

การปรับปรุงประสิทธิภาพของอินดักชันมอเตอร์คาปาซิเตอร์-รันโดยวิธีเฟสคอนโทรล
An Improved Energy-Saving Scheme for Capacitor-Run Induction Motor



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **61771**
วัน,เดือน,ปี **2 1 ก.ค. 2549**

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการปีการศึกษา 2547 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพของอินดักชั่นมอเตอร์คาปาซิเตอร์-รันโดยวิธีเฟสคอนโทรล

An Improved Energy-Saving Scheme for Capacitor-Run Induction Motor

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|---------------|----------------|--------------|----------|
| 1. นายพนรัตน์ | กาหลง | รหัสประจำตัว | 45015105 |
| 2. นายนริศ | เครืออรุณรัตน์ | รหัสประจำตัว | 45015106 |
| 3. นายคมสันต์ | วงศ์สุวรรณ | รหัสประจำตัว | 45015137 |
| 4. นายจักรพล | หวานสนิท | รหัสประจำตัว | 45015138 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.วิริยะ พิเศษจำเริญ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงประสิทธิภาพของอินดักชั่นมอเตอร์คาปาซิเตอร์-รันโดยวิธีเฟสคอนโทรล

นายนพรัตน์	กาหลง	45015105
นายนริศ	เครืออรุณรัตน์	45015106
นายคมสันต์	วงศ์สุวรรณ	45015137
นายจักรพล	หวานสนิท	45015138
รศ.ดร.วิริยะ	พิเศษจำเริญ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.สมภพ	ผลไม้	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

การควบคุมแรงดันที่สเตรเตอร์ของอินดักชั่นมอเตอร์มีราคาสูง และมีความน่าเชื่อถือได้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบวิธีนี้จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้ใช้งานมอเตอร์ 1 เฟส คาปาซิเตอร์รันที่ควบคุมแรงดันที่สเตรเตอร์มีใช้อยู่ทั่วไปตามบ้านพักทั่วไป เช่น พัดลม และใน โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

โดยทั่วไปใช้ไทรแอกในการควบคุมมอเตอร์จะดีกว่าใช้ความต้านทานควบคุมในด้านการประหยัดพลังงานและความกะทัดรัด อย่างไรก็ตามเฟสคอนโทรลจะได้ผลที่ดีในด้านการลดอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์และเพิ่มกระแสฮาร์โมนิกส์ การปฏิบัติสามารถทำได้โดยใช้วงจรเอชซีชอปเปอร์ ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ซึ่งผลจากการหมุนของมอเตอร์แบบวิธีใหม่นี้ จะช่วยในการปรับปรุงอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ เป็นสิ่งสำคัญ และช่วยขจัดฮาร์โมนิกส์ในสาย

อย่างไรก็ตามความซับซ้อนของวงจรและต้นทุนของอุปกรณ์ในวงจรเอชซีชอปเปอร์จึงเป็นการไม่นิยมใช้วงจรดังกล่าวในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ 1 เฟส ซึ่งในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ จะอธิบายถึงการใส่ไทรแอกต่ออนุกรมกับขดลวดหลัก และขดช่วยจะคงต่อเหมือนเดิมซึ่งการที่จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้ได้ ต้องเปลี่ยนแปลงแรงดันโดยการประยุกต์ที่ขดลวดหลักเพียงอย่างเดียว ส่วนขดช่วยจะเป็นกระแสไซน์ ซึ่งการต่อแบบนี้จะช่วยลดกระแสอินพุตฮาร์โมนิกส์ และปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ ดังนั้นจากการทดลองดังกล่าวจึงเป็นวัตถุประสงค์ของหลักการใหม่ที่จะนำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An Improved Energy-Saving Scheme for Capacitor-Run Induction Motor

Nopparat kalong

Nairt Kruearunrat

Komsun Wongsuvan

Jakgapol Wansanit

Assist. Prof. Viriya Pichetjumruen Advisor

Assist. Prof. Sompop Ponlamai Advisor

Abstract

Stator voltage control of induction motor drives is a cheaper and more reliable scheme of speed control and is widely employed. Capacitor – run single-phase motors combined with stator voltage control are quite commonly used for domestic fans and low-power industrial applications. Generally, a triac is used for varying the stator voltage and to get variable speed. The triac-based controller is superior to a resistance-type controller due to increased energy saving and compactness. However, Phase control results in reduced input power factor and increased line current harmonics. Improved performance can be obtained with ac chopper circuits, in which controlled freewheeling is adopted. The freewheeling action improves the input power factor significantly and further eliminates line current harmonic components. However, the complexity of the firing circuit and the cost of the devices used in ac chopper circuits prohibit their use as speed controllers for single-phase fan-type motors. This thesis explains a new scheme for speed control of a single-phase fan motor using a triac, in which the triac is connected in series with the main winding and the auxiliary winding is directly connected across the supply voltage. The speed control is attained by changing the voltage applied to the main winding only. Thus, the auxiliary winding current is sinusoidal, resulting in reduced input current harmonics and improved motor efficiency. Experimental results are presented to validate the proposed method.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิริยะ พิเศษจักษ์เจริญ, ดร. สมภาพ ผลไม้ ซึ่งท่านได้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ที่ให้คำแนะนำ แนวคิด ช่วยคิดช่วยแก้ไขข้อผิดพลาด และอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ จนสามารถสำเร็จตามเป้าหมายที่วางไว้ได้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการปฏิบัติงาน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ ซึ่งได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณทุก ๆ คนที่คอยให้กำลังใจ ทุกถ้อยคำที่มอบให้เราถือว่ามีส่วนผลักดันให้เราตั้งใจทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาผู้ให้กำเนิด ให้การศึกษาอบรมเลี้ยงดู และให้ความอุปการะเสมอมา

นายนพรัตน์ กาหลง

นายนริศ เจริญอรุณรัตน์

นายคมสันต์ วงศ์สุวรรณ

นายจักรพล หวานสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 หลักการเดิมที่ใช้อยู่	1
1.3 หลักการใหม่ที่นำเสนอ	2
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.5 ขอบเขตของปริิณญานิพนธ์	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำปริิณญานิพนธ์	3
1.7 องค์ประกอบของปริิณญานิพนธ์	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (Single-Phase Induction Motors)	4
2.1.1 บทนำ	4
2.1.2 หลักการทำงาน (Principle of Operation)	4
2.1.3 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส	10
2.1.4 สลิป (Slip)	12
2.1.5 ความเร็วที่แท้จริงของสนามแม่เหล็กของตัวหมุนในอากาศ	12
2.1.6 ความถี่ที่เกิดขึ้นภายในตัวหมุน (Rotor Frequency)	13
2.1.7 แรงเคลื่อนไฟที่เกิดขึ้นที่ตัวหมุน	13
2.2 การควบคุมความเร็วอินดักชันมอเตอร์	14
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงขั้วแม่เหล็ก (Pole Number Changing)	15
2.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสลิป (Slip Control)	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
2.2.3 การเปลี่ยนความถี่ (Frequency regulation)	18
2.3 ชนิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	19
2.3.1 มอเตอร์ที่แยกเฟสออกจากกัน (Split-Phase Motor)	19
2.3.2 มอเตอร์ชนิดเริ่มหมุนด้วยต่อประจุและวิ่งด้วยการเหนี่ยวนำ	22
2.3.3 มอเตอร์ชนิดที่ใช้ประจุทั้งในขณะที่หมุนเริ่มแรก และในขณะที่วิ่งหรือทำงานตามปกติ	22
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจร	24
3.1 การสร้างสัญญาณควบคุมมุมจุดชนวน TRIAC ด้วย TCA 785	24
3.1.1 วงจรชนวนเกดแบบควบคุมเฟส (Phase Control Trigger Circuits)	24
3.1.2 คุณสมบัติของ TCA 785 Integrated Phase control	24
3.1.3 ความรู้พื้นฐานและหลักการทำงานของ TCA 785	25
3.1.4 วงจรแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)	26
3.1.5 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Detector)	27
3.1.6 วงจรเปรียบเทียบ (Control Comparator Circuit)	29
3.1.7 ลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกท	31
3.2 ออฟไดโอดีไอโซเลเตอร์	32
3.2.1 บทนำ	32
3.2.2 รายละเอียดเบื้องต้นทางไฟฟ้า	32
3.2.3 ข้อกำหนดในการขับ ไตรแอก	33
3.2.4 โหลดตัวต้านทาน	34
3.2.5 ไลน์ทรานส์เซียน-dc/dt ลงที่	34
3.3 ไตรแอก	35
3.3.1 พื้นฐานของไตรแอก	35
3.3.2 คุณสมบัติไตรแอก	35
3.4 วงจรเฟสคอนโทรล	38
3.5 ส่วนประกอบโดยรวม	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญ (ต่อ)

หน้าที่

บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 บทนำ	40
4.2 การทดสอบโดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบเก่าที่ใช้กันทั่วไปโดยใช้โหนดเป็นพัลลัม	40
4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้	40
4.2.2 วิธีการทดสอบ	40
4.2.3 ผลการทดสอบมอเตอร์ที่ความเร็วต่าง ๆ โดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบเก่าโดยใช้โหนดเป็นพัลลัม	41
4.3 การทดสอบโดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบใช้หลักการใหม่ ที่นำเสนอโดยใช้โหนดเป็นพัลลัม	45
4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้	45
4.3.2 วิธีการทดสอบ	45
4.3.3 ผลการทดสอบมอเตอร์ที่ความเร็วต่าง ๆ โดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบใหม่โดยใช้โหนดเป็นพัลลัม	46
4.4 บทสรุปการต่อภายในและภายนอก	51
4.5 การทดสอบโดยใช้เอาต์พุตของวาริแอกปรับความเร็วแทนชุดเฟสคอนโทรล	52
4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้	52
4.5.2 วิธีการทดสอบ	52
4.5.3 ผลการทดสอบมอเตอร์ที่ความเร็วต่าง ๆ โดยใช้เอาต์พุตของวาริแอกปรับความเร็วแทนชุดเฟสคอนโทรล	53
4.6 บทสรุปของการนำวาริแอกต่อควบคุมความเร็วแทนชุดเฟสคอนโทรล	57
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	59
5.1 เปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลอง	59
5.2 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	65

ภาคผนวก ก. โปรแกรมวิเคราะห์ MATLAB

ภาคผนวก ข. DATASHEET

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 3.1 ค่าตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 12	31
ตารางที่ 3.2 ความกว้างของสัญญาณจุดชนวนแบบต่าง ๆ กับชนิดของโหลด μ	32
ตารางที่ 4.1 อินพุตดีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Input power factor)	51
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์พื้นฐานคาเมนทอล (Percent of fundamental)	52
ตารางที่ 4.3 วัตต์อินพุต (Watt in put)	52
ตารางที่ 4.4 อินพุตดีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Input power factor)	57
ตารางที่ 4.5 เปอร์เซนต์พื้นฐานคาเมนทอล (Percent of fundamental)	57
ตารางที่ 4.6 วัตต์อินพุต (Watt in put)	58
กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ input power factor	50
กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ watt in put	50
กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ % Fundamental	51
กราฟที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ input power factor โดยเทียบกันสามแบบ	62
กราฟที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ watt in put ของการต่อทั้งสามแบบ	63
กราฟที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ % Fundamental ของการต่อทั้งสามแบบ	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

รูปที่ 1.1 การต่อชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ตามหลักการเดิมที่ใช้อยู่ทั่วไป	1
รูปที่ 1.2 การต่อชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ตามหลักการใหม่ที่นำเสนอ	2
รูปที่ 2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กคู่	5
รูปที่ 2.2 แสดงผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็ก	6
รูปที่ 2.3 แสดงแรงบิดที่เกิดขึ้น	6
รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางการเกิดกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กในโรเตอร์ของ Induction Motor	9
รูปที่ 2.5 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	9
รูปที่ 2.6	10
(ก) เป็นวงจรมุมลู่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ขณะอยู่กับที่ (โดยไม่มีขดสตาร์ทที่อยู่)	
(ข) เป็นวงจรมุมลู่ของเหนี่ยวนำ 1 เฟสซึ่งจะมีผลของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า และสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลังจากรูปที่ 2.6(ก) R_1 และ X_1 ค่าความ	
รูปที่ 2.7 วงจรมุมลู่ขณะมอเตอร์กำลังหมุน	11
รูปที่ 2.8 วิธีการควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์	14
รูปที่ 2.9 คุณสมบัติด้านความเร็ว-แรงบิดของมอเตอร์ แบบ Two separated winding (แรงบิดคงที่)	15
รูปที่ 2.10 คุณสมบัติด้านความเร็ว-แรงบิดของมอเตอร์ แบบ Dahlander (กำลังคงที่)	15
รูปที่ 2.11 แสดงการควบคุมความเร็วด้วยการปรับค่าระดับแรงดันไฟฟ้า	16
รูปที่ 2.12 แสดงคุณลักษณะของทอร์คเมื่อค่าความต้านทานของ โรเตอร์และสลิป เปลี่ยนแปลง	17
รูปที่ 2.13 typical cascade coupling	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 2.14 สีแดง แสดงคุณสมบัติความเร็ว-แรงบิดของอินเวอร์เตอร์แบบ V / F ในทางปฏิบัติ สีเขียว แสดงคุณสมบัติความเร็ว-แรงบิดของอินเวอร์เตอร์แบบ Vector Control	18
รูปที่ 2.15 แสดงคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์ ณ. ความถี่ต่างๆ กัน เมื่อกำหนดให้ค่าระดับแรงดันคงที่ตลอด	19
รูปที่ 2.16 โครงสร้างมอเตอร์	20
รูปที่ 2.17 วงจรมอเตอร์	21
รูปที่ 2.18 เวกเตอร์ของวงจรถูก	21
รูปที่ 2.19 มอเตอร์ชนิดเริ่มหมุนด้วยตัวประจุและวิ่งด้วยการเหนี่ยวนำ	22
รูปที่ 2.20 มอเตอร์ชนิดที่ใช้ตัวประจุทั้งในขณะหมุนเริ่มแรกและในขณะวิ่ง	23
รูปที่ 2.21 เวกเตอร์วงจรมอเตอร์ชนิดที่ใช้ตัวประจุทั้งในขณะหมุนเริ่มแรกและในขณะวิ่ง	23
รูปที่ 3.1 แผนภาพของ TCA 785	25
รูปที่ 3.2 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงให้กับ TCA 785 และแรงดันอ้างอิงภายใน	26
รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณภาคเดียวกับวงจรถูกตัดศูนย์	27
รูปที่ 3.4 การปรับค่ากระแส I_{cons} โดยการปรับค่าความต้านทาน	28
รูปที่ 3.5 การเปรียบเทียบแรงดันควบคุมกับแรงดันภาคเดียว	29
รูปที่ 3.6 แผนภาพสัญญาณพัลส์ของ TCA 785	30
รูปที่ 3.7 โครงสร้างของออฟได้อิโอสเตเตอร์	32
รูปที่ 3.8 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของออฟได้อิโอสเตเตอร์	33
รูปที่ 3.9 วงจรกระตุ้น ไตรแอกอย่างง่าย	34
รูปที่ 3.10 โครงสร้าง ไตรแอกและสัญลักษณ์	36
รูปที่ 3.2 วงจรเฟสคอนโทรล (Phase control)	38
รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมทั้งหมดที่ใช้ในโรงงาน	39
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรการทดสอบโดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบเก่า	40
รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1190 rpm	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.3 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1220 rpm	41
รูปที่ 4.4 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1250 rpm	42
รูปที่ 4.5 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1280 rpm	42
รูปที่ 4.6 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1310 rpm	43
รูปที่ 4.7 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1340 rpm	43
รูปที่ 4.8 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1370 rpm	44
รูปที่ 4.9 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1400 rpm	44
รูปที่ 4.10 การทดสอบโดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบใช้หลักการใหม่	45
รูปที่ 4.11 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1190 rpm	46
รูปที่ 4.12 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1220 rpm	46
รูปที่ 4.13 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1250 rpm	47
รูปที่ 4.14 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1280 rpm	47
รูปที่ 4.15 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1310 rpm	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.16 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1340 rpm	48
รูปที่ 4.17 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1370 rpm	49
รูปที่ 4.19 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1400 rpm	49
รูปที่ 4.19 แสดงวงจรการทดสอบ โดยใช้เอาต์พุตวารีแอกปรับความเร็วอินพุตไม่ใช่	52
รูปที่ 4.20 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1190 rpm	53
รูปที่ 4.21 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1220 rpm	53
รูปที่ 4.22 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1250 rpm	54
รูปที่ 4.23 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1280 rpm	54
รูปที่ 4.24 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1310 rpm	55
รูปที่ 4.25 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1340 rpm	55
รูปที่ 4.26 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1370 rpm	56
รูปที่ 4.27 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1370 rpm	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

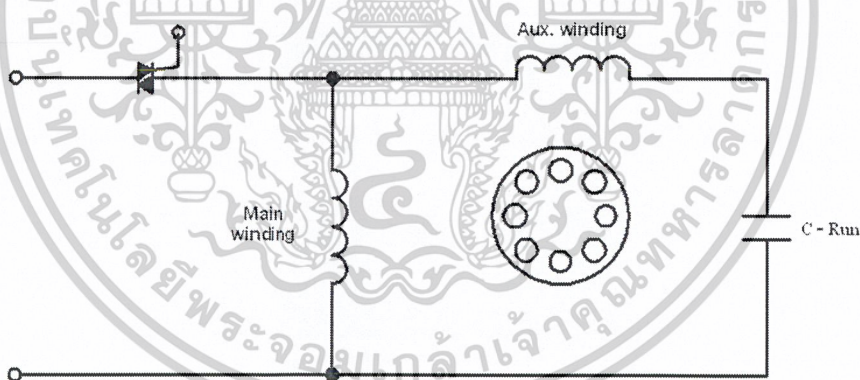
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เครื่องต้นกำลังที่ใช้เป็นเครื่องอำนวยความสะดวกภายในบ้านเรือนหรือเครื่องจักรกลขนาดเล็กส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ เฟส และการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้นมีด้วยกันหลายวิธีด้วยกันทั้งแบบเทคนิคทางกลและเทคนิคทางไฟฟ้า ในทางกลเช่น การใช้เฟืองทดรอบ Tap winding หรือ pole switching และในทางไฟฟ้าก็จะเป็น Stator voltage control และในโครงการนี้จะทำการศึกษาการปรับความเร็วด้วยวิธี Stator voltage control ซึ่งจะเป็นการศึกษาและการเปรียบเทียบผลการควบคุมมอเตอร์ 2 แบบ โดยแบบแรกเป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยชุดควบคุมความเร็วจะต่ออนุกรมระหว่าง Line กับมอเตอร์ ซึ่งเป็นการควบคุมความเร็วแบบปกติที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ส่วนแบบที่ 2 เป็นการต่อตามหลักการใหม่ที่น่าเสนอ โดยนำชุดควบคุมความเร็วต่ออนุกรมกับขด main winding ภายในตัวมอเตอร์ เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ดียิ่งขึ้น

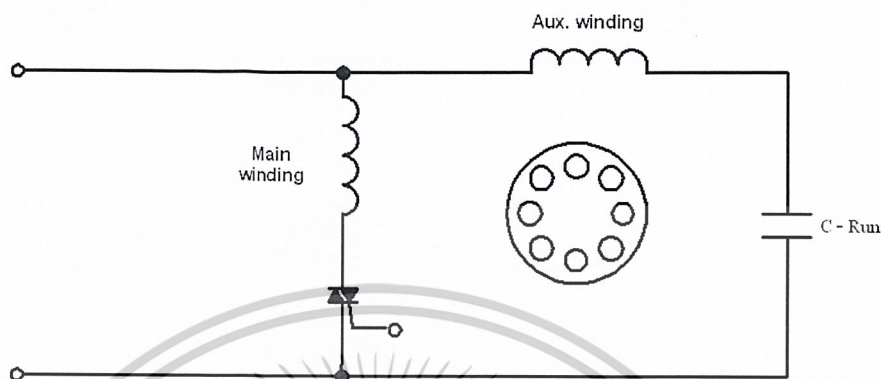
1.2 หลักการเดิมที่ใช้อยู่



รูปที่ 1.1 การต่อชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ตามหลักการเดิมที่ใช้อยู่ทั่วไป

จากรูปที่ 1.1 เป็นการต่อชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ตามหลักการเดิมที่ใช้อยู่ทั่วไปคือ ต่ออนุกรมกับมอเตอร์ตามปกติ ซึ่งในโครงการนี้จะใช้การต่อชุดควบคุมความเร็วแบบนี้ในการทดสอบ Capacitor – Run Induction Motor เพื่อทดสอบกับโหลด

1.3 หลักการใหม่ที่นำเสนอ



รูปที่ 1.2 การต่อชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ตามหลักการใหม่ที่นำเสนอ
 จากรูปที่ 1.2 เป็นการต่อชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ตามหลักการใหม่ที่นำเสนอ โดยนำชุดควบคุมความเร็วต่ออนุกรมกับชุด Main Winding มาทดสอบมอเตอร์กับ โหลด เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ดีกว่าการต่อชุดควบคุมความเร็วตามหลักการเดิมที่ใช้อยู่

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาและเปรียบเทียบค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ โดยใช้ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ต่อตามหลักการเดิมที่ใช้อยู่
- 1.4.2 ศึกษาและเปรียบเทียบค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ โดยใช้ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ต่อตามหลักการใหม่ที่นำเสนอ
- 1.4.3 นำผลการทดลองที่ได้จากการต่อทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบค่าในกราฟว่ามีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันอย่างไร

1.5 ขอบเขตของปริญญาณิพนธ์

- 1.5.1 ศึกษาคุณสมบัติการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า ชนิดคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์
- 1.5.2 ศึกษาและออกแบบวงจรเฟสคอนโทรลในการควบคุมความเร็วอินดักชั่นมอเตอร์
- 1.5.3 ศึกษาและบันทึกค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง ในการต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบเดิม
- 1.5.4 ศึกษาและบันทึกค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง ในการต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบใหม่
- 1.5.5 เปรียบเทียบและวิจารณ์ผล ข้อดี ข้อเสีย จากค่าที่ได้จากการต่อทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำปริญญานิพนธ์

- 1.6.1 สามารถสร้างชุดเฟสคอนโทรลที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ได้
- 1.6.2 สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของอินดักชันมอเตอร์คาปาซิเตอร์รันได้
- 1.6.3 สามารถนำไปปรับปรุง และประยุกต์ใช้กับอินดักชันมอเตอร์ ขนาดแรงม้าสูง ๆ เพื่อลดค่าใช้จ่ายได้

1.7 องค์ประกอบของปริญญานิพนธ์

รายละเอียดของปริญญานิพนธ์นี้ได้จัดแบ่งออกเป็น 5 ส่วน

- 1.7.1 จะกล่าวถึงบทนำ ความเป็นมาของโครงการ, หลักการเดิมที่ใช้อยู่, หลักการใหม่ที่นำเสนอ, วัตถุประสงค์, ขอบเขตของปริญญานิพนธ์และประโยชน์ที่ได้รับ
- 1.7.2 เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับส่วนประกอบต่างๆของโครงการ โดยมีเนื้อหาดังนี้คือทฤษฎีมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส, วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส, การควบคุมความเร็วอินดักชันมอเตอร์ชนิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว
- 1.7.3 การออกแบบและสร้างวงจร
- 1.7.4 การทดลองและวิเคราะห์เปรียบเทียบ
- 1.7.5 สรุปผลและวิเคราะห์ปัญหาและการแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (Single-Phase Induction Motors)

2.1.1 บทนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (Single-phase induction motors) เป็นมอเตอร์ที่มีโครงสร้างและหลักการการทำงานในการที่ทำให้หมุนได้คล้ายกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสจะมีแตกต่างกันที่ตรงที่ส่วนที่อยู่กับที่ มีการพันขดลวดเป็นแบบเฟสเดียว และได้รับไฟฟ้าจากไฟฟ้าเฟสเดียวกัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสลับกันไปมาขึ้นที่ตัวส่วนที่อยู่กับที่ ซึ่งไม่ใช่สนามแม่เหล็กหมุนที่ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) เหมือนอย่างกับพวกที่มีการพันแบบสองเฟส หรือสามเฟส จากเหตุผลนี้จึงทำให้เส้นแรงที่สลับไปมานี้ไม่สามารถที่จะทำให้เกิดแรงบิดหมุนขึ้นได้ในขณะที่ตัวหมุนยังหยุดอยู่ นี่ก็คือสาเหตุว่าทำไมมอเตอร์เฟสเดียวจึงไม่มีแรงบิดเริ่มแรกในตัวของมันเอง

อย่างไรก็ดี ถ้าหากว่าตัวหมุนถูกทำให้หมุนไปด้วยมือ หรือวิธีใดวิธีหนึ่งในทิศทางใดทิศทางหนึ่งแล้ว ย่อมทำให้เกิดแรงบิดและอัตราเร่งเกิดขึ้นกับมอเตอร์นั้น จนกระทั่งมีความเร็วเต็มที่

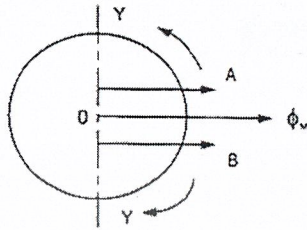
ตัวหมุน (Rotor) ของมอเตอร์แบบนี้ส่วนใหญ่เป็นแบบกรงกระรอก (Squirrelcage) ส่วนตัวอยู่กับที่ (Stator) นั้นก็มีการพันขดลวดตัวนำผิดแผกแตกต่างกันไปบ้างแล้วแต่ชนิดของมอเตอร์ การที่กล่าวว่ามีมอเตอร์เฟสเดียวมีโครงสร้าง และหลักการการทำงานในการที่ทำให้หมุนได้คล้ายกับมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสนั้น หมายความว่ามอเตอร์แบบนี้มีทั้งตัวอยู่กับที่ และตัวหมุน โดยที่ตัวอยู่กับที่นั้นจะมีการพันขดลวดเพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในช่วงเวลาเริ่มแรก หรือมีอยู่ตลอดไปได้โดยอาศัยอุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ เช่น ขดเริ่มทำให้หมุน (starting winding) หรือประจุ (capacitor) ต่อลวดกับขดทำให้หมุน หรืออาจทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเลื่อน หรือเคลื่อนที่ไปรอบ หรือเกิดสนามแม่เหล็ก โดยที่อาศัยคุณสมบัติของตัวหมุน และตัวอยู่กับที่ร่วมกันได้ ส่วนตัวหมุนนั้นอาจเป็นแบบโครงกรงกระรอก หรืออาจไม่เป็นก็ได้แต่ต้องเป็นตัวที่จะทำให้เกิดมีการเหนี่ยวนำขึ้นใน ตัวมันเพื่อทำให้เกิดแรงบิดขึ้นได้ เมื่อมีสนามแม่เหล็กหมุนหรือเลื่อนได้หมุนผ่านตัวมัน ซึ่งจะกล่าวแยกเป็นเรื่อง ๆ ไปตามชนิดของมอเตอร์แบบต่าง ๆ

2.1.2 หลักการทำงาน (Principle of Operation)

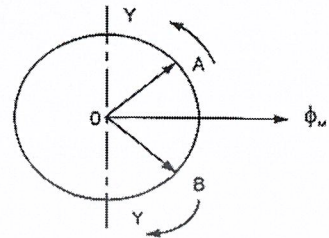
มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส นั้นไม่สามารถหมุนได้ด้วยตัวของมันเองดังนั้นการเริ่มต้นหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส จึงอธิบายได้จาก 2 ทฤษฎีคือ

ทฤษฎีสันนามแม่เหล็กคู่ (Two – field or Double – field Revolving Theory)

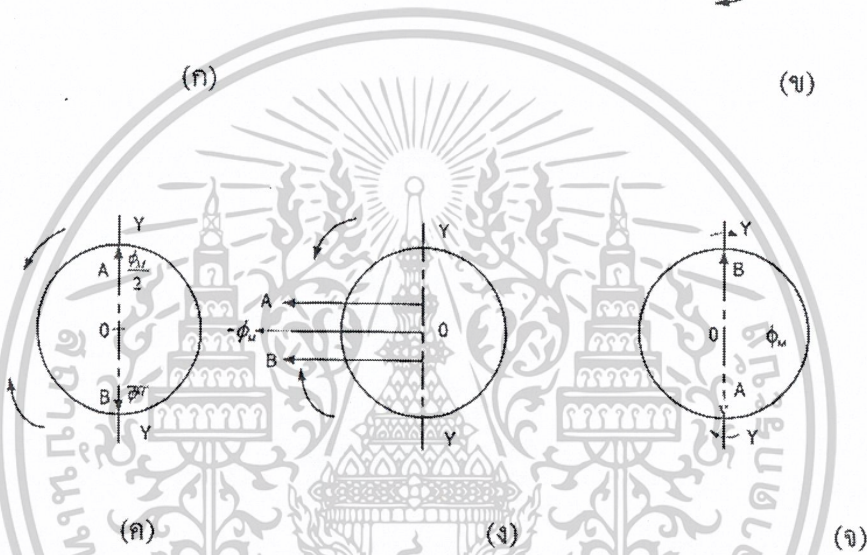
ทฤษฎีนี้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์และโรเตอร์แทนด้วยเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ ซึ่งจะมีทิศทางการหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกัน เพราะว่าในมอเตอร์นั้นเปรียบเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทางด้านขดทุติยภูมิตัดวงจรคือโรเตอร์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสเตเตอร์กับ โรเตอร์นั้นก็มีทิศทางตรงกันข้ามกัน



(ก)



(ข)



(ค)

(ง)

(จ)

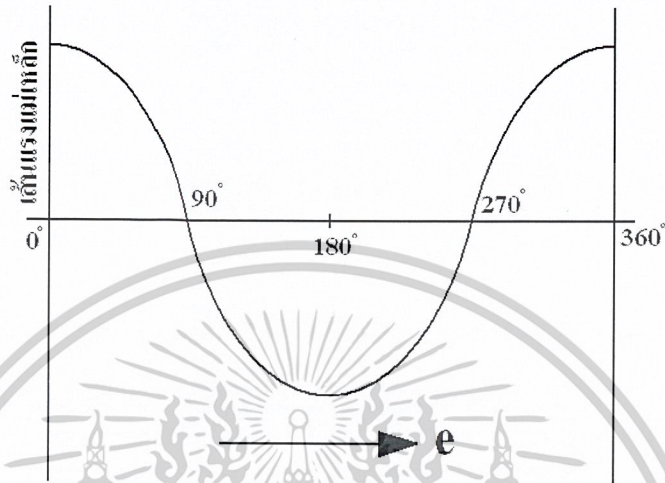
รูปที่ 2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็ก

จากรูปที่ 2.1(ก) ให้เส้นแรงแม่เหล็กที่มีค่าสูงสุดคือ Φ_m ซึ่ง Φ_m นี้ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก A และ B ซึ่งแต่ละเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ $\frac{\Phi_m}{2}$ และเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองจะมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาตามลำดับ และหลังจากที่เส้นแรงแม่เหล็ก A และเส้นแรงแม่เหล็ก B หมุนไปเป็นมุม $+\theta$ และ $-\theta$ ดังรูปที่ 2.1(ข) ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากับ $2 \times \left(\frac{\Phi_m}{2}\right) \times (\sin 2\theta) = \Phi_m \sin 2\theta$

หลังจากที่หมุนไปได้ $\frac{1}{4}$ ของไซเคิล เส้นแรงแม่เหล็ก A และ B จะมีทิศทางตรงกันข้ามกันดังแสดงในรูปที่ 2.1(ค) ดังนั้นผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าเป็นศูนย์ (Zero) และหลังจากที่หมุนได้ $\frac{1}{2}$ ไซเคิล ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็ก A และ B จะมีค่าเท่ากับ $-2 \times \left(\frac{\Phi_m}{2}\right)$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $-\Phi_m$ เมื่อหมุนได้ $\frac{3}{4}$ ของ

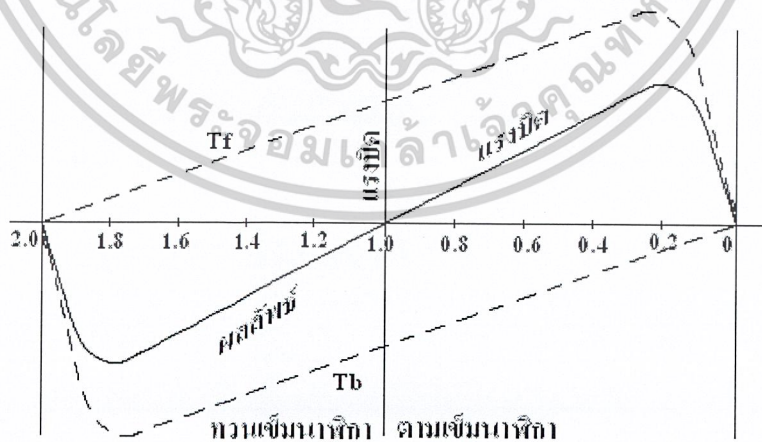
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซเคิล ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.1(จ) ถ้าเรานำค่าผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กไปเขียนเส้นโค้งคือมุมที่หมุนไปเป็น θ โดยให้ θ เท่ากับ 0 องศากระทั่ง θ เท่ากับ 360 องศา ดังนั้นลักษณะของเส้นโค้งที่ได้จึงมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นการหมุนที่ความเร็วเชิงโคจร



รูปที่ 2.2 แสดงผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็ก

เส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองที่หมุนอยู่รอบๆ สเตเตอร์นั้นจะตัดกับโรเตอร์ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นและเป็นผลทำให้เกิดแรงบิด จะเห็นได้ว่ามีแรงบิดเกิดขึ้น 2 ส่วนหรือ 2 แรงบิดเรียกว่าแรงบิดข้างหน้า (Forward Torque) และแรงบิดถอยหลัง (Backward Torque) ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ดังนั้นผลรวมของแรงบิดจึงมีค่าเท่ากับความแตกต่างของแรงบิดทั้ง 2 นั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงแรงบิดที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้กำลังที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์คือ

$$Pg = \left[\frac{(1-s)}{s} \right] (I_2)^2 R_2 \quad (1)$$

และแรงบิดที่เกิดขึ้นในโรเตอร์

$$Tg = \left(\frac{1}{\frac{2\pi N}{60}} \right) \left[\frac{(1-s)}{s} \right] (I_2)^2 R_2 \quad (2)$$

เมื่อ

$$N = N_s \left(\frac{1}{s} \right) \quad (3)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} Tg &= \left(\frac{1}{\frac{2\pi N}{60}} \right) (I_2)^2 R_2 \\ &= K \left[(I_2)^2 \frac{R_2}{s} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

เมื่อ

$$K = \frac{1}{\frac{2\pi N_s}{60}} \quad (5)$$

ดังนั้นแรงบิดข้างหน้าจะได้ว่า

$$Tf = K \left[(I_2)^2 \frac{R_2}{s} \right] \quad (6)$$

และแรงบิดถอยหลังจะได้

$$Tb = K (I_2)^2 \frac{R_2}{(2-s)} \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$S = \frac{(Ns - Nr)}{Ns} \quad (8)$$

และ

$$\begin{aligned} Sb &= \frac{[Ns - (-Nr)]}{Ns} \\ &= 1 + \frac{Nr}{Ns} \\ Sb &= 1 + (1 - S) \\ Sb &= (2 - S) \end{aligned} \quad (9)$$

แรงบิดทั้งหมด

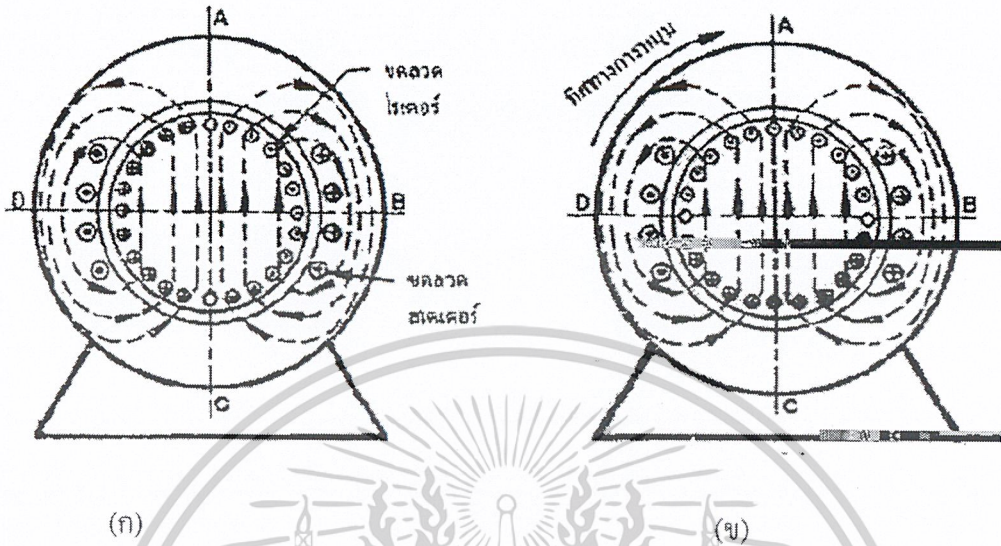
$$T = Tf + Tb \quad (10)$$

จากรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นแรงบิดทั้งสองและผลรวมของแรงบิด เมื่อความแตกต่างของความเร็วระหว่าง 0 และ +2 ที่ตำแหน่งหยุดนิ่ง $S=1$ และ $(2-S)$ ดังนั้น Tf และ Tb จะมีค่าเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน ผลที่ได้คือ ไม่มีแรงบิดเกิดขึ้น

