



การควบคุมการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ
AUTO-SYNCHRONIZATION FOR POWER SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2534

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2534

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เรื่อง

การควบคุมการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ
AUTO-SYNCHRONIZATION FOR POWER SYSTEM

โดย

นาย ศุภชัย น้อยลมทวน 31-1288

นาย ศุภเดช อุษาพร 31-1290

นาย สมศักดิ์ พิษเนศวร 31-1311

สุวัฒน์ โสมพงษ์

(สุวัฒน์ โสมพงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดลองวิธีการควบคุมการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เข้าสู่ระบบ โดยอัตโนมัติ (Auto-Synchronization for Power System) โดยวิธีการควบคุมความเร็วรอบของตัวต้นกำลังหรือตัวขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้ได้ความถี่เท่ากับความถี่ของระบบ และการควบคุมระดับแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้ได้เท่ากับระดับแรงดันของระบบ และที่สำคัญคือ การตรวจจับการลำดับเฟส (Phase Sequence) ของระบบและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่าเหมือนกันหรือไม่ โดยจะมีการปรับเปลี่ยนให้ตรงกันโดยอัตโนมัติ

ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดที่กล่าวมา จะควบคุมด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์ (Z-80) โดยจะควบคุมการทำงานตั้งแต่การออกตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, เร่งความเร็วรอบ, เพิ่มระดับแรงดัน, ตรวจสอบการลำดับเฟส (Phase Sequence Checking) จนสามารถทำการขนานเข้าสู่ระบบได้ โดยได้เชื่อมต่อกันระหว่างส่วนป้อนกลับสัญญาณความถี่และระดับแรงดันกับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งจะนำค่าสัญญาณทั้งสองมาประมวลผลโดยโปรแกรมการทำงาน ซึ่งสามารถตอบสนองการทำงานได้อย่างรวดเร็วและแน่นอน

ส่วนประเด็นที่ทำให้โครงการนี้เกิดขึ้นมาคือ ในปัจจุบันการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ส่วนมากยังใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์และการทำงานลำดับของรีเลย์อยู่ จึงเกิดความผิดพลาดหากนำวงจรรีเลย์ออกแล้วนำระบบไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งทำงานร่วมกับวงจรตรวจจับสัญญาณอีกเล็กน้อยเข้ามาแทนที่ น่าจะสามารถทำงานได้รวดเร็วและแน่นอนกว่า

Abstract

This project is a research of Auto-Synchronization for power system by speed controlling of prime mover generator-driver to take frequency equals frequency of system, controls voltage of generator to equal voltage of system and phase sequence checking of system and generator. It will be automatically tune these parameters.

All of systems are controlled by microprocessor (Z-80). These are generator starting, increase of speed and voltage, phase sequence checking that are controlled until it can synchronize to the system by taking frequency and voltage feedback to link with microprocessor system. Both of values are complied by program that responds operation rapidly and exactly.

Nowadays synchronizing method has used electronic circuit and relay. This makes idea to improve system to use microprocessor instead of it. Altogether bring signal checking circuit to link with, that responds operation rapidly and exactly.

สารบัญ

| | | |
|--|-----|-----|
| บทนำ | ... | 1 |
| บทที่ 1 หลักการและขั้นตอนการทำงาน | ... | 6 |
| บทที่ 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | ... | 18 |
| บทที่ 3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ | ... | 33 |
| บทที่ 4 การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง | ... | 39 |
| บทที่ 5 วงจรสร้างสัญญาณตรีก | ... | 67 |
| บทที่ 6 การตรวจจับสัญญาณ | ... | 79 |
| บทที่ 7 ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 | ... | 88 |
| บทที่ 8 โปรแกรมควบคุมการทำงาน | ... | 107 |
| บทที่ 9 ผลการทดลอง | ... | 126 |
| บทที่ 10 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง | ... | 151 |
| ภาคผนวก | ... | ... |
| กิตติกรรมประกาศ | ... | ... |
| หนังสืออ้างอิง | ... | ... |

บทนำ

โครงการนี้เป็นการศึกษาวิจัยการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบ โดยอัตโนมัติ ซึ่งควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ ในการใช้งานจริงแล้ว ส่วนต้นกำลังหรือตัวขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเรียกว่า Prime Mover จะเป็นเครื่องจักรที่ใช้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันดีเซล, ถ่านหิน ฯลฯ เป็นต้นกำลัง หรือใช้พลังงานน้ำที่มีระบบเทอร์โบเป็นตัวรับพลังงานจากน้ำแล้วถ่ายทอดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นว่าการควบคุมความเร็วของเครื่องจักรหรือเทอร์โบนั้นเป็นวิธีการที่ยุ่งยากและซับซ้อน สำหรับโครงการนี้จึงใช้มอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Motor) เป็นตัวขับ เพราะเป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานได้ง่ายและสะดวกกว่าการนำเครื่องจักรดีเซลหรือเทอร์โบพลังน้ำมาใช้งาน และที่สำคัญคือ สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ง่ายและสะดวกกว่ามาก โดยการควบคุมความเร็วรอบจะใช้เทคนิคการเปลี่ยนแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงแปรค่าได้ (1 ϕ Converter or Phase Control Rectifier) ก่อนจะกล่าวถึงรายละเอียดของโครงการนี้ขอแนะนำหลักการและวิธีการในการขนานเข้าสู่ระบบมากว่า ๗ ทิ้งก่อน

การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง

ในระบบไฟฟ้ากำลังประกอบด้วย โรงไฟฟ้าหลายๆโรง เพื่อที่จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอแก่ผู้บริโภค โดยจะมีโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องเป็นฐานโหลด (Base Load) คือผลิตกระแสไฟฟ้าตลอดเวลา โดยส่วนมากโรงไฟฟ้าเหล่านี้จะมีขนาดใหญ่และมีความสามารถในการผลิต (Capacity) สูง แต่ในช่วงที่โหลดมาก (Peak Load) คือผู้บริโภคมีความต้องการใช้กระแสไฟฟ้ามากซึ่งเกินความสามารถในการผลิตของโรงไฟฟ้าที่เดินเป็นฐานโหลด จึงจำเป็นต้องเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าเล็กๆที่มีอัตราเร็วสูงในการเดินเครื่องจนสามารถจ่ายโหลดได้ ให้เดินเครื่องทันทีเพื่อให้ทันต่อความต้องการของระบบ

สรุป โรงไฟฟ้าชนิดหลังจะเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการจ่ายโหลดให้แก่ระบบดียิ่งขึ้น ช่วยให้การจ่ายโหลดต่อเนื่องและทันต่อการใช้งาน นอกจากนี้ยังประหยัดราคาและพลังงาน เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรจะสูงที่สุดก็ต่อเมื่อทำงานที่หนัก ดังนั้นการใช้เครื่องจักรขนาดเล็กหลายๆตัวมาขนานกันจะดีกว่าใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ แต่ทำงานไม่ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการขนานเข้าสู่ระบบ

หลักในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจะต้องประกอบด้วยคุณสมบัติ 3 ประการ ดังนี้

- 1) ระดับแรงดัน (Voltage) ต้องเท่ากัน
- 2) ความถี่ (Frequency) ต้องเท่ากัน
- 3) การลำดับเฟส (Phase Sequence) ต้องตรงกัน

โดยจะขาดคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งมิได้ ถ้าขาดคุณสมบัติใดคุณสมบัติหนึ่งจะทำให้ไม่สามารถขนานกับระบบได้ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงอยู่เสมอ

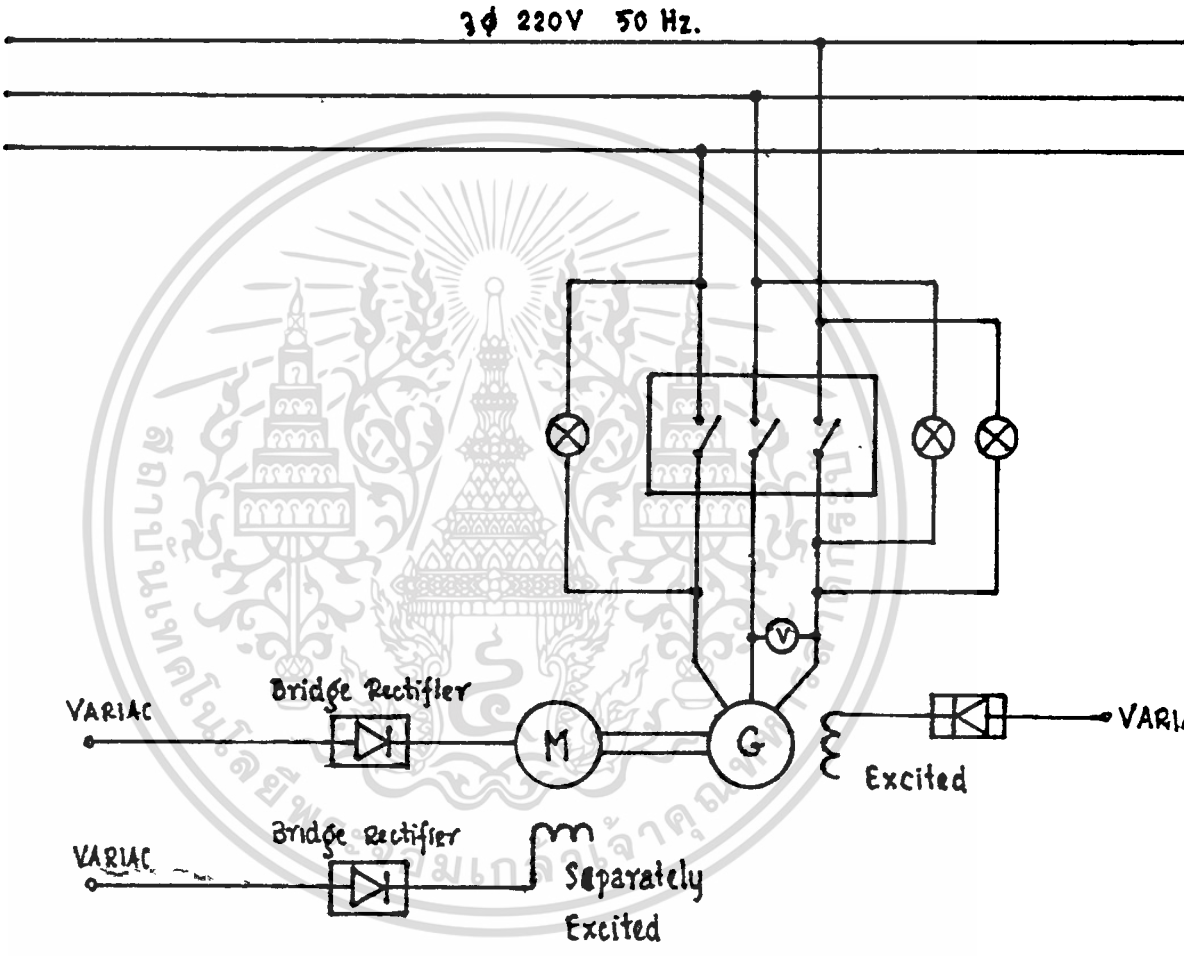
วิธีการขนานกับระบบ

การขนานกับระบบนั้น จะต้องผ่านขั้นตอนปรับความถี่และแรงดัน ให้เท่ากับระบบเสียก่อน จากนั้นจึงทำการตรวจสอบการลำดับเฟส ในกรณีที่ลำดับเฟสไม่ตรงกันก็ทำการเปลี่ยนแปลงให้ถูกต้อง ขั้นตอนสุดท้าย ทำการสับสวิทช์ขนานเข้าสู่ระบบ ส่วนรายละเอียดโดยรวมของการควบคุมทั้งหมดจะนำไปกล่าวในบทต่อไป ส่วนในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างในการขนานเข้าสู่ระบบ และวิธีการตรวจสอบการลำดับเฟส ดังต่อไปนี้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|----------------------------------|-------|
| 1. Variac | 3 ชุด |
| 2. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V | |
| 3. DC Motor ชนิดสนามกระตุ้นแยก | |
| 4. Bridge Diode | 3 ชุด |
| 5. Generator 3φ 220V/50 Hz | |
| 6. Synchroscope | 1 ชุด |
| 7. Technoscope | 1 ชุด |
| 8. Pilot lamp | 3 ดวง |

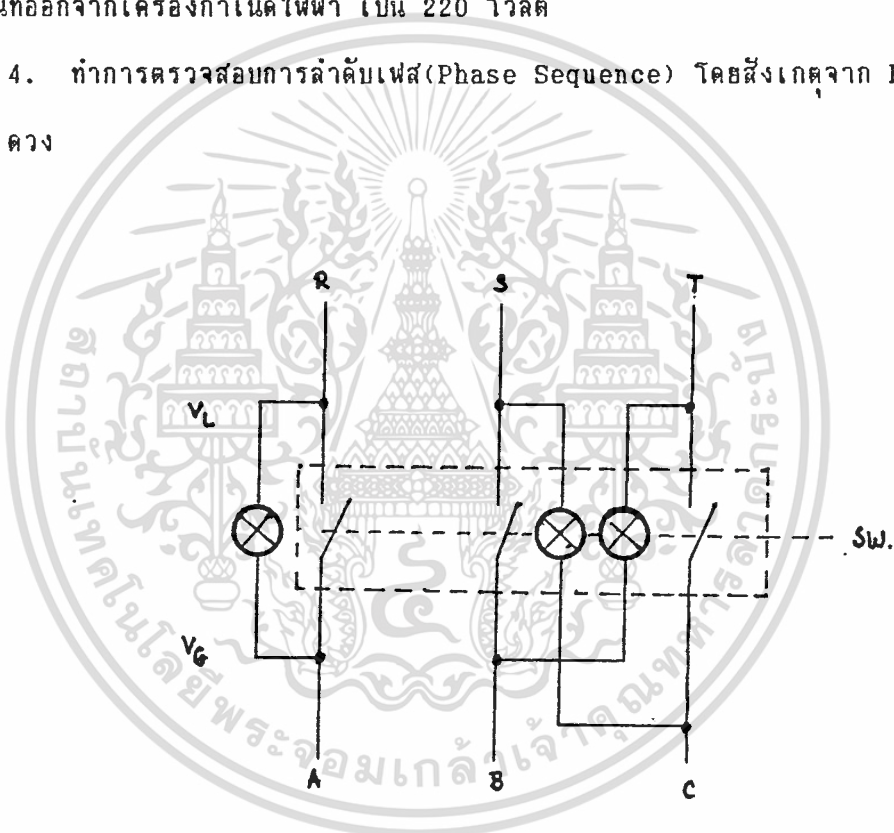
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ต่อดวงจรดังรูปข้างล่าง
2. ทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟ • เข้าสู่ชดลวดสนามกระตุ้นแยกส่วนของมอเตอร์กระแสตรงเพียงส่วนเดียวก่อน โดยป้อนแรงดันให้มีค่าคงที่ และให้เกิดทอร์คสูงๆ
3. ทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟโดย Variac เข้าสู่ชดลวดอาร์เมเจอร์ และชดลวดสนามกระตุ้น ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยค่อยๆปรับทั้ง 2 ด้านให้ได้ความเร็วรอบ = 1500 rpm และแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็น 220 โวลต์
4. ทำการตรวจสอบการลำดับเฟส(Phase Sequence) โดยสังเกตจาก Pilot Lamp ดัง 3 ดวง

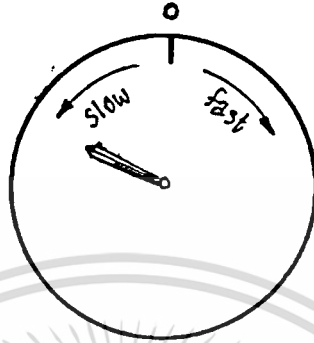


จากรูปเป็นการต่อแบบ One Dark Two Bright คือจะมีหลอดไฟสว่าง 2 ดวง วนกันไปเรื่อยๆ ถ้าต่อดวงจรตามนี้ แล้วตรวจสอบการดับ จากกรณีนี้ แสดงว่าการลำดับเฟส ของ Power Line และ Volt-Gen ต่างกันต้องทำการสลับสาย ทางด้านใดก็ได้ เพียงคู่เดียว

5. กรณีที่การลำดับเฟสต่างกัน แล้วทำการเปลี่ยนแล้ว จะเห็นว่าจะเกิดการดับการสว่าง ดังที่กล่าวมาแล้ว

6. จากนั้นทำการตรวจสอบ Phase Shift ระหว่าง Power Line และ Gen-Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูป เข็มจะหมุนไปเรื่อยๆ ขึ้นอยู่กับความถี่ ของ Power line กับ Gen Line ถ้าความถี่ต่างกันมาก เข็มจะหมุนเร็ว แต่ถ้าความถี่ต่างกันน้อย เข็มจะหมุนช้า ยิ่งความถี่ต่างกันน้อยมาก เข็มจะหมุนช้ามากๆ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการชานานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ โดยชะงักการสับสวิตช์ ได้ก็คือเมื่อ เข็มเคลื่อนมาใกล้จุดกึ่งกลาง หรือจุดศูนย์พอดี

7. ส่วนลูกศรแสดง SLOW หรือ FAST หมายถึง การนำหน้าหรือล่าหลังของความถี่ของ Power Line หรือ Gen Line.

บทที่ 1

หลักการและขั้นตอนการทำงาน

ระบบการทำงานทั้งหมดของโครงการนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยก
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (3φ AC-Generator)
3. วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
4. วงจรสร้างสัญญาณทริก
5. วงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณ
6. ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ (Z-80 Microprocessor)
7. โปรแกรมควบคุมการทำงาน
8. อุปกรณ์ติดต่อและส่วนแสดงผล

รายละเอียดในแต่ละส่วนจะกล่าวถึงในบทต่อไป ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและขั้นตอนการทำงานอย่างคร่าวๆ ของโครงการนี้

1. หลักการทำงาน

ในการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังนั้น จะต้องคำนึงถึงความถี่, ระดับแรงดัน และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การลำดับเฟส (Phase Sequence) หากการลำดับเฟสต่างกัน จะไม่สามารถทำการขนานได้เลย แต่ถ้าความถี่หรือระดับแรงดันต่างจากระบบไฟฟ้ากำลังเพียงเล็กน้อย และการลำดับเฟสถูกต้อง ก็สามารถทำการขนานเข้าสู่ระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 การควบคุมความถี่

เนื่องจากความถี่ของไฟกระแสสลับที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะแปรผันตรงกับความเร็วรอบ (rpm) ของตัวขับเคลื่อน (Prinemover) ดังสมการนี้

$$f = PN/120 \text{ Hz}$$

เมื่อ P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

N = ความเร็วรอบของตัวขับเคลื่อน (rpm)

f = ความถี่ที่ได้ (Hz)

ในโครงการนี้อุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนคือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยกส่วนเหตุผลที่ใช้มอเตอร์ชนิดนี้เนื่องจากให้ผลตอบสนองต่อความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ ซึ่งเป็นส่วนสนับสนุนให้ความถี่มีค่าคงที่ด้วย และเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการขนานเข้าสู่ระบบ เพราะหากมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ จะทำให้ความถี่แปรเปลี่ยนไปมาก ส่งผลให้ช่วงในการขนานยาวนานและยากต่อการควบคุมให้ความถี่คงที่ ซึ่งจะเห็นว่า การใช้มอเตอร์ที่ตอบสนองต่อความเร็วรอบที่ค่อนข้างคงที่มีประโยชน์ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังทำให้สะดวกต่อการควบคุมอีกด้วย เพราะจะแยกส่วนของสนามกระตุ้นออกจากวงจรรีเลย์อาร์เมเจอร์ ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์แปรผันตามระดับแรงดันกระแสตรงเข้าอาร์เมเจอร์เพียงอย่างเดียว ส่วนรายละเอียดในการควบคุมความเร็วรอบจะขอนำไปกล่าวในหัวข้อ มอเตอร์กระแสตรงชนิดสนามกระตุ้นแยกส่วน

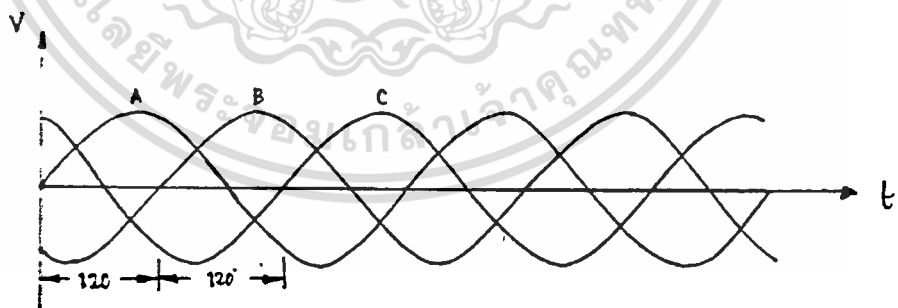
1.2 การควบคุมระดับแรงดัน

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้คือ Synchronous Generator แบบ 3 เฟส ซึ่งประกอบด้วย ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) คือ ส่วนแม่เหล็กหมุน และส่วนที่หมุน (Rotor) คือ ขั้วแม่เหล็กในการกำเนิดไฟฟ้าจะทำการป้อนแรงดันไฟกระแสตรงเข้าสู่ขั้วจรสนามกระตุ้น (Excited Field or Rotor) ซึ่งมีตัวขั้วเคลื่อน โดยที่โรเตอร์จะเกิดขั้วแม่เหล็กขึ้น หมุนไปตัดขดลวดของสเตเตอร์ เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ ซึ่งระดับแรงดันกระแสสลับที่ออกมาจะแปรตามระดับแรงดันที่เข้าสู่ขั้วจรโรเตอร์ ดังสมการ

โดยรายละเอียดและวิธีการควบคุมแรงดันกระแสตรงที่เข้าขดลวดโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะนำไปกล่าวในหัวข้อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

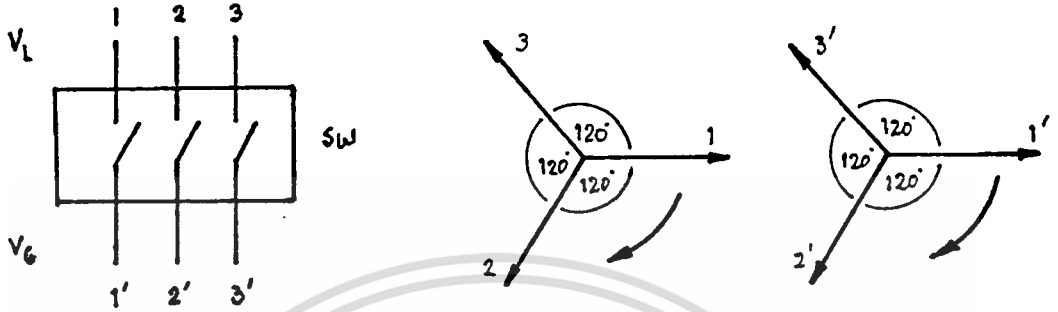
1.3 การทดสอบการล้าดับเฟส

การล้าดับเฟสของไฟกระแสสลับ 3φ นั้น แต่ละเฟสจะนำหน้าและล่าหลังกันอยู่ 120 องศา ดังรูป

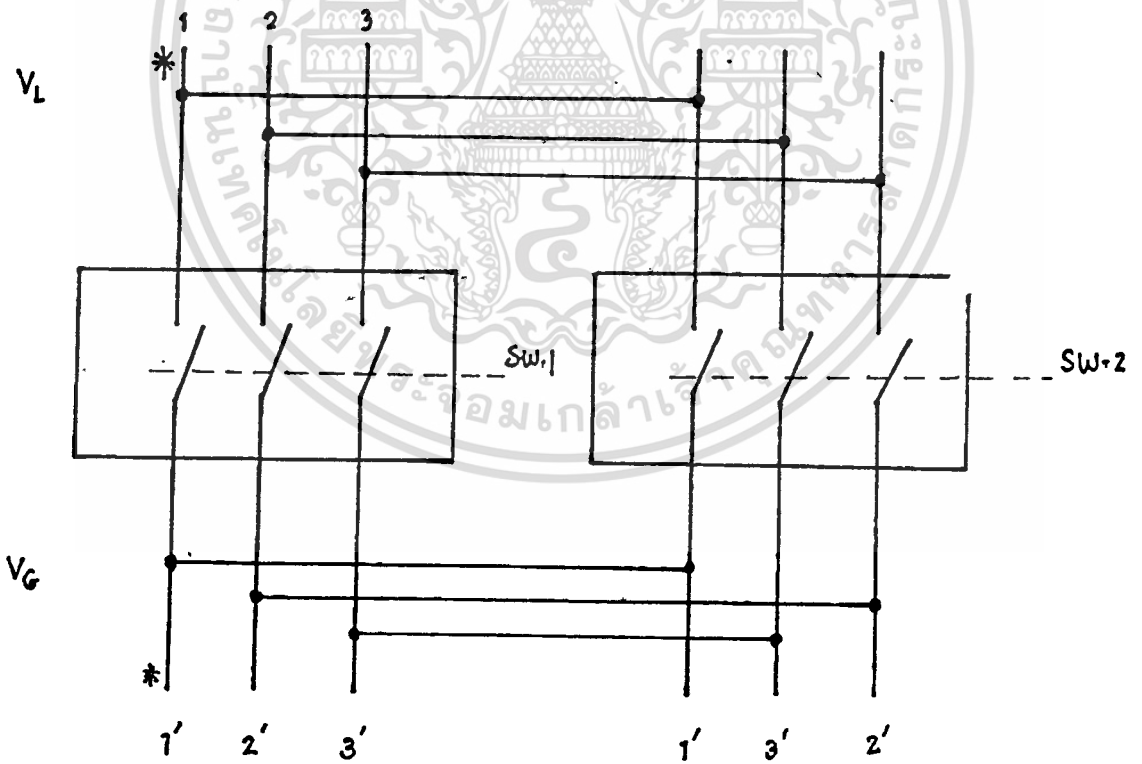


ในการตรวจสอบ จะทำการตรวจสอบการล้าดับเฟสของระบบไฟฟ้ากำลังก่อน แล้วจึงกลับไปตรวจสอบการล้าดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีหลักการว่า การล้าดับเฟสของระบบจะไปทางใด ก็จะทำให้การล้าดับเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นไปเช่นนั้นด้วย เช่น ถ้าการล้าดับเฟสของระบบมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) การล้าดับเฟสก็จะปรับให้เหมือนกับระบบ ดังรูป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยในการใช้งานจริงจะมีสวิตช์ 2 ชุด และมีการเชื่อมต่อ ดังรูป



โดยจะกำหนดเฟสหลักคือเฟส 1 ถ้าการลำดับเฟสของระบบและของเครื่องกำเนิดไฟ

ฟ้าไปทางเดียวกัน ก็จะสับสวิตช์ 1 ถ้าต่างกันก็จะสับสวิตช์ 2 ส่วนรายละเอียดรวมทั้งวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การตรวจรับสัญญาณจะนำมากล่าวในหัวข้อ การตรวจรับสัญญาณ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4' การขนานเข้าสู่ระบบ

การขนานเข้าสู่ระบบเป็นขั้นตอนสุดท้ายหลังจากมีการควบคุมความถี่และระดับแรงดันให้เข้าใกล้ หรือใกล้เคียงกับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีการตรวจจับสัญญาณและการเปรียบเทียบสัญญาณของแรงดันที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส นำสัญญาณเหล่านี้ป้อนเข้าสู่ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ประมวลผล และทำการควบคุมปัจจัยทั้งสองให้เข้าใกล้ระบบไฟฟ้ากำลังให้มากที่สุด หลังจากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าดับเฟส และผ่านเข้าสู่การขนานเข้าสู่ระบบ หลักการของการขนานเป็นการรอจังหวะให้สัญญาณของระบบไฟฟ้ากำลัง และของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเฟสเดียวกัน (In-Phase) หรือทับกันพอดี จึงทำการส่งสัญญาณสั่งให้อุปกรณ์ตัดต่อทำงาน

2. ขั้นตอนการทำงาน

2.1 บล็อกไดอะแกรม และขั้นตอนการทำงานในการขนานเข้าสู่ระบบ

จากบล็อกไดอะแกรมที่แสดงการทำงานในการเข้าสู่ระบบสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ชั้นแรกโปรแกรมจะแสดงสถานะของระบบว่าขณะนี้เครื่องจักรทั้งหมดอยู่ในสภาพหยุดนิ่งอยู่ อุปกรณ์ตัดต่อทุกส่วนยังเปิดวงจรอยู่ และในขณะเดียวกันก็รอสแตร์ทเครื่องอยู่ เมื่อมีสัญญาณสั่งก็จะเริ่มทำงานทันที

2) เมื่อมีสัญญาณสั่งเดินเครื่องโปรแกรมจะสับสวิทช์ให้แหล่งจ่ายไฟเข้าสู่วงจรอาร์เมเจอร์ และวงจรสนามกระตุ้นแยกส่วนของมอเตอร์เพียง2ส่วนก่อนจากนั้นจึงเพิ่มความเร็วยรอบของมอเตอร์ขึ้นเรื่อยๆ

3) เมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ประมาณ120%ของพิกัดความเร็ว จึงทำการปรับระดับแรงดันเข้าสู่วงจรสนามกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเพิ่มระดับแรงดันขึ้นเรื่อยๆ

4) หลังจากเพิ่มแรงดันจนมีค่าประมาณ 90% ของพิกัดแรงดันจึงทำการเปรียบเทียบสัญญาณจากวงจรตรวจจับว่าขณะนั้น แรงดันและความถี่ใกล้เคียงระบบหรือไม่ ถ้าไม่เอกสารก็จะปรับให้ใกล้เคียงที่สุดสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อระดับแรงดันและความถี่ได้ประมาณเท่ากับระบบแล้ว จึงทำการตรวจสอบการลัดับเฟส โดยตรวจสอบของระบบไฟฟ้ากำลังก่อน แล้วจึงตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

6) หลังจากตรวจสอบการลัดับเฟสถูกต้องแล้ว จะทำการขนานกันที่โศกการรอจังหวะให้สัญญาณระหว่างระบบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเฟสเดียวกัน ก็ทำการสับสวิตช์ขนานได้ เป็นอันว่า การขนานเข้าสู่ระบบเสร็จสิ้น

2.2 บล็อกไดอะแกรมและขั้นตอนการทำงานในการทดสอบเครื่อง

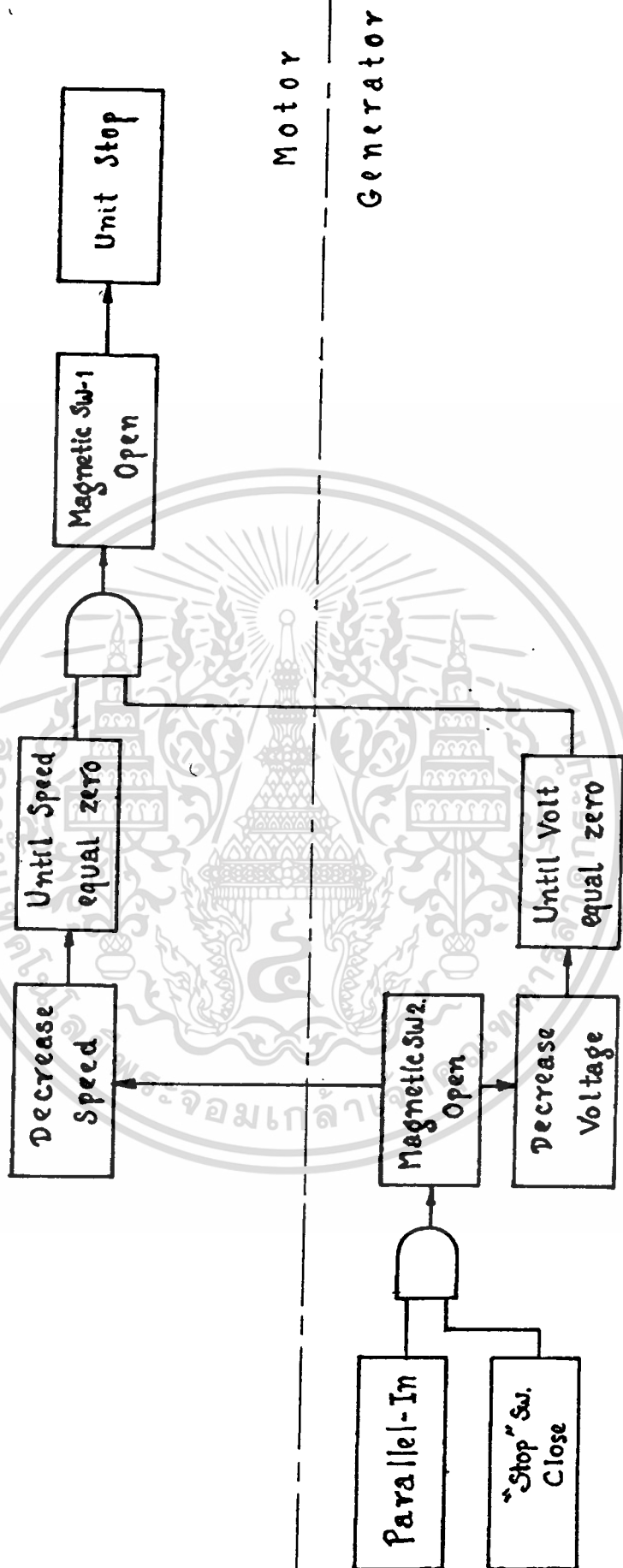
1) ขั้นแรก โปรแกรมจะแสดงสภาวะการทำงานของระบบขณะนั้นว่า ขณะนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังทำการขนานระบบอยู่ขณะเดียวกันก็รอคำสั่งในการออกจากการขนาน(Parallel-Out) หรือหยุดเครื่อง

2) เมื่อมีคำสั่งหยุดเครื่อง จะทำการเปิดสวิตช์ที่เชื่อมต่อระหว่างระบบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากกัน

3) ทำการลดระดับแรงดันและความเร็วรอบของมอเตอร์ลงเรื่อยๆ

4) เมื่อความเร็วรอบและระดับแรงดันประมาณศูนย์ ก็ทำการเปิดสวิตช์ที่เป็นตัวเชื่อมแหล่งจ่ายให้แก่มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออก

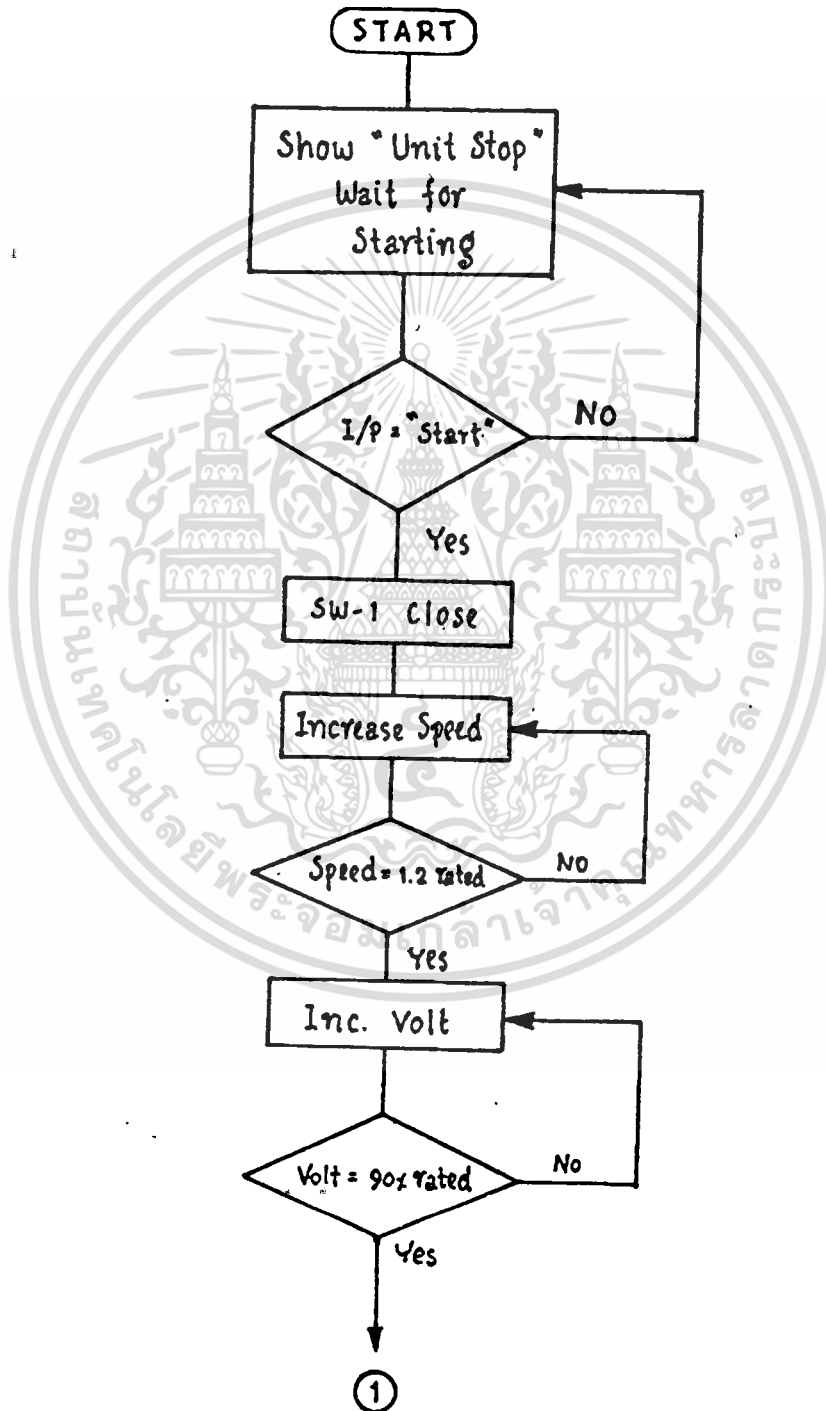
5) เมื่อทุกอย่างหยุดนิ่ง โปรแกรมจะแสดงสภาวะที่เป็นอยู่คือ หยุดนิ่งและขณะเดียวกันจะรอคำสั่งในการขนานต่อไป



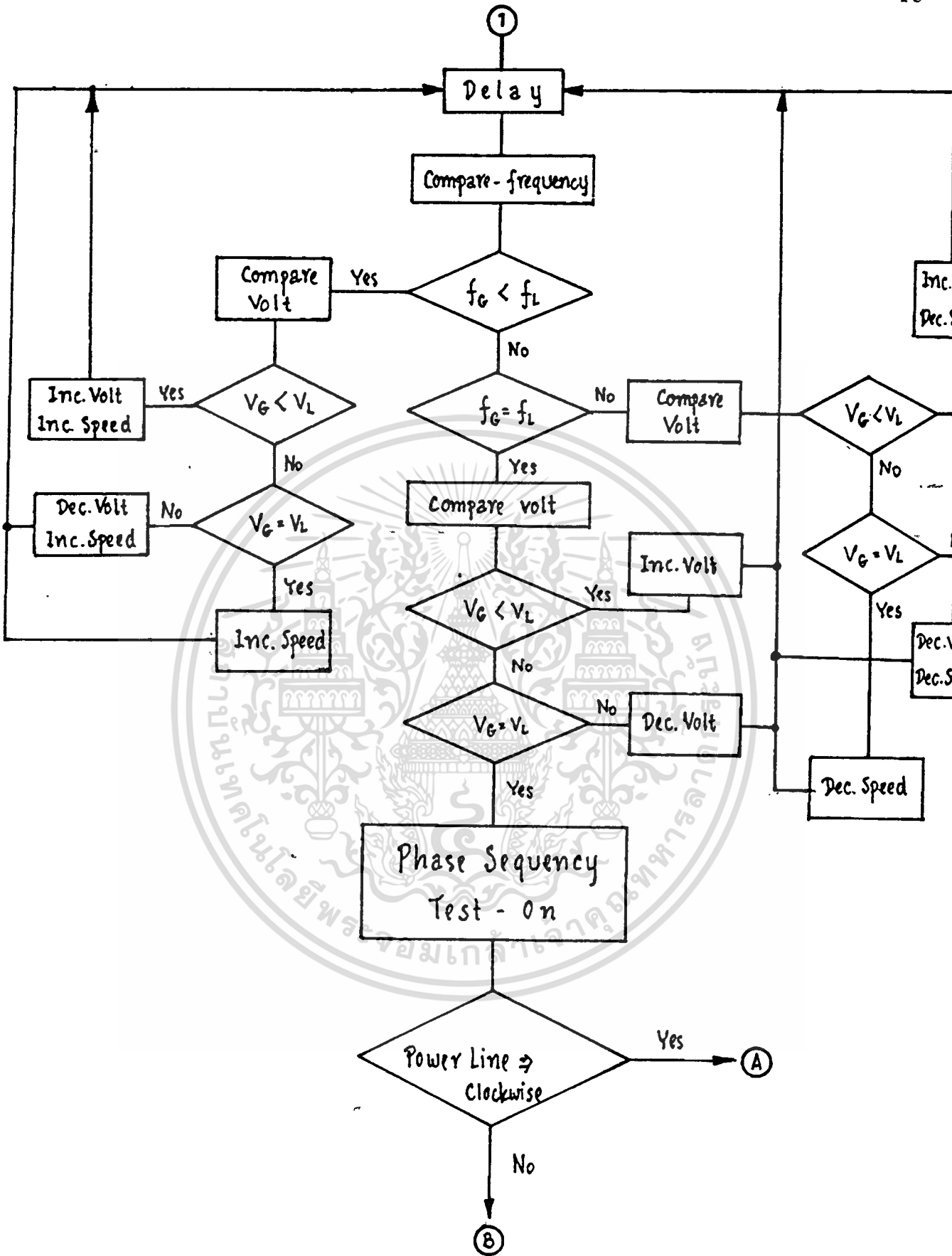
Block Diagram of System Stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

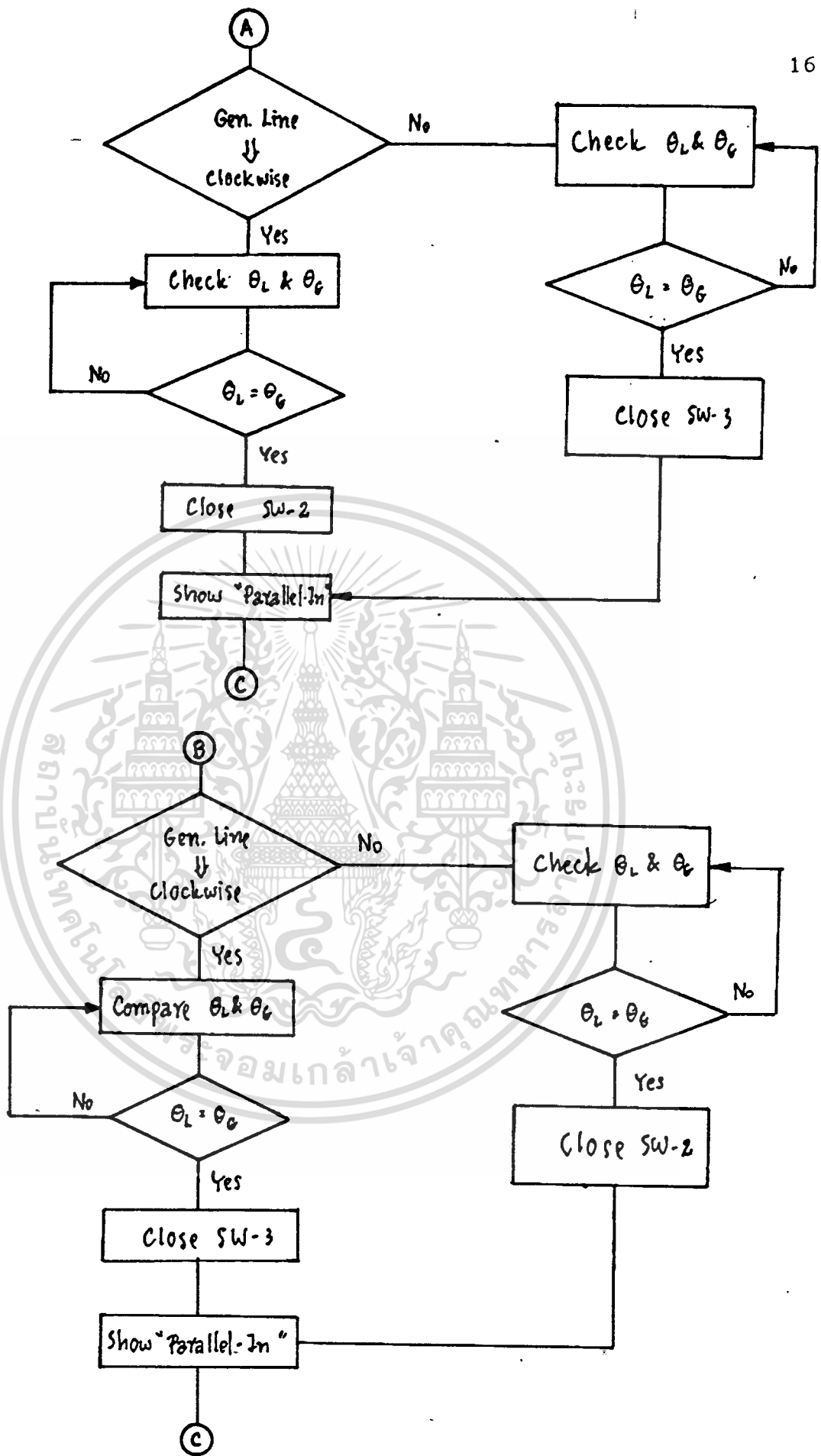
2.3 ฟิล์วชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงาน



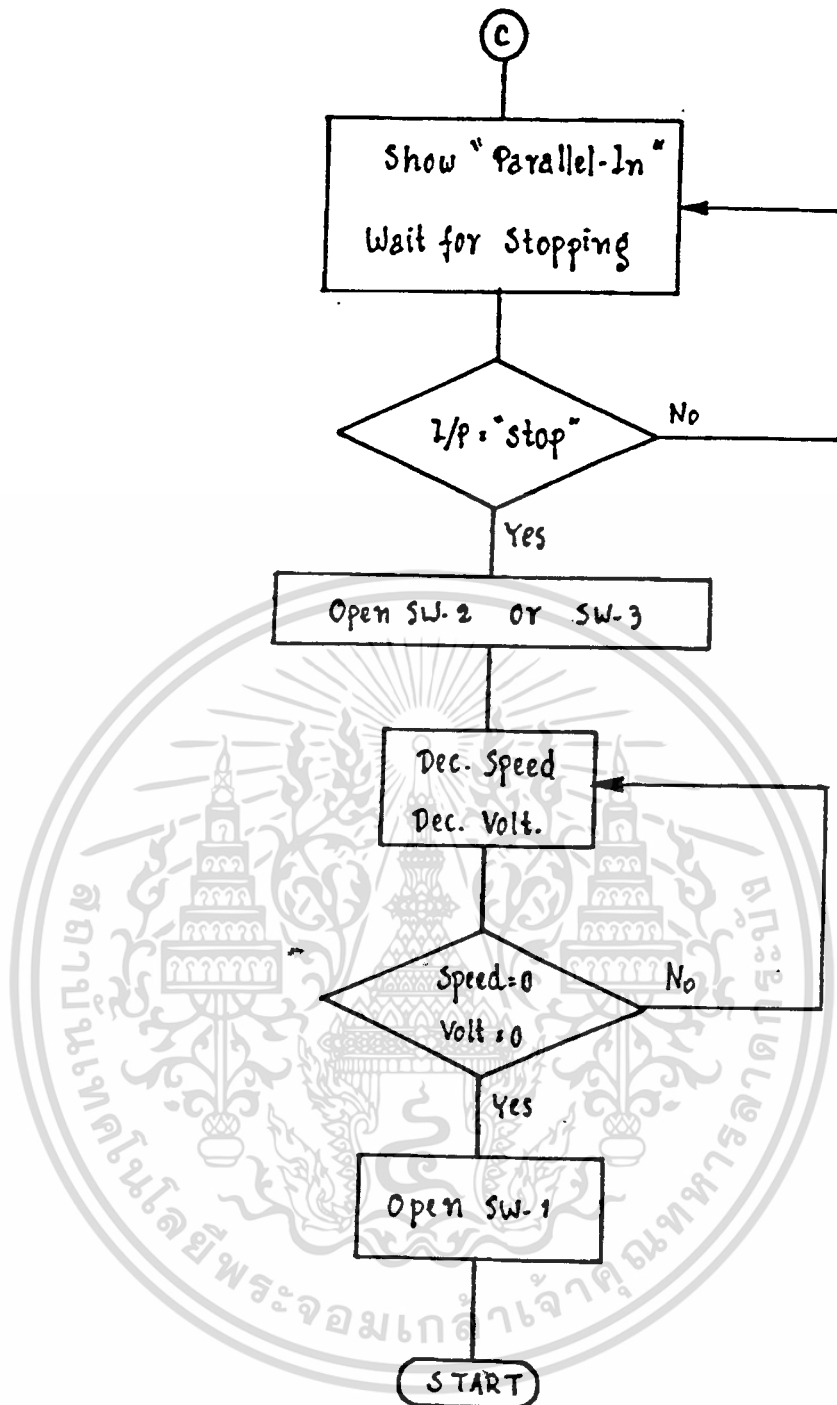
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

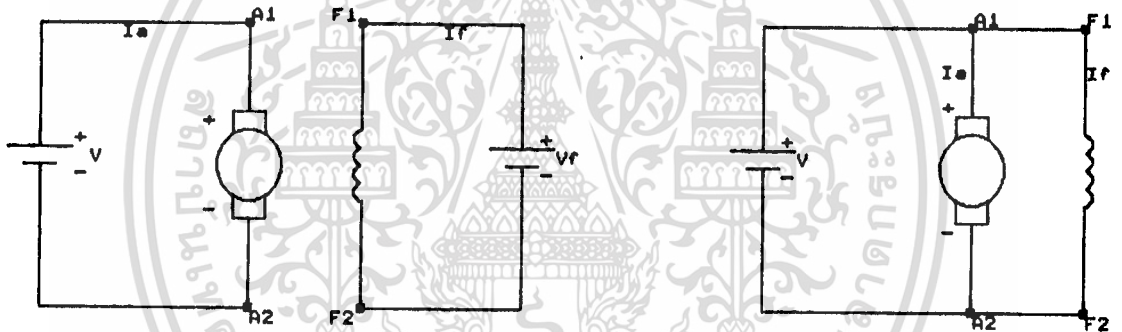
บทที่ 2

มอเตอร์กระแสตรง

(DC MOTOR)

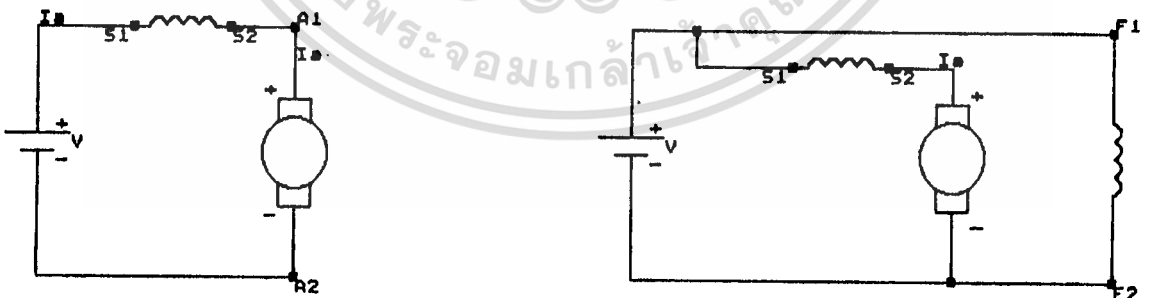
ในบทนี้จะได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดในสภาวะคงที่ และวิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

ปกติแล้วมอเตอร์กระแสตรงจะมีการต่อใช้งานดังรูปที่ 2.1



(a) Separately excited

(b) Shunt



(c) Series

(d) Cumulative compound

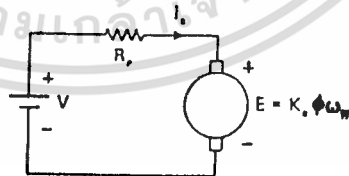
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของ Separated excited motor แรงดันที่ป้อนให้ขดลวดสร้างสนามและขดลวดอาเมเจอร์สามารถควบคุมโดยอิสระจากกันได้ ใน Shunt motor ขดลวดสร้างสนามและขดลวดอาเมเจอร์จะถูกเชื่อมกับแหล่งจ่ายเดียวกัน ดังนั้นการควบคุมกระแส field หรือ แรงดัน armature ทำได้โดยแยกความต้านทานในตำแหน่งที่เหมาะสม แต่การควบคุมชนิดนี้ มีประสิทธิภาพต่ำ ในกรณีของ Series motor กระแส field เป็นตัวเดียวกับกระแส armature ทำให้ field flux เป็นฟังก์ชันของกระแส armature ส่วนใน Cumulative compound motor , Magnetomotive force ของ Series field เป็นฟังก์ชันของกระแส armature และมีทิศทางเดียวกับ mmf ของ Shunt field

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิด ในสภาวะ steady-state

วงจรสมมูลในสภาวะ steady-state ของ DC machine แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลในสภาวะ steady-state ของวงจรอาเมเจอร์ของ DC motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการที่ขอใช้เท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทาน R_a คือ ความต้านทานของวงจรมอเตอร์ สำหรับ separated excited และ shunt motor , R_a เสมือนความต้านทานของ armature winding; และ สำหรับ series และ compound motor , R_a คือ ผลรวมของความต้านทาน armature winding กับ series field winding

สมการพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรง คือ

$$E = K_a \phi \omega_m \quad \dots (2.1)$$

$$V = E + R_a I_a \quad \dots (2.2)$$

$$T = K_a \phi I_a \quad \dots (2.3)$$

เมื่อ

- ϕ = flux per pole , Webers
- I_a = กระแสอาร์เมเจอร์ , A
- V = แรงดันอาร์เมเจอร์ , V
- R_a = ความต้านทานของวงจรมอเตอร์ ,
- ω_m = ความเร็วของอาร์เมเจอร์ , rad / sec
- T = แรงบิดที่สร้างโดยมอเตอร์ , N-m
- K_a = ค่าคงที่

