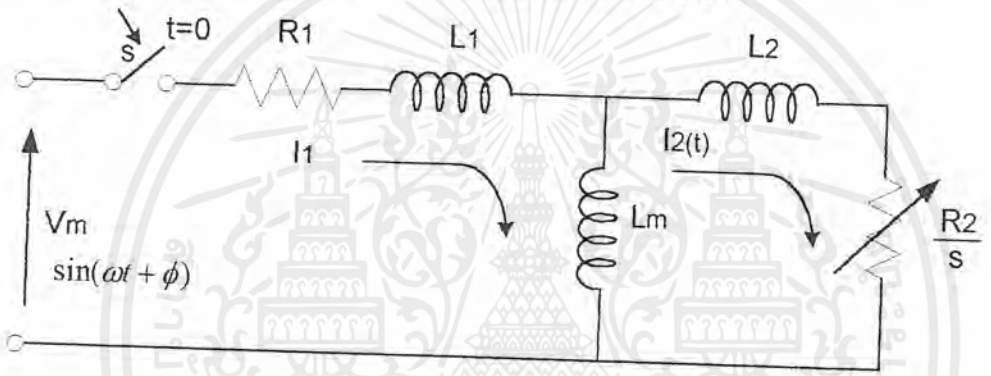
รูปที่ 5.15 ตัวอย่างลักษณะรูปคลื่นจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 วิเคราะห์ผลจากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสตามเงื่อนไข

การทดลองที่ 1 การเลือกมุมในการสตาร์ทมอเตอร์

ในการเริ่มหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสนั้นจะมีพฤติกรรมเหมือนกับการลัดวงจร 3 เฟส จะมีกระแสกระชาก (Inrush Current) เข้ามอเตอร์สูงชั่วขณะหนึ่ง และจะค่อยๆ ลดลงตามเวลาและในสภาวะทรานเซี้ยน ของมอเตอร์เราสามารถคำนวณหาค่ากระแสได้จาก



รูปที่ 6.1 แสดงวงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำ

$$L_2\frac{dI_2}{dt}+\frac{R_2}{s}I_2+L_m\frac{d(I_2-I_1)}{dt}=0$$

$$R_1I_1+L_1\frac{dI_1}{dt}+L_m\frac{d(I_1-I_2)}{dt}=V_m\sin(\omega t+\phi)$$

$$sL_2I_2(s)+\frac{R_2}{s}I_2(s)+sL_m\left[I_2(s)-I_1(s)\right]=0$$

$$R_1I_1(s)+s(L_1+L_m)I_1(s)-sL_mI_2(s)=\frac{V_m\left[s\,\sin\phi+\omega\,\cos\phi\right]}{(s^2+\omega^2)}$$

ให้ $L_{11}=L_1+L_m$

$L_{22}=L_2+L_m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{22} = \frac{R_2}{s}$$

จะได้ $$I_2(s) = \frac{sL_m I_1(s)}{sL_{22} + R_{22}}$$

$$(R_1 + sL_{11})I_1(s) - sL_m I_2(s) = \frac{V_m(s\sin\phi + \omega\cos\phi)}{(s^2 + \omega^2)}$$

$$I_1(s) = \frac{V_m(R_{22} + sL_2)(s\sin\phi + \omega\cos\phi)}{(s^2 + \omega^{12})\left[(s^2(L_{11}L_{22} - L_m^2) + s(L_{22}R_1 + L_{11}R_{22}) + R_1R_{22}\right]} = F_1(s)$$

และให้ $$X = L_{11}L_{22} - L_{m1}^2$$

$$Y = L_{22}R_1 + L_{11}L_{22}$$

$$Z = R_1R_{22}$$

$$m_1 = \frac{-Y - \sqrt{(Y^2 - 4XZ)}}{2X}$$

$$m_2 = \frac{-Y + \sqrt{(Y^2 - 4XZ)}}{2X}$$

จะได้ $$I_1(s) = \frac{A_1}{(s - m_1)} + \frac{A_2}{(s - m_2)} + \frac{A_3}{(s + j\omega)} + \frac{A_4}{(s - j\omega)}$$

ค่า A1 , A2 , A3 , A4 เป็นค่าคงที่

จะได้ $$A_1 = F_1(s)(s - m_1)\big|s = m_1$$

$$= \frac{V_m(R_{22} + m_1L_{22})(m_1\sin\phi + \omega\cos\phi)}{X(m_1^2 + \omega^2)(m_1 - m_2)}$$

$$A_2 = F_1(s)(s - m_2)\big|s = m_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{V_m(R_{22} + m_2 L_{22})(m_2 \sin\phi + \omega \cos\phi)}{X(m_2^2 + \omega^2)(m_2 - m_1)}$$

$$A_3 = F_1(s)(s + j\omega)\big|s = -j\omega$$

$$= \frac{V_m(R_{22} - j\omega L_{22})(\sin\phi + j\cos\phi)}{2(Z - X\omega^2 - jY\omega)}$$

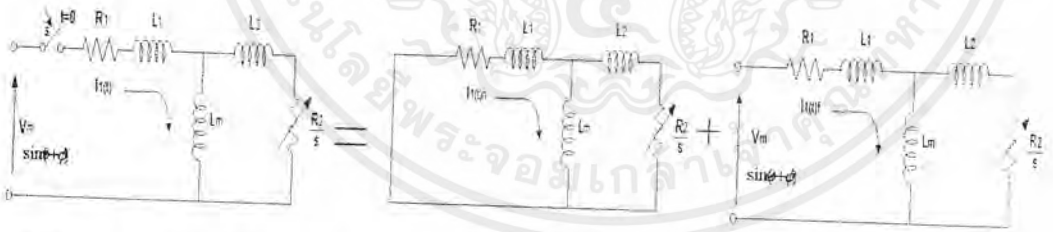
$$A_4 = F_1(s)(s - j\omega)\big|s = j\omega$$

$$= \frac{V_m(R_{22} + j\omega L_{22})(\sin\phi + j\cos\phi)}{2(Z - X\omega^2 + jY\omega)}$$

$$I_1(t) = A_1 e^{m_1 t} + A_2 e^{m_2 t} + A_3 e^{-\omega t} + A_4 e^{\omega t}$$