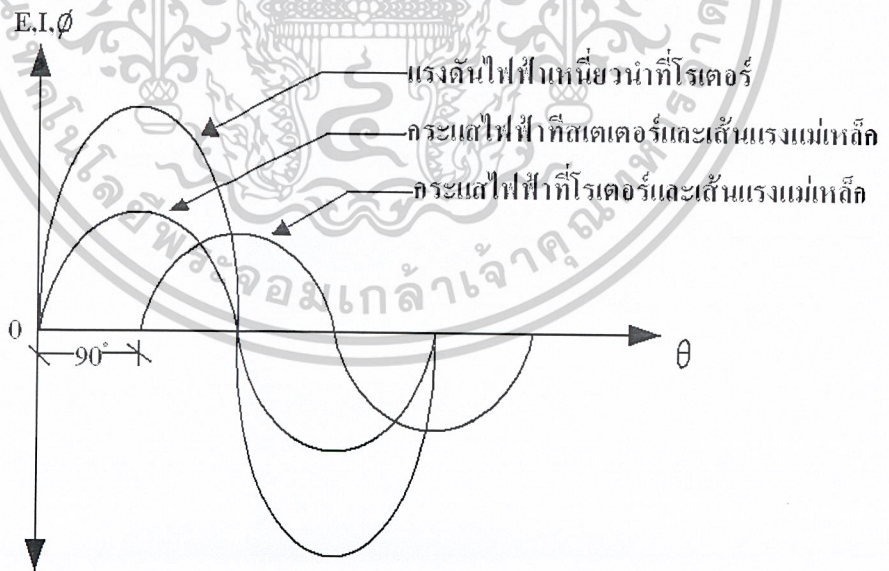
ทฤษฎีสนามแม่เหล็กขวาง

จากรูปที่ 2.4(ก) ถ้าโรเตอร์อยู่ในสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในโรเตอร์โดยปฏิกิริยาเช่นเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในโรเตอร์และเกิดสนามแม่เหล็กในโรเตอร์นั้น สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์และมีค่าเท่ากัน ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์คือ โรเตอร์จะไม่หมุนเนื่องจากการหักล้างกันระหว่างสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับ โรเตอร์ดังนั้นจึงไม่เกิดการหมุน เนื่องจากการหักล้างกันระหว่างสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับ โรเตอร์ดังนั้นจึงไม่เกิดการหมุน หรือ ไม่เกิดแรงบิดเริ่มหมุนขึ้นในมอเตอร์ แต่แรงบิดจะเกิดขึ้นในโรเตอร์และโรเตอร์หมุนได้ โดยการที่ตัวนำในโรเตอร์ตัดกับสนามแม่เหล็กจึงเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นกระแสไหลวนเวียนอยู่ในแท่งตัวนำในโรเตอร์ ถ้าตัวนำที่โรเตอร์ถูกทำให้หมุนไปจากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B ทำมุมฉากกับตำแหน่งเดิม ตัวนำในโรเตอร์จะเกิดการตัดกับสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข) ซึ่งตำแหน่งนี้เหมือนกับเครื่องกลไฟฟ้า 2 เฟสต่อเข้ากับแหล่งจ่าย 2 เฟส ในขณะที่ตัวนำสนามแม่เหล็กก็จะแยกออกเป็น 2 ระบบคือต่างเฟสกันอยู่ 90 องศา และมีกระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์จะต่างเฟสกับกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์เพราะว่าที่โรเตอร์นั้นความถี่เปลี่ยนไปซึ่งความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์จะขึ้นอยู่กับความเร็วของโรเตอร์ผลลัพธ์ที่ได้ของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองนี้แสดงได้ดังรูปคลื่นในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางการเกิดกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กในโรเตอร์ของ Induction Motor



รูปที่ 2.5 แสดงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์และโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำอาศัยหลักการทำงานเดียวกันกับหม้อแปลง จะต่างกันตรงที่ว่ามอเตอร์จะมีส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงต้องเขียนวงจรสมมูลย์ได้เช่นเดียวกับหม้อแปลง

ดังรูปที่ 2.6 การคำนวณหาค่าต่างๆ เช่น กำลังไฟฟ้าและแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสนี้จะมีวิธี

คิดอยู่ 2 แบบคือ ทฤษฎีสนามแม่เหล็กคู่ (double revolving – field theory) และทฤษฎี-สนามแม่เหล็กขวาง (cross - field theory) ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้จะให้ผลที่เหมือนกัน ในการคำนวณหาค่าต่างๆ ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสนี้จะต่างจากมอเตอร์ 3 เฟส ก็จะมีผลของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลัง



รูปที่ 2.6

- (ก) เป็นวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ขณะอยู่กับที่ (โดยไม่มีขดสตาร์ทต่ออยู่)
- (ข) เป็นวงจรสมมูลย์ของเหนี่ยวนำ 1 เฟสซึ่งจะมีผลของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า และสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลังจากรูปที่ 2.6(ก) R_1 และ X_1 ค่าความ

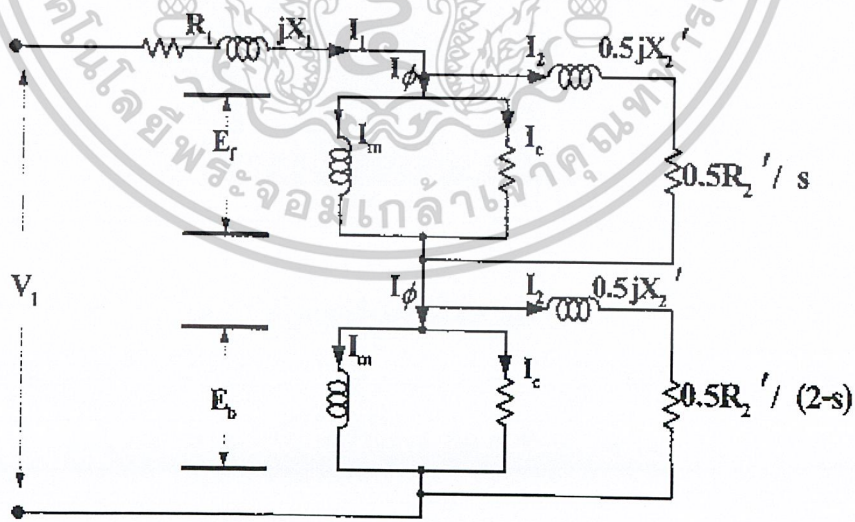
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ในขดลวดสเตเตอร์, X_m คือค่ารีแอกแตนซ์ที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งจะสามารถหาค่านี้ได้จาก no-load test, R_2 และ X_2 คือค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ในโรเตอร์ที่ย้ายข้างมาอยู่ที่ stator ส่วน core loss ขณะนี้จะจัดให้เป็น loss คงที่โดยจะนำไปรวมกับ loss ทางกล

จากรูปที่ 2.6(ข) เมื่อมีการจ่ายแรงดันเข้ามาที่ขดลวด จะทำให้เกิดผลสนามแม่เหล็กคู่สนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลังแต่มอเตอร์จะยังไม่สามารถหมุนได้ ซึ่งในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสนี้จะต้องมีขดช่วยสตาร์ทมาช่วยในการเริ่มหมุนและเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนไปได้ switch อัตโนมัตินี้จะตัดขดสตาร์ทออกไป ทำให้เมื่อคำนวณหาค่าต่างๆ ในมอเตอร์ขณะหมุนอยู่จึงไม่ต้องนำค่าพารามิเตอร์ของขดสตาร์ทมาคิด

ในสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า (forward magnetic field) จะมีค่าความแตกต่างของความเร็วของโรเตอร์และความเร็วของสนามแม่เหล็ก (N_{syn}) คือค่า slip(S) การคำนวณค่าความต้านทานในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสก็จะแปรตามค่า slip หรือแปรตามโพลด์เพราะฉะนั้นค่าความต้านทานในโรเตอร์เมื่อคิดในสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าจะมีค่าเท่ากับ $\frac{0.5R_2}{S}$

ในสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลังจะมีความเร็วเป็น (N_{syn}) และสนามแม่เหล็กจะหมุนไปข้างหลังมีความเร็วเป็น $-(N_{syn})$ ซึ่งความแตกต่างระหว่าง forward กับ reverse magnetic field คือ $(2-S)$ เพราะฉะนั้นค่าความต้านทานเมื่อคิดไปในทางของสนามแม่เหล็กหมุนกลับหลังคือ $\frac{0.5R_2}{(2-S)}$ ซึ่งวงจรสมมูลสุดท้ายของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลย้งขณะมอเตอร์กำลังหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 สลิป (Slip)

สลิป (Slip) ก็คือ อัตราส่วนของความเร็ว ที่เกิดจากความแตกต่างของความเร็วที่ตัวหมุน กับความเร็วที่ซิงโครนัส (Synchronous Speed) ของสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นในเครื่องกลไฟฟ้านั้น ๆ ดังสมการ (8) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\% \text{ โกล (Slip=S)} = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

$$\text{ในเมื่อ } N_s = \text{ความเร็วที่ Synchronous} = \frac{120f}{P} \quad (\text{รอบ/นาที})$$

$$\text{หรือ } N_s = \frac{2f}{P} \quad (\text{รอบ/นาที})$$

$$N_r = \text{ความเร็วของตัวหมุน} \quad (\text{รอบ/นาที})$$

$$f = \text{ความถี่ของไฟที่จ่ายให้กับตัวอยู่กับที่} \quad (\text{คลื่น/วินาที})$$

$$P = \text{จำนวนขั้วแม่เหล็ก} \quad (\text{ขั้ว})$$

$$N_r = N_s (1 - S)$$

จากสมการจะได้ว่า

$$\text{เมื่อ } S = 1$$

$$\text{นั่นคือ } N_r = 0$$

$$\text{หรือ } S = 0$$

$$\text{นั่นคือ } N_r = N_s$$

ปกติแล้วมอเตอร์จะมีโกล S ประมาณ 1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับภาระ (Load) โดยมีภาระเต็มทีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อภาระที่ได้รับน้อยลงไปก็จะทำให้โกล S ลดลงไปด้วย นั่นคือความเร็วที่โกลไปจาก synchronous

$$N_{rs} = N_s - N_r = SN_s$$

เมื่อ N_{rs} = ความเร็วโกลที่เกิดบนตัวหมุน (รอบ/นาที)

= ความเร็วบนตัวหมุนเมื่อเทียบความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน (รอบ/นาที)

2.1.5 ความเร็วที่แท้จริงของสนามแม่เหล็กของตัวหมุนในอวกาศ

(The Actual Speed of the Rotor Field Space)

เมื่อทำการเทียบกับตัวอยู่กับที่จะมีค่า N_{rf}

N_{rf} = ความเร็วตัวหมุน + ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นที่ตัวหมุนเมื่อเปรียบเทียบกับตัวมันเอง

$$= N_r + N_{rs} = N_r + SN_s$$

$$= N_r + \frac{S}{P} 2f = N_r + N_s - N_r = N_s$$

$$\text{หรือ } N_{rf} = N_s (1 - S) + SN_s$$

$$= N_s$$

= ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากตัวอยู่กับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ความถี่ที่เกิดขึ้นภายในตัวหมุน (Rotor Frequency)

ความถี่ที่เกิดขึ้นภายในตัวหมุนเมื่อต่อไฟจากภายนอกเข้าไปยังอยู่กับที่แล้ว ก็ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กถัฟซ์ที่มี P ขั้ว เคลื่อนด้วยความเร็วไปรอบภายในมอเตอร์ด้วยความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) คือ $N_s = \frac{2f}{P}$ รอบ/วินาที สนามแม่เหล็กนี้ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟขึ้นจำนวนหนึ่งที่มีความถี่เป็น f_r ขึ้นบนตัวหมุน ฉะนั้นในขณะเริ่มแรกที่ตัวหมุนยังอยู่กับที่ ก็เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้น P ขั้วเช่นเดียวกับบนตัวอยู่กับที่ด้วย นั่นคือ $f_r = \frac{PN_s}{2} = f$ ด้วย แต่เมื่อตัวหมุนวิ่งด้วยความเร็ว N_r ย่อมทำให้ความเร็วของตัวหมุนแตกต่างไปจากความเร็วที่ซิงโครนัส (Synchronous Speed) อยู่ $N_s - N_r$ นั่นคือ ตัวหมุนมีความถี่เป็น

f_s ดังสมการ

$$f_s = \frac{P(N_s - N_r)}{2}$$

$$f_s = \frac{PN_r}{2}$$

$$= P \frac{SN_s}{2} \quad (\because N_r = SN_s) \text{ รอบต่อวินาที}$$

$$= Sf$$

เมื่อ f = ความถี่ที่ได้รับจากไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (cycle/sec)

f_s = ความถี่ที่เกิดขึ้นในตัวหมุน (cycle/sec)

2.1.7 แรงเคลื่อนไฟที่เกิดขึ้นที่ตัวหมุน

เมื่อมอเตอร์ยังไม่หมุนนั้น จะเกิดแรงเคลื่อนไฟในตัวหมุนขึ้นเช่นเดียวกับ การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ทางด้านที่สองของหม้อแปลง ดังสมการ

$$E_{ph} = 2.22 N_{ph} \phi_m f K_s K_c = E_2$$

E_2 = แรงเคลื่อนไฟของตัวหมุนเมื่อยังอยู่กับที่ (โวลต์)

เมื่อ $N_{ph} = N \times P \times g$ = จำนวนตัวนำที่ต่ออนุกรมกัน ในหนึ่งเฟส

N = จำนวนรอบที่ต่ออนุกรมกัน ในหนึ่งช่อง

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กทั้งหมด

g = จำนวนช่อง/ขั้ว/เฟส

แรงเคลื่อนไฟขณะตัวหมุนยังไม่หมุนนั้นมีค่า $= E_2$ นั่นคือ โกล $S = 1$

แต่เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุน นั่นคือ Slip น้อยกว่า 1 แล้ว เพราะฉะนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตัวหมุนก็จะเปลี่ยนจากเดิม (E_2) ไป คือเปลี่ยนเป็น SE_2 นั่นเอง

2.2 การควบคุมความเร็วอินดักชันมอเตอร์

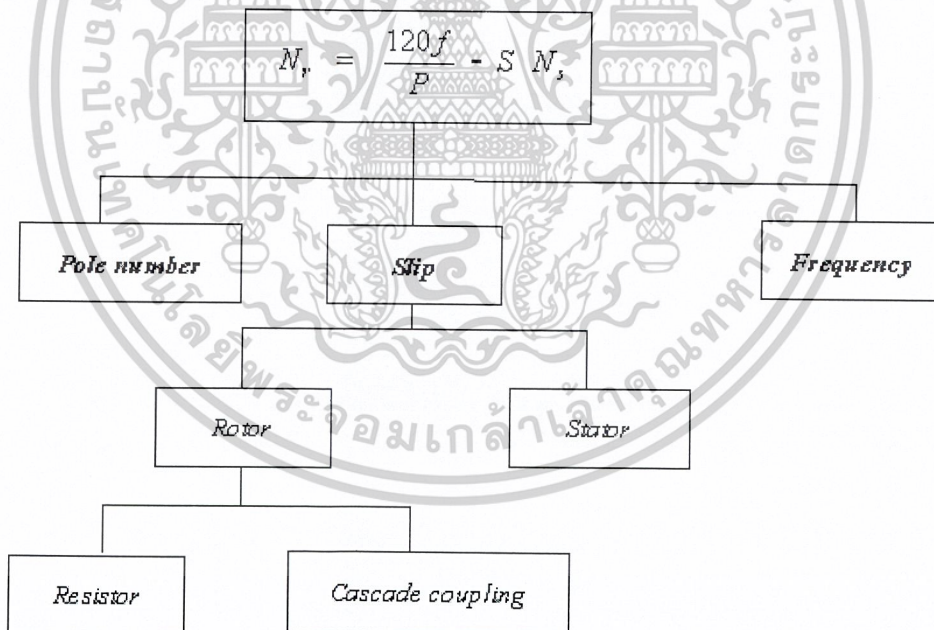
เมื่อนึกถึงวิธีการควบคุมความเร็วอินดักชันมอเตอร์ ส่วนใหญ่จะนึกถึงสมการความเร็วสนามแม่เหล็ก หมุนหรือความเร็วซิงโครนัส

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

และเข้าใจว่าความเร็วของมอเตอร์สามารถควบคุมได้ 2 วิธี คือ ควบคุมความถี่แหล่งจ่ายไฟฟ้า(f) และ ควบคุมจำนวนขั้วแม่เหล็ก (P)

แต่หากพิจารณาที่ความเร็วโรเตอร์ (Rotor speed) ซึ่งเป็นความเร็วจริงที่ขับโหลด จะพบว่าการควบคุมความเร็วอินดักชันสามารถกระทำได้ 3 วิธีดังนี้

1. เปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็ก (Changing the number of pole ,P)
2. เปลี่ยนแปลงค่าสลิป(Changing the slip ,S)
3. เปลี่ยนแปลงค่าความถี่แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Changing the frequency of the supply mains, f)



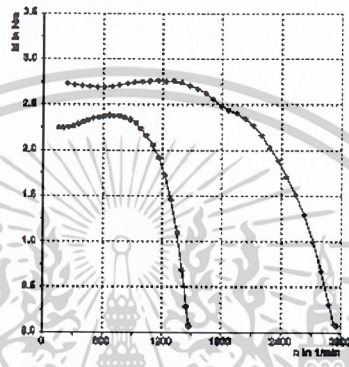
รูปที่ 2.8 วิธีการควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

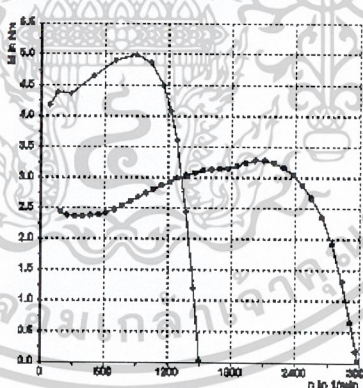
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงขั้วแม่เหล็ก (Pole Number Changing)

โดยทั่วไปหากกล่าวถึงมอเตอร์เหนี่ยวนำมาตรฐานเราจะนึกถึงมอเตอร์ชนิดที่มี 4 ขั้วแม่เหล็ก การจะเปลี่ยนแปลงความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กให้เพิ่มขึ้นหรือว่าลดลงนั้นถือว่ากระทำได้ยากหรือทำไม่ได้เลย นอกเสียจากต้องพันขดลวดใหม่

ดังนั้นการจะควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็กจะกระทำได้ดีต่อเมื่อมอเตอร์มีการใช้มอเตอร์ที่ออกแบบมาพิเศษ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กได้ เช่นมอเตอร์แบบ Dahlander หรือ Two separated winding เป็นต้น



รูปที่ 2.9 คุณสมบัติด้านความเร็ว-แรงบิดของมอเตอร์แบบ Two separated winding (แรงบิดคงที่)



รูปที่ 2.10 คุณสมบัติด้านความเร็ว-แรงบิดของมอเตอร์แบบ Dahlander (กำลังคงที่)

การเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความเร็วรอบสม่ำเสมอ เนื่องจากการเปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็กในแต่ละครั้งจะทำให้จำนวนรอบมอเตอร์เพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นขั้นหรือเรียกว่า By Step เช่นถ้าเปลี่ยนจาก 4 ขั้วแม่เหล็ก (4 Pole 50 Hz) ไปเป็น 2 ขั้วแม่เหล็กจะทำให้ความเร็วซิงโครนัสเพิ่มขึ้นจาก 1500 รอบต่อนาทีไปเป็น 3000 รอบต่อนาที ซึ่งจะให้เกิดการกระชากหรือเกิดการกระตุก ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในขณะที่ขับโหลดอยู่ก็ทำให้เกิดการเสียหายได้ทั้งที่ตัวมอเตอร์และที่ตัวเครื่องจักรนั้นๆ (นอกจากนั้นยังมีราคาสูงกว่ามอเตอร์มาตรฐานทั่วไปอีกด้วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าสลิป (Slip Control)

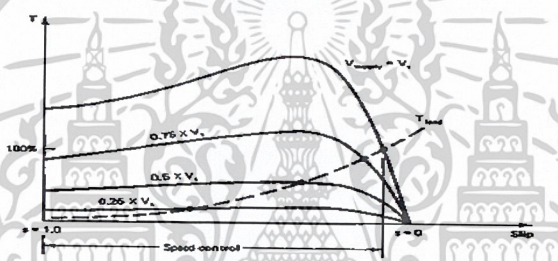
การควบคุมความเร็วรอบโดยการเปลี่ยนแปลงสลิปนั้นสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ เปลี่ยนแปลงระดับแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ และปรับแต่งที่ตัวโรเตอร์(กรณี สลิป-ริง มอเตอร์)

Change of the stator voltage

อินดักชันมอเตอร์โดยทั่วไปหากต่อกับแหล่งจ่ายที่มีแรงดันและความถี่ที่ มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วค่อนข้างคงที่ (มีสลิปประมาณ 3-5% ของความเร็วซิงโครนัส) โดยแรงบิดหรือทอร์คจะขึ้นกับระดับแรงดัน แต่ถ้าทำการลดระดับแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะทำให้แรงบิดและสลิป(S)เปลี่ยนแปลง โดยทอร์คจะแปรผันตามแรงดันไฟฟ้ากำลังสอง ($T \sim U^2$)

ตัวอย่างเช่น

เมื่อลดแรงดันลง 10% จะส่งผลให้ทอร์คลดลง 19% ดังรูป (ความเร็วรอบลดลง ส่วนสลิปจะเพิ่มขึ้น)



รูปที่ 2.11 แสดงการควบคุมความเร็วด้วยการปรับค่าระดับแรงดันไฟฟ้า

การควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีนี้จะไม่ค่อยนิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากนัก เนื่องจากสลิปมีต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบน้อย จะเหมาะสำหรับโหลดประเภทปั๊มแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) พัดลม(Fan) หรือโบลเวอร์ (Blower) เป็นต้น นอกจากนี้ผลของสลิปยังทำให้เกิดการสูญเสียในขดลวดความต้านทานสูงและประสิทธิภาพมอเตอร์ต่ำในขณะที่ความเร็วรอบต่ำ

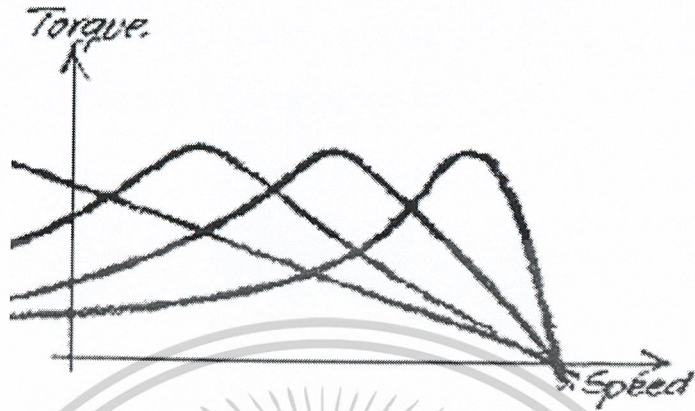
Rotor control

การเปลี่ยนแปลงในโรเตอร์สามารถกระทำได้โดยการเพิ่มค่าความต้านทานให้กับวงจรรโรเตอร์ และต่อวงจรรโรเตอร์ คาสเคด (Cascade Couplings) เข้ากับเครื่องจักรกลไฟฟ้าตัวอื่นหรือวงจรรเรียงกระแส (rectifier circuits)

Change of rotor resistors

วิธีการเปลี่ยนค่าความต้านทานที่โรเตอร์ กระทำได้โดยการต่อตัวความต้านทานผ่านสลิป-ริงเข้ากับขดลวดในโรเตอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียในโรเตอร์เพิ่มขึ้น ,สลิปเพิ่มขึ้น (ความเร็วมอเตอร์ลดลง)และให้ทอร์คมอเตอร์เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

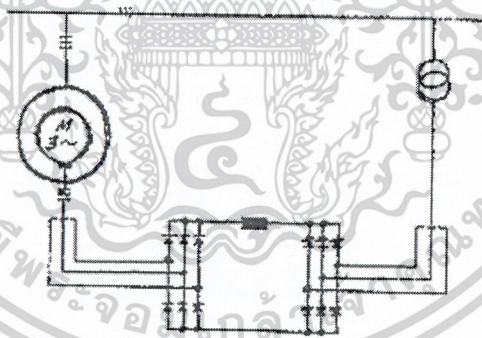


รูปที่ 2.12 แสดงคุณลักษณะของทอร์กเมื่อค่าความต้านทานของโรเตอร์และสลิป เปลี่ยนแปลง

จากภาพจะเห็นว่าค่าทอร์กสูงสุดยังอยู่ตำแหน่งเดิม ส่วนความเร็วรอบ (Speed) จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความต้านทานที่ต่อผ่านสลิปเข้าไปยังวงจรวจรโรเตอร์

Cascade couplings

วิธีนี้วงจรวจรโรเตอร์จะต่อผ่านเข้ากับ DC machine หรือ Controlled rectifier circuit แทนที่



การต่อเข้ากับค่าความต้านทาน (Ohmic resistance) ดังภาพที่ผ่านมา

รูปที่ 2.13 typical cascade coupling

2.2.3 Frequency regulation

การควบคุมความเร็วอินตซ์นมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่แหล่งจ่ายไฟฟ้า ปัจจุบันกำลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยใช้ Variable Frequency Drives (VFD) หรือที่นิยมเรียกในเชิงพาณิชย์ว่า “อินเวอร์เตอร์(Inverter)”

การทำงานของอินเวอร์เตอร์โดยพื้นฐานจะทำหน้าที่รักษาอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่ให้คงที่เพื่อให้สนามแม่เหล็ก (Flux, φ) และทอร์คคงที่ ทอร์คหรือแรงบิดที่เพลาของมอเตอร์หาได้ดังนี้

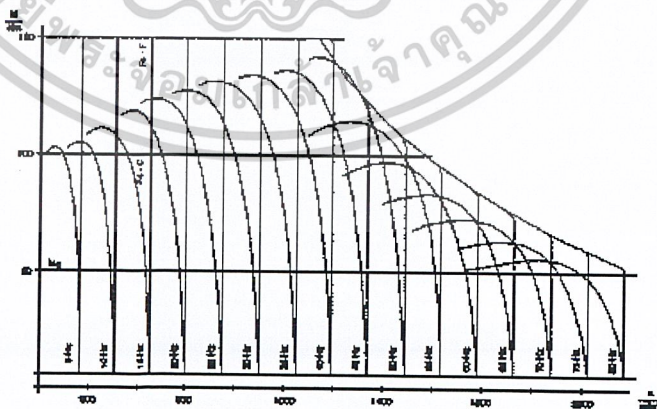
$$T = \frac{9.55P}{\eta} = \frac{\eta \times \sqrt{3}}{f \frac{120(1-S)}{P}} VI \cos \theta$$

กำหนดให้ ประสิทธิภาพ (η), $\sqrt{3}$, power Factor($\cos \theta$), 120, จำนวนขั้วแม่เหล็ก(P),และสลิป(1-s) เป็นค่าคงที่ (k)

สมการทอร์คจะใหม่ได้ดังนี้ $T = K \frac{V}{fI}$

จากสมการจะเห็นว่าแรงบิดแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าและแปรผกผันกับความถี่ ดังนั้นหากต้องการให้มอเตอร์มีแรงบิดคงที่ (ตามทฤษฎี) แหล่งจ่ายจะต้องรักษาอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ V/F (voltage frequency ratio) ให้คงที่

(กรณีระบบไฟฟ้าโรงงานปกติอัตราส่วนระหว่าง $\frac{V}{f} = \frac{380V}{50Hz} = 7.6$)

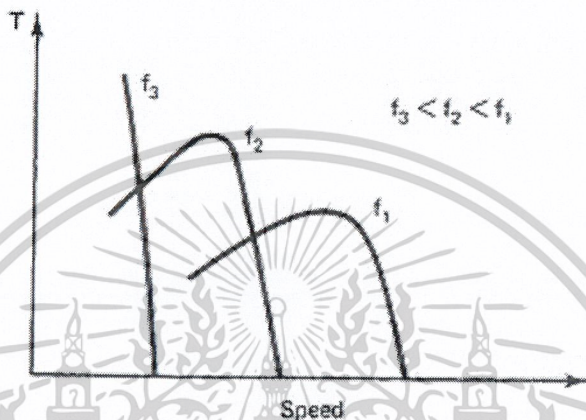


รูปที่ 2.14 เส้นโค้ง แสดงคุณสมบัติความเร็ว-แรงบิดของอินเวอร์เตอร์แบบ V / F ในทางปฏิบัติ

เส้นตรง แสดงคุณสมบัติความเร็ว-แรงบิดของอินเวอร์เตอร์แบบ Vector Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่หากอัตราส่วนระหว่างแรงดัน และความถี่ไม่คงที่เช่น ลดเฉพาะความถี่แต่ไม่เปลี่ยนแปลงแรงดัน จะทำให้ทอร์คของมอเตอร์ไม่คงที่ (ที่ความถี่ต่ำ จะมีทอร์คสูง และที่ความถี่สูงจะมีทอร์คต่ำดังรูปที่ 2.14

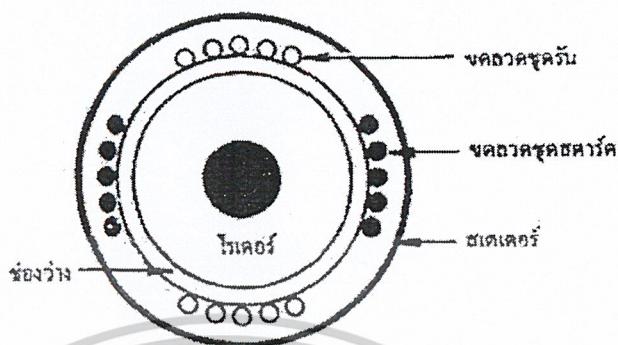


รูปที่ 2.15 แสดงคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์ ณ ความถี่ต่างๆ กัน เมื่อกำหนดให้ค่าระดับแรงดันคงที่ตลอด

2.3 ชนิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวมีด้วยกันหลายชนิดซึ่งเรียกชื่อแตกต่างกันไป ในแต่ละชนิดสามารถอธิบายได้จากหลักการที่ทำให้เกิดการต่างเฟสระหว่างกระแสที่ไหลในขดลวดหลัก และขดลวดช่วย แต่ในบางครั้งเราเรียกชื่อรวมกันว่า มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำเฟสเดียว โดยแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้คือ

2.3.1 มอเตอร์ที่แยกเฟสออกจากกัน (Split-Phase Motor)



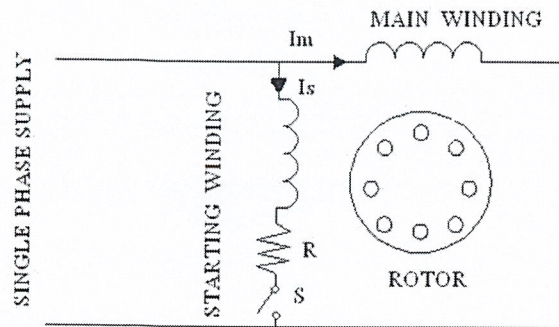
รูปที่ 2.16 โครงสร้างมอเตอร์

โครงสร้างของมอเตอร์ประกอบด้วย

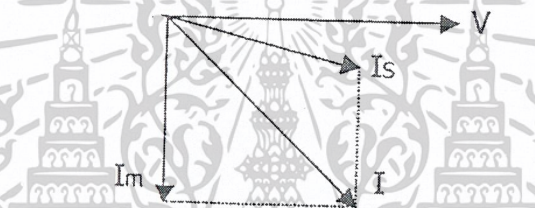
1. ตัวอยู่กับที่ (Stator) มีขดลวดอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งมีไว้สำหรับใช้งานตามปกติเรียกว่า ชุดสำหรับวิ่ง (running winding หรือ main winding) ชุดขดลวดชุดนี้มีความต้านทานต่ำ แต่ reactance สูงกว่าชุดสำหรับทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน โดยที่มีขนาดเส้นลวดใหญ่กว่าชุดหมุน ชุดสำหรับวิ่งหรือใช้งานนี้เป็นชุดหลักที่มีไฟผ่านตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นขณะเริ่มหมุนที่แรก หรือขณะที่ทำงานปกติ ชุดที่สองเป็นชุดสำหรับทำให้หมุน (starting winding) ขดลวดชุดนี้พันไว้ที่ตัวอยู่กับที่เช่นกัน แต่ว่าให้ลงในช่อง (slot) เป็นมุมห่างไปจากชุดหลัก 90 องศา ไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นในขณะเริ่มแรก ชุดนี้มีความต้านทานของขดลวดตัวนำสูงแต่ reactance ต่ำและเส้นลวดมีขนาดเล็กขดลวดชุดนี้ต่ออนุกรมกับสวิตซ์หนีศูนย์กลาง (centrifugal switch) แล้วจึงนำไปต่อขนาดับชุดสำหรับวิ่งถ้าไม่ใช้สวิตซ์หนีศูนย์กลางก็อาจใช้ relay เป็นตัวตัดขดเริ่มทำให้หมุนหรือช่วยทำให้หมุน (Starting winding or auxiliary winding) ก็ได้ ดังเช่นที่ใช้กับมอเตอร์อัดน้ำยา (compressor) ของตู้เย็นหรือเครื่องปรับอากาศก็ได้ โดยปกติแล้วมอเตอร์ที่ใช้อัดน้ำยาของตู้เย็นหรือเครื่องปรับอากาศที่ใช้กับไฟเฟสเดียวนั้น จะใช้ตัวประจูดัดด้วย ซึ่งจะได้อีกกล่าวถึงที่หนึ่ง

2. ตัวหมุน (Rotor) เป็นแบบทรงกระบอกธรรมดา ซึ่งอาจจะจะมี 2 กรงซ้อนกันหรือกรงเดียวก็ได้ แล้วแต่จุดประสงค์การใช้งาน ตัวนำที่ฝังอยู่ในตัวหมุนมีรูปทรงกระบอกนี้อาจฝังเฉียง ๆ (skew) ก็ได้ ที่แกนหมุนของตัวหมุนมีสวิตซ์หนีศูนย์กลางติดอยู่ด้วย ทั้งนี้เพื่อตัดขดเริ่มให้หมุนออกไปหลังจากที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของ synchronous

รูปตัด และวงจรของมอเตอร์ชนิดนี้ดูได้จากรูป 2.16 และ 2.17 จากรูป 2.17 พบว่ามีแรงต้านทานที่มีค่าสูงอีก 1 ตัวต่ออนุกรมเข้ากับขดทำให้หมุน (Starting winding) ความต้านทานนี้อาจไม่ต้องใช้ก็ได้ ถ้าหากว่าความต้านทานของขดเริ่มทำให้หมุนมีค่าสูงพอ



รูปที่ 2.17 วงจรมอเตอร์



รูปที่ 2.18 เวกเตอร์ของวงจร

จากคุณสมบัติของขดลวดทั้งสองที่กล่าวมาแล้ว จึงทำให้กระแส I_s และ I_m มีมุมแตกต่างกันเกือบ 90 องศา ดังรูปที่ 2.18 กระแส I_s มาทีหลัง (Lag) แรงเคลื่อนไฟ V ไปเป็นมุมเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะค่าความต้านทานสูงกว่าค่า reactance มาก ฉะนั้น จึงทำให้กระแส I_s เกือบทับกับ (inphase) V แต่ว่ากระแส I_m อันเนื่องมาจากขดหลัก (Main winding) นั้นมีความต้านทานต่ำแต่ reactance สูง ฉะนั้นจึงทำให้ I_m มาทีหลัง V เกือบ 90 องศา เมื่อเป็นเช่นนั้นจึงเกิดทำให้สนามแม่เหล็กหมุนขึ้น เพิ่มขึ้นในการเริ่มหมุนมอเตอร์ ส่วนสวิตช์หนีศูนย์กลาง S นี้จะทำหน้าที่ตัดไฟของขดเริ่มหมุน (starting winding) ออกไป หลังจากที่มีมอเตอร์วิ่งได้เกือบใกล้ความเร็วพิกัด หรือประมาณที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วที่ synchronous

มอเตอร์แบบนี้มีแรงบิดเริ่มแรกประมาณ 1 ถึง 2 เท่าของแรงบิดที่พิกัด โดยใช้กระแส เริ่มแรกตั้งแต่ 5 ถึง 7 เท่าของกระแสที่พิกัด จึงทำให้เหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องกลึงชนิดเล็ก ตัวแยกโดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal separators) และตัวเป่า (blowers) เหล่านี้ เป็นต้น

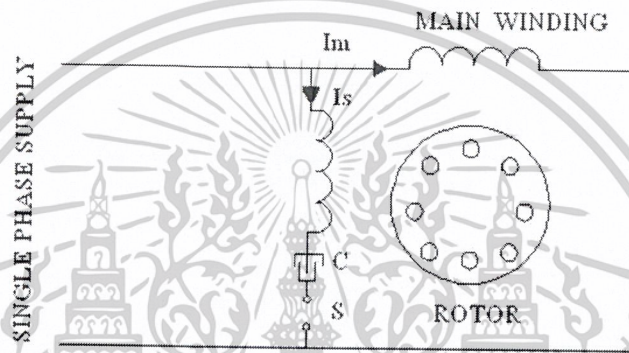
ทิศทางการหมุนของมอเตอร์เหล่านี้กลับทิศได้โดยการสลับขั้วต่อไปของขดใดขดหนึ่ง จาก 2 ขดนั้น (แต่ไม่ใช่สลับทั้ง 2 ขด) หลังจากนั้นจึงจ่ายไฟกับขดทั้งสอง ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศ มอเตอร์แบบนี้ บางทีเรียกว่า “มอเตอร์ที่เริ่มหมุนโดยใช้ความต้านทาน” นอกจากมอเตอร์แบบที่กล่าวข้างบนแล้ว ยังมีมอเตอร์

แยกเฟสที่อาศัย Capacitor เป็นตัวแยกเฟสอีก 2 แบบ คือ แบบ capacitor-start run และ capacitor-start capacitor run ดังนั้นเพื่อแยกให้ถึงความแตกต่างของมอเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้จึงแยกได้ดังต่อไปนี้

2.3.2 มอเตอร์ชนิดเริ่มหมุนด้วยต่อประจุและวิ่งด้วยการเหนี่ยวนำ

(Capacitor Start Induction-Run Motor)

มอเตอร์แบบนี้ทำให้กระแส I_s และ I_m มีเฟสแยกกันโดยใช้ตัวประจุหรือตัวควบแน่น (Capacitor or condenser) ต่ออนุกรมเข้ากับขดเริ่มทำให้หมุน (starting winding) ดังรูปที่ 2.19 ตัวประจุไฟฟ้าที่ใช้นี้เป็นชนิดสารละลาย (electrolytic) ดังนั้นจึงต้องต่อขั้วบวกและลบให้ถูกต้อง