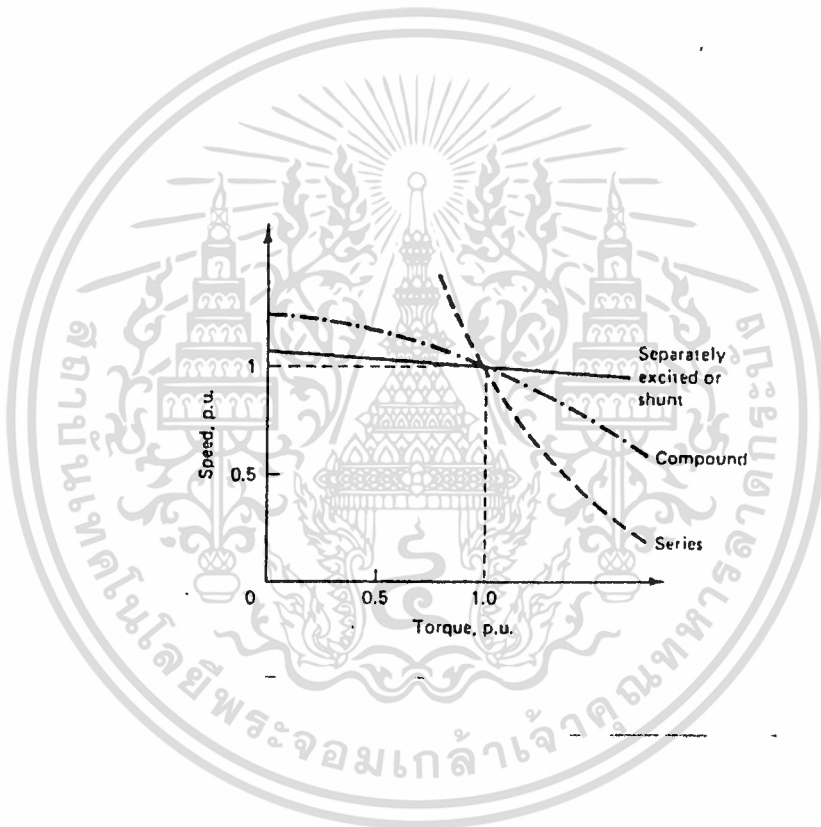
จากสมการ (2.1) ถึง (2.3)

$$\omega_m = (V/K_a \phi) - (R_a/K_a \phi) I_a \quad \dots (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่(2.1)ถึง(2.5)สามารถนำมาใช้ได้กับมอเตอร์ทั้งสามชนิด คือ separately excited, series และ compound motor ซึ่งสมการที่ (2.5) เราสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิด(speed-torque characteristic) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรง

ในกรณีของseparately excited motor ถ้าเราปรับแรงดัน field ที่คงที่ flux ที่ได้จะคงที่ด้วย ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $K_{\phi} = K$ (constant) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์(2.6) คำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้สมการ (2.1) , (2.3) และ (2.4) ถึง (2.6) กลายเป็น

$$T = K I_m \quad \dots (2.7)$$

$$E = K \omega_m \quad \dots (2.8)$$

$$\omega_m = (V/K) - (R_a/K) I_m \quad \dots (2.9)$$

$$\omega_m = (V/K) - (R_a/K^2) T \quad \dots (2.10)$$

ดังนั้น speed - torque characteristic ของ separately excited motor จึงมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ (2.3) ซึ่ง no-load speed (ω_{m0}) พิจารณาจากค่าแรงต้านเวลาแม่เหล็กและ field excitation ขณะที่ความเร็วลดลง แรงบิดจะเพิ่มขึ้น และ speed regulation จะขึ้นอยู่กับความต้านทานของวงจรรวมแม่เหล็ก ; R_a (ตามสมการ (2.10)) ซึ่งโดยปกติแล้ว ความเร็วจะตกลงจาก no-load ถึง full-load ในกรณีของมอเตอร์ขนาดกลาง ประมาณ 5 % ดังนั้น separately excited motor มักจะถูกนำไปใช้ในงานที่ต้องการ speed regulation ดี ๆ และสามารถปรับ ความเร็วได้

ในกรณีของ series motor , ฟิลลักซ์แม่เหล็กจะเป็นฟังก์ชันของกระแสแม่เหล็ก (ในตำแหน่งแกนเหล็กไม่ล้นตัว) วัตถุประสงค์ ϕ จะแปรผันตรงกับ I_m ดังนั้น

$$\phi = K_f I_m \quad \dots (2.11)$$

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

$$T = K_m K_c J_m^2 \quad \dots (2.12)$$

$$W_m = (V/K_m K_c I_m) - (R_m/K_m K_c) \quad \dots (2.13)$$

$$= (V/J_m K_c) * 1/T - (R_m/K_m K_c) \quad \dots (2.14)$$

ซึ่งความต้านทานของวงจรมอเตอร์; R_m อยู่นั้นเป็นผลรวมของความต้านทานของ
ขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดสนามรวมกัน

Speed-torque characteristic ของ DC series motor ดังแสดงในรูป 2.3 ใน
กรณีของ series motor เราสามารถเพิ่มแรงบิดได้โดยการเพิ่มกระแสอาร์เมเจอร์ซึ่งจะส่งผล
ให้ฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้นความเร็วจะต้องลดลงจนถึง จุดสมดุล ระหว่าง
induced voltage กับ supply voltage จากคุณสมบัตินี้ ทำให้เส้น curve ของ
series motor ตามรูป (2.3) มีความชันสูง ตามมาตรฐานแล้ว มอเตอร์จะถูกออกแบบให้ทำ
งานที่จุดหักมุม (the knee point) ของ magnetization characteristic ที่
แรงบิดที่พิกัด จะขึ้นเมื่อแรงบิดโวลต์โหลดมาก ๆ จะทำให้แกนเหล็กอิ่มตัว และ speed-
torque curve จะมีลักษณะคล้ายเส้นตรง

Series motor เหมาะสมกับการนำไปใช้งานที่ต้องการ starting torque สูง ๆ และ
มีแรงบิดที่โวลต์โหลดมาก ๆ ตามสมการที่ (2.14) ความเร็วจะแปรผกผันกับรากที่สองของ
แรงบิด นั่นคือ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลง และโดยทั่วไปแล้ว ตามโครงสร้าง
ทางกลศาสตร์ของมอเตอร์กระแสตรง สามารถที่จะนำไปใช้งานที่ความเร็วประมาณ 2 เท่า
ของความเร็วที่พิกัดได้ ดังนั้น series motor ไม่ควรวินที่โวลต์ที่แรงบิดโวลต์ค่ามาก ๆ

เพราะจะทำให้ความเร็วเกิน 2 เท่าของความเร็วที่พิกัด series motor สามารถที่จะนำไป
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ประยุกต์ใช้กับโวลต์ที่ออกค้วบอย ๆ และแรงบิดโวลต์โหลดน้อย ๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ cumulative compound motor เราสามารถศึกษาคุณลักษณะตามสมการที่ (2.1) ถึง (2.3) ได้เช่นเดียวกัน ซึ่ง speed-torque characteristic แสดงดังในรูปที่ 2.3 จากรูป ความเร็วขณะไว้โหลจะขึ้นกับ shunt field และความเร็วที่ตกลงมา ขึ้นกับ series field ดังนั้น cumulative compound motor สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับ series motor โดยที่ความเร็วขณะไว้โหล จะถูกจำกัดไว้ในค่าที่ปลอดภัยโดย shunt field ตัวอย่างเช่น ลิฟต์ , เครื่องกว้าน อีกทั้งมอเตอร์ชนิดนี้ ก็อาจนำมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโหลมีค่าเปลี่ยนแปลงมาก คือ จากสภาวะไว้โหลจนถึงสภาวะรับโหลหนักมาก ๆ โดยการติดตั้ง fly-wheel เพิ่มขึ้นที่แกนเพลลาของมอเตอร์ ในช่วงที่โหลหนัก ๆ จะมีพลังงานส่วนหนึ่งเก็บสะสมที่ fly-wheel และในระหว่างที่โหลหนัก ๆ ความเร็วจะตกลงตามคุณสมบัติของมอเตอร์ ผลของพลังงานที่เก็บสะสมใน fly-wheel จะถูกจ่ายกลับมาช่วยเสริม ทำให้สามารถจ่ายโหลที่ต้องการแรงบิดมาก ๆ ได้ การประยุกต์แบบนี้ปกติจะมีใช้ใบมอเตอร์ขนาดเล็ก เช่น นำไปใช้ในเครื่องอัด

characteristic curve ในรูปที่ 2.3 นี้ เราเรียกว่า the natural speed-torque characteristic เพราะว่าเส้นกราฟต่าง ๆ เราได้รับจากการที่มอเตอร์ถูกนำไปใช้งานที่แรงดันที่พิกัดและ rated flux ไม่มีความต้านทานภายนอกอื่น ๆ มาลดทอน กับอาเมเจอร์หรือ field เลข

2.2 วิธีการควบคุมความเร็ว

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์กระแสตรงตามสมการที่ (2.5) แสดงว่าเราสามารถควบคุมความเร็วได้ 3 วิธี ดังนี้คือ

- 1 การควบคุมแรงดันอาเมเจอร์ (Armature Voltage Control)
- 2 การควบคุมฟลักซ์สนาม (Field Flux Control)
- 3 การควบคุมความต้านทานอาเมเจอร์ (Armature Resistance Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

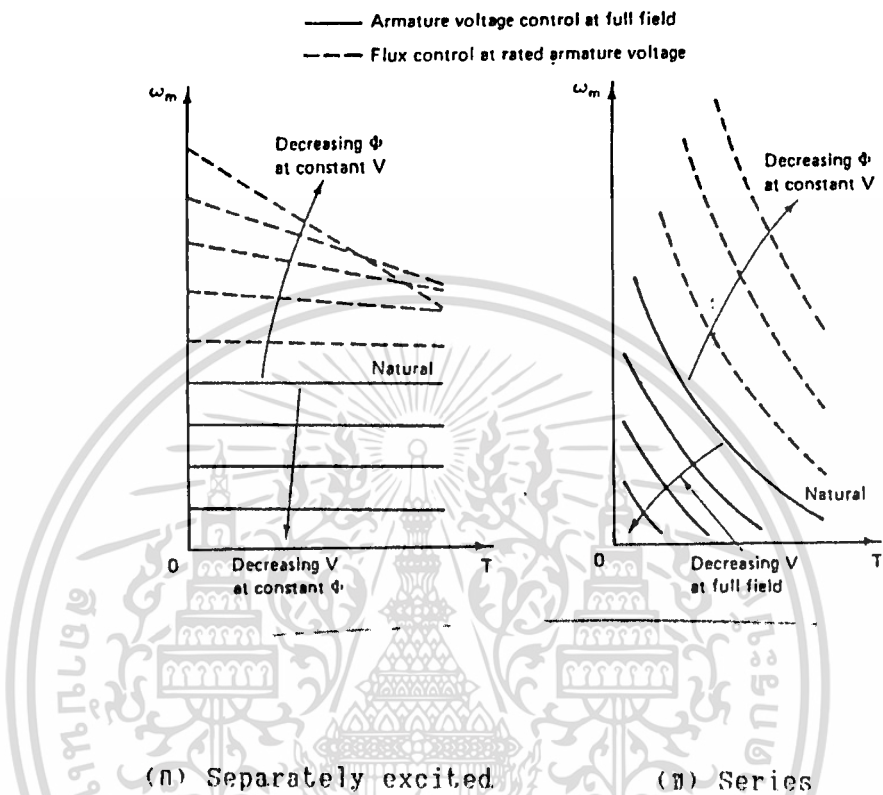
2.2.1 Armature Voltage Control

ถ้าแรงดันอาเมเจอร์ของ separated excited หรือ series DC motor ที่กำลังวิ่งอยู่ที่สภาวะคงที่ ถูกลดลงเป็นปริมาณหนึ่ง ๆ ตามรูปที่ 2.2 กระแสอาเมเจอร์จะลดลงเป็นผลให้แรงบิดของมอเตอร์ลดลงด้วย ในขณะที่แรงบิดของมอเตอร์น้อยกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการ มอเตอร์จะเกิดความหน่วง เป็นสาเหตุให้ความเร็วและ back emf ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดที่โหลดต้องการ ถ้าแรงดันอาเมเจอร์ของ separately excited motor ถูกลดเป็นปริมาณมาก ๆ ซึ่งอาจน้อยกว่า back emf จุดนี้ทำให้กระแสอาเมเจอร์จะไหลกลับทาง ในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) สร้างแรงบิดที่ตรงข้าม (negative torque) จนกระทั่งความเร็วของมอเตอร์ตกลงถึงค่าที่ทำให้ back emf เสมอภาคกับแรงดันอาเมเจอร์ ส่วนในกรณีของ series motor เมื่อแรงดันอาเมเจอร์ถูกลดลงเป็นปริมาณมาก ๆ มันจะไม่ทำงานเป็น generator แต่ที่เกิดความหน่วง เพราะที่แรงบิดของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการ

ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันอาเมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรงที่กำลังวิ่งอยู่ที่ ω สถานะคงที่ ถูกเพิ่มขึ้นตามสมการที่ (2.2) และ (2.3) กระแสอาเมเจอร์จะเพิ่มขึ้น เป็นผลให้แรงบิดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นแล้ว มอเตอร์จะเกิดอัตราเร่งทำให้ความเร็วของมอเตอร์ และ back emf เพิ่มขึ้น จนกระทั่งไปสู่จุดสมดุลใหม่ คือ แรงบิดของมอเตอร์ เท่ากับแรงบิด ที่โหลดต้องการ ที่ความเร็วที่สูงกว่าเดิม

ขณะเพิ่มหรือลดความเร็ว แรงดันอาเมเจอร์ควรจะเปลี่ยนทีละน้อย ๆ เพราะการเปลี่ยนแรงดันอาเมเจอร์ทีละมาก ๆ นั้น เป็นสาเหตุให้กระแสไหลผ่านอาเมเจอร์เป็นปริมาณมาก ซึ่งจุดนี้อาจจะทำความเสียหายให้กับคอมมิวเตเตอร์หรือลวดอาชุกาไรใช้งานของมอเตอร์ลงได้

Steady-state speed-torque characteristic ของ separately และ series DC motor ที่แรงดันอาเมเจอร์ต่าง ๆ กัน แสดงดังรูป 2.4(ก) และ (ข) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงภาพ speed-torque ของมอเตอร์แบบ separately และ series ด้วยวิธีการลดแรงดันอาเมเจอร์

มอเตอร์สามารถทำงานที่ ความเร็ว-แรงบิด ใด ๆ ก็ได้ ระหว่าง the nature speed-torque curve และ แกนของแรงบิดในกราฟ ในกรณีของ separately excited motor การปรับแรงดันอาเมเจอร์จะเป็นการปรับความเร็วที่สภาวะไว้ไหลด และ speed-torque characteristic ซึ่งจะเป็นเส้นตรงที่ขนานกันตามรูป 2.4(ก) เนื่องจากเราไม่สามารถเพิ่มแรงดันอาเมเจอร์เกินค่าที่พิกัดได้

ดังนั้น การควบคุมความเร็วชนิดนี้ จะใช้ได้เฉพาะการทำงานของมอเตอร์ที่ต่ำกว่าเส้น natural speed-torque characteristic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่สำคัญของการควบคุมความเร็วชนิดนี้ คือ nature speed-torque และความชันของ speed-torque characteristic จะไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการปรับความเร็ว อีกทั้งมันยังเหมาะสมกับการควบคุมชนิด constant torque drive เพราะกระแสลาเมเจอร์สามารถปรับถึงสูงสุดตลอดการปรับความเร็ว เป็นผลให้เราสามารถปรับแรงบิดจากต่ำสุดถึงสูงสุดได้ตลอดการปรับความเร็วเช่นเดียวกัน นั่นแสดงว่ามอเตอร์จะให้แรงบิด ได้เท่าที่สมกับโหลดเสมอ ไม่ว่าความเร็วไหนก็ตาม

การปรับ DC Voltage สามารถใช้ semiconductor converters คือ

1. Controlled rectifier (หรือ AC to DC converter)
2. Chopper (DC to DC converter)

2.2.2 Field Flux Control

ถ้า field ของ separately excited หรือ series motor ที่กำลังวิ่งอยู่ที่ ω ความเร็วหนึ่งก่อนแล้ว จะทำให้ induced emf ลดลง และเนื่องจากความต้านทานอาเมเจอร์มีค่าต่ำจึงทำให้กระแสเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณมากกว่าการลดลงของ field flux เป็นผลให้แรงบิดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นเป็นปริมาณมากด้วย ซึ่งจะมากกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการ ทำให้มอเตอร์เร่งความเร็วและ back emf จะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมอเตอร์จะมาถึงจุดสมดุลที่ความเร็วใหม่ที่สูงกว่าเดิม ที่ซึ่งแรงบิดของมอเตอร์เท่าเทียมกับแรงบิดที่โหลดต้องการอีกครั้ง การที่ field อ่อนตัวลงสท่างมากมาขยกระแสจะไหลท่่าอย่างสูง เป็นอันตรายขท่างถึง ดังนั้นเราควรปรับ field ให้ก่อนตัวที่ละน้อย ซ้ำ ๆ

ในทางกลับกัน เมื่อ field ของ separately excited motor เพิ่มขึ้น induced emf จะเพิ่มขึ้นและเป็นธรรมชาติที่จะเกินแรงดันที่แหล่งจ่าย เป็นเหตุให้กระแสลาเมเจอร์ไหลกลับทาง นั่นคือ มอเตอร์จะทำงานในลักษณะเป็น generator และไอออนพลังงานกลับสู่ระบบของแหล่งจ่าย พลังงานนี้ได้มาจากพลังงานจลน์ของเครื่องจักรและโหลด เนื่องจากความเร็วลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งมอเตอร์เข้ามาสู่จุดสมดุลที่ความเร็วใหม่ ซึ่งน้อยกว่าเก่า ที่ซึ่งแรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดที่โหลดต้องการ ในกรณีของ series motor การเพิ่ม field จะทำให้กระแสลาเมเจอร์ลดลงอย่างมาก (แต่ไม่กลับทิศ) เพราะว่าแรงบิดของมอเตอร์ต่ำกว่าแรงบิดที่โหลดต้องการ มอเตอร์จึงเกิดความหน่วงความเร็วจะลดลง จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์เท่ากับแรงบิดที่โหลดต้องการ Steady-state speed-torque characteristic ของ separately excited และ series motor ที่ลด flux แสดงดังรูป 2.4(ก) และ 2.4(ข) (เส้นประ) จากสมการที่ (2.5) ความเร็วเป็นฟังก์ชันกำลังสองของ flux ดังนั้นเราจึงลด flux มากเท่าใด ความชันของ speed-torque curve จะยิ่งเพิ่มขึ้น

ในกรณีของ shunt motor ความเร็วจะต่ำที่สุดเมื่อ full field โดยไม่มีความต้านทานภายนอกมาต่ออยู่ที่วงจร field ในกรณีของ separate excited motor ความเร็วต่ำสุดจะถูกจำกัด โดยความร้อนของ field coils และการอิ่มตัวของวงจรแม่เหล็ก เพราะว่าที่ full excitation นั้น รูปแบบของเครื่องจักรปกติจะทำงานที่จุดอิ่มตัวของวงจรแม่เหล็ก ดังนั้นความเร็วสามารถปรับให้ลดลงกว่า natural speed torque characteristic เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ความเร็วสูงสุดถูกจำกัดโดยความไม่มีเสถียรภาพของมอเตอร์ ที่เกิดจากผลกระทบของการเสียดรูปของสนามแม่เหล็กในปฏิกิริยา armature reaction ภายใต้การก่อนตัวของ field และโครงสร้างทางกลศาสตร์ของมอเตอร์ ปกติแล้วมอเตอร์กระแสตรงได้รับการออกแบบให้สามารถเร่งความเร็วได้ถึง 1.5 ถึง 2 เท่าของความเร็วที่พิกัด แต่บางชนิดได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษให้สามารถเร่งความเร็วได้ถึง 6 เท่าของความเร็วที่พิกัดได้

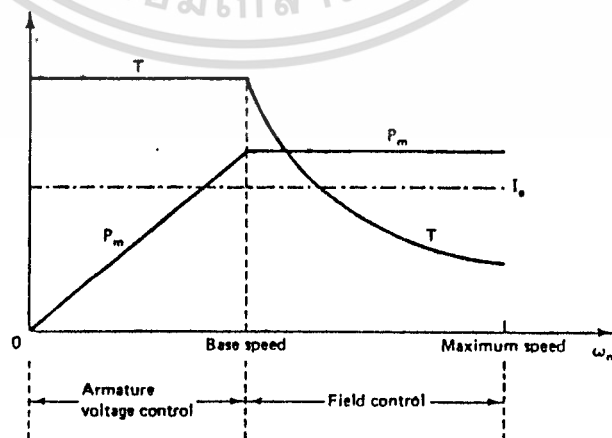
Field control ของ shunt และ separately excited motor ใช้ในการควบคุมชนิด constant power control เพราะว่าความสามารถในการจ่ายกำลังสูงสุดเกือบจะคงที่ ตลอดการปรับความเร็ว สมมติ I_{max} คือ กระแสที่ขอมให้ผ่านลวดเมเจอร์สูงสุด ซึ่งจะ ไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่สนามอ่อนตัวลง ณ. กระแสลวดเมเจอร์ I_{max} Back emf : E จะ หักออกจาก V ทุก ๆ ความเร็ว เพราะว่าแรงดันระหว่างตัวก็หักออกจาก V อยู่ ดังนั้นมอเตอร์สามารถที่จะจ่ายกำลัง $E I_{max}$ คงที่ ตลอดช่วงความเร็ว และแรงบิดสูงสุดที่จะให้ได้จะแปรผกผันกับความเร็ว

สมมติว่า I_{max} ไม่เปลี่ยนแปลงตามการลดลงของ flux ซึ่ง main flux ที่ลดลงจะมีผลให้เกิดปฏิกิริยาอาเมเจอร์มากกว่า ดังนั้นกระแสสูงสุดที่มอเตอร์จะรับได้ โดยไม่มีการสปาร์คที่คอมมิวเตเตอร์ จะลดลง เป็นการลดกำลังที่มอเตอร์สามารถจ่ายได้สูงสุดที่ความเร็วสูง

ใน separately excited motor เราสามารถควบคุม flux โดยการปรับแรงดันตกคร่อมสนาม อาจจะให้ controlled rectifier หรือ chopper ขึ้นกับแหล่งจ่ายหลักว่าเป็น AC หรือ DC เครื่องจักรขนาดเล็กที่ใช้ shunt motor เราสามารถปรับ flux โดยการแทรกตัวต้านทานปรับค่าได้ในวงจรสนาม สำหรับใน series motor นั้น เราควบคุม flux โดยต่อ diverter resistance ครอบ field winding ซึ่งใน series motor บางชนิดจะมี lap บน field winding มอเตอร์จำพวกนี้ เราสามารถควบคุมโดยการเปลี่ยนจำนวนรอบของ field winding ได้

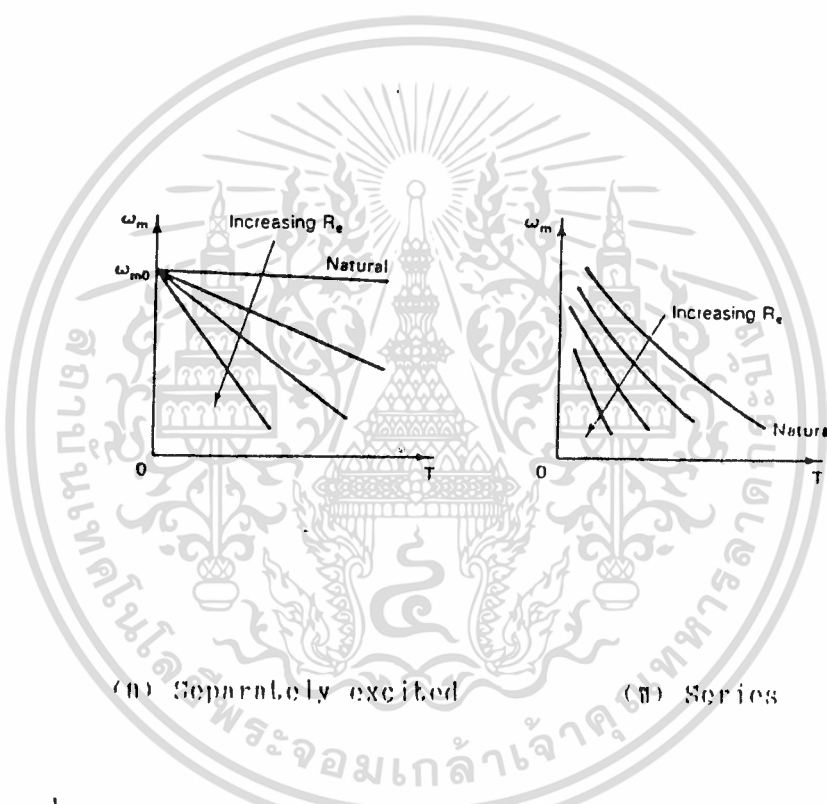
2.3 เชื่อม Armature Voltage กับ Field Flux Control

ในระบบขับเคลื่อนที่ต้องการการควบคุมความเร็วในช่วงกว้างมาก ๆ เวลาจะใช้ การควบคุม armature voltage control ร่วมกับ field flux control การควบคุม แบบ armature voltage control จะให้ข้อดีในการรักษาแรงบิดสูงสุดที่มอเตอร์ สามารถจ่ายที่ทุก ๆ ความเร็ว และการควบคุมแบบ field flux control จะใช้ควบคุมความเร็วที่สูงกว่า ซึ่งไม่สามารถใช้ armature control ได้ ดังเช่นในระบบขับเคลื่อน ซึ่งเรานิยามให้ base speed คือความเร็วที่ rated armature voltage full field ซึ่งเป็นความเร็วที่มอเตอร์วิ่งอยู่บน natural speed-torque characteristic เราจะใช้ armature voltage control ที่ความเร็วจากทุกหนึ่งถึง base speed (field ถูกรักษาไว้คงที่ค่าที่พิกัด) ความเร็วที่สูงกว่าพิกัดเราไม่สามารถใช้ armature control ได้ เพราะ เราเพิ่ม armature voltage มากกว่าพิกัดไม่ได้ ดังนั้น ความเร็วที่สูงกว่า base speed เราจะใช้ field control ในช่วงนี้มอเตอร์จะจ่ายแรงบิดได้ลดลง เมื่อความเร็วสูงขึ้น ตัวล่อต่างระบบขับเคลื่อนชนิดนี้ ได้แก่ rolling mill , coiler drives เป็นต้น ดังนั้น พิกัดของแรงบิดและกำลัง จะมี 2 ลักษณะ ตามระบบควบคุม ตามรูปที่ 2.5 โดยพิกัดของกระแสแอมแปร์ ถูกสมมติให้คงที่ตลอดช่วงความเร็ว



2.4 Armature Resistance Control

speed-torque characteristic ของ separately excited (หรือ shunt) และ series motor เมื่อปรับค่าความต้านทานภายนอก R_a ที่ต่ออนุกรมกับลวดอาร์เมเจอร์ แสดงดังรูปที่ 2.6 (ก) และ 2.6(ข)



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง speed-torque ของมอเตอร์กระแสตรง ที่ควบคุมโดยวิธี armature resistance control

ข้อเสียที่สำคัญของการควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้คือ มีประสิทธิภาพต่ำมาก ๆ ตัวอย่างเช่น เมื่อโหลดเป็นเทคนิค constant torque power input จะคงที่ โดยมีกำลังส่วนหนึ่งจ่ายให้โหลดและอีกส่วนหนึ่งสูญเสียที่ R_a เราจะเห็นว่ากำลังที่จ่ายให้กับโหลดจะลดลงตามความเร็วที่ลดลง ดังนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์จะแปรผันตามความเร็ว โดยอาจจะเทียบเท่ากับเปอร์เซ็นต์ของความเร็วที่คิดได้ เช่น ที่ 10 % ของความเร็วปกติ มอเตอร์จะมีประสิทธิภาพ 10 % เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของทุกภาค
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6(ก)แสดงถึง armature resistance control จะเปลี่ยนลักษณะ ของ speed-torque characteristic ของ separately excited (หรือ shunt) motor จากที่ความเร็วเกือบคงที่ตลอดช่วงของแรงบิด ไปเป็นคุณสมบัติการปรับความเร็วได้ เพราะเหตุนี้ และเพราะมีประสิทธิภาพต่ำ วิธีนี้จึงไม่ค่อยได้ใช้กับ separately excited motor ทั่วๆ ไป สำหรับการปรับความเร็วที่ต้องการในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งประสิทธิภาพทั้งหมดของระบบลดลง ไม่มากนัก เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและราคาต่ำ เพื่อความสะดวกและประหยัด จึงอาจเห็นวิธีนี้ใช้ใน series motor กับเคลื่อนแบบ intermittent duty



บทที่ 3

Synchronous Generator

3.1 หลักการเบื้องต้น

การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นได้ก็โดยการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ สามารถแยกการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ 2 แบบ คือ

1. สนามแม่เหล็กอยู่กับที่ แต่อาร์เมเจอร์หมุน

(Armature Rotating, Stationary field)

2. แบบอาร์เมเจอร์อยู่กับที่ แต่สนามแม่เหล็กหมุน

(Rotating field, Stationary Armature)

พิจารณาโครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสอง แบบอาร์เมเจอร์หมุนจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กให้ค่าแรงดันต่ำประมาณ 115-250 V และ Power ต่ำ Armature winding จะพันอยู่ที่โรเตอร์ แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Rotating field Stationary Armature จะมีข้อดีมากกว่าแบบแรก ดังนี้

1. การใส่ขดลวดอาร์เมเจอร์ทำได้ง่ายกว่าและไม่มีข้อยุ่งยากเกี่ยวกับแรงหนีศูนย์กลาง

2. สามารถกำเนิดแรงดันสูงๆได้ตั้งแต่ 12.3KV-33KV

ในการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปใช้งานนั้น ความเร็วของตัวขับ (Speed of Prime mover) จะต้องคงที่เสมอ เพราะต้องการความถี่ที่คงที่

3.2 ความเร็วและความถี่

กำหนดให้

P = จำนวนขดลวด

N = ความเร็วรอบของตัวขับ (rpm)

$N = 120f/P$ rpm

$f = PN/120$ Hz

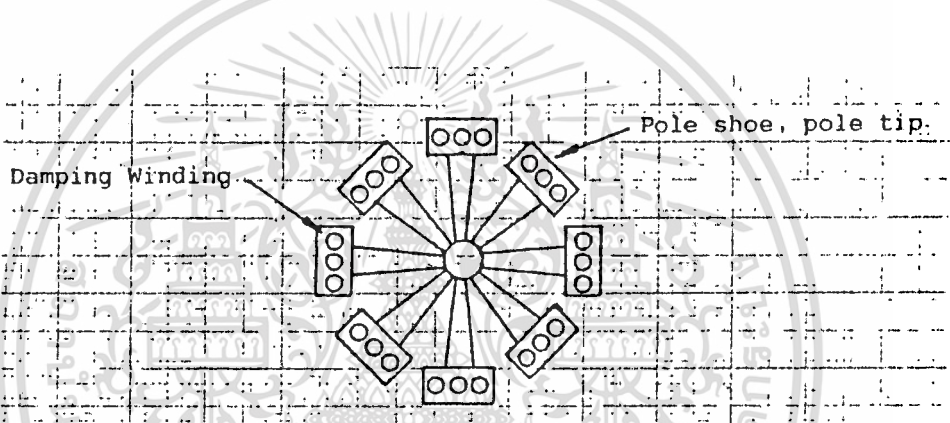
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ถ้าแบ่งโรเตอร์ตามชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Rotating field Stationary Armature ได้ 2 ชนิดคือ

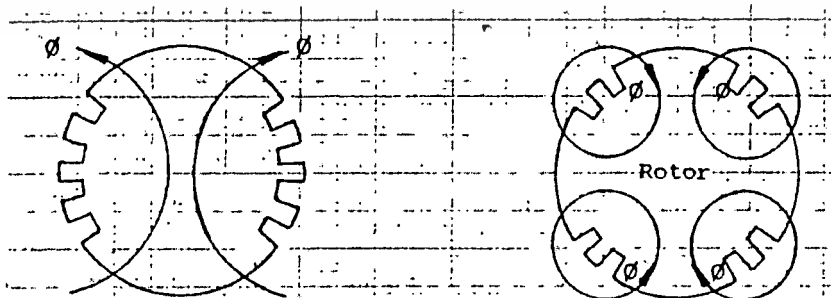
1. Salient-pole
2. Smooth-cylindrical rotor

3.3.1 โรเตอร์แบบ Salient-pole



โรเตอร์ชนิดนี้ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกขับเคลื่อนด้วยความเร็วรอบต่ำหรือปานกลางซึ่งมักมีจำนวนขั้วมาก

3.3.2 โรเตอร์แบบ Smooth-cylindrical



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ชนิดนี้ที่มีขั้วที่เรียบ มีขลวดคสนามพันอยู่ที่สล๊อคซึ่งเป็นร่องยาวไปตาม shaft และ field coil ที่พันอยู่รอบขั้วนี้จะทำให้เกิด flux density สูงตรงกึ่งกลางของขั้ว ส่วนสล๊อคต่างๆของขั้วจะน้อยลงตามส่วน โรเตอร์ชนิดนี้มักจะถูกออกแบบเป็น 2 ขั้วหรือ 4 ขั้วเท่านั้น การที่นิยมสร้างโรเตอร์เป็นแบบนี้เพราะว่า Balance ดีกว่า เครื่องเดินเรียบและมีขลวดคน้อย

3.4 สมการทางไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาลักษณะของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำเนิดออกมา

$$E = P\phi N/60 \quad \text{volt}$$

เมื่อ E = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่คร่อมแปรงถ่าน
 ϕ = ฟลักซ์ต่อขั้ว
 P = จำนวนขั้ว
 N = ความเร็วรอบโรเตอร์

3.5 การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในระบบทาง Transmission ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องเดียวไม่สามารถจ่ายโหลดให้มี Capacity เพียงพอได้ จะทำให้ voltage drop เกิดขึ้นมาก ถ้าโหลดยิ่งเพิ่มขึ้นก็จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า shut down up ตัวเองลงทำให้ service continuity เสียไป ดังนั้นจึงมีการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า Synchronizing มีผลดังนี้

1. เพิ่ม capacity ของระบบให้มีการ share power
2. ทำให้ service continuity ไม่เสีย
3. ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องใช้งานเต็มประสิทธิภาพ

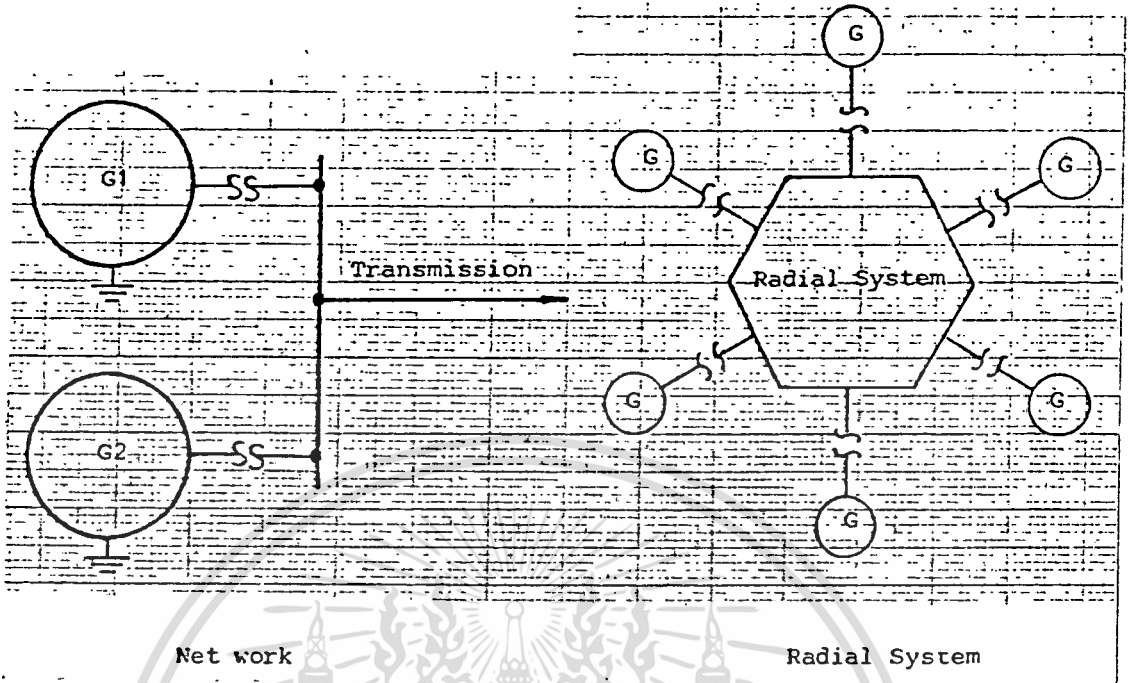
การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะใช้มากในระบบ Network หรือ Radial System ของการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามระบบ

การที่จะนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาขนานจะต้องประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. Terminal voltage (Effective voltage) ต้องเท่ากัน
2. ความถี่ต้องเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น โดยศูนย์ฯ ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่ภายนอกได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



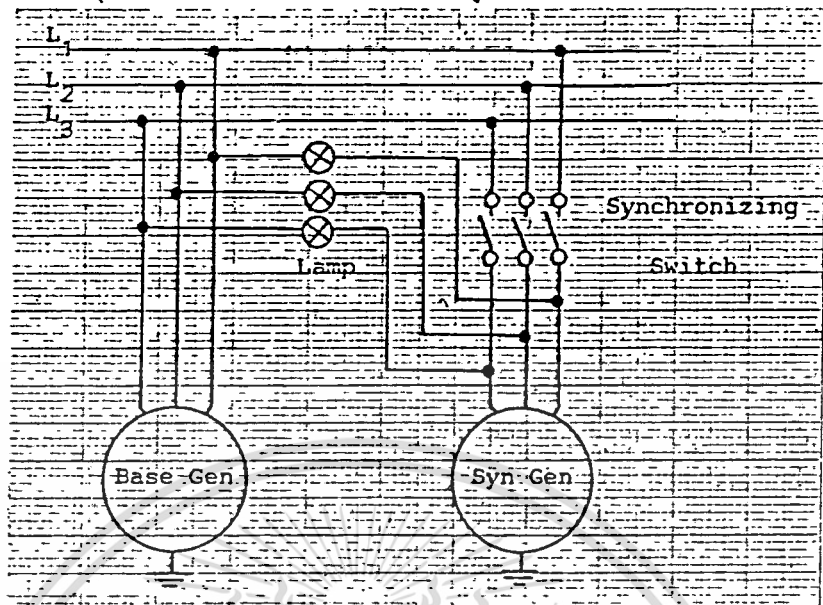
Synchronizing method of parallel generator

วิธีการที่จะทำการขนานมีหลายวิธี แต่ที่นิยม ได้แก่

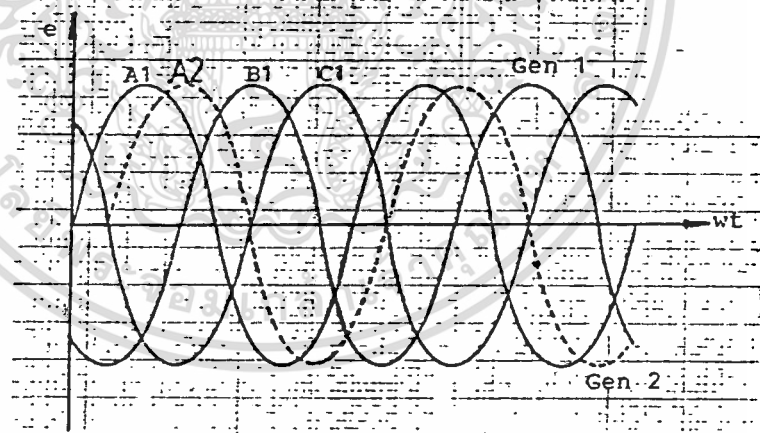
1. Three dark of Synchronizing
2. Three Bright of Synchronizing
3. Two dark one bright of Synchronizing

วิธีการเหล่านี้อาจใช้ร่วมกันทั้งหมดทุกวิธีก็ได้แต่จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

1. Three dark of Synchronizing ; Lamp test

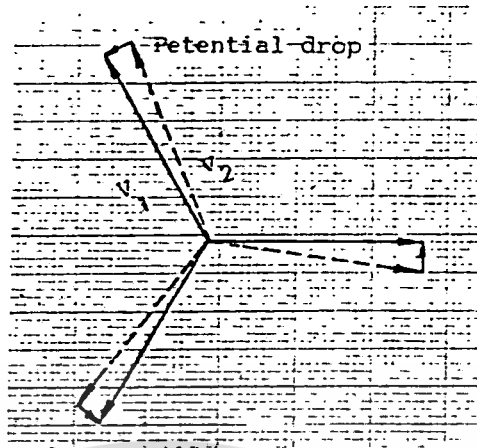


พิจารณา wave form ของ Base Gen



การเริ่มขนาน ให้ Gen2 ทำการขนานกับ Gen1 เราก็มปรับความเร็วของตัวขั้วของ Gen2 ให้มี Phase sequence ทั้กัน หลอดไฟก็จะดับ แต่ถ้ามี ความต่างศักย์ก็จะทำให้หลอดสว่าง
พิจารณาเวกเตอร์ของแต่ละเฟส สมบัติ Alternator Connect in Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การขนานโดยวิธี Three dark มีวิธีการสังเกตที่จำเป็นดังนี้

1) Terminal Voltage ต้องเท่ากัน เราสามารถสังเกตได้จากหลอดไฟ ถ้าความต่างศักย์ของ Line กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างกัน จะทำให้เกิดกระแสไหลใน Line ทำให้หลอดไฟติด แต่ถ้าความต่างศักย์ของ Line และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากันจะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลใน Line ทำให้หลอดดับ

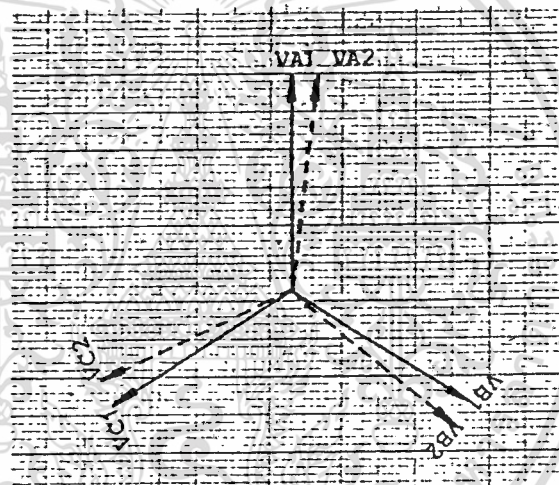
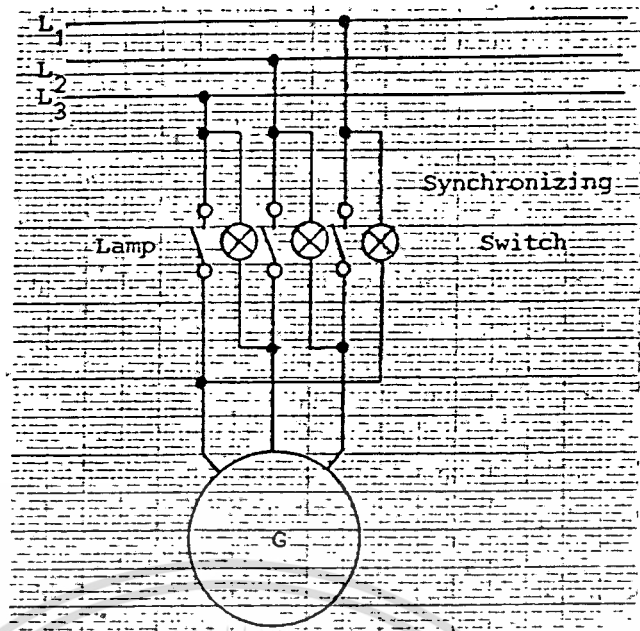
2) ความถี่ต้องเท่ากัน เราสามารถสังเกตได้จากหลอดไฟทั้งสามดวง ถ้าความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูง หลอดไฟจะติดและดับสลับกันไปโดยมีทิศทางไปทางขวา แต่ถ้าความถี่ต่ำกว่าระบบ หลอดไฟจะติดและดับสลับกันไปโดยมีทิศทางไปทางซ้าย และถ้าหลอดไฟหมุนซ้ายหรือหมุนขวาแต่ช้ามากหรือเกือบดับ ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าประมาณ 49 Hz หรือ 51 Hz

3) Phase Relationship หรือ Phase Sequence ต้องเหมือนกันซึ่งเราสามารถสังเกตได้จากหลอดไฟทั้ง 3 ดวง โดยแรงดันและความถี่เท่ากับระบบแล้วหลอดไฟสว่าง 1 ดวงและดับ 2 ดวง แสดงว่า Phase Sequence ไม่ตรงกัน เราสามารถแก้โดยการสลับสายเฟสคู่ใดคู่หนึ่งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วสังเกตดูว่าหลอดไฟทั้ง 3 หลอด สว่างและดับพร้อมกัน แสดงว่าเหมือนกัน

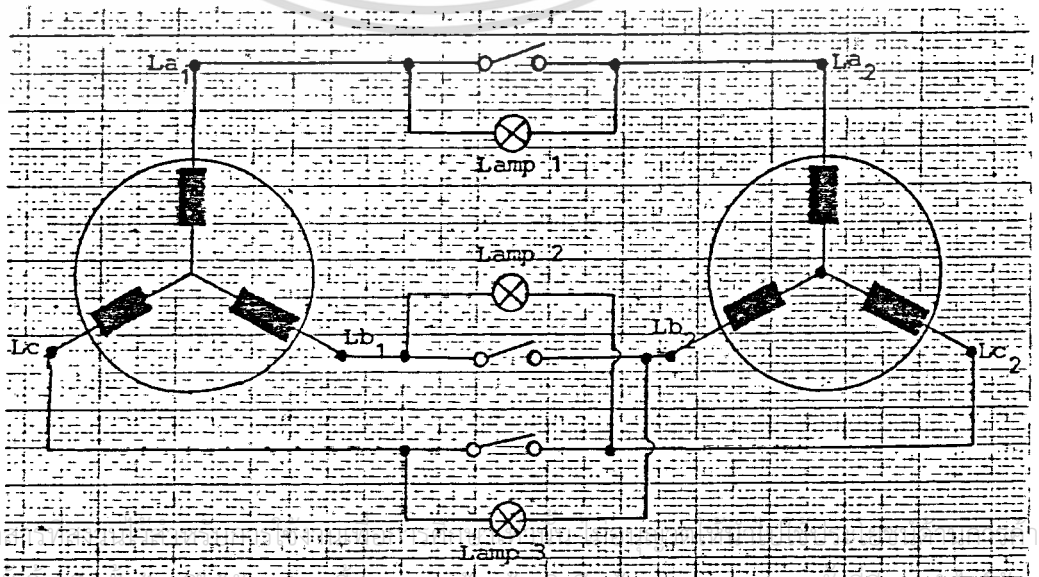
ข้อสังเกต ในการขนานนั้น ถ้าแรงดันเท่า ความถี่เท่า แต่ถ้า Phase Sequence ไม่เหมือนกันก็ไม่สามารถทำการขนานเข้าไปในระบบได้ และถ้า Phase Sequence ได้ แต่แรงดันหรือความถี่ต่างกันเล็กน้อย เราสามารถทำการขนานเข้าไปในระบบได้

2. Three Bright method of Synchronizing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3. Two dark one bright method (Two bright one dark)



เอกสารนี้เป็นเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

บทที่ 4

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่โหลด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จะไม่ราบเรียบเหมือนกับได้จากแบตเตอรี่ แต่จะประกอบด้วยริปเปิ้ล

4.1 การเลือกวงจรการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีด้วยกันหลายวงจร ซึ่งมี ความแตกต่างกันไป การตัดสินใจเลือกวงจรจะต้องพิจารณา ดังนี้

1. ต้องการควบคุมหรือเปลี่ยนแปลงแรงดันได้หรือไม่

เมื่อไม่ต้องการควบคุมแรงดันหรือกระแสเอาต์พุตจึงสามารถใช้ไดโอด การเปลี่ยนแปลงแรงดันสามารถทำได้เพียงแค่เปลี่ยนแปลงแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ โดยการเปลี่ยนแปลงรอบทางขดลวดคัพลิ่งของหม้อแปลงไฟฟ้า แต่เมื่อต้องการควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จะต้องใช้ไดโอดคู่ร่วมกับเอสซีอาร์ที่เรียกกัน วงจรควบคุมเพียงครึ่งเดียว (half controlled circuits) คือใช้ไดโอดและเอสซีอาร์คู่ร่วมกัน หรือวงจรควบคุมทั้งหมด (fully controlled circuits) จะใช้เอสซีอาร์ในวงจรอย่างเดี่ยว

2. ต้องการแรงดันเอาต์พุตเรียบหรือไม่

ในกาที่จะได้แรงดันเอาต์พุตเรียบ จะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟที่เป็น 3 เฟส หรือมากกว่า 3 เฟส เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเรียบหรือมี ripple น้อยมาก

3. แรงดันไฟฟ้า

สำหรับแรงดันเอาต์พุตที่สูงๆ ในระดับเป็นกิโลโวลต์ ถ้ามีไดโอดและเอสซีอาร์ที่มี เอกสารนี้ชี้แจงว่าค่าของแรงดันต่ำกว่าแรงดันที่ต้องการ จะต้องนำมาต่ออนุกรมกัน ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จำนวนแผ่นระบายความร้อน

ไดโอดชนิดที่ทนกระแสได้สูงๆ มีด้วยกัน 2 ชนิดคือ แอนโอดจะเป็นชนิดที่สามารถติดกับแผ่นระบายความร้อน และชนิดคาโทดเป็นชนิดที่สามารถติดกับแผ่นระบายความร้อน แต่เอสซีอาร์ชนิด stud type แอนโอดจะเป็นชนิดที่สามารถที่ติดกับแผ่นระบายความร้อน ถ้าเลือกวงจรที่เหมาะสมจะลดจำนวนของแผ่นระบายความร้อนลงได้ ในกรณีที่ใช้วงจรที่ต่อคาโทด ของเอสซีอาร์ร่วมกัน เอสซีอาร์ชนิด presspack จะใช้แผ่นระบายความร้อนน้อยกว่า

5. เอาท์พุทต้องการกระแสสูงแต่แรงดันต่ำ

ไดโอดและเอสซีอาร์ที่ทนกระแสได้สูงๆ มีขายมากมาย แต่ในวงจรที่ต้องการเอาท์พุทกระแสสูงๆ แต่แรงดันต่ำ เช่น เครื่องขับโบลหะจะมีแรงดันตกคร่อมไดโอดและเอสซีอาร์ทำให้ประสิทธิภาพต่ำ จึงต้องเลือกวงจรที่ใช้หม้อแปลงที่มี center tap หรือวงจรที่ไดโอดเพียงตัวเดียวนำกระแสในแต่ละครึ่งลูกไซเคิล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น

6. ผลกระทบต่อบรรบบจ่ายไฟฟ้า

วงจรที่ใช้เอสซีอาร์ควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง ในกรณีที่มีกำลังสูงๆ จะเกิดฮาร์โมนิกส์ในระบบจ่ายไฟฟ้า ถ้ามีฮาร์โมนิกส์ในระบบจ่ายไฟฟ้า ถ้ามีฮาร์โมนิกส์สูงจะรบกวนวิทยุและโทรทัศน์ และถ้ามีฮาร์โมนิกส์ต่ำจะรบกวนระบบโทรศัพท์

7. เพาเวอร์เฟคเตอร์

การควบคุมแรงดันเอาท์พุทอย่างต่อเนื่องโดยใช้เอสซีอาร์จะทำให้เกิดเพาเวอร์เฟคเตอร์ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ความสามารถในการจ่ายพลังงานคืน (Regeneration capability)

ในวงจรการเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงที่จ่ายให้กับมอเตอร์ หรือ โหลดที่มีอินดักเตอร์สูง บางครั้งต้องการให้พลังงาน บางครั้งต้องการให้พลังงานไฟฟ้ากลับสู่แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ซึ่งวงจรแบบ fully-controlled สามารถทำการจ่ายพลังงานคืนได้

4.2 การนำวงจรควบคุมการเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงไปใช้งาน

การควบคุมการเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง โดยใช้เฟาเวอร์เซมิคอนดักเตอร์เป็นการเปลี่ยนค่าแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายสู่โหลด โดยใช้เอสซีอาร์เป็นตัวเปลี่ยนจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่มีแรงดันคงที่

การควบคุมการเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง สามารถนำไปใช้งานได้หลายลักษณะ เช่น

1. ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง เช่น ในอุตสาหกรรมท่าอากาศยาน เหล็ก ยางรถยนต์และผลิตสายไฟ เป็นต้น
2. เครื่องชับลอหะ
3. เครื่องแปลงไฟเพื่อจ่ายไฟให้ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงชนิดกระแสตรง

4.3 การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิด 1 เฟส ครึ่งลูกคลื่น

(Single - phase half - wave rectifier circuit)

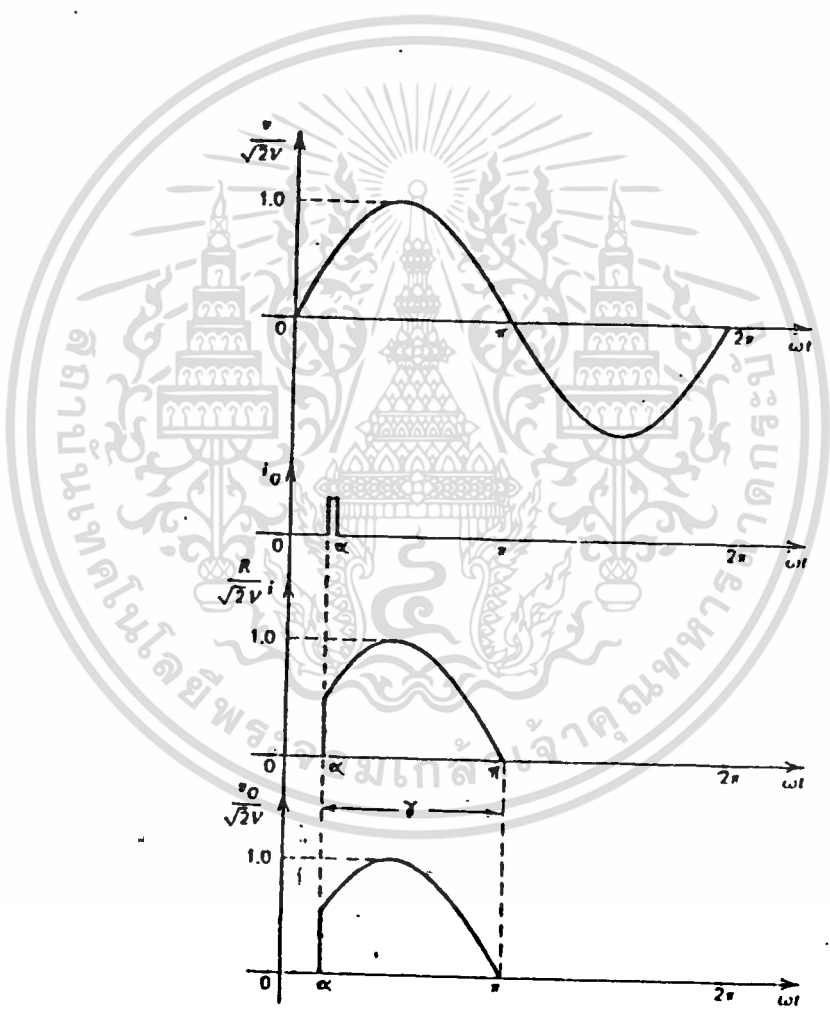
แรงดันเฉลี่ยเอาท์พุทของวงจรแบบครึ่งคลื่น (half - wave) สามารถควบคุมได้โดยเปลี่ยนแปลงมุมที่จ่านอสัญญภาพทริกแก่เอสซีอาร์ ในขณะที่เอสซีอาร์ได้รับฟอร์เวอร์ไปอัส คือที่แรงดันที่แอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทด เอสซีอาร์จะนำกระแส เมื่อกระแสผ่านสู่โหลดมากกว่ากระแสฮิด (holding current) ในกรณีที่โหลดเป็นความต้านทานอย่างเดียว กระแสจะ

