สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# อุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

# ENERGY SAVER FOR SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR

T045962

โดย

นาย วุฒิชัย ก้องโลก

นาย อัมรันทร์ มะรอซี

นาย ธัช ธนวิบูลย์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45962
วัน, เดือน, ปี 26 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2544

# อุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

# ENERGY SAVER FOR SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR


โดย

นาย วุฒิชัย ก้องโลก

นาย อัมรันทร์ มะรอซี

นาย ธัช ธนวิบูลย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ

อ. สุรินทร์ คำฝอย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถานบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์ประหยัดพลังงานให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1เฟส


ผู้จัดทำ

| | | |
|---|---|---|
| นาย วุฒิชัย | ก้องโลก | รหัส 42015106 |
| นาย อัมรันทร์ | มะรอซี | รหัส 42015122 |
| นาย ธัช | ธนวิบูลย์ | รหัส 42015130 |

.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

ผศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ

.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

อ. สุรินทร์ คำฝอย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส


| | | | |
|---|---|---|---|
| นาย | วุฒิชัย | ก้องโลก | |
| นาย | อัมรันทร์ | มะรอซี | |
| นาย | ธัช | ธนวิบูลย์ | |
| ผศ. ดร. | วิจิตร | กิณเรศ | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| อ. | สุรินทร์ | คำฝอย | อาจารย์ที่ปรึกษา |

ปีการศึกษา 2544


## บทคัดย่อ


โครงงานนี้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพ และปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ1เฟสขนาด 1 แรงม้าด้วยการควบคุมพลังงานขาเข้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ด้วยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งเป็นการลดพลังงานขาเข้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลดที่มอเตอร์รับอยู่ โดยใช้เทคนิคการควบคุมแรงดันด้วยวิธีเฟสคอนโทรล ด้วยการควบคุมมุมจุดชนวนของเอสซีอาร์และใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูลMCS-51เป็นตัวประมวลผล เพื่อให้มอเตอร์ได้รับพลังงานที่เหมาะสมที่สุดกับโหลดที่มอเตอร์รับอยู่ ได้ใช้เทคนิคการควบคุมโดยการตรวจสอบค่าจากตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เพื่อให้ทราบว่าขณะนั้นมอเตอร์ทำงานอยู่ที่โหลดเท่าใด เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้ควบคุมมุมจุดชนวนของเอสซีอาร์เพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังเป็นไปได้ตามกำหนด(0.85)ในทุกๆโหลด และใช้IC เบอร์TCA 785ในการกำเนิดสัญญาณเพื่อไปควบคุมเอสซีอาร์ โครงงงานนี้แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์จะมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น เพราะจะลดการสิ้นเปลืองของพลังงานในสภาวะที่รับโหลดเบาๆได้ถึงโหลดปานกลางได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ENERGY SAVER FOR SINGLE PHASE INDUCTION MOTOR

Wuithichai Konglok

Amrun Marosee

Thouch Thanawibul

Assit.Prof Vijit Kinares Advisor

Mr. Surin Khomfoi Advisor

2001

## Abtract

This project presents guidelines for improving effieinecy and power factor for 1-ϕ,1 HP induction motor with controlling motor supply voltage ,they reducing motor power input . SCR phase control technique is used by microcontroller ,(MCS-51) in order to provide appropriate power for operating motor load . The proposed technique is base on power factor control in order to know the motor load . Such microcontrol considers SCR trigger angle for defined power factor (0.85) and sends signal via D/A toTCA 785 for generating SCR trigger signals. This project shows that improved effieinecy occurs when power factor is control not less than defined values under all loads. This results in a decrease in energy consumetion particular , light and medium loads.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์และโครงงานในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาจากท่าน อาจารย์ ผศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และอาจารย์ประจำสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้การประสิทธิประสาทวิชาให้คำแนะนำปรึกษาแก่กระผมตลอดมา กระผมรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

กระผมขอขอบพระคุณท่านกรรมการคุมสอบที่ได้สละเวลาอันมีค่า ขอขอบคุณพระคุณพี่พี่นักศึกษาปริญญาโทที่มีอาจารย์ ผศ. ดร. วิจิตร กิณเรศ เป็นที่ปรึกษาทุกท่านซึ่งมีรายนามดังนี้

1. คุณ ชัยทัต มณีอินทร์.
2. คุณ สุรชาติ แซ่ซื้อ
3. คุณ กำพล ศิริจันพงศ์
4. คุณ ธำรงศักดิ์ ศรีวิเศษ
5. คุณ จรัล ตั่งวงศ์ชูเกตุ
6. คุณ ชานินทร์ จูฉิม

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง เพื่อนๆห้อง W และเพื่อนๆของกระผมทุกคนที่ได้ช่วยเป็นกำลังใจ ในการทำงานมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์และโครงงานนี้กระผมขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | I |
| กิตติกรรมประกาศ | II |
| สารบัญ | III |
| สารบัญตาราง | VI |
| สารบัญรูปภาพ | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงงาน | 1 |
| 1.2 หลักการเดิมที่ใช้อยู่ | 1 |
| 1.3 ทำไมต้องควบคุมการใช้พลังงานของ Inductionmotor | 1 |
| 1.4 หลักการที่นำเสนอ | 2 |
| 1.5 ควบคุมพลังงานไฟฟ้าได้ประโยชน์อะไร | 3 |
| 1.6 องค์ประกอบของปริญญานิพนธ์ | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ดำเนินการ | 5 |
| 2.1 บทนำ | 5 |
| 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส | 5 |
| 2.3 เฟสคอนโทรล | 25 |
| 2.4 การสร้างสัญญาณควบคุมมุมจุดชนวนSCRด้วย TCA 785 | 28 |
| 2.5 กำลังไฟฟ้า | 41 |
| 2.6 เอสซีอาร์ (SCR) | 47 |
| 2.7 โครงสร้างของMCS-51 | 55 |
| บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจร | 65 |
| 3.1 แนวคิดการออกแบบ | 65 |
| 3.2 รายละเอียดด้าน hardware | 66 |
| 3.3 วงจรจุดชนวนเกตุ SCRด้วย TCA785 | 68 |
| 3.4 ส่วนประมวลผล | 72 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


หน้า

3.4.1 การนับพัลซ์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 72

3.4.2 การทำงานของ SOFT WARE 74

3.5 วงจรวัดค่า P.F 76

บทที่ 4 ผลการทดลอง 78

4.1 บทนำ 78

4.2 การทดสอบคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 78

4.2.1 No load test 79

4.2.2การทดสอบ Block rotor test 81

4.3 การหากำลังงานทางกลศาสตร์ของเครื่องจักรไฟฟ้า 83

4.4 การต่อเครื่องมือวัด Fluke 41 Harmonics Analyzer 85

4.5 การทดสอบคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 85

4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ 85

4.5.2 วิธีการทดสอบ 86

4.6 การทดสอบคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
ขณะต่อชุด Ac-Ac converter และวงจรควบคุม 89

4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ 89

4.5.2 วิธีการทดสอบ 99

4.7 รูปสัญญาณจริงจากOsilloscope ตามจุดต่างๆของวงจร 100

บทที่ 5 บทสรุปและผลวิจารณ์ 107

5.1 สรุปด้านกำลังด้านเข้ามอเตอร์ 107

5.2 สรุปในด้านประสิทธิภาพของมอเตอร์ 109

5.3 สรุปด้านค่าเพาวเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ 110

5.4 สรุปในด้านค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์ 111

5.5 สรุปด้านค่ากำลังด้านเข้าที่วัดด้วย KW- HR 112


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 5.6 สรุปกำลังด้านออกของมอเตอร์ | 112 |
| 5.7 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง | 113 |
| เอกสารอ้างอิง | 114 |
| ภาคผนวก ก. ข้อมูลเฉพาะอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ที่ใช้ในการทำโครงงาน | |
| ภาคผนวก ข. Prpgram ควบคุม | |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


หน้า

| | | |
|---|---|---|
| ตารางที่ 2.1 | ค่าตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา | 36 |
| ตารางที่ 2.1 | ความกว้างของสัญญาณจุดชนวนแบบต่างๆ กับชนิดของโหลด | 37 |
| ตารางที่ 4.1 | Name Plateของมอเตอร์เหนี่ยวนำ1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start | 81 |
| ตารางที่ 4.2 | ผลการทดสอบNoload testมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1$\phi$ 1แรงม้า1$\phi$แบบ Capacitor run Capacitor start | 81 |
| ตารางที่ 4.3 | ผลการทดสอบมอเตอร์ แบบ Block rotor test | 84 |
| ตารางที่ 4.4 | ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด Fluke 41 ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะไม่ต่อชุด Ac-Ac converter | 89 |
| ตารางที่ 4.5 | ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะควบคุมแรงดันขาเข้าให้มอเตอร์ทำงานที่rate speed ที่พิกัดของมอเตอร์ ในแต่ละโหลด | 90 |
| ตารางที่ 4.6 | ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะควบคุมแรงดันขาเข้าให้มอเตอร์ทำงานที่rate P.F ที่พิกัดของมอเตอร์ ในแต่ละโหลด | 91 |
| ตารางที่ 4.7 | ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะต่อชุด Ac-Ac converter และวงจรควบคุม(จาก Fluke 41ตัวที่1) | 93 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง(ต่อ)


| | | หน้า |
|---|---|---|
| ตารางที่ 4.8 | ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ $1\phi$ พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะต่อชุด Ac-Ac converter และวงจรควบคุม(จาก Fluke 41ตัวที่2) | 94 |
| ตารางที่ 4.9 | ค่ากำลังงานสูญเสียของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน | 95 |
| ตารางที่ 4.10 | เปรียบเทียบกำลังงานด้านเข้าของมอเตอร์(วัดจากแหล่งจ่าย) | 96 |
| ตารางที่ 4.11 | เปรียบเทียบกำลังงานด้านเข้าของมอเตอร์(วัดจากมอเตอร์) | 96 |
| ตารางที่4.12 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์(วัดจากมอเตอร์) | 97 |
| ตารางที่4.13 | เปรียบเทียบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มอเตอร์(วัดจากมอเตอร์) | 98 |
| ตารางที่4.14 | เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนรวมของอุปกรณ์ควบคุมพลังงานกับมอเตอร์(วัดแหล่งจ่าย) | 99 |
| ตารางที่4.15 | เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์(วัดจากมอเตอร์) | 100 |
| ตารางที่4.16 | เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเข้าโดยใช้kw-hr มิเตอร์(วัดที่แหล่งจ่าย) | 100 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

หน้า


รูปที่1.1 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ 1

รูปที่1.2 วงจรเฟสคอนโทรล 3

รปที่2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กหมุนคู่ 6

รูปที่2 .2 แสดงผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็ก 7

รูปที่2.3 แสดงแรงบิดที่เกิดขึ้น 8

รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางการเกิดกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็ก
ในโรเตอร์ของ Induction Motor 10

รูปที่2. 5 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์และ
โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 11

รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการวางขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนี้ 12

รูปที่ 2.7 แสดงวงจรและเวกเตอร์ไดอะแกรมของสปลิตเฟสมอเตอร์ 13

รูปที่ 2.8 แสดงการใช้รีเลย์แม่เหล็กแทนสวิตช์แรงเหวี่ยง 13

รูปที่ 2.9 แสดงคุณลักษณะระหว่างแรงบิดกับความเร็วของสปลิตเฟสมอเตอร์ 14

รูปที่ 2.10 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าในสปลิตเฟสมอเตอร์ 15

รูปที่ 2.11 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจากขดสตาร์ท
และขดรัน ของสปลิตเฟสมอเตอร์ 15

รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเปอร์เซนต์ของความเร็ว 17

รูปที่ 13 แสดงการต่อขดลวดชุดสตาร์ตเพื่อกลับทิศทางการหมุน 17

รูปที่2.14 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 18

รูปที่2.15 วงจรสมมูลย์ขณะมอเตอร์หมุนอยู่ 19

รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลย์ 20

รูปที่2.17 แสดงแผนภูมิการ flow ของ พลังงานในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 21

รูปที่ 2.18 แผนภูมิการเปลี่ยนกำลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 23


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า


| | | |
|---|---|---|
| รูปที่ 2.19 | เป็นวงจรสมมูลย์ของเหนี่ยวนำ 1เฟสเมื่อมีการคิดการสูญเสียในแกนเหล็ก | 24 |
| รูปที่2.20 | แสดงวงจรควบคุมแรงดันแบบ 1 เฟส | 25 |
| รูปที่2.21 | แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ$\alpha<\phi$ | 27 |
| รูปที่2.22 | แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ $\alpha>\phi$ | 27 |
| รูปที่2.23 | แผนภาพของ TCA 785 | 29 |
| รูปที่ 2.24 | การต่อแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงให้กับ TCA 785 และแรงดันอ้างอิงภายใน | 31 |
| รูปที่ 2.25 | วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียงกับวงจรจุดตัดศูนย์ | 32 |
| รูปที่ 2.26 | วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียงกับวงจรจุดตัดศูนย์ | 33 |
| รูปที่ 2.2.7 | การเปรียบเทียบแรงดันควบคุมกับแรงดันลาดเอียง | 34 |
| รูปที่ 2.28 | แผนภาพสัญญาณพัลซ์ของ TCA 785 | 35 |
| รูปที่ 2.29 | แสดงการทำงานของแบบอะสเตเบิลและรูปคลื่นของวงจร | 38 |
| รูปที่ 2.30 | ความถี่ในการออสซิลเลตจะหาได้จากค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ | 40 |
| รูปที่ 2.31 | วงจรขยายสัญญาณกระตุ้น | 41 |
| รูปที่ 2.32 | ออปโต้ไอโซเลเตอร์ | 42 |
| รูปที่2.33 | แสดงสามหลี่ยมกำลังไฟฟ้า | 43 |
| รูปที่2.34 | แสดงความผิดเพี้ยนของคลื่นกระแสไปจากรูปไซน์ | 44 |
| รูปที่ 2.35 | โครงสร้างของเอสซีอาร์ | 48 |
| รูปที่ 2.36 | แสดงวงจรการนำกระแสของเอสซีอาร์ | 48 |
| รูปที่ 2.37 | คุณสมบัติของเอสซีอาร์ในสภาวะ steady-state | 49 |
| รูปที่ 2.38 | แสดงเวลาน้อยสุดที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกเกอร์ | 51 |
| รูปที่ 2.39 | แสดง Turn off time ของเอสซีอาร์ | 52 |
| รูปที่ 2.40 | ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าของเอสซีอาร์ | 54 |
| รูปที่ 2.41 | บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51 | 58 |
| รูปที่ 2.42 | ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่างๆและหน่วยความจำ | 59 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ(ต่อ)


| | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปที่2.43 | การจัดวางขาของ 8051 | 61 |
| รูปที่ 2.44 | การต่อหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิพ | 62 |
| รูปที่ 2.45 | การต่อ MCS-51 เข้ากับ EPROM และ RAM | 65 |
| รูปที่3.1 | คุณลักษณะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ | 67 |
| รูปที่3.2 | บล็อกแสดงการทำงานส่วน Hard ware | 68 |
| รูปที่3.3 | แสดงวงจรสร้างสัญญาณจุดชนวนเกตุ | 70 |
| รูปที่ 3.4 | สัญญาณตามขาต่างๆ ของ TCA785 | 71 |
| รูปที่ 3.5 | แสดงสัญญาณในการสร้าง Pulse trane | 72 |
| รูปที่3.6 | แสดงการต่อวงจรในส่วนประมวลผล | 74 |
| รูปที่3.7 | flow chart การทำงานของ soft ware | 76 |
| รูปที่ 3.8 | วงจรที่ใช้ในการตรวจวัดค่า power factor | 77 |
| รูปที่ 3.9 | แสดงสัญญาณในการสร้างวงจรตรวจวัด P.F | 78 |
| รูปที่4.1 | วงจรสมมูลย์ ทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ | 79 |
| รูปที่ 4.2 | การทดสอบ Noload test | 80 |
| รูปที่ 4.3 | วงจรสมมูลย์แทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ Noload test | 82 |
| รูปที่4.4 | การทดสอบ Block rotor test | 83 |
| รูปที่ 4.5 | วงจรสมมูลย์แทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ Block rotor test test | 85 |
| รูปที่4.6 | การหากำลังงานทางกลศาสตร์ | 85 |
| รูปที่4.7 | ลักษณะการต่อเครื่องมือวัด Fluke 41 Harmonics Analyzer | 87 |
| รูปที่4.8 | การต่อเครื่องมือวัด Fluke 41กับมอเตอร์ | 88 |
| รูปที่4.9 | การต่อเครื่องมือวัดFluke 41กับมอเตอร์และชุด AC-AC Converter | 92 |
| รูปที่4.10 | สัญญาณสามเหลี่ยมตัดกับ DC เป็นสัญญาณที่ ขา 10 และ 11 ตามลำดับ ของ TCA 785 ที่โหลด 10% | 101 |
| รูปที่4.11 | สัญญาณพัลซ์ที่ใช้ทริก SCR ที่โหลด 10% | 101 |
| รูปที่4.12 | สัญญาณกระแสที่มอเตอร์ที่โหลด 10% | 102 |
| รูปที่4.13 | สัญญาณแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่โหลด 10% | 102 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า


| | | |
|---|---|---|
| รูปที่4.14 | สัญญาณสามเหลี่ยมตัดกับ DC เป็นสัญญาณ ที่ขา 10 และ 11 ตามลำดับ ของ TCA 785ที่โหลด 50 % | 104 |
| รูปที่4.15 | สัญญาณพัลซ์ที่ใช้ทริก SCRที่โหลด 50 % | 104 |
| รูปที่4.16 | สัญญาณกระแสที่มอเตอร์ ที่โหลด 50 % | 105 |
| รูปที่4.17 | สัญญาณแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่โหลด 50% | 105 |
| รูปที่4.18 | สัญญาณสามเหลี่ยมตัดกับ DC เป็นสัญญาณ ที่ขา 10 และ 11 ตามลำดับ ของ TCA 785ที่มอเตอร์ทำงานที่โหลด 100% | 105 |
| รูปที่4.19 | สัญญาณพัลซ์ที่ใช้ทริก SCRที่มอเตอร์ทำงานที่โหลด 100% | 105 |
| รูปที่4.20 | สัญญาณกระแสที่มอเตอร์ ที่โหลด 100 % | 106 |
| รูปที่4.21 | สัญญาณแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ที่โหลด 100 % | 106 |
| รูปที่ 5.1 | กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังงานด้านเข้าของมอเตอร์ | 107 |
| รูปที่ 5.2 | กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์ (วัดจากมอเตอร์) | 108 |
| รูปที่ 5.3 | กราฟเปรียบเทียบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ | 109 |
| รูปที่5.4 | เปรียบเทียบ ด้านค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์ | 110 |
| รูปที่5.5 | กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจาก KW- HR | 111 |
| รูปที่ 5.6 | กราฟเปรียบเทียบระหว่างกำลังขาออกของมอเตอร์ | 112 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

เครื่องต้นกำลังที่ใช้ในเครื่องอำนวยความสะดวกภายในบ้านเรือนหรือเครื่องจักรกลขนาดเล็กส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์เหนี่ยว1เฟส แต่มอเตอร์เหนี่ยวนำได้ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาสูงสุดเมื่อทำงานในสภาวะเต็มกำลังเท่านั้น แต่ในการใช้งานจริงในบางงานจริงมอเตอร์ไม่ได้ทำงานในสภาวะเต็มกำลังตลอดเวลา แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะของโหลดจริงในขณะนั้น จึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปในช่วงที่มอเตอร์มีภาระโหลดเบา(light load) ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่ จะสร้างอุปกรณ์ควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า สำหรับอินดักชั่นมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าตามสภาวะของโหลดหรือความต้องการของงานในขณะนั้นโดยpower outputยังคงที่และความเร็วของมอเตอร์ไม่ลดลงไปมาก เราเรียกวิธีการลดพลังงานนี้ว่า otimization ทำหน้าที่ควบคุมประสิทธิภาพของมอเตอร์ให้มีค่าสูงสุดอยู่ตลอดเวลา เมื่อมอเตอร์ได้รับพลังงานที่เหมาะสมในแต่ละโหลดทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น นั้นคือมอเตอร์จะใช้พลังงานไปเท่าที่จำเป็นสำหรับโหลดแต่โหลดเท่านั้น

## 1.2 หลักการเดิมที่ใช้อยู่

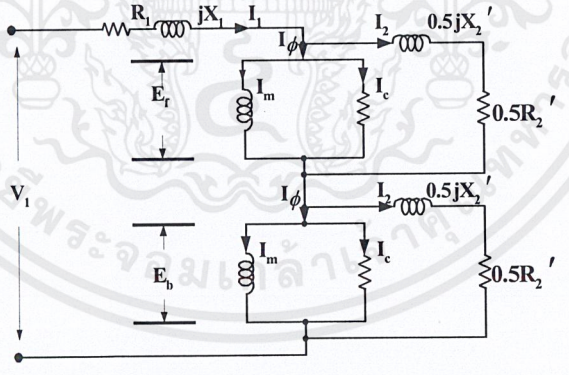
ด้วยลักษณะสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำงานสภาวะเต็มกำลัง(fullload)แต่ตามลักษณะใช้งานจริงๆบ่อยครั้งที่มอเตอร์จะถูกใช้งานในสภาวะโหลดต่ำๆหรือไม่มีโหลด ซึ่งจุดนี้เองทำให้สูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์จำนวนหนึ่งเพราะพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในภาวะเต็มกำลัง และครึ่งกำลัง(half load) หรือแม้แต่ในภาวะไม่มีโหลด(no load)แทบจะไม่แตกต่างกัน นั่นหมายความว่าไม่ว่าเราจะได้งานหรือไม่ได้งานจากมอเตอร์เรายังคงต้องจ่ายพลังงานให้แก่มอเตอร์ด้วยปริมาณที่ค่อนข้างจะคงที่

## 1.3 ทำไมต้องควบคุมการใช้พลังงานของ Inductionmotor

มอเตอร์ทุกตัวถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำงานที่เต็มพิกัด(rate)ของมันตลอดเวลา แต่ในงานจริงมอเตอร์ส่วนใหญ่ไม่ได้ทำงานที่เต็มพิกัดตลอดเวลาแต่จะเปลี่ยนไปตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะงานในขณะนั้นเช่น มอเตอร์สายพาน ซึ่งถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อมีของอยู่สายพานเต็มพิกัดของมอเตอร์จึง ถือว่าเป็นโหลดสูงสุดและการคำนวณขนาดของมอเตอร์ต้องคูณกับเซฟตี้แฟคเตอร์ อีกประมาณ 20%รวมกับปัญหาขนาดที่มอเตอร์ที่คำนวณไว้(Commercial Size)จึงต้องมีขนาดใหญ่กว่าที่คิด ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดมอเตอร์เมื่อคำนวณไว้ทุกอย่างแล้วมีพิกัดดังนี้ Voltage=220v,Power=1.5kw,p.f=0.86,1440 rpm,efficency=0.85 หมายถึงมอเตอร์ตัวนี้ต้องทำงานกับโหลดที่มีขนาด1.5kw จึงจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่แรงดันขนาด220v มอเตอร์จะมีค่า p.f=0.8และหมุนด้วยความเร็ว1440 rpmแต่ในการทำงานจริงมอเตอร์ไม่ได้ทำงานที่เต็มพิกัดตลอดเวลา ในขณะที่ มอเตอร์ยังใช้พลังงานไม่ลดลงไปมากเนื่องจากแรงดันinputที่ป้อนให้มอเตอร์มีค่าคงที่จากรูปที่1แสดงการใช้งานในสภาวะปกติของมอเตอร์ จะเห็นว่าแรงดันInput(vs)ที่ป้อนให้กับมอเตอร์มีขนาดคงที่นั้นคือความสูญเสียเนื่องจากcoreloss(V/R0)มีค่าเท่าเดิมส่วนStator Copper Loss($I_1^2R_2$)ส่วนRotorCopper Loss ($I_2R_2$) ขึ้นอยู่กับความต้องการกระแสของโหลด $R_L$ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามโหลด ถ้าหากมอเตอร์มีโหลดน้อยนั้นคือ RLจะมีค่ามากทำให้กระแส $I_2$ ไหลน้อยลงพลังงานที่ใช้ขับโหลดมีค่าน้อยลง($PL=I_2^2R_L$) ก็จะมีค่ามน้อยลงตามในระหว่างนี้เราสามารถลดการใช้พลังงานของมอเตอร์ได้โดยการลดแรงดัน $V_s$ ซึ่งจะไม่มีผลต่อความเร็วและ Torqueของมอเตอร์มากนัก



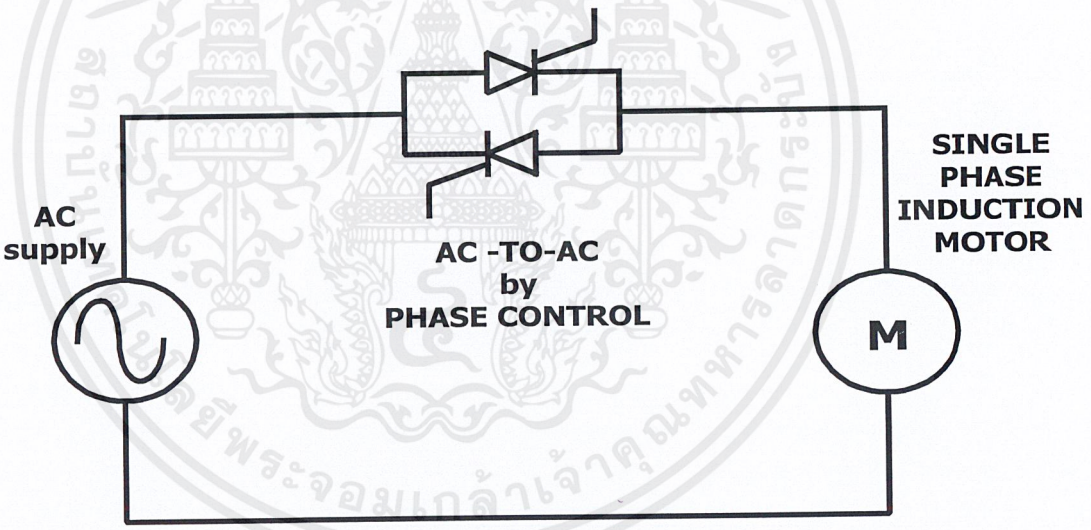

**รูปที่1.1** วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์

## 1.4 หลักการที่นำเสนอ

หลักการที่นำเสนอในการควบคุมมอเตอร์คือ การควบคุมพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ให้มีงานปริมาณพอเหมาะกับสภาวะการทำงานของมอเตอร์ โดยการตรวจสอบจากค่าเพาเวอร์แฟค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอร์ จากคุณสมบัติของอินดักชั่นมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์มีโหลดเบา(light load)มอเตอร์จะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ ประมาณ 0.2-0.3 เมื่อมอเตอร์ขับโหลดเต็มที่มอเตอร์จะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.8-0.9 จากคุณสมบัติตรงนี้เองทำให้ส่วนควบคุมนี้ทราบว่าขณะนี้มอเตอร์ต้องการพลังงานใช้ขับโหลดมากหรือน้อยเพียงไรส่วนควบคุมนี้จะใช้หลักการของการลดแรงดันด้วยวิธีควบคุมมุมจุดชนวน SCR ที่ป้อนให้กับขดสเตเตอร์ ดังรูปที่ 2 ชุดเฟสคอนโทรลจะต่ออยู่ระหว่าง line และมอเตอร์ เพื่อทำหน้าที่chop แรงดันส่วนที่ไม่จำเป็นออก ผลที่ได้คือแรงดันเฉลี่ยมีค่าลดลง การลดขนาดแรงดันทำได้โดยการเพิ่มมุมจุดชนวน(Firing Angle) ให้กับ SCR โดยใช้เงื่อนไขที่เหมาะสม คือคือควบคุมมุมจุดชนวน SCR ที่ป้อนให้กับขดสเตเตอร์ของมอเตอร์โดยใช้เงื่อนไขให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมให้เหมาะสมคือควบคุมให้มอเตอร์มีมุมล้าหลังต่ำที่สุดในแต่ละโหลดของมอเตอร์ เนื่องจากว่าอินดักชั่นมอเตอร์ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อมอเตอร์ทำงานไก้ลเคียงกับจุดที่มีมุมล้าหลังต่ำที่สุด




**รูปที่ 1.2** วงจรเฟสคอนโทรล

จากการควบคุมด้วยวิธีนี้ทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพราะกระแสมีเฟสเกือบจะทับแรงดันเพราะฉนั้นพลังงานที่เกิดขึ้นจะใช้ไปในงานที่เป็นประโยชน์มากเหมือนในกรณีมีภาระเต็มที่แต่แรงดันป้อนเข้ามีค่าน้อยลงมีผลทำให้มีการประหยัดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ควบคุมพลังงานไฟฟ้าได้ประโยชน์อะไร

จาก Equivalent Circuit รูปที่1จะเห็นว่าหากมอเตอร์ทำงานต่ำกว่าพิกัดมากๆ และเป็นเวลานาน พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไม่ได้ถูกใช้เพื่อทำงานมากนัก แต่พลังงานส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปในรูปของความร้อนและการสั่นสะเทือน(Copper Loss+Core Loss) หากสามารถควบคุมพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาพความต้องการของโหลดได้ จะทำให้ความร้อนและการสะเทือนของมอเตอร์ลดลง ส่งผลให้อายุการใช้งานของมอเตอร์เพิ่มขึ้น จำนวนครั้งของการซ่อมบำรุงก็จะลดลงรวมไปถึงอายุการใช้งานของสายไฟและฉนวนต่างๆที่ต่อไปยังมอเตอร์ก็จะมากขึ้น ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า($I^2R$),Power Transformer (Copper Loss+Core Loss) และหน้าสัมผัส Magnetic (Contact Loss) ก็จะลดลง นอกจากนั้นแล้ว ยังลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนต่ำการผลิตลดลงด้วย

สรุปได้ว่าการลดพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์โดยใช้วิธี Phase Control ทำได้เมื่อมอเตอร์ไม่อยู่ในขณะfull load ดังนั้นเราจะสามารถลดแรงดันลงได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของมอเตอร์และยังทำให้กระแสของมอเตอร์ลดลงด้วย เนื่องจากในขณะที่มอเตอร์อยู่ในภาวะ light load มอเตอร์จะต้องการพลังงานลดลง โดยการควบคุมขนาดของแรงดันและกระแสจะเป็นไปตามสมการ Input Power

## 1.6 องค์ประกอบของปริญญานิพนธ์

รายละเอียดปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดแบ่งออกเป็น 5 บท และ 2 ภาคผนวก

บทที่1 จะกล่าวถึงบทนำ และแสดงถึงสาเหตุที่ทำโครงงานนี้และใช้ทฤษฎีใดมาอ้างอิงในการทำโครงงาน

บทที่2 เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับส่วนประกอบต่างๆ ของโครงงาน โดยมีเนื้อหาดังนี้คือ ทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ1เฟส,SCR,เฟสคอนโทรล,การสร้างพัลซ์เพื่อควบคุมมุมจุดชนวนSCR,ทฤษฎี Microcontroler

บทที่3 การออกแบบและสร้างวงจร

บทที่4 ผลการทดลอง

บทที่5 สรุปผลและวิเคราะห์ปัญหาและการแก้ไข

บทที่6 เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่2
# ทฤษฎีที่ใช้ดำเนินการ

## 2.1 บทนำ

ในโครงงานนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ $1\phi$ โดยใช้หลักการควบคุมพลังงานที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลดที่มอเตอร์ขับอยู่ ด้วยการควบคุมแรงดันขาเข้าที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ โดยใช้การควบคุมแรงดันด้วยวิธี AC-AC converter แบบ phase control โดยควบคุมแรงดันขาเข้าในแต่ละโหลด เพื่อจะให้มอเตอร์ทำงานที่ P.F ที่ใกล้เคียงที่พิกัดตลอดเวลา

## 2.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว(Single Phase Induction Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับเฟสเดียวนี้ ส่วนมากเป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นเครื่องใช้ในบ้านหรือสำนักงาน ซึ่งมักจะมีขนาดพิกัดกำลังต่ำกว่า 1 แรงม้า อาจเรียกว่าเป็นมอเตอร์ที่เป็นเศษส่วนของกำลังม้า (Fractional Power Motor ) และเป็นมอเตอร์ที่มีโครงสร้างและหลักการทำงานคล้ายกันกับมอเตอร์ 3 เฟส

มอเตอร์กระแสสลับเฟสเดียวแบ่งตามลักษณะโครงสร้างและกรรมวิธีการหมุนได้ดังนี้

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำ ( Indouction Motor ) ได้แก่ สลิปเฟสมอเตอร์ คาปาซิเตอร์มอเตอร์ และเชดเดดโพลมอเตอร์
2. รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion Motor ) บางครั้งเรียกว่า อินดักทีฟซีรีส์มอเตอร์ (Inductive Series Motor )
3. เอซีซีรีส์มอเตอร์ (A.C. Series Motor )

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนี้มีโครงสร้างคล้ายกันกับมอเตอร์ 3เฟส ซึ่งจะแตกต่างกันก็ตรงที่สเตเตอร์นั้นมีการพันขดลวดเป็นแบบเฟสเดียว และต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์จึงไม่ใช่สนามแม่เหล็กที่หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสเหมือนกับในมอเตอร์ 2 เฟส หรือ 3 เฟสที่ได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟสหรือ 3 เฟส จึงเป็นเหตุให้สนามแม่เหล็กที่เกิดการกลับไปกลับมาอยู่ที่สเตเตอร์นั้นไม่สามารถทำให้มอเตอร์เกิดแรงบิดและหมุนได้ในขณะที่โรเตอร์นั้นยังหยุดอยู่ นั่นคือมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจึงไม่สามารถเริ่มหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

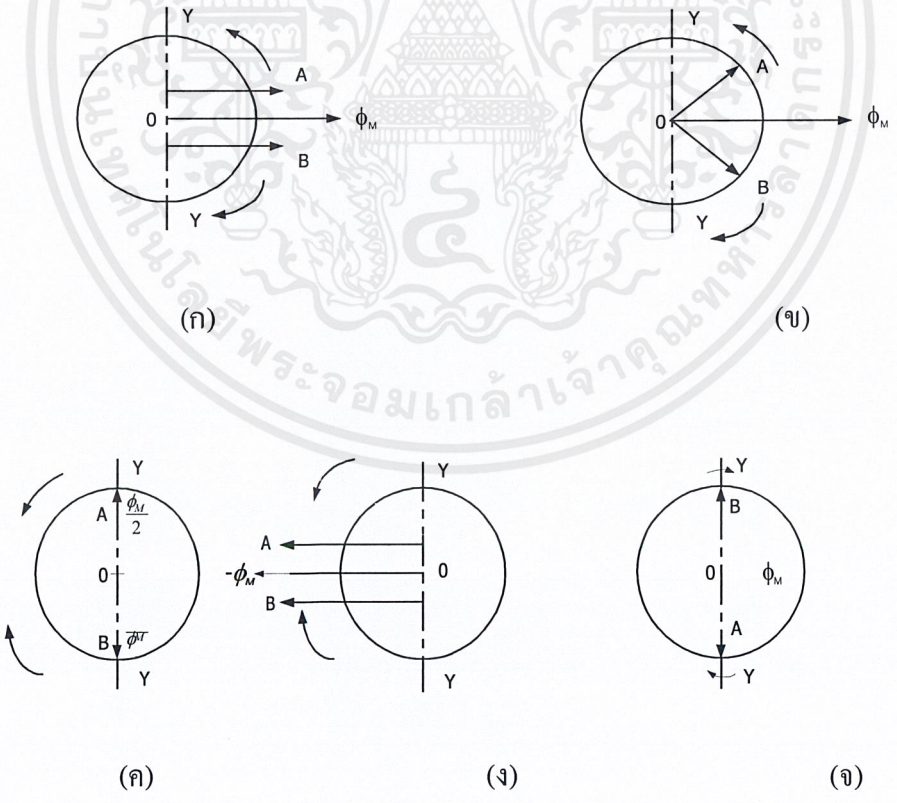
ด้วยตัวมันเองได้ จะหมุนได้ก็ต่อเมื่อโรเตอร์ถูกทำให้หมุนด้วยกรรมวิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่งหมายถึงต้องทำให้เริ่มหมุนด้วยมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ ก่อนซึ่งเมื่อถูกช่วยให้หมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งก่อนแล้ว จะทำให้เกิดแรงบิดและอัตราเร่งขึ้นในโรเตอร์นั้น จนกระทั่งได้ความเร็วเต็มพิกัดของมัน มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนี้มีลักษณะพิเศษที่สามารถอธิบายได้ 2 ทางคือ

ก. ทฤษฎีสนามแม่เหล็กคู่ (Two-field or Double-field Revolving Theory )

ข. ทฤษฎีสนามแม่เหล็กขวาง ( Cross-field Theory )

ในกรณีนี้จะใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็กคู่ในการพิจารณาการหมุนของโรเตอร์ซึ่งไม่ว่าจะใช้ทฤษฎีใดในสองทฤษฎีนี้ต่างก็จะได้ผลลัพธ์เหมือนกัน

ทฤษฎีนี้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์และโรเตอร์แทนด้วยเวคเตอร์ 2 เวคเตอร์ ซึ่งจะมีทิศทางการหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกัน เพราะว่าในมอเตอร์นั้นเปรียบเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทางด้านขดทุติยภูมิลัดวงจรคือโรเตอร์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสเตเตอร์กับโรเตอร์นั้นมีทิศทางตรงกันข้ามกัน

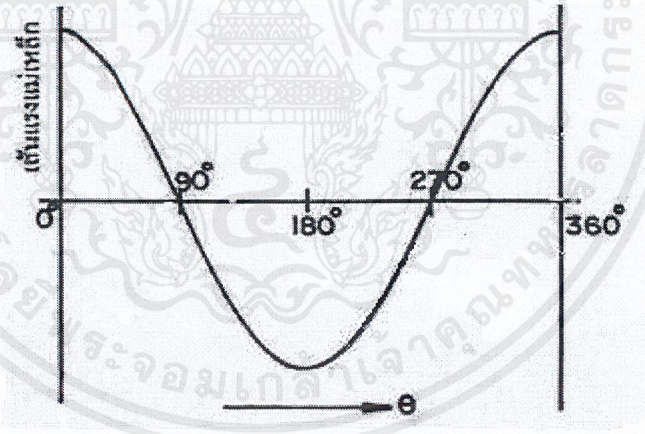



**รูปที่2.1** แสดงการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กหมุนคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1(ก) ให้เส้นแรงแม่เหล็กที่มีค่าสูงสุดคือ $\Phi_m$ ซึ่ง $\Phi_m$ นี้ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก A และ B ซึ่งแต่ละเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ $\Phi_m/2$ และเส้นแรงแม่หล็กทั้งสองจะมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาตามลำดับ และหลังจากที่เส้นแรงแม่เหล็ก A และเส้นแรงแม่เหล็ก B หมุนไปเป็นมุม $+\theta$ และ $-\theta$ ดังรูปที่ 1 (ข) ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากับ $2 \times (\Phi_m/2) \times (\text{Sin}2\theta/2) = \Phi_m \text{Sin}\theta$

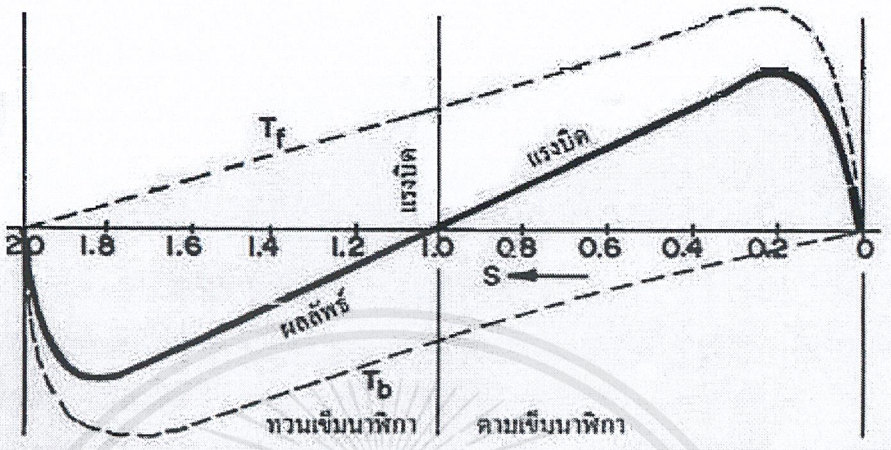
หลังจากที่หมุนไปได้ 1/4 ของไซเคิล เส้นแรงแม่เหล็ก A และ B จะมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ค) ดังนั้นผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กจึงมีค่าเท่ากับศูนย์ (Zero) และหลังจากที่หมุนได้ 1/2 ไซเคิล ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็ก A และ B จะมีค่าเท่ากับ $-2 \times (\Phi_m/2)$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ- $\Phi_m$ เมื่อหมุนได้ 3/4 ของไซเคิล ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.1 (จ) ถ้าเรานำค่าผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กไปเขียนเส้นโค้งคือมุมที่หมุนไปเป็น$\theta$ โดยให้ $\theta$ เท่ากับ 0 องศาจนกระทั่ง $\theta$ เท่ากับ 360 องศา ดังนั้นลักษณะของเส้นโค้งที่ได้จึงมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นการหมุนที่ความเร็วซิงโครนัส




**รูปที่ 2.2** แสดงผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็ก

เส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองที่หมุนอยู่รอบๆ สเตเตอร์นั้นจะตัดกับโรเตอร์ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นและเป็นผลทำให้เกิดแรงบิด จะเห็นได้ว่ามีแรงบิดเกิดขึ้น 2 ส่วนหรือ 2 แรงบิด เรียกว่าแรงบิดข้างหน้า ( Forward Torque) และแรงบิดถอยหลัง ( Backward Torque) ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ดังนั้นผลรวมของแรงบิดจึงมีค่าเท่ากับความแตกต่างของแรงบิดทั้ง 2 นั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.3** แสดงแรงบิดที่เกิดขึ้น

จะได้กำลังที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์คือ

$$Pg = [(1-S)/S](I_2)^2R_2 \qquad (2.1)$$

และแรงบิดที่เกิดขึ้นในโรเตอร์

$$Tg = (1/2\pi N/60)[(1-S)/S](I_2)^2R_2 \qquad (2.2)$$

เมื่อ

$$N = Ns(1/S) \qquad (2.3)$$

ดังนั้น

$$Tg = (1/2\pi Ns/60)[(I_2)^2R_2$$

$$= K[(I_2)^2R_2/S] \qquad (2.4)$$

เมื่อ $$K = 1/2\pi Ns/60 \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแรงบิดข้างหน้าจะได้ว่า

$$Tf = K[(I_2)^2 R_2/S] \quad (2.6)$$

และแรงบิดถอยหลังจะได้

$$Tb = K(I_2)^2 R_2/(2-S) \quad (2.7)$$

เมื่อ

$$S = (Ns-N)/Ns$$
$$= 1-(N/Ns) \quad (2.8)$$

และ

$$Sb = [Ns-(-N)]/Ns$$
$$= 1+N/Ns$$
$$Sb = 1+(1-S)$$
$$Sb = (2-S) \quad (2.9)$$

แรงบิดทั้งหมด

$$T = Tf+Tb \quad (2.10)$$

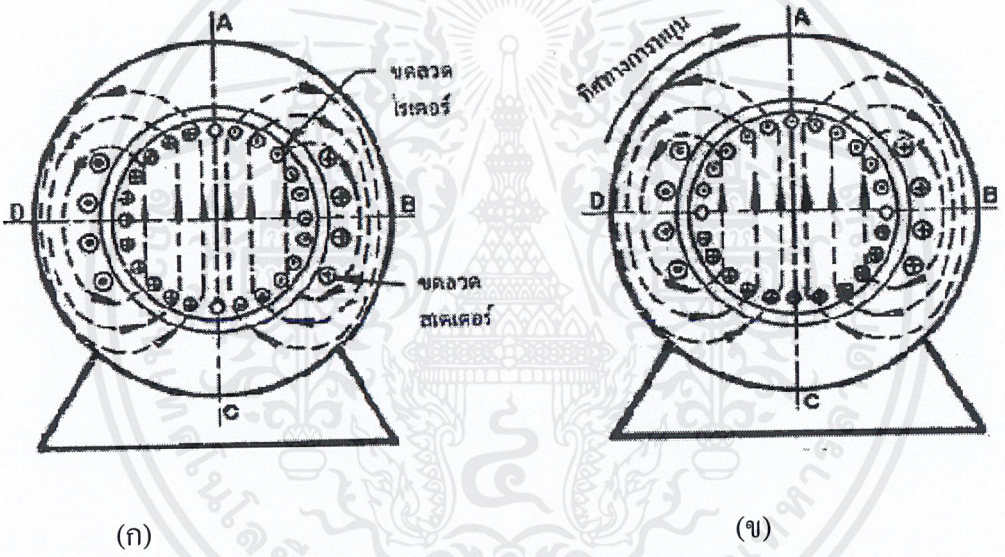
จากรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นแรงบิดทั้งสองและผลรวมของแรงบิด เมื่อความแตกต่างของความเร็วระหว่าง 0 และ +2 ที่ตำแหน่งหยุดนิ่ง S = 1 และ ( 2 – S ) ดังนั้น Tf และ Tb จะมีค่าเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน ผลที่ได้คือไม่มีแรงบิดเกิดขึ้น

**2.2.1 ทฤษฎีสนามแม่เหล็กขวาง**

จากรูป 2.4 ( ก ) ถ้าโรเตอร์อยู่ในสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในโรเตอร์โดยปฏิกิริยาเช่นเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในโรเตอร์และเกิดสนามแม่เหล็กในโรเตอร์นั้น สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำนี้จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์และมีค่าเท่ากัน ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์คือโรเตอร์จะไม่หมุน เนื่องจากการหักล้างกันระหว่างสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับโรเตอร์ ดังนั้นจึงไม่เกิดการหมุน หรือไม่เกิดแรงบิดเริ่มหมุนขึ้นในมอเตอร์ แต่แรงบิดจะเกิดขึ้นในโรเตอร์และโรเตอร์หมุนได้ โดยการที่ตัวนำในโรเตอร์ตัดกับสนามแม่เหล็กจึงเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น กระแสจะไหลวนเวียนอยู่ในแท่งตัวนำในโรเตอร์ ถ้าตัวนำที่โรเตอร์ถูกทำให้หมุนไปจากตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

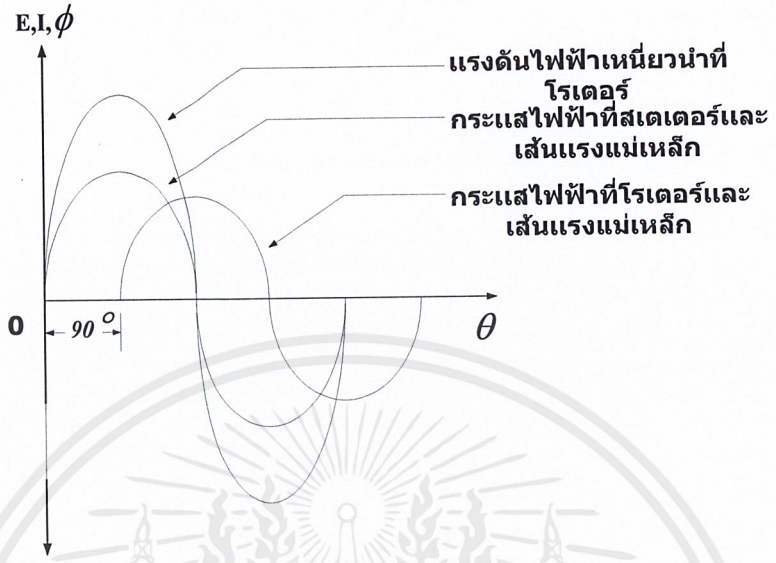
A ไปยังตำแหน่ง B ทำมุมฉากกับตำแหน่งเดิม ตัวนำในโรเตอร์จะเกิดการตัดกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ( ข ) ซึ่งตำแหน่งนี้เหมือนกับเครื่องกลไฟฟ้า 2 เฟสต่อเข้ากับแหล่งจ่าย 2 เฟส ในขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กก็จะแยกออกเป็น 2 ระบบคือต่างเฟสกันอยู่ 90 องศา และมีกระแสไฟฟ้าในสเตเตอร์และโรเตอร์ก็จะต่างเฟสกันด้วย แต่ถึงอย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้วกระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์จะต่างเฟสกับกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์ เพราะว่าที่โรเตอร์นั้นความถี่เปลี่ยนไป ซึ่งความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์จะขึ้นอยู่กับความเร็วของโรเตอร์ ผลลัพธ์ที่ได้ของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองนี้แสสดงได้ดังรูปคลื่นในรูปที่2. 5




(ก) (ข)

**รูปที่ 2.4** แสดงทิศทางการเกิดกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กในโรเตอร์ของ Induction Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



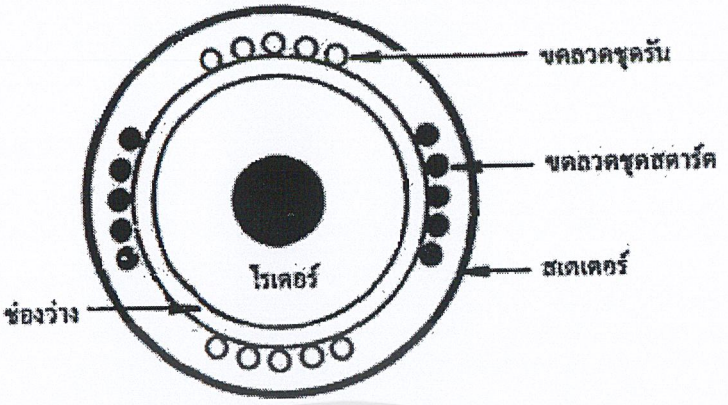

**รูปที่2.5** แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว เป็นมอเตอร์ชนิดทำงานโดยอาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 แบบ

ก. เครื่องกลชนิดโรเตอร์กรงกระรอกได้แก่ สปลิตเฟสมอเตอร์ คาปาซิเตอร์มอเตร์ และเชดเดดโพลมอเตอรเครื่องกลชนิดโรเตอร์พันขดลวด ได้แก่ซีรีส์มอเตอร์ และรีพัลชั่น

ข. มอเตอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจะประกอบด้วยขดลวด2ชุดคือ ขดลวดชุดสตาร์ท หรือขดลวดช่วย( Starting Winding or Auxilliary Winding )และขดลวดชุดรันหรือขดลวดชุดหลัก ( Running or Main Winding )ขดลวดทั้งสองจะวางทำมุมกัน 90 องศาทางไฟฟ้า แล ต่อคร่อมเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าเฟสเดียว ลักษณะตำแหน่งของขดลวดแสดงได้ดังรูปที่2. 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.6** ตำแหน่งการวางขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนี้

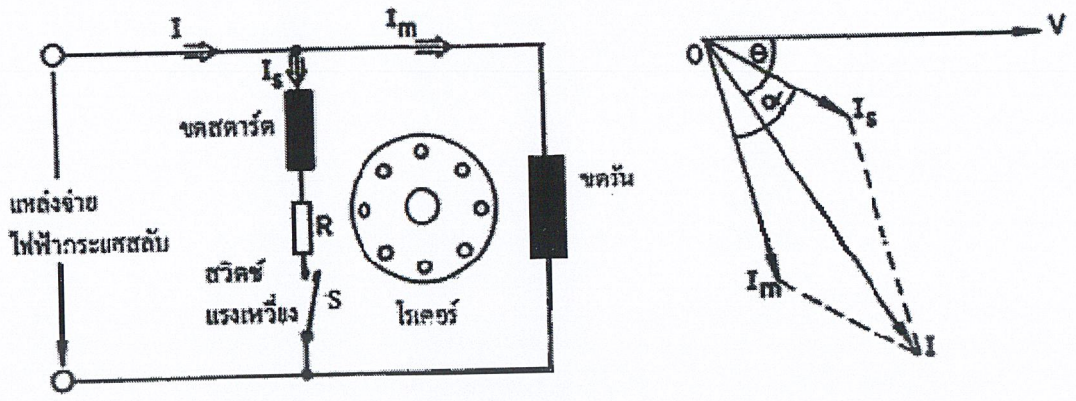
มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนี้ อาศัยความต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดทั้งสองบนสเตเตอร์ที่วางทำมุมกัน 90 องศา ดังนั้นมอเตอร์จะมีคุณสมบัติหรืออาการเช่นเดียวกับมอเตอร์ 2 เฟส กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดทั้งสองจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน จึงทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนด้วยตัวเองได้

**สปลิทเฟสมอเตอร์ (Split Phase Motor)**

มอเตอร์ชนิดนี้ขดลวดชุดรันจะเป็นลวดเส้นโตมีความต้านทานต่ำแต่มีค่ารีแอกแตนซ์ ส่วนขดลวดชุดสตาร์ตเป็นลวดเส้นเล็กมีความต้านทานสูงแต่ค่ารีแอกแตนซ์ต่ำ ความต้านทานของขดลวดชุดสตาร์ตอาจทำให้มีค่าความต้านทานสูงขึ้นได้ โดยการต่อความต้านทาน (R) ภายนอกอนุกรมเพิ่มเข้ากับขดลวดชุดหรือโดยการเลือกใช้ลวดทองแดงชนิดที่มีความต้านทานสูงใช้พันขดลวดชุดสตาร์ตก็ได้วงจรของสปลิตเฟสมอเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.7(ก)

จากรูปเวกเตอร์ในรูปที่ 2.7(ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดชุดสตาร์ทเป็น Is โดยจะไหลล้าหลังแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์อยู่ที่มุมเล็ก ๆ ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดชุดรันเป็น Im จะไหลล้าหลังแรงดันไฟฟ้า (V) อยู่เป็นมุมมาก มุมระหว่างเฟสของ Is และ Im จะเป็นมุมมาก ทำให้เกิดแรงบิดขณะเริ่มหมุนขึ้น แรงบิดขณะเริ่มหมุนของสปลิทเฟสมอเตอร์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ Sin$\alpha$ สวิตช์แรงเหวี่ยงSที่ต่ออนุกรมอยู่กับขดลวดชุดสตาร์นั้นจะติดตั้งอยู่ภายในตัวมอเตอร์ ซึ่งมันจะทำงานโดยอัตโนมัติคือจะเปิดวงจรหรือตัดขดสตาร์ออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเมื่อมอเตอร์หมุนมความเร็วประมาณ 70-80% ของความเร็วสูงสุด

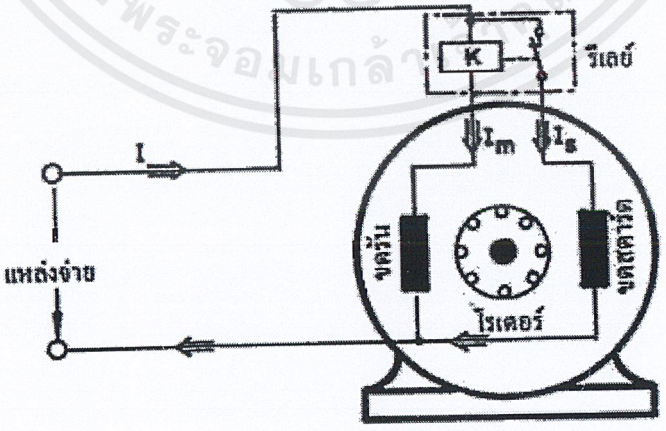
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(ก) (ข)

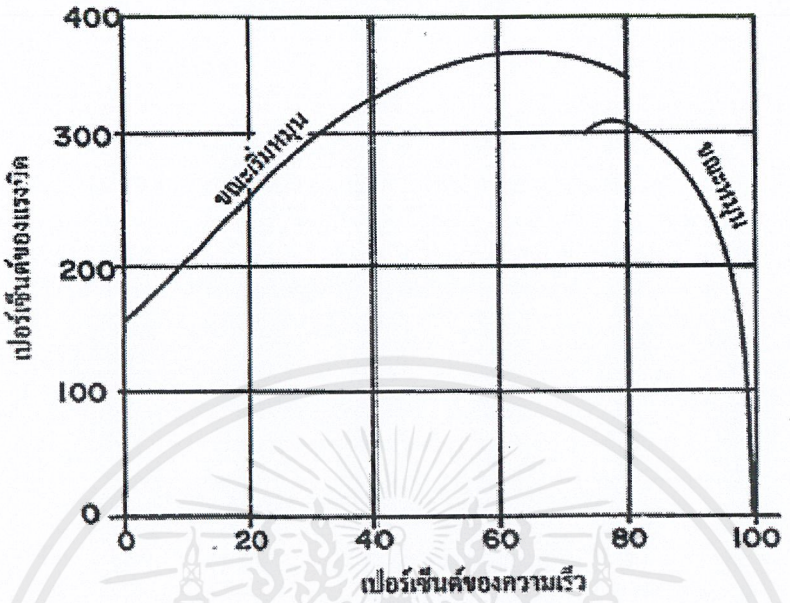
**รูปที่2.7** แสดงวงจรและเวกเตอร์ไดอะแกรมของสปลิทเฟสมอเตอร์

ในกรณีของสปลิทเฟสมอเตอร์ที่เป็นแบบปิดหมดที่ใช้ในเครื่องทำความเย็น จะใช้รีเลย์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Reley ) ติดตั้งไว้ภายนอกแทนการใช้สวิตช์แรงเหวี่ยงดังแสดงในรูปที่ 8 ขดลวดรีเลย์จะต่ออนุกรมกับขดลวดชุดรัน และคอนแทคทั้งสองปกติจะเปิดและต่อเข้ากับขดลวดชุดสตาร์ท ในช่วงขณะเริ่มสตาร์ทกระแสจะมีค่ามาก คอนแทคของรีเลย์จะปิดทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล ทำมอเตอร์เริ่มสตาร์ทได้ หลังจากที่มอเตอร์หมุนไปได้ประมาณ 75% ของความเร็วสูงสุด จะลดลงมีค่าต่ำ ทำให้คอนแทครีเลย์เปิด คุณลักษณะระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบของสปลิตเฟสมอเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.9




**รูปที่2.8** แสดงการใช้รีเลย์แม่เหล็กแทนสวิตช์แรงเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

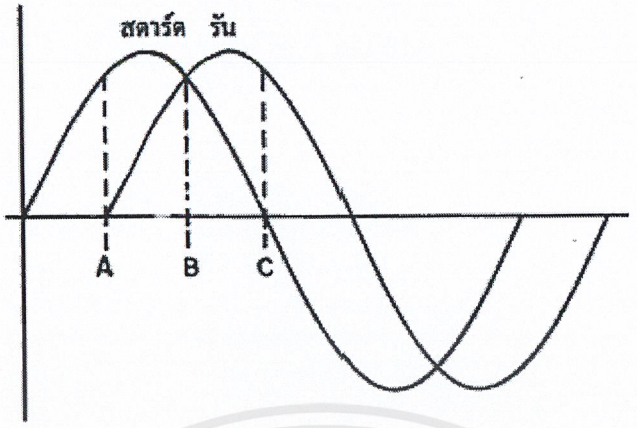



**รูปที่2.9** แสดงคุณลักษณะระหว่างแรงบิดกับความเร็วของสปลิทเฟสมอเตอร์

สปลิทเฟสมอเตอร์เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำงานโดยกระแสไฟฟ้า แต่ถูกแยกออกเป็น 2 เฟส ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในสเตเตอร์ สำหรับการเริ่มหมุนกระแสไฟฟ้าหนึ่งเฟสจะถูกแยกออกเป็น 2 เฟสโดยขดลวดสองชุดคือ ขดรัน และขดสตาร์ทหรือขดช่วย โดยการวางขดลวดทำมุม 90 องศาทางไฟฟ้าซึ่งกันและกันอยู่ที่สเตเตอร์ขดสตาร์ตจะต่ออนุกรมเข้ากับสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ( Centrifugal Switch ) ซึ่งจะเปิดวงจรออกเมื่อความเร็วของมอเตอร์ได้ประมาณ 75% ของความเร็วสูงสุด