รูปที่ 2.19 มอเตอร์ชนิดเริ่มหมุนด้วยตัวประจุและวิ่งด้วยการเหนี่ยวนำ

ด้วยตัวประจุนี้จะโดนตัดออกไปโดยสวิตช์หนีศูนย์กลางหลังจากที่มันมีความเร็วประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วจึง Synchronous ตัวประจุนี้ติดอยู่ที่เปลือกหรือแยกออกต่างหากจากมอเตอร์ก็ได้

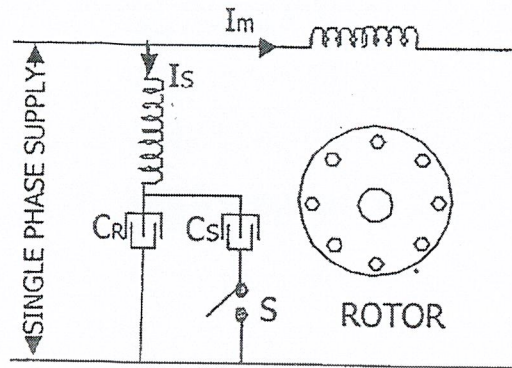
กระแส I_m นี้มาที่หลัง V เป็นมุมใหญ่มุมหนึ่ง ในขณะที่เดียวกัน I_s มาก่อน V ดังนั้น จึงทำให้แรงบิดเริ่มแรกสูง ซึ่งทำให้ทำให้เหมาะสมที่จะนำไปขับตัวอัด (Compressor) ปั้นเครื่องผสมเหนียว (doughmixers) และอื่น ๆ

2.3.3 มอเตอร์ชนิดที่ใช้ประจุทั้งในขณะหมุนเริ่มแรก และในขณะวิ่งหรือทำงานตามปกติ

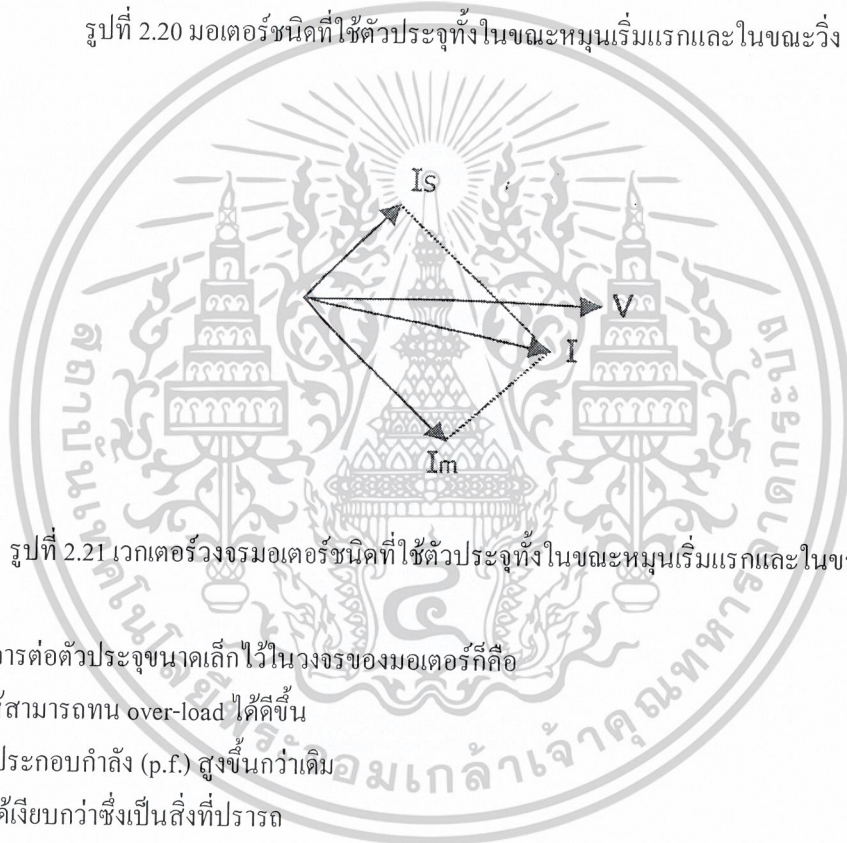
(Capacitor-Start Capacitor-Run Motor)

มอเตอร์แบบนี้จะมีประจุไฟ 2 ตัว คือ C_s และ C_R รูปที่ 2.20 ตัว C_s ซึ่งใช้เป็นตัวทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนนี้ มีความจุเกือบ 3 เท่าของ C_R ซึ่งใช้สำหรับวิ่งและเป็นตัวประจุแบบชนิด Paper (กระดาษ) ตัว C_s นี้จะโดนตัดออกไปโดยอัตโนมัติ หลังจากที่มอเตอร์หมุนได้ใกล้เคียงความเร็ว ที่พิกัด ในการตัด C_s นี้ นอกจากใช้สวิตช์หนีศูนย์กลางเป็นตัวตัดแล้ว ก็อาจใช้ current coil relay เป็นตัวตัดก็ได้ ส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้นิยมใช้ current coil relay เป็นตัวตัด โดยการให้ C_R ที่ เหมาะสมจึงทำให้กระแส I_s และ I_m แยกต่างกันอย่างเกือบ 90 องศา (2.21) ซึ่งทำให้เหมือนกับว่ามอเตอร์นั้นได้รับไฟจากไฟ 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 มอเตอร์ชนิดที่ใช้ตัวประจุทั้งในขณะหมุนเริ่มแรกและในขณะวิ่ง



รูปที่ 2.21 เวกเตอร์วงจรมอเตอร์ชนิดที่ใช้ตัวประจุทั้งในขณะหมุนเริ่มแรกและในขณะวิ่ง

ข้อดีของการต่อตัวประจุขนาดเล็กลงในวงจรของมอเตอร์ก็คือ

- (1) ทำให้สามารถทน over-load ได้ดีขึ้น
 - (2) มีตัวประกอบกำลัง (p.f.) สูงขึ้นกว่าเดิม
- ทำให้วิ่งได้เสียบกว่าซึ่งเป็นสิ่งที่ปรารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจร

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการสร้าง และการทำงานของวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.1 การสร้างสัญญาณควบคุมมุมจุดชนวน TRIAC ด้วย TCA 785

3.1.1 วงจรชนวนเกตแบบควบคุมเฟส (Phase Control Trigger Circuits)

การควบคุมมุมจุดชนวนเกตเอสซีอาร์ หรือ ไตรแอก หลักการคือ ควบคุมมุมจุดชนวนเกตแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นที่นิยมในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากการทำงานของวงจร ไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิการใช้งาน การออกแบบใช้วงจรรวม (Integrated circuit) เฉพาะงานที่จัดทำเพื่อใช้ควบคุมมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยเฉพาะ เช่น TCA 785, TCA 780 ซึ่งการใช้วงจรรวมเฉพาะงาน จะทำให้ลดขั้นตอนการออกแบบวงจรและใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์น้อยลง รวมทั้งฟังก์ชันการทำงานที่ให้สมรรถนะการควบคุมที่เชื่อถือได้ โดยตัวอย่างการออกแบบวงจรควบคุมเฟสโดยใช้ TCA 785 สำหรับนำไปใช้ในวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมได้ และวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

3.1.2 คุณสมบัติของ TCA 785 Integrated Phase control

TCA 785 Integrated Phase control เป็นวงจรรวมที่สร้างพัลส์จุดชนวนเกต เอสซีอาร์และ ไตรแอก (ซึ่งต่อไปจะเรียกรวมว่า ไทริสเตอร์) โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานดังต่อไปนี้

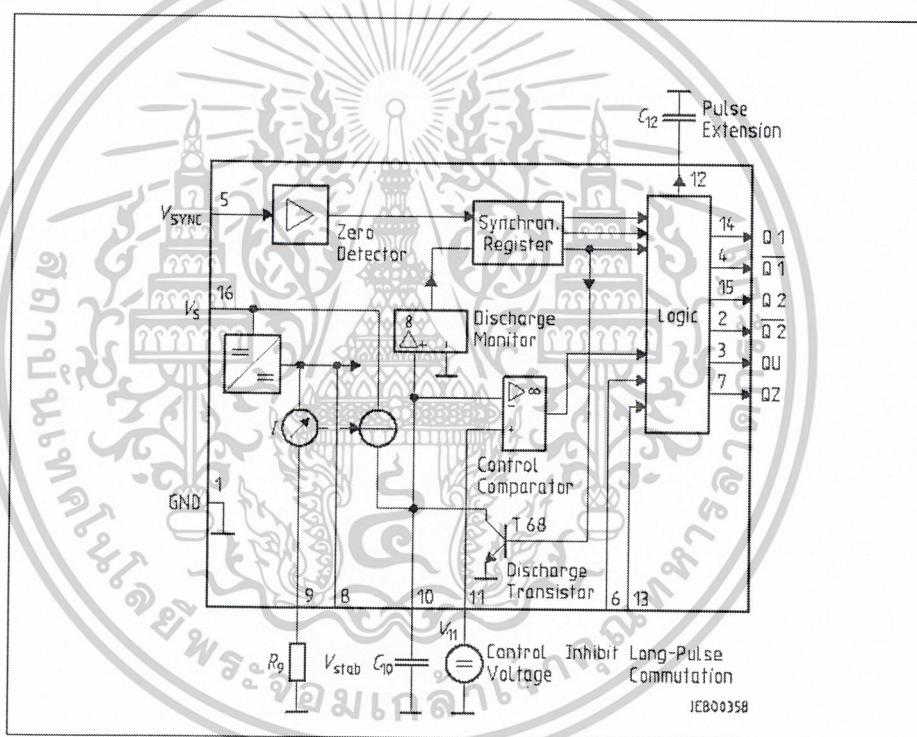
- วงจรเรียงกระแส แบบควบคุมได้เต็มที่และครึ่งเดียว (Fully and Half control) ทั้งแบบเฟสเดียวและสามเฟส
- วงจรควบคุมมุมเฟสแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวและสามเฟส TCA 785 มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ดังนี้
- สามารถจุดชนวนเกต ไทริสเตอร์ ได้อย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถเลื่อนมุมจุดชนวนเกตได้ระหว่าง 0 ถึง 180 องศา
- ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 8 – 18 โวลต์
- กระแสภายในวงจรรวมใช้ประมาณ 4.5 mA ถึง 10 mA
- สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ -25 ถึง 85 องศาเซลเซียส
- กระแสจุดชนวนเกต สามารถจ่ายได้ถึง 250 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัญญาณจุดชนวนเกิด สามารถควบคุมได้โดยขา Inhibit function
- ลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกิด สามารถที่จะกำหนดได้เป็นแบบเดี่ยว และแบบต่อเนื่อง
- ใช้งานกับวงจร Zero Crossing และ ความถี่ใช้งาน 10 - 500 Hz

3.1.3 ความรู้พื้นฐานและหลักการทํางานของ TCA 785

แผนภาพของ TCA 785 แสดงในรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างการทํางาน ของวงจร ซึ่งได้รวมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน้าที่ต่าง ๆ ไว้ในตัวเดียว



รูปที่ 3.1 แผนภาพของ TCA 785

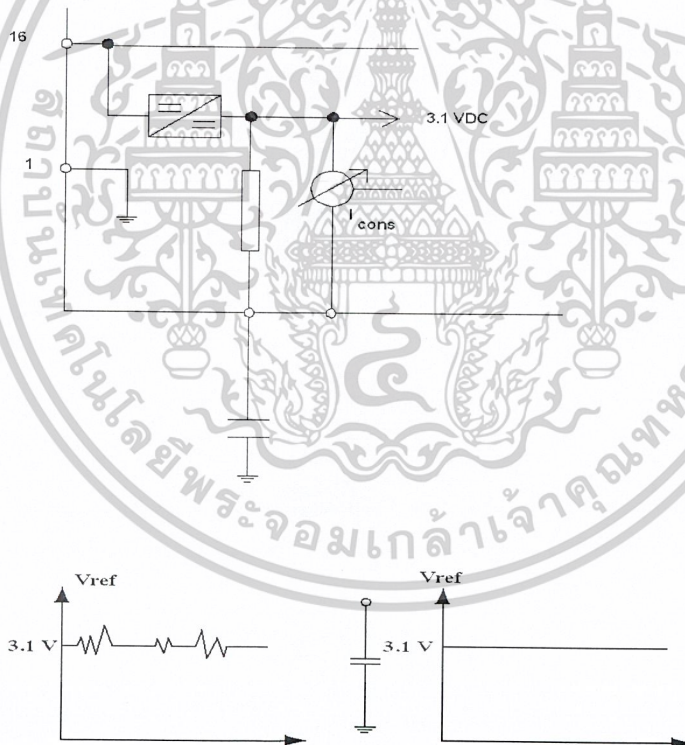
1. วงจรแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)
2. วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Detector)
3. วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียง (Ramp Generate)
4. วงจรเปรียบเทียบ (Control Comparator Circuit)
5. วงจรลอจิก (Logic Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 วงจรแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)

การทำงานของวงจรจะไม่ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอกที่จ่ายเข้ามาซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงภายนอกสามารถใช้ได้ในช่วง 8-18 โวลต์ โดยไฟบวกจะต่อเข้ากับขา 16 (+Vcc=15Vdc) และกราวด์จะต่อเข้ากับขา 1 (G=0 Vdc) ของวงจรรวม แรงดันอ้างอิงที่กำเนิดขึ้นในวงจรรวม คือ $V_{ref} = 3.1$ โวลต์ กระแสที่จ่ายให้กับวงจรรวมขณะที่ไม่มีโหลดจะใช้กระแสสูงสุด 10 mA

ตัวเก็บประจุ V_8 การต่อจากวงจรภายนอกเข้าที่ขา 8 ซึ่งเป็นขาเดียวกับแรงดันอ้างอิง และต่อกับกราวด์ ตัวเก็บประจุ V_8 จะเป็นตัวลดสัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้นในส่วนของแรงดันอ้างอิงถ้าแรงดันอ้างอิงมีการต่อสัญญาณรบกวนลงกราวด์ ทำให้สัญญาณรบกวนหมดไป ดังรูปที่ 3.2

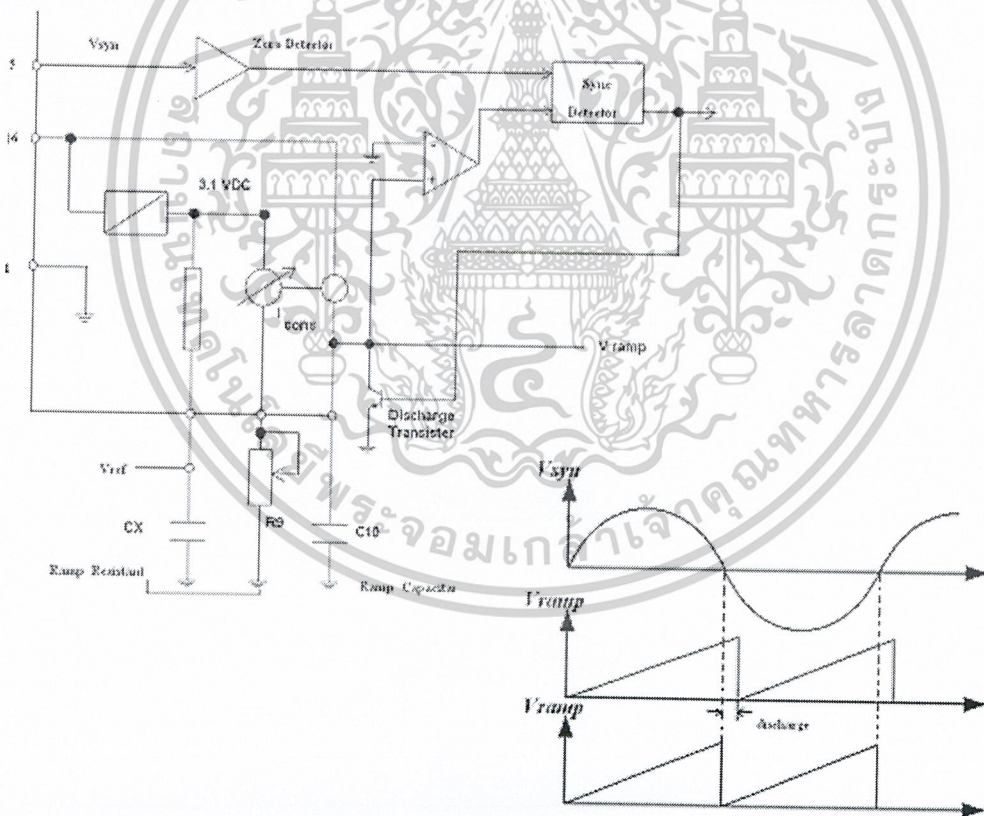


รูปที่ 3.2 การต่อแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงให้กับ TCA 785 และแรงดันอ้างอิงภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing Detector)

สัญญาณ Synchronous หรือ V_{syn} ต่อกับขา 5 โดยผ่านความต้านทานจำกัดกระแสและต่อลงกราวด์โดยผ่านไดโอดซึ่งจะต่อกับกันอยู่ 2 ตัว ทั้งนี้เพื่อให้ไดโอดไปจำกัดค่าแรงดันของ V_{syn} เพื่อให้มีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ในส่วนของวงจรจุดตัดศูนย์นั้น จะเป็นส่วนที่มีความไวสูงมาก สามารถจะทำให้เกิดการ Synchronization ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (แรงดันอินพุต) กับสัญญาณจุดชนวนเกตไทรสเตอร์ นั่นคือแรงดันอินพุตต่อกับไทรสเตอร์จะตรงกับเฟสรวมจุดชนวนเกตพอดีสัญญาณที่ตรวจวัดจุดตัดศูนย์ได้จะนำไปสร้างสัญญาณลาดเอียงที่เฟสตรงกับแรงดันอินพุต แสดงดังรูปที่ 3.3

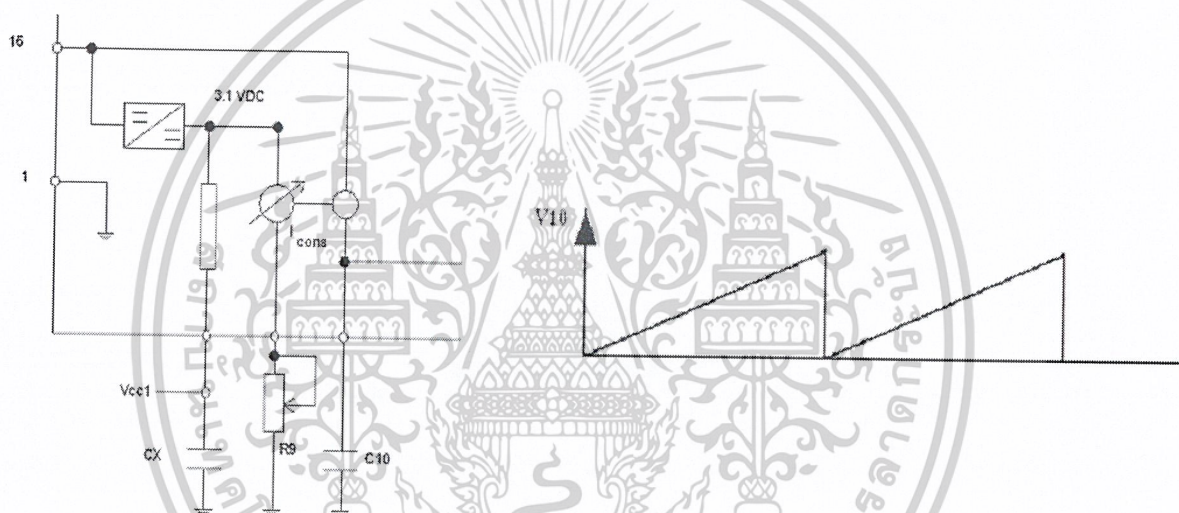


รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณลาดเอียงกับวงจรจุดตัดศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างสัญญาณลาดเอียงหรือฟันเลื่อย (Ramp or Saw tooth) ขึ้นมาเพื่อให้แรงดัน ลาดเอียงมีเฟสตรงกับแรงดันอินพุต และเป็นเชิงเส้นกับมุมเฟสของแรงดันอินพุต

ส่วนอื่น ๆ ที่มีความสำคัญเช่นเดียวกันคือ ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant current source) จะทำหน้าที่สร้างกระแสที่ I_{cons} โดยกระแสส่วนนี้จะจ่ายให้กับตัวเก็บประจุ (C_{10}) หรือเรียกว่า (Ramp capacitor : C_R) กระแสคงที่ที่จ่ายให้กับ C_{10} นี้จะทำให้ C_{10} เกิดการเก็บประจุอย่างเป็นเชิงเส้นกับเวลา ทำให้สัญญาณแรงดันที่ตกคร่อม C_{10} เป็นสัญญาณลาดเอียงหรือฟันเลื่อย



รูปที่ 3.4 การปรับค่ากระแส I_{cons} โดยการปรับค่าความต้านทาน

สัญญาณลาดเอียงจะสร้างจากวงจร RC Circuit คือ และ ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดขดคลื่นของสัญญาณลาดเอียงที่ V_{10} โดยสัญญาณลาดเอียงที่เกิดขึ้นจะมีการปรับ Zero Crossing ให้ตรงกับสัญญาณแรงดันอินพุต สัญญาณลาดเอียงที่เกิดจากการคายประจุของ C_{10} จะถูกนำไปจ่ายให้กับ Discharge Transistor ที่อยู่ในวงจรรวมอีกครั้งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

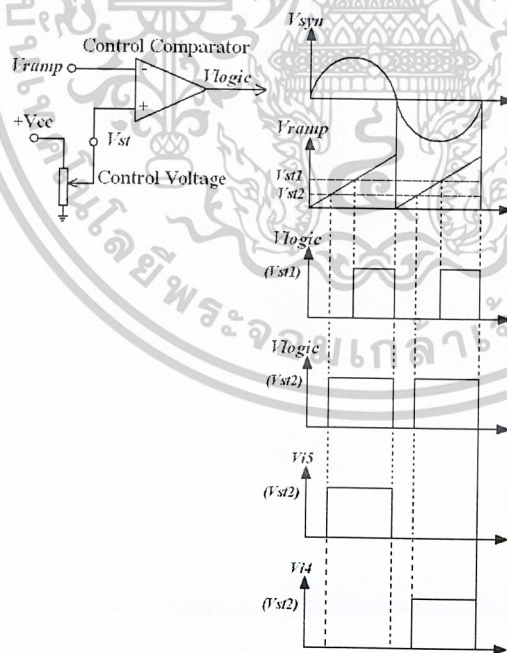
ค่าขดของสัญญาณลาดเอียง จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของตัวเก็บประจุ C_{10} ที่เลือกใช้ โดยค่าของตัวเก็บประจุมีค่าระหว่าง 500pf - 1μf ส่วนของค่ากระแส I_{cons} สามารถที่จะทำการปรับค่าได้ โดยปรับค่าความต้านทานที่ตั้งอยู่ที่ขา 9 สามารถปรับได้ในช่วง 3-300 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 การทำงานในส่วนของ Discharge Transistor จะทำหน้าที่คายประจุสัญญาณลาดเอียงที่กำหนดค่า Zero Crossing นั่นคือถ้าหากว่าแรงดันอินพุตเป็นศูนย์แล้วจะทำให้ค่าของสัญญาณลาดเอียงเป็นศูนย์ด้วยเนื่องจาก Synchronization Resistor จะส่งสัญญาณ ไปแอสให้ Discharge Transistor ทำงานจะทำให้แรงดันลาดเอียงตกเป็นศูนย์ตรงกับจุดที่แรงดันอินพุตเป็นศูนย์พอดี การคายประจุของทรานซิสเตอร์นั้น จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่เกิดออกมาของ V_{10} จะไม่มีผลต่อส่วนใดของวงจร สัญญาณลาดเอียงที่เกิดขึ้นจะเป็นเชิงเส้นกับมุมเฟสของแรงดันอินพุต

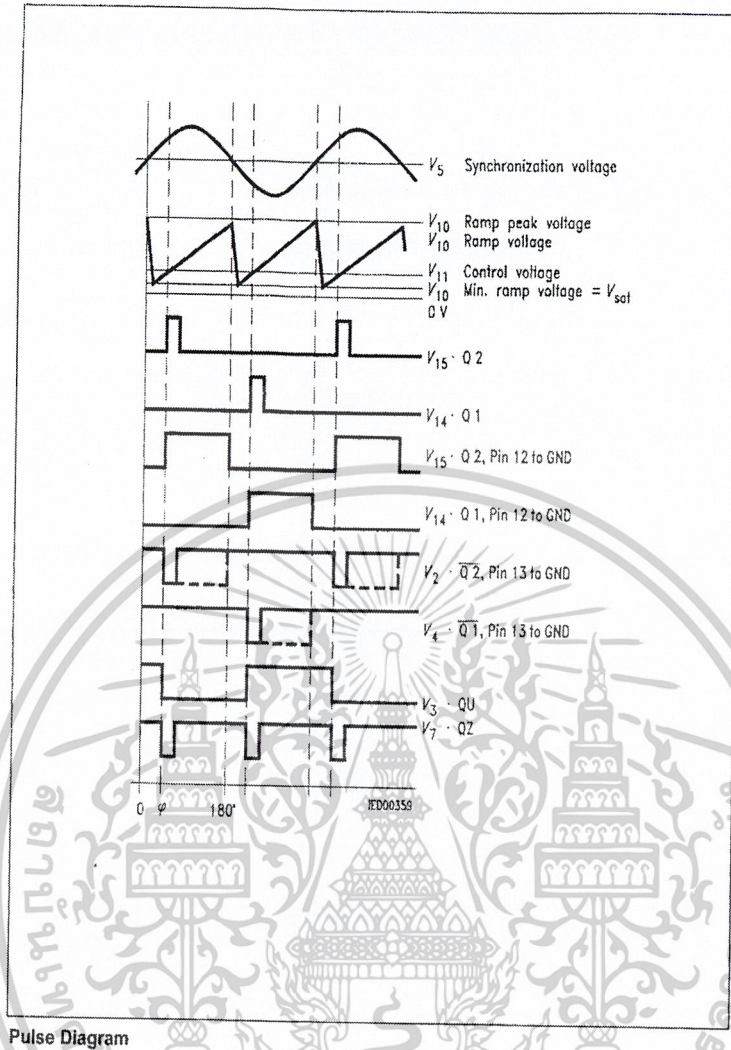
3.1.6 วงจรเปรียบเทียบ (Control Comparator Circuit)

ในส่วนของการเปรียบเทียบสัญญาณนั้น จะเป็นการนำสัญญาณลาดเอียง V_{10} หรือ V_{ramp} มาเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันควบคุม (Control Voltage : V_{st}) จากภายนอก (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง) โดยใช้หลักการของวงจรเปรียบเทียบ คือ ถ้าหากสัญญาณแรงดันควบคุมมีค่าต่ำกว่าสัญญาณลาดเอียง สัญญาณลอจิกที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 15 โวลท์ หรือเป็นลอจิก 1 ถ้าแรงดัน ควบคุมมีค่าสูงกว่าแรงดันลาดเอียง สัญญาณลอจิกที่ได้จะเป็นลอจิก 0 ดังนั้นค่าออกของสัญญาณลาดเอียงมีค่า 10 โวลท์ การควบคุมมุมจุดชนวนเกตจะมีค่าเท่ากับ 18 องศาต่อ 1 โวลท์ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเปรียบเทียบแรงดันควบคุมกับแรงดันลาดเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผนภาพสัญญาณพัลส์ของ TCA 785

สัญญาณใช้งานที่สำคัญคือ

1. ขา 11 เป็นสัญญาณแรงดันควบคุม (Control Voltage)
2. ขา 10 เป็นสัญญาณแรงลาดเอียง (Ramp Voltage) สามารถปรับค่ายอดจากค่า R_p
3. ขา 15 ให้สัญญาณจุดชนวนเกตที่มุม ...
4. ขา 14 ให้สัญญาณจุดชนวนเกตที่มุม ...+180
5. ขา 2 เป็นสัญญาณกลับ ของขา 15
6. ขา 4 เป็นสัญญาณกลับ ของขา 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 ลักษณะของสัญญาณจุดชนวนเกท

สัญญาณจุดชนวนเกทสามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ตามจุดประสงค์ที่ใช้งาน เมื่อต่อขา 12 ลงกราวด์จะทำให้สัญญาณจุดชนวนเกทมีความกว้างเท่ากับ $\beta = 180 - \Omega$ ถ้าต่อตัวเก็บประจุที่ขา 12 ลงกราวด์ จะทำให้มีความกว้างของสัญญาณตามตารางที่ 1 ส่วนสัญญาณขา 2 และ 4 เมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์จะทำให้ได้สัญญาณพัลส์ที่กว้างเต็มที่

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 12

C_{12}	0	150	220	330	680	1000
Pulse Width- β (μ s)	30	93	137	205	422	620

ความกว้างของสัญญาณจุดชนวนเกท จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับชนิดของโหลดในวงจร ซึ่งมีโหลดหลายชนิด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 3.2 ความกว้างของสัญญาณจุดชนวนแบบต่างๆ กับชนิดของโหลด μ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ออฟโตไอโซเลเตอร์

3.2.1 บทนำ

MOC 3041 จะเคลื่อนผ่านไตรแอกโดยไม่ผ่านศูนย์ ซึ่งประกอบด้วยธาตุแกเลียมอินฟารด LED จะถูกกระตุ้นให้มองเห็นด้วยตัวค้นพบซิลิคอน ซึ่งถูกออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อควบคุมขับเคลื่อนของไตรแอกบนกระแสไฟฟ้าสลับขนาด 115 V ตัวค้นพบเป็นเครื่องมือที่ซับซ้อน ซึ่งมีหน้าที่การทำงานคล้ายกับไตรแอกตัวเล็ก คือการผลิตสัญญาณที่จำเป็นเพื่อขับเคลื่อนของไตรแอกที่ใหญ่กว่า MOC 3041 จะแสดงการกระตุ้นสัญญาณกำลังที่ต่ำเพื่อขับไปยังโหลดกำลังที่สูงด้วยส่วนประกอบเล็ก ๆ จำนวนมาก และในขณะที่เดียวกับผลที่ได้ในทางปฏิบัติก็จะมีผลกระทบของวงจรขับจากสายไฟ

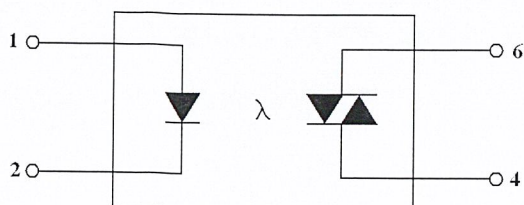


รูปที่ 3.7 โครงสร้างของออฟโตไอโซเลเตอร์

3.2.2 รายละเอียดเบื้องต้นทางไฟฟ้า

Ga As LED โดยทั่วไปกำลัง 1.3 V จะตกคร่อมที่ 10 mA และ เมื่อกำลังมากกว่า 3 V จะมีการย้อนกลับกระแสสูงสุดที่ผ่าน LED คือ 50 mA

ตัวค้นพบจะหยุดนำไฟกระแสตรงได้อย่างน้อย 250 V ไม่ว่าจะในทิศทางใดเมื่ออยู่ในสภาวะหยุดทำงานในกรณีที่อยู่ในสภาวะที่ทำงานอยู่ตัวค้นพบจะมีกระแสไหลผ่าน 100 mA ไม่ว่าจะในทิศทางใดแรงดันเท่ากับ 3 V เมื่อหยุดอุปกรณ์ จะมีเหตุการณ์หนึ่งที่ต้องเกิดขึ้นในขณะที่มีการทำงานอยู่ คือ ตัวค้นพบจะยังคงควบคุมกระแสไฟภายใต้กระแสโอดดิ่ง (100 μ A)



รูปที่ 3.8 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของออฟได้อิโซเลเตอร์

3.2.3 ข้อกำหนดในการขับไทรแอด

รูป 3.9 เป็นการแสดงวงจรขับไทรแอดใช้ MOC 3041 อัตราส่วนกระแสลูกคลื่น สูงสุดของ MOC 3041 จะกระทำที่ปริมาณต่ำสุดที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ($R1$) ดังสมการ

$$R1_{(min)} = V_{in(PK)} / 1.2 \text{ A}$$

การทำให้ 115 Vac เป็นแรงดันทั่วไป

$V_{in(PK)} = 180 \text{ V}$, ดังนั้น

$$R1_{(min)} = V_{in(PK)} / 1.2 \text{ A} = 150 \text{ ohms}$$

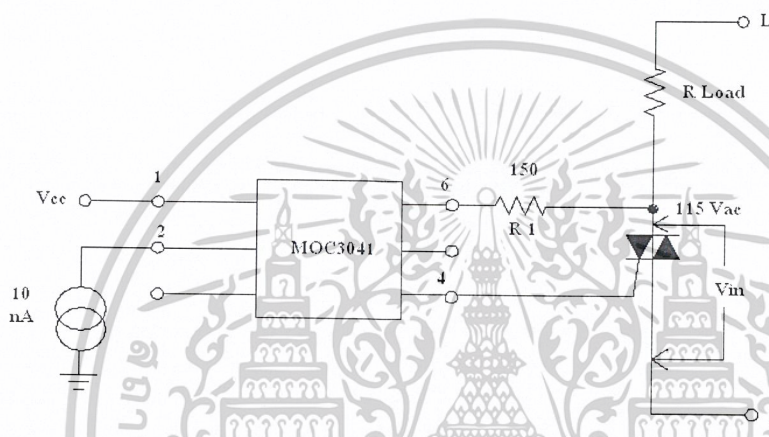
ในพลาสติกควรใช้ตัวต้านทาน 150 หรือ 180 โอห์ม ถ้าไทรแอดมี $I_{GT} = 100 \text{ mA}$ และ $V_{GT} = 2\text{V}$ ก็จะเกิดแรงดันข้างในมีความจำเป็นในการทริกไทรแอดโดยให้

$$V_{inT} = R1 \times I_{GT} + V_{GT} + V_{TM} = 20 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 โหลดตัวต้านทาน

เมื่อใช้โหลดความต้านทานเป็นตัวขั้ววงจรตามรูปที่ 3.9 ใช้โหลดอินแคนเดสเซนต์ และความร้อนตัวต้านทานสองชนิดเป็นส่วนสำคัญของโหลดตัวต้านทานสำหรับที่ 115 Vac หลังการกำจัดควรต้องให้ไดรแอกมีการไหลเข้าโหลดพอสมควร โหลดอินแคนเดสเซนต์ บางเวลาสามารถทำให้กระแสสูงสุดมีค่าเท่ากันในขณะที่ แฟลชโอเวอร์ ซึ่งสามารถให้ค่าสูงสุดอย่างมาก และไดรแอกควรมีการป้องกันโดยใช้ฟิวส์



รูปที่ 3.9 วงจรกระตุ้นไดรแอกอย่างง่าย

3.2.5 ไลน์ทรานส์เซียน-dc/dt คงที่

แรงดันบางครั้งมีการรบกวนในสายทางด้านไฟสลับ จะมากกว่าอัตรา dv/dt ของ MOC 3041 ในกรณีนี้มันอาจเป็นไปได้เมื่อ MOC 3041 และไดรแอกมีความสัมพันธ์ คือการทรกในสภาวะทำงานตามปกติแล้วจะไม่เกิดปัญหา

3.2.6 อินดักทีฟโหลด – คอมมิวเตตง dv/dt

โหลดอินดักทีฟ (มอเตอร์, โซลินอยด์, แม็กเนก เป็นต้น) ปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งคู่สำหรับไดรแอกและสำหรับ MOC 3041 แรงดัน และกระแสไม่อินเฟส เมื่อไดรแอกหยุดทำงานที่กระแสเป็นศูนย์ มันอาจจะเป็นการยากในการหยุดนำกระแส เมื่อกระแสที่ใช้มีค่าเป็นศูนย์และแรงดันที่แปลงมีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ไตรแอก