เอกสารนี้ถึงกระแสนี้ที่มุมที่ทริกเอสซีอาร์ (α) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 โหลดเป็นความต้านทานอย่างเดี่ยว

ในรูปที่ 4.1 เป็นวงจรการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิด 1 เฟส แบบควบคุมครึ่งคลื่นเมื่อโหลดเป็นตัวต้านทานอย่างเดี่ยว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 4.1 โหลดเป็นความต้านทานอย่างเดี่ยว ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติว่า ไม่มีแรงดันคร่อม แอสซีอาร์ เมื่อแอสซีอาร์นำกระแส

V = แรงดันอาร์เอ็มเอส ของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ

$$V_{o(ave)} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}V \sin \omega t \, d(\omega t) \quad \dots 4.1$$

$$= \frac{\sqrt{2}V}{2\pi} \left[-\cos \theta \right]_{\alpha}^{\pi}$$

$$= \frac{\sqrt{2}V}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad \dots 4.2$$

จะต้องใช้แอสซีอาร์ที่ทนแรงดันรีเวอร์มากกว่า $\sqrt{2}V = 3.14 V_{o(ave)} (\max)$

$$V_{o(ave)} \text{ สูงสุด } (\alpha = 0) = V_m / \pi = \sqrt{2}V / \pi$$

$$I_{o(ave)} = V_{o(ave)} / R$$

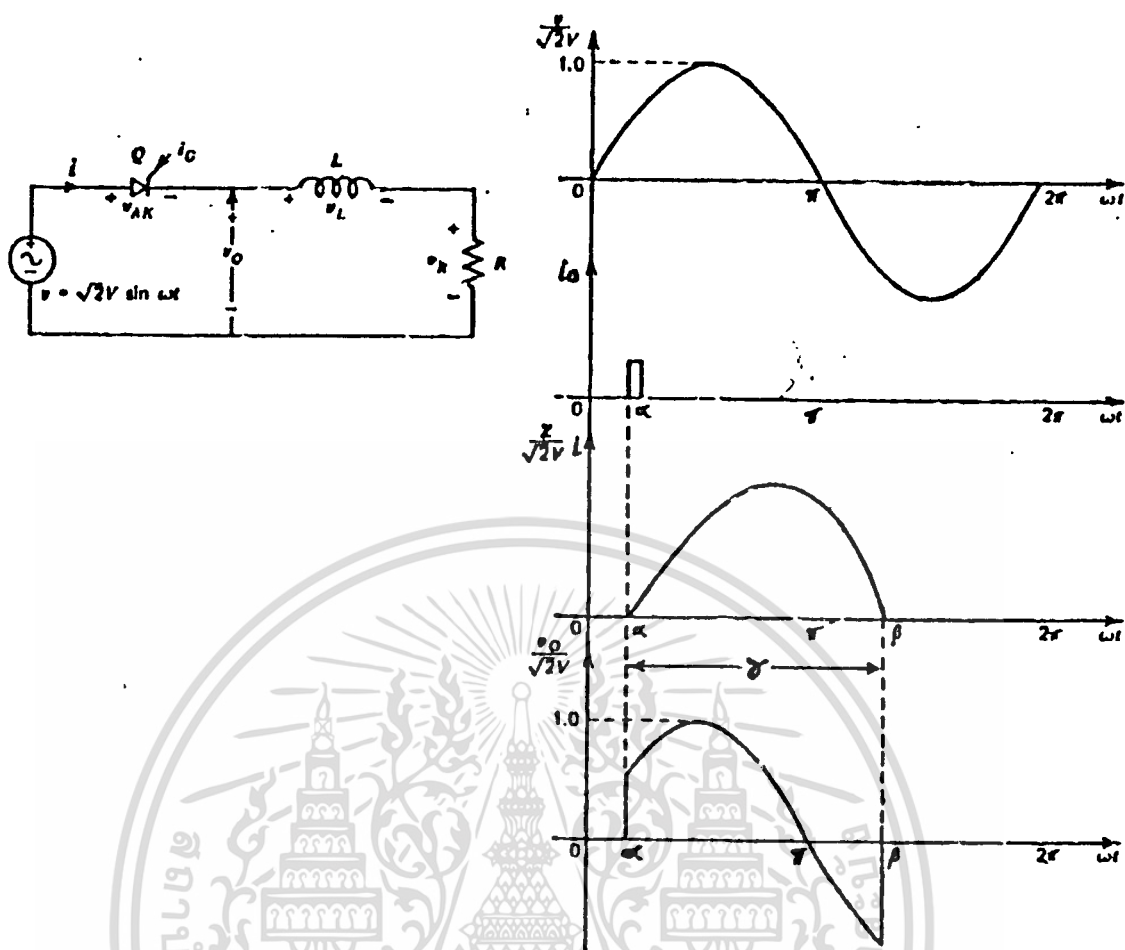
$$= \frac{\sqrt{2}V}{2\pi R} (1 + \cos \alpha) \quad \dots 4.3$$

จะใช้แอสซีอาร์ที่ทนกระแสเฉลี่ยมากกว่า $I_{o(ave)}$ สูงสุด คือ $\sqrt{2}V / \pi R$

$$I_{o(RMS)} = \frac{\sqrt{2}V}{R} \left[\frac{1}{4\pi} (\pi - \alpha + 0.5 \sin 2\alpha) \right]^{1/2} \quad \dots 4.4$$

4.3.2 โหลดเป็นอินดักทีฟ

เมื่อโหลดเป็นอินดักทีฟ หรือความต้านทานต่ออนุกรมกับอินดักเตอร์ ดังแสดงในรูป 4.2



รูป 4.2 โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด

เมื่อเอสซีอาร์ได้รับสัญญาณทริกที่เกทในครึ่งไซเคิลบวกของแหล่งจ่ายไฟเอสซีอาร์ จะนำกระแสจะได้

$$\sqrt{2}V \sin \omega t = L \frac{di}{dt} + iR \quad \dots 4.5$$

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}V}{Z} \sin(\omega t - \phi) + Ae^{-Rt/L} \quad \dots 4.6$$

เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ที่มุม $\omega t = \alpha$ กระแส i จะมีค่าเท่ากับ 0 แทนค่าลงในสมการ 4.6 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ในประโยชน์อื่นใด

$$i = \frac{\sqrt{2}V}{Z} [\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi)e^{-Rt/L}] \quad \dots 4.7$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มุม $\omega t = \beta$ กระแส i จะมีค่าเท่ากับ 0 เป็นจุดที่เอสซีอาร์หยุดนำกระแส จะหา
ค่ามุม β ได้โดยแทนค่า $\omega t = \beta, i = 0$ ลงในสมการ 4.7

$$\sin(\beta - \phi) - \sin(\alpha - \phi)e^{R/L((\alpha/\omega) - (\beta/\omega))} = 0 \quad \dots 4.8$$

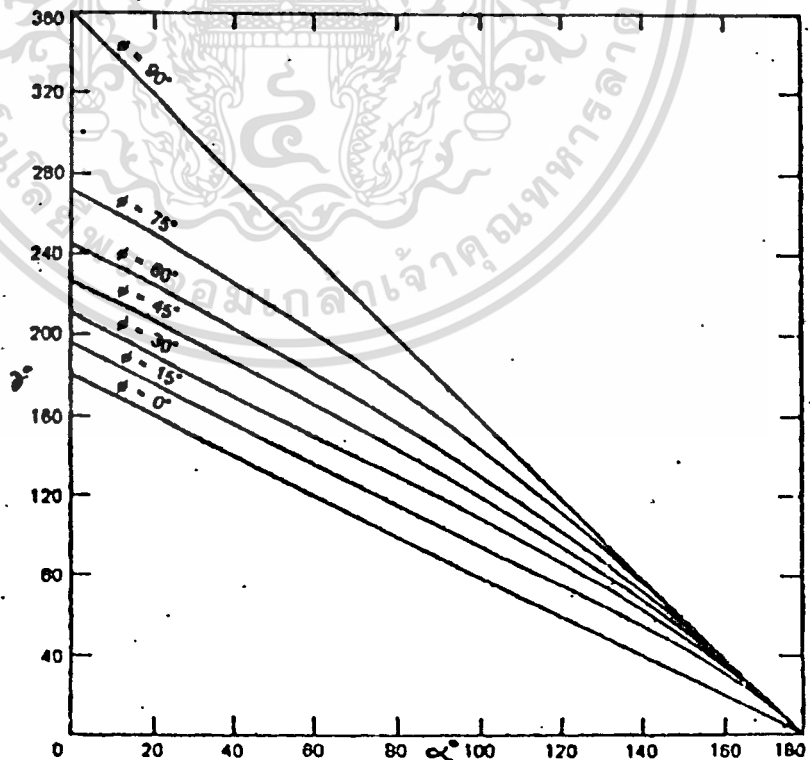
α คือ มุมที่เริ่มทริกให้เอสซีอาร์นำกระแส

β คือ มุมที่เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

χ คือ จำนวนมุมที่เอสซีอาร์นำกระแส

$$\chi = \beta - \alpha$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ α และ χ ที่ ϕ ค่าต่างๆ ได้จากผลลัพธ์ของสมการ 4.8
แสดงในรูป 4.3



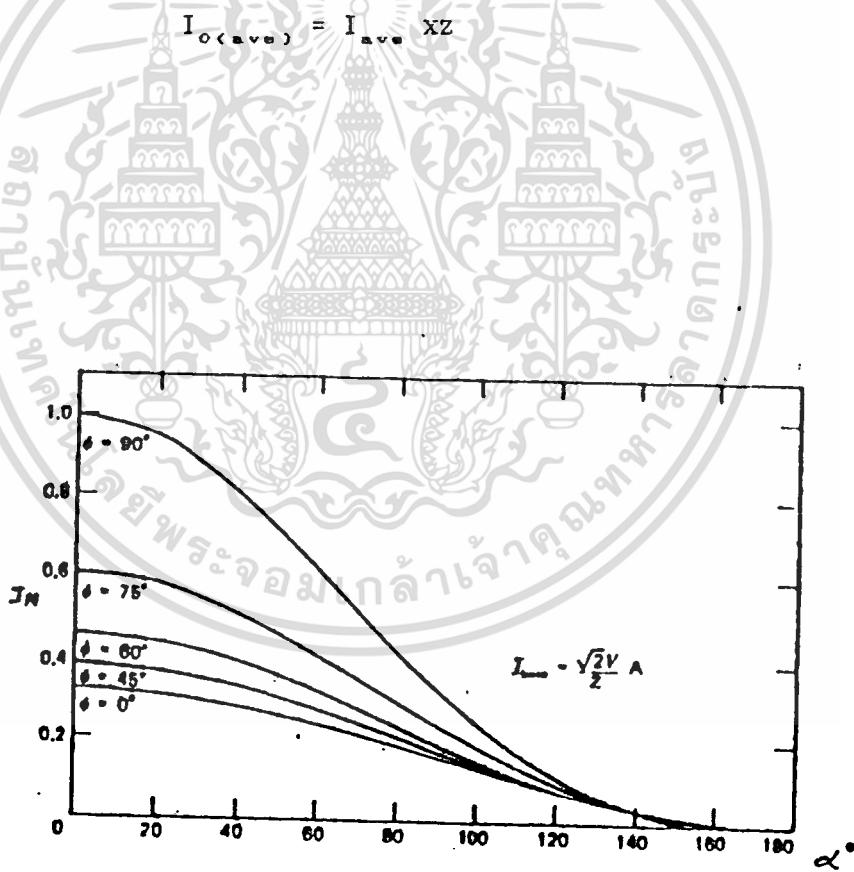
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูป 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง α และ χ ที่มุม ϕ ค่าต่างๆ คำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฉลี่ย (average current)

$$I_{\text{ave}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \frac{\sqrt{2} V}{Z} \left[\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\frac{R}{L}(\frac{\alpha}{\omega} - t)} \right] d(\omega t) \quad \dots 4.9$$

$$I_N = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \left[\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{\frac{R}{L}(\frac{\alpha}{\omega} - t)} \right] d(\omega t) \quad \dots 4.10$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_N และ α ที่มุม ϕ ค่าต่างๆ ได้จาก
ผลลัพธ์ของสมการ 4.10 แสดงในรูป 4.4



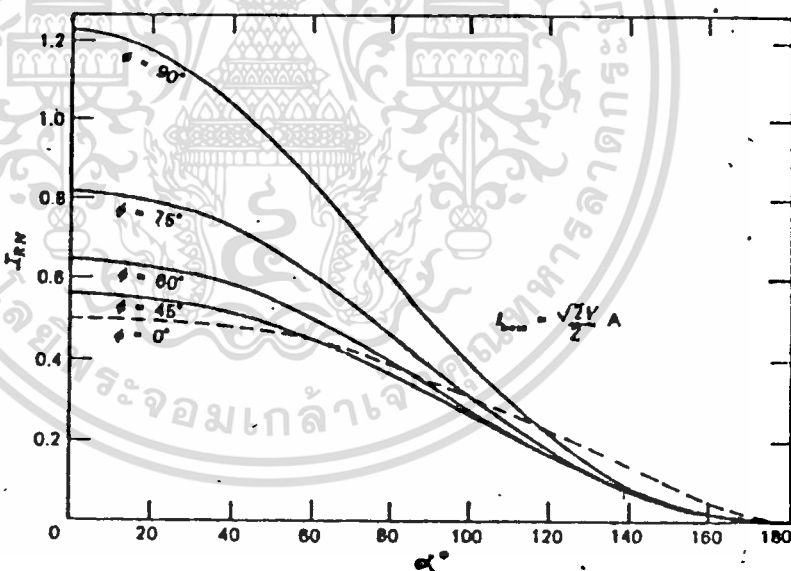
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่โรงเรียนวิศวกรรมไฟฟ้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ในการค้า
รูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_N และ α ที่มุม ϕ ค่าต่างๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสอาร์เอ็มเอส (R.M.S. output current)

$$I_{RMS} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \left\{ \frac{\sqrt{2}V}{Z} \left[\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{R}{L}(\frac{\alpha}{\omega} - t)} \right] \right\}^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots 4.11$$

$$I_{RN} = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \left\{ \sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{R}{L}(\frac{\alpha}{\omega} - t)} \right\}^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots 4.12$$

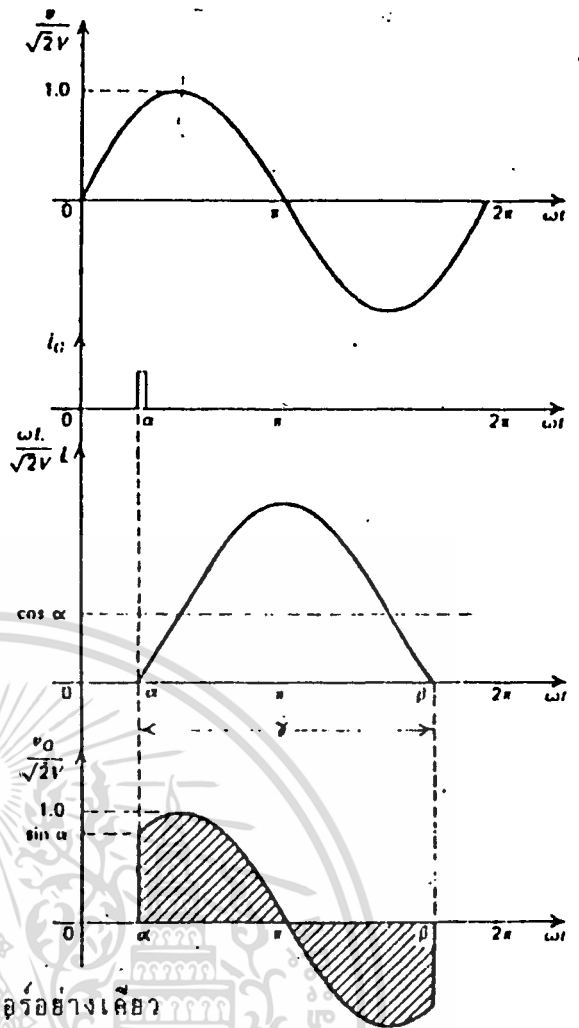
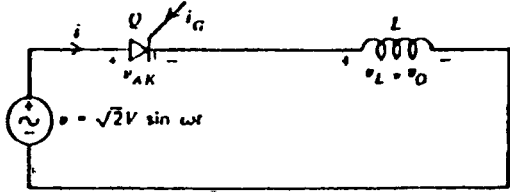
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_{RN} และ α ที่มุม ϕ ค่าต่างๆ ได้จาก ผลลัพธ์ของสมการ 12 แสดงในรูป 5



รูป 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_{RN} และ α ที่มุม ϕ ค่าต่างๆ

4.3.3 โหลดเป็นอินดักแตนซ์อย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สำหรับการศึกษาโหลดเป็นอินดักแตนซ์อย่างเดียว คือ $R = 0, Z = \omega L$ และ $\phi = 90^\circ$ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.6 โหลดเป็นอินดักเตอร์อย่างเดี่ยว จากสมการ 4.7

$$i = \frac{\sqrt{2}V}{Z} (\cos \alpha - \cos \omega t) \quad \dots 4.13$$

กระแสตรงตกเป็นศูนย์ ($i = 0$) ที่ ωt เท่าใดจะหาได้โดยแทนค่า $i = 0$ ใน

สมการ 4.13

$$I_N = \frac{1}{\pi} [(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha] \quad \dots 4.14$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_N และ α ที่ค่า $\phi = 90$ องศา แสดงในรูป

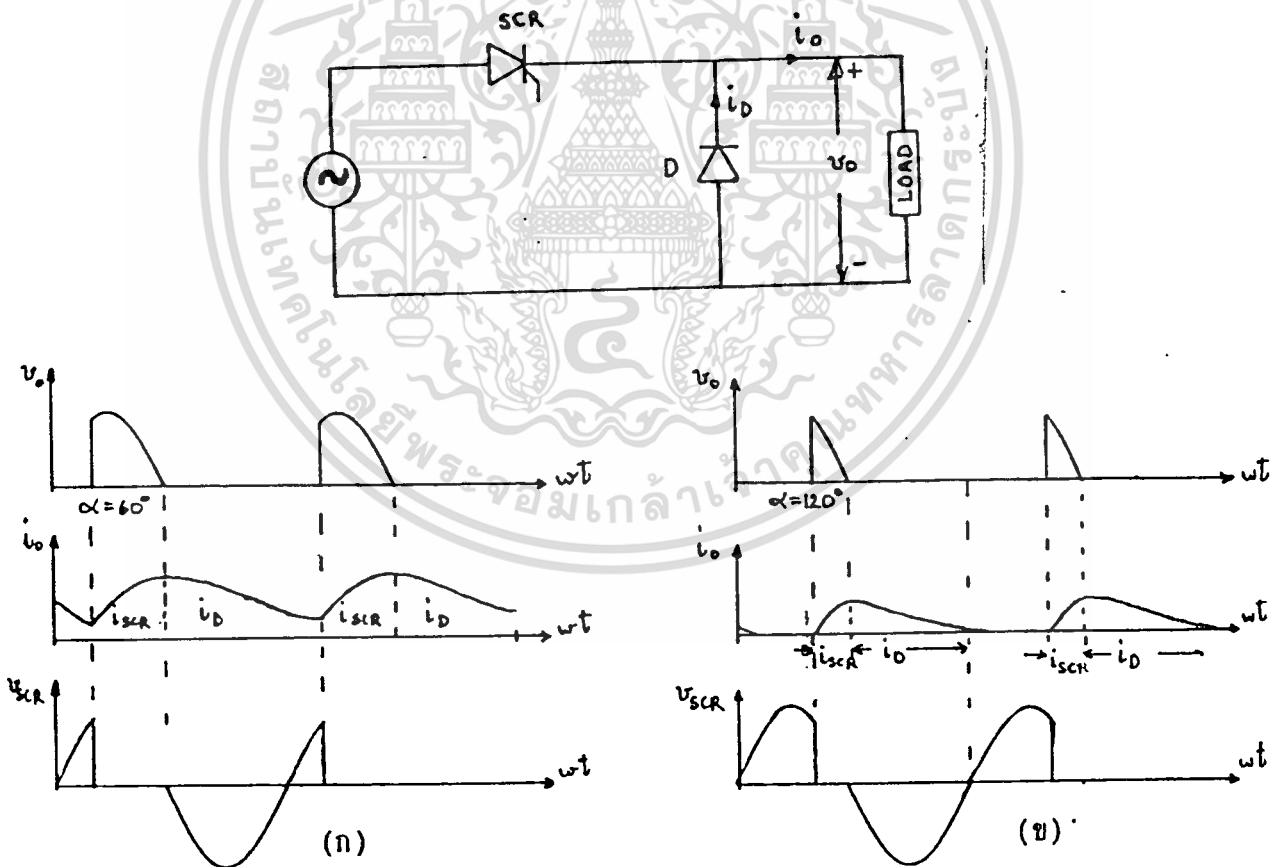
4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 โหลดเป็น RL และมี Free-wheeling diode

วงจรควบคุมการเปลี่ยนแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรงโดยใช้เอสซีอาร์ในรูปแบบ

4.8 ก. โหลดเป็น RL และมี Free-wheeling diode ต่อคอมโวลต์อยู่ เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสที่ $\omega t = 180$ องศา กล่าวคือ ระหว่างครึ่งบวกของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับเอสซีอาร์ถูกทริกให้นำกระแส แต่ไดโอด D ยังไม่นำกระแสเพราะได้รับรีเวิร์คไบอัสอยู่เมื่อถึงครึ่งลบของไซเคิลไดโอด D สามารถนำกระแส แต่ทว่าเอสซีอาร์ได้รับรีเวิร์คไบอัสซึ่งจะหยุดนำกระแส กระแสที่ไหลในโหลดจะผ่านไดโอด D และลดลงอย่าง exponential. ดังแสดงในรูป 4.8 ข.

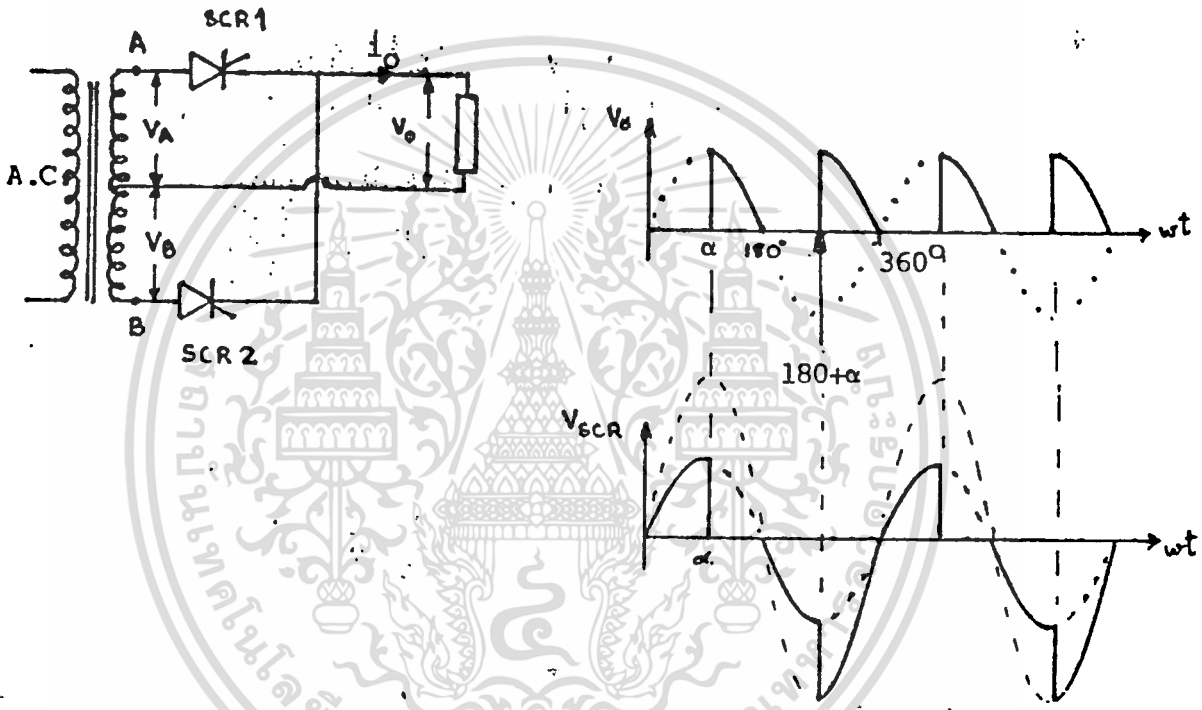


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู วิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o (\text{avg}) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_A (1 + \cos \alpha) \quad \dots 4.18$$

$V_A = V_B =$ แรงดันอาร์เอ็มเอส ระหว่างขั้ว A และ B เทียบ

กับจุดกึ่งกลาง ของหม้อแปลงทางด้านขดจ่ายไฟ



รูป 4.10 Full-wave Rectifier with Center tap Transformer

ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด เอสซีอาร์ 1 ยังคงนำกระแสต่อไป ถึงแม้แรงดัน V_A เป็นลบ ดังแสดงในรูป 4.11 ขณะที่แรงดัน V_A เป็นลบ แรงดัน V_B จะเป็นบวก และเมื่อเอสซีอาร์ 2 มีสัญญาณทริกให้นำกระแส เอสซีอาร์ 2 จะนำกระแสและทำให้เอสซีอาร์ 1 ได้รับรีเวอร์คไบอัสเป็นการทำให้เอสซีอาร์ 1 หยุดนำกระแส ซึ่งกล่าวได้ว่าเอสซีอาร์

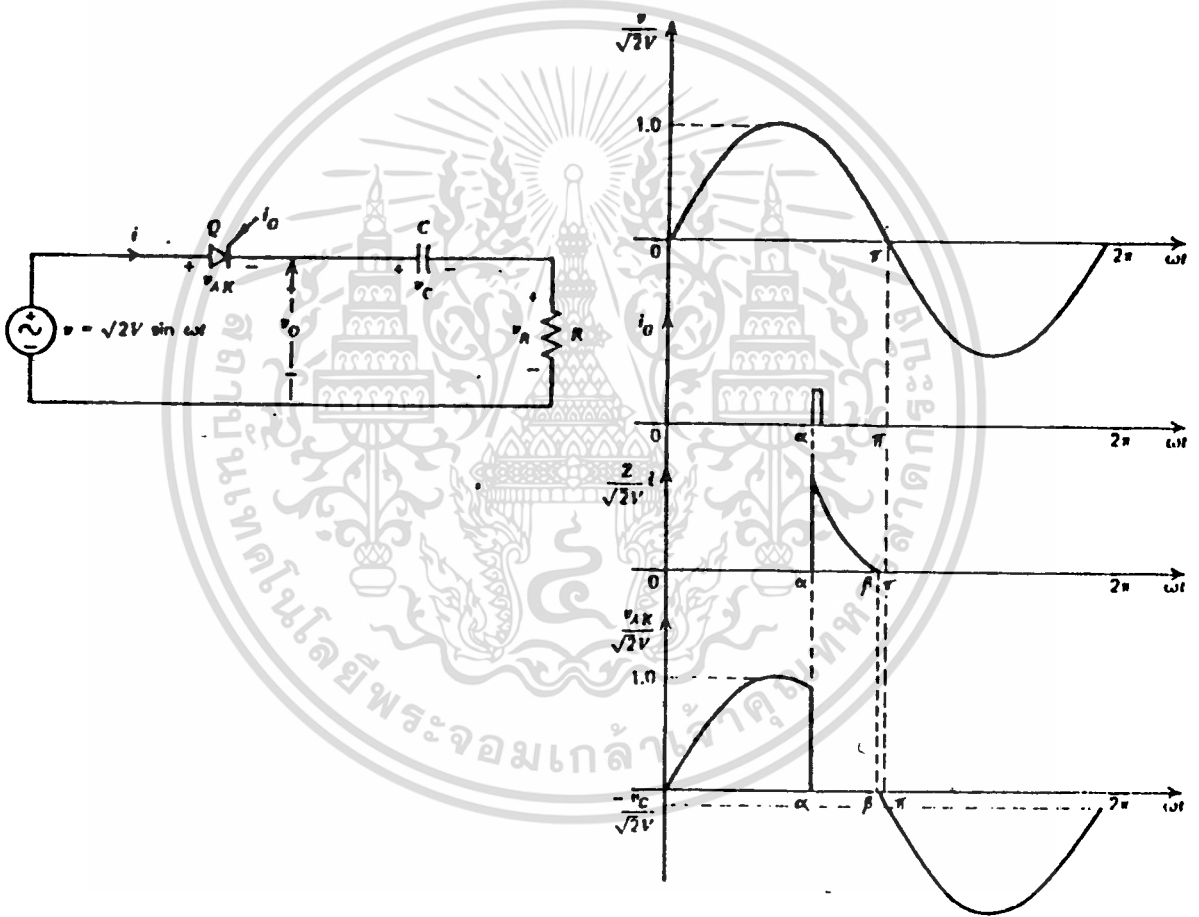
1 ถูกทำให้หยุดนำกระแส (commutated) โดยเอสซีอาร์ 2 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 โหลดเป็นวงจร RC

เมื่อมีสัญญาณทริกเกทของเอสซีอาร์ Q ที่แสดงในรูป 4.9 ก. เอสซีอาร์จะนำกระแส

และ

$$i = \frac{\sqrt{2}V}{Z} \sin(\omega t + \phi) + Ae^{-t/RC} \quad \dots 4.16$$



รูป 4.9 วงจรควบคุมแรงดันไฟเออร์ครึ่งคลื่นเมื่อมีโหลดเป็น RC

เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแสที่ $\omega t = \alpha$ โดยไม่มีแรงดันคร่อมคาปาซิเตอร์อยู่ก่อน ($v_c = 0$) จะได้

$$i = \frac{\sqrt{2}V}{Z} [\sin(\omega t + \phi) + \frac{Z}{Z_0} \sin \alpha - \sin(\alpha + \phi)] e^{1/RC(\alpha/\omega - t)} \quad \dots 4.17$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษากระแสและแรงดันคร่อมเอสซีอาร์แสดงไว้ในรูป 4.9 และถ้าในกรณีที่ $R=0$ โทห์ม คือ มีแค่คาปาซิเตอร์อย่างเดียวเช่น วงจรเรกติไฟเออร์ที่มีคาปาซิเตอร์ค่าสูงๆเป็นตัวฟิลเตอร์ให้แรงดันเอาต์พุตที่จ่ายให้แก่โหลดเรียบขึ้น เมื่อทำการทริกให้เอสซีอาร์นำกระแสที่ $\omega t = \alpha$ จะมีแรงดันคร่อมคาปาซิเตอร์ $v_c = \sqrt{2} V \sin \alpha$ เกิดกระแสเป็นพัลส์สูงมาก เพราะไม่มีตัวต้านต่ออยู่ในวงจรเลย ในการนี้จะทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้ แม้แต่ในวงจรเรกติไฟเออร์ที่ใช้ไดโอดทำหน้าที่แทนเอสซีอาร์ เมื่อทำการปิดสวิตช์จ่ายไฟจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับเข้าวงจรเรกติไฟเออร์ที่ใช้ไดโอด ที่ไดโอดก็จะเสียหายเนื่องจากกระแสกระชากเป็นพัลส์สูงมากนี้

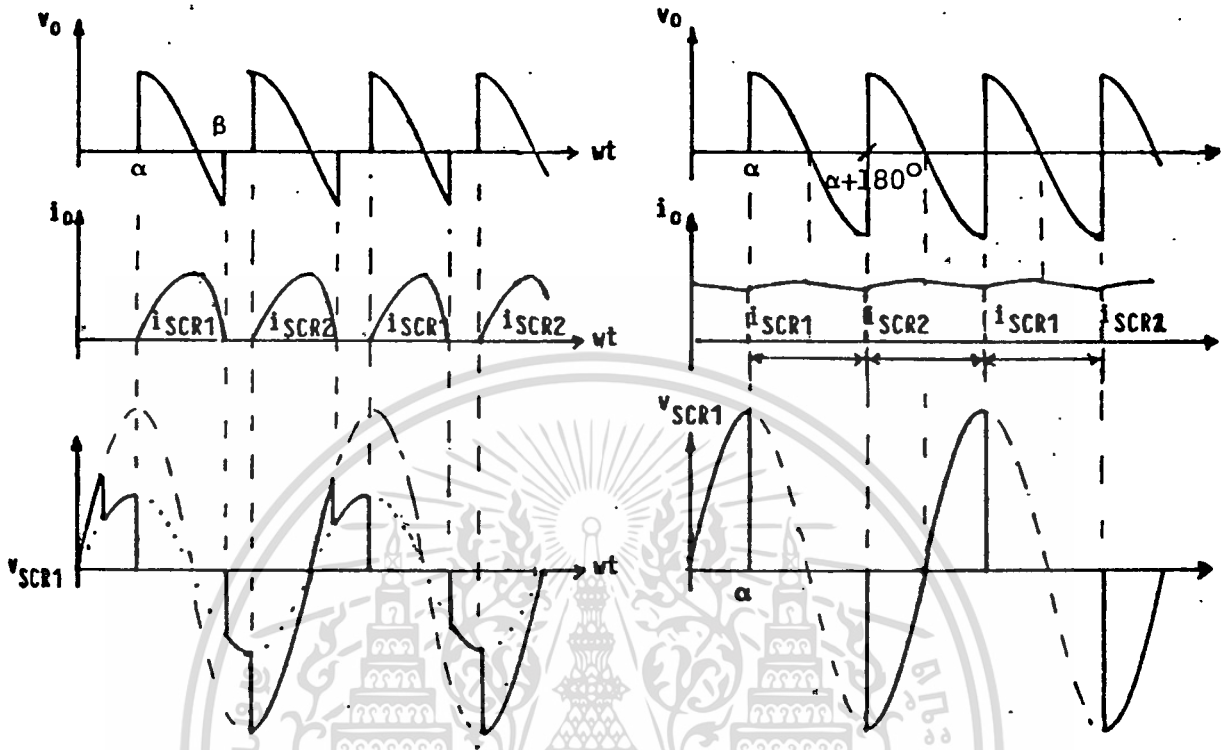
4.4 Single-phase full-wave controlled rectifier

ในวงจรการเปลี่ยนไฟฟ้กระแสสลับเป็นไฟฟ้กระแสตรงชนิด 1 เฟสครึ่งลูกคลื่นจะใช้ไดโอดหรือเอสซีอาร์เพียงตัวเดียว แต่ในการเปลี่ยนไฟฟ้กระแสสลับเป็นไฟฟ้กระแสตรงชนิด 1 เฟสเต็มลูกคลื่น มีลักษณะการต่อหลายแบบ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป ซึ่งถ้าใช้ไดโอดจะไม่สามารถควบคุมแรงดันแรงดันเฉลี่ยเอาต์พุตได้ แต่ถ้าใช้เอสซีอาร์ร่วมด้วยจะสามารถควบคุมแรงดันเฉลี่ยเอาต์พุตได้

4.5 Full-wave Rectifier with Center tap Transformer

การแปลงไฟฟ้กระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงแบบเต็มลูกคลื่น โดยใช้หม้อแปลงที่มีจุดกึ่งกลาง ดังแสดงในรูป 4.10 ก. จะใช้เอสซีอาร์เพียง 2 ตัว เปลี่ยนกันนำกระแสตัวละครึ่งลูกคลื่น เอสซีอาร์ 1 สามารถถูกทริกให้นำกระแสขณะที่แรงดัน V_a เป็นบวกเมื่อเทียบกับจุดกึ่งกลางของหม้อแปลง โดยทำการทริกให้เอสซีอาร์นำกระแสที่มุม α หรือกล่าวได้ว่ามุมทริกเกอร์เท่ากับ α ในกรณีที่โบทเป็นความต้านทานอย่างเดียว เมื่อทริกให้เอสซีอาร์ 1 นำกระแสที่มุม α แล้วเอสซีอาร์ 1 จะหยุดนำกระแสเมื่อ V_a ตกลงสู่ศูนย์ คือ ที่มุม 180 องศา ดังแสดงในรูป 10 ข. และทริกให้เอสซีอาร์ 2 นำกระแสที่มุม $180+\alpha$ และเอสซีอาร์ 2 จะหยุดนำกระแสที่มุม 360 องศา แรงดันกระแสตรงเฉลี่ยที่โบทจะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.11 โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด

ในกรณีที่กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง คือ มุมทริกเกอร์ $\alpha > \phi$, เอสซีอาร์หยุดนำกระแสที่มุม β ดังแสดงในรูป 4.11 ก. จะมีแรงดันเฉลี่ยเอาท์พุทเท่ากับ

$$V_o (avg) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_A (-\cos \beta + \cos \alpha) \quad \dots 4.19$$

ในกรณีที่กระแสไหลต่อเนื่อง (continuous conduction) $\alpha < \phi$ นิ

จาวนาโดยแทนค่า $\alpha = \phi$ ลงในสมการ 4.8

$$\beta = 180 + \alpha \quad \dots 4.20$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 จะตกเป็นศูนย์ที่มุม $\beta = 180 + \phi$ และทำการทริกเอสซีอาร์ 2 ที่มุม ϕ (เมื่อมุมทริกเกอร์ $\alpha = \phi$) เพราะฉะนั้นเมื่อมุมทริกเกอร์นำกระแส กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 ยังไม่ตกลงเป็นศูนย์ เอสซีอาร์ 2 ก็ถูกทริกเกอร์ให้นำกระแส กระแสที่ไหลผ่านโหลดจึงไม่ตกลงเป็นศูนย์ จึงเป็นสภาวะที่กระแสไหลต่ออย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูป 4.11 ข. จะมีแรงดันเฉลี่ยเอาต์พุตเท่ากับ

$$V_o (\text{ave}) = \frac{2J^2}{\pi} V_A \cos \alpha \quad \dots 4.21$$

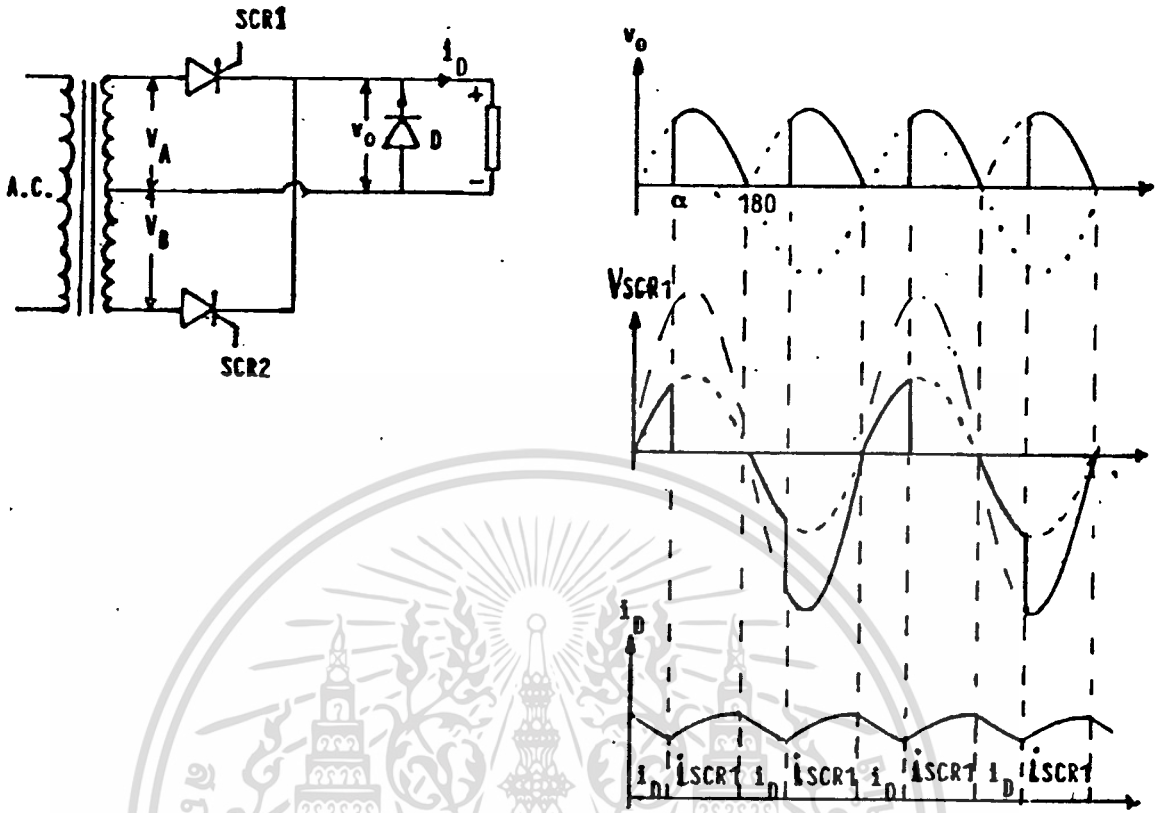
$$V = V_A = V_D = \text{แรงดันอาร์เอ็มเอสที่จุดกึ่งกลางของหม้อแปลง}$$

ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟโหลดและมี flywheel-diode ต่อขนานกับโหลดดังแสดงในรูป 12ก. สัญญาณของแรงดันที่โหลดจะไม่ลดลงต่ำกว่าศูนย์ ไดโอด จะนำกระแสรักษากระแสที่ไหลผ่านโหลดให้ไหลต่อเนื่องอยู่ ดังแสดงในรูป 12 ข. แรงดันเฉลี่ยเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$V_o (\text{ave}) = \frac{J^2 V}{\pi R} (1 + \cos \alpha) \quad \dots 4.22$$

Flywheel diode จะต้องสามารถทนกระแสสูงสุดของโหลด และต้องทนแรงดันเท่ากับ $J^2 V$ โวลต์

จะสังเกตว่าเอสซีอาร์ทั้งสองต้องทนแรงดันมากกว่า $2(J^2 V)$



รูป 4.12 มี Flywheel diode ต่อขนานกับอินดักทีฟโหลด

เมื่อแรงดันสูงสุด ครึ่งหนึ่งของขดจ่ายไฟ (Secondary winding) = V_m

$$\text{แรงดันเอาท์พุท} = V_{o(\text{ave})} = V_{dc}$$

$$\text{กระแสเฉลี่ยเอาท์พุทต่อครึ่งหนึ่งของขดจ่ายไฟ} = I_{dc}/2 = I_{o(\text{ave})}$$

$$\text{กระแสอาร์เอ็มเอสเอาท์พุทต่อครึ่งหนึ่งของขดจ่ายไฟ} = \sqrt{(I_{dc})^2}/2 = 0.707 I_{dc}$$

$$\text{แรงดันอาร์เอ็มเอสต่อครึ่งหนึ่งของขดจ่ายไฟ} = V_m/\sqrt{2} = V_{r.m.s.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น $\frac{1}{\sqrt{2}} V_m$ นำไปใช้ $\approx 1.11 V_{dc}$ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ขดจ่ายไฟมีค่า volt-amperes (RMS)} &= 2 \times 0.707 I_{dc} \times 1.11 V_{dc} \\ &= 1.57 V_{dc} \times I_{dc} \end{aligned}$$

$$\text{เมื่อ } \frac{n_1}{n_2} = 1$$

$$\text{แรงดันอาร์เอมเอสที่ขดรับไฟ (primary winding)} = 1.11 V_{dc}$$

$$\text{กระแสอาร์เอมเอสที่ขดรับไฟ} = I_{dc}$$

$$\text{ขดรับไฟมีค่า volt-amperes (RMS)} = 1.11 V_{dc} \times I_{dc}$$

เอสซีอาร์จะต้องทนกระแสได้มากกว่า $I_{dc}/2$

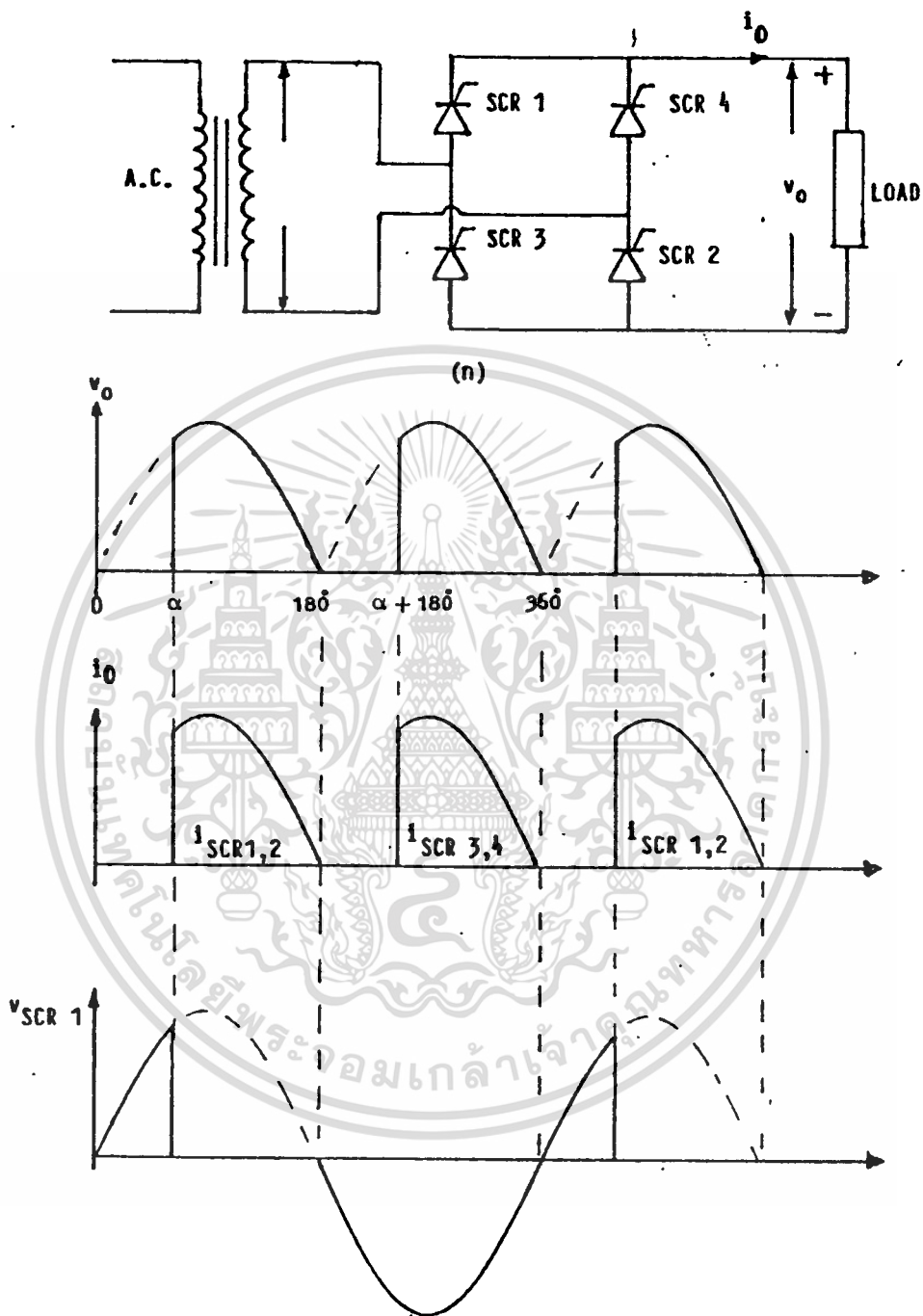
และต้องทนแรงดันได้มากกว่า $3.14 V_{dc}$

4.6 Fully controlled single-phase bridge

วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริจ โดยควบคุมเต็มจะประกอบด้วยเอสซีอาร์ จำนวน 4 ตัว ดังแสดงในรูป 4.13 ในการควบคุมแบบนี้จะสามารถจ่ายพลังงานกลับสู่แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับได้ คือ ในกรณีที่โหลดเป็นมอเตอร์กระแสตรง

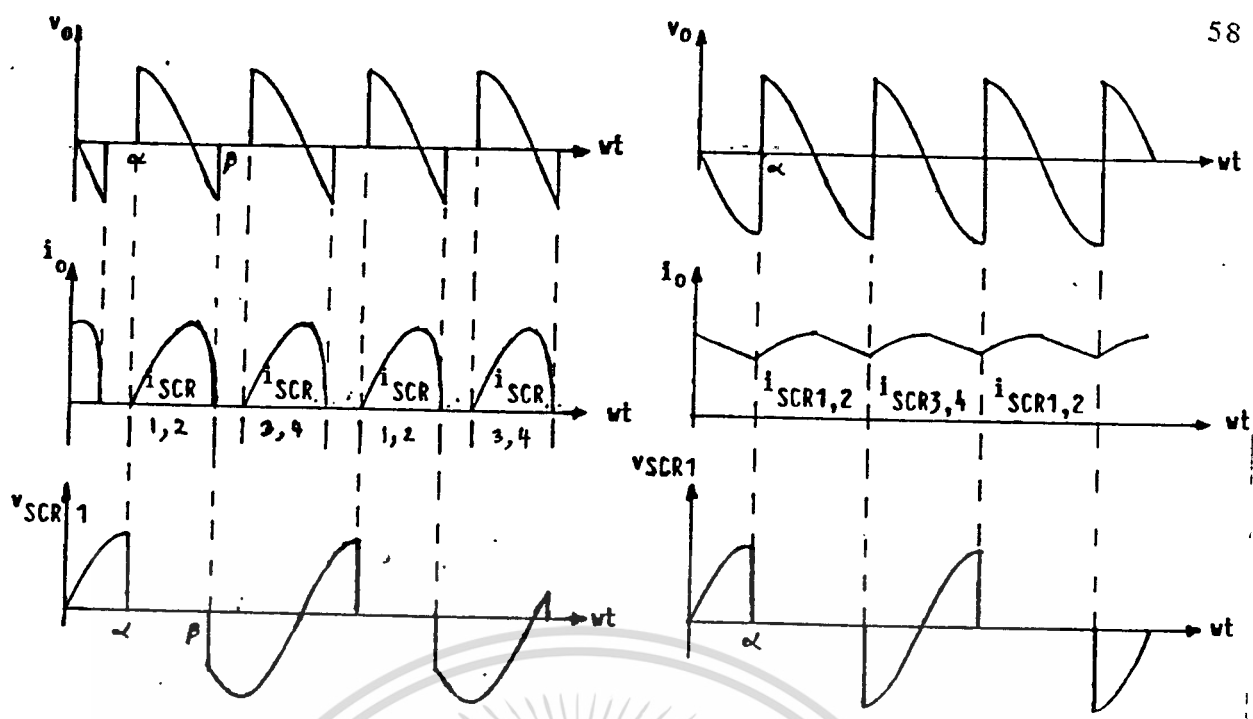
กระแสไหลผ่านโหลดเมื่อเอสซีอาร์ 1 และ 2 ถูกทริกให้นำกระแสพร้อมกัน และเอสซีอาร์ 3 และ 4 จะต้องถูกทริกให้นำกระแสในครึ่งลูกคลื่นต่อไป จะสังเกตว่าเอสซีอาร์ 2 ตัวที่ ต้องทริกให้นำกระแสพร้อมกัน ขั้วคาโทดไม่ได้ต่อร่วมกันและมีระดับแรงดันต่างกัน เมื่อต้องการใช้วงจรสร้างสัญญาณทริกวงจรถือเดียวกัน จึงจำเป็นต้องใช้ pulse transformer ดังแสดงในรูป 16 หรือใช้ opto-coupler มาแยกคาโทดของเอสซีอาร์ทั้งสองออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.13 Fully-controlled single-phase bridge with resistive load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- (ก) โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด (ข) โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด
- กระแสไหลลไหลไม่ต่อเนื่อง กระแสไหลลไหลต่อเนื่อง

รูป 4.14 Fully-controlled single-phase bridge with inductive load

สัญญาณของแรงดันขณะที่มีโหลดเป็นความต้านทานอย่างเดียว แสดงในรูป 13 ข. ทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแสที่มุม α เอสซีอาร์จะนำกระแสจนกระทั่งแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับตกลงเป็นศูนย์ แรงดันเฉลี่ยที่โหลดมีค่าเท่ากับ

$$V_{o(av)} = \frac{2V}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad \dots \quad 4.23$$

สัญญาณของแรงดันขณะที่มีโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลลไหลไม่ต่อเนื่อง ทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแสที่มุม α และเอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสที่มุม β

$$V_{o(av)} = \frac{2V}{\pi} (\cos \alpha - \cos \beta) \quad \text{ที่ } \alpha > \phi \quad \dots \quad 4.24$$

สัญญาณของแรงดันขณะที่มีโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลลไหลอย่างต่อเนื่อง คือ เริ่มทริกเอสซีอาร์ 1 และ 2 ให้นำกระแสที่มุม α เอสซีอาร์ทั้งสองหยุดนำกระแสที่มุม $180 + \alpha$ และเริ่มทริกเอสซีอาร์ 3 และ 4 ให้นำกระแสที่มุม $180 + \alpha$ ดังแสดงในรูป 4.14

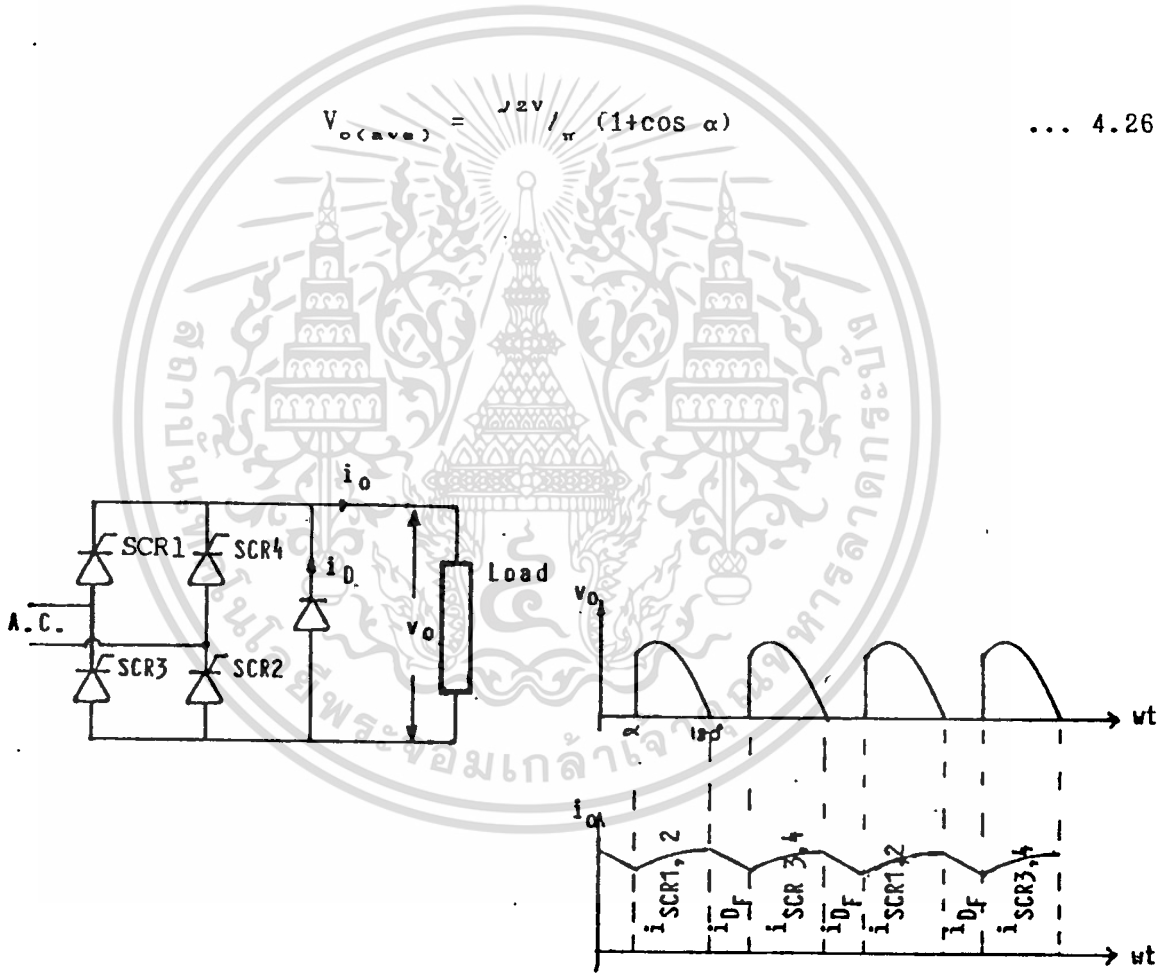
เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{o(ave)} = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \cos \alpha \quad \text{ที่ } \alpha \leq \beta \quad \dots 4.25$$