ความต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดทั้งสองนั้น มีความสัมพันธ์อยู่กับค่ารีแอเตอร์แตนซ์ของขดลวดทั้งสองขด และมุมที่แตกต่างกันของขดลวด ขดลวดชุดสตาร์ตจะพันด้วยจำนวนรอบที่น้อยและเป็นลวดเส้นเล็ก ด้วยจำนวนรอบที่น้อยทำให้ค่ารีแอกแตนซ์มีค่าต่ำ และขดลวดเส้นเล็กจะมีค่าความต้านทานสูงซึ่งจะช่วยจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหล ดังนั้นกระไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดชุดสตาร์ตจึงถูกจำกัดให้มีค่าน้อยด้วยค่าของรีแอกแตนซีเนื่องจากจำนวนน้อยรอบ ส่วนขดลวดชุดรันนั้นพันด้วยลวดเส้นโตและมีจำนวนรอบมาก เนื่องจากขดลวดเส้นโตมีค่ารีแอกแตนซ์สูง การทำงานของขดลวดทั้งสองในสปลิทเฟสมอเตอร์ และการเกิดสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.11ซึ่งเป็นมอเตอร์ชนิดสองขั้ว ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ขดสตาร์ทและขดรันแสดงได้ดังรูปคลื่นในรูปที่210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.10** แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าในสปลิทเฟสมอเตอร์




(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 2.11** แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจากขดสตาร์ทและขดรัน ของสปลิทเฟสมอเตอร์

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสลับให้กับขดลวดทั้งสอง เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ขดลวดสตาร์ท จะเกิดขึ้นก่อนเนื่องจากมีค่ารีแอกแตนซ์ต่ำ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดสตาร์ตจะนำหน้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดรันดังรูปที่ 2.10 ที่ตำแหน่ง A และเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดสตาร์ทจะนำหน้าเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดรัน ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดสตาร์ทในสเตเตอร์นั้นแสดงในรูปที่211(ก)ที่ตำแหน่ง B บนรูปคลื่นในรูปที่ 10 กระแสไฟฟ้าที่ขดสตาร์ทและขดที่ขดรันทั้งสองจะทำให้เกิดเส้น

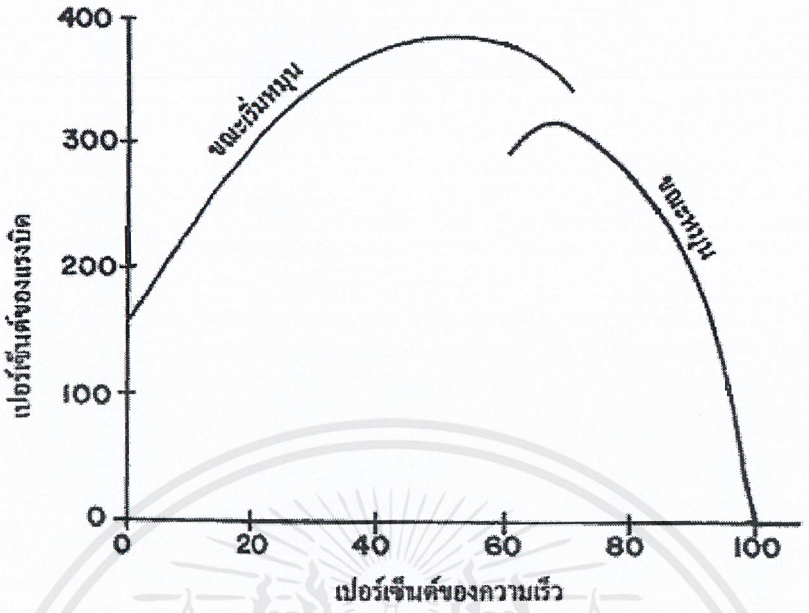
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงแม่เหล็กขึ้นจากขดลวดทั้งสอง ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะเคลื่อนที่หรือหมุนไปจากจุดเริ่มต้นไปในสเตเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.11(ข) ที่ตำแหน่ง C บนคลื่นในรูปที่ 2.10 กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดสตาร์ทจะมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดรันจะมีค่าสูงสุด ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดสตาร์ทจะมีค่าเป็นศูนย์ด้วย ส่วนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดรันในสเตเตอร์จะมีค่ามาก ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.11(ค) จะเห็นว่าเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นจากขดรันเพียงอย่างเดียวและจะเป็นเช่นนี้อย่างต่อเนื่องกันไป กรรมวิธีที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลให้เกิดสนามแม่เหล็กหรือเส้นแรงแม่เหล็กหมุนในสเตเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์จะตัดกับตัวนำที่ฝังอยู่ในโรเตอร์ ทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำที่โรเตอร์และกระแสไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นนี้จะให้เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นในโรเตอรีเช่นเดียวกับแม่เหล็กของสเตเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองจะทำปฏิกิริยากันทำให้เกิดแรงบิดขึ้นในโรเตอร์ โรเตอร์จะหมุนและที่ 75% ของความเร็วสูงสุดสวิตช์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์จะเปิดวงจรของขดสตาร์ตออก ทำให้ขดสตาร์ทไม่ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า คุณลักษณะที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเปอร์เซนต์ของความเร็วแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 จากรูปคุณลักษณะจะเห็นว่าแรงบิดขณะเริ่มหมุนจะมีค่า150-200 เปอร์เซ็นต์ ของแรงบิดขณะเมื่อมีโหลดเต็มที่ และกระแสไฟฟ้าในขณะเริ่มหมุนจะมีค่าประมาณ6-8 เท่าของกระแสไฟฟ้า ขณะที่มีโหลดเต็มที่ มอเตอร์ชนิดนี้จะมีขนาด 1/20 ถึง 1/3 แรงม้าหรือประมาร 40-250 วัตต์ ความเร็วระหว่าง 2880-720 รอบ ต่อ นาที

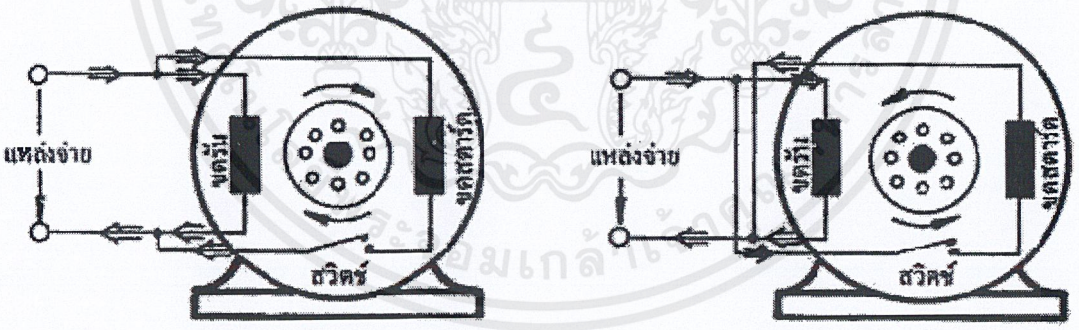
การกลับทิศทางการหมุนของสปลิตเฟสมอเตอร์นั้นสามารถกระทำได้ดังรูปที่ 2.13 โดยการกลับทิศทางการต่อของขดลวดชุดสตาร์ท เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความเร็วของสปลิตเฟสมอเตอร์นั้นใกล้เคียงกับมอเตอร์ 3 เฟส คือจะมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 2% ถึง 5% ในระหว่างไม่มีโหลดและขณะที่มีโหลดเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง


**รูปที่ 2.12** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเปอร์เซนต์ของความเร็ว




(ก) หมุนตามเข็มนาฬิกา (ข) หมุนทวนเข็มนาฬิกา

**รูปที่ 2.13** แสดงการต่อขดลวดชุดสตาร์ทเพื่อกลับทิศทางการหมุน

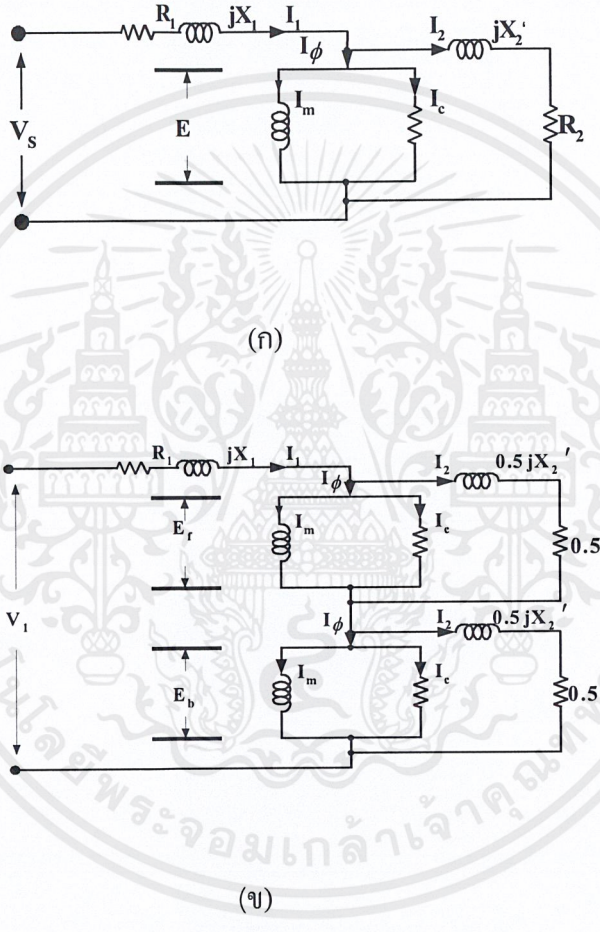
**2.1.2วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส**

เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำอาศัยหลักการทำงานเดียวกันกับหม้อแปลง จะต่างกันตรงที่ว่ามอเตอร์จะมีส่วนที่สองเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงต้องเขียนวงจรสมมูลย์ได้เช่นเดียวกับหม้อ-แปลงดังรูปที่ 2.14 การคำนวณหาค่าต่างๆ เช่น กำลังไฟฟ้าและแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสนี้จะมีวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45962

คิดอยู่ 2แบบคือ ทฤษฎีสนามแม่เหล็กคู่(dubble revoliving-field theory)และทฤษฎี-สนามแม่เหล็กขวาง(cross –field theory) ซึ่งทั้ง 2วิธีนี้จะให้ผลที่เหมือนกัน ในการคำนวณหาค่าต่างๆในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1เฟสนี้จะต่างจากมอเตอร์ 3$\phi$คือจะมีผลของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลัง




**รูปที่2.14**

(ก) เป็นวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ขณะอยู่กับที่(โดยไม่มีขดสตาร์ทต่ออยู่)

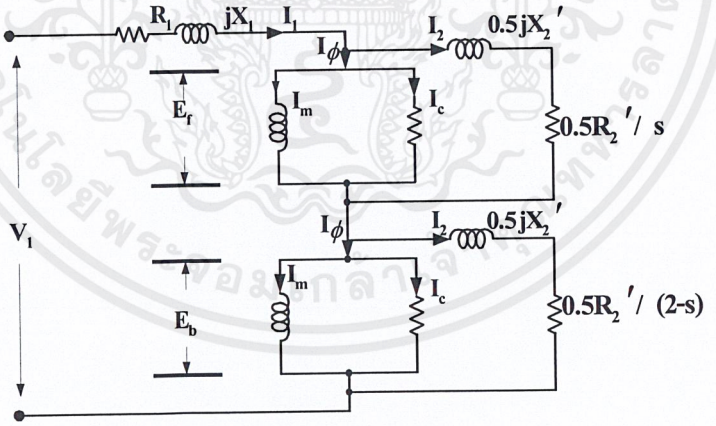
(ข) เป็นวงจรสมมูลย์ของเหนี่ยวนำ 1เฟสซึ่งจะมีผลของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลังจากรูปที่3(ก) $R_1$ และ $X_1$ ค่าความต้านทานและค่ารีแอแตนซ์ ในขดลวดสเตเตอร์,$X_m$คือค่ารีแอคแตนซ์ที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งจะสามารถหาค่านี้ได้จาก noload test ,$R_2$และ $X_2$ คือค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ในโรเตอร์ที่ย้ายข้างมาอยู่ที่ stator ส่วนcoreloss ขณะนี้จะจัดให้เป็น loss คงที่โดยจะนำไปรวมกับ loss ทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14 (ข) เมื่อมีการจ่ายแรงดันเข้ามาที่ขดลวด จะทำให้เกิดผลสนามแม่เหล็กคู่ สนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลัง แต่มอเตอร์จะยังไม่สามารถหมุนได้ ซึ่งในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสนี้จะต้องมีขดช่วยสตาร์ทมาช่วยในการเริ่มหมุนแลเมื่อ-มอเตอร์เริ่มหมุนไปได้switch อัตโนมัติก็จะตัดขด สตาร์ทออกไป ทำให้เมื่อคำนวณหาค่าต่างๆในมอเตอร์ขณะหมุนอยู่จึงไม่ต้องนำค่าพารามิเตอร์ของขดสตาร์ทมาคิด

ในสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า(forward magnetic field) จะมีค่าความแตกต่างของความเร็วของโรเตอร์และความเร็วของสนามแม่เหล็ก(Nsyn) คือslip(s) การคำนวนาค่า ความต้านทานของในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสก็จะแปรตามค่า slip หรือแปรตามโหลดเพราะฉนั้น ค่าความต้านทานในโรเตอร์เมื่อคิดในสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าจะมีค่าเท่ากับ0.5R2/s

ในสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าจะมีความเร็วเป็นNsyn และสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลังมีความเร็วเป็น- Nsynซึ่งความแตกต่างระหว่าง forward กับ reverse magneticfiled คือ (2-S) เพราะฉนั้นค่าความต้านทาน เมื่อคิดไปในทางของสนามแม่เหล็กหมุนกลับหลังคือ $\frac{0.5R_2'}{(2-s)}$ ซึ่งวงจรสมมูลย์สุดท้ายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสดังรูปที่15



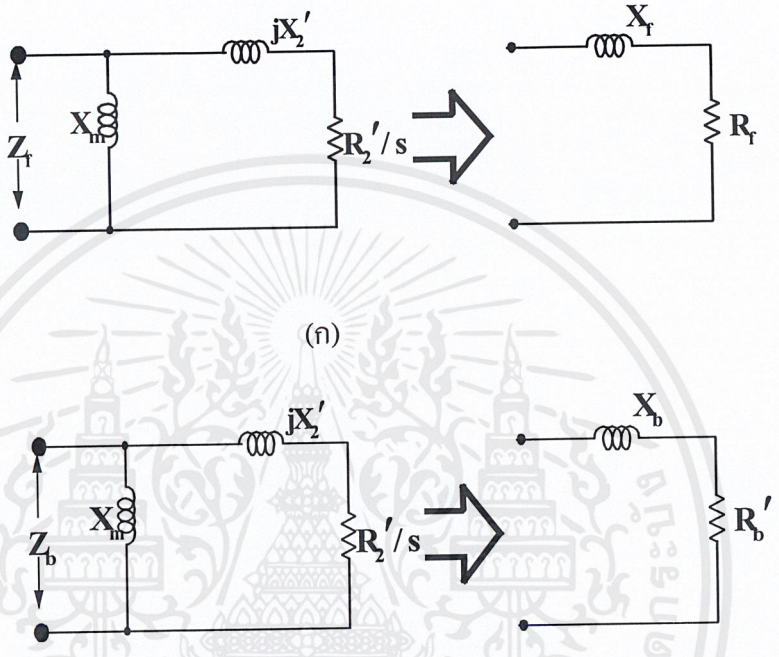

**รูปที่2.15** วงจรสมมูลย์ขณะมอเตอร์หมุนอยู่

**2.1.3การคำนวณหาค่าต่างๆใน single phase induction motor**

จากวงจรสมมูลย์รูปที่2.15 จะมีสนามแม่เหล็ก2ทาง คือ หมุนไปหน้าและหมุนกลับซึ่งการคำนวณหาค่า กำลังไฟฟ้า,แรงบิด,copperloss จะต้องมีการพิจารณาถึงผลของสนามแม่เหล็กหมุนไปหน้าและหมุนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาค่ากระแสอินพุท $I_1$ จำเป็นจะต้องทราบค่า $z_f$ และzbกล่าวคือ $z_f$ คือ อิมพีแดนซ์ของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า(forward magnetic field impedance) $z_b$ คือ อิมพีแดนซ์ของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลัง(blackward maneticfield impedance)ดังรูปที่2.16




**รูปที่ 2.16**

(ก) วงจรสมมูลย์ของ $z_f$

(ข) วงจรสมมูลย์ของ $z_b$

จะได้สมการ

$$Z_f = R_f + j X_f = \frac{(R_2 / s)(jXM)}{(R_2 / s) + (jXm)} \qquad (2.11)$$

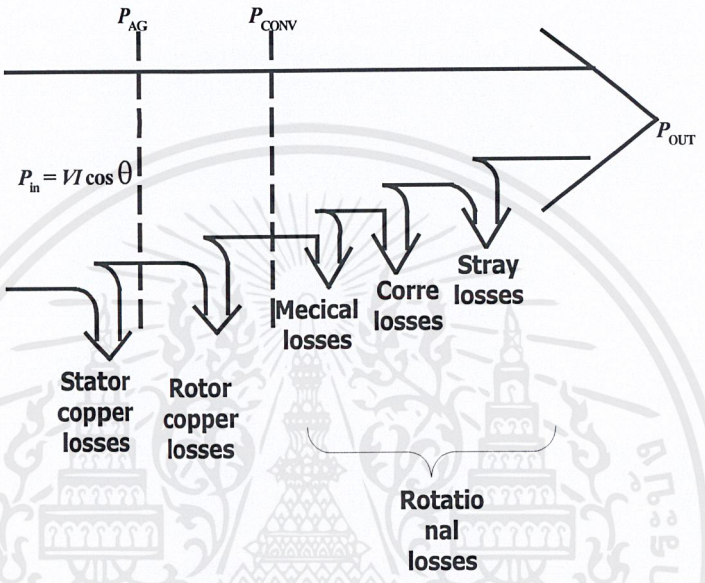
$$Z_b = R_b + j x_b = \frac{(R_2 / 2 - s)(jXM)}{(R_2 / 2 - s) + (jXm)} \qquad (2.12)$$

ซึ่งสามารถหาค่ากระแสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_1 = \frac{V}{(R_1 + jX_1) + (0.5Z_f + 0.5Zb)} \quad (2.13)$$

**2.1.4การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า**




**รูปที่2.17** แสดงแผนภูมิการ flow ของ พลังงานในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

กำลังงาน input power ที่ให้กับมอเตอร์คือ $V_1I_1\cos\theta$ กำลังงานที่ส่งจาก stator ผ่านairgap เรียกว่า air gap power ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสูตรโดยค่าที่ได้เกิดจากความแตก ต่างระหว่าง $P_{AGF}$ และ $P_{AGB}$

$P_{AGF}$ กำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่าน air gap เมื่อพิจารณาในสนามแม่เหล็กไปข้างหน้าจะได้

$$P_{AGF} = I_1^2 \cdot 0.5.(R_F) \quad (2.14)$$

$P_{AGB}$ กำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่าน air gap เมื่อพิจารณาในสนามแม่เหล็กไปข้างหลังจะได้

$$P_{AGB} = I_1^2 \cdot 0.5.(R_B) \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้องการผลของกำลังที่ส่งผ่าน air gap จะได้ว่า

$$PAG = P_{AGF} - P_{AGB} \quad (2.16)$$

และแรงบิดที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของมอเตอร์

$$\tau ind = \frac{P_{AG}}{N_{SYN}} \quad (2.17)$$

และเมื่อโรเตอร์ได้รับพลังงานที่ส่งผ่านมาทางairgap แล้วก็จะสูญเสียในตัวของโรเตอร์เองอีกซึ่งก็คือ ROTOR COPPER LOSS ซึ่งผลรวมของการสูญเสียทั้งด้านสนามแม่เหล็กหมุนไปข้าหน้า (Rotor copper loss due the forrward field ,$P_{RCL,F}$) และ สนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลัง (Rotor copper loss due the forrward field ,$P_{RCL,B}$)

$$P_{RCL} = P_{RCL,F} + P_{RCL,B} \quad (2.18)$$

ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร

$$P_{RCL,F} = S.P_{AGF} \quad (2.19)$$

$$P_{RCL,B} = (2\text{-}S).P_{AGB} \quad (2.20)$$

กำลัง out put ของ rotor จะถูกแทนด้วย $P_{conv}$ สามารถหาได้จาก

$$P_{conv} = \tau ind \ . \ \omega_M \quad (2.21)$$

จาก $\omega_M = (1\text{-}S)\,\omega_{SYNC}$

$$P_{conv} = \tau ind \ .(1\text{-}S)\,\omega_{SYNC} \quad (2.22)$$

$$P_{conv} = (1\text{-}s)\,P_{AG} \quad (2.23)$$

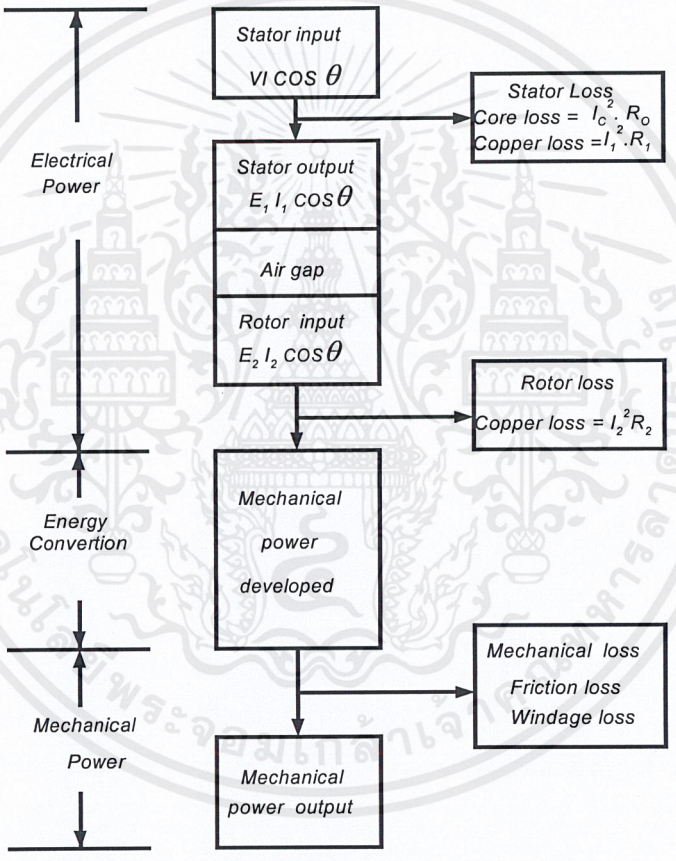
ซึ่ง กำลัง out put ของมอเตอร์จะได้จากการนำ $P_{CONV}$ ไปหักลบออกจาก Fixed Lossคือ (coreloss, mechanical loss) ซึ่งจะได้ว่าstray loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Pout = P_{CONV} - FIEXD\ LOSS \quad (2.24)$$

**2.1.5การเปลี่ยนกำลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส**

การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังงานกล ของอินดักชั้นมอเตอร์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10




**รูปที่ 2.18** แผนภูมิการเปลี่ยนกำลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1

**2.1.6 เมื่อมีการควบคุมแรงดันขาเข้า**

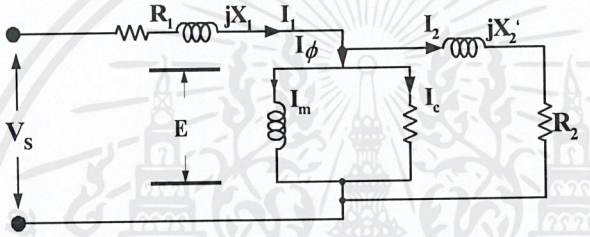
จากแผนภูมิรูปที่10แสดงให้เห็นว่ามี lossหรือกำลังไฟฟ้าสูญเสียเกิดในหลายส่วนด้วยกันในการ แปลงพิสัยของกำลังไฟฟ้าให้เป็นกำลังงานกล และจากวงจรรูปที่8จะมีloss อยู่ชนิดหนึ่ง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

core Loss ซึ่งเราจะจัดให้เป็น loss ที่คงที่ซึ่งเกิดจาก $Ic_2 . R_o$ ซึ่งกำลังส่วนนี้จะสูญเสียจาก $V_1. I_1. \cos \phi$ ถ้าไม่คิดกำลังสูญเสียจากส่วนอื่นกำลังเอาท์พุทจะได้ดังสมการ

$$V_1 . I_1 . \cos \phi = I_C^2 . R_O \quad (2.25)$$

โดยที่ $R_O$ คือ ความต้านทานที่เกิดจากการสูญเสียในแกนเหล็ก (หาได้จาก NOLOAD TEST) $I_C$ กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก(หาได้จาก NOLOAD TEST)




**รูปที่ 2.19** เป็นวงจรสมมูลย์ของเหนี่ยวนำ 1เฟสเมื่อมีการคิดการสูญเสียในแกนเหล็ก

จากวงจรสมมูลย์รูปที่ 11 จะเห็นได้ว่า ที่ $R_O$ นั้นจะมีแรงดันตกคร่อม เท่ากับ$V_1$ และ $I_c$ จะมีค่าเท่ากับ V1/RO แต่เนื่องจากและเนื่องแกนเหล็กจะมีอยู่ 2ตัวแปรที่เข้ามาเกี่ยวข้องคือ $V_1$ กับ $I_C$ จะได้สมการของ core lossคือ

$$P_{CORE\ LOSS} = I_C^2 R_O \quad (2.26)$$

จากสมการจะเห็นว่า Pcoreloss จะแปรผันตรงกับแรงดัน $V_1$เมื่อแรงดัน $V_1$มีค่าลดลง จะทำให้-ค่ารงดันที่ตกคร่อม $R_O$ มีค่าลดลงและจะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าลดน้อยลงจากหลักการดังกล่าวจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับมอเตอร์ได้ เมื่อ $V_1$มีค่าลดลงจะทำให้ค่า P.f ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น คือ ค่า$V_1$ จะแปรผกผันกับค่า P.F

$$\cos \phi = \frac{I^2 . R_0}{V_1 I_1} \quad (2.27)$$

$$P_{CORE\ LOSS} \propto V_1 \quad (2.28)$$

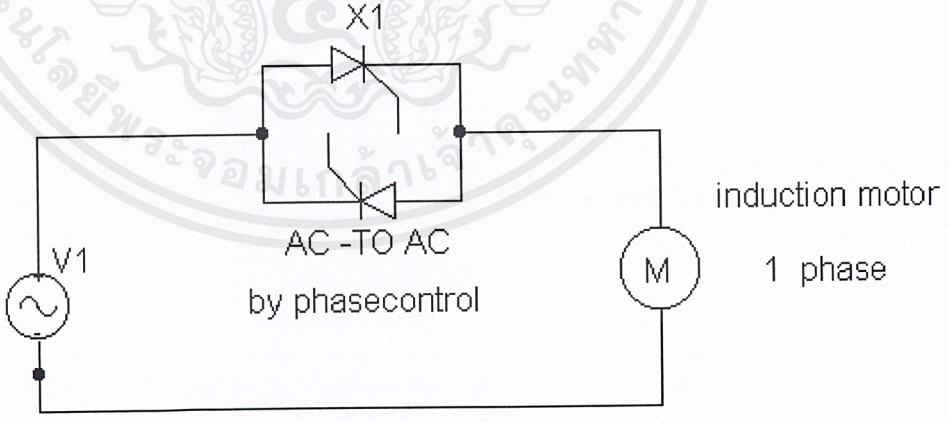
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\cos\phi \quad \propto 1/2 \quad V_1 \qquad (2.29)$$

แต่การลดระดับแรงดันลงมาจะสามารถลดระดับแรงดันของแรงดันได้จำนวณหนึ่งเท่านั้น คือ ลดให้พอเหมาะสมกับโหลดที่มอเตอร์ขับอยู่ มิใช่ลดจนมอเตอร์ไม่สามารถทำงานได้ จนเกิดอาการ over load คือ motor ได้รับแรงดันไม่พอกับการขับโหลดนั้น

ที่ผ่านมาเมื่อมีการคงแรงดันไว้คงที่ และจะให้core loss เป็นloss ที่คงที่ (fiexd loss)จึงไม่นำมารวมกับ loss ที่แปรผัน ซึ่งจะทำให้ ไม่ว่าโหลดที่มอเตอร์ขับอยู่จะมากหรือน้อย มอเตอร์ก็จะสูญเสียกำลังในส่วนนี้ไปโดยเปล่าประโยชน์ จากการศึกษาพบว่า core loss มีค่าค่อนข้างมาก การสูญเสียกำลังในช่วงดังกล่าวนี้ส่งผลให้ ค่า power factor และประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าต่ำในช่วงที่มอเตอร์ขับโหลดปานกลาง หรือ โหลดเบา จากหลักการดังกล่าวจึงได้นำมาปรับปรุงการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยอาศัยหลักการควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์ของ motor ให้มีปริมาณที่พอเหมาะกับภาระทางกลของmotor ในขณะนั้นด้วยวิธีควบคุมมุมจุดฉนวนให้กับ SCR หรือ ชุด AC-TO- AC

## 2.3.เฟสคอนโทรล




**รูปที่2.20** แสดงวงจรควบคุมแรงดันแบบ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การควบคุมแรงดันแบบ 1 เฟส**

จากวงจรเมื่อโหลดประกอบด้วยตัวต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ ในขณะทำงานจะมีเอสซีอาร์ทำงานนำกระแสเพียง 1 ตัวในช่วงครึ่งไซเคิลแรก และเปลี่ยนเป็นอีกตัวหนึ่งในอีกครึ่งไซเคิลถัดไป ถ้าในช่วงหนึ่งเราพิจารณาให้ SCR1 ทำงานนำกระแส เราจะใช้สมการกระแสในSCR1 คือ

$$I_{SCR1} = \frac{\sqrt{2}V\left[\sin(\omega t - \phi) - \sin(\alpha - \phi)e^{(R/L)(\alpha-\omega t)\omega}\right]}{Z} \qquad (2.30)$$

$$Z = \left[R^2+\omega L^2\right]^{1/2} \qquad \Omega \qquad (2.31)$$

$$\phi = \tan^{-1} \phi\omega t \qquad (2.32)$$

ที่มุมหยุดนำหระแส($\omega t=\beta$) ; I =0 อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นจากสมการได้ความสัมพันธ์

$$\sin(\beta-\phi) = \sin(\alpha-\phi)e^{(R/L)(\alpha-\omega_t)/\omega} \qquad (2.33)$$

$$\gamma = \beta-\alpha \qquad (2.34)$$

$\beta$ คือ มุมที่เอสซีอาร์หยุดนำกระแส

$\phi$ คือ มุมโหลด

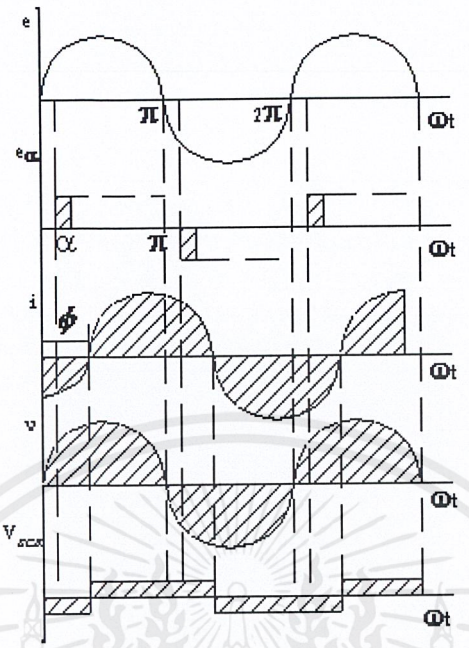
$\alpha$ คือ มุมที่เอสซีอาร์เริ่มนำกระแส

$\gamma$ คือ ช่วงการนำกระแสของเอสซีอาร์คิดเป็นองศา

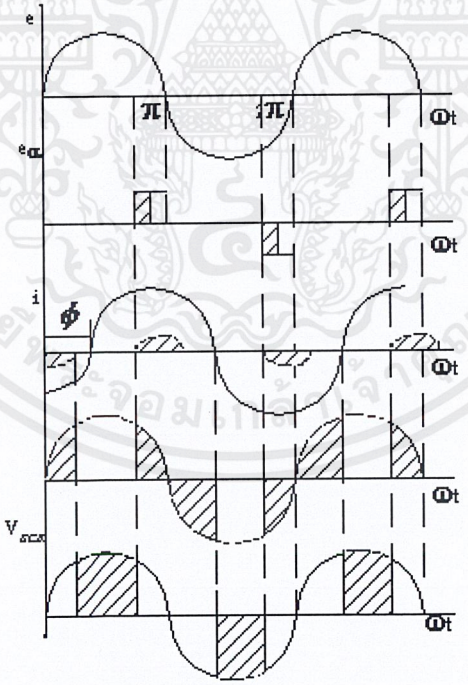
ถ้า $\alpha<\phi$ เมื่อให้สัญญาณทริกขาเกทเอสซีอาร์เป็นแบบลองพัลส์ (long pulse) จะทำให้กระแสไหลต่อเนื่องและจะได้รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่โหลดอย่างต่อเนื่องเป็นรูปไซน์ ดังรูป

สำหรับกรณี $\alpha>\phi$ เอสซีอาร์จะทำงานสลับกันตัวละครึ่งไซเคิลโดยจะทำงานคล้ายกับเป็นวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น และให้รูปกระแสและแรงดันขาดตอนเป็นช่วงๆดังในรูปที่2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.21** แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ$\alpha<\phi$




**รูปที่2.22** แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสเมื่อ $\alpha>\phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีเงื่อนไขว่าการนำกระแสต้องไม่เกินมุม γหรือ180องศา ซึ่งเราจะมองเห็นอย่างชัดเจนว่า ขณะที่เราลดมุม $\alpha$ ลงจนกระทั่ง $\gamma = 180$องศา สำหรับกรณี $\alpha=\phi$ เราจะได้รูปคลื่นของกระแสและแรงดันเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์มาก จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง$\alpha,\gamma,\phi,\beta$

จากสมการ และ เมื่อ $\alpha=\phi$ จะได้

$$\sin(\beta-\phi) = \sin(\beta-\alpha) = 0 \qquad (2.35)$$

$$\beta-\alpha = \gamma = 180^\circ \qquad (2.36)$$

## 2.4การสร้างสัญญาณควบคุมมุมจุดชนวนSCRด้วย TCA 785

### 2.4.1 วงจรจุดชนวนเกตแบบควบคุมเฟส (Phase Control Trigger Circuits)

การควบคุมมุมจุดชนวนเกตเอสซีอาร์ หรือไทรแอก หลักการคือควบคุมมุมจุดชนวนเกทแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นที่นิยมในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากการทำงานของวงจรไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิการใช้งาน การออกแบบใช้วงจรรวม (Integrated circuit) เฉพาะงานที่จัดทำเพื่อใช้ควบคุมมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยเฉพาะ เช่น TCA 785 , TCA 780 ซึ่งการใช้วงจรรวมเฉพาะงาน จะทำให้ลดขั้นตอนการออกแบบวงจรและใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์น้อยลง รวมทั้งฟังก์ชันการทำงานที่ให้สมรรถนะการควบคุมที่เชื่อถือได้ โดยตัวอย่างการออกแบบวงจรควบคุมเฟสโดยใช้ TCA 785 สำหรับนำไปใช้ในวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้ และวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

### 2.4.2คุณสมบัติของ TCA785 Integrated Phase Control

TCA785 Integrated Phase Control เป็นวงจรรวมที่สร้างพัลส์จุดชนวนเกท เอสซีอาร์และไทรแอก (ซึ่งจะเรียกรวมว่าไทริสเตอร์) โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่อไปนี้

1. วงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้เต็มที่และครึ่งเดียว (Full and Half Control) ทั้งเฟสเดียวและสามเฟส
2. วงจรควบคุมมุมเฟสแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวและสามเฟส

คุณสมบัติเด่นหลายประการของ TCA 785 ดังนี้

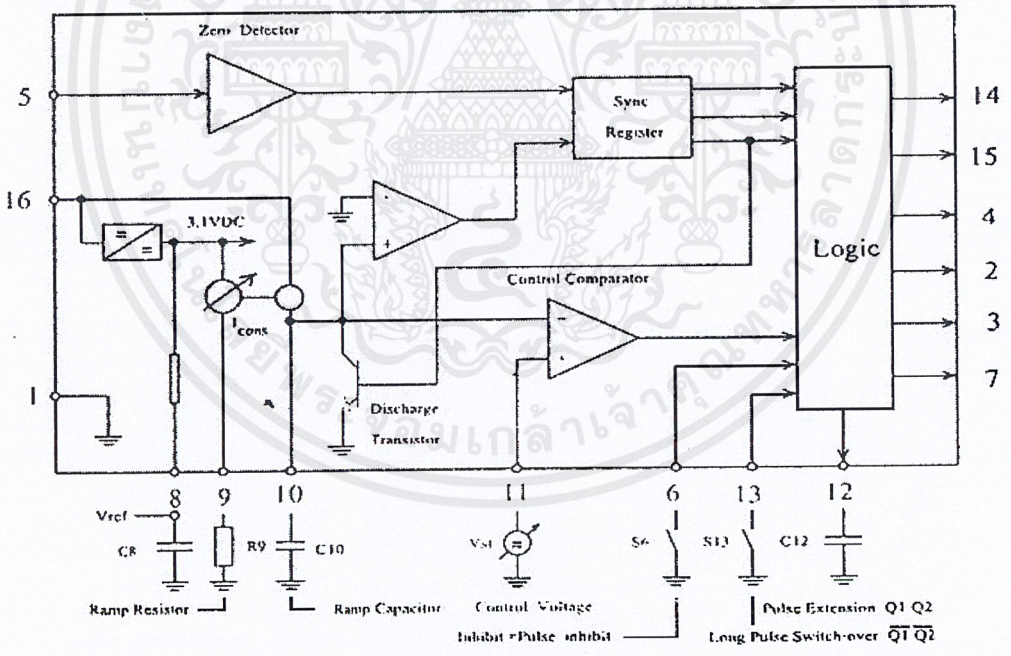
- สามารถจุดชนวนเกทไทริสเตอร์ได้อย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถเลื่อนมุมจุดชนวนเกทได้ระหว่าง 0-180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 8-18 V
- กระแสภายในวงจรรวมใช้ประมาณ 4.5 mA ถึง 10 mA
- สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ –25 ถึง 85 องศาเซลเซียส
- กระแสจุดชนวนเกท สามารถจ่ายได้ถึง 250 mA
- สัญญาณจุดชนวนเกท สามารถควบคุมได้โดยขา Inhibit function
- สัญญาณจุดชนวนเกท สามารถที่จะกำหนดได้เป็นแบบเดี่ยวและแบบต่อเนื่อง
- ใช้งานกับวงจร Zero Crossing
- ความถี่ใช้งาน 10-500 Hz
-

**2.4.3ความรู้พื้นฐานและหลักการทำงานของ TCA 785**

แผนภาพของ TCA 785 แสดงในรูปที่1 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างการทำงานของวงจร ซึ่งได้รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน้าที่ต่างๆไว้ในตัวเดียว




**รูปที่2.23** แผนภาพของ TCA 785

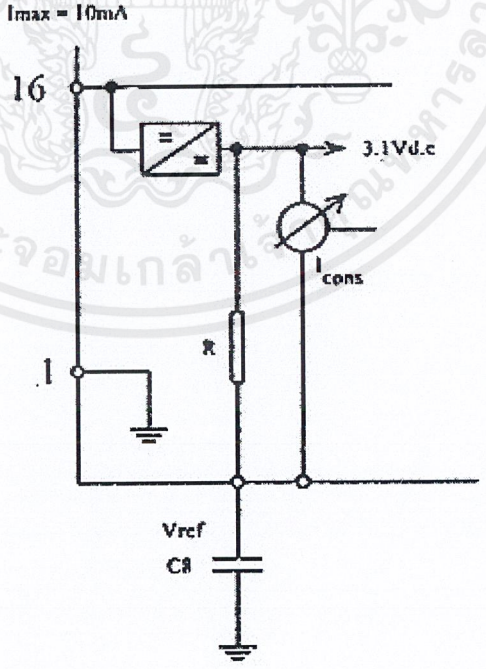
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วงจรแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)
2. วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Detector)
3. วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียง (Ramp Generate)
4. วงจรเปรียบเทียบ (Control Comparator Circuit)
5. วงจรลอจิก (Logic Circuit)

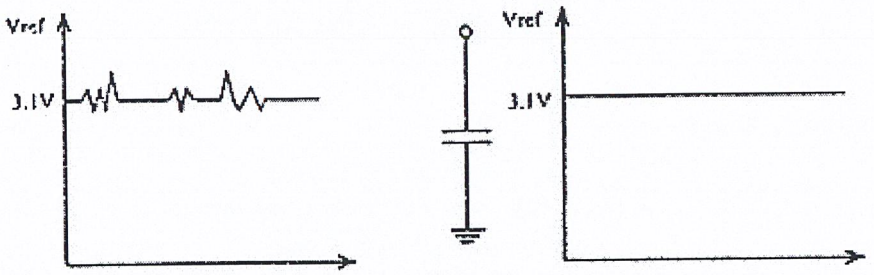
**2.4.4 วงจรแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)**

การทำงานของวงจรจะไม่ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอกที่จ่ายเข้ามาซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงภายนอกสามารถใช้ได้ในช่วง 8-18 โวลท์โดยไฟบวกจะต่อเข้ากับขา 16(+Vcc=15Vdc) และกราวด์จะต่อเข้ากับขา 1 (G= 0 Vdc) ของวงจรรวม แรงดันอ้างอิงที่กำเนิดขึ้นในวงจรรวม คือ Vref = 3.1 โวลท์ กระแสที่จ่ายให้กับวงจรรวมขณะที่ไม่มีโหลดจะใช้กระแสสูงสุด 10 mA

ตัวเก็บประจุ $V_g$ การต่อจากวงจรภายนอกเข้าที่ขา 8 ซึ่งเป็นขาเดียวกับแรงดันอ้างอิง และต่อกับกราวด์ ตัวเก็บประจุ $V_g$ จะเป็นตัวลดสัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้นในส่วนของแรงดันอ้างอิง ถ้าแรงดันอ้างอิงมีการต่อสัญญาณรบกวนลงกราวด์ ทำให้สัญญาณรบกวนหมดไป ดังรูปที่ 2.24




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

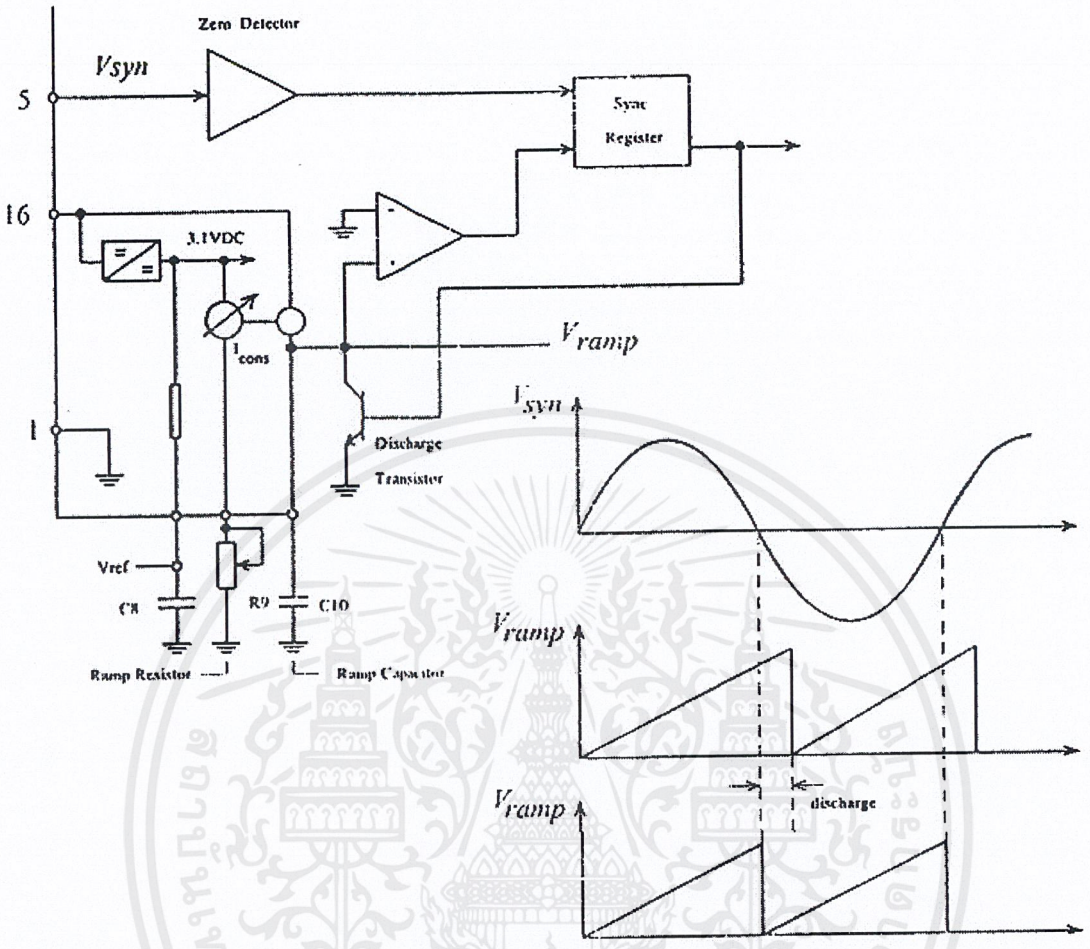



**รูปที่ 2.24** การต่อแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงให้กับ TCA 785 และแรงดันอ้างอิงภายใน

**2.4.5วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Detector)**

สัญญาณ Synchronous หรือ $V_{syn}$ ต่อกับขา 5 โดยผ่านความต้านทานจำกัดกระแสและต่อ ลงกราวด์โดยผ่านไดโอดซึ่งจะต่อกลับกันอยู่ 2 ตัว ทั้งนี้เพื่อให้ไดโอดไปจำกัดค่าแรงดันของ $V_{syn}$ เพื่อให้มีค่าประมาณ 0.6 โวลท์ในส่วนของวงจรจุดตัดศูนย์นั้น จะเป็นส่วนที่มีความไวสูงมาก สามารถจะทำให้เกิดการ Synchronization ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ(แรงดันอินพุต) กับสัญญาณจุดชนวนเกตไทริสเตอร์ นั่นคือแรงดันอินพุตต่อกับไทริสเตอร์จะตรงกับเฟสมุมจุดชนวนเกตพอดี สัญญาณที่ตรวจวัดจุดตัดศูนย์ได้จะนำไปสร้างสัญญาณลาดเอียงที่เฟสตรงกับแรงดันอินพุท แสดงดังรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



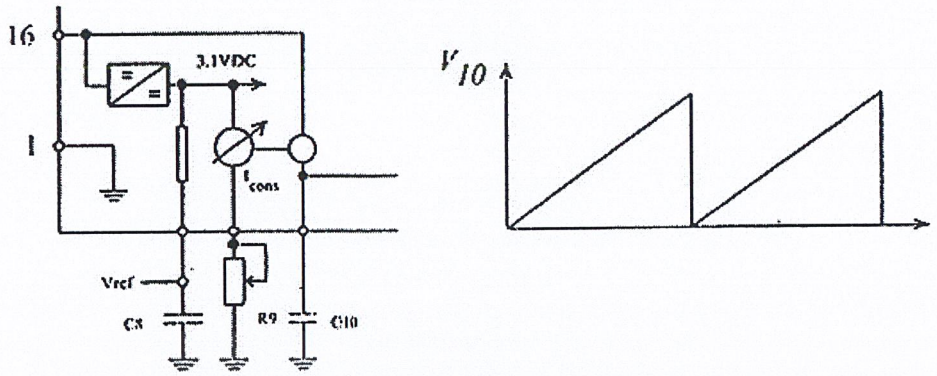

**รูปที่ 2.25** วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียงกับวงจรจุดตัดศูนย์

**2.4.6วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียง (Ramp Generate)**

การสร้างสัญญาณลาดเอียงหรือฟันเลื่อย (Ramp or Saw tooth) ขึ้นมาเพื่อให้แรงดันลาดเอียงมีเฟสตรงกับแรงดันอินพุต และเป็นเชิงเส้นกับมุมเฟสของแรงดันอินพุต

ส่วนอื่นๆ ที่มีความสำคัญเช่นเดียวกันคือส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant current source) จะทำหน้าที่สร้างกระแสคงที่ $I_{cons}$ โดยกระแสส่วนนี้จะจ่ายให้กับตัวเก็บประจุ ($C_{10}$) หรือเรียกว่า (Ramp capacitor :$C_R$) กระแสคงที่ที่จ่ายให้กับ $C_{10}$ นี้จะทำให้ $C_{10}$ เกิดการเก็บประจุอย่างเป็นเชิงเส้นกับเวลา ทำให้สัญญาณแรงดันที่ตกคร่อม $C_{10}$ เป็นสัญญาณลาดเอียงหรือฟันเลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.26** การปรับค่ากระแส $I_{cons}$ โดยการปรับค่าความต้านทาน

สัญญาณลาดเอียงจะสร้างจากวงจร RC Circuit คือ และ ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดยอดคลื่นของสัญญาณลาดเอียงที่ $V_{10}$ โดยสัญญาณลาดเอียงที่เกิดขึ้นนั้นจะมีการปรับ Zero Crossing ให้ตรงกับสัญญาณแรงดันอินพุท สัญญาณลาดเอียงที่เกิดจากการคายประจุของ $C_{10}$ จะถูกนำไปจ่ายให้กับ Discharge Transistor ที่อยู่ภายในวงจรรวมอีกครั้งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.25 และ 2.26

ค่ายอดของสัญญาณลาดเอียง จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของตัวเก็บประจุ $C_{10}$ ที่เลือกใช้ โดยค่าของตัวเก็บประจุมีค่าระหว่าง 500pf-1$\mu$f ส่วนของค่ากระแส $I_{cons}$ สามารถทีจะทำการปรับค่าได้ โดยปรับค่าความต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขา 9 สามารถปรับได้ในช่วง 3-300 k$\Omega$

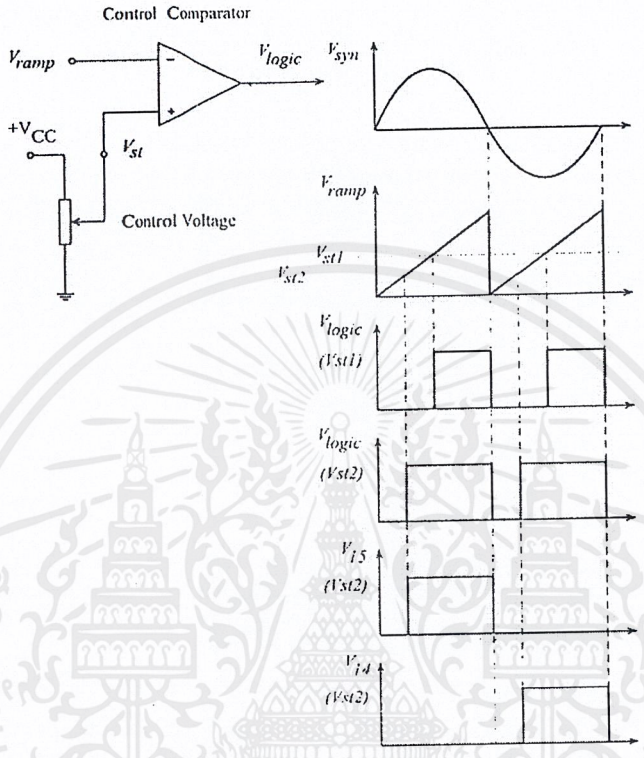
จากรูปที่ 2.26การทำงานในส่วนของ Discharge Transistor จะทำหน้าที่คายประจุสัญญาณลาดเอียงที่กำเนิดค่า Zero Crossing นั่นคือถ้าหากว่าแรงดันอินพุตเป็นศูนย์แล้วจะทำให้ค่าของสัญญาณลาดเอียงเป็นศูนย์ด้วยเนื่องจาก Synchronization Resistor จะส่งสัญญาณ ไบแอสให้ Discharge Transistor ทำงานจะทำให้แรงดันลาดเอียงตกเป็นศูนย์ตรงกับจุดที่แรงดันอินพุตเป็นศูนย์พอดี การคายประจุของทรานซิสเตอร์นั้น จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่เกิดออกมาของ $V_{10}$ จะไม่มีผลต่อส่วนใดของวงจร สัญญาณลาดเอียงทีเกิดขึ้นจะเป็นเชิงเส้นกับมุมเฟสของแรงดันอินพุท

### 2.4.7 วงจรเปรียบเทียบ (Control Comparator Circuit)

ในส่วนของการเปรียบเทียบสัญญาณนั้น จะเป็นการนำสัญญาณลาดเอียง $V_{10}$หรือ $V_{ranp}$ มาเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันควบคุม (Control Voltage : $V_{st}$) จากภายนอก (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง)โดยใช้หลักการของวงจรเปรียบเทียบ คือถ้าหากสัญญาณแรงดันควบคุมมีค่าต่ำกว่าสัญญาณลาดเอียง สัญญาณลอจิกที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 15 โวลท์ หรือเป็นลอจิก 1 ถ้าแรงดันควบคุมมีค่าสูงกว่า

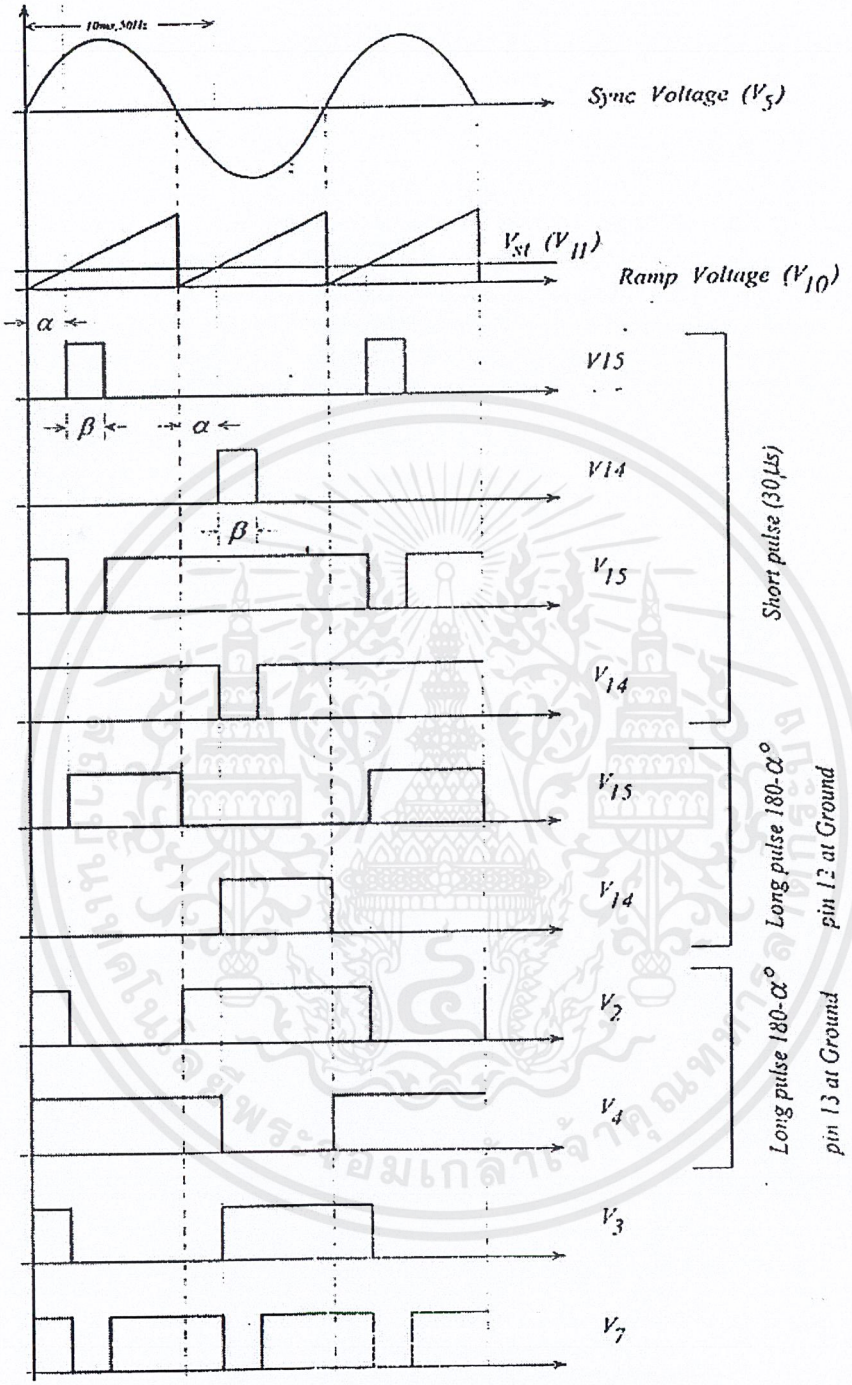
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันลาดเอียง สัญญาณลอจิกที่ได้จะเป็นลอจิก 0 ดังนั้นค่ายอดของสัญญาณลาดเอียงมีค่า 10 โวลท์ การควบคุมมุมจุดชนวนเกตจะมีค่าเท่ากับ 18 องศาต่อ 1 โวลท์ดังรูปที่ 2.27




**รูปที่ 2.2.7** การเปรียบเทียบแรงดันควบคุมกับแรงดันลาดเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.28** แผนภาพสัญญาณพัลซ์ของ TCA 785

**สัญญาณใช้งานที่สำคัญคือ**

1. ขา 11 เป็นสัญญาณแรงดันควบคุม (Control Voltage)
2. ขา 10 เป็นสัญญาณแรงลาดเอียง (Ramp Voltage) สามารถปรับค่ายอดจากค่า $R_9$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขา 15 ให้สัญญาณจุดชนวนเกตที่มุม $\alpha$
4. ขา 14 ให้สัญญาณจุดชนวนเกตที่มุม $\alpha$+180
5. ขา 2 เป็นสัญญาณกลับ ของขา 15
6. ขา 4 เป็นสัญญาณกลับ ของขา 1

**2.4.8 ลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกท**

สัญญาณจุดชนวนเกตสามารถปรับควากว้างของพัลซ์ได้ตามจุดประสงค์ที่ใช้งาน เมื่อต่อขา 12 ลงกราวด์จะทำให้สัญญาณจุดชนวนเกตุมีความกว้างเท่ากับ $\beta = 180-\alpha$ ถ้าต่อตัวเก็บประจุที่ขา 12 ลงกราวด์ จะทำให้มีความกว้างของสัญญาณตามตารางที่ 1 ส่วนสัญญาขา 2 และ 4 เมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์จะทำให้ได้สัญญาณพัลส์ที่กว้างเต็มที่

**ตารางที่ 2.1** ค่าตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 12

| $C_{12}$ | 0 | 150 | 220 | 330 | 680 | 1000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pulse Width-$\beta$($\mu$s) | 30 | 93 | 137 | 205 | 422 | 620 |

ความกว้างของสัญญาณจุดชนวนเกต จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับชนิดของโหลดในวงจร ซึ่งมีโหลดหลายชนิด ดังตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.2** ความกว้างของสัญญาณจุดชนวนแบบต่างๆ กับชนิดของโหลด

| Pulse type | Pulse Width-$\beta$ | Load type |
|---|---|---|
| Short/single pulse | 30-100$\mu$s | Resistive load |
| Long pulse | 100$\mu$s – 1 ms | R-L load high current |
| Continuous pulse | 180 - $\alpha$ | High inductive load |
| Double pulse | 30-100 $\mu$s | Three phase bridge |
| Train pulse | 7kHz | R-L load , 3 phase bridge |
| Combined pulse | 100$\mu$s – 1 ms | Series SCR , $di_G/dt$=1-3 $\mu$A/s |

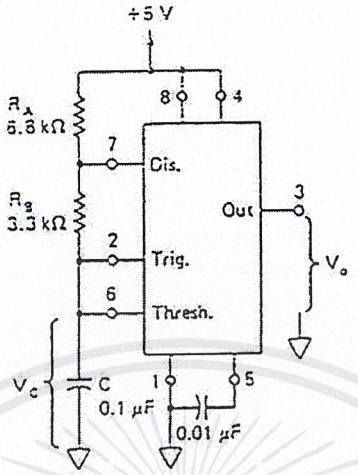
**2.4.8 IC เบอร์ 555**

ไอซี 555 นั้นเป็นไอซีที่ใช้ไฟเลี้ยงในช่วงค่อนข้างกว้างมาก คือตั้งแต่ +5 ถึง +18 โวลท์ ซึ่งจะมีการทำงานอยู่ 2 ประเภท คือ