3.3.1 พื้นฐานของไตรแอก

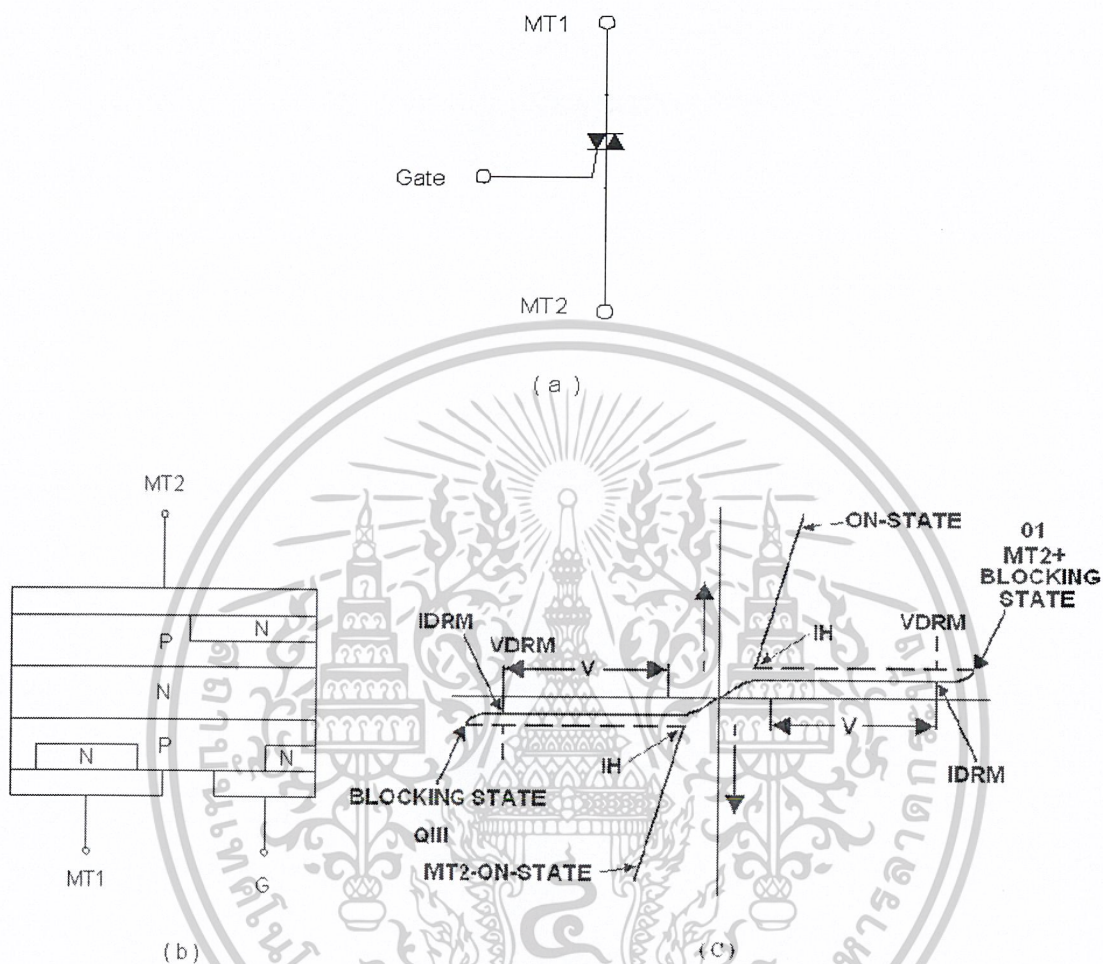
ไตรแอกเป็นสารกึ่งตัวนำมีจุดต่อ 3 จุดทางด้านไฟกระแสสลับเป็นสวิทช์ซึ่งใช้ใจการทริกด้านพลังงานต่ำ สัญญาณที่ใช้จะกระทำที่ตัวเกตซึ่งไม่เหมือนกับการใช้ซิลิคอนควบคุมการแปลงหรือ SCR ไตรแอกจะนำกระแสทุกทิศทางเมื่อมีการใช้งาน ไตรแอกให้เริ่มทำงาน ไตรแอกมีความแตกต่าง SCR ทั้งทางบวกและลบ สัญญาณเกตจะทำการทริกไตรแอกให้เริ่มทำงาน ไตรแอกอาจจะเป็นเหมือนกับนำ SCR 2 ตัวมาขนานกัน การออกแบบวงจรไตรแอกควรคำนึงถึงการประหัดและการใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด วิธีการควบคุมกำลังทางด้านไฟกระแสสลับต้องถูกต้อง ไตรแอกมีข้อดีที่แตกต่างมากกว่าสวิทช์เครื่องกลธรรมดาเมื่อไตรแอกมีช่วงบวกเข้ามาอยู่ในสภาวะทำงาน (ON) และถ้ากระแสมีค่าเป็นศูนย์หรือลบจะอยู่ในสภาวะที่หยุดทำงาน (OFF) ตามคุณสมบัติของไตรแอกจะไม่ได้รับความเสียหายจากกรณีที่หน้าสัมผัสไม่ยอมดึงกลับหรือเกิดการอาร์คขึ้นในสวิทท์ทางกล สวิทช์ไตรแอกเริ่มทำงานจะมีความเร็วมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับรีเลย์ธรรมดาและการควบคุมจะมีความถูกต้องมาก

ไตรแอกสามารถที่จะทำการทริกโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ไฟฟ้ากระแสตรงและเรกติไฟร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับหรือใช้พัลส์ เพราะว่าทางด้านพลังงานต่ำต้องการทริกไตรแอกวงจรควบคุมสามารถใช้ตัวใดตัวหนึ่งก็ได้ ขึ้นอยู่กับราคาและการใช้งานแต่ที่สำคัญต้องมีในท้องตลาด เช่น ทรานซิสเตอร์, ยูนิจังก์ชันทรานซิสเตอร์

3.3.2 คุณสมบัติไตรแอก

รูปที่ 3.10 เป็นการแสดงสัญลักษณ์ของไตรแอกซึ่งประกอบด้วย 2 ด้าน เรียกว่า อาโนด และแคโทด ถ้าใช้ด้านเดียวจะไม่มีหมายต่ออุปกรณ์ จุดต่อออกแบบอย่างง่ายโดยมี MT 1, MT 2 และ G ซึ่งกำหนดให้ MT1, MT2 เป็นจุดที่กระแสผ่าน ส่วนจุด G คือ เกตเป็นจุดที่ใช้สำหรับทริกไตรแอกเพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนในการปฏิบัติงาน จึงกำหนดให้เป็นมาตรฐานที่กระแสและแรงดัน โดยใช้ MT1 เป็นจุดเทียบ

รูปที่ 3.10 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของไตรแอก ในรูปสัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับไตรแอกประกอบขึ้นด้วยตัวประกอบ 2 ตัวคือ SCRs กับ เกตร่วม ไตรแอกจะมีชั้น โดยรอยต่อระหว่าง MT1 กับ MT2 เป็นสวิทช์ P-N-P-N (SCR) และในแนวขนานจะเป็น N-P-N-P เป็นส่วนประกอบของ SCR) ในบางครั้งโครงสร้างของไตรแอกจะมีความสามารถในการทริกสัญญาณเกตทั้งบวกและลบ รอยต่อระหว่าง MT1 และ G จะประกอบไปด้วย ไดโอดจำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3.10 โครงสร้างไครแอคและสัญลักษณ์

IDRM	คือ กระแสรั่วไหลผ่านไครแอคเมื่อได้รับแรงดันฟอร์เวิร์ด
VDRM	คือ แรงดันทรานเซียนถ้าไม่เกินกำหนดทางด้านฟอร์เวิร์ดและรีเวิร์ดจะไม่ทำให้ไครแอคนำกระแสโดยไม่มีสัญญาณทริก
IH	คือ กระแสยึด (Holding current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเกิดบวกหรือลบให้ฟอร์เวิร์ดไบอัส กับไดโอดตัวใดตัวหนึ่ง สาเหตุจะมีลักษณะคล้ายการทำงานของทรานซิสเตอร์แล้วจะเกิดการเบรคควานขึ้นที่จังก์ชันบล็อกโดยไม่คำนึงถึงขั้วของ MT1

คุณสมบัติแรงดัน – กระแสของไดรแอกซึ่งแสดงในรูป 3.10 สถานะแต่ก่อน MT1 จะเปรียบเป็นจุดควอทเร้นท์ ที่ 1 (Q – 1) ที่รอยต่อ MT2 เป็นบวก และ MT1 จะเป็นบวกไปด้วย และในควอทเร้นท์ที่ 3 ก็จะเป็นบวกเช่นเดียวกัน เมื่อไดรแอกเริ่มทำงานสามารถที่จะทำการทริกสัญญาณเกิดทั้งทางบวกและทางลบ มีแบบที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้น 4 แบบ คือ

ควอทเร้นท์ที่ 1 ; MT2 (+). G(+)แรงดันเป็นบวกและกระแสเกิดเป็นบวก

ควอทเร้นท์ที่ 2 ; MT2 (+). G(+)แรงดันเป็นบวกและกระแสเกิดเป็นลบ

ควอทเร้นท์ที่ 3 ; MT2 (+). G(-)แรงดันเป็นบวกและกระแสเกิดเป็นลบ

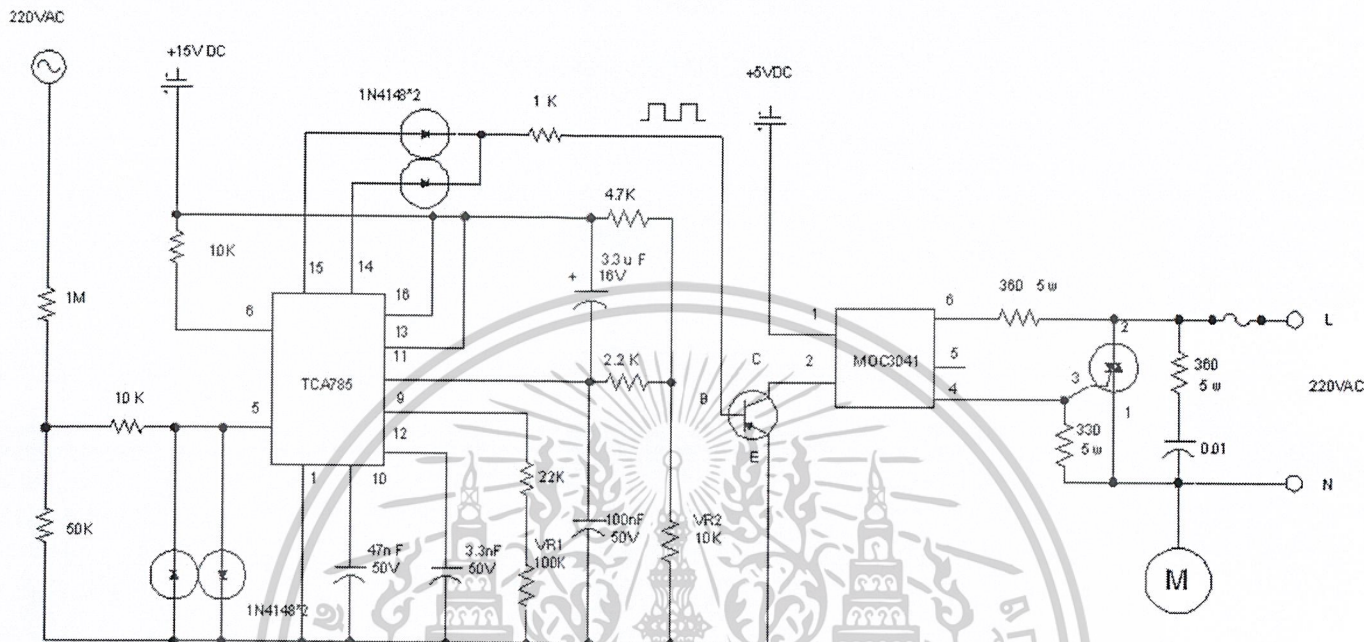
ควอทเร้นท์ที่ 4; MT2 (-). G(+)แรงดันเป็นบวกและกระแสเกิดเป็นบวก

ไดรแอกจะมีความไวมากที่สุดเมื่ออยู่ในควอทเร้นท์ที่ 1 และ 3 ก่อนข้างน้อยในควอทเร้นท์ที่ 2 และน้อยมาก ๆ ในควอทเร้นท์ 4 ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้ควอทเร้นท์ที่ 4 โดยปราศจากสถานการณ์ที่ถูกสั่งมาเป็นพิเศษ

ข้อเท็จจริงที่สำคัญที่ควรจำคือ เมื่อไดรแอกสามารถนำกระแสทั้ง 2 ทาง และอยู่ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งกระแสคลื่นจะเคลื่อนผ่านศูนย์เพื่อครอบคลุมหมดและกลับไปอยู่ในสภาวะที่หยุด ด้วยเหตุผลนี้การปฏิบัติการที่น่าเชื่อถือได้ของไดรแอกคือจำกัดอยู่ที่ 60 Hz และต่ำกว่านี้

สำหรับการไหล การย้ายช่วงระหว่างกระแสแรงดัน หมายถึงเวลาที่กระแสตกอยู่ภายใต้ กระแสโหด (IH) และไดรแอกหยุดนำกระแส แต่ยังคงอยู่ที่แรงดันเดิม ซึ่งจะต้องปรากฏข้ามไดรแอก ถ้าแรงดันเกิดขึ้นเร็วมาก ไดรแอกจะเชื่อว่าการนำและการควบคุมสูญเสียไปเพื่อยังควบคุมการไหลของตัวนำ อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดัน (dv/dt) จะต้องถูกจำกัดโดยวงจรอนุกรม RC ที่ไหลผ่านไดรแอก คาปาซิเตอร์จะจำกัด (dv/dt) ที่ไหลผ่านไดรแอก ตัวต้านทานเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อจำกัดความแปรเปลี่ยนของกระแสจากคาปาซิเตอร์เมื่อไดรแอกใหม่ และเพื่อให้ความชันของวงแหวนของตัวต้านทานด้วยการไหลตัวนำเซนส์ บางเวลาสามารถทำให้กระแสสูงสุดที่มีค่าเท่ากันในขณะที่ แพลทโอเวอร์ ซึ่งสามารถให้ค่าสูงสุดอย่างมาก และไดรแอกควรมีการป้องกันโดยใช้ฟิวส์

3.4 วงจรเฟสคอนโทรล



รูปที่ 3.2 วงจรเฟสคอนโทรล (Phase control)

วงจรเฟสคอนโทรลนี้ จะใช้ไอซี TCA785 เป็นอุปกรณ์หลักในการผลิตสัญญาณพัลส์ที่สามารถควบคุมมุมในการจุดชนวนของอุปกรณ์ไทรสเตอร์ เพื่อให้อุปกรณ์ไทรสเตอร์ทำหน้าที่ตัดลูกคลื่นแรงดันที่จะจ่ายให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์

TCA785 เป็นไอซีสำหรับใช้ในการควบคุมเฟสโดยเฉพาะ การต่อใช้งานทำได้ดังนี้ คือเราจะต้องป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีเฟสตรงกับสายกำลัง โดยการลดทอนแรงดันให้ต่ำลงและจำกัดกระแสให้เหมาะสมด้วย R3 ก่อนเข้าขา 5 ของ TCA785 เพื่อให้วงจรตรวจจับการผ่านศูนย์ (Zero Voltage Detector) สัญญาณไฟสลับที่ป้อนให้นี้เรียกว่าสัญญาณ Synchronization signal สัญญาณผ่านไปยังส่วนของวงจร ซิงโครไนซ์รีจิสเตอร์ (SYNC register) ซึ่งควบคุมสัญญาณแรมป์ (Ramp Signal) ที่เกิดจากการเก็บประจุของ C1 ที่ขา 10 ด้วยกระแสที่คงที่ ซึ่งกำหนดความลาดชันของสัญญาณแรมป์ด้วย R ที่ขา 9 จุดเริ่มต้นของแต่ละคาบของสัญญาณแรมป์คือจุดที่สัญญาณซิงโครไนซ์ผ่านศูนย์

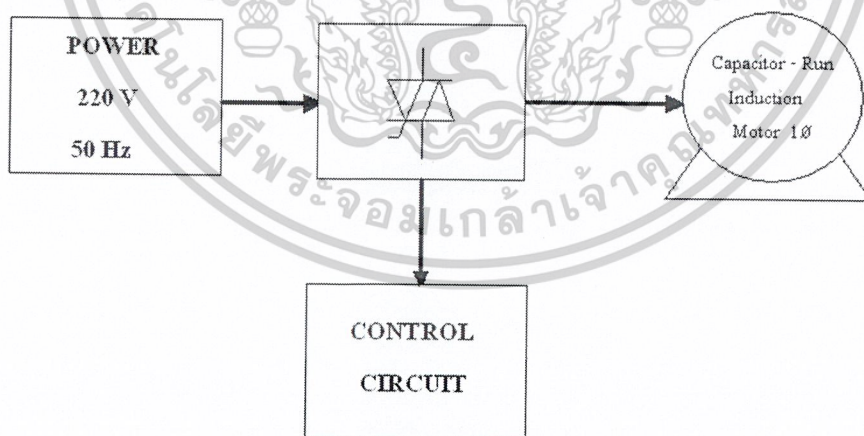
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมสัญญาณพัลส์ที่จะไปจุดชนวนไตรแอด กระทำได้โดยการป้อนแรงดันไฟตรงควบคุมเข้าที่ขา 11 ภายในไอซี TCA785 จะมีวงจรเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างขา 10 กับขา 11 ในหนึ่งไซเคิลของสัญญาณฟันเลื่อย จุดตัดระหว่างสัญญาณของขา 10 และ 11 ครั้งแรกจะเป็นจุดเริ่มต้นของสัญญาณพัลส์ที่ออกมาจากขา 14 และ 15 สัญญาณพัลส์เหล่านี้ปกติจะมีความกว้างพัลส์ประมาณ $30 \mu\text{S}$ และสามารถขยายความกว้างของพัลส์ไปได้มากถึง 180 องศา โดยการเปลี่ยนค่า C_2 ที่ขา 12 หรือจะถ่วงจร C_2 ที่ขา 12 ลงกราวด์ ก็จะได้ความกว้างพัลส์ตั้งแต่มุมตริกจนถึง 180 องศา

สำหรับขา 6 ของ TCA785 จะเป็นตัวปิดเปิด พัลส์ทั้งหมด หากขา 6 มีไฟเลี้ยงอยู่ก็จะมีพัลส์ออกมาตามปกติแต่ถ้าขา 6 ถูกต่อลงกราวด์ ก็จะไม่มีการพัลส์ใดๆ ออกมา

โดยทั่วไปแล้วสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้น ไม่สามารถใช้จุดชนวนไตรแอดโดยตรงได้ เพราะกราวด์ของวงจรเป็นกราวด์ของแรงดันไฟสลับด้วย ถ้าเอาสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นนี้ไปจุดชนวนไตรแอดแล้วก็เหมือนกับเอากราวด์ไปช้อดกับแรงดันไฟสลับโดยตรง จะทำให้เกิดความเสียหายได้ การแยกวงจรทางไฟฟ้าระหว่างชุดกำลังและชุดควบคุมจุดชนวนเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้วงจรทั้งสองสามารถทำงานร่วมกันได้ จึงใช้ Opto coupler แยกชุดควบคุมจุดชนวนกับชุดกำลังและต้องใช้แหล่งจ่ายไฟอีกหนึ่งชุดเพื่อเลี้ยงวงจรที่แยกมานี้

3.5 ส่วนประกอบโดยรวม



รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมทั้งหมดที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

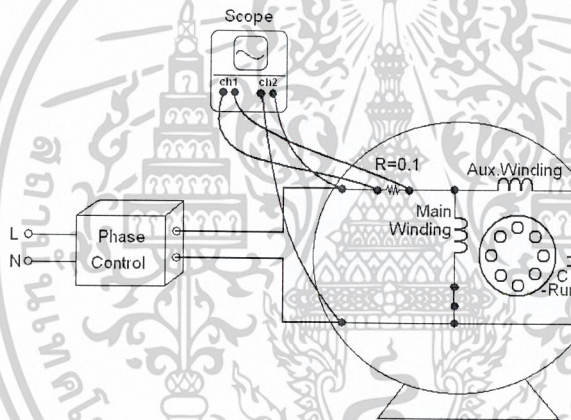
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

เมื่อได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการ ในการเปรียบเทียบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ระหว่างการนำชุดเฟสคอนโทรลต่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบปกติคือ ต่ออนุกรมกับมอเตอร์โดยตรง และแบบที่นำเสนอคือ นำชุดเฟสคอนโทรลต่ออนุกรมกับขด Main Winding ภายใน Capacitor – Run Induction Motor โดยการต่อทั้งสองลักษณะจะนำไปขับโหลดพัดลม แล้วบันทึกค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบไว้ เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการต่อทั้งสองแบบลงในกราฟ

4.2 การทดสอบโดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบเกาท์ใช้กันทั่วไปโดยใช้โหลดเป็นพัดลม



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรการทดสอบโดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบเกาท์

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้

- | | |
|---|-----------|
| 1. Capacitor – Run Induction Motor 1 / 4 HP | 1 ตัว |
| 2. Oscilloscope | 1 เครื่อง |
| 3. Techometer | 1 ตัว |
| 4. สายไฟ | 1 ชุด |

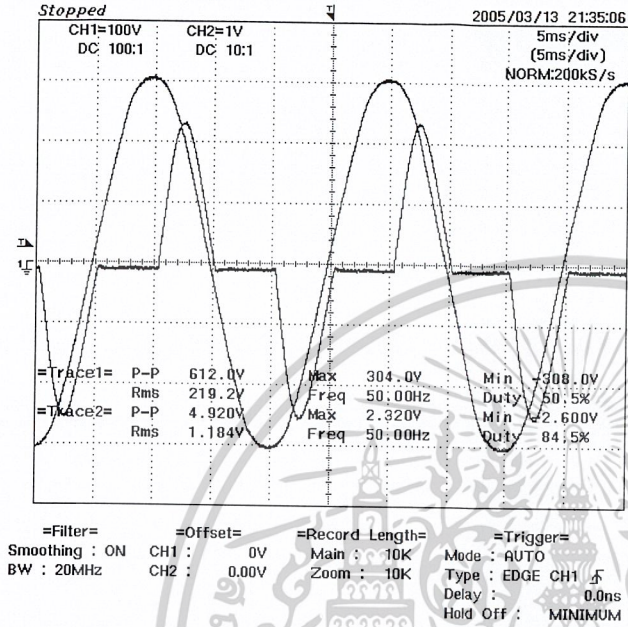
4.2.2 วิธีการทดสอบ

1. ต่อวงจรดังรูปที่ 4.1 โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตามพิกัดคือ 220 V 50 Hz
2. ค่อย ๆ ปรับลดความเร็วของมอเตอร์ลงมาที่ความเร็วต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.1
3. ใช้ Scope บันทึกรูป และรหัส ASCII เพื่อไปคำนวณหาค่าต่าง ๆ ใน Matlab
4. บันทึกค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ลงในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการทดสอบมอเตอร์ที่ความเร็วต่าง ๆ โดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบเก่าโดยใช้ โหลดเป็นพัดลม

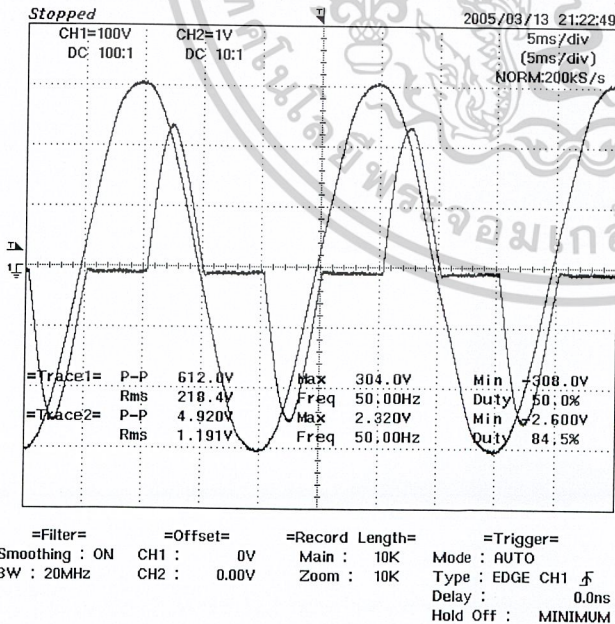
ที่ความเร็ว 1190 rpm



Irms = 1.15630668384300
 Vrms = 2.190417856537809e+002
 Power = 130.606 Watts
 PF1 = 0.517855
 %Fundi = 82.610175

รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1190 rpm

ที่ความเร็ว 1220 rpm

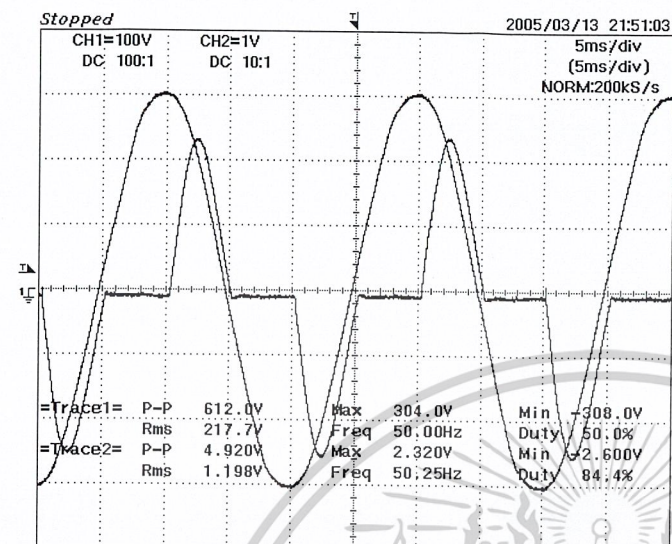


Irms = 1.16150470851392
 Vrms = 2.183116016588332e+002
 power = 131.151 Watts
 PF1 = 0.519490
 %Fundi = 82.737915

รูปที่ 4.3 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1220 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็ว 1250 rpm



Irms = 1.16230348377694

Vrms = 2.174404922139766e+002

power = 132.699 Watts

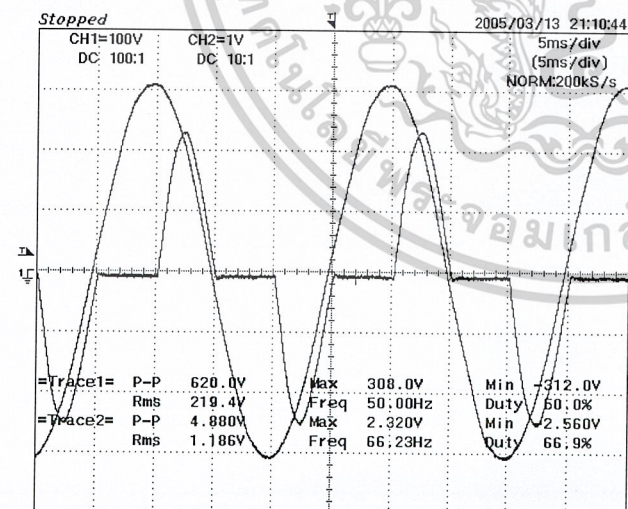
PF1 = 0.527456

%Fundi = 83.007497

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.4 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1250 rpm

ที่ความเร็ว 1280 rpm



Irms = 1.16326349375367

Vrms = 2.191149351063707e+002

power = 137.390 Watts

PF1 = 0.541045

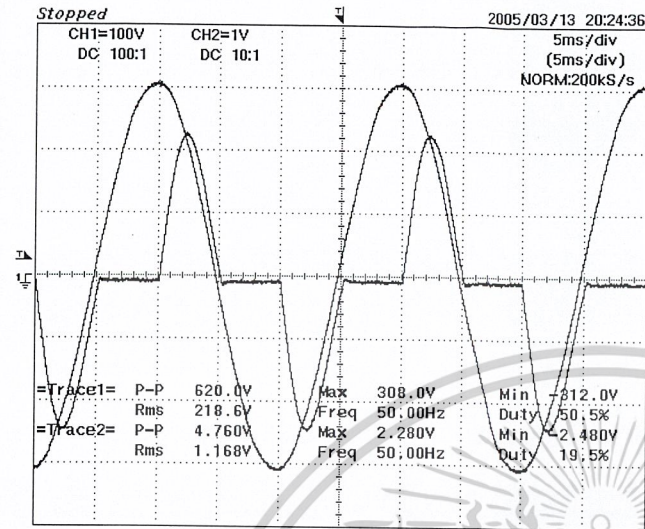
%Fundi = 83.625184

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.5 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1280 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็ว 1310 rpm



Irms = 1.15879224328609

Vrms = 2.184182978268128e+002

power = 141.134 Watts

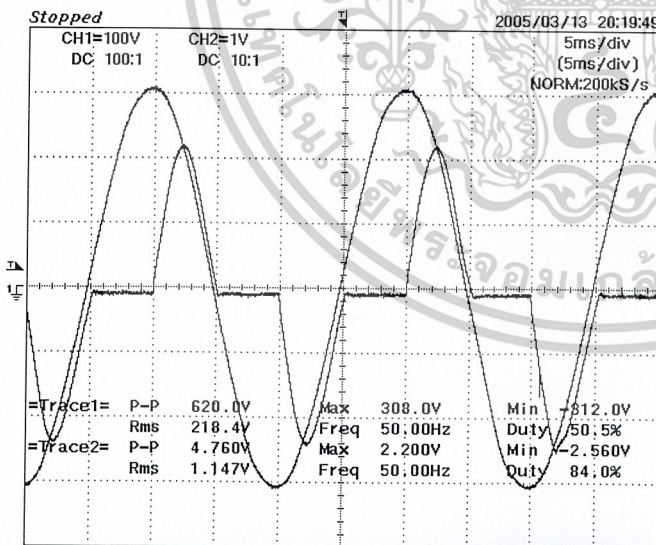
PF1 = 0.559683

%Fundi = 84.597116

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.6 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1310 rpm

ที่ความเร็ว 1340 rpm



Irms = 1.12021265798062

Vrms = 2.182406359613022e+002

power = 140.785 Watts

PF1 = 0.578398

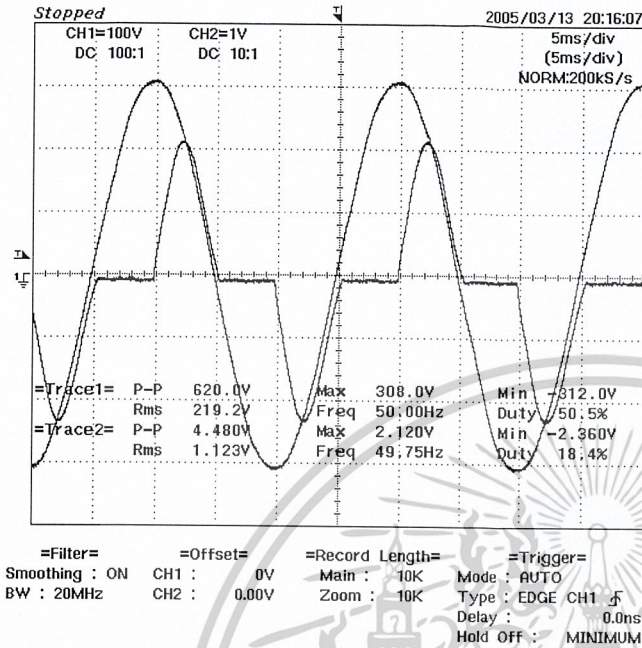
%Fundi = 84.745938

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.7 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1340 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

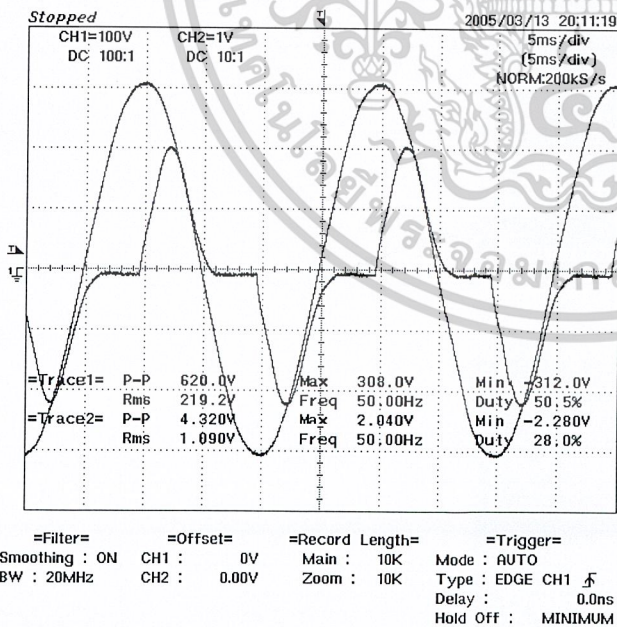
ที่ความเร็ว 1370 rpm



Irms =1.11201019739029
 Vrms =2.189645207803269e+002
 power = 146.525 Watts
 PF1 = 0.604332
 %Fundi = 85.385146

รูปที่ 4.8 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1370 rpm

ที่ความเร็ว 1400 rpm



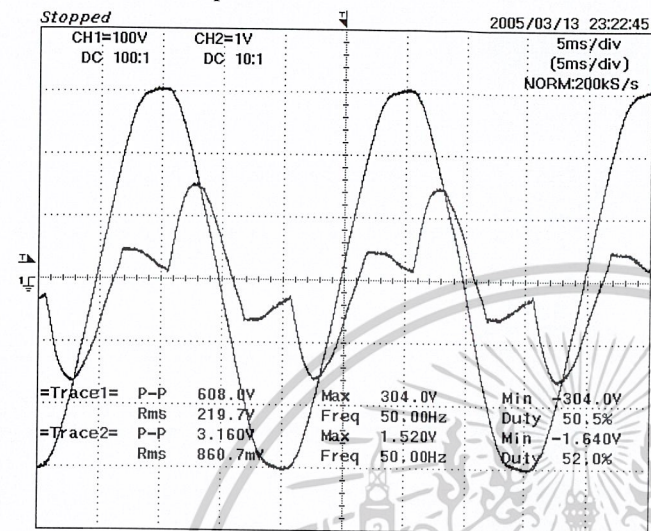
Irms =1.06529979910587
 Vrms =2.189259569388761e+002
 power = 147.410 Watts
 PF1 = 0.634963
 %Fundi = 88.591207

รูปที่ 4.9 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1400 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการทดสอบมอเตอร์ที่ความเร็วต่างๆโดยต่อชุดเฟสคอนโทรลแบบใหม่โดยใช้โพลดิเป็นพัลลัม

ที่ความเร็ว 1190 rpm



Irms = 0.86905005517519

Vrms = 2.195029049781439e+002

power = 127.938 Watts

PF1 = 0.673075

%Fundi = 88.560980

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz

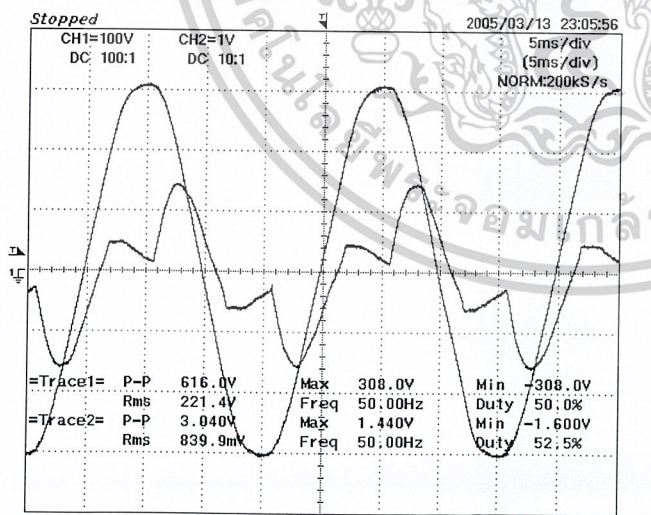
=Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V

=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K

=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.11 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1190 rpm

ที่ความเร็ว 1220 rpm



Irms = 0.83956154628473

Vrms = 2.212220815534747e+002

power = 125.691 Watts

PF1 = 0.679671

%Fundi = 88.156759

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz

=Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V

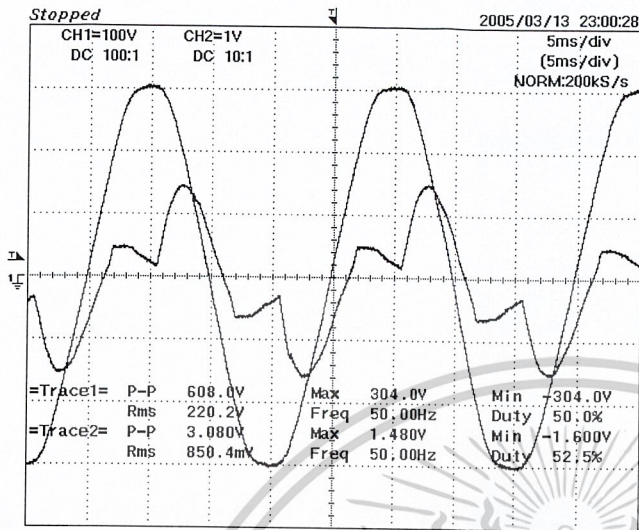
=Record Length= Main : 10K Zoom : 10K

=Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.12 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1220 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็ว 1250 rpm

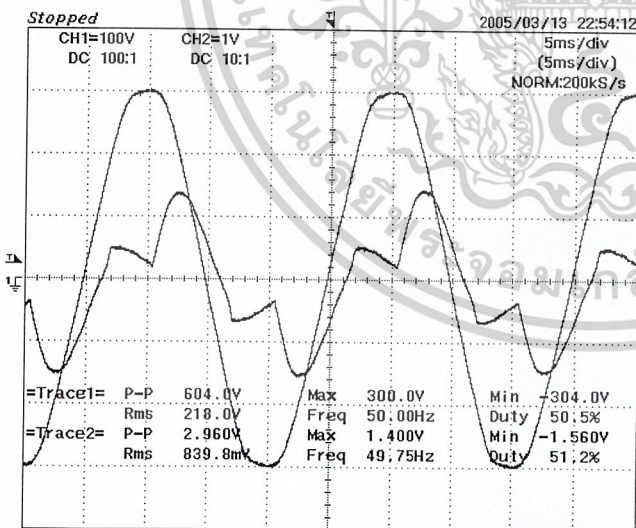


Irms = 0.83649719897917
 Vrms = 2.199185223548173e+002
 power = 129.560 Watts
 PF1 = 0.706305
 %Fundi = 90.218965

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold OFF : MINIMUM

รูปที่ 4.13 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1250 rpm

ที่ความเร็ว 1280 rpm



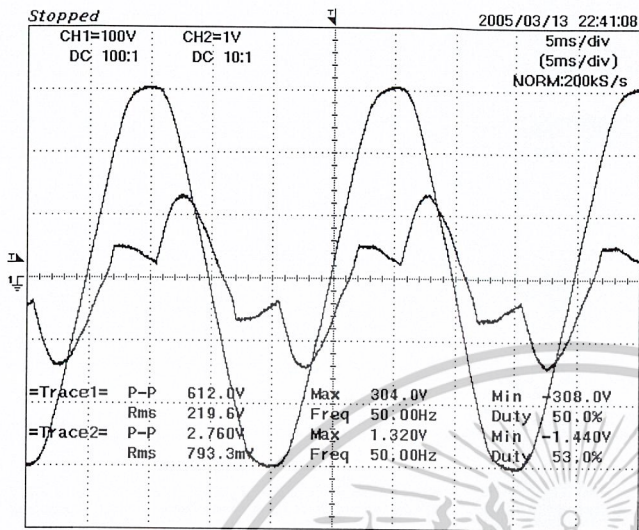
Irms = 0.82746018127762
 Vrms = 2.179275246222215e+002
 power = 130.961 Watts
 PF1 = 0.729207
 %Fundi = 91.484727

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold OFF : MINIMUM

รูปที่ 4.14 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1280 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็ว 1310 rpm



Irms = 0.78674644651247

Vrms = 2.192052796796246e+002

power = 127.459 Watts

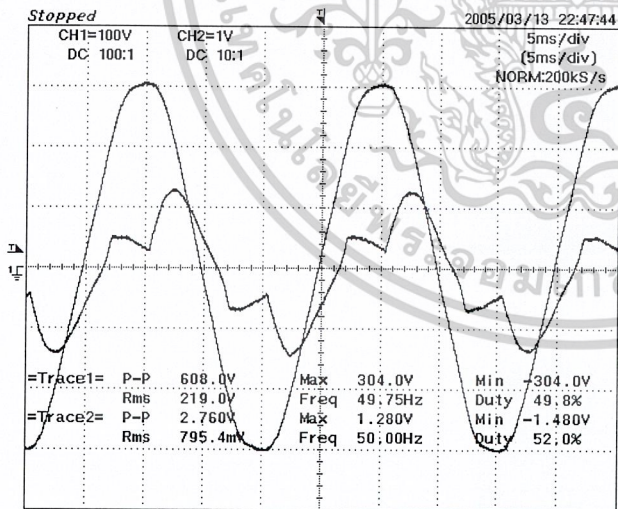
PF1 = 0.741909

%Fundi = 92.154293

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.15 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1310 rpm