สัญญาณของแรงดันขณะที่มีโหลดเป็นอินดักทีฟโหลด ที่มี flywheel diode ต่อขนานอยู่ เมื่อทริกเอสซีอาร์ให้หน้ากระแสที่มุม α และเอสซีอาร์จะหยุดนำกระแส เมื่อแรงดันตกเป็นศูนย์ หรือ ที่มุม 180 องศา กระแสจากโหลดจะไหลผ่าน flywheel diode แทน จะได้สัญญาณของแรงดัน ดังแสดงในรูป 4.15 แรงดันเฉลี่ย

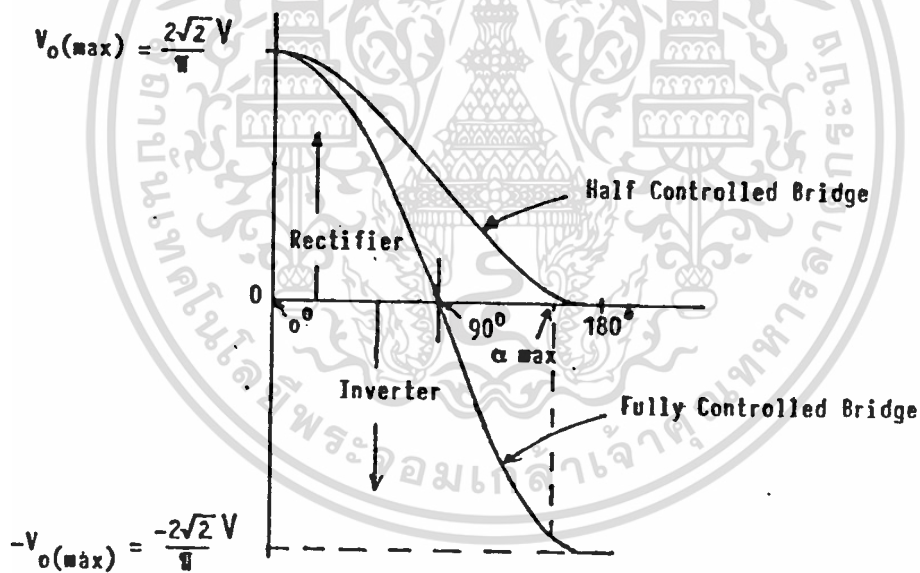
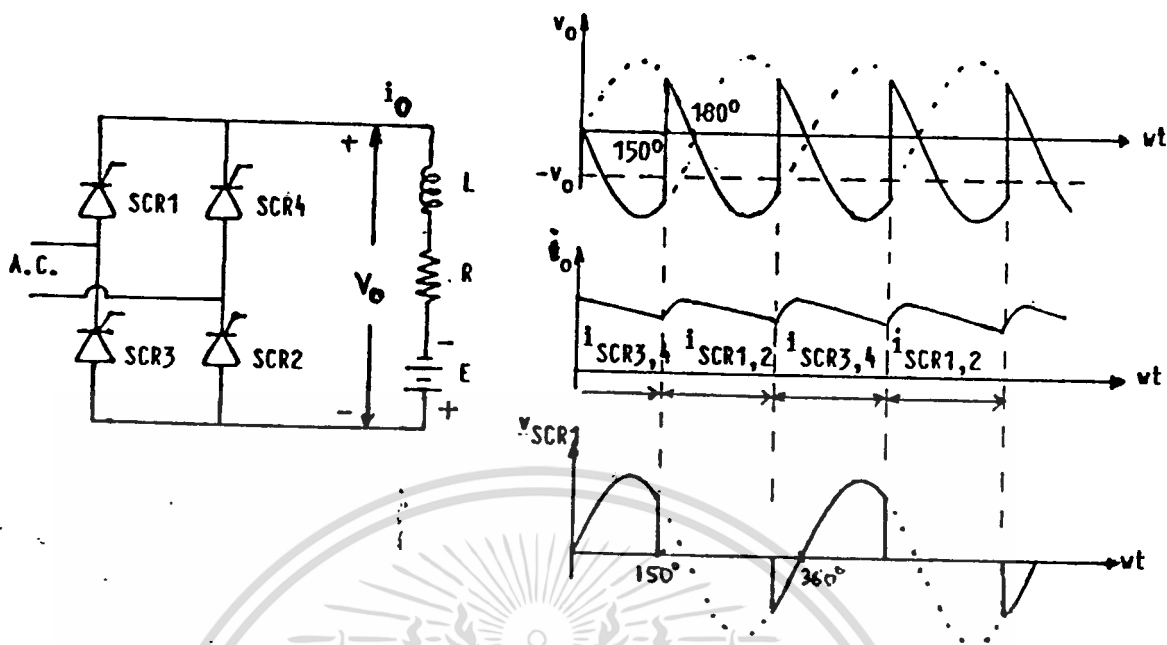
ที่โหลดมีค่าเท่ากับ

$$V_{o(ave)} = \frac{\sqrt{2}V}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad \dots 4.26$$



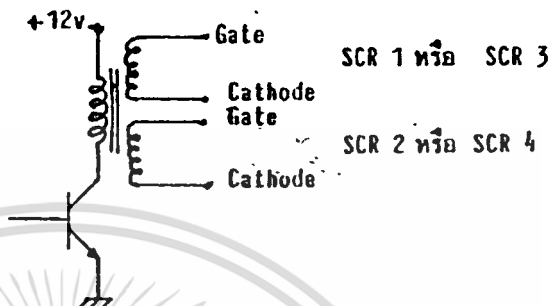
รูป 4.15 Fully-controlled single-phase bridge with flywheel diode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.17 ในสถานะของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

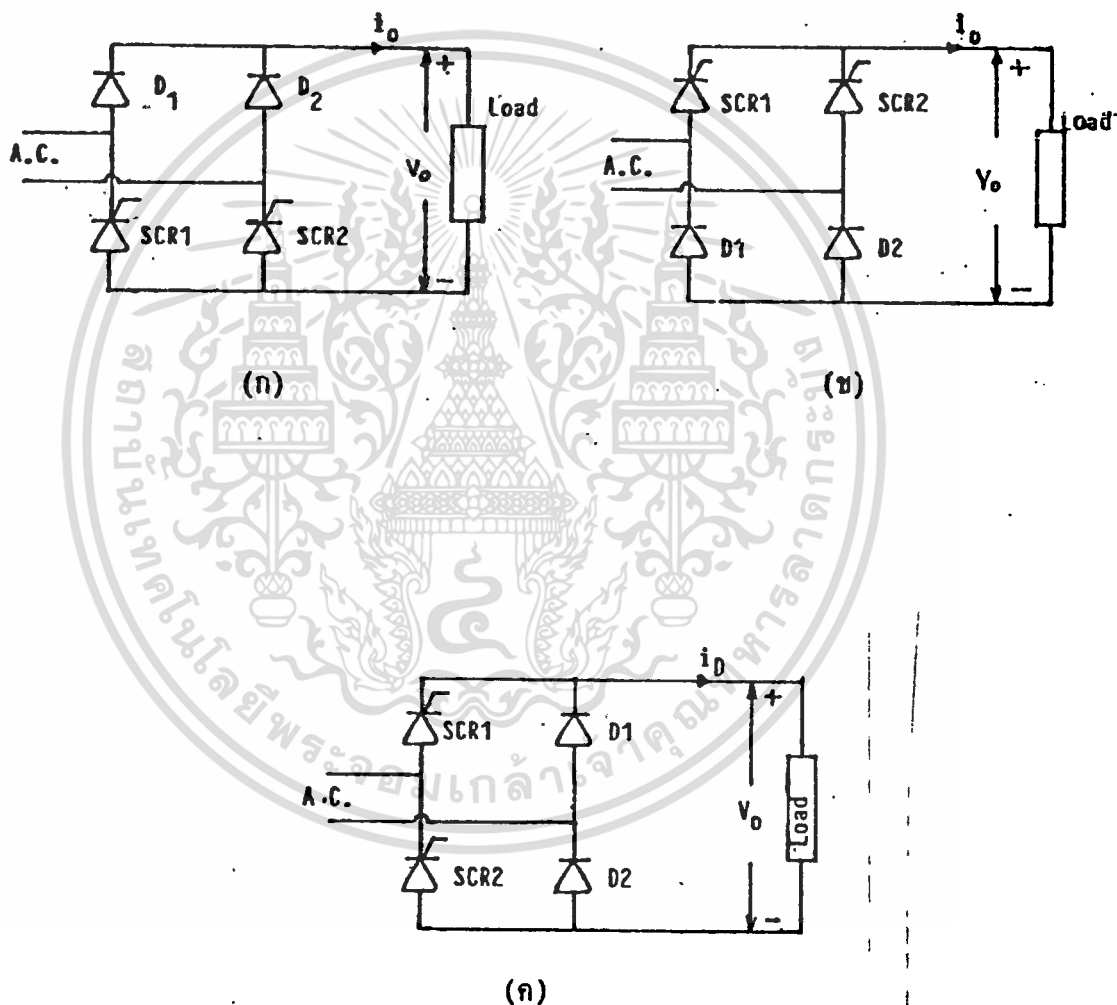


รูป 4.16 Firing circuit output connections

จากสมการ 4.25 จะเห็นว่า ถ้า $\alpha > 90$ องศา แรงดันเฉลี่ยที่โหลด $V_{o(av)}$ จะมีค่าเป็นลบ ในสภาวะเช่นนี้ ถ้าโหลดมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง เช่น แบตเตอรี่ หรือ e.m.f. ที่อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะจ่ายสู่แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ เรียกว่า เป็นสภาวะของ regeneration หรือ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) สำหรับในกรณี $\alpha = 150$ องศา แรงดันเฉลี่ยที่โหลดและแรงดันคร่อมเอสซีอาร์แสดงในรูป 4.17

4.7 Single phase Half Controlled Bridge.

การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิด 1 เฟส แบบ Half Controlled Bridge โดยใช้อะไสซีอาร์ 2 ตัว และไดโอด 2 ตัว สามารถทำได้ 3 ลักษณะ ดังแสดงในรูป 18



รูป 4.18 ก) แอนโอดของไอสซีอาร์ต่อกัวยกัน

ข) แคโทดของไอสซีอาร์ต่อกัวยกัน

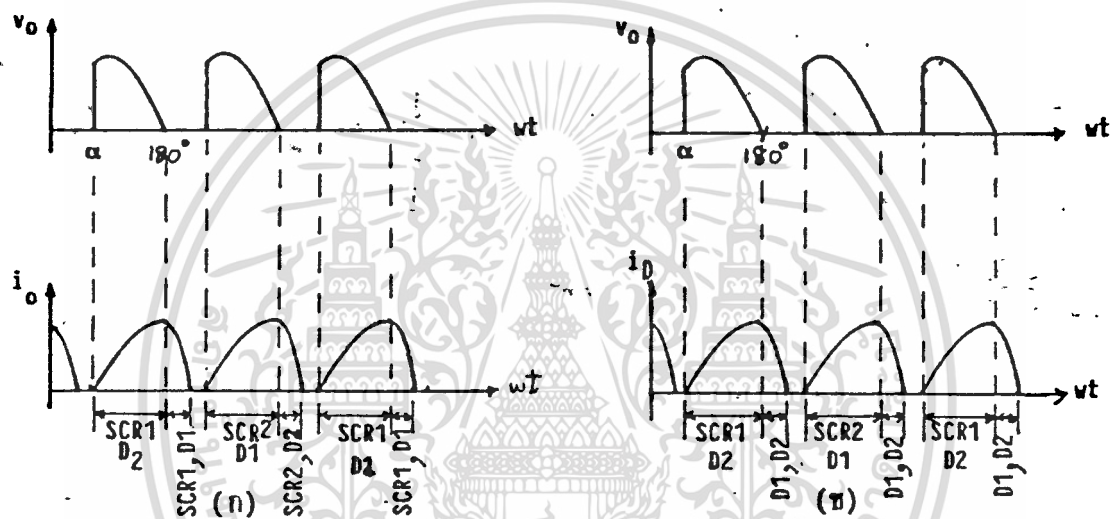
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน (ค) แอนโอดและแคโทดของไอสซีอาร์ต่อกัวยกัน ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรรูป 4.18 เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ 1 ให้นำกระแสเมื่อเอสซีอาร์ 1 ด้รับฟอร์เวอร์ไบอัสจะมีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ 1, D_2 และโหนด และทำการทริกเอสซีอาร์ 2 ให้นำกระแสเมื่อเอสซีอาร์ 2 ด้รับฟอร์เวอร์ไบอัสจะมีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ 2, D_1 และโหนดในวงจรรูป 18 ก. และ ค. วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างสัญญาณทริกเอสซีอาร์ทั้งสองแยกกันในวงจรรูป 4.18 ข. ไม่ต้องใช้ pulse transformer วงจรรูป 4.18 ค. ไดโอด D_1, D_2 ทำหน้าที่เป็น flywheel diode ดังแสดงสัญญาณต่างๆ ในรูป 4.20 ข.

ในกรณีที่โหนดเป็นความต้านทานอย่างเดี่ยว เมื่อทำการทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแสที่มุม α เอสซีอาร์ก็จะนำกระแส จนกระทั่งแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับตกเป็นศูนย์หรือที่มุม 180 องศา แรงดันเฉลี่ยที่โหนดจะมีค่าเท่ากับ $\frac{\sqrt{2}V}{\pi}(1+\cos \alpha)$ สัญญาณแรงดันที่โหนดเหมือนกับที่แสดงในรูป 4.18

ในกรณีที่โหนดเป็นอินดักทีฟโหนด แต่กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง เมื่อทำการทริกให้เอสซีอาร์ 1 ให้นำกระแสที่มุม α กระแสจะไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 และ D_2 เมื่อแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟสลับ ตกเป็นศูนย์หรือที่มุม 180 องศา ในวงจรรูป 4.18 ก. และ ข. กระแสโหนดจะไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 และไดโอด D_1 แทน แต่ในวงจรรูป 18 ค. กระแสโหนดจะไหลผ่านไดโอด D_1 และ D_2 แทน จนกระทั่งกระแสไหลผ่านโหนดตกเป็นศูนย์ จึงทำการทริกเอสซีอาร์ 2 ให้นำกระแสที่มุม $180+\alpha$ ซึ่งมีลักษณะการนำกระแส เหมือนกับที่อธิบายมา

สัญญาณต่างๆ แสดงในรูป 4.19 และแรงดันเฉลี่ยที่โหนดมีค่าเท่ากับ $\frac{\sqrt{2}V}{\pi}(1+\cos \alpha)$

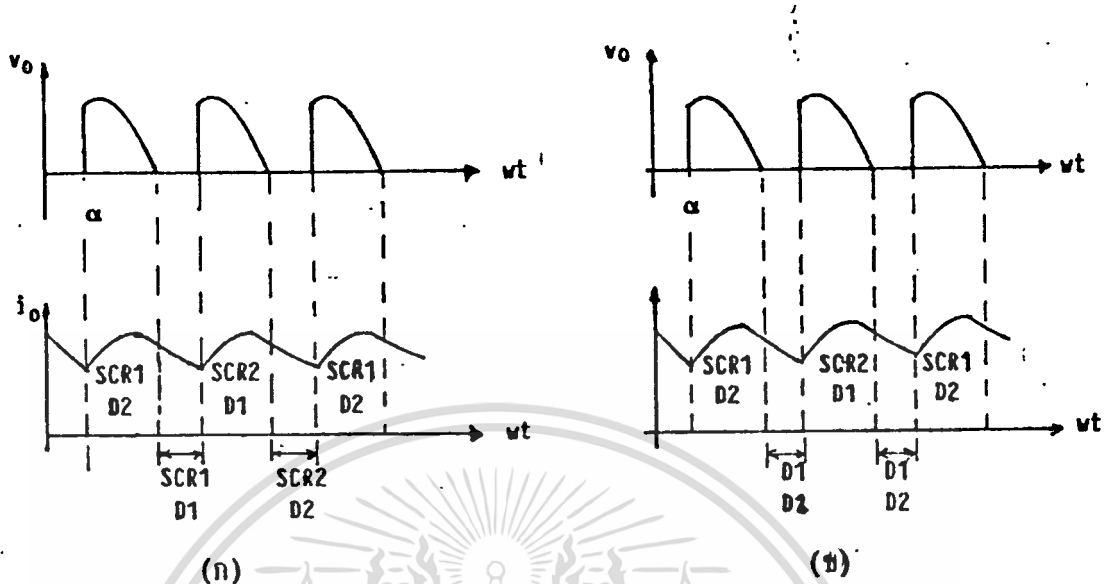


รูป 4.19 กรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลกลับไม่ต่อเนื่อง

ก) ของวงจรรูป 4.18 ก. และ ข.

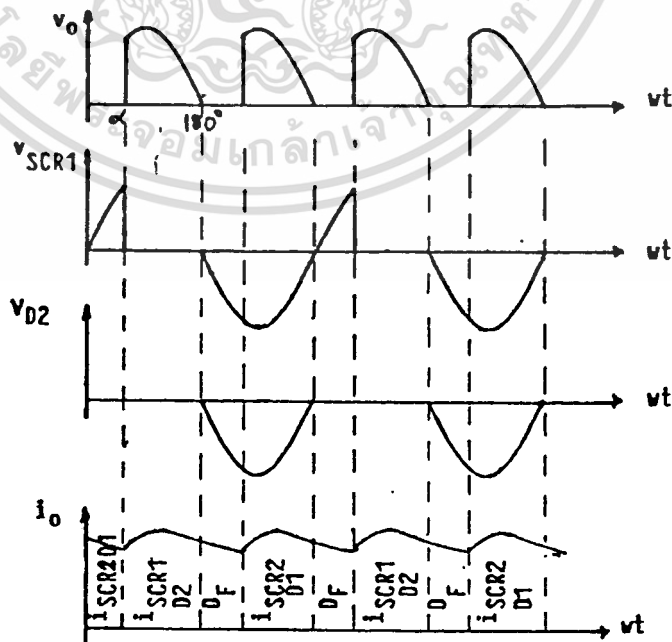
ข) ของวงจรรูป 4.18 ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.20 กระแสไหลอย่างต่อเนื่อง

- ก) ของวงจรรูป 4.18 ก. และ ข.
- ข) ของวงจรรูป 4.18 ค.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูป 4.21 ลักษณะของวงจรรูป 4.18 ก. และ ข. ให้มี flywheel-diode
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

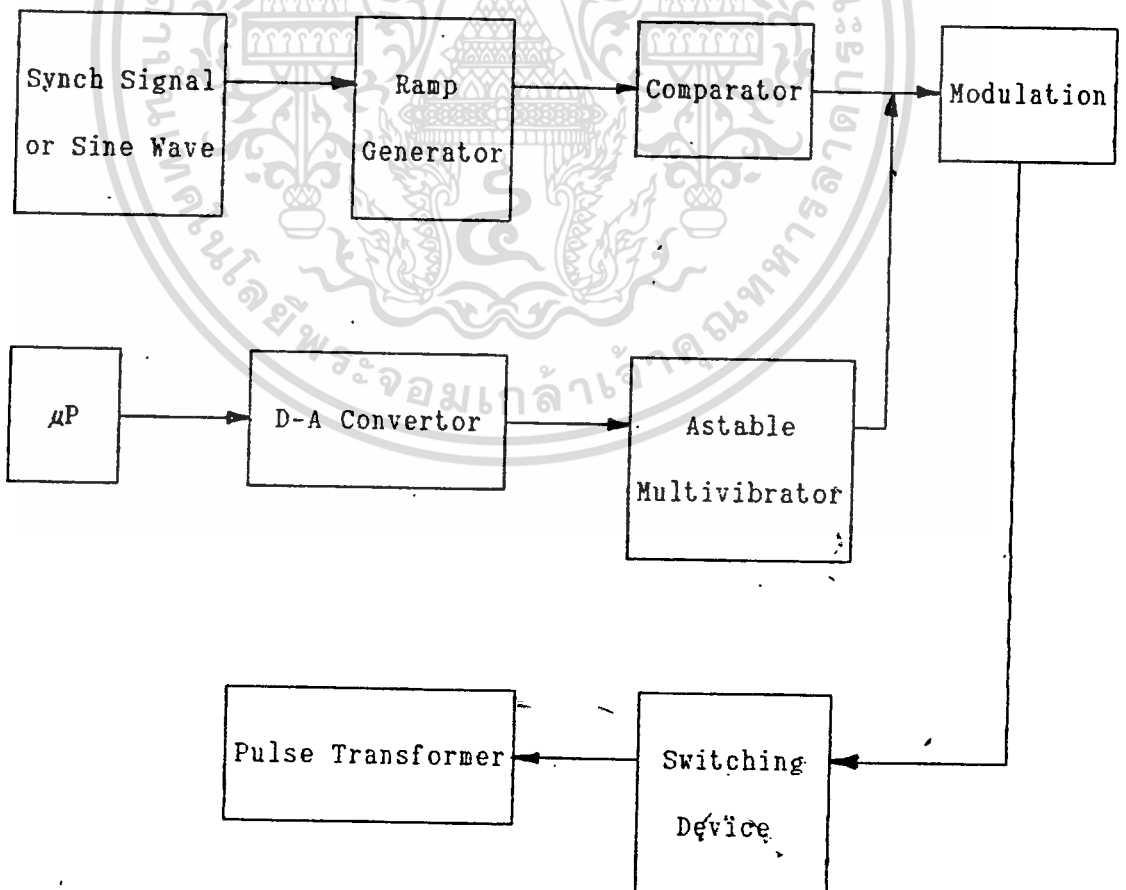
ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟโหลด แต่กระแสไหลอย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการทริกให้
 เอสซีอาร์ 1 ให้นำกระแสที่มุม α กระแสจะไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 และ D_2 เมื่อแรงดันจาก
 แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับตกเป็นศูนย์ หรือที่มุม 180 องศา วงจรรูป 4.18 ค. กระแสไหลจะ
 ไหลผ่านไดโอด D_1 และ D_2 จนกระทั่งทริกให้เอสซีอาร์ 2 นำกระแส สัญญาณต่างๆ
 แสดงในรูป 4.20 ข. สำหรับวงจรรูป 4.18 ก. และ ข. กระแสจะไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 และ
 ไดโอด D_1 และ ค. ดังแสดงในรูป 4.20 ก. กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะไหลต่อเนื่อง จนกระทั่ง
 ทำการทริกเอสซีอาร์ 2 ให้นำกระแสซึ่งในการทริกเอสซีอาร์ 2 จะทำให้เอสซีอาร์ 1 หยุดนำ
 กระแส นิยามารวงจรรูป 4.18 ก. และ ข. และรูป 4.20 ก. เมื่อทริกให้เอสซีอาร์ 1 ให้นำ
 กระแสที่มุม α จะกระทั่งกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ 1 และไดโอด D_1 ยังมีอยู่จนกระทั่ง
 ถึงมุม 360 องศา เอสซีอาร์ 1 จะนำกระแสต่อไป โดยมีกระแสไหลผ่าน เอสซีอาร์ 1 และ
 ไดโอด D_2 ที่มุม 360 องศา ในการนี้จึงไม่สามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์ เพื่อไม่
 ให้เกิดการมีคลื่นรบกวนนี้จึงจำเป็นต้องต่อ flywheel diode ขนานกับโหลด ดังแสดงสัญญาณต่างๆ
 ในรูป 4.21

บทที่ 5

วงจรสร้างสัญญาณจลชนวน

วงจสร้างสัญญาณจลชนวน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญไม่ด้อยไปกว่าส่วนอื่นๆเลย เพราะเป็นส่วนที่ช่วยในการควบคุมความเร็วรอบและระดับแรงดัน ให้เป็นไปตามที่ต้องการเพียงแต่รับสัญญาณควบคุมจากไมโครโปรเซสเซอร์อีกทอดหนึ่ง

สัญญาณจลชนวนเป็นสัญญาณที่จะนำไปจลชนวนไทรสเตอร์ หรือ SCR ให้นำกระแสตามจุดที่เราต้องการ โดยแปรมุมในการจลชนวนได้ตั้งแต่ 0 องศาถึง 180 องศา ขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมจากไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งจะแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาลอก แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปควบคุมมุมจลชนวน ก่อนจะกล่าวถึงการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกนั้น จะขออธิบายถึงการสร้างสัญญาณจลชนวนก่อน ดังบล็อกไดอะแกรมต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเป็น Block Diagram ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางาน

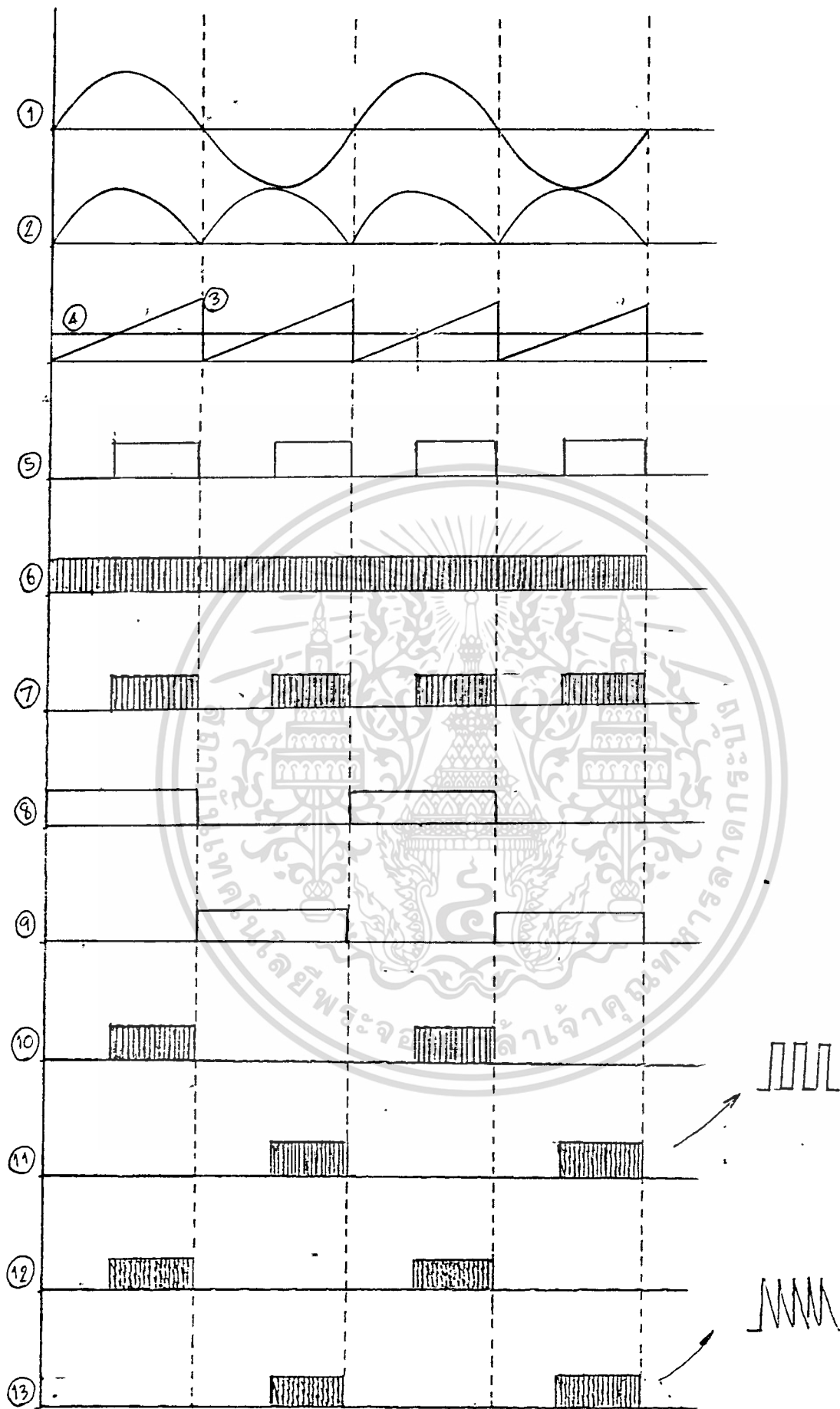
วงจรสร้างสัญญาณจตุรชนวนมีหลักการทํางาน ดังนี้

- 1) นำแรงดันกระแสสลับ 220 V ลดระดับแรงดันเหลือ 15 V จะได้สัญญาณ ดังรูปที่ 1
- 2) นำสัญญาณ(1)ไปผ่านวงจรเรกติฟายไดโอด (Diode-Rectifier) ให้เป็นสัญญาณเต็มคลื่น(Full Wave) ดังรูปสัญญาณที่ (2)
- 3) นำสัญญาณ (2) ไปผ่านวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย (Saw-Tooth or Round-Generator Circuit) ให้เป็นสัญญาณรูปที่ (3)
- 4) ส่วนสัญญาณ (4) เป็นสัญญาณที่ได้จากไมโครโพรเซสเซอร์ โดยผ่านวงจรดิจิทัลเป็นสถานะอนาลอกที่สามารถแปรค่าได้ ซึ่งแปลงสัญญาณ 8 bit ให้เป็นสัญญาณเส้นตรง
- 5) นำสัญญาณ(3)และ(4)มาเปรียบเทียบกัน ถ้าสัญญาณ(3) > สัญญาณ(4)จะเกิดสัญญาณพัลส์โดยความกว้างจะแปรตามระดับสัญญาณ(4) สัญญาณที่ได้คือ สัญญาณ (5)
- 6) สัญญาณ(6) ได้จากวงจรสร้างสัญญาณความถี่สูงประมาณ 10 KHz หรือเรียกว่า Astable Multivibrator
- 7) นำสัญญาณ (5) และ (6) มาผสมกัน(Modulation) จะได้เป็นสัญญาณที่ (7)
- 8) สัญญาณ(8)และ(9)ได้จากการนำสัญญาณ (1) แปลงเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) แบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting) และแบบกลับเฟส (Inverting) ตามลำดับ
- 9) เมื่อนำสัญญาณ (7) และ (8) กับ (7) และ (9) มาผสมกัน จะได้เป็นสัญญาณ (10) และ (11) ตามลำดับ
- 10) เมื่อนำสัญญาณ (10) และ (11) เข้าสู่วงจรสวิตชิงเข้าสู่พัลส์ทรานฟอร์มเมอร์ (Pulse Transformer) จะได้เป็นสัญญาณดังรูปที่ (12) และ (13) ตามลำดับ หากดูภายนอก สัญญาณ (10) กับ (12) และ (11) กับ (13) จะคล้ายกัน แต่ภายในพัลส์ที่ได้จะมีลักษณะต่างกัน ดังรูปขยายทั้งสองรูปที่แสดงไว้

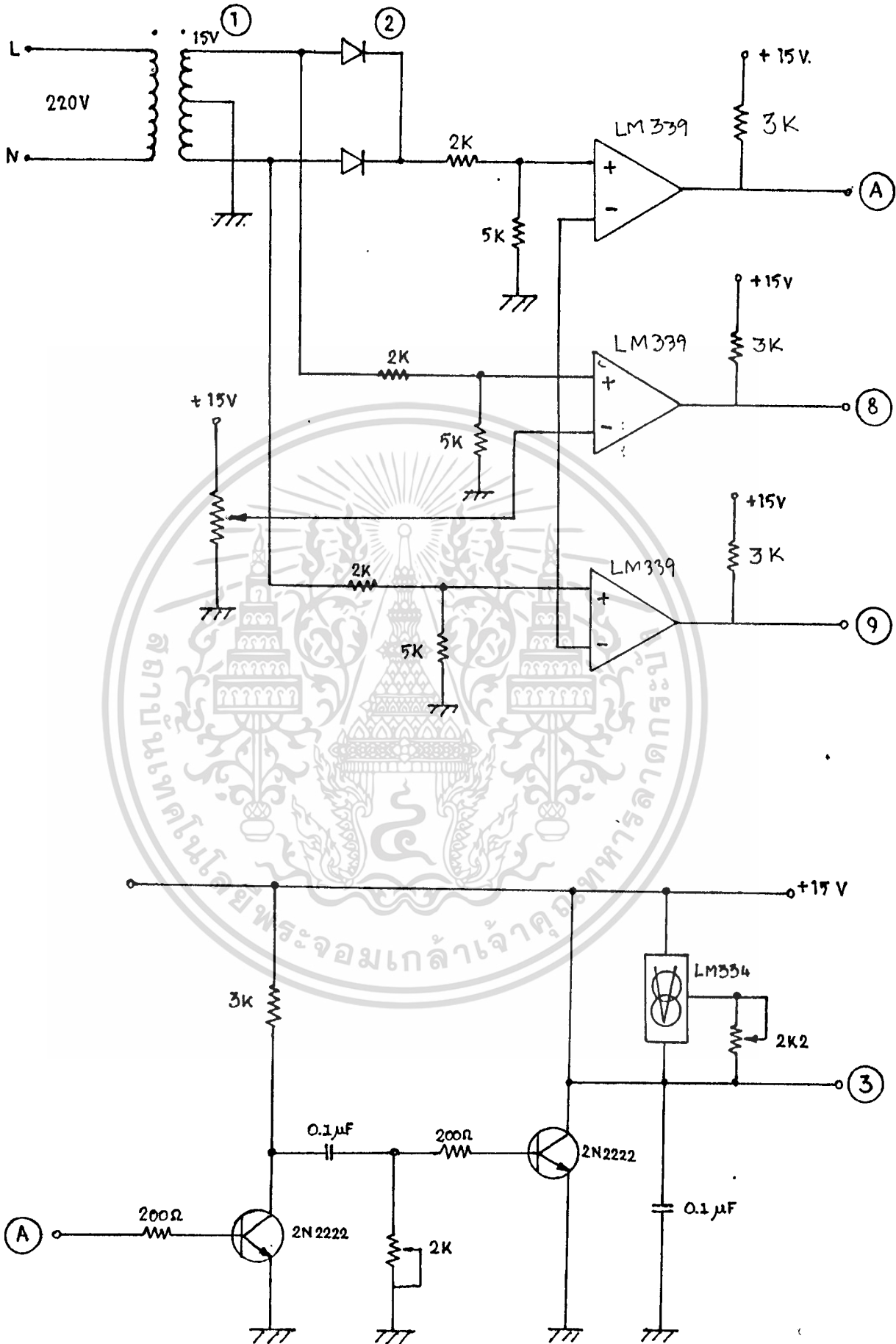
11) จากนี้ให้นำสัญญาณ(12) และ(13) จากพัลส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็น การแยกวงจรควบคุมออกจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยสัญญาณจาก Pulse Transformer ทั้งสองเข้าสู่ขาเกตและคาโทดของ SCR ตามส่วนที่เราต้องการใช้งาน โดยวงจรควบคุม SCR ทั้งหมดเป็นดังนี้



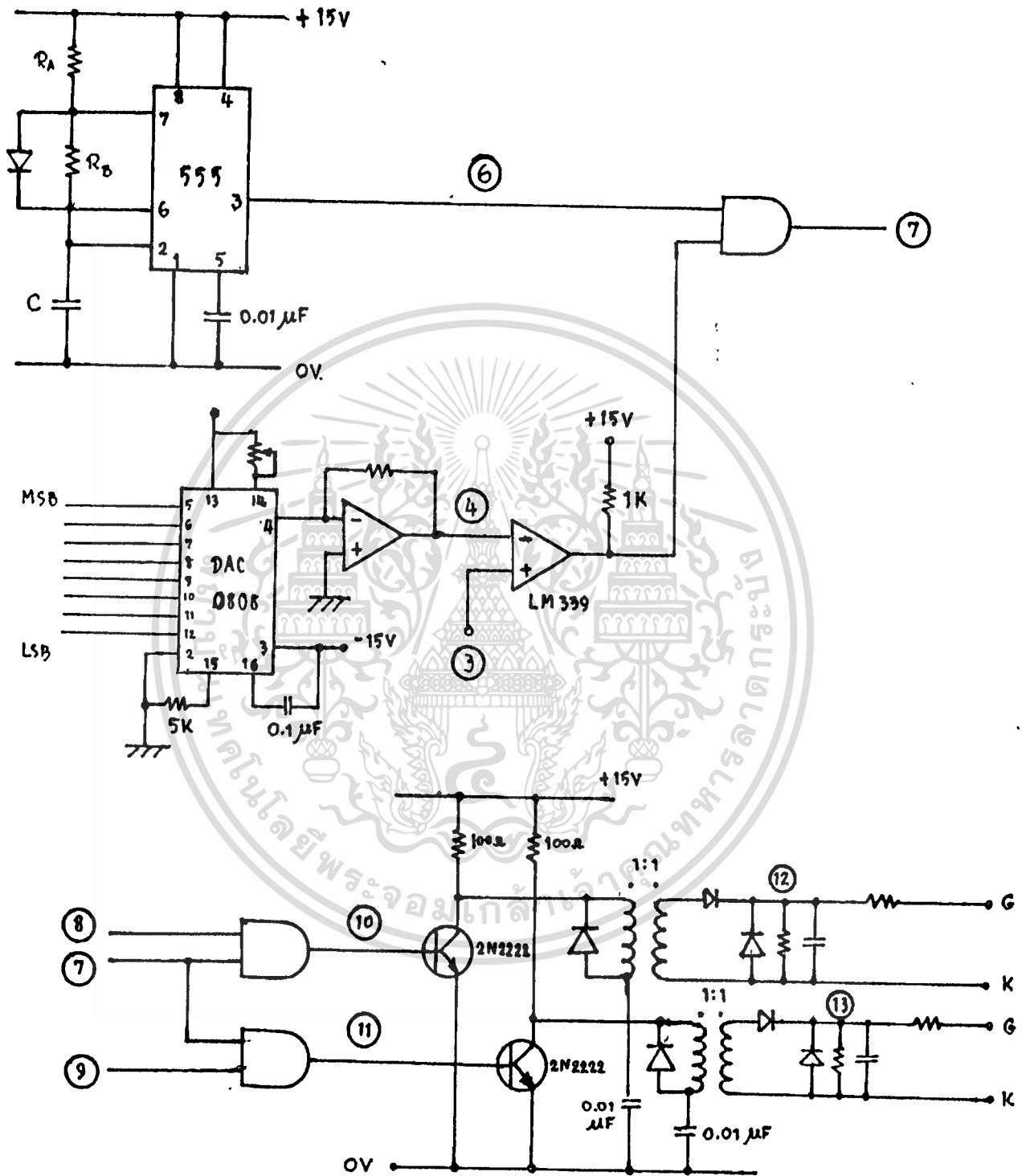
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

DIGITAL TO ANALOG CONVERSION (DAC)

เราทราบแล้วว่าสัญญาณที่อยู่ในรูปของโวลต์เตจ อุณหภูมิ ความดัน ความเร็ว ล้วนแล้วแต่ เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้งสิ้น ส่วนใหญ่ในการควบคุมจะต้องมีการรับเอาสัญญาณอนาล็อกเหล่านี้มาทำการประมวลผลที่อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเสียก่อน(ADC) แล้วจึงนำมาประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณอนาล็อก(DAC) อีกครั้ง ดังนั้นการเปลี่ยนสัญญาณทั้งสองเพื่อให้สมมาตรกันจึงเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง อีกประการหนึ่งจะต้องลดความผิดพลาดให้น้อยที่สุด มิฉะนั้นแล้วจะไม่สามารถทำให้ การควบคุมเป็นไปตามประสงค์ได้ ซึ่งในการทดลองนี้จะมีการพิจารณาถึงสิ่งเหล่านี้ด้วย

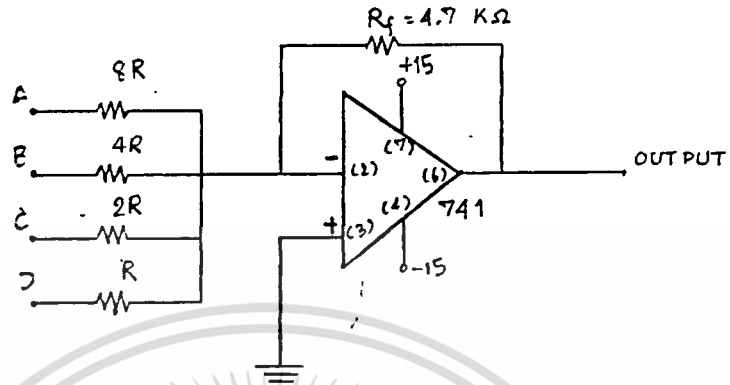
การเปลี่ยนสัญญาณ DAC ทำได้ 2 วิธี

1. การจัดขนาดของความต้านทาน (WEIGHTED-RESISTOR)
2. การจัดวงจรเน็ตเวิร์ค R-2R (R-2R LADDER)

ดังรูปที่ 1 เป็นวงจร 4 บิต ที่ใช้เป็นการจัดขนาดของความต้านทาน โดยอาศัย OP-AMP จัดให้เป็นวงจร SUMMING ซึ่งสัญญาณของเอาต์พุตโวลต์เตจได้ดังนี้

$$V_o = -V(1)/R * R_f (8D + 4C + 2B + A) \dots\dots 1$$

เมื่อ V(1) คือ สัญญาณอินพุตโวลต์เตจที่มีสภาวะเป็น "1" เข้าที่บิต D,C,B และ A ตามลำดับ

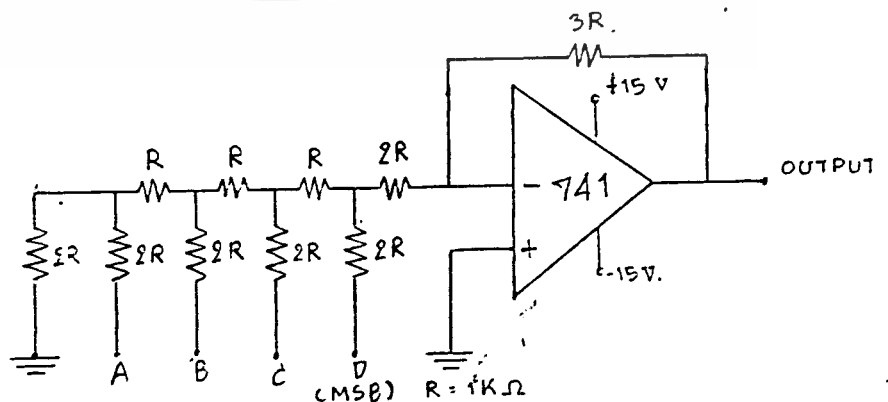


รูปที่ 1 4-BIT WEIGHTED-RESISTOR D/A CONVERTER

ดังรูปข้างล่าง เป็นวงจร 4 บิต R-2R LADDER โดยอาศัยรีซิสเตอร์ขนาด R และ 2R มาต่อกันเป็น Network และอาศัยวงจรที่ใช้ OP-AMP เช่นกัน

$$V_o = -V(1)/8 * (8D + 4C + 2B + A)$$

..... 2



รูปที่ 2 4-BIT R-2R LADDER NETWORK D/A CONVERTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงสัญญาณนั้นมีความคลาดหรือไม่ พิจารณาจากสิ่งเหล่านี้

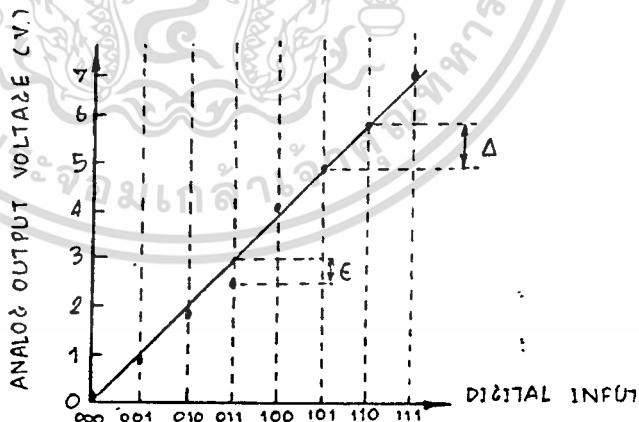
1. ความละเอียด (RESOLUTION) จำนวนของบิตของสัญญาณดิจิทัลที่ต้องการเปลี่ยนนั้นจะเป็นสิ่งที่กำหนด

ความละเอียดของการแปลงสัญญาณ RESOLUTION หาได้จาก $1/(2^N - 1) * 100\%$

2. ความเป็นเชิงเส้น (LINEARITY) ความเป็นเชิงเส้นนี้จะมีความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตโวลต์ เติบโต ที่เป็นสัญญาณอนาล็อกและอินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งหมายถึงการที่อินพุตมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณมากขึ้นหรือน้อยลงแล้วเอาต์พุตก็เช่นกัน จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในลักษณะเดียวกัน ด้วยอัตราส่วนที่คงที่

การหาค่าความผิดพลาดของความเป็นเชิงเส้น

จากรูปที่ 3 เมื่อมีการพล็อตจุดต่างๆ ลงไปในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตแล้ว ลากเส้นตรงให้ผ่านจุดต่างๆ เหล่านี้ให้มากที่สุดจะทำให้หาค่าความผิดพลาดได้จาก c/Δ ซึ่งค่าที่ได้ จะต้องมิต้านน้อยกว่า $\pm 1/2$ LSB



รูปที่ 3 MEASUREMENT OF THE LINEARITY ERROR OF A D/A CONVERTER

3. ความเที่ยงตรง (ACCURACY) เป็นความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จากเอาต์

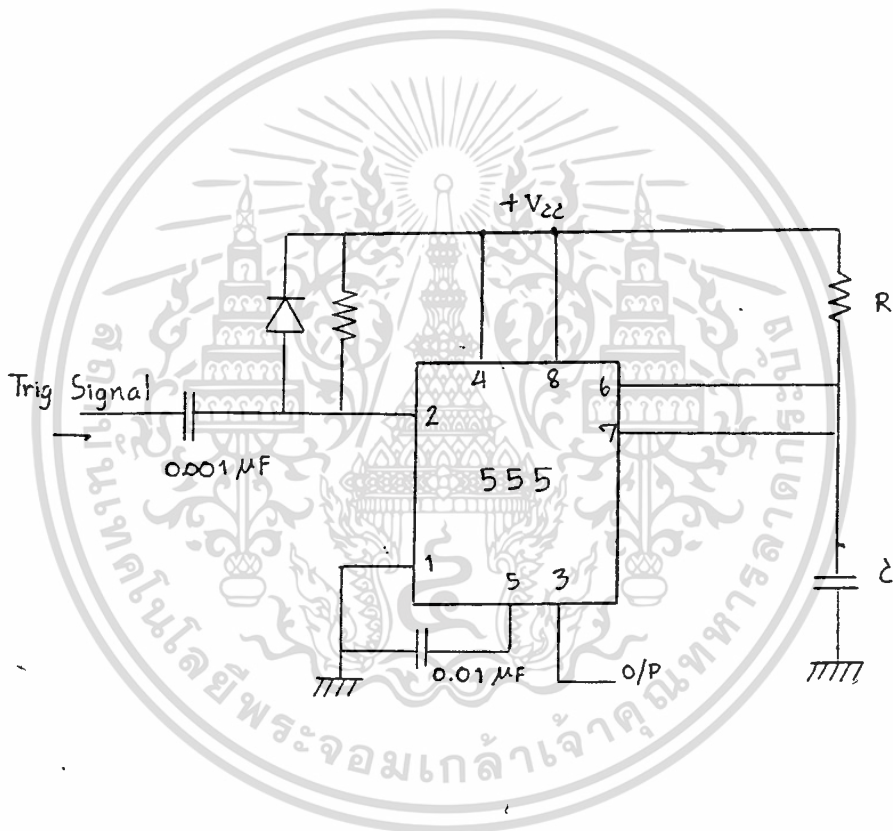
พุตจริงและค่าที่วัดได้จากการคำนวณ ซึ่งปกติแล้วค่าความเที่ยงตรงนี้จะถูกกำหนดในรูปของ FULL-SCALE OUTPUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานไอซี 555

การใช้งานเป็นวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable Multivibrator)

วงจรแบบง่าย ๆ ของโมโนสเตเบิลเป็นดังรูป



การใช้งานสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ ได้มากมาย สำหรับโครงการนี้ ใช้วงจรโมโนสเตเบิลในวงจรเปรียบเทียบกับความต่างเฟส ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป ส่วนในบทนี้จะอธิบายถึงการสร้างสัญญาณโมโนสเตเบิล

การทำงานของวงจรสามารถกล่าวโดยย่อได้ดังนี้ คือ เมื่อให้วงจรทำงานในหน้าที่เป็นโมโนสเตเบิล เราจะต้องต่อความต้านทาน 1 ตัว และ ตัวเก็บประจุอีก 1 ตัว ในการกำหนด

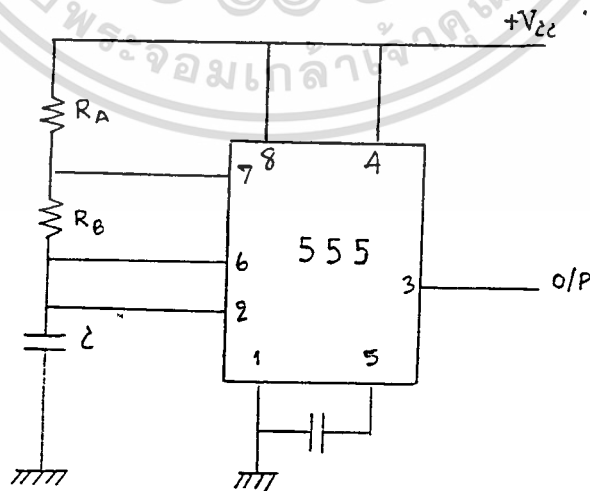
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากรูป ตัวเก็บประจุ C ที่ต่อภายนอกจะคายประจุผ่านทรานซิสเตอร์ใน
 ขณะที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัว เมื่อป้อนสัญญาณทริกเข้าที่ขา 2 ซึ่งจะไปทริกฟิลิปฟลอป
 พัลส์ของสัญญาณทริกจะต้องเป็นลบ โดยจะป้อนผ่านตัวเปรียบเทียบกับหลังจากที่ทริกพัลส์ผ่านไปแล้ว
 ฟิลิปฟลอปจะทำให้ทรานซิสเตอร์ลัดวงจรตัวเก็บประจุ C เอาท์พุทจะออกที่ขา 3 ในขณะที่ C
 คายประจุ แรงดันจะลดลง เมื่อแรงดันลดลงถึงค่าหนึ่ง คือ ลดค่าลงต่ำกว่า $1/3$ ของ V_{cc}
 ก็จะไปทริกฟิลิปฟลอปทำให้เอาท์พุทเปลี่ยนเป็นพัลส์ได้ ดังนั้นเอาท์พุทพัลส์จะไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่าง
 ของอินพุท แต่จะถูกควบคุมโดยค่าคงตัวตัวเวลา RC ซึ่งช่วงเวลาของพัลส์เอาท์พุท T จะมี
 ความกว้างพัลส์ประมาณ $1.1RC$ นั่นคือ

$$T = 1.1 RC$$

วงจรอะอสเตเบิล (Astable Multivibrator)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังรูป ได้ดังนี้ ตัวเก็บประจุภายนอก C จะรับประจุจนมีค่าแรงดันคร่อมตัวมัน $2/3 V_{cc}$ โดยการประจุผ่านตัวต้านทาน R_A และ R_B มันจะคายประจุทันที จนกระทั่งมีแรงดันคร่อมตัว C เหลือเพียง $1/3 V_{cc}$ โดยการคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_B นั่นคือ แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะออสซิลเลตอยู่ระหว่าง $1/3V_{cc}$ และ $2/3V_{cc}$ สัญญาณเอาต์พุตจะอยู่ในสภาวะ "1" ในขณะที่ตัวเก็บประจุ C ได้รับความประจุ และจะอยู่ในสภาวะ "0" เมื่อตัวเก็บประจุคายประจุ การรับประจุและการคายประจุจะไม่ขึ้นกับค่าแรงดันที่ป้อนเป็นไฟเลี้ยง แต่จะขึ้นกับค่า R และ C ช่วงเวลาของการที่ตัวเก็บประจุรับประจุหรือเอาต์พุตอยู่ในสภาวะ "1" หาได้โดย

$$T_{high} = 0.695(R_A + R_B)C$$

ช่วงเวลาของการคายประจุของตัวเก็บประจุหรือเอาต์พุตอยู่ในสภาวะ "0" หาได้

โดย

$$T_{low} = 0.695R_B C$$

ดังนั้นคาบเวลาก็คือ

$$\begin{aligned} T_{total} &= T_{high} + T_{low} \\ &= 0.695(R_A + 2R_B)C \end{aligned}$$

ความถี่ของการออสซิลเลตหาได้จาก

$$\begin{aligned} f &= 1/T \\ &= 1.44C / (R_A + 2R_B) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การตรวจจับสัญญาณ (Detector)

