การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอัตโนมัติ
(AUTOMATIC SYNCHRONIZATION)

โดย

นายนิกร อิสรโชติ
นายชูชาติ ผาระนัด
นายพันธ์ศักดิ์ เจ้ยจู
นายภานุวัฒน์ แก้ววิจิตร

วัน เดือน ปี 30 ก.ค. 2541
เลขทะเบียน M038253
เลขเรียกหนังสือ 1 3924 ส.ป.ก.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

M038253

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2539

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอัตโนมัติ
(AUTOMATIC SYNCHRONIZATION)

โดย

นายนิกร อิสรโชติ
นายชูชาติ ผาระนัด
นายพันธ์ศักดิ์ เจ้ยจู
นายภานุวัฒน์ แก้ววิจิตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา

อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

นายนิกร อิสรโชติ
นายชูชาติ ผาระนัด
นายพันธ์ศักดิ์ เจ้ยจู
นายภานุวัฒน์ แก้ววิจิตร

อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา)

อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ

นายนิกร อิสรโชติ

นายชูชาติ ผาระนัด

นายพันธ์ศักดิ์ เจ้ยจู

นายภานุวัฒน์ แก้ววิจิตร

ผศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการทดลองวิจัยเรื่องการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (AUTOMATIC SYNCHRONIZATION) โดยการควบคุมความเร็วรอบของตัวขับ ซึ่งจะเป็นตัวที่ควบคุมความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เท่ากับระบบไฟฟ้า การควบคุมกระแสฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อควบคุมระดับแรงดันให้ได้เท่ากับแรงดันของระบบไฟฟ้า การจัดลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เป็นแบบเดียวกันกับของระบบไฟฟ้า และขั้นตอนสุดท้ายคือ การทำให้มุมต่างเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของระบบใกล้เคียงกันมากที่สุดก่อนที่จะทำการขนานเข้าด้วยกัน การควบคุมการทำงานทั้งหมดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51ควบคุมและสั่งการให้แมกเนติกส์ทำการตัดต่อในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

สำหรับในโครงงานนี้จะเป็นการทดลองในส่วนของ วงจรตรวจจับสัญญาณ ,วงจรจุดชนวน SCR ,วงจร D/A และทำการทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. MOTOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

AUTOMATIC SYNCHRONIZATION

Nikorn Itsarachote
Choochat Paranad
Pansak Joeijoo
Panuwat kawwijit
Asst. Prof. Prapas Praisuwanna Advisor
Anuwat Jangwanitlert Advisor
1996

Abstract

This thesis is the experiment about automatic Synchronization . That used seed control by the primover and shall be control the frequency of the generator and when control the field current . That might be control the voltage equal to voltage of the system. The phase sequence of the generator must be as least as before synchronize to the system. The experiment used the microprocessor control the synchronization to the power system.

In this thesis is test about detector circuit , Trigger circuit, digital to analog converter and experiment about D.C. motor speed control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VI
บทนำ	1
บทที่ 1 หลักการและขั้นตอนการทำงาน	3
1.1 หลักการทำงาน	3
1.1.1 การควบคุมความถี่	3
1.1.2 การควบคุมระดับแรงดัน	4
1.1.3 การตรวจสอบการลำดับเฟส	4
1.1.4 การขนานเข้าสู่ระบบ	5
1.2 ขั้นตอนการทำงาน	5
บทที่ 2 มอเตอร์กระแสตรง	6
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดในสภาวะอิ่มตัว	7
2.2 วิธีการควบคุมความเร็ว	11
2.2.1 การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์	12
2.2.2 การควบคุมฟลักซ์สนาม	14
2.3 เซื่อมการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์กับการควบคุมฟลักซ์สนาม	16
2.4 การควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์	17
บทที่ 3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	18
3.1 หลักการเบื้องต้น	18
3.2 ความเร็วและความถี่	18
3.3 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	18
3.3.1 โรเตอร์แบบ Salient - Pole	19
3.3.2 โรเตอร์แบบ Smooth - cylindrical	19
3.4 สมการทางไฟฟ้า	20
3.5 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การตรวจจับสัญญาณ 25
4.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน 25
4.2 วงจรตรวจจับสัญญาณความถี่ 26
4.3 วงจรตรวจสอบการลำดับเฟส 27
4.4 วงจรเปรียบเทียบความต่างเฟส 31
บทที่ 5 วงจรจุดชนวน SCR และ วงจร D/A 34
5.1 หลักการทำงานของวงจรจุดชนวน SCR 35
5.2 วงจรคอนเวอเตอร์ 1 เฟสควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 37
5.3 วงจร D/A 39
5.4 วงจรควบคุมการทำงานของแมกเนติก 41
5.5 ระบบ Power Supply ที่ใช้ในโครงงาน 41
บทที่ 6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 43
6.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 44
6.2 รหัสคำสั่งของ MCS-51 44
6.3 การแบ่งกลุ่มคำสั่งของ MCS-51 45
6.4 โฟล์วชาร์ดแสดงขั้นตอนการทำงาน 46
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง 47
บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 67
ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ
บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของมอเตอร์ 6

รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลในสภาวะอิ่มตัวของวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 7

รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรง 9

รูปที่ 2.4 แสดงกราฟคุณสมบัติระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ด้วยวิธีการลดแรงดันอาเมเจอร์ 13

รูปที่ 2.5 แสดงพิกัดของแรงบิดและกำลังในการควบคุมแรงดันอาเมเจอร์ร่วมกับฟิลด์ 16

รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรง ที่ควบคุมโดยวิธีการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์ 17

รูปที่ 3.1 แสดงภาพโรเตอร์แบบ Salient-pole 19

รูปที่ 3.2 แสดงภาพโรเตอร์แบบ Smooth-cylindrical 19

รูปที่ 3.3 แสดงการต่อหลอดไฟแบบ Three dark 21

รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นของ Base Gen 22

รูปที่ 3.5 แสดงเวกเตอร์ของแต่ละเฟสเมื่อต่อแบบสตาร์ 22

รูปที่ 3.6 แสดงการต่อหลอดไฟแบบ Three bright 24

รูปที่ 3.7 แสดงการต่อหลอดไฟแบบ One dark two bright 24

รูปที่ 4.1 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน 26

รูปที่ 4.2 แสดงวงจรตรวจจับสัญญาณความถี่ 27

รูปที่ 4.3 แสดงการต่างเฟสของระบบไฟฟ้า 27

รูปที่ 4.4 แสดงการลำดับเฟสของระบบไฟฟ้า 28

รูปที่ 4.5 แสดงการลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 28

รูปที่ 4.6 แสดงการใช้แมกเนติกในการตัดต่อสวิทช์ 29

รูปที่ 4.7 แสดงวงจรตรวจสอบการลำดับเฟส 29

รูปที่ 4.8 แสดงการตรวจขอบขาลงของเฟส R เมื่อการลำดับเฟส เป็นแบบตามเข็มนาฬิกา 30

รูปที่ 4.9 แสดงการตรวจขอบขาลงของเฟส R เมื่อการลำดับเฟส เป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แสดงวงจรเปรียบเทียบความต่างเฟส 32
รูปที่ 5.1 แสดงวงจรจุดชนวนไทริสเตอร์ที่ใช้ UJT ควบคุมไตรแอก 34
รูปที่ 5.2 แสดงวงจรเบอร์ TCA785 และสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจร 35
รูปที่ 5.3 การต่อใช้งานไอซี TCA 785 36
รูปที่ 5.4 แสดงวงจร Single phase full wave half control bridge 37
รูปที่ 5.5 แสดงรูปคลื่นของวงจร Single phase full wave half control bridge 38
รูปที่ 5.6 แสดงการต่อใช้งานไอซีเบอร์ MC 1408 40
รูปที่ 5.7 แสดงวงจร Power Supply 42
รูปที่ 6.1 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 43
รูปที่ 7.1 เมื่อความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้อยกว่าของระบบ 48
รูปที่ 7.2 เมื่อความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่าของระบบ 48
รูปที่ 7.3 แสดงรูปคลื่นสัญญาณอินพุทเมื่ออินพุทมีลำดับเฟสแบบเรียงกัน 52
รูปที่ 7.4 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาท์พุทเมื่ออินพุทมีลำดับเฟสแบบเรียงกัน 52
รูปที่ 7.5 แสดงรูปคลื่นสัญญาณอินพุทเมื่ออินพุทมีลำดับเฟสแบบไม่เรียงกัน 53
รูปที่ 7.6 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาท์พุทเมื่ออินพุทมีลำดับเฟสแบบไม่เรียงกัน 53
รูปที่ 7.7 แสดงสัญญาณอินพุทเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสทับกันพอดี 54
รูปที่ 7.8 แสดงสัญญาณเอาท์พุทเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสทับกันพอดี 55
รูปที่ 7.9 แสดงสัญญาณอินพุทเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสต่างกัน 55
รูปที่ 7.10 แสดงสัญญาณเอาท์พุทเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสต่างกัน 56
รูปที่ 7.11 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 100 องศา 57
รูปที่ 7.12 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทที่มุม 100 องศา 57
รูปที่ 7.13 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 100 องศา 58
รูปที่ 7.14 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 110 องศา 58
รูปที่ 7.15 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทที่มุม 110 องศา 59
รูปที่ 7.16 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 110 องศา 59
รูปที่ 7.17 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 135 องศา 60
รูปที่ 7.18 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทที่มุม 135 องศา 60
รูปที่ 7.19 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 135 องศา 61
รูปที่ 7.20 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 150 องศา 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.21 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทที่มุม 150 องศา 62
รูปที่ 7.22 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 150 องศา 62
รูปที่ 7.23 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 165 องศา 63
รูปที่ 7.24 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทที่มุม 165 องศา 63
รูปที่ 7.25 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 165 องศา 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางการทดลองวงจรเปรียบเทียบความถี่	49
ตารางการทดลองวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	50
ตารางการทดลองวงจรจุดชนวน	64
ตารางการทดลองวงจร D/A	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทนำ

โครงงานนี้เป็นการทดลองวิจัยการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบโดยอัตโนมัติ ซึ่งควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการใช้งานจริงๆแล้วส่วนต้นกำลังหรือตัวขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็นเครื่องจักรที่ใช้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันดีเซล , ถ่านหิน ฯลฯ เป็นต้นกำลังหรือใช้พลังงานน้ำที่มีระบบเทอร์ไบเป็นตัวรับพลังงานจากน้ำแล้วถ่ายทอดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นว่าการควบคุมความเร็วของเครื่องจักรหรือเทอร์ไบนั้น เป็นวิธีการที่ยุ่งยากและซับซ้อน สำหรับโครงงานนี้จึงใช้มอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Motor) เป็นตัวขับเพราะเป็นอุปกรณ์ที่หามาใช้งานได้ง่าย และสะดวกกว่าการนำเครื่องจักรดีเซลหรือเทอร์ไบพลังน้ำมาใช้งาน และที่สำคัญคือสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ง่ายและสะดวกมากกว่า โดยการควบคุมความเร็วรอบจะใช้เทคนิคการเปลี่ยนแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงแปรค่าได้ ก่อนจะกล่าวถึงรายละเอียดของโครงงานนี้จะขอกล่าวถึงหลักการและวิธีการในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบอย่างคร่าวๆก่อน

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง

ในระบบไฟฟ้ากำลังประกอบด้วยโรงไฟฟ้าหลายๆโรง เพื่อที่จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอแก่ผู้บริโภค โดยจะมีโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องเป็นฐานโหลด (Base Load) คือผลิตกระแสไฟฟ้าตลอดเวลา โดยส่วนมากโรงไฟฟ้าเหล่านี้จะมีขนาดใหญ่และมีความสามารถในการผลิตสูง แต่ในช่วงที่โหลดมาก (Peak Load) คือผู้บริโภคมีความต้องการใช้กระแสไฟฟ้ามากซึ่งเกินความสามารถในการผลิตของโรงไฟฟ้าที่เดินเป็นฐานโหลด จึงจำเป็นต้องเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าเล็กๆที่มีอัตราเร็วสูงในการเดินเครื่องจนสามารถจ่ายโหลดได้ ให้เดินเครื่องทันทีเพื่อให้ทันต่อความต้องการของระบบ

โรงไฟฟ้าชนิดหลังจะเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการจ่ายโหลดให้แก่ระบบดียิ่งขึ้น ช่วยให้การจ่ายโหลดต่อเนื่องและทันต่อการใช้งาน นอกจากนี้ยังประหยัดราคาและพลังงาน เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรจะสูงสุดก็ต่อเมื่อทำงานที่พิกัด ดังนั้นการใช้เครื่องจักรขนาดเล็กหลายๆตัวมาขนานกันจะดีกว่าใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่แต่ทำงานไม่ถึงพิกัด และสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความเร็วและความแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

หลักในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจะต้องประกอบด้วยคุณสมบัติ 3 ประการ ดังนี้

1. ระดับแรงดันต้องเท่ากัน
2. ความถี่ต้องเท่ากัน
3. การลำดับเฟสต้องตรงกัน

โดยจะขาดคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งไม่ได้ ถ้าขาดคุณสมบัติใดคุณสมบัติหนึ่งจะทำให้ไม่สามารถขนานกับระบบได้ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงอยู่เสมอ

วิธีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

การขนานกับระบบนั้น จะต้องผ่านขั้นตอนการปรับความถี่และแรงดันให้เท่ากับระบบเสียก่อน จากนั้นจึงทำการตรวจสอบลำดับเฟส ในกรณีที่ลำดับเฟสไม่ตรงกันก็ทำการเปลี่ยนแปลงให้ถูกต้อง ขั้นตอนสุดท้าย ทำการสับสวิทช์เข้าสู่ระบบ ส่วนรายละเอียดของการควบคุมทั้งหมดจะนำไปกล่าวในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 1
หลักการและขั้นตอนการทำงาน

ระบบการทำงานทั้งหมดของโครงงานนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส
3. วงจรอิเล็กทรอนิคส์กำลัง
4. วงจรสร้างสัญญาณทริก
5. วงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณ
6. ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
7. โปรแกรมควบคุมการทำงาน
8. อุปกรณ์ตัดต่อและส่วนแสดงผล

1.1 หลักการทำงาน

ในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังนั้น จะต้องคำนึงถึงความถี่ , ระดับแรงดัน และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การลำดับเฟส หากการลำดับเฟสต่างกัน จะไม่สามารถทำการขนานได้เลย แต่ถ้าความถี่หรือระดับแรงดันต่างจากระบบไฟฟ้ากำลังเพียงเล็กน้อย และการลำดับเฟสถูกต้อง ก็สามารถทำการขนานเข้าสู่ระบบได้

1.1.1 การควบคุมความถี่

เนื่องจากความถี่ของไฟกระแสสลับที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะแปรผันตรงกับความเร็วรอบของตัวขับเคลื่อนดังสมการนี้

$$f = PN/120 \quad Hz$$

เมื่อ P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N = ความเร็วรอบของตัวขับ

f = ความถี่

ในโครงงานนี้อุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนคือมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก ส่วนเหตุผลที่ใช้มอเตอร์ชนิดนี้เนื่องจากให้ผลตอบสนองต่อความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ ซึ่งเป็นส่วนสนับสนุนให้ความถี่มีค่าคงที่ด้วย และเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการขนานเข้าสู่ระบบ เพราะหากมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ จะทำให้ความถี่แปรเปลี่ยนไปมาก ส่งผลให้ช่วงในการขนานยาวนานและยากต่อการควบคุมให้ความถี่คงที่ ซึ่งจะเห็นว่า การใช้มอเตอร์ที่ตอบสนองต่อความเร็วรอบที่ค่อนข้างคงที่มีประโยชน์ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังทำให้สะดวกต่อการควบคุมอีกด้วย เพราะจะแยกส่วนของสนามกระตุ้นออกจากวงจรอาร์เมเจอร์ ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์แปรผันตามระดับแรงดันกระแสตรงเข้าอาร์เมเจอร์เพียงอย่างเดียว

1.1.2 การควบคุมระดับแรงดัน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้คือ ซิงโครนัสเจนเนอเรเตอร์ แบบ 3 เฟส ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่อยู่กับที่ คือ สนามแม่เหล็กหมุน และส่วนที่หมุนคือ ขั้วแม่เหล็ก ในการกำเนิดไฟฟ้าจะทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่วงจรสนามกระตุ้นซึ่งมีตัวขับเคลื่อน โดยที่โรเตอร์จะเกิดขั้วแม่เหล็กขึ้น หมุนไปตัดขดลวดของสเตเตอร์ เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ ซึ่งระดับแรงดันกระแสสลับที่ออกมาจะแปรตามระดับแรงดันที่เข้าสู่วงจรโรเตอร์

1.1.3 การตรวจสอบการลำดับเฟส

การลำดับเฟสของไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แต่ละเฟสจะนำหน้าและล้าหลังกันอยู่ 120 องศา ในการตรวจสอบ จะทำการตรวจสอบการลำดับเฟสของระบบไฟฟ้ากำลังก่อนแล้วจึงกลับไปตรวจสอบการลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีหลักการว่า การลำดับเฟสของระบบไปทางใด ก็จะทำให้การลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวนไปเช่นนั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.4 การขนานเข้าสู่ระบบ

การขนานเข้าสู่ระบบเป็นขั้นตอนสุดท้าย หลังจากมีการควบคุมความถี่และระดับแรงดันให้ใกล้เคียงกับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีการตรวจจับสัญญาณและการเปรียบเทียบสัญญาณของแรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส นำสัญญาณเหล่านี้ป้อนเข้าสู่ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ประมวลผล และทำการควบคุมปัจจัยทั้งสองให้เข้าใกล้ระบบไฟฟ้ากำลังให้มากที่สุด หลังจากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบการลำดับเฟส และผ่านเข้าสู่การขนานเข้าสู่ระบบ หลักการของการขนานเป็นการรอจังหวะให้สัญญาณของระบบไฟฟ้ากำลัง และของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเฟสเดียวกันหรือทับกันพอดี จึงทำการส่งสัญญาณสั่งให้อุปกรณ์ตัดต่อทำงาน

1.2 ขั้นตอนการทำงาน

1. ขั้นแรกโปรแกรมจะแสดงสถานะของระบบ ว่าขณะนี้เครื่องจักรทั้งหมดอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง อุปกรณ์ตัดต่อทุกส่วนยังเปิดวงจรอยู่ และในขณะเดียวกันก็รอสตาร์ทเครื่องอยู่เมื่อมีสัญญาณสั่งก็จะเริ่มทำงานทันที

2. เมื่อมีสัญญาณสั่งเดินเครื่อง โปรแกรมจะสับสวิทช์ให้แหล่งจ่ายไฟเข้าสู่วงจรอาร์เมเจอร์ และวงจรสนามกระตุ้นแยกส่วนของมอเตอร์เพียง 2 ส่วนก่อน จากนั้นจึงเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ขึ้นเรื่อยๆ

3. เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ประมาณ 120 % ของพิกัดความเร็ว จึงทำการปรับระดับแรงดันเข้าสู่วงจรสนามกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเพิ่มระดับแรงดันขึ้นเรื่อยๆ

4. หลังจากเพิ่มแรงดันจนมีค่าประมาณ 90 % ของพิกัดแรงดัน จึงทำการเปรียบเทียบสัญญาณจากวงจรตรวจจับว่าขณะนั้น แรงดันและความถี่ใกล้เคียงระบบหรือไม่ ถ้าไม่ก็จะปรับให้ใกล้เคียงที่สุด

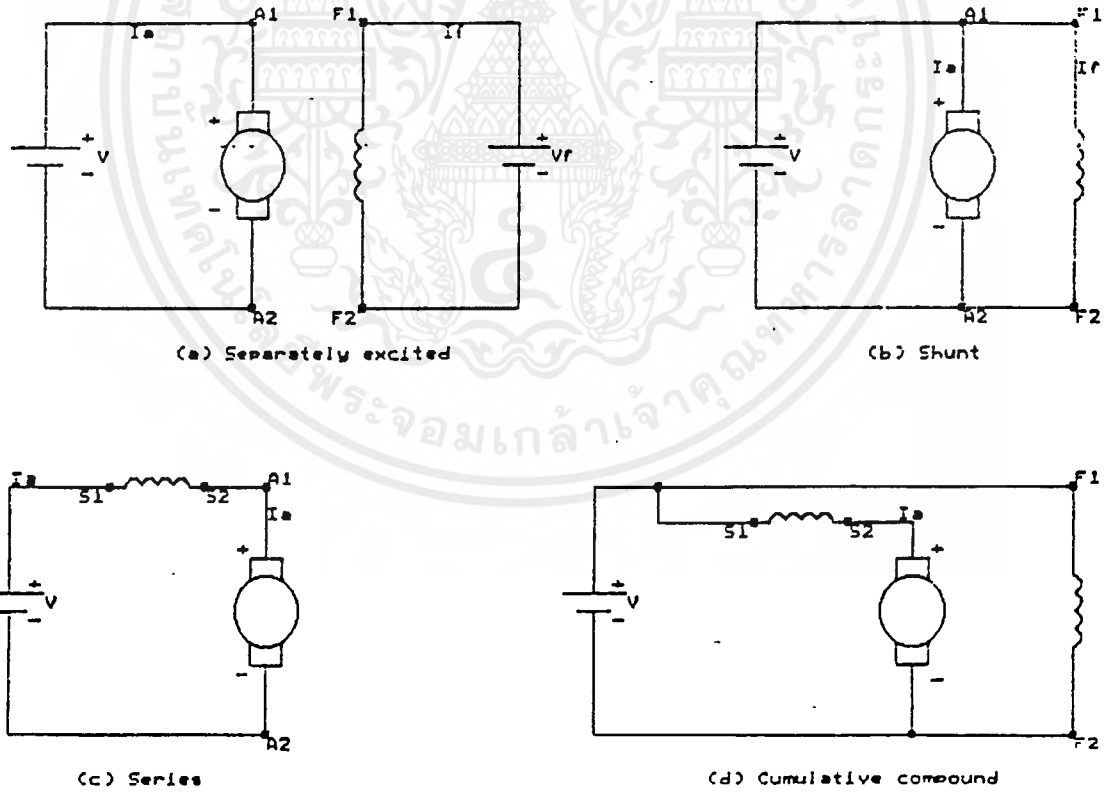
5. เมื่อระดับแรงดันและความถี่ได้ประมาณเท่ากับระบบแล้ว จึงทำการตรวจสอบการลำดับเฟส โดยตรวจสอบของระบบไฟฟ้าก่อน แล้วจึงตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

6. หลังจากที่ตรวจสอบการลำดับเฟสถูกต้องแล้ว จะทำการขนานทันที โดยการรอจังหวะให้สัญญาณระหว่างระบบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเฟสเดียวกัน ก็ทำการสับสวิทช์ขนานได้ เป็นอันว่าการขนานเข้าสู่ระบบเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
มอเตอร์กระแสตรง
DC MOTOR

ในบทนี้จะได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดในสภาวะคงที่ และวิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง ปกติแล้วมอเตอร์กระแสตรงจะมีการต่อใช้งานดังรูปที่ 2.1



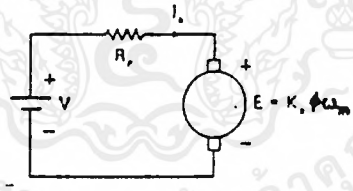
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยกส่วน แรงดันที่ป้อนให้ขดลวดสนามและขดลวดอาเมเจอร์ สามารถควบคุมโดยอิสระจากกันได้ ในมอเตอร์แบบขนาน (Shunt motor) ขดลวดสนามและขดลวดอาเมเจอร์จะถูกเชื่อมกับแหล่งจ่ายเดียวกัน ดังนั้น การควบคุมกระแสฟิลด์ (field) หรือแรงดันอาเมจอร์ทำได้โดยแทรกความต้านทานในตำแหน่งที่เหมาะสม แต่การควบคุมชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำ ในกรณีของมอเตอร์แบบอนุกรม (Series motor)กระแสฟิลด์เป็นตัวเดียวกับกระแสอาเมเจอร์ทำให้ฟลักซ์สนาม (Field Flux)เป็นฟังก์ชั่นของกระแสอาเมเจอร์ ส่วนในมอร์เตอร์แบบผสม (Cumulative compound motor) เส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดอนุกรมเป็นฟังก์ชั่นของกระแสอาเมเจอร์ และมีทิศทางเดียวกับเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดสนาม

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดในสภาวะอิ่มตัว (steady - stage)

วงจรสมมูลย์ในสภาวะอิ่มตัวของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลย์ในสภาวะอิ่มตัวของวงจรอาเมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ความต้านทาน R_a คือ ความต้านทานของวงจรอาเมเจอร์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน R_a เสมือนความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์ และสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม R_a คือ ผลบวกของความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์กับขดลวดสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรงคือ

$$E = K_a * \Phi * \omega_m \qquad \ldots (2.1)$$

$$V = E + (R_a * I_a) \qquad \ldots (2.2)$$

$$T = K_a * \Phi * I_a \qquad \ldots (2.3)$$

เมื่อ

Φ	= ฟลักซ์ต่อโพล	เวเบอร์
I_a	= กระแสอาเมเจอร์	แอมแปร์
V	= แรงดันอาเมเจอร์	โวลท์
R_a	= ความต้านทานของวงจรอาเมเจอร์	โอห์ม
ω_m	= ความเร็วของอาเมเจอร์	rad / sec
T	= แรงบิดที่สร้างโดยมอเตอร์	นิวตัน - เมตร
K_a	= ค่าคงที่	

จากสมการ (2.1) ถึง (2.3) จะได้

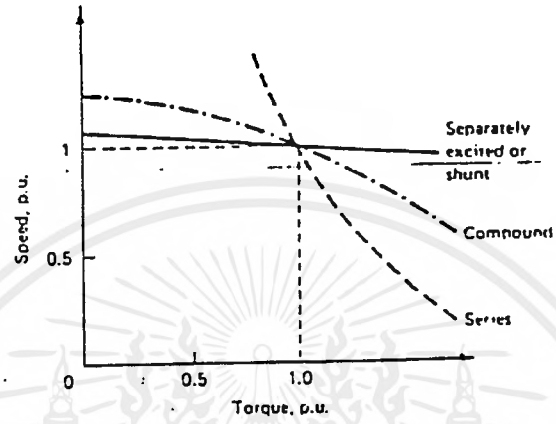
$$\omega_m = (V / K_a \cdot \Phi) - (R_a / K_a \cdot \Phi) * I_a \qquad \ldots (2.4)$$

$$= (V / K_a \cdot \Phi) - [\, R_a / (K_a \cdot \Phi)^2 \,] * T \qquad \ldots (2.5)$$

สมการที่ (2.1) ถึง (2.5) สามารถนำมาใช้ได้กับมอเตอร์ทั้งสามชนิดคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก , มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม , มอเตอร์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสตรงแบบผสม ซึ่งสมการที่ (2.5) เราสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรง

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก ถ้าเราป้อนแรงดันให้ขดลวดสนามคงที่ ฟลักซ์ที่ได้ก็จะคงที่ด้วยดังนั้น

$$K_a = K \text{ (ค่าคงที่)} \qquad \ldots (2.6)$$

ทำให้สมการ (2.1) , (2.3) , (2.4) , (2.5) , (2.6) กลายเป็น

$$T = K * I_a \qquad \ldots (2.7)$$

$$E = K * \omega_m \qquad \ldots (2.8)$$

$$\omega_m = (V / K) - (R_a / K) * I_a \qquad \ldots (2.9)$$

$$\omega_m = (V / K) - (R_a / K^2) * T \qquad \ldots (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นคุณสมบัติระหว่างความเร็วกับแรงบิด (speed - torque characteristic) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดลนามกระตุ้นแยก จึงมีลักษณะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งความเร็วรอบขณะไม่มีโหลดพิจารณาจากค่าแรงดันอาเมเจอร์และกระแสฟิลด์ ขณะที่ความเร็วลดลงแรงบิดจะเพิ่มขึ้น และความเร็วรอบจะขึ้นอยู่กับความต้านทานของวงจรอาเมเจอร์ตามสมการที่ (2.10) ซึ่งโดยปกติแล้วความเร็วจะตกลงจากขณะไม่มีโหลด ถึง โหลดเต็มพิกัด ในกรณีของมอเตอร์ขนาดกลางประมาณ 5% ดังนั้น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดลนามกระตุ้นแยก มักจะถูกนำไปใช้งานที่ต้องการความเร็วรอบคงที่และสามารถปรับความเร็วได้

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ฟลักซ์แม่เหล็กจะเป็นฟังก์ชั่นของกระแสอาเมเจอร์ (ในย่านที่แกนเหล็กไม่อิ่มตัว) โดยที่ฟลักซ์จะแปรผันตรงกับ I_a ดังนั้น

$$\Phi = K_f * I_a \qquad \ldots (2.11)$$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.1) , (2.4) , (2.5) จะได้

$$T = K_a * K_f * I_a^2 \qquad \ldots (2.12)$$

$$\omega_m = (V / K_a * K_f * I_a) - (R_a / K_a * K_f) \qquad \ldots (2.13)$$

ซึ่งความต้านทานของวงจรอาเมเจอร์ขณะนี้เป็นผลรวมของความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์และขดลวดลนามรวมกัน

คุณสมบัติระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม เราสามารถเพิ่มแรงบิดได้โดยการเพิ่มกระแสอาเมเจอร์ซึ่งจะส่งผลให้ฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้นความเร็วจะต้องตกลงจนถึงจุดสมดุลย์ระหว่างแรงดันเหนี่ยวนำ กับ แรงดันของแหล่งจ่าย จากคุณสมบัตินี้ทำให้เส้นกราฟของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมตามรูปที่ 2.3 มีความชันสูง ตามมาตรฐานแล้วมอเตอร์จะถูกออกแบบให้ทำงานที่จุดหักมุม (the knee point) ของ magnetization characteristic ที่แรงบิดที่พิกัด ฉะนั้นเมื่อเกิดแรงบิดโอเวอร์โหลดมากๆจะทำให้แกนเหล็กอิ่มตัว และเส้นกราฟระหว่างความเร็วกับแรงบิดจะมีลักษณะคล้ายเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมเหมาะสมกับการนำไปใช้งานที่ต้องการแรงบิดเริ่มต้นสูงๆและมีแรงบิดที่โอเวอร์โหลดมากๆ และโดยทั่วไปแล้วตามโครงสร้างทางกลศาสตร์ของมอเตอร์กระแสตรงสามารถที่จะนำไปใช้งานที่ความเร็วประมาณ 2 เท่าของความเร็วที่พิกัดได้ ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมไม่ควรใช้ขับโหลดที่แรงบิดโหลดค่ามากๆเพราะจะทำให้ความเร็วเกิน 2 เท่าของความเร็วที่พิกัด มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ขับโหลดที่ต้องออกตัวบ่อยๆและแรงบิดโอเวอร์โหลดบ่อยๆ

สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม เราสามารถศึกษา คุณลักษณะตามสมการที่ (2.1) ถึง (2.3) ได้เช่นเดียวกันซึ่งคุณสมบัติระหว่างความเร็วกับแรงบิดแสดงดังในรูปที่ 2.3 จากรูปความเร็วขณะไร้โหลดจะขึ้นอยู่กับขดลวดสนาม และความเร็วที่ตกลงมาขึ้นอยู่กับขดลวดอนุกรม ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม โดยที่ความเร็วขณะไร้โหลดจะถูกจำกัดไว้ในค่าที่ปลอดภัยโดยขดลวดสนาม ตัวอย่างเช่น ลิฟท์ , เครื่องกว้าน อีกทั้งมอเตอร์ชนิดนี้ยังอาจนำมาประยุกต์ใช้งานซึ่งโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลงมาก คือจากสภาวะไร้โหลดจนถึงสภาวะขับโหลดหนักมากๆโดยการติดตั้งมู่เล่ (fly wheel) เพิ่มขึ้นที่แกนเพลาของมอเตอร์ ในช่วงที่โหลดน้อยๆจะมีพลังงานส่วนหนึ่งเก็บสะสมที่มู่เล่ และในระหว่างที่โหลดหนักๆความเร็วจะตกลงตามคุณสมบัติของมอเตอร์ ตอนนี้พลังงานที่เก็บสะสมในมู่เล่จะถูกจ่ายออกมาช่วยเสริมทำให้สามารถจ่ายโหลดที่ต้องการแรงบิดมากๆได้ การประยุกต์แบบนี้ปกติจะมีใช้ในมอเตอร์ขนาดเล็ก เช่น นำไปใช้ในเครื่องกัด

กราฟในรูปที่ 2.3 นี้เราเรียกว่า กราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วกับแรงบิด เพราะว่าเส้นกราฟต่างๆเราได้รับจากการที่มอเตอร์ถูกนำไปใช้งานที่แรงดันที่พิกัดและฟลักซ์ที่พิกัด ไม่มีความต้านทานภายนอกอื่นๆมาอนุกรมกับอาเมเจอร์หรือขดลวดสนามเลย

2.2 วิธีการควบคุมความเร็ว

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรงตามสมการที่ (2.5) แสดงว่าเราสามารถควบคุมความเร็วได้ 3 วิธีดังนี้คือ

1. การควบคุมแรงดันอาเมเจอร์ (Armature voltage control)
2. การควบคุมฟลักซ์สนาม (Field flux control)
3. การควบคุมความต้านทานอาเมเจอร์ (Armature resistance control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.2.1 การควบคุมแรงดันอาเมเจอร์

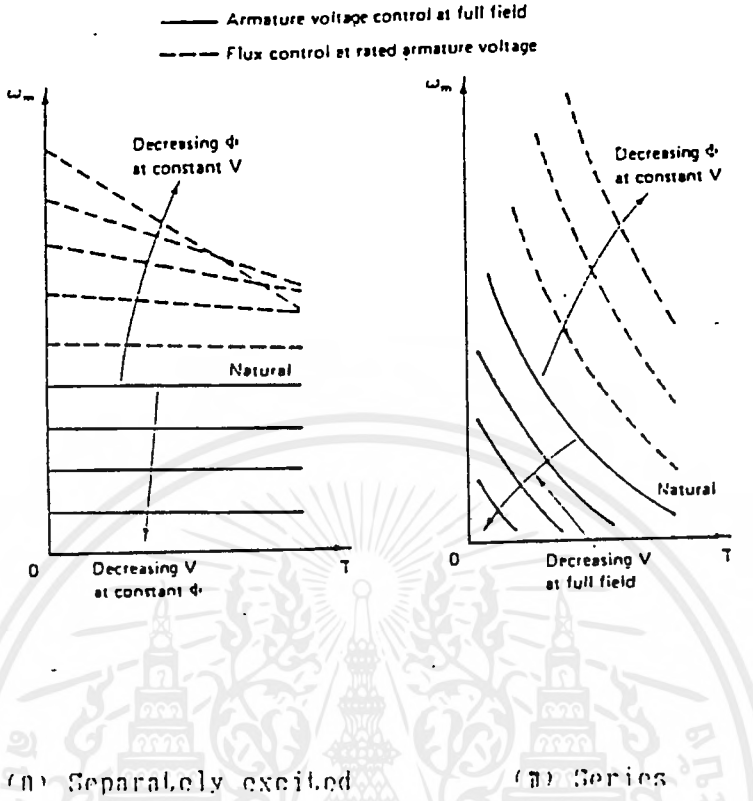
ถ้าแรงดันอาเมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก หรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ที่กำลังวิ่งอยู่สภาวะคงที่ถูกลดลงเป็นปริมาณน้อยๆตามรูปที่ 2.2 กระแสอาเมเจอร์จะลดลงเป็นผลทำให้แรงบิดของมอเตอร์ลดลงด้วย ในขณะที่แรงบิดของมอเตอร์น้อยกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการมอเตอร์จะเกิดความหน่วงเป็นสาเหตุให้ความเร็วและ แรงเคลื่อนไฟฟ้าป้อนกลับลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดที่โหลดต้องการ ถ้าแรงดันอาเมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยกถูกลดเป็นปริมาณมากๆซึ่งอาจน้อยกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าป้อนกลับ จุดนี้ทำให้กระแสอาเมเจอร์ไหลกลับทางในขณะนี้มอเตอร์กำลังทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสร้างแรงบิดที่ตรงข้าม จนกระทั่งความเร็วของมอเตอร์ตกลงถึงค่าที่ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าป้อนกลับเสมอภาคกับแรงดันอาเมเจอร์ ส่วนในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม เมื่อแรงดันอาเมเจอร์ถูกลดลงเป็นปริมาณมากๆมันจะไม่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ที่เกิดความหน่วงเพราะว่าแรงบิดของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการ

ในทางกลับกันถ้าแรงดันอาเมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรงที่กำลังวิ่งอยู่ ณ สถานะคงที่ถูกเพิ่มขึ้นตามสมการที่ (2.2) และ (2.3) กระแสอาเมเจอร์จะเพิ่มขึ้นเป็นผลให้แรงบิดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นด้วย มอเตอร์จะเกิดอัตราเร่งทำให้ความเร็วของมอเตอร์และแรงเคลื่อนไฟฟ้าป้อนกลับเพิ่มขึ้นจนกระทั่งไปสู่จุดสมดุลย์ใหม่ คือแรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดที่โหลดต้องการที่ความเร็วที่สูงกว่าเดิม

ขณะเพิ่มหรือลดความเร็วแรงดันอาเมเจอร์ควรจะเปลี่ยนทีละน้อยๆเพราะว่าการเปลี่ยนแรงดันอาเมเจอร์ทีละมากๆนั้นเป็นสาเหตุให้กระแสไหลผ่านอาเมเจอร์เป็นปริมาณมาก ซึ่งจุดนี้อาจจะทำความเสียหายให้กับคอมมิวเตเตอร์หรือลดอายุการใช้งานของมอเตอร์ลงได้

คุณสมบัติระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยกและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมที่แรงดันอาเมเจอร์ต่างๆกันแสดงดังรูป 2.4 (ก)และ(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงกราฟคุณสมบัติระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ด้วยวิธีการลดแรงดันอาเมเจอร์

มอเตอร์สามารถทำงานที่ ความเร็ว - แรงบิด ใดๆก็ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิด และแกนของแรงบิดในกราฟในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก การปรับแรงดันอาเมเจอร์จะเป็นการปรับความเร็วที่สภาวะไร้โหลด และคุณสมบัติระหว่างความเร็วกับแรงบิด ซึ่งจะเป็นเส้นที่ขนานกันตามรูปที่ 2.4 (ก) เนื่องจากเราไม่สามารถเพิ่มแรงดันอาเมเจอร์เกินค่าที่พิกัดได้

ดังนั้นการควบคุมความเร็วชนิดนี้ จะใช้ได้เฉพาะการทำงานของมอเตอร์ที่ต่ำกว่าเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิด

คุณสมบัติที่สำคัญของการควบคุมความเร็วชนิดนี้คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิด และความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดจะไม่เปลี่ยนแปลงตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับความเร็วอีกทั้งมันยังเหมาะสมกับการควบคุมชนิดแรงบิดคงที่ เพราะกระแสอาเมเจอร์สามารถปรับถึงสูงสุดตลอดการปรับความเร็ว เป็นผลให้เราสามารถปรับแรงบิดจากต่ำสุดถึงสูงสุดได้ตลอดการปรับความเร็วเช่นเดียวกัน นั่นแสดงว่ามอเตอร์จะให้แรงบิดได้เท่าเทียมกับโหลดเสมอไม่ว่าจะความเร็วไหนก็ตาม

2.2.2 การควบคุมฟลักซ์สนาม

ถ้ากระแสฟิลด์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก หรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ที่กำลังวิ่งอยู่ ณ ความเร็วหนึ่งอ่อนตัวลงจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลง และเนื่องจากความต้านทานอาเมเจอร์มีค่าต่ำจึงทำให้กระแสเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณมากกว่าการลดลงของฟลักซ์สนาม เป็นผลให้แรงบิดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นเป็นปริมาณมากด้วย ซึ่งจะมากกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการ ทำให้มอเตอร์เร่งความเร็ว และแรงเคลื่อนไฟฟ้าป้อนกลับจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมอเตอร์จะมาถึงจุดสมดุลย์ที่ความเร็วใหม่ที่สูงกว่าเดิม ที่ซึ่งแรงบิดของมอเตอร์เท่าเทียมกับแรงบิดที่โหลดต้องการอีกครั้ง การที่กระแสฟิลด์อ่อนตัวลงอย่างมากมายกระแสจะไหลผ่านอย่างสูง เป็นอันตรายอย่างยิ่ง ดังนั้นเราควรปรับกระแสฟิลด์ให้อ่อนตัวทีละน้อย ช้าๆ

ในทางกลับกัน เมื่อกระแสฟิลด์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยกเพิ่มขึ้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นและเป็นธรรมดาที่จะเกินแรงดันที่แหล่งจ่าย เป็นเหตุให้กระแสอาเมเจอร์ไหลกลับทาง นั่นคือ มอเตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและป้อนพลังงานกลับสู่ระบบของแหล่งจ่าย พลังงานนี้ได้มาจากพลังงานจลน์ของเครื่องจักรและโหลด เนื่องจากความเร็วลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งมอเตอร์เข้ามาสู่จุดสมดุลย์ที่ความเร็วใหม่ซึ่งน้อยกว่าเก่า ที่ซึ่งแรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดที่โหลดต้องการ ในกรณีของ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม การเพิ่มกระแสฟิลด์จะทำให้กระแสอาเมเจอร์ลดลงอย่างมาก (แต่ไม่กลับทิศ) เพราะว่าแรงบิดของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการ มอเตอร์จึงเกิดความหน่วงความเร็วจะลดลง จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดที่โหลดต้องการ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ที่ลดฟลักซ์แสดงดังรูปที่ 2.4 (ก) และ 2.4 (ข) (เส้นประ) จากสมการที่ (2.5) ความเร็วนั้นเป็นฟังก์ชั่นกำลังสองของฟลักซ์ ดังนั้นเรายิ่งลดฟลักซ์มากเท่าใด ความชันของกราฟระหว่างความเร็วกับแรงบิดจะยิ่งเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน ความเร็วจะต่ำที่สุดเมื่อกระแสฟิลด์สูงสุด โดยไม่มีความต้านทานภายนอกมาต่ออยู่ที่วงจรสนาม ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก ความเร็วต่ำสุดจะถูกจำกัด โดยความร้อนของขดลวดฟิลด์ และการอิ่มตัวของวงจรแม่เหล็ก เพราะว่าการกระตุ้นเต็มที่นั้นรูปแบบของเครื่องจักรปกติจะทำงานที่จุดอิ่มตัวของวงจรแม่เหล็ก ดังนั้นความเร็วสามารถปรับให้ลดลงกว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ความเร็วสูงสุดถูกจำกัดโดยความไม่มีเสถียรภาพของมอเตอร์ ที่เกิดจากผลกระทบของการเสียรูปของสนามแม่เหล็กในปฏิกิริยาอาร์เมเจอร์รีแอคชั่น ภายใต้การอ่อนตัวของกระแสฟิลด์ และโครงสร้างทางกลศาสตร์ของมอเตอร์ ปกติแล้วมอเตอร์กระแสตรงได้รับการออกแบบให้สามารถเร่งความเร็วได้ถึง 1.5 ถึง 2 เท่าของความเร็วที่พิกัด แต่บางชนิดได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษให้สามารถเร่งความเร็วได้ถึง 6 เท่าของความเร็วที่พิกัดได้

การควบคุมกระแสฟิลด์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก ใช้ในการควบคุมชนิดกำลังคงที่ (constant power control) เพราะว่าความสามารถในการจ่ายกำลังสูงสุดเกือบจะคงที่ตลอดการปรับความเร็ว สมมุติ I_{amax} คือกระแสสูงสุดที่ยอมให้ผ่านอาเมเจอร์ ซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่สนามอ่อนตัวลง ณ กระแสอาเมเจอร์สูงสุด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำป้อนกลับจะยังคงคงที่ทุกๆความเร็ว เพราะว่าแรงดันระหว่างขั้วก็ยังคงคงที่ที่ V อยู่ ดังนั้นมอเตอร์สามารถที่จะจ่ายกำลังคงที่ ตลอดช่วงความเร็วและแรงบิดสูงสุดที่จะให้ได้จะแปรผกผันกับความเร็ว

สมมุติว่ากระแสอาร์เมเจอร์สูงสุดไม่เปลี่ยนแปลงตามการลดลงของฟลักซ์ ซึ่งฟลักซ์ที่ลดลงจะมีผลให้เกิดปฏิกิริยาอามาเจอร์มากกว่า ดังนั้นกระแสสูงสุดที่มอเตอร์จะรับได้ โดยไม่มีการสปาร์คที่คอมมิวเตเตอร์จะลดลง เป็นการลดกำลังที่มอเตอร์สามารถจ่ายได้สูงสุดที่ความเร็วสูง

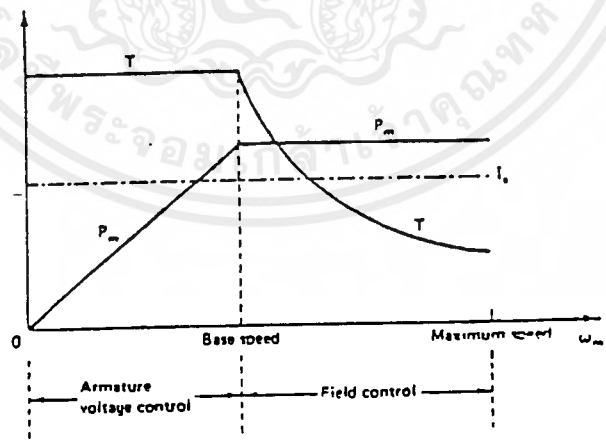
ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยกเราสามารถควบคุมฟลักซ์โดยการปรับแรงดันตกคร่อมสนาม เครื่องจักรขนาดเล็กที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน เราสามารถปรับฟลักซ์โดยการแทรกตัวต้านทานปรับค่าได้ในวงจรสนาม สำหรับในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมนั้น เราควบคุมฟลักซ์โดยต่อความต้านทานคร่อมขดลวดฟิลด์ ซึ่งในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมบางชนิดจะมีแท็ปบนขดลวดฟิลด์ มอเตอร์จำพวกนี้เราสามารถควบคุมโดยการเปลี่ยนจำนวนรอบของขดลวดฟิลด์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.3 เชื่อมการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ กับ การควบคุมฟลักซ์สนาม

ในระบบขับเคลื่อนที่ต้องการควบคุมความเร็วในช่วงกว้างมากๆ เราอาจจะใช้การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ร่วมกับการควบคุมฟลักซ์สนาม การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์จะมีข้อดีในการรักษาแรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์จ่ายที่ทุกๆความเร็ว และการควบคุมฟลักซ์สนามจะใช้ควบคุมความเร็วที่สูงกว่า ซึ่งไม่สามารถใช้การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ได้ ดังเช่นในระบบขับเคลื่อนซึ่งเรานิยามให้ความเร็วปกติคือความเร็วที่พิกัดโวล์ทเตจ เราอาจจะใช้การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วจากหยุดนิ่งถึงความเร็วที่พิกัดโวล์ทเตจ (กระแสฟิลด์ถูกรักษาให้คงที่ที่ค่าพิกัด) ความเร็วที่สูงกว่าพิกัดเราไม่สามารถใช้การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ได้ เพราะว่าเราเพิ่มแรงดันอาร์เมเจอร์มากกว่าพิกัดไม่ได้ ดังนั้นความเร็วที่สูงกว่าความเร็วที่พิกัดโวล์ทเตจเราจะใช้การควบคุมฟลักซ์สนาม ในช่วงนี้มอเตอร์จะจ่ายแรงบิดได้ลดลงเมื่อความเร็วยิ่งมากขึ้น

ดังนั้น พิกัดของแรงบิด และ กำลัง จะมี 2 ลักษณะตามระบบควบคุมตามรูปที่ 2.5 โดยพิกัดของกระแสอาเมเจอร์ถูกสมมติให้คงที่ตลอดช่วงความเร็ว