สมการกระแสที่ได้คือ

$$I_1(t) = \left\{A_1 e^{m_1 t} + A_2 e^{m_2 t}\right\} + \left\{(A_3 + A_4)\cos\omega t - j(A_3 - A_4)\sin\omega t\right\} \quad \ldots 6.1$$

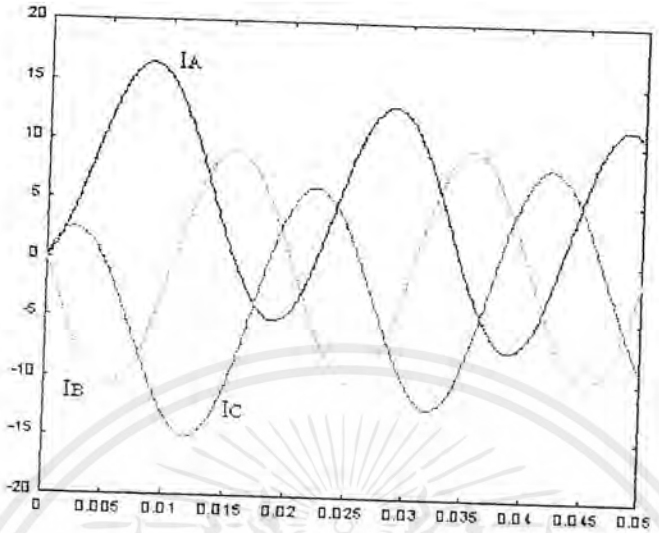


TOTAL RESPONSE **NATURAL RESPONSE** **FORCED RESPONSE**

รูปที่ 6.2 รูปแสดงกระแสกระชากรวมทั้งหมดของมอเตอร์

จะเห็นว่ากระแสในขณะเริ่มหมุนมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าของมุมในการเริ่มต้นด้วย ก็คือ ϕ นั่นเอง ซึ่งจากการทดลองเมื่อเลือกมุมในการเริ่มหมุนมอเตอร์ที่เปลี่ยนไป จะเห็นว่าลักษณะรูปคลื่นกระแสจะมีองค์ประกอบ 2 ส่วนคือ เนเชอรอลเรสปอนส์ ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบกระแส DC และจะเป็นลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียล และ ฟอร์สเรนปอนส์ เป็นจริงตามสมการ และได้ทำการจำลองแบบ (Simulation) จากคอมพิวเตอร์และได้ผลดังรูปที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แสดงผลของกระแสที่ได้จากการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ ที่มุม 30 องศาของเฟส A

จะเห็นได้ว่าผลจากการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ จะได้ผลใกล้เคียงกับผลจากการทดลองจริง ลักษณะขนาดรูปคลื่นของแรงดันกับโหลด 3 เฟส จะเหมือนกันทุกๆ 60 องศาจึงทำการทดลองเพียง 60 องศาเท่านั้น และจากการทดลองและการคำนวณแล้วจะเห็นว่ามุมเริ่มต้นการหมุนมอเตอร์ที่ดีที่สุดคือมุม 30 องศาเทียบกับเฟส A เพราะเมื่อเริ่มต้นการหมุนเข้าใกล้มุม 0 องศาจะทำให้กระแสของเฟส A ในส่วนของเอ็กซ์โปเนนเชียล มีค่ามากและเมื่อเข้าใกล้มุม 60 องศาจะทำให้กระแสเอ็กซ์โปเนนเชียลของเฟส C มีค่าสูงเช่นกัน และในส่วนของเฟส B นั้นเมื่อมุมโหลดของมอเตอร์ประมาณ 90 องศาจะทำให้ไม่มีส่วนของเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังนั้นมุม 30 องศาจะทำให้กระแสสูงสุดของทั้ง 3 เฟสมีค่าน้อยที่สุด ก็จะสามารถลดกระแสสูงสุดขณะเริ่มหมุนมอเตอร์ได้

หมายเหตุ สำหรับการทดลองเลือกมุมสตาร์ทมอเตอร์จะมีการผิดพลาดจากการหน่วงเวลา เพราะว่าจำเป็นจะต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการคำนวณของคอนโทรลเลอร์ ซึ่งความผิดพลาดต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

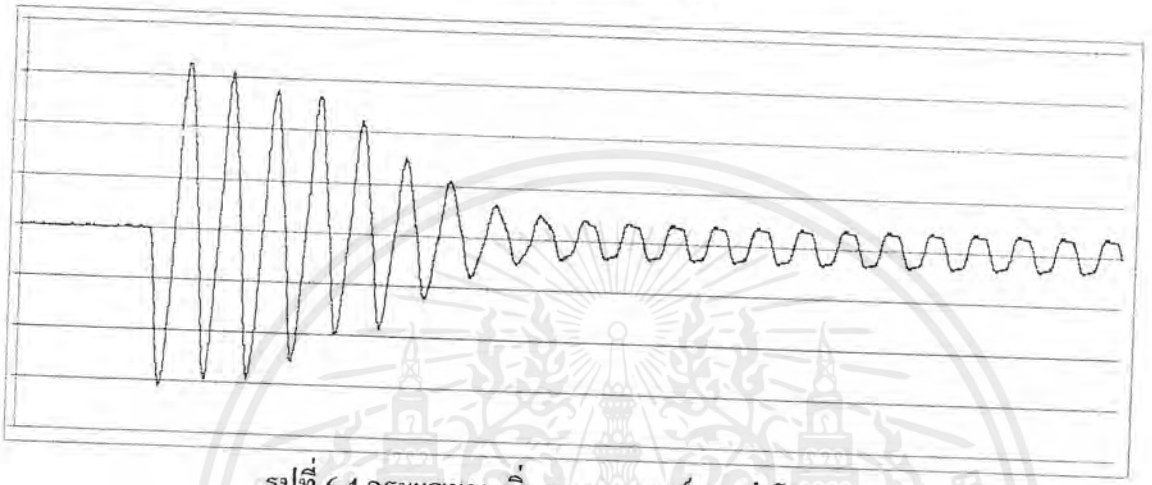
Input(Degree)	Process(MC)	Output(Degree)
0	21	0.41
10	528	10.31
20	1035	20.21
30	1542	30.12
40	2049	40.02
50	2569	50.18
59	3024	59.06