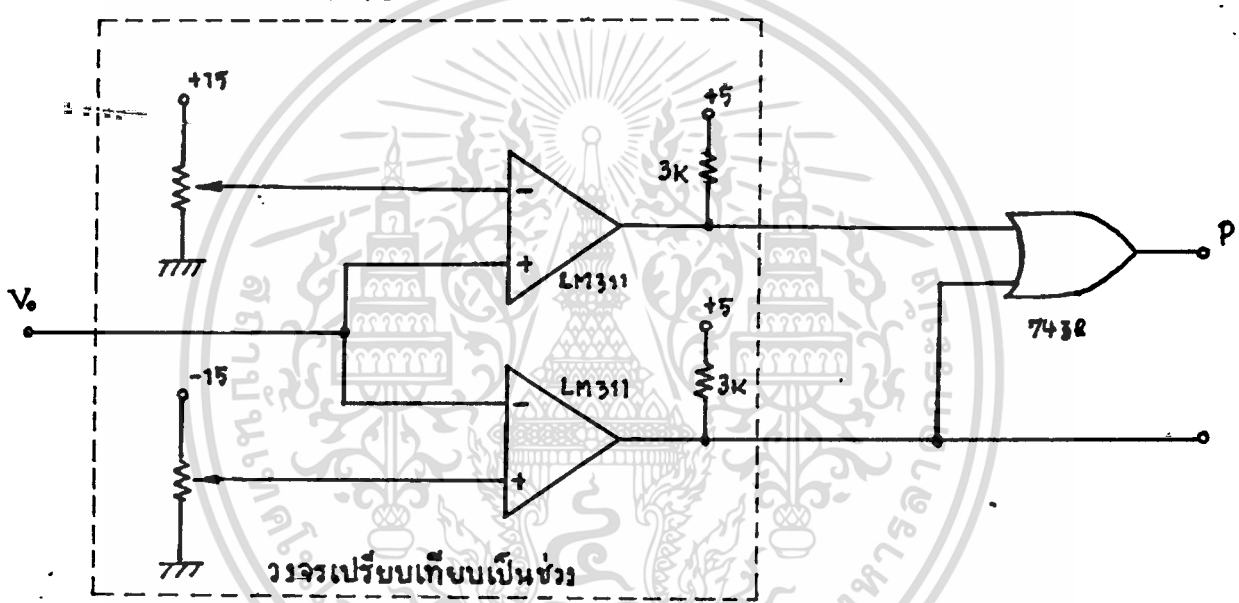
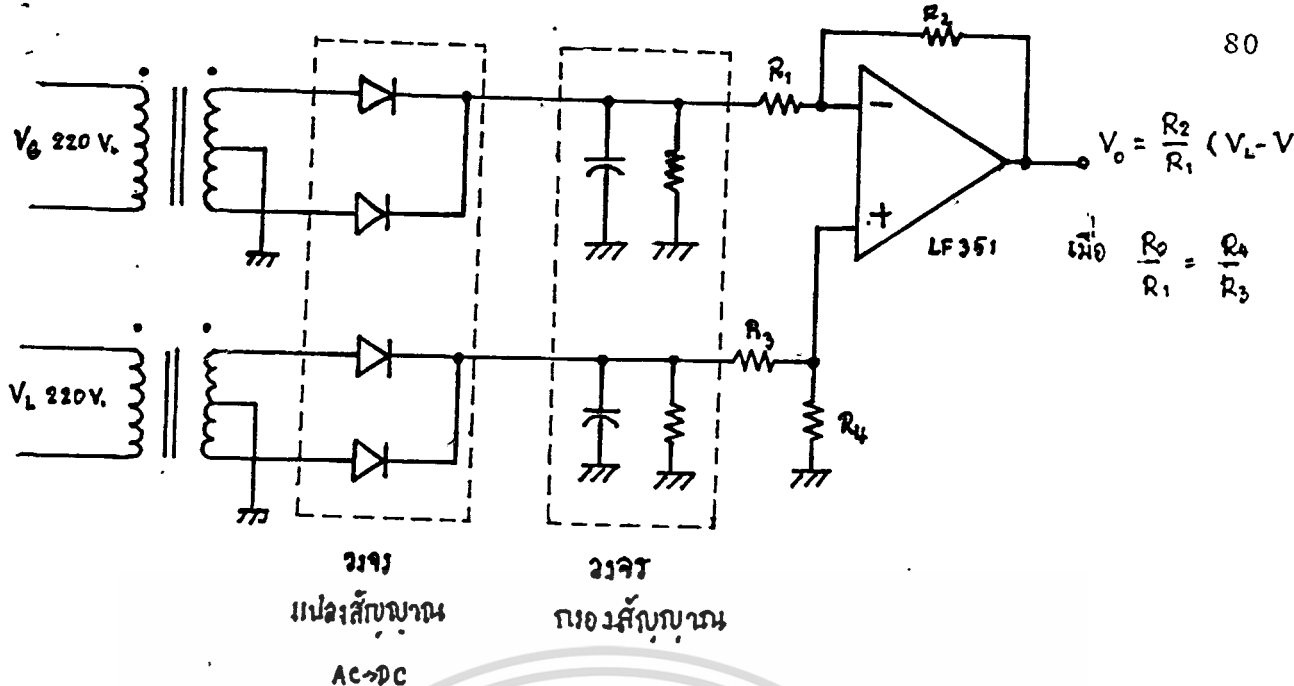
การตรวจจับสัญญาณเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้การขนานเข้าสู่ระบบมีส่วนสำเร็จได้ คือ ว่าเป็นส่วนเชื่อมโยงระหว่างระบบ μP กับเครื่องจักรไฟฟ้า อันได้แก่ มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในด้านข้อมูลคือ ระบบ μP จะทำงานได้ถูกต้องและแม่นยำเพียงใด ขึ้นอยู่กับส่วนนี้มากที่สุด เคียว สัญญาณที่ตรวจจับมาใช้นั้น ในการประมวลผลของระบบ μP นั้นได้แก่

- 1) วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator)
- 2) วงจรตรวจจับสัญญาณความถี่ (Frequency Detector)
- 3) วงจรตรวจสอบการลำดับเฟส (Phase Sequence Checking)
- 4) วงจรเปรียบเทียบความต่างเฟส (Phase Shift Detector)

โดยแต่ละวงจรมีหลักการและวงจรดังต่อไปนี้

1) วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

หลักการ : วงจรเปรียบเทียบแรงดัน ใช้หลักการ คือการแปลงระดับแรงดันจาก 220 V ac ให้เหลือ 12 V ac (ซึ่งเป็นหลักการเดียวกัน ของทุกวงจรที่ตรวจจับสัญญาณหรือทดสอบสัญญาณ) จากนั้นนำมาแปลงให้ระดับแรงดันกระแสตรง และทำให้สัญญาณเรียบขึ้นโดยใช้วงจรกรองสัญญาณ โดยทั้งทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง และระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะทำในลักษณะเช่นเดียวกัน เมื่อได้ระดับแรงดันกระแสตรงที่สัญญาณเรียบแล้วก็นำเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบ เข้าสู่วงจรเปรียบเทียบแบบช่วง คือถ้าสัญญาณเปรียบอยู่ในช่วงนี้ ก็จะถูกว่าเป็นผลต่างที่อมรับได้ จากนั้นก็นำเข้าสู่ ส่วนอินพุทของ 8255 โดยรายละเอียดของวงจรมีดังนี้

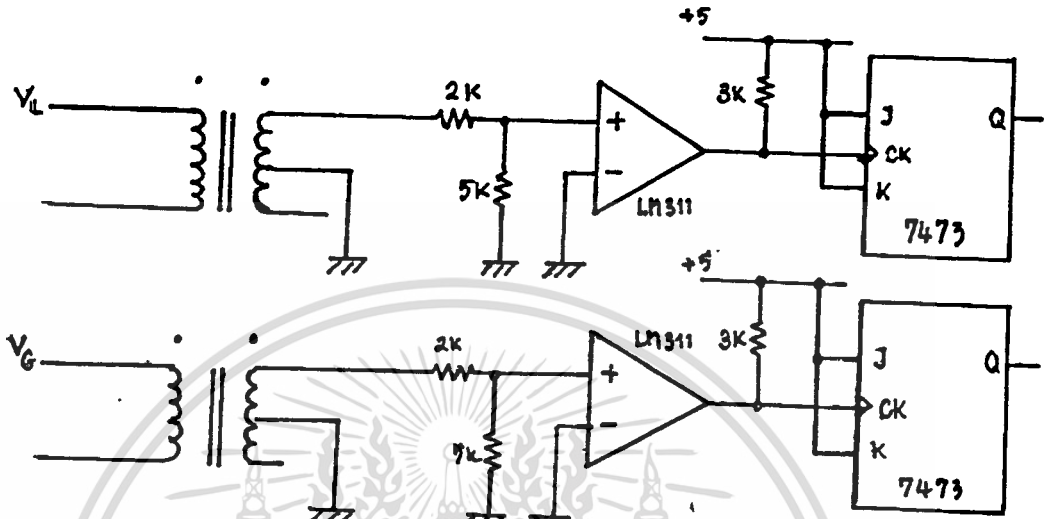


2) วงจรตรวจจับสัญญาณความถี่

หลักการ : การตรวจจับสัญญาณ ก็ทำในลักษณะเดียวกับวงจรเปรียบเทียบแรงดัน คือแปลงระดับแรงดันลงมา ต่อจากนั้นก็นำสัญญาณที่ได้คือ สัญญาณรูปคลื่นไซน์(Sine Wave) ไปแปลงให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม(Square Wave) ที่มีความถี่ 50 Hz ต่อจากนั้นนำไปเข้าวงจรหาร-2 คือ ทำความถี่ให้ลดลงเหลือ 25 Hz นั่นคือจะได้ช่วงเวลา ที่สัญญาณอยู่ในระดับสูง เท่ากับ คาบของไฟสลับ คือ 20 msec เพราะการทำงานของโปรแกรมจะเป็นการจับเวลาว่าใน 1 คาบ ใช้เวลาเท่าไร จากนั้นก็นำเวลาที่ได้จากการจับเวลาของระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มาเปรียบเทียบกัน เพื่อนำไปประมวลผล

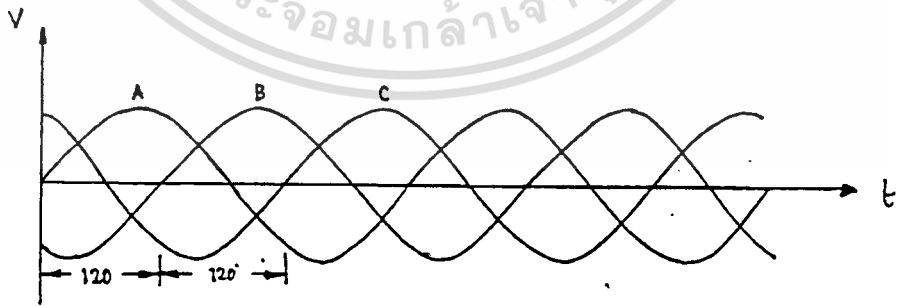
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรการทำงาน



3) วงจรตรวจสอบการลำดับเฟส

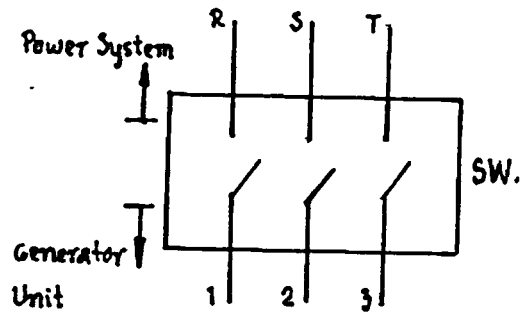
หลักการ : การตรวจสอบการลำดับเฟส ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นหลักการง่ายๆ ซึ่งก่อนที่จะอธิบายรายละเอียดของการตรวจสอบ ขออธิบายการลำดับเฟสเสียก่อน



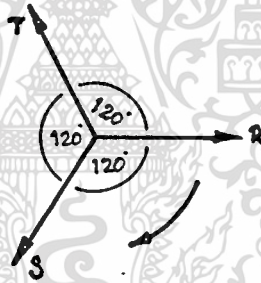
จากรูปจะเห็นว่า แต่ละเฟส จะต่างมุมกัน 120° เสมอ เนื่องจากการเชื่อมต่อกันระหว่างระบบไฟฟ้ากำลังกับ ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นการเชื่อมต่อแบบสาม คือไม่ทราบว่าสายใดคือเฟส A, B และ C ดังนั้นก่อนการขนานควรมีการตรวจสอบการลำดับเฟสก่อนเสมอ เพื่อ

ให้เข้าใจดียิ่งขึ้น รูปประกอบดังนี้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

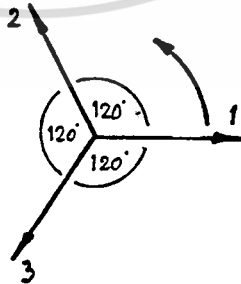
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การลำดับเฟสของ Power System อาจเป็นดังรูป



นั่นคือ การลำดับเฟสเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) แต่ถ้าวการลำดับเฟสของ Generator Unit เป็นดังรูป

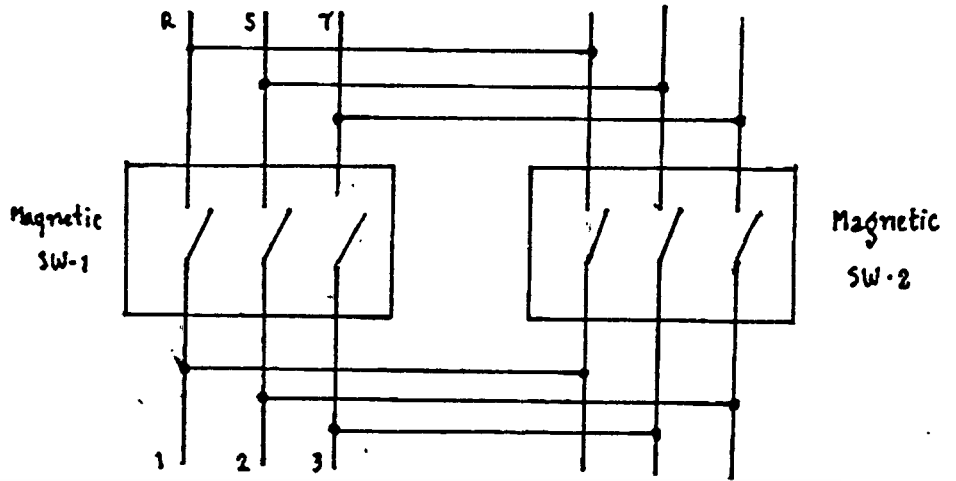


นั่นคือ เป็นการจัดลำดับเฟสแบบทวนเข็มนาฬิกา (Counter clock wise) ซึ่งสรุปได้ว่าการลำดับเฟสของทั้งสองระบบตรงกันข้ามหรือต่างกัน ดังนั้น ในการขนานควรมีการเปลี่ยนหรือ

สลับคู่สายให้ได้การลำดับเฟสตรงกันก่อน ซึ่งสำหรับโครงการนี้ใช้หลักการดังรูป

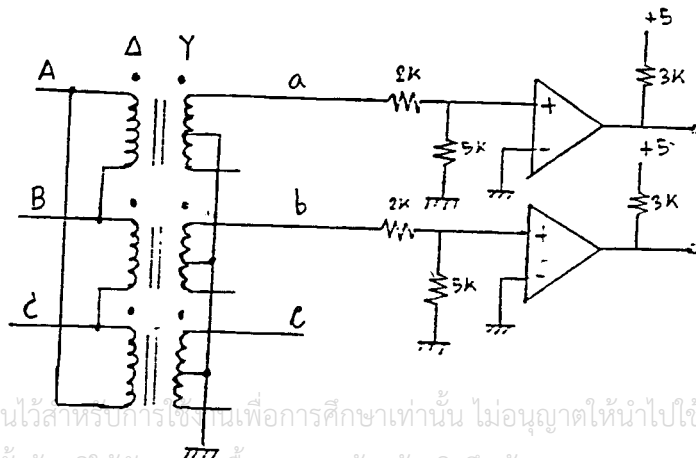
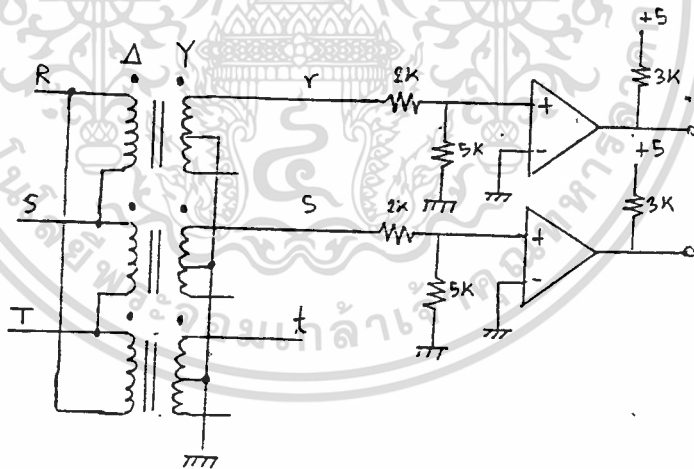
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปจะเห็นว่า ใช้ Magnetic Sw 2 ชุด โดยจะสังเกตเห็นว่าการสลับคู่สายอยู่ คือ สาย 2 และ 3 เพื่อเป็นการปรับการจัดลำดับเฟสของ Generator Unit กรณีที่การลำดับเฟสต่างจาก Power System

วงจรการทำงาน



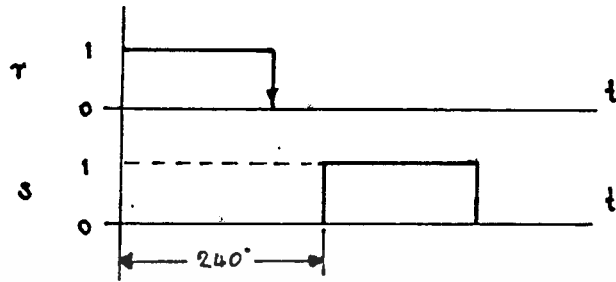
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกานำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่าทั้ง 2 ระบบ จะทำการแปลงระดับแรงดันลงมาทั้ง 3 เฟส ผ่านหม้อแปลงโดยต่อแบบ delta-star(Δ -Y) ต่อจากนั้นนำเฟสหลัก(ถ้าเป็น Power System คือ เฟส r ส่วน Gen Unit คือ เฟส a) และเฟสรอง(ถ้าเป็น Power System คือ เฟส s ส่วน Gen Unit คือ เฟส b) ที่มีสัญญาณรูป Sine Wave ไปแปลงเป็น สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) แล้วนำเข้าอินพุทให้พอร์ตอินพุทของ 8255 ผ่านเข้าสู่ CPU เพื่อทำการตรวจสอบ การลำดับเฟส โดยหลักการของโปรแกรมระบบง่าย ๆ มีดังนี้ คือ จะอินพุทส่วนของ Power System เข้ามาก่อน โดยการตรวจสอบที่เฟส r ก่อน ดังรูป



โดยจะตรวจสอบจนพบขอบขาลง ของเฟส r ก็จะทำการตรวจสอบเฟส s ถ้าพบค่าระดับสูง(high level) แสดงว่าการลำดับเฟสเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา(Clockwise) ก็จะเก็บข้อมูลนี้ไว้ จากนั้นก็ทำการตรวจสอบการลำดับเฟสของ Gen Unit โดยเริ่มที่เฟส a โดยจะตรวจสอบจนพบขอบขาลงของเฟส a ก็จะทำการตรวจสอบเฟส b มีค่าเป็น 1 แสดงว่า การลำดับเฟสเป็นแบบตามเข็มนาฬิกาเดียวกับ Power System ในการหนานก็จะ Close SW-1 แต่ถ้าขณะขอบขาลงของ a เฟส b มีค่าเป็น 0 แสดงว่า การลำดับเฟสเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา ตรงข้ามกับของ Power System ในการหนานก็จะทำการ Close SW-2 ทำนองเดียวกัน ถ้าการจัดลำดับเฟสของ Power System เป็นดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



นั่นคือ ขณะขอบขาลงของเฟส r จะพบว่าเฟส s เป็น 0 แสดงว่าเป็นการลำดับเฟสแบบทวนเข็มนาฬิกา โปรแกรมก็จะเก็บข้อมูลไว้ แล้วไปทำการตรวจสอบ Gen Unit ถ้าของขาลงของเฟส a เฟส b มีค่าเป็น 1 ก็แสดงว่า การลำดับเฟสเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งต่างจาก Power System ในการขนานก็จะทำการ Close SW-2 แต่ถ้าขณะขอบขาลงของเฟส a พบว่าเฟส b มีค่า 0 แสดงว่า การลำดับเฟสเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา เช่นเดียวกับ Power System ในการขนานก็จะทำการ Close SW-1

สรุป การตรวจสอบการลำดับเฟส ของทั้ง 2 แบบ ทำเพื่อใช้ในการเลือก สวิตช์ ในการขนาน โดยถ้าการลำดับเฟส เหมือนกันก็จะ Close SW-1 แต่ถ้าการลำดับเฟสต่างก็จะทำการ Close SW-2

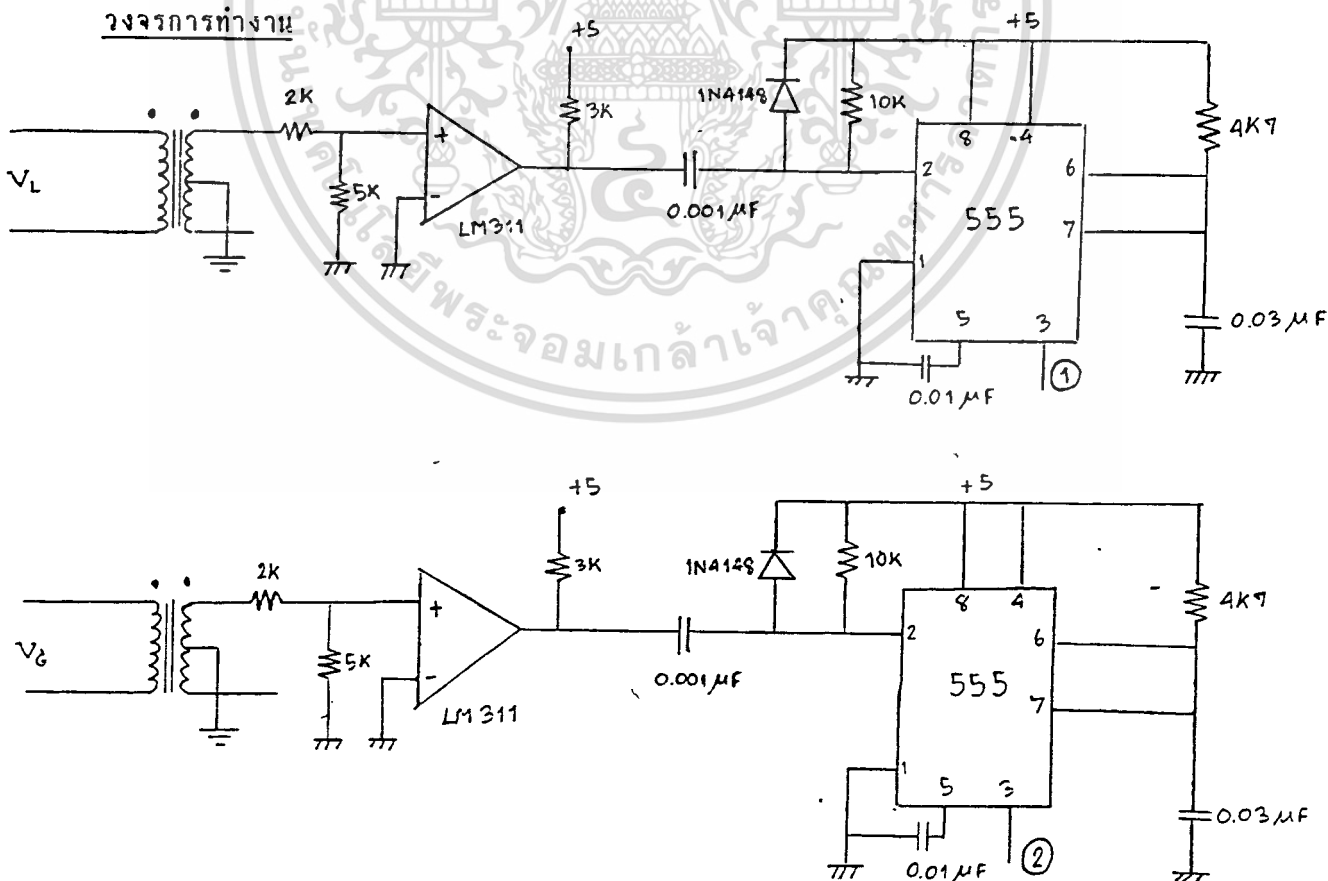
4) วงจรเปรียบเทียบความต่างเฟส

การเปรียบเทียบความต่างเฟสเป็นขั้นตอนสุดท้าย ก่อนการขนาน โดยผ่านขบวนการในการเปรียบเทียบ แรงดัน, ความถี่, และการลำดับเฟส ซึ่งโปรแกรมจะรอสัญญาณจากการตรวจจับว่า ขณะนี้ความต่างเฟส เป็น 0 หรือยัง ถ้าเป็น 0 ก็จะสั่งทำการ Close SW-1 หรือ SW-2 ก็ได้ ขึ้นอยู่กับการลำดับเฟสของทั้ง 2 ระบบ ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งการเปรียบเทียบความต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการ : การเปรียบเทียบความต่างเฟส อาศัยการนำสัญญาณ 2 สัญญาณ ได้แก่ สัญญาณจาก Power System และสัญญาณจาก Generator Unit ซึ่งเป็นคลื่นรูปไซน์ นำมาแปลงเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (เช่นเดียวกับ สัญญาณที่ใช้ในวงจรเปรียบเทียบ และวงจรตรวจสอบการล้าดับเฟส จากนั้นนำขอบขาลงของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ได้ ไปทริก วงจรสร้างพัลส์สั้นๆ (Monostable Multivibrator) โดยวงจรที่ใช้คือ ไอซี 555 เป็นตัวสร้างพัลส์สั้นๆ นี้ (Short Pulse) จะเป็นตัวกำหนดค่าความต่างเฟสที่ขอมได้ในการขนาน สำหรับโครงการนี้ ใช้ความกว้างพัลส์ประมาณ 1% ของ 20 Hz คือ 1% ของ 20 msec ก็ประมาณ 0.2 msec ซึ่งทั้งระบบ Power System และ Gen Unit จะได้พัลส์สั้นๆ นี้ ขณะขอบขาลง ทุกๆ Cycle โดยนำเอาทริกที่ออกจากวงจรสร้างพัลส์ ของทั้ง 2 ระบบ มา AND กันแล้วนำสัญญาณที่ได้เข้าสู่ μP เพื่อส่งสัญญาณขนานเข้าสู่ระบบ

วงจรการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคลาดเคลื่อน

สำหรับความถี่ : จากการทดลองทำการขนานโดยการใช้มือปรับจะพบว่าถ้าให้ความเร็วรอบ ของมอเตอร์ต่างจาก ความเร็วเชิงโรตอร์ส คือ 1500 rpm มากกว่า ± 5 รอบ ในการขนานนั้นจะทำได้ยาก

ดังนั้นจากเงื่อนไข ดังกล่าว จึงออกแบบโปรแกรมให้ยอมรับผลต่าง ของความเร็วรอบดังกล่าว ได้ไม่เกิน ± 5 รอบ ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ ผลต่างที่ยอมรับได้} &= 100 - \left(\frac{1495}{1500} * 100 \right) \text{ หรือ } 100 - \left(\frac{1505}{1500} * 100 \right) \\ &= \pm 0.33 \% \end{aligned}$$

สำหรับแรงดัน : จากการทดลองเดียวกันกับความถี่ จะเห็นว่าระดับแรงดัน มีช่วงกว้างกว่าในการขนาน หมายถึงระดับแรงดัน ของ Gen Line และ Power Line สามารถมีผลต่างกันช่วงกว้างได้ คือต่ำสุด 213 V และสูงสุด 231 V หรืออาจพูดได้ว่า ผลต่างที่ยอมรับได้ประมาณ ± 9 V

แต่สำหรับโครงงานนี้ จะให้เกิดผลต่างเพียง ± 2 % นั่นคือ โปรแกรมจะควบคุมแรงดันเอาท์พุทค่าสุด ไม่น้อยกว่า 98 % ของพิกัดนั่นคือ 215.6 V และควบคุมให้แรงดันสูงสุดไม่เกิน 102 % ของพิกัดแรงดัน นั่นคือมีค่าเท่ากับ 224.4 V

สำหรับความต่างเฟส (Phase Shift) : เป็นส่วนสุดท้ายของการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ในส่วนนี้ย่อมสูงพอๆ กับทั้ง 2 ส่วนที่กล่าวมา จากหลักการทำงาน ของวงจรตรวจจับสัญญาณ ความต่างเฟสที่กล่าวจะอาศัยพัลส์ขนาดสั้นๆ เป็นตัวกำหนด ค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งความกว้างของพัลส์นี้ คำนวณได้จาก

$$T = 1.11 RC$$

$$\text{จากวงจรได้ค่า } R = 4.7 \text{ K}$$

$$C = 0.039 \mu\text{F}$$

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับคาบของความถี่จะได้เป็น

$$\% \text{ ของ } T \text{ ใน } 50 \text{ Hz หรือ } 20 \text{ msec} = (0.2 \times 100) / 20 \text{ ประมาณ } 1 \%$$

สำหรับโครงงานนี้ค่าความต่างเฟส หรือ Phase Shift ที่ยอมรับได้ไม่เกิน ± 1 %

บทที่ 7

ระบบไมโครโปรเซสเซอร์

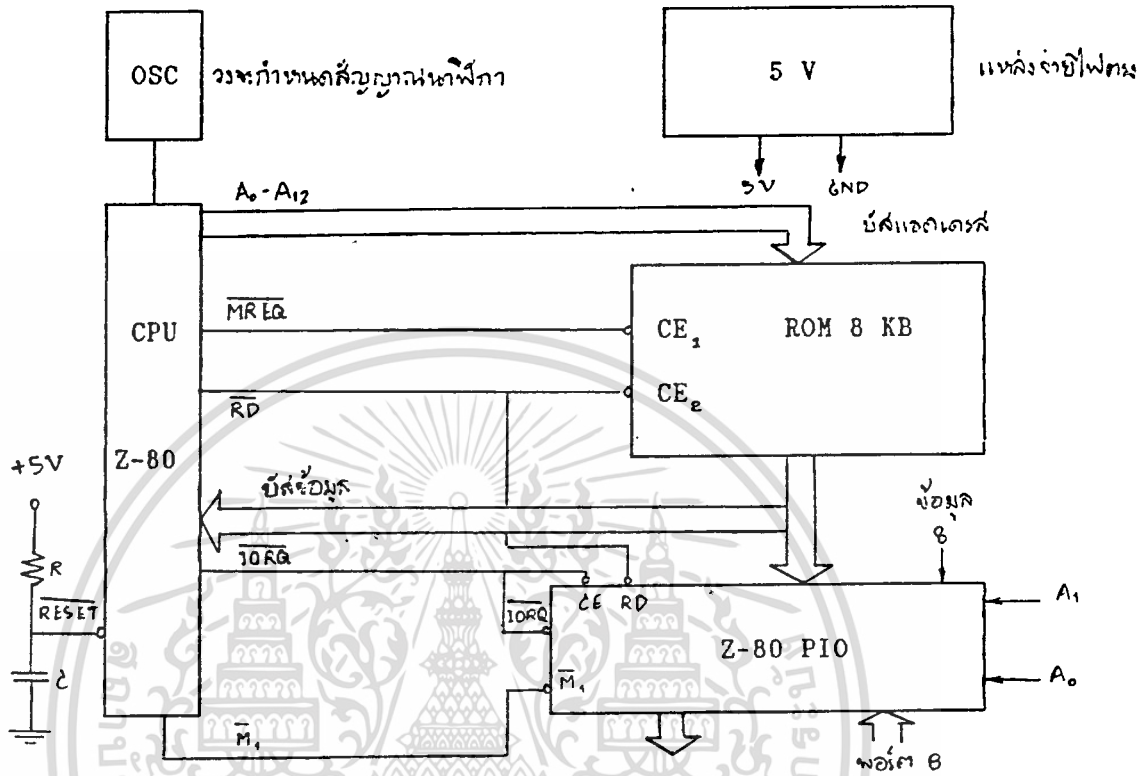
ปัจจุบัน การประยุกต์ใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางทั้งด้านการศึกษาและอุตสาหกรรม โดยเทคโนโลยีทางด้านนี้ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว

สำหรับการควบคุมการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ โดยการใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาควบคุมการทำงาน เป็นการเชื่อมโยงหลายส่วนเข้าด้วยกัน อันได้แก่ วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง, เครื่องจักรไฟฟ้า, ระบบไฟฟ้ากำลัง และระบบไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นหัวใจของการทำงานของโครงการนี้

ข้อดีประการหนึ่งของการควบคุมโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์คือ ความแม่นยำในการควบคุมสูง ให้ผลการตอบสนองต่อเวลาที่ดี และยังให้ความรวดเร็วในการทำงานด้วยความเร็วสูงอีกด้วย

สำหรับเนื้อหาของโครงการนี้เป็นการนำไมโครโปรเซสเซอร์แบบ Single Board (ET Board Ver.3.0) ที่มีไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ Z-80 เป็นซีพียู (CPU) ดังนั้นก่อนจะกล่าวถึงโปรแกรมและคำสั่งการควบคุมการทำงานต่างๆ จะขอกล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานทั่วไปของไมโครโปรเซสเซอร์แบบ Single Board ที่ใช้อย่างคร่าวๆ

ระบบทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอมพิวเตอร์



ระบบฮาร์ดแวร์พื้นฐานของไมโครคอมพิวเตอร์ Z-80 ประกอบด้วย

- 1) CPU ; Z-80
- 2) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานของ CPU
- 3) หน่วยความจำ
- 4) วงจรอินพุท-เอาต์พุท

1) CPU (CPU = Central Processing Unit) ประกอบด้วย

1.1 รีจิสเตอร์ โดยมีรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ทั้งหมด 18 ตัว และ รีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต อีก 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 บัส ไค้แก่ บัสข้อมูล(Data Bus) ขนาด 8 บิต และบัสแอดเดรส (Address Bus) ขนาด 16 บิต

1.3 หน่วยประมวลผล (ALU ; Arithmetic Logic Unit) เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่คำนวณทางคณิตศาสตร์ และทางตรรกศาสตร์

1.4 หน่วยควบคุม (Control Unit) คือหัวใจของขบวนการของการทำงานทั้งหมด โดยจะสั่งโดยจะสั่งสัญญาณควบคุมให้จังหวะแก่หน่วยอื่นๆ

โครงสร้างภายในของ CPU จะประกอบด้วยบัสข้อมูลขนาด 8 bit ซึ่งเป็นบัสชนิด 2 ทิศทางคือข้อมูลสามารถวิ่งเข้าหรือออกจาก CPU ได้ และบัสแอดเดรสซึ่งเป็นบัสขนาด 16 bit ที่จะทำให้ขีดความสามารถในการอ้างถึงแอดเดรสได้โดยตรงถึง 2^{16} หรือ 64 กิโลไบต์ (KB) นอกจากนี้บัสแอดเดรสยังเป็นสายสำคัญในการอ้างถึงแอดเดรสของหน่วยเพอร์ipheralที่เป็นอินพุทหรือเอาต์พุทด้วย สายบัสควบคุมนี้จะประกอบไปด้วยสัญญาณควบคุมต่างๆซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 13 สาย ลักษณะการจัดสายสัญญาณแสดงได้ดังรูป

| | |
|-------------------------|---|
| A | F |
| B | C |
| D | E |
| H | L |
| อินเตกซ์รีจิสเตอร์ (IX) | |
| อินเตกซ์รีจิสเตอร์ (IY) | |
| สแตกพอยน์เตอร์ (SP) | |
| โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) | |
| I | |
| R | |

| | |
|----|----|
| A' | F' |
| B' | C' |
| D' | E' |
| H' | L' |

แสดงรีจิสเตอร์ภายใน Z-80

2) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock)

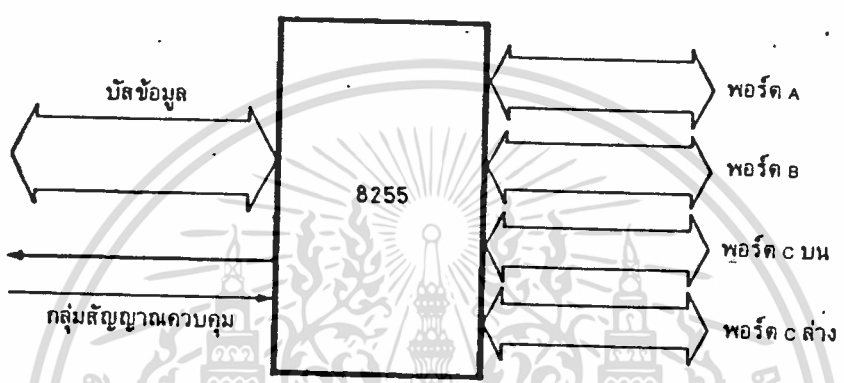
วงจรมีกำเนิดสัญญาณ เป็นวงจรมีพื้นฐานเวลา ให้กับ CPU ในการทำงาน โดยความถี่ ของ Clock จะเป็นสิ่งบ่งบอกถึง ความเร็วในการทำงานของ CPU

3) หน่วยความจำ เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ในการกักตุน และข้อมูลต่างๆ ทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

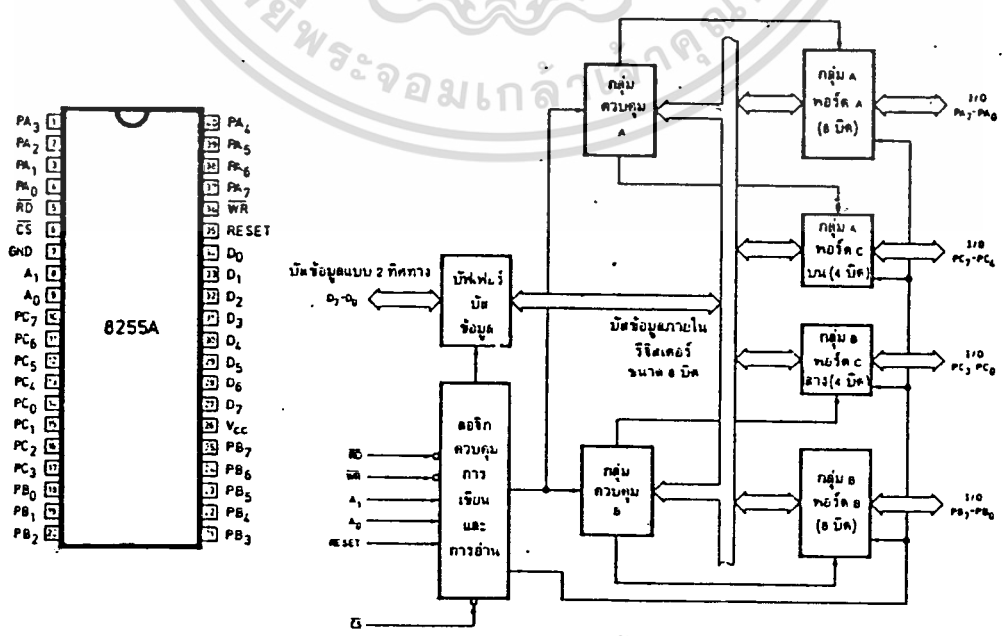
3.1 ROM (Read Only Memory) เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสำหรับระบบ โปรแกรมแสดงผลของ Single Board (Monitor Program) โดยสามารถอ่านได้เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถเขียนลงไปได้ แต่ข้อมูลจะไม่ถูกลบเมื่อขาดไฟเลี้ยง

3.2 RAM (Random Access Memory) เป็นหน่วยความจำ ที่สามารถอ่านและเขียนโปรแกรมลงไปได้ แต่ข้อมูลจะถูกลบทั้งหมดเมื่อขาดไฟเลี้ยง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) วงจรรีเลย์พอร์ท เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ (Interface) และติดต่อระหว่าง μp กับอุปกรณ์ภายนอก สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่ ของโครงการนี้คือ ไอซี 8255

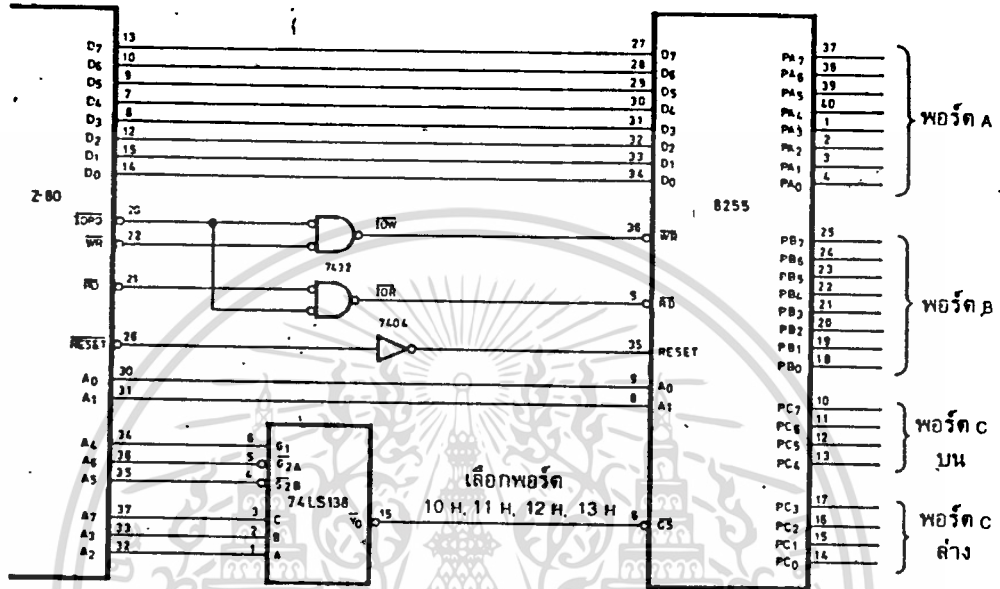


ภายใน 8255 นี้จะประกอบด้วย ส่วนต่างๆ ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อ 8255 กับ Z-80 เป็นดังนี้

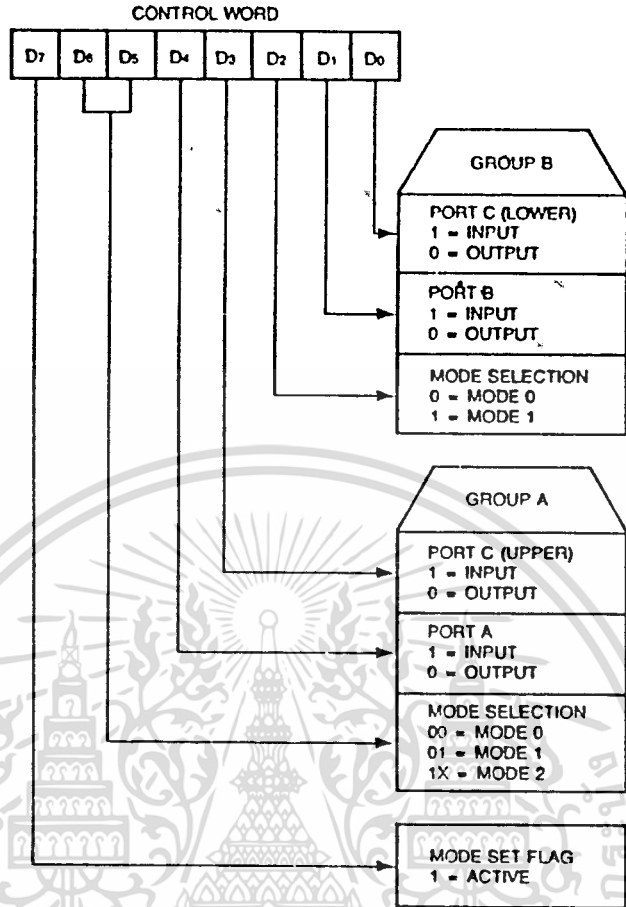


การควบคุมการทำงานของ 8255 สามารถทำได้ โดยการส่งข้อมูลไปให้แก่ พอร์ตควบคุม (Control code) โดย 8255 จะมีพอร์ตที่เป็นได้ทั้งอินพุต และเอาต์พุตทั้งสิ้น 3 พอร์ต ได้แก่ พอร์ต A,B และ C ที่พิเศษคือที่พอร์ต C สามารถแบ่งได้เป็น พอร์ต C บน และพอร์ต C ล่าง

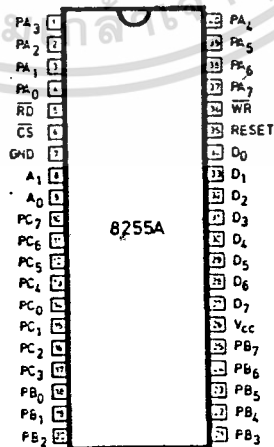
การควบคุมการทำงานของ 8255 สามารถทำได้ 3 โหมด ได้แก่ โหมด 0, โหมด 1 และ โหมด 2 สำหรับโครงงานนี้ใช้ได้เพียงโหมด 0 เท่านั้นจึงขอกล่าวรายละเอียดเพียงโหมด 0 ของ 8255 เพียงโหมดเดียว

4.1 โหมด 0 หรืออินพุตเอาต์พุตแบบพื้นฐาน

การกำหนดโหมดการทำงาน คือต้องส่งรหัสควบคุม(Control code) ไปให้พอร์เอกสารคือควบคุม เป็นข้อมูล 8 บิต โดยแต่ละบิตจะมีความหมายดังนี้ มีอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขาต่างๆ ของ 8255



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เข้าใจวิธีการติดต่อกันระหว่าง Z-80 กับ 8255 จึงจำเป็นต้องเข้าใจความหมายและตำแหน่งของขาต่างๆ เสียก่อน ข้าง 40 ของไอซีประกอบด้วย

D_0-D_7 เป็นขาที่ข้อมูลอินพุตเอาท์พุทจะต้องผ่านเข้าออกจากส่วนนี้ D_0-D_7 จึงต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครโพรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโพรเซสเซอร์ สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลจากพอร์ตผ่านบัสนี้

CS (สัญญาณเลือกชิป) ขานี้เป็นขาอินพุท ที่จะรับสัญญาณจากภายนอกเพื่อเลือกชิป 8255 โดยเมื่อขานี้เป็น "0" จะทำให้ 8255 ต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครโพรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโพรเซสเซอร์ เขียนหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ตได้

RD (สัญญาณการอ่าน) เป็นสัญญาณอินพุทที่ต้องส่งมาจากชิพ เมื่อสัญญาณที่ขานี้เป็น "0" และสัญญาณ CS เป็น "0" ด้วย ไอซี 8255 จะทำตัวให้ชิพอ่านข้อมูลจากบัสในขณะที่เป็นพอร์ตอินพุท

WR เป็นสัญญาณการเขียน จะแอกต์ฟเมื่อสัญญาณ WR และสัญญาณ CS เป็น "0" สัญญาณนี้จะมาจากชิพ เมื่อต้องการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ตที่กำหนด

A_0-A_1 (สัญญาณแอดเดรส) ลอจิกของสัญญาณทั้งสอง จะถอดรหัสออกเป็น 4 รหัส เพื่อกำหนดรีจิสเตอร์ภายในที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุทเอาท์พุทของ 8255

RESET (สัญญาณรีเซ็ต) เป็นสัญญาณที่ส่งจากภายนอกเข้ามาทำการรีเซ็ต 8255 เพื่อเคลียร์สถานะต่างๆ ของ 8255 เมื่อ 8255 ได้รับการรีเซ็ต ก็จะกลับเข้าสู่โหมดอินพุทหรือทุกพอร์ตที่เป็นพอร์ตอินพุท

PA_0-PA_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ตของ 8255 ที่ชื่อพอร์ต A การเลือกพอร์ตจะเลือกโดยสัญญาณแอดเดรส A_0-A_1

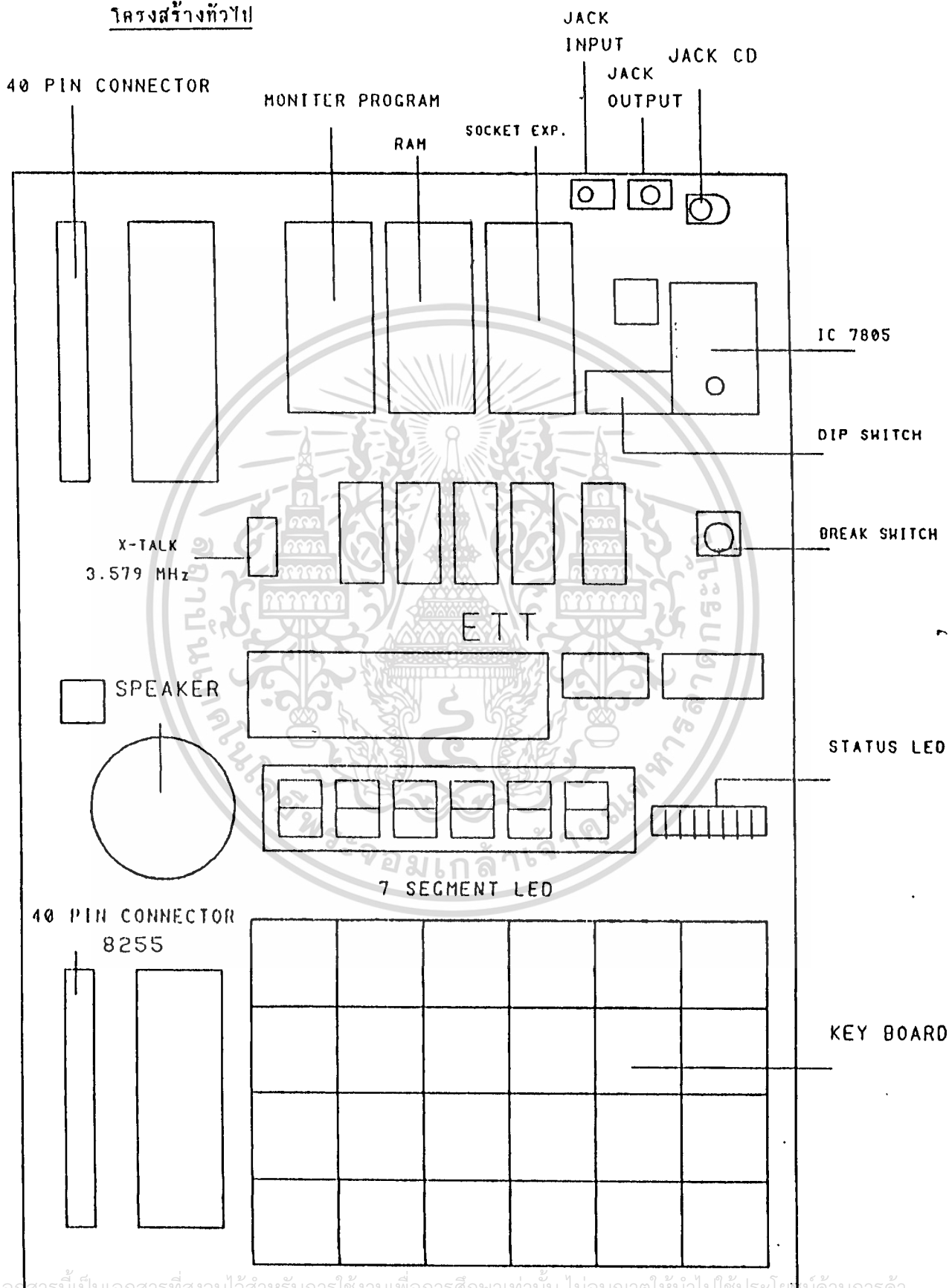
PB_0-PB_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ตของ 8255 ที่ชื่อพอร์ต B การเลือกพอร์ตจะเลือกโดยสัญญาณแอดเดรส A_0-A_1

PC_0-PC_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ตของ 8255 ที่ชื่อพอร์ต C การกำหนดพอร์ตนี้ จะได้รับการกำหนดโดยสัญญาณแอดเดรส A_0-A_1 พอร์ต C นี้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม PC_0-PC_3 และกลุ่ม PC_4-PC_7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเกี่ยวกับ Single Board (ET. Board V. 3.0)

โครงสร้างทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณี่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ET BOARD V 3.0

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงการนี้ ใช้ ET. Board V 3.0 เป็นส่วนระบบไมโครคอมพิวเตอร์ ความคุม การขนานโดยจะขอกำลังเพียงส่วนของโปรแกรมย่อยของ Program Monitor ของ ET. Board V 3.0 บางส่วนที่ดึงออกมาใช้งาน

ระบบ SYSTEM CALL

SYSTEM CALL คือระบบการเรียกใช้โปรแกรมย่อยบางส่วนของโปรแกรม Monitor ซึ่ง ทำให้การเขียนหรือการพัฒนาโปรแกรมง่ายขึ้น โดยการเรียกใช้โปรแกรมย่อยของ ET. Board จะใช้วิธีการเรียกไปที่ตำแหน่งของโปรแกรมย่อยโดยตรง โดยใช้วิธีใส่รหัสให้กับรีจิสเตอร์ A เพื่อเป็นคำชี้ และกำหนดโปรแกรมย่อยที่ต้องการที่รีจิสเตอร์ A เช่นเดียวกัน จากนั้นก็ใช้คำสั่ง Restart 10H เพื่อให้ไปทำงานยังตำแหน่งของโปรแกรมย่อยที่ต้องการ โดยจะขอกำลังเฉพาะ ส่วนโปรแกรมย่อยที่ดึงออกมาใช้งาน

1) CLEAR

Code : 031H
 ทำหน้าที่ : เคลียร์ DISPLAY BUFFER ให้เป็น 0 ค่า B แอดเดรส
 3FE7 - 3FEE
 อินพุต : -
 เอาท์พุท : -
 รีจิสเตอร์ที่ใช้ : ABHL

2) SCAND

Code : 04H
 ทำหน้าที่ : นำคำสั่งใน DISPLAY BUFFER ไปแสดงที่ LED โดยมีการหน่วง
 เวลาชั่วขณะที่รีจิสเตอร์ B
 อินพุต : B
 เอาท์พุท : -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รีจิสเตอร์ที่ใช้หระบ ABDEHL เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) DELAY

Code : OFH
 ทำหน้าที่ : หน่วยงาน
 อินพุต : B ช่วงเวลาการหน่วยงาน
 เอาท์พุท : -
 รีจิสเตอร์ที่ใช้ : AB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดคำสั่งและการแปลงรหัสของ Z-80

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|----------|------------------|
| 8E | ADC A,(HL) |
| DD8E05 | ADC A,(IX+d) |
| FD8E05 | ADC A,(IY+d) |
| 8F | ADC A,A |
| 88 | ADC A,B |
| 89 | ADC A,C |
| 8A | ADC A,D |
| 8B | ADC A,E |
| 8C | ADC A,H |
| 8D | ADC A,L |
| CE20 | ADC A,n |
| ED4A | ADC HL,BC |
| ED5A | ADC HL,DE |
| ED6A | ADC HL,HL |
| ED7A | ADC HL,SP |
| 86 | ADD A,(HL) |
| DD8605 | ADD A,(IX+d) |
| FD8605 | ADD A,(IY+d) |
| 87 | ADD A,A |
| 80 | ADD A,B |
| 81 | ADD A,C |
| 82 | ADD A,D |
| 83 | ADD A,E |
| 84 | ADD A,H |
| 85 | ADD A,L |
| C620 | ADD A,n |
| 09 | ADD HL,BC |
| 19 | ADD HL,DE |
| 29 | ADD HL,HL |
| 39 | ADD HL,SP |
| DD09 | ADD IX,BC |
| DD19 | ADD IX,DE |
| DD29 | ADD IX,IX |
| DD39 | ADD IX,SP |
| FD09 | ADD IY,BC |
| FD19 | ADD IY,DE |
| FD29 | ADD IY,IY |
| FD39 | ADD IY,SP |
| A6 | AND (HL) |
| DDA605 | AND (IX+d) |
| FDA605 | AND (IY+d) |
| A7 | AND A |
| A0 | AND B |
| A1 | AND C |
| A2 | AND D |
| A3 | AND E |
| A4 | AND H |
| A5 | AND L |