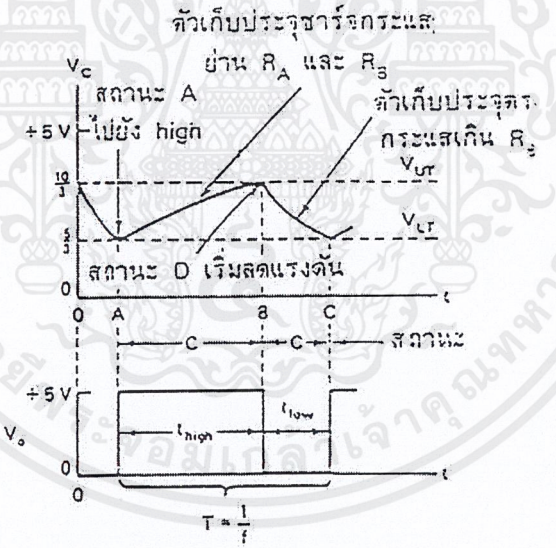
- ประเภทสร้างสัญญาณตลอดเวลา (Astable Multivibrator)
- ประเภทสร้างสัญญาณเพียงลูกคลื่นเดียว ( Oneshot Multivibrator)

รูปที่ 2.29แสดงการทำงานประเภท อะสเตเบิลของไอซี 555 จะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันจะเปลี่ยนค่าเป็นแรงดันสูงแล้วต่ำแล้วสูงขึ้นเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ไม่มีหยุด ช่วงเวลาของเอาท์พุตที่ได้จะหาได้จากค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่นำมาต่อวงจรภายนอกตัวไอซี 555 ควรสังเกตว่าค่าแรงดันเอาท์พุตในขณะที่มีค่าสูงสุดจะมีคาน้อยกว่าค่าของแรงดัน Vcc เสมอ และค่าแรงดันเอาท์พุทในขณะที่มีค่าต่ำสุดจะมีค่าประมาณ 0.1 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(ก) การทำงานของวงจรอะเสเตเบิ้ล




**(ข).** รูปคลื่นวงจร (ก)

**รูปที่ 2.29** แสดงการทำงานของแบบอะสเตเบิลและรูปคลื่นของวงจร

ไอซี 555 ที่ทำงานสร้างสัญญาณตลอดเวลาในรูปที่ 1 ที่เวลา A ทั้งขา 2 และ ขา 6 จะมีค่าต่ำกว่าค่า Vlt = Vcc/3 ซึ่งทำให้แรงดันเอาท์พุตที่ขา 3 มีค่าสูง ในขณะนั้นเองที่ขา 7 จะเสมือนถูกเปิดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จรออก ดังนั้นตัวเก็บประจุ C จะเก็บประจุโดยผ่าน Ra+Rb และเอาท์พุตจะมีค่าต่ำระหว่างช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุ C คายประจุจาก 2/3 ถึง 1/3 ของ Vcc ดังสมการ

$$t_{low} = 0.695R_BC \tag{2.37}$$

ดังนั้นในช่วงเวลารวมทั้งหมดหรือคาบเวลารวม T จะเท่ากับ

$$T = t_{high} + t_{low} = 0.695(R_A+2R_B)C \tag{2.38}$$

ซึ่งเมื่อกลับเศษส่วนของคาบเวลาแล้วจะได้ความถี่เท่ากับ

$$f = \frac{1.44}{[(R_A + 2R_B)C]} \quad \text{Hz} \tag{2.39}$$

$T_{low}$ : ช่วงเวลาแรงดันต่ำ

$T_{high}$ : ช่วงเวลาแรงดันสูง

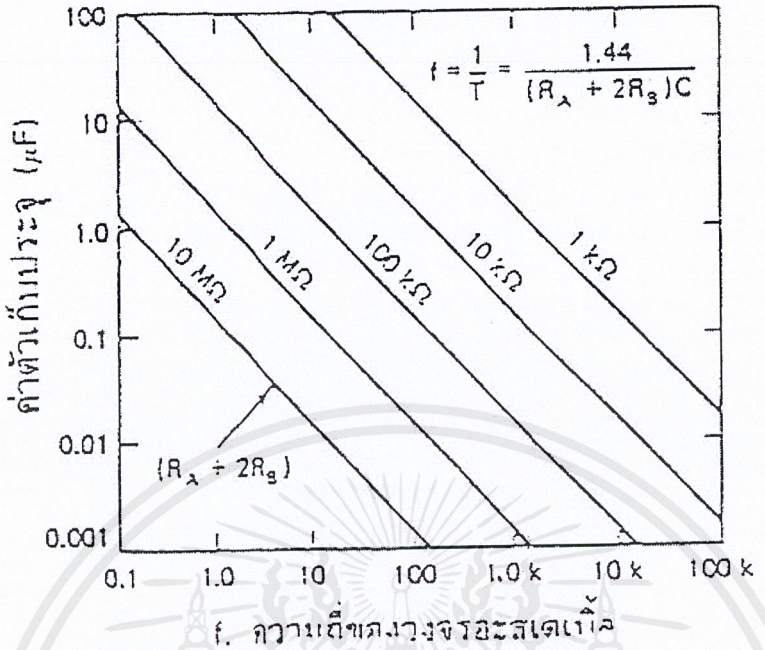
T : คาบเวลา

C: ค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้า

$R_A$,$R_B$ : ค่าความต้านทาน

เมื่อนำสมการมาสร้างเป็นกราฟ และมีการปรับเปลี่ยนค่า [$(R_A+2R_B)$ ก็จะได้กราฟดังรูปที่ 2.30ซึ่งกราฟที่ได้จะมีประโยชน์มากในการช่วยออกแบบวงจรได้รวดเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

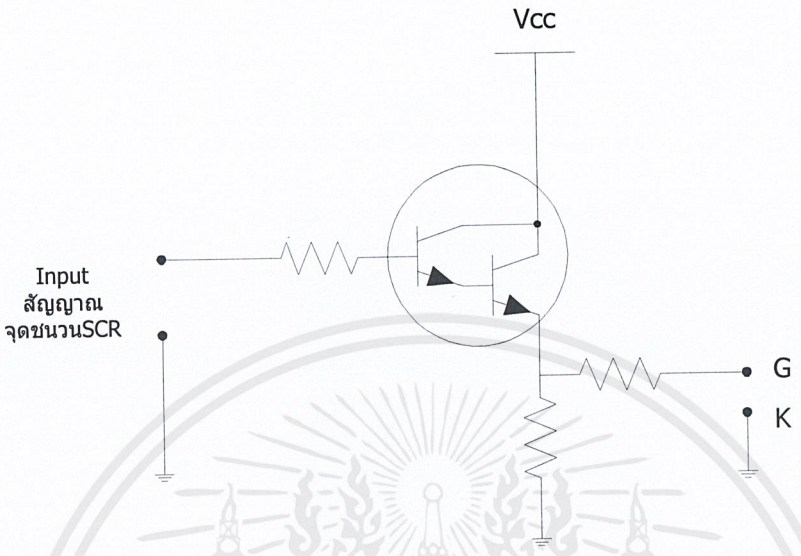



**รูปที่ 2.30** ความถี่ในการออสซิลเลตจะหาได้จากค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

**2.2.9 การรวมสัญญาณและขยายสัญญาณกระตุ้น**

นำสัญญาณที่ได้จาก ไอซี TCA 785 และสัญญาณที่ได้จากไอซี 555 จะนำมาแอนด์กันโดยแอนด์เกท ซึ่งจะใช้ไอซีแอนด์เกท เบอร์ 74HC08 สัญญาณพัลส์ที่รวมสัญญาณมาแล้วจะไม่เพียงพอที่จะจุดชนวนตัวเอสซีอาร์ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการขยายสัญญาณก่อน ซึ่งในที่นี้จะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์2N3053 เป็นตัวขยายสัญญาณ ซึ่งจะมีวงจรในรูปที่ 2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

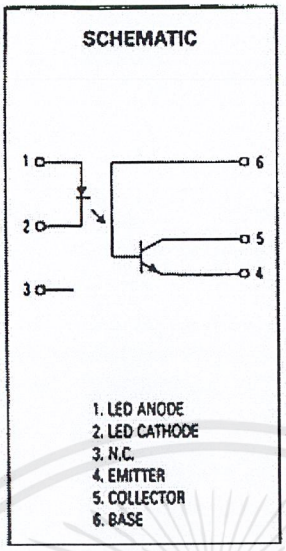



**รูปที่ 2.31** วงจรขยายสัญญาณกระตุ้น

**2.2.10 การแยกกราวด์ของสัญญาณกระตุ้น**

สัญญาณพัลส์ที่ได้มาจากเอาท์พุตของทรานซิสเตอร์ไม่ควรที่จะต่อโดยตรงกับชุดวงจรกำลัง เพราะอาจทำให้วงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเสียหายได้เมื่อวงจรกำลังทำงานผิดพลาดซึ่งจะใช้ออปโต้ไอโซเลเตอร์ (Optoisolator) เบอร์ 2N26 ซึ่งจะใช้หลักการของไดโอดเรืองแสง ทำหน้าที่แยกกราวด์ของวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นกับกราวด์ของวงจรกำลังออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.32** ออปโต้ไอโซเลเตอร์

## 2.5 กำลังไฟฟ้า

### 2.5.1 กำลังไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่นำมาต่อใช้งานกับระบบไฟฟ้า จะมีกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวมัน 2 ลักษณะคือ กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแล้วสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ กับกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปโดยไม่สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่นการสูญเสียในรูปของความร้อน การสูญเสียกำลังไฟฟ้าดังกล่าวนี้ ส่วนมากแล้ว ส่วนมากจะเกิดกับโหลดที่จ่ายขึ้นกับโหลดที่จ่ายไฟให้แล้วทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นมา ซึ่งก็คือโหลดประเภทมอเตอร์ บัลลาสต์ที่ใช้กับโหลดฟลูออเรสเซนต์

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กันอยู่ทุกวันสามารถแบ่งประเภทกำลังไฟฟ้าได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ

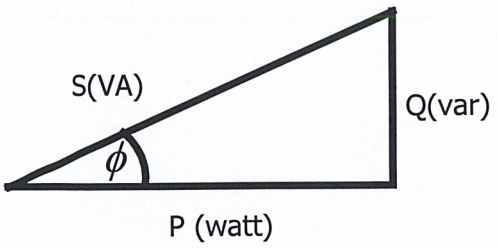
1. กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรหรือโหลด เป็นกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้มาจากการถอดรากที่ 2ของ$P^2+Q^2$ จึงเรียกกำลังไฟฟ้าแบบนี้ว่า กำลังไฟฟ้าปรากฏ(Apparent power) หรือค่า S มีหน่วยเป็น(VA)

2.กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือเรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริง(Active power)หรือหาได้จากสูตร EI cos $\phi$ มีหน่วยเป็น (W)

3. กำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถไปใช้ประโยชน์ได้ หรือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป (reactive power) หรือค่า Q หาได้จากสูตร EI sin $\phi$ มีหน่วยเป็นโวลท์แอมป์รีแอคทีฟ หรือ วาร์ (VAR)

และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทั้ง 3แบบ ดังรูปที่2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.33** แสดงสามหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

**2.5.2 คำจำกัดความของค่าเพาเวอร์ แฟคเตอร์**

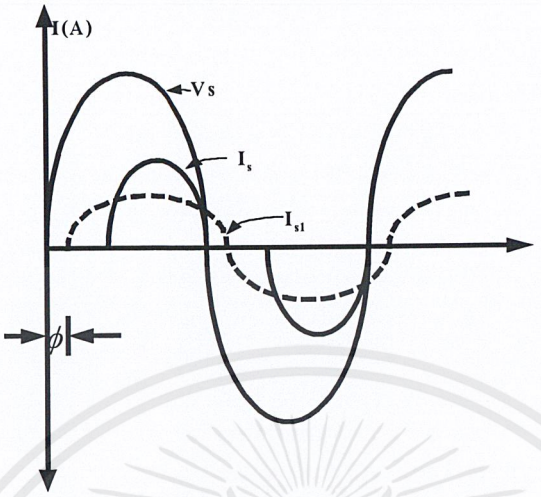
เพาเวอร์ แฟคเตอร์ คืออัตราส่วนของกำลังที่ทำให้เกิดงานต่อกำลังงานปรากฏ ในวงจรไฟฟ้าใดๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0-1 แต่โดยปกติมักจะพูดกันเป็นเปอร์เซนต์เพาเวอร์ แฟคเตอร์ = กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน /กำลังงานปรากฏ $\frac{KW}{KVA}$ หรือจากจากรูปที่2.33จะได้ว่า เพาเวอร์ แฟคเตอร์ =$\cos\phi$

เพาเวอร์ แฟคเตอร์ อาจเปลี่ยนเป็นแบบตามหลังหรือนำหน้าก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางไหลของกำลังงาน ที่ทำให้เกิดงาน และกำลังงานรีแอคทีฟ ถ้ากำลังงานทั้งสองส่วนนี้ไหลไปในทิศทางเดียวกันค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ที่จุดๆนั้นจะเป็นตามหลัง แต่ถ้าไหลไปคนละทิศทางแล้วเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่จุดๆจุดนั้นจะเป็นแบบนำหน้า เนื่องจากตัวคาปาซิเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานรีแอคทีฟเพียงอย่างเดียวมันจึงมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์นำหน้าเสมอสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นแบบตามหลังเสมอ เพราะมันต้องการทั้งกำลังงานที่ทำให้เกิดงานและกำลังงานที่ทำให้เกิดงาน รีแอคทีฟ(ไหลเข้ามอเตอร์ทั้งสองส่วน) สำหรับซิงโครนัสมอเตอร์ที่ถูกกระตุ้นเกินขนาด(Over extied) นั้นสามารถจ่ายกำลังงานรีแอคทีฟเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ แต่กำลังงานที่ทำให้เกิดงานต้องไหลเข้าเสมอ ดังนั้นจึงมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบนำหน้า

**2.5.3ความผิดเพี้ยนของกระแส**

เนื่องจากการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าของมอเตอร์ โดยใช้การควบคุมเฟสหรือเฟสคอนโทรลนั้นจะเกิดฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) เข้ามารบกวนในระบบไฟฟ้าโดยส่วนรวมและมีผลทำให้รูปคลื่นกระแสเข้ามอนิเตอร์ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์มาก ดังในภาพที่ 2.34 ดังนั้นการคำนวณค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะต้องพิจารณาถึงผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ที่มีต่อกระแสด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่2.34** แสดงความผิดเพี้ยนของคลื่นกระแสไปจากรูปไซน์

ภาพที่ 2.34 แสดงความผิดเพี้ยนของกระแสไปจากรูปไซน์จากภาพที่ 2.34 แสดงกระแส Is ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์ประเภทเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ โดยที่รูปคลื่นแรงดันเป็นไซน์ที่ความถี่พื้นฐาน ($\omega 1=\omega, f1= f$)
จะได้ว่า

$$v_s = \sqrt{2} v_s \sin \omega t \tag{2.40}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$I_s(t) = I_{s1}(t) + \sum_{h \neq 1} I_{sh}(t) \tag{2.41}$$

เมื่อ $I_{sh}$ คือกระแสความถี่มูลฐาน
$I_{sh}$ คือส่วนประกอบกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ ฮาร์โมนิกส์

สมการที่ 2.41 สามารถกระจายออกได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_s(t) = \sqrt{2} I_{s1} Sin(\omega_1 t - \phi_1) + \sum_{h \neq 1} \sqrt{2} I_{sh} Sin(\omega_h t - \phi_h) \quad (2.42)$$

เมื่อ $\phi$ คือมุมระหว่างแรงดัน กับกระแส ค่ากระแสรากของกำลังสองเฉลี่ย (rms ) ของกระแสไลน์ สามารถคำนวณได้โดย

$$I_s = \left( I_{s1}^2 + \sum_{h \neq 1} I_{sh}^2 \right)^{1/2} \quad (2.43)$$

ผลรวมความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแส เรียกว่า THD(Total Harmonic Distortion) ส่วนประกอบความเพี้ยนของกระแส หาได้จากสมการที่ 2.30 คือ

$$I_{dis}(t) = I_s(t) - I_{s1}(t) = \sum_{h \neq 1} I_{sh}(t) \quad (2.44)$$

เขียนในรูปของรากกำลังสองเฉลี่ย (rms) จะได้ว่า
ค่า *THD* จะถูกจำกัดความคือ

$$\%THD_1 = 100 \; x \; \frac{I_{dis}}{I_{s1}} \quad (2.45)$$

$$= 100 x \; \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2}}{I_{s1}}$$

$$= 100 x \sqrt{\sum_{h \neq 1} \left( \frac{I_{sh}}{I_{s1}} \right)^2}$$

**2.54 กำลังไฟฟ้าและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์**

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากภาพที่ 2.34 นั้นสามารถหาได้จาก

$$P = \frac{1}{T_1} \int_{T1}^{T1} P(t) dt = \frac{1}{T1} \int_{T1}^{T1} V_s(t) I_s(t) dt \quad (2.46)$$

แทนค่าสมการที่ 2.40 และ 2.41 ในสมการที่ 2.46 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{1}{T1}\int_{0}^{T1}\sqrt{2}V_s Sin(\omega_1 t - \phi_1)dt \quad (2.47)$$

$$P = V_s I_{s1} Cos\phi_1 \quad (2.48)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power) $S$; มีค่าเท่ากับ

$$P.F. = \frac{V_s I_{s1} Cos\phi_1}{V_s I_s} \quad (2.49)$$

$$= \frac{Is\,1}{Is} Cos\phi 1 \quad (2.50)$$

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ $P.F = \frac{P}{s}$

$$P.F = \frac{v_s I_{s1} Cos\phi_1}{V_s I_s} \quad (2.51)$$

ค่าตัวประกอบการกระจัด (Displacement power factor)คือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์คลื่นแรงดันและกระแสเป็นรูปไซน์ ดังนั้น

$$DPF = Cos\phi_1$$

ส่วนในกรณีที่กระแสไม่เป็นไซน์ คือ

$$PF = \frac{Is\,1}{Is} DPF \quad (2.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าคลื่นกระแสผิดเพี้ยนไปจากรูปไซน์มากดังนั้นค่า จะมีค่าน้อย ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าต่ำลงและสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการที่ 2.45 และ 2.52 ได้ดังนี้

$$P.F = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} DPF \tag{2.53}$$

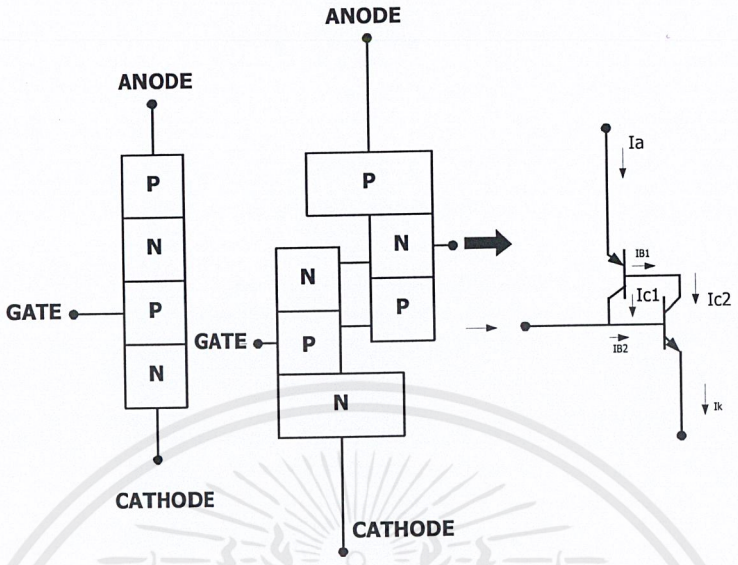
สมการที่ 2.52 และ2.53 มีความสำคัญมากโดยจะใช้ในการหาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์และค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน โดยจะแสดงวิธีการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัด Harmonics Analyzer ต่อไป

## 2.6เอสซีอาร์ (SCR)

### 2.6.1การทำงานของเอสซีอาร์

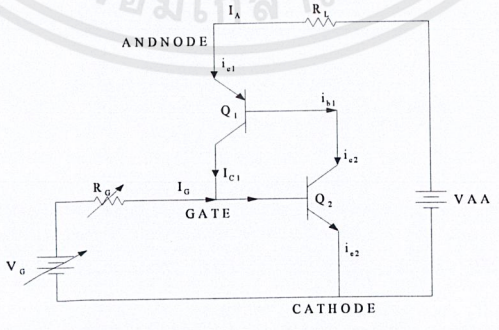
พิจารณาโครงสร้างของเอสซีอาร์ เป็นทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ต่อกันดังแสดงในรูปที่ 2.35 ขาอิมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ $Q_1$ จะเป็นขั้วแอโนด ขาอิมิทเตอร์ของทรานซิสเตอร์ $Q_2$ จะเป็นขั้วคาโทด และขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ เป็นขั้วเกท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.35** โครงสร้างของเอสซีอาร์

การทำงานของเอสซีอาร์คือ ขณะยังไม่มีกระแสไหลเข้าเกทสู่คาโทด แรงดันที่แอโนดเมื่อเทียบกับอาโนดจะเป็นบวกหรือลบก็ตาม เอสซีอาร์จะไม่นำกระแส และขณะที่มีกระแสไหลเข้าสู่คาโทด แรงดันที่แอโนดเทียบกับคาโทดจะเป็นลบ เอสซีอาร์ก็จะไม่นำกระแส แต่เมื่อแรงดันแอโนดเทียบกับคาโทดเป็นบวก และมีกระแสไหลเข้าเกทไปสู่คาโทดตามที่ได้ต่อวงจรดังรูปที่ 2.36 เอสซีอาร์จะนำกระแส การจ่ายกระแสไหลเข้าเกทสู่คาโทดเพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแส เรียกกันว่า การทริกเอสซีอาร์ให้นำกระแส

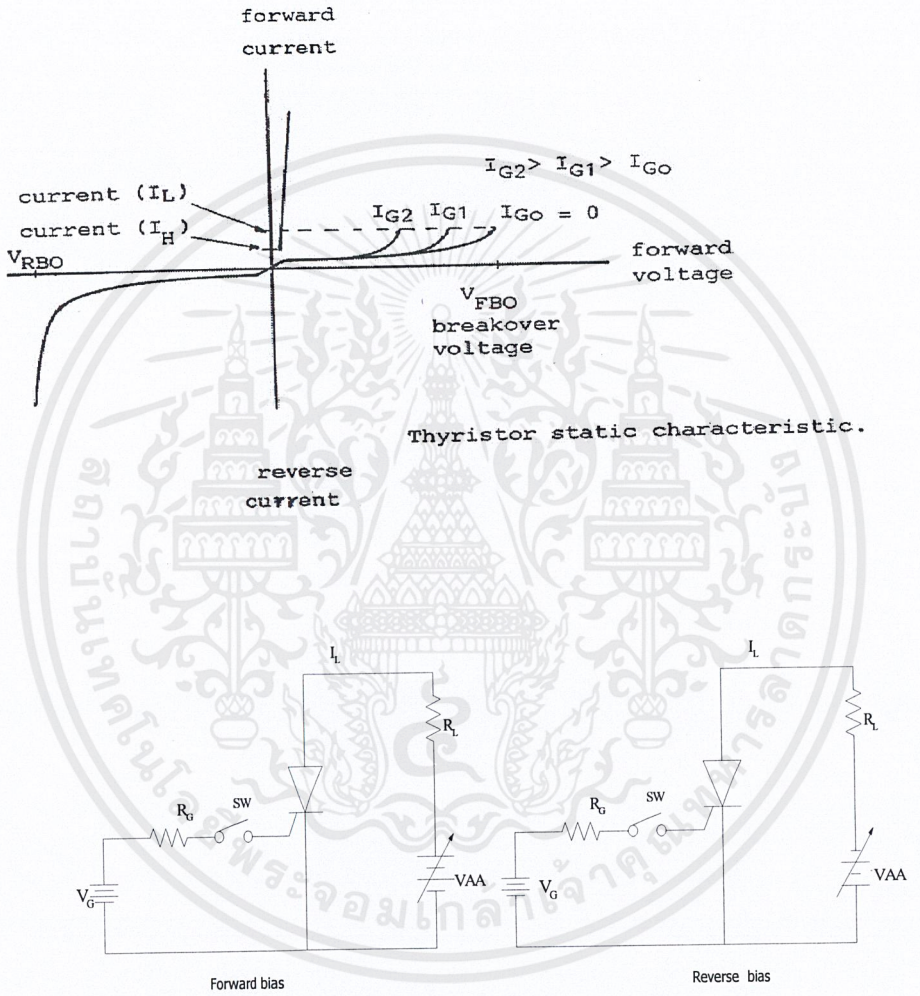



**รูปที่ 2.36** แสดงวงจรการนำกระแสของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6.2 คุณสมบัติของเอสซีอาร์**

ในรูปที่ 2.37แสดงคุณสมบัติของเอสซีอาร์ในสภาวะ steady-state ระหว่างแรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์และกระแสที่ไหลผ่าน




**รูปที่ 2.37** คุณสมบัติของเอสซีอาร์ในสภาวะ steady-state

เมื่อจ่ายแรงดัน VAA ในลักษณะฟอร์เวอร์ดไบแอส (forward bias) คือ แอโนดได้รับแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทด และไม่มีกระแสเกท ถ้ามีแรงดันน้อยๆจะมีเพียงกระแสรั่วไหล (lekage current) เพียงเล็กน้อยไหลผ่าน เมื่อเพิ่มแรงดัน VAA มากขึ้นจนถึงแรงดันพังทลายทางด้านฟอร์เวอร์ด (forward breakover voltage) และมีกระแสไหลเกินกระแสค้าง (latching current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสซีอาร์จะอยู่ในสภาวะนำกระแส คือแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างอาโนดกับคาโทดจะมีค่าประมาณ 0.7-4 Vกระแสที่ไหลผ่าน SCRจะเท่ากับ $\frac{VAA - VFF}{R_L}$

โดยทั่วไปการนำเอสซีอาร์ไปใช้งาน แรงดัน VAA ที่จ่ายให้กับวงจรจะต่ำกว่าแรงดันพังทลายทางด้านฟอเวอร์ด และจะควบคุมการนำกระแสของเอสซีอาร์ โดยใช้สัญญาณทริกเกอร์ แรงดันที่เกทเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทดมีค่าประมาณ 1-5 V และกระแสเกทประมาณ 1-500 mA ด้วยระยะเวลาที่เป็นไมโครวินาที ถ้ากระแสที่ไหลผ่านมากกว่ากระแสค้าง ก็จะทำให้เอสซีอาร์อยู่ในสภาวะนำกระแส แต่เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสอยู่แล้วจะให้หยุดนำกระแส จะต้องทำให้กระแสไหลผ่านตัวเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสยึด (holding current) คุณสมบัติโดยทั่วไปกระแสค้างมีค่าประมาณ 2 เท่าของกระแสยึด

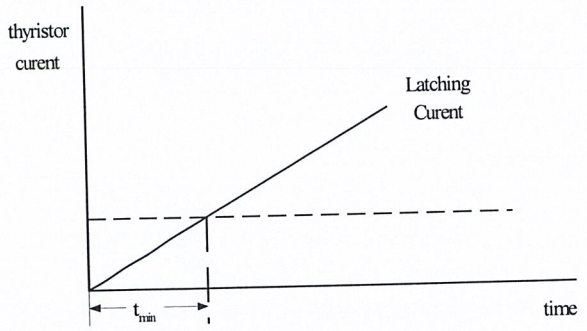
เมื่อจ่ายแรงดัน VAA ในลักษณะรีเวอร์ดไบแอส (reverse bias) คือ แอโนดได้รับแรงดันลบเมื่อเทียบกับคาโทด เอสซีอาร์จะไม่นำกระแส ถึงแม้ว่าจะมีสัญญาณทริกที่ขาเกทของเอสซีอาร์ เมื่อจ่ายแรงดันพังทลายด้านรีเวอร์ดไบแอส (reverse breakover voltage ) ทำให้สารกึ่งตัวนำเสียหายได้

**2.6.3 ระยะเวลาของสัญญาณทริกเกอร์**

ในการทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยสัญญาณทริกเกอร์นั้น สัญญาณทริกเกอร์จะต้องมีระยะเวลาที่นานจนกระทั่งกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้าง ดังรูปที่ 2.38 ถ้าสัญญาณทริกสิ้นสุดก่อนที่มีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้าง จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสเมื่อสัญญาณทริกสิ้นสุดลง ดังนั้นสัญญาณทริกต้องมีระยะเวลานานพอ จนกระทั่งกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์มากกว่ากระแสค้างจึงจะสามารถทำให้เอสซีอาร์นำกระแสต่อไปได้ จนสามารถนำสัญญาณทริกออกได้

ในกรณีที่โหลดเป็นอินดักตีฟ กระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์สู่อินดักตีฟโหลดจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ระยะเวลาของสัญญาณทริกจะต้องนานจนกระทั่งกระแสไหลมากกว่ากระแสค้างเอสซีอาร์จึงจะนำกระแสต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.38** แสดงเวลาน้อยสุดที่จะต้องรักษาสัญญาณทริกเกอร์

**2.6.4 วิธีทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส**

ทรานซิสเตอร์สามารถทำให้หยุดนำกระแสโดยการหยุดจ่ายกระแสเข้าขาเบส เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสเมื่อลดกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ลงต่ำกว่ากระแสยึด (holding current) เป็นเวลานานกว่า turn off time เอสซีอาร์จะไม่หยุดนำกระแสเมื่อหยุดจ่ายกระแสเข้าที่ขาเกทของเอสซีอาร์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเอสซีอาร์

วิธีการทำให้กระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ลดลงต่ำกว่ากระแสยึด สามารถทำได้โดยการลดแรงดันตกคร่อมเอสซีอาร์ลงเป็นศูนย์ หรือจ่ายแรงดันรีเวอร์ดไบแอสให้เอสซีอาร์ มีวิธีการพื้นฐานของการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสแบ่งได้ 3 วิธี

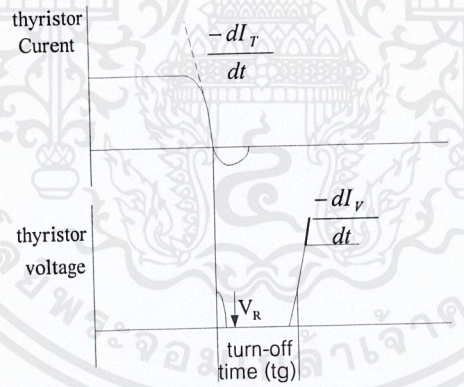
1. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส โดยแหล่งจ่ายไฟเป็นกระแสสลับ คือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระสลับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงสู่ศูนย์และแรงดันไฟฟ้ากลับทิศทาง ซึ่งเป็นการจ่ายรีเวอร์ดไบแอสแก่เอสซีอาร์ในทุกๆไซเคิล และกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์จะตกลงเป็นศูนย์ ซึ่งถ้าเป็นเวลานานกว่า turn off line ก่อนที่จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าฟอร์เวอร์ดอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
2. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส โดยการจัดโหลดให้เหมาะสม ใช้ในวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยวิธีการชอปเปอร์และวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ คือเมื่อเอสซีอาร์นำกระแสจะเป็นสวิทช์ไฟเข้าโหลด ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน อินดัคเตอร์ คาปาซิเตอร์ที่มีค่าเหมาะสม โดยอยู่ในสภาวะ under damped กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะตกลงสู่ศูนย์โดยธรรมชาติ เมื่อกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ต่ำกว่ากระแสยึดเป็นเวลานานกว่า turn off line
3. การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแส โดยวิธีการบังคับ เป็นการทำให้กระแสลดลงสู่ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กระแสเนื่องจากการคายประจุของคาปาซิเตอร์จ่ายให้เอสซีอาร์

**2.6.5 Turn off time ของเอสซีอาร์**

Turn off time ($t_q$ หรือ $t_{off}$) ของเอสซีอาร์ เป็นระยะเวลาตั้งแต่การทำให้กระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ไหลย้อนกลับ แล้วกลับลงสู่ศูนย์ เป็นค่าที่บอกไว้ใน data sheet โดยกำหนดจากอุณหภูมิที่ junction, $I_T$, $\frac{dI_R}{dt}$ ,$V_R$ และ $\frac{dV}{dt}$ ดังที่แสดงไว้ใน data sheet $I_F$ =150A, $T_J$ =125°C, = 50 A/μsec, $\frac{dV}{dt}$ = 20V/used.linear to 0.8 $V_{FB}$ ,$T_{off}$ = 60 μsec ซึ่งหมายความว่าชั่วเวลาก่อนที่เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสมีกระแสไหลผ่านในทางฟอร์เวอร์ดจะต้องไม่เกิน 150A อุณหภูมิตัวถังไม่เกิน 125°C และอัตราการลดของกระแสฟอร์เวอร์ดต้องไม่น้อยกว่า 50A/μsec แล้วเอสซีอาร์จะยังคงรักษาสภาวะหยุดนำกระแสอีก 60 μsec จึงเริ่มจ่ายแรงดันฟอร์เวอร์ดอีกครั้งด้วยอัตราการเพิ่มไม่เกิน 20V/μsec โดยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสู่แรงดัน 0.8 $V_{DRM}$ ( $V_{FB}$ = forward breakdown voltage) เมื่อมีค่าใดมากกว่าค่าดังกล่าว Turn off time จะมากกว่า 60 μsec แสดงให้เห็นชัดเจนดังรูปที่ 2.39




**รูปที่ 2.39** แสดง Turn off time ของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6.6 ขีดจำกัดทางด้านแรงดันไฟของเอสซีอาร์**

ขีดจำกัดของเอสซีอาร์อยู่ในเทอมของแรงดัน กระแส กำลัง อุณหภูมิ $\frac{dV}{dt}, \frac{di}{dt}$ และเวลาในการให้เอสซีอาร์นำกระแสและหยุดนำกระแส ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเอสซีอาร์ที่ผู้ผลิตแนะนำไว้ การเลือกใช้ต้องดูขีดจำกัดของแรงดันและกระแสสูงสุดและชนิดของเอสซีอาร์

สัญลักษณ์โดยทั่วไปที่ใช้สำหรับกระแส และแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแสดงโดย subscriptsตัวที่ 1 แสดงทิศทางหรือสภาวะต่างๆ

D = ไม่นำกระแสขณะได้รับฟอร์เวอร์ด

F = ฟอร์เวอร์ด

R = รีเวอร์ด

T = นำกระแส

ตัวที่ 2 แสดงขีดจำกัดในสภาวะต่างๆ

W = ค่าขณะอยู่ในสภาวะตาม subscripts ตัวที่ 1

R = การเกิดขึ้นซ้ำๆ

S = ไม่ได้เกิดขึ้นซ้ำๆ

ตัวที่ 3 เป็นอักษร M แสดงค่าสูงสุด

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ บางครั้งจะมี transient เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.40 เป็นการยากที่จะพบ transient ในออสซิโลสโคป เพราะ transient ได้เกิดขึ้นในเวลาสั้นมากๆ ขีดพิกัดของแรงดันไฟฟ้าที่จะไม่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสโดยไม่มีสัญญาณทริกจะแสดงในคู่มือของเอสซีอาร์ ดังนี้

$V_{DWM}$ และ $V_{RWM}$ = แรงดันทางด้านฟอร์เวอร์ดและรีเวอร์ดสูงสุดของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่จ่ายให้เอสซีอาร์ และเอสซีอาร์จะไม่นำกระแส โดยไม่มีสัญญาณทริก โดยไม่คิด transient ที่เกิดขึ้นซ้ำๆ และไม่ซ้ำ

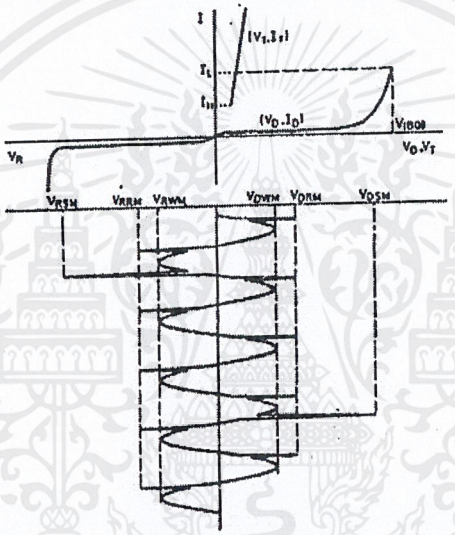
$V_{DRM}$ และ $V_{RRM}$ = แรงดัน transient ถ้าไม่เกินกำหนดทางด้านฟอร์เวอร์ด และรีเวอร์ดที่เกิดขึ้นซ้ำๆในทุกๆไซเคิลของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (ไม่รวมถึงแรงดัน transient ที่เกิดขึ้นไม่ซ้ำกัน)

$V_{DSM}$ และ $V_{RSM}$ หรือ ($V_{FBT}$ และ $V_{RBT}$) = แรงดัน transient ทางด้านฟอร์เวอร์ดและรีเวอร์ดที่เกิดขึ้นไม่ซ้ำกันในทุกๆไซเคิลของแหล่งจ่ายไฟ แล้วจะไม่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแส โดยไม่มีสัญญาณทริก

VT = แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแอโนดกับคาโทดขณะที่นำกระแสฟอร์เวอร์ดและมีอุณหภูมิที่ตัวถังที่กำหนดในคู่มือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\frac{dv}{dt}$ = อัตราการเพิ่มแรงดันที่ตกคร่อมแอโนดกับคาโทดสูงสุด ที่จะไม่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแส โดยไม่มีสัญญาณทริก เอสซีอาร์มีคุณสมบัติของคาปาซิเตอร์ระหว่างแอโนดกับคาโทดกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์เท่ากับ $C\frac{dv}{dt}$ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแอโนดกับคาโทดเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราที่สูงจะทำให้มีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ ดังนั้นเมื่อเกิด transient ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกคร่อมแอโนดกับคาโทดสูง จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ดดยไม่มีสัญญาณทริก



**รูปที่ 2.40** ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าของเอสซีอาร์

**2.6.7 ขีดจำกัดทางด้านกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์**

$I_{DRM}$ และ $I_{RRM}$ = กระแสรั่วไหลเมื่อได้รับแรงดันสูงสุดทางด้านฟอร์เวอร์ดและรีเวอร์ด

$I_T$(rms) = กระแสอาร์เอ็มเอสสูงสุดที่ไหลผ่านเอสซีอารีทางด้านฟอร์เวอร์ดที่อุณหภูมิไม่สูงกว่าที่กำหนด แล้วจะไม่ทำให้เอสซีอาร์เสียหาย

$I_T$(ave) = กระแสเฉลี่ยสูงสุดที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ทางด้านฟอร์เวอร์ด แล้วจะไม่ทำให้เอสซีอาร์เสียหาย

$I_{TSM}$ และ$I_{FM}$ = กระแส surgeสูงสุดที่เกิดขึ้นในเวลาสั้นๆ ถ้ากระแส surge เกินที่กำหนดหรือเกิดขึ้นนานกว่าที่กำหนดจะทำให้เอสซีอาร์เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I^2t$ = เป็นค่าของกระแสยกกำลังสองคูณกับเวลาซึ่งจะต้องไม่เกินที่กำหนด จึงจะไม่ทำให้เอสซีอาร์เสียหาย ซึ่งค่านี้เป็นคุณสมบัติของฟิวส์จำพวก semiconductor fuse จึงต้องเลือกฟิวส์ให้เหมาะสม

$\frac{di}{dt}$ = อัตราการเพิ่มของกระแสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ที่เกิดขึ้นซ้ำๆกัน หลังจากการทริกเกทให้เอสซีอาร์นำกระแส ซึ่งเป็นขีดจำกัดของเอสซีอาร์ กล่าวคือ เอสซีอาร์สามารถนำกระแสได้สูงสุดตามที่กำหนด เมื่อกระแสไหลผ่านพื้นที่ทั้งหมดของสารกึ่งตัวนำ แต่เมื่อเอสซีอาร์ถูกทริกให้นำกระแส สารกึ่งตัวนำที่อยู่ใกล้ๆ เกทของเอสซีอาร์จะนำกระแส ซึ่งมีพื้นที่เล็กๆ ก่อนแล้วกระจายไปพื้นที่ทั้งหมดของสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นถ้าอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสต่อเวลาสูงกว่าที่กำหนด อาจจะทำให้เกิดความร้อนเฉพาะจุดที่ junction และทำให้เอสซีอาร์เสียหาย ในการลดอัตราการเพิ่มของกระแสต่อเวลาจะทำได้โดยการต่อ inductance อนุกรมกับเอสซีอาร์

$I_L$ = กระแสค้างเป็นค่ากระแสต่ำสุดที่ต้องรักษาไว้ เพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแสหลังจากพัลส์ที่ทริกเอสซีอาร์ถูกนำออกไปจากเกทที่ทริกเอสซีอาร์

$I_H$ = กระแสยึดเป็นค่าของกระแสมากที่สุดที่ต้องลดลงให้ต่ำ เพื่อให้เอสซีอาร์เปลี่ยนจากสภาวะนำกระแสเป็นหยุดนำกระแส กระแสยึดเกิดขึ้นเมื่อกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ในสภาวะนำกระแสและลดลงจนกระทั่งเอสซีอาร์หยุดนำกระแส แต่กระแสค้างเกิดขึ้นเมื่อเอสซีอาร์อยู่ในสภาวะไม่นำกระแสไปสู่สภาวะเริ่มนำกระแส

**2.5.8 ขีดจำกัดทางอุณหภูมิ**

Tj = อุณหภูมิ junction ของสารกึ่งตัวนำซึ่งจะไม่สามารถจะตรวจสอบและวัดด้วยเครื่องวัดไฟฟ้าได้

$T_{stg}$ = storage temp เป็นองศาเซลเซียส

$R\theta_{je}$ = ความต้านทานอุณหภูมิระหว่าง junction กับ case

$R\theta_{cs}$ = ความต้านทานอุณหภูมิระหว่าง case กับ heat sink

ขีดจำกัดของเกท

$I_{GT}$ = กระแสเกทที่จะทริกให้เอสซีอาร์นำกระแส เมื่อมีแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ และมีอุณหภูมิ junction ตามที่กำหนด

$V_{GT}$ = แรงดันที่จ่ายให้เกทกับคาโทดของเอสซีอาร์ เพื่อให้เอสซีอาร์นำกระแส มื่อมีแรงดันคร่อมเอสซีอาร์ และอุณหภูมิ junction ตามที่กำหนด

$I_{FGM}$ และ $I_{GTM}$ = กระแสสูงสุดทางด้านฟอร์เวอร์ (peak forward gate current)

$I_{GRM}$ = กระแสสูงสุดทางด้านรีเวอร์ด (peak reward gate current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_{GM}$ = กำลังสูงสุดที่เกททนได้ (peak gate power)

$P_G$ (av) = กำลังเฉลี่ยที่เกททนได้ (average gate power)

$T_q$ = turn of time

$T_{on}$ = turn on time

## 2.7 โครงสร้างของMCS-51

### 2.7.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

1.ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5V ชุดเดียว

2.มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด4กิโลไบต์สำหรับเบอร์8051และ 8031,8032ไม่มีหน่วยความจำหน่วยความจำถึง8กิโลไบต์

3.มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับ 8052 มีถึง 256 ไบต์

4 .หน่วยความจำเป็นสำหรับโปรแกรมและข้อมูล (Program Memory และ Data Memory แยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์)

5.คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 1 uS เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 Mhz

6.มี Timer/Counter ขนาด 16 บิต 2ชุด

7.รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวคเตอร์

8.มีพอร์ทสำหรับส่งข้อมูลอนุกรม ( UART) 2 พอร์ท ทั้งรับและส่งในเวลาเดียวกันได้(Full Duplex) เลือกรูปแบบการส่งข้อมูลได้ 4 โหมด

9.มีคำสั่งในการ AND, OR หรือ COMPLEMENT ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

### 2.7.2โครงสร้างภายในของ 8051

MCS-51ใช้เทคโนโลยีในการผลิตแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงจะสะดวกที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังรูปที่ 1 และ 2

**พอร์ทของ 8051**

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่างๆดังนี้

-ไฟเลี้ยง (ขา40)ต่อกับ+5V

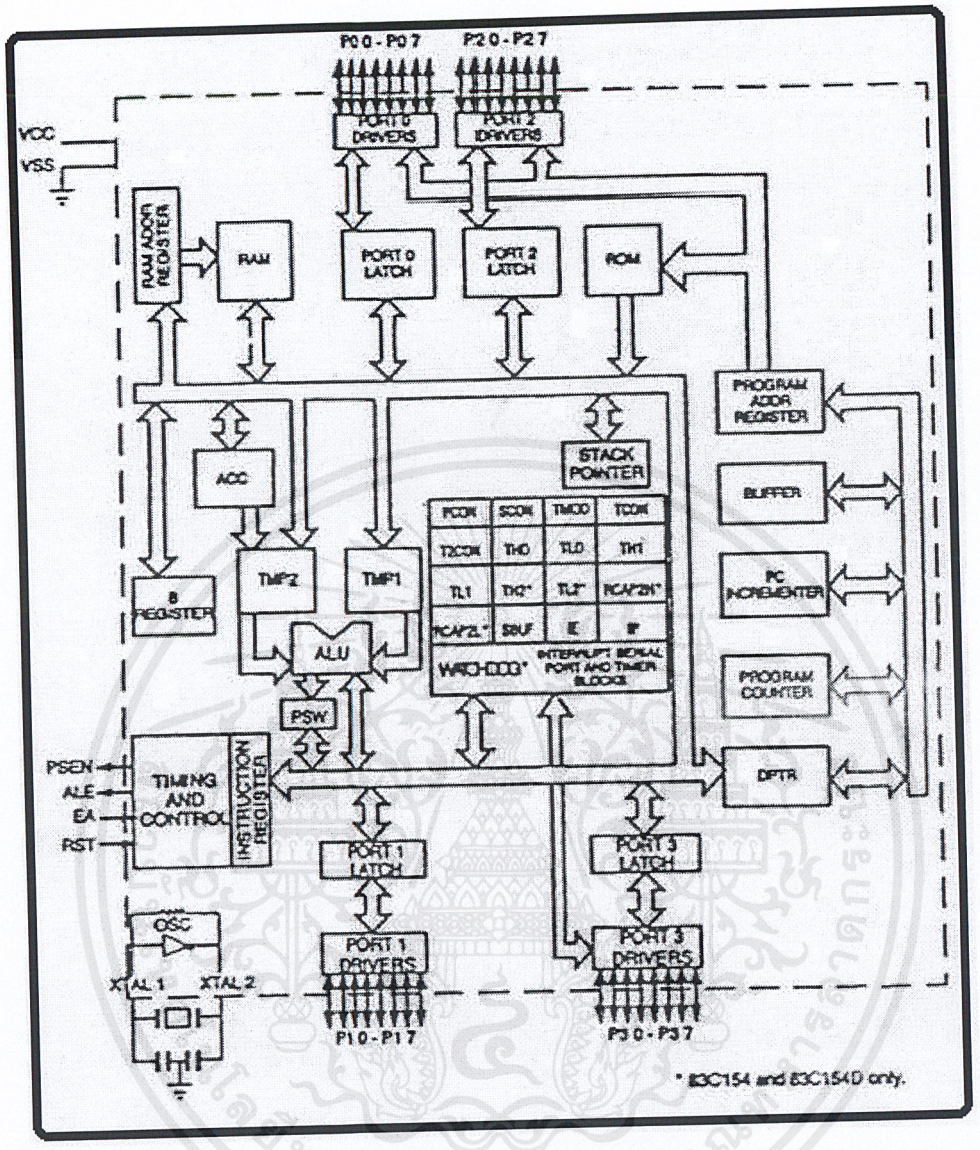
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ไฟเลี้ยง(ขา20)เป็นขา GND

-พอร์ท 0 (ขา 32-39 )มีทั้งหมด 8บิต คือ (P0.0-P0.7) ใช้งานได้ 2หน้าที่คือ ส่งแอดเดรสและข้อมูลออกไปให้หน่วยความจำภายนอกเมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอกและอีกหน้าที่หนึ่งคือเป็นพอร์ท อินพุทและเอาท์พุท ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก 2.41 ไปยังพอร์ทนี้

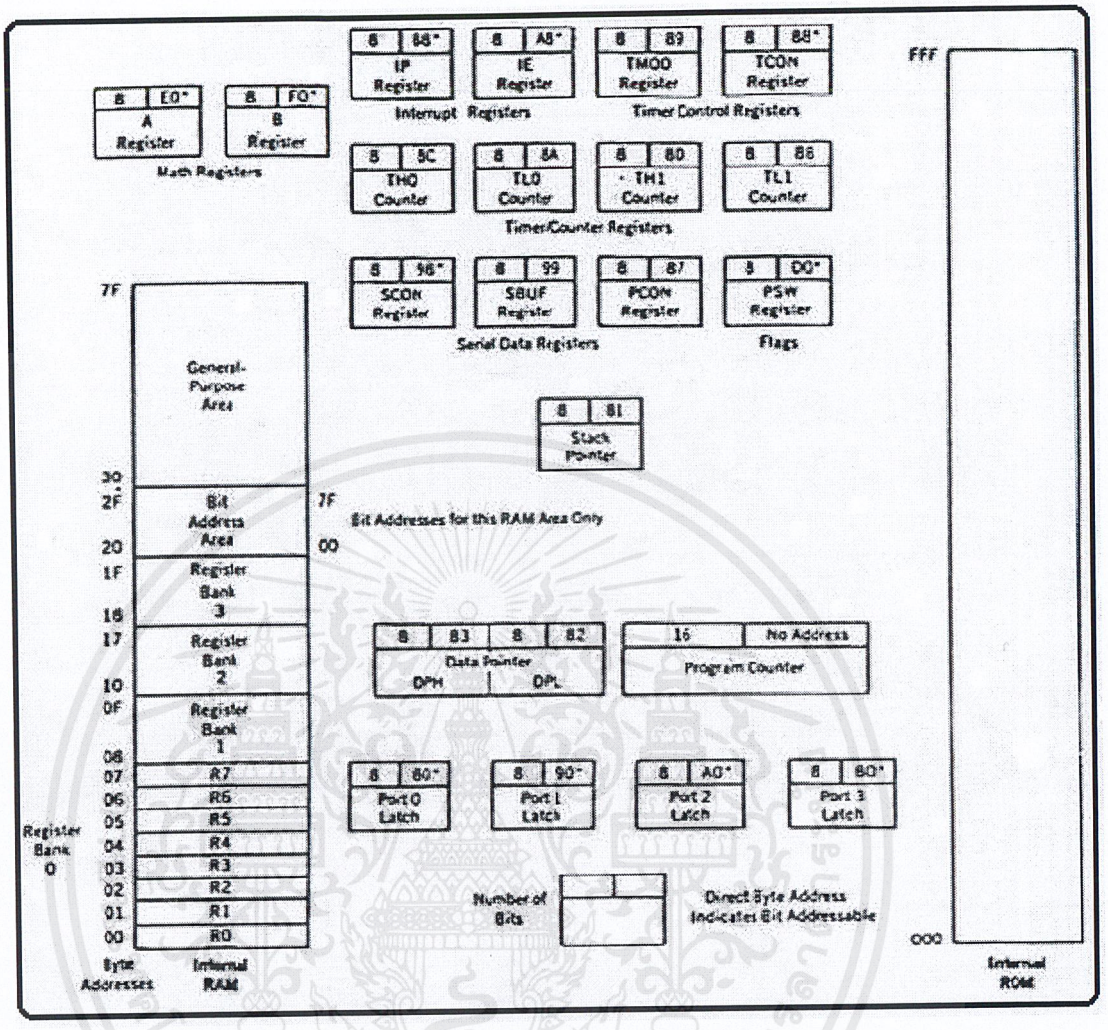


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.41** บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.42** ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่างๆและหน่วยความจำ

-พอร์ท 1 (ขา1-8) มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P1.0-P1.7)มีโครงสร้างคล้าย พอร์ท 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพูลอัพแทน(Internal Pull Up Register)

-พอร์ท 2 (ขา-28)มีทั้งหมด8บิต คือขา(P2.0-P207)มีโครงสร้างคล้าย PORT 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านใช้ความต้านทานพูลแทน พอร์ทนี้ทำงาน 2 หน้าที่ คือ สามารถใช้เป็นพอร์ทสำหรับส่งแอดเดรส 8บิตบน (A8 – A15) และเป็นอินพุท,เอาท์พุทพอร์ทใช้งานทั่วไป เมื่อจะใช้งานเป็นอินพุทพอร์ท ต้องส่งลอจิก 1 มาที่พอร์ทนี้ก่อน

-พอร์ท 3 (ขา10 –17)มีทั้งหมด8บิต คือขา (P 3.0-P3.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 1 พอร์ทนี้ทำหน้าที่เป็นอินพุทและเอาท์พุท ถ้าจะให้อินพุทพอร์ทก็ให้ส่งลอจิก 1 มาที่พอร์ทนี้ก่อนและอีกหน้าที่หนึ่งคือ ส่งสัญญาณควบคุมออกมาและรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่างๆ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P 3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่รับข้อมูลแบบอนุกรม

P 3.1/RXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P 3.2/INTO (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P 3.3/INT1 (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P 3.4/T0 (Timer/Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปในวงจร Timer/Counter 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณ T1นี้หรือสัญญาณเข้าไปในวงจร

P 3.5/T1 (Timer/Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยัง Timer/Counter 1 ซึ่งมีการทำงานเหมือนกับ T0

P 3.6/WR (External Data Memory Write strobe) ขารับสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051

P 3.7/RD ( External Data Memory Read Strobe) ขารับสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูล จากหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

-ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลตช์แอดเดรสไบต์ต่ำ(A0 – A7)ที่ส่งออกมาจาก(พอร์ท 0) สัญญาณนี้จะแอคทีฟทุกๆ 2ครั้งใน 1 แมชชีนไซเคิล (1/16 ของสัญญาณนาฬิกา)

-PSEN (ขา29) เป็นขาที่ใช้ส่งสโตรบสำหรับอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอก(หน่วยความจำประเภท ROM EPROM)สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้ง ในแต่ละแมชชีนไซเคิล (หน่วยความจำประเภท ROM EPROM) สัญญาณนี้จะส่งออก 2 ครั้ง ในแต่ละแมชชีนไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณนาฬิกาออกที่ขานี้

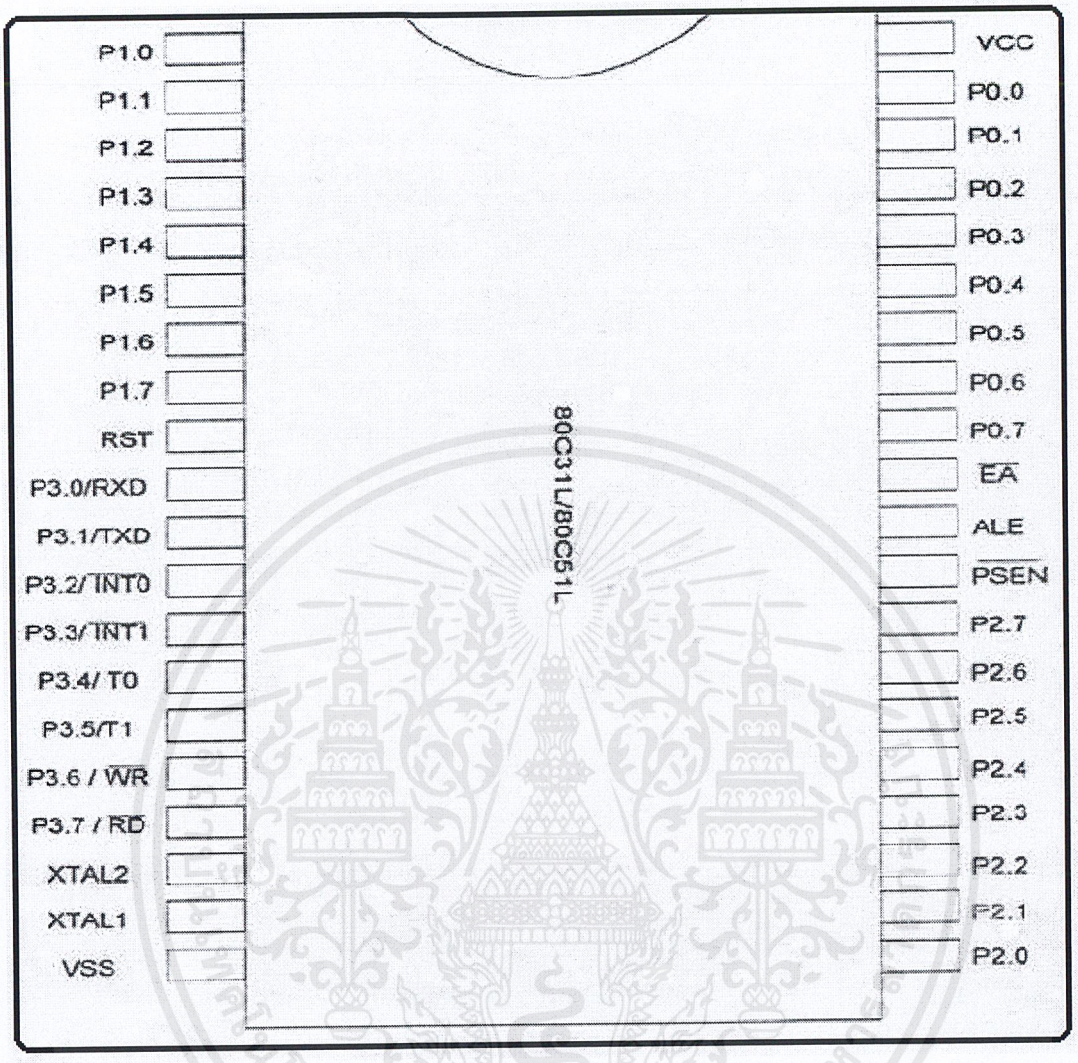
-EA (ขา30) ถาป้อนลอจิก 0 เข้าที่ขานี้ซีพียูจะอ่านค่าจาก Program Memory ภายนอกชิพเท่านั้น แต่ถ้าถูกป้อนด้วยลอจิก 1 ก็จะอ่านโปรแกรมภายในชิพ

-RST (ขา9) เป็นการรีเซ็ทซีพียู จะรีเซ็ทได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก 1 เข้าที่ขานี้นานอย่าง น้อย 2 แมชชีนไซเคิลถูกรีเซ็ทค่าต่างๆ ในรีจีสเตอร์ใดๆ จะมีคำสั่งดังตารางที่

-XTAL1(ขา19)ใช้ต่อคริสตันภายนอกโดยเป็นอินพุทเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์