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อเลือกมุมสตาร์ทมอเตอร์ที่ค่าต่างๆ

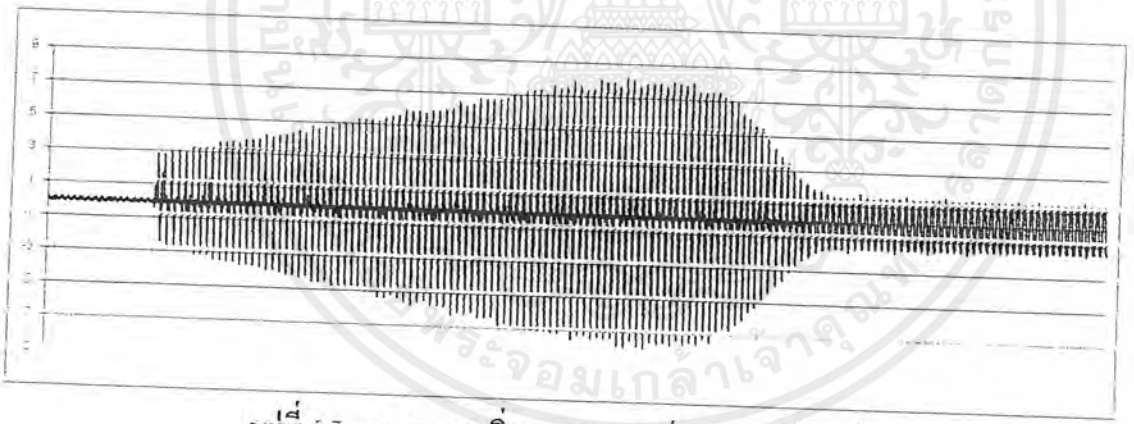
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 การสตาร์ทมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การซอฟท์สตาร์ทสามารถช่วยลดกระแสสตาร์ทจริงเมื่อเปรียบเทียบกับการสตาร์ทแบบป้อนแรงดันให้มอเตอร์โดยตรงดังรูป



รูปที่ 6.4 กระแสขณะเริ่มหมุนมอเตอร์แบบต่อโดยตรง

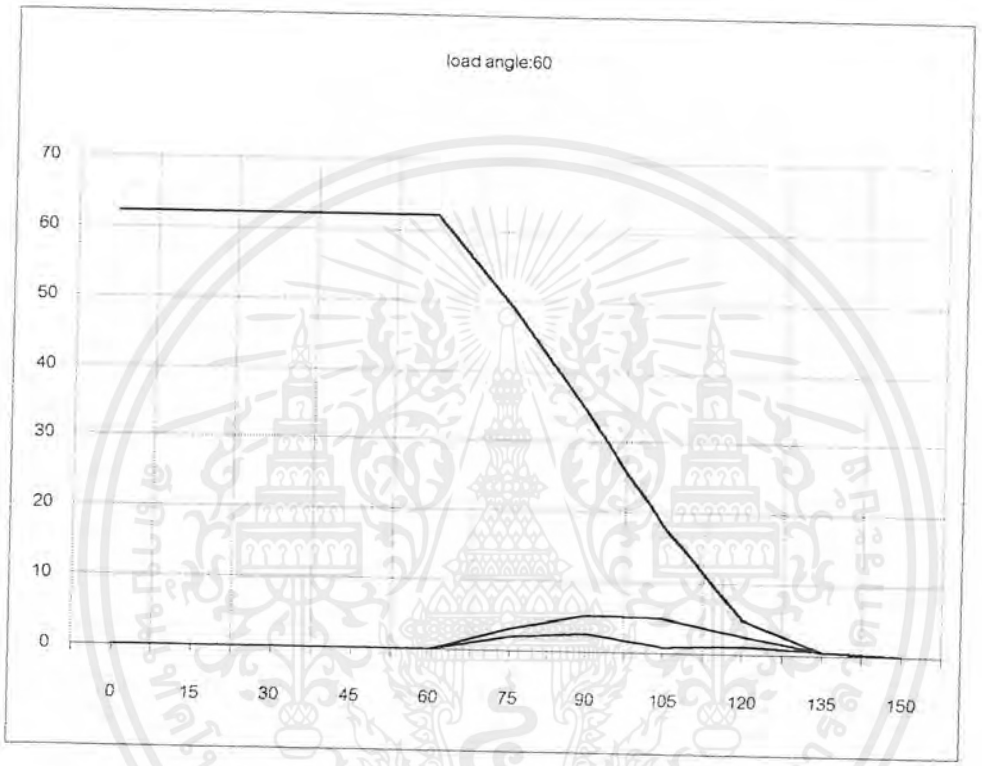


รูปที่ 6.5 กระแสขณะเริ่มหมุนมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ท

ซึ่งในตอนเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์มีค่าต่ำ กระแสที่ได้ตอนแรกมีค่าต่ำ ทำให้แรงบิดที่เกิดขึ้นนั้นต่ำ ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มช้ากว่าอัตราการเพิ่มของแรงดันไฟฟ้า ทำให้กระแสที่ได้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่ง หลังจากนั้นซึ่งเป็นจุดที่แรงบิดของมอเตอร์มีค่ามากแล้ว ทำให้ความเร็วที่เพิ่มขึ้นมีค่ามากกว่าอัตราการเพิ่มของแรงดันไฟฟ้า ทำให้กระแสที่ได้ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเข้าสู่จุดทำงานของมอเตอร์ ที่จุดนี้เองความเร็วและกระแสของมอเตอร์จะมีค่าคงที่ และเมื่อใช้ระยะเวลาในการสตาร์ทนานขึ้นจะทำให้กระแสสูงสุดขณะสตาร์ทลดลงได้แต่ก็จะมีข้อเสียคือ ทำให้ระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะปกตินานมากขึ้น และจากวงจรเฟสคอนโทรลนั้นจะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์จะมีส่วนของฮาร์โมนิกเกิดขึ้นด้วยซึ่งถ้าใช้ระยะเวลานาน ก็จะทำให้กระแสฮาร์โมนิกนี้มีผลกับมอเตอร์มากขึ้น ซึ่งฮาร์โมนิกนี้ก็จะมีผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นกับมอเตอร์และการกระเพื่อมของทอร์คด้วย ดังแสดงแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของกระแสดังรูปที่ 6.6