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|----------|------------------|
| E620 | AND n |
| CB46 | BIT 0,(HL) |
| DDCB0546 | BIT 0,(IX+d) |
| FDCB0546 | BIT 0,(IY+d) |
| CB47 | BIT 0,A |
| CB40 | BIT 0,B |
| CB41 | BIT 0,C |
| CB42 | BIT 0,D |
| CB43 | BIT 0,E |
| CB44 | BIT 0,H |
| CB45 | BIT 0,L |
| CB4E | BIT 1 (HL) |
| DDCB054E | BIT 1,(IX+d) |
| FDCB054E | BIT 1,(IY+d) |
| CB4F | BIT 1,A |
| CB48 | BIT 1,B |
| CB49 | BIT 1,C |
| CB4A | BIT 1,D |
| CB4B | BIT 1,E |
| CB4C | BIT 1,H |
| CB4D | BIT 1,L |
| CB56 | BIT 2,(HL) |
| DDCB0556 | BIT 2,(IX+d) |
| FDCB0556 | BIT 2,(IY+d) |
| CB57 | BIT 2,A |
| CB50 | BIT 2,B |
| CB51 | BIT 2,C |
| CB52 | BIT 2,D |
| CB53 | BIT 2,E |
| CB54 | BIT 2,H |
| CB55 | BIT 2,L |
| CB5E | BIT 3,(HL) |
| DDCB055E | BIT 3,(IX+d) |
| FDCB055E | BIT 3,(IY+d) |
| CB5F | BIT 3,A |
| CB58 | BIT 3,B |
| CB59 | BIT 3,C |
| CB5A | BIT 3,D |
| CB5B | BIT 3,E |
| CB5C | BIT 3,H |
| CB5D | BIT 3,L |
| CB66 | BIT 4,(HL) |
| DDCB0566 | BIT 4,(IX+d) |
| FDCB0566 | BIT 4,(IY+d) |
| CB67 | BIT 4,A |
| CB60 | BIT 4,B |
| CB61 | BIT 4,C |
| CB62 | BIT 4,D |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|-------------|---------------------|
| CB63 | BIT 4,E |
| CB64 | BIT 4,H |
| CB65 | BIT 4,L |
| CB6E | BIT 5,(HL) |
| DDCB056E | BIT 5,(IX+d) |
| FDCB056E | BIT 5,(IY+d) |
| CB6F | BIT 5,A |
| CB68 | BIT 5,B |
| CB69 | BIT 5,C |
| CB6A | BIT 5,D |
| CB6B | BIT 5,E |
| CB6C | BIT 5,H |
| CB6D | BIT 5,L |
| CB76 | BIT 6,(HL) |
| DDCB0576 | BIT 6,(IX+d) |
| FDCB0576 | BIT 6,(IY+d) |
| CB77 | BIT 6,A |
| CB70 | BIT 6,B |
| CB71 | BIT 6,C |
| CB72 | BIT 6,D |
| CB73 | BIT 6,E |
| CB74 | BIT 6,H |
| CB75 | BIT 6,L |
| CB7E | BIT 7,(HL) |
| DDCB057E | BIT 7,(IX+d) |
| FDCB057E | BIT 7,(IY+d) |
| CB7F | BIT 7,A |
| CB78 | BIT 7,B |
| CB79 | BIT 7,C |
| CB7A | BIT 7,D |
| CB7B | BIT 7,E |
| CB7C | BIT 7,H |
| CB7D | BIT 7,L |
| DC8405 | CALL C,nn |
| FC8405 | CALL M,nn |
| D48405 | CALL NC,nn |
| C48405 | CALL NZ,nn |
| F48405 | CALL P,nn |
| EC8405 | CALL PE,nn |
| E48405 | CALL PO,nn |
| CC8405 | CALL Z,nn |
| CD8405 | CALL nn |
| 3F | CCF |
| BE | CP (HL) |
| DDBE05 | CP (IX+d) |
| FDBE05 | CP (IY+d) |
| BF | CP A |
| B8 | CP B |
| B9 | CP C |
| BA | CP D |
| BB | CP E |
| BC | CP H |
| BD | CP L |
| FE20 | CP n |
| EDA9 | CPD |
| EDB9 | CPDR |

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|-------------|---------------------|
| EDB1 | CPIR |
| EDA1 | CPI |
| 2F | CPL |
| 27 | DAA |
| 35 | DEC (HL) |
| DD3505 | DEC (IX+d) |
| FD3505 | DEC (IY+d) |
| 3D | DEC A |
| 06 | DEC B |
| 0B | DEC BC |
| 0D | DEC C |
| 15 | DEC D |
| 1B | DEC DE |
| 1D | DEC E |
| 25 | DEC H |
| 2B | DEC HL |
| DD2B | DEC IX |
| FD2B | DEC IY |
| 2D | DEC L |
| 3B | DEC SP |
| F3 | DI |
| 102E | DJNZ e |
| FB | EI |
| E3 | EX (SP),HL |
| DDE3 | EX (SP),IX |
| FDE3 | EX (SP),IY |
| 0B | EX AF,AF' |
| EB | EX DE,HL |
| D9 | EXX |
| 76 | HALT |
| ED46 | IM 0 |
| ED56 | IM 1 |
| ED5E | IM 2 |
| ED78 | IN A,(C) |
| ED40 | IN B,(C) |
| ED48 | IN C,(C) |
| ED50 | IN D,(C) |
| ED58 | IN E,(C) |
| ED60 | IN H,(C) |
| ED68 | IN L,(C) |
| 34 | INC (HL) |
| DD3405 | INC (IX+d) |
| FD3405 | INC (IY+d) |
| 3C | INC A |
| 04 | INC B |
| 03 | INC BC |
| 0C | INC C |
| 14 | INC D |
| 13 | INC DE |
| 1C | INC E |
| 24 | INC H |
| 23 | INC HL |
| DD23 | INC IX |
| FD23 | INC IY |
| 2C | INC L |
| 33 | INC SP |
| DB20 | IN A,(n) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT | OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|-------------|---------------------|-------------|---------------------|
| 5B | LD E,E | EDB3 | OTIR |
| 5C | LD E,H | ED79 | OUT (C),A |
| 5D | LD E,L | ED41 | OUT (C),B |
| 1E20 | LD E,n | ED49 | OUT (C),C |
| 66 | LD H,(HL) | ED51 | OUT (C),D |
| DD6605 | LD H,(IX+d) | ED59 | OUT (C),E |
| FD6605 | LD H,(IY+d) | ED61 | OUT (C),H |
| 67 | LD H,A | ED69 | OUT (C),L |
| 60 | LD H,B | D320 | OUT (n),A |
| 61 | LD H,C | EDAB | OUTD |
| 62 | LD H,D | EDA3 | OUTI |
| 63 | LD H,E | F1 | POP AF |
| 64 | LD H,H | C1 | POP BC |
| 65 | LD H,L | D1 | POP DE |
| 2620 | LD H,n | E1 | POP HL |
| 2A8405 | LD HL,(nn) | DDE1 | POP IX |
| 218405 | LD HL,nn | FDE1 | POP IY |
| ED47 | LD I,A | F5 | PUSH AF |
| DD2A8405 | LD IX,(nn) | C5 | PUSH BC |
| DD218405 | LD IX,nn | D5 | PUSH DE |
| FD2A8405 | LD IY,(nn) | E5 | PUSH HL |
| FD218405 | LD IY,nn | DDE5 | PUSH IX |
| 6E | LD L,(HL) | FDE5 | PUSH IY |
| DD6E05 | LD L,(IX+d) | CB86 | RES 0,(HL) |
| FD6E05 | LD L,(IY+d) | DDCB0586 | RES 0,(IX+d) |
| 6F | LD L,A | FDCB0586 | RES 0,(IY+d) |
| 68 | LD L,B | CB87 | RES 0,A |
| 69 | LD L,C | CB80 | RES 0,B |
| 6A | LD L,D | CB81 | RES 0,C |
| 6B | LD L,E | CB82 | RES 0,D |
| 6C | LD L,H | CB83 | RES 0,E |
| 6D | LD L,L | CB84 | RES 0,H |
| 2E20 | LD L,n | CB85 | RES 0,L |
| ED4F | LD R,A | CB8E | RES 1,(HL) |
| ED7B8405 | LD SP,(nn) | DDCB058E | RES 1,(IX+d) |
| F9 | LD SP,HL | FDCB058E | RES 1,(IY+d) |
| DDF9 | LD SP,IX | CB8F | RES 1,A |
| FDf9 | LD SP,IY | CB88 | RES 1,B |
| 318405 | LD SP,nn | CB89 | RES 1,C |
| EDA8 | LDD | CB8A | RES 1,D |
| EDB8 | LDDR | CB8B | RES 1,E |
| EDA0 | LDI | CB8C | RES 1,H |
| ED80 | LDIR | CB8D | RES 1,L |
| ED44 | NEG | CB96 | RES 2,(HL) |
| 00 | NOP | DDCB0596 | RES 2,(IX+d) |
| B6 | OR (HL) | FDCB0596 | RES 2,(IY+d) |
| DDB605 | OR (IX+d) | CB97 | RES 2,A |
| FDB605 | OR (IY+d) | CB90 | RES 2,B |
| B7 | OR A | CB91 | RES 2,C |
| B0 | OR B | CB92 | RES 2,D |
| B1 | OR C | CB93 | RES 2,E |
| B2 | OR D | CB94 | RES 2,H |
| B3 | OR E | CB95 | RES 2,L |
| B4 | OR H | CB9E | RES 3,(HL) |
| B5 | OR L | DDCB059E | RES 3,(IX+d) |
| F620 | OR n | FDCB059E | RES 3,(IY+d) |
| ED8B | OTDR | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|----------|------------------|
| EDAA | IND |
| EDBA | INDR |
| EDA2 | INI |
| EDB2 | INIR |
| C38405 | JP nn |
| E9 | JP (HL) |
| DDE9 | JP (IX) |
| FDE9 | JP (IY) |
| DA8405 | JP C,nn |
| FAB405 | JP M,nn |
| D28405 | JP NC,nn |
| C28405 | JP NZ,nn |
| F28405 | JP P,nn |
| EAB405 | JP PE,nn |
| E28405 | JP PO,nn |
| CAB405 | JP Z,nn |
| 382E | JR C,e |
| 302E | JR NC,e |
| 202E | JR NZ,e |
| 282E | JR Z,e |
| 182E | JR e,HL |
| 02 | LD (BC),A |
| 12 | LD (DE),A |
| 77 | LD (HL),A |
| 70 | LD (HL),B |
| 71 | LD (HL),C |
| 72 | LD (HL),D |
| 73 | LD (HL),E |
| 74 | LD (HL),H |
| 75 | LD (HL),L |
| 3620 | LD (HL),n |
| DD7705 | LD (IX+d),A |
| DD7005 | LD (IX+d),B |
| DD7105 | LD (IX+d),C |
| DD7205 | LD (IX+d),D |
| DD7305 | LD (IX+d),E |
| DD7405 | LD (IX+d),H |
| DD7505 | LD (IX+d),L |
| DD360520 | LD (IX+d),n |
| FD7705 | LD (IY+d),A |
| FD7005 | LD (IY+d),B |
| FD7105 | LD (IY+d),C |
| FD7205 | LD (IY+d),D |
| FD7305 | LD (IY+d),E |
| FD7405 | LD (IY+d),H |
| FD7505 | LD (IY+d),L |
| FD360520 | LD (IY+d),n |
| 328405 | LD (nn),A |
| ED438405 | LD (nn),BC |
| ED538405 | LD (nn),DE |
| 228405 | LD (nn),HL |
| DD228405 | LD (nn),IX |
| FD228405 | LD (nn),IY |
| ED738405 | LD (nn),SP |
| 0A | LD A,(BC) |
| 1A | LD A,(DE) |
| 7E | LD A,(HL) |

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|----------|------------------|
| DD7E05 | LD A,(IX+d) |
| FD7E05 | LD A,(IY+d) |
| 3A8405 | LD A,(nn) |
| 7F | LD A,A |
| 78 | LD A,B |
| 79 | LD A,C |
| 7A | LD A,D |
| 7B | LD A,E |
| 7C | LD A,H |
| ED57 | LD A,I |
| 7D | LD A,L |
| 3E20 | LD A,n |
| ED5F | LD A,R |
| 46 | LD B,(HL) |
| DD4605 | LD B,(IX+d) |
| FD4605 | LD B,(IY+d) |
| 47 | LD B,A |
| 40 | LD B,B |
| 41 | LD B,C |
| 42 | LD B,D |
| 43 | LD B,E |
| 44 | LD B,H |
| 45 | LD B,L |
| 0620 | LD B,n |
| ED4B8405 | LD BC,(nn) |
| 01B405 | LD BC,nn |
| 4E | LD C,(HL) |
| DD4E05 | LD C,(IX+d) |
| FD4E05 | LD C,(IY+d) |
| 4F | LD C,A |
| 48 | LD C,B |
| 49 | LD C,C |
| 4A | LD C,D |
| 4B | LD C,E |
| 4C | LD C,H |
| 4D | LD C,L |
| 0E20 | LD C,n |
| 56 | LD D,(HL) |
| DD5605 | LD D,(IX+d) |
| FD5605 | LD D,(IY+d) |
| 57 | LD D,A |
| 50 | LD D,B |
| 51 | LD D,C |
| 52 | LD D,D |
| 53 | LD D,E |
| 54 | LD D,H |
| 55 | LD D,L |
| 1620 | LD D,n |
| ED5B8405 | LD DE,(nn) |
| 118405 | LD DE,nn |
| 5E | LD E,(HL) |
| DD5E05 | LD E,(IX+d) |
| FD5E05 | LD E,(IY+d) |
| 5F | LD E,A |
| 58 | LD E,B |
| 59 | LD E,C |
| 5A | LD E,D |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT | OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|----------|------------------|----------|------------------|
| CB9F | RES 3,A | ED4D | RET1 |
| CB9E | RES 3,B | ED45 | RETN |
| CB99 | RES 3,C | CB16 | RL (HL) |
| CB9A | RES 3,D | DDCB0516 | RL (IX+d) |
| CB9B | RES 3,E | FDCB0516 | RL (IY+d) |
| CB9C | RES 3,H | CB17 | RL A |
| CB9D | RES 3,L | CB10 | RL B |
| CBAE | RES 4,(HL) | CB11 | RL C |
| DDCB05A6 | RES 4,(IX+d) | CB12 | RL D |
| FDCB05A6 | RES 4,(IY+d) | CB13 | RL E |
| CBA7 | RES 4,A | CB14 | RL H |
| CBA0 | RES 4,B | CB15 | RL L |
| CBA1 | RES 4,C | 17 | RLA |
| CBA2 | RES 4,D | CB06 | RLC (HL) |
| DBA3 | RES 4,E | DDCB0506 | RLC (IX+d) |
| CBA4 | RES 4,H | FDCB0506 | RLC (IY+d) |
| CBA5 | RES 4,L | CB07 | RLC A |
| CBAE | RES 5,(HL) | CB00 | RLC B |
| DDCB05AE | RES 5,(IX+d) | CB01 | RLC C |
| FDCB05AE | RES 5,(IY+d) | CB02 | RLC D |
| CBAF | RES 5,A | CB03 | RLC E |
| CBA8 | RES 5,B | CB04 | RLC H |
| CBA9 | RES 5,C | CB05 | RLC L |
| CBA4 | RES 5,D | 07 | RLCA |
| CBAB | RES 5,E | ED6F | RLD |
| CBAC | RES 5,H | CB1E | RR (HL) |
| CBAD | RES 5,L | DDCB051E | RR (IX+d) |
| CBB6 | RES 6,(HL) | FDCB051E | RR (IY+d) |
| DDCB05B6 | RES 6,(IX+d) | CB1F | RR A |
| FDCB05B6 | RES 6,(IY+d) | CB18 | RR B |
| CBB7 | RES 6,A | CB19 | RR C |
| CBB0 | RES 6,B | CB1A | RR D |
| CBB1 | RES 6,C | CB1B | RR E |
| CBB2 | RES 6,D | CB1C | RR H |
| CBB3 | RES 6,E | CB1D | RR L |
| CBB4 | RES 6,H | 1F | RRR |
| CBB5 | RES 6,L | CB0E | RRC (HL) |
| CBBE | RES 7,(HL) | DDCB050E | RRC (IX+d) |
| DDCB05BE | RES 7,(IX+d) | FDCB050E | RRC (IY+d) |
| FDCB05BE | RES 7,(IY+d) | CB0F | RRC A |
| CBBF | RES 7,A | CB08 | RRC B |
| CBB8 | RES 7,B | CB09 | RRC C |
| CBB9 | RES 7,C | CB0A | RRC D |
| CBBA | RES 7,D | CB0B | RRC E |
| CBBB | RES 7,E | CB0C | RRC H |
| CBBC | RES 7,H | CB0D | RRC L |
| CBBD | RES 7,L | OF | RRCA |
| C9 | RET | ED67 | RRD |
| D8 | RET C | C7 | RST 00H |
| F8 | RET M | CF | RST 08H |
| D0 | RET NC | D7 | RST 10H |
| C0 | RET NZ | DF | RST 18H |
| F0 | RET P | E7 | RST 20H |
| E8 | RET PE | EF | RST 28H |
| F0 | RET PO | F7 | RST 30H |
| C8 | RET Z | FF | RST 38H |
| | | DE20 | SBC A,n |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|-------------|---------------------|
| 9E | SBC A,(HL) |
| DD9E05 | SBC A,(IX+d) |
| FD9E05 | SBC A,(IY+d) |
| 9F | SBC A,A |
| 98 | SBC A,B |
| 99 | SBC A,C |
| 9A | SBC A,D |
| 9B | SBC A,E |
| 9C | SBC A,H |
| 9D | SBC A,L |
| ED42 | SBC HL,BC |
| ED52 | SBC HL,DE |
| ED62 | SBC HL,HL |
| ED72 | SBC HL,SP |
| 37 | SCF |
| CBC6 | SET 0,(HL) |
| DDCB05C6 | SET 0,(IX+d) |
| FDCB05C6 | SET 0,(IY+d) |
| CBC7 | SET 0,A |
| CBC0 | SET 0,B |
| CBC1 | SET 0,C |
| CBC2 | SET 0,D |
| CBC3 | SET 0,E |
| CBC4 | SET 0,H |
| CBC5 | SET 0,L |
| CBCE | SET 1,(HL) |
| DDCB05CE | SET 1,(IX+d) |
| FDCB05CE | SET 1,(IY+d) |
| CBCF | SET 1,A |
| CBC8 | SET 1,B |
| CBC9 | SET 1,C |
| CBCA | SET 1,D |
| CBCB | SET 1,E |
| CBC | SET 1,H |
| CBCD | SET 1,L |
| CBD6 | SET 2,(HL) |
| DDCB05D6 | SET 2,(IX+d) |
| FDCB05D6 | SET 2,(IY+d) |
| CBD7 | SET 2,A |
| CBD0 | SET 2,B |
| CBD1 | SET 2,C |
| CBD2 | SET 2,D |
| CBD3 | SET 2,E |
| CBD4 | SET 2,H |
| CBD5 | SET 2,L |
| CBD8 | SET 3,B |
| CBDE | SET 3,(HL) |
| DDCB05DE | SET 3,(IX+d) |
| FDCB05DE | SET 3,(IY+d) |
| CBDF | SET 3,A |
| CBD9 | SET 3,C |
| CBDA | SET 3,D |
| CBDB | SET 3,E |
| CBDC | SET 3,H |
| CBDD | SET 3,L |
| CBÉ6 | SET 4,(HL) |

| OBJ CODE | SOURCE STATEMENT |
|-------------|---------------------|
| DDCB05E6 | SET 4,(IX+d) |
| FDCB05E6 | SET 4,(IY+d) |
| CBE7 | SET 4,A |
| CBE0 | SET 4,B |
| CBE1 | SET 4,C |
| CBE2 | SET 4,D |
| CBE3 | SET 4,E |
| CBE4 | SET 4,H |
| CBE5 | SET 4,L |
| CBEE | SET 5,(HL) |
| DDCB05EE | SET 5,(IX+d) |
| FDCB05EE | SET 5,(IY+d) |
| CBEF | SET 5,A |
| CBE8 | SET 5,B |
| CBE9 | SET 5,C |
| CBEA | SET 5,D |
| CBEB | SET 5,E |
| CBEC | SET 5,H |
| CBED | SET 5,L |
| CBF6 | SET 6,(HL) |
| DDCB05F6 | SET 6,(IX+d) |
| FDCB05F6 | SET 6,(IY+d) |
| CBF7 | SET 6,A |
| CBF0 | SET 6,B |
| CBF1 | SET 6,C |
| CBF2 | SET 6,D |
| CBF3 | SET 6,E |
| CBF4 | SET 6,H |
| CBF5 | SET 6,L |
| CBFE | SET 7,(HL) |
| DDCB05FE | SET 7,(IX+d) |
| FDCB05FE | SET 7,(IY+d) |
| CBFF | SET 7,A |
| CBF8 | SET 7,B |
| CBF9 | SET 7,C |
| CBFA | SET 7,D |
| CBFB | SET 7,E |
| CBFC | SET 7,H |
| CBFD | SET 7,L |
| CB26 | SLA (HL) |
| DDCB0526 | SLA (IX+d) |
| FDCB0526 | SLA (IY+d) |
| CB27 | SLA A |
| CB20 | SLA B |
| CB21 | SLA C |
| CB22 | SLA D |
| CB23 | SLA E |
| CB24 | SLA H |
| CB25 | SLA L |
| CB2E | SRA (HL) |
| DDCB052E | SRA (IX+d) |
| FDCB052E | SRA (IY+d) |
| CB2F | SRA A |
| CB28 | SRA B |
| CB29 | SRA C |
| CB2A | SRA D |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| OBJ CODE | SOURCE | STATEMENT |
|-------------|--------|-----------|
| CB2B | SRA | E |
| CB2C | SRA | H |
| CB2D | SRA | L |
| CB3E | SRL | (HL) |
| DDCB053E | SRL | ((IX+d)) |
| FDCB053E | SRL | ((IY+d)) |
| CB3F | SRL | A |
| CB38 | SRL | B |
| CB39 | SRL | C |
| CB3A | SRL | D |
| CB3B | SRL | E |
| CB3C | SRL | H |
| CB3D | SRL | L |
| 96 | SUB | (HL) |
| DD9605 | SUB | ((IX+d)) |
| FD9605 | SUB | ((IY+d)) |
| 97 | SUB | A |
| 90 | SUB | B |
| 91 | SUB | C |
| 92 | SUB | D |
| 93 | SUB | E |
| 94 | SUB | H |
| 95 | SUB | L |
| D620 | SUB | n |
| AE | XOR | (HL) |
| DDAE05 | XOR | ((IX+d)) |
| FDAE05 | XOR | ((IY+d)) |
| AF | XOR | A |
| AB | XOR | B |
| A9 | XOR | C |
| AA | XOR | D |
| AB | XOR | E |
| AC | XOR | H |
| AD | XOR | L |
| EE20 | XOR | n |

| DECIMAL | BCD | DEC | BCD | DEC | BCD |
|---------|------|-----|----------|-----|----------|
| 0 | 0000 | 10 | 00010000 | 90 | 10010000 |
| 1 | 0001 | 11 | 00010001 | 91 | 10010001 |
| 2 | 0010 | 12 | 00010010 | 92 | 10010010 |
| 3 | 0011 | 13 | 00010011 | 93 | 10010011 |
| 4 | 0100 | 14 | 00010100 | 94 | 10010100 |
| 5 | 0101 | 15 | 00010101 | 95 | 10010101 |
| 6 | 0110 | 16 | 00010110 | 96 | 10010110 |
| 7 | 0111 | 17 | 00010111 | 97 | 10010111 |
| 8 | 1000 | 18 | 00011000 | 98 | 10011000 |
| 9 | 1001 | 19 | 00011001 | 99 | 10011001 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

CONTROLLER PROGRAM
OF AUTO-SYNCHRONIZATION FOR POWER SYSTEM

```

                                ORG 2000H
2000 3E 80      BEGIN : LD  A,80H      ; Set Port#1
2002 D3 23      OUT  (23),A
2004 3E 99      LD   A,99H      ; Set Port#2
2006 D3 43      OUT  (43),A
2008 3E 03      LD   A,03H      ; Clear Display
200A D7         RST  10H
200B 21 00 30   LD   HL,3000H
200E 11 E7 3F   LD   DE,3FE7
2011 01 04 00   LD   BC,0004H
2014 ED B0      LDIR
2016 3E 04      STOP  : LD  A,04H      ; Display "Stop"
2018 06 40      LD   B,40H
201A D7         RST  10H
201B D3 42      IN   A,(42)      ; Scan Input "Start"
201D CB 6F      BIT  5,A
201F 28 F5      JR   Z,STOP      ; if no "Start" Input
2021 3E FF      LD   A,FF
2023 D3 20      OUT  (20),A
2025 D3 21      OUT  (21),A
2027 F5         PUSH AF

```

```

2028 3E 03          LD  A,03H
202A D3 22          OUT (22),A      ; Show Start & Close SW-1
202C CD 2C 22      CALL DISPLAY1
202F F1            INC-S0 : POP AF          ; Increase Speed
2030 3D            DEC A
2031 D3 20          OUT (20),A
2033 FE EE          CP
2035 28 06          JR  Z,VOLT        ; if Speed=rated
2037 F5            PUSH AF
2038 CD 42 22      CALL DISPLAY2
203B 18 F2          JR  INC-S0
203D 3E FF          VOLT : LD  A,FF
203F 3D            INC-V0 : DEC A          ; Increase Volt
2040 D3 21          OUT (21),A
2042 FE EE          CP
2044 28 07          JR  Z,PICKXY      ; if Volt=90% rated
2046 F5            PUSH AF
2047 CD 58 22      CALL DISPLAY3
204A F1            POP AF
204B 18 F2          JR  INC-V0
204D 16 EE          PICKXY : LD  D,
204F 1E EE          LD  E,
2051 D5            PUSH DE
2052 3E 05          LD  A,05H        ; Clear Show "Start"
2054 D3 22          OUT (22),A        ; Show "Balance V&f"
2056 01 00 00      COMP-F : LD  BC,00H  ; Clear Counter
2059 DB 40          SCAN-LO : IN  A,(40) ; Scan Signal-Line

```

205B CB 7F BIT 7,A
 205D 20 08 JR NZ,SCAN-L2 ; if Signal=1
 205F DB 40 SCAN-L1 : IN A,(40)
 2061 CB 7F BIT 7,A
 2063 28 FA JR Z,SCAN-L1 ; if Signal=0
 2065 18 08 JR COUNT-L
 2067 DB 40 SCAN-L2 : IN A,(40)
 2069 CB 7F BIT 7,A
 206B 20 FA JR NZ,SCAN-L2 ; if Signal=1
 206D 18 F0 JR SCAN-L1
 206F 0C COUNT-L : INC C
 2070 20 01 JR NZ,SCAN-L3
 2072 04 INC B
 2073 DB 40 SCAN-L3 : IN A,(40)
 2075 CB 7F BIT 7,A
 2077 20 F8 JR NZ,COUNT-L
 2079 C5 PUSH BC ; pick counter in memory
 207A 01 00 00 LD BC,00H ; Clear counter
 207D DB 40 SCAN-G0 : IN A,(40) ; Scan Signal-Gen
 207F CB 77 BIT 6,A
 2081 20 08 JR NZ,SCAN-G2 ; if Signal=1
 2083 DB 40 SCAN-G1 : IN A,(40)
 2085 CB 77 BIT 6,A
 2087 28 FA JR Z,SCAN-G1 ; if Signal=0
 2089 18 08 JR COUNT-G
 208B DB 40 SCAN-G2 : IN A,(40)

เอกสารนี้เผยแพร่โดยสำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครเชียงใหม่ โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

208F 20 FA JR NZ,SCAN-G2 ; if Signal=1
 2091 18 F0 JR SCAN-G1
 2093 0C COUNT-G : INC C
 2094 20 01 JR NZ,SCAN-G3
 2096 04 INC B
 2097 DB 40 SCAN-G3 : IN A,(40)
 2099 CB 77 BIT 6,A
 209B 20 F6 JR NZ,COUNT-G
 209D E1 POP HL
 209E 7C LD A,H
 209F 90 SUB A,B
 20A0 38 11 JR C,INC-S1 ; if fL>fG
 20A2 20 68 JR NZ,DEC-S1 ; if fL<fG
 20A4 7D LD A,L
 20A5 91 SUB A,B
 20A6 38 06 JR C,CHECK1 ; if A-C<0
 20A8 FE 05 CP 05H
 20AA 30 60 JR NC,DEC-S1 ; fL<fG
 20AC 18 3B JR EQUAL0 ; when fL=fG
 20AE 2F CHECK1 : CPL
 20AF FE 04 CP 04H
 20B1 38 36 JR C,EQUAL0
 20B3 D1 INC-S1 : POP DE
 20B4 DB 40 IN A,(40)
 20B6 CB 6F BIT 5,A
 20B8 20 0B JR NZ,CHECK2
 20BA 15 DEC D ; when fL>fG and VL<VG

```

20BB 0E 20          LD  C,20H
20BD ED 51          OUT (C),D
20BF D5             PUSH DE
20C0 CD 6E 22       CALL DISPLAY4
20C3 18 91          JR  COMP-F
20C5 CB 67          CHECK2 : BIT  4,A
20C7 28 10          JR  7,INC-S2
20C9 15             DEC  D                ; when fL>fG and VL<VG
20CA 1C             INC  E
20CB 0E 20          LD  C,20H
20CD ED 51          OUT (C),D
20CF 0C             INC  C
20D0 ED 59          OUT (C),E
20D2 D5             PUSH DE
20D3 CD 84 22       CALL DISPLAY 5
20D6 C3 56 20       JR  COMP-F
20D9 15             INC-S2 : DEC  D                ; if fL>fG and VL>VG
20DA 1D             DEC  E
20DB 0E 20          LD  C,20H
20DD ED 51          OUT (C),D
20DF 0C             INC  C
20E0 ED 59          OUT (C),E
20E2 D5             PUSH DE
20E3 CD AF 22       CALL DISPLAY6
20E6 C3 56 20       JR  COMP-F
20E9 D1             EQUAL0 : POP  DE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานในโครงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

20EC  CB 6F          BIT  5,A
20EE  28 53          JR   Z,PICK-DE      ; if VL=VG
20F0  CB 67          BIT  4,A
20F2  28 0C          JR   Z,EQUAL1      ; if VL>VG
20F4  1C             INC  E              ; When VL<VG
20F5  0E 21          LD   C,21H
20F7  ED 59          OUT  (C),E
20F9  D5             PUSH DE
20FA  CD DA 22       CALL DISPLAY7
20FD  C3 56 20       JR   COMP-F
2100  1D             EQUAL1 : DEC E      ; When VL>VG
2101  0E 21          LD   C,21H
2103  ED 59          OUT  (C),E
2105  D5             PUSH DE
2106  CD FO 22       CALL DISPLAY8
2109  C3 56 20       JR   COMP-F
210C  D1             DEC-S1 : POP DE
210D  DB 40          IN  A,(40)
210F  CB 6F          BIT  5,A
2111  20 0C          JR   NZ,CHECK3
2113  14             INC  D              ; When VL=VG
2114  0E 20          LD   C,20H
2116  ED 51          OUT  (C),D
2118  D5             PUSH DE
2119  CD 06 23       CALL DISPLAY9
211C  C3 56 20       JR   COMP-F
211F  CB 67          CHECK3 : BIT  4,A

```

2121 28 10 JR Z,DEC-S2
 2123 14 INC D ; When fL<fG and VL<VG
 2124 1C INC E
 2125 0E 20 LD C,20H
 2127 ED 51 OUT (C),D
 2129 0C INC C
 212A ED 59 OUT (C),E
 212C D5 PUSH DE
 212D CD 1C 23 CALL DISPLAY10
 2130 C3 56 20 JR COMP-F
 2133 14 DEC-S2 : INC D ; When fL<fG and VL>VG
 2134 1D DEC E
 2135 0E 20 LD C,20H
 2137 ED 51 OUT (C),D
 2139 0C INC C
 213A ED 59 OUT (C),E
 213C D5 PUSH DE
 213D CD 47 23 CALL DISPLAY11
 2140 C3 56 20 JR COMP-F
 2143 D5 PICK-DE : PUSH DE
 2144 3E 01 LD A,01 ; Clear Show "Balance V&f"
 2146 D3 22 OUT (22),A
 2148 DB 40 PHASE-L0 : IN A,(40)
 214A CB 5F BIT 3,A
 214C 28 FA JR Z,PHASE-L0
 214E DB 40 CHECK4 : IN A,(40)

2150 CB 5F BIT 3,A เท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ BIT 3,A เท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2152 20 FA JR NZ,CHECK4
 2154 CB 57 BIT 2,A
 2156 20 29 JR NZ,CLKWISE0
 2158 3E 09 LD A,09H
 215A D3 22 OUT (22),A ; Show "Counter clockwise"
 215C DB 40 PHASE-G0 : IN A,(40)
 215E CB 4F BIT 1,A
 2160 28 FA JR Z,PHASE-G0
 2162 DB 40 CHECK5 : IN A,(40)
 2164 CB 4F BIT 1,A
 2166 20 FA JR NZ,CHECK5
 2168 CB 47 BIT 0,A
 216A 20 06 JR NZ,CHANGE
 216C 3E 29 LD A,29H ; Show "Counter clockwise"
 216E D3 22 OUT (22),A
 2170 18 36 JR COMP-01
 2172 3E 49 CHANGE : LD A,49H ; Show "Clockwise"
 2174 D3 22 OUT (22),A
 2176 3E 0F LD A,0FH ; Delay time for Showing
 2178 06 FF LD B,FFH
 217A D7 RST 10H
 217B 3E 29 LD A,29H ; Show "Counter clockwise"
 217D D3 22 OUT (22),A
 217F 18 33 JR COMP-02
 2181 3E 11 CLKWISE0 : LD A,11 ; Show "Clockwise"
 2183 D3 22 OUT (22),A
 2185 DB 40 PHASE-G1 : IN A,(40)

2187 CB 4F BIT 1,A
 2189 28 FA JR Z,PHASE-G1
 218B DB 40 CHECK6 : IN A,(40)
 218D CB 4F BIT 1,A
 218F 20 FA JR NZ,CHECK6
 2191 CB 47 BIT 0,A
 2193 20 0F JR NZ,CLKWISE1
 2195 3E 31 LD A,31H
 2197 D3 22 OUT (22),A
 2199 3E 0F LD A,0FH ; Delay Time for "Show"
 219B 06 FF LD B,FFH
 219D D7 22 RST 10H
 219E 3E 51 LD A,51H ; Show "Clockwise"
 21A0 D3 22 OUT (22),A
 21A2 18 10 JR COMP-02
 21A4 3E 51 CLKWISE1 : LD A,51H ; Show "Clockwise"
 21A6 D3 22 OUT (22),A
 21A8 DB 42 COMP-01 : IN A,(42) ; Detect Phase Shift
 21AA CB 7F BIT 7,A
 21AC 28 FA JR Z,COMP-01
 21AE 3E 05 LD A,05H ; Close SW2-1
 21B0 D3 41 OUT (41),A
 21B2 18 0A JR DISPLAY
 21B4 DB 42 COMP-02 : IN A,(42) ; Detect Phase Shift
 21B6 CB 7F BIT 7,A
 21B8 28 FA JR Z,COMP-02

```

21BC  D3 41                OUT  (41),A
21BE  3E 03          DISPLAY : LD  A,03H          ; Clear Display
21C0  D7                RST  10H
21C1  21 04 30          LD   HL,3004H
21C4  11 E7 3F          LD   DE,3FE7H
21C7  01 06 00          LD   BC,06H
21CA  ED B0                LDIR
21CC  3E 04          FINISH : LD  A,04H          ; Display "Finish"
21CE  06 40                LD  B,40H
21D0  D7                RST  10H
21D1  DB 42                IN  A,(42)          ; Scan "Pararell-out"
21D3  CB 77                BIT  6,A
21D5  28 F5                JR  Z,FINISH
21D7  3E 00                LD  A,00H          ; Open SW-2
21D9  D3 41                OUT  (41),A
21DB  3E 81                LD  A,81H          ; Show "Pararell-out"
21DD  D3 22                OUT  (22),A
21DF  0E 05                LD  C,05H          ; Long Delay Time
21E1  3E 0F          WAIT : LD  A,0FH
21E3  06 FF                LD  B,FFH
21E5  D7                RST  10H
21E6  0D                DEC  C
21E7  20 F8                JR  NZ,WAIT
21E9  D1                BREAK : POP~ DE
21EA  14                INC  D
21EB  1C                INC  E

```

เอกสารนี้ 21EC 0E 20 นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ LD C, 20H นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

21EE ED 51 OUT (C),D
21F0 0C INC C
21F1 ED 59 OUT (C),E
21F3 7A LD A,D
21F4 FE FF CP FFH
21F6 28 0B JR Z,UP-E0 ; if D=FF
21F8 7B LD A,E
21F9 FE FF CP FFH
21FB 28 19 JR Z,UP-D0 ; if E=FF
21FD D5 PUSH DE
21FE CD 72 23 CALL DISPLAY12
2201 18 E6 JR BREAK
2203 7B UP-E0 : LD A,E
2204 FE FF CP FFH
2206 28 1D JR Z,OPEN ; if E=FF
2208 3C UP-E1 : INC A
2209 D3 21 OUT (21),A
220B FE FF CP FFH
220D 28 16 JR Z,OPEN ; if E=FF
220F F5 PUSH AF
2210 CD 93 23 CALL DISPLAY13
2213 F1 POP AF
2214 18 F2 JR UP-E1
2216 7A UP-D0 : LD A,D
2217 3C UP-D1 : INC A
2218 D3 20 OUT (20),A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานที่คอมพิวเตอร์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

221C 28 07          JR   Z,OPEN          ; if D=FF
221E F5            PUSH AF
221F CD A4 23      CALL DISPLAY14
2222 F1            POP  AF
2223 18 F2          JR   UP-D1
2225 3E 00          OPEN : LD   A,00          ; open SW-1
2227 D3 22          OUT  (22),A
2229 C3 00 20        JR   BEGIN
222C 21 0A 30      DISPLAY1 : LD   HL,300AH
222F 11 E7 3F      LD   DE,3FE7H
2232 01 05 00      LD   BC,06H
2235 ED B0          LDIR
2237 0E 05          LD   C,05H
2239 3E 04          LOOP1 : LD   A,04H      ; Display "start"
223B 06 40          LD   B,40H
223D D7            RST  10H
223E 0D            DEC  C
223F 20 F8          JR   NZ,LOOP1         ; if c>0
2241 C9            RET
2242 21 15 30      DISPLAY2 : LD   HL,3015H
2245 11 E7 3F      LD   DE,3FE7H
2248 01 06 00      LD   BC,06H
224B ED B0          LDIR
224D 0E 03          LD   C,03H
224F 3E 04          LOOP2 : LD   A,04H      ; Display "Inc-S"
2251 06 40          LD   B,40H
2253 D7            RST  10H

```

```

2254 0D          DEC C
2255 20 F8      JR  NZ,LOOP2      ; if c>0
2257 C9          RET
2258 21 21 30   DISPLAY3 : LD  HL,3021H
225B 11 E7 3F   LD  DE,3FE7H
225E 01 06 00   LD  BC,06H
2261 ED B0      LDIR
2263 0E 03      LD  C,03H
2265 3E 04      LOOP3 : LD  A,04H          ; Display "Inc-V"
2267 06 40      LD  B,40H
2269 D7          RST 10H
226A 0D          DEC C
226B 20 F8      JR  NZ,LOOP3      ; if c>0
226D C9          RET
226E 21 15 30   DISPLAY4 : LD  HL,3015H
2271 11 E7 3F   LD  DE,3FE7H
2274 01 06 00   LD  BC,06H
2277 ED B0      LDIR
2279 0E 04      LD  C,04H
227B 3E 04      LOOP4 : LD  A,04H          ; Display "Inc-S"
227D 06 40      LD  B,40H
227F D7          RST 10H
2280 0D          DEC C
2281 20 F8      JR  NZ,LOOP4      ; if c>0
2283 C9          RET
2284 21 15 30   DISPLAY5 : LD  HL,3015H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

228A 01 06 00          LD  BC,06H
228D ED B0            LDIR
228F 0E 02            LD  C,02H
2291 3E 04          LOOP5 : LD  A,04H          ; Display "Inc-S"
2293 06 40            LD  B,40H
2295 D7                RST 10H
2296 0D                DEC  C
2297 20 F8            JR   NZ,LOOP5
2299 21 1B 30          LD  HL,301BH
229C 11 E7 3F          LD  DE,3FE7H
229F 01 06 00          LD  BC,06H
22A2 ED B0            LDIR
22A4 0E 02            LD  C,02H
22A6 3E 04          LOOP6 : LD  A,04H          ; Display "Dec-V"
22A8 06 40            LD  B,40H
22AA D7                RST 10H
22AB 0D                DEC  C
22AC 20 F8            JR   NZ,LOOP6
22AE C9                RET
22AF 21 15 30        DISPLAY6 : LD  HL,3015H
22B2 11 E7 3F          LD  DE,3FE7H
22B5 01 06 00          LD  BC,06H
22B8 ED B0            LDIR
22BA 0E 02            LD  C,02H
22BC 3E 04          LOOP7 : LD  A,04H          ; Display "Inc-S"
22BE 06 40            LD  B,40H
22C0 D7                RST 10H

```

```

22C1  0D          DEC  C
22C2  20 F8       JR   NZ,LOOP7
22C4  21 21 30    LD   HL,3021H
22C7  11 E7 3F    LD   DE,3FE7H
22CA  01 06 00    LD   BC,06H
22CD  ED B0       LDIR
22CF  0E 02       LD   C,02H
22D1  3E 04       LOOP8 : LD   A,04H          ; Display "Inc-V"
22D3  06 40       LD   B,40H
22D5  D7          RST  10H
22D6  0D          DEC  C
22D7  20 F8       JR   NZ,LOOP8
22D9  C9          RET
22DA  21 1B 30    DISPLAY7 : LD   HL,301BH
22DD  11 E7 3F    LD   DE,3FE7H
22E0  01 06 00    LD   BC,06H
22E3  ED B0       LDIR
22E5  0E 04       LD   C,04H
22E7  3E 04       LOOP9 : LD   A,04H          ; Display "Dec-V"
22E9  06 40       LD   B,40H
22EB  D7          RST  10H
22EC  0D          DEC  C
22ED  20 F8       JR   NZ,LOOP9
22EF  C9          RET
22F0  21 21 30    DISPLAY8 : LD   HL,3021H
22F3  11 E7 3F    LD   DE,3FE7H

```

เอกสารนี้ 22F6 01 06 00 สำหรับการใช้งานเพื่อ LD BC,06H ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

22F9 ED B0 LDIR
22FB 0E 04 LD C,04H
22FD 3E 04 LOOP10 : LD A,04
22FF 06 40 LD B,40H
2301 D7 RST 10H
2302 0D DEC C
2303 20 F8 JR NZ,LOOP10
2305 C9 RET
2306 21 0F 30 DISPLAY9 : LD HL,300FH
2309 11 E7 3F LD DE,3FE7H
230C 01 06 00 LD BC,06H
230F ED B0 LDIR
2311 0E 04 LD C,04H
2313 3E 04 LOOP11 : LD A,04H ; Display "Dec-S"
2315 06 40 LD B,40H
2317 D7 RST 10H
2318 0D DEC C
2319 20 F8 JR NZ,LOOP11
231B C9 RET
231C 21 0F 30 DISPLAY10 : LD HL,300FH
231F 11 E7 3F LD DE,3FE7H
2322 01 06 00 LD BC,06
2325 ED B0 LDIR
2327 0E 20 LD C,02H
2329 3E 04 LOOP12 : LD A,04H ; Display "Dec-S"
232B 06 40 LD B,40H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

232E 0D          DEC C
232F 20 F8      JR  NZ,LOOP12
2331 21 1B 30   LD  HL,301BH
2334 11 E7 3F   LD  DE,3FE7H
2337 01 06 00   LD  BC,06H
233A ED B0      LDIR
233C 0E 02      LD  C,02H
233E 3E 04      LOOP13 : LD  A,04H          ; Display "Dec-V"
2340 06 40      LD  B,40H
2342 D7          RST 10H
2343 0D          DEC C
2344 20 F8      JR  NZ,LOOP13
2346 C9          RET
2347 21 0F 30   DISPLAY11 : LD  HL,300FH
234A 11 E7 3F   LD  DE,3FE7H
234D 01 06 00   LD  BC,06H
2350 ED B0      LDIR
2352 0E 20      LD  C,02H
2354 3E 04      LOOP14 : LD  A,04H          ; Display "Dec-S"
2356 06 40      LD  B,40H
2358 D7          RST 10H
2359 0D          DEC C
235A 20 F8      JR  NZ,LOOP14
235C 21 21 30   LD  HL,3021H
235F 11 E7 3F   LD  DE,3FE7H
2362 01 06 00   LD  BC,06H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ออกไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2367 0E 02          LD  C,02H
2369 3E 04          LOOP15 : LD  A,04H          ; Display "Inc-V"
236B 06 40          LD  B,40H
236D D7             RST  10H
236E 0D             DEC  C
236F 20 F8          JR   NZ,LOOP15
2371 C9             RET
2372 21 0F 30       DISPLAY12 : LD  HL,300FH
2375 11 E7 3F       LD  DE,3FE7H
2378 01 06 00       LD  BC,06
237B ED B0          LDIR
237D 3E 04          LD  C,04H
237F 06 40          LD  B,40H
2381 D7             RST  10H
2382 21 1B 30       LD  HL,301BH
2385 11 E7 3F       LD  DE,3FE7H
2388 01 06 00       LD  BC,06H
238B ED B0          LDIR
238D 3E 04          LD  C,04H
238F 06 40          LD  B,40H
2391 D7             RST  10H
2392 C9             RET
2393 21 1B 30       DISPLAY13 : LD  HL,301BH
2396 11 E7 3F       LD  DE,3FE7H
2399 01 06 00       LD  BC,06H
239C ED B0          LDIR
239E 3E 04          LD  A,04H

```

| | | | |
|------|-------------------|-------------|-------------------|
| 23A0 | 06 40 | LD | B,40H |
| 23A2 | D7 | RST | 10H |
| 23A3 | C9 | RET | |
| 23A4 | 21 0F 30 | DISPLAY14 : | LD HL,300FH |
| 23A7 | 11 E7 3F | LD | DE,3FE7H |
| 23AA | 01 06 00 | LD | BC,06H |
| 23AD | C9 | LDIR | |
| 23AF | 3E 04 | LD | A,04H |
| 23B1 | 06 40 | LD | B,40H |
| 23B3 | D7 | RST | 10H |
| 23B4 | C9 | RET | |
| 3000 | 6D 78 3F 73 | DFB | 6D,78,3F,73 |
| 3004 | 71 30 54 30 6D 76 | DFB | 71,30,54,30,6D,76 |
| 300A | 6D 78 77 50 78 | DFB | 6D,78,77,50,78 |
| 300F | 5E 79 B9 40 40 6D | DFB | 5E,79,B9,40,40,6D |
| 3015 | 06 54 B9 40 40 6D | DFB | 06,54,B9,40,40,6D |
| 301B | 5E 79 B9 40 40 3E | DFB | 5E,79,B9,40,40,3E |
| 3021 | 06 54 B9 40 40 3E | DFB | 06,54,B9,40,40,3E |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

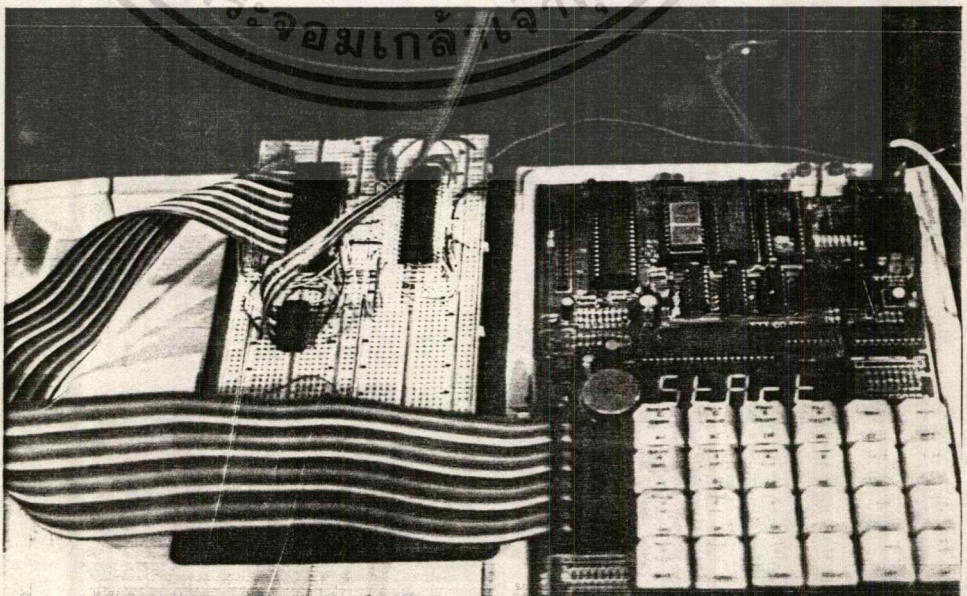
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง ที่ได้ทำทั้งหมดสำหรับโครงการนี้ โดยก่อนที่จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ที่ประกอบขึ้นและที่เกี่ยวข้อง หรือใช้กับโครงการนี้ โดยประกอบด้วย

- 1) ระบบไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocesor Unit)
- 2) วงจรคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว (1 ϕ Converter)
- 3) วงจรสร้างสัญญาณจุดชนวน (Trig Generator Circuit)
- 4) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (Power Supply)
- 5) วงจรตรวจจับสัญญาณ (Signal Detector Circuit)
- 6) มอเตอร์กระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 ϕ
(DC Motor & AC 3 ϕ Generator)
- 7) อุปกรณ์การติดต่อ และอุปกรณ์แสดงการทำงาน (Contactor & Display Unit)

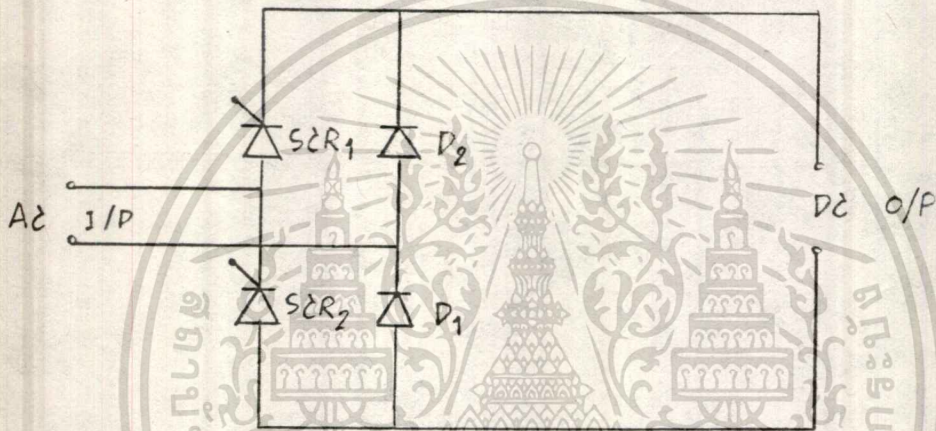
ในหัวข้อ 1), 3), 6) และ 7) จะแสดงเพียงรูปร่างลักษณะของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ประกอบขึ้น หรือนำมาใช้เท่านั้น เนื่องจากได้อธิบายรายละเอียดของแต่ละหัวข้อ มาแล้วในบทก่อนหน้า

- 1) ระบบไมโครโพรเซสเซอร์

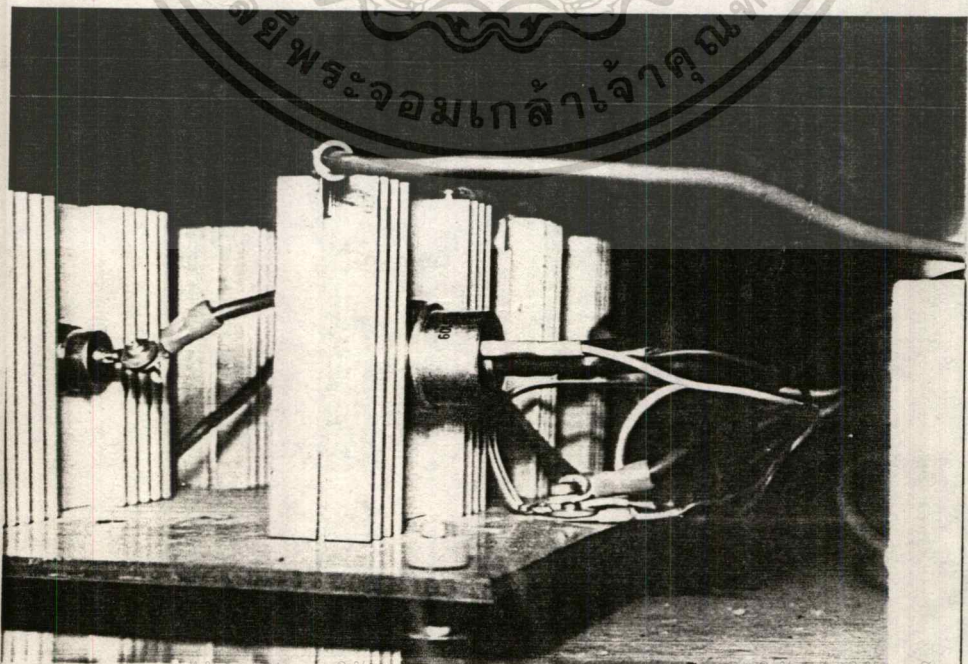


2) วงจรคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว

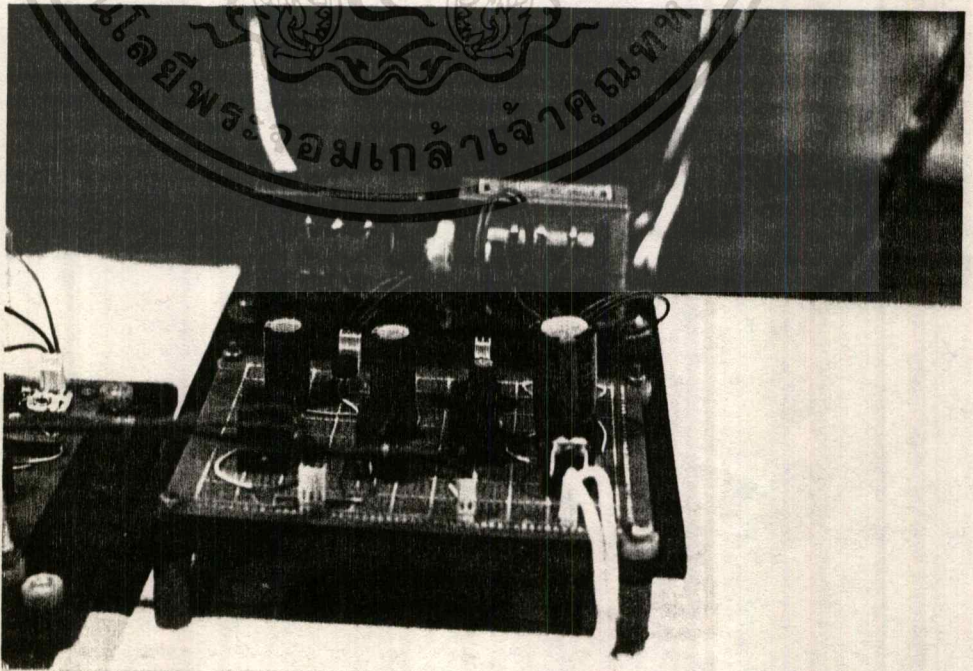
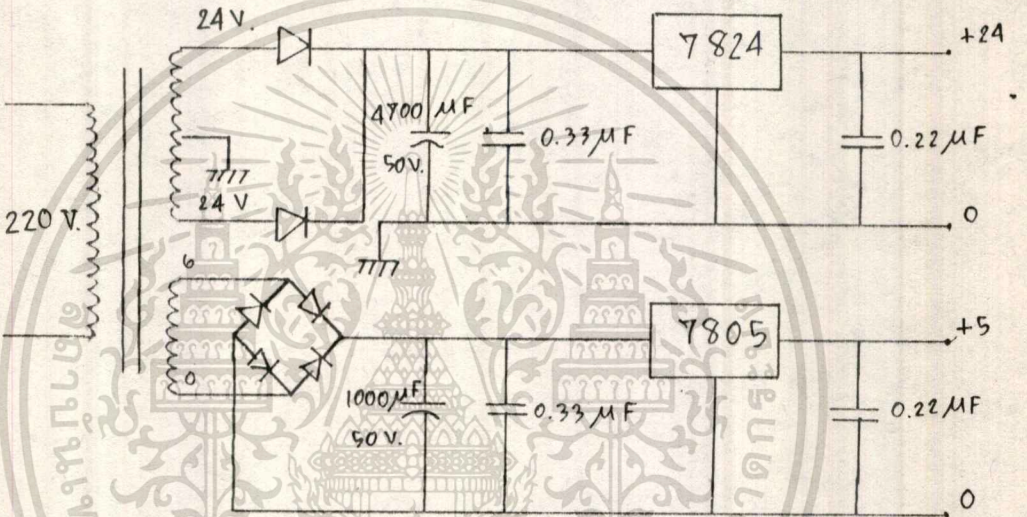
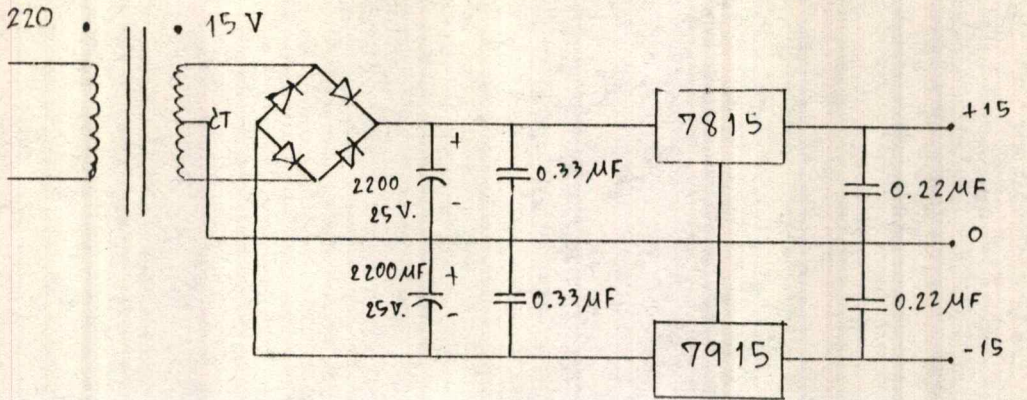
วงจรคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวหรือวงจรการควบคุมเฟสแบบเฟสเดียว (1 ϕ Phase Control Rectifier) สำหรับโครงการนี้ จะเลือกใช้วงจรเรกติฟายแบบ Half-Controlled Rectifier ที่ใช้ในการป้อนให้วงจรมอเตอร์ และ วงจรสนามกระตุ้นของ Generator ซึ่งประกอบด้วย SCR 2 ตัวและ Diode 2 ตัว โดยมี การต่อดังต่อไปนี้