-XTAL2(ขา18)ใช้ต่อคริสตันภายนอกโดยเป็นเอาท์พุทของวงจรออสซิลเลเตอร์

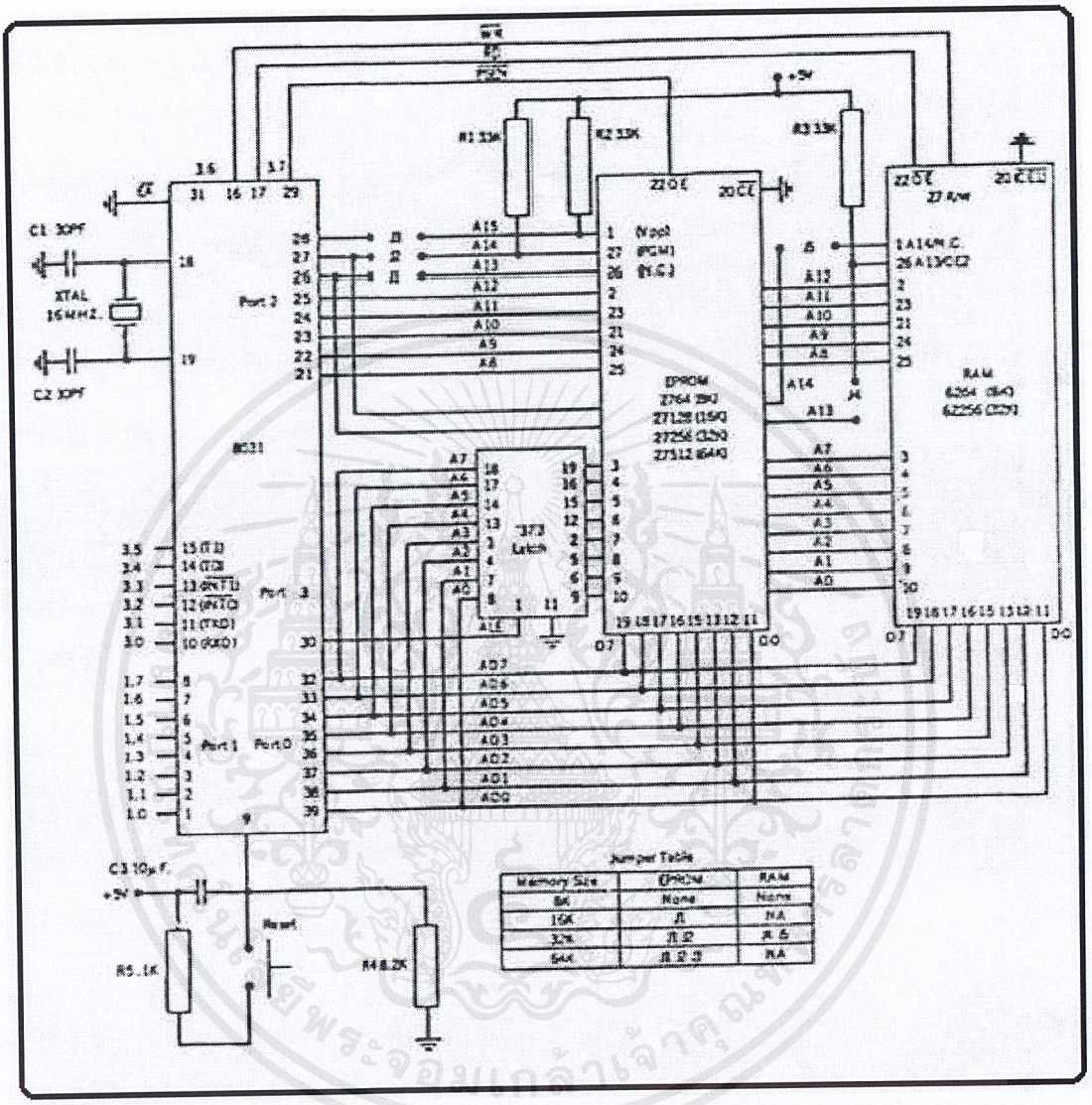
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.43** การจัดวางขาของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.3 การต่อหน่วยความจำ Program Memory และData Memory ภายนอก




**รูปที่ 2.44** การต่อหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิพ

### 2.7.4 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ใช้กับ MCS-51 มีอยู่ด้วยกัน2 ชนิดคือ Program Memory และ Data Memory Program Memory ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานบรรจุอยู่ในชิพ 8051 ส่วนที่เป็น Program Memory ก็คือ ROM ขนาด 4 กิโลไบต์นั่นเอง แต่ถ้าเป็นเบอร์ 8052 ก็คือ ROM ขนาด 8 กิโลไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Memory เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลหน่วยความจำนี้ สามารถข้อมูลลงไปและ อ่านข้อมูลออกมาได้ ซึ่งเป็นหน่วยความจำภายในชิพมีเพียง 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 และ 256 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ส่วนหน่วยความจำภายนอกชิพมี 64 กิโลไบต์

พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยตรงและทางอ้อม (Direct Indirect Address Area) พื้นที่ 128 ไบต์ ล่างสุดจะแบ่งเป็น 3 ส่วน

1. รีจิสเตอร์แบงค์ (Register Banks 0-3) ตั้งแต่(00h-1Fh) จะเป็นส่วนของรีจิสเตอร์แบงค์(0-3) โดยแบ่งเป็นแบงค์ละ 8 ไบต์รวมแล้วได้ 32 ไบต์ ถ้าซีพียูทำงานอยู่ที่แบงค์ 3 เมื่อถูกรีเซ็ทก็จะกลับมาทำงานที่แบงค์ 0 เสมอ และ SP จะมาเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 07h ทันที
2. บริเวณหน่วยความจำที่ใช้คำสั่งเขียน อ่านเกี่ยวกับบิตได้ (Bit Addressable Area)พื้นที่ตั้งแต่แอดเดรส (20h-7Fh) จำนวน 16 ไบต์หรือถ้านับเป็นบิตจะเท่ากับ 128 บิต ซึ่งตำแหน่งบิต 00,01,02,03,04,05,06,07ก็คือตำแหน่ง 20h ก็จะต้องเขียนคำสั่งที่ว่า SET 00h
3. บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป (Scratch Pad Area) พื้นที่ตั้งแต่ (30h-7Fh) จะเขียนข้อมูลได้ทีละไบต์เท่านั้น ไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับบิตได้
   - ช่วง 78h-37h คือช่วง SCRATCH PAD AREA
   -ช่วง 28h-27h คือช่วง BIT ADDRESSABLESEGMENT
   -ช่วง 18h-07h คือช่วง REGISTER BANK

**2.7.5 การเชื่อมโยง MCS-51 กับหน่วยความจำ**

**การจัดหน่วยความจำสำหรับ MCS-51**

แบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

หน่วยความจำข้อมูลความจุได้ถึง 64 กิโลไบต์ เป็นหน่วยความจำประเภทอ่านและเขียนได้(RAM) สัญญาณจาก MCS-51 ที่ใช้อ่านข้อมูลจากหน่วยข้อมูลจากหน่วยประเภทอ่านและเขียนได้คือ RD และสัญญาณที่ใช้ในการเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำคือ *WR* หน่วยความจำประเภทอ่านและเขียนได้ RAM (RANDOM ACCESS MEMORY)เป็นหน่วยความจำที่สามารถอ่านและเขียนได้ ข้อมูลจะสูญหายทันทีที่ขาดไฟเลี้ยง แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สแตติกแรม(Static RAM) และ ไดนามิกแรม(Dynamic RAM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สแตติกแรม (STATIC RAM)**

เป็นหน่วยความจำชนิดหนึ่งที่ง่ายในการนำมาใช้งานแต่ราคาสูงเมื่อเทียบกับไดนามิกแรม Dynamic RAM ซึ่งราคาถูกกว่าแต่ยุ่งยากขึ้น คือต้องทำรีเฟรช (Refresh) หน่วยความจำตลอดเวลาเบอร์ที่นิยมกันมากคือเบอร์ TMS4016 หรือ 6116 ซึ่งมีความจุ 2K X8

**หน่วยความจำโปรแกรม**

เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมเป็นหน่วยความจำที่อ่านข้อมูลได้อย่างเดียว (ROM) สัญญาณจาก MCS-51 ที่ใช้อ่านหน่วยความจำนี้คือ *PSEN* หน่วยความจำประเภท(ROM:Read Only Memory) เป็นหน่วยความจำแบบถาวร เมื่อขาดไฟเลี้ยงข้อมูลไม่สูญหายเป็นหน่วยความจำชนิดอ่านได้อย่างเดียว

หน่วยความจำประเภทอีพรอม ( EPROM:Erasable Progarmmable Read-Only Memory) เป็นหน่วยความจำแบบถาวรชนิดหนึ่งซึ่งผู้ใช้นำมาโปรแกรมเองได้และสามารถใช้แสง UV ลบข้อมูลได้

**2.7.6 การถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำ**

การถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำมีความจำมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพราะว่าหน่วยความจำที่นำมาใช้ขนาดเล็กกว่า 64 Kbyte ดังนั้นจึงต้องนำมาเรียงกันแล้วใช้วงจรถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำแยกเป็นแต่ละช่วง ถ้าใช้หน่วยความจำขนาด 4Kbyte จำนวน 8 ตัว จะได้เท่ากับ 32 Kbyte ถ้าให้ตัวแรกเริ่มที่แอดเดรส 800H ตัวที่ 2 ก็จะเริ่มแอดเดรส 9000H ดังรายละเอียดตารางที่ 1

**ตารางที่1**.แสดงการถอดรหัส

| EPROM ตัวที่ | | A15 | A14 | A13 | A12 | A11……..A0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8000-8FFF | 1 | 0 | 0 | 0 | X……X |
| 2 | 9000-9FFF | 1 | 0 | 0 | 1 | X……X |
| 3 | A000-AFFF | 1 | 0 | 1 | 0 | X……X |
| 4 | B000-BFFF | 1 | 0 | 1 | 1 | X……X |
| 5 | C000-CFFF | 1 | 1 | 0 | 0 | X……X |
| 6 | D000-DFFF | 1 | 1 | 0 | 1 | X……X |

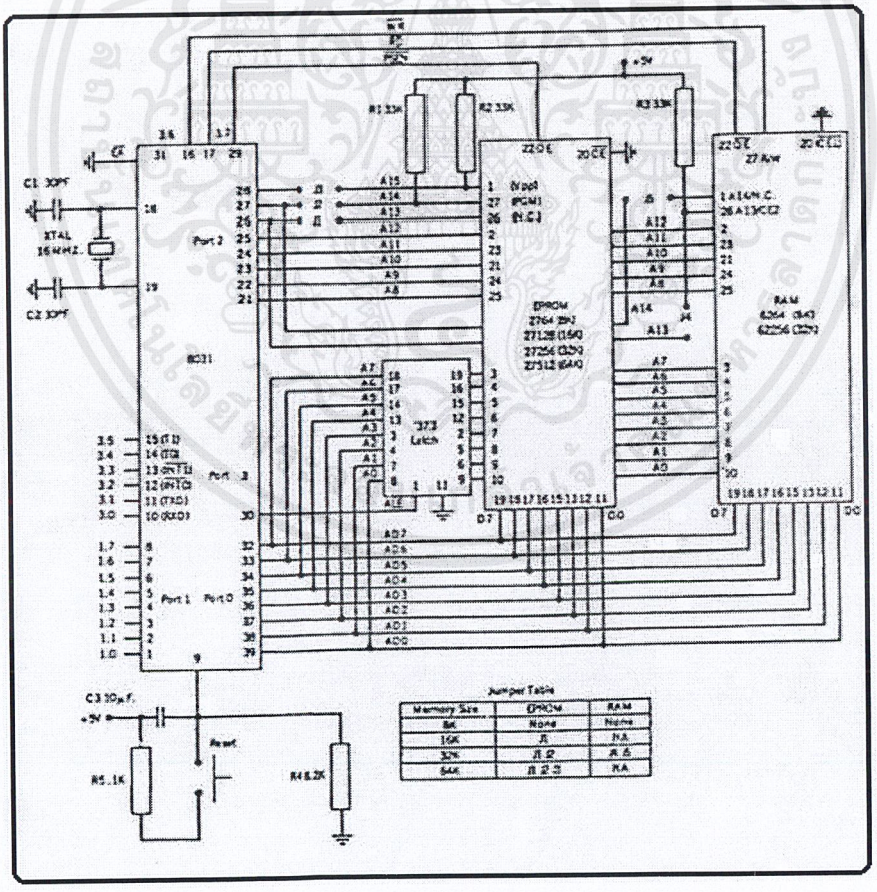
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | E000-EFFF | 1 | 1 | 1 | 0 | X.....X |
| 8 | F000-FFFF | 1 | 1 | 1 | 1 | X.....X |

การถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำจะใช้ IC เบอร์ 74LS138 ถอดรหัสซึ่งเป็นแบบ 3 to 8 Line Decoder

### 2.7.7 การต่อ MCS-51 เข้ากับหน่วยความจำแบบอีพรอมและแบบแรม

การต่อใช้งานนี้เราอาจจะไม่ใช้ Decoder มาถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำก็ได้ ถ้าเราติดตั้งเพียงอย่างละ 1 ตัวเท่านั้น เพราะแอดเดรสของหน่วยความจำอีพรอมก็คือก็คือ *PSEN* ถ้าสัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำแบบแรมก็คือ *RD* การเขียนข้อมูลลงแรม จะใช้ *WR* รายละเอียดดังรูปที่ 2.45



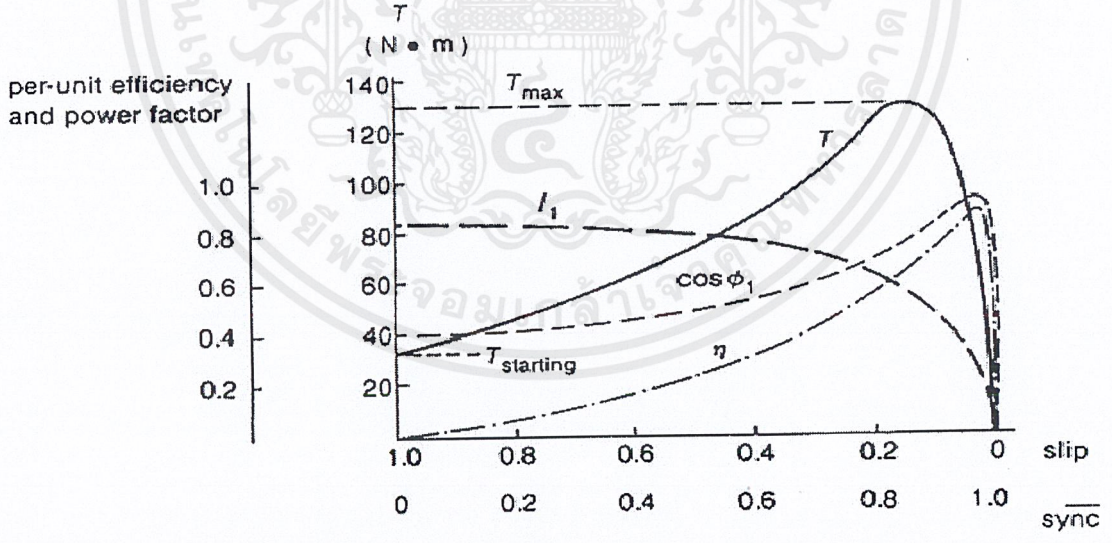
**รูปที่ 2.45** การต่อ MCS-51 เข้ากับ EPROM และ RAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่3
# การออกแบบและการสร้างวงจร

## 3.1แนวคิดการออกแบบ

จากกราฟแสดงคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำดังแสดงในรูปที่3.1 จะเห็นได้ว่ามอเตอร์จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับจุดสูงสุดที่เมื่อมอเตอร์ทำงานตรงกับจุดล้าหลังต่ำสุด และที่ความเร็วใกล้เคียงกับที่ความเร็วที่พิกัดดังนั้นจึงใช้เงื่อนไขที่ให้มอเตอร์ทำงานที่power facterใกล้เคียงกับ power facterที่พิกัดในแต่ละโหลดของมอเตอร์ โดยการลดแรงดันลงมาและใช้เงื่อนไขข้างต้นเป็นตัวควบคุมว่าจะป้อนแรงดันขนาดเท่าใดให้กับมอเตอร์ เพราะฉนั้นพลังงานที่เกิดขึ้นจะใช้ไปในงานที่เป็นประโยชน์มากเหมือนกับกรณีแบกภาระเต็มที่แต่แรงดันที่ป้อนเข้ามีค่าน้อยลงจึงเป็นผลให้มีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ การควบคุมด้วยวิธีนี้จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงขึ้น




**รูปที่3.1** คุณลักษณะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

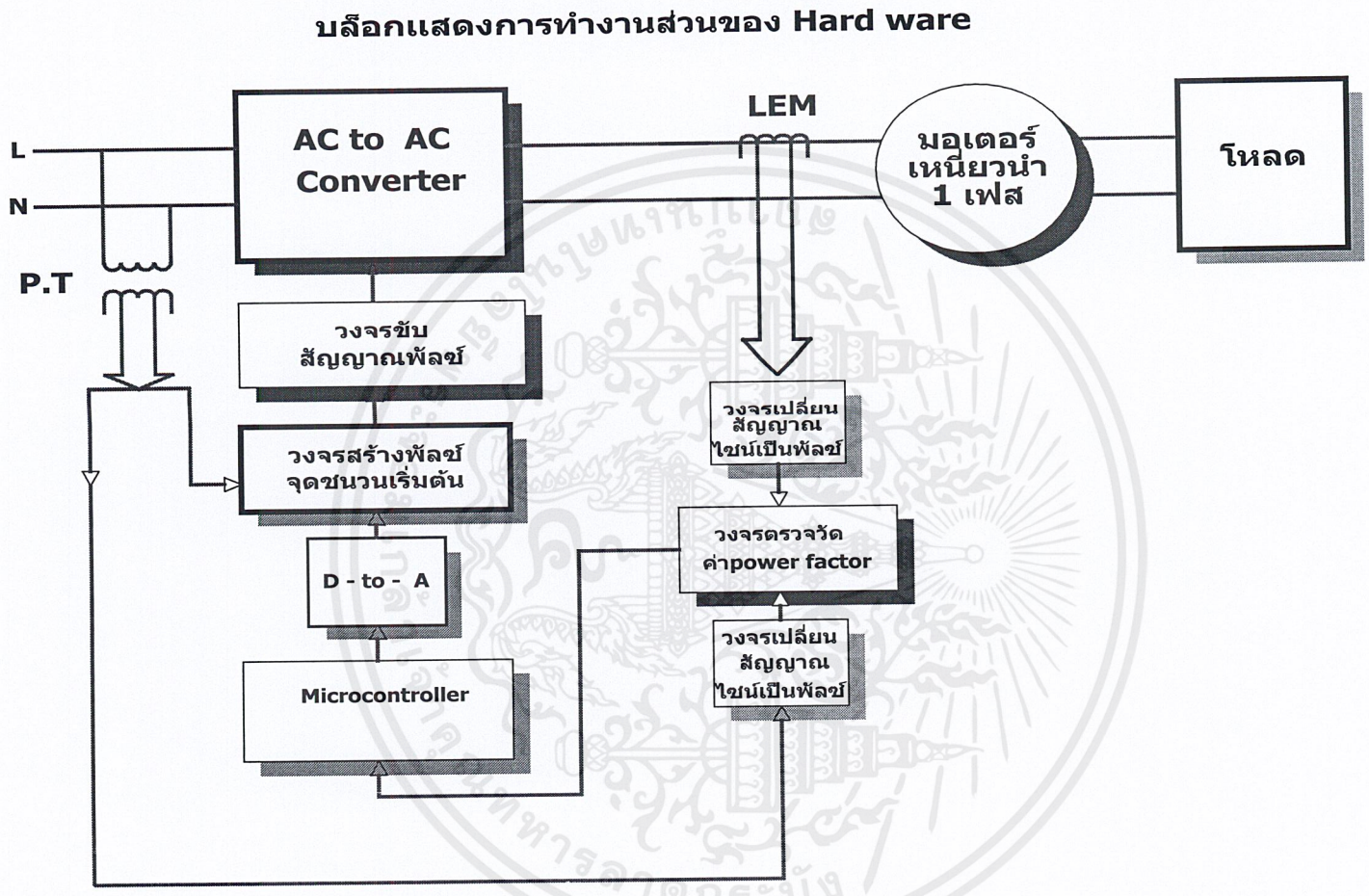
## 3.2รายละเอียดด้าน hardware

การออกแบบอุปกรณ์ควบพลังงาน ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสนี้ เป็นการควบคุมโดยการควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์อาศัยหลักการ AC TO AC Converter โดยการปรับมุมทริกให้กับ SCR นำกระแสซึ่งสามารถปรับมุมทริก Microcontroller ให้ทำงานตามความเหมาะสมของแต่ละโหลดที่มอเตอร์ได้รับ โดยการตรวจจับค่า P.Fโดยใช้ P.TและLEM ในการตรวจจับสัญญาณ Vและ I และมีภาคควบคุมที่รับสัญญาณจากภาคตรวจวัดนำมาประมวลผลใน Microcontroller เพื่อนำสัญญาณที่ได้จาก Microcontrollerไปควบคุมมุมทริกของ SCR โดยใช้ IC TCA785ในการสร้างสร้างสัญญาณมุมจุดชนวนเริ่มต้น โดยใช้สัญญาณที่ได้จาก Microcontroller ผ่านวงจร D/Aเพื่อให้เป็นสัญญาณ dc และนำสัญญาณนี้มาควบคุมมุมจุดชนวนที่สร้างจาก TCA785 โดยถ้าสัญญาณจากD/Aมีค่าน้อยมุมในการทริก SCRก็จะน้อย Vin ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ก็จะมากซึ่งจะกระทำในช่วงที่มอเตอร์รับโหลดมากซึ่งในช่วงนี้ค่า P.F ของมอเตอร์จะสูง นำนองเดียวกันถ้าช่วงที่มอเตอร์รับโหลดน้อย P.Fก็จะน้อย แรงดันที่จ่ายเข้าไปก็ควรน้อยลงโดยการปรับมุมทริกให้มากขึ้นค่าสัญญาณจากD/Aมีค่ามาก โดยIc TCA 785เป็น Icที่สร้างขึ้นมาเพื่อสร้างสัญญาณพัลซ์เพื่อนำไปขับSCR โดยสามารถควบคุมมุมทริกได้จากการควบคุมสัญญาณ DC ที่ขา 11 ของตัวมัน

**รายละเอียดของอุปกรณ์**

บล็อกไดอะแกรมทั้งหมดดังรูปที่ 3.2 มีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์89C51RD2 ใช้ คริสตัล (crystal) 11.059MHz ในการทำงานซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์สามารถโหลดโปรแกรมลงบนตัวชิพได้โดยตรงผ่านพอร์ทอนุกรม วงจรสร้างพัลซ์จุดฉนวนเริ่มต้นจะใช้ TCA 785 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ และมีการสร้างพัลซ์ train โดยใช้ไอซีเบอร์ 555 สร้างสัญญาณ ความถี่สูงประมาณ 10kHz สัญญาณที่ได้จาก TCA785 และIc 555 มาAND กัน โดยไอซี ANDGATE ใช้เบอร์ 7408 สัญญาณจาก ANDGATE ก็จะถูกส่งไปให้ opto ซึ่งใช้เบอร์ 4N26 แยกกราวน์ทางไฟฟ้าออกจากชุดควบคุมและชุดกำลัง พร้อมทั้งจะมีวงจรขยายสัญญาณพัลซ์อีกด้วยใช้ Transistor เบอร์2N3053ต่อแบบ Darington ก่อนส่งสัญญาณไปขับ SCR ในการควบคุมพลังงานของมอเตอร์ในวงจรตรวจจับค่า P.F. จะใช้ Potential Transformer ในการตรวจจับสัญญาณแรงดัน ใช้ LEM ในการตรวจจับสัญญาณกระแส ตัวแปลงสัญญาณ sine เป็น pulseใช้ Ic LM741ทำการเปลี่ยนคลื่นsineให้เป็นpulseเพื่อป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่3.2** บล็อกแสดงการทำงานส่วน Hard ware

## 3.3วงจรจุดชนวนเกตุ SCRด้วย TCA785

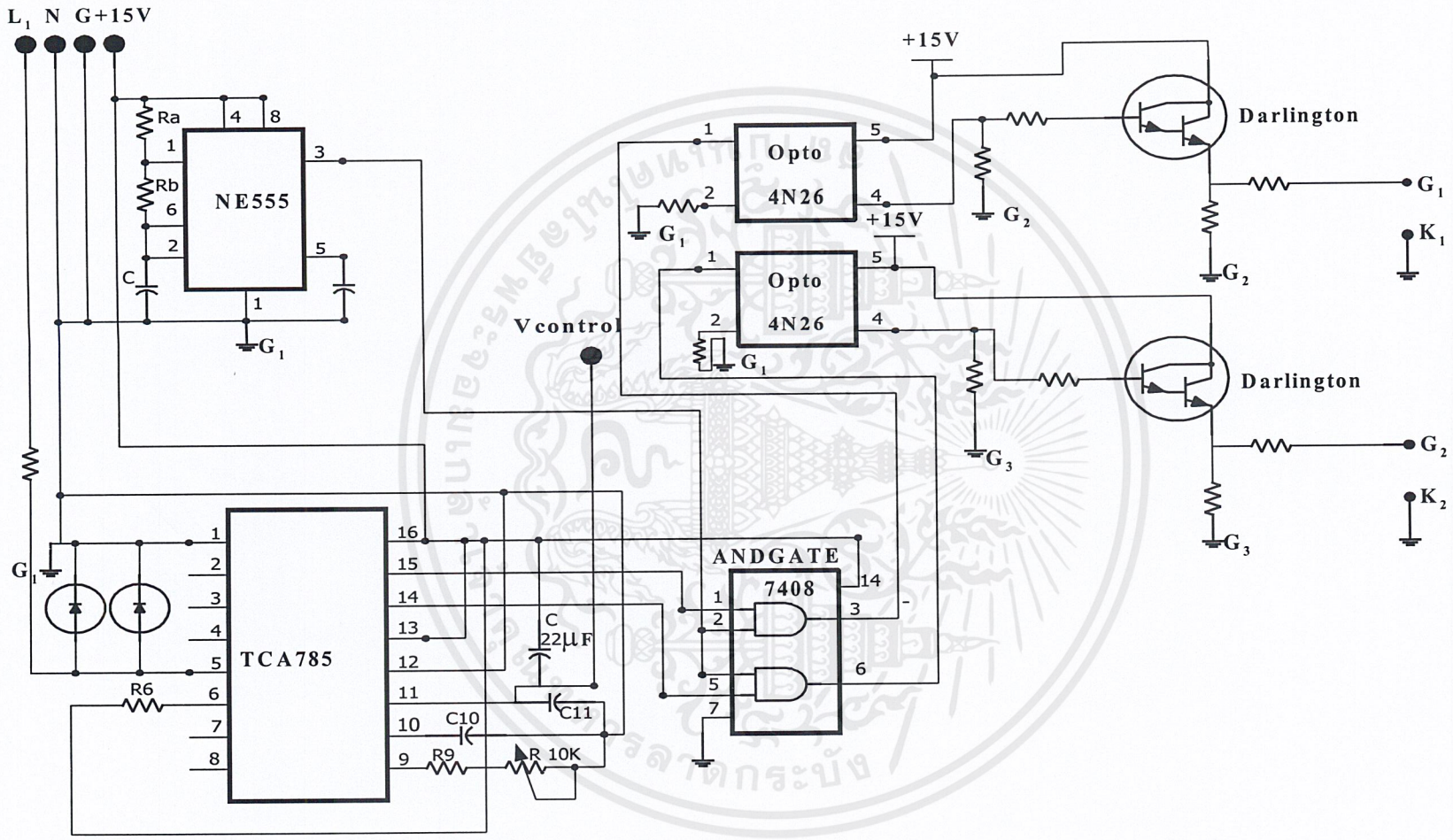
จากวงจร TCA785 ดังรูปที่3.3จะมีสัญญาณแรงดัน $V_{REF}$(sine wave) ที่ขา 5 เพื่อให้ตัวไอซีสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่เท่ากัน โดยสัญญาณสามเหลี่ยมนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันไฟตรงจากแรงดัน $V_{control}$ที่ขา11 โดยขนาดของสัญญาณสามเหลี่ยมเลือกได้จากการเลือกค่า C และ R ที่ต่ออยู่กับขาที่10และ9ตามลำดับ ส่วนความกว้างของสัญญาณพัลซ์เลือกได้จากการเลือกค่า C ที่ต่ออยู่ที่ขา12 ซึ่งในวงจรนี่ต่อขา12ลงกราวน์เพราะต้องการค่าความกว้างของสัญญาณพัลซ์เต็มที่เพื่อนำมาทำ pulse trane สัญญาณทริกของ SCRได้จากขา14และ15 โดยขา14 ทริกSCRด้านลบ และขา15ทริกSCR ด้านบวก การปรับมุมทริกปรับได้จากปรับแรงดันไฟตรง $V_{control}$ ที่ขา11 ถ้าแรงดันไฟตรงมากจะทำให้มุมทริกกว้าง และถ้าแรงดันไฟตรงน้อยมุมทริกจะน้อย

ข้อควรคำนึงถึงอีกประการหนึ่งคือ ในการทริกเอสซีอาร์นั้นการเพิ่มกระแสเกทอย่างรวดเร็วเป็นสิ่งจำเป็น ควรเพิ่มกระแสเกทอย่างรวดเร็วมิฉะนั้นอาจไม่เกิดการทริกขึ้น ถ้าสัญญาณทริกค่อมอยู่ที่จุดที่กระแสตกก็อาจไม่เกิดการทริกขึ้น เนื่องจากการทริกจะเกิดขึ้นตอนที่มีการเพิ่มขึ้นของกระแสเกท เมื่อกระแสครึ่งไซเคิลก่อนยังไม่หมดแต่มีการทริกเกิดขึ้นก็จะยังไม่เกิดการทริก เมื่อกระแสเป็นศูนย์พร้อมที่จะ ได้รับการทริกแล้วและสัญญาณทริกก็ยังอยู่แต่ไม่มีการเพิ่มของกระแสทริกจะทำให้ไม่สามารถทริกได้แม้จะจ่ายสัญญาณทริกก็ตาม ปัญหานี้อาจเกิดขึ้นได้เมื่อเราจ่ายโหลดอินดักทีฟเพราะมีการตามของกระแส เพื่อป้องกันปัญหานี้เราจะมีการเพิ่มความถี่ของสัญญาณทริก (แทนที่เราจะทริกด้วยสัญญาณลูกเดียว เราจะทริกด้วยสัญญาณช่วงสั้นๆหลายๆลูก) ความถี่ที่ใช้ประมาณ10กิโลเฮิร์ท (ควรให้ช่วงเวลาในการเพิ่มของกระแสสั้นๆประมาณสัก 1$\mu$sec ค่านี้เป็นค่าประมาณส่วนค่าจริงๆจะใช้เท่าไหรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของงานนั้นๆ)

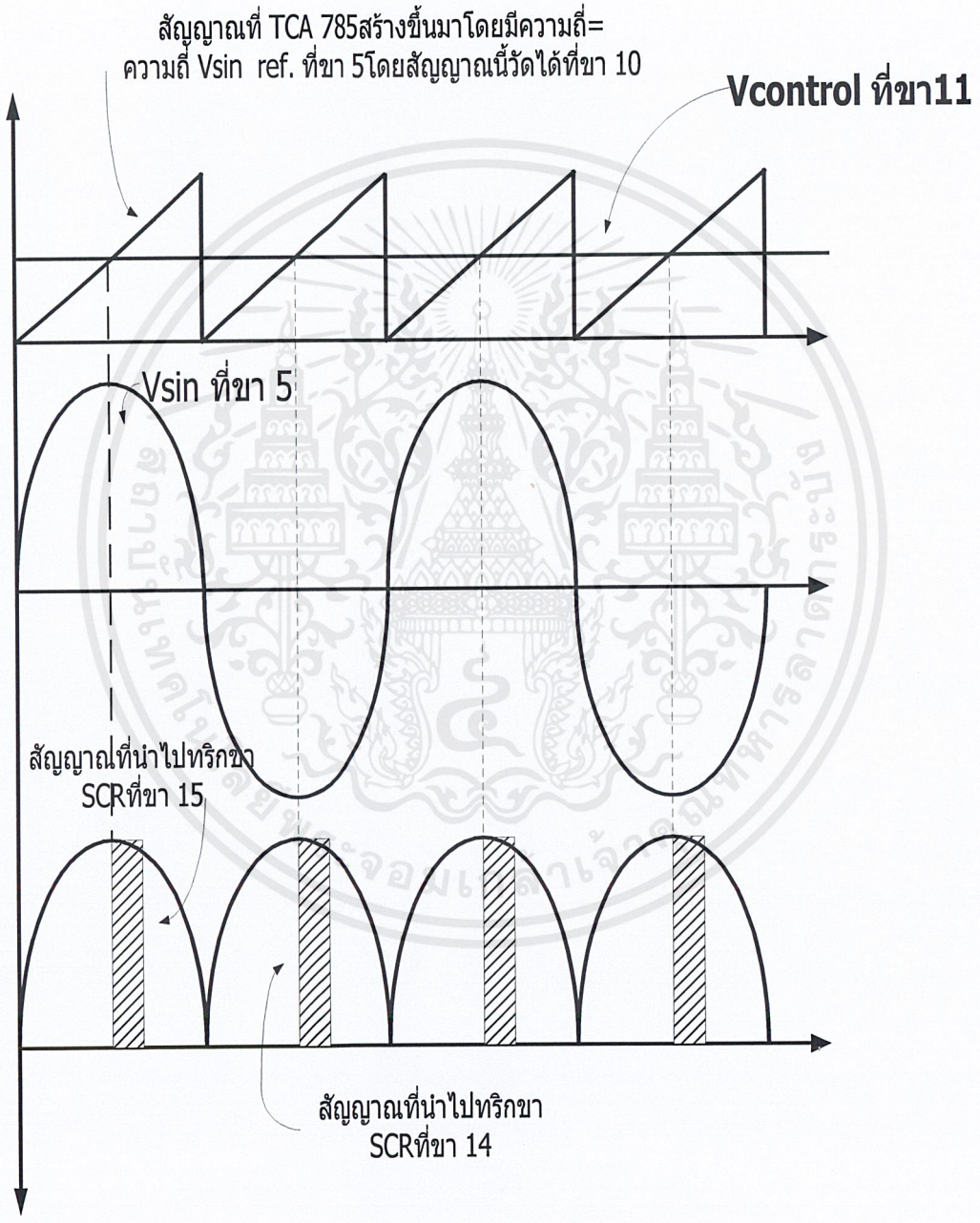
**วงจร pulse trane**

ใช้ IC เบอร์555 เป็นต้นกำเนิดสัญญาณความถี่สูง แล้วนำสัญญาณนี้มารวมกับสัญญาณจากขา14และ15ของTCA785 ด้วยการต่อเข้ากับ AND GATEโดยใช้ IC เบอร์7408 แล้วจึงส่งสัญญาณนี้ไปทำการทริก SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

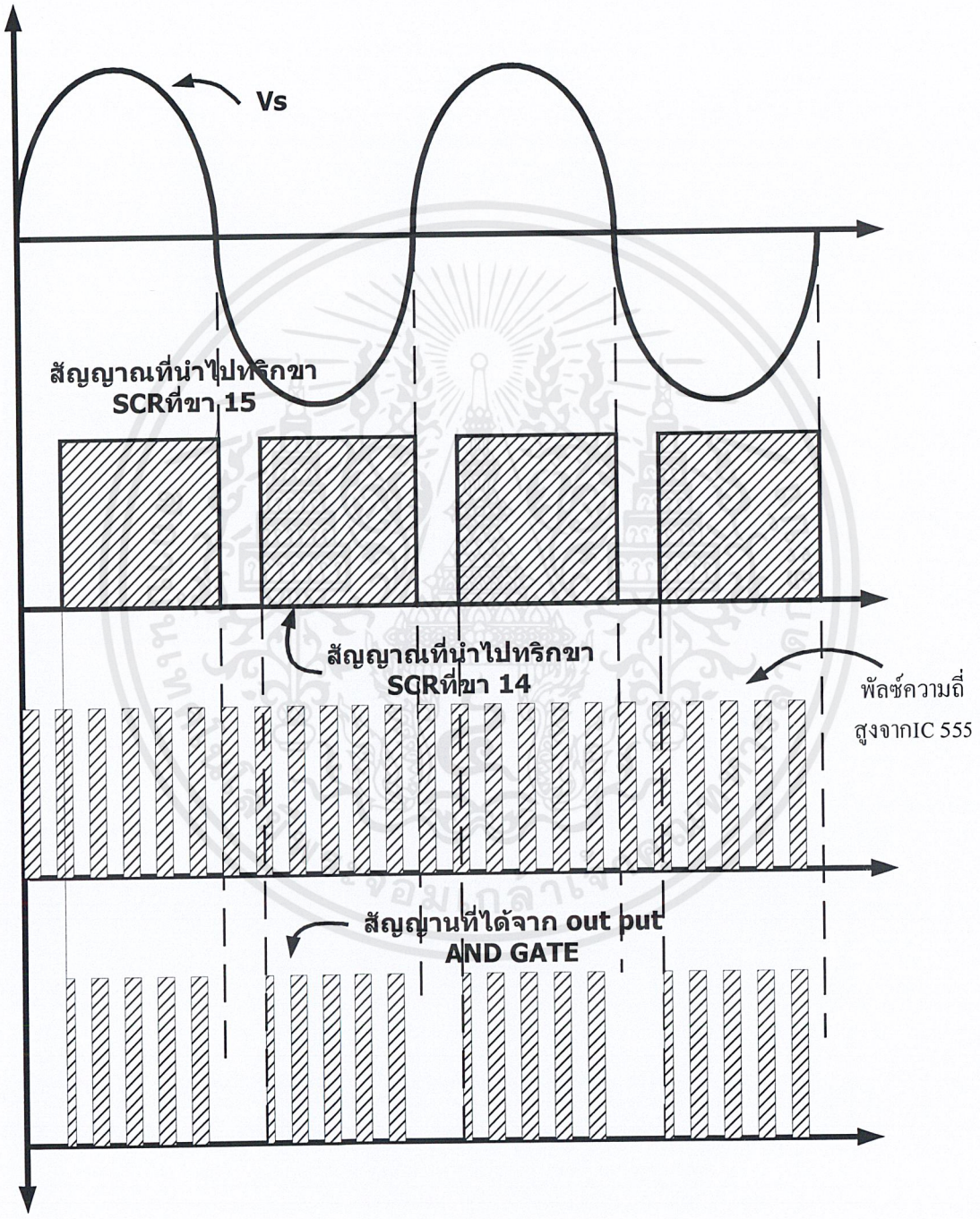



**รูปที่3.4** แสดงวงจรสร้างสัญญาณจุดชนวนเกท




**รูปที่ 3.4** สัญญาณตามขาต่างๆ ของ TCA785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.5** แสดงสัญญาณในการสร้าง Pulse trane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

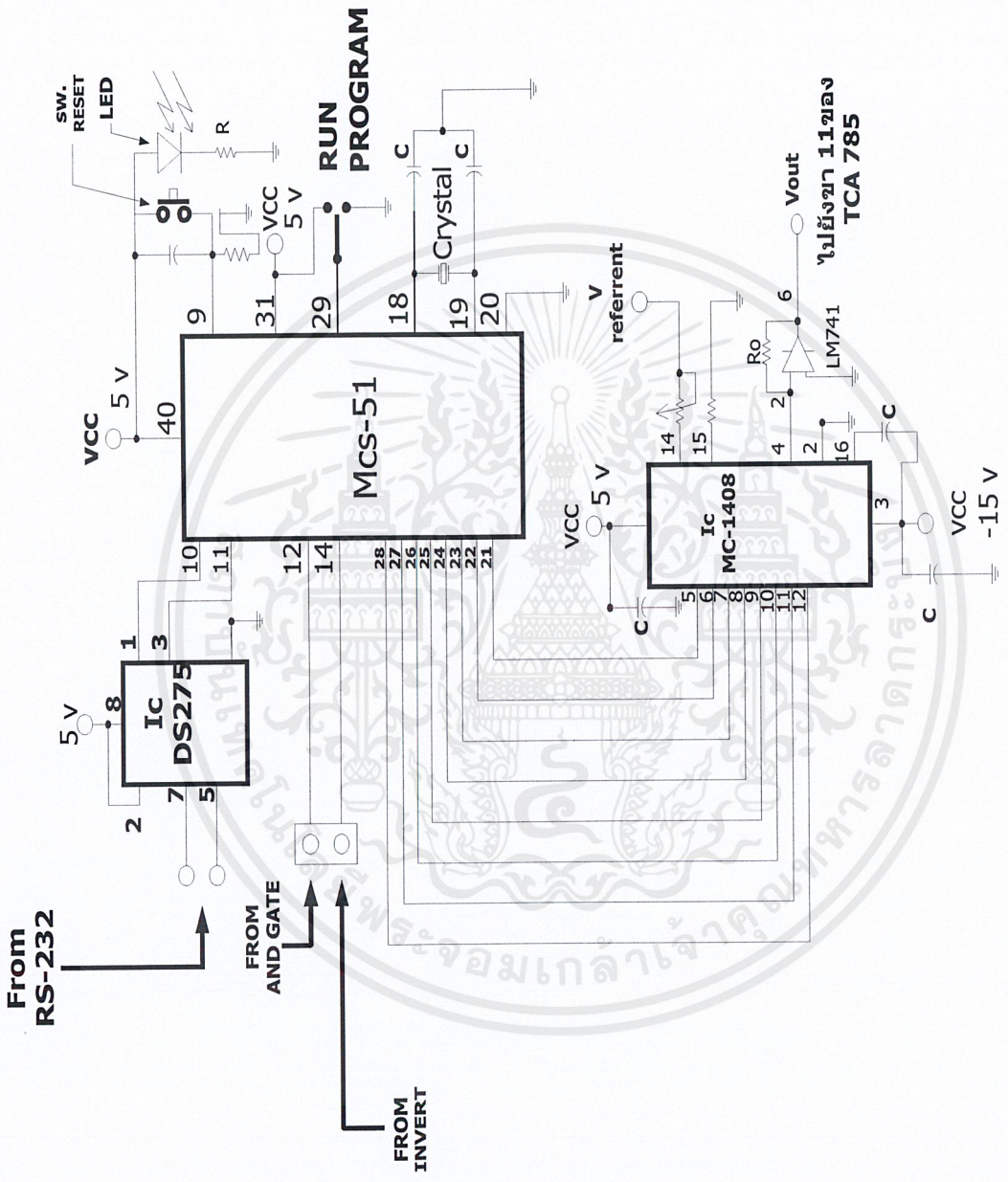
## 3.4 ส่วนประมวลผล

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์89C51RD2เป็นส่วนประมวลผล โดยใช้ D/A เบอร์ MC 1408 เป็นตัวแปลงสัญญาณ digital ให้เป็น analog เพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมมุมทริก SCR โดยส่งสัญญาณไปที่ขา 11ของTCA785 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับสัญญาณจากวงจรวัดสัญญาณ P.F มาประมวลผล โดยโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับสัญญาณมา 2 สัญญาณ คือ 1.สัญญาณจาก ANDGATE ที่เป็นสัญญาณ P.F 2.สัญญาณจาก INVERT ซึ่งเป็นสัญญาณที่นำสัญญาณจาก ANDGATEมาเข้า INVERTใช้เพื่อเป็นสัญญาณเริ่มต้นให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มนับความกว้างของพัลซ์ P.F สัญญาณจาก ANDGATEจะถูกต่ออยู่กับขา T0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และสัญญาณจาก INVERT จะถูกต่ออยู่กับ ขา INT1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.4.1การนับพัลซ์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

สัญญาณพัลซ์จากวงจรตรวจวัด P.F ถูกนำมา AND กับพัลซ์ความถี่สูง เพื่อให้ TIMEMER ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ นับจำนวนพัลซ์บวก แทนการนับเวลา ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มนับได้ก็ต่อเมื่อสัญญาณจาก INVER เป็นขอบขาลง เพื่อให้ TIMEMER เริ่มนับที่สัญญาณ P.F เข้ามาพอดี โดยไมโครใช้การนับพัลซ์เป็นการตรวจสอบค่า P.F ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่3.7** แสดงการต่อวงจรในส่วนประมวลผล

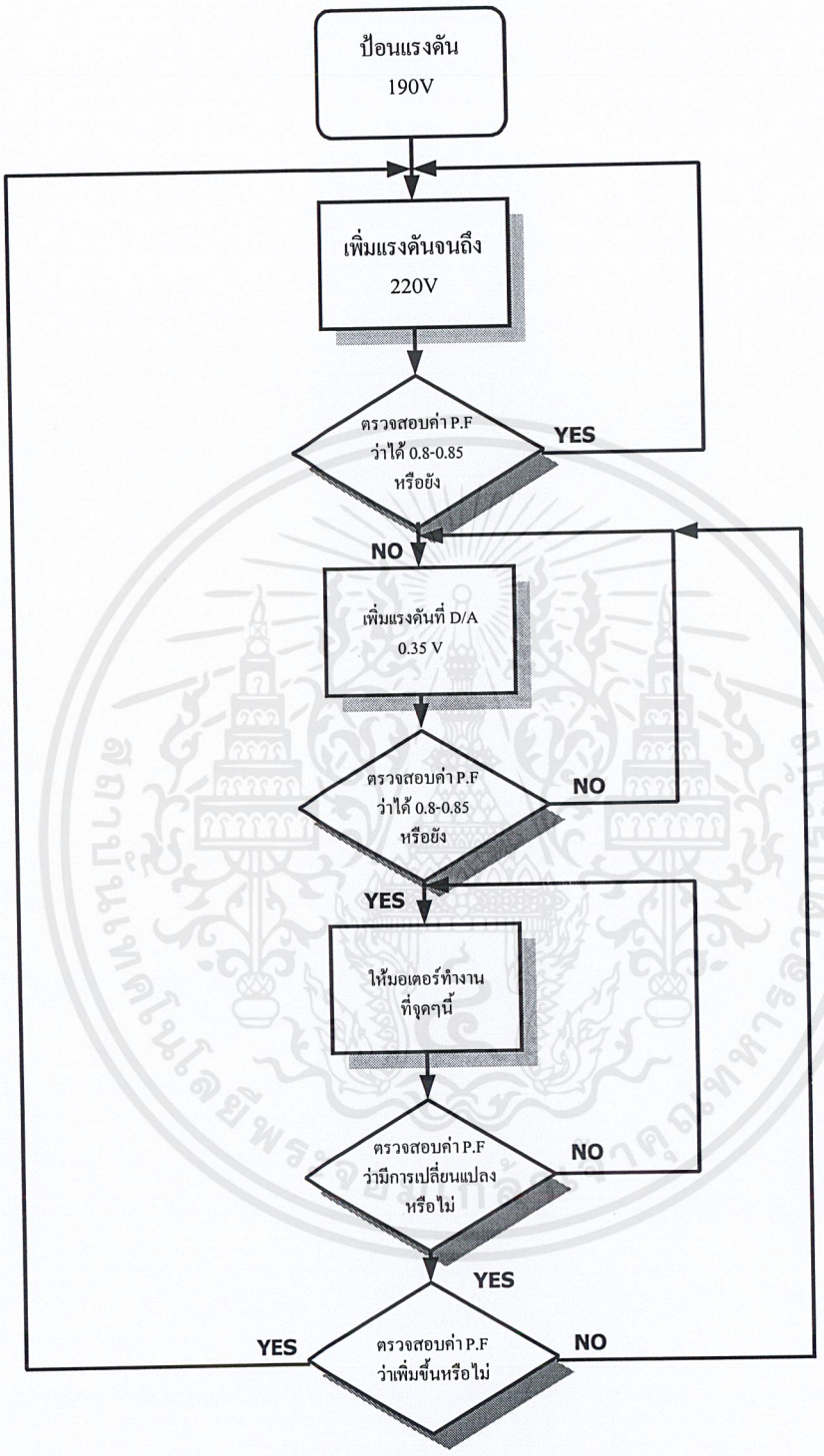
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.4.2การทำงานของ SOFT WARE**

การทำงานของ SOFT WARE

- ตั้งค่ามุมจุดชนวน SCR ไว้ที่ 190 V เพื่อเริ่มต้นแบบ SOFT START
- เพิ่มแรงดันจนถึงแรงดันที่พิกัดคือ 220 V
- ตรวจสอบค่า P.F ของมอเตอร์ ว่า P.F ได้ 0.8-0.85 คือ P.F ที่ค่าพิกัดหรือยัง ถ้าได้แล้วก็ให้ทำงานที่220v
- ถ้าไม่ได้ ก็ให้เพิ่มค่า D/A เพื่อลดค่าแรงดัน VS
- ตรวจสอบค่า P.F ของมอเตอร์ ว่า P.F ได้ 0.8-0.85 คือ P.F ที่ค่าพิกัดหรือยัง ถ้าไม่ได้ก็ให้เพิ่มค่า D/A เพื่อลดค่าแรงดัน VS อีกจนกว่าจะได้
- ถ้าได้แล้วก็ให้ทำงานที่จุดนั้น
- ตรวจสอบค่า P.F ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ถ้าไม่ก็ให้ทำงานที่จุดๆนั้นและตรวจสอบค่า P.F อยู่ตลอลเวลาเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนการแปลงของโหลด
- ถ้าเปลี่ยน ก็ให้ตรวจสอบว่า P.F มีค่าสูงขึ้นหรือลดลง ถ้าลดลงแสดงว่ามีโหลดลดลงก็ให้ไปเพิ่มค่า D/A
- ถ้าเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีโหลดเพิ่มขึ้น ให้กลับไปเพิ่มแรงดัน VS ถึง 220v และเริ่มกระบวนการใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



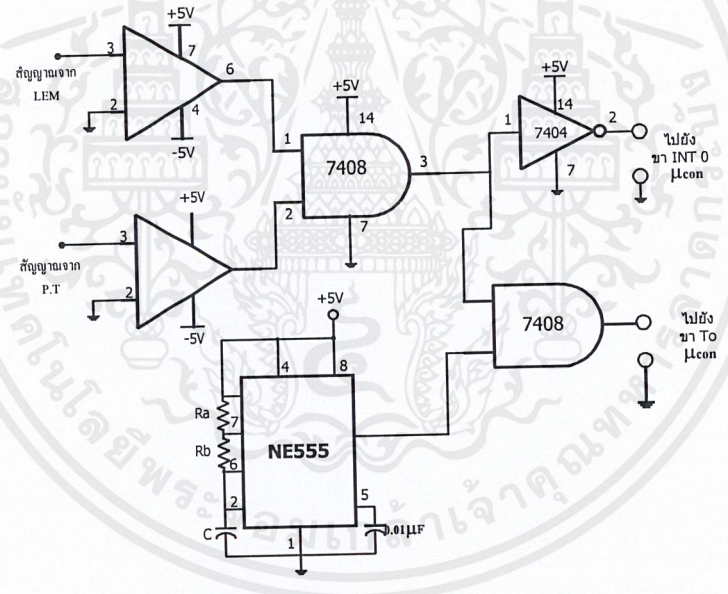

**รูปที่3.7** flow chart การทำงานของ soft ware

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 วงจรวัดค่า P.F

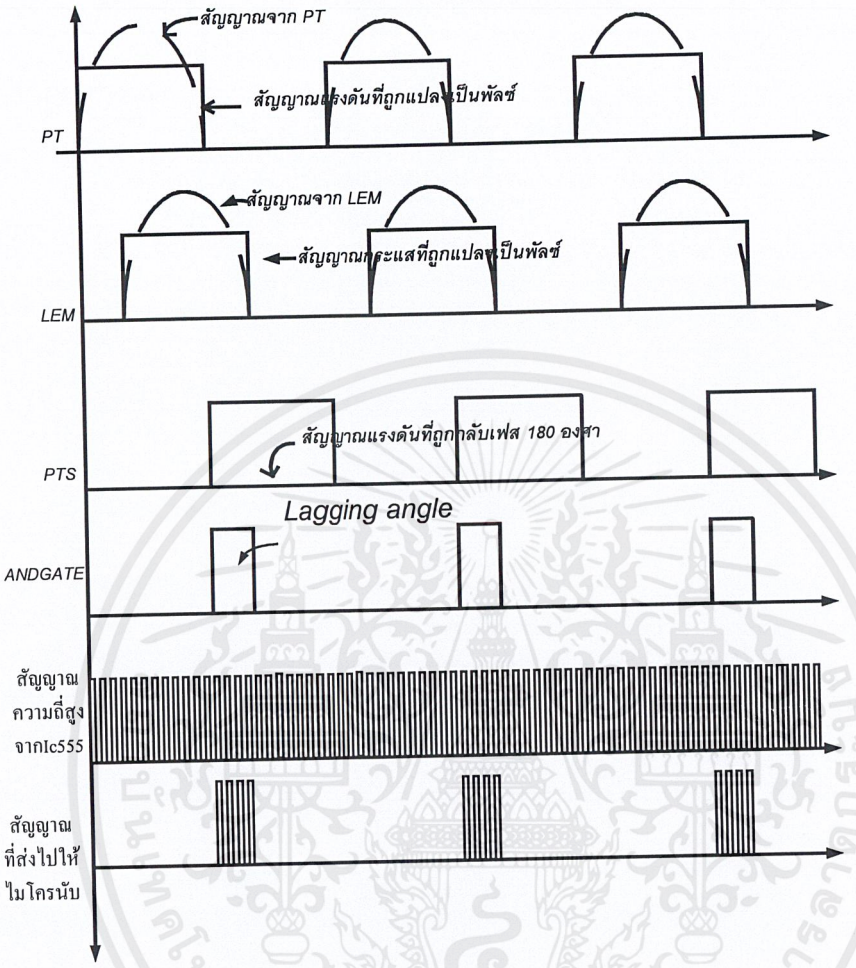
**อธิยายการทำงานของวงจร**

จากวงจรเมื่อได้รับสัญญาณจาก LEM เมื่อได้สัญญาณมาแล้วก็นำไปแปลงเป็นสัญญาณพัลซ์ด้วยIC เบอร์741 ส่วนสัญญาณที่ได้จาก P.T.(potentialtransformer)ผ่าน วงจรแปลงเป็นสัญญาณเป็นพัลซ์ และนำสัญญาณนี้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณจาก LEM เพื่อหาค่าความแตกต่างระหว่างมุมของแรงดันกับกระแส ด้วย AND GATE ตัวที่1 และนำสัญญาณจากจุดนี้มา AND กับสัญญาณความถี่สูง ที่ได้จาก Ic 555เพื่อให้ไมโครอ่านค่าความกว้างพัลซ์ซึ่งก็คือค่า P.F และนำสัญญาณจาก AND GATE ตัวที่1 มากลับเฟสที่ INVERT(7404) ใช้เป็นสัญญาณเริ่มต้น ให้ Timemer ของไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มนับพัลซ์




**รูปที่ 3.8** วงจรที่ใช้ในการตรวจวัดค่า power factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.9** แสดงสัญญาณในการสร้างวงจรตรวจวัด P.F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่4

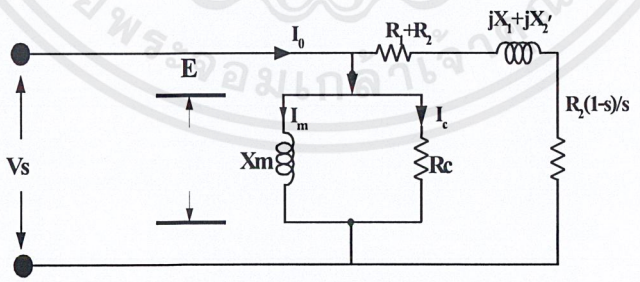
# ผลการทดลอง

## 4.1บทนำ

เมื่อได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1$\phi$แบบ Capacitor run Capacitor start ให้เงื่อนไขให้มอเตอร์ทำงานที่ไกล้เคียง P.F สูงสุดตลอดเวลา เพื่อให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นในช่วง Light load ในบทนี้กล่าวถึงลักษณะของการทดสอบมอเตอร์ในรูปแบบต่างๆ เช่นการทดสอบ Noload , การทดสอบBock Rotor , การทดสอบโดยไม่มีชุด AC-AC converter และการทดสอบแบบมีชุด AC-AC Converter พร้อมชุดควบคุมในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ลักษณะการต่อวงจรและตำแหน่งการวัด การบันทึกผลการทดสอบ

## 4.2 การทดสอบคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1$\phi$ พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor

โดยการแสดงในรูปของวงจรสมมูลย์ไฟฟ้า




**รูปที่4.1** วงจรสมมูลย์ ทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

กำหนดให้

V1 = stator terminal votage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I1 = stator curent

$I\phi$ = exciting curent

I2 = rotor curent ที่ tranfer อยู่ทางด้าน stator

R1 = stator reasistance

R2 = rotor reasistance

Rc = core loss reasistance

X1 = stator leakage reactance

X2 = rotor leak reactanceที่ tranfer อยู่ทางด้าน stator

Xm = magnetizing reactance

S = slip

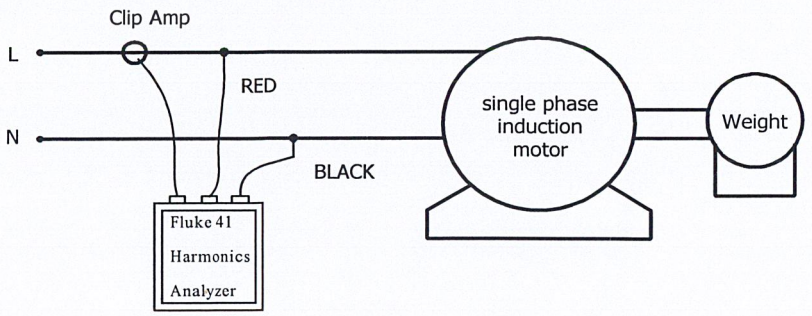
**4.2.1 No load test**

**4.2.1.1** อุปกรณ์ที่ใช้

| | | |
|---|---|---|
| 1.มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1แรงม้าแบบ Capacitor run Capacitor start | 1 | ตัว |
| 2. Fluke 41 Harmonics Analyzer | 1 | เครื่อง |
| 3.Techometer | 1 | ตัว |
| 4.สายไฟ | 1 | ชุด |
| 5.มัลติมิเตอร์ | 1 | เครื่อง |

**4.2.1.2 วิธีการทดสอบ**

1. ต่อวงจรดังรูปที่4.6 โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตามพิกัดคือ 220v




**รูปที่ 4.2** การทดสอบ Noload test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเท่ากับแรงดันที่พิกัดให้กับมอเตอร์โดยไม่มีภาระทางกล ขณะนี้มอเตอร์จะมีความเร็วรอบ Nr มีค่าใกล้เคียงกับ Ns ค่าslip จะมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ทำให้วงจรดังรูปที่ 1 มีสภาพเหมือนเปิดวงจร

3. บันทึกค่าจากการทดสอบวัดค่า Vo,Io,Po และ cos$\phi$ ลงในตารางที่4.2เพื่อคำนวณหาค่า Rc,Xm

**ตารางที่ 4.1** Name Plateของมอเตอร์เหนี่ยวนำ1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start

| |
|---|
| **1 HP** |
| **220 V** |
| **5.6 A** |
| **50 Hz , 1440 rpm** |

**ตารางที่4.2** ผลการทดสอบNoload testมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1$\phi$1แรงม้า1$\phi$แบบ Capacitor run Capacitor start

| | |
|---|---|
| **แรงดัน** | **220 V** |
| **กระแส** | **2.75A** |
| **กำลังไฟฟ้า** | **170W** |
| **COS $\phi$** | **0.29** |

กำหนดให้ค่าที่วัดได้ขณะมอเตอร์หมุนตัวเปล่ามีค่าดังนี้

Vo=แรงดันเต็มพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Io=กระแสขณะหมุนตัวเปล่า

Po=กำลังไฟฟ้า

$\cos\phi$=ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์

นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา Rc และ Xm

$$Po = VoIo\cos\phi^{o}$$

$$\phi = \cos^{-1}0.29$$

$$= 73.14^{o}$$

$$Ic = Io\cos\phi$$

$$= 2.75 \times 0.29$$

$$= 0.79\ A$$

$$I_{\mu} = Io\sin\phi$$

$$= 2.75\sin 73.14^{o}$$

$$= 2.631\ A$$

$$Rc = VO/Ic = Vo / Io\cos\phi$$

$$= 220/0.79$$

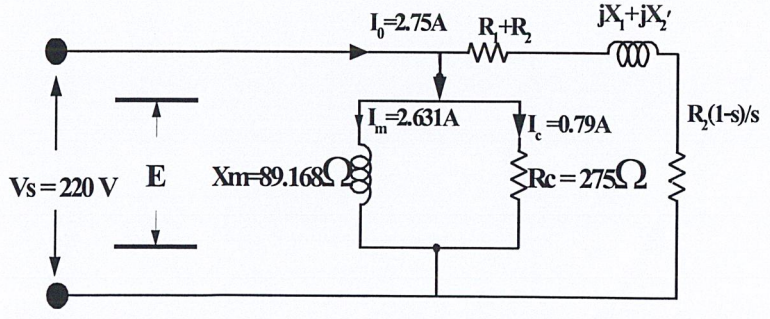
$$= 278\ \Omega$$

$$Xm = VO/Im = Vo / Io\sin\phi$$

$$= 220/2.631$$

$$= 83.618\ \Omega$$

นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาแทนค่าในวงจรสมมูลย์ดังรูปที่ 4.3




**รูปที่ 4.3** วงจรสมมูลย์แทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ Noload test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันที่จริงแล้ว ค่า พารามิเตอร์ Rc และ Xm ที่คำนวณ ได้นั้นเป็นค่าโดยประมาณเนื่องจากมอเตอร์หมุนที่ความเร็วซิงโครนัส โดยสูญเสียกำลังส่วนหนึ่งให้กับแรงเสียดทาน(Friction loss)ระหว่างเพลากับตลับลูกปืนและแรงต้านลม(windage loss) ของใบพัดที่ติดกับเพลา ดังนั้นกำลังสูญเสียขณะที่มอเตอร์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าที่พิกัดจะกำหนดให้ประกอบไปด้วย