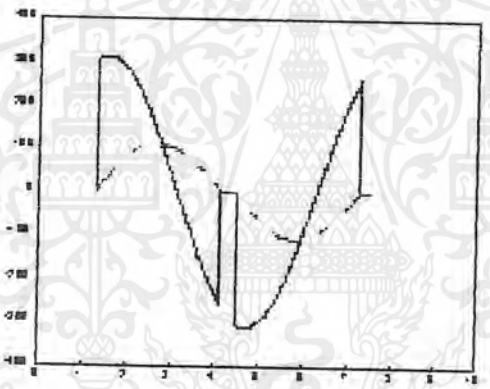
รูปที่ 6.6 แสดงผลของกระแสฮาร์โมนิกที่ได้การจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์

ถ้าโหลดมีค่ามากจำเป็นต้องกำหนดแรงดันเริ่มต้นให้มีค่าสูงเพียงพอที่มอเตอร์จะสร้างแรงบิดเริ่มหมุนให้มีค่ามากพอในการเอาชนะแรงบิดอันเนื่องมาจากความฝืดของโหลดได้ ซึ่งแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นจะแปรผันตามแรงดันยกกำลังสอง

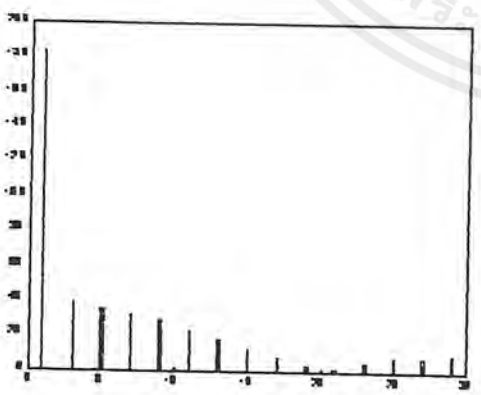
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 การควบคุมระดับแรงดันให้สมดุล

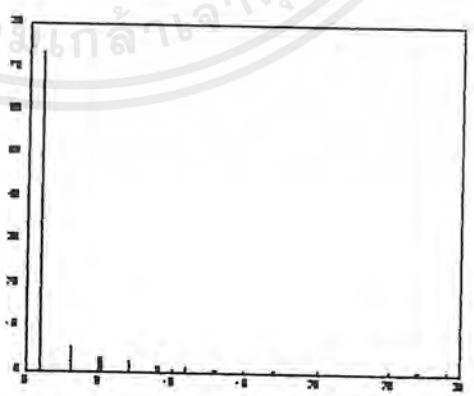
จากการทดลองจะเห็นว่า สามารถปรับความไม่สมดุลของแรงดันที่เกิดขึ้นได้จริง ตามเงื่อนไขที่กำหนดให้แรงดันแตกต่างไม่เกิน 5 % ของแรงดันเฟสที่น้อยที่สุด ซึ่งก็เป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งก็จะเห็นได้ว่าในเฟสที่มีแรงดันสูงกว่าก็จะถูกปรับแรงดันให้ลดลงโดยวงจรเฟสคอนโทรล แต่ถ้าปล่อยให้เกิดการไม่สมดุลของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อไปจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ เนื่องจากจะมีกระแสไหลเข้าสู่ตัวมอเตอร์มาก และจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่มอเตอร์ แต่เมื่อทำการปรับแรงดันให้สมดุลแล้วจะมีผลกระทบเกิดขึ้นตามมาคือ รูปกระแสจะมีลักษณะไม่ต่อเนื่องและผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ทำให้เกิดฮาร์โมนิกขึ้น ดังแสดงแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของแรงดันและกระแสที่ถูกปรับโดยวงจรเฟสคอนโทรล ในรูปที่ 6.7



แรงดันและกระแสไฟฟ้า



ฮาร์โมนิคแรงดัน



ฮาร์ดมนิคกระแสไฟฟ้า

รูป 6.7 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของแรงดันและกระแส ณ โหลดมุม 60 องศา ทริกที่ 75 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งฮาร์โมนิกนี้จะทำให้เกิดความร้อนและการกระเพื่อมของทอร์คขึ้นที่มอเตอร์ ผลเสียจากฮาร์โมนิกนี้จะเกิดขึ้นที่มอเตอร์น้อยกว่าการที่ปล่อยให้แรงดันไม่สมดุลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 สรุปผลและวิจารณ์

สำหรับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มุมของแรงดันในการเริ่มหมุนที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับเฟส A อยู่ที่ประมาณ 30 องศาจะทำให้สามารถลดกระแสกระชากขณะเริ่มหมุนได้ และจากวงจรการทดลองสามารถเลือกมุมในการเริ่มต้นของแรงดันที่เหมาะสมกับมอเตอร์ได้ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์แม็กเนติกที่ไม่สามารถหนดมุมของแรงดันเริ่มต้นได้เลย

สำหรับการเริ่มต้นหมุนมอเตอร์แบบซอฟท์สตาร์ทสามารถช่วยลดกระแสสตาร์ทจริงเมื่อเปรียบเทียบกับการสตาร์ทแบบป้อนแรงดันให้มอเตอร์โดยตรง และเมื่อใช้ระยะเวลาในการสตาร์ทนานขึ้นจะทำให้กระแสสูงสุดขณะสตาร์ทลดลงได้แต่ก็จะมีข้อเสียคือ ทำให้ระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะปกตินานมากขึ้น และจากวงจรเฟสคอนโทรลนั้นจะทำให้กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์จะมีส่วนของฮาร์โมนิกเกิดขึ้นด้วยซึ่งถ้าใช้ระยะเวลานาน ก็จะทำให้กระแสฮาร์โมนิกนี้มีผลกับมอเตอร์มากขึ้น ซึ่งฮาร์โมนิกนี้ก็จะมีผลทำให้เกิดความร้อนขึ้นกับมอเตอร์และการกระเพื่อมของทอร์ค และต้องกำหนดแรงดันเริ่มต้นให้มีค่าเหมาะสมกับโหลดเพียงพอที่มอเตอร์จะสร้างแรงบิดเริ่มหมุนให้มีค่ามากพอในการเอาชนะแรงบิดอันเนื่องมาจากความฝืดของโหลดได้