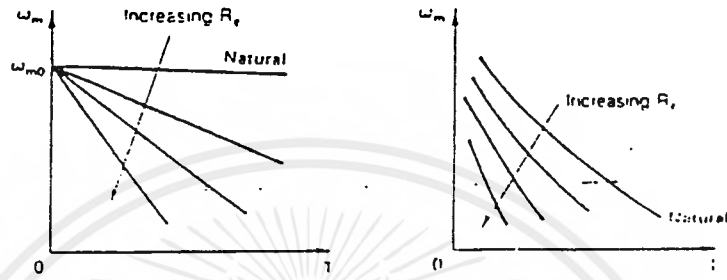


รูปที่ 2. 5 แสดงพิกัดของแรงบิดและกำลังในการควบคุมแรงดันอาเมเจอร์ร่วมกับฟิลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก , มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม เมื่อปรับค่าความต้านทานภายนอก R_m ที่ต่ออนุกรมกับอาเมเจอร์แสดงดังรูปที่ 2.6 (ก) และ 2.6 (ข)



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรงที่ควบคุมโดยวิธีการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์

ข้อเสียที่สำคัญของการควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้คือ มีประสิทธภาพต่ำมากๆ ตัวอย่างเช่น เมื่อโหลดเป็นชนิดแรงบิดคงที่ เพาเวอร์อินพุทจะคงที่ โดยมีกำลังส่วนหนึ่งจ่ายให้โหลดและอีกส่วนหนึ่งสูญเสียที่ R_m เราจะเห็นว่ากำลังที่จ่ายให้กับโหลดจะลดลงตามความเร็วที่ลดลง ดังนั้น ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะแปรผันตามความเร็ว โดยอาจจะเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของความเร็วพิกัดก็ได้ เช่น ที่ 10% ของความเร็วพิกัด มอเตอร์จะมีประสิทธิภาพ 10% ของพิกัด

รูปที่ 2.6 (ก) แสดงถึงการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์จะเปลี่ยนลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก หรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

จากที่ว่าความเร็วเกือบคงที่ตลอดช่วงของแรงบิด ไปเป็นคุณสมบัติการปรับความเร็วได้ เพราะเหตุนี้และเพราะมีประสิทธิภาพต่ำ วิธีนี้จึงไม่ค่อยใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก ยกเว้นสำหรับการปรับความเร็วที่ต้องการในช่วงสั้นๆ ซึ่งประสิทธิภาพทั้งหมดของระบบจะลดลงไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
Synchronous Generator

3.1 หลักการเบื้องต้น

การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นได้ก็โดยการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์สามารถแยกการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ 2 แบบคือ

1. สนามแม่เหล็กอยู่กับที่แต่อาเมเจอร์หมุน
2. อาเมเจอร์อยู่กับที่แต่สนามแม่เหล็กหมุน

พิจารณาโครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสอง แบบอาเมเจอร์หมุนจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กให้ค่าแรงดันต่ำประมาณ 115 - 250 V และกำลังต่ำขดลวดอาเมเจอร์จะพันอยู่ที่โรเตอร์ แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบที่สองจะมีข้อดีมากกว่าแบบแรกดังนี้

1 การใส่ฉนวนแก่ขดลวดอาเมเจอร์ทำได้ง่ายกว่าและไม่มีข้อยุ่งยากเกี่ยวกับแรงหนีศูนย์กลาง

2. สามารถกำเนิดแรงดันสูงๆได้ตั้งแต่ 12.3 - 33 kV

3. ในการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปใช้งานนั้น ความเร็วของตัวขับจะต้องคงที่เสมอเพราะต้องการความถี่ที่คงที่

3.2 ความเร็วและความถี่

กำหนดให้ P = จำนวนขดลวด

N = ความเร็วรอบของตัวขับ (rpm)

$f = P * N / 120$ H_z

3.3 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

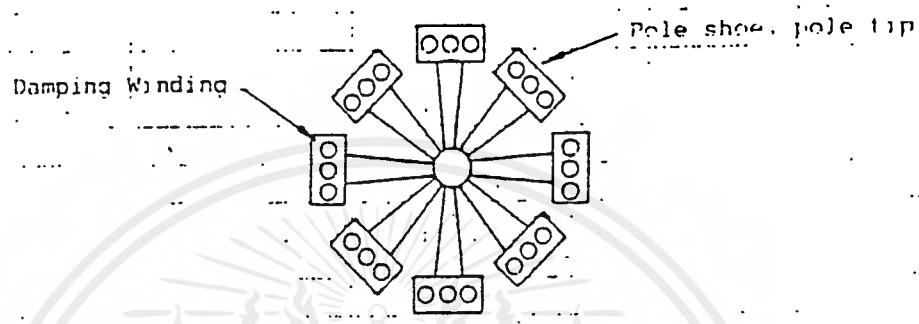
ถ้าแบ่งโรเตอร์ตามชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอาเมเจอร์อยู่กับที่จะแบ่งได้ 2 ชนิด

1. Salient - pole

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Smooth - cylindrical rotor

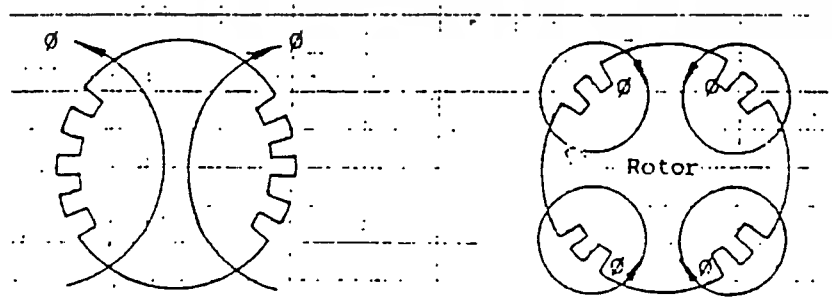
3.3.1 โรเตอร์แบบ Salient - pole



รูปที่ 3.1 แสดงภาพโรเตอร์แบบ Salient - pole

โรเตอร์ชนิดนี้ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกขับด้วยความเร็วรอบต่ำหรือปานกลางซึ่งมักมีจำนวนขั้วมาก

3.3.2 โรเตอร์แบบ Smooth - cylindrical



รูปที่ 3.2 แสดงภาพโรเตอร์แบบ Smooth - cylindrical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

มอเตอร์ชนิดนี้มีขั้วที่เรียบมีขดลวดสนามพันอยู่ที่สล็อตซึ่งเป็นร่องยาวไปตามแกน และขดลวดสนามที่พันอยู่รอบขั้วนี้จะทำให้เกิดความหนาแน่นของฟลักซ์สูงตรงกึ่งกลางของขั้วส่วนสล็อตต่างๆของขั้วจะน้อยลงตามส่วน โรเตอร์ชนิดนี้มักจะถูกออกแบบเป็น 2 ขั้วหรือ 4 ขั้วเท่านั้นการที่นิยมสร้างโรเตอร์เป็นแบบนี้เพราะว่าสมดุลย์ดีกว่า เครื่องเดินเรียบและมีขดลวดน้อย

3.4 สมการทางไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาลักษณะของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำเนิดออกมา

$$E = P * \Phi * N / 60 \qquad \text{volt}$$

เมื่อ E = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่คร่อมแปรงถ่าน

Φ = ฟลักซ์ต่อขั้ว

P = จำนวนขั้ว

N = ความเร็วรอบโรเตอร์

3.5 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในระบบทางสายส่งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องเดียวไม่สามารถจ่ายโหลดให้มีพิกัดเพียงพอได้จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขึ้นมาก ถ้าโหลดยิ่งเพิ่มขึ้นก็จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า shut down up ตัวเองลงทำให้เสถียรภาพเสียไป ดังนั้นจึงมีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า ซิงโครไนซิง (Synchronizing) มีผลดังนี้

1. เพิ่มพิกัดของระบบให้มีการแบ่งจ่ายกำลังแก่โหลด
2. ทำให้เสถียรภาพของระบบดีขึ้น
3. ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องใช้งานเต็มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาขนานจะต้องประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ระดับแรงดันต้องเท่ากัน
2. ความถี่ต้องเท่ากัน
3. การลำดับเฟสต้องตรงกัน

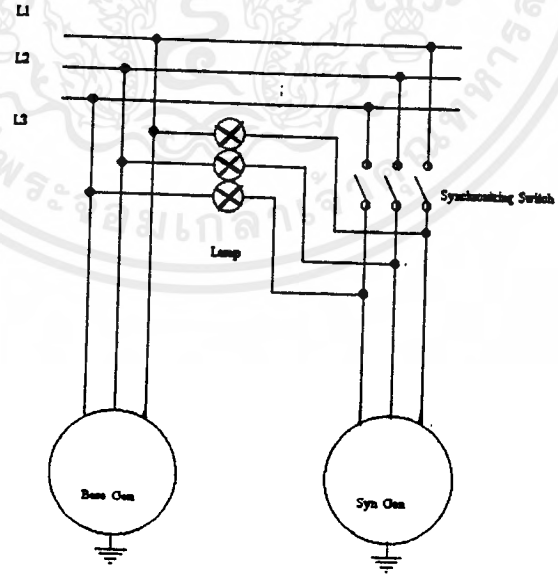
วิธีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

วิธีการที่จะทำการขนานมีหลายวิธีแต่ที่นิยมได้แก่

1. Three dark of Synchronizing
2. Three bright of Synchronizing
3. One dark two bright of Synchronizing

วิธีการเหล่านี้อาจใช้ร่วมกันทั้งหมดทุกวิธีก็ได้แต่จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

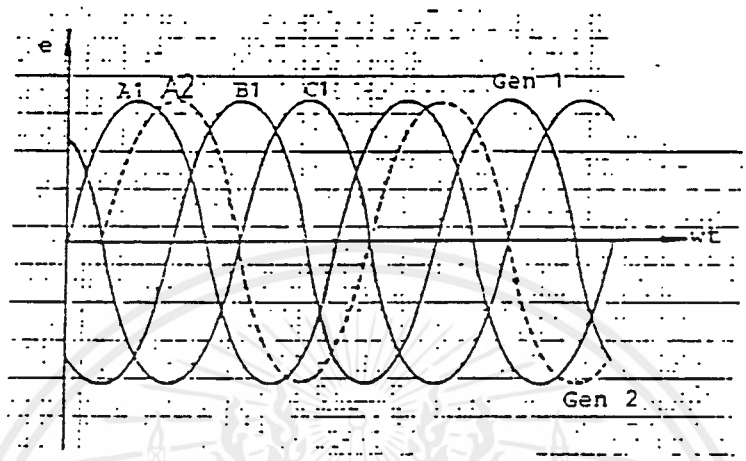
1. Three dark of Synchronizing ; Lamp test



รูปที่ 3.3 แสดงการต่อหลอดไฟแบบ Three dark

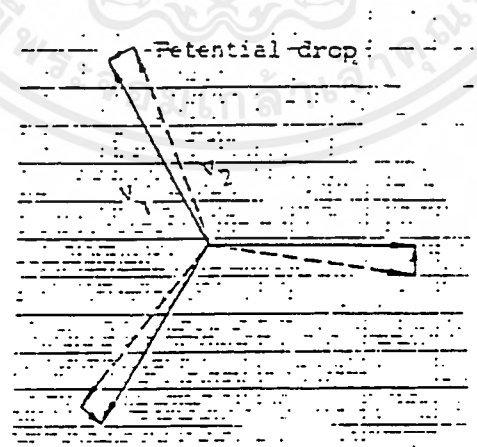
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปคลื่นของ BASE GEN



รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นของ BASE Gen

การเริ่มขนานให้ Gen2 ทำการขนานกับ Gen1 เราก็ปรับความเร็วของตัวขับของ Gen2 ให้มีการลำดับเฟสตรงกันหลอดไฟก็จะดับแต่ถ้ามีความต่างศักย์ก็จะทำให้หลอดสว่าง พิจารณาเวกเตอร์ของแต่ละเฟสสมมุติว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อแบบสตาร์



รูปที่ 3.5 แสดงเวกเตอร์ของแต่ละเฟสเมื่อต่อแบบสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขนานโดยวิธี Three dark มีวิธีการสังเกตที่จำเป็นดังนี้

1. ระดับแรงดันที่ขั้วต้องเท่ากัน เราสามารถสังเกตุได้จากหลอดไฟ ถ้าความต่างศักย์ของระบบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างกันจะทำให้เกิดกระแสไหลในสาย ทำให้หลอดไฟติดแต่ถ้าความต่างศักย์ของระบบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากันจะไม่เกิดกระแสไหลในสาย ทำให้หลอดไฟดับ

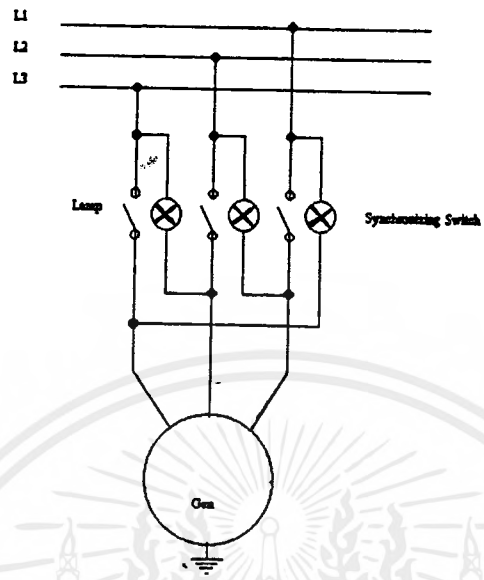
2. ความถี่ต้องเท่ากัน เราสามารถสังเกตุได้จากหลอดไฟทั้งสามดวง ถ้าความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงหลอดไฟก็จะติดและดับสลับกันไปโดยมีทิศทางไปทางขวา แต่ถ้าความถี่ต่ำกว่าระบบหลอดไฟก็จะติดและดับสลับกันไปโดยมีทิศทางไปทางซ้าย และถ้าหลอดไฟหมุนซ้ายหรือหมุนขวาแต่ช้ามากหรือเกือบดับความถี่ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าประมาณ 49 หรือ 51 Hz

3. การลำดับเฟสต้องเหมือนกัน เราสามารถสังเกตุได้จากหลอดไฟทั้งสามดวง โดยแรงดันและความถี่เท่ากับระบบแล้วหลอดไฟสว่าง 1 ดวงและดับ 2 ดวงแสดงว่าการลำดับเฟสไม่ตรงกัน เราสามารถแก้โดยการสลับสายเฟสคู่ใดคู่หนึ่งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วสังเกตุดูว่าหลอดไฟทั้งสามหลอดสว่างและดับพร้อมกันแสดงว่าการลำดับเฟสตรงกัน

ข้อสังเกตุ ในการขนานนั้นถ้าแรงดันเท่ากัน ความถี่เท่ากัน แต่ถ้าการลำดับเฟสไม่เหมือนกันก็ไม่สามารถทำการขนานเข้าไปในระบบได้ และถ้าการลำดับเฟสตรงกันแต่แรงดันหรือความถี่ต่างกันเล็กน้อยเราสามารถทำการขนานเข้าไปในระบบได้

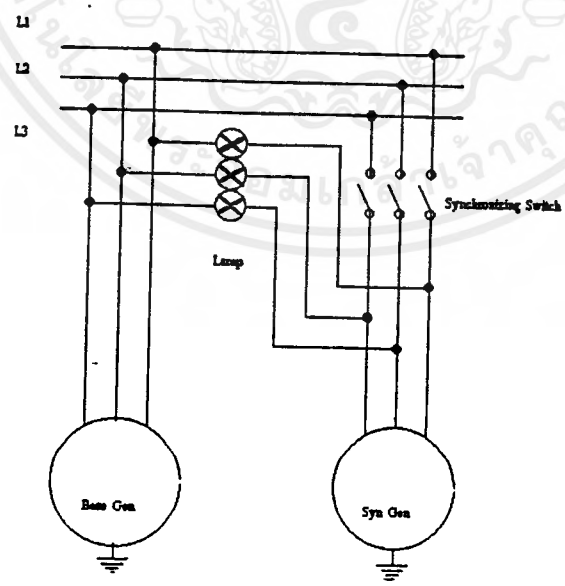
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Three bright of Synchronizing



รูปที่ 3.6 แสดงการต่อหลอดไฟแบบ Three bright

3. One dark two bright of Synchronizing (Two bright one dark)



รูปที่ 3.7 แสดงการต่อหลอดไฟแบบ One dark two bright

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การตรวจจับสัญญาณ
Detector

การตรวจจับสัญญาณเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้การขนานเข้าสู่ระบบมีส่วนสำเร็จได้ คือว่าเป็นส่วนเชื่อมโยงระหว่างระบบไมโครโปรเซสเซอร์กับเครื่องจักรไฟฟ้า อันได้แก่ มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในด้านข้อมูลคือระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะทำงานได้ถูกต้องและแม่นยำเพียงใดขึ้นอยู่กับส่วนนี้มากทีเดียว สัญญาณที่ตรวจจับมาใช้ในการประมวลผลของระบบไมโครโปรเซสเซอร์นั้นได้แก่

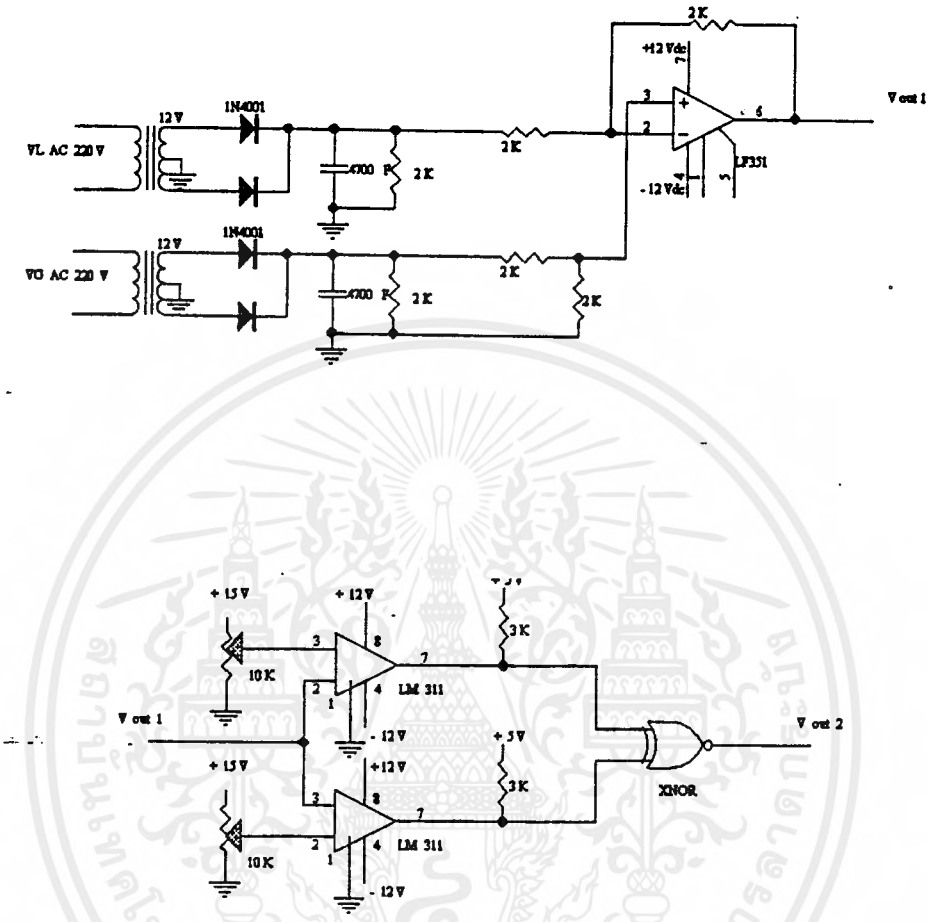
1. วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage comparator)
2. วงจรตรวจจับสัญญาณความถี่ (Frequency detector)
3. วงจรตรวจสอบการลำดับเฟส (Phase sequence checking)
4. วงจรเปรียบเทียบความต่างเฟส (Phase shift detector)

โดยแต่ละวงจรมีหลักการและวงจรดังต่อไปนี้

4.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

วงจรเปรียบเทียบแรงดันใช้หลักการคือ การแปลงระดับแรงดัน จาก 220 V_{AC} ให้เหลือ 12 V_{AC} (ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันของทุกวงจรที่ตรวจจับสัญญาณหรือทดสอบสัญญาณ) จากนั้นนำมาแปลงให้เป็นแรงดันกระแสตรง และทำให้สัญญาณเรียบขึ้นโดยใช้วงจรกรองสัญญาณ โดยทั้งทางด้านระบบไฟฟ้ากำลังและระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำในลักษณะเช่นเดียวกัน เมื่อได้รับแรงดันกระแสตรงที่สัญญาณเรียบแล้วก็นำเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบแรงดัน เข้าสู่วงจรเปรียบเทียบเป็นช่วง คือถ้าสัญญาณที่เปรียบเทียบอยู่ในช่วงนี้ก็จะถือว่าเป็นผลต่างที่ยอมรับได้ จากนั้นก็นำเข้าสู่ส่วนอินพุทของระบบไมโครโปรเซสเซอร์ โดยรายละเอียดของวงจรมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

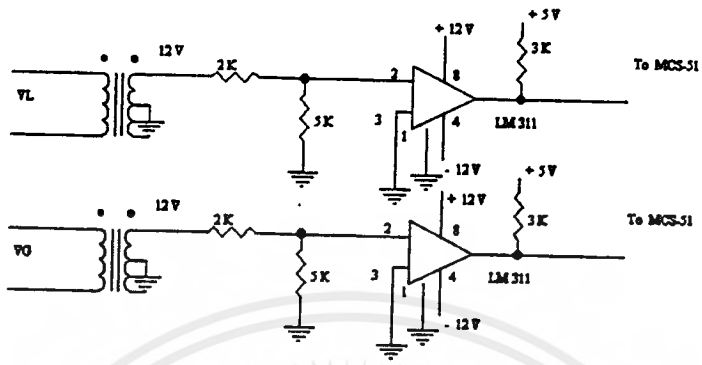


รูปที่ 4.1 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

4.2 วงจรตรวจจับสัญญาณความถี่

การตรวจจับสัญญาณก็ทำในลักษณะเดียวกับวงจรเปรียบเทียบแรงดัน คือแปลงระดับแรงดันลงมาต่อจากนั้นก็นำสัญญาณที่ได้คือ สัญญาณรูปซายน์ไปแปลงให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 เฮิร์ท เพราะการทำงานของโปรแกรมจะเป็นการจับเวลาว่าใน 1 คาบใช้เวลาเท่าไหร่ จากนั้นก็นำเวลาที่ได้จากการจับเวลาของระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกันเพื่อนำไปประมวลผล

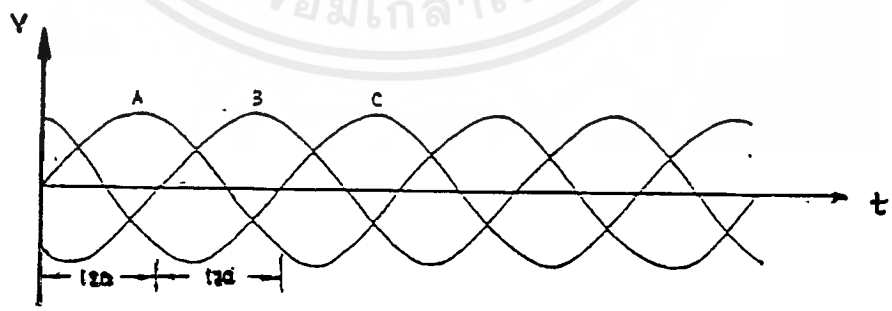
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรตรวจจับสัญญาณความถี่

4.3 วงจรตรวจสอบการลำดับเฟส

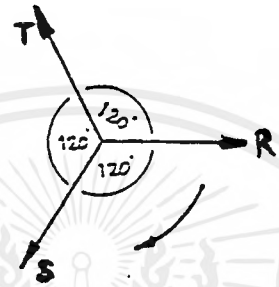
การตรวจสอบลำดับเฟสที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นหลักการง่ายๆ ซึ่งก่อนที่จะอธิบายรายละเอียดของการตรวจสอบจะอธิบายการลำดับเฟสเสียก่อน



รูปที่ 4.3 แสดงการต่างเฟสของระบบไฟฟ้า

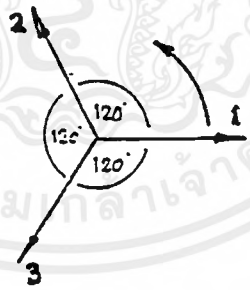
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่าแต่ละเฟสจะต่างมุมกัน 120 องศาเสมอ เนื่องจากในการเชื่อมต่อกันระหว่างระบบไฟฟ้ากำลังกับระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นการเชื่อมต่อแบบสุ่ม คือไม่ทราบสายใดคือเฟส A , B และ C ดังนั้นก่อนการขนานควรมีการตรวจสอบการลำดับเฟสก่อนเสมอ การลำดับเฟสของระบบอาจเป็นดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการลำดับเฟสของระบบไฟฟ้า

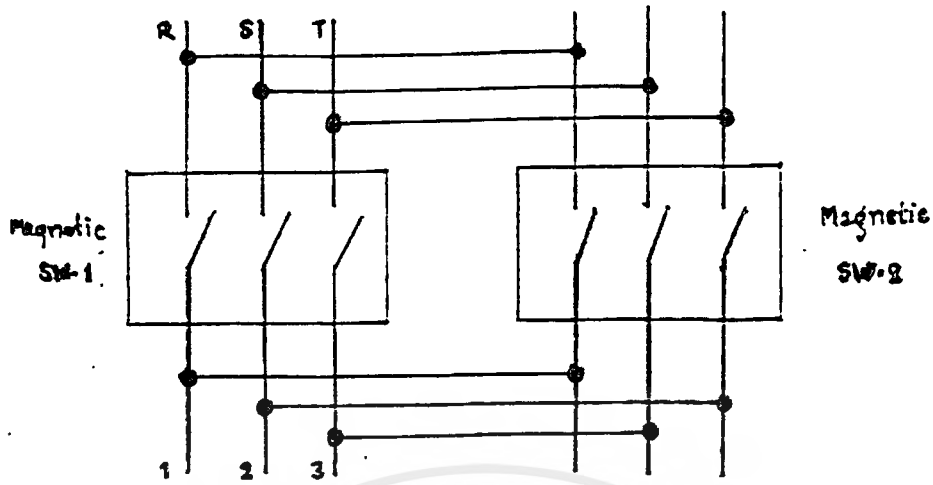
นั่นคือ การลำดับเฟสเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าการลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

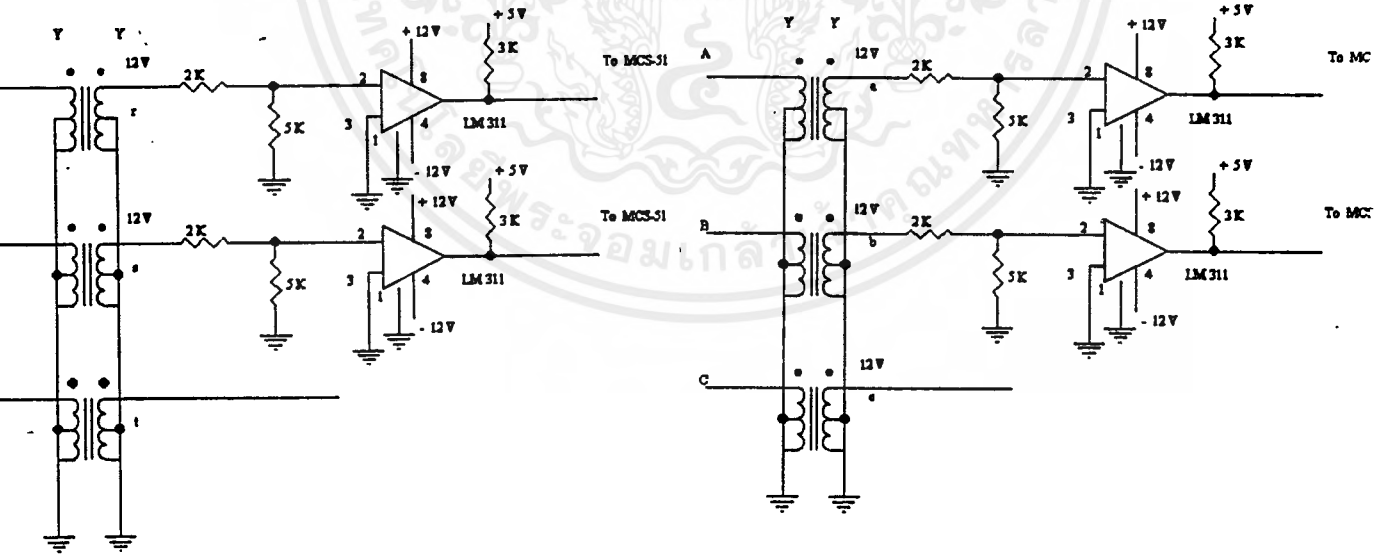
นั่นคือ การลำดับเฟสเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งสรุปได้ว่าการลำดับเฟสของทั้งสองระบบตรงข้ามกันหรือต่างกัน ดังนั้น ในการขนานควรมีการเปลี่ยนหรือสลับคู่สายให้ได้การลำดับเฟสตรงกันก่อน ซึ่งโครงงานนี้ใช้หลักการดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการใช้แมกเนติคในการตัดต่อสวิทช์

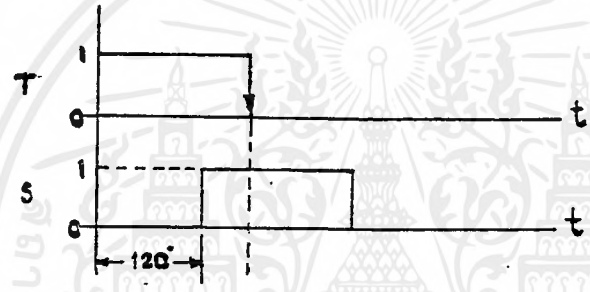
จากรูปจะเห็นว่าใช้แมกเนติค สวิทช์ (Magnetic SW) 2 ชุด โดยจะสังเกตุเห็นว่ามีการสลับคู่สายอยู่คือ สาย 2 และ สาย 3 เพื่อเป็นการปรับการจัดลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีที่การลำดับเฟสต่างจากระบบ



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรตรวจสอบการลำดับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

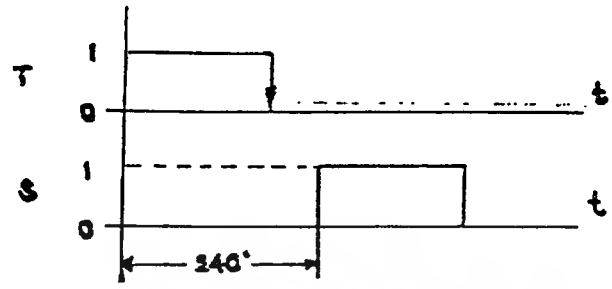
จากรูปจะเห็นว่าทั้งสองระบบจะทำการแปลงระดับแรงดันลงมาทั้ง 3 เฟส ผ่านหม้อแปลงโดยต่อแบบสตาร์ - สตาร์ (Y - Y) ต่อจากนั้นนำเฟสหลัก (ถ้าเป็นระบบคือเฟส r ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือเฟส a) และเฟสรอง (ถ้าเป็นระบบคือเฟส s ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือเฟส b) ที่มีสัญญาณรูปคลื่นซายน์ไปแปลงเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม แล้วนำเข้าอินพุทให้พอร์ทอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการตรวจสอบการลำดับเฟส โดยหลักการของโปรแกรมระบบง่ายๆมีดังนี้คือ จะรับอินพุทส่วนของระบบเข้ามาก่อนโดยการตรวจสอบที่เฟส r ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงการตรวจขอบขาลงของเฟส R เมื่อการลำดับเฟสเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา

โดยจะตรวจสอบจนพบขอบขาลงของเฟส r ก็จะทำการตรวจสอบเฟส s ถ้าพบค่าระดับสูง (high level) แสดงว่าการลำดับเฟสเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา ก็จะเก็บข้อมูลนี้ไว้ จากนั้นก็ทำการตรวจสอบการลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเริ่มที่เฟส a โดยจะตรวจสอบจนพบขอบขาลงของเฟส a ก็จะทำการตรวจสอบเฟส b ถ้ามีค่าเป็น 1 แสดงว่าการลำดับเฟสเป็นแบบตามเข็มนาฬิกาเช่นเดียวกับระบบ ในการขนานก็จะ close SW - 1 แต่ถ้าขณะขอบขาลงของเฟส a เฟส b มีค่าเป็น 0 แสดงว่าการลำดับเฟสเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา ตรงข้ามกับของระบบ ในการขนานก็จะ close SW - 2 ทำนองเดียวกันถ้าการจัดลำดับเฟสของระบบเป็นดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9แสดงการตรวจขอบขาลงของเฟส R เมื่อการลำดับเฟสเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา

นั่นคือ ขณะขอบขาลงของเฟส r จะพบว่าเฟส s เป็น 0 แสดงว่าการลำดับเฟสเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา โปรแกรมก็จะเก็บข้อมูลไว้ แล้วไปทำการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถ้าขอบขาลงของเฟส a เฟส b มีค่าเป็น 1 ก็แสดงว่าการลำดับเฟสเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา ซึ่งต่างจากระบบ ในการขนานก็จะ close SW - 2 แต่ถ้าขณะขอบขาลงของเฟส a เฟส b มีค่าเป็น 0 ก็แสดงว่าการลำดับเฟสเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา เช่นเดียวกับระบบ ในการขนานก็จะ close SW - 1

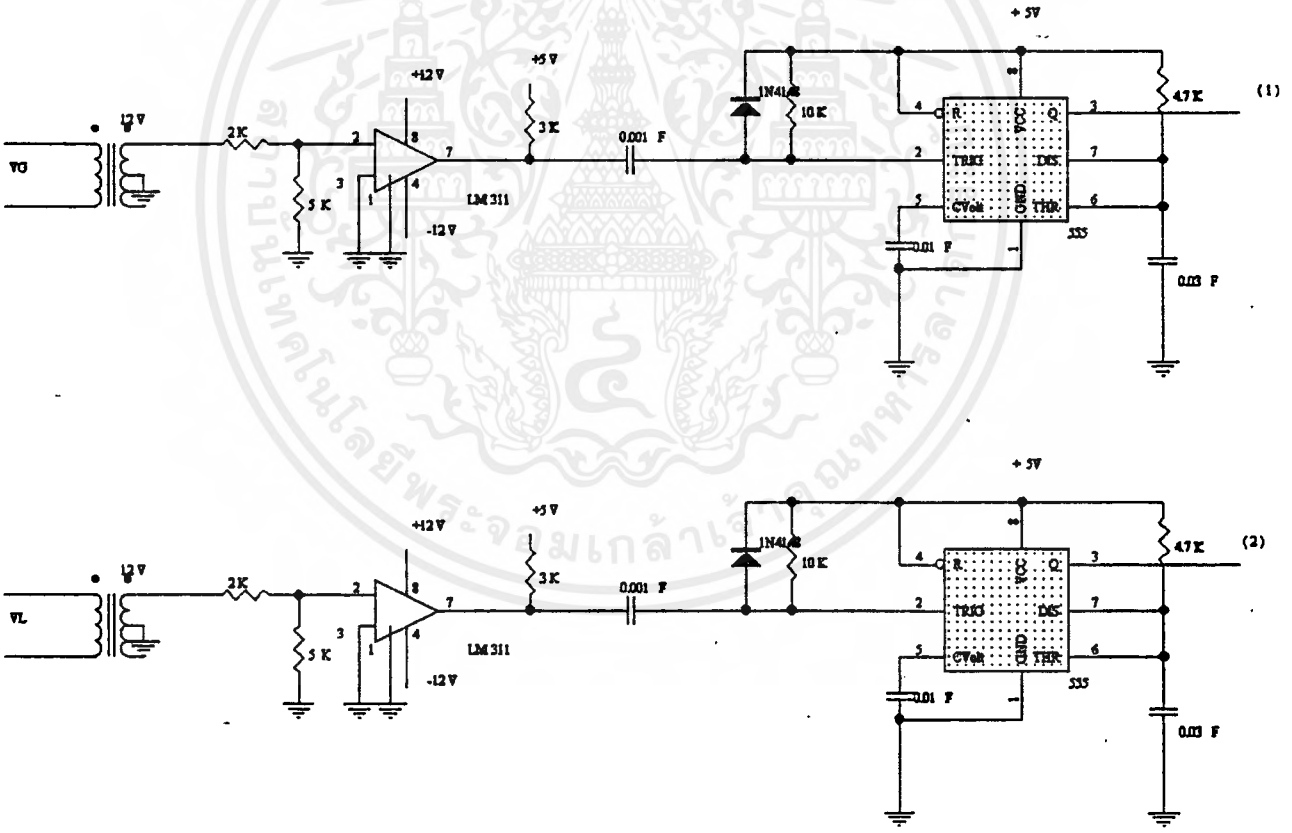
สรุป การตรวจสอบการลำดับเฟสทำเพื่อใช้ในการเลือกสวิทช์ในการขนาน โดยถ้าการลำดับเฟสเหมือนกันก็จะ close SW - 1 แต่ถ้าการลำดับเฟสต่างกันก็จะ close SW - 2

4.4 วงจรเปรียบเทียบความต่างเฟส

การเปรียบเทียบความต่างเฟสเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนการขนาน โดยผ่านขบวนการในการเปรียบเทียบ แรงดัน , ความถี่ และการลำดับเฟส ซึ่งโปรแกรมจะรอสัญญาณจากการตรวจจับว่า ขณะนี้ความต่างเฟสเป็น 0 หรือยัง ถ้าเป็น 0 ก็จะสั่งทำการ close SW - 1 หรือ close SW - 2 ก็ได้ ขึ้นอยู่กับการลำดับเฟสของทั้ง 2 ระบบดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งการเปรียบเทียบความต่างเฟสอาศัยหลักการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบความต่างเฟสอาศัยการนำสัญญาณ 2 สัญญาณ ได้แก่สัญญาณจากระบบ และสัญญาณจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นคลื่นรูปซายน์ นำมาแปลงเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (เช่นเดียวกับสัญญาณที่ใช้ในวงจรเปรียบเทียบความถี่ และวงจรตรวจสอบการลำดับเฟส) จากนั้นนำขอบขาลงของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ได้ ไปทริกวงจรสร้างพัลส์สั้นๆ (Monostable multivibrator) โดยวงจรที่ใช้อยู่คือใช้ ไอซี 555 เป็นตัวสร้างพัลส์สั้นๆนี้ และเป็นตัวกำหนดค่าความต่างเฟสที่ยอมได้ในการขนาน สำหรับโครงงานนี้ใช้ความกว้างพัลส์ประมาณ 1 % ของ 50 Hz คือ 1 % ของ 20 msec ก็ประมาณ 0.2 msec ซึ่งทั้งระบบ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะได้พัลส์สั้นๆนี้ขณะขอบขาลงทุกๆไซเคิล โดยนำเอาท์พุทที่ออกจากวงจรสร้างพัลส์ของทั้ง 2 ระบบมา AND กัน แล้วนำสัญญาณที่ได้เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งสัญญาณขนานเข้าสู่ระบบ



รูปที่ 4.10 แสดงวงจรเปรียบเทียบความต่างเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคลาดเคลื่อน

ความถี่ : จากการทดลองทำการขนานโดยการใช้มือปรับ จะพบว่าถ้าให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ต่างจากความเร็วซิงโครนัส คือ 1500 rpm มากกว่า ± 5 รอบ ในการขนานนั้นจะทำได้ยาก

ดังนั้นจากเงื่อนไขดังกล่าว จึงออกแบบโปรแกรมให้ยอมรับผลต่างของความเร็วรอบ ดังกล่าวได้ไม่เกิน ± 5 รอบ ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

% ผลต่างที่ยอมรับได้ = 100 - [(1495 / 1500) * 100] หรือ

100 - [(1495 / 1500) * 100]

= ± 0.33 %

แรงดัน : จากการทดลองเดียวกันกับความถี่ จะเห็นว่าระดับแรงดันมีช่วงกว้างในการขนาน หมายถึงระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบ สามารถมีผลต่างกันช่วงกว้างได้ คือต่ำสุด 210 V และสูงสุด 230 V หรืออาจพูดได้ว่าผลต่างที่ยอมรับได้ประมาณ ± 10 V

ความต่างเฟส : เป็นส่วนสุดท้ายของการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นความผิดพลาดที่ยอมรับได้ในส่วนนี้ย่อมสูงพอๆกับทั้ง 2 ส่วนที่กล่าวมา จากหลักการทำงานของวงจรตรวจจับสัญญาณ ความต่างเฟสที่กล่าวจะอาศัยพัลส์ขนาดสั้นๆเป็นตัวกำหนดค่าที่ยอมได้ ซึ่งความกว้างของพัลส์นี้คำนวณได้จาก

$$T = 1.11 * R * C$$

จากวงจรได้ค่า R = 4.7 กิโลโอห์ม

C = 0.039 ไมโครฟารัด

คิดเป็นแปอร์เซนต์เทียบกับคาบของความถี่จะได้เป็น

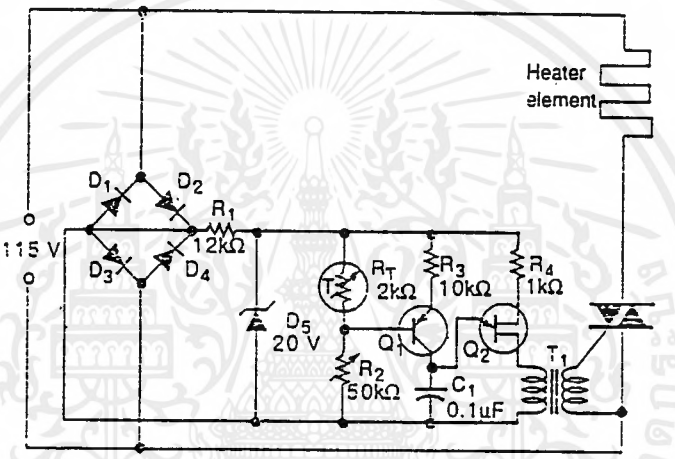
% ของ T ใน 50 Hz หรือ 20 msec = (0.2 * 100) / 20 ประมาณ 1 %

สำหรับโครงงานนี้ค่าความต่างเฟสยอมได้ไม่เกิน ± 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วงจรจุดชนวน SCR และวงจร D/A
Trigger Pulse And D/A Unit

วงจรจุดชนวนไทริสเตอร์นั้น สามารถสร้างได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายรูปแบบ วงจรพื้นฐานอาจใช้ PUT หรือ UJT เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกตของไทริสเตอร์ เช่น SCR หรือไทรแอกดังแสดงในรูปที่ 5.1

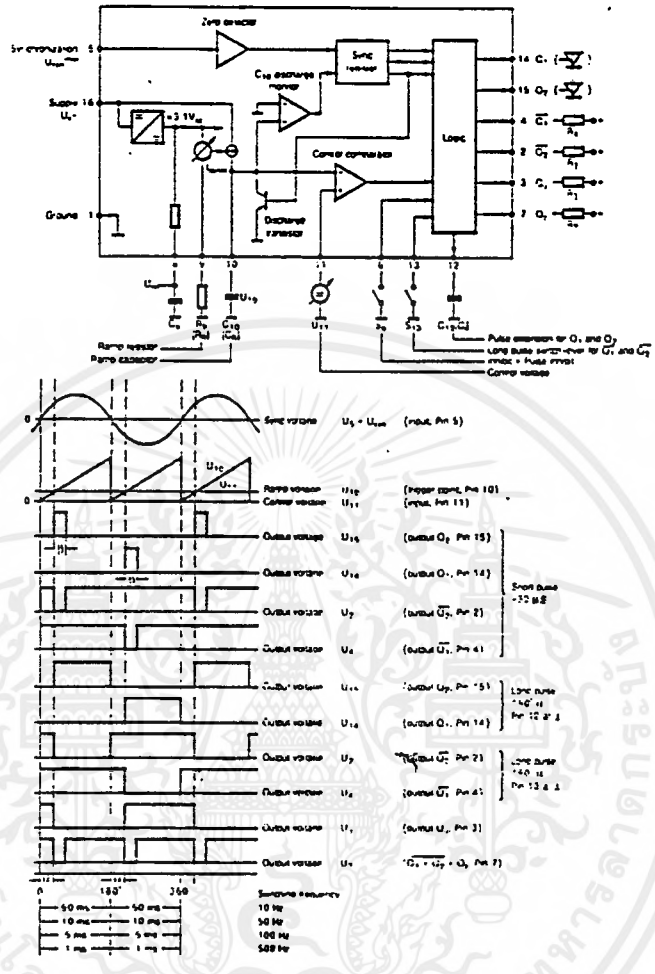


รูปที่ 5.1 แสดงวงจรจุดชนวนไทริสเตอร์ที่ใช้ UJT ที่ใช้ควบคุมไทรแอก

แต่วงจรจุดชนวนเบื้องต้นดังรูปที่ 5.1 นั้นยังมีประสิทธิภาพไม่ดีนักเนื่องจากสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกตของไทริสเตอร์ไม่สามารถควบคุมได้ตั้งแต่มุม 0 ถึง 180 องศา

สำหรับวงจรรวมที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ วงจรรวมเบอร์ TCA 785 ที่ผลิตโดยบริษัทซีเมนต์ของประเทศเยอรมันเนื่องจากว่าต่อใช้งานง่าย สามารถต่อแรงดัน 220 V ป้อนเข้าไอซีได้โดยตรง (มีตัวต้านทานแบ่งแรงดันช่วยทางอินพุท) และใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และไดโอด เพียงเล็กน้อยก็สามารถนำไปใช้เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกตของไทริสเตอร์ได้เป็นอย่างดีและสามารถออกแบบวงจรเลื่อนเฟส เพื่อให้สามารถผลิตพัลส์ที่สามารถควบคุมมุมนำกระแสของไทริสเตอร์ได้ตั้งแต่ 0 - 180 อีกด้วย ลักษณะของไอซี TCA 785 และรูปคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆของไอซีแสดงในรูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