1.Fixes loss = (Core loss + frition low + windage loss)

2.Copper = (Stator $I^2R$loss+rotor $I^2R$ loss)

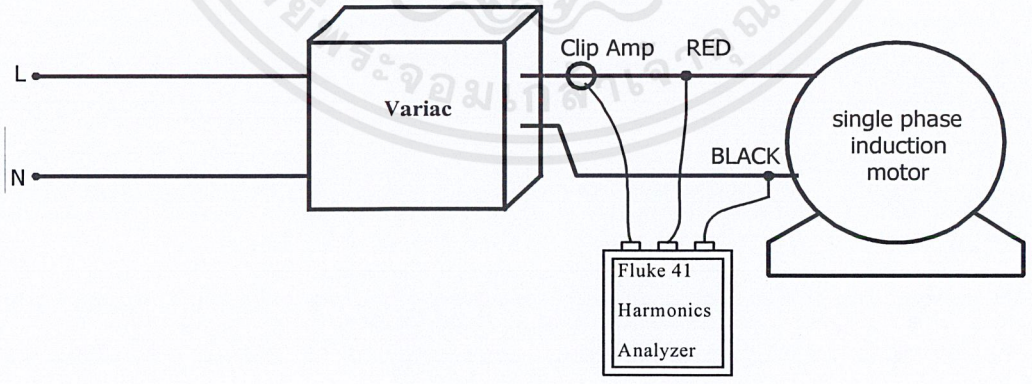
### 4.2.2 การทดสอบ Block rotor test

#### 4.2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้

| | | |
|---|---|---|
| 1. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1แรงม้าแบบ Capacitor run Capacitor start | 1 | ตัว |
| 2. Fluke 41 Harmonics Analyzer | 1 | เครื่อง |
| 3. Techometer | 1 | ตัว |
| 4. สายไฟ | 1 | ชุด |
| 5. มัลติมิเตอร์ | 1 | เครื่อง |
| 6. Variac | 1 | ตัว |

#### 4.2.2.2 วิธีการทดสอบ

1. ต่อวงจรดังรูปที่4.4 โดยใช้VAriac เป็นตัวจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์




**รูปที่4.4** การทดสอบ Block rotor test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำได้โดยการใช้ Variac จ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์ โดยจับ rotor ให้อยู่กับที่แล้วค่อยปรับแรงดันขาเข้าให้กับมอเตอร์ จนกระแสของมอเตอร์ถึงค่าพิกัด แล้วจึงบันทึกค่าต่างๆตามตาราง

**ตารางที่ 4.3** ผลการทดสอบมอเตอร์ แบบ Block rotor test

| | |
|---|---|
| **แรงดัน** | **57.3** |
| **กระแส** | **5.6** |
| **กำลังไฟฟ้า** | **0.28** |
| **COS $\phi$** | **0.84** |

กำหนดให้ค่าที่วัดได้เมื่อมอเตอร์ถูกจับให้หยุดหมุน

Vb = แรงดันขณะถูกจับให้หยุดหมุน

Ib = กระแสขณะถูกจับให้หยุดหมุน

Pb = กำลังไฟฟ้าขณะถูกจับให้หยุดหมุน

นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ

$$Z = V/Ib$$

$$= 57.3/5.6$$

$$= 10.23\ \Omega$$

$$Req = Zeq .Cos\ \phi b$$

$$= 10.23 \times 0.84$$

$$= 8.59\ \Omega$$

$$Xeq = Zeq . \sin \phi b$$

$$= 10.23 \sin 32.85$$

$$= 5.54\ \Omega$$

$$Xeq = X1+X2$$

ะกำหนดให้X1= X2 ดังนั้น

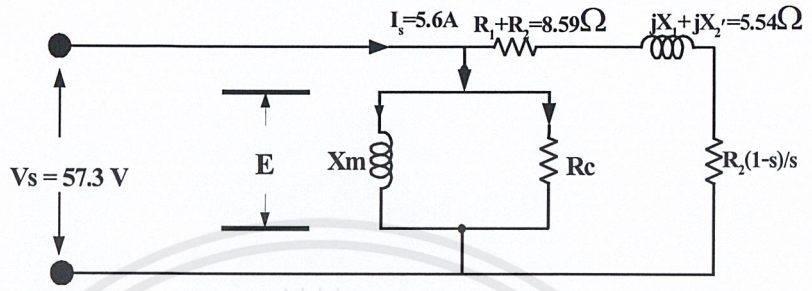
$$X1 = X2 = Xeq/2$$

$$= 5.54/2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 2.77\ \Omega$

นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาแทนค่าในวงจรสมมูลย์ดังรูปที่ 4.5



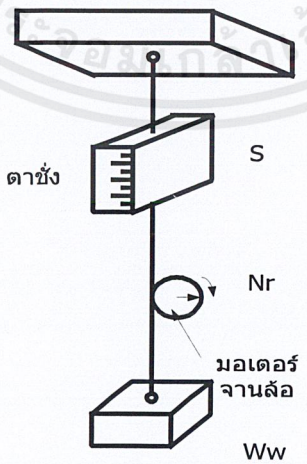

**รูปที่ 4.5** วงจรสมมูลย์แทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ Block rotor test test

## 4.3การหากำลังงานทางกลศาสตร์ของเครื่องจักรไฟฟ้า

การหากำลังงานทางกลศาสตร์(Pmech)ที่เกิดจากมอเตอร์ สามารถ หาได้จากสมการของแรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลาของมอเตอร์(T shaft)

$$Pm = T\ shaft\ .\ \omega r.\ watt \qquad (4.1)$$

$$\omega r = 2\pi Nr/60\ \text{เรเดียนต่อวินาที} \qquad (4.2)$$




**รูปที่4.6** การหากำลังงานทางกลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่4.4 ขณะที่มอเตอร์หยุดนิ่งตาชั่ง S จะอ่านค่าได้เท่ากับ $W_w$ จากทิศทางการหมุนของมอเตอร์ พยายามดึงน้ำหนัก $W_w$ขึ้นทำให้ตราชั่ง S อ่านค่าได้น้อยกว่า ดังนั้น แรงที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์จะมีค่าเท่ากับ $W_w$- S และรัศมีของเพลาเท่ากับrเมตร ดังนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเท่ากับกำลัง

$$T_{shaft} = 9.81 .( W_w - S) r \qquad N\text{-}m \tag{4.3}$$

งานทางกลศาสตร์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะส่งผ่านในรูปการเสียดสีระหว่างเชือกกับจานล้อของเครื่องจักรไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนรูปแเป็นพลังงานความร้อน

จากการทดสอบหากำลังงานทางกลของมอเตอร์ที่โหลดลูกตุ้มน้ำหนัก 1 kg

ที่โหลด 1 kg จะได้ s= 0.6kg r=0.08m Nr = 1480rpm
หาแรงบิดที่โหลด 0.9 kg

$$T_{shaft} = 9.81 .( W_w - S) r \qquad N\text{-}m$$
$$= 9.81 \times (1- 0.4) \times 0.08$$
$$= 0.313 \text{ N-m}$$

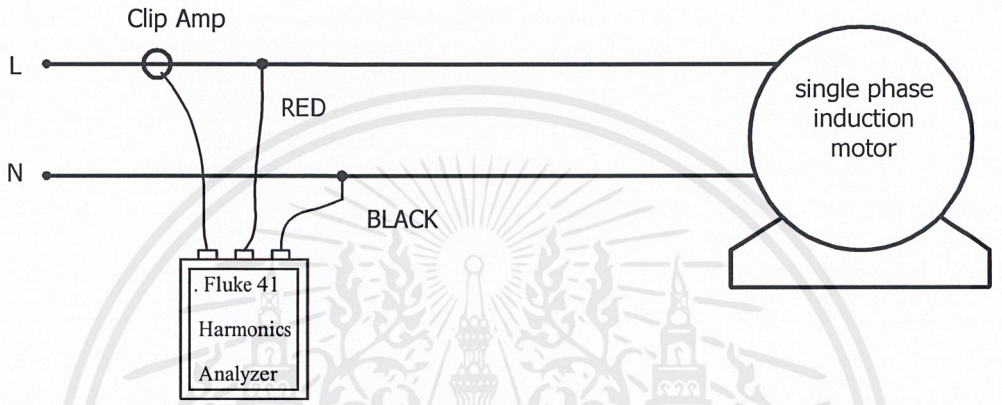
แต่ค่าแรงบิดสูงสุดของมอเตอรที่ใช้ทดสอบคำนวณได้จาก Name pate

$$P_{out} = 746 \text{ w, Nr} = 1440 \text{ rpm}$$
$$P_m = T_{shaft} . \omega_r$$
$$\omega_r = 2\pi Nr/60$$
$$= 150 \text{ rad / sec}$$
$$T_{shaft} = P_{out}/\omega_r$$
$$= 746/150$$
$$= 4.97 \text{ N-m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4การต่อเครื่องมือวัด Fluke 41 Harmonics Analyzer

ลักษณะการต่อเครื่องมือวัด Fluke 41 Harmonics Analyzer ในการวัดค่าซึ่งค่า V,I,P,S,Q,pf,%THDv,%THDi ที่ได้จะบันทึกลงตาราง




**รูปที่4.7** ลักษณะการต่อเครื่องมือวัด Fluke 41 Harmonics Analyzer

## 4.5 การทดสอบคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ1$\phi$ พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะไม่ต่อชุด Ac-Ac converter

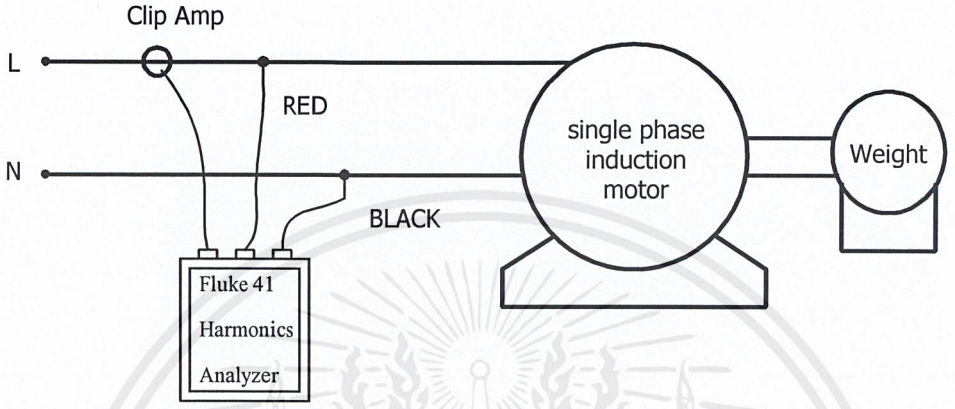
### 4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

| | | |
|---|---|---|
| 1.มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1แรงม้าแบบ Capacitor run Capacitor start | 1 | ตัว |
| 2. Fluke 41 Harmonics Analyzer | 1 | เครื่อง |
| 3.Techometer | 1 | ตัว |
| 4.Osilloscope | 1 | เครื่อง |
| 5.ตาชั่งและน้ำหนัก | 1 | ชุด |
| 6.สายไฟ | 1 | ชุด |
| 7.มัลติมิเตอร์ | 1 | เครื่อง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.5.2 วิธีการทดสอบ**

1.ต่อวงจรดังรูปที่4.8 โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตามพิกัดคือ 220v




**รูปที่4.8** การต่อเครื่องมือวัด Fluke 41กับมอเตอร์

2. ทำการให้ภาระทางกลโดยใส่น้ำหนักจาก 0.9-9kg stepละ0.9 kg โดยมีการใช้ตาชั่งและลูกน้ำหนักพร้อมบันทึกค่าน้ำหนักโหลด,ค่าแรงดัน,ค่ากระแส, P.F, P,S,Q,%THDv,%THDiลงในตารางที่4.4

3. คำนวณหาค่ากำลังเอาท์พุท,สลิป,แรงบิด,และประสิทธิภาพของมอเตอร์

4. ใช้ Variac ปรับค่าแรงดันให้มีค่าความเร็วที่ rate speed ที่พิกัดของมอเตอร์ในแต่ละโหลดพร้อมบันทึกค่าลงในตาราง

5. ใช้ Variac ปรับค่าแรงดันให้มีค่า P.F อยู่ที่ rate พิกัดของมอเตอร์ในแต่ละโหลด พร้อมบันทึกค่าลงในตาราง

6.ใช้ Oscillosropวัดและบันทึกสัญญาณเอาท์พุท,Vcontrolเทียบกับ Vlamp ที่โหลดน้ำหนัก 0.9 kg,4.5kg,9kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.4** ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะไม่ต่อชุด Ac-Ac converter

| (%) ของโหลด (%) | กำลังงาน O/P ของมอเตอร์ (W) | แรงดัน (V) | กระแสของมอเตอร์ (A) | กำลังงาน I/Pของมอเตอร์ (W) | ความเร็วโรเตอร์ (rpm) | ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%) | ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | กำลังไฟฟ้าเสมือน (Var) | กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 73.2 | 220 | 3.13 | 350 | 1492 | 20.94 | 0.50 | 560 | 700 |
| 20 | 170.85 | 220 | 3.28 | 430 | 1486 | 39.73 | 0.59 | 570 | 730 |
| 30 | 242.25 | 220 | 3.45 | 500 | 1483 | 48.45 | 0.65 | 570 | 780 |
| 40 | 326.56 | 220 | 3.71 | 590 | 1478 | 55.34 | 0.71 | 570 | 820 |
| 50 | 410 | 220 | 3.92 | 640 | 1472 | 64 | 0.75 | 570 | 870 |
| 60 | 480 | 220 | 4.27 | 750 | 1476 | 65 | 0.79 | 580 | 950 |
| 70 | 563 | 220 | 4.56 | 830 | 1461 | 67 | 0.82 | 580 | 1010 |
| 80 | 644 | 220 | 4.82 | 900 | 1455 | 71 | 0.84 | 580 | 1070 |
| 90 | 711.67 | 220 | 5.12 | 970 | 1446 | 73 | 0.85 | 580 | 1130 |
| 100 | 756.96 | 220 | 5.55 | 1070 | 1440 | 70.74 | 0.87 | 620 | 1230 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.5** ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะควบคุมแรงดันขาเข้าให้มอเตอร์ทำงานที่rate speed ที่พิกัดของมอเตอร์ ในแต่ละโหลด

| (%) ของโหลด (%) | กำลังงาน O/P ของมอเตอร์ (W) | แรงดัน (V) | กระแสของมอเตอร์ (A) | กำลังงาน I/Pของมอเตอร์ (W) | ความเร็วโรเตอร์ (rpm) | ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%) | ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | กำลังไฟฟ้าเสมือน (Var) | กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 70.87 | 90 | 2.26 | 190 | 1440 | 37.3 | 0.91 | 80 | 210 |
| 20 | 165.56 | 112 | 2.8 | 290 | 1440 | 57.0 | 0.92 | 120 | 310 |
| 30 | 235.23 | 130 | 3.21 | 380 | 1440 | 61.1 | 0.92 | 160 | 420 |
| 40 | 318.16 | 149 | 3.65 | 500 | 1440 | 63 | 0.92 | 210 | 540 |
| 50 | 410 | 162 | 3.91 | 580 | 1440 | 70 | 0.92 | 260 | 630 |
| 60 | 471.97 | 175 | 4.24 | 680 | 1440 | 69 | 0.92 | 320 | 740 |
| 70 | 554.90 | 188 | 4.61 | 790 | 1440 | 70 | 0.91 | 370 | 870 |
| 80 | 637.84 | 195 | 4.85 | 860 | 1440 | 74.16 | 0.9 | 400 | 950 |
| 90 | 708.71 | 205 | 5.21 | 940 | 1440 | 5.39 | 0.9 | 470 | 1050 |
| 100 | 756.96 | 215 | 5.59 | 1070 | 1440 | 70.7 | 0.89 | 540 | 1200 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.6** ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะควบคุมแรงดันขาเข้าให้มอเตอร์ทำงานที่rate P.F ที่พิกัดของมอเตอร์ ในแต่ละโหลด

| (%) ของโหลด (%) | กำลังงาน O/P ของมอเตอร์ (W) | แรงดัน (V) | กระแสของมอเตอร์ (A) | กำลังงาน I/Pของมอเตอร์ (W) | ความเร็วโรเตอร์ (rpm) | ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%) | ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | กำลังไฟฟ้าเสมือน (Var) | กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 72.65 | 145 | 1.7 | 200 | 1474 | 36.32 | 0.85 | 150 | 250 |
| 20 | 168.90 | 171 | 2.21 | 300 | 1460 | 56.3 | 0.85 | 230 | 380 |
| 30 | 239.31 | 188 | 2.67 | 400 | 1465 | 59.8 | 0.85 | 300 | 500 |
| 40 | 323.29 | 200 | 3.17 | 510 | 1463 | 63.38 | 0.85 | 380 | 640 |
| 50 | 406.99 | 210 | 3.62 | 610 | 1461 | 66.55 | 0.85 | 460 | 760 |
| 60 | 478 | 218 | 4.01 | 700 | 1459 | 68.2 | 0.85 | 530 | 870 |
| 70 | 563 | 220 | 4.56 | 830 | 1457 | 67 | 0.82 | 580 | 1010 |
| 80 | 644 | 220 | 4.82 | 900 | 1455 | 71 | 0.84 | 580 | 1070 |
| 90 | 711.67 | 220 | 5.12 | 970 | 1446 | 73 | 0.85 | 580 | 1130 |
| 100 | 756.97 | 220 | 5.55 | 1070 | 1440 | 70.74 | 0.87 | 620 | 1230 |

## 4.6 การทดสอบคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ1$\phi$พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะต่อชุด Ac-Ac converter และวงจรควบคุม

### 4.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

| | | |
|---|---|---|
| 1.มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1แรงม้าแบบ Capacitor run Capacitor start | 1 | ตัว |
| 2. Fluke 41 Harmonics Analyzer | 2 | เครื่อง |
| 3.Techometer | 1 | ตัว |
| 4.Osilloscope | 1 | เครื่อง |
| 5.ตาชั่งและน้ำหนัก | 1 | ชุด |

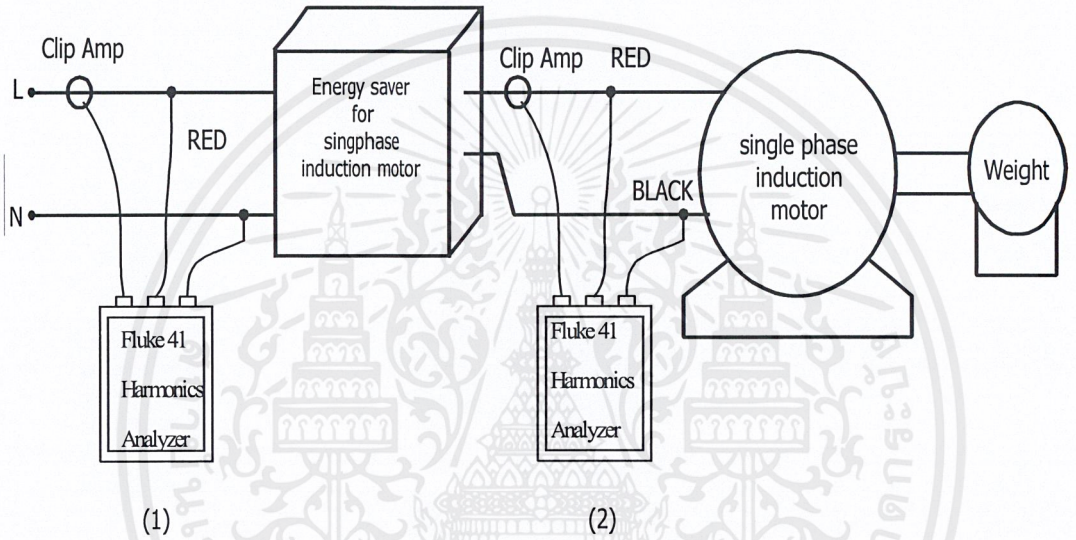
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.สายไฟ 1 ชุด

7.มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

**4.6.2 วิธีการทดสอบ**

1.ต่อวงจรดังรูปที่4.9




**รูปที่4.9** การต่อเครื่องมือวัดFluke 41กับมอเตอร์และชุด AC-AC Converter

2. ทำการให้ภาระทางกลโดยใส่น้ำหนักจาก 0.9-9kg stepละ0.9 kg โดยมีการใช้ตาชั่งและลูกน้ำหนักพร้อมบันทึกค่าน้ำหนักโหลด,ค่าแรงดัน,ค่ากระแส, P.F, P,S,Q,%THDv,%THDiลงในตารางที่4.5และ4.6 โดยผลที่ได้จาก Fluke 41ตัวที่1ให้ใส่ค่าลงในตารางที่4.4 ส่วนผลจากตัวที่2ให้ใส่ค่าลงในตารางที่4.5

3. คำนวณหาค่ากำลังเอาท์พุท,สลิป,แรงบิด,และประสิทธิภาพของมอเตอร์

4. ใช้ Oscillosropวัดและบันทึกสัญญาณเอาท์พุท,Vcontrolเทียบกับ Vlamp ที่โหลดน้ำหนัก 0.9 kg,4.5kg,9kg

5. นำ KW-HR มิเตอร์ มาต่อเพิ่ม โดยต่อ KW-HR ไว้ก่อนชุดควบคุมพลังงาน และให้มอเตอร์ทำงานที่ โหลดแต่ละ step 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.7** ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ1$\phi$ พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะต่อชุด Ac-Ac converter และวงจรควบคุม(จาก Fluke 41 ตัวที่1)

| (%) ของโหลด (%) | กำลังงาน O/P ของมอเตอร์ (W) | แรงดัน (V) | กระแสของมอเตอร์ (A) | กำลังงาน I/Pของมอเตอร์ (W) | ความเร็วโรเตอร์ (rpm) | ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%) | ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ | กำลังไฟฟ้าเสมือน (Var) | กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 72.97 | 220 | 2.15 | 250 | 1480 | 29.18 | 0.52 | 290 | 480 |
| 20 | 169.47 | 220 | 2.71 | 360 | 1473 | 47.07 | 0.59 | 390 | 610 |
| 30 | 241.78 | 220 | 3.2 | 450 | 1471 | 53 | 0.68 | 380 | 720 |
| 40 | 325.74 | 220 | 3.51 | 530 | 1468 | 61.4 | 0.70 | 470 | 750 |
| 50 | 409.6 | 220 | 3.65 | 590 | 1466 | 69.42 | 0.74 | 460 | 790 |
| 60 | 481.23 | 220 | 4.10 | 670 | 1464 | 71.82 | 0.78 | 520 | 850 |
| 70 | 575 | 220 | 4.62 | 800 | 1463 | 71.87 | 0.82 | 560 | 960 |
| 80 | 641 | 220 | 5.21 | 1000 | 1444 | 64.1 | 0.87 | 530 | 1149 |
| 90 | 710 | 220 | 5.52 | 1020 | 1440 | 69.60 | 0.85 | 550 | 1200 |
| 100 | 754.76 | 220 | 5.6 | 1100 | 1435 | 70.53 | 0.86 | 620 | 1240 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.8** ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัด ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ1$\phi$ พิกัด 1 แรงม้า แบบ Capacitor run Capacitor start ขณะต่อชุด Ac-Ac converter และวงจรควบคุม(จาก Fluke 41 ตัวที่2)

| (%) ของ โหลด (%) | กำลัง งาน O/P ของ มอเตอร์ (W) | แรงดัน (V) | กระแส ของ มอเตอร์ (A) | กำลัง งาน I/Pของ มอเตอร์ (W) | ความเร็ว โรเตอร์ (rpm) | ประ สิทธิ ภาพ ของ มอเตอร์ (%) | ค่า เพา เวอร์ แฟค เตอร์ | กำลัง ไฟ ฟ้า เสมือน (Var) | กำลัง ไฟ ฟ้า ปรากฏ (VA) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 72.97 | 136 | 2.14 | 230 | 1480 | 31.7 | 0.52 | 160 | 290 |
| 20 | 169.47 | 157 | 2.74 | 340 | 1473 | 49.84 | 0.8 | 170 | 490 |
| 30 | 241.78 | 179 | 3.36 | 430 | 1471 | 56.22 | 0.81 | 280 | 540 |
| 40 | 325.74 | 191 | 3.45 | 510 | 1468 | 63.87 | 0.80 | 300 | 630 |
| 50 | 409.6 | 197 | 3.65 | 575 | 1466 | 71.23 | 0.82 | 350 | 710 |
| 60 | 481.23 | 210 | 4.12 | 650 | 1464 | 74 | 0.83 | 440 | 783 |
| 70 | 575 | 216 | 4.56 | 780 | 1463 | 73.7 | 0.84 | 520 | 928 |
| 80 | 641 | 219 | 5.05 | 980 | 1444 | 65.41 | 0.85 | 470 | 1100 |
| 90 | 710 | 224 | 5.22 | 1050 | 1440 | 67.61 | 0.88 | 570 | 1200 |
| 100 | 754.76 | 224 | 5.53 | 1070 | 1435 | 70.4 | 0.87 | 580 | 1220 |

**หมายเหตุ** ที่มาของค่าที่ได้จากตารางที่4.4-4.8

Load ได้จากขนาดของตุ้มน้ำหนัก

Nr ได้จากเครื่องมือวัด Tech Ohmmeter ที่ต่ำแหน่งเพลาโรเตอร์

Slip ได้จากการคำนวณ Slip = (Ns –Nr) /Ns

S ได้จากตาชั่ง

T ได้จากการคำนวณ T= 9.81 (W-S)r ; r =0.08 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V ได้จาก Fluke 41 Harmonics Analyzer

I ได้จาก Fluke 41 Harmonics Analyzer

Power factor ได้จาก Fluke 41 Harmonics Analyzer

P ได้จาก Fluke 41 Harmonics Analyzer

S ได้จาก Fluke 41 Harmonics Analyzer

Q ได้จาก Fluke 41 Harmonics Analyzer

%THDv ได้จาก Fluke 41 Harmonics Analyzer

%THDi ได้จาก Fluke 41 Harmonics Analyzer

%$\eta$ ได้จาก(Pm/Pin)x100

**ตารางที่4.9** ค่ากำลังงานสูญเสียของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน

| (%) ของโหลด (%) | Pin (ที่วัดจากแหล่งจ่าย) (W) | Pin(ที่วัดจากจากมอเตอร์) (W) | ค่ากำลังงานสูญเสียในตัวอุปกรณ์ (W) |
|---|---|---|---|
| 10 | 250 | 230 | 20 |
| 20 | 360 | 340 | 20 |
| 30 | 450 | 430 | 20 |
| 40 | 530 | 510 | 20 |
| 50 | 590 | 575 | 15 |
| 60 | 670 | 650 | 20 |
| 70 | 800 | 780 | 20 |
| 80 | 1000 | 980 | 20 |
| 90 | 1020 | 1050 | 30 |
| 100 | 1100 | 1070 | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.10** เปรียบเทียบกำลังงานด้านเข้าของมอเตอร์(วัดจากแหล่งจ่าย)

| (%) ของโหลด (%) | กำลังงาน I/Pขณะไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(W) | กำลังงาน I/P ขณะมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(W) | ประหยัดกำลังงานI/Pของมอเตอร์(W) |
|---|---|---|---|
| 10 | 350 | 250 | 100 |
| 20 | 430 | 360 | 70 |
| 30 | 500 | 450 | 50 |
| 40 | 590 | 530 | 70 |
| 50 | 640 | 590 | 50 |
| 60 | 750 | 670 | 80 |
| 70 | 830 | 800 | 30 |
| 80 | 900 | 1000 | 100 |
| 90 | 970 | 1020 | 50 |
| 100 | 1070 | 1100 | 30 |

**ตารางที่4.11** เปรียบเทียบกำลังงานด้านเข้าของมอเตอร์(วัดจากมอเตอร์)

| (%) ของโหลด (%) | กำลังงาน I/Pขณะไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(W) | กำลังงาน I/P ขณะมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(W) | ประหยัดกำลังงานI/P ของ มอเตอร์(W) |
|---|---|---|---|
| 10 | 350 | 230 | 120 |
| 20 | 430 | 340 | 90 |
| 30 | 500 | 430 | 70 |
| 40 | 590 | 510 | 80 |
| 50 | 640 | 575 | 65 |
| 60 | 750 | 650 | 100 |
| 70 | 830 | 780 | 50 |
| 80 | 900 | 980 | 80 |
| 90 | 970 | 1050 | 80 |
| 100 | 1070 | 1070 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.12** เปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์(วัดจากมอเตอร์)

| (%) ของโหลด (%) | ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(%) | ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะมี อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(%) | ประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะคงที่ความเร็วไว้ที่ Rate speed | ประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะคงที่ P.F ไว้ที่ Rate |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 20.94 | 31.7 | 37.3 | 36.32 |
| 20 | 39.73 | 49.84 | 57.0 | 56.3 |
| 30 | 48.45 | 56.22 | 61.1 | 59.8 |
| 40 | 55.34 | 63.87 | 63 | 63.38 |
| 50 | 64 | 71.23 | 70 | 66.55 |
| 60 | 65 | 74 | 69 | 68.2 |
| 70 | 67 | 73.7 | 70 | 67 |
| 80 | 71 | 65.41 | 74.16 | 71 |
| 90 | 73 | 67.61 | 75.39 | 73 |
| 100 | 70.74 | 70.4 | 70.7 | 70.74 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.13** เปรียบเทียบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มอเตอร์(วัดจากมอเตอร์)

| (%) ของโหลด (%) | ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มอเตอร์ขณะไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน | ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ขณะมี อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน | ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์รวมของมอเตอร์ เพิ่มขึ้น |
|---|---|---|---|
| 10 | 0.50 | 0.52 | 0.02 |
| 20 | 0.59 | 0.8 | 0.21 |
| 30 | 0.65 | 0.81 | 0.16 |
| 40 | 0.71 | 0.80 | 0.09 |
| 50 | 0.75 | 0.82 | 0.07 |
| 60 | 0.79 | 0.83 | 0.04 |
| 70 | 0.82 | 0.84 | 0.02 |
| 80 | 0.84 | 0.85 | 0.01 |
| 90 | 0.85 | 0.88 | 0.03 |
| 100 | 0.87 | 0.87 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.14** เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนรวมของอุปกรณ์ควบคุมพลังงานกับมอเตอร์(วัดแหล่งจ่าย)

| (%) ของโหลด (%) | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนรวมของอุปกรณ์ควบคุมพลังงานกับมอเตอร์ขณะไม่มี อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(var) | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนรวมของอุปกรณ์ควบคุมพลังงานกับมอเตอร์ขณะมี อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(var) | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนรวมของอุปกรณ์ควบคุมพลังงานกับมอเตอร์ลดลง(var) |
|---|---|---|---|
| 10 | 560 | 290 | 270 |
| 20 | 570 | 390 | 180 |
| 30 | 570 | 380 | 190 |
| 40 | 570 | 470 | 100 |
| 50 | 570 | 460 | 90 |
| 60 | 580 | 520 | 60 |
| 70 | 580 | 525 | 40 |
| 80 | 580 | 530 | 50 |
| 90 | 580 | 550 | 30 |
| 100 | 620 | 620 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.15** เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์(วัดจากมอเตอร์)

| (%) ของโหลด (%) | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์ขณะไม่มี อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(var) | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์ขณะมี อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(var) | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์ลดลง(var) |
|---|---|---|---|
| 10 | 560 | 160 | 400 |
| 20 | 570 | 170 | 400 |
| 30 | 570 | 280 | 290 |
| 40 | 570 | 300 | 270 |
| 50 | 570 | 350 | 220 |
| 60 | 580 | 440 | 140 |
| 70 | 580 | 455 | 125 |
| 80 | 580 | 470 | 110 |
| 90 | 580 | 570 | 10 |
| 100 | 620 | 580 | 40 |

**ตารางที่4.16**เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเข้าโดยใช้kw-hr มิเตอร์(วัดที่แหล่งจ่าย)

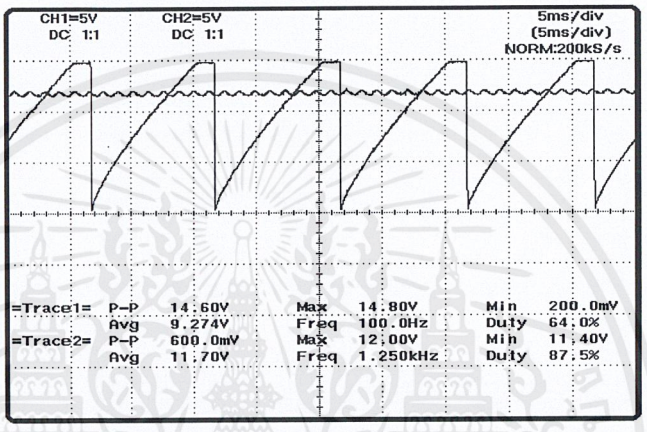
| (%) ของโหลด (%) | กำลังไฟฟ้า ขณะไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน (หน่วย) | กำลังไฟฟ้า ขณะมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน (หน่วย) | กำลังไฟฟ้า ลดลง (หน่วย) |
|---|---|---|---|
| 20 | 0.40 | 0.36 | 0.04 |
| 40 | 0.59 | 0.56 | 0.03 |
| 60 | 0.74 | 0.72 | 0.02 |
| 80 | 0.86 | 0.88 | 0.02 |
| 100 | 0.93 | 1.00 | -0.07 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.7 รูปสัญญาณจริงจากOsilloscope ตามจุดต่างๆของวงจร

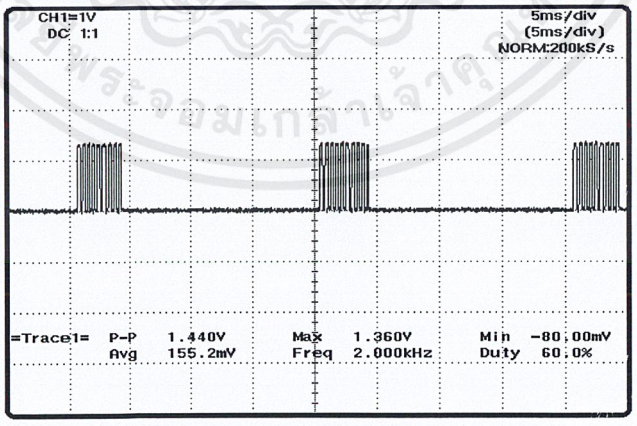
### 4.7.1สัญญาณที่โหลด 1 ก.ก(10%)

**4.7.1.1** สัญญาณสามเหลี่ยมตัดกับ DC เป็นสัญญาณที่ขา 10 และ 11 ตามลำดับ ของ TCA 785 เป็นสัญญาณที่ควบคุมมุมจุดชนวน SCR




**รูปที่4.10** สัญญาณสามเหลี่ยมตัดกับ DC เป็นสัญญาณที่ขา 10 และ 11 ตามลำดับ ของ TCA 785

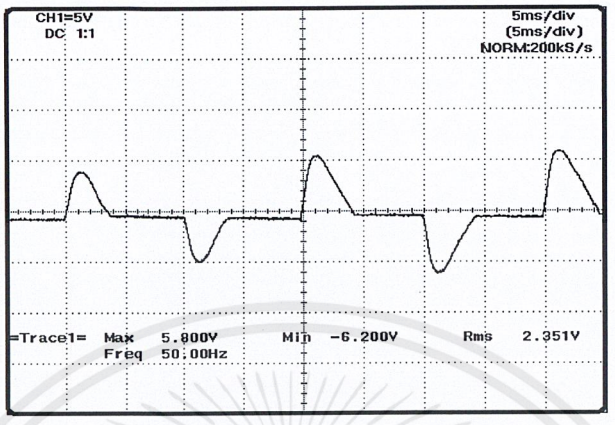
**4.7.1.2** สัญญาณพัลซ์ที่ใช้ทริก SCR




**รูปที่4.11** สัญญาณพัลซ์ที่ใช้ทริก SCR

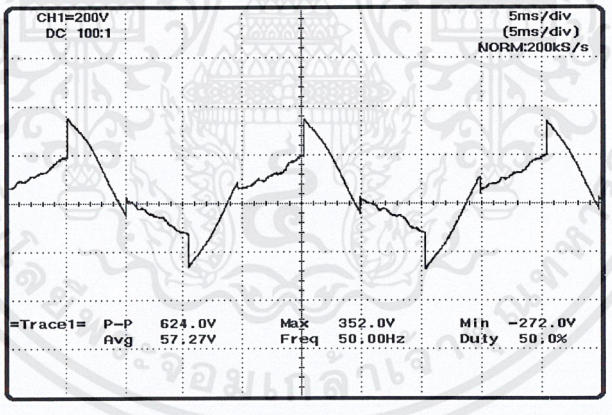
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.7.1.3** สัญญาณ กระแสที่มอเตอร์




**รูปที่4.12** สัญญาณกระแสที่มอเตอร์

**4.7.1.4** สัญญาณแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

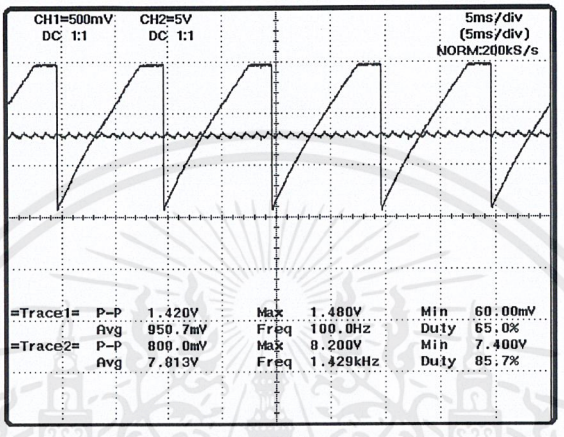



**รูปที่4.13** สัญญาณแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

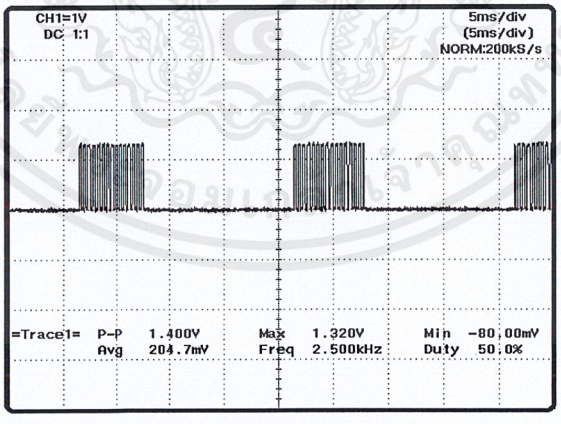
**4.7.1 ที่โหลด 5.กก(50%)**

**4.7.2.1** สัญญาณสามเหลี่ยมตัดกับ DC เป็นสัญญาณที่ขา 10 และ 11 ตามลำดับ ของ TCA 785 เป็นสัญญาณที่ควบคุมมุมจุดชนวน SCR




**รูปที่4.14** สัญญาณสามเหลี่ยมตัดกับ DC เป็นสัญญาณที่ขา 10 และ 11 ตามลำดับ ของ TCA 785

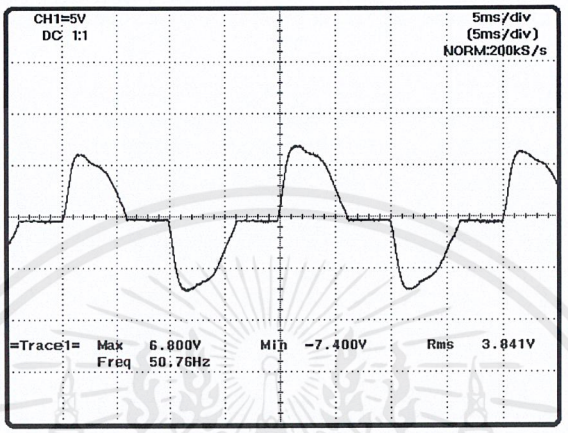
**4.7.2.2** สัญญาณพัลซ์ที่ใช้ทริก SCR




**รูปที่4.15** สัญญาณพัลซ์ที่ใช้ทริก SCR

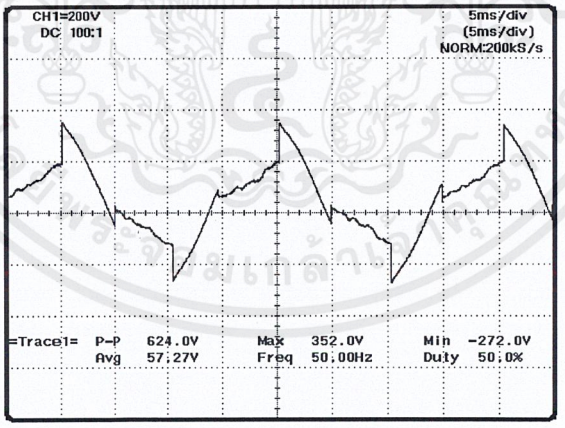
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.7.2.3** สัญญาณ กระแสที่มอเตอร์




**รูปที่4.16** สัญญาณกระแสที่มอเตอร์

**4.7.2.4** สัญญาณแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

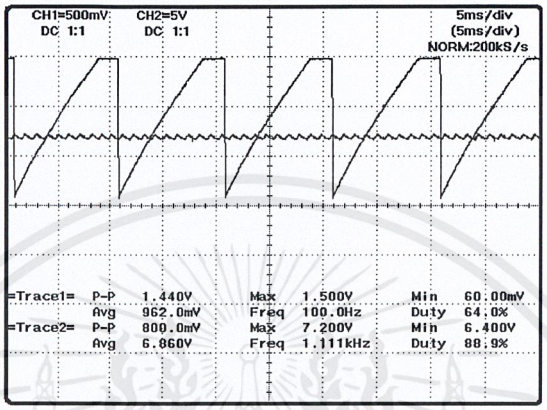



**รูปที่4.17** สัญญาณแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

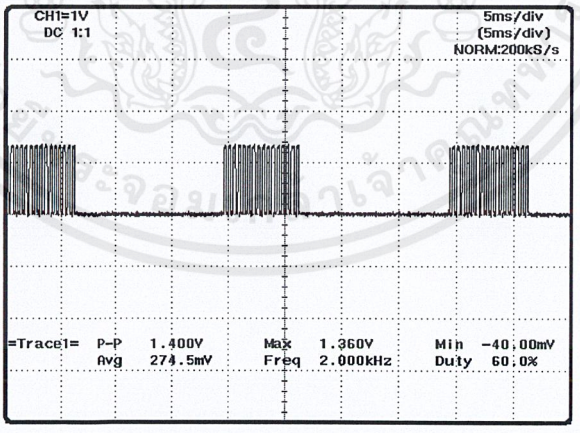
**4.7.3 ที่โหลด 10กก(100%)**

**4.7.3.1** สัญญาณสามเหลี่ยมตัดกับ DC เป็นสัญญาณที่ขา 10 และ 11 ตามลำดับ ของ TCA 785 เป็นสัญญาณที่ควบคุมมุมจุดชนวน SCR




**รูปที่4.18** สัญญาณสามเหลี่ยมตัดกับ DC เป็นสัญญาณที่ขา 10 และ 11 ตามลำดับ ของ TCA 785ที่มอเตอร์ทำงานที่โหลด 100%

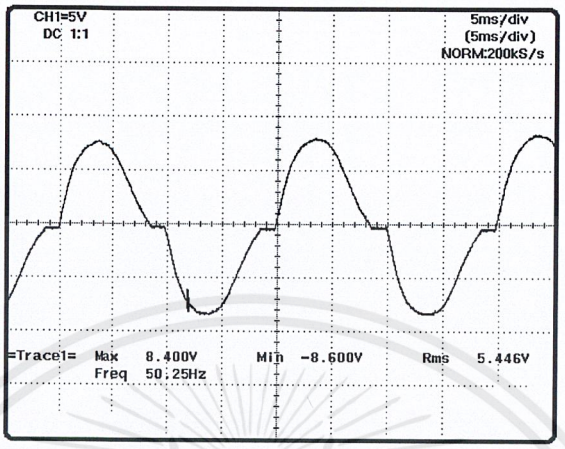
**4.7.3.2** สัญญาณพัลซ์ที่ใช้ทริก SCR




**รูปที่4.19** สัญญาณพัลซ์ที่ใช้ทริก SCRที่มอเตอร์ทำงานที่โหลด 100%

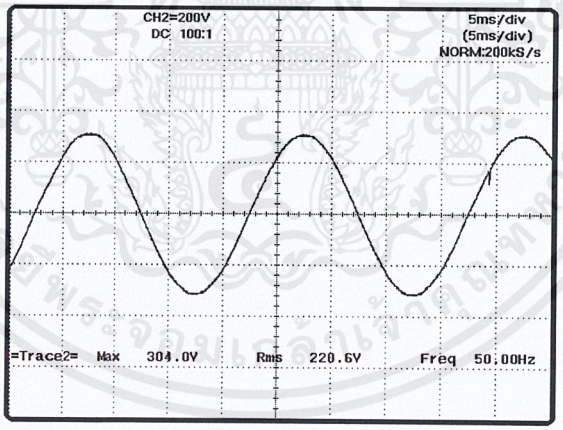
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.7.3.3** สัญญาณ กระแสที่มอเตอร์




**รูปที่4.20** สัญญาณกระแสที่มอเตอร์

**4.7.3.4** สัญญาณแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์




**รูปที่4.21** สัญญาณแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

หลังจากนั้นจะนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ ในด้านของกำลังงานด้านเข้า ประสิทธิภาพ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ และกำลังงานไฟฟ้าเสมือน โดยได้เปรียบเทียบกันระหว่างเดินมอเตอร์แบบไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน(เดินมอเตอร์แบบต่อตรง) กับตอนมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน พร้อมกับได้สรุปผลการทดลองในบทต่อไป

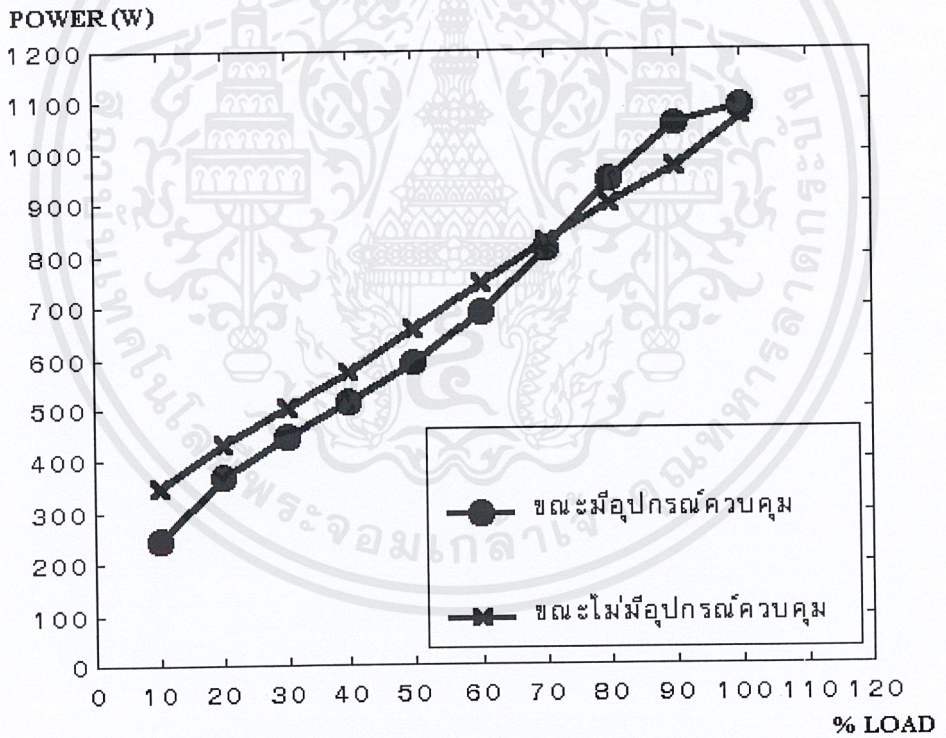
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# บทสรุปและผลวิจารณ์

เราจะนำผลการทดลองที่ได้จากมอเตอร์ในบทที่4 มาเขียนกราฟเพื่อให้ผลการทดลองได้ชัดเจนขึ้นพร้อมกับสรุปผลและวิจารณ์ในบทนี้ดังนี้

## 5.1สรุปด้านกำลังด้านเข้ามอเตอร์

เมื่อนำข้อมูลในตารางที่4.10 มาเขียนกราฟที่ 5.1




**รูปที่ 5.1** กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังงานด้านเข้าของมอเตอร์

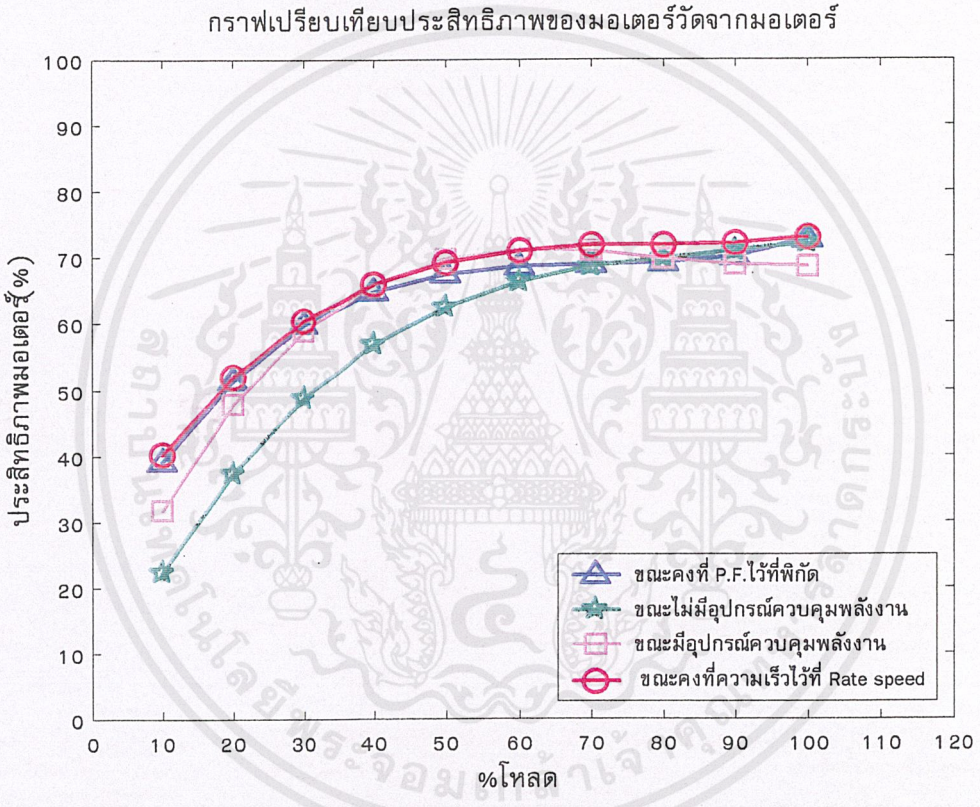
จากกราฟในภาพที่5.1 จะพบว่ากำลังงานด้านเข้าของมอเตอร์จะลดลงมามากพอสมควรในขณะที่มีโหลดต่ำ(light load) แต่เมื่อมอเตอร์รับโหลดมากขึ้นจะไม่เห็นความแตกต่างของกำลังงานด้านเข้ามากนัก จนมอเตอร์รับโหลดเข้าใกล้ที่พิกัด(Full load) จะพบว่าค่ากำลังงานด้านเข้าในขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ติดตั้งอุปกรณ์จะมีค่ามากกว่าที่ไม่ได้ติดตั้ง อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ทั้งนี้เกิดจากค่าสูญเสียในตัวอุปกรณ์นั้นเอง

## 5.2สรุปในด้านประสิทธิภาพของมอเตอร์

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่4.12 มาเขียนกราฟจะได้กราฟที่ 5.2



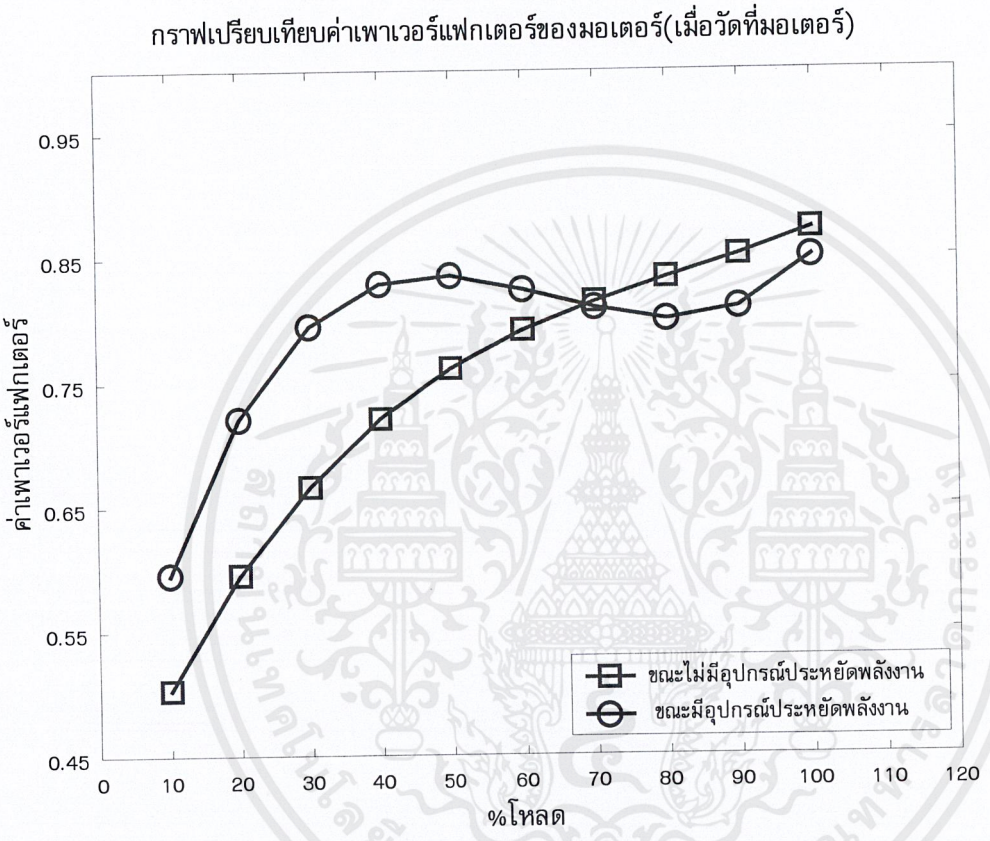

**รูปที่ 5.2** กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์ (วัดจากมอเตอร์)

จากภาพที่ 5.2 เป็น กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์ระหว่าง1. มอเตอร์ทำงานโดยไม่มีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน2. ขณะมีอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน3. ขณะมีการควบคุมแรงดันขาเข้าให้มอเตอร์ทำงานที่ rate speed ตลอดเวลา 4.ขณะมีการควบคุมแรงดันขาเข้าให้มอเตอร์ทำงานที่ rate P.F โ ตลอดเวลา ซึ่งจะพบว่าวิธีที่ 2,3,4 ,มีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในช่วงโหลดเบาถึงโหลดปานกลาง และมีค่าสูงกว่าวิธีที่ 1 แต่ในช่วง ที่ มอเตอร์รับโหลดเข้าใกล้ที่พิกัด(Full load) แล้ว วิธีที่ 1,3,4 มีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าวิธีที่ 2 เนื่องจากในช่วงนี้ วิธีที่2 จะเกิดการสูญเสียในตัวอุปกรณ์นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3สรุปด้านค่าเพาวเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่4.13 มาเขียนกราฟจะได้กราฟที่ 5.3



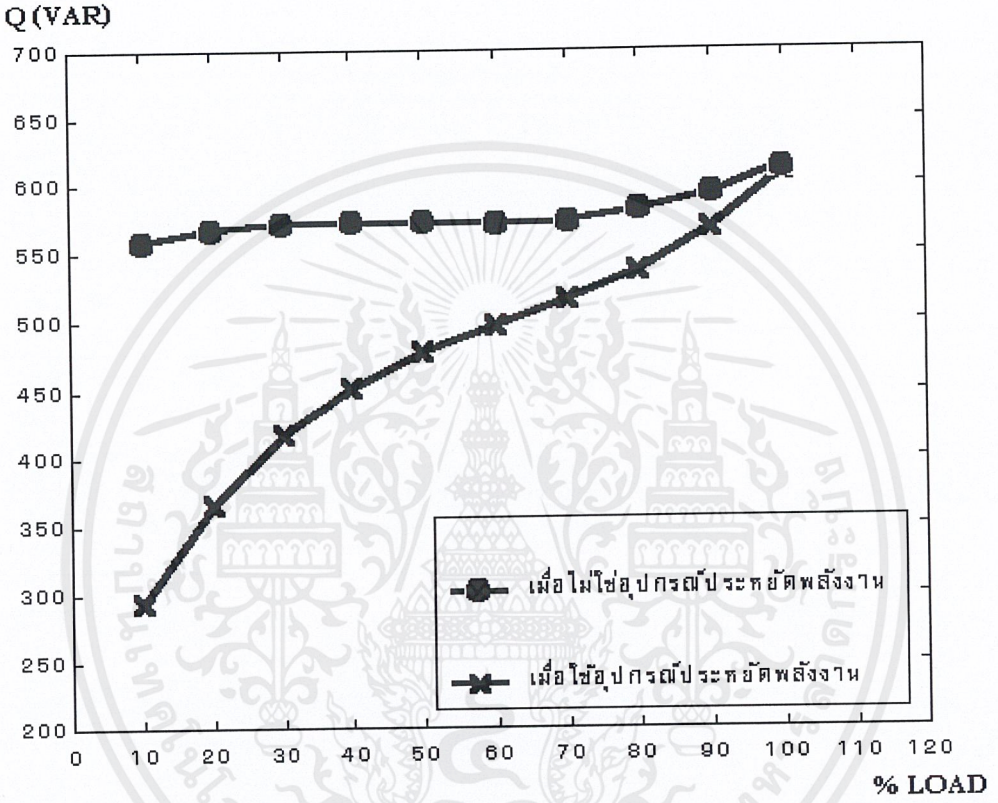

**รูปที่ 5.3** กราฟเปรียบเทียบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์

จากกราฟในภาพที่ 5.3 จะพบว่าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นพอสมควรในขณะที่มีโหลดต่ำ(light load) ถึงโหลดปานกลางแต่เมื่อมอเตอร์รับโหลดมากขึ้น จะค่อยไม่เห็นความแตกต่างของค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4สรุปในด้านค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่4.14 มาเขียนกราฟจะได้กราฟที่ 5.4



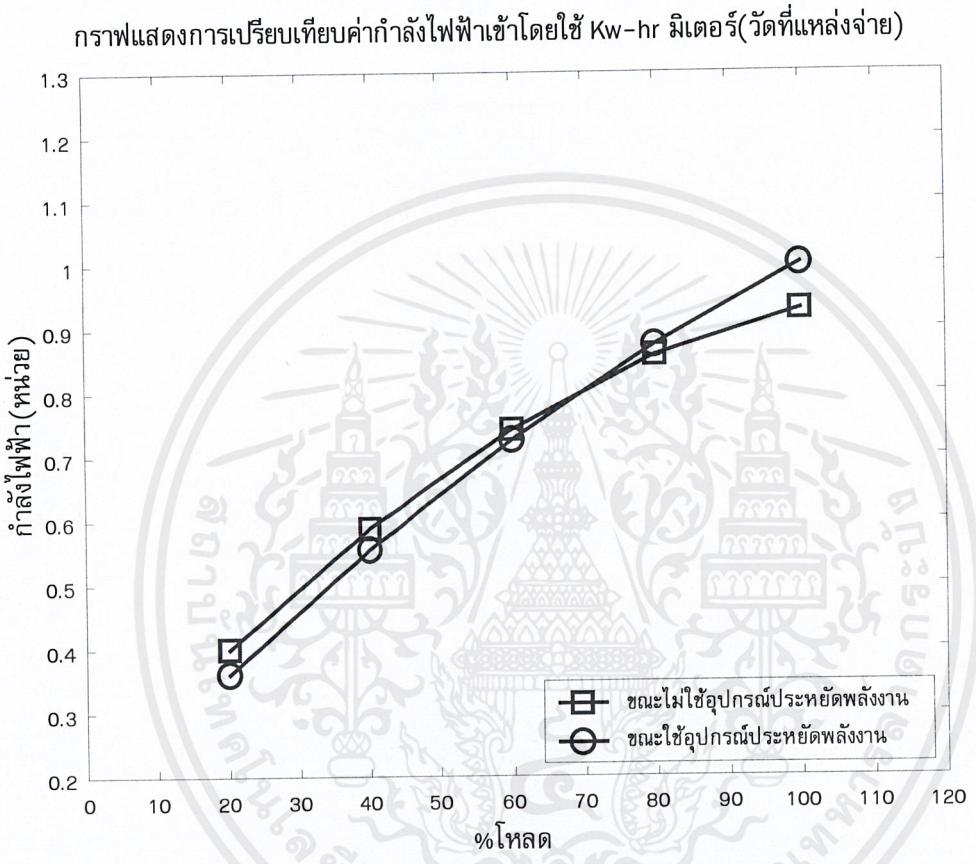

**ภาพที่ 5.4** เปรียบเทียบ ด้านค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์

จากกราฟในภาพที่5.4 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของมอเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานจะลดลงอย่างมากในขณะที่มีโหลดต่ำ(light load) ถึงโหลดปานกลาง แต่เมื่อมอเตอร์รับโหลดมากขึ้นจะไม่เห็น ค่ากำลังไฟฟ้าจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามลำดับของโหลด นัก จนมอเตอร์รับโหลดเข้าใกล้ที่พิกัด(Full nload) จะพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนจะมีค่าใกล้เคียงกับไม่ได้ใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 สรุปด้านค่ากำลังด้านเข้าที่วัดด้วย KW- HR

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่4.16 มาเขียนกราฟจะได้กราฟที่ 5.5



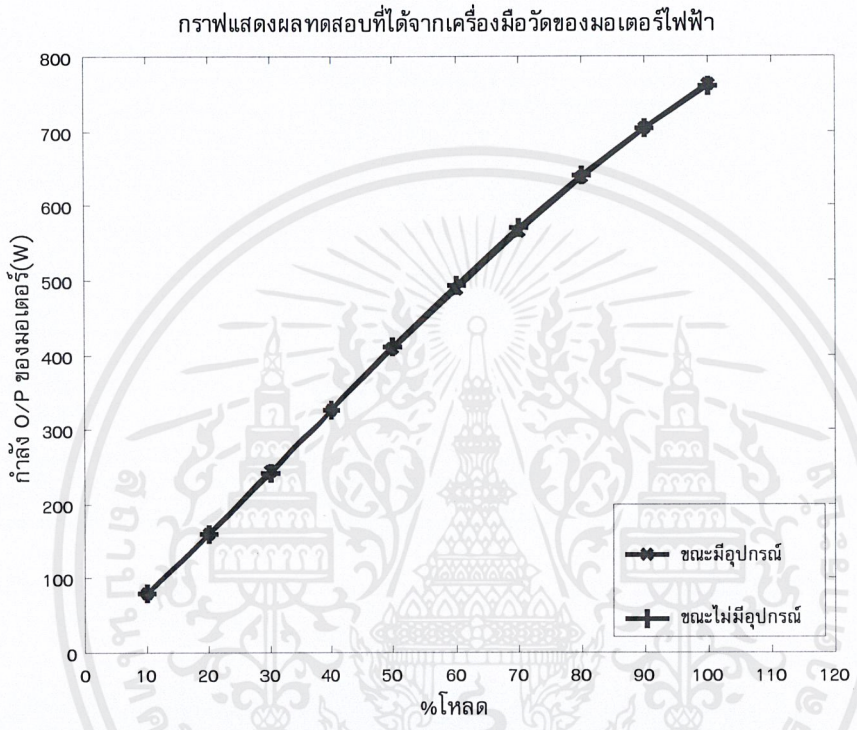

**ภาพที่ 5.5** กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจาก KW- HR

จากกราฟที่5.5 จะพบได้ว่าเมื่อมอเตอร์ที่ถูกต่ออยู่กับอุปกรณ์ควบคุมพลังงานทำงานในขณะที่มีโหลดต่ำ(light load) ถึงโหลดปานกลาง ( Half load) เลขมิเตอร์ที่ KW- HR มีจำนวนน้อยกว่า ที่มอเตอร์ทำงานโดยไม่ได้ต่อถูกต่ออยู่กับอุปกรณ์ควบคุมพลังงานที่โหลดเดียวกัน แต่ในช่วงมอเตอร์รับโหลดเข้าใกล้ที่พิกัด(Full nload) จะพบว่าค่ากำลังงานด้านเข้าในขณะที่ติดตั้งอุปกรณ์จะมีค่ามากกว่าที่ไม่ได้ติดตั้ง อุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ทั้งนี้เกิดจากค่าสูญเสียในตัวอุปกรณ์นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 สรุปกำลังด้านออกของมอเตอร์

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่4.4 และ4.8 มาเขียนกราฟจะได้กราฟที่ 5.6




**รูปที่ 5.6** กราฟเปรียบเทียบระหว่างกำลังขาออกของมอเตอร์ กับเปอร์เซนต์ของโหลด ระหว่างมอเตอร์ต่อกับอุปกรณ์ประหยัดพลังงานและไม่ได้ต่อ

ผลการทดสอบสรุปได้ว่าการต่ออุปกรณ์ประหยัดพลังงานนี้เข้าไปไม่ได้ทำให้กำลังงานขาออกของมอเตอร์เปลี่ยนไปมากนัก เนื่องจากขณะที่ต่ออุปกรณ์นี้เข้าไป มอเตอร์ก็ยังได้รับพลังงานในปริมาณที่เหมาะสมที่พอจะขับโหลดนั้นได้พอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.7 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในบทที่ 4 และ กราฟในบทที่ 5 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ผลจากการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของ ประสิทธิภาพ และ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์ทำงานที่โหลดต่ำ (0-60% ของ Rate)
2) ความสูญเสียในวงจรควบคุมแรงดันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ ประสิทธิภาพรวมที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าไม่มากนัก โดยจะเห็นความสูญเสียได้จากในตารางที่ 4.9
3) ลักษณะของการใช้วงจรควบคุมแรงดันแบบนี้ ยังให้ถึงการเริ่มเดินมอเตอร์อย่างนุ่มนวลด้วย
4) อุปกรณ์นี้เหมาะกับงานในไม่มีโหลดหรือโหลดเบา เช่น ในงานเจียร์ ระบบสายพานบันไดเลื่อน เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์นี้จะทำให้ประหยัดพลังงานได้มากเมื่อเทียบกับการที่ให้มอเตอร์เดินโดยไม่มีอุปกรณ์ควบคุม
5) อุปกรณ์นี้มีขีดจำกัดในการควบคุมให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่พิกัด เนื่องจากผลของการใช้ Phase control ทำให้แรงดันที่ได้ในช่วงที่มุมทริก SCR สูงแรงดันจะกระเพื่อมจากการคืนพลังงานของค่า ทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ได้ไม่นิ่งทำให้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมมีระยะเวลาในการประมวลผลนานพอสมควร แนวทางการแก้ไขอาจใช้หน่วยประมวลผลที่มีความเร็วสูงมากกว่าหรืออาจเปลี่ยนวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเป็นโดยใช้เทคนิค PWM AC to AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

[1 ] ประภาษ ไพรสุวรรณาและนพปฎล ชะนะ."อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ". วิศวกรรมสารลาดกระบัง,ปีที่ 13 ฉบับที่ 1,กรกฎาคม 2539,หน้า 33-34

[2] นพปฎล ชะนะ. " อุปกรณ์ควบคุมการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง.'' วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2540.