ที่ความเร็ว 1340 rpm



Irms = 0.79539372992248

Vrms = 2.187440779788803e+002

power = 131.810 Watts

PF1 = 0.76185

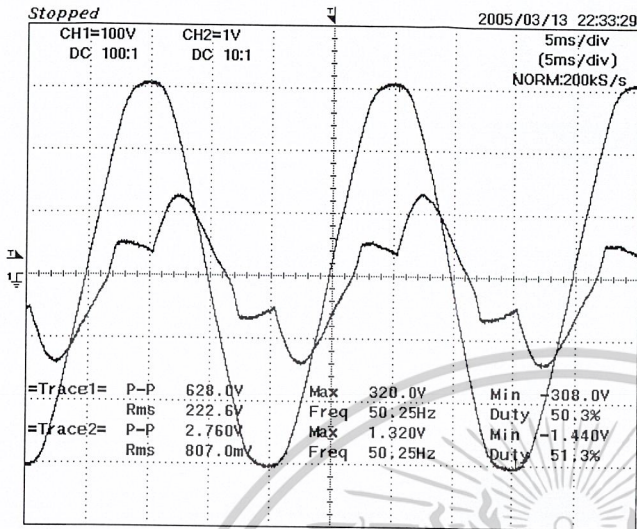
%Fundi = 93.902340

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.16 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1340 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็ว 1370 rpm



Irms = 0.79309872651518

Vrms = 2.219521990423352e+002

power = 136.188 Watts

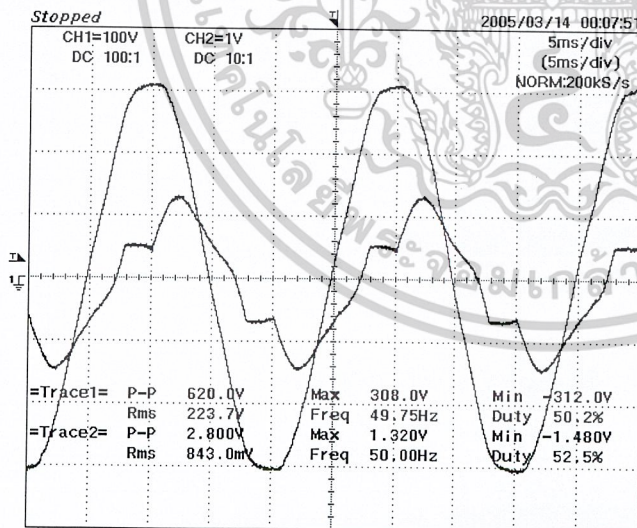
PF1 = 0.776557

%Fundi = 95.620549

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.17 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1370 rpm

ที่ความเร็ว 1400 rpm



Irms = 0.83523002813596

Vrms = 2.236115247580269e+002

power = 140.155 Watts

PF1 = 0.753820

%Fundi = 97.819984

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.18 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1400 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 บทสรุปการต่อภายในและภายนอก

จากการทดสอบมอเตอร์ทั้งสองแบบสามารถนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกันได้ดังตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1 อินพุตต์เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Input power factor)

Speed (Rpm)	อินพุตต์เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Input power factor)	
	หลักการเดิม	หลักการใหม่
1190	0.517	0.65
1220	0.519	0.67
1250	0.52	0.7
1280	0.54	0.72
1310	0.559	0.74
1340	0.578	0.76
1370	0.65	0.77
1400	0.68	0.771

ตารางที่ 4.2 Fundamental Line Current (%)

Speed (Rpm)	Fundamental Line Current (%)	
	หลักการเดิม	หลักการใหม่
1190	82.61	88.56
1220	82.737	88.561
1250	83	90.21
1280	83.625	91.48
1310	84.5	92.15
1340	84.745	93.9
1370	85.385	95.62
1400	88.59	96.819

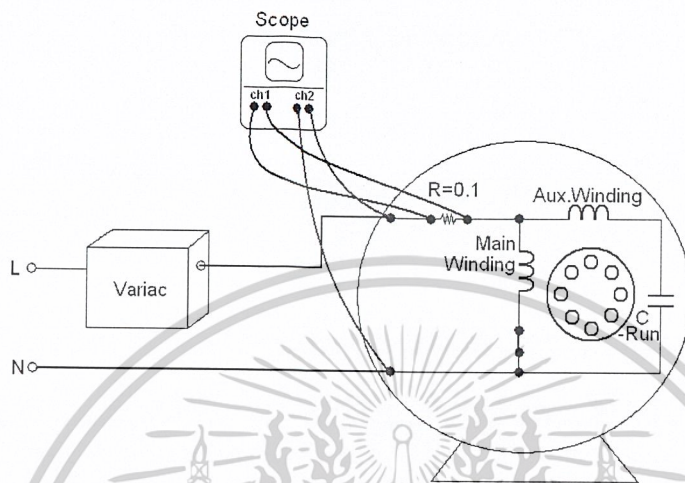
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าอินพุต (Input Power)

Speed (Rpm)	กำลังไฟฟ้าอินพุต (Input Power)	
	หลักการเดิม	หลักการใหม่
1190	130.606	127.847
1220	131.151	125.691
1250	132.699	129.56
1280	137.39	130.961
1310	141.134	127.459
1340	140.785	131.81
1370	146.525	136.188
1400	147.41	140.155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบโดยใช้เอาต์พุตของวาริแอกปรับความเร็วแทนชุดเฟสคอนโทรล



รูปที่ 4.19 แสดงวงจรการทดสอบ โดยใช้เอาต์พุตวาริแอกปรับความเร็วอินพุตไม่ใช้

4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้

- | | |
|---|-----------|
| 1. Capacitor – Run Induction Motor – 1 / 4 HP | 1 ตัว |
| 2. Ossilloscope | 1 เครื่อง |
| 3. Techometer | 1 ตัว |
| 5. วาริแอก | 1 ตัว |
| 4. สายไฟ | 1 ชุด |

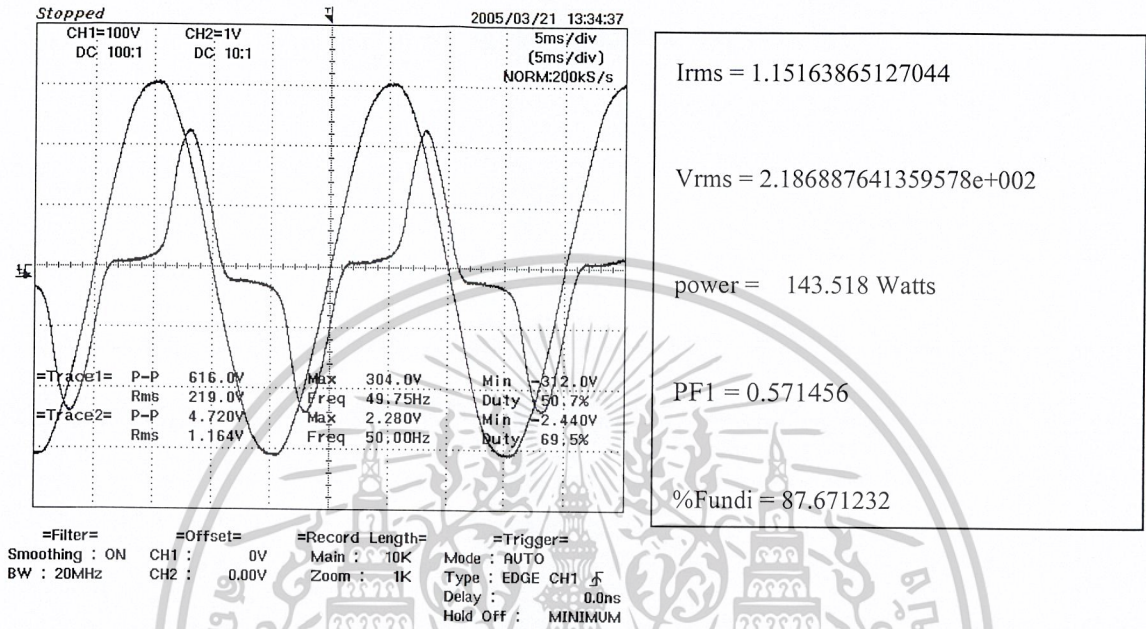
4.5.2 วิธีการทดสอบ

1. ต่อดังรูปที่ 4.19 โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตามพิกัดคือ 220 V 50 Hz
2. ค่อยๆ ปรับลดความเร็วของมอเตอร์ลงมาที่ความเร็วต่างๆ ตามตารางที่ 4.4
3. ใช้ Scope บันทึกกรุป และรหัส ASCII เพื่อไปคำนวณหาค่าต่างๆ ใน Matlab
4. บันทึกค่าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ลงในตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

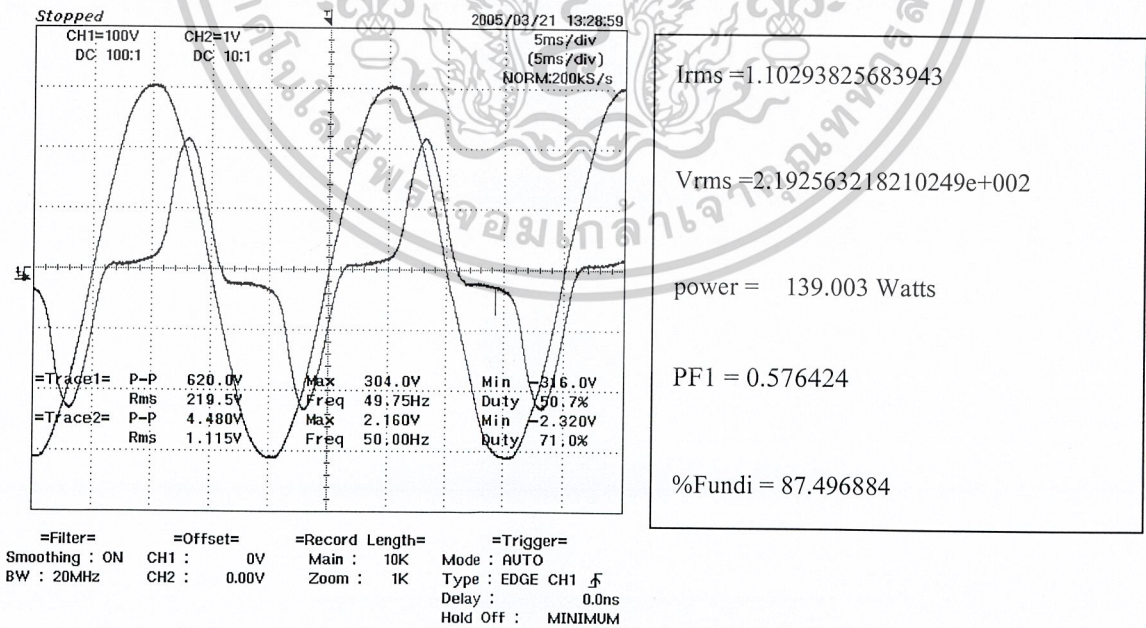
4.5.3 ผลการทดสอบมอเตอร์ที่ความเร็วต่าง ๆ โดยใช้เอาต์พุตของวาริแอกปรับความเร็วแทนชุดเฟสคอนโทรล

ที่ความเร็ว 1190 rpm



รูปที่ 4.20 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1190 rpm

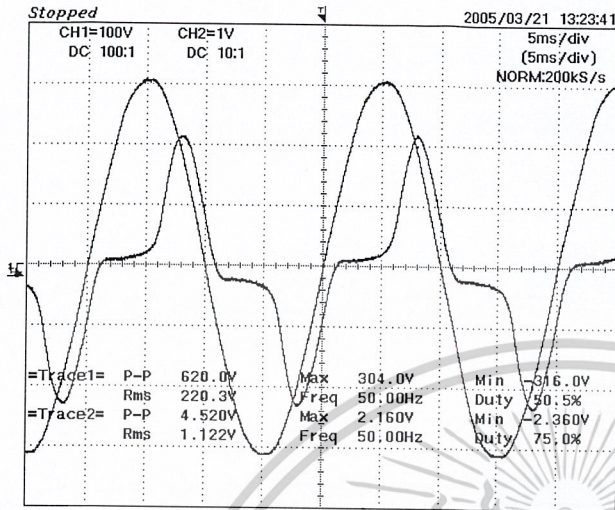
ที่ความเร็ว 1220 rpm



รูปที่ 4.21 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1220 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็ว 1250 rpm



Irms = 1.11218847305661

Vrms = 2.200293101798795e+002

power = 143.655 Watts

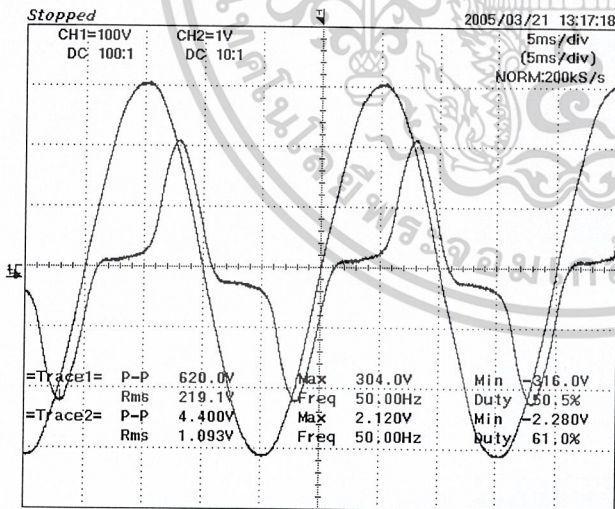
PF1 = 0.588421

%Fundi = 88.117473

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 1K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.22 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1250 rpm

ที่ความเร็ว 1280 rpm



Irms = 1.08002570668480

Vrms = 2.188934511825478e+002

power = 146.884 Watts

PF1 = 0.623080

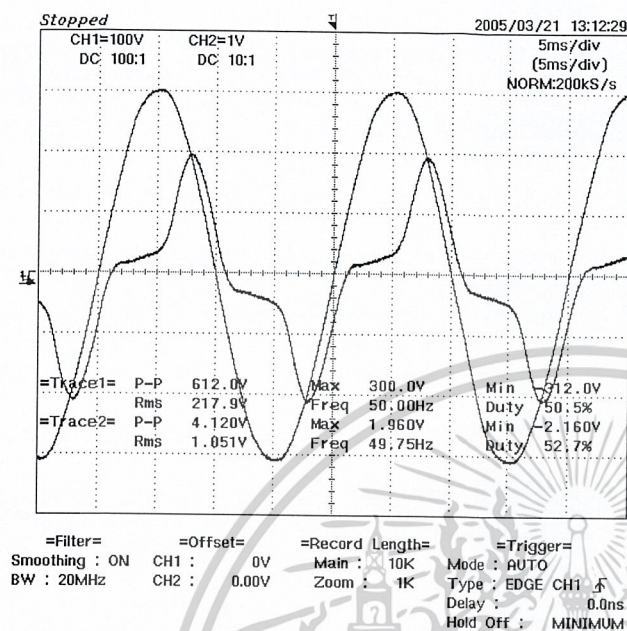
%Fundi = 88.756387

=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0V CH2 : 0.00V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 1K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.23 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1280 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็ว 1310 rpm



Irms = 1.04017426304442

Vrms = 2.176122491144135e+002

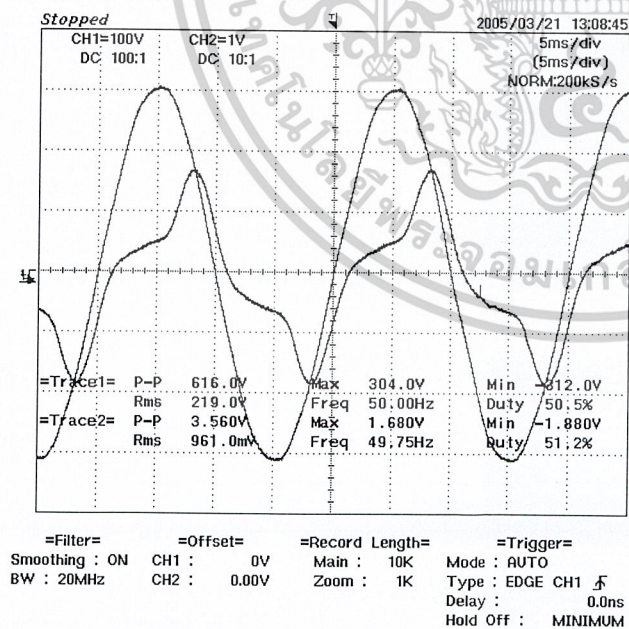
power = 149.350 Watts

PF1 = 0.661921

%Fund1 = 90.449774

รูปที่ 4.24 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1310 rpm

ที่ความเร็ว 1340 rpm



Irms = 0.94574244252862

Vrms = 2.187283183302521e+002

power = 147.816 Watts

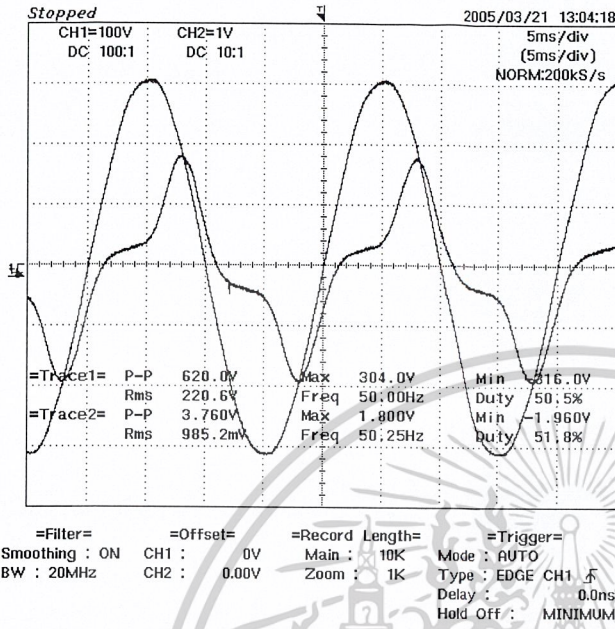
PF1 = 0.717126

%Fund1 = 92.941468

รูปที่ 4.25 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1340 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็ว 1370 rpm



Irms = 0.97833276910262

Vrms = 2.203848180463702e+002

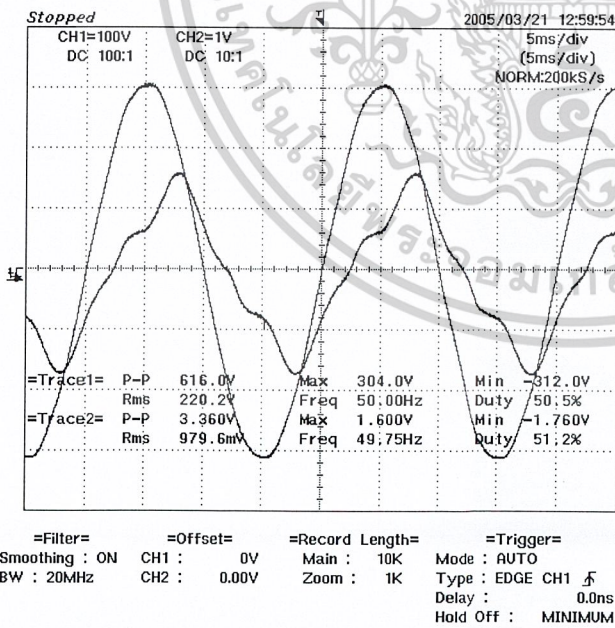
power = 149.745 Watts

PF1 = 0.696614

%Fundi = 92.279739

รูปที่ 4.26 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1370 rpm

ที่ความเร็ว 1400 rpm



Irms = 0.96643094300628

Vrms = 2.198150945089078e+002

power = 157.486 Watts

PF1 = 0.743894

%Fundi = 97.675382

รูปที่ 4.27 แสดงรูปคลื่นและค่าที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่ความเร็ว 1370 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 บทสรุปของการนำวาริแอกต์ต่อควบคุมความเร็วแทนชุดเฟสคอนโทรล

จากการทดสอบมอเตอร์ทั้งสองแบบสามารถนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน ได้ดังตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.4 อินพุตต์เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Input power factor) หลักการเดิม

Speed (Rpm)	อินพุตต์เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Input power factor) หลักการเดิม
1190	0.571
1220	0.576
1250	0.588
1280	0.623
1310	0.661
1340	0.717
1370	0.696
1400	0.743

ตารางที่ 4.5 Fundamental Line Current (%) หลักการเดิม

Speed (Rpm)	Fundamental Line Current (%) หลักการเดิม
1190	87.671
1220	87.496
1250	88.117
1280	88.756
1310	90.449
1340	92.941
1370	92.279
1400	97.675

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 กำลังไฟฟ้าอินพุต (Input Power) หลักการเดิม

Speed (Rpm)	กำลังไฟฟ้าอินพุต (Input Power) หลักการเดิม
1190	143.518
1220	142.003
1250	143.655
1280	146.884
1310	149.35
1340	148.816
1370	149.745
1400	157.486

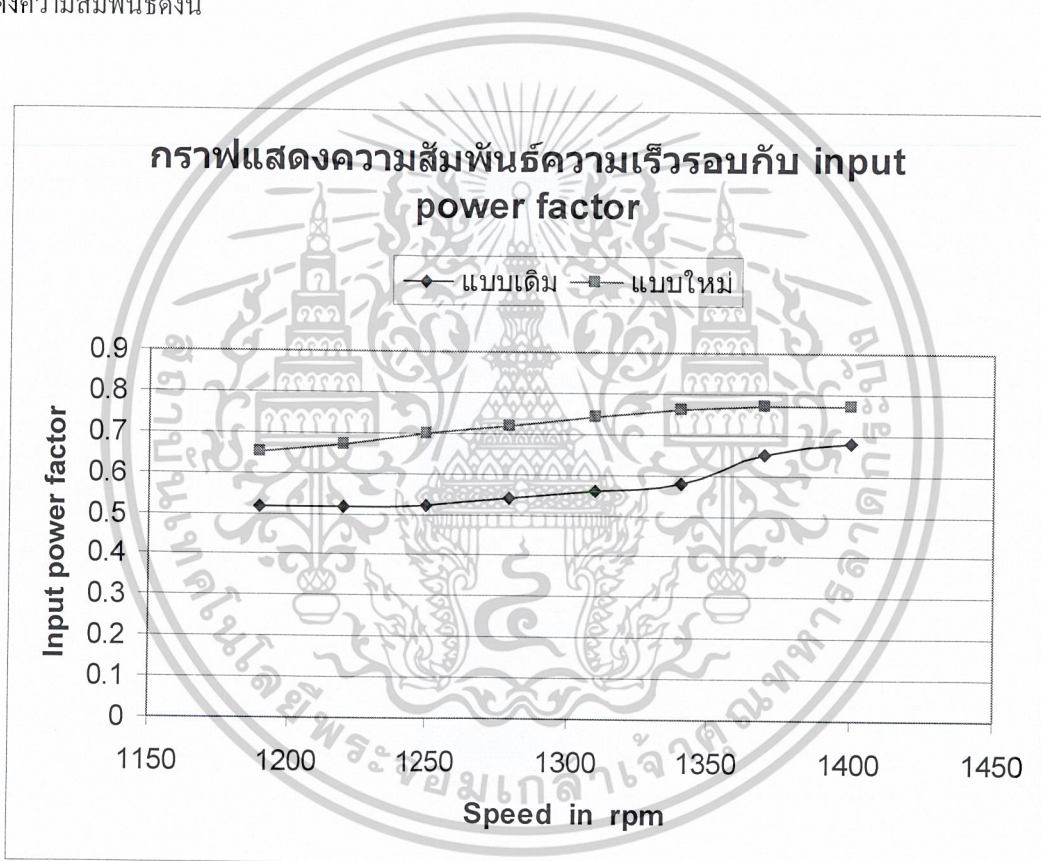
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 เปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลอง

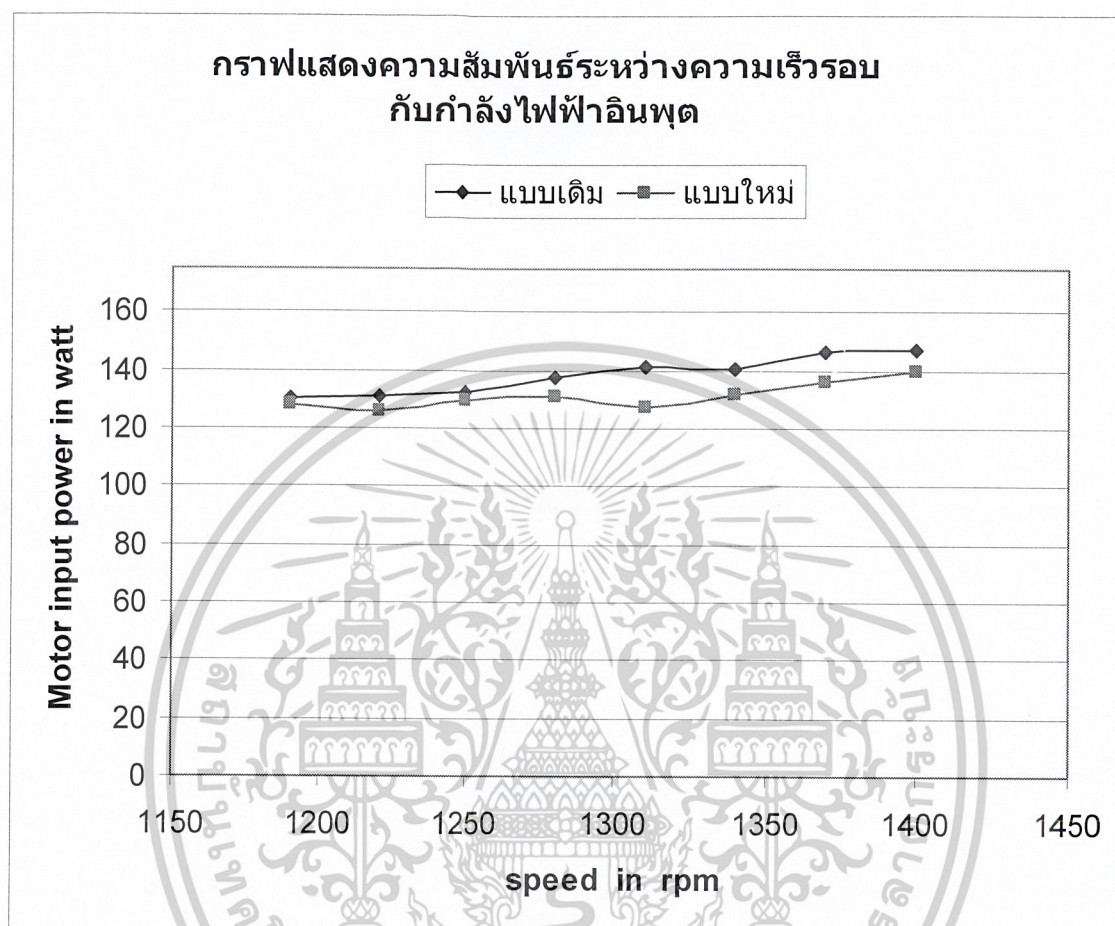
จากผลการทดสอบและการวิจารณ์ จะเห็นได้ว่าเทคนิคการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบใช้หลักการใหม่ สามารถปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของมอเตอร์ให้ดีขึ้นซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังนี้



กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ input power factor

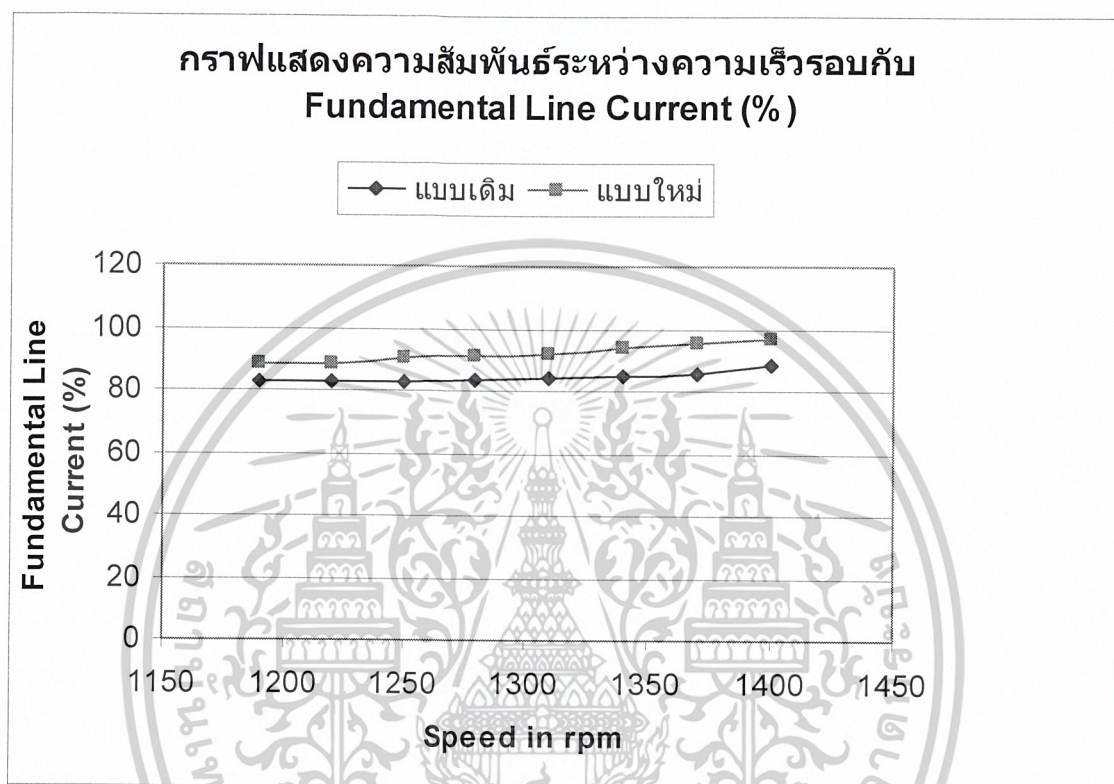
จากกราฟที่ 1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ input power factor โดย input power factor ของเทคนิคการควบคุมแบบหลักการใหม่นั้น input power factor จะมีค่ามากกว่า input power factor ของการควบคุมแบบหลักการเดิม และประสิทธิภาพของมอเตอร์จะดีขึ้นเฉลี่ยประมาณ 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าอินพุต

จากกราฟที่ 2 จะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าอินพุต จากการควบคุมแบบหลักการใหม่ จะมีค่าน้อยกว่าการต่อแบบหลักการเดิมในทุก ๆ ความเร็ว

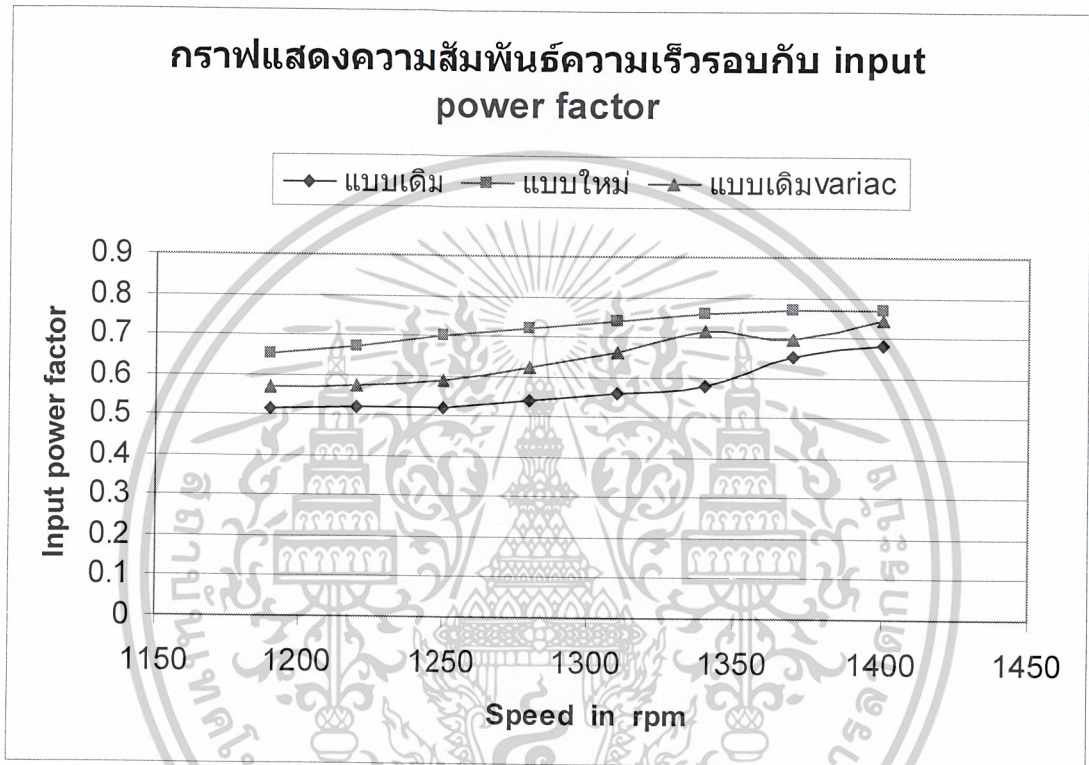


กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ Fundamental Line Current (%)

จากกราฟที่ 3 เป็นกราฟเปรียบเทียบ Fundamental Line Current (%) กับความเร็วรอบ โดยจะเห็นได้ว่าการควบคุมมอเตอร์แบบหลักการใหม่ Fundamental Line Current (%) ที่ได้จะมีค่ามากกว่าการควบคุมแบบหลักการเดิมในทุก ๆ ค่าความเร็ว

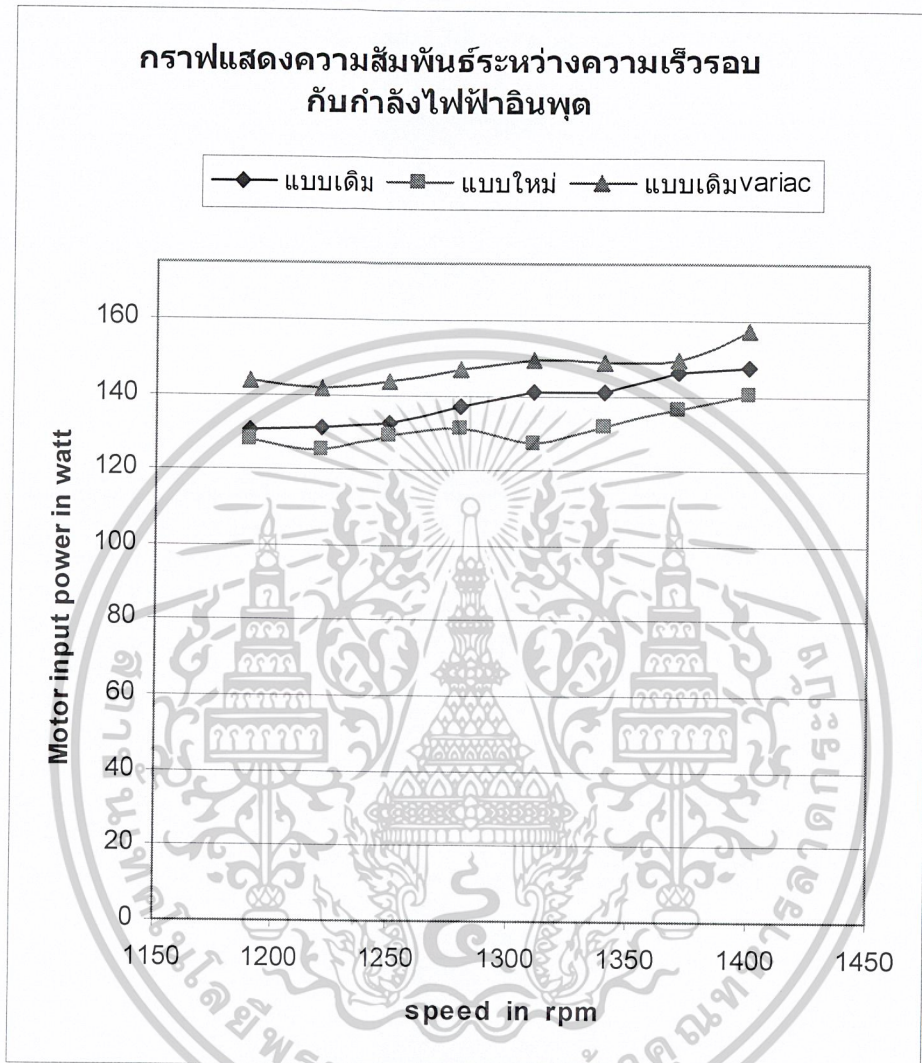
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เห็นความแตกต่างมากขึ้นเราจึงนำค่าที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 แบบ คือ แบบเดิมที่ใช้กันทั่วไป แบบใหม่ที่เรานำเสนอ และนำวาริแอกมาปรับความเร็ว มาเปรียบเทียบในกราฟเดียวกันเพื่อให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น