รูปร่างและลักษณะที่ได้ประกอบขึ้นเป็นดังรูป



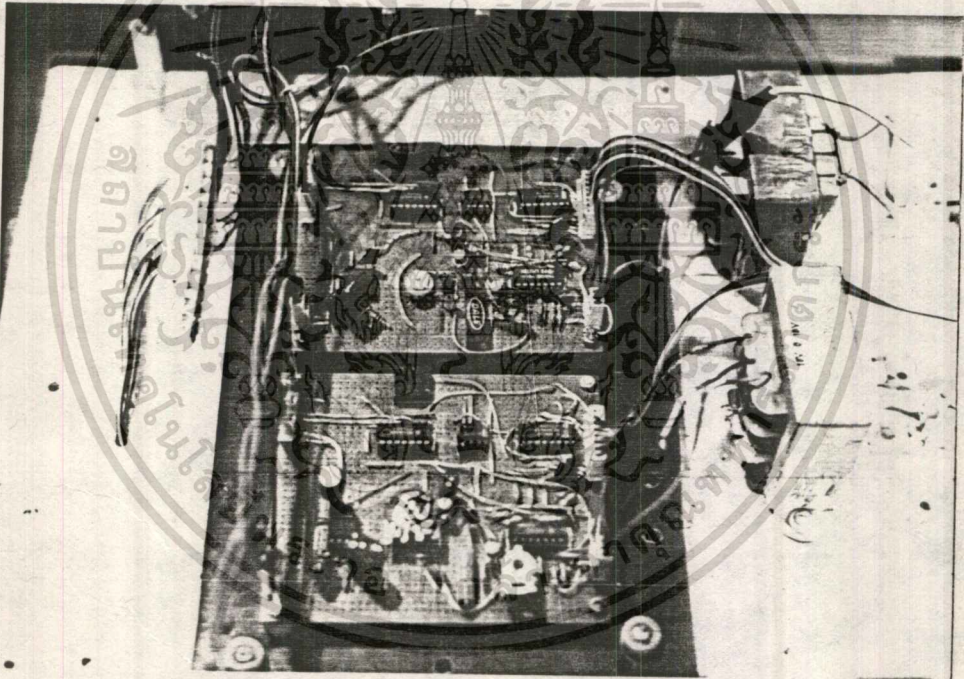
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุที่เลือกใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ แบบ Half-Controlled Rectifier เพราะ ให้ผลตอบสนองต่อกระแสที่มีลักษณะค่อนข้างต่อเนื่อง โดยมี D_1 และ D_2 เป็น free wheeling Diode ช่วยทำให้กระแสต่อเนื่อง ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักทีฟ ซึ่งจะมีผลให้ความเร็วของมอเตอร์ และแรงดัน 3 ϕ ที่ออกจาก Generator มีค่าค่อนข้างคงที่อีกด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการสำหรับโครงการนี้ และเหตุที่เลือกอุปกรณ์หนึ่ง ก็คือยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายอีกด้วย เพราะการใช้ SCR เพียง 2 ตัวซึ่ง SCR มีราคาแพงกว่า Diode ที่พิกัดเดียวกันเกือบเท่าตัว

3) วงจรสร้างสัญญาณจุดชนวน

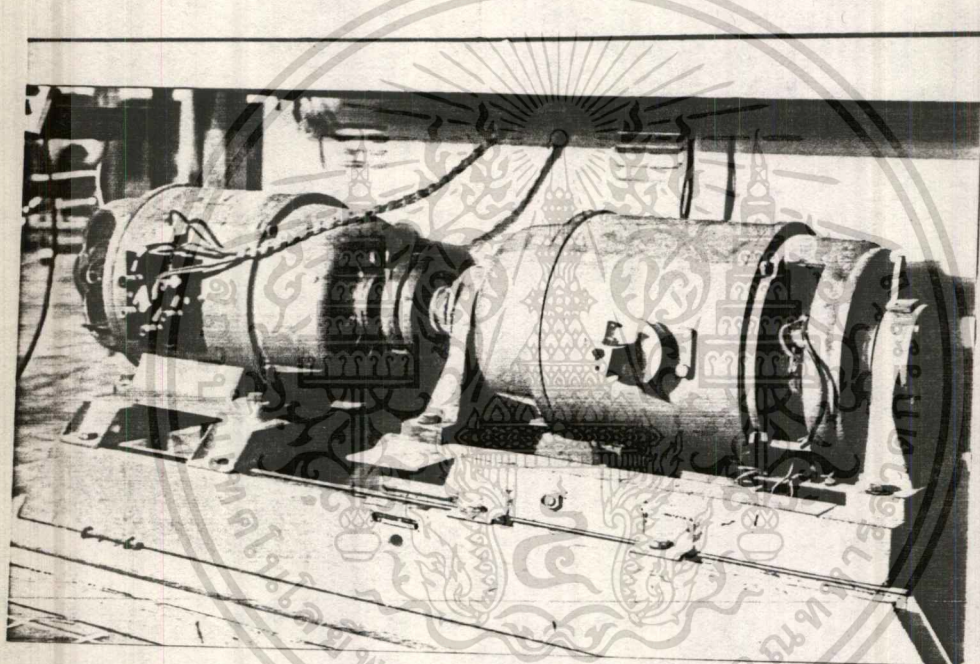


4) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

แหล่งจ่ายไฟที่ทำขึ้นมี 4 ค่า คือ +5, +15 และ +24 โวลต์ โดย +5 จะใช้ป้อนแก่วงจรอินเตอร์เฟสกับ μP +15 และ -15 จะป้อนให้แก่วงจรควบคุมต่าง ๆ เช่น วงจรจุดชนวน, วงจรตรวจจับสัญญาณ เป็นต้น ส่วน +24 ป้อนให้แก่วงจรรีเลย์ สำหรับควบคุมอุปกรณ์แสดงสภาพการทำงาน โดยมีรายละเอียดวงจรดังนี้

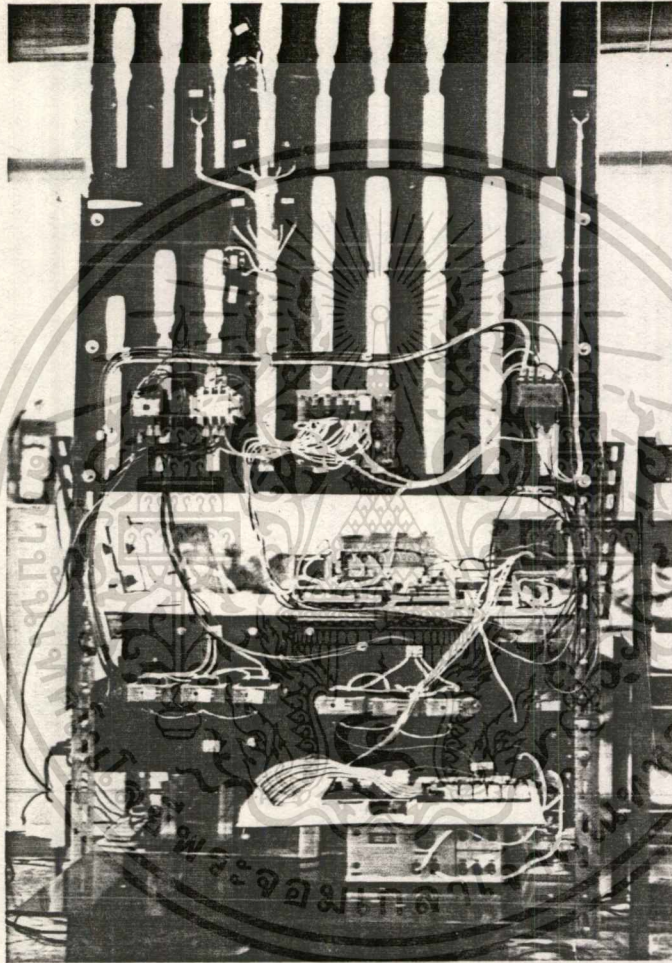
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

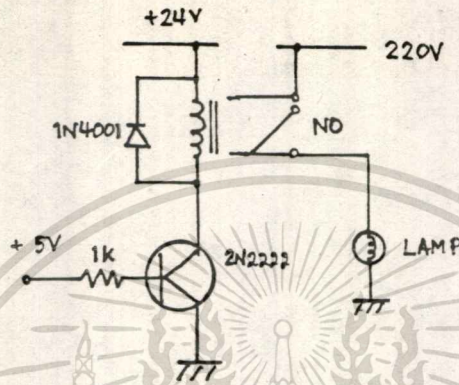
6) อุปกรณ์การตัดต่อและอุปกรณ์แสดงการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตัดต่อและอุปกรณ์แสดงสถานะการทำงาน

การควบคุมการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ไมโครโปรเซสเซอร์จะแสดงสถานะการทำงานโดยผ่านวงจรีเลย์ ดังรูป



หลักการทำงานของวงจรีเลย์คือ ขณะที่ยังไม่มีคำสั่งจากไมโครโปรเซสเซอร์ (คือไม่มีกระแสเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์) วงจรีเลย์ก็จะไม่ทำงาน (รีเลย์อยู่ในตำแหน่ง ปกติเปิด) เมื่อมีคำสั่งจากไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะทำให้วงจรีเลย์ทำงาน ไฟแสดงผลก็จะสว่าง

นอกจากนี้วงจรีเลย์ยังใช้ควบคุมการตัดต่อของ Magnetic Switch ด้วย โดยต่อสวิชชั้ในตำแหน่งเดียวกับไฟแสดงผล (ใช้วงจรเดียวกัน)

ไฟแสดงสถานะการทำงานนั้น จะติดตั้งอยู่บนแผงแสดงสถานะการทำงานโดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. ขณะที่ยังไม่เริ่มทำงาน ไฟ Unit Stop จะสว่าง แสดงว่าระบบยังไม่ทำงาน
2. เมื่อเริ่มทำงาน SW-1 จะ close ไฟ Unit Stop ดับ และไฟ Unit Start จะสว่างขึ้นมาแทน แสดงว่าขณะนี้ระบบเริ่มทำงานแล้ว
3. เมื่อระบบทำงานแล้ว ไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการเปรียบเทียบระดับแรงดันและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบ ระหว่างนี้ ไฟ Unit Start จะดับ ไฟ Balance Volt & Frequency จะสว่าง แสดงว่าขณะนี้กำลังทำการเปรียบเทียบแรงดันและความถี่
4. เมื่อแรงดันและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับระบบแล้ว ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการตรวจสอบ phase sequence โดยเริ่มที่ระบบก่อน และจะแสดงผลที่ไฟ Phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sequence of Power Line ซึ่งประกอบด้วยไฟ 2 ดวง คือทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกา จากนั้นจึงทำการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วแสดงผลที่ไฟ Phase Sequence of Gen. Line ซึ่งมี 2 ดวงเช่นกัน

5. เมื่อทำการตรวจสอบ phase sequence แล้ว ก็จะมีการตัดต่อระบบด้วย Magnetic Switch มี 2 ตัว คือ SW-2 และ SW-3 โดยจะทำงาน ดังนี้

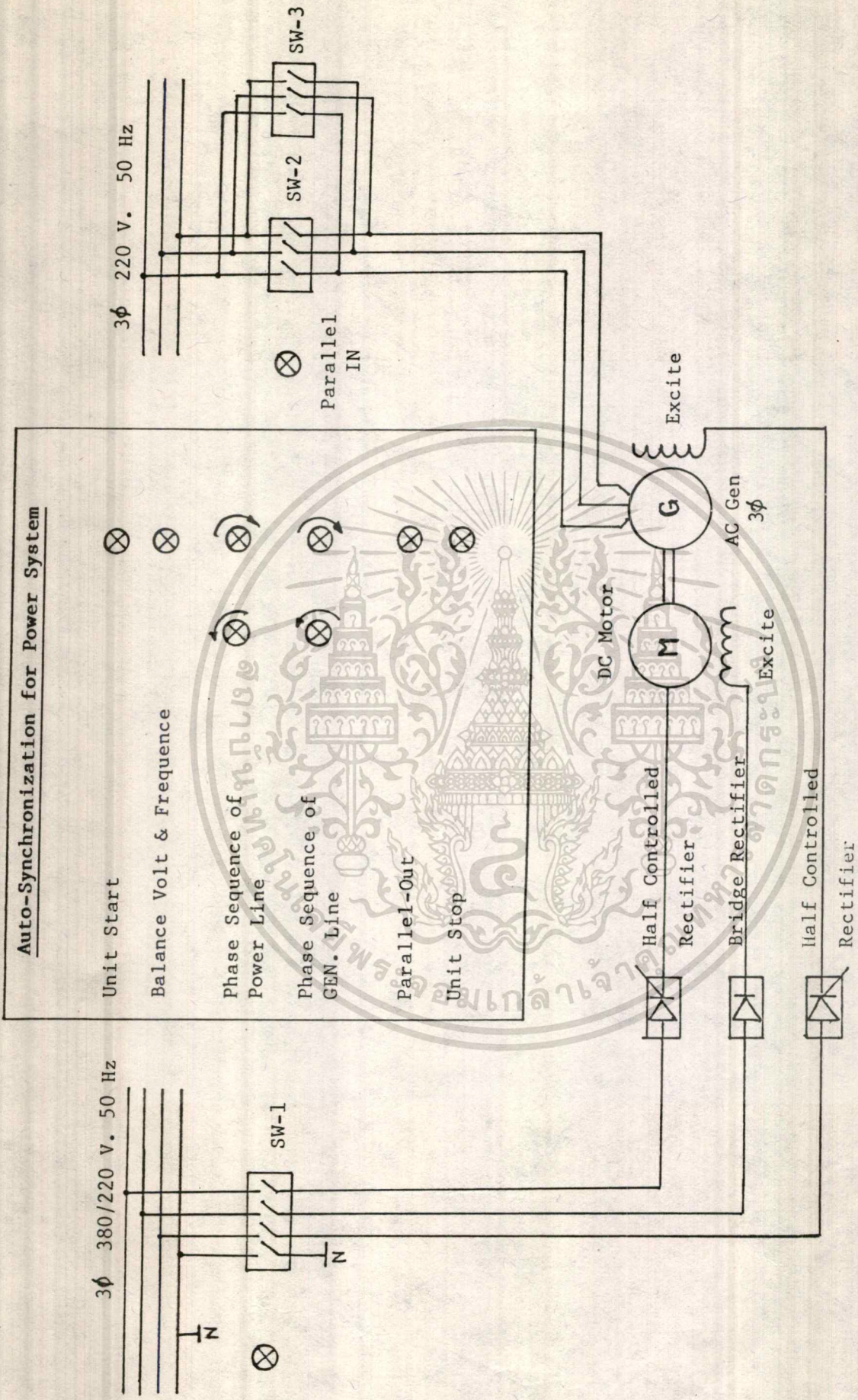
- ถ้า phase sequence ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบเหมือนกัน คือทวนเข็มหรือตามเข็มนาฬิกาทั้งคู่ ก็จะ close SW-2

- ถ้า phase sequence ต่างกัน ก็จะ close SW-3

เมื่อ close SW แล้ว (SW-2 หรือ SW-3) ไฟ Parallel In จะสว่าง แสดงว่าขณะนี้ได้ทำการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว

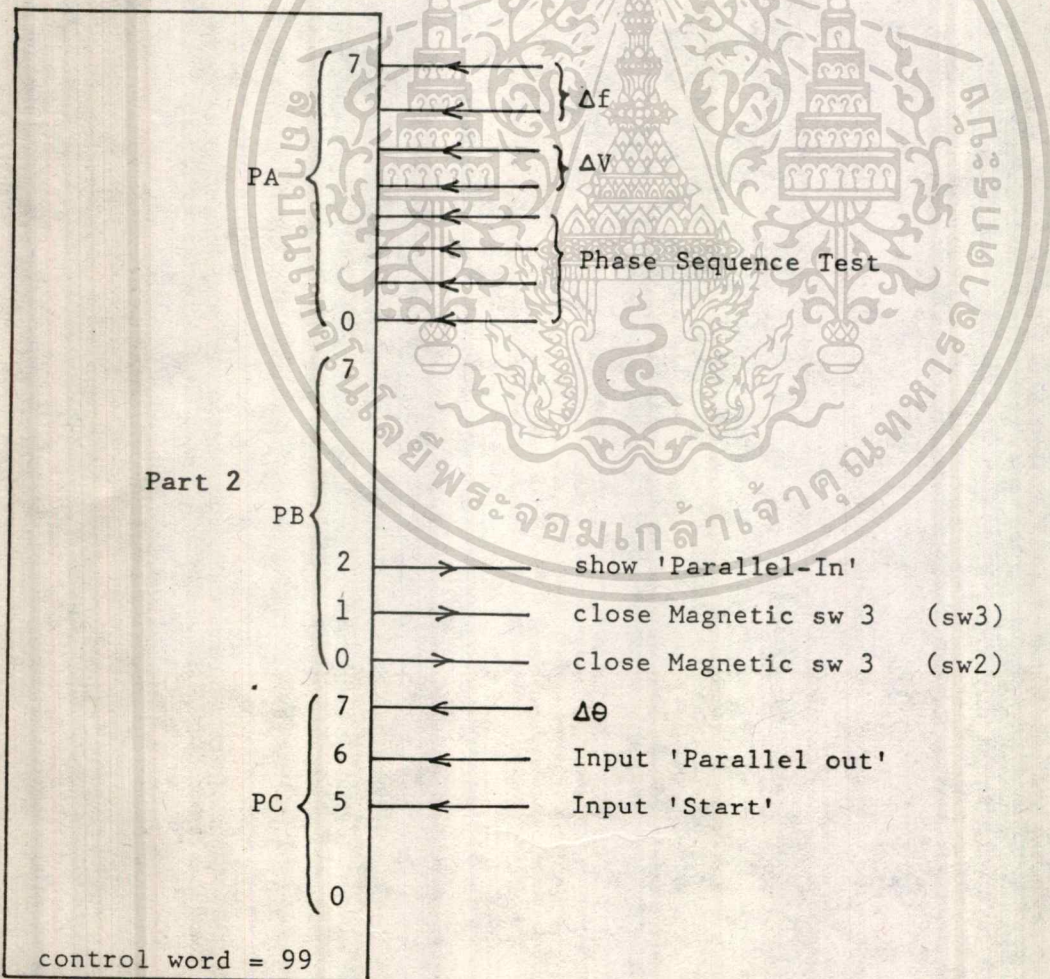
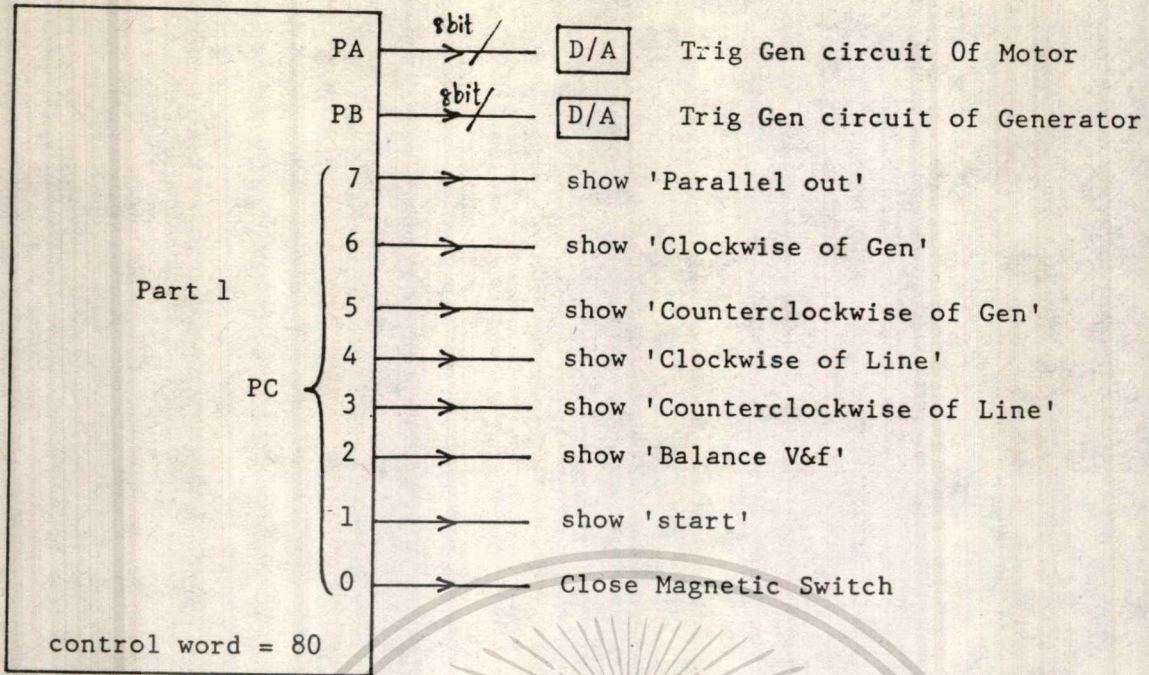
6. เมื่อต้องการหยุดการทำงาน ก็ส่งคำสั่งผ่านไมโครโปรเซสเซอร์ ไฟ Parallel Out จะสว่าง แสดงว่า ขณะนี้ระบบเริ่มหยุดการทำงานแล้ว โดยทำการลดแรงดันและความถี่ลง เมื่อหยุดนิ่ง ไฟ Unit Stop ก็จะสว่างขึ้นมาแทน

Auto-Synchronization for Power System



รูปแสดงวงจรการทำงานและแผงแสดงสภาวะการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แสดงพอร์ตควบคุมอุปกรณ์ภายนอกและรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

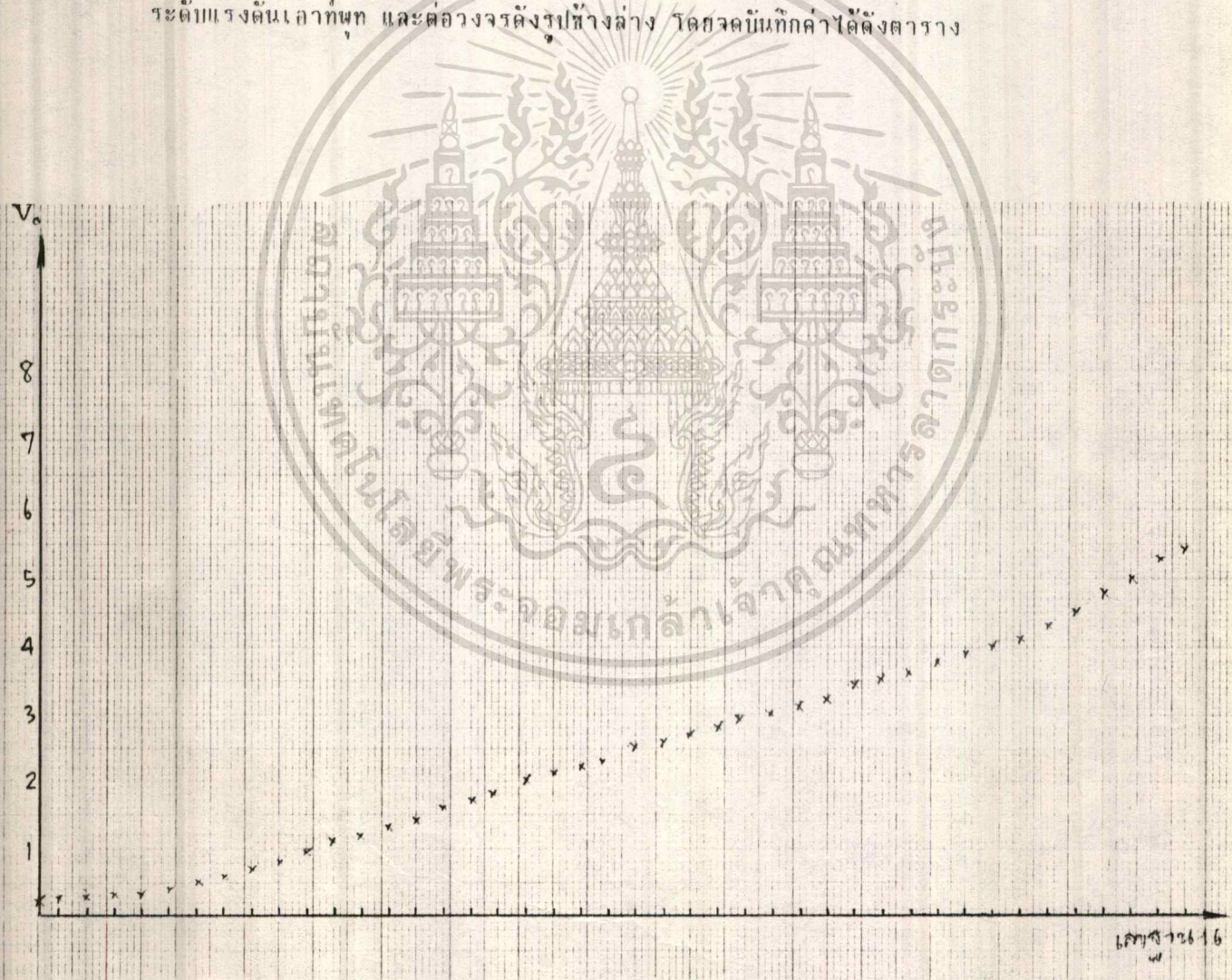
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง

ตอนที่ 1

ขั้นแรก ทำการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของไอซี DAC 0808 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (D/A converter)

การทดลองทำโดยการโอนสัญญาณ 8 บิต เข้าที่ขาอินพุต ของ DAC 0808 แล้ววัดระดับแรงดันเอาต์พุต และต่อวงจรดังรูปข้างล่าง โดยจุดบันทึกค่าได้ดังตาราง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| เลขฐาน 16 | V_u (V.) | เลขฐาน 16 | V_u (V.) | เลขฐาน 16 | V_u (V.) |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 00 | 0.2 | 5B | 2.6 | B3 | 5.9 |
| 03 | 0.25 | 5F | 2.7 | B7 | 6.1 |
| 07 | 0.25 | 60 | 2.8 | DB | 6.2 |
| 0B | 0.3 | 63 | 2.9 | BF | 6.4 |
| 0F | 0.3 | 67 | 3.0 | C0 | 6.4 |
| 13 | 0.4 | 6B | 3.1 | C3 | 6.6 |
| 17 | 0.5 | 6F | 3.2 | C7 | 6.7 |
| 1B | 0.6 | 73 | 3.4 | CB | 6.8 |
| 1F | 0.7 | 77 | 3.5 | CF | 7.0 |
| 23 | 0.8 | 7B | 3.6 | D3 | 7.1 |
| 27 | 0.95 | 7F | 3.8 | D7 | 7.3 |
| 2B | 1.1 | 83 | 3.9 | DB | 7.4 |
| 2F | 1.2 | 87 | 4.0 | DF | 7.5 |
| 33 | 1.3 | 8B | 4.1 | E3 | 7.7 |
| 37 | 1.4 | 8F | 4.3 | E7 | 7.8 |
| 3B | 1.6 | 93 | 4.5 | EB | 7.9 |
| 3F | 1.7 | 97 | 4.8 | EF | 8.0 |
| 43 | 1.8 | 9B | 5.0 | F3 | 8.2 |
| 47 | 2.0 | 9F | 5.3 | F7 | 8.3 |
| 4B | 2.1 | A3 | 5.4 | FB | 8.4 |
| 4F | 2.2 | A7 | 5.5 | FF | 8.6 |
| 53 | 2.3 | AB | 5.7 | | |
| 57 | 2.5 | AF | 5.8 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาข้อมูล 8 บิต ที่ถูกส่งจากไมโครโปรเซสเซอร์มายังวงจรถูกซ่อน ซึ่งจะทำให้มอเตอร์ มีความเร็วรอบได้ถึง 120 % ของ rated ขณะ no-load และเพื่อหาข้อมูลเช่นเดียวกัน ที่จะทำให้แรงดันกระแสสลับ 3φ มีค่าประมาณ 90 % ของ rated โดยจะนำค่าที่ได้ไปกำหนดลงในโปรแกรม โดยในการหาข้อมูลทั้ง 2 จะต้องใช้โปรแกรม ในการทดลองด้วยซึ่งโปรแกรมที่ใช้มีดังนี้ คือ

```

2000 3E 80          BEGIN : LD A,80
2002 D3 23          OUT(23),A
2004 3E 99          LD A,99
2006 D3 43          OUT (43),A
2008 3E 03          LD A,03
200A D7             RST 10H
200B 21 00 30       LD HL,3000
200E 11 E7 3F       LD DE,3FE7
2011 01 04 00       LD BC,04
2014 ED B0          LDIR
2016 3E 04          STOP : LD A,04          ; Display "STOP"
2018 06 40          LD B,40
201A D7             RST 10H
201B DB 42          IN A,(42)
201D CB 5F          BIT 3,A
201F 28 F5          JR Z,STOP
2021 3E FF          LD A,FE
2023 D3 20          OUT (20),A
2025 D3 21          OUT (21),A
2027 F5             PUSH AF

```

| | | | |
|------|----------|-----------|--------------|
| 202A | D3 22 | | OUT (22),A |
| 202C | 3E 0F | | LD A,0F |
| 202E | 06 FF | | LD B,FE |
| 2030 | D7 | | RST 10H |
| 2031 | 21 0A 30 | | LD HL,300A |
| 2034 | 11 E7 3F | | LD DE,3FE7 |
| 2037 | 01 05 00 | | LD BC,05H |
| 203A | ED B0 | | LDIR |
| 203C | 3E 02 | SCAN-K0 : | LD A,02 |
| 203E | D7 | | RST 10H |
| 203F | FE 00 | | CP 0 |
| 2041 | 28 0E | | JR Z,DEC-S0 |
| 2043 | FE 01 | | CP 1 |
| 2045 | 28 23 | | JR Z,INC-S0 |
| 2047 | FE 04 | | CP 4 |
| 2049 | 28 38 | | JR Z,SHOWAO |
| 204B | FE 03 | | CP 3 |
| 204D | 28 3E | | JR Z,PICKX |
| 204F | 18 EB | | JR SCAN-K0 |
| 2051 | F1 | DEC-S0 : | POP AF |
| 2052 | FE FF | | CP FF |
| 2054 | 20 03 | | JR NZ,DEC-S1 |
| 2056 | F5 | | PUSH AF |
| 2057 | 18 E3 | | JR SCAN-K0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|------|----------|-----------|--------------|
| 2059 | 3C | DEC-S1 : | INC A |
| 205A | D3 20 | | OUT (20),A |
| 205C | F5 | | PUSH AF |
| 205D | 21 0F 30 | | LD HL,300F |
| 2060 | 11 E7 3F | | LD DE,3FE7 |
| 2063 | 01 06 00 | | LD BC,06 |
| 2066 | ED B0 | | LDIR |
| 2068 | 18 D2 | | JR SCAN-KO |
| 206A | F1 | INC-S0 : | POP AF |
| 206B | FE 00 | | CP 00 |
| 206D | 20 03 | | JR NZ,INC-S1 |
| 206F | F5 | | PUSH AF |
| 2070 | 18 CA | | JR SCAN-KO |
| 2072 | 3D | INC-S1 : | DEC A |
| 2073 | D3 20 | | OUT (20),A |
| 2075 | F5 | | PUSH AF |
| 2076 | 21 15 30 | | LD HL,3015 |
| 2079 | 11 E7 3F | | LD DE,3FE7 |
| 207C | 01 06 00 | | LD BC,06 |
| 207F | ED B0 | | LDIR |
| 2081 | 18 B9 | | JR SCAN-KO |
| 2083 | F1 | SHOW-A0 : | POP AF |
| 2084 | 32 EF 3F | | LD (3FEF),A |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ F5 วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|------|-------|-----------|--------------|
| 2088 | 3E 07 | | LD A,07 |
| 208A | D7 | | RST 10 |
| 208B | 18 AF | | JR SCAN-K0 |
| 208D | F1 | PICKX : | POP AF |
| 208E | 57 | | LD D,A |
| 208F | 1E FE | | LD E,FE |
| 2091 | D5 | | PUSH DE |
| 2092 | 18 31 | | JR INC-V0 |
| 2094 | 3E 02 | SCAN-K1 : | LD A,02 |
| 2096 | D7 | | RST 10 |
| 2097 | FE 00 | | CP 0 |
| 2099 | 28 0E | | JR ZDEC-V0 |
| 209B | FE 01 | | CP 1 |
| 209D | 28 26 | | JR Z,INC-V0 |
| 209F | FE 04 | | CP 4 |
| 20A1 | 28 3E | | JR Z,SHOW-A1 |
| 20A3 | FE 05 | | CP 5 |
| 20A5 | 28 45 | | JR Z,BALANCE |
| 20A7 | 18 EB | | JR SCAN-K1 |
| 20A9 | D1 | DEC-V0 : | POP DE |
| 20AA | 7B | | LD A,E |
| 20AB | FE FF | | CP FF |
| 20AD | 20 03 | | JR NZ,DEC-V1 |
| 20AF | D5 | | PUSH DE |
| 20B0 | 18 E2 | | JR SCAN-K1 |

| | | | |
|------|----------|----------|--------------|
| 20B2 | 1C | DEC-V1 : | INC E |
| 20B3 | 0E 21 | | LD C,21 |
| 20B5 | ED 59 | | OUT (C),E |
| 20B7 | D5 | | PUSH DE |
| 20B8 | 21 1B 30 | | LD HL,301B |
| 20BB | 11 E7 3F | | LD DE,3FE7 |
| 20BE | 01 06 00 | | LD BC,06 |
| 20C1 | ED B0 | | LDIR |
| 20C3 | 18 CF | | JR SCAN-K1 |
| 20C5 | D1 | INC-V0 : | POP DE |
| 20C6 | 7B | | LD A,E |
| 20C7 | FE 00 | | CP 00 |
| 20C9 | 20 03 | | JR NZ,INC-V1 |
| 20CB | D5 | | PUSH DE |
| 20CC | 18 C6 | | JR SCAN-K1 |
| 20CE | 1D | INC-V1 : | DEC E |
| 20CF | 0E 21 | | LD C,21 |
| 20D1 | ED 59 | | OUT (C),E |
| 20D3 | D5 | | PUSH DE |
| 20D4 | 21 21 30 | | LD HL,3021 |
| 20D7 | 11 E7 3F | | LD DE,3FE7 |
| 20DA | 01 06 00 | | LD BC,06 |
| 20DD | ED B0 | | LDIR |
| 20DF | 18 B3 | | JR SCAN-K1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|------|----------|-------------------|
| 20E1 | D1 | SHOW-A1 : POP DE |
| 20E2 | 7B | LD A,E |
| 20E3 | 32 EF 3F | LD (3FEF),A |
| 20E6 | D5 | PUSH DE |
| 20E7 | 3E 07 | LD A,07 |
| 20E9 | D7 | RST 10H |
| 20EA | 18 A8 | JR SCAN-K1 |
| 20EC | 3E 02 | BALANCE : LD A,02 |
| 20EE | D7 | RST 10H |
| 20EF | FE 00 | CP 00 |
| 20F1 | 28 0E | JR Z,DEC-S2 |
| 20F3 | FE 01 | CP 01 |
| 20F5 | 28 26 | JR Z,INC-S2 |
| 20F7 | FE 02 | CP 02 |
| 20F9 | 28 3E | JR Z,DEC-V2 |
| 20FB | FE 03 | CP 03 |
| 20FD | 28 56 | JR Z,INC-V2 |
| 20FF | 18 EB | JR BALANCE |
| 2101 | D1 | DEC-S2 : POP DE |
| 2102 | 7A | LD A,D |
| 2103 | FE FF | CP FF |
| 2105 | 20 03 | JR NZ,DEC-S3 |
| 2107 | D5 | PUSH DE |
| 2108 | 18 E2 | JR BALANCE |

| | | | |
|------|----------|----------|--------------|
| 210A | 14 | DEC-S3 : | INC D |
| 210B | 0E 20 | | LD C,20 |
| 210D | ED 51 | | OUT (C),D |
| 210F | D5 | | PUSH DE |
| 2110 | 21 0F 30 | | LD HL,300F |
| 2113 | 11 E7 3F | | LD DE,3FE7 |
| 2116 | 01 06 00 | | LD BC,06 |
| 2119 | ED B0 | | LDIR |
| 211B | 18 CF | | JR BALANCE |
| 211D | D1 | INC-S2 : | POP DE |
| 211E | 7A | | LD A,D |
| 211F | FE 00 | | CP 00 |
| 2121 | 20 03 | | JR NZ,INC-S3 |
| 2123 | D5 | | PUSH DE |
| 2124 | 18 C6 | | JR BALANCE |
| 2126 | 15 | INC-S3 : | DEC D |
| 2127 | 0E 20 | | LD C,20 |
| 2129 | ED 51 | | OUT (C),D |
| 212B | D5 | | PUSH DE |
| 212C | 21 15 30 | | LD HL,3015 |
| 212F | 11 E7 3F | | LD DE,3FE7 |
| 2132 | 01 06 00 | | LD BC,06 |
| 2135 | ED B0 | | LDIR |
| 2137 | 18 B3 | | JR BALANCE |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|------|----------|----------|--------------|
| 2139 | D1 | DEC-V2 : | POP DE |
| 213A | 7B | | LD A,E |
| 213B | FE FF | | .CP FF |
| 213D | 20 03 | | JR NZ,DEC-V3 |
| 213F | D5 | | PUSH DE |
| 2140 | 18 AA | | JR BALANCE |
| | | | |
| 2142 | 1C | DEC-V3 : | INC E |
| 2143 | 0E 21 | | LD C,21 |
| 2145 | ED 59 | | OUT (C),E |
| 2147 | D5 | | PUSH DE |
| 2148 | 21 1B 30 | | LD HL,301B |
| 214B | 11 E7 3F | | LD DE,3FE7 |
| 214E | 01 06 00 | | LD BC,6 |
| 2151 | ED B0 | | LDIR |
| 2153 | 18 97 | | JR BALANCE |
| | | | |
| 2155 | D1 | INC-V2 : | POP DE |
| 2156 | 7B | | LD A,E |
| 2157 | FE 00 | | CP 00 |
| 2159 | 20 03 | | JR NZ,INC-V3 |
| 215B | D5 | | PUSH DE |
| 215C | 18 8E | | JR BALANCE |
| | | | |
| 215E | 1D | INC-V3 : | DEC E |
| 215F | 0E 21 | | LD C,21 |

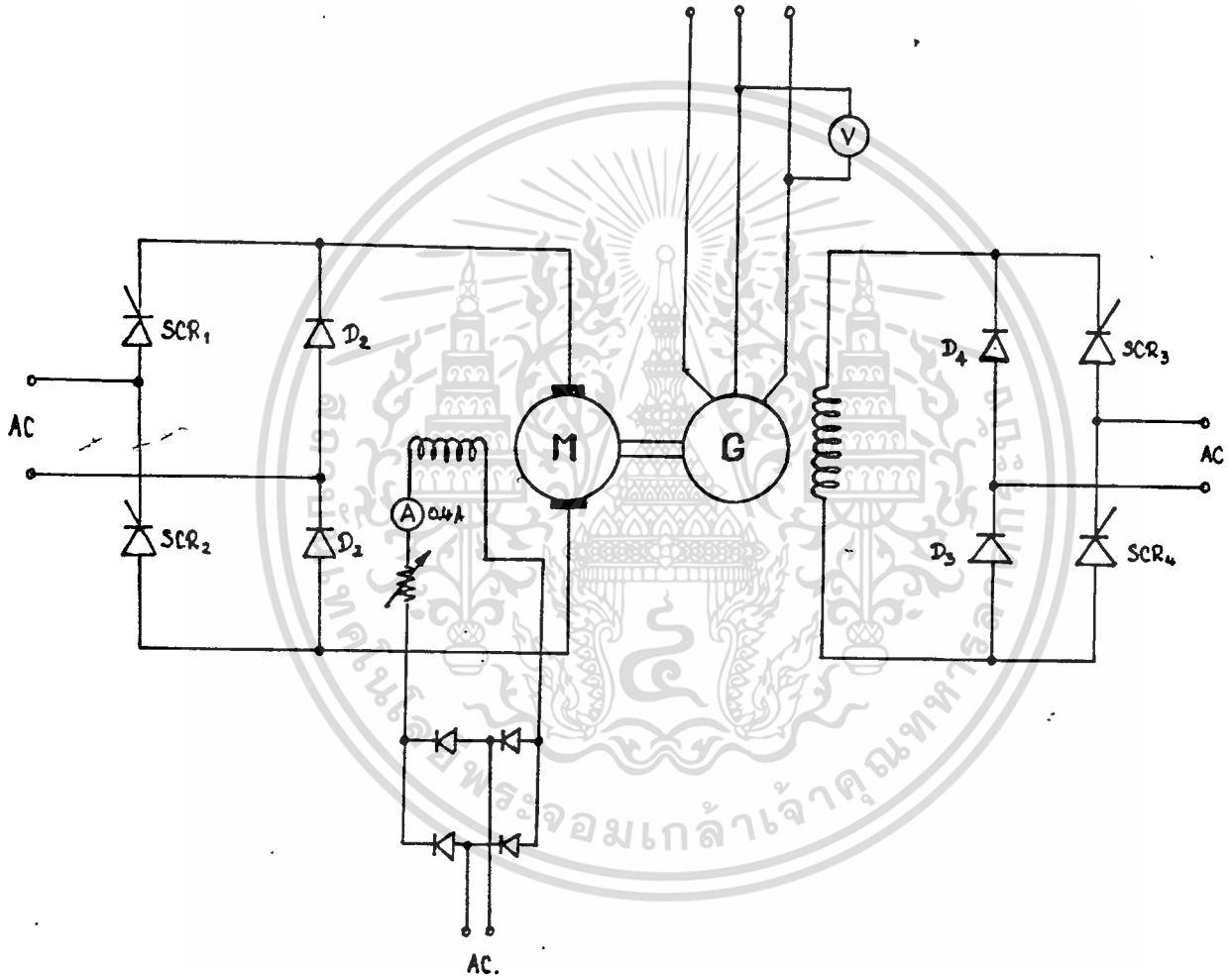
เอกสารนี้เป็น 2161 การที่ ED 59 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า (C), E อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|------|----------|------------|
| 2163 | D5 | PUSH DE |
| 2164 | 21 21 30 | LD HL,3021 |
| 2167 | 11 E7 3F | LD DE,3FE7 |
| 216A | 01 06 00 | LD BC,06 |
| 216D | ED B0 | LDIR |
| 216F | C3 EC 20 | JR BALANCE |

| | | |
|------|-------------------|-----------------------|
| 3000 | 6D 78 3F 73 | DFB 6D,78,3F,73 |
| 3004 | 71 30 54 30 6D 76 | DFB 71,30,54,30,6D,76 |
| 300A | 6D 78 77 50 78 | DFB 6D,78,77,50,78 |
| 300F | 5E 79 B9 40 40 6D | DFB 5E,79,B9,40,40,6D |
| 3015 | 06 54 B9 40 40 6D | DFB 06,54,B9,40,40,6D |
| 301B | 5E 79 B9 40 40 3E | DFB 5E,79,B9,40,40,3E |
| 3021 | 06 54 B9 40 40 3E | DFB 06,54,B9,40,40,3E |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโปรแกรมที่กล่าวมานอกจากเป็นการหาค่า ข้อมูลดังกล่าวแล้ว ยังเพิ่มเติม การควบคุม การเพิ่มหรือลด ความเร็วรอบและแรงดันอีกด้วย เพื่อเป็นการทดลองในการควบคุม เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้สามารถสร้างแรงดันได้ 220 โวลต์ 50 Hz โดยต่อวงจรดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปทำการปรับสวิตช์ตำแหน่งที่โดยให้กระแสไหลผ่าน 0.2 A. และทำการปรับมุม
ทริกที่ ส่วนของมอเตอร์ก่อน โดยความเคี้ยวการทดที่ คีร์บอร์ดของ ET. Board ดังภาพ

| | | | | | |
|---|---|---|---|------|------|
| C | D | E | F | PC | MON |
| 8 | 9 | 0 | A | DATA | STEP |
| 4 | 5 | 6 | 7 | RUN | INC |
| 0 | 1 | 2 | 3 | FUNC | DEC |

ปุ่ม 0 : ลดความเร็วมอเตอร์

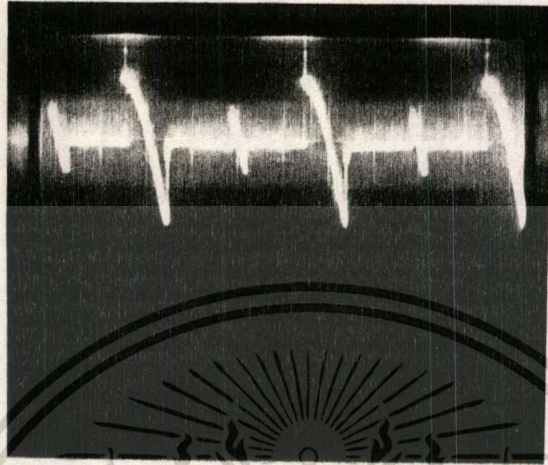
ปุ่ม 1 : เพิ่มความเร็วมอเตอร์

ปุ่ม 3 : เปลี่ยนไปเพิ่มแรงดันของ Generator

ปุ่ม 4 : แสดงค่าเลขฐาน 16 ที่ต้องการทราบ

กดปุ่ม 1 จนได้ความเร็ว ประมาณ 120 % ของ rated speed จึงกดปุ่ม 3 เพื่อเข้าไป
เพิ่มแรงดันให้ Generator จนได้ประมาณ 90 % ของ rated voltage ทำการจดบันทึกค่าที่
ได้ลงตารางดังนี้

| ครั้งที่ | MOTOR | | | | GENERATOR | | |
|----------|-----------|-------|-------|------|-----------|----------|-------|
| | เลขฐาน 16 | V_s | I_a | N | เลขฐาน 16 | V_{EX} | V_o |
| 1 | 7D | 172 | 0.1 | 1802 | AA | 80 | 200 |
| 2 | 7E | 180 | 0.1 | 1800 | B0 | 75 | 197 |
| 3 | 7C | 180 | 0.1 | 1805 | AC | 78 | 199 |
| 4 | 7F | 175 | 0.1 | 1795 | AE | 76 | 198 |



เมื่อทำการเพิ่มแรงดันจนได้ 90 % ของพิกัดแล้ว สามารถเพิ่มทั้งแรงดันและความเร็วรอบจนได้ 200 V 50 Hz ได้โดยกดปุ่มดังนี้

- ปุ่ม 5 : การย้ายการทำงานไปปรับแรงดันและความเร็วรอบ
- ปุ่ม 3 : เพิ่มแรงดันของ Generator
- ปุ่ม 2 : ลดแรงดันของ Generator
- ปุ่ม 1 : เพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์
- ปุ่ม 0 : ลดความเร็วรอบของมอเตอร์

จากการทดลองสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ ประมาณ 1500 rpm และแรงดัน 220 V ซึ่งเดินเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที ปรากฏว่า พัลส์ทรานส์เฟอร์เมอร์ระเบิด และส่วนสวิทช์คือ Mos-Fet. (ในช่วงแรงให้ Mos-Fet เบอร์ IRF 730 แต่ระยะหลังจึงเปลี่ยนมาใช้ทรานซิสเตอร์) ที่ชำรุดเสียหาย

สาเหตุที่ระเบิดที่คิดไว้ คือ ควรเกิดจากพัลส์ทรานส์เฟอร์เมอร์ จากไฟลัดเกินกำลังที่เส้นลวดจะทนได้ และถึงไปดึงกระแสทางด้าน ทดลวด Primary ด้วยทำให้ ตัวสวิทช์จ่ายกระแสเกินกำลังด้วย

จึงชำรุดเสียหายตามไปด้วยใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันฯ หากมีการนำเอกสารไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากสถาบันฯ ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

การทดลองในครั้งที่ 2 เป็นการชานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบอัตโนมัติ โดยนำข้อมูลเลขฐาน 16 จากการทดลองตอนที่ 1 ที่ที่ 2 มากำหนดลงในโปรแกรมหลักที่ใช้งานจริง

วิธีการทดลองทำได้โดย ทำการสั่งให้โปรแกรมทำงานและรอคำสั่ง "START" เมื่อคลิกปุ่ม "START" เครื่องจะเดิน จะสามารถชานเข้าสู่ระบบได้ หลังจากชานได้แล้ว ถ้าต้องการแยก Generator ออกจากระบบ ก็ทำการคลิกปุ่ม "STOP" โปรแกรมก็จะทำการหยุดเครื่องจนทุกเครื่อง และเข้าสู่ช่วงเริ่มต้นใหม่ รอคำสั่ง "START" อีกครั้งเมื่อต้องการ

ผลการทดลอง

หลังจากที่ส่งวงจรไอโซเลท (Isolate) หรือวงจรฟิลส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์ที่ชำรุดได้ทำการประกอบใหม่ ปรากฏว่า เมื่อนำมาเดินเครื่องมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหม่ ความเร็วรอบและความดันมันก็จะไม่คงที่ จึงไม่สามารถทำการชานอัตโนมัติได้ ผลการทดลองส่วนนี้จึงไม่สามารถแสดงผลการทำงานได้

บทที่ 10

สรุปผลและวิจารณ์

สรุป

สำหรับโครงการนี้เป้าหมายในการทำงาน ที่ตั้งไว้ได้แก่

- 1) สามารถสร้างวงจรควบคุมเฟสของวงจรคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวได้อย่างคงที่
- 2) สามารถสร้างวงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อนำมาประมวลผล
- 3) สามารถหาวิธีการในการเปรียบเทียบแรงดันและความถี่ให้มีผลต่าง ระหว่างระบบ (Power System) กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Unit) น้อยที่สุด
- 4) สามารถหาวิธีการตรวจสอบการล้าดับเฟส ของทั้ง 2 ระบบได้
- 5) สามารถหาวิธีการตรวจสอบความต่างเฟส (Phase Shift) ได้
- 6) สามารถออกแบบโปรแกรมการทำงานให้ควบคุมการขนานเข้าสู่ระบบได้
- 7) สามารถนำส่วนประกอบทุกส่วนมาเชื่อมโยงกัน เพื่อควบคุมการขนานเข้าสู่ระบบได้

จากการทดลองและค้นคว้าหาข้อมูล ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

- 1) วงจรควบคุมเฟส (Phase Controlled Rectifier) ที่ได้ทำปรากฏว่าสามารถควบคุมเฟสได้พอสมควร แต่ยังไม่ดีที่สุดเพราะเป็นระบบที่บอบบางมาก เพราะจากการทดลอง จะสังเกตเห็นเสมอว่า ขณะที่เดินเครื่องอยู่ คือ วงจรควบคุมเฟสทำงานอยู่ เมื่อบริเวณข้างเคียง ทำการเดินเครื่องโดยใช้วงจรควบคุมเฟส ลักษณะคล้ายกันนี้ มักจะมีสัญญาณรบกวนของวงจรควบคุมเฟสที่ใช้อยู่เสมอ ทำให้ความถี่รวบตึง จึงเป็นจุดที่ต้องแก้ไข อาจจะทำแบบวงจรกรองสัญญาณ Synchron ก่อนเข้าวงจรควบคุมเฟส น่าจะสามารถลดสัญญาณรบกวนได้

ส่วนเป้าหมายข้อ 2), 3), 4) และ 5) ทุกส่วนจะเป็นการเปลี่ยนสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อส่งให้ไมโครโปรเซสเซอร์ สามารถประมวลผลได้ ยกเว้นวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้วงจรเปรียบเทียบที่เป็นฮาร์ดแวร์เสียส่วนใหญ่ แล้วจึงส่งสัญญาณความแตกต่างให้แก่ระบบประมวลผลอีกทีหนึ่ง โดยหลักการต่างๆ ได้อธิบายในบทที่ 6 แล้วจะไม่ขอกล่าวซ้ำอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