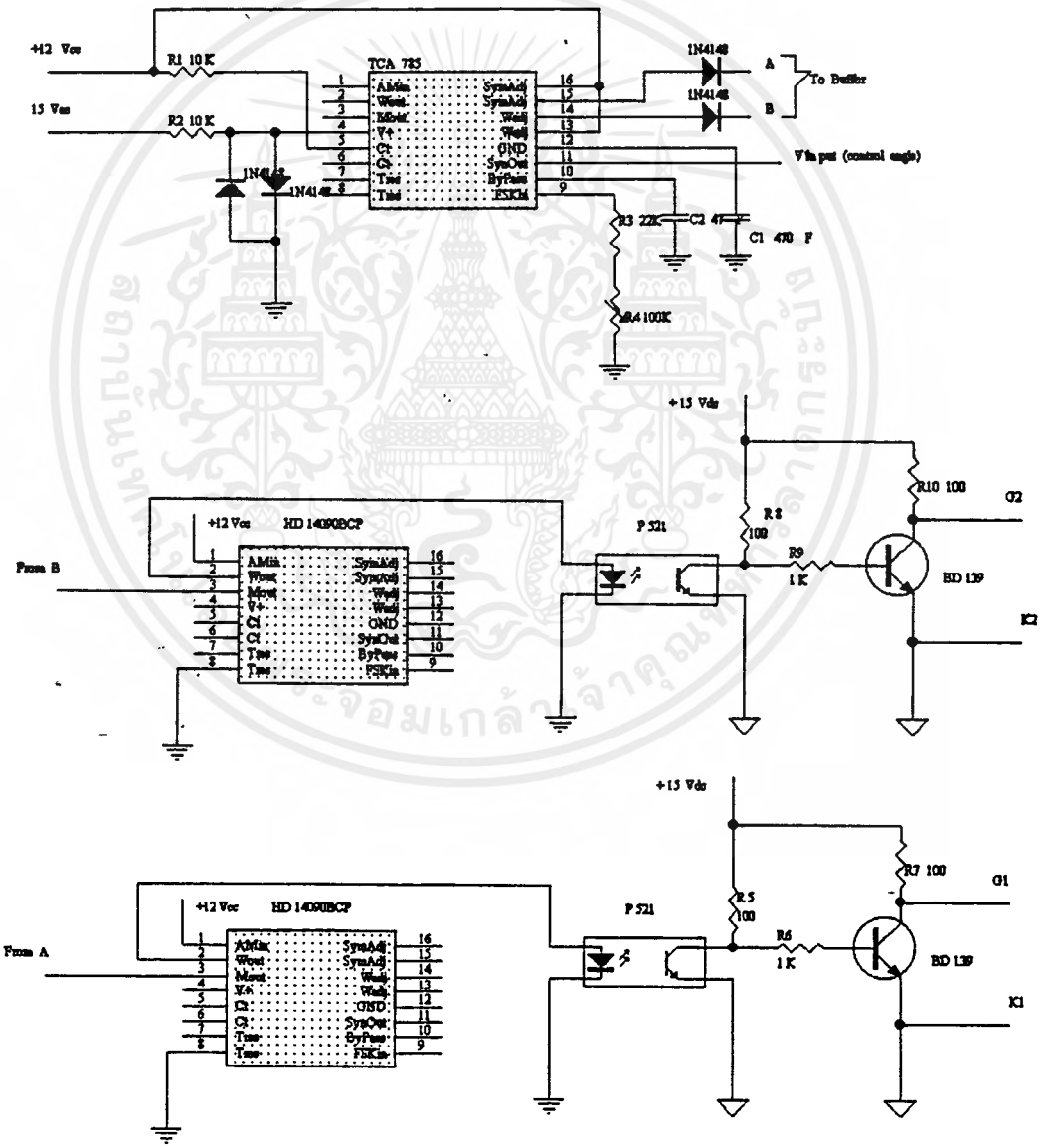
รูปที่ 5.2 แสดงวงจรเบอร์ TCA785 และสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจร

5.1 หลักการทำงานของวงจรจุชนวน SCR

สำหรับการควบคุมให้ SCR นำกระแสที่มุมต่างๆในโครงงานนี้ใช้ไอซีเบอร์ TCA 785 ของบริษัทซีเมนต์ ประเทศเยอรมัน การทำงานของวงจรเริ่มจากนำสัญญาณซิงค์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่เดียวกันกับแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับ SCR นำมาลดแรงดันให้เหลือประมาณ 15 โวล์ทและ R1 ทำหน้าที่จำกัดกระแสให้พอเหมาะก่อนนำเข้าขา 5 ของ TCA 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะผ่านวงจรตรวจจับแรงดันผ่านศูนย์ (Zero Voltage Detector) ภายในตัวไอซีไปยังส่วนของวงจรซิงโครไนซ์รีจิสเตอร์ ซึ่งควบคุมสัญญาณแรมป์ที่เกิดจากการเก็บประจุของคาปาซิเตอร์ที่ขา 10 ด้วยกระแสที่คงที่ ซึ่งความชันของสัญญาณแรมป์ที่เกิดขึ้นจะถูกควบคุมด้วยค่า R ที่ขา 9 ของไอซี และสัญญาณมุมทริกที่เกิดขึ้นก็คือก็คือ จากการตัดผ่านของสัญญาณควบคุมจากขา 11 กับสัญญาณแรมป์นั่นเอง โดยตัวควบคุมการเปรียบเทียบจะผลิตสัญญาณเชิงตรรกไปยังวงจรลอจิกต่อไป ซึ่งสัญญาณลอจิกนี้สามารถควบคุมให้เลื่อนไปมาจาก 0-180 องศาในทุกๆครึ่งไซเคิล พัลส์จากขา 14 และขา 15 นี้มีความกว้างประมาณ 0.4 msec และสามารถขยายความกว้างได้ถึง 180 องศาโดยการปรับค่าคาปาซิเตอร์ที่ขา 12



รูปที่ 5.3 แสดงการต่อใช้งานไอซี TCA 785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ออกจาก TCA 785 (ขา 14 และขา 15) ไปผ่านไอซีเบอร์ MC14050 BCP ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เพื่อกันไม่ให้สัญญาณ Loading และนำสัญญาณที่ออกจากบัฟเฟอร์ไปผ่านไอซีเบอร์ P521 ซึ่งทำหน้าที่เป็นแยกกราวด์ระหว่างส่วนควบคุมกับส่วนกำลัง และนำสัญญาณจากไอซีตัวนี้ไปขยายกระแสเพื่อให้มีค่ามากพอที่จะทริก SCRให้นำกระแสได้

5.2 วงจรคอนเวอเตอร์ 1 เฟสควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

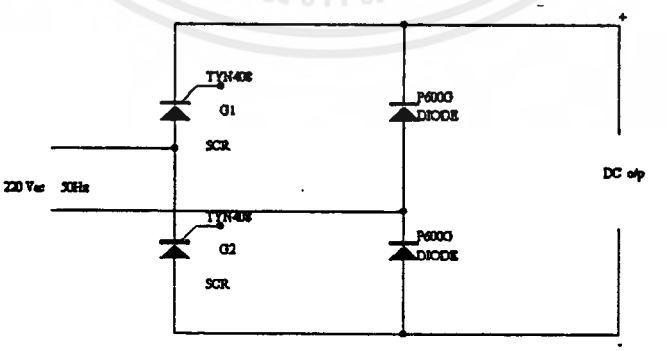
การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีวิธีการดังนี้

1. ปรับกระแสวงจรสนามแม่เหล็ก
2. ปรับแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์เมเจอร์
3. ปรับกระแสวงจรสนามแม่เหล็กและปรับแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์เมเจอร์ร่วมกัน

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง SCR จะอาศัยวิธีการปรับแรงดันที่คร่อมอาร์เมเจอร์ ซึ่งเป็นตัวอย่างการนำเอาอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้งานที่เราเรียกว่า คอนเวอเตอร์ วงจร SCR ที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่นิยมใช้ได้แก่

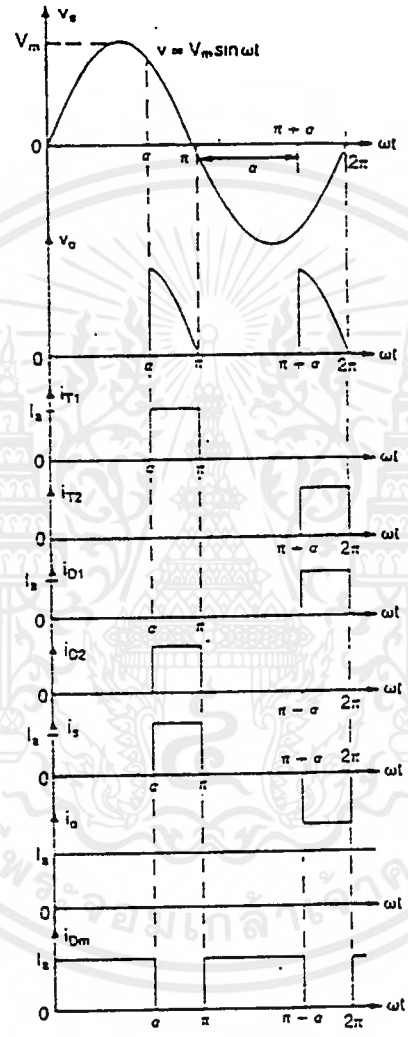
1. Single phase full wave half control bridge
2. Single phase full wave fully control bridge
3. Three phase full wave fully control bridge

สำหรับวงจรที่ใช้ในโครงงานนี้ได้แก่ Single phase full wave half control bridge ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงวงจร Single phase full wave half control bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 **แสดงรูปคลื่นของวงจร** Single phase full wave half control bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.5 Vo/p มีค่าเท่ากับ

$$Vo/p = 1/\pi \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2}^{*} V^{*}\text{Sin}\,\theta)d\theta$$

$$= \sqrt{2}^{*}V/\pi\,[-\text{Cos}\,\theta]\Big|_{\alpha}^{\pi}$$

$$= 0.9^{*}V^{*}\,[(1+\text{Cos}\,\alpha)/2]$$

ดังนั้นวงจร Single phase full wave half control bridge **แรงดันในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีค่าเท่ากับ** $0.9^{*}V^{*}\,[(1+\text{Cos}\,\alpha)/2]$

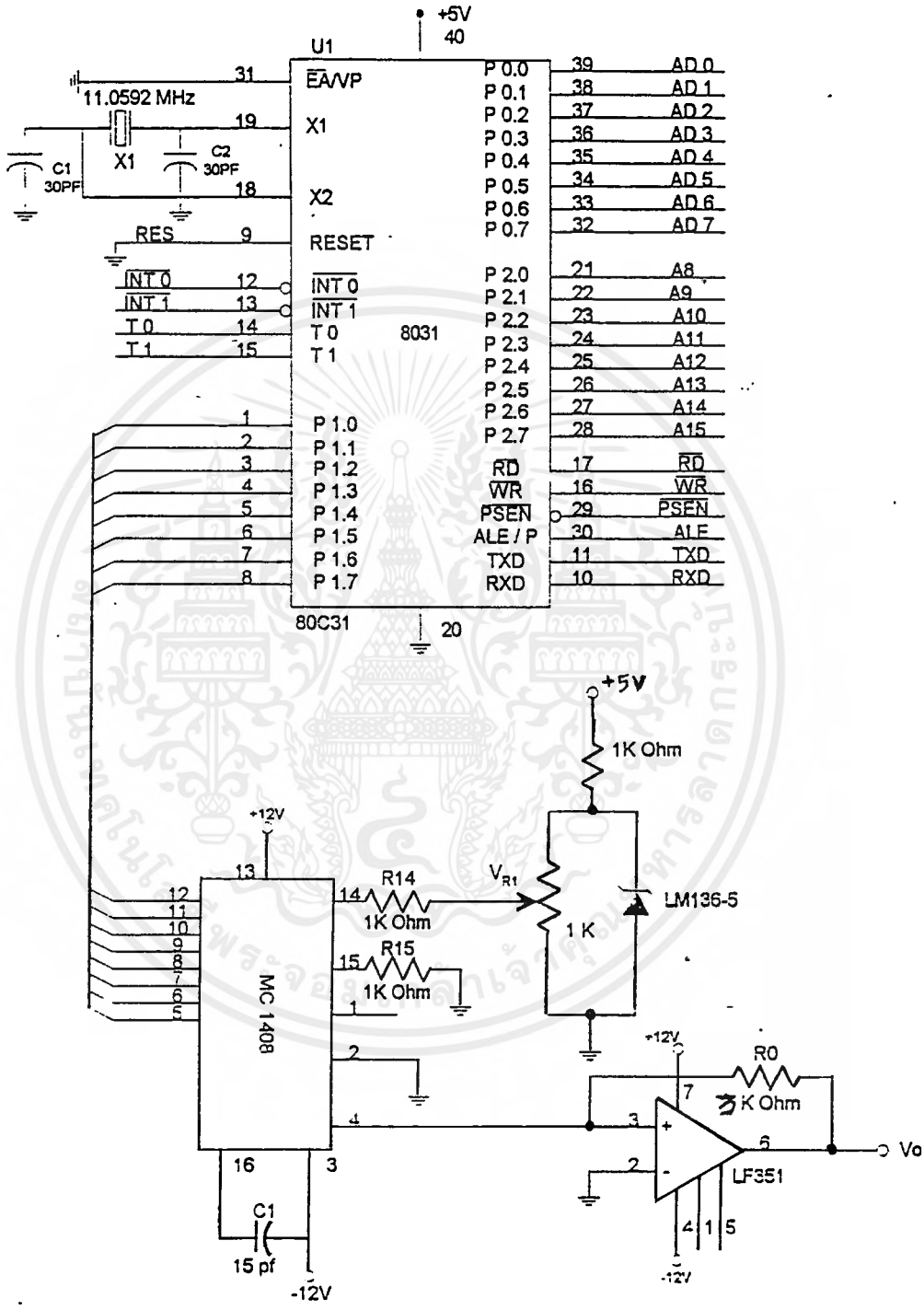
เมื่อ V = แรงดันอินพุท rms ไฟฟ้ากระแสสลับ

α = มุมที่จุดชนวน SCR

5.3 วงจร D/A

สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นสัญญาณดิจิตอล 8 บิตดังนั้นก่อนที่จะนำสัญญาณนี้ไปควบคุมวงจรจุดชนวน SCR จะต้องทำการแปลงให้เป็นสัญญาณอนาลอกก่อน ดังนั้นวงจรจุดชนวน SCR จะทำงานได้เที่ยงตรงเพียงใดจึงขึ้นอยู่กับวงจร D/A นี้ด้วย สำหรับวงจรที่ใช้ในโครงงานนี้แสดงดังรูปที่ 5.6 เอาท์พุทจากขา 4 ของไอซีเบอร์ MC 1408 เป็นกระแสดังนั้นจะต้องแปลงกระแสเป็นแรงดันโดยผ่านไอซีเบอร์ LF 351 ดังแสดงในรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงการต่อใช้งานไอซีเบอร์ MC 1408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.6 สามารถคำนวณหาค่า VO ได้จาก

VO = (Vr*R0) / R1 [(V7/2)+(V6/4)+(V5/8)+(V4/16)+(V3/32)+(V2/64)+(V1/128)+(V0/256)]

เช่นถ้าทุกบิตเป็นศูนย์หมดจะได้

VO = (Vr*R0) / R1 [(0/2)+(0/4)+(0/8)+(0/16)+(0/32)+(0/64)+(0/128)+(0/256)]
= 0

และถ้าทุกบิตเป็นหนึ่งหมดจะได้

VO = (Vr*R0) / R1 [(1/2)+(1/4)+(1/8)+(1/16)+(1/32)+(1/64)+(1/128)+(1/256)]
= (Vr*R0) / R1* 255/256

5.4 วงจรควบคุมการทำงานของแมกเนติก

อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ในโครงงานนี้ใช้รีลย์ควบคุมการทำงาน หลักการก็คือขณะที่ยังไม่มีสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์มา Bias Transistor วงจรรีเลย์ก็ยังไม่ทำงาน รีเลย์อยู่ในตำแหน่งปกติปิด (NO) แมกเนติกก็ยังไม่ทำงาน

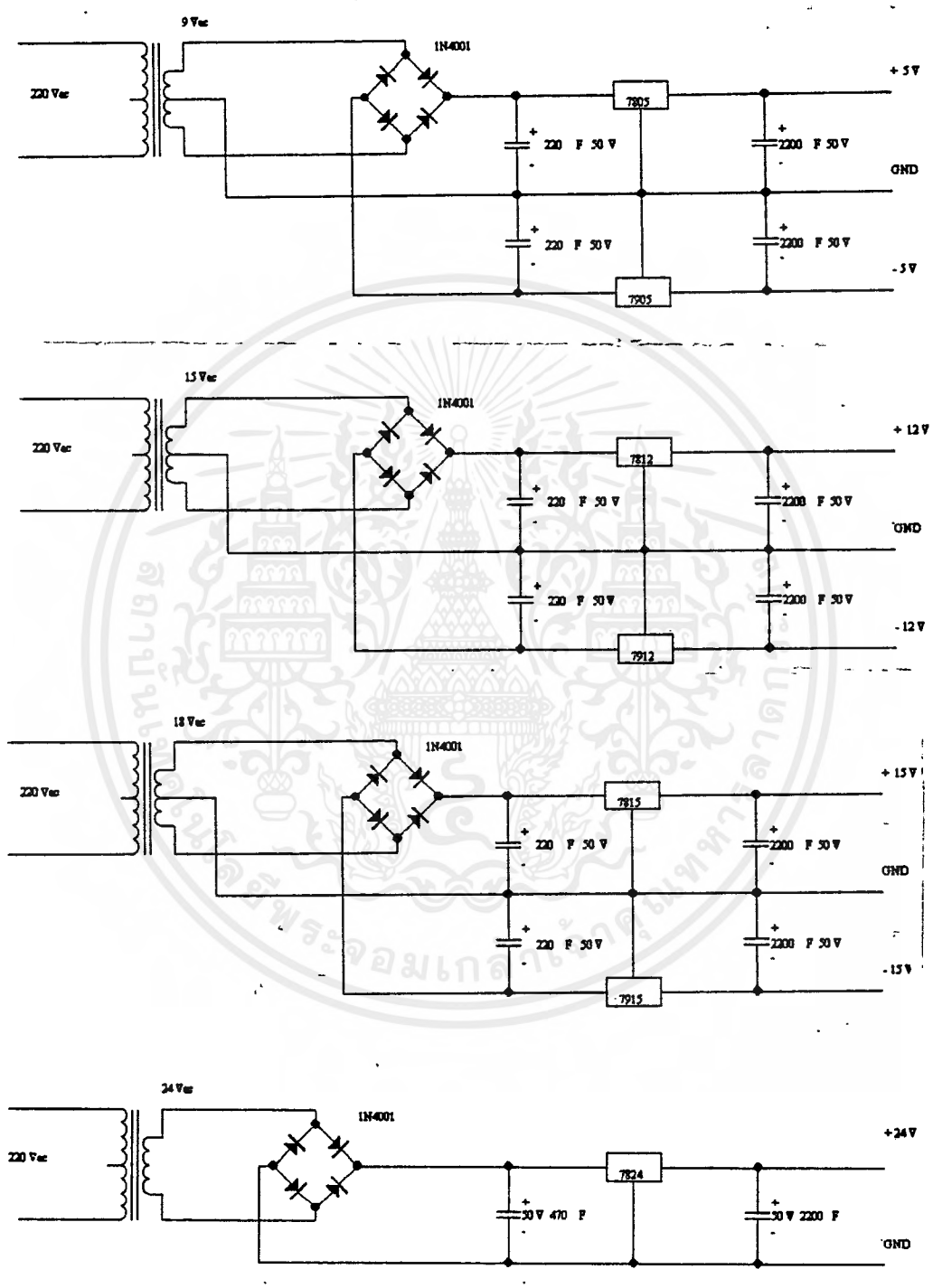
และเมื่อมีสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์มา Bias Transistor ทำให้ Transistor ทำงานมีกระแสไหลผ่าน Coil ของรีเลย์ หน้าสัมผัสของรีเลย์จะปิดวงจรทำให้แมกเนติกทำงาน และทำการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบในที่สุด และแมกเนติกตัวใดจะทำงานนั้นขึ้นอยู่กับว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณมาให้ Transistor ตัวใดทำงาน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับว่าการลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเหมือนหรือต่างจากของระบบ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว

5.5 ระบบ Power Supply ที่ใช้ในโครงงาน

เนื่องจากในโครงงานเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เกือบทั้งหมดซึ่งจะทำให้อุปกรณ์จำพวกความต้านทาน , คาปาซิเตอร์ , ไอซี รวมทั้งรีลย์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดจะต้องใช้ไฟเลี้ยงที่เป็นแหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จึงได้สร้างชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นมาได้แก่ ±5 V , ±12 V , ±15 V และ +24 V ดังแสดงในรูปที่ 5.7

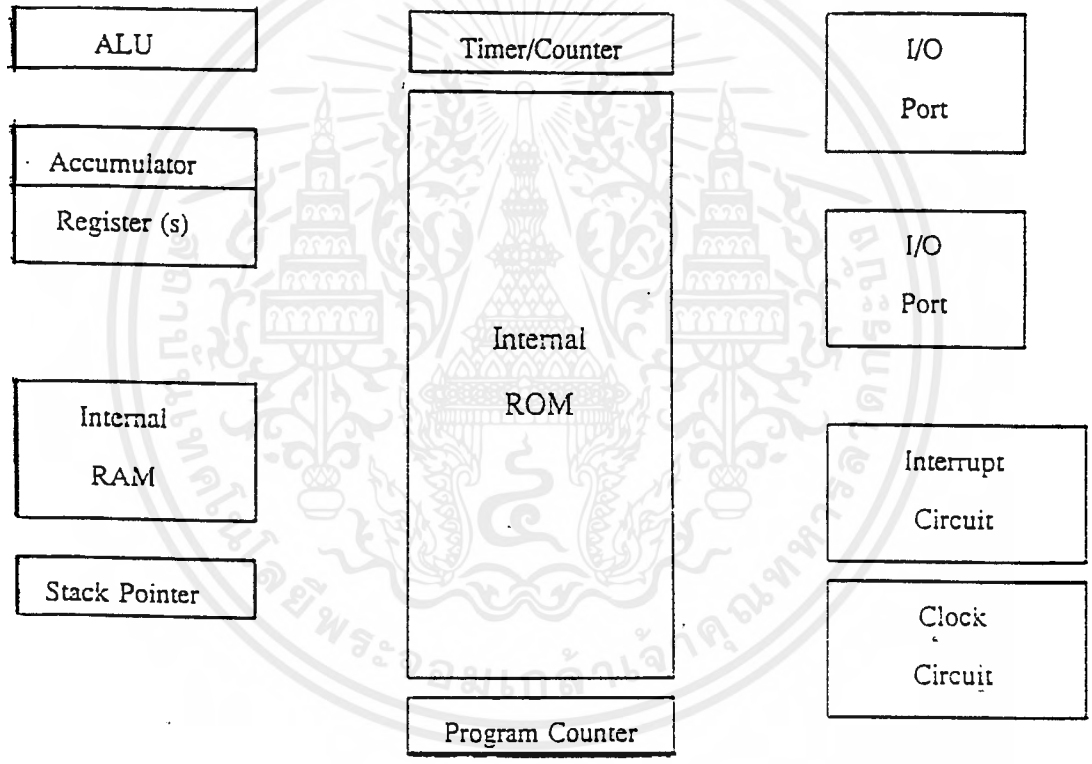


รูปที่ 5.7 แสดงวงจร Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ไมโครคอนโทรลเลอร์
Microcontroller

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็คือไมโครโปรเซสเซอร์ที่รวมเอาส่วนของหน่วยความจำไอโอพอร์ท ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ มาบรรจุไว้ในชิพเดี่ยวมีชื่อเรียกว่า ซิงเกิลชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีบล๊อกไดอะแกรมดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 บล๊อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

จะเห็นว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบไปด้วย

- ALU
- แอคคิวมูเลเตอร์
- รีจิสเตอร์
- แรมภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สแตคพอยเตอร์
- อินเทอนอลรอม
- โปรแกรมเคาน์เตอร์
- ไอโอพอร์ท
- วงจรอินเตอร์รัพต์
- วงจรคล็อค
- ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์

6.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5 V ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031 , 8032 ไม่มีหน่วยความจำชุดนี้ ส่วน 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลขนาด 128 ไบต์ สำหรับ 8052 มีถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและตาต้า (และ แยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์)
- คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 1 μs เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 MHz
- มี ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวคเตอร์
- มีพอร์ทรับส่งข้อมูลอนุกรม 2 พอร์ท ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกันได้ เลือกรูปแบบการส่งข้อมูลได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งในการทำ AND , OR หรือ COMPREMENT ได้ทั้ง 8 บิตและ 1 บิต

6.2 รหัสคำสั่งของ MCS-51

ชุดคำสั่งของ 8051 มีทั้งหมด 256 คำสั่ง วิธีการแปลงภาษาแอสแซมบลีให้เป็นภาษาเครื่องสามารถดำเนินการได้ 2 แบบคือการทำด้วยมือและใช้โปรแกรมแอสแซมเบลอร์ เช่น SXA-51 , Cross-16 , Cross-32 โดยจะต้องเขียนโปรแกรมแล้วพิมพ์เก็บไว้ใน File โดยตั้งชื่อให้มีนามสกุลเป็นจุด ASM โปรแกรมที่ใช้พิมพ์อาจจะใช้ SK หรือ Wordstar ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลีจะใช้รหัสช่วยจำซึ่งประกอบด้วย Operation Code , Operand และ Comment