สำหรับการปรับความไม่สมดุลของแรงดันที่เกิดขึ้นนั้น ตามเงื่อนไขที่กำหนดให้แรงดันแตกต่างไม่เกิน 5 % ของแรงดันเฟสที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการแต่ถ้าปล่อยให้เกิดการไม่สมดุลของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อไปจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ เนื่องจากจะมีกระแสไหลเข้าสู่ตัวมอเตอร์มาก และจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่มอเตอร์ แต่เมื่อทำการปรับแรงดันให้สมดุลแล้วจะมีผลกระทบเกิดขึ้นตามมาคือ รูปกระแสจะมีลักษณะไม่ต่อเนื่องและผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ทำให้เกิดฮาร์โมนิกขึ้น ซึ่งฮาร์โมนิกนี้จะทำให้เกิดความร้อนและการกระเพื่อมของทอร์คขึ้นที่มอเตอร์ แต่ผลเสียจากฮาร์โมนิกนี้จะเกิดขึ้นที่มอเตอร์น้อยกว่าการที่ปล่อยให้แรงดันไม่สมดุลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการค้นคว้าและทดลอง

1. สำหรับเรื่องการเลือกมุมสตาร์ทมอเตอร์นั้น ขั้นตอนกระบวนการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้มุมในการเริ่มต้นที่ได้จริงๆ มีการหน่วงเวลาออกไป ซึ่งก็จะเป็นขีดจำกัดของการทำงานในวงจรนี้

2. สำหรับเรื่องซอฟท์สตาร์ท ไม่สามารถทราบขนาดเทลดที่จะนำไปกำหนดค่าแรงดันและเวลาเริ่มต้นที่เหมาะสมได้ ซึ่งก็เป็นขีดจำกัดอีกอย่างหนึ่งสำหรับการทำงานในวงจรนี้

3. สำหรับเรื่องการปรับระดับแรงดันไม่สมดุลให้สมดุลนั้น จำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์ในการวัดระดับสัญญาณแรงดันที่ได้เข้ามาในการประมวลผลที่แม่นยำ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ก็จะมีราคาแพงตามไปด้วย มิฉะนั้นจะทำให้การวัดระดับแรงดันที่ได้มีการผิดเพี้ยน ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองว่าสามารถปรับระดับแรงดันได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น

4. ในการประกอบแผงวงจรต่างๆ ลงในกล่อง จำเป็นจะต้องคำนึงถึงเรื่องการระบายความร้อน เพราะว่าเมื่อแผงไมโครคอนโทรลเลอร์ร้อนแล้วจะทำให้คอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาดได้ จากการทำงานของโปรเจ็คนี้เมื่อได้ทำการทดลองประมาณ 1-2 ชม. แล้วจะมีการรีเซ็ตของไมโครคอนโทรลเลอร์

แนวทางการพัฒนา

1. เนื่องจากต้องแยกกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับวงจรควบคุม เมื่อวงจรกำลังเกิดการทำงานผิดพลาด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดังกล่าว ซึ่งอาจจะใช้พัลซ์ทรานฟอร์เมอร์หรือออปโต้ไอโซเลเตอร์ก็ได้ แต่สำหรับวงจรเครื่องซอฟท์สตาร์ทเตอร์นี้ ใช้ออปโต้ไอโซเลเตอร์ ทำหน้าที่ในการแยกกราวด์ ซึ่งจะต้องใช้หม้อแปลงจำนวน 6 ตัว เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ดังกล่าว จึงทำให้เกิดความสิ้นเปลือง ดังนั้นถ้าหากเปลี่ยนมาใช้เป็นสวิทชิ่ง เพาเวอร์ซัพพลาย ก็จะทำให้วงจรควบคุมนี้มีราคาถูกลง และมีขนาดกระทัดรัดขึ้น