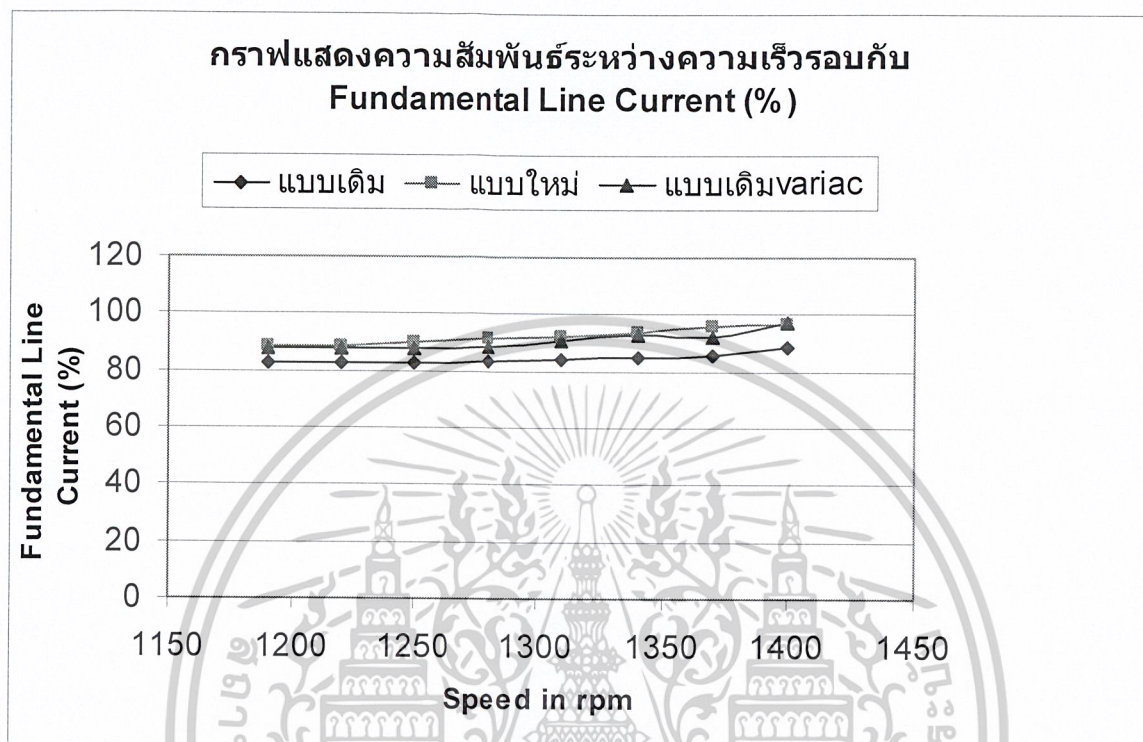
กราฟที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ input power factor โดยเทียบกันสามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าอินพุตของการต่อทั้งสามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ Fundamental Line Current (%)
ของการต่อทั้งสามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาและการทดสอบโครงการ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ชุดเฟสคอนโทรลที่สร้างขึ้นมีความสมบูรณ์แบบสำหรับการใช้งานขับเคลื่อนมอเตอร์ สามารถที่จะขับเคลื่อนมอเตอร์อินดักชันคาปาซิเตอร์รัน 1 เฟสขนาด $\frac{1}{4}$ แรงม้าได้เป็นอย่างดี
2. อุปกรณ์ชุดเฟสคอนโทรลนี้เหมาะกับงานที่ใช้โหลดเบา ๆ เช่น มอเตอร์พัดลม เครื่องดูดควัน เครื่องซักผ้า ระบบสายพาน เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์นี้จะทำให้ประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการทำให้มอเตอร์เดินโดยไม่มีอุปกรณ์ควบคุม
3. ผลจากการทดลองการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบหลักการใหม่ จะช่วยในการปรับปรุงค่าของ Input power factor, Input watt, %fundamental ได้ดีกว่าแบบหลักการเดิม และช่วยขจัด line harmonic current อีกด้วย
4. การควบคุมความเร็วของมอเตอร์อินดักชันคาปาซิเตอร์รัน โดยใช้ชุดเฟสคอนโทรลสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ดีในช่วง 1100 – 1450 รอบต่อนาที ส่วนช่วงที่ความเร็วต่ำ ๆ กระแสขณะสตาร์ทมีค่าประมาณ 400 – 500 % ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความเร็วในช่วงนี้จะไม่มีเสถียรภาพ
5. ในการ turn off ขณะต่อชุดเฟสคอนโทรลตามหลักการใหม่จะเกิดปัญหาเนื่องจากเกิด Induce ขึ้น เนื่องจากกระแสกระตุ่น
6. อุปกรณ์นี้มีขีดจำกัดในการควบคุมเพื่อให้ได้ค่า Input power factor เนื่องจากผลของการใช้ phase control ทำให้แรงดันที่ได้ในช่วงที่มูมทริก Triac สูงกระแสจะกระเพื่อมจากการคืนพลังงาน ทำให้ค่า power factor ที่ได้ไม่นับ แนวทางการแก้ไขอาจเปลี่ยนการควบคุมแรงดันไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค PWM Ac to Ac อย่างไรก็ตามก็ตามความซับซ้อนของวงจรและต้นทุนของอุปกรณ์ในวงจรดังกล่าวจึงไม่เป็นการนิยม ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เฟสเดียว
7. สามารถนำความรู้และความเข้าใจเป็นแนวทางการควบคุมมอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดกำลังใหญ่ขึ้นหรือสามารถขับเคลื่อนมอเตอร์หลาย ๆ ขนาดในอุตสาหกรรมผลิตอื่น ๆ เช่น มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น



ภาคผนวก ก.
โปรแกรมวิเคราะห์ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clear all;close all;
format long
n=2000;

r=1;
fs=50;
A=sqrt(2);
%-----
% voltage
%-----
cd a:\DL_MISC
load V001.csv
tt=200e3/fs;
a=fft(V001(1:tt));
b=abs(a);
c=b/(tt/2);
c(1)=c(1)/200;
c11=c/A;
c11(1)=c(1);

figure(1)
bar(c11(1:n),0.2);

xlabel('harmonics order')
ylabel('Volts')
title('harmonics analysis')

V_abs=abs(c(1:n));
V_m(1)=V_abs(1);
V_m(2:n)=V_abs(2:n);
V_mp=V_m*100/V_m(1);
V_a(1)=(180/pi)*angle(a(1));
V_a(2:n)=(180/pi)*angle(a(2:n))+90;
%-----
%-----
% current
%-----
cd a:\DL_MISC
load I001.csv
tt1=200e3/fs;
a1=fft(I001(1:tt1));
b1=abs(a1);
c1=b1/(tt1/2);
c1(1)=c1(1)/2;

```



```
c12=c1/A;
c12(1)=c1(1)/200;
```

```
figure(2)
bar(c12(1:n),0.2);
```

```
xlabel('harmonics order')
ylabel('Amps')
title('harmonics analysis')
```

```
I_abs=abs(c1(1:n));
I_m(1)=I_abs(1);
I_m(2:n)=I_abs(2:n);
I_mp=I_m*100/I_m(2);
I_a(1)=(180/pi)*angle(a1(1));
I_a(2:n)=(180/pi)*angle(a1(2:n))+90;
%-----
```

```
ph_diff=V_a-I_a;
P(1)=V_m(1)*I_m(1);
P(2:n)=((0.5)*V_m(2:n).*I_m(2:n).*cos(pi/180*ph_diff(2:n)));
Po_ac=sum(P) %*****
%%IRMS%%%%
Irms1(1)=(I_m(1))^2;
Irms1(2:n)=0.5*(I_m(2:n)).^2;
Irms2=sum(Irms1);
Irms=sqrt(Irms2)
```

```
%%VRMS%%%%
Vrms1(1)=(V_m(1))^2;
Vrms1(2:n)=0.5*(V_m(2:n)).^2;
Vrms2=sum(Vrms1);
Vrms=sqrt(Vrms2)
%-----
```

```
for k=3:n;
    I_dis1(k)=(I_m(k)/A)^2;
    V_dis1(k)=(V_m(k)/A)^2;
end
I_dis1(1)=0;
V_dis1(1)=0;
I_dis1(2)=0;
V_dis1(2)=0;
```

```
%-----
%           Analysis Line
%-----
```

```
I_dis=sqrt(sum(I_dis1));
V_dis=sqrt(sum(V_dis1));
Is=sqrt((I_m(2)/A)^2+sum(I_dis1));
Vs=sqrt((V_m(2)/A)^2+sum(V_dis1));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DFI=I_m(2)/Is;
DFV=V_m(2)/Vs;
DPF=cos(ph_diff(1)*pi/180);
PF=I_m(1)*DPF/Is;
PF1=sum(P)/(Vs*Is);
THDI=(1/(Irms/((I_m(2)/A))))*100;
THDV=V_dis*100/((V_m(2)/A));
%-----
%fprintf('          Voltage          Current\n')
%fprintf(' harmonic  %% magnitude phase  %% magnitude phase power phase_diff.\n')
%for k=1:n
% fprintf('%10.0f %10.3f %10.3f %10.3f %10.3f %10.3f %10.3f %10.3f %10.3f\n',k-
1,V_mp(k),V_m(k),V_a(k),I_mp(k),I_m(k),I_a(k),P(k),ph_diff(k))
%end
fprintf(' power = %10.3f Watts\n',sum(P))
fprintf(' DFi = %f\n',DFI)
fprintf(' DFv = %f\n',DFV)
fprintf(' DPF = %f\n',DPF)
fprintf(' PF = %f\n',PF)
fprintf(' PF1 = %f\n',PF1)
fprintf(' %%THDi = %f\n',THDI)
fprintf(' %%THDv = %f\n',THDV)

```

```

figure(3)
bar(P(1:n),0.2);

xlabel('harmonics order')
ylabel('WATT')
title('harmonics analysis')

```

```

figure(4)
bar(ph_diff(1:n),0.2);