1. Operation Code ประกอบด้วย 2 ถึง 4 อักษรเช่น MOV , MOVX , MOVC , ADD

2. Operand เป็นชุดอักษรที่บอกการดำเนินการ อาจจะเป็นชุดเดียวหรือ 2 ชุดก็ได้ ถ้าเป็น 2 ชุดจะคั่นด้วยเครื่องหมายคอมมา (,) เช่น A,#20h เมื่อเขียนให้เต็มรูปแบบของภาษาแอสแซมบลีจะได้ดังนี้ MOV A,#20h หมายความว่าให้นำค่า 20h เข้ารีจิสเตอร์ A

โดยที่ A หมายถึง Distination
#20h หมายถึง Source

โดยที่ Source จะต้องอยู่ทางขวามือและ Distination จะอยู่ทางซ้ายมือ

3. Comment เป็นส่วนขยายของชุดรหัสคำสั่งจะนำหน้าด้วยเครื่องหมาย " ; " ในส่วนของ Comment จะมีหรือไม่มีก็ได้

6.3 การแบ่งกลุ่มคำสั่งของ MCS-51

เราสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่มใหญ่ๆดังนี้

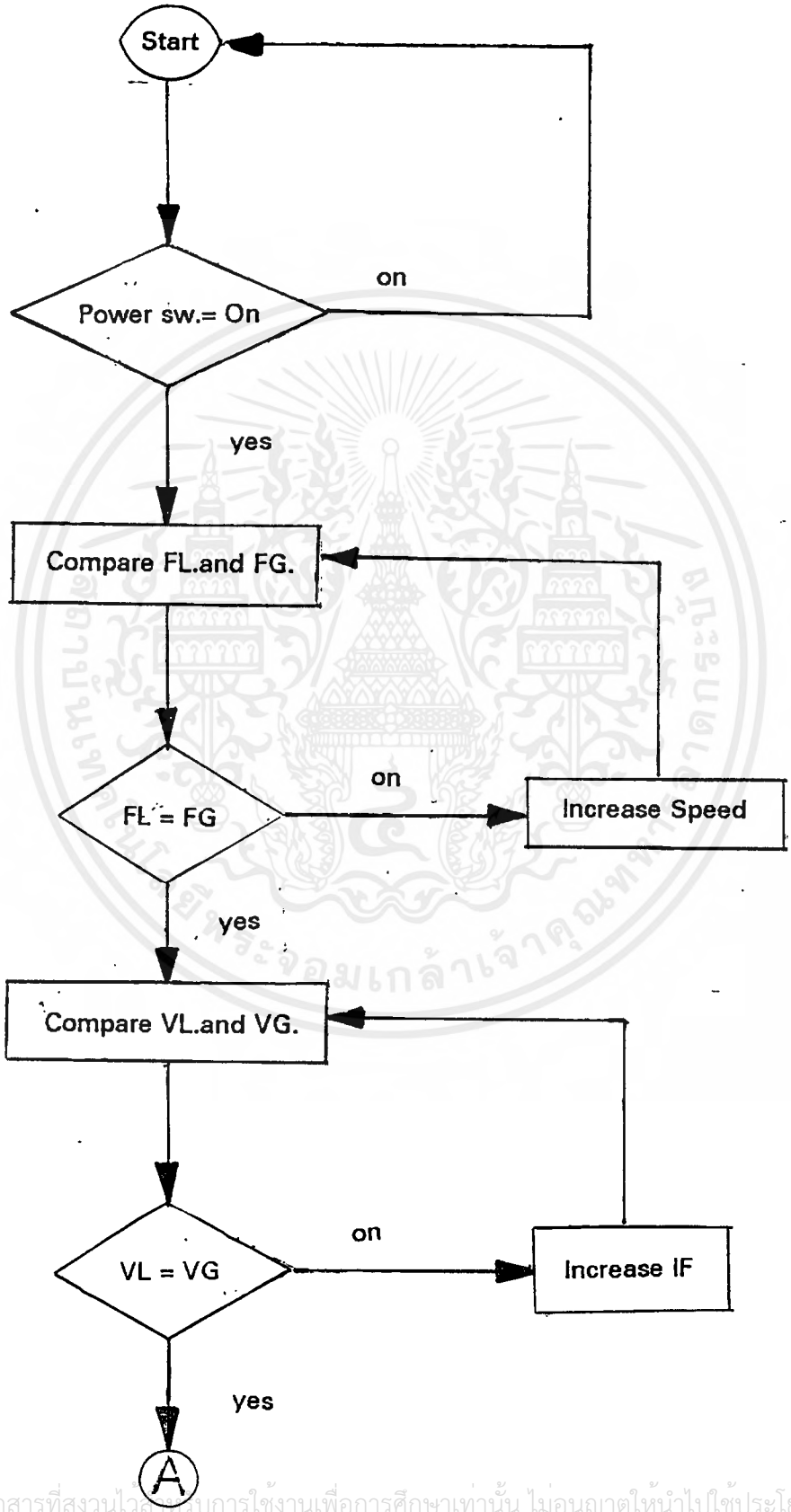
- กลุ่มคำสั่งทางลอจิก
- กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์
- กลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงาน
- กลุ่มคำสั่งการประมวลผลแบบบลูลีน

นอกจากนี้ยังแบ่งตามวิธีการเข้าถึงข้อมูลได้ดังนี้

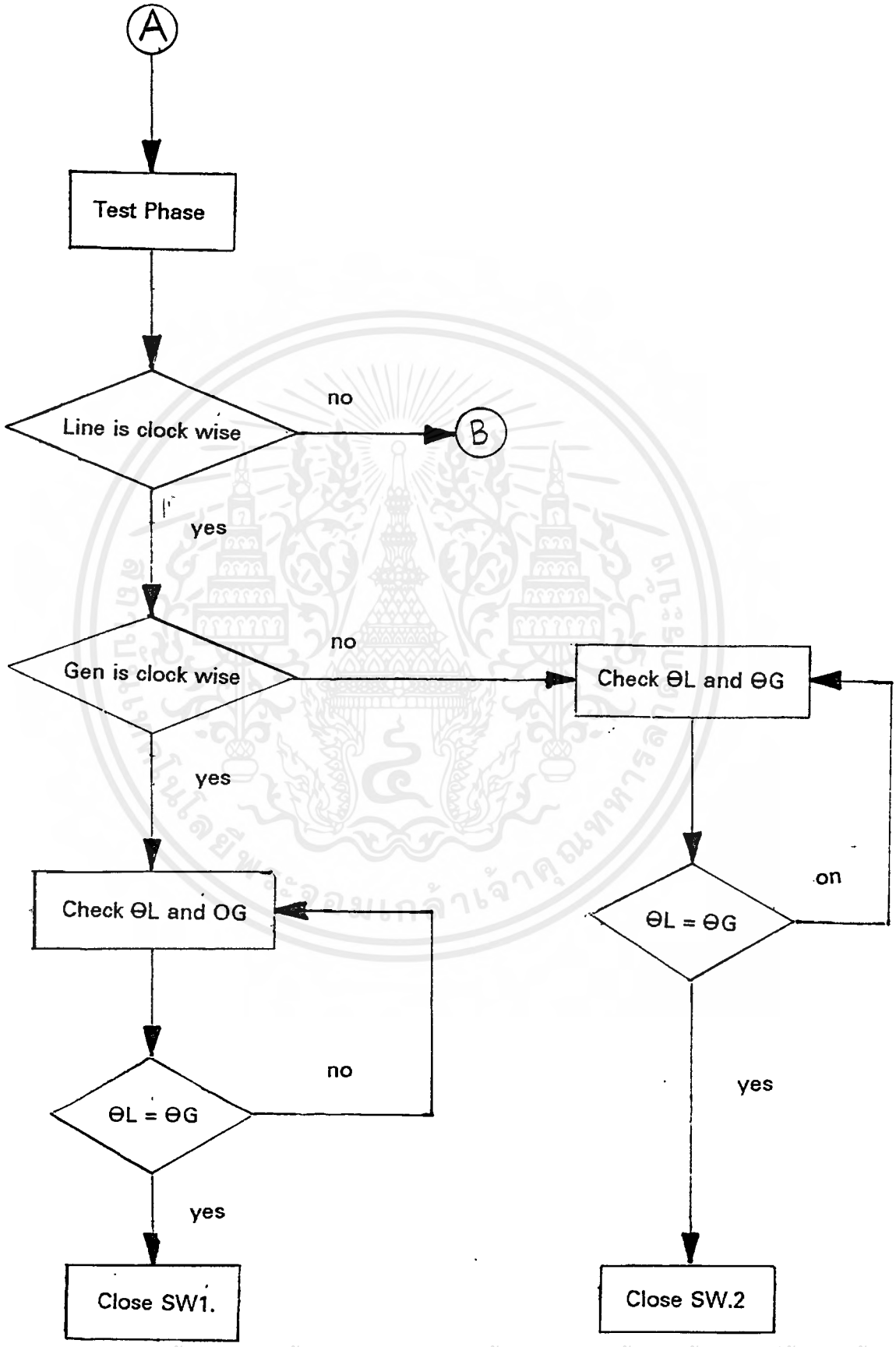
- Direct Addressing เช่น MOV A , 7Fh
- Indirect Addressing เช่น MOV A , 7Fh
- Immediate Addressing เช่น MOV A , 7Fh
- Register Addressing เช่น MOV A , 7Fh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

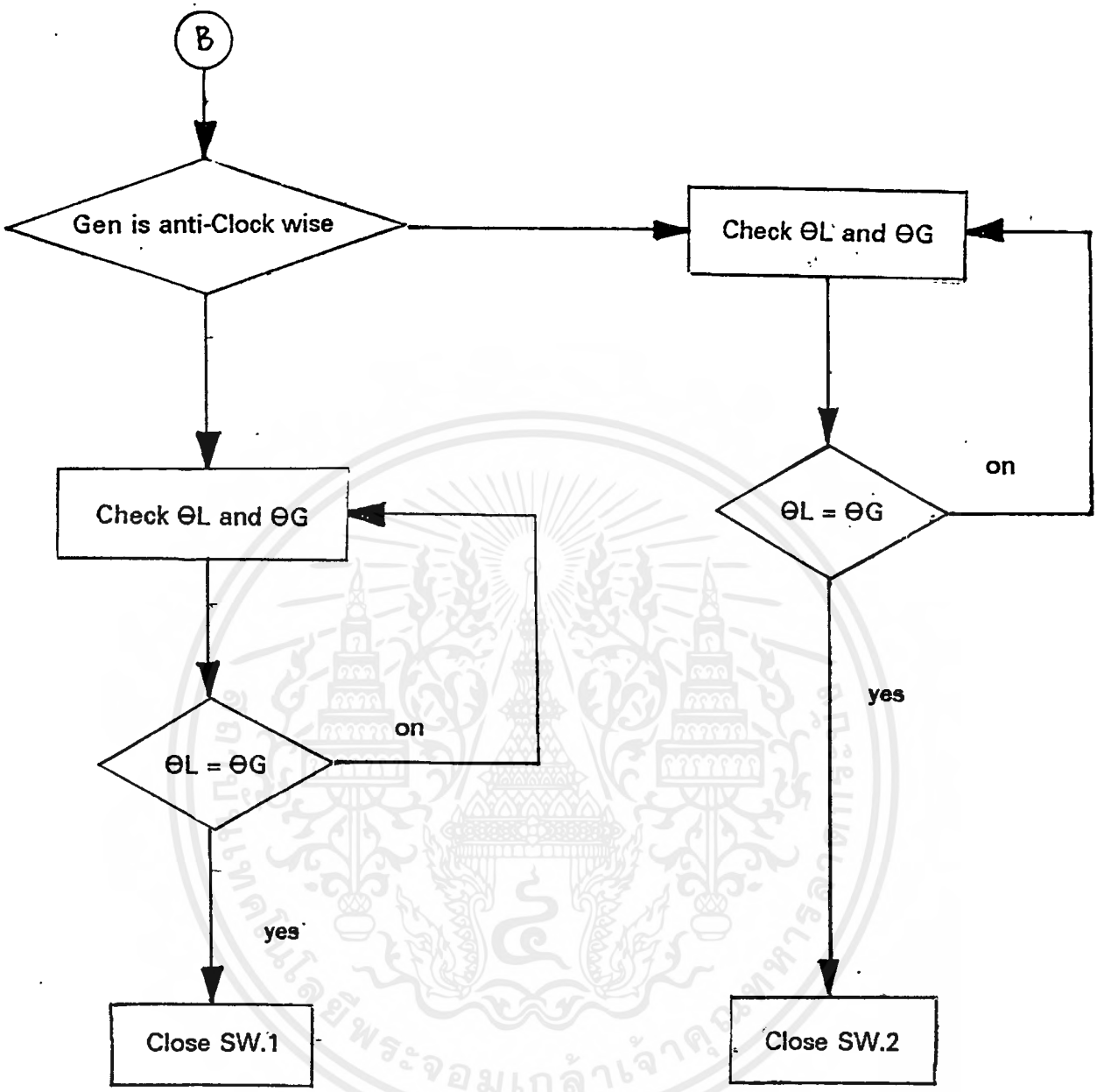
6.4โฟล์วชาร์ดแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
การทดลองและผลการทดลอง

เป้าหมายในการทำโครงงานนี้

1. สามารถสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์กระตุ้นเกตของไทริสเตอร์
2. สามารถสร้างวงจรคอนเวอเตอร์ 1 เฟส
3. สามารถสร้างวงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อนำมาประมวลผล
    3.1 สามารถสร้างวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันระหว่างระบบกับเครื่องกำเนิดได้
    3.2 สามารถสร้างวงจรเปรียบเทียบความถี่ระหว่างระบบกับเครื่องกำเนิดได้
    3.3 สามารถสร้างวงจรตรวจสอบการลำดับเฟสของระบบทั้งสองนี้ได้
    3.4 สามารถสร้างวงจรตรวจสอบความต่างเฟสของระบบทั้งสองนี้ได้
4. สามารถสร้างวงจร D/A ให้รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
5. สามารถเขียนโปรแกรมใช้งานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

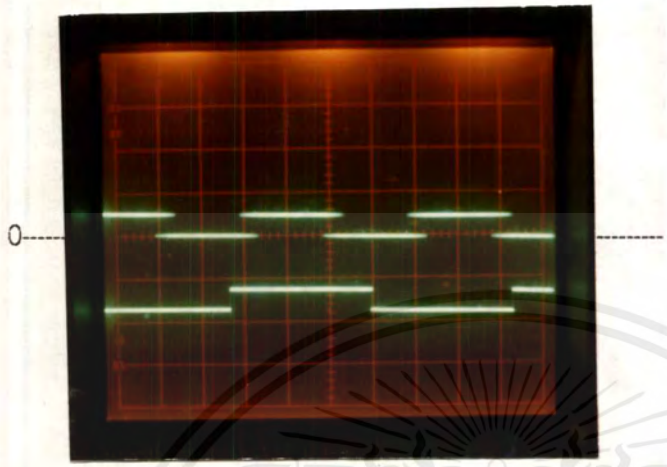
ผลการทดลอง

1.วงจรเปรียบเทียบความถี่

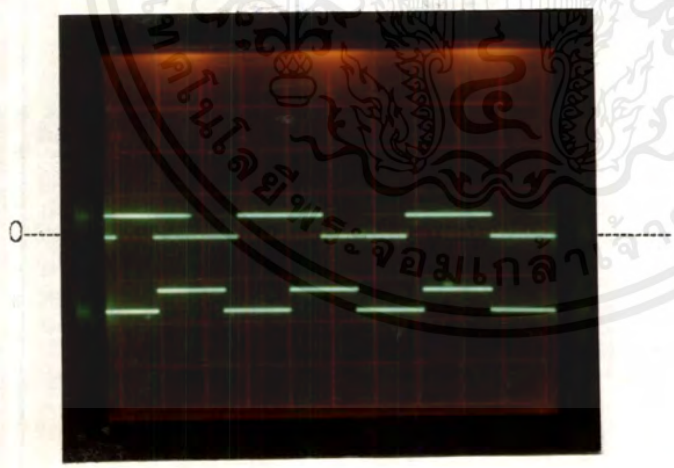
ขั้นตอนการทดลอง

วงจรเปรียบเทียบความถี่จะใช้หลักการเปลี่ยนสัญญาณรูปซายน์ จากครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของระบบไฟฟ้ากำลัง มาเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม โดยถ้าสัญญาณรูปซายน์ที่นำมาแปลงนี้มีความถี่เท่ากัน สัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้ก็จะมีความกว้างของสัญญาณเท่ากัน จากนั้นก็นำสัญญาณนี้ส่งให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล จากการทดลองจะเห็นว่าวงจรที่สร้างขึ้นมานี้ให้เอาท์พุทตรงตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 แสดงสัญญาณเอาท์พุทเมื่อความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้อยกว่าของระบบไฟฟ้า



รูปที่ 7.2 แสดงสัญญาณเอาท์พุทเมื่อความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่าของระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ I/P(Hz)		ความกว้าง Pulse O/P(msec)	
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ระบบ	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ระบบ
48	50	20.83	20
49	50	20.41	20
50	50	20.00	20
51	50	19.61	20
52	50	19.23	20

ตารางการทดลองวงจรเปรียบเทียบความถี่

หลักการการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็คือ จะทำการวัดความกว้างของพัลส์เอาท์พุท ทั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบ

1.เมื่อความกว้างของพัลส์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้อยกว่าของระบบ แสดงว่าขณะนี้ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่าของระบบ ก็จะลดเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะไปขับชุดจุดชนวน SCR เพื่อลดแรงดันที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์

2.เมื่อความกว้างของพัลส์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่าของระบบ แสดงว่าขณะนี้ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้อยกว่าของระบบ ก็จะเพิ่มเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะไปขับชุดจุดชนวน SCR เพื่อเพิ่มแรงดันที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์

3.เมื่อความกว้างของพัลส์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับของระบบ แสดงว่าขณะนี้ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับของระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2 ต่อไป(ตรวจสอบแรงดัน) ซึ่งในการตรวจสอบความถี่นี้ จะให้มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.1 msec ซึ่งคิดเป็นความถี่ประมาณ $\pm$ 0.25 Hz

2.วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะอาศัยหม้อแปลงเปลี่ยนแรงดันจาก 220 V ให้เหลือประมาณ 12 V ทั้งของระบบและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วทำการเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่านวงจรเรคติไฟเออร์ แล้วจึงนำเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งถ้าแรงดันที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าเท่ากัน Vout 1 จะมีค่าเท่ากับ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองจะกำหนดให้แรงดันของระบบเป็นแรงดันอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 220 V ส่วนแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะทำการทดลอง 2 กรณีคือ

2.1 เมื่อแรงดันของเครื่องกำเนิดน้อยกว่าแรงดันของระบบ

ในการทดลองเราปรับค่าแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้น้อยกว่าของระบบโดยมีค่าตั้งดังตารางบันทึกผลการทดลอง ผลที่ได้จากการทดลองคือค่า Vout 1 และ Vout 2

VL (V)	VG (V)	Vout 1 (V)	Vout 2
220	200	1.1	0
220	205	0.8	0
220	210	0.5	1
220	215	0.3	1
220	220	0	1

ตารางการทดลองวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

2.2 เมื่อแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่าแรงดันของระบบ

ในการทดลอง เราปรับค่าแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้มากกว่าของระบบโดยมีค่าดังตารางบันทึกผลการทดลอง ผลที่ได้จากการทดลองคือ Vout 1 และ Vout 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VL (V)	VG (V)	Vout 1 (V)	Vout 2
220	235	-0.8	0
220	232	-0.7	0
220	228	-0.4	1
220	224	-0.2	1
220	220	0	1

ตารางการทดลองวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

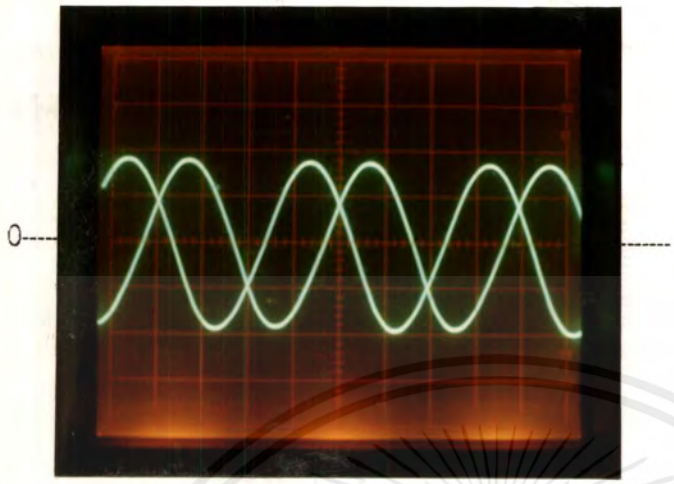
จากการทดลองจะเห็นว่าขณะที่แรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบต่างกัน 10 V ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ในการขนานแต่จากวงจรเปรียบเทียบ Vout 1 ยังมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ เพราะฉะนั้นเราจึงต้องนำค่า Vout 1 ที่ได้ไปผ่านวงจรเปรียบเทียบเป็นช่วง ซึ่งวงจรนี้จะเป็นตัวกำหนดว่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้นั้นมีค่าเท่าไรโดยการปรับที่ค่า R ซึ่งในการทดลองนี้เราปรับให้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm$ 0.5 V เพราะฉะนั้นเมื่อ Vout 1 ที่ทำการทดลองมีค่าระหว่าง - 0.5 ถึง 0.5 V ก็จะเป็นที่ยอมรับได้ในการขนาน ซึ่งจะส่งผลให้ Vout 2 มีค่าลอจิกเป็น 1 แต่ถ้า Vout 1 มีค่านอกเหนือจากขอบเขตที่กำหนดก็จะทำให้ Vout 2 มีค่าลอจิกเป็น 0 ซึ่งค่าลอจิกนี้เองที่จะนำไปประมวลผลต่อโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.วงจรตรวจสอบการลำดับเฟส

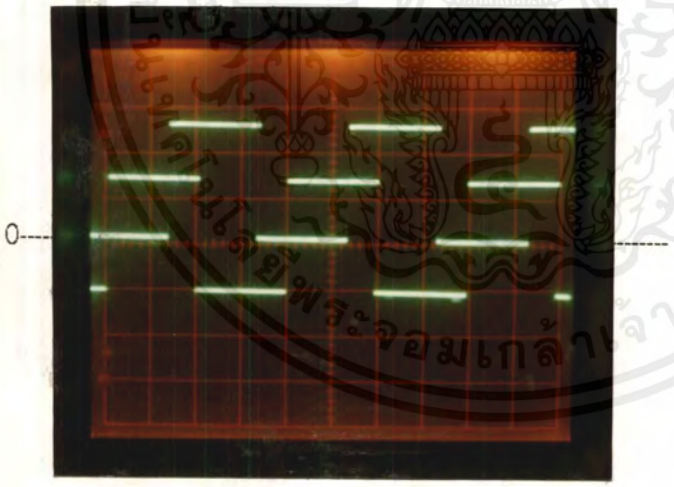
วงจรตรวจสอบการลำดับเฟสจะใช้หลักการเปลี่ยนสัญญาณรูปซายน์ มาเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมทั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของระบบ แล้วนำสัญญาณที่ได้นี้ไปทำการประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

จากการทดลองวงจรสามารถให้สัญญาณเอาท์พุทถูกต้องตามต้องการ คือ ถ้าสัญญาณของอินพุทมีการลำดับเฟสเรียงกันเช่น เฟสหลักเป็น R และเฟสรองเป็น S สัญญาณสี่เหลี่ยมที่เอาท์พุทก็จะออกมาเหลื่อมกันอยู่ 120 องศาทางไฟฟ้าดังรูปที่ 7.3 และ 7.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