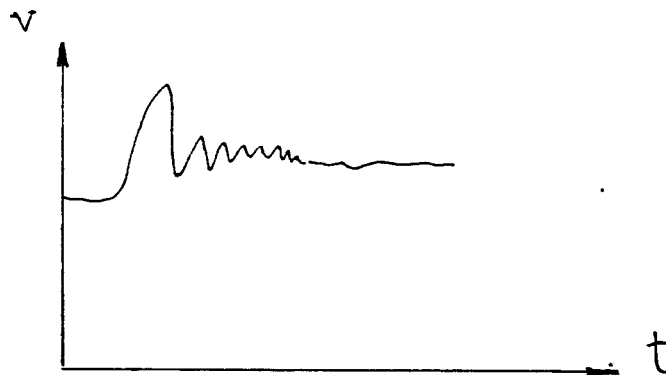
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) โปรแกรมควบคุมการขนานที่ออกแบบไว้ พยายามให้การทำงานสามารถแสดงสภาพการทำงาน ขณะที่ทำงานไปด้วย เพื่อให้ผู้ควบคุม สามารถทราบสภาวะการทำงานจากระบบว่าขณะนี้การทำงานถึงส่วนใดแล้ว รวมทั้งยังหน่วงเวลาในทุกส่วนของโปรแกรมที่ติดต่อกับข้อมูล หรือสั่งงานอุปกรณ์ที่มีความไวในการตอบสนองช้ากว่าระบบประมวลผล เพื่อกันข้อผิดพลาด

7) การนำทุกส่วนมาประกอบ ทำงานร่วมกันในการควบคุมการขนานเข้าสู่ระบบ โดยอัตโนมัติ นั้น สำหรับโครงการนี้ยังไม่ได้ทดลอง เพราะจากการทดลอง โดยการปรับความเร็วรอบและแรงดันให้เท่ากับระบบ โดยผ่านวงจรถอนเวอร์เตอร์ โดยใช้มือปรับหรือ Open loop ปรากฏว่า ความเร็วรอบและแรงดันไม่ค่อยคงที่ จึงไม่แน่ใจในการที่จะลองทดลอง การขนานโดยอัตโนมัติ จึงทำการทดลองโดยการ Open loop ต่อไป เพื่อหาวิธีการควบคุม ระบบทั้งสองให้คงที่ จนสุดท้ายยังไม่สามารถทำได้ คงที่ได้ จึงไม่สามารถทดลองโปรแกรม Close loop ได้

วิจารณ์

1) สำหรับโครงการ การขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ โดยอัตโนมัตินั้นเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ ที่ทำงานด้วยความเร็วสูงเป็นระดับ MHz นั่นคือระบบไมโครโปรเซสเซอร์ และอุปกรณ์ที่ตอบสนองต่อการทำงานที่ค่อนข้างช้า นั่นคือ เครื่องจักรกลไฟฟ้า (Electrical Machine) ทั้งหลาย ดังนั้นในการประมวลผล จากข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับสัญญาณ จากเครื่องจักรกลทั้งหลาย จึงต้องมีการหน่วงเวลาในการตอบสนอง ของเครื่องจักรกลเหล่านั้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดข้อผิดพลาด อันอาจเกิดจาก Over Shoot ของสัญญาณดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ก็ต้องคำนึงเสมอว่า ไม่ควรมีการหน่วงเวลาจนมากเกินไป เพราะอาจจะทำให้ การทำงานของระบบโดยรวม ช้าลงก็ได้

นอกจากการหน่วงเวลากับเครื่องจักรกลแล้ว ยังต้องคำนึงถึงอุปกรณ์จำพวกรีเลย์ หรือ สวิตช์ เช่น แมกเนติกสวิตช์ (Magnetic Switch) ซึ่งย่อมจะมีช่วงเวลาที่หน้าสัมผัส จะแตะกันเสมอ ซึ่งต้องคำนึงถึงไม่น้อยกว่า กรณีที่กล่าวมาข้างต้น

2) จากบทสรุปข้อ 1) เนื่องจากวงจรควบคุมเฟส บอบบางต่อสัญญาณรบกวน ดังนั้นทางที่ดีที่สุด ควรหาวงจรถ่วงกรองสัญญาณ ใดสักชิ้น เพราะถ้ายิ่งสัญญาณรบกวนมาก การควบคุมให้มุมจุดชนวนคงที่ ย่อมเป็นเรื่องยากหรือไม่สามารถทำได้เลยซึ่งย่อมจะมีผลเสียต่อการขนานเข้าสู่ระบบ เพราะเมื่อจุดชนวนไม่คงที่ ย่อมมีผลต่อความเร็วรอบ หรือแรงดันของ Generator อาจจะไม่คงที่ก็ได้ ดังนั้นเมื่อสิ่งเหล่านี้ไม่คงที่ ย่อมทำให้การขนานเข้าสู่ระบบเป็นเรื่องยาก

3) ส่วนระบบป้องกัน (System Protection) จากที่ได้ทำการทดลองค้นคว้า จะพบว่า สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกส่วนคือ ระบบป้องกัน สำหรับโครงการนี้มิได้คิดไว้ ซึ่งระบบป้องกันที่น่าคำนึงถึงมีดังนี้

- 3.1) การตรวจสอบเฟสใดเฟสหนึ่งของ Power System ที่อาจจะหายไป
- 3.2) การตรวจสอบ Fault ที่เกิดขึ้นที่ Generator Unit เองขณะเดินเครื่อง หรือขณะขนานอยู่กับระบบก็ตาม
- 3.3) การตรวจสอบว่า ขณะทำการขนานนั้น ในระบบ Power System มีความต้องการโหลดมากน้อยเพียงใด เพื่อให้ Generator สามารถเดินเครื่องให้เพียงพอกับโหลดนั้นได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ยาก

4) อุปสรรคการดำเนินงาน

- 4.1) วงจรควบคุมเฟสไม่ทำงาน ซึ่งส่วนใหญ่มักเกิดจากสาเหตุดังนี้
 - อุปกรณ์ในวงจรอาจมีตัวใดตัวหนึ่งเสีย
 - มีขดลวดลึ้มในการต่อวงจรบางจุด
 - เกิดสัญญาณรบกวนเข้ามาในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ขาดความรู้ความเข้าใจบางส่วน** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2) มาตรการป้องกันการทดลอง เช่น อุปกรณ์จำพวก SCR หรือจำพวก Power Diode , Magnetic Switch ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรอกจากอาจารย์ที่ปรึกษา

4.3) มาตรการประสานงานและการร่วมมือที่ดี ภายในกลุ่มทำให้งานดำเนินไปอย่างลื่นไหล

4.4) มาตรการร่วมมือและบริการที่ดีของเจ้าหน้าที่ STORE โดยเฉพาะ STORE 1 ทำให้บางครั้ง ไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่จะใช้ทดลอง

4.5) มาตรการร่วมมือ ในการขอใช้ห้องปฏิบัติการทดลอง (Energy Conversion) ในช่วงนอกเวลาราชการของอาจารย์หรือเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบ เพื่อให้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ สุพงษ์ โสมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา, อาจารย์ พิชิต ล้ายอง และอาจารย์ ศุภกิจ จูตะวิริยะ เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา และได้ช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนเอื้อเฟื้อหนังสือและอุปกรณ์ต่างๆ จนทำให้ปริญญานพนธ์นี้สำเร็จลงได้ รวมทั้งเพื่อนๆ และน้องๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- 1) S.B. Dewan, G.R. Slemon and A. Straughen,
Power Semiconductor Drives ,John Wiley & Sons.
- 2) A.E. Fitzgerald Charles Kingsley Jr. Stephen
Electric Machinery ,Mc.Graw-Hill.
- 3) อุดมศักดิ์ ยั่งยืน, KMIT'T, Power Electronics 1
- 4) ศุภชัย สุรินทร์วงศ์, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ,
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- 5) วิบูลย์ ตามสัญญา และ ณรงค์ นันทวรรณะ, Synchronous &
Induction Machines, วิทยาลัยเทคนิคพุมธานี.
- 6) ประทีป บัญญัติพรรัตน์, การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี Z-80 , KMIT'L.
- 7) ชวลิต คำรงค์รัตน์, การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เล่ม 1 ,บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- 8) Mike Cavenor and John Arnold, Microcomputer Interfacing:
An experimental approach using the Z-80 ,Prentice Hall.
- 9) ยืน ภู่วรรณ, ทฤษฎีและการประยุกต์ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80
บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- 10) Z-80 ET-Board Version 3.0 User's Manual and Monitor Program,
ETT Co.,LTD.
- 11) คู่มือ/เทียบเบอร์ ไอซี TTL, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- 12) คู่มือ/เทียบเบอร์ไอซี CMOS, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Raytheon

**8-Bit High Speed
Multiplying D/A Converter**

DAC-08

Features

- Fast settling output current — 85nS
- Full scale current prematched to ± 1.0 LSB
- Direct interface to TTL, CMOS, ECL, HTL, PMOS
- Nonlinearity to $\pm 0.1\%$ max. over temperature range
- High output impedance and compliance — -10V to +18V
- Differential current outputs
- Wide range multiplying capability — 1.0MHz bandwidth
- Low FS current drift — ± 10 ppm/ $^{\circ}$ C
- Wide power supply range — ± 4.5 V to ± 18 V
- Low power consumption — 33mW @ ± 5.0 V
- Low cost

Description

The DAC-08 series of 8-bit monolithic multiplying Digital-to-Analog Converters provide very high speed performance coupled with low cost and outstanding applications flexibility.

Advanced circuit design achieves 85nS settling times with very low "glitch" and at low power consumption. Monotonic multiplying performance is attained over a wide 40 to 1 reference current range. Matching to within 1 LSB between reference and full scale currents eliminates the need for full scale trimming in most applications.

Direct interface to all popular logic families with full noise immunity is provided by the high swing, adjustable threshold logic inputs.

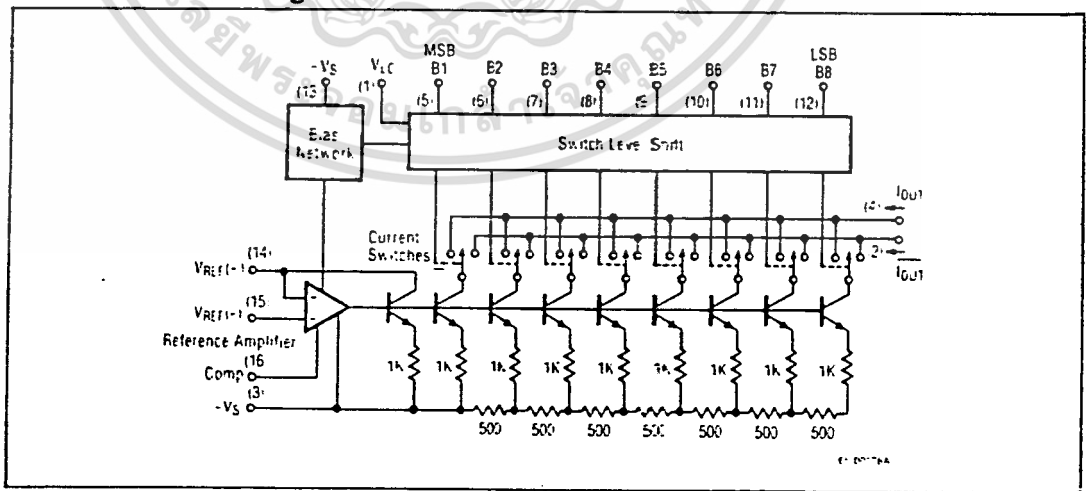
High voltage compliance dual complementary current outputs are provided, increasing versatility and enabling differential operation to effectively double the peak-to-peak output swing. In many applications, the outputs can be directly converted to voltage without the need for an external op amp.

All DAC-08 series models guarantee full 8-bit monotonicity, and nonlinearities as tight as $\pm 0.1\%$ over the entire operating temperature range are available. Device performance is essentially unchanged over the ± 4.5 V to ± 18 V power supply range, with 33mW power consumption attainable at ± 5.0 V supplies.

The compact size and low power consumption make the DAC-08 attractive for portable and military/aerospace applications; devices processed to MIL-STD-883A, Level C are available.

DAC-08 applications include 8-bit, 1.0 μ S A/D converters, servo-motor and pen drivers, waveform generators, audio encoders and attenuators, analog meter drivers, programmable power supplies, CRT display drivers, high speed modems and other applications where low cost, high speed and complete input/output versatility are required.

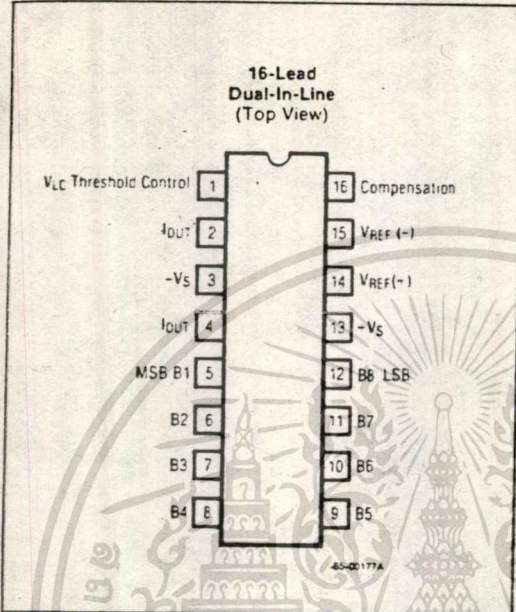
Functional Block Diagram



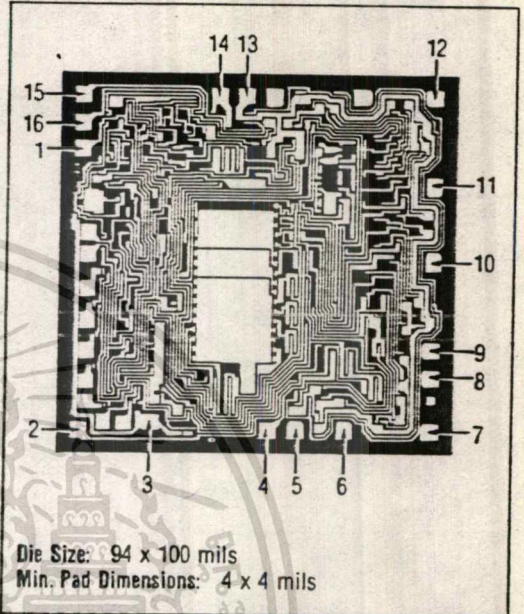
DAC-08

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

Connection Information



Mask Pattern



Thermal Characteristics

| | 16-Lead Ceramic DIP |
|---|------------------------|
| Max. Junction Temp. | 175°C |
| Max. P _D T _A < 50°C | 1042mW |
| Therm. Res. θ _{JC} | 60°C/W |
| Therm. Res. θ _{JA} | 120°C/W |
| For T _A > 50°C Derate at | 8.38mW per °C |

Absolute Maximum Ratings

(T_A = +25°C unless otherwise noted)

- Supply Voltage (between +V_S and -V_S) .. 36V
- Logic Inputs -V_S to -V_S plus 36V
- V_{LC} -V_S to +V_S
- Analog Current Outputs 4mA
- Reference Inputs (V₁₄ to V₁₅) -V_S to +V_S
- Reference Input Differential Voltage (V₁₄ to V₁₅) ±18V
- Reference Input Current (I₁₄) 5.0mA
- Operating Temperature Range
 - DAC-08ADM, DM -55°C to +125°C
 - DAC-08HDC, EDC, CDC 0°C to +70°C
- Storage Temperature Range -65°C to +150°C
- Lead Soldering Temperature (60 Sec) +300°C

Ordering Information

| Part Number | Package | Operating Temperature Range | Nonlinearity |
|-----------------|---------|-----------------------------|--------------|
| DAC-08HDC | Ceramic | 0°C to +70°C | ±0.1% |
| DAC-08EDC | Ceramic | 0°C to +70°C | ±0.19% |
| DAC-08CDC | Ceramic | 0°C to +70°C | ±0.39% |
| DAC-08ADM | Ceramic | -55°C to +125°C | ±0.1% |
| DAC-08DM | Ceramic | -55°C to +125°C | ±0.19% |
| DAC-08DM/883B* | Ceramic | -55°C to +125°C | ±0.19% |
| DAC-08ADM/883B* | Ceramic | -55°C to +125°C | ±0.1% |

*MIL-STD-883, Level B Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

DAC-08

Electrical Characteristics ($V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2.0mA$, $T_A = -55^\circ C$ to $+125^\circ C$ for DAC-08 and DAC-08A; $T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$ for DAC-08C, DAC-08E and DAC-08H unless other specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and I_{OUT} .)

| Parameters | Test Conditions | DAC-08A/-08H | | | DAC-08 | | | Units |
|----------------------------------|--|--------------|-----------|-----------|--------|-----------|------------|-----------------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Resolution | | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | Bits |
| Monotonicity | | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | Bits |
| Nonlinearity | Full Temperature Range | | | ± 0.1 | | | ± 0.19 | %FS |
| Settling Time | To $+\frac{1}{2}LSB$, All Bits Switched ON or OFF $T_A = +25^\circ C$ (See Note) | | 85 | 135 | | 85 | 150 | nS |
| Propagation Delay Each Bit | $T_A = +25^\circ C$ (See Note) | | 35 | 60 | | 35 | 60 | nS |
| All Bits Switched | | | 35 | 60 | | 35 | 60 | nS |
| Full Scale Tempco | | | ± 10 | ± 50 | | ± 10 | ± 80 | ppm/ $^\circ C$ |
| Output Voltage Compliance | Full Scale Current Change $< \frac{1}{2}LSB$ $R_{OUT} > 20M\Omega$ Typical | -10 | | +18 | -10 | | +18 | V |
| Full Scale Current | $V_{REF} = 10.000V$ $R_{14}, R_{15} = 5.000k\Omega$ $T_A = +25^\circ C$ | 1.984 | 1.992 | 2.000 | 1.94 | 1.99 | 2.04 | mA |
| Full Scale Summetry | $I_{FS4} - I_{FS2}$ | | ± 0.5 | ± 4.0 | | ± 1.0 | ± 8.0 | μA |
| Zero Scale Current | | | 0.1 | 1.0 | | 0.2 | 2.0 | μA |
| Output Current Range | $V_{REF} = +15V$, $-V_S = -10V$ | 2.1 | | | 2.1 | | | mA |
| $R_{14}, R_{15} = 5.000k\Omega$ | $V_{REF} = +25V$, $-V_S = -12V$ | 4.2 | | | 4.2 | | | mA |
| Logic Input Levels Logic "0" | $V_{LC} = 0V$ | | | 0.8 | | | 0.8 | V |
| Logic "1" | | 2.0 | | | 2.0 | | | V |
| Logic Input Current Logic "0" | $V_{LC} = 0V$ $V_{IN} = -10V$ to $+0.8V$ | | -2.0 | -10 | | -2.0 | -10 | μA |
| Logic "1" | $V_{IN} = 2.0V$ to $18V$ | | 0.002 | 10 | | 0.002 | 10 | μA |
| Logic Input Swing | $-V_S = -15V$ | -10 | | +18 | -10 | | +18 | V |
| Logic Threshold Range | $V_S = \pm 15V$ | -10 | | +13.5 | -10 | | +13.5 | V |
| Reference Bias Current | | | -1.0 | -3.0 | | -1.0 | -3.0 | μA |
| Reference Input Slew Rate | | 4.0 | 8.0 | | 4.0 | 8.0 | | mA/ μS |

Note: Guaranteed by Design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

Electrical Characteristics (Continued)

| Parameters | Test Conditions | DAC-08A/-08H | | | DAC-08 | | | Units |
|--------------------------------------|--|--------------|---------|-------|--------|---------|-------|--------------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Power Supply Sensitivity Positive | +V _S = 4.5V to 18V -V _S = -4.5V to -18V I _{REF} = 1.0mA | | ±0.0003 | ±0.01 | | ±0.0003 | ±0.01 | %ΔFS/ %ΔV |
| Negative | | | ±0.002 | -0.01 | | ±0.002 | -0.01 | %I/%e |
| Power Supply Current Positive | V _S = ±5.0V. I _{REF} = 1.0mA | | 2.3 | 3.8 | | 2.3 | 3.8 | mA |
| Negative | | | -4.3 | -5.8 | | -4.3 | -5.8 | mA |
| Positive | V _S = +5.0V, -15V. I _{REF} = 2.0mA | | 2.4 | 3.8 | | 2.4 | 3.8 | mA |
| Negative | | | -6.4 | -7.8 | | -6.4 | -7.8 | mA |
| Positive | V _S = ±15V. I _{REF} = 2.0mA | | 2.5 | 3.8 | | 2.5 | 3.8 | mA |
| Negative | | | -6.5 | -7.8 | | -6.5 | -7.8 | mA |
| Power Consumption | V _S = ±5.0V, I _{REF} = 1.0mA | | 33 | 48 | | 33 | 48 | mW |
| | V _S = +5.0V, -15V, I _{REF} = 2.0mA | | 108 | 136 | | 108 | 136 | mW |
| | V _S = ±15V, I _{REF} = 2.0mA | | 135 | 174 | | 135 | 174 | mW |

| Parameters | Test Conditions | DAC-08E | | | DAC-08C | | | Units |
|-------------------------------|---|---------|------|-------|---------|------|-------|--------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Resolution | | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | Bits |
| Monotonicity | | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | Bits |
| Nonlinearity | Full Temperature Range | | | +0.19 | | | -0.39 | %FS |
| Settling Time | To +½LSB, All Bits Switched ON or OFF T _A = +25°C (See Note) | | 85 | 150 | | 85 | 150 | nS |
| Propagation Delay Each Bit | T _A = +25°C (See Note) | | 35 | 60 | | 35 | 60 | nS |
| All Bits Switched | | | 35 | 60 | | 35 | 60 | nS |
| Full Scale Tempco | | | ±10 | ±50 | - | ±10 | ±80 | ppm/°C |
| Output Voltage Compliance | Full Scale Current Change < ½LSB R _{OUT} > 20MΩ Typical | -10 | | +18 | -10 | | +18 | V |
| Full Scale Current | V _{REF} = 10.000V R ₁₄ , R ₁₅ = 5.000kΩ T _A = +25°C | 1.94 | 1.99 | 2.04 | 1.94 | 1.99 | 2.04 | mA |
| Full Scale Summetry | I _{FS4} -I _{FS2} | | ±1.0 | ±8.0 | | ±2.0 | ±16.0 | μA |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

DAC-08

Electrical Characteristics (Continued)

| Parameters | Test Conditions | DAC-08E | | | DAC-08C | | | Units |
|--|---|---------|--------------|------------|---------|--------------|------------|--|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Zero Scale Current | | | 0.2 | 2.0 | | 0.2 | 4.0 | μA |
| Output Current Range | $V_{\text{REF}} = +15\text{V}$, $-V_{\text{S}} = -10\text{V}$ | 2.1 | | | 2.1 | | | mA |
| $R_{14}, R_{15} = 5.000\text{k}\Omega$ | $V_{\text{REF}} = +25\text{V}$, $-V_{\text{S}} = -12\text{V}$ | 4.2 | | | 4.2 | | | mA |
| Logic Input Levels | $V_{\text{LC}} = 0\text{V}$ | | | 0.8 | | | 0.8 | V |
| Logic "0" | | | | | | | | |
| Logic "1" | | 2.0 | | | 2.0 | | | V |
| Logic Input Current | $V_{\text{LC}} = 0\text{V}$ | | | | | | | |
| Logic "0" | $V_{\text{IN}} = -10\text{V to } +0.8\text{V}$ | | -2.0 | -10 | | -2.0 | -10 | μA |
| Logic "1" | $V_{\text{IN}} = 2.0\text{V to } 18\text{V}$ | | 0.002 | 10 | | 0.002 | 10 | μA |
| Logic Input Swing | $-V_{\text{S}} = -15\text{V}$ | -10 | | +18 | -10 | | +18 | V |
| Logic Threshold Range | $V_{\text{S}} = \pm 15\text{V}$ | -10 | | +13.5 | -10 | | +13.5 | V |
| Reference Bias Current | | | -1.0 | -3.0 | | -1.0 | -3.0 | μA |
| Reference Input Slew Rate | | 4.0 | 8.0 | | 4.0 | 8.0 | | $\text{mA}/\mu\text{S}$ |
| Power Supply Sensitivity | $+V_{\text{S}} = 4.5\text{V to } 18\text{V}$ $-V_{\text{S}} = -4.5\text{V to } -18\text{V}$ $I_{\text{REF}} = 1.0\text{mA}$ | | ± 0.0003 | ± 0.01 | | ± 0.0003 | ± 0.01 | $\frac{\% \Delta \text{FS}}{\% \Delta \text{V}}$ |
| Positive | | | | | | | | |
| Negative | | | ± 0.002 | ± 0.01 | | ± 0.002 | ± 0.01 | |
| Power Supply Current | $V_{\text{S}} = \pm 5.0\text{V}$ | | 2.3 | 3.8 | | 2.3 | 3.8 | mA |
| Positive | | | | | | | | |
| Negative | $I_{\text{REF}} = 1.0\text{mA}$ | | -4.3 | -5.8 | | -4.3 | -5.8 | mA |
| Power Supply Current | $V_{\text{S}} = +5.0\text{V}, -15\text{V}$ | | 2.4 | 3.8 | | 2.4 | 3.8 | mA |
| Positive | | | | | | | | |
| Negative | $I_{\text{REF}} = 2.0\text{mA}$ | | -6.4 | -7.8 | | -6.4 | -7.8 | mA |
| Power Supply Current | $V_{\text{S}} = \pm 15\text{V}$ | | 2.5 | 3.8 | | 2.5 | 3.8 | mA |
| Positive | | | | | | | | |
| Negative | $I_{\text{REF}} = 2.0\text{mA}$ | | -6.5 | -7.8 | | -6.5 | -7.8 | mA |
| Power Consumption | $V_{\text{S}} = \pm 5.0\text{V}$, $I_{\text{REF}} = 1.0\text{mA}$ | | 33 | 48 | | 33 | 48 | mW |
| | $V_{\text{S}} = -5.0\text{V}, -15\text{V}$, $I_{\text{REF}} = 2.0\text{mA}$ | | 103 | 136 | | 103 | 136 | mW |
| | $V_{\text{S}} = \pm 15\text{V}$, $I_{\text{REF}} = 2.0\text{mA}$ | | 135 | 174 | | 135 | 174 | mW |

The information contained in this data sheet has been carefully compiled, however, it shall not by implication or otherwise become part of the terms and conditions of any subsequent sale. Raytheon's liability shall be determined solely by its standard terms and conditions of sale. No representation as to application or use or that the circuits are either licensed or free from patent infringement is intended or implied. Raytheon reserves the right to change the circuitry and other data at any time without notice and assumes no liability for inadvertent errors.

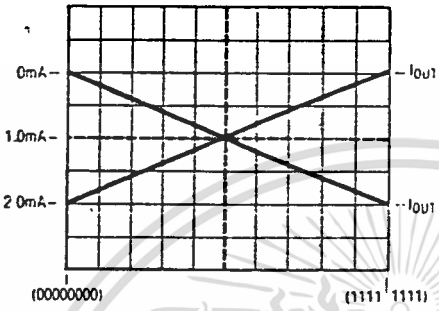
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

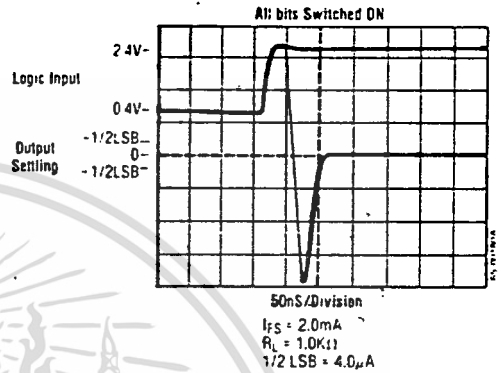
8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

Typical Performance Characteristics

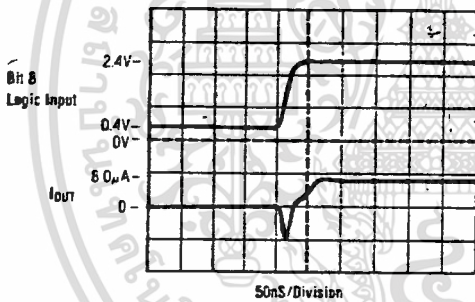
True and Complementary Output Operation



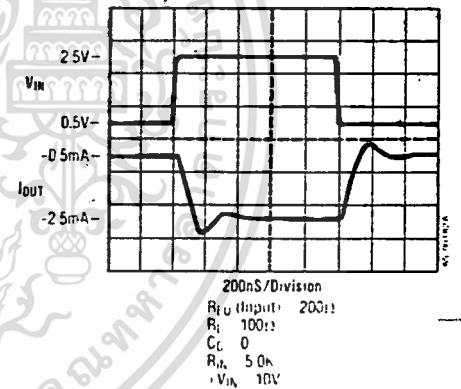
Full Scale Settling Time



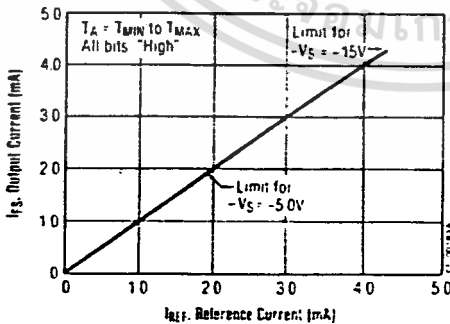
LSB Switching



Fast Pulsed Reference Operation



Full Scale Current vs. Reference Current

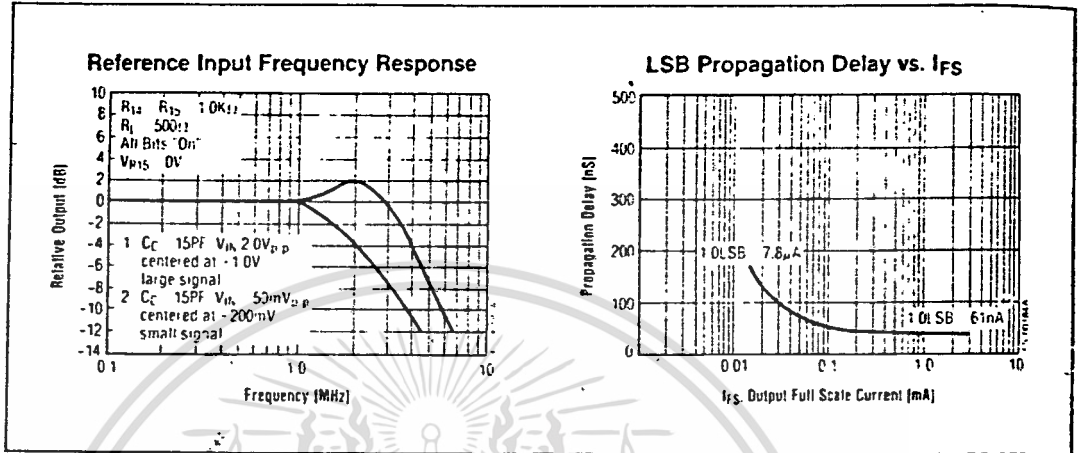


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

DAC-08

Typical Performance Characteristics (Continued)



Applications Information

Reference Amplifier Setup

The DAC-08 is a multiplying D/A converter in which the output current is the product of a digital number and the input reference current. The reference current may be fixed or may vary from nearly zero to +4.0mA. The full scale output current is a linear function of the reference current and is given by:

$$I_{FS} = \frac{255}{256} \times I_{REF} \text{ where } I_{REF} = I_{14}$$

In positive reference applications, an external positive reference voltage forces current through R₁₄ into the V_{REF(+)} terminal (pin 14) of the reference amplifier. Alternatively, a negative reference may be applied to V_{REF(-)} at pin 15; reference current flows from ground through R₁₄ into V_{REF(+)} as in the positive reference case. This negative reference connection has the advantage of a very high impedance presented at pin 15. The voltage at pin 14 is equal to and tracks the voltage at pin 15 due to the high gain of the internal reference amplifier. R₁₅ (nominally equal to R₁₄) is used to cancel bias current errors; R₁₅ may be eliminated with only a minor increase in error.

Bipolar references may be accommodated by offsetting V_{REF} or pin 15. The negative common

mode range of the reference amplifier is given by: V_{CM-} = -V_S plus (I_{REF} × 1kΩ) plus 2.5V. The positive common mode range is +V_S less 1.5V.

When a DC reference is used, a reference bypass capacitor is recommended. A 5.0V TTL logic supply is not recommended as a reference. If a regulated power supply is used as a reference, R₁₄ should be split into two resistors with the junction bypassed to ground with a 0.1μF capacitor.

For most applications the tight relationship between I_{REF} and I_{FS} will eliminate the need for trimming I_{REF}. If required, full scale trimming may be accomplished by adjusting the value of R₁₄, or by using a potentiometer for R₁₄. An improved method of full scale trimming which eliminates potentiometer T.C. effects is shown in the recommended full scale adjustment circuit.

Using lower values of reference current reduces negative power supply current and increases reference amplifier negative common mode range. The recommended range for operation with a DC reference current is +0.2mA to +4.0mA.

The reference amplifier must be compensated by using a capacitor from pin 16 to -V_S. For fixed reference operation, a 0.01μF capacitor is recommended. For variable reference applications, see section entitled "Reference Amplifier Compensation for Multiplying Applications."

DAC-08

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

Multiplying Operation

The DAC-08 provides excellent multiplying performance with an extremely linear relationship between I_{FS} and I_{REF} over a range of 4.0mA to 4.0 μ A. Monotonic operation is maintained over a typical range of I_{REF} from 100 μ A to 4.0mA.

Reference Amplifier Compensation for Multiplying Applications

AC reference applications will require the reference amplifier to be compensated using a capacitor from pin 16 to $-V_S$. The value of this capacitor depends on the impedance presented to pin 14; for R_{14} values of 1.0, 2.5, and 5.0k Ω , minimum values of C_C are 15, 37, and 75pF. Larger values of R_{14} require proportionately increased values of C_C for proper phase margin.

For fastest response to a pulse, low values of R_{14} enabling small C_C values should be used. If pin 14 is driven by a high impedance such as a transistor current source, none of the above values will suffice and the amplifier must be heavily compensated which will decrease overall bandwidth and slew rate. For $R_{14} = 1.0k\Omega$ and $C_C = 15pF$, the reference amplifier slews at 4.0mA/ μ S enabling a transition from $I_{REF} = 0$ to $I_{REF} = 2.0mA$ in 500nS.

Operation with pulse inputs to the reference amplifier may be accommodated by an alternate compensation scheme. This technique provides lowest full scale transition times. An internal clamp allows quick recovery of the reference amplifier from a cutoff ($I_{REF} = 0$) condition. Full scale transition (0 to 2.0mA) occurs in 120nS when the equivalent impedance at pin 14 is 200 Ω and $C_C = 0$. This yields a reference slew rate of 16mA/ μ S which is relatively independent of R_{IN} and V_{IN} values.

Logic Inputs

The DAC-08 design incorporates a unique logic input circuit which enables direct interface to all popular logic families and provides maximum noise immunity. This feature is made possible by the large input swing capability, 2.0 μ A logic input current and completely adjustable logic threshold voltage. For $-V_S = -15V$, the logic inputs may swing between -10V and +18V. This enables direct interface with $\pm 5V$ CMOS logic, even when the

DAC-08 is powered from a $\pm 5V$ supply. Minimum input logic swing and minimum logic threshold voltage are given by: $-V_S$ plus ($I_{REF} \times 1.0k\Omega$) plus 2.5V. The logic threshold may be adjusted over a wide range by placing an appropriate voltage at the logic threshold control pin (pin 1, V_{LC}). The appropriate graph shows the relationship between V_{LC} and V_{TH} over the temperature range, with V_{TH} nominally 1.4V above V_{LC} . For TTL and DTL interface, simply ground pin 1. When interfacing ECL an $I_{REF} = 1.0mA$ is recommended. For general setup of the logic control circuit, it should be noted that pin 1 will source 100 μ A typical; external circuitry should be designed to accommodate this current.

Fastest settling times are obtained when pin 1 sees a low impedance. If pin 1 is connected to a 1.0k Ω divider, for example, it should be bypassed to ground by a 0.01 μ F capacitor.

Analog Output Currents

Both true and complemented output sink currents are provided where $I_O + \bar{I}_O = I_{FS}$. Current appears at the "true" output when a "1" is applied to each logic input. As the binary count increases, the sink current at pin 4 increases proportionally, in the fashion of a "positive logic" D/A converter. When a "0" is applied to any input bit, that current is turned off at pin 4 and turned on at pin 2. A decreasing logic count increases \bar{I}_O as in a negative or inverted logic D/A converter. Both outputs may be used simultaneously. If one of the outputs is not required it must still be connected to ground or to a point capable of sourcing I_{FS} ; do not leave an unused output pin open.

Both outputs have an extremely wide voltage compliance enabling fast direct current-to-voltage conversion through a resistor tied to ground or other voltage source. Positive compliance is 36V above $-V_S$ and is independent of the positive supply. Negative compliance is given by $-V_S$ plus ($I_{REF} \times 1.0k\Omega$) plus 2.5V.

The dual outputs enable double the usual peak-to-peak load swing when driving loads in quasi-differential fashion. This feature is especially useful in cable driving, CRT deflection, and other balanced applications such as driving center-tapping coils and transformers.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

DAC-08

Power Supplies

The DAC-08 operates over a wide range of power supply voltages from a total supply of 9V to 36V. When operating at supplies of $\pm 5.0V$ or less, $I_{REF} \leq 1.0mA$ is recommended. Low reference current operation decreases power consumption and increases negative compliance, reference amplifier negative common mode range, negative logic input range, and negative logic threshold range; consult the various figures for guidance. For example, operation at $-4.5V$ with $I_{REF} = 2mA$ is not recommended because negative output compliance would be reduced to near zero. Operation from lower supplies is possible. However, at least 8V total must be applied to insure turn-on of the internal bias network.

Symmetrical supplies are not required, as the DAC-08 is quite insensitive to variations in supply voltage. Battery operation is feasible as no ground connection is required. However, an artificial ground may be used to insure logic swings, etc. remain between acceptable limits.

Power consumption may be calculated as follows:
 $P_D = (I^+) (+V_S) + (I^-) (-V_S) + (2 I_{REF}) (-V_S)$. A useful feature of the DAC-08 design is that supply current is constant and independent of input logic states; this is useful in cryptographic applications and further serves to reduce the size of the power bypass capacitors.

Temperature Performance

The nonlinearity and monotonicity specifications of the DAC-08 are guaranteed to apply over the entire rated operating temperature range. Full scale output current drift is typically $\pm 10ppm/^{\circ}C$, with zero scale output current and drift essentially negligible compared to 1/2 LSB.

The temperature coefficient of the reference resistor R_{14} should match and track that of the output resistor for minimum overall full scale drift. Settling times of the DAC-08 decrease approximately 10% at $-55^{\circ}C$; at $+125^{\circ}C$ an increase of about 15% is typical.

Typical Applications

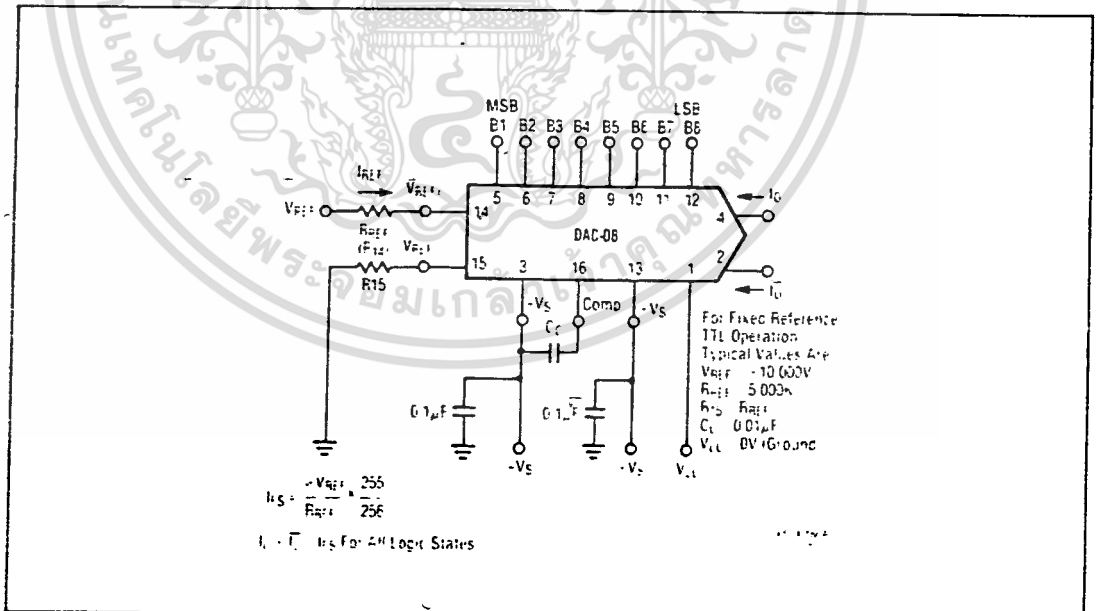


Figure 1. Basic Positive Reference Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

Typical Applications (Continued)

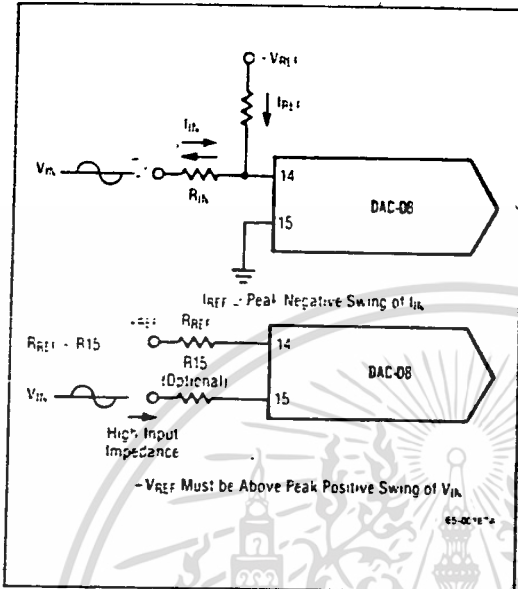


Figure 2. Accommodating Bipolar References

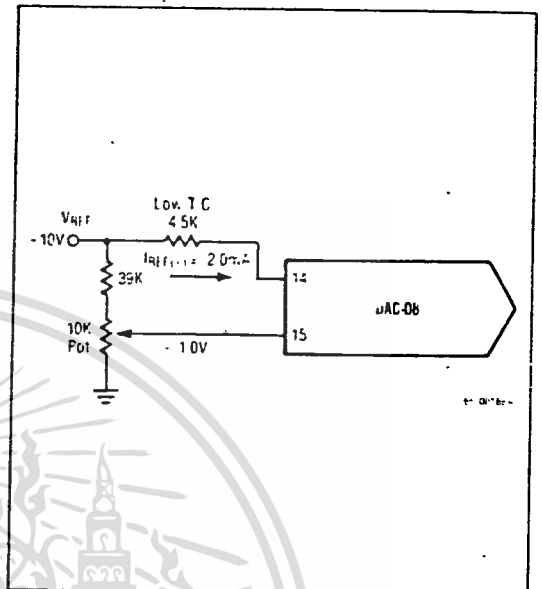


Figure 3. Recommended Full Scale Adjustment Circuit

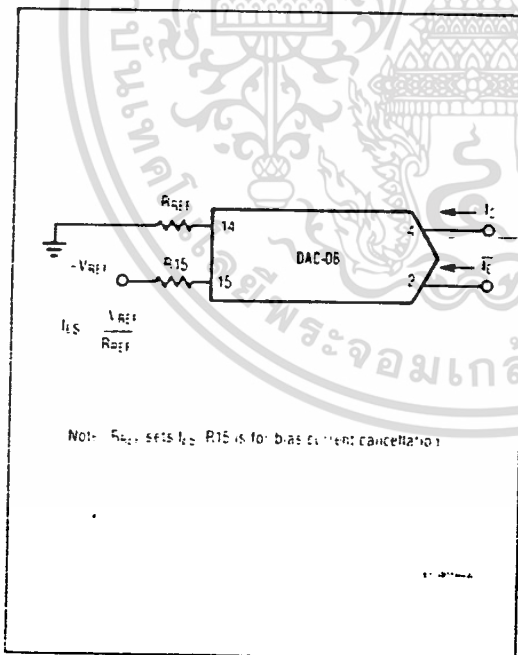


Figure 4. Basic Negative Reference Operation

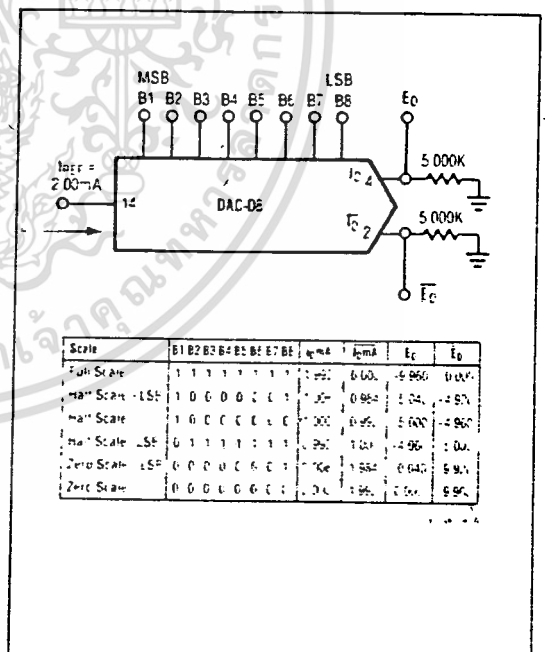


Figure 5. Basic Unipolar Negative Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

DAC-08

Typical Applications (Continued)

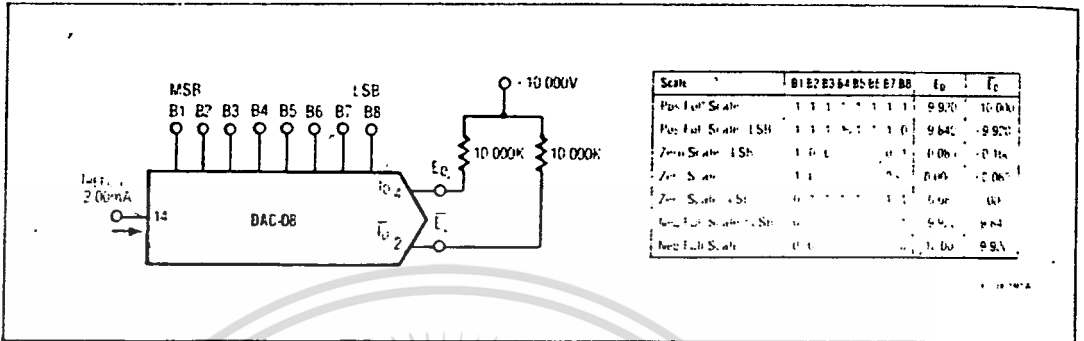


Figure 6. Basic Bipolar Output Operation

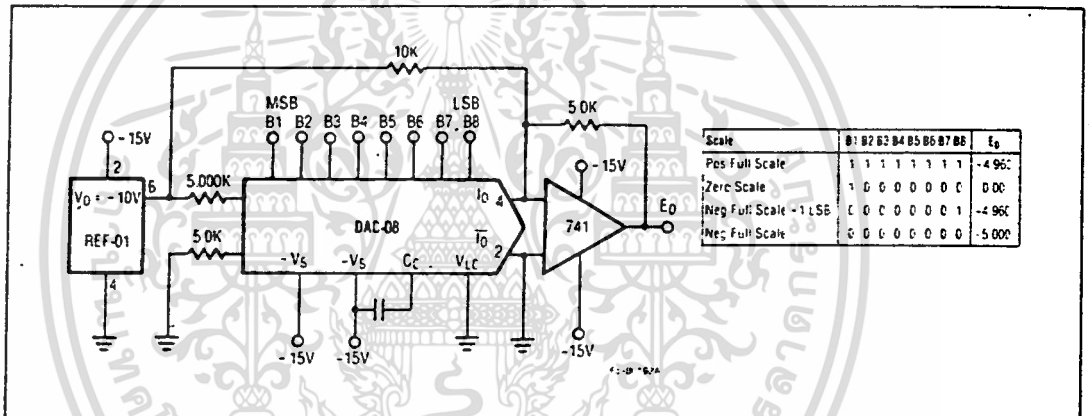


Figure 7. Offset Binary Operation

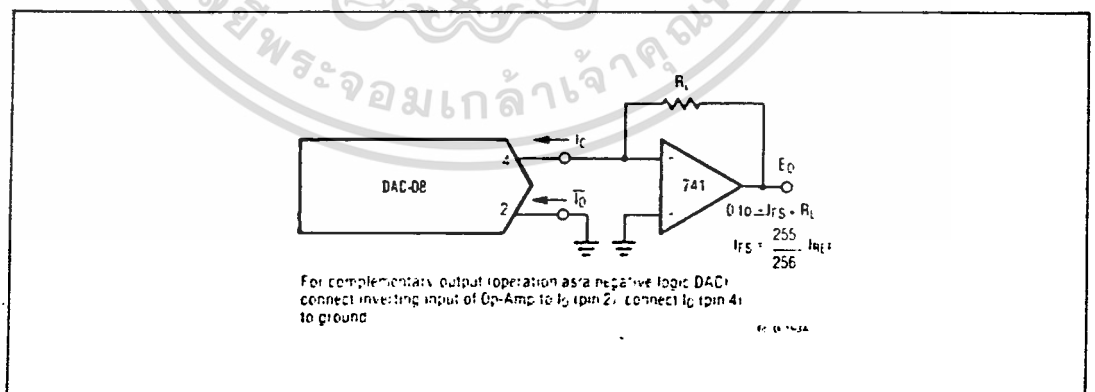


Figure 8. Positive Low Impedance Output Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAC-08

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

Typical Applications (Continued)

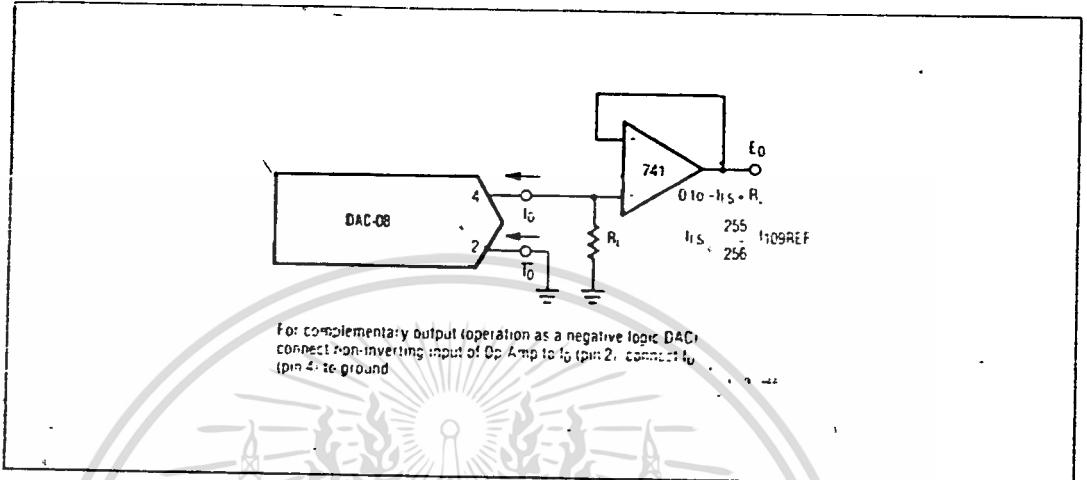


Figure 9. Negative Low Impedance Output Operation

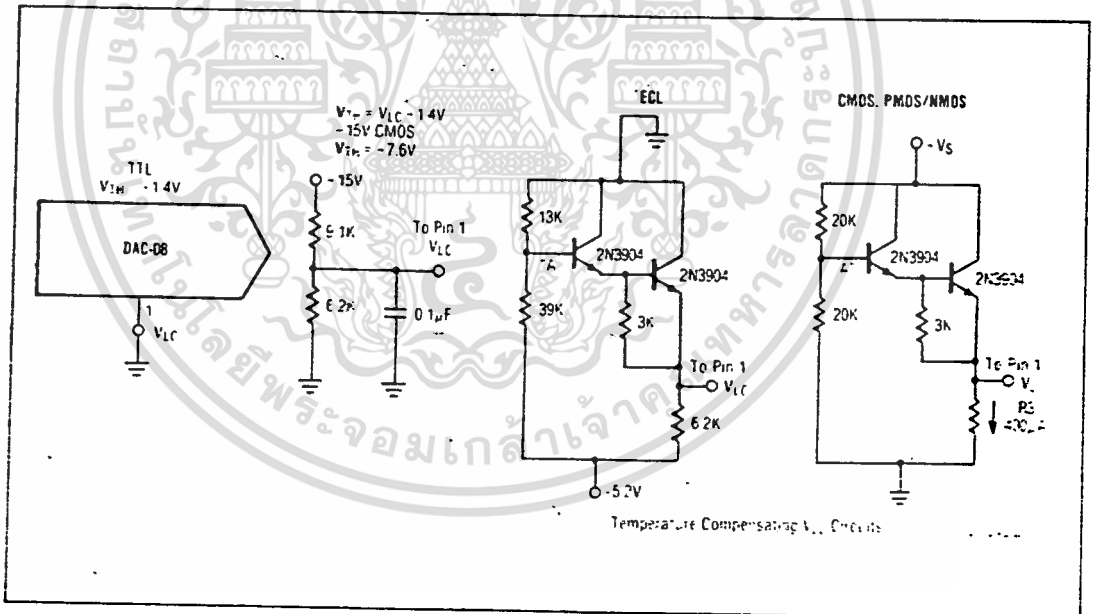


Figure 10. Interfacing With Various Logic Families

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-Bit High Speed Multiplying D/A Converter

DAC-08

Settling Time

The DAC-08 is capable of extremely fast settling times, typically 85nS at $I_{REF} = 2.0\text{mA}$. Judicious circuit design and careful board layout must be employed to obtain full performance potential during testing and application. The logic switch design enables propagation delays of only 35nS for each of the 8 bits. Settling time to within 1/2 LSB of the LSB is therefore 35nS, with each progressively larger bit taking successively longer. The MSB settles in 85nS, thus determining the overall settling time of 85nS. Settling to 6-bit accuracy requires about 65 to 70nS. The output capacitance of the DAC-08 including the package is approximately 15pF; therefore the output RC time constant dominates settling time if $R_L > 500\Omega$.

Settling time and propagation delay are relatively insensitive to logic input amplitude and rise and fall times, due to the high gain of the logic switches. Settling time also remains essentially constant for I_{REF} values down to 1.0mA, with gradual increases for lower I_{REF} values. The principal advantage of higher I_{REF} values lies in the ability to attain a given output level with lower load resistors, thus reducing the output RC time constant.

Measurement of settling time requires the ability to accurately resolve $\pm 4.0\mu\text{A}$, therefore a $1.0\text{k}\Omega$ load is needed to provide adequate drive for most oscilloscopes. The settling time fixture uses a cascode design to permit driving a $1.0\text{k}\Omega$ load with less than 5.0pF of parasitic capacitance at the measurement node. At I_{REF} values of less than 1.0mA, excessive RC damping of the output is difficult to prevent while maintaining adequate sensitivity. However, the major carry from 01111111 to 10000000 provides an accurate indicator of settling time. This code change does not require the normal 6.2 time constants to settle to within $\pm 0.2\%$ of the final value, and thus settling times may be observed at lower values of I_{REF} .

DAC-08 switching transients or "glitches" are very low and may be further reduced by small capacitive loads at the output at a minor sacrifice in settling time.

Fastest operation can be obtained by using short leads, minimizing output capacitance and load resistor values, and by adequate bypassing at the supply, reference and V_{LC} terminals. Supplies do not require large electrolytic bypass capacitors as the supply current drain is independent of input logic state; 0.1 μF capacitors at the supply pins provide full transient protection.