2. สำหรับเรื่องการซอฟท์สตาร์ทนี้ไม่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ อัตราการลดของมุมทริกค่าลดลงเรื่อย ๆ อย่างเป็นเชิงเส้น ทำให้กระแสที่ได้ในตอนแรกมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่งแล้วมีค่าลดลง ดังนั้นในการพัฒนาขั้นถัดไปควรที่จะมีตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร็วเพราะเมื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่ตัวมอเตอร์ จะทำให้กระแสเพิ่มขึ้น แต่ความเร็วของโรเตอร์ที่เพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นจะทำให้กระแสมีค่าลดลง ดังนั้นจึงควรควบคุมให้การเพิ่มขึ้นของศักดาไฟฟ้าที่เข้าสู่มอเตอร์กับความเร็วของมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้นให้มีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

```
OPORT    EQU  0E000H
IPORT    EQU  0E001H
KPORT    EQU  0E002H
CONTR    EQU  0E003H
LCDCOM   EQU  0C000H
FLAG     EQU  0C001H
WDATA    EQU  0C002H
RDATA    EQU  0C003H
SETFUNC  EQU  3FH
ONOFF    EQU  0CH
HOME     EQU  03H
CLEAR    EQU  01H
ENTRY    EQU  06H
FIRST    EQU  80H
SECOND   EQU  0C0H
DAC1     EQU  0F0H
DAC2     EQU  0F1H
DAC3     EQU  0F2H
ADC1     EQU  0F3H
ADC2     EQU  0F4H
ADC3     EQU  0F5H
OFF      EQU  0FFH
         ORG  0000H
         LJMP AAA
         ORG  0100H
AAA:     MOV  R0,#30H
         DJNZ R0,$
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   DPTR,#CONTR
        MOV   A,#8BH
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   SP,#30H
        MOV   A,#0FFH
        LCALL OUT

;***** LCD SET *****

        MOV   A,#SETFUNC
        MOV   DPTR,#LCDCOM
        MOVX  @DPTR,A
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        MOV   A,#ONOFF
        MOVX  @DPTR,A
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY

;***** KEYBOARD 1 *****

SCANKEY:  LCALL LCD1
          MOV   DPTR,#KPORT
SCANKEY1: MOVX  A,@DPTR
          ANL   A,#1FH
          CJNE  A,#1CH,CHECKB
          LCALL LCD21
          LCALL KEYDELAY
          LJMP  MODEA
CHECKB:   CJNE  A,#18H,CHECKC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LCALL LCD3B
                LCALL KEYDELAY
                LJMP  MODEB
CHECKC:         CJNE  A,#14H,KEY
                LCALL LCD3C
                LCALL KEYDELAY
                LJMP  MODEC

KEY:            LCALL KEYDELAY
                SJMP  SCANKEY1

KEYDELAY:       MOV   R4,#3H
KEYDEL1:        MOV   R3,#0FFH
KEYDEL2:        MOV   R2,#0FFH
                DJNZ  R2,$
                DJNZ  R3,KEYDEL2
                DJNZ  R4,KEYDEL1
                RET

        ;***** LCDSET *****

LCDSET:         MOV   DPTR,#LCDCOM
                MOV   A,#CLEAR
                MOVX  @DPTR,A
                LCALL DELAY
                LCALL DELAY
                MOV   A,#HOME
                MOVX  @DPTR,A
                LCALL DELAY
                LCALL DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   A,#ENTRY
        MOVX  @DPTR,A
        LCALL DELAY
        LCALL DELAY
        RET

;หน่วงเวลาประมาณ 4.1ms.
DELAY:  MOV   R3,#80H
DELAY1: MOV   R4,#00H
        DJNZ  R4,$
        DJNZ  R3,DELAY1
        RET

WRDATA: CLR   A
        MOVC  A,@A+DPTR
        CJNE  A,#0DH,SKIP
        SJMP  BACK
SKIP:   LCALL WAIT
        CLR   A
        MOVC  A,@A+DPTR
        PUSH  DPL
        PUSH  DPH
        MOV   DPTR,#WDATA
        MOVX  @DPTR,A
        POP   DPH
        POP   DPL
        LCALL WAIT
        INC   DPTR
        SJMP  WRDATA
BACK:   RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WAIT:   PUSH  DPL
        PUSH  DPH
        MOV   DPTR,#FLAG
WAIT1:  MOVX  A,@DPTR
        ANL   A,#80H
        JNZ   WAIT1
        POP   DPH
        POP   DPL
        RET

    ;***** LCD1 *****

LCD1:   LCALL LCDSET
        MOV   A,#FIRST
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   DPTR,#TABLE1
        LCALL WRDATA
        RET
TABLE1: DB    "  SELECT PROGRAM ",0DH

    ;***** LCD2 *****

LCD21:  LCALL LCDSET
        MOV   A,#FIRST
        MOVX  @DPTR,A
        MOV   DPTR,#TABLE21
        LCALL WRDATA
        MOV   DPTR,#LCDCOM
        MOV   A,#SECOND
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOVX @DPTR,A
                MOV  DPTR,#TABLE22
                LCALL WRDATA
                RET
TABLE21:        DB   "SELECT DEGREE(59MAX)",0DH
TABLE22:        DB   "  __ ==> ",0DH

LCD22:          LCALL WAIT
                MOV  A,B
                MOV  DPTR,#WDATA
                MOVX @DPTR,A
                RET

LCD23:          LCALL WAIT
                MOV  DPTR,#LCDCOM
                MOV  A,#FIRST
                MOVX @DPTR,A
                MOV  DPTR,#TABLE23
                LCALL WRDATA
                RET
TABLE23:        DB   "  PRESS START  ",0DH

        ;***** LCD3 *****

LCD3B:          LCALL LCDSET
                MOV  A,#FIRST
                MOVX @DPTR,A
                MOV  DPTR,#TABLE3B1
                LCALL WRDATA
                MOV  DPTR,#LCDCOM
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV   A,#SECOND
                MOVX @DPTR,A
                MOV   DPTR,#TABLE3B2
                LCALL WRDATA
                RET
TABLE3B1:       DB    "  PROGRAM (B)",0DH
TABLE3B2:       DB    "  PRESS START",0DH

LCD3C:          LCALL LCDSET
                MOV   A,#FIRST
                MOVX @DPTR,A
                MOV   DPTR,#TABLE3C1
                LCALL WRDATA