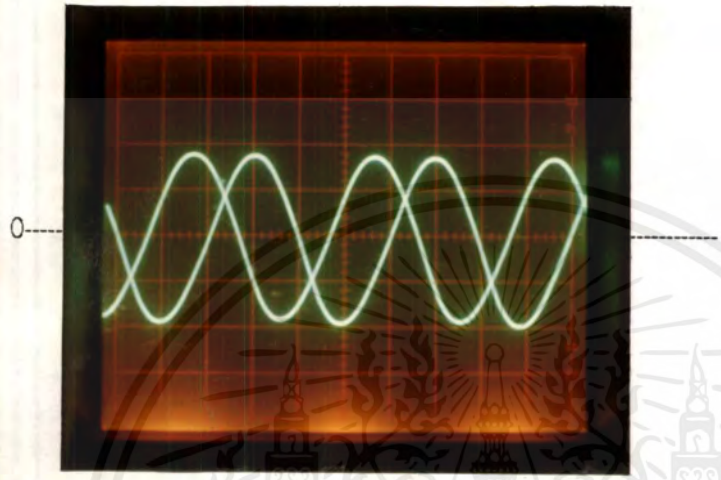
รูปที่ 7.3 แสดงรูปคลื่นสัญญาณอินพุทเมื่ออินพุทมีลำดับเฟสเรียงกันแบบ R - S



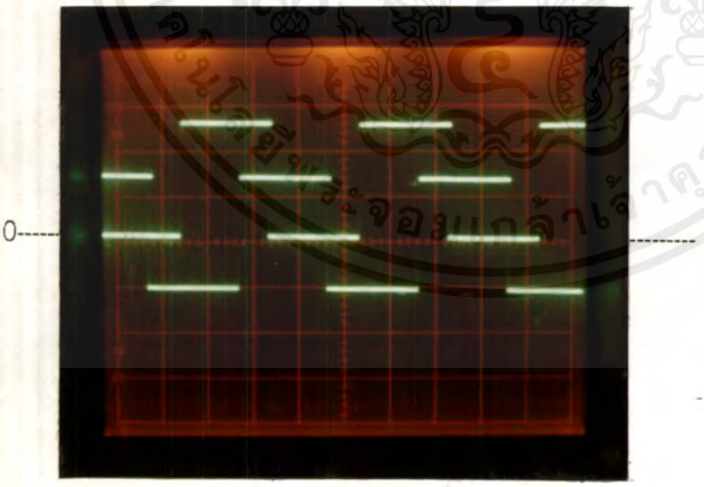
รูปที่ 7.4 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาท์พุทเมื่ออินพุทมีลำดับเฟสเรียงกันแบบ R-S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในกรณีที่สัญญาณอินพุทมีการเรียงลำดับเฟสแบบไม่เรียงกันเช่น เฟสหลักเป็นเฟส R และเฟสรองเป็นเฟส T สัญญาณเอาท์พุทที่ได้ออกมาก็จะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เหลื่อมล้ำกันอยู่ 240 องศาทางไฟฟ้าดังรูปที่ 7.5 และ 7.6



รูปที่ 7.5 แสดงรูปคลื่นสัญญาณอินพุทเมื่ออินพุทมีลำดับเฟสเรียงกัน แบบ R-T



รูปที่ 7.6 แสดงรูปคลื่นสัญญาณเอาท์พุทเมื่ออินพุทมีลำดับเฟสเรียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้นี้ ไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลโดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. ตรวจสอบการลำดับเฟสของระบบก่อน โดยตรวจสอบที่ขอบขาลงของเฟส R ว่าในขณะนั้นเฟส S เป็น 0 หรือ 1 แล้วทำการบันทึกค่าเอาไว้

2. ตรวจสอบการลำดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยตรวจสอบที่ขอบขาลงของเฟส A ว่าในขณะนั้นเฟส B เป็น 0 หรือ 1 แล้วทำการบันทึกค่าเอาไว้

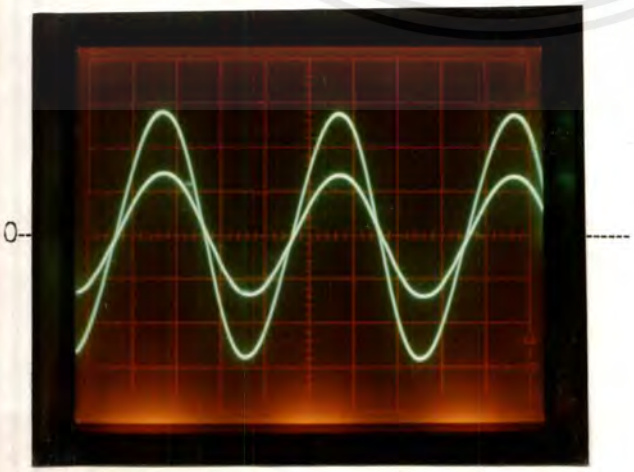
3. เปรียบเทียบผลที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2 ถ้าผลที่ได้เป็น 0 เหมือนกันหรือเป็น 1 เหมือนกัน ในการขนานก็ให้รอการ Close SW1 แต่ถ้าผลที่ได้ต่างกันในการขนานก็ให้รอการ Close SW2

4.วงจรเปรียบเทียบความต่างเฟส

วงจรเปรียบเทียบความต่างเฟสจะใช้หลักการเปลี่ยนสัญญาณรูปซายน์ มาเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของระบบ แล้วนำสัญญาณที่ได้นี้ไปผ่านไอซีเบอร์ 555 เพื่อเปลี่ยนสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณพัลส์สั้นๆ แล้วนำสัญญาณที่ได้นั้นมาผ่านแอนเกท แล้วนำค่าที่ได้ไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

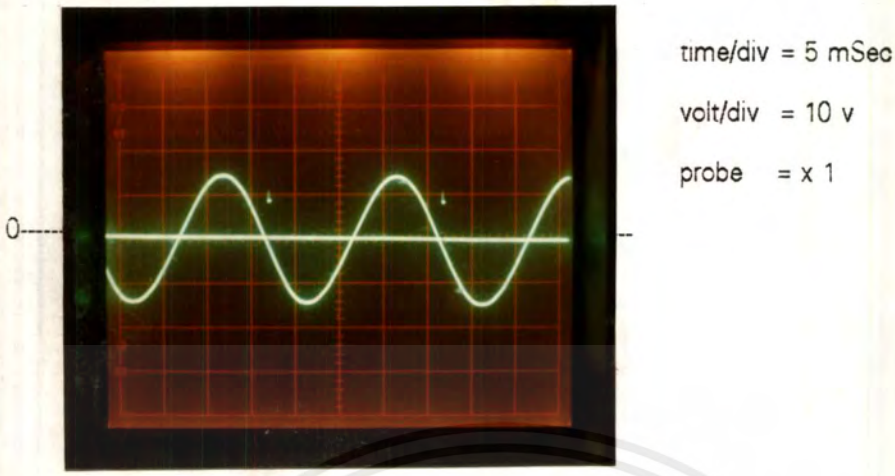
วงจรเปรียบเทียบความต่างเฟสจะเป็นการตรวจสอบขั้นสุดท้าย ก่อนที่จะทำการส่งสัญญาณขนานเข้าสู่ระบบ จากการทดลองในวงจรที่สร้างขึ้นมาให้ผลการทดลองตามต้องการดังนี้

1. เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสทับกันพอดี เอาท์พุทของวงจรก็จะได้สัญญาณ "1" ออกมาดังรูปที่ 7.7 และ 7.8



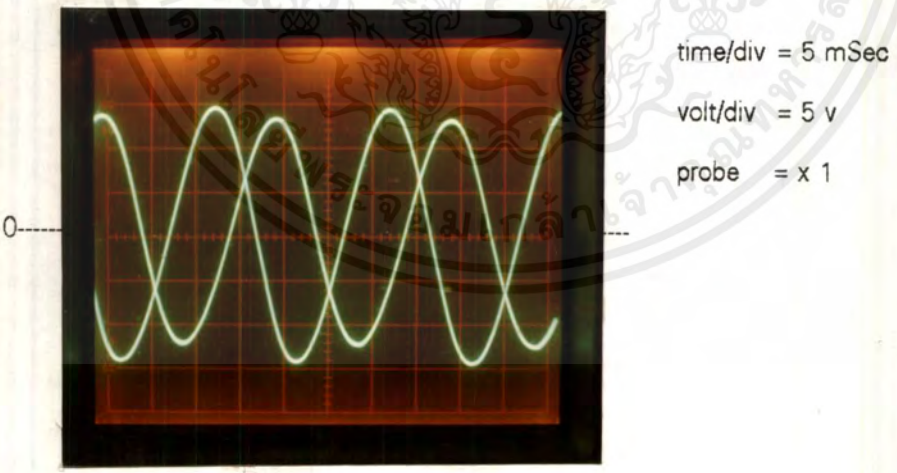
รูปที่ 7.7 แสดงสัญญาณอินพุทเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสทับกันพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



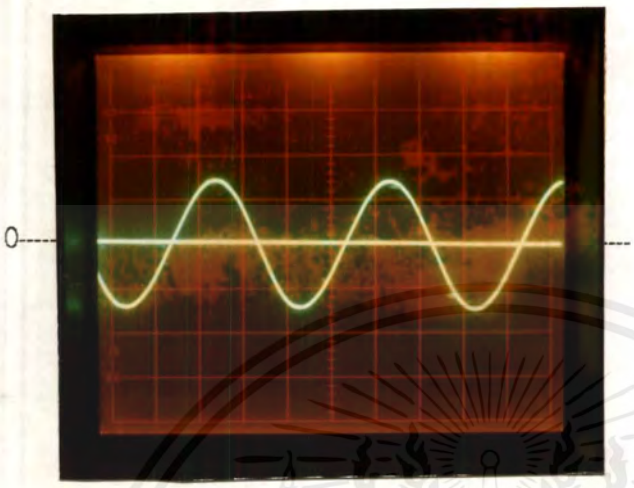
รูปที่ 7.8 แสดงสัญญาณเอาท์พุทเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสทับกันพอดี

2. เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสต่างกัน เอาท์พุทของวงจรก็จะได้สัญญาณ "0" ออกมาดังรูปที่ 7.9 และ 7.10



รูปที่ 7.9 แสดงสัญญาณอินพุทเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



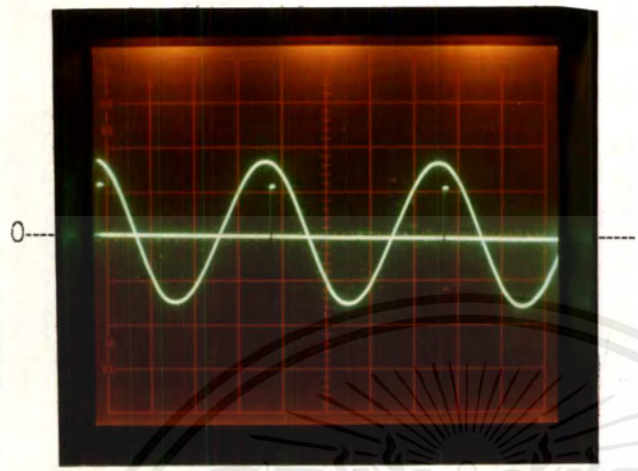
รูปที่ 7.10 แสดงสัญญาณเอาท์พุทเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบมีเฟสต่างกัน

ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณเอาท์พุทออกไปให้แมกเนติกทำการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อได้รับสัญญาณ "1" จากวงจรเปรียบเทียบความต่างเฟสนี้เท่านั้น

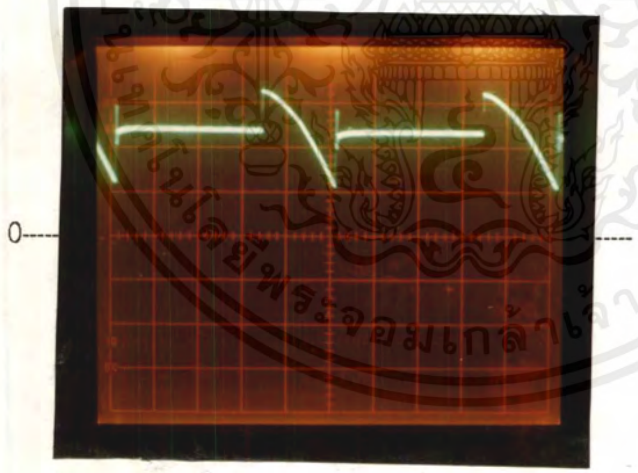
5.วงจรจุดชนวน SCR

วงจรจุดชนวน SCR นับว่าเป็นส่วนสำคัญมากสำหรับในโครงงานนี้ เพราะเป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และเป็นส่วนที่ปรับกระแสฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากการทดลองวงจรสามารถทำงานได้ดี ให้ผลออกมาตรงตามทฤษฎีดังแสดงในรูปที่ 7.11 ถึง 7.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

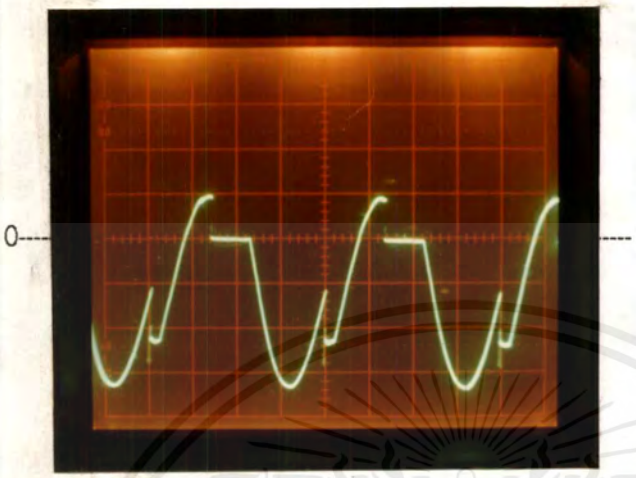


รูปที่ 7.11 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 100 องศา

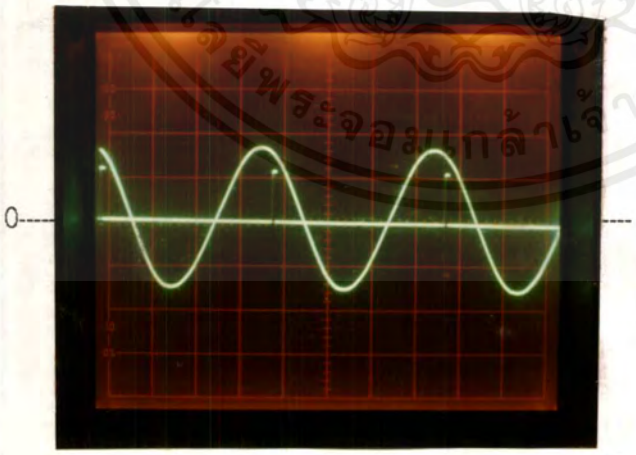


รูปที่ 7.12 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทที่มุม 100 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

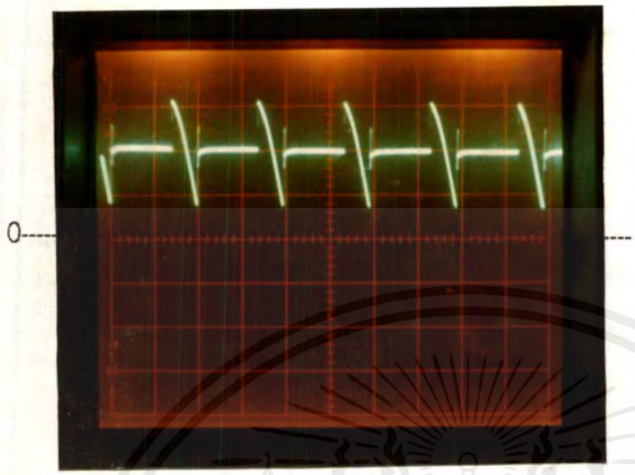


รูปที่ 7.13 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 100 องศา

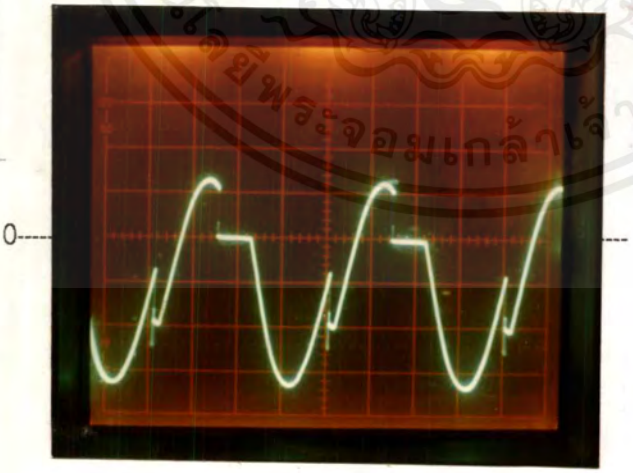


รูปที่ 7.14 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 110 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

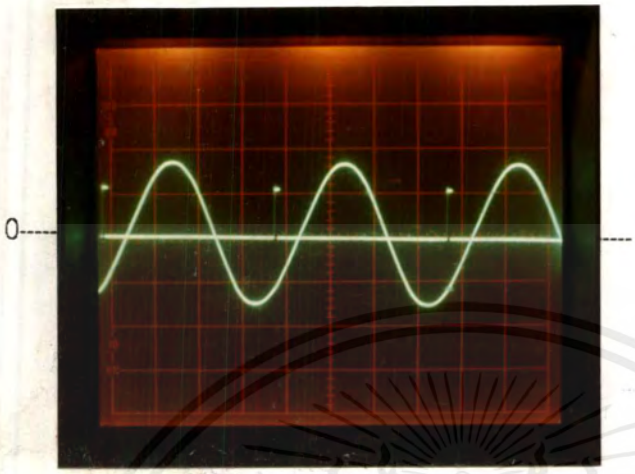


รูปที่ 7.15 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทที่มุม 110 องศา

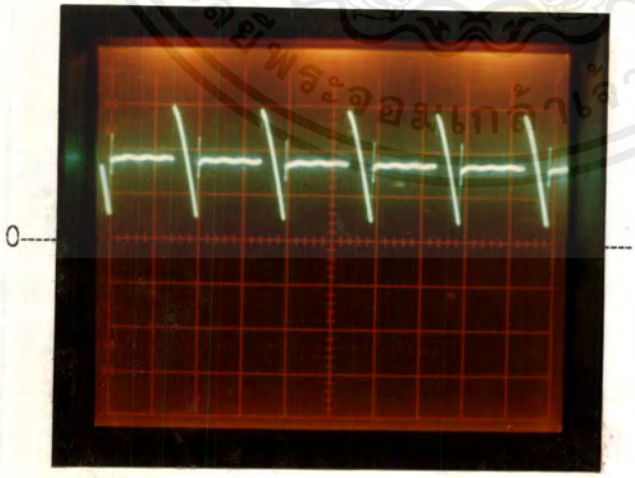


รูปที่ 7.16 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 110 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

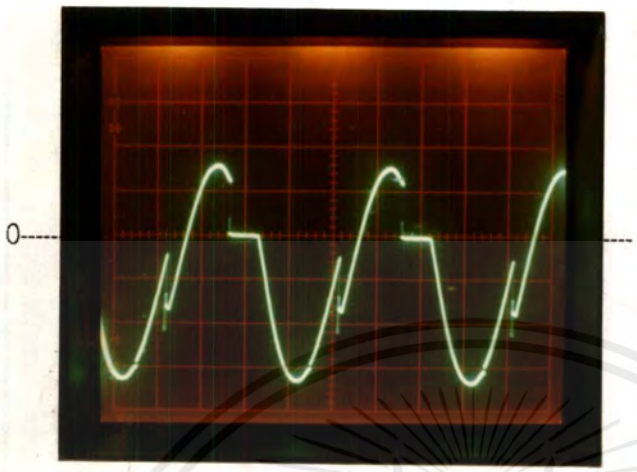


รูปที่ 7.17 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 135 องศา

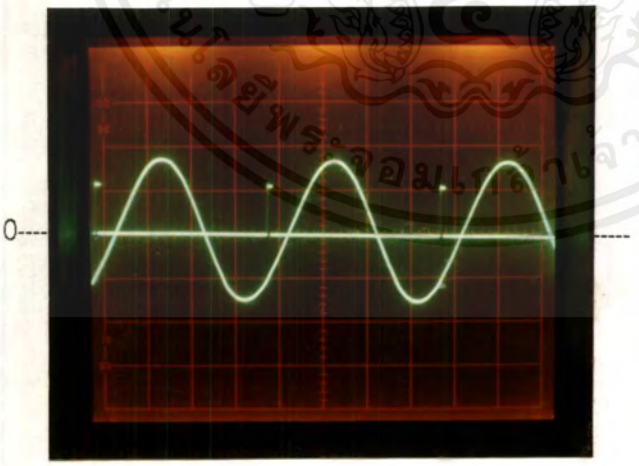


รูปที่ 7.18 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทที่มุม 135 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

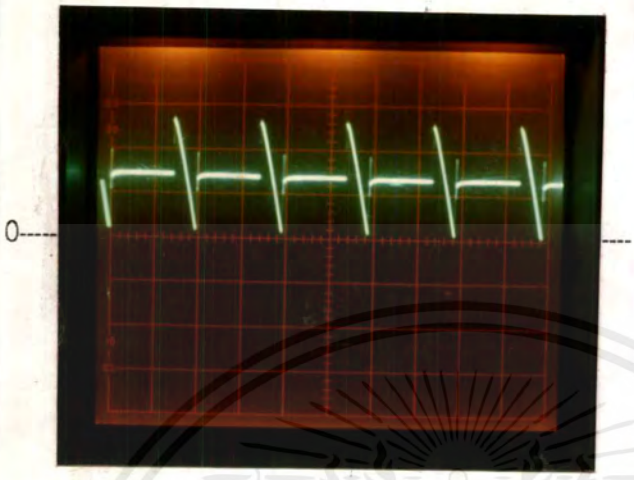


รูปที่ 7.19 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 135 องศา

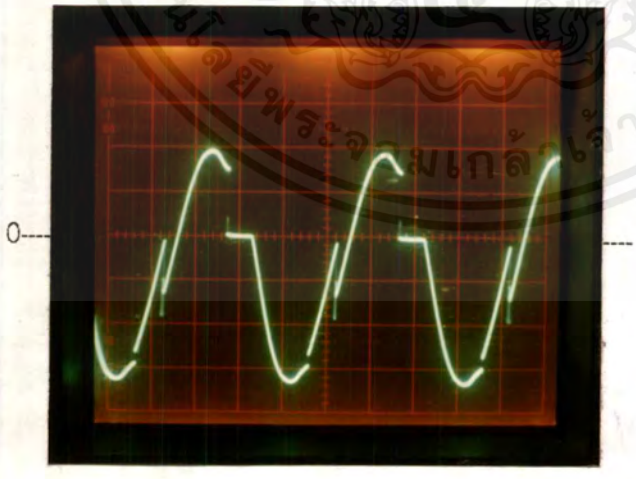


รูปที่ 7.20 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 150 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

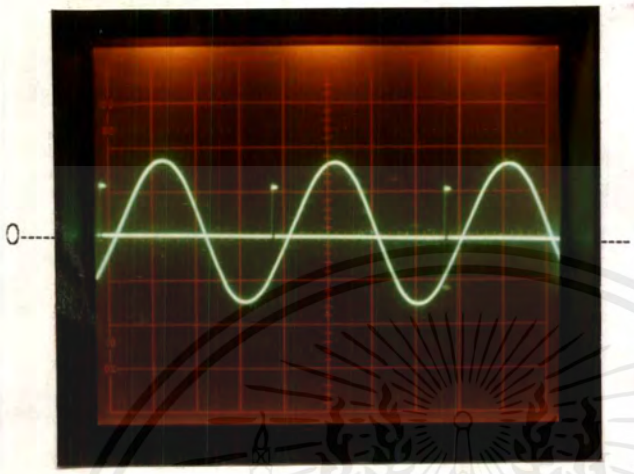


รูปที่ 7.21 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทที่มุม 150 องศา SCR