xlabel('harmonics order')
ylabel('Phase')
title('harmonics analysis')

```

??
??
??
??



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
DATASHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOC3040, MOC3041, MOC3042, MOC3043
MOC3040X, MOC3041X, MOC3042X, MOC3043X



OPTICALLY COUPLED BILATERAL SWITCH LIGHT ACTIVATED ZERO VOLTAGE CROSSING TRIAC

'X' SPECIFICATION APPROVALS

- VDE 0884 in 3 available lead form : -
- STD
- G form
- SMD approved to CECC 00802

DESCRIPTION

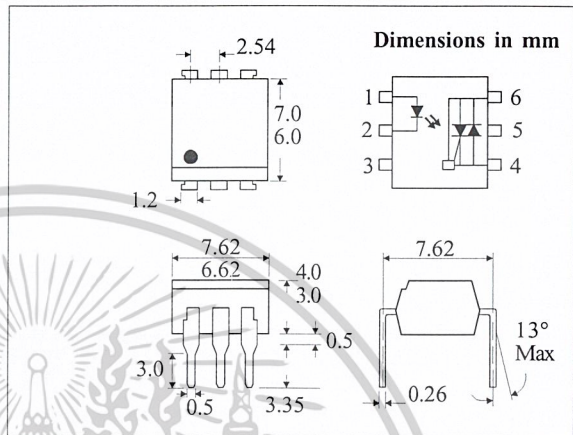
The MOC304 Series are optically coupled isolators consisting of a Gallium Arsenide infrared emitting diode coupled with a monolithic silicon detector performing the functions of a zero crossing bilateral triac mounted in a standard 6 pin dual-in-line package.

FEATURES

- Options :-
10mm lead spread - add G after part no.
Surface mount - add SM after part no.
Tape&reel - add SMT&R after part no.
- High Isolation Voltage (5.3kV_{RMS}, 7.5kV_{PK})
- Zero Voltage Crossing
- 400V Peak Blocking Voltage
- All electrical parameters 100% tested
- Custom electrical selections available

APPLICATIONS

- CRTs
- Power Triac Driver
- Motors
- Consumer appliances
- Printers



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (25 °C unless otherwise noted)

Storage Temperature	-55°C - +150°C
Operating Temperature	-40°C - +100°C
Lead Soldering Temperature (1.6mm from case for 10 seconds)	260°C

INPUT DIODE

Forward Current	50mA
Reverse Voltage	6V
Power Dissipation (derate linearly 1.41mW/°C above 25°C)	120mW

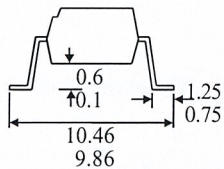
OUTPUT PHOTO TRIAC

Off-State Output Terminal Voltage	400V
Forward Current (Peak)	1A
Power Dissipation (derate linearly 1.76mW/°C above 25°C)	150mW

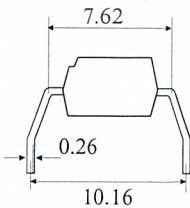
POWER DISSIPATION

Total Power Dissipation (derate linearly 2.94mW/°C above 25°C)	250mW
--	-------

OPTION SM SURFACE MOUNT



OPTION G



ISOCOM COMPONENTS LTD

Unit 25B, Park View Road West,
Park View Industrial Estate, Brenda Road
Hartlepool, TS25 1YD England Tel: (01429)863609
Fax : (01429) 863581 e-mail sales@isocom.co.uk
http://www.isocom.com

ISOCOM INC

1024 S. Greenville Ave, Suite 240,
Allen, TX 75002 USA
Tel: (214) 495-0755 Fax: (214) 495-0901
e-mail info@isocom.com
http://www.isocom.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ ISOCOM COMPONENTS LTD. การใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก ISOCOM COMPONENTS LTD.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise noted)

PARAMETER		MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITION
Input	Forward Voltage (V_F)		1.2	1.4	V	$I_F = 20\text{mA}$ $V_R = 6\text{V}$
	Reverse Current (I_R)			10	μA	
Output	Peak Off-state Current (I_{DRM})	400		500	nA	$V_{\text{DRM}} = 400\text{V}$ (note 1) $I_{\text{DRM}} = 500\text{nA}$ $I_{\text{TM}} = 100\text{mA}$ (peak)
	Peak Blocking Voltage (V_{DRM})				V	
	On-state Voltage (V_{TM})				3.0	
	Critical rate of rise of off-state Voltage (dv/dt)	600	1500		V/ μs	
Coupled	Input Current to Trigger (I_{FT}) (note 2)					$V_{\text{TM}} = 3\text{V}$ (note 2)
	MOC3040			30	mA	
	MOC3041			15	mA	
	MOC3042			10	mA	
	MOC3043			5	mA	
	Holding Current , either direction (I_H)		400		μA	See note 3
	Input to Output Isolation Voltage V_{ISO}	5300			V_{RMS} V_{PK}	
		7500				See note 3
Zero Crossing Characteristic	Inhibit Voltage (V_{IH})			20	V	$I_F = \text{Rated } I_{\text{FT}}$ MT1-MT2 Voltage above which device will not trigger $I_F = \text{Rated } I_{\text{FT}}$ $V_{\text{DRM}} = \text{Rated } V_{\text{DRM}}$ Off-state
	Leakage in Inhibited State (I_g)			500	mA	

Note 1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.

Note 2. Guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max. I_{FT} , recommended I_F lies between Rated I_{FT} and absolute max. I_F .

Note 3. Measured with input leads shorted together and output leads shorted together.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTIC CURVES

Fig.1 Forward Current vs. Ambient Temperature

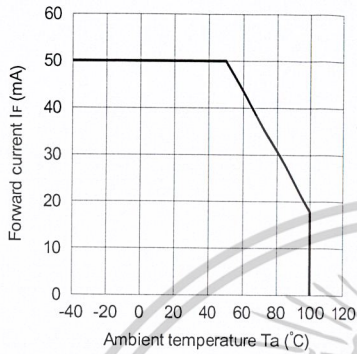


Fig.2 On-state Current vs. Ambient Temperature

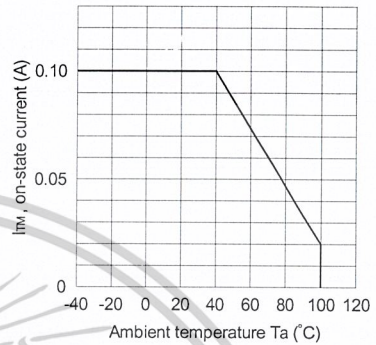


Fig.3 Minimum Trigger Current vs. Ambient Temperature

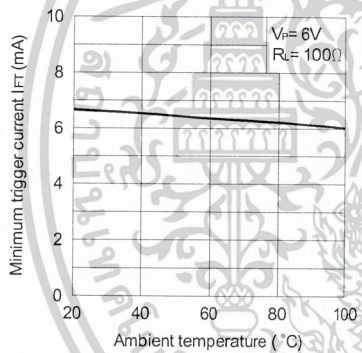


Fig.4 Forward Current vs. Forward Voltage

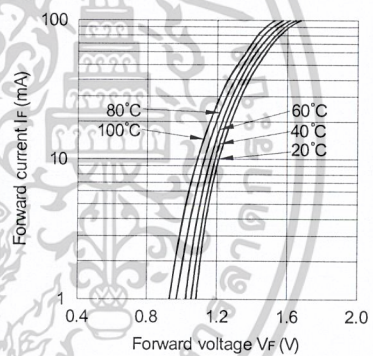


Fig.5 On-state Voltage vs. Ambient Temperature

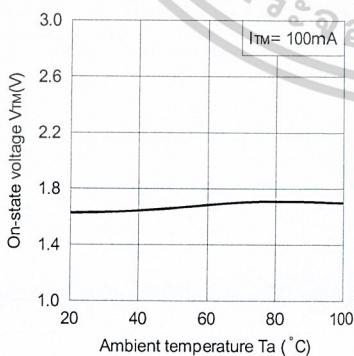
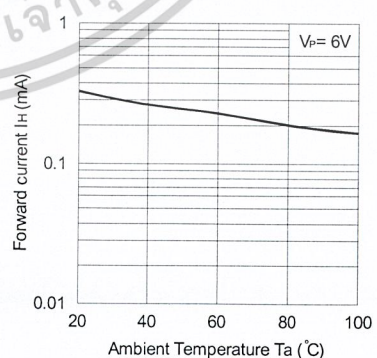


Fig.6 Holding Current vs. Ambient Temperature



CHARACTERISTIC CURVES

Fig.7 Turn-on Time vs. Forward Current

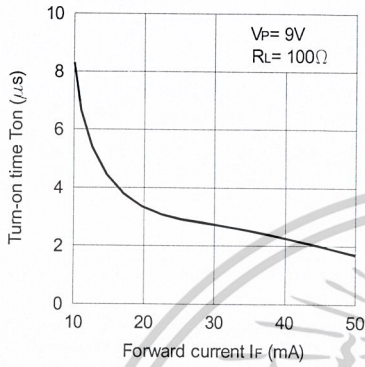


Fig.8 Repetitive Peak Off-state Current vs. Temperature

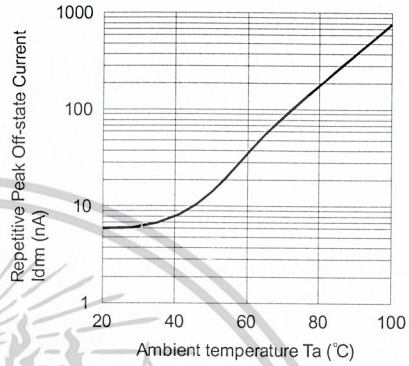
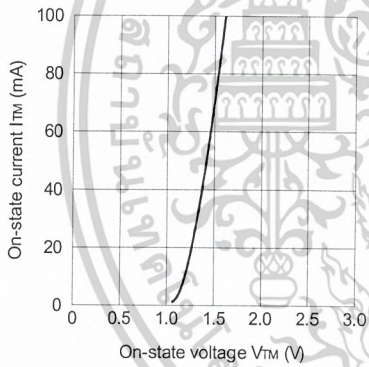
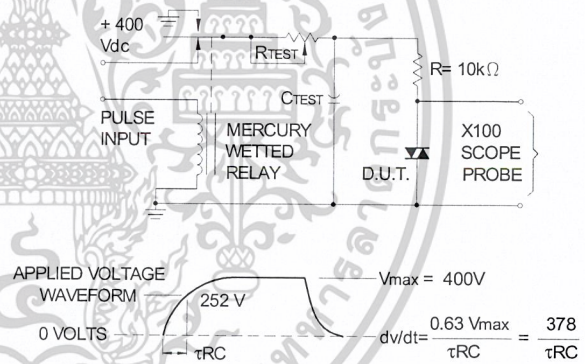


Fig.9 On-state Current vs. On-state Voltage



Static dv/dt Test Circuit





6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output (400 Volts Peak)

The MOC3041, MOC3042 and MOC3043 devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a Zero Voltage Crossing bilateral triac driver.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115 Vac lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

- Simplifies Logic Control of 115 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- dv/dt of 2000 V/μs Typical, 1000 V/μs Guaranteed
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lighting Controls
- Static Power Switches
- AC Motor Drives
- Temperature Controls
- E.M. Contactors
- AC Motor Starters
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INFRARED EMITTING DIODE

Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/°C

OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 μs, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/°C

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	mW/°C
Junction Temperature Range	T_J	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	T_L	260	°C

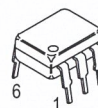
1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
 2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.
- Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

(Replaces MOC3040/D)

MOC3041
[IFT = 15 mA Max]
MOC3042
[IFT = 10 mA Max]
MOC3043*
[IFT = 5 mA Max]

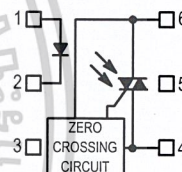
*Motorola Preferred Device

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL



MOC3041 MOC3042 MOC3043

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LED					
Reverse Leakage Current ($V_R = 6\text{ V}$)	I_R	—	0.05	100	μA
Forward Voltage ($I_F = 30\text{ mA}$)	V_F	—	1.3	1.5	Volts

OUTPUT DETECTOR ($I_F = 0$ unless otherwise noted)

Leakage with LED Off, Either Direction (Rated $V_{DRM}^{(1)}$)	I_{DRM1}	—	2	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction ($I_{TM} = 100\text{ mA Peak}$)	V_{TM}	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage ⁽³⁾	dv/dt	1000	2000	—	V/ μs

COUPLED

LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V ⁽²⁾)	I_{FT}	—	—	15	mA
MOC3041	—	—	—	10	
MOC3042	—	—	—	5	
MOC3043	—	—	—	—	
Holding Current, Either Direction	I_H	—	250	—	μA
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$)	V_{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)

ZERO CROSSING

Inhibit Voltage ($I_F = \text{Rated } I_{FT}$, MT1–MT2 Voltage above which device will not trigger.)	V_{IH}	—	5	20	Volts
Leakage in Inhibited State ($I_F = \text{Rated } I_{FT}$, Rated V_{DRM} , Off State)	I_{DRM2}	—	—	500	μA

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT} . Therefore, recommended operating I_F lies between I_{FT} (15 mA for MOC3041, 10 mA for MOC3042, 5 mA for MOC3043) and absolute max I_F (60 mA).
3. This is static dv/dt. See Figure 7 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_A = 25^\circ\text{C}$

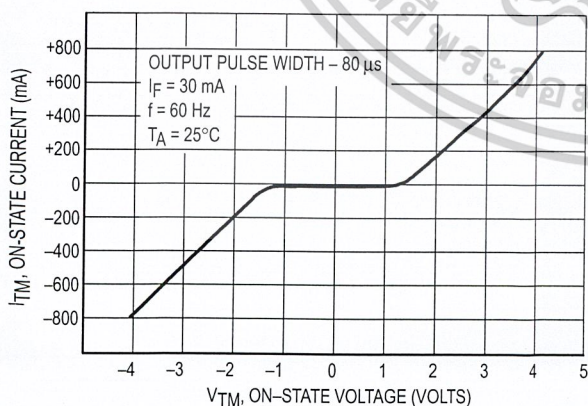


Figure 1. On-State Characteristics

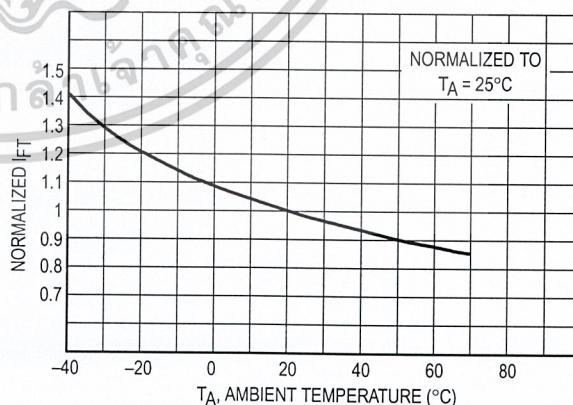


Figure 2. Trigger Current versus Temperature

MOC3041 MOC3042 MOC3043

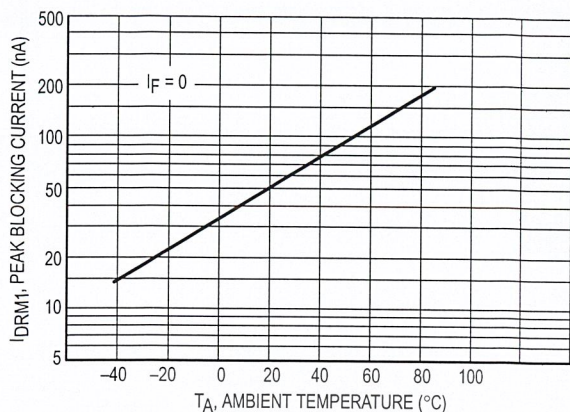


Figure 3. IDRM1, Peak Blocking Current versus Temperature

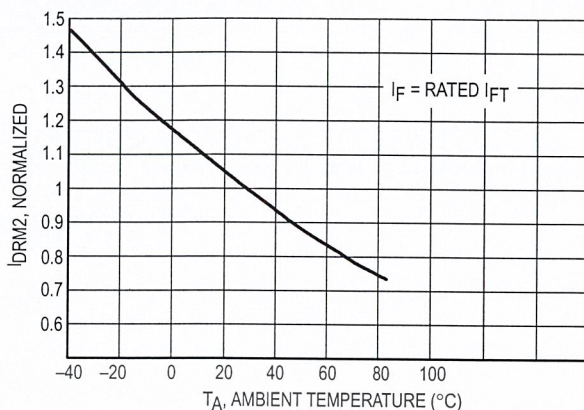


Figure 4. IDRM2, Leakage in Inhibit State versus Temperature

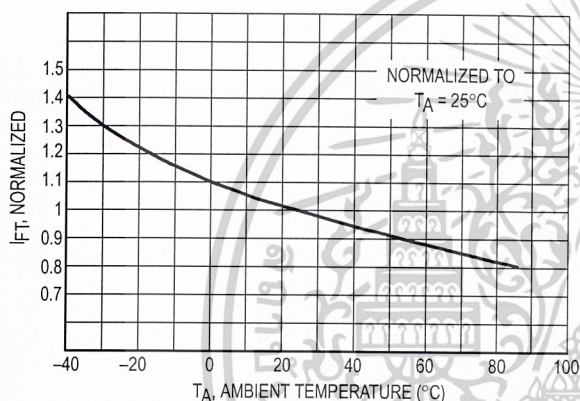


Figure 5. Trigger Current versus Temperature

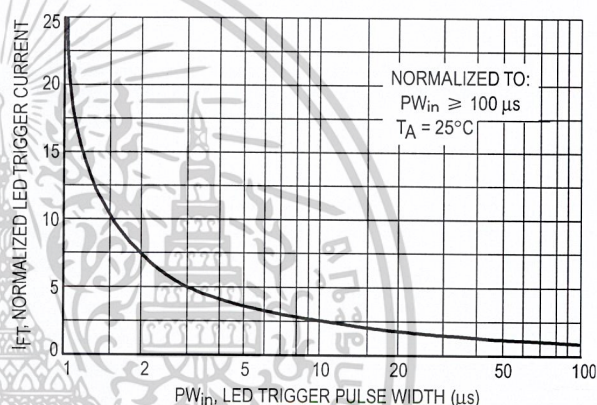
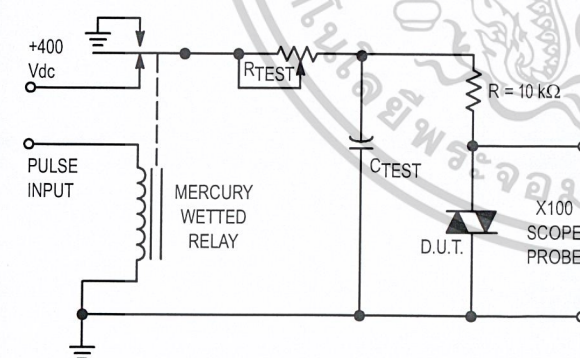


Figure 6. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width



1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable RTEST allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τ_{RC} is measured at this point and recorded.

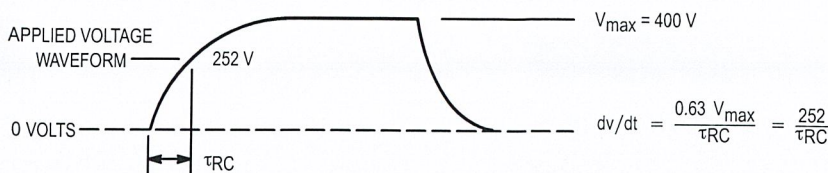
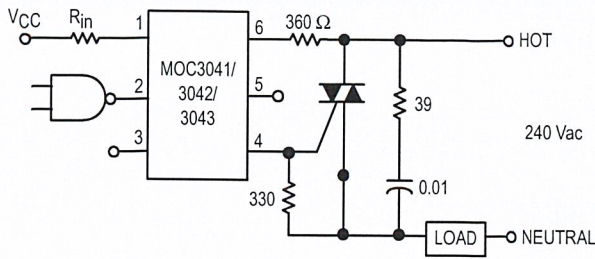


Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

MOC3041 MOC3042 MOC3043

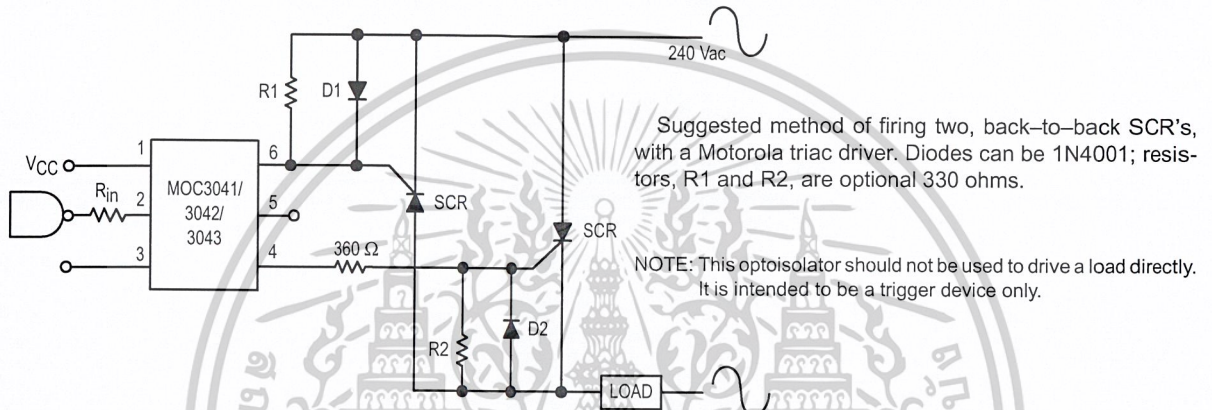


Typical circuit for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to either the neutral or hot line.

R_{in} is calculated so that I_F is equal to the rated I_{FT} of the part, 5 mA for the MOC3043, 10 mA for the MOC3042, or 15 mA for the MOC3041. The 39 ohm resistor and 0.01 μ F capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

* For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Figure 8. Hot-Line Switching Application Circuit



Suggested method of firing two, back-to-back SCR's, with a Motorola triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohms.

NOTE: This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

Figure 9. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit

MOC3041 MOC3042 MOC3043

PACKAGE DIMENSIONS

NOTES:

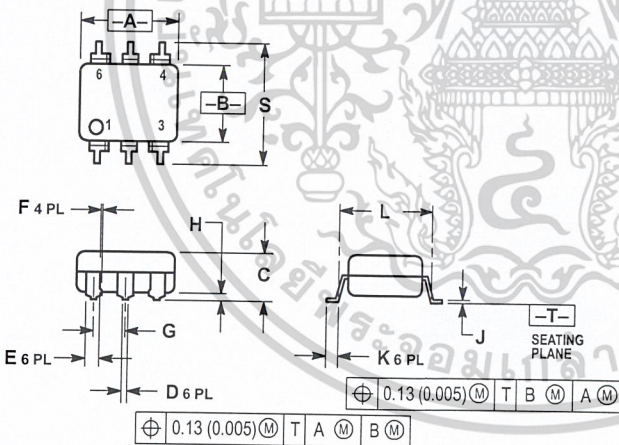
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.015	0.100	0.38	2.54

STYLE 6:

- PIN 1. ANODE
- CATHODE
- NC
- MAIN TERMINAL
- SUBSTRATE
- MAIN TERMINAL

CASE 730A-04 ISSUE G



NOTES:

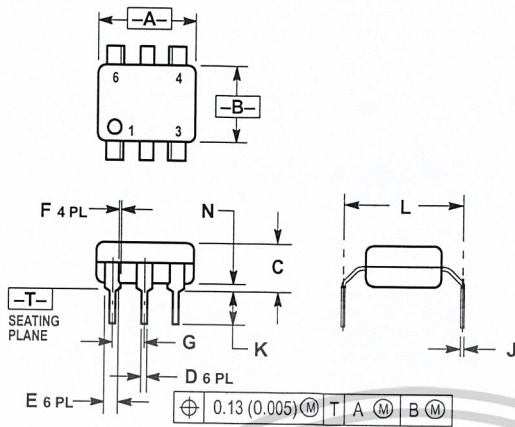
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.020	0.025	0.51	0.63
J	0.008	0.012	0.20	0.30
K	0.006	0.035	0.16	0.88
L	0.320 BSC		8.13 BSC	
S	0.332	0.390	8.43	9.90

*Consult factory for leadform option availability

CASE 730C-04 ISSUE D

MOC3041 MOC3042 MOC3043



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.400	0.425	10.16	10.80
N	0.015	0.040	0.38	1.02

*Consult factory for leadform option availability

CASE 730D-05
ISSUE D



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

MOC3041/D

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเว็บไซต์นี้



MICRO ELECTRONICS

2N2222
PN2222
2N2222A
PN2222A

THE 2N2222, 2N2222A, PN2222, PN2222A ARE NPN SILICON PLANAR EPITAXIAL TRANSISTORS FOR GENERAL PURPOSE AMPLIFIERS AND MEDIUM SPEED SWITCHING APPLICATIONS. THEY ARE COMPLEMENTARY TO THE PNP TYPE 2N2907, 2N2907A, PN2907, PN2907A RESPECTIVELY. THE 2N2222, 2N2222A ARE PACKED IN TO-18. THE PN2222, PN2222A ARE PACKED IN TO-92A.

CASE TO-18

CASE TO-92A



CBE



EBC

2N2222
2N2222A

PN2222
PN2222A

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

		2N2222	2N2222A	PN2222	PN2222A
Collector-Base Voltage	V _{CB0}	60V	75V	60V	75V
Collector-Emitter Voltage	V _{CEO}	30V	40V	30V	40V
Emitter-Base Voltage	V _{EB0}	5V	6V	5V	6V
Collector Current	I _C	0.8A	0.8A	0.8A	0.8A
Total Power Dissipation (T _C ≤ 25°C)	P _{tot}	1.8W	1.8W	1.2W	1.2W
(T _A ≤ 25°C)		500mW	500mW	500mW	500mW
Junction Temperature	T _j	175°C	175°C	150°C	150°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to 200°C		-55 to 150°C	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A=25°C unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	2N2222	2N2222A	UNIT	TEST CONDITIONS
		PN2222	PN2222A		
		MIN	MAX	MIN	MAX
Collector-Base Breakdown Voltage	BV _{CB0}	60	75	V	I _C =0.01mA I _E =0
Collector-Emitter Breakdown Voltage	LV _{CEO} *	30	40	V	I _C =10mA I _B =0
Emitter-Base Breakdown Voltage	BV _{EB0}	5	6	V	I _E =0.01mA I _C =0
Collector Cutoff Current	I _{CB0}	10	10	nA	V _{CB} =50V I _E =0
				nA	V _{CB} =60V I _E =0
				μA	V _{CB} =50V I _E =0 T _A =-150°C
Collector Cutoff Current	I _{CEV}	10	10	nA	V _{CE} =60V V _{EB} =3V
				μA	V _{CB} =60V I _E =0 T _A =-150°C
Emitter Cutoff Current	I _{EB0}	10	10	nA	V _{EB} =3V I _C =0
Base Cutoff Current	I _{BL}		20	nA	V _{CE} =60V V _{EB} =3V

MICRO ELECTRONICS LTD. 美科有限公司

38 Hung To Road, Kwun Tong, Kowloon, Hong Kong. Cable: Microtron, Hong Kong. Telex: 43510 Micro Hx.

P.O. Box 49477, Kwun Tong, Tel: 3-430181-6, 3-893363, 3-892423, 3-899221

FAX: 3-410321

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทไมโครอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- - - Continued - - -

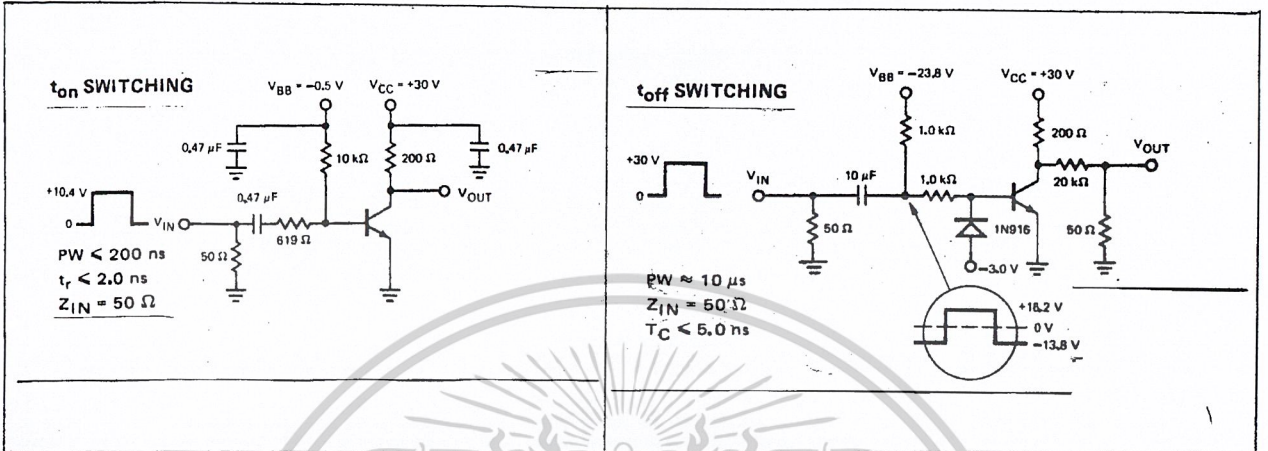
PARAMETER	SYMBOL	2N2222 PN2222		2N2222A PN2222A		UNIT	TEST CONDITIONS	
		MIN	MAX	MIN	MAX			
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$ *		0.4		0.3	V	$I_C=150mA$ $I_B=15mA$	
			1.6		1.0	V	$I_C=500mA$ $I_B=50mA$	
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$ *		1.3	0.6	1.2	V	$I_C=150mA$ $I_B=15mA$	
			2.6		2.0	V	$I_C=500mA$ $I_B=50mA$	
D.C. Current Gain	H_{FE} *		35		35		$I_C=0.1mA$ $V_{CE}=10V$	
			50		50		$I_C=1mA$ $V_{CE}=10V$	
			75		75		$I_C=10mA$ $V_{CE}=10V$	
			100	300	100	300		$I_C=150mA$ $V_{CE}=10V$
			30		40			$I_C=500mA$ $V_{CE}=10V$
			50		50			$I_C=150mA$ $V_{CE}=1V$
					35		$I_C=10mA$ $V_{CE}=10V$ $T_A=-55^\circ C$	
Current Gain-Bandwidth Product	f_T		250		300	MHz	$I_C=20mA$ $V_{CE}=20V$	
Collector-Base Capacitance	C_{ob}		8		8	pF	$V_{CB}=10V$ $I_E=0$ $f=100kHz$	
Emitter-Base Capacitance	C_{ib}		25		25	pF	$V_{EB}=0.5V$ $I_C=0$ $f=100kHz$	