                MOV   DPTR,#LCDCOM
                MOV   A,#SECOND
                MOVX @DPTR,A
                MOV   DPTR,#TABLE3C2
                LCALL WRDATA
                RET
TABLE3C1:       DB    "  PROGRAM (C)",0DH
TABLE3C2:       DB    "  PRESS START",0DH

        ;***** LCD4A *****

LCD4A:          LCALL LCDSET
                MOV   A,#FIRST
                MOVX @DPTR,A
                MOV   DPTR,#TABLE4A
                LCALL WRDATA
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TABLE4A:    DB      "  RUN PROGRAM (A)",0DH

        ;***** LCD4B *****

LCD4B:      LCALL LCDSET
            MOV   A,#FIRST
            MOVX @DPTR,A
            MOV   DPTR,#TABLE4B
            LCALL WRDATA
            RET
TABLE4B:    DB      "  RUN PROGRAM (B)",0DH

        ;***** LCD4C *****

LCD4C:      LCALL LCDSET
            MOV   A,#FIRST
            MOVX @DPTR,A
            MOV   DPTR,#TABLE4C
            LCALL WRDATA
            RET
TABLE4C:    DB      "  RUN PROGRAM (C)",0DH

        ;***** OUT TO MOTOR *****

OUT:        MOV   DPTR,#OPORT
            MOV   P1,#DAC1
            MOVX @DPTR,A
            MOV   P1,#DAC2
            MOVX @DPTR,A
            MOV   P1,#DAC3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOVX @DPTR,A
        RET

;***** A(8BIT) * B(8BIT) / R1(8BIT) = R5 *****

DIV:    MUL  AB
DIV0:   MOV  R5,#0H ;=>(A*B)/R1=R5
DIV1:   CLR  C
        SUBB A,R1
        JC   DIV2
        INC  R5
        SJMP DIV1

DIV2:   PUSH 0E0H   ;0E0H=ACC
        MOV  A,B
        CJNE A,#0H,DIV3
        POP  0E0H
        RET

DIV3:   POP  0E0H
        DEC  B
        INC  R5
        SJMP DIV1

;***** MODE A *****

MODEA:  MOV  DPTR,#KPORT
A0:     MOVX A,@DPTR
        ANL  A,#1FH
        CJNE A,#11H,NO0X ;RESET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LJMP   SCANKEY
NO0X:   CJNE   A,#12H,NO1X
        MOV    R6,#0H
        AJMP   A1
NO1X:   CJNE   A,#15H,NO2X
        MOV    R6,#1H
        AJMP   A1
NO2X:   CJNE   A,#16H,NO3X
        MOV    R6,#2H
        AJMP   A1
NO3X:   CJNE   A,#17H,NO4X
        MOV    R6,#3H
        AJMP   A1
NO4X:   CJNE   A,#19H,NO5X
        MOV    R6,#4H
        AJMP   A1
NO5X:   CJNE   A,#1AH,A0
        MOV    R6,#5H
        AJMP   A1

A1:     MOV    A,R6
        ORL    A,#30H
        MOV    B,A
        LCALL LCD22
        MOV    DPTR,#KPORT
A11:    LCALL KEYDELAY
        MOVX A,@DPTR
        ANL    A,#1FH
        CJNE   A,#11H,NO0
        LJMP   SCANKEY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
NO0:    CJNE  A,#12H,NO1
        MOV   R7,#0H
        AJMP  A2
NO1:    CJNE  A,#15H,NO2
        MOV   R7,#1H
        AJMP  A2
NO2:    CJNE  A,#16H,NO3
        MOV   R7,#2H
        AJMP  A2
NO3:    CJNE  A,#17H,NO4
        MOV   R7,#3H
        AJMP  A2
NO4:    CJNE  A,#19H,NO5
        MOV   R7,#4H
        AJMP  A2
NO5:    CJNE  A,#1AH,NO6
        MOV   R7,#5H
        AJMP  A2
NO6:    CJNE  A,#1BH,NO7
        MOV   R7,#6H
        AJMP  A2
NO7:    CJNE  A,#1DH,NO8
        MOV   R7,#7H
        AJMP  A2
NO8:    CJNE  A,#1EH,NO9
        MOV   R7,#8H
        AJMP  A2
NO9:    CJNE  A,#1FH,A11
        MOV   R7,#9H
        AJMP  A2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
A2:     MOV   A,R7
        ORL   A,#30H
        MOV   B,A
        LCALL LCD22
        LCALL LCD23
        MOV   DPTR,#KPORT
A21:    LCALL KEYDELAY
        MOVX  A,@DPTR
        ANL   A,#1FH
        CJNE  A,#11H,STARTA
        LJMP  SCANKEY
STARTA: CJNE  A,#13H,A21
        LCALL LCD4A
        MOV   A,R6
        MOV   B,#0AH
        MUL   AB
        ADD   A,R7
        MOV   B,#33H ;=51
        MOV   R1,#0DH       ;SELECT DIVIDER=13
        LCALL DIV

    ;***** CHECK 0 DEGREE *****

        MOV   DPTR,#KPORT
WAITL:  MOVX  A,@DPTR
        ANL   A,#80H
        JZ    WAITH
        SJMP  WAITL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WAITH:      MOVX A,@DPTR
            ANL  A,#80H
            JZ   WAITH

        ;***** RUN MOTOR WITH SELECT DEGREE(TIME) *****

            CLR  A        ;START=0 DEGREE
            CJNE R5,#0H,OUT_L
            NOP           ;DELAY1MC
            NOP           ;DELAY1MC
            LCALL OUT     ;OUT-DELAY26MC TO OUT
            LJMP END

OUT_L:      LCALL DELAYA
            LCALL OUT
            LJMP END

        ;***** R5=RIGHT TIME FOR SELECT DEGREE *****

DELAYA:     MOV  R1,05H ;05H=R5
DELA1:      MOV  R0,#5H
            DJNZ R0,$
            DJNZ R1,DELA1
            RET

        ;***** END OF MODE A *****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ;***** MODEB *****

MODEB:  MOV   DPTR,#KPORT
B0:     MOVX  A,@DPTR
        ANL   A,#1FH
        CJNE  A,#11H,STARTB
        LJMP  SCANKEY
STARTB: CJNE  A,#13H,B0
        LCALL LCD4B
        MOV   A,#0D4H
OUTB:   LCALL OUT
        LCALL DELAYB
        DEC   A
        JNZ   OUTB
        LJMP  END

DELAYB: MOV   R2,#0D6H ;R1 SELECT TIME
DELB1:  MOV   R1,#0FFH
        DJNZ  R1,$
        DJNZ  R2,DELB1
        RET

        ;***** END OF MODE B *****

        ;***** MODEC *****

MODEC:  MOV   DPTR,#KPORT
C0:     MOVX  A,@DPTR
        ANL   A,#1FH
        CJNE  A,#11H,STARTC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LJMP   SCANKEY
STARTC: CJNE   A,#13H,C0
        LCALL LCD4C

        CLR    A
        LCALL OUT