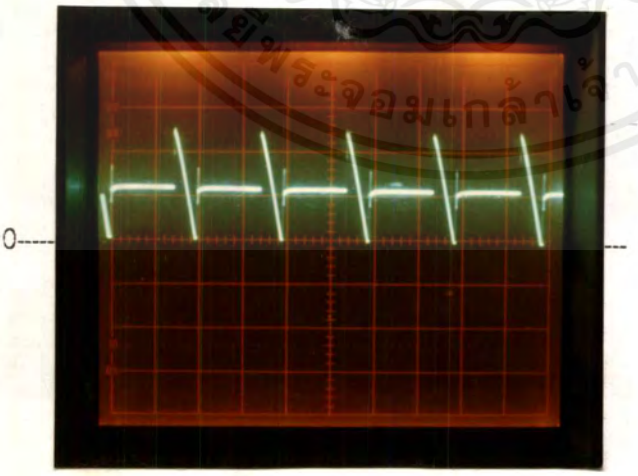


รูปที่ 7.22 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 150 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

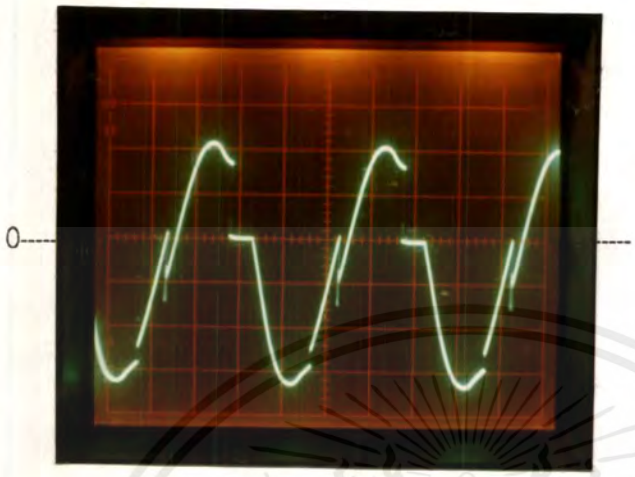


รูปที่ 7.23 แสดงลักษณะสัญญาณทริก SCR ที่มุม 165 องศา



รูปที่ 7.24 แสดงลักษณะสัญญาณ เอาท์พุทที่มุม 165 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.25 แสดงลักษณะสัญญาณตกคร่อม SCR ที่มุม 165 องศา

การทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรคอนเวอเตอร์ 1 เฟส

ในการทดลองเราจะกำหนดให้ค่า Vf คงที่ที่ 220 V และ If คงที่ที่ 0.5 A แล้วทำการปรับมุมทริก SCR ไปที่ค่าต่างๆ โดยการปรับแรงดันควบคุมที่จ่ายให้กับวงจรทริก SCR แล้วทำการวัดค่าต่างๆ ได้ดังนี้

Vf	If	แรงดันควบคุม	V ที่อาร์เมเจอร์	ความเร็วรอบ(rpm)
220 V	0.5 A	4.75 V	218 V	1500
220 V	0.5 A	5.31 V	198 V	1327
220 V	0.5 A	5.67 V	170 V	1240
220 V	0.5 A	6.05 V	140 V	918
220 V	0.5 A	6.28 V	110 V	758

ตารางการทดลองควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.วงจร D/A

ในการทดลองจะป้อนอินพุทที่เป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าไปในวงจร D/A แล้วทำการวัดแรงดันเอาท์พุทซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอก แล้วนำค่าที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็น error และผลที่ได้เป็นดังตารางบันทึกผลการทดลอง

binary input								VR (V)		%error
V7	V6	V5	V4	V3	V2	V1	V0	measure	calculate	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0.038	0.035	8.00
0	0	0	0	0	1	0	0	0.150	0.143	4.67
0	0	0	1	0	0	0	0	0.580	0.570	1.72
0	1	0	0	0	0	0	0	2.320	2.290	1.29
1	0	0	0	0	0	0	0	4.610	4.580	0.65
1	1	0	0	0	0	0	0	6.970	6.860	1.15
1	1	1	0	0	0	0	0	8.000	8.006	0
1	1	1	0	1	0	0	0	8.350	8.290	0.72
1	1	1	1	0	0	1	0	8.750	8.650	1.14
1	1	1	1	1	1	1	1	9.150	9.110	0.44

ตารางการทดลองวงจร D/A

ตัวอย่างการคำนวณ

จากสูตร

$$VR = (Vr*R0) / R1 [(V7/2)+(V6/4)+(V5/8)+(V4/16)+(V3/32)+(V2/64)+(V1/128)+(V0/256)]$$

เมื่อ Vr = 3.05 V

R1 = 1 K

R0 = 3 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อสมมติให้ V1 ถึง V7 เป็น 0 และให้ V0 เป็น 1จะคำนวณค่า VO ได้ดังนี้

VR = (3.05*3) /1 [(0/2)+(0/4)+(0/8)+(0/16)+(0/32)+(0/64)+(0/128)+(1/256)]

VR = 0.035 V

แต่จากการวัดได้ค่า VO = 0.038 V

เปอร์เซ็นต์ error = [(0.038 - 0.035) / 0.038]*100

= 8 %

จากการทดลองเป็นการวัดค่าแรงดันเอาท์พุท ที่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณดิจิตอลเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่อาจจะมีความผิดพลาดอยู่บ้าง อาจเกิดจากความไม่แน่นอนของความต้านทานบ่รับค่าได้ ซึ่งเป็นตัวกำหนดแรงดันอ้างอิง แต่ทั้งนี้ยังสรุปได้ว่าผลการทดลองกับค่าที่คำนวณเป็นไปตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
สรุปและวิจารณ์ ผลการทดลอง

สำหรับในบทนี้จะเป็นการสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองไปทั้งหมดในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าโดยอัตโนมัตินั้น การที่จะนำระบบสองระบบนี้มาขนานเข้าด้วยกันเพื่อช่วยกันจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลักที่สำคัญคือ ระดับแรงดันไฟฟ้า, ความถี่ของทั้งสองระบบต้องเท่ากัน การลำดับเฟสต้องตรงกันและมุมต่างเฟสของทั้งสองระบบต้องใกล้เคียงกัน จึงจะสามารถทำการขนานทั้งสองระบบเข้าด้วยกันได้ ดังทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ตอนต้น

โครงงานนี้ได้เอาหลักการดังกล่าวมาสร้างเป็นวงจรอิเล็คทรอนิคส์ คือ ได้สร้างชุดวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณขึ้นมาซึ่งได้แก่ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรเปรียบเทียบความถี่ วงจรตรวจสอบการลำดับเฟส และวงจรตรวจสอบความต่างเฟส อีกทั้งวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อนำสัญญาณที่ได้ส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล จากการทดลองในบทที่ 7 สามารถสรุปผลการทดลองในส่วนต่างๆได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบแรงดัน โดยใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง 220 โวลท์ แต่เมื่อทำการทดลองระดับแรงดันไฟฟ้าที่ระบบจะได้ไม่เท่ากับ 220 โวลท์ จึงต้องใช้แหล่งจ่ายจากวาริแอค(VARIAC)ซึ่งให้ผลการทดลองออกมาถูกต้องตามทฤษฎี

2. การเปรียบเทียบความถี่ โดยใช้ความถี่อ้างอิง 50 เฮิร์ท ซึ่งความถี่ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์ตัวขับ จากการทดลองยังไม่สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ตัวขับให้คงที่ได้ ดังนั้นความถี่ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงไม่คงที่ ในการทดสอบวงจรได้ใช้ฟังค์ชั่นเจนเนอเรเตอร์ (Function Generator) เป็นตัวจ่ายความถี่ให้กับวงจรที่สร้างขึ้น ซึ่งเอาท์พุทที่ได้ถูกต้องตามทฤษฎี

3. การจัดลำดับเฟส ในการทดลองได้นำสัญญาณไฟฟ้า 3 เฟสจากระบบจำนวนสองชุดซึ่งมีลำดับเฟสที่เหมือนกันมาผ่านวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบการลำดับเฟสจากวงจรที่สร้างขึ้นสามารถส่งผลเอาท์พุทได้ถูกต้องตามลำดับเฟสที่เรียงกัน (สามารถดูผลได้จากจอออสซิลโลสโคป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตรวจสอบมุมต่างเฟส จากวงจรเปรียบเทียบความต่างเฟสที่ได้ทำการทดลอง ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามต้องการคือ เมื่อเอาสัญญาณมุมเฟสของระบบไฟฟ้าและของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาผ่านวงจรทดลอง โดยที่ทั้งสองระบบมีมุมเฟสที่ทับกันสนิทพอดี เอาท์พุทที่ได้จากวงจรจะแสดงผลเป็น "1" ในการทดลองเมื่อใช้สัญญาณจากระบบไฟฟ้าเฟสเดียวกันมาผ่านวงจร เอาท์พุทที่ได้จากวงจร จะเป็น " 1 " และ เมื่อ ใช้สัญญาณจากระบบไฟฟ้าต่างเฟสกัน มาผ่านวงจร เอาท์พุทที่ได้จากวงจร จะเป็น " 0 "ซึ่งถูกต้องตามหลักทฤษฎี

5. สำหรับในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะเขียนโปรแกรมเพื่อส่งค่าให้วงจรD/Aแปลงค่าเป็นอนาลอก(Analog)ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ในส่วนของวงจรคอนเวอเตอร์ 1 เฟส ซึ่งเป็นส่วนที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและควบคุมกระแสฟิลด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการทดลองปรากฏว่า ไม่สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ ซึ่งทำให้ความถี่ของเครื่องกำเนิดไม่คงที่ด้วย ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะทำการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบได้

วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

สำหรับปริญญานิพนธ์ยังมีสิ่งที่ต้องปรับปรุงคือ

1. โปรแกรมควบคุมการทำงาน เนื่องจากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีความเร็วมากกว่าอุปกรณ์อื่นๆจำพวก Magnetic ,Relay จึงทำให้การทำงานของอุปกรณ์สองอย่างนี้ไม่สัมพันธ์กัน ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจึงควรคำนึงถึงจุดนี้ด้วย

2. การทดลองในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ยังขาดอุปกรณ์การป้องกัน เช่น การป้องกันแรงดันไฟฟ้าไม่ครบเฟส คือเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าหายไป 1 เฟสจะทำให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ดังนั้นอุปกรณ์ควรหาอุปกรณ์ป้องกันในส่วนนี้ด้วย โดยอาจใช้เฟสโปรเทคชั่น (Phase Protection) ป้องกันในขณะทำการทดลอง

3. สำหรับผู้ที่จะทำโครงงานนี้ควรจะมีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ,ตัวขับ (PRIMOVER) ,การใช้งานอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ต่างๆ และควรมีความชำนาญในการเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของระบบเป็นอย่างดี

4 ก่อนทำการทดลองขนานแบบอัตโนมัติ ควรทำการทดลองขนานแบบธรรมดา (Manual)จนมั่นใจว่าถูกต้อง เพื่อศึกษาหาข้อมูลที่จำเป็น ซึ่งต้องนำไปใช้ในการขนานแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

```
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
            ; DEFINE PORT FOR USED(OUPUT PORT)
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@


PORT_A          EQU   0F800H  ;DEFINE PORT A FOR DRIVE VOLT(D/A)
PORT_B          EQU   0F801H  ;DEFINE PORT B FOR DRIVE
                              ;FREQUENCY(D/A)
PORT_CTR        EQU   0F803H  ;DEFINE CONTROL PORT 8255
PORT_MODE       EQU   80H     ;MODE 8255(ALL PORT IS OUTPUT)
TIME_MODE       EQU   03H     ;TIMER MODE 3

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
            ; DEFINE VARIABLE FOR USED
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

OUTPUT1         EQU   40H     ;OUTPUT1 FOR DRIVE VOLT(D/A)
OUTPUT2         EQU   41H     ;OUTPUT2 FOR DRIVE FREQUENCY(D/A)
FG              EQU   42H     ;FREQUENCY OF GENERATOR(1 VALUE =
                              ;O.1 mS)
FL              EQU   43H     ;FREQUENCY OF LINE(1 VALUE = 0.1 mS
PHASE_S         EQU   44H     ;PHASE S
PHASE_B         EQU   45H     ;PHASE B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
                ; DEFINE  PIN OF INPUT DATA
;  INPUT DATA  MUST BE DIGITAL DATA (NOT ANALOG)IN RANGE OF (0-5V)
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

V1              BIT     P0.0    ;COMPARATOR OF VOLT STAGE1(0,1)
V2              BIT     P0.1    ;COMPARATOR OF VOLT STAGE2(0,1)
F_G             BIT     P0.2    ;FREQUENCY OF GERNERATOR(DIGITAL CYCLE)
F_L             BIT     P0.3    ;FREQUENCY OF LINE(DIGITAL CYCLE)
R_              BIT     P0.4    ;PHASE R  (DIGITAL CYCLE)
S_              BIT     P0.5    ;PHASE S  (DIGITAL CYCLE)
A_              BIT     P0.6    ;PHASE A  (DIGITAL CYCLE)
B_              BIT     P0.7    ;PHASE B  (DIGITAL CYCLE)
PHASE           BIT     P1.0    ;COMPARATOR OF PHASE(0,1)

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
                ;DEFINE PIN OF OUTPUT DATA
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

SW1             BIT     P1.1      ;CONTROL SW1
SW2             BIT     P1.2      ;CONTROL SW2

;               ORG     000H      ; START  ADDRESS  IN  CASE  OFF  NOT  USES\D
REM31
;               AJMP    BEGIN
;               ORG     040H

                ORG     8000H     ; START ADDRESS IN CASE OF USED REM31
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BEGIN:      ACALL   INITIAL          ; INITIAL PORT AND TIMER
            ACALL   SET_VOLT1        ; SET VOLT OF GENERATOR
            ACALL   SET_FREQUENCY    ; SET FREQUENCY OF GENERATOR
            ACALL   SET_VOLT2        ; AFTER SET FREQUENCY SET VOLT
                                     ; AGAIN
            ACALL   SET_PHASE        ; SET PHASE OF GENERATOR
END_:       SJMP    END_

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
            ;INITIAL PORT AND TIMER
            ;8255 ALL PORT IS OUT PUT
            ;SET TIMER MODE 3
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

INITIAL:    MOV     DPTR,#PORT_CTR
            MOV     A,#PORT_MODE
            MOVX    @DPTR,A
            MOV     TMOD,#TIME_MODE
            RET

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
            ; SET VOLT OF GENERATOR  EQUAL TO LINE
            ; INPUT : 1 BIT
            ;       V1 -> COMPARATOR OF VOLT(STAGE1)
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

SET_VOLT1:  MOV     OUTPUT1,#0FFH    ;LOAD MAX VOLT FOR DRIVE
            MOV     DPTR,#PORT_A     ;PORT A FOR CHANGE VOLT
            MOV     A,OUTPUT1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MOVX @DPTR,A        ;OUT DATA FOR DRIVE VOLT
DEC_VOLT:   DEC   OUTPUT1       ;DECREMENT VOLT
            MOV   A,OUTPUT1
            MOVX @DPTR,A
            JNB   V1,DEC_VOLT   ;UNTIL VOLT IS EQUAL.
            RET

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
            ; SET VOLT AGAIN AFTER SET FREQUENCY
            ; INPUT : 2 BIT
            ;       V1 -> COMPARATOR OF VOLT(STAGE1)
            ;       V2 -> COMPARATOR OF VOLT(STAGE2)
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

SET_VOLT2:  JNB   V1,END_SET_V  ;IF VOLT IS EQUAL DON'T SET AGAIN
            MOV    DPTR,#PORT_A
            JB    V2,DEC_V      ;IF CMP V2 = 0  DEC VOLT(GENERATOR)
INC_V:      INC   OUTPUT1       ;ELSE INC VOLT(GENERATOR)
            MOV   A,OUTPUT1
            MOVX @DPTR,A
            JNB   V1,INC_V      ;UNTIL VOLT IS EQUAL
            RET
DEC_V:      DEC   OUTPUT1       ;DEC VOLT(GENERATOR)
            MOV   A,OUTPUT1
            MOVX @DPTR,A
            JNB   V1,DEC_V      ;UNTIL VOLT IS EQUAL
END_SET_V:  RET

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
            ;SET FREQUENCY OF GENERATOR EUQAL TO LINE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ;BEGIN WITH MAX FREQUENCY OF GENERATOR
        ;AND DECREMENT UNTIL FREQUENCY IS EQUAL TO LINE
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

SET_FREQUENCY:  MOV     OUTPUT2,#0FFH    ; LOAD MAX FREQUENCY FOR
                                         ; DRIVE
                MOV     DPTR,#PORT_B     ; PORT B FOR CHANGE
                                         ; FREQUENCY
                MOV     A,OUTPUT2
                MOVX    @DPTR,A          ; OUT MAX FREQUENCY
DEC_F:          DEC     OUTPUT2          ; DEC FREQUENCY OF
                                         ; GENERATOR
                MOV     A,OUTPUT2
                MOVX    @DPTR,A
                ACALL   FREQUENCY_G      ; GET FREQUENCY OF
                                         ; GENERATOR
                ACALL   FREQUENCY_L      ; GET FREQUENCY OF LINE
                MOV     A,FG
                CJNE    A,FL,DEC_F       ; IF FREQUENCY NOT EQUAL
                                         ; DEC FREQUENCY
                RET                      ; UNTIL EQUAL

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
        ;GET FREQUENCY OF GENERATOR
        ;INPUT  BIT  1 BIT
        ;       F_G -> FREQUENCY CLOCK OF GENERATOR
        ;OUTPUT 1 BYTE
        ;       FG -> TIME OF 1/2 CYCLE (1 VALUE = 0.1 mS)
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FREQUENCY_G:   MOV    FG,#00H             ; COUNT OF TIME (1 VALUE = 0.1
                                          ; mS)
                 JNB    F_G,G_OFF         ; IF OFF STATE WAIT UNTIL ON
                                          ; STATE
WAIT_OFF_G:      JB     F_G,WAIT_OFF_G    ; ELSE WAIT UNTIL OFF STATE
TIME_G_OFF:    ACALL  DELAY_01MS          ; DELAY 0.1 mS
                 INC    FG                ; INCREMENT COUNT(0.1 mS)
                 JNB    F_G,TIME_G_OFF    ; INCREMENT COUNT UNTIL ON
                                          ; STATE
                 RET                      ; END;
G_OFF:           JNB    F_G,G_OFF         ; WAIT UNTIL ON STATE
TIME_G_ON:       ACALL  DELAY_01MS        ; DELAY 0.1 mS
                 INC    FG                ; INCREMENT COUNT(0.1 mS)
                 JB     F_G,TIME_G_ON     ; INCREMENT COUNT UNTIL OFF
                                          ; STATE
           RET

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
           ;GET FREQUENCY OF LINE
           ;INPUT  BIT  1 BIT
           ;      F_L -> FREQUENCY CLOCK OF LINE
           ;OUTPUT 1 BYTE
           ;      FG -> TIME OF 1/2 CYCLE (1 VALUE = 0.1 mS)
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

FREQUENCY_L:   MOV    FL,#00H         ; COUNT OF TIME (1 VALUE = 0.1 mS)
                 JNB    F_L,L_OFF     ; IF OFF STATE WAIT UNTIL ON
                                      ; STATE
WAIT_OFF_L:    JB     F_L,WAIT_OFF_L  ; ELSE WAIT UNTIL OFF STATE
TIME_L_OFF:    ACALL  DELAY_01MS      ; DELAY 0.1 mS
                 INC    FL            ; INCREMENT COUNT(0.1 mS)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            JNB     F_L,TIME_L_OFF  ; INCREMENT COUNT UNTIL ON STATE
            RET                     ; END;
L_OFF:      JNB     F_L,L_OFF       ; WAIT UNTIL ON STATE
TIME_L_ON:  ACALL   DELAY_01MS      ; DELAY 0.1 mS
            INC     FL              ; INCREMENT COUNT(0.1 mS)
            JB      F_L,TIME_L_ON   ; INCREMENT COUNT UNTIL OFF STATE
            RET


;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
            ; SET PHASE OF GENERATOR EQUAL TO LINE
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

SET_PHASE:    ACALL   FIND_PHASE_S   ; FIND PHASE OF S
              ACALL   FIND_PHASE_B   ; FIND PHASE OF B
PHASE_:       JNB  PHASE,PHASE_      ; WAIT UNTIL PHASE(COMPARATOR)
                                     ; EQUAL
              MOV  A,PHASE_S
       CJNE  A,PHASE_B,CLOSE_SW2     ; IF PHASE S<>PHASE B CLOSE SW2
CLOSE_SW1: CLR    SW1                ; ELSE CLOSE SW1
           RET
CLOSE_SW2: CLR    SW2
           RET

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
       ; FIND PHASE OF S
       ; INPUT 2 BIT
       ;       R_ -> CLOCK OF PHASE R
       ;       S_ -> CLOCK OF PHASE S
       ; OUTPUT 1 BYTE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;       PHASE_S -> STATE OF S IN MOMENT OF FAILING EDGE R
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

FIND_PHASE_S:   JNB     R_,R_OFF  ; IF R STATE IS OFF WAIT UNTIL ON
R_ON1:          JB      R_,R_ON1  ; ELSE WAIT UNTIL FAILING EDGE(OFF)
                JB      S_,S_ON   ; IF S IS ON SET PHASE_S
                SJMP    S_OFF     ; ELSE CLEAR PHASE_S
R_OFF:          JNB     R_,R_OFF  ; R STATE IS OFF, WAIT UNTIL ITS ON
R_ON2:          JB      R_,R_ON2  ; WAIT UNTIL FAILING EDGE OF R
                JB      S_,S_ON   ; IF S IS ON SET PHASE_S
S_OFF:          MOV     PHASE_S,#00H    ; ELSE CLEAR PHASE_S
        RET
S_ON:   MOV     PHASE_S,#01H
        RET

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
        ; FIND PHASE OF S
        ; INPUT 2 BIT
        ;       R_ -> CLOCK OF PHASE R
        ;       S_ -> CLOCK OF PHASE S
        ; OUTPUT 1 BYTE
        ;       PHASE_S -> STATE OF S IN MOMENT OF FAILING EDGE R
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

FIND_PHASE_B:   JNB     A_,A_OFF  ; IF A STATE IS OFF WAIT UNTIL ON
A_ON1:          JB      A_,A_ON1  ; ELSE WAIT UNTIL FAILING EDGE(OFF)
                JB      B_,B_ON   ; IF STATE B IS ON SET PHASE_B
                SJMP    B_OFF     ; ELSE CLEAR PHASE_B
A_OFF:          JNB     A_,A_OFF ; A STATE IS OFF, WAIT UNTIL ITS ON
A_ON2:          JB      A_,A_ON2 ; WAIT UNTIL FAILING EDGE OF A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            JB      B_,B_ON         ; IF STATE B IS ON SET PHASE_B
B_OFF:      MOV     PHASE_B,#00H    ; ELSE CLEAR PHASE_B
            RET
B_ON:       MOV     PHASE_B,#01H
            RET

;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
            ; DELAY 0.1 mS
            ; USES TIMER0 FOR DELAY 100 micro SEC
            ; CLOCK SPEED = 12 MH
            ; 1 VALUE DELAY = 1 micro SEC
;@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

DELAY_01MS:MOV  TL0,#9CH     ; 2'COMPLEMENT OF 100D(64H)
            SETB TR0         ; START TIMER
LQOP:       JNB  TF0,LOOP    ; WAIT UNTIL 100 micro SEC
            CLR  TR0         ; CLEAR TIMER
            CLR  TF0
            RET
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำต่างๆด้วยดีตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมงานในกลุ่มที่ให้ความร่วมมือจนโครงงานชิ้นนี้สำเร็จลงได้เป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ร่วมเป็นกำลังใจให้โดยตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สมยศ จุณณะปิยะ , " การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51" ,2537

[2] พิชิต ลำยอง , "เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1, เครื่องจักรกลไฟฟ้า 2 " คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537

[3] วิริยะ พิเชษฐจำเริญ ,"การใช้งาน อิเลคทรอนิคส์กำลัง" , ซีเอ็ดยูเคชั่น,2532

[4] นรินทร์ เนาประทีป , " ออปแอมป์ " กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

[5] บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด "CMOS DATA BOOK 4000 SERIES คู่มือ ซีมอส"

[6] คู่มือเทียบเบอร์ ไอซี TTL., บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

[7] A.E Fitzgerrald Charles Kingsley Jr Stephen. "Electric Machinery" Mc Graw-Hill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้