Collector-Base Time Constant	C_{crbb} '				150	pS	$I_C=20mA$ $V_{CE}=20V$ $f=31.8MHz$	
Noise Figure	NF				4	dB	$I_C=0.1mA$ $V_{CE}=10V$ $f=1kHz$ $R_G=1k\Omega$	
Input Impedance	h_{ie}			2	8	$K\Omega$	$I_C=1mA$ $V_{CE}=10V$ $f=1kHz$	
				0.25	1.25	$K\Omega$	$I_C=10mA$ $V_{CE}=10V$ $f=1kHz$	
Voltage Feedback Ratio	h_{re}				8	$\times 10^{-4}$	$I_C=1mA$ $V_{CE}=10V$ $f=1kHz$	
					4	$\times 10^{-4}$	$I_C=10mA$ $V_{CE}=10V$ $f=1kHz$	
Small Signal Current Gain	h_{fe}			50	300		$I_C=1mA$ $V_{CE}=10V$ $f=1kHz$	
				75	375		$I_C=10mA$ $V_{CE}=10V$ $f=1kHz$	
Output Admittance	h_{oe}			5	35	μS	$I_C=1mA$ $V_{CE}=10V$ $f=1kHz$	
				25	200	μS	$I_C=10mA$ $V_{CE}=10V$ $f=1kHz$	
Delay Time	t_d				10	nS	$I_C=150mA$ $I_{B1}=15mA$ $V_{CC}=30V$	
Rise Time	t_r				25	nS	$I_C=150mA$ $I_{B1}=15mA$ $V_{CC}=30V$	
Storage Time	t_s				225	nS	$I_C=150mA$ $I_{B1}=I_{B2}=15mA$ $V_{CC}=30V$	
Fall Time	t_f				60	nS	$I_C=150mA$ $I_{B1}=I_{B2}=15mA$ $V_{CC}=30V$	

* Pulse Test : Pulse Width=0.3mS, Duty Cycle=1%

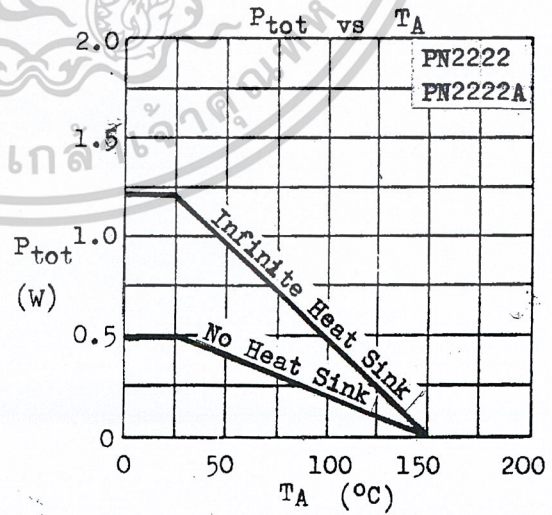
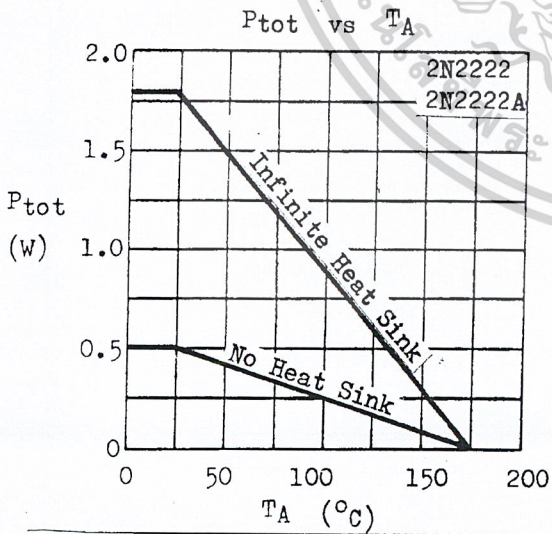
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING TIME TEST CIRCUITS



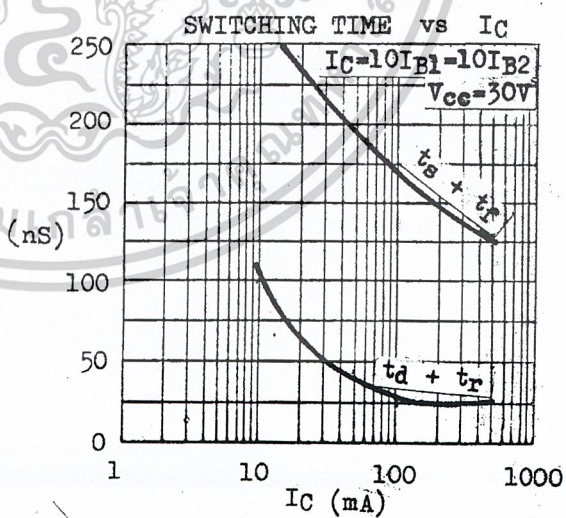
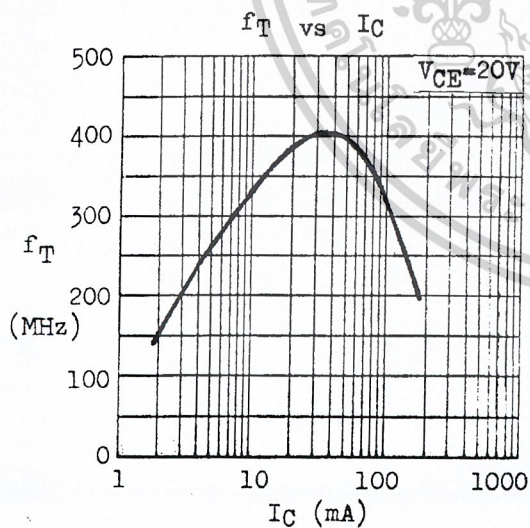
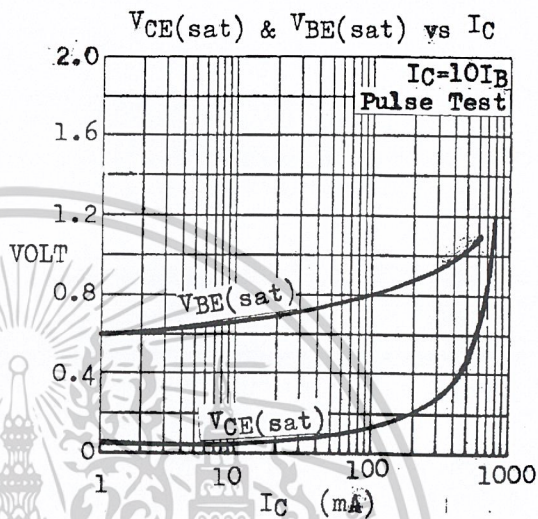
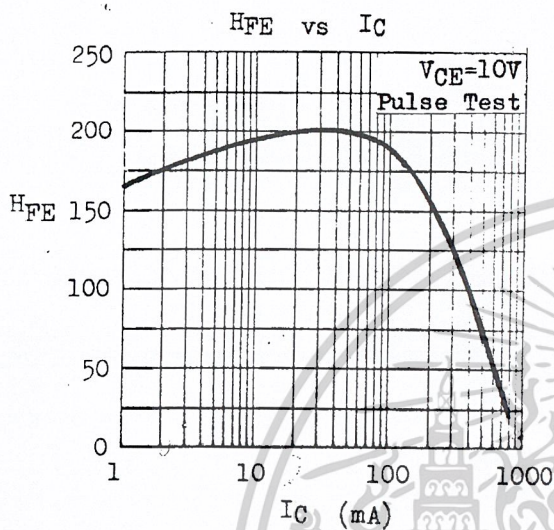
All waveforms are monitored on an oscilloscope with $R_{in} \geq 100\text{ k}\Omega$,
 $C_{in} \leq 12\text{ pF}$, $t_r \leq 5\text{ ns}$.



2N2222/A
PN2222/A

TYPICAL CHARACTERISTICS

($T_A=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 1.78

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

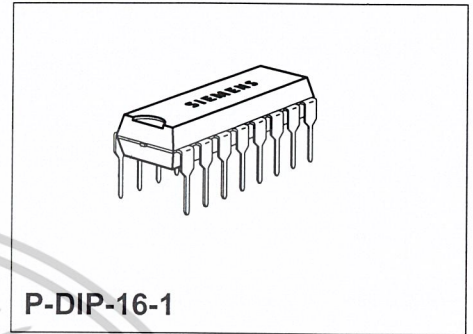
Phase Control IC

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



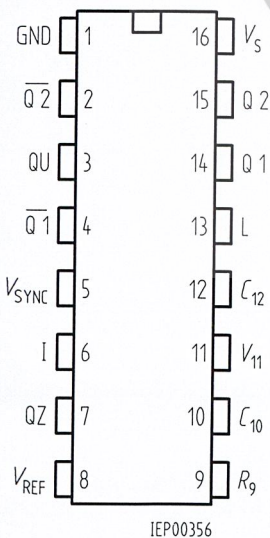
Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

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.

Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	Q $\bar{2}$	Output 2 inverted
3	Q U	Output U
4	Q $\bar{2}$	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)

Functional Description

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage V_s). 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 φ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage V_{11} , the triggering angle φ can be shifted within a phase angle of 0° to 180° .

For every half wave, a positive pulse of approx. $30 \mu s$ 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 φ and 180° will result.

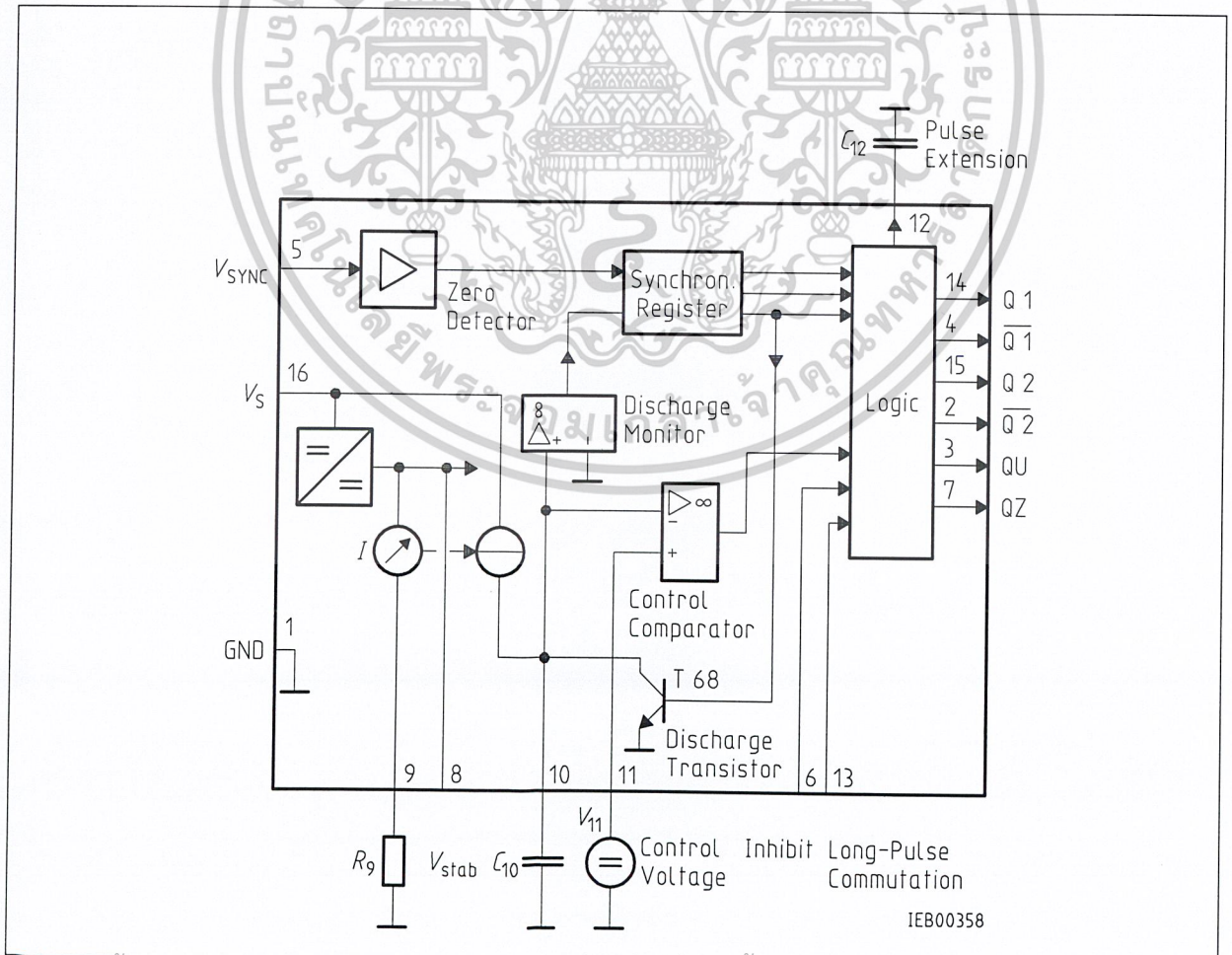
Outputs $\overline{Q}1$ and $\overline{Q}2$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

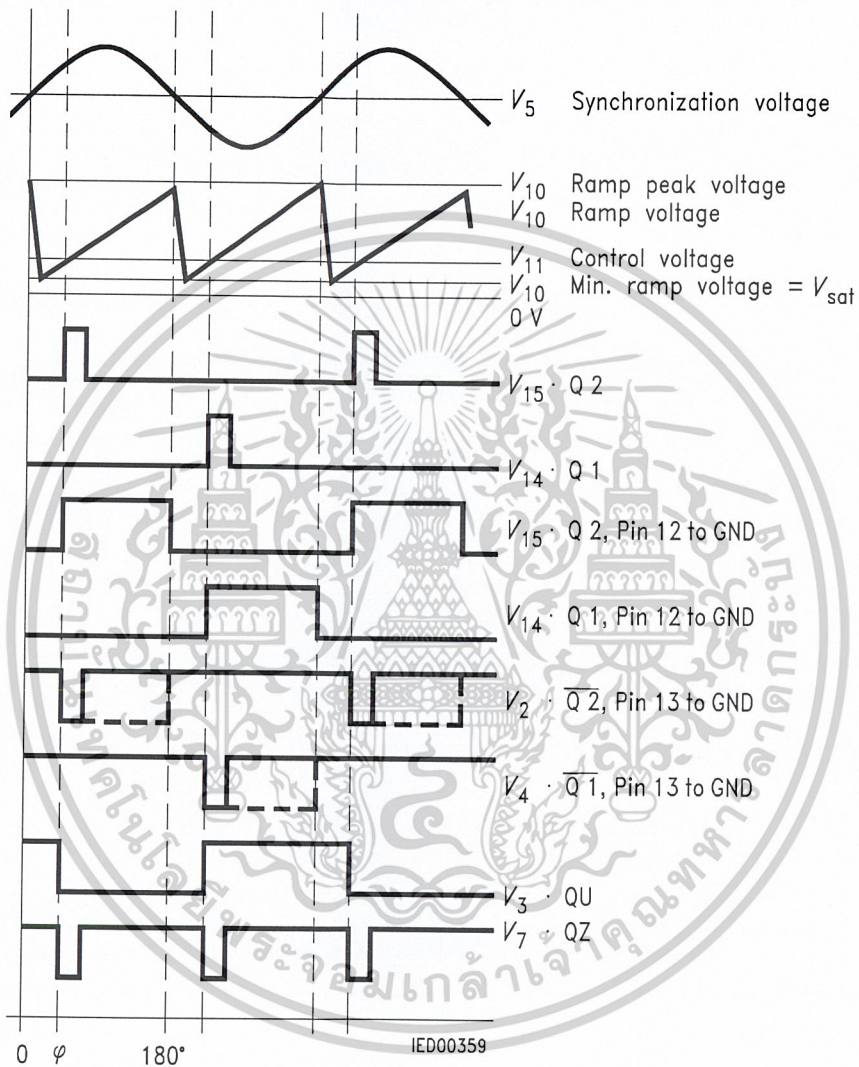
A signal of $\varphi + 180^\circ$ which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3.

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 $\overline{Q}1$, $\overline{Q}2$.

Pin 13 can be used to extend the outputs $\overline{Q}1$ and $\overline{Q}2$ to full pulse length ($180^\circ - \varphi$).





Pulse Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Semiconductor Group 3

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	V_6	- 0.5	V_S	V
Control voltage	V_{11}	- 0.5	V_S	V
Voltage short-pulse circuit	V_{13}	- 0.5	V_S	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	T_j		150	$^{\circ}C$
Storage temperature	T_{stg}	- 55	125	$^{\circ}C$
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	$^{\circ}C$

Characteristics

$8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^{\circ}C \leq T_A \leq 85 \text{ }^{\circ}C; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 \text{ V}$ $C_{10} = 47 \text{ nF}; R_9 = 100 \text{ k}\Omega$	I_S	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current R_2 varied	$I_{5 \text{ rms}}$	30		200	μA	1
Offset voltage	ΔV_5		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	V_{11}	0.2		$V_{10 \text{ peak}}$	V	1
Input resistance	R_{11}		15		$k\Omega$	5

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics (cont'd)

$8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

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	$\text{k}\Omega$	1
Sawtooth return time	t_r		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	I_{6H}		500	800	μA	1
$V_6 = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{6L}$	80	150	200	μA	1
$V_6 = 1.7 \text{ V}$						
Deviation of I_{10}	I_{10}	-5		5	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_s = 12 \text{ V}; C_{10} = 47 \text{ nF}$						
Deviation of I_{10}	I_{10}	-20		20	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_s = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_s = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		± 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	I_{13H}			10	μA	1
$V_{13} = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	μA	1
$V_{13} = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	I_{CEO}			10	μA	2.6
$V_Q = V_s$						
Saturation voltage	V_{sat}	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_Q = 2 \text{ mA}$						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

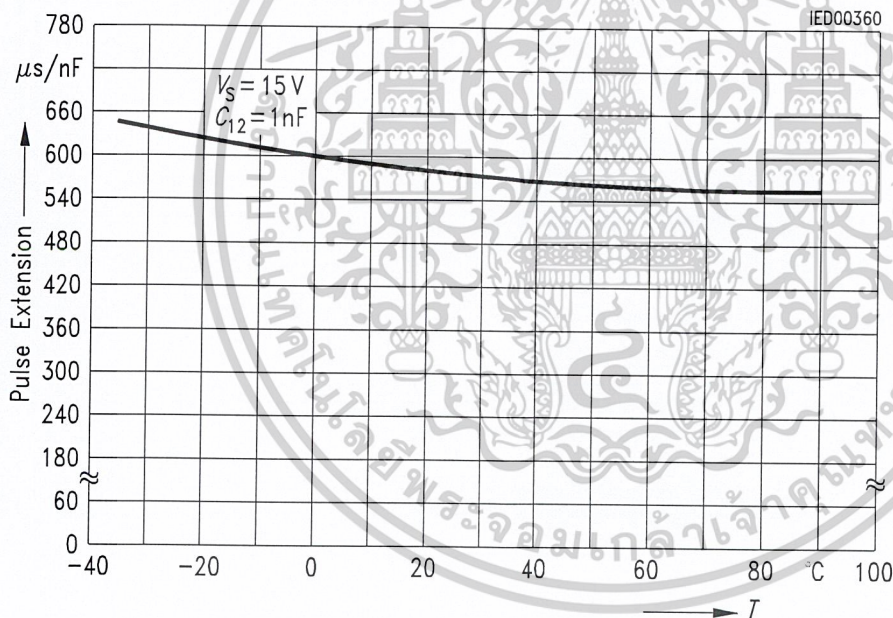
Characteristics (cont'd)
 $8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

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

Application Hints for External Components

		min		max	
Ramp capacitance	C_{10}	500 pF		$1 \mu\text{F}^{1)}$	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 $V_{10 \max} = V_S - 2 \text{ V}$ $V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}}$ $^{2)}$

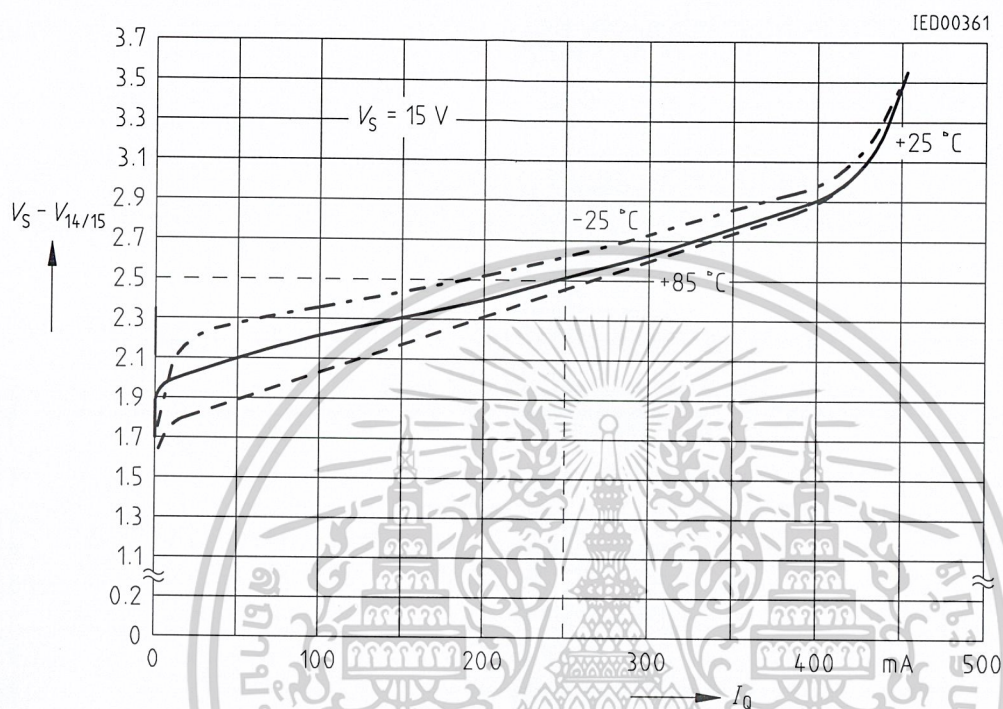
Pulse Extension versus Temperature



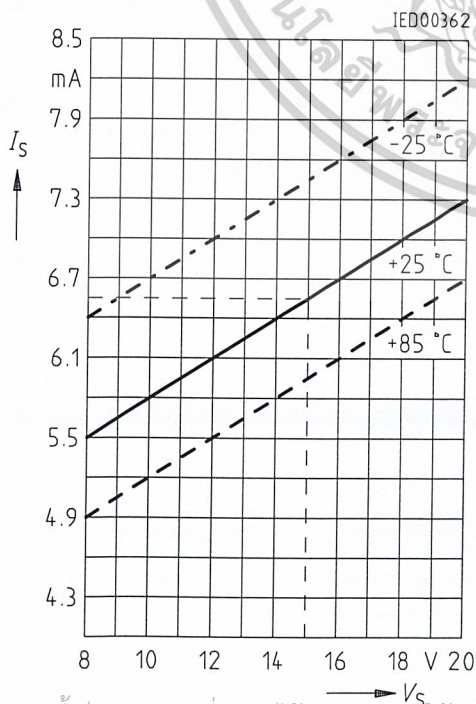
1) Attention to flyback times

2) $K = 1.10 \pm 20 \%$

Output Voltage measured to + V_S

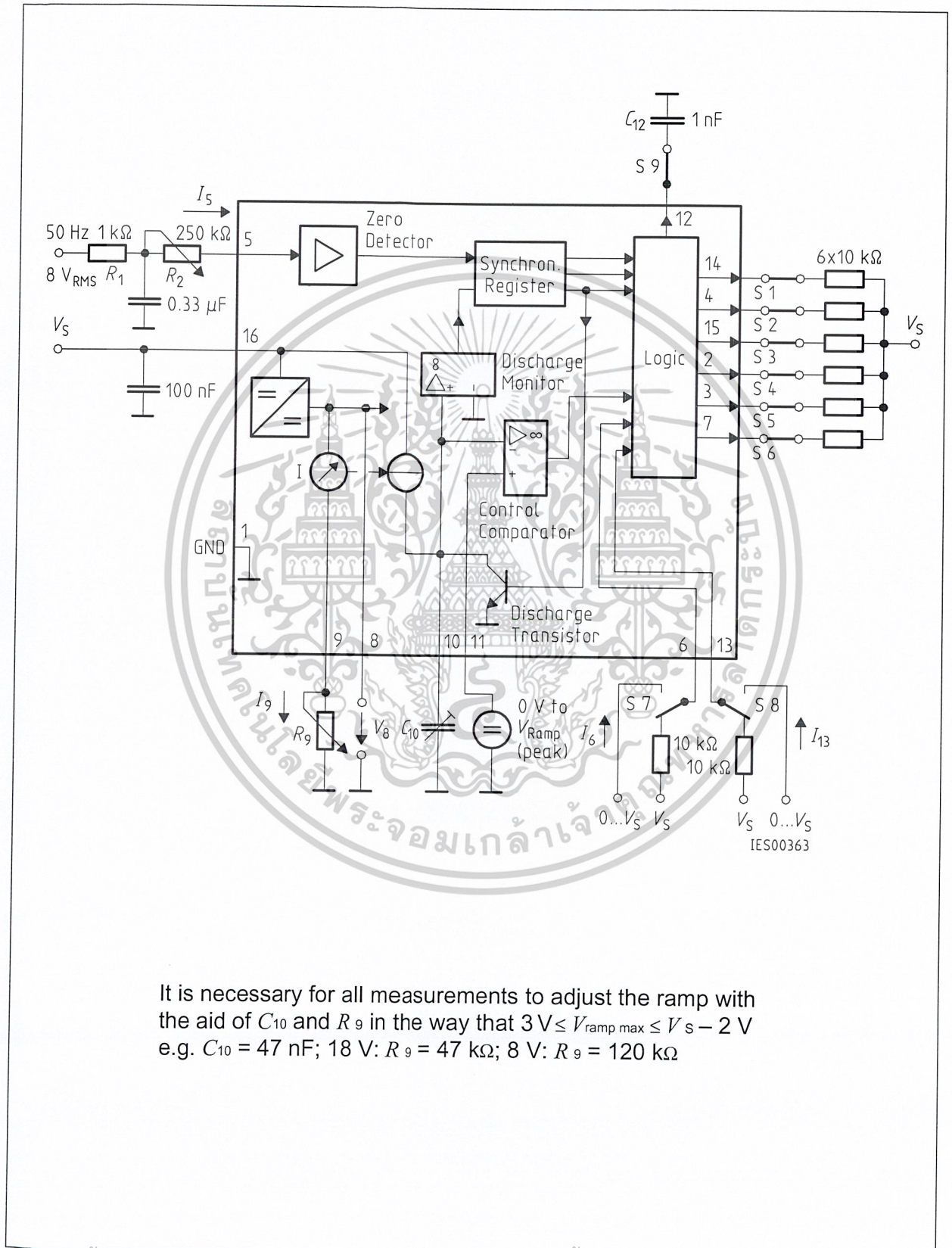


Supply Current versus Supply Voltage

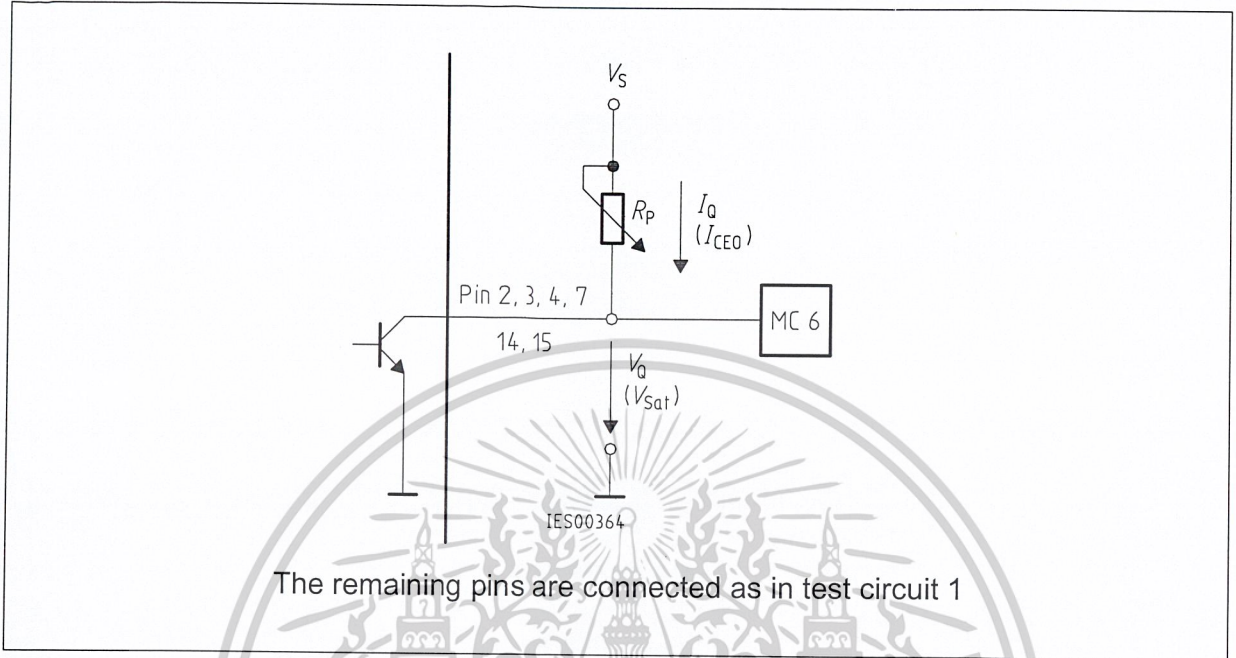


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

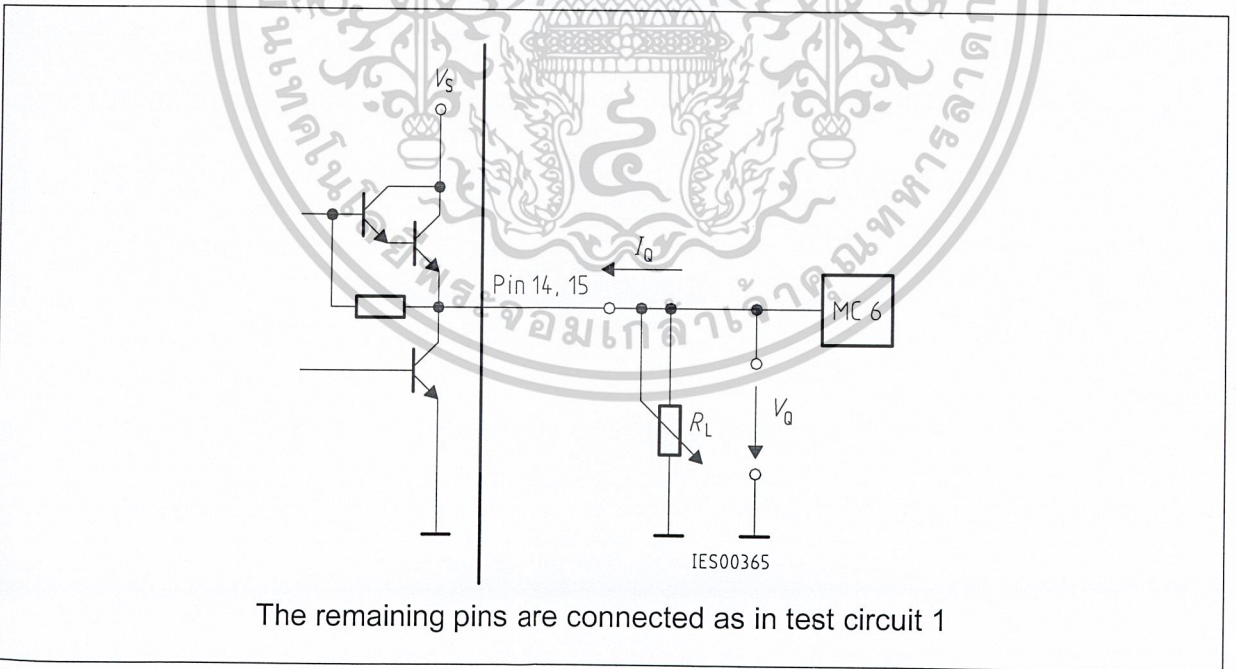
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



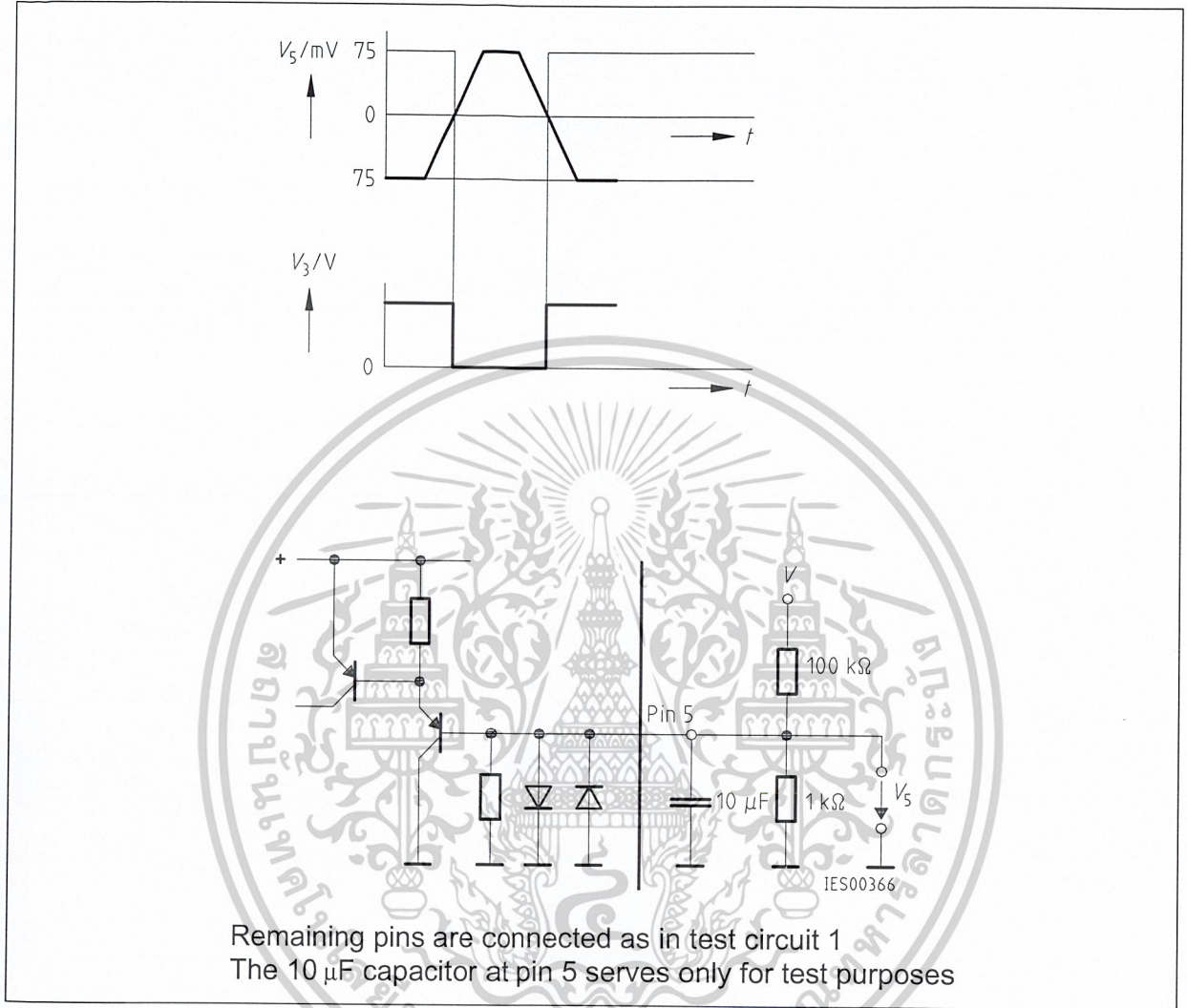
It is necessary for all measurements to adjust the ramp with the aid of C_{10} and R_9 in the way that $3\text{ V} \leq V_{\text{ramp max}} \leq V_S - 2\text{ V}$
 e.g. $C_{10} = 47\text{ nF}$; 18 V : $R_9 = 47\text{ k}\Omega$; 8 V : $R_9 = 120\text{ k}\Omega$



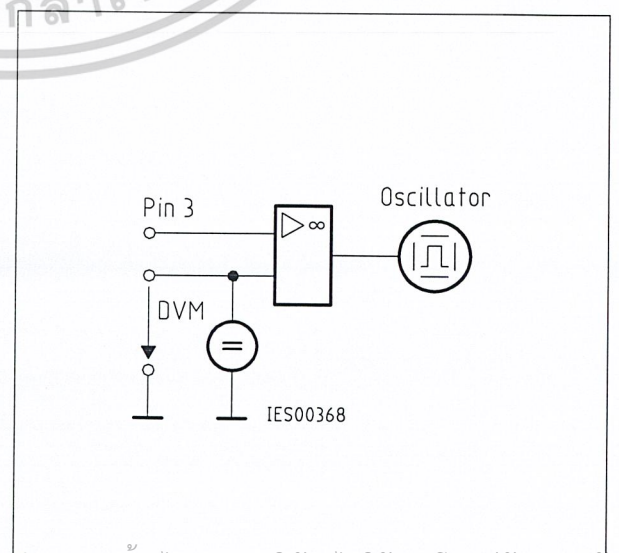
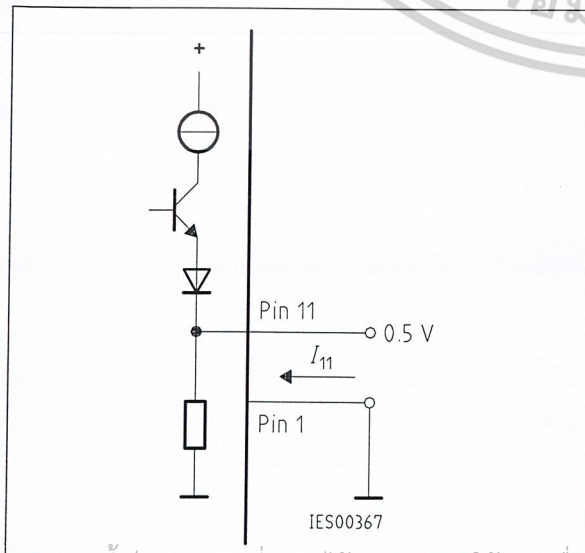
Test Circuit 2



Test Circuit 3

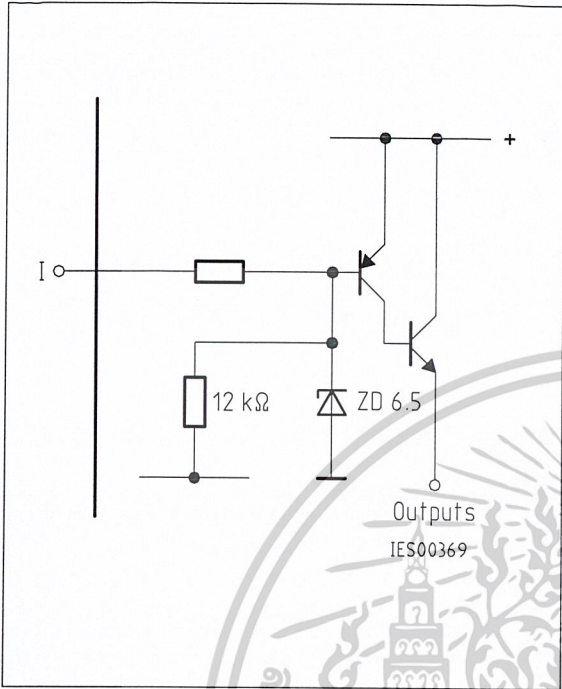


Test Circuit 4

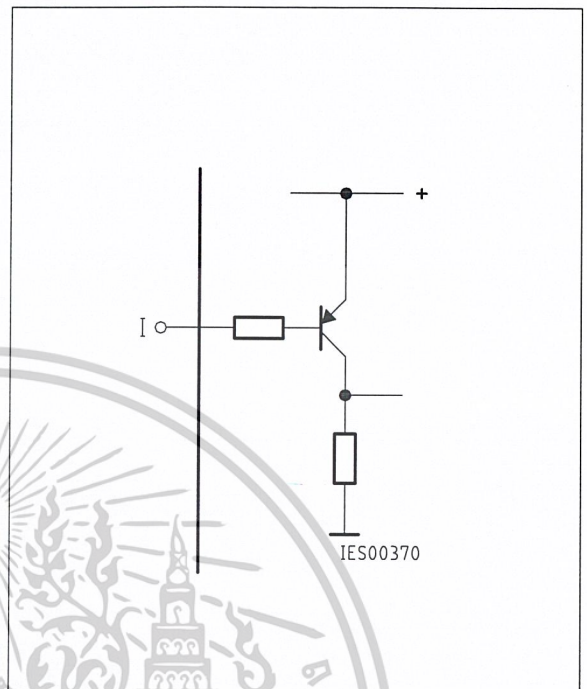


Test Circuit 5

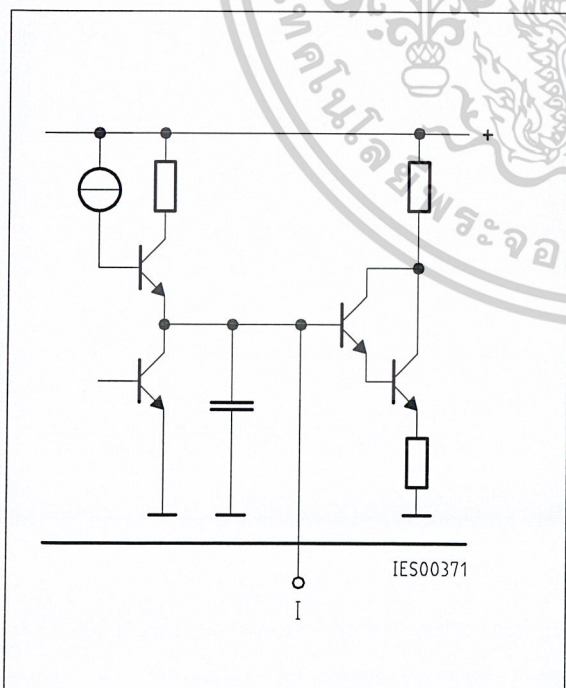
Test Circuit 6



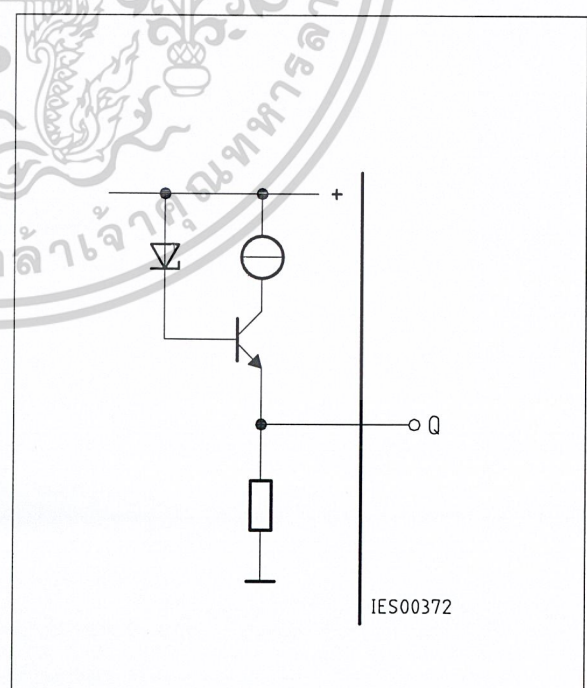
Inhibit 6



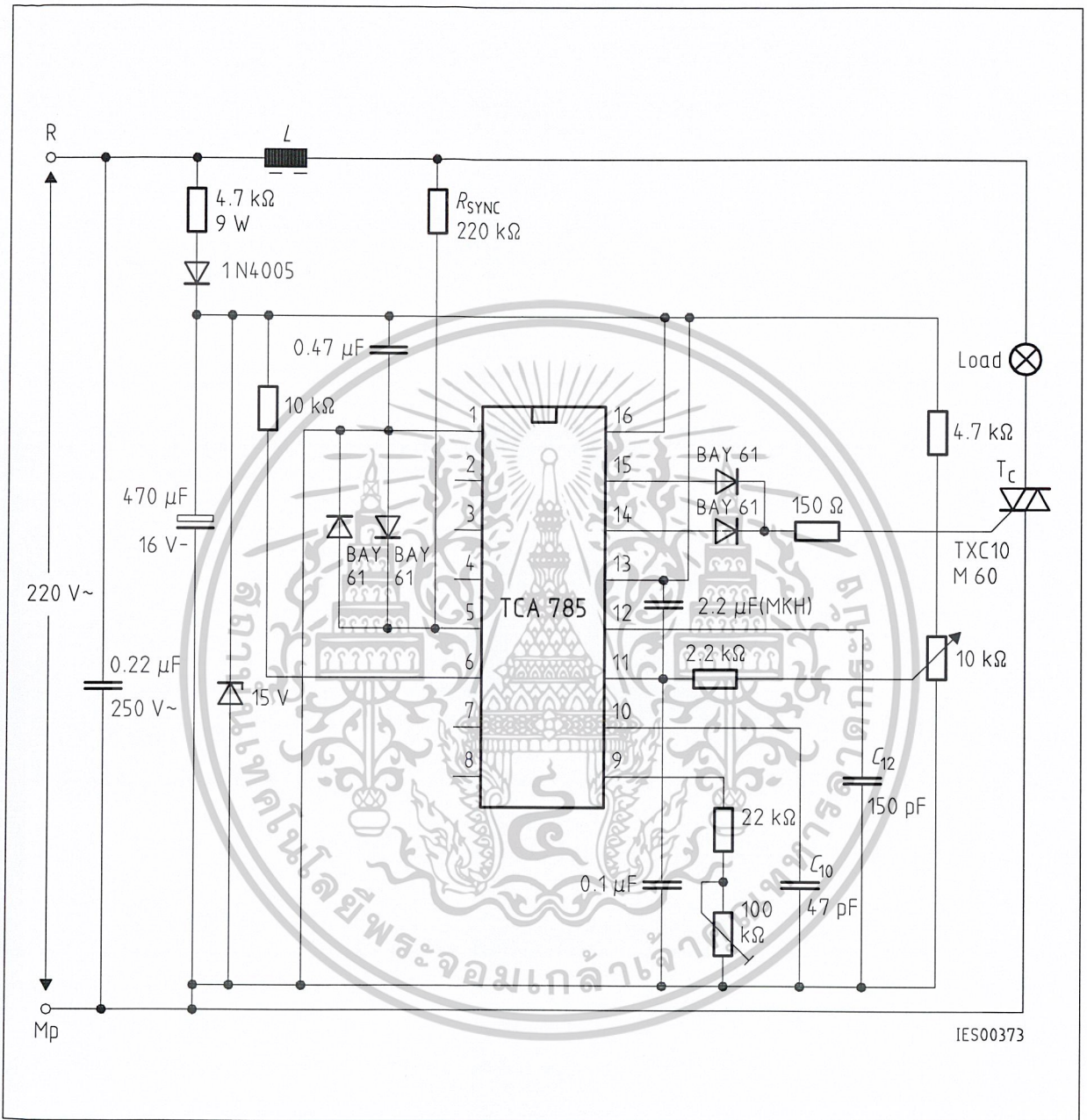
Long Pulse 13



Pulse Extension 12



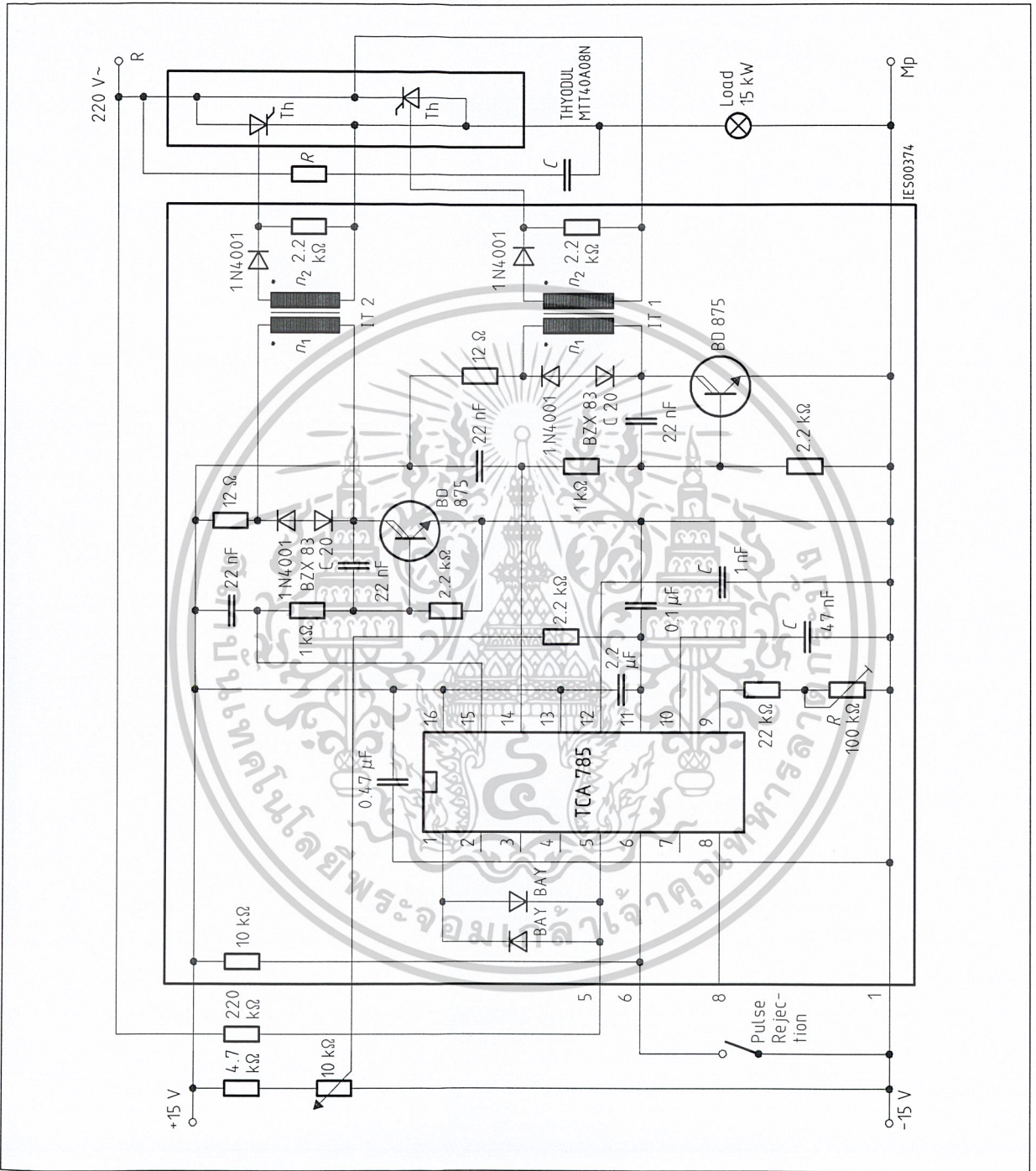
Reference Voltage 8



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.

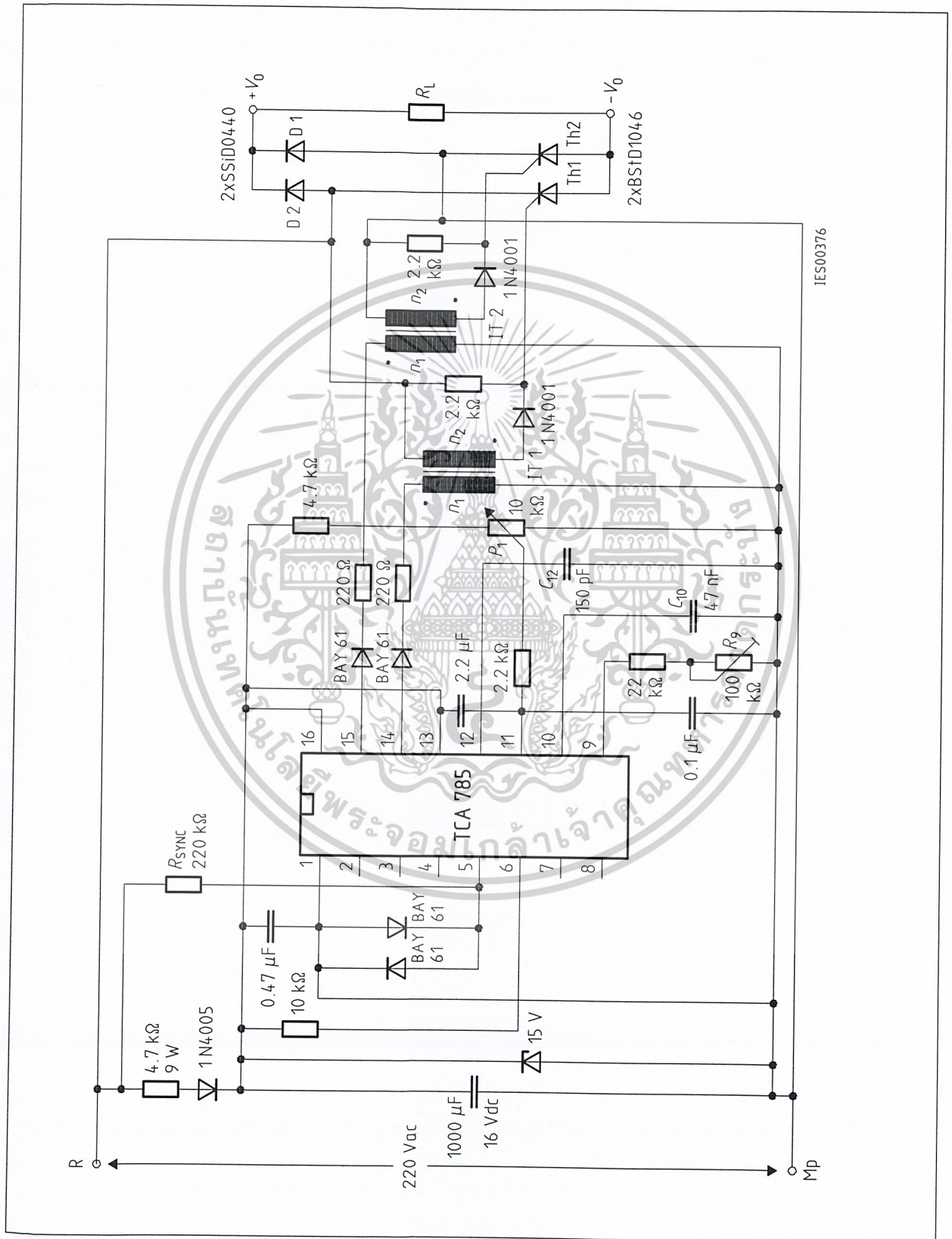
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**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.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BTA/BTB12 and T12 Series

SNUBBERLESS™, LOGIC LEVEL & STANDARD

12A TRIACs

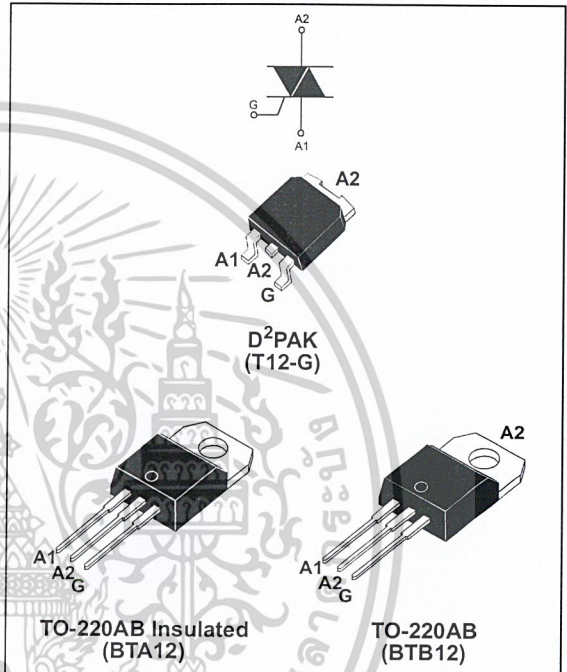
MAIN FEATURES:

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	12	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT}(Q_1)$	10 to 50	mA

DESCRIPTION

Available either in through-hole or surface-mount packages, the BTA/BTB12 and T12 triac series is suitable for general purpose AC switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits... or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers,...

The snubberless versions (BTA/BTB...W and T12 series) are specially recommended for use on inductive loads, thanks to their high commutation performances. By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at 2500V RMS) complying with UL standards (File ref.: E81734)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Parameter		Value	Unit
		D ² PAK/TO-220AB	TO-220AB Ins.		
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	$T_c = 105^\circ\text{C}$	$T_c = 90^\circ\text{C}$	12	A
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_j initial = 25°C)	F = 50 Hz	t = 20 ms	120	A
		F = 60 Hz	t = 16.7 ms	126	
I^2t	I^2t Value for fusing	tp = 10 ms		100	A ² s
di/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, tr ≤ 100 ns	F = 120 Hz	$T_j = 125^\circ\text{C}$	50	A/μs
V_{DSM}/V_{RSM}	Non repetitive surge peak off-state voltage	tp = 10 ms	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_{DRM}/V_{RRM} + 100$	V
I_{GM}	Peak gate current	tp = 20 μs	$T_j = 125^\circ\text{C}$	4	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_j = 125^\circ\text{C}$		1	W
T_{stg} T_j	Storage junction temperature range Operating junction temperature range			- 40 to + 150 - 40 to + 125	°C

BTA/BTB12 and T12 Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_j = 25°C, unless otherwise specified)

■ SNUBBERLESS™ and LOGIC LEVEL (3 Quadrants)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		T12	BTA/BTB12			Unit
				T1235	SW	CW	BW	
I _{GT} (1)	V _D = 12 V R _L = 30 Ω	I - II - III	MAX.	35	10	35	50	mA
V _{GT}		I - II - III	MAX.	1.3				V
V _{GD}	V _D = V _{DRM} R _L = 3.3 kΩ T _j = 125°C	I - II - III	MIN.	0.2				V
I _H (2)	I _T = 100 mA		MAX.	35	15	35	50	mA
I _L	I _G = 1.2 I _{GT}	I - III	MAX.	50	25	50	70	mA
		II		60	30	60	80	
dV/dt (2)	V _D = 67 %V _{DRM} gate open T _j = 125°C		MIN.	500	40	500	1000	V/μs
(dI/dt) _c (2)	(dV/dt) _c = 0.1 V/μs T _j = 125°C		MIN.	-	6.5	-	-	A/ms
	(dV/dt) _c = 10 V/μs T _j = 125°C			-	2.9	-	-	
	Without snubber T _j = 125°C			6.5	-	6.5	12	

■ STANDARD (4 Quadrants)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		BTA/BTB06		Unit	
				C	B		
I _{GT} (1)	V _D = 12 V R _L = 30 Ω	I - II - III IV	MAX.	25 50	50 100	mA	
V _{GT}		ALL	MAX.	1.3			V
V _{GD}	V _D = V _{DRM} R _L = 3.3 kΩ T _j = 125°C		ALL	MIN.	0.2		V
I _H (2)	I _T = 500 mA			MAX.	25	50	mA
I _L	I _G = 1.2 I _{GT}	I - III - IV	MAX.	40	50	mA	
		II		80	100		
dV/dt (2)	V _D = 67 %V _{DRM} gate open T _j = 125°C			MIN.	200	400	V/μs
(dV/dt) _c (2)	(dI/dt) _c = 5.3 A/ms T _j = 125°C			MIN.	5	10	V/μs

STATIC CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Value	Unit	
V _T (2)	I _{TM} = 17 A	tp = 380 μs T _j = 25°C	MAX.	1.55	V
V _{to} (2)	Threshold voltage T _j = 125°C		MAX.	0.85	V
R _d (2)	Dynamic resistance T _j = 125°C		MAX.	35	mΩ
I _{DRM}	V _{DRM} = V _{RDM} T _j = 25°C		MAX.	5	μA
I _{RDM}	T _j = 125°C			1	mA

Note 1: minimum IGT is guaranteed at 5% of IGT max.

Note 2: for both polarities of A2 referenced to A1

THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter		Value	Unit	
R _{th(j-c)}	Junction to case (AC)		D ² PAK/TO-220AB	1.4	°C/W
			TO-220AB Insulated	2.3	
R _{th(j-a)}	Junction to ambient	S = 1 cm ²	D ² PAK	45	°C/W
			TO-220AB TO-220AB Insulated	60	

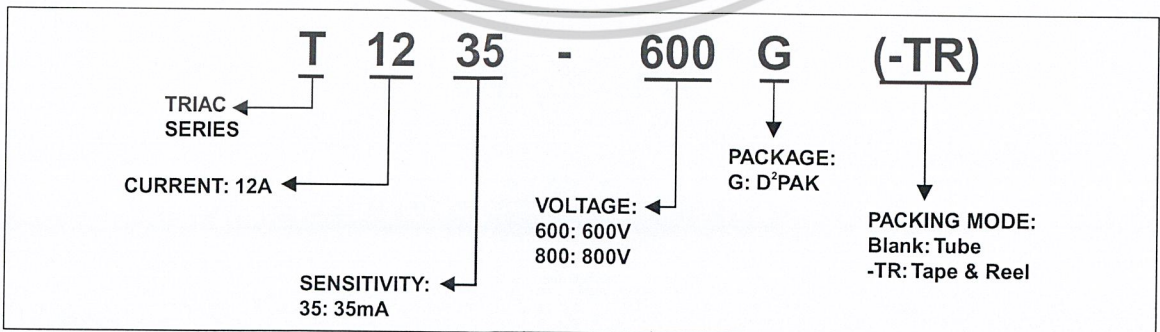
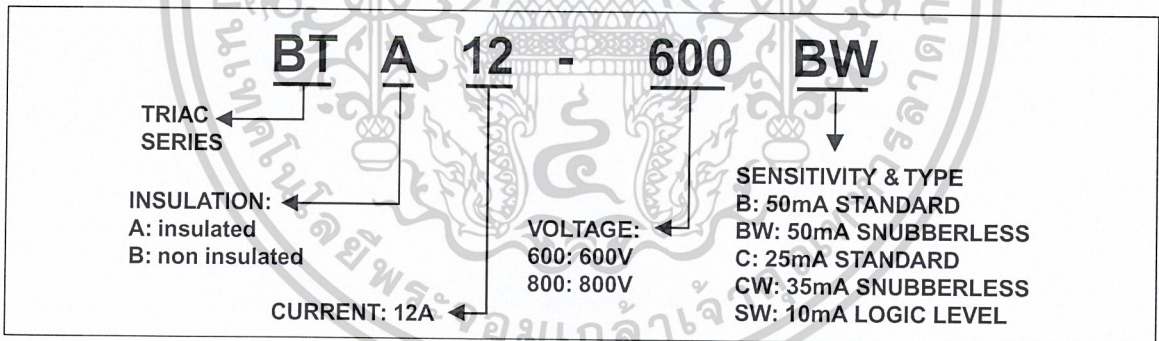
S = Copper surface under tab

PRODUCT SELECTOR

Part Number	Voltage (xxx)		Sensitivity	Type	Package
	600 V	800 V			
BTA/BTB12-xxxB	X	X	50 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxBW	X	X	50 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxC	X	X	25 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxCW	X	X	35 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxSW	X	X	10 mA	Logic level	TO-220AB
T1235-xxxG	X	X	35 mA	Snubberless	D ² PAK

BTB: non insulated TO-220AB package

ORDERING INFORMATION



BTA/BTB12 and T12 Series

OTHER INFORMATION

Part Number	Marking	Weight	Base quantity	Packing mode
BTA/BTB12-xxxxyz	BTA/BTB12-xxxxyz	2.3 g	250	Bulk
T1235-xxxG	T1235xxxG	1.5 g	50	Tube
T1235-xxxG-TR	T1235xxxG	1.5 g	1000	Tape & reel

Note: xxx = voltage, yy = sensitivity, z = type

Fig. 1: Maximum power dissipation versus RMS on-state current (full cycle).

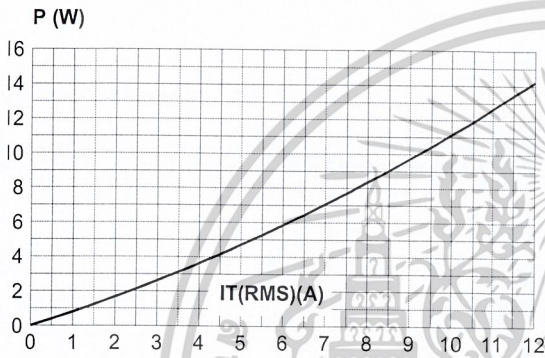


Fig. 2-1: RMS on-state current versus case temperature (full cycle).

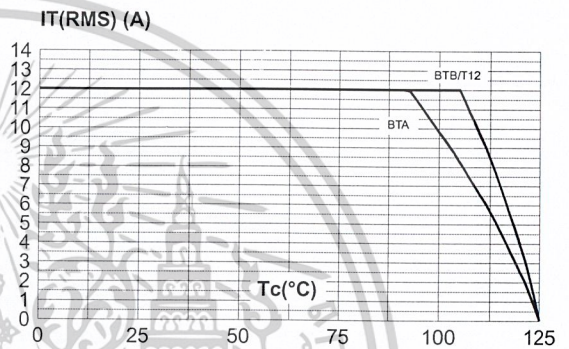


Fig. 2-2: RMS on-state current versus ambient temperature (printed circuit board FR4, copper thickness: 35µm), full cycle.

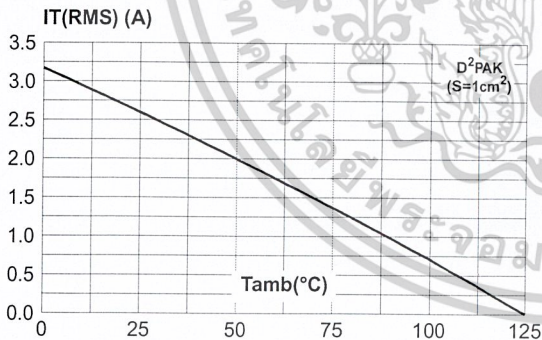


Fig. 3: Relative variation of thermal impedance versus pulse duration.

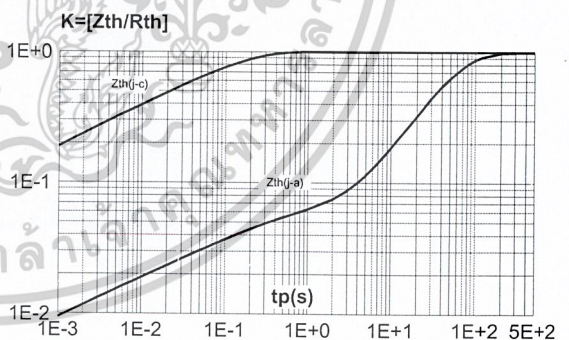


Fig. 4: On-state characteristics (maximum values).

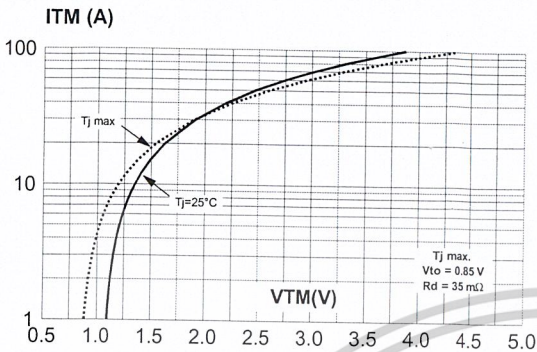


Fig. 5: Surge peak on-state current versus number of cycles.

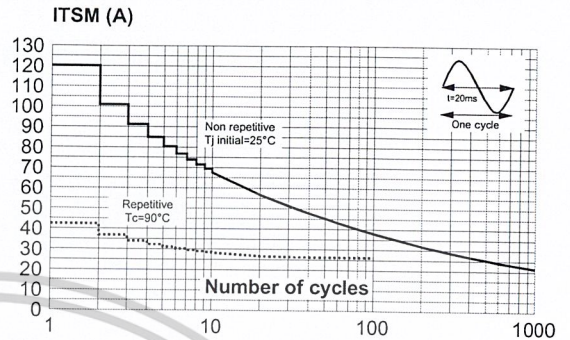


Fig. 6: Non-repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width $t_p < 10 \text{ ms}$, and corresponding value of I^2t .

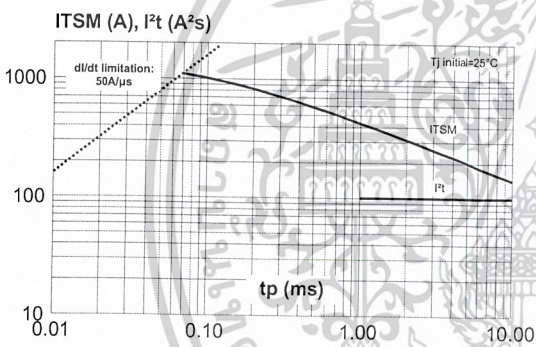


Fig. 7: Relative variation of gate trigger current, holding current and latching current versus junction temperature (typical values).

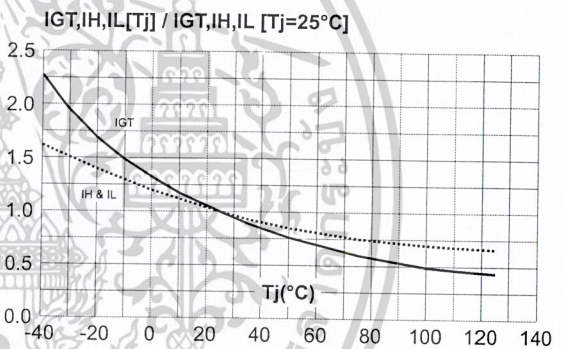


Fig. 8: Relative variation of critical rate of decrease of main current versus $(dV/dt)_c$ (typical values).

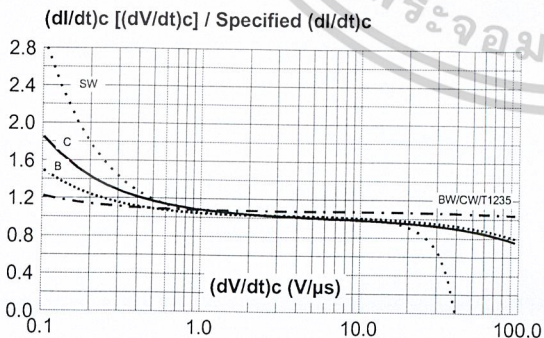
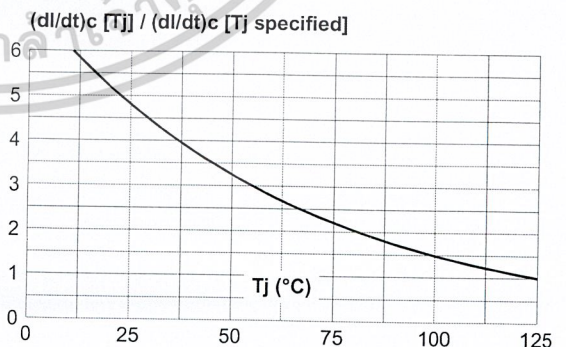
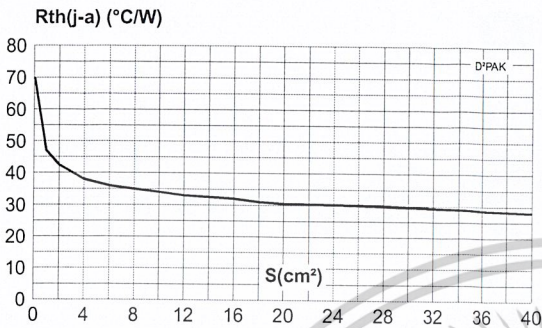


Fig. 9: Relative variation of critical rate of decrease of main current versus junction temperature.

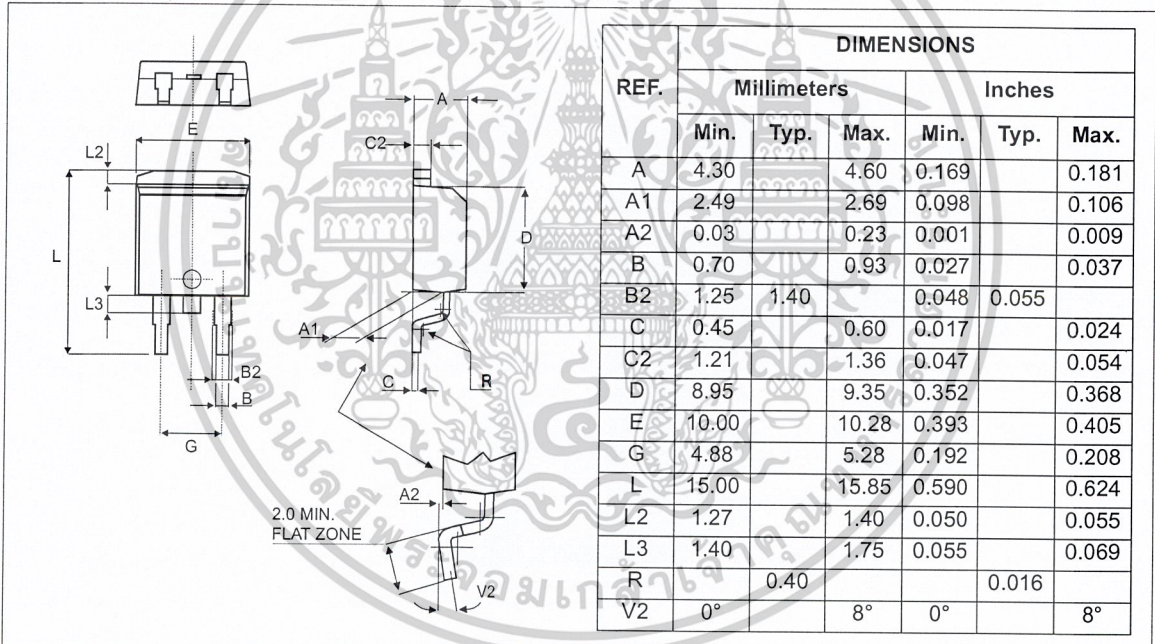


BTA/BTB12 and T12 Series

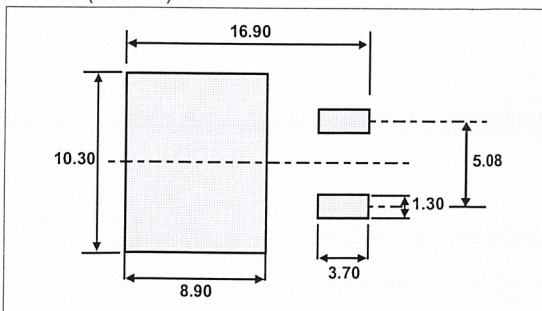
Fig. 10: D²PAK Thermal resistance junction to ambient versus copper surface under tab (printed circuit board FR4, copper thickness: 35 μm).



PACKAGE MECHANICAL DATA D²PAK (Plastic)