        MOV    08H,#0H        ;DATA FOR DAC1
        MOV    09H,#0H        ;DATA FOR DAC2
        MOV    0AH,#0H        ;DATA FOR DAC3

    ;***** AVERAGE VOLTAGE A,B,C INPUT *****

C1:     MOV    R7,#25H        ;R7=COUNTER37
        MOV    10H,#0H        ;SUM AH
        MOV    11H,#0H        ;SUM AL
        MOV    12H,#0H        ;SUM BH
        MOV    13H,#0H        ;SUM BL
        MOV    14H,#0H        ;SUM CH
        MOV    15H,#0H        ;SUM CL
        MOV    DPTR,#IPORT
C2:     MOV    P1,#ADC1
        MOVX @DPTR,A
        MOV    P1,#ADC2
        MOVX @DPTR,A
        MOV    P1,#ADC3
        MOVX @DPTR,A
        MOV    P1,#OFF
        LCALL DELAYADC
        MOV    P1,#ADC1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOVX A,@DPTR
MOV  0DH,A
MOV  P1,#ADC2
MOVX A,@DPTR
MOV  0EH,A
MOV  P1,#ADC3
MOVX A,@DPTR
MOV  0FH,A  ;***DELAY
PUSH 00     ;***DELAY
POP  00     ;***DELAY
NOP         ;***DELAY
NOP         ;***DELAY
MOV  R1,#15H
MOV  R0,#14H
ACALL AVG
MOV  A,0EH
MOV  R1,#13H
MOV  R0,#12H
ACALL AVG
MOV  A,0DH
MOV  R1,#11H
MOV  R0,#10H
ACALL AVG
DJNZ R7,C2
MOV  R1,#25H        ;25H=DIVIDER
MOV  A,15H
MOV  B,14H
LCALL DIV0
MOV  R3,05H
MOV  A,13H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   B,12H
        LCALL DIV0
        MOV   R2,05H
        MOV   A,11H
        MOV   B,10H
        LCALL DIV0
        MOV   R1,05H

;***** FIND THE HIGHEST(R6) AND THE LOWEST(R4)

        CLR   C
        MOV   A,R1
        SUBB  A,R2
        JC    C5
        CLR   C
        MOV   A,R1
        SUBB  A,R3
        JC    C4
        MOV   R4,01H ;01H=R1
        CLR   C
        MOV   A,R2
        SUBB  A,R3
        JC    C3
        MOV   R6,03H ;03H=R3
        AJMP  C8
C3:     MOV   R6,02H
        AJMP  C8
C4:     MOV   R4,03H
        MOV   R6,02H
        AJMP  C8
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
C5:     CLR   C
        MOV   A,R3
        SUBB  A,R2
        JC    C6
        MOV   R4,03H
        MOV   R6,01H
        AJMP  C8
C6:     MOV   R4,02H
        CLR   C
        MOV   A,R1
        SUBB  A,R3
        JC    C7
        MOV   R6,03H
        AJMP  C8
C7:     MOV   R6,01H
        AJMP  C8

;***** COMPARE 5% THE LOWEST(BASE) AND THE HIGHEST

C8:     PUSH  01H
        MOV   A,R6    ;R6=MIN
        MOV   B,#69H ;#69H=105
        MOV   R1,#64H;#64H=100
        LCALL DIV
        POP   01H
        CLR   C
        MOV   A,R5    ;R5=MIN+5%
        SUBB  A,R4    ;R4=MAX
        JNC   C15
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;***** INCREMENT TO THE HIGHEST OUTPUT *****

        MOV   A,R4
        CJNE  A,01H,C9
        INC   08H
        MOV   A,08H
        MOV   P1,#DAC1
        SJMP  C11
C9:     CJNE  A,02H,C10
        INC   09H
        MOV   A,09H
        MOV   P1,#DAC2
        SJMP  C11
C10:    INC   0AH
        MOV   A,0AH
        MOV   P1,#DAC3
C11:    MOV   DPTR,#OPORT
        MOVX  @DPTR,A

;***** SENT =0V (00H) TO THE LOWEST OUTPUT *****

        MOV   A,R6
        CJNE  A,01H,C12
        MOV   08H,#0H
        MOV   P1,#DAC1
        SJMP  C14
C12:    CJNE  A,02H,C13
        MOV   09H,#0H
        MOV   P1,#DAC2
        SJMP  C14
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
C13:        MOV   0AH,#0H
            MOV   P1,#DAC3
C14:        CLR   A
            MOVX  @DPTR,A       ;DPTR=OPORT
C15:        LCALL DELAYC
            AJMP  C1

DELAYC:     MOV   R2,#048H ;DELAY18471MC,1CYCLE
DELC1:      MOV   R0,#0FFH
            DJNZ  R0,$
            DJNZ  R2,DELC1
            RET

AVG:        CLR   C
            ADD   A,@R1
            JC    AVG1
            MOV   @R1,A
            NOP             ;DELAY1MC
            RET
AVG1:       INC   @R0
            MOV   @R1,A
            RET

        ;***** DELAYTIME OF ADC(INPUT) *****

DELAYADC:   MOV   R0,#50H       ;DELAY163MC
            DJNZ  R0,$
            RET
END:        NOP
            END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตามวัตถุประสงค์เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากบุคคลต่อไปนี้

1. อาจารย์พิชิต ลำยอง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
2. อาจารย์สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
3. เพื่อนๆ ห้อง 3W

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] NAZAR H. MALIK, "Analysis and Performance of Three-Phase Phase-Controlled Thyristor AC Voltage Controllers", IEEE Transactions on Industrial Electronics , Vol IE-32 No.3 August 1985

[2] NATARAJAN R., "Starting Transient Current of Induction Motors without and with Terminal Capacitors" , IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol 6 No.1, March 1991

[3] MOHAN N. and TORE M. UNDELAND and WILLIAM P. ROBBINS, "Power Electronics" , John Wiley & Sons,INC 1995

[4] M. G. SAY, "Alternating Current Machines" , Pitman Publishing Ltd

[5] A. E. FITZGERALD , CHARLES KINGSLEY, Jr. , STEPHEN D. UMANS , "Electric Machinery" , McGraw-Hill Book Company

[6] GORDON R. SLEMON , "Electric Machines and Drives" , Addison-Wesley Publishing Company,INC

[7] เทคนิค , "การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ","การป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ" วารสารเทคนิค ฉบับที่ 127

[8] วิชัย ศังขจันทรานนท์,"ควบคุมสเครื่องกลไฟฟ้า ด้วยอิเล็คทรอนิคส์กำลัง", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้