[3]ประภาษ ไพรสุวรรณา, อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศและ สุรเชษฐ เดชฟุ้ง. "อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและปรับปรุงตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมสลิปที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดแฟค์เตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน." วิศวกรรมสารลาดกระบัง,ปีที่ 17ฉบับที่ 1,มีนาคม 2539,หน้า 33-34

[4]สุรเชษฐ เดชฟุ้ง. . "อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและปรับปรุงตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมสลิป."วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2543.

[5 ] อุดมศักดิ์ ยั่งยืน. " POWER ELECTRONIC 1", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[6 ]SEPHEN J. CHABMAN ., " ELECTRIC MACHINERY FUNDAMETAS",McGRA-HILL,INC,USA,1985

[7] B.L. THERAJA and A.K THERAJA. " ELECTRICAL TECHNOLOGY ." NIRJACONSTRUTION& DEVELOPMENT CO.(P) LTD NEW.DEHLI INDIA 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวกที่ 1

# DATA SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM555/NE555/SA555

## Single Timer

### Features

- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From µSec To Hours
- Turn Off Time Less Than 2µSec

### Applications

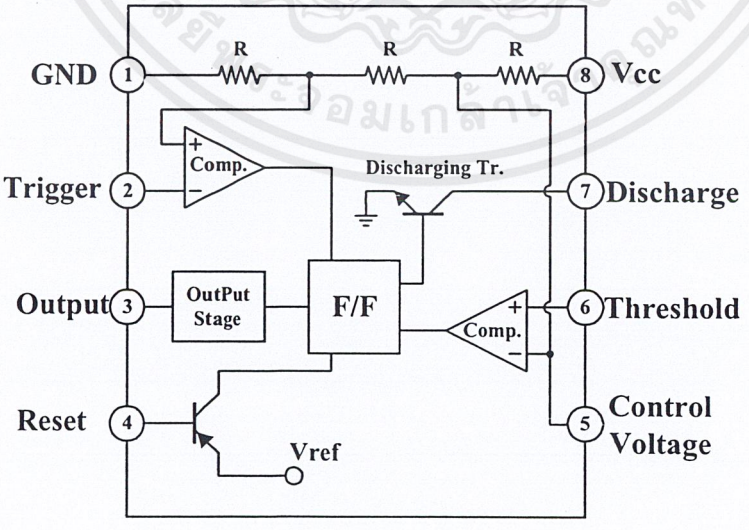
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

### Description

LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor.




### Internal Block Diagram






©2001 Fairchild Semiconductor Corporation
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings ($T_A$ = 25°C)

| Parameter | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| Supply Voltage | $V_{CC}$ | 16 | V |
| Lead Temperature (soldering 10sec) | $T_{LEAD}$ | 300 | °C |
| Power Dissipation | $P_D$ | 600 | mW |
| Operating Temperature Range<br>LM555/NE555<br>SA555 | $T_{OPR}$ | <br>0 ~ +70<br>-40 ~ +85 | °C |
| Storage Temperature Range | $T_{STG}$ | - 65 ~ + 150 | °C |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics

($T_A$ = 25°C, $V_{CC}$ = 5 ~ 15V, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Supply Voltage | $V_{CC}$ | | 4.5 | - | 16 | V |
| Supply Current *1(low stable) | $I_{CC}$ | $V_{CC}$ = 5V, $R_L$ = ∞ | - | 3 | 6 | mA |
| | | $V_{CC}$ = 15V, $R_L$ = ∞ | - | 7.5 | 15 | mA |
| Timing Error *2 (Monostable)<br>Initial Accuracy<br>Drift with Temperature<br>Drift with Supply Voltage | <br>ACCUR<br>Δt/ΔT<br>Δt/ΔVCC | <br>$R_A$ = 1KΩ to100KΩ<br>C = 0.1μF | - | <br>1.0<br>50<br>0.1 | <br>3.0<br><br>0.5 | <br>%<br>ppm/°C<br>%/V |
| Timing Error *2(astable)<br>Intial Accuracy<br>Drift with Temperature<br>Drift with Supply Voltage | <br>ACCUR<br>Δt/ΔT<br>Δt/ΔVCC | <br>$R_A$ = 1KΩ to 100KΩ<br>C = 0.1μF | - | <br>2.25<br>150<br>0.3 | <br>-<br><br> | <br>%<br>ppm/°C<br>%/V |
| Control Voltage | $V_C$ | $V_{CC}$ = 15V | 9.0 | 10.0 | 11.0 | V |
| | | $V_{CC}$ = 5V | 2.6 | 3.33 | 4.0 | V |
| Threshold Voltage | $V_{TH}$ | $V_{CC}$ = 15V | - | 10.0 | - | V |
| | | $V_{CC}$ = 5V | - | 3.33 | - | V |
| Threshold Current *3 | $I_{TH}$ | - | - | 0.1 | 0.25 | μA |
| Trigger Voltage | $V_{TR}$ | $V_{CC}$ = 5V | 1.1 | 1.67 | 2.2 | V |
| | | $V_{CC}$ = 15V | 4.5 | 5 | 5.6 | V |
| Trigger Current | $I_{TR}$ | $V_{TR}$ = 0V | | 0.01 | 2.0 | μA |
| Reset Voltage | $V_{RST}$ | - | 0.4 | 0.7 | 1.0 | V |
| Reset Current | $I_{RST}$ | - | | 0.1 | 0.4 | mA |
| Low Output Voltage | $V_{OL}$ | $V_{CC}$ = 15V<br>$I_{SINK}$ = 10mA<br>$I_{SINK}$ = 50mA | - | 0.06<br>0.3 | 0.25<br>0.75 | V<br>V |
| | | $V_{CC}$ = 5V<br>$I_{SINK}$ = 5mA | - | 0.05 | 0.35 | V |
| High Output Voltage | $V_{OH}$ | $V_{CC}$ = 15V<br>$I_{SOURCE}$ = 200mA<br>$I_{SOURCE}$ = 100mA | <br>12.75 | <br>13.3 | <br>- | <br>V<br>V |
| | | $V_{CC}$ = 5V<br>$I_{SOURCE}$ = 100mA | 2.75 | 3.3 | - | V |
| Rise Time of Output | $t_R$ | - | - | 100 | - | ns |
| Fall Time of Output | $t_F$ | - | - | 100 | - | ns |
| Discharge Leakage Current | $I_{LKG}$ | - | - | 20 | 100 | nA |

**Notes:**

1. Supply current when output is high is typically 1mA less at $V_{CC}$ = 5V
2. Tested at $V_{CC}$ = 5.0V and $V_{CC}$ = 15V
3. This will determine maximum value of $R_A$ + $R_B$ for 15V operation, the max. total R = 20MΩ, and for 5V operation the max. total R = 6.7MΩ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application Information

Table 1 below is the basic operating table of 555 timer:

**Table 1. Basic Operating Table**

| Threshold Voltage (Vth)(PIN 6) | Trigger Voltage (Vtr)(PIN 2) | Reset(PIN 4) | Output(PIN 3) | Discharging Tr. (PIN 7) |
|---|---|---|---|---|
| Don't care | Don't care | Low | Low | ON |
| Vth > 2Vcc / 3 | Vth > 2Vcc / 3 | High | Low | ON |
| Vcc / 3 < Vth < 2 Vcc / 3 | Vcc / 3 < Vth < 2 Vcc / 3 | High | - | - |
| Vth < Vcc / 3 | Vth < Vcc / 3 | High | High | OFF |

When low signal input is applied to the reset terminal, the timer output remains low regardless of the threshold voltage or the trigger voltage. Only when high signal is applied to the reset terminal, timer's output changes according to threshold voltage and trigger voltage.

When the threshold voltage exceeds 2/3 of the supply voltage while the timer output is high, the timer's internal discharge Tr. turns on, lowering the threshold voltage to below 1/3 of the supply voltage. During this time, the timer output is maintained low. Later, if a low signal is applied to the trigger voltage so that it becomes 1/3 of the supply voltage, the timer's internal discharge Tr. turns off, increasing the threshold voltage and driving the timer output again at high.

### 1. Monostable Operation

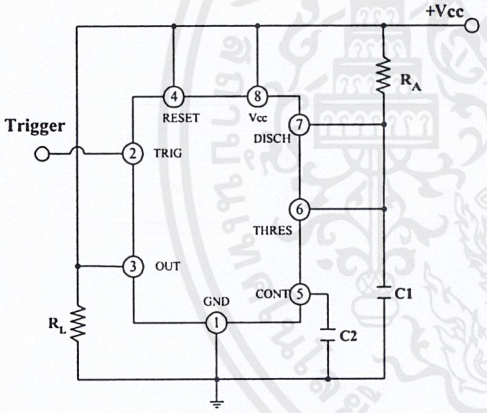



**Figure 1. Monoatable Circuit**

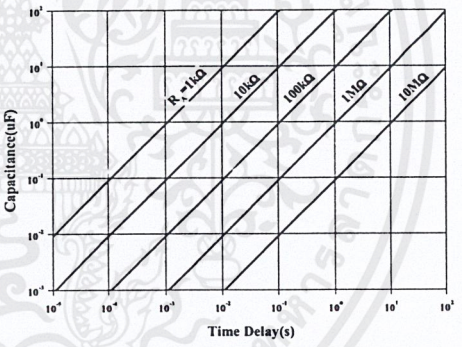



**Figure 2. Resistance and Capacitance vs. Time delay($t_d$)**

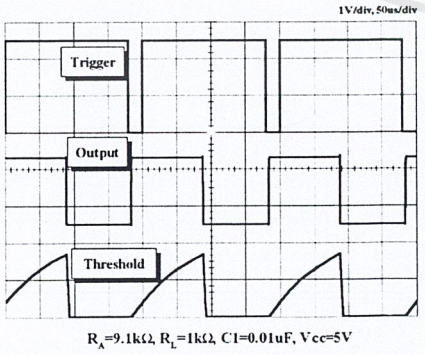



**Figure 3. Waveforms of Monostable Operation**


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1 illustrates a monostable circuit. In this mode, the timer generates a fixed pulse whenever the trigger voltage falls below Vcc/3.

When the trigger pulse voltage applied to the #2 pin falls below Vcc/3 while the timer output is low, the timer's internal flip-flop turns the discharging Tr. off and causes the timer output to become high by charging the external capacitor C1and setting the flip-flop output at the same time.
The voltage across the external capacitor C1, $V_{C1}$ increases exponentially with the time constant $t=R_A*C$ and reaches 2Vcc/3 at $td=1.1R_A*C$. Hence, capacitor C1 is charged through resistor $R_A$. The greater the time constant $R_AC$, the longer it takes for the $V_{C1}$ to reach 2Vcc/3. In other words, the time constant $R_AC$ controls the output pulse width.

When the applied voltage to the capacitor C1 reaches 2Vcc/3, the comparator on the trigger terminal resets the flip-flop, turning the discharging Tr. on. At this time, C1 begins to discharge and the timer output converts to low.
In this way, the timer operating in monostable repeats the above process. Figure 2 shows the time constant relationship based on $R_A$ and C. Figure 3 shows the general waveforms during monostable operation.
It must be noted that, for normal operation, the trigger pulse voltage needs to maintain a minimum of Vcc/3 before the timer output turns low. That is, although the output remains unaffected even if a different trigger pulse is applied while the output is high, it may be affected and the waveform not operate properly if the trigger pulse voltage at the end of the output pulse remains at below Vcc/3. Figure 4 shows such timer output abnormality.

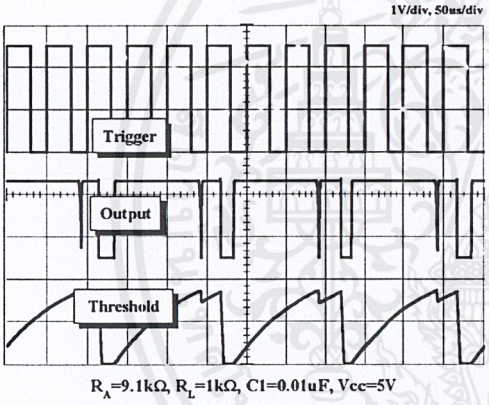



**Figure 4. Waveforms of Monostable Operation (abnormal)**

## 2. Astable Operation

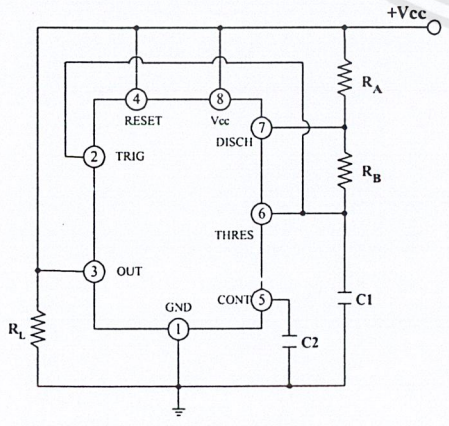



**Figure 5. Astable Circuit**

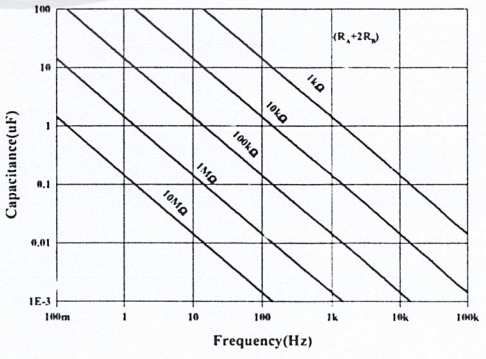



**Figure 6. Capacitance and Resistance vs. Frequency**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

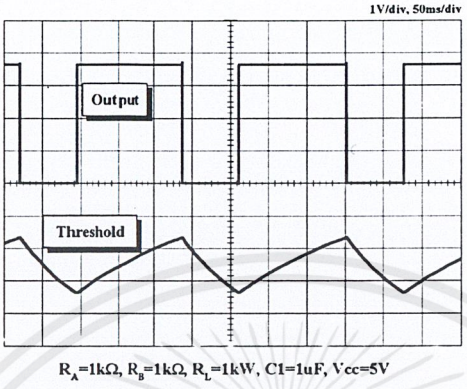
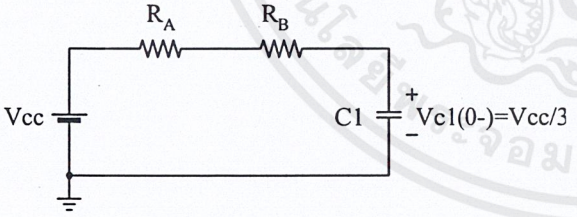



**Figure 7. Waveforms of Astable Operation**

An astable timer operation is achieved by adding resistor $R_B$ to Figure 1 and configuring as shown on Figure 5. In astable operation, the trigger terminal and the threshold terminal are connected so that a self-trigger is formed, operating as a multi vibrator. When the timer output is high, its internal discharging Tr. turns off and the $V_{C1}$ increases by exponential function with the time constant $(R_A+R_B)*C$.

When the $V_{C1}$, or the threshold voltage, reaches 2Vcc/3, the comparator output on the trigger terminal becomes high, resetting the F/F and causing the timer output to become low. This in turn turns on the discharging Tr. and the C1 discharges through the discharging channel formed by $R_B$ and the discharging Tr. When the $V_{C1}$ falls below Vcc/3, the comparator output on the trigger terminal becomes high and the timer output becomes high again. The discharging Tr. turns off and the $V_{C1}$ rises again.

In the above process, the section where the timer output is high is the time it takes for the $V_{C1}$ to rise from Vcc/3 to 2Vcc/3, and the section where the timer output is low is the time it takes for the $V_{C1}$ to drop from 2Vcc/3 to Vcc/3. When timer output is high, the equivalent circuit for charging capacitor C1 is as follows:




$$C_1\frac{dv_{c1}}{dt}=\frac{V_{cc}-V(0\text{-})}{R_A+R_B} \qquad (1)$$

$$V_{C1}(0+) = V_{CC}/3 \qquad (2)$$

$$V_{C1}(t) = V_{CC}\left(1-\frac{2}{3}e^{-\left(\frac{t}{(R_A+R_B)C1}\right)}\right) \qquad (3)$$

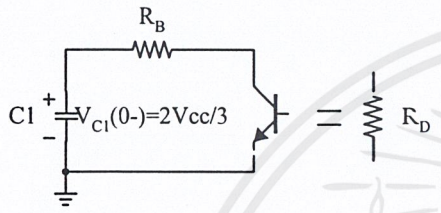
Since the duration of the timer output high state($t_H$) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach 2Vcc/3,


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC} = V_{CC}\left(1 - \frac{2}{3}e^{-\left(\frac{t_H}{(R_A+R_B)C1}\right)}\right) \quad (4)$$

$$t_H = C_1(R_A + R_B)\ln 2 = 0.693(R_A + R_B)C_1 \quad (5)$$

The equivalent circuit for discharging capacitor C1 when timer output is low as follows:




$$C_1\frac{dv_{C1}}{dt} + \frac{1}{R_A+R_B}V_{C1} = 0 \quad (6)$$

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC}e^{-\frac{t}{(R_A+R_D)C1}} \quad (7)$$

Since the duration of the timer output low state($t_L$) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach Vcc/3,

$$\frac{1}{3}V_{CC} = \frac{2}{3}V_{CC}e^{-\frac{t_L}{(R_A+R_D)C1}} \quad (8)$$

$$t_L = C_1(R_B + R_D)\ln 2 = 0.693(R_B + R_D)C_1 \quad (9)$$

Since $R_D$ is normally $R_B >> R_D$ although related to the size of discharging Tr.,

$t_L = 0.693R_BC_1$ (10)

Consequently, if the timer operates in astable, the period is the same with '$T=t_H+t_L=0.693(RA+R_B)C_1+0.693R_BC_1=0.693(R_A+2R_B)C_1$' because the period is the sum of the charge time and discharge time. And since frequency is the reciprocal of the period, the following applies.

$$\text{frequency,} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C_1} \quad (11)$$

### 3. Frequency divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 1 can be made to operate as a frequency divider. Figure 8. illustrates a divide-by-three circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

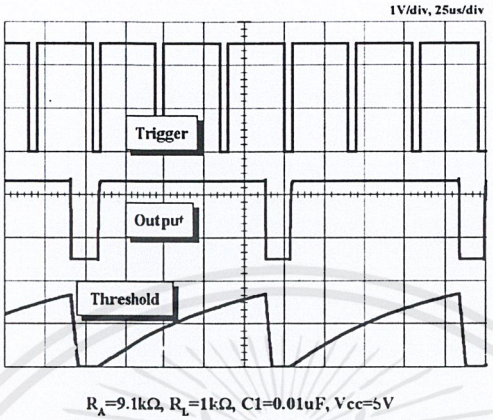



**Figure 8. Waveforms of Frequency Divider Operation**

## 4. Pulse Width Modulation

The timer output waveform may be changed by modulating the control voltage applied to the timer's pin 5 and changing the reference of the timer's internal comparators. Figure 9. illustrates the pulse width modulation circuit.
When the continuous trigger pulse train is applied in the monostable mode, the timer output width is modulated according to the signal applied to the control terminal. Sine wave as well as other waveforms may be applied as a signal to the control terminal. Figure 10 shows an example of pulse width modulation waveform.

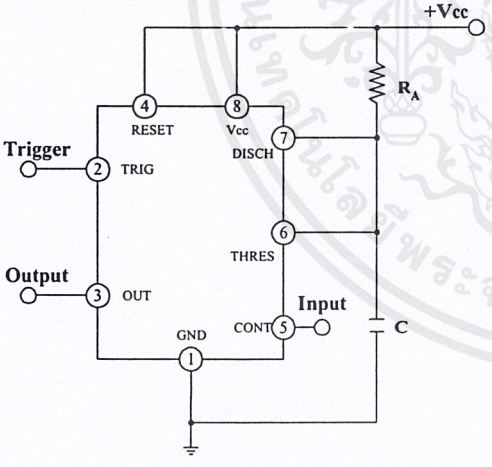



**Figure 9. Circuit for Pulse Width Modulation**

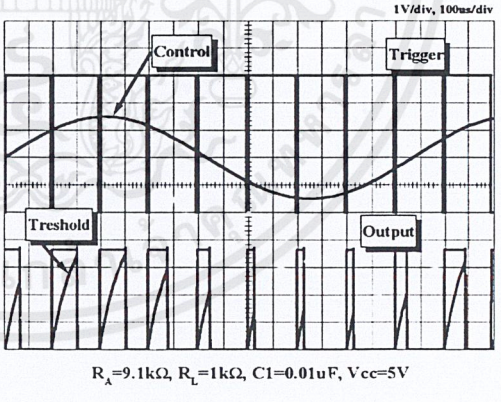



**Figure 10. Waveforms of Pulse Width Modulation**

## 5. Pulse Position Modulation

If the modulating signal is applied to the control terminal while the timer is connected for astable operation as in Figure 11, the timer becomes a pulse position modulator.
In the pulse position modulator, the reference of the timer's internal comparators is modulated which in turn modulates the timer output according to the modulation signal applied to the control terminal.
Figure 12 illustrates a sine wave for modulation signal and the resulting output pulse position modulation : however, any wave shape could be used.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

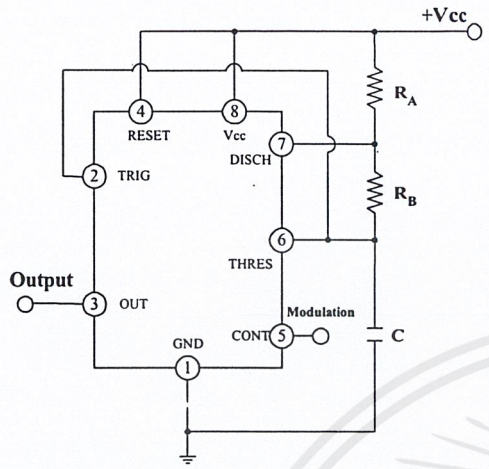



Figure 11. Circuit for Pulse Position Modulation

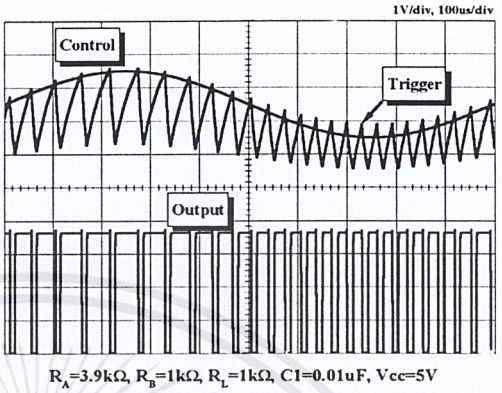



Figure 12. Waveforms of pulse position modulation

## 6. Linear Ramp

When the pull-up resistor RA in the monostable circuit shown in Figure 1 is replaced with constant current source, the $V_{C1}$ increases linearly, generating a linear ramp. Figure 13 shows the linear ramp generating circuit and Figure 14 illustrates the generated linear ramp waveforms.

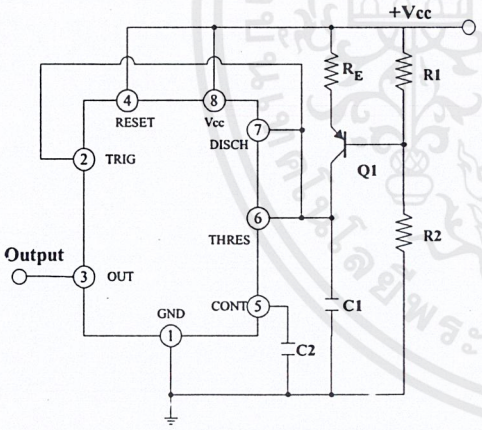



Figure 13. Circuit for Linear Ramp

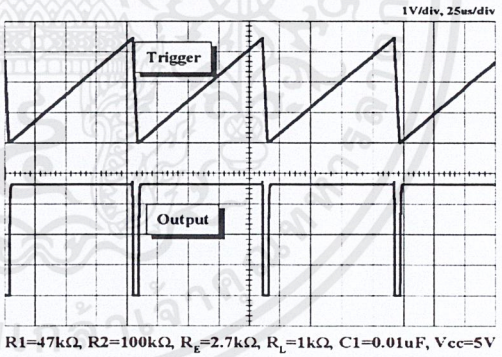



Figure 14. Waveforms of Linear Ramp

In Figure 13, current source is created by PNP transistor Q1 and resistor R1, R2, and $R_E$.

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} \qquad (12)$$

Here, $V_E$ is

$$V_E = V_{BE} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \qquad (13)$$

For example, if Vcc=15V, $R_E$=20kΩ, R1=5kW, R2=10kΩ, and $V_{BE}$=0.7V,
$V_E$=0.7V+10V=10.7V
Ic=(15-10.7)/20k=0.215mA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

When the trigger is started in a timer configured as shown in Figure 13, the current flowing to capacitor C1 becomes a constant current generated by PNP transistor and resistors.
Hence, the $V_C$ is a linear ramp function as shown in Figure 14. The gradient S of the linear ramp function is defined as follows:

$$S = \frac{V_{p-p}}{T} \qquad (14)$$

Here the Vp-p is the peak-to-peak voltage.
If the electric charge amount accumulated in the capacitor is divided by the capacitance, the $V_C$ comes out as follows:

$$V=Q/C \qquad (15)$$

The above equation divided on both sides by T gives us

$$\frac{V}{T} = \frac{Q/T}{C} \qquad (16)$$

and may be simplified into the following equation.

$$S=I/C \qquad (17)$$

In other words, the gradient of the linear ramp function appearing across the capacitor can be obtained by using the constant current flowing through the capacitor.
If the constant current flow through the capacitor is 0.215mA and the capacitance is 0.02uF, the gradient of the ramp function at both ends of the capacitor is S=0.215m/0.022u=9.77V/ms.

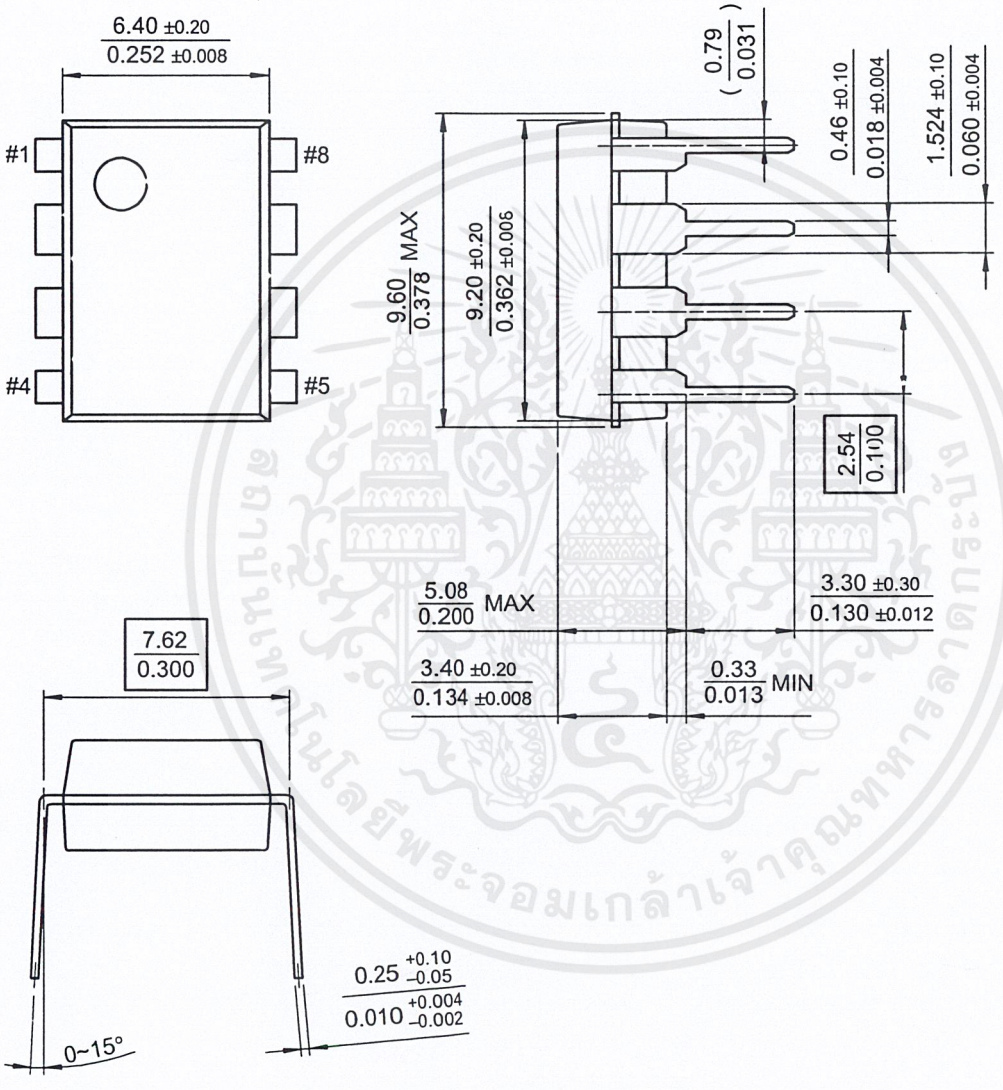


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Mechanical Dimensions

### Package

**8-DIP**



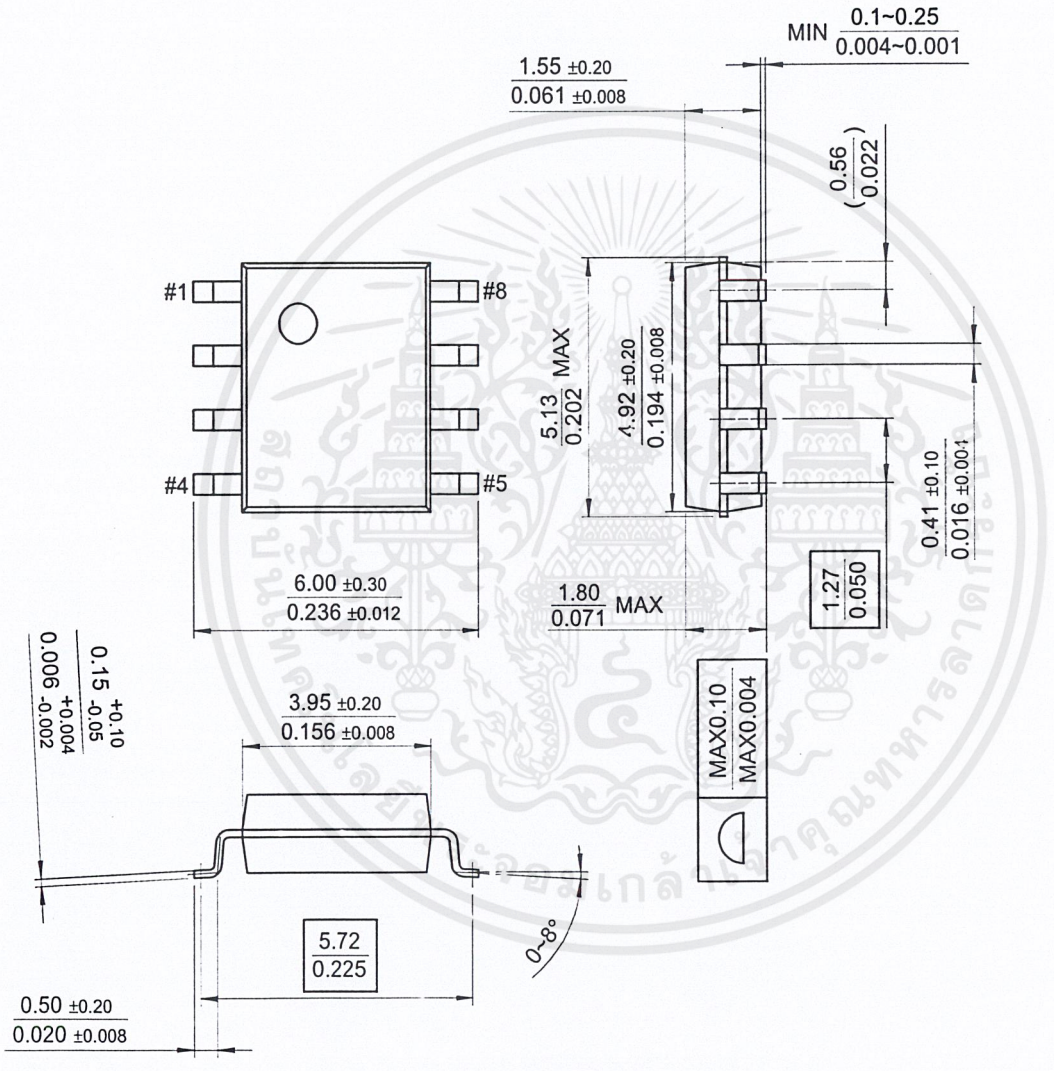



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Mechanical Dimensions (Continued)

### Package

**8-SOP**






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Ordering Information

| Product Number | Package | Operating Temperature |
|---|---|---|
| LM555CN | 8-DIP | 0 ~ +70°C |
| LM555CM | 8-SOP | |
| **Product Number** | **Package** | **Operating Temperature** |
| NE555N | 8-DIP | 0 ~ +70°C |
| NE555D | 8-SOP | |
| **Product Number** | **Package** | **Operating Temperature** |
| SA555 | 8-DIP | -40 ~ +85°C |
| SA555D | 8-SOP | |





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**DISCLAIMER**

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

**LIFE SUPPORT POLICY**

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.

2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



//2/01 0.0m 001
Stock#DSxxxxxxxx

© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 8-bit multiplying D/A converter — MC1508-8/1408-8

## DESCRIPTION

The MC1508/MC1408 series of 8-bit monolithic digital-to-analog converters provide high-speed performance with low cost. They are designed for use where the output current is a linear product of an 8-bit digital word and an analog reference voltage

## FEATURES

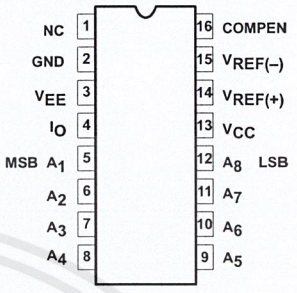
- Fast settling time — 70ns (typ)
- Relative accuracy ±0.19% (max error)
- Non-inverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High-speed multiplying rate 4.0mA/μs (input slew)
- Output voltage swing +0.5V to –5.0V
- Standard supply voltages +5.0V and –5.0V to –15V
- Military qualifications pending

## APPLICATIONS

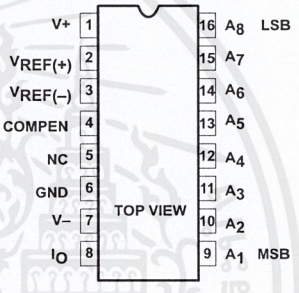
- Tracking A-to-D converters
- 2 1/2-digit panel meters and DVMs
- Waveform synthesis
- Sample-and-Hold
- Peak detector
- Programmable gain and attenuation
- CRT character generation
- Audio digitizing and decoding
- Programmable power supplies
- Analog-digital multiplication
- Digital-digital multiplication
- Analog-digital division
- Digital addition and subtraction
- Speech compression and expansion
- Stepping motor drive modems
- Servo motor and pen drivers

## PIN CONFIGURATIONS

F, N Packages




D Package[1]




NOTE:
1. SO and non-standard pinouts.

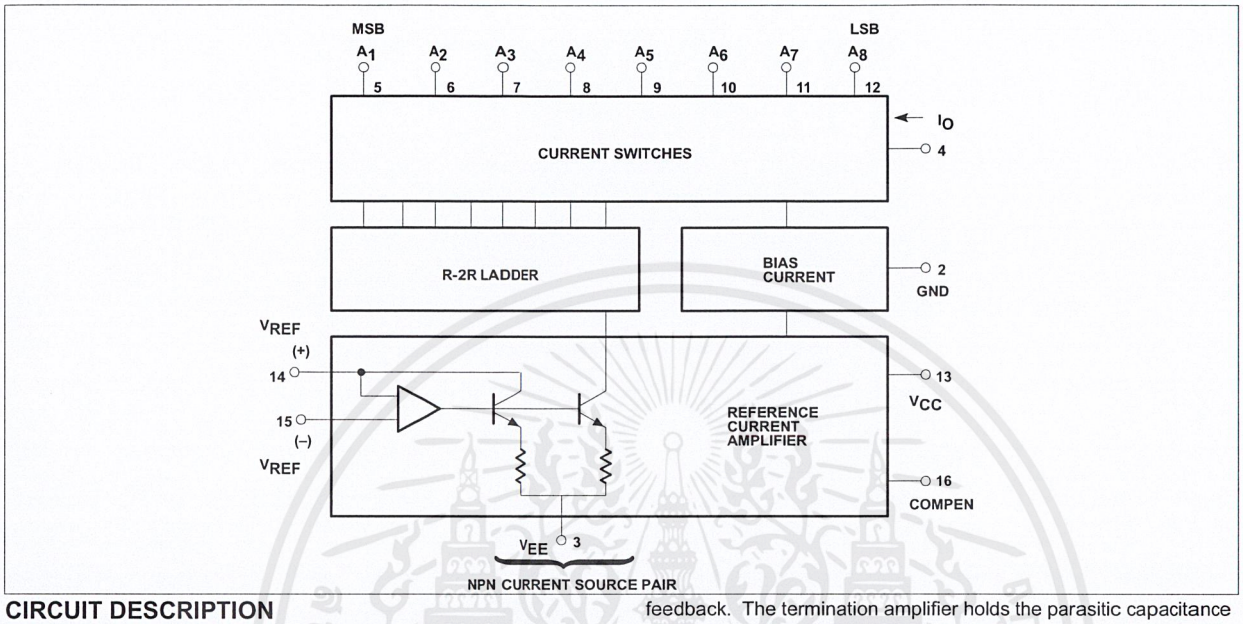
## ORDERING INFORMATION

| DESCRIPTION | TEMPERATURE RANGE | ORDER CODE | DWG # |
|---|---|---|---|
| 16-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP) | -55 to +125°C | MC1508-8F | 0582B |
| 16-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP) | 0 to +70°C | MC1408-8F | 0582B |
| 16-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP) | 0 to +70°C | MC1408-8N | 0406C |
| 16-Pin Small Outline (SO) Package | 0 to +70°C | MC1408-8D | 0005D |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BLOCK DIAGRAM




## CIRCUIT DESCRIPTION

The MC1508/MC1408 consists of a reference current amplifier, an R-2R ladder, and 8 high-speed current switches. For many applications, only a reference resistor and reference voltage need be added.

The switches are non-inverting in operation; therefore, a high state on the input turns on the specified output current component.

The switch uses current steering for high speed, and a termination amplifier consisting of an active load gain stage with unity gain feedback. The termination amplifier holds the parasitic capacitance of the ladder at a constant voltage during switching, and provides a low impedance termination of equal voltage for all legs of the ladder.

The R-2R ladder divides the reference amplifier current into binarily-related components, which are fed to the remainder current which is equal to the least significant bit. This current is shunted to ground, and the maximum output current is 255/256 of the reference amplifier current, or 1.992mA for a 2.0mA reference amplifier current if the NPN current source pair is perfectly matched.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| SYMBOL | PARAMETER | RATING | UNIT |
|---|---|---|---|
| $V_{CC}$ | Positive power supply voltage | +5.5 | V |
| $V_{EE}$ | Negative power supply voltage | –16.5 | V |
| $V_5 - V_{12}$ | Digital input voltage | 0 to $V_{CC}$ | V |
| $V_O$ | Applied output voltage | –5.2 to +18 | V |
| $I_{14}$ | Reference current | 5.0 | mA |
| $V_{14}$, $V_{15}$ | Reference amplifier inputs | $V_{EE}$ to $V_{CC}$ | |
| $P_D$ | Maximum power dissipation, $T_A$ = 25°C (still-air)[1] | | |
| | F package | 1190 | mW |
| | N package | 1450 | mW |
| | D package | 1080 | mW |
| $T_{SOLD}$ | Lead soldering temperature (10 sec) | 300 | °C |
| $T_A$ | Operating temperature range | 300 | °C |
| | MC1508 | –55 to +125 | °C |
| | MC1408 | 0 to +75 | °C |
| $T_{STG}$ | Storage temperature range | -65 to +150 | °C |

**NOTES:**
1. Derate above 25°C, at the following rates: F package at 9.5mW/°C; N package at 11.6mW/°C; D package at 8.6mW/°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Pin 3 must be 3V more negative than the potential to which $R_{15}$ is returned. $V_{CC}$ = +5.0$V_{DC}$, $V_{EE}$ = –15$V_{DC}$, $V_{REF}/R_{14}$ = 2.0mA unless otherwise specified. MC1508: $T_A$ = –55°C to 125°C. MC1408: $T_A$ = 0°C to 75°C, unless otherwise noted.

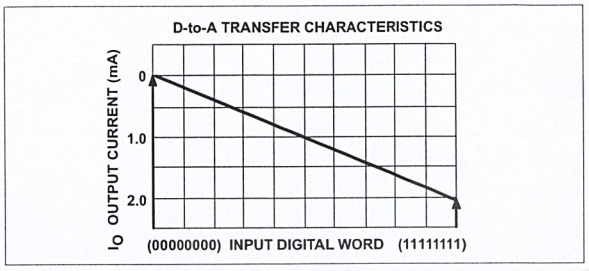
| SYMBOL | PARAMETER | TEST CONDITIONS | MC1508-8 | | | MC1408-8 | | | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| $E_r$ | Relative accuracy | Error relative to full-scale $I_O$, Figure 3 | | | ±0.19 | | | ±0.19 | % |
| $t_S$ | Settling time[1] | To within 1/2 LSB, includes $t_{PLH}$, $T_A$ = +25°C, Figure 4 | | 70 | | | 70 | | ns |
| $t_{PLH}$<br>$t_{PHL}$ | Propagation delay time<br>Low-to-High<br>High-to-Low | $T_A$ = +25°C, Figure 4 | | 35 | 100 | | 35 | 100 | ns |
| $TCI_O$ | Output full-scale current drift | | | –20 | | | –20 | | ppm/°C |
| $V_{IH}$<br>$V_{IL}$ | Digital input logic level (MSB)<br>High<br>Low | Figure 5 | 2.0 | | 0.8 | 2.0 | | 0.8 | $V_{DC}$ |
| $I_{IH}$<br>$I_{IL}$ | Digital input current (MSB)<br>High<br>Low | Figure 5<br>$V_{IH}$ = 5.0V<br>$V_{IL}$ = 0.8V | | 0<br>–0.4 | 0.04<br>–0.8 | | 0<br>–0.4 | 0.04<br>–0.8 | mA |
| $I_{15}$ | Reference input bias current | Pin 15, Figure 5 | | –1.0 | –5.0 | | –1.0 | –5.0 | µA |
| $I_{OR}$ | Output current range | Figure 5<br>$V_{EE}$ = –5.0V<br>$V_{EE}$ = –7.0V to –15V | 0<br>0 | 2.0<br>2.0 | 2.1<br>4.2 | 0<br>0 | 2.0<br>2.0 | 2.1<br>4.2 | mA |
| $I_O$<br><br>$I_{O(min)}$ | Output current<br><br>Off-state | Figure 5<br>$V_{REF}$ = 2.000V,<br>R14 = 1000Ω<br>All bits low | 1.9 | 1.99<br><br>0 | 2.1<br><br>4.0 | 1.9 | 1.99<br><br>0 | 2.1<br><br>4.0 | mA<br><br>µA |
| $V_O$ | Output voltage compliance | $E_r$ ≤ 0.19% at<br>$T_A$ = +25°C, Figure 5<br>$V_{EE}$ = –5V<br><br>$V_{EE}$ below –10V | | –0.6<br>+10<br><br>–5.5,<br>+10 | –0.55,<br>+0.5<br><br>–5.0,<br>+0.5 | | –0.6<br>+10<br><br>–5.5,<br>+10 | –0.55,<br>+0.5<br><br>–5.0,<br>+0.5 | $V_{DC}$ |
| $SRI_{REF}$ | Reference current slew rate | Figure 6 | | 8.0 | | | 8.0 | | mA/µs |
| PSRR(–) | Output current power supply sensitivity | $I_{REF}$ = 1mA | | 0.5 | 2.7 | | 0.5 | 2.7 | µA/V |
| $I_{CC}$<br>$I_{EE}$ | Power supply current<br>Positive<br>Negative | All bits low, Figure 5 | | +2.5<br>–6.5 | +22<br>–13 | | +2.5<br>–6.5 | +22<br>–13 | mA |
| $V_{CCR}$<br>$V_{EER}$ | Power supply voltage range<br>Positive<br>Negative | $T_A$ = +25°C, Figure 5 | +4.5<br>–4.5 | +5.0<br>–15 | +5.5<br>–16.5 | +4.5<br>–4.5 | +5.0<br>–15 | +5.5<br>–16.5 | $V_{DC}$ |
| $P_D$ | Power dissipation | All bits low, Figure 5<br>$V_{EE}$ = –5.0$V_{DC}$<br>$V_{EE}$ = –15.0$V_{DC}$ | | 34<br>110 | 170<br>305 | | 34<br>110 | 170<br>305 | mW |

**NOTES:**
1. All bits switched.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS




## FUNCTIONAL DESCRIPTION

### Reference Amplifier Drive and Compensation

The reference amplifier input current must always flow into Pin 14. regardless of the setup method or reference supply voltage polarity.

Connections for a positive reference voltage are shown in Figure 1. The reference voltage source supplies the full reference current. For bipolar reference signals, as in the multiplying mode, $R_{15}$ can be tied to a negative voltage corresponding to the minimum input level. $R_{15}$ may be eliminated and Pin 15 grounded, with only a small sacrifice in accuracy and temperature drift.

The compensation capacitor value must be increased with increasing values of $R_{14}$ to maintain proper phase margin. For $R_{14}$ values of 1.0, 2.5, and 5.0kΩ, minimum capacitor values are 15, 37, and 75pF. The capacitor may be tied to either $V_{EE}$ or ground, but using $V_{EE}$ increases negative supply rejection. (Fluctuations in the negative supply have more effect on accuracy than do any changes in the positive supply.)

A negative reference voltage may be used if $R_{14}$ is grounded and the reference voltage is applied to $R_{15}$, as shown in Figure 2. A high input impedance is the main advantage of this method. The negative reference voltage must be at least 3.0V above the $V_{EE}$ supply. Bipolar input signals may be handled by connecting $R_{14}$ to a positive reference voltage equal to the peak positive input level at Pin 15.

Capacitive bypass to ground is recommended when a DC reference voltage is used. The 5.0V logic supply is not recommended as a reference voltage, but if a well regulated 5.0V supply which drives logic is to be used as the reference, $R_{14}$ should be formed of two series resistors and the junction of the two resistors bypassed with 0.1µF to ground. For reference voltages greater than 5.0V, a clamp diode is recommended between Pin 14 and ground.

If Pin 14 is driven by a high impedance such as a transistor current source, none of the above compensation methods apply and the amplifier must be heavily compensated, decreasing the overall bandwidth.

### Output Voltage Range

The voltage at Pin 4 must always be at least 4.5V more positive than the voltage of the negative supply (Pin 3) when the reference current is 2mA or less, and at least 8V more positive than the negative supply when the reference current is between 2mA and 4mA. This is necessary to avoid saturation of the output transistors, which would cause serious degradation of accuracy.

Philips Semiconductors MC1508/MC1408 does not need a range control because the design extends the compliance range down to 4.5V (or 8V — see above) above the negative supply voltage without significant degradation of accuracy. Philips Semiconductors MC1508/MC1408 can be used in sockets designed for other manufacturers' MC1508/MC1408 without circuit modification.

### Output Current Range

Any time the full-scale current exceeds 2mA, the negative supply must be at least 8V more negative than the output voltage. This is due to the increased internal voltage drops between the negative supply and the outputs with higher reference currents.

### Accuracy

Absolute accuracy is the measure of each output current level with respect to its intended value, and is dependent upon relative accuracy, full-scale accuracy and full-scale current drift. Relative accuracy is the measure of each output current level as a fraction of the full-scale current after zero-scale current has been nulled out. The relative accuracy of the MC1508/MC1408 is essentially constant over the operating temperature range because of the excellent temperature tracking of the monolithic resistor ladder. The reference current may drift with temperature, causing a change in the absolute accuracy of output current; however, the MC1508/MC1408 has a very low full-scale current drift over the operating temperature range.

The MC1508/MC1408 series is guaranteed accurate to within ±1/2LSB at +25°C at a full-scale output current of 1.99mA. The relative accuracy test circuit is shown in Figure 3. The 12-bit converter is calibrated to a full-scale output current of 1.99219mA; then the MC1508/MC1408's full-scale current is trimmed to the same value with $R_{14}$ so that a zero value appears at the error amplifier output. The counter is activated and the error band may be displayed on the oscilloscope, detected by comparators, or stored in a peak detector.

Two 8-bit D-to-A converters may not be used to construct a 16-bit accurate D-to-A converter. 16-bit accuracy implies a total of ±1/2 part in 65,536, or ±0.00076%, which is much more accurate than the ±0.19% specification of the MC1508/MC1408.

### Monotonicity

A monotonic converter is one which always provides an analog output greater than or equal to the preceding value for a corresponding increment in the digital input code. The MC1508/MC1408 is monotonic for all values of reference current above 0.5mA. The recommended range for operation is a DC reference current between 0.5mA and 4.0mA.

### Settling Time

The worst case switching condition occurs when all bits are switched on, which corresponds to a low-to-high transition for all input bits. This time is typically 70ns for settling to within 1/2LSB for 8-bit accuracy. This time applies when $R_L < 500\Omega$ and $C_O < 25pF$. The slowest single switch is the least significant bit, which typically turns on and settles in 65ns. In applications where the D-to-A converter functions in a positive going ramp mode, the worst-case condition does not occur and settling times less than 70ns may be realized.

Extra care must be taken in board layout since this usually is the dominant factor in satisfactory test results when measuring settling time. Short leads, 100µF supply bypassing for low frequencies, minimum scope lead length, good ground planes, and avoidance of ground loops are all mandatory.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

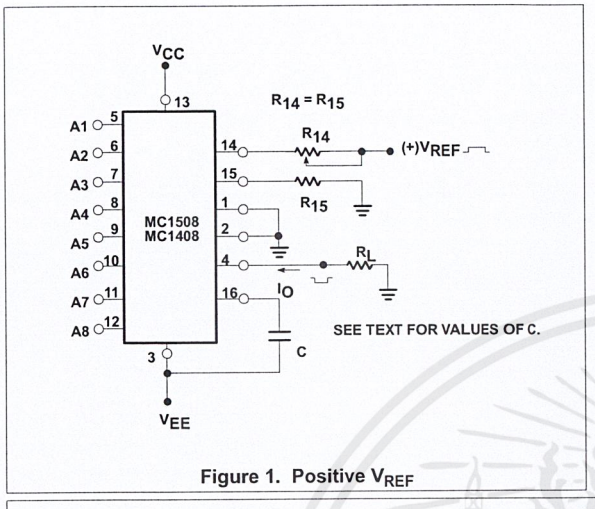



Figure 1. Positive $V_{REF}$

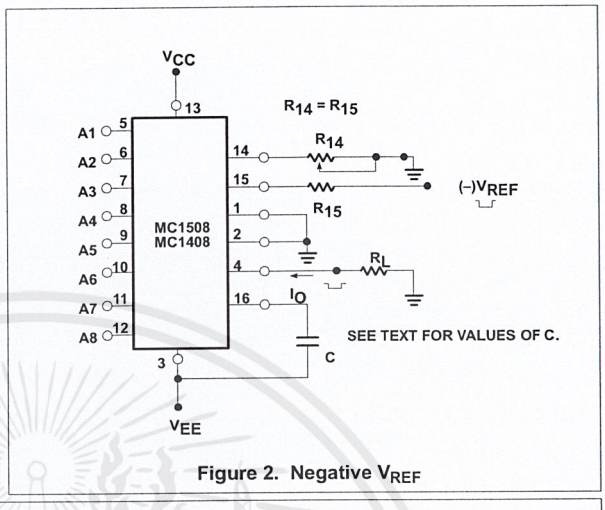



Figure 2. Negative $V_{REF}$

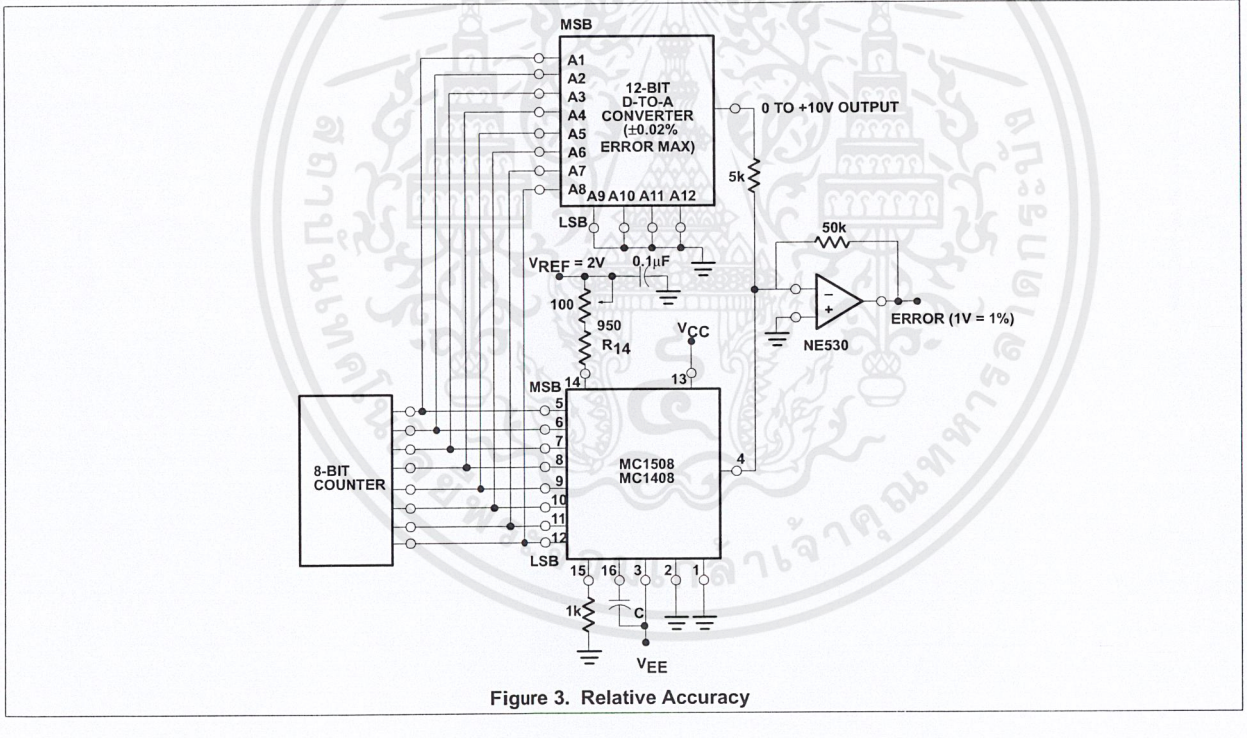



Figure 3. Relative Accuracy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

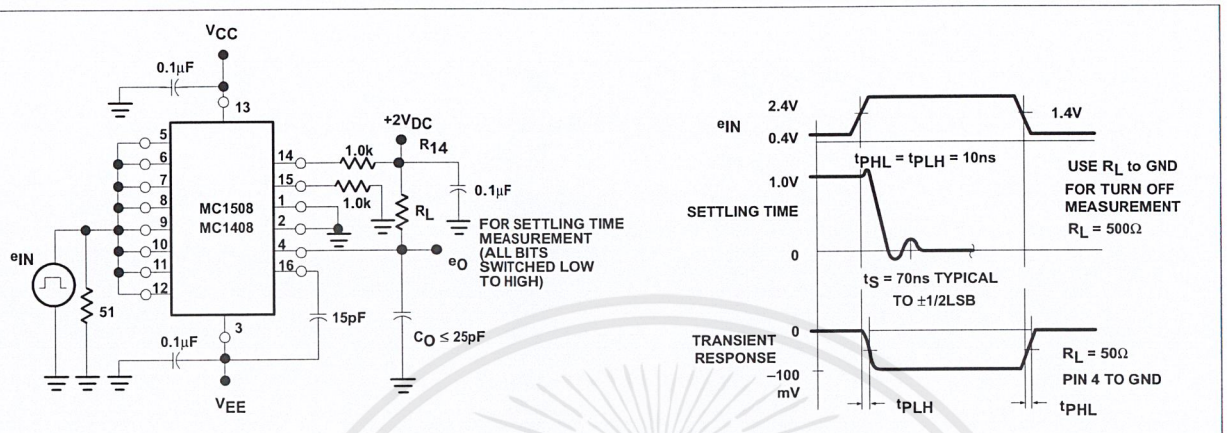



Figure 4. Transient Response and Settling Time

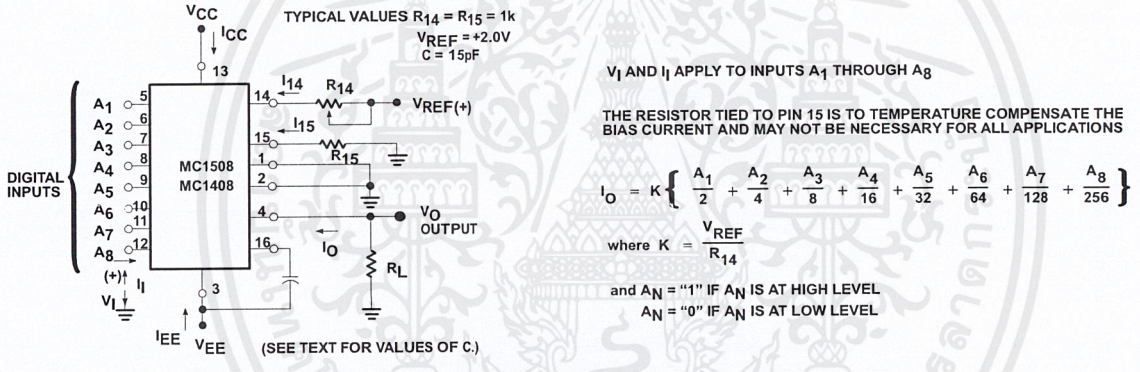



Figure 5. Notation Definitions

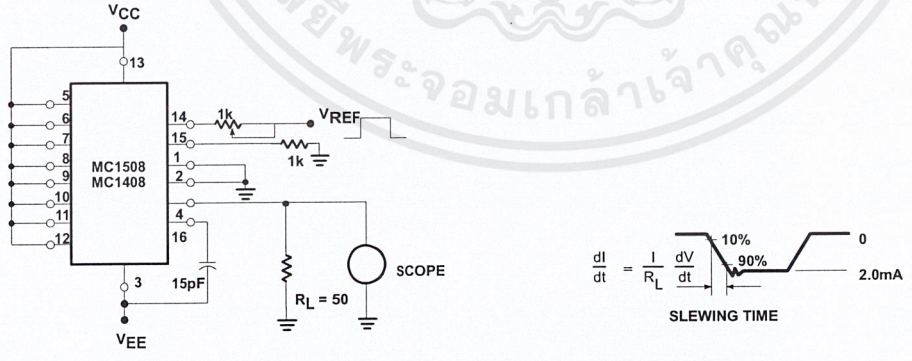



Figure 6. Reference Current Slew Rate Measurement



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

www.fairchildsemi.com

# LM741

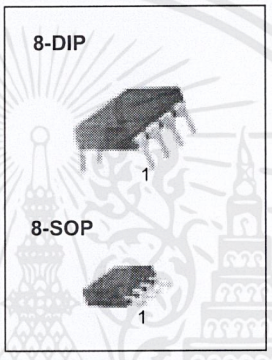
## Single Operational Amplifier

### Features

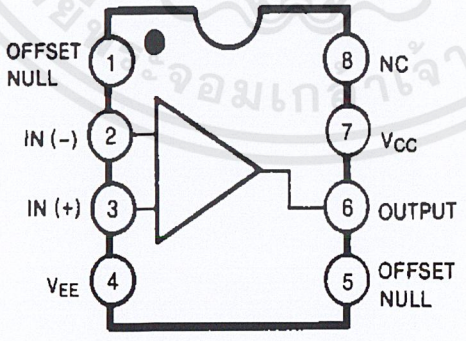
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

### Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in intergrator, summing amplifier, and general feedback applications.




### Internal Block Diagram

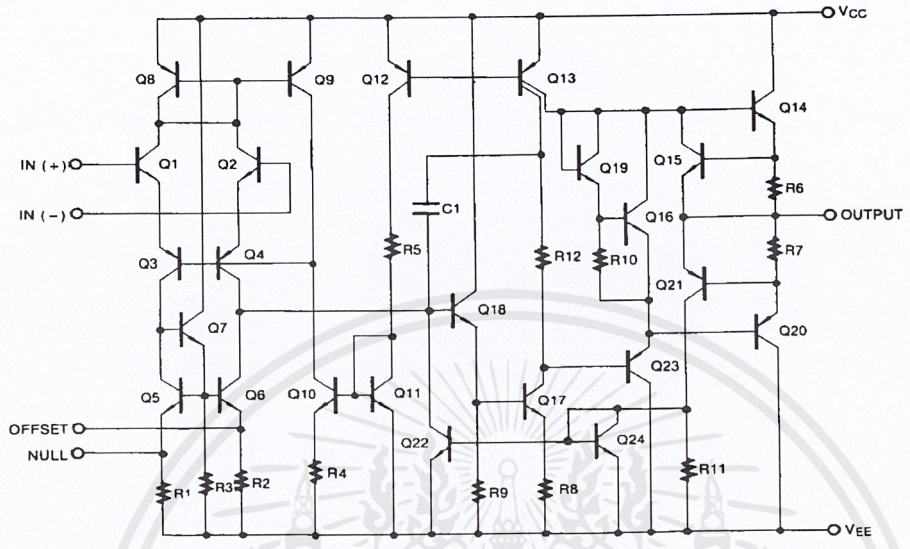



Rev. 1.0.1

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Schematic Diagram




## Absolute Maximum Ratings ($T_A$ = 25°C)

| Parameter | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| Supply Voltage | $V_{CC}$ | ±18 | V |
| Differential Input Voltage | $V_{I(DIFF)}$ | 30 | V |
| Input Voltage | $V_I$ | ±15 | V |
| Output Short Circuit Duration | - | Indefinite | - |
| Power Dissipation | $P_D$ | 500 | mW |
| Operating Temperature Range<br>LM741C<br>LM741I | $T_{OPR}$ | <br>0 ~ + 70<br>-40 ~ +85 | °C |
| Storage Temperature Range | $T_{STG}$ | -65 ~ + 150 | °C |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics

($V_{CC}$ = 15V, $V_{EE}$ = - 15V. $T_A$ = 25 °C, unless otherwise specified)

| Parameter | | Symbol | Conditions | | LM741C/LM741I | | | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Min. | Typ. | Max. | |
| Input Offset Voltage | | $V_{IO}$ | $R_S$≤10KΩ | | - | 2.0 | 6.0 | mV |
| | | | $R_S$≤50Ω | | - | - | - | |
| Input Offset Voltage Adjustment Range | | $V_{IO(R)}$ | $V_{CC}$ = ±20V | | - | ±15 | - | mV |
| Input Offset Current | | $I_{IO}$ | - | | - | 20 | 200 | nA |
| Input Bias Current | | $I_{BIAS}$ | - | | - | 80 | 500 | nA |
| Input Resistance (Note1) | | $R_I$ | $V_{CC}$ =±20V | | 0.3 | 2.0 | - | MΩ |
| Input Voltage Range | | $V_{I(R)}$ | - | | ±12 | ±13 | - | V |
| Large Signal Voltage Gain | | $G_V$ | $R_L$≥2KΩ | $V_{CC}$ =±20V, $V_{O(P-P)}$ =±15V | - | - | - | V/mV |
| | | | | $V_{CC}$ =±15V, $V_{O(P-P)}$ =±10V | 20 | 200 | - | |
| Output Short Circuit Current | | $I_{SC}$ | - | | - | 25 | - | mA |
| Output Voltage Swing | | $V_{O(P-P)}$ | $V_{CC}$ = ±20V | $R_L$≥10KΩ | - | - | - | V |
| | | | | $R_L$≥2KΩ | - | - | - | |
| | | | $V_{CC}$ = ±15V | $R_L$≥10KΩ | ±12 | ±14 | - | |
| | | | | $R_L$≥2KΩ | ±10 | ±13 | - | |
| Common Mode Rejection Ratio | | CMRR | $R_S$≤10KΩ, $V_{CM}$ = ±12V | | 70 | 90 | - | dB |
| | | | $R_S$≤50Ω, $V_{CM}$ = ±12V | | - | - | - | |
| Power Supply Rejection Ratio | | PSRR | $V_{CC}$ = ±15V to $V_{CC}$ = ±15V $R_S$≤50Ω | | - | - | - | dB |
| | | | $V_{CC}$ = ±15V to $V_{CC}$ = ±15V $R_S$≤10KΩ | | 77 | 96 | - | |
| Transient Response | Rise Time | $T_R$ | Unity Gain | | - | 0.3 | - | µs |
| | Overshoot | OS | | | - | 10 | - | % |
| Bandwidth | | BW | - | | - | - | - | MHz |
| Slew Rate | | SR | Unity Gain | | - | 0.5 | - | V/µs |
| Supply Current | | $I_{CC}$ | $R_L$= ∞Ω | | - | 1.5 | 2.8 | mA |
| Power Consumption | | $P_C$ | $V_{CC}$ = ±20V | | - | - | - | mW |
| | | | $V_{CC}$ = ±15V | | - | 50 | 85 | |

Note:
1. Guaranteed by design.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics

( 0°C ≤$T_A$≤70 °C $V_{CC}$ = ±15V, unless otherwise specified)
The following specification apply over the range of 0°C ≤ $T_A$ ≤ +70 °C for the LM741C; and the -40°C ≤ $T_A$ ≤ +85 °C for the LM741I

| Parameter | Symbol | Conditions | | LM741C/LM741I | | | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Min. | Typ. | Max. | |
| Input Offset Voltage | $V_{IO}$ | $R_S$≤50Ω | | - | - | - | mV |
| | | $R_S$≤10KΩ | | - | - | 7.5 | |
| Input Offset Voltage Drift | $\Delta V_{IO}/\Delta T$ | - | | - | - | | µV/ °C |
| Input Offset Current | $I_{IO}$ | - | | - | - | 300 | nA |
| Input Offset Current Drift | $\Delta I_{IO}/\Delta T$ | - | | - | - | | nA/ °C |
| Input Bias Current | $I_{BIAS}$ | - | | - | - | 0.8 | µA |
| Input Resistance (Note1) | $R_I$ | $V_{CC}$ = ±20V | | - | - | - | MΩ |
| Input Voltage Range | $V_{I(R)}$ | - | | ±12 | ±13 | - | V |
| Output Voltage Swing | $V_{O(P-P)}$ | $V_{CC}$ =±20V | $R_S$≥10KΩ | - | - | - | V |
| | | | $R_S$≥2KΩ | - | - | - | |
| | | $V_{CC}$ =±15V | $R_S$≥10KΩ | ±12 | ±14 | - | |
| | | | $R_S$≥2KΩ | ±10 | ±13 | - | |
| Output Short Circuit Current | $I_{SC}$ | - | | 10 | - | 40 | mA |
| Common Mode Rejection Ratio | CMRR | $R_S$≤10KΩ, $V_{CM}$ = ±12V | | 70 | 90 | - | dB |
| | | $R_S$≤50Ω, $V_{CM}$ = ±12V | | - | - | - | |
| Power Supply Rejection Ratio | PSRR | $V_{CC}$ = ±20V to ±5V | $R_S$≤50Ω | - | - | - | dB |
| | | | $R_S$≤10KΩ | 77 | 96 | - | |
| Large Signal Voltage Gain | $G_V$ | $R_S$≥2KΩ | $V_{CC}$ = ±20V, $V_{O(P-P)}$ = ±15V | - | - | - | V/mV |
| | | | $V_{CC}$ = ±15V, $V_{O(P.P)}$ = ±10V | 15 | - | - | |
| | | | $V_{CC}$ = ±15V, $V_{O(P-P)}$ = ±2V | - | - | - | |

Note :
1. Guaranteed by design.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics

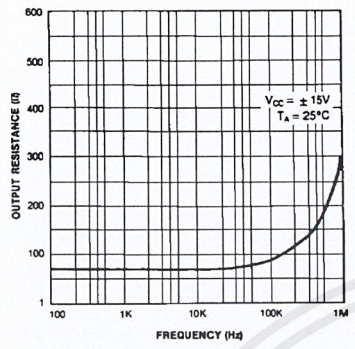



Figure 1. Output Resistance vs Frequency

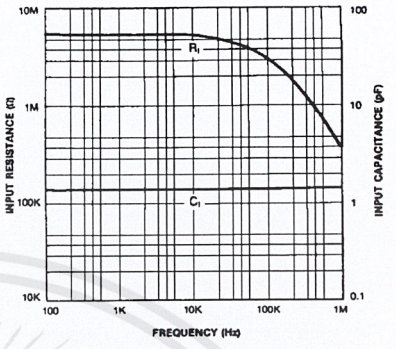



Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

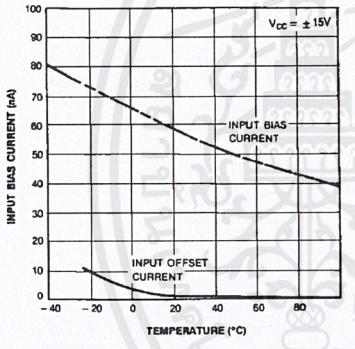



Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

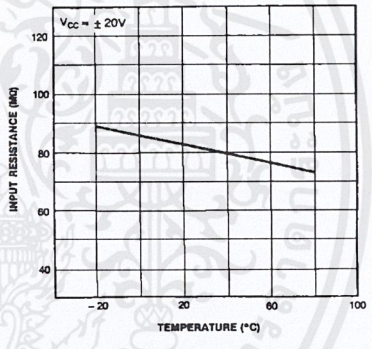



Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

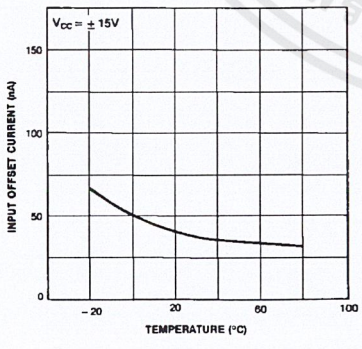



Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

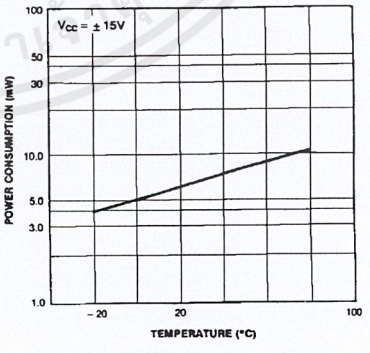



Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics (continued)

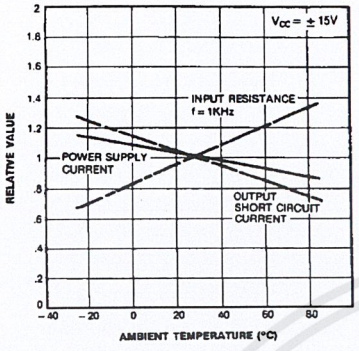



Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

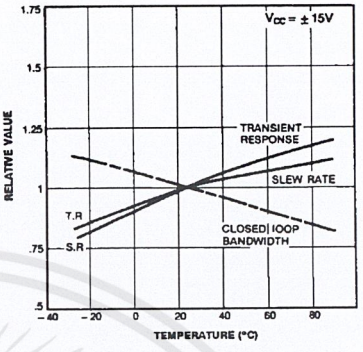



Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

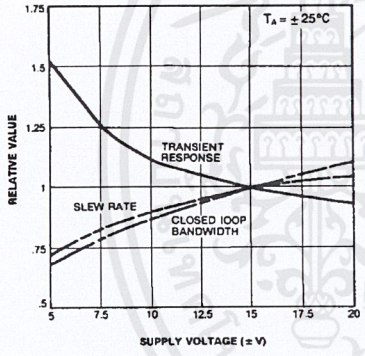



Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

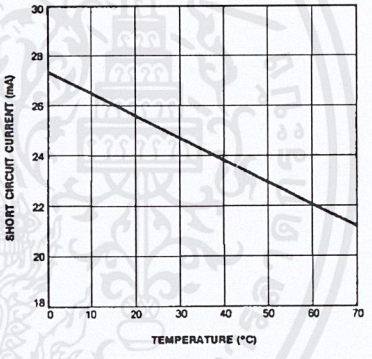



Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

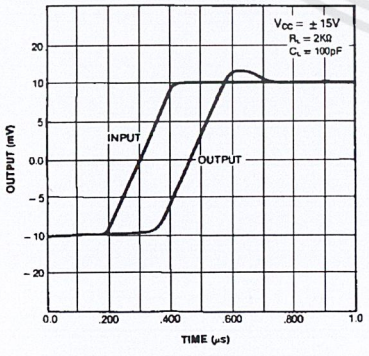



Figure 11. Transient Response

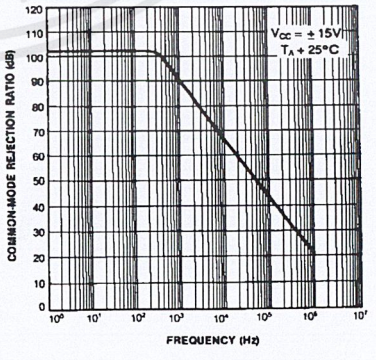



Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics (continued)

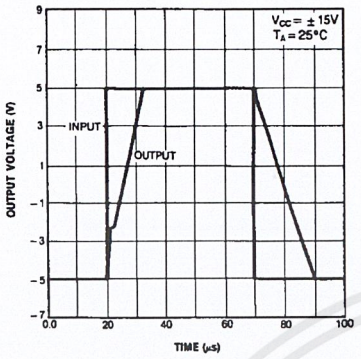



Figure 13. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

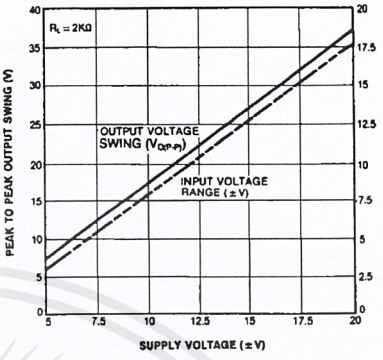



Figure 14. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage

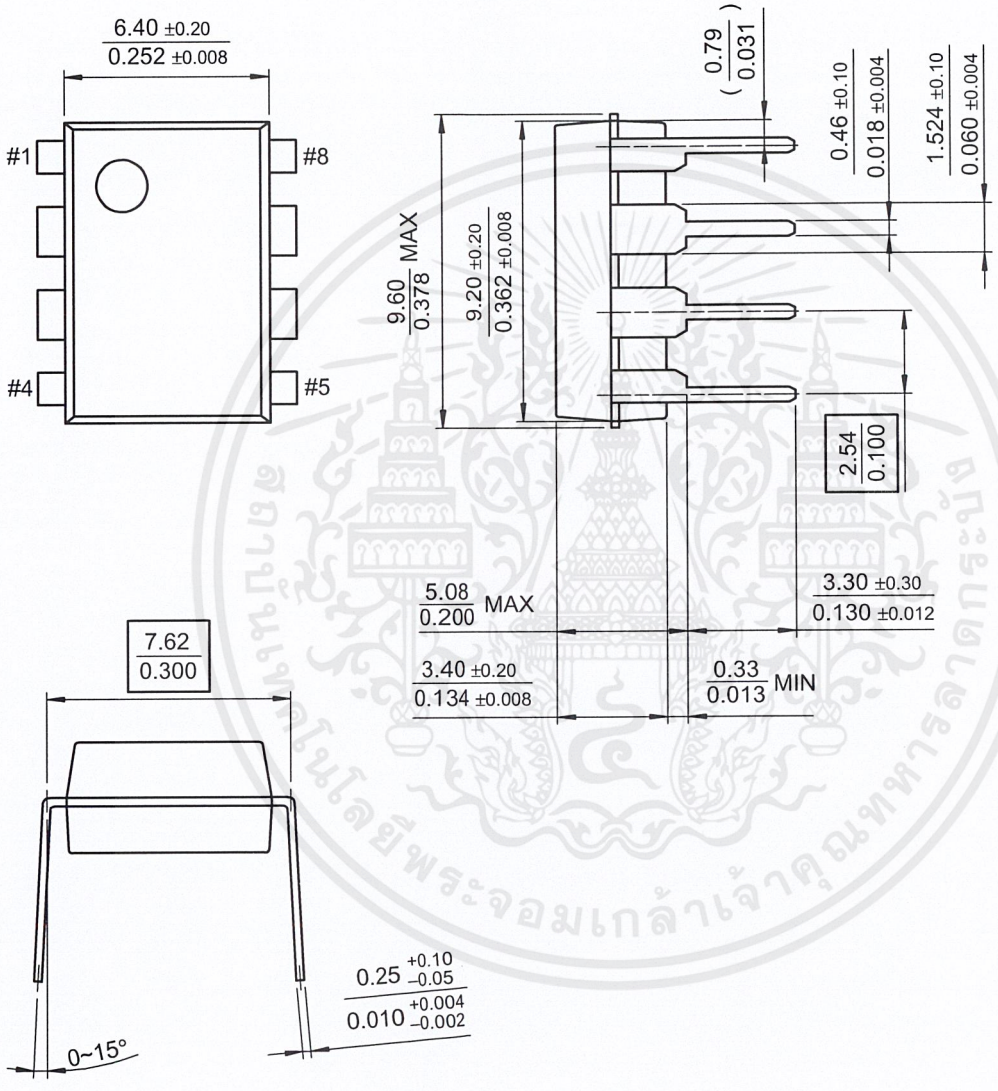


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Mechanical Dimensions

### Package

**8-DIP**






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Ordering Information

| Product Number | Package | Operating Temperature |
|---|---|---|
| LM741CN | 8-DIP | 0 ~ + 70°C |
| LM741CM | 8-SOP | |
| LM741IN | 8-DIP | -40 ~ + 85°C |

**DISCLAIMER**

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

**LIFE SUPPORT POLICY**

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.

2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

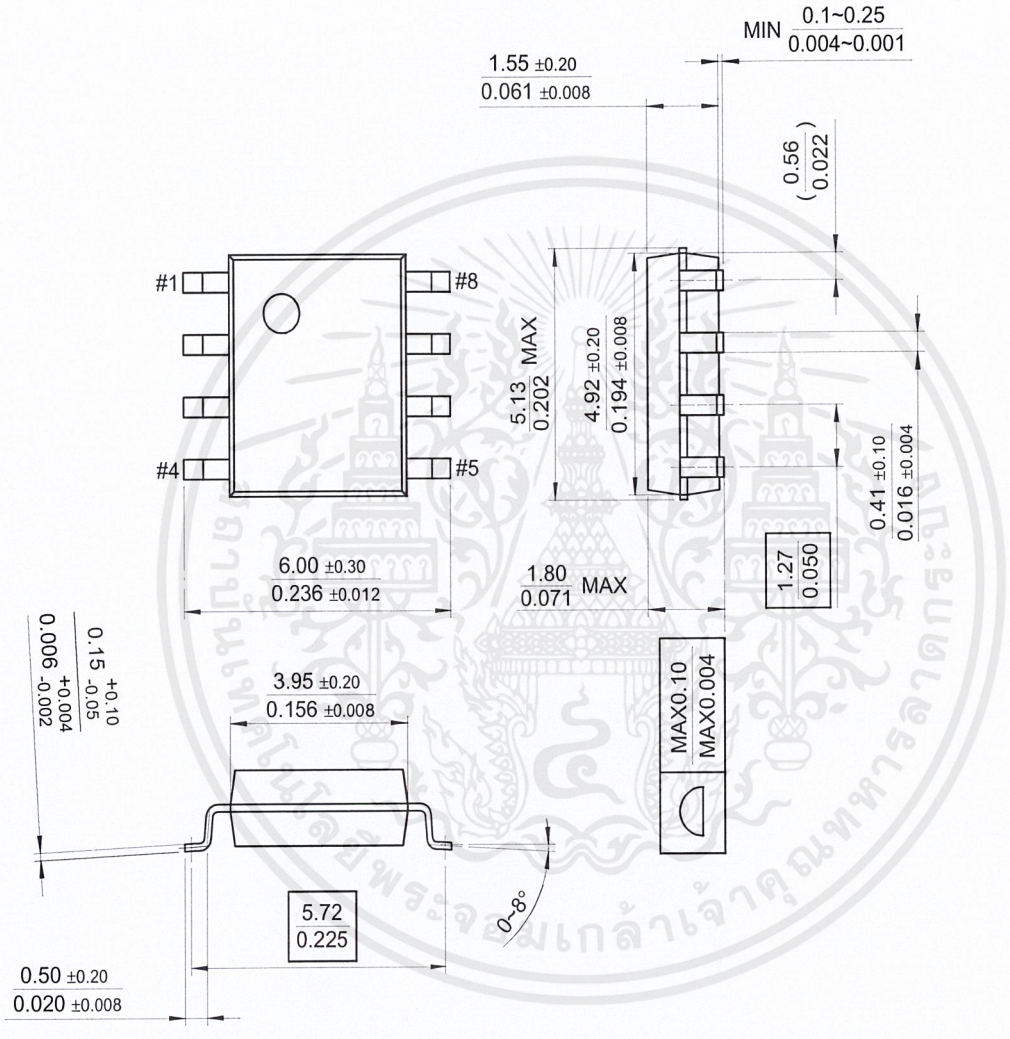

© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Mechanical Dimensions (Continued)

### Package

# 8-SOP






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

# GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTOTRANSISTOR OPTOCOUPLERS

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4N25 | 4N26 | 4N27 | 4N28 | 4N35 | 4N36 |
| 4N37 | H11A1 | H11A2 | H11A3 | H11A4 | H11A5 |

## DESCRIPTION

The general purpose optocouplers consist of a gallium arsenide infrared emitting diode driving a silicon phototransistor in a 6-pin dual in-line package.

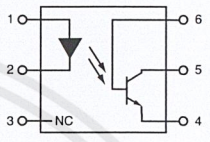
## FEATURES

- UL recognized (File # E90700)
- VDE recognized (File # 94766)
  - -Add option V for white package (e.g., 4N25V-M)
  - -Add option 300 for black package (e.g., 4N25.300)
- Also available in white package by specifying -M suffix, eg. 4N25-M except H11A2, H11A4 and H11A5

## APPLICATIONS

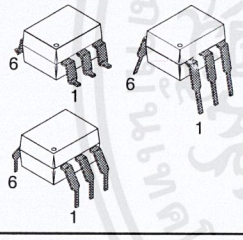
- Power supply regulators
- Digital logic inputs
- Microprocessor inputs

## SCHEMATIC

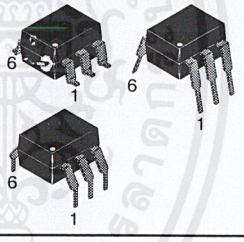



PIN 1. ANODE
2. CATHODE
3. NO CONNECTION
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

## WHITE PACKAGE (-M SUFFIX)




## BLACK PACKAGE (NO -M SUFFIX)




## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A$ = 25°C unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Value | Units |
|---|---|---|---|
| **TOTAL DEVICE** | | | |
| Storage Temperature | $T_{STG}$ | -55 to +150 | °C |
| Operating Temperature | $T_{OPR}$ | -55 to +100 | °C |
| Lead Solder Temperature | $T_{SOL}$ | 260 for 10 sec | °C |
| Total Device Power Dissipation @ $T_A$ = 25°C | $P_D$ | 250 | mW |
| Derate above 25°C | | 3.3 (non-M), 2.94 (-M) | |
| **EMITTER** | | | |
| DC/Average Forward Input Current | $I_F$ | 100 (non-M), 60 (-M) | mA |
| Reverse Input Voltage | $V_R$ | 6 | V |
| Forward Current - Peak (300µs, 2% Duty Cycle) | $I_F$(pk) | 3 | A |
| LED Power Dissipation @ $T_A$ = 25°C | $P_D$ | 150 (non-M), 120 (-M) | mW |
| Derate above 25°C | | 2.0 (non-M), 1.41 (-M) | mW/°C |
| **DETECTOR** | | | |
| Collector-Emitter Voltage | $V_{CEO}$ | 30 | V |
| Collector-Base Voltage | $V_{CBO}$ | 70 | V |
| Emitter-Collector Voltage | $V_{ECO}$ | 7 | V |
| Detector Power Dissipation @ $T_A$ = 25°C | $P_D$ | 150 | mW |
| Derate above 25°C | | 2.0 (non-M), 1.76 (-M) | mW/°C |

© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTOTRANSISTOR OPTOCOUPLERS



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A$ = 25°C Unless otherwise specified.)

### INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

| Parameter | Test Conditions | Symbol | Min | Typ** | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **EMITTER** | | | | | | |
| Input Forward Voltage | ($I_F$ = 10 mA) | $V_F$ | | 1.18 | 1.50 | V |
| Reverse Leakage Current | ($V_R$ = 6.0 V) | $I_R$ | | 0.001 | 10 | µA |
| **DETECTOR** | | | | | | |
| Collector-Emitter Breakdown Voltage | ($I_C$ = 1.0 mA, $I_F$ = 0) | $BV_{CEO}$ | 30 | 100 | | V |
| Collector-Base Breakdown Voltage | ($I_C$ = 100 µA, $I_F$ = 0) | $BV_{CBO}$ | 70 | 120 | | V |
| Emitter-Collector Breakdown Voltage | ($I_E$ = 100 µA, $I_F$ = 0) | $BV_{ECO}$ | 7 | 10 | | V |
| Collector-Emitter Dark Current | ($V_{CE}$ = 10 V, $I_F$ = 0) | $I_{CEO}$ | | 1 | 50 | nA |
| Collector-Base Dark Current | ($V_{CB}$ = 10 V) | $I_{CBO}$ | | | 20 | nA |
| Capacitance | ($V_{CE}$ = 0 V, f = 1 MHz) | $C_{CE}$ | | 8 | | pF |

### ISOLATION CHARACTERISTICS

| Characteristic | Test Conditions | Symbol | Min | Typ** | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input-Output Isolation Voltage | (Non-'M', Black Package) (f = 60 Hz, t = 1 min) | $V_{ISO}$ | 5300 | | | Vac(rms)* |
| | ('-M', White Package) (f = 60 Hz, t = 1 sec) | | 7500 | | | Vac(pk) |
| Isolation Resistance | ($V_{I-O}$ = 500 VDC) | $R_{ISO}$ | $10^{11}$ | | | Ω |
| Isolation Capacitance | ($V_{I-O}$ = Ø, f = 1 MHz) | $C_{ISO}$ | | 0.5 | | pF |
| | ('-M' White Package) | | | 0.2 | 2 | pF |

Note
* 5300 Vac(rms) for 1 minute equates to approximately 9000 Vac (pk) for 1 second
** Typical values at $T_A$ = 25°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTOTRANSISTOR OPTOCOUPLERS

**4N25 4N26 4N27 4N28 4N35 4N36**
**4N37 H11A1 H11A2 H11A3 H11A4 H11A5**

## TRANSFER CHARACTERISTICS ($T_A$ = 25°C Unless otherwise specified.)

| DC Characteristic | Test Conditions | Symbol | Device | Min | Typ** | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Current Transfer Ratio, Collector to Emitter | ($I_F$ = 10 mA, $V_{CE}$ = 10 V) | CTR | 4N35, 4N36, 4N37 | 100 | | | % |
| | | | H11A1 | 50 | | | |
| | | | H11A5 | 30 | | | |
| | | | 4N25, 4N26, H11A2, H11A3 | 20 | | | |
| | | | 4N27, 4N28, H11A4 | 10 | | | |
| | ($I_F$ = 10 mA, $V_{CE}$ = 10 V, $T_A$ = -55°C) | | 4N35, 4N36, 4N37 | 40 | | | |
| | ($I_F$ = 10 mA, $V_{CE}$ = 10 V, $T_A$ = +100°C) | | 4N35, 4N36, 4N37 | 40 | | | |
| Collector-Emitter Saturation Voltage | ($I_C$ = 2 mA, $I_F$ = 50 mA) | $V_{CE\ (SAT)}$ | 4N25, 4N26, 4N27, 4N28 | | | 0.5 | V |
| | ($I_C$ = 0.5 mA, $I_F$ = 10 mA) | | 4N35, 4N36, 4N37 | | | 0.3 | |
| | | | H11A1, H11A2, H11A3, H11A4, H11A5 | | | 0.4 | |
| **AC Characteristic** | | | | | | | |
| Non-Saturated Turn-on Time | ($I_F$ = 10 mA, $V_{CC}$ = 10 V, $R_L$ = 100Ω) (Fig.20) | $T_{ON}$ | 4N25, 4N26, 4N27, 4N28, H11A1, H11A2, H11A3, H11A4, H11A5 | | 2 | | µs |

** Typical values at $T_A$ = 25°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TRANSFER CHARACTERISTICS (Cont.)

| AC Characteristic | Test Conditions | Symbol | Device | Min | Typ** | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Non Saturated Turn-on Time | ($I_C$ = 2 mA, $V_{CC}$ = 10 V, $R_L$ = 100Ω) (Fig.20) | $T_{ON}$ | 4N35<br>4N36<br>4N37 | | 2 | 10 | µs |
| Turn-off Time | ($I_F$ = 10 mA, $V_{CC}$ = 10 V, $R_L$ = 100Ω) (Fig.20) | $T_{OFF}$ | 4N25<br>4N26<br>4N27<br>4N28<br>H11A1<br>H11A2<br>H11A3<br>H11A4<br>H11A5 | | 2 | | µs |
| | ($I_C$ = 2 mA, $V_{CC}$ = 10 V, $R_L$ = 100Ω) (Fig.20) | | 4N35<br>4N36<br>4N37 | | 2 | 10 | |

** Typical values at $T_A$ = 25°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TYPICAL PERFORMANCE CURVES

Fig. 1 LED Forward Voltage vs. Forward Current (Black Package)

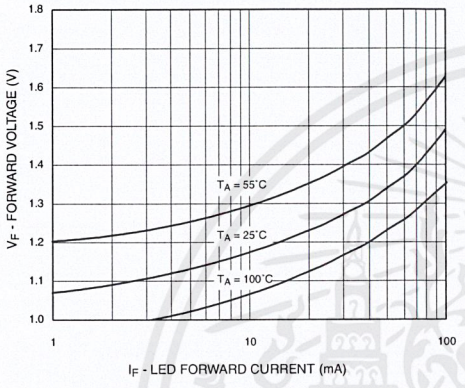



Fig. 2 LED Forward Voltage vs. Forward Current (White Package)

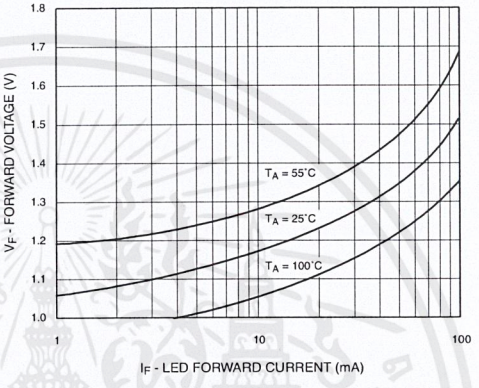



Fig.3 Normalized CTR vs. Forward Current (Black Package)

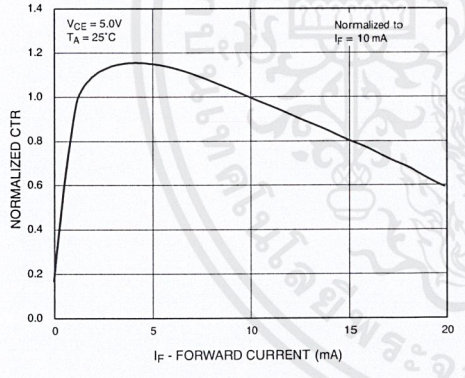



Fig.4 Normalized CTR vs. Forward Current (White Package)

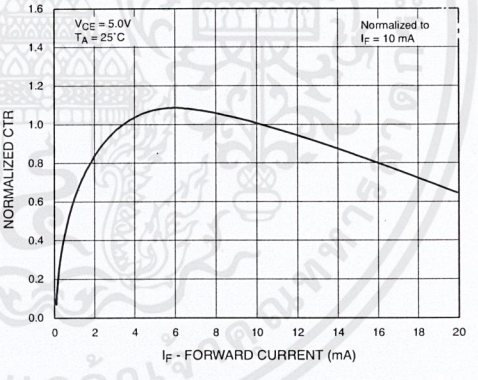



Fig. 5 Normalized CTR vs. Ambient Temperature (Black Package)

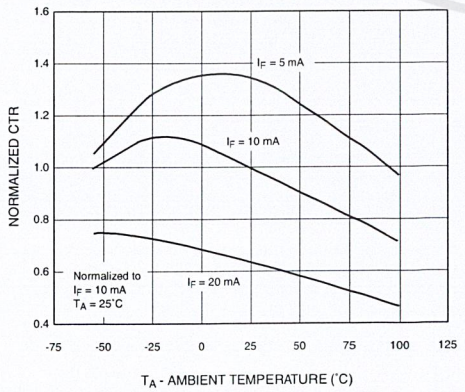
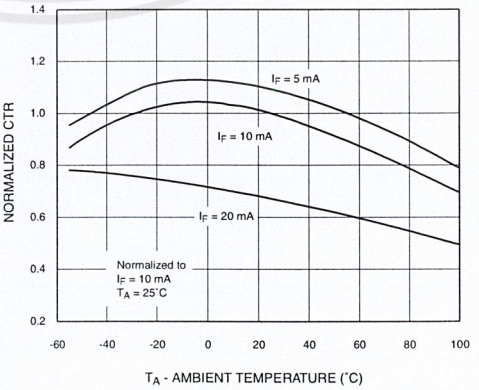



Fig. 6 Normalized CTR vs. Ambient Temperature (White Package)






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Fig. 7 CTR vs. RBE (Unsaturated) (Black Package)**

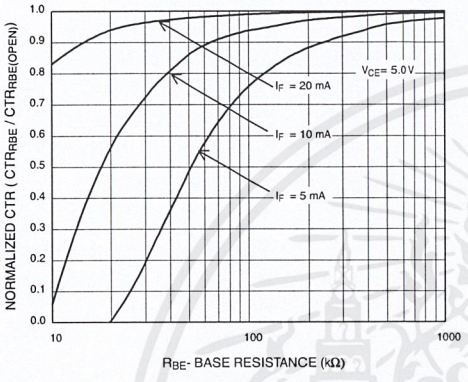



**Fig. 8 CTR vs. RBE (Unsaturated) (White Package)**

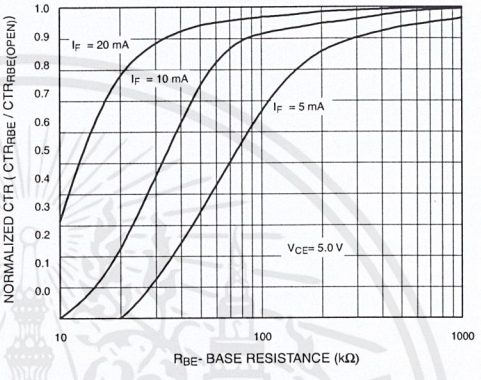



**Fig. 9 CTR vs. RBE (Saturated) (Black Package)**

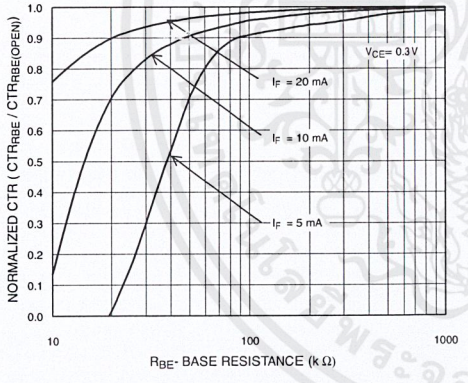



**Fig. 10 CTR vs. RBE (Saturated) (White Package)**

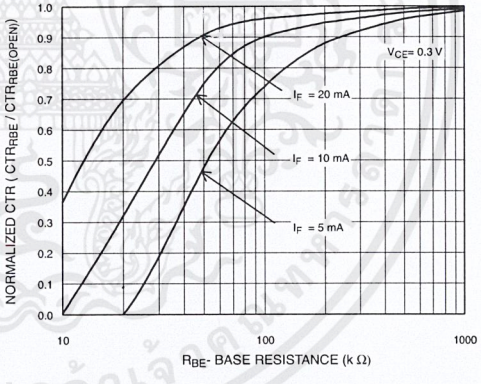



**Fig. 11 Collector-Emitter Saturation Voltage vs Collector Current (Black Package)**

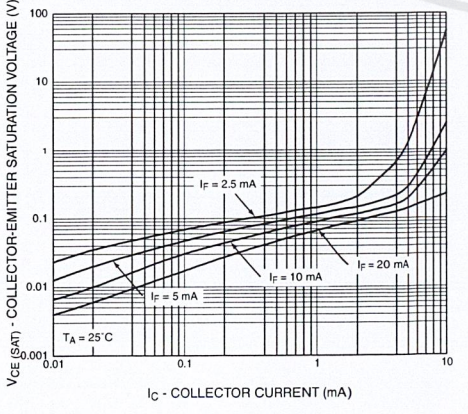
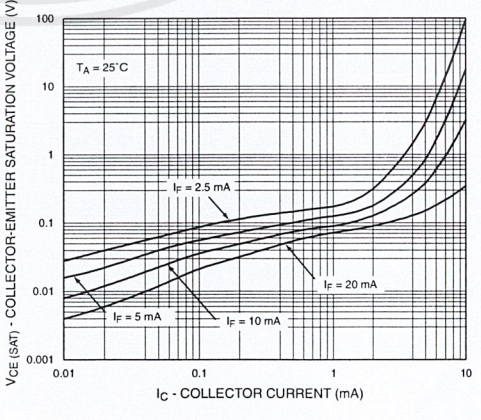



**Fig. 12 Collector-Emitter Saturation Voltage vs Collector Current (White Package)**






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Fig. 13 Switching Speed vs. Load Resistor (Black Package)**

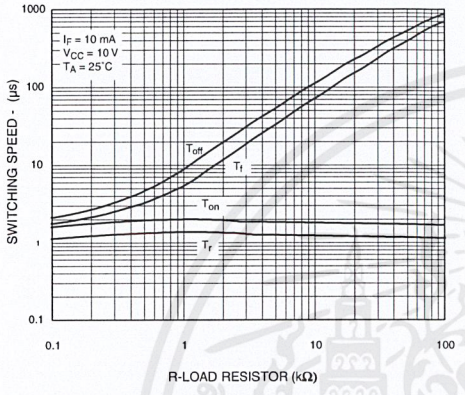



**Fig. 14 Switching Speed vs. Load Resistor (White Package)**

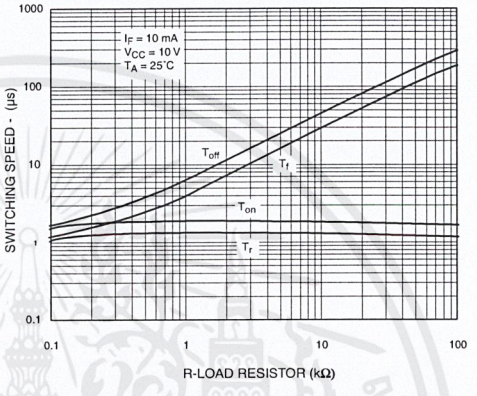



**Fig. 15 Normalized $t_{on}$ vs. $R_{BE}$ (Black Package)**

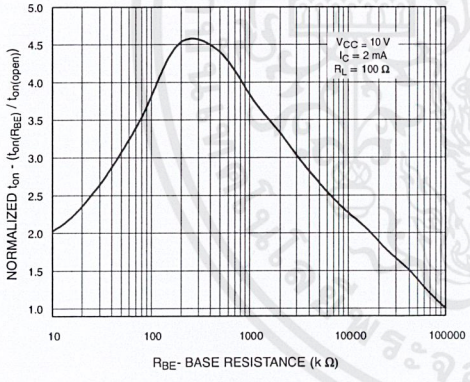



**Fig. 16 Normalized $t_{on}$ vs. $R_{BE}$ (White Package)**

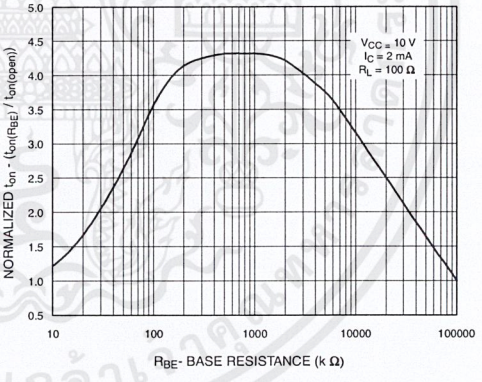



**Fig. 17 Normalized $t_{off}$ vs. $R_{BE}$ (Black Package)**

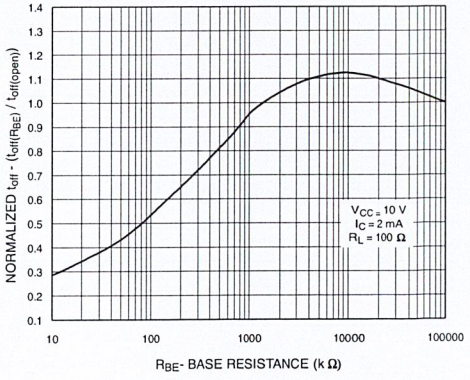
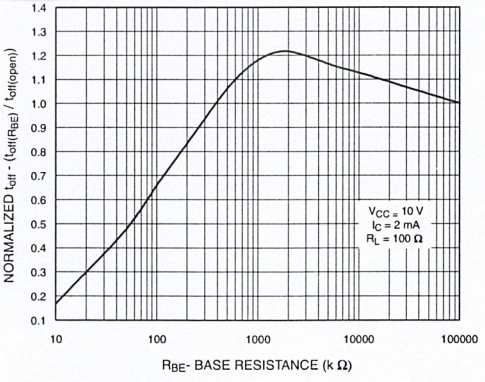


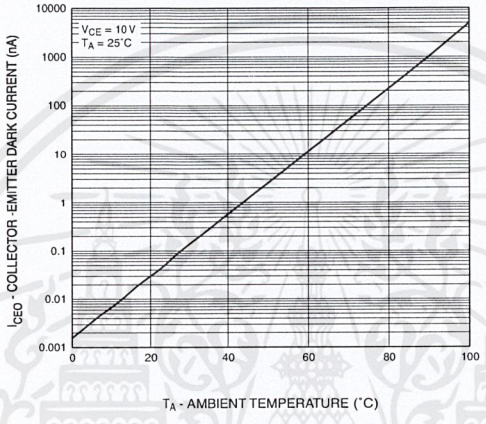

**Fig. 18 Normalized $t_{off}$ vs. $R_{BE}$ (White Package)**






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Fig. 19 Dark Current vs. Ambient Temperature**



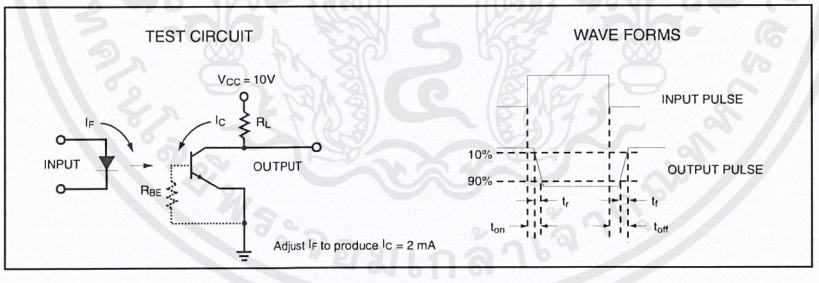



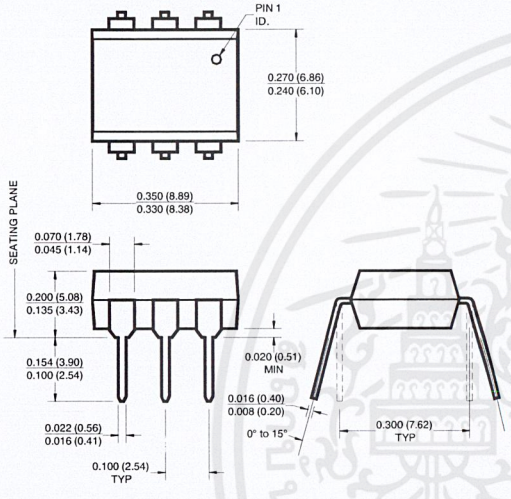

**Figure 20. Switching Time Test Circuit and Waveforms**



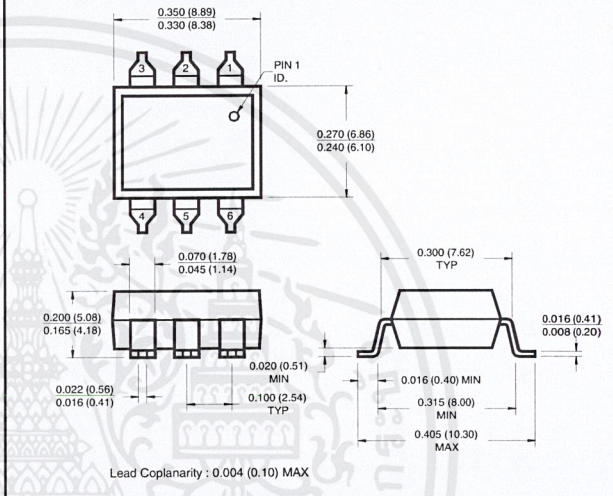
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Black Package (No -M Suffix)

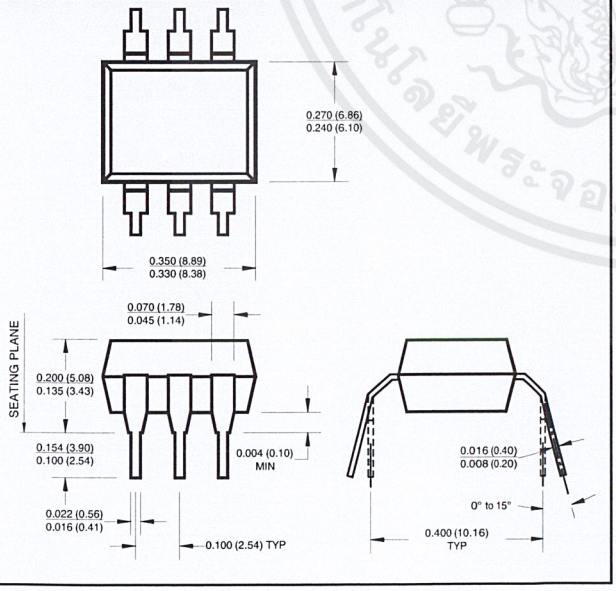
## Package Dimensions (Through Hole)



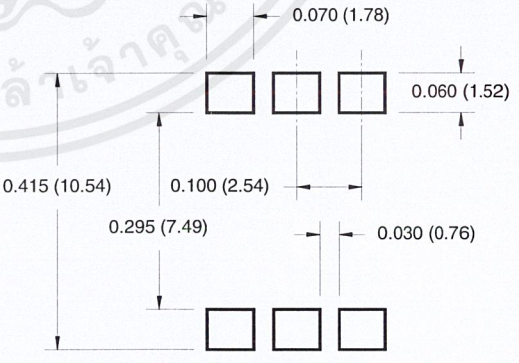

## Package Dimensions (Surface Mount)




## Package Dimensions (0.4"Lead Spacing)




## Recommended Pad Layout for Surface Mount Leadform




**NOTE**

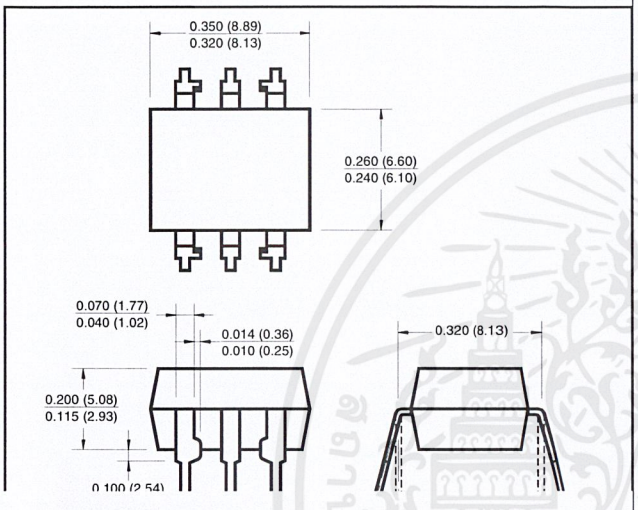
All dimensions are in inches (millimeters)

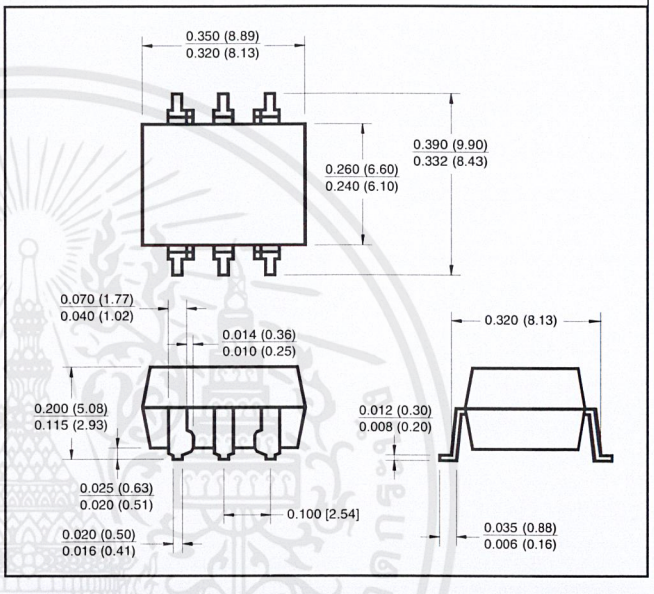


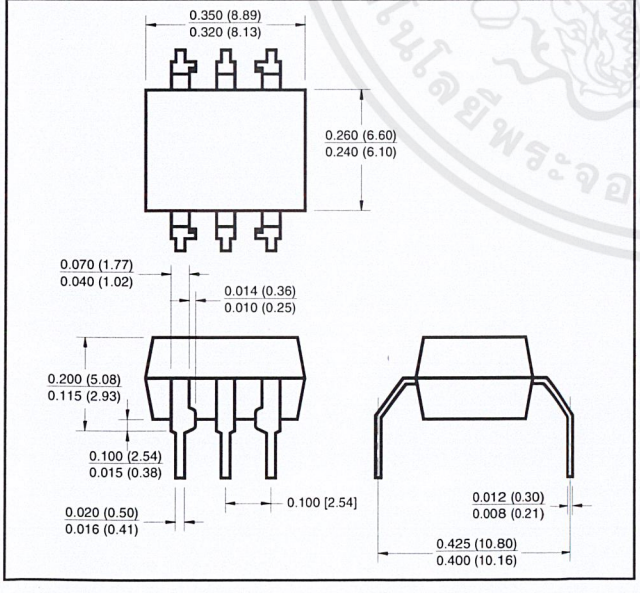
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTOTRANSISTOR OPTOCOUPLERS

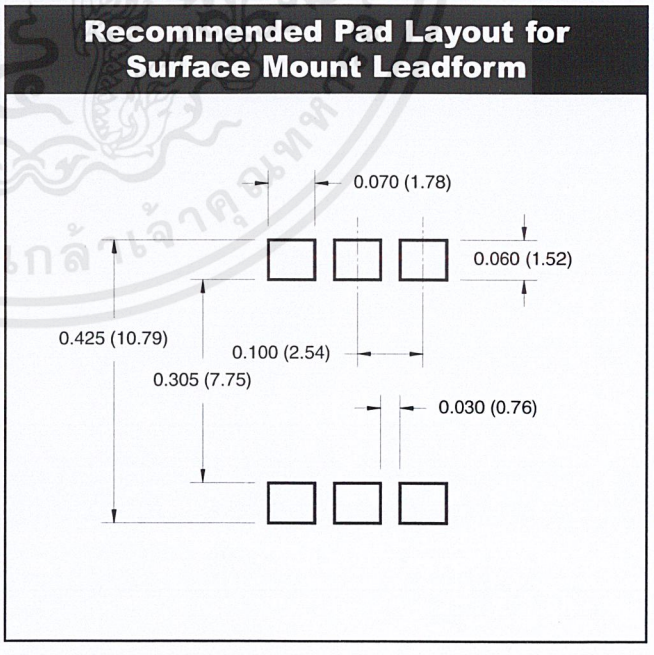
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4N25 | 4N26 | 4N27 | 4N28 | 4N35 | 4N36 |
| 4N37 | H11A1 | H11A2 | H11A3 | H11A4 | H11A5 |




## Recommended Pad Layout for Surface Mount Leadform




**NOTE**

All dimensions are in inches (millimeters)

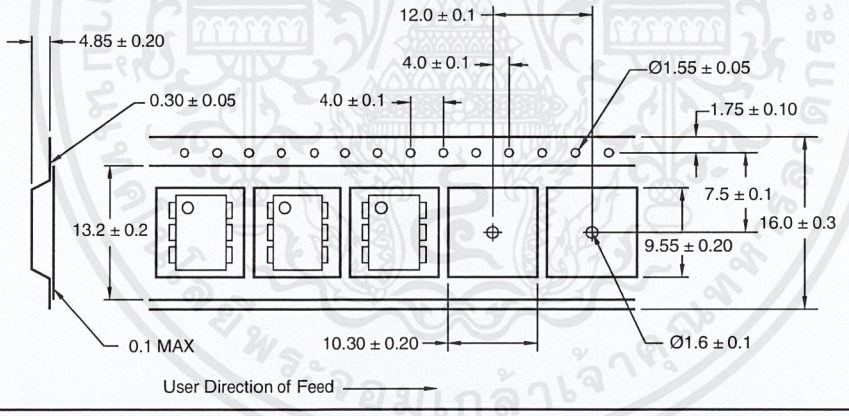


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

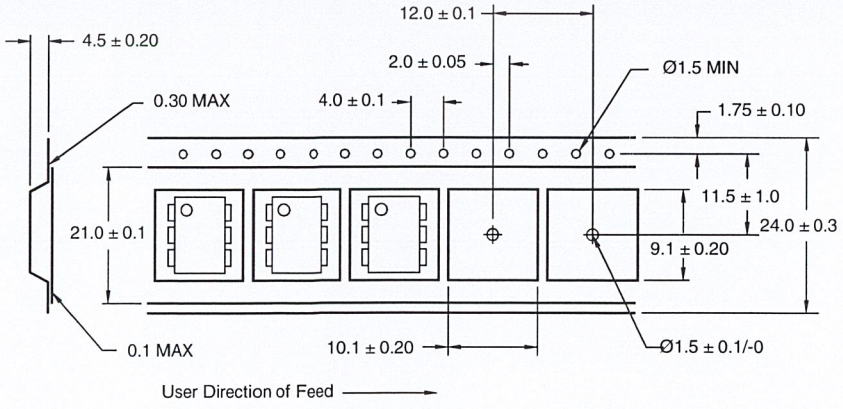
## ORDERING INFORMATION

| Order Entry Identifier | | |
|---|---|---|
| **Black Package (No Suffix)** | **White Package (-m Suffix)** | **Option** |
| .S | S | Surface Mount Lead Bend |
| .SD | SR2 | Surface Mount; Tape and reel |
| .W | T | 0.4" Lead Spacing |
| .300 | V | VDE 0884 |
| .300W | TV | VDE 0884, 0.4" Lead Spacing |
| .3S | SV | VDE 0884, Surface Mount |
| .3SD | SR2V | VDE 0884, Surface Mount, Tape & Reel |

### QT Carrier Tape Specifications ("D" Taping Orientation) (Black Package, No Suffix)




### QT Carrier Tape Specifications ("D" Taping Orientation) (White Package, -M Suffix)






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

# GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTOTRANSISTOR OPTOCOUPLERS

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4N25 | 4N26 | 4N27 | 4N28 | 4N35 | 4N36 |
| 4N37 | H11A1 | H11A2 | H11A3 | H11A4 | H11A5 |

**DISCLAIMER**

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

**LIFE SUPPORT POLICY**

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body,or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.

2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEMENS

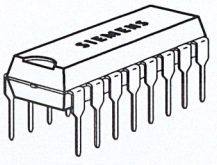
## Phase Control IC

## TCA 785

**Bipolar IC**

### Features

- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range

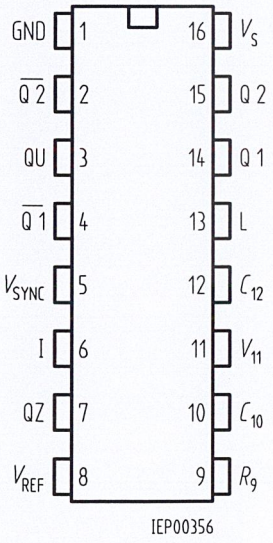


P-DIP-16-1

| Type | Ordering Code | Package |
|---|---|---|
| TCA 785 | Q67000-A2321 | P-DIP-16-1 |

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0 ° and 180 °. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.




IEP00356

### Pin Definitions and Functions

| Pin | Symbol | Function |
|---|---|---|
| 1 | GND | Ground |
| 2 | $\overline{Q2}$ | Output 2 inverted |
| 3 | Q U | Output U |
| 4 | $\overline{Q2}$ | Output 1 inverted |
| 5 | $V_{SYNC}$ | Synchronous voltage |
| 6 | I | Inhibit |
| 7 | Q Z | Output Z |
| 8 | $V_{REF}$ | Stabilized voltage |
| 9 | $R_9$ | Ramp resistance |
| 10 | $C_{10}$ | Ramp capacitance |
| 11 | $V_{11}$ | Control voltage |
| 12 | $C_{12}$ | Pulse extension |
| 13 | L | Long pulse |
| 14 | Q 1 | Output 1 |
| 15 | Q 2 | Output 2 |
| 16 | $V_S$ | Supply voltage |

### Pin Configuration

(top view)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Functional Description

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage $V_5$). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor $C_{10}$ of which is charged by a constant current (determined by $R_9$). If the ramp voltage $V_{10}$ exceeds the control voltage $V_{11}$ (triggering angle $\varphi$), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage $V_{11}$, the triggering angle $\varphi$ can be shifted within a phase angle of 0° to 180°.

For every half wave, a positive pulse of approx. 30 µs duration appears at the outputs Q 1 and Q 2. The pulse duration can be prolonged up to 180° via a capacitor $C_{12}$. If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between $\varphi$ and 180° will result.

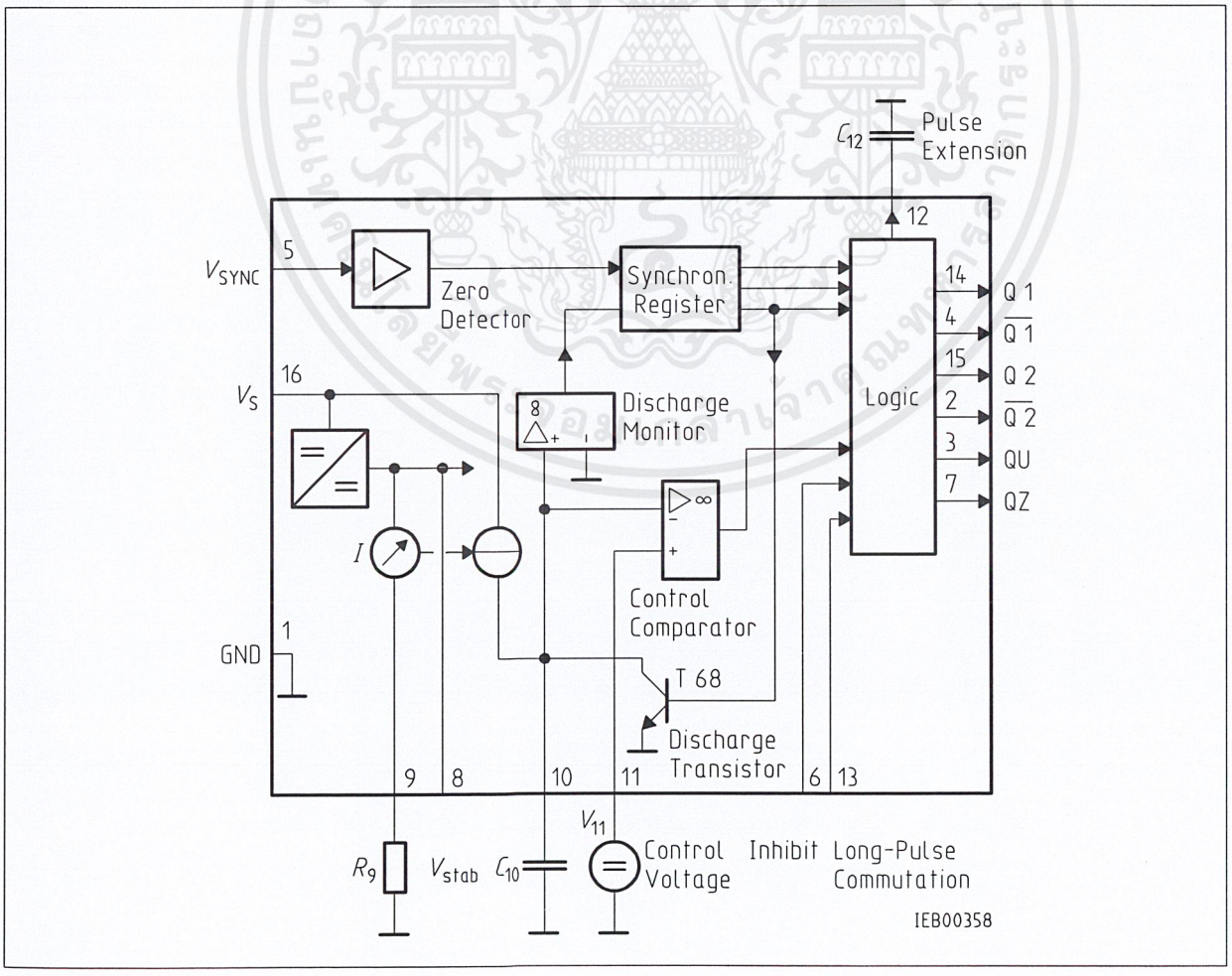
Outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

A signal of $\varphi$ +180° which can be used for controlling an external logic,is available at pin 3.

A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

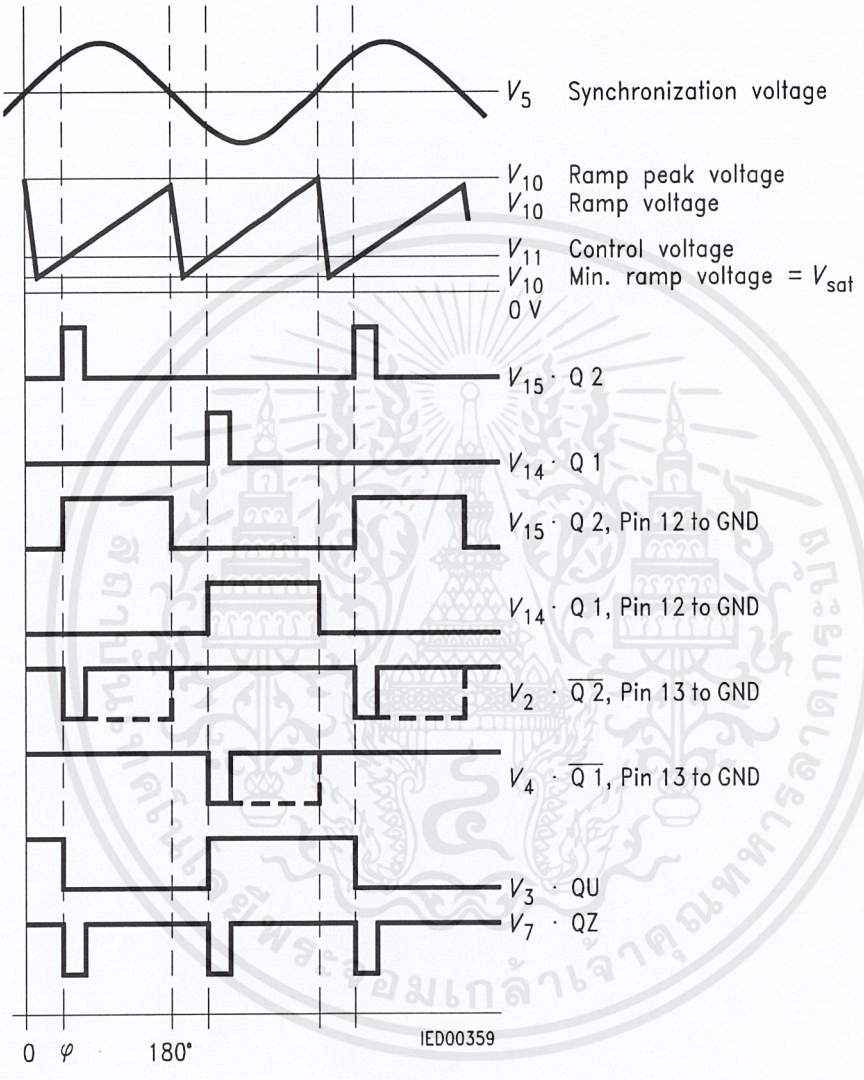
The inhibit input can be used to disable outputs Q1, Q2 and $\overline{Q1}$, $\overline{Q2}$.

Pin 13 can be used to extend the outputs $\overline{Q1}$ and $\overline{Q2}$ to full pulse length (180° – $\varphi$).




**Block Diagram**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**Pulse Diagram**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

| Parameter | Symbol | Limit Values | | Unit |
|---|---|---|---|---|
| | | min. | max. | |
| Supply voltage | $V_S$ | – 0.5 | 18 | V |
| Output current at pin 14, 15 | $I_Q$ | – 10 | 400 | mA |
| Inhibit voltage<br>Control voltage<br>Voltage short-pulse circuit | $V_6$<br>$V_{11}$<br>$V_{13}$ | – 0.5<br>– 0.5<br>– 0.5 | $V_S$<br>$V_S$<br>$V_S$ | V<br>V<br>V |
| Synchronization input current | $V_5$ | – 200 | ± 200 | µA |
| Output voltage at pin 14, 15 | $V_Q$ | | $V_S$ | V |
| Output current at pin 2, 3, 4, 7 | $I_Q$ | | 10 | mA |
| Output voltage at pin 2, 3, 4, 7 | $V_Q$ | | $V_S$ | V |
| Junction temperature<br>Storage temperature | $T_j$<br>$T_{stg}$ | <br>– 55 | 150<br>125 | °C<br>°C |
| Thermal resistance system - air | $R_{th\ SA}$ | | 80 | K/W |

## Operating Range

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Supply voltage | $V_S$ | 8 | 18 | V |
| Operating frequency | $f$ | 10 | 500 | Hz |
| Ambient temperature | $T_A$ | – 25 | 85 | °C |

## Characteristics

$8 \le V_S \le 18$ V; $-25$ °C $\le T_A \le 85$ °C; $f = 50$ Hz

| Parameter | Symbol | Limit Values | | | Unit | Test Circuit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | min. | typ. | max. | | |
| Supply current consumption<br>S1 … S6 open<br>$V_{11} = 0$ V<br>$C_{10} = 47$ nF; $R_9 = 100$ kΩ | $I_S$ | 4.5 | 6.5 | 10 | mA | 1 |
| Synchronization pin 5<br>Input current<br>$R_2$ varied<br>Offset voltage | <br>$I_{5\,rms}$<br><br>$\Delta V_5$ | <br>30 | <br><br>30 | <br>200<br><br>75 | <br>µA<br><br>mV | <br>1<br><br>4 |
| Control input pin 11<br>Control voltage range<br>Input resistance | <br>$V_{11}$<br>$R_{11}$ | <br>0.2 | <br><br>15 | <br>$V_{10\,peak}$ | <br>V<br>kΩ | <br>1<br>5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Characteristics** (cont'd)
$8 \le V_S \le 18$ V; $-25$ °C $\le T_A \le 85$ °C; $f = 50$ Hz

| Parameter | Symbol | Limit Values | | | Unit | Test Circuit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | min. | typ. | max. | | |
| Ramp generator | | | | | | |
| Charge current | $I_{10}$ | 10 | | 1000 | µA | |
| Max. ramp voltage | $V_{10}$ | | | $V_2 - 2$ | V | 1 |
| Saturation voltage at capacitor | $V_{10}$ | 100 | 225 | 350 | mV | 1.6 |
| Ramp resistance | $R_9$ | 3 | | 300 | kΩ | 1 |
| Sawtooth return time | $t_f$ | | 80 | | µs | 1 |
| Inhibit pin 6 switch-over of pin 7 | | | | | | |
| Outputs disabled | $V_{6L}$ | | 3.3 | 2.5 | V | 1 |
| Outputs enabled | $V_{6H}$ | 4 | 3.3 | | V | 1 |
| Signal transition time | $t_r$ | 1 | | 5 | µs | 1 |
| Input current $V_6 = 8$ V | $I_{6H}$ | | 500 | 800 | µA | 1 |
| Input current $V_6 = 1.7$ V | $-I_{6L}$ | 80 | 150 | 200 | µA | 1 |
| Deviation of $I_{10}$ $R_9$ = const. $V_S = 12$ V; $C_{10} = 47$ nF | $I_{10}$ | $-5$ | | 5 | % | 1 |
| Deviation of $I_{10}$ $R_9$ = const. $V_S = 8$ V to 18 V | $I_{10}$ | $-20$ | | 20 | % | 1 |
| Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_S$ = const. | $\Delta V_{10\,max}$ | | $\pm 1$ | | % | |
| Long pulse switch-over pin 13 switch-over of S8 | | | | | | |
| Short pulse at output | $V_{13H}$ | 3.5 | 2.5 | | V | 1 |
| Long pulse at output | $V_{13L}$ | | 2.5 | 2 | V | 1 |
| Input current $V_{13} = 8$ V | $I_{13H}$ | | | 10 | µA | 1 |
| Input current $V_{13} = 1.7$ V | $-I_{13L}$ | 45 | 65 | 100 | µA | 1 |
| Outputs pin 2, 3, 4, 7 | | | | | | |
| Reverse current $V_Q = V_S$ | $I_{CEO}$ | | | 10 | µA | 2.6 |
| Saturation voltage $I_Q = 2$ mA | $V_{sat}$ | 0.1 | 0.4 | 2 | V | 2.6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Characteristics** (cont'd)
$8 \le V_S \le 18$ V; $-25$ °C $\le T_A \le 85$ °C; $f = 50$ Hz

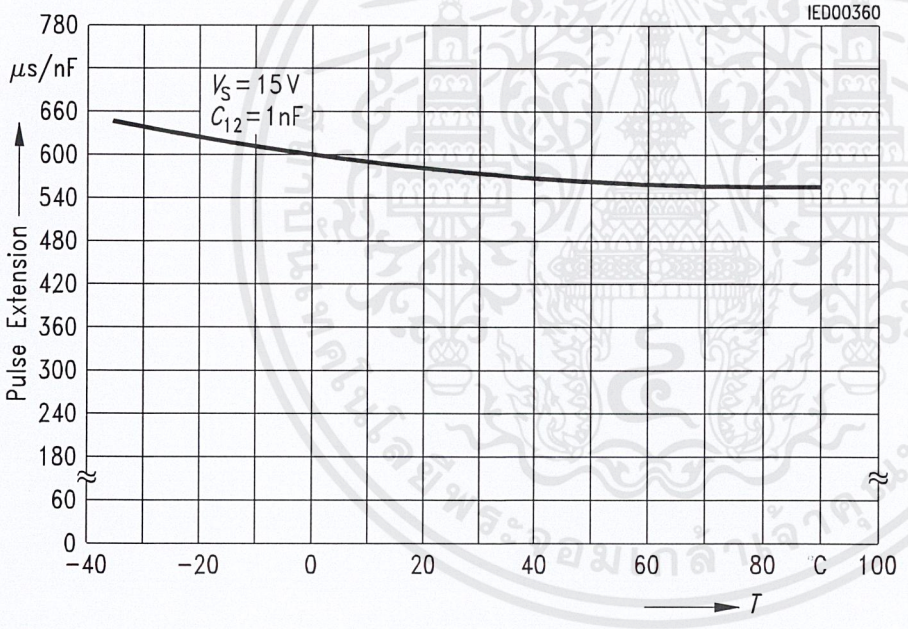
| Parameter | Symbol | Limit Values | | | Unit | Test Circuit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | min. | typ. | max. | | |
| Outputs pin 14, 15 | | | | | | |
| H-output voltage<br>$-I_Q = 250$ mA | $V_{14/15\,H}$ | $V_S - 3$ | $V_S - 2.5$ | $V_S - 1.0$ | V | 3.6 |
| L-output voltage<br>$I_Q = 2$ mA | $V_{14/15\,L}$ | 0.3 | 0.8 | 2 | V | 2.6 |
| Pulse width (short pulse)<br>S9 open | $t_p$ | 20 | 30 | 40 | µs | 1 |
| Pulse width (short pulse)<br>with $C_{12}$ | $t_p$ | 530 | 620 | 760 | µs/nF | 1 |
| Internal voltage control | | | | | | |
| Reference voltage<br>Parallel connection of 10 ICs possible | $V_{REF}$ | 2.8 | 3.1 | 3.4 | V | 1 |
| $TC$ of reference voltage | $\alpha_{REF}$ | | $2 \times 10^{-4}$ | $5 \times 10^{-4}$ | 1/K | 1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application Hints for External Components

| | | min | max | |
|---|---|---|---|---|
| Ramp capacitance | $C_{10}$ | 500 pF | 1 µF[1] | The minimum and maximum values of $I_{10}$ are to be observed |
| Triggering point | $t_{Tr} = \frac{V_{11} \times R_9 \times C_{10}}{V_{REF} \times K}$ | | [2] | |
| Charge current | $I_{10} = \frac{V_{REF} \times K}{R_9}$ | | [2] | Ramp voltage $V_{10\,max} = V_S - 2\ V$ $V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}}$ [2] |

## Pulse Extension versus Temperature

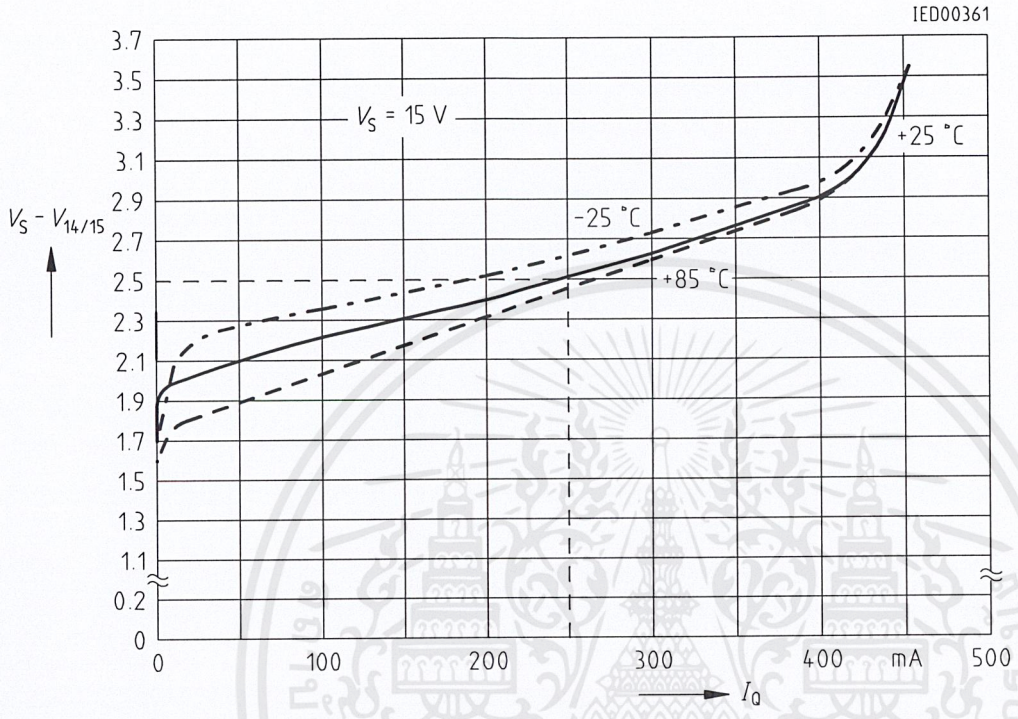



[1] Attention to flyback times

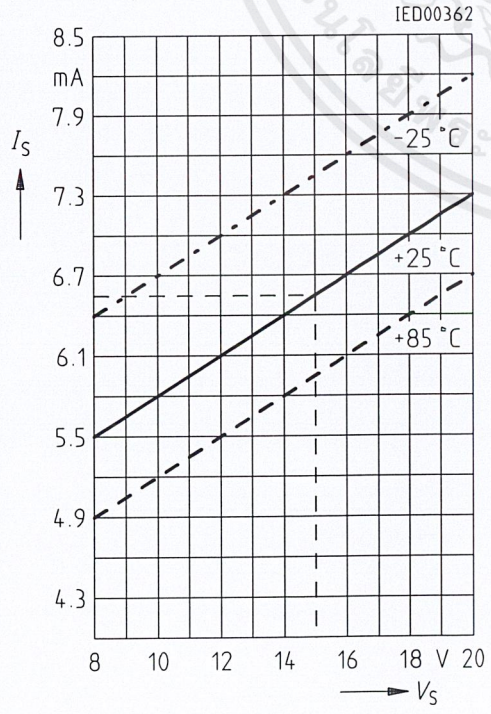
[2] $K = 1.10 \pm 20\ \%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

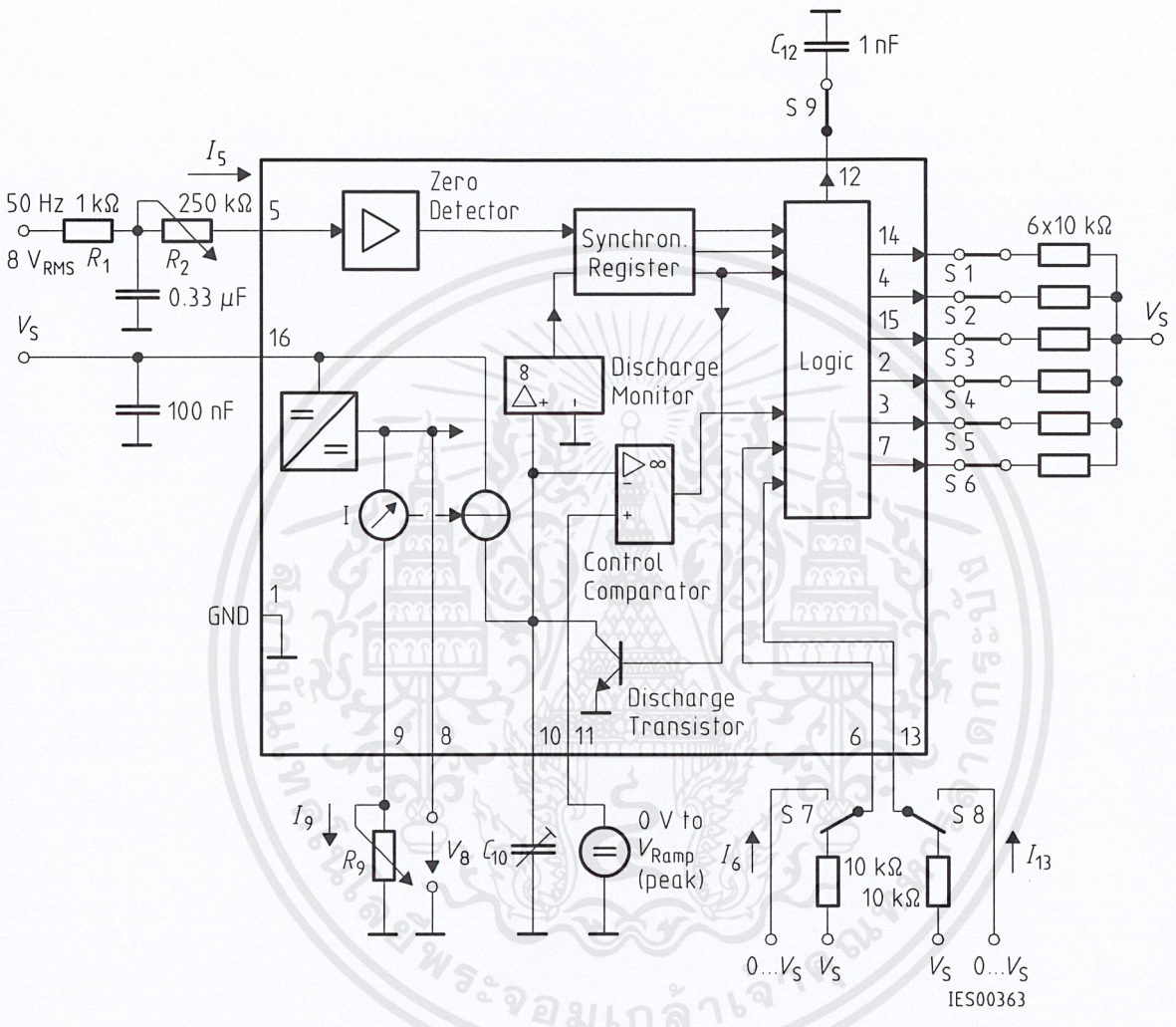
**Output Voltage measured to + $V_S$**




**Supply Current versus Supply Voltage**



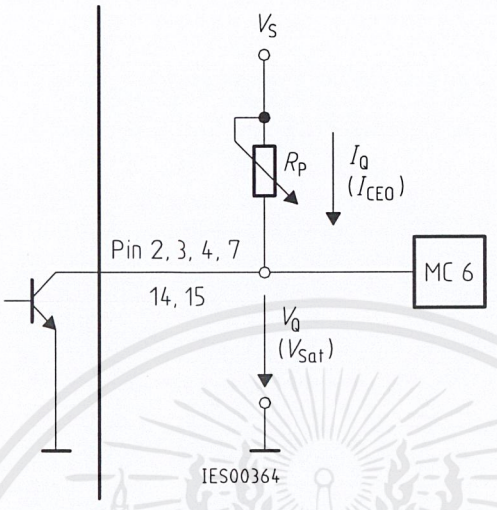

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




It is necessary for all measurements to adjust the ramp with the aid of $C_{10}$ and $R_9$ in the way that $3\,V \leq V_{ramp\,max} \leq V_S - 2\,V$
e.g. $C_{10}$ = 47 nF; 18 V: $R_9$ = 47 kΩ; 8 V: $R_9$ = 120 kΩ

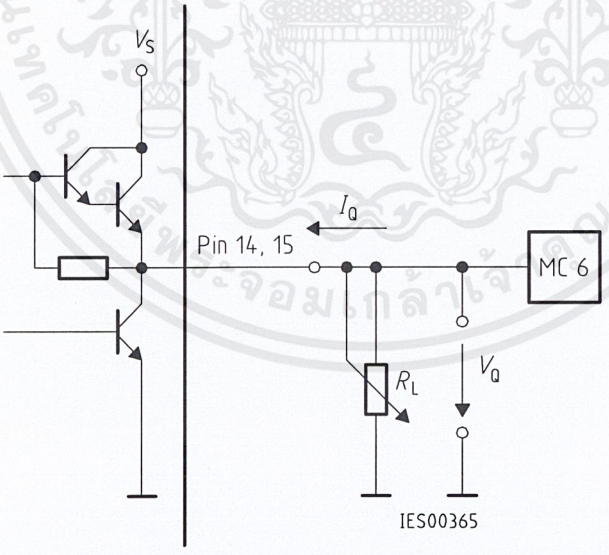
**Test Circuit 1**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




The remaining pins are connected as in test circuit 1

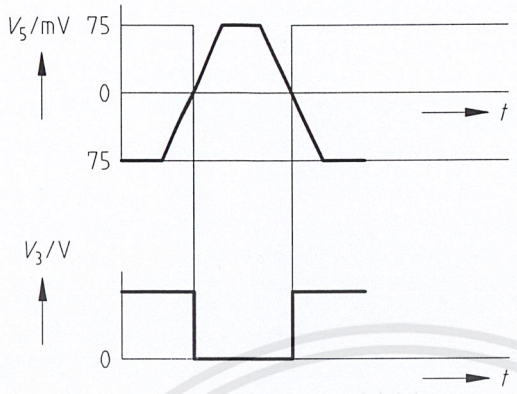
**Test Circuit 2**

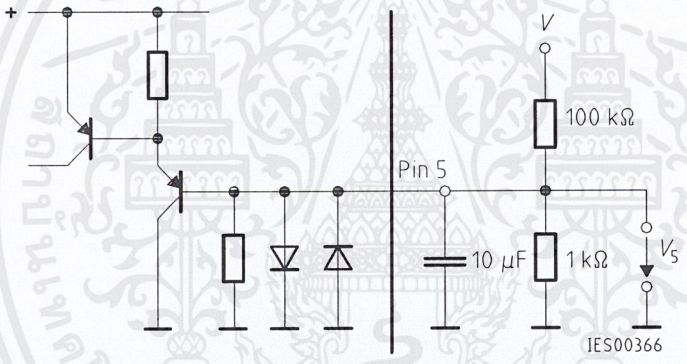



The remaining pins are connected as in test circuit 1

**Test Circuit 3**

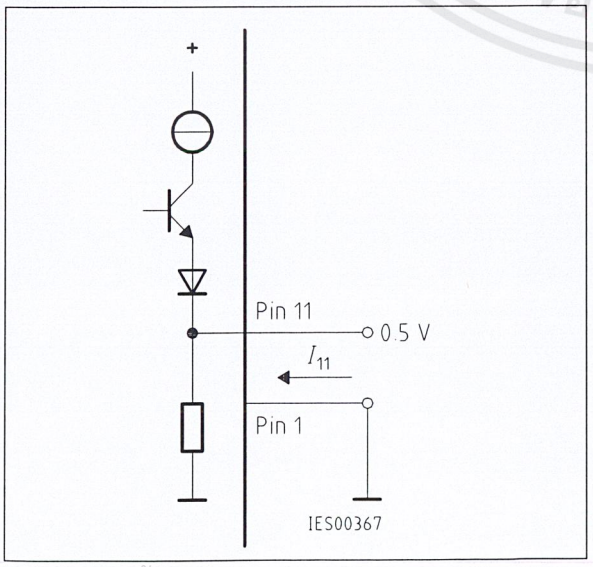
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



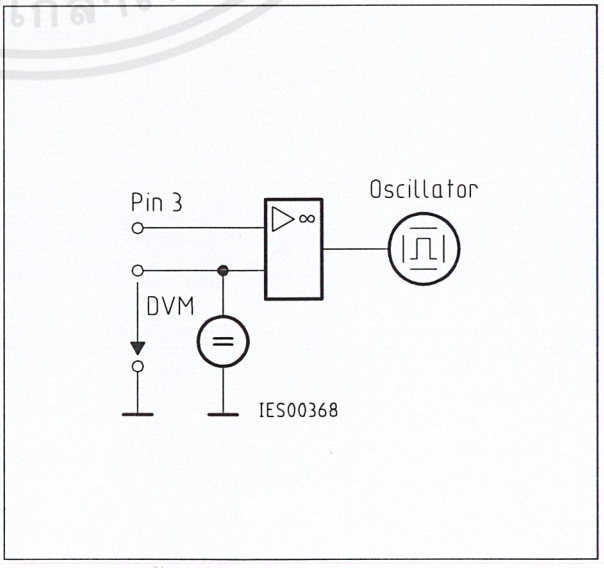




Remaining pins are connected as in test circuit 1
The 10 µF capacitor at pin 5 serves only for test purposes

**Test Circuit 4**

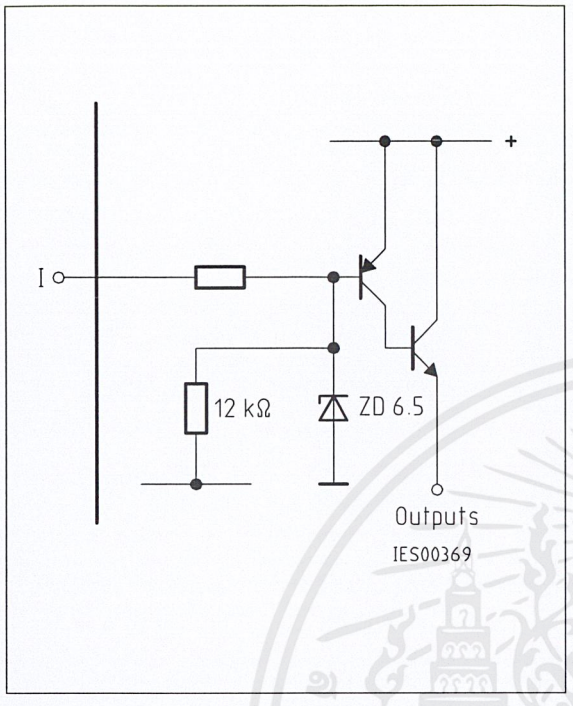



**Test Circuit 5**

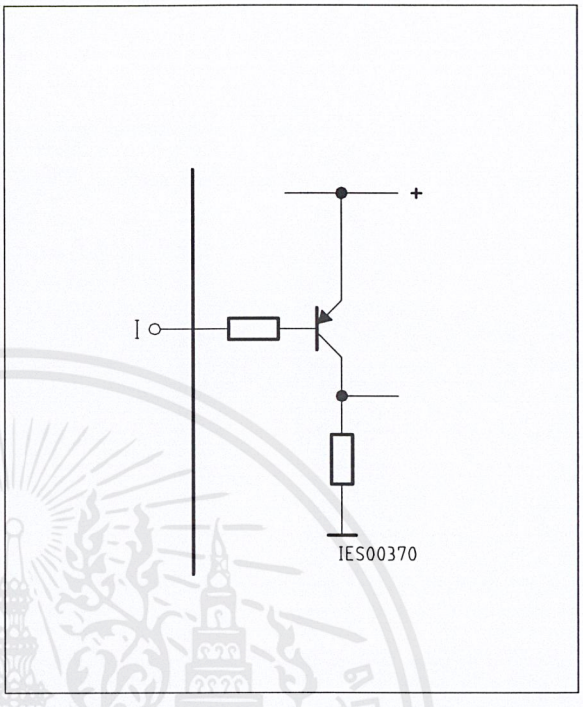



**Test Circuit 6**

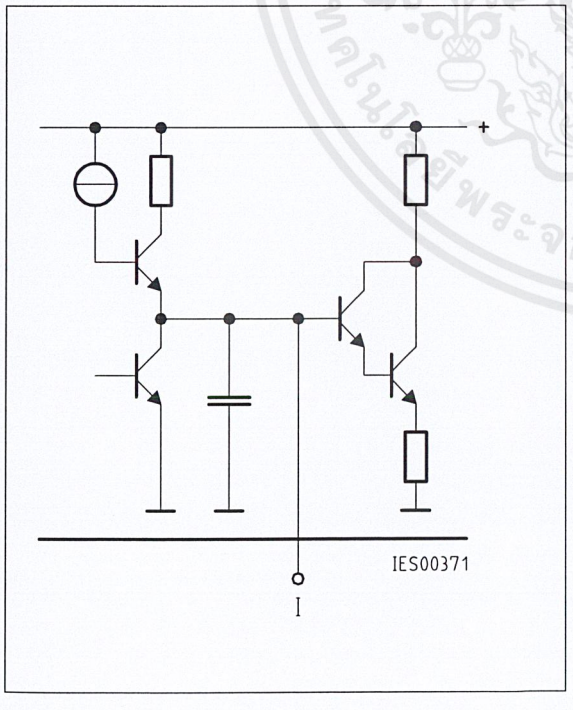
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



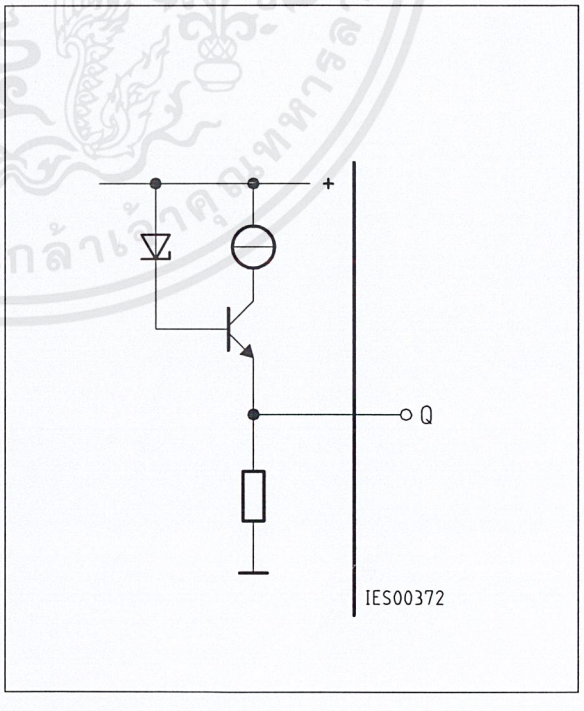

**Inhibit 6**




**Long Pulse 13**

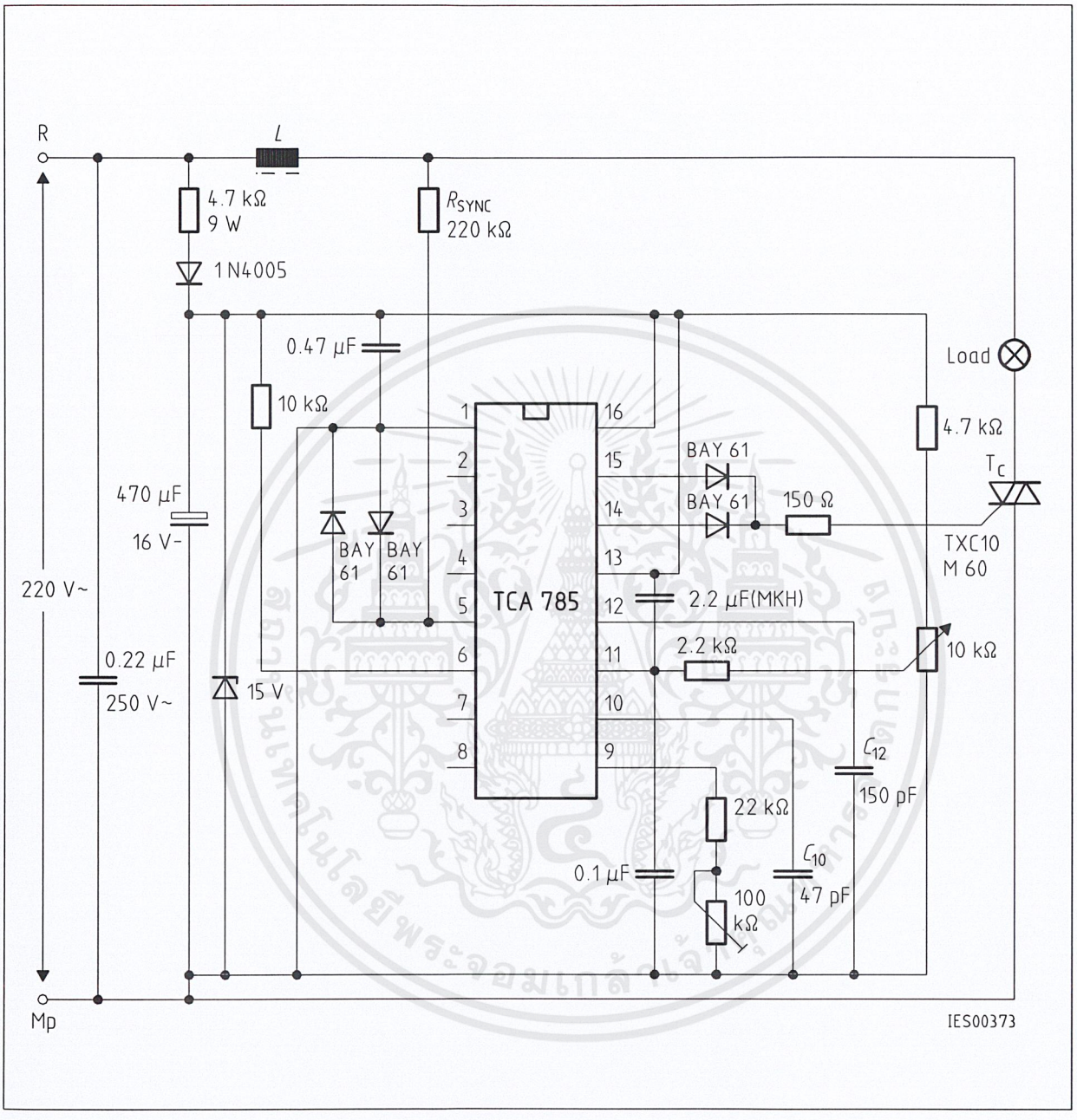



**Pulse Extension 12**




**Reference Voltage 8**

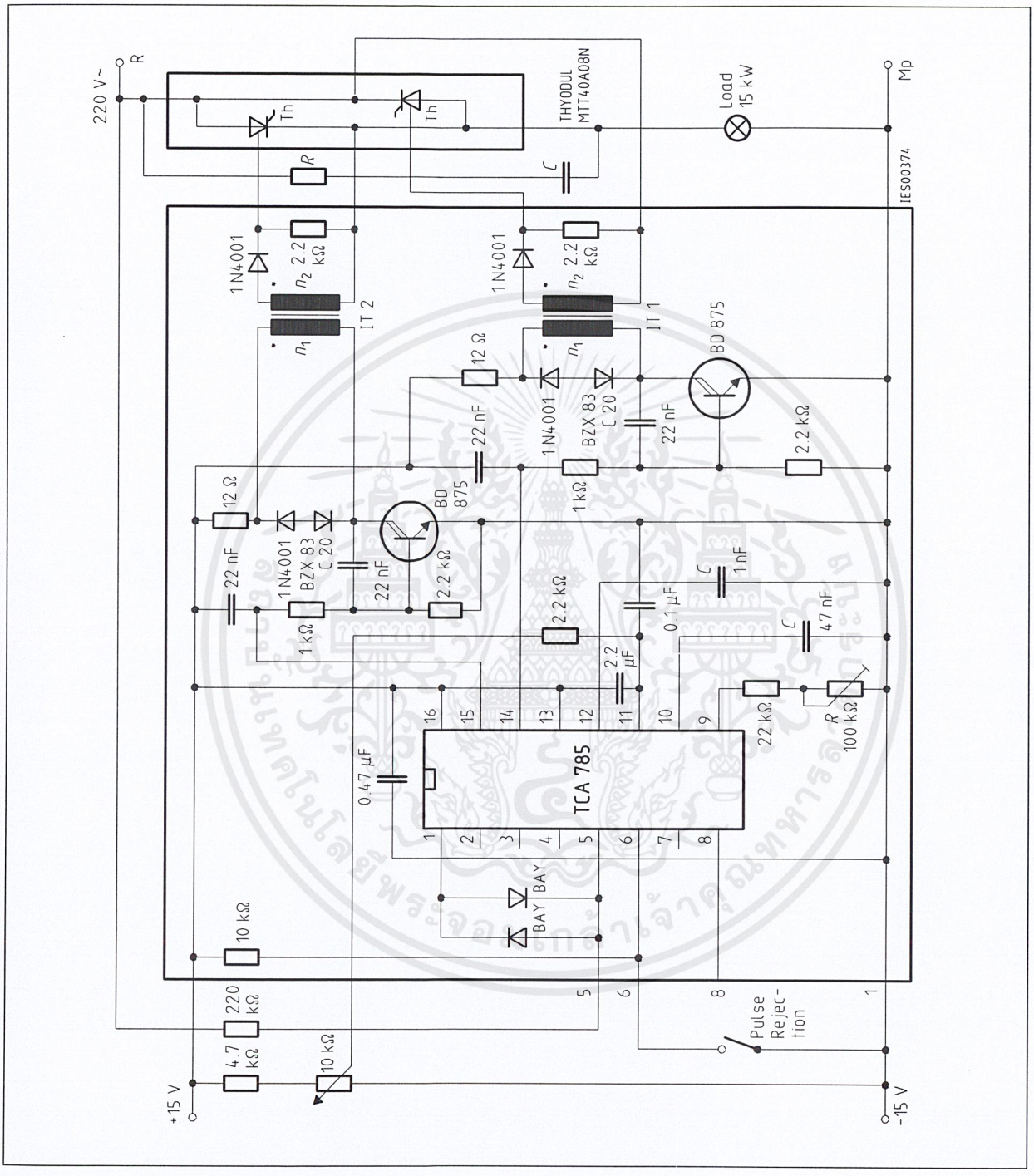
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**Application Examples**
**Triac Control for up to 50 mA Gate Trigger Current**

A phase control with a directly controlled triac is shown in the figure. The triggering angle of the triac can be adjusted continuously between 0° and 180° with the aid of an external potentiometer. During the positive half-wave of the line voltage, the triac receives a positive gate pulse from the IC output pin 15. During the negative half-wave, it also receives a positive trigger pulse from pin 14. The trigger pulse width is approx. 100 µs.

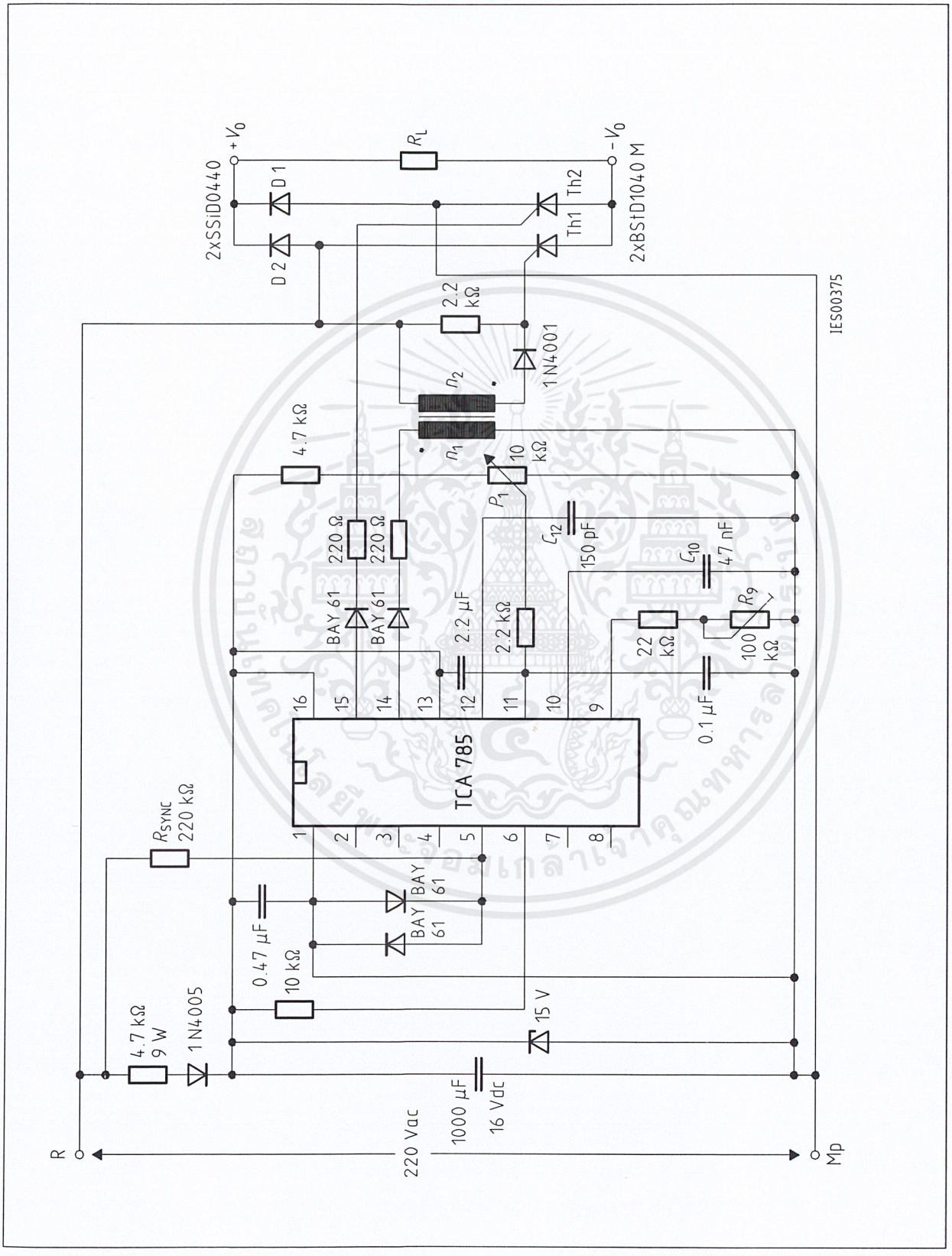
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**Fully Controlled AC Power Controller Circuit for Two High-Power Thyristors**

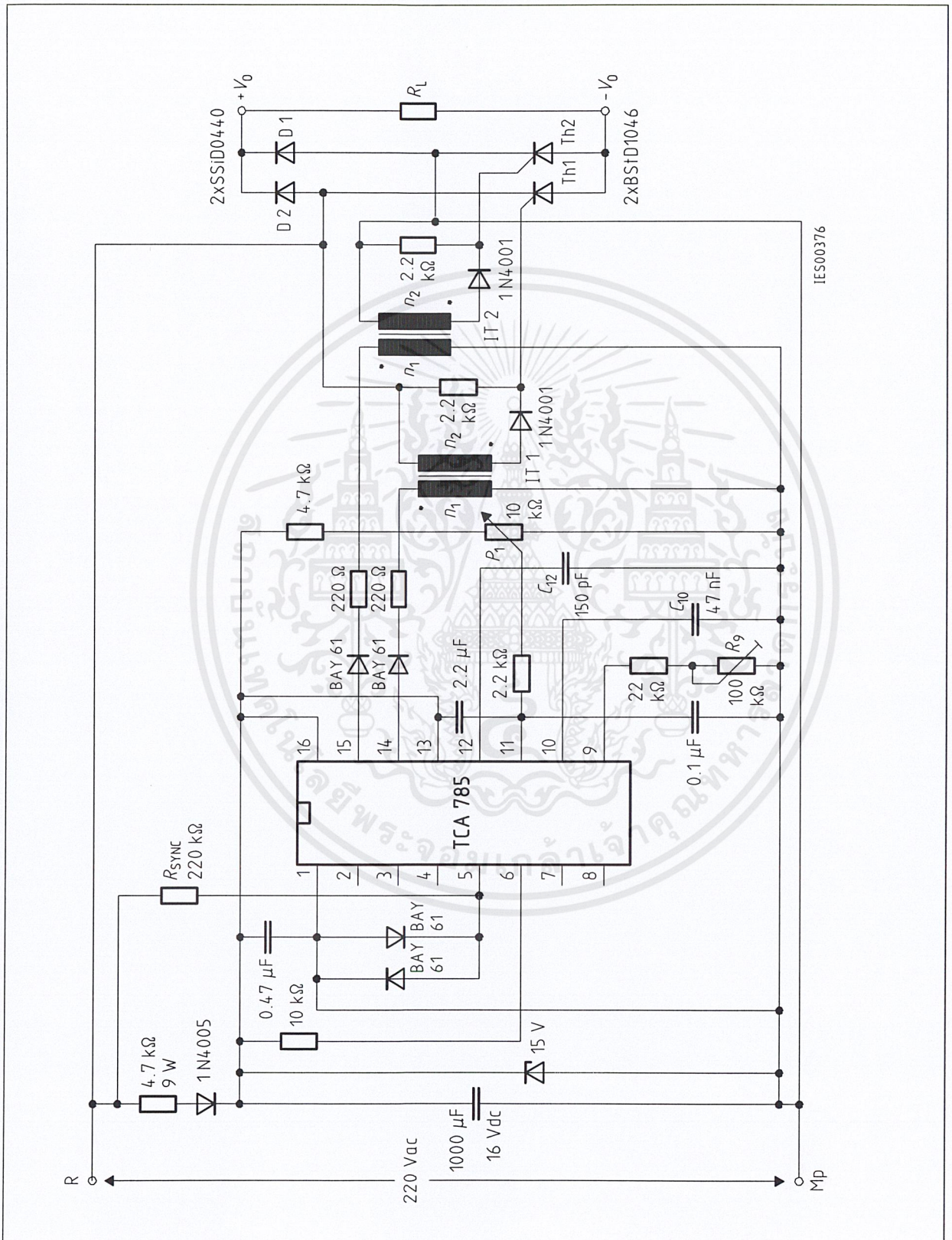
Shown is the possibility to trigger two antiparalleled thyristors with one IC TCA 785. The trigger pulse can be shifted continuously within a phase angle between 0° and 180° by means of a potentiometer. During the negative line half-wave the trigger pulse of pin 14 is fed to the relevant thyristor via a trigger pulse transformer. During the positive line half-wave, the gate of the second thyristor is triggered by a trigger pulse transformer at pin 15.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Trigger Pulse Transformer and Direct Control for Low-Power Thyristors**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Two Trigger Pulse Transformers for Low-Power Thyristors**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวกที่ 2

# SOUCE CODE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY_9    EQU    07FH
DELAY_8    EQU    07EH
DELAY_7    EQU    07DH
DELAY_6    EQU    07CH
DELAY_5    EQU    07BH
DELAY_4    EQU    07AH
DELAY_3    EQU    079H
DELAY_2    EQU    078H
DELAY_1    EQU    077H
DELAY_0    EQU    076H
DATA       EQU    075H
DATA_1     EQU    074H
DATA_2     EQU    073H
        ORG 0000H
        LJMP START

        ORG 1000H
START:

        MOV P2,#00H
        MOV P3,#00H
        MOV R4,#00H
        SETB P3.3
        SETB P3.4
        MOV TMOD,#05H
        MOV TL0,#00H
        CLR TF0
        CLR TR0
        MOV R3,#0B7H    ;SOFTSTART
        CALL DTOA
        LCALL DELAY

LOOPDEC:
        DEC R3
        CALL DTOA
        CJNE R3,#05H,LOOPDEC   ;STARTMOTOR=22
0V
        CALL DTOA
        LJMP INT

;**********************************D/A**********************************
**********;

DTOA:
    MOV P2,R3  ;DIGITALTOANALOG PROGRAM
    RET

;*****************************************************************************
**********;
;**********************************DELAY**********************************
**********;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY:
    MOV  R6,#03DH
LOOPC: MOV  R5,#00H
LOOPB: MOV  R2,#00H
LOOPA: DJNZ R2,LOOPA
    DJNZ R5,LOOPB
    DJNZ R6,LOOPC
RET

;*********************************************************************
*********;

;*********************************DELAY1*****************************
*********;

DELAY1:
    MOV  R1,#030H
LOOPA1:
    MOV  R0,#030H
    DJNZ R0,$
    DJNZ R1,LOOPA1
    RET

;*********************************************************************
*********;


;*********************************INT PROGRAM************************
*********;

INT:
    INC   R4
    JB    P3.3,$
    MOV   TL0,#00H
    CLR   TF0
    SETB  TR0       ;START COUNTER
    CLR P3.5
    LCALL DELAY1
    NOP
    SETB P3.5
    CLR   TR0       ;STOP COUNTER
    CLR   TF0
    CJNE  R4,#07H,INT
    MOV R4,#00H
CHECK:
    MOV A,TL0
    MOV DELAY_9,A
    SUBB A,#90   ;IF PULSE 115-100 POWERFACTO
R GOOD
    MOV DATA,A
    JC PFGOOD
    JZ PFGOOD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV A,DELAY_9
        SUBB A,#100
        MOV DATA_1,A
        JC PFGOOD
        JZ PFGOOD
        LJMP PFNOGOOD
PFGOOD:
        LCALL DTOA
        LCALL DELAY2
        LJMP INT
RETURNDATA:
        LJMP LOOPDEC
PFNOGOOD:
        MOV A,TL0
        SUBB A,#85
        MOV DATA_2,A
        JC RETURNDATA
        JZ RETURNDATA
        MOV A,R3
        SUBB A,#0ADH
        JC ADD
        MOV A,R3
        ADD A,#0CH
        MOV R3,A
        LCALL DTOA
        LCALL DELAY1
        SUBB A,#0F7H
        JC INT
        CJNE A,#0F7H,INT

ADD:
        MOV A,R3
        ADD A,#03CH
        MOV R3,A
        LCALL DTOA
        LCALL DELAY4
        SUBB A,#0BBH
        JC INT

;**********************************DELAY2*****************************
*********;

DELAY2:
        MOV  DELAY_8,#02EH
DEL3:   MOV  DELAY_7,#00H
DEL2:   MOV  DELAY_6,#00H
DEL1:   DJNZ DELAY_6,DEL1
        DJNZ DELAY_7,DEL2
        DJNZ DELAY_8,DEL3
        RET

;*************************************************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*********;

;*********************************DELAY3*****************************
*********;

            DELAY3:
                 MOV  DELAY_5,#05FH
            DELC3:
                 MOV  DELAY_4,#060H
            DELB3:
                 MOV  DELAY_3,#061H
            DELA3:
                 DJNZ DELAY_3,DELA3
                 DJNZ DELAY_4,DELB3
                 DJNZ DELAY_5,DELC3
                 RET

;*************************************************************************
*********;

;*********************************DELAY4*****************************
*********;

            DELAY4:
                 MOV  DELAY_2,#09H
            DELZ:  MOV  DELAY_1,#00H
            DELY:  MOV  DELAY_0,#00H
            DELX:  DJNZ DELAY_0,DELX
                 DJNZ DELAY_1,DELY
                 DJNZ DELAY_2,DELZ
                 RET

            END
;*************************************************************************
*********;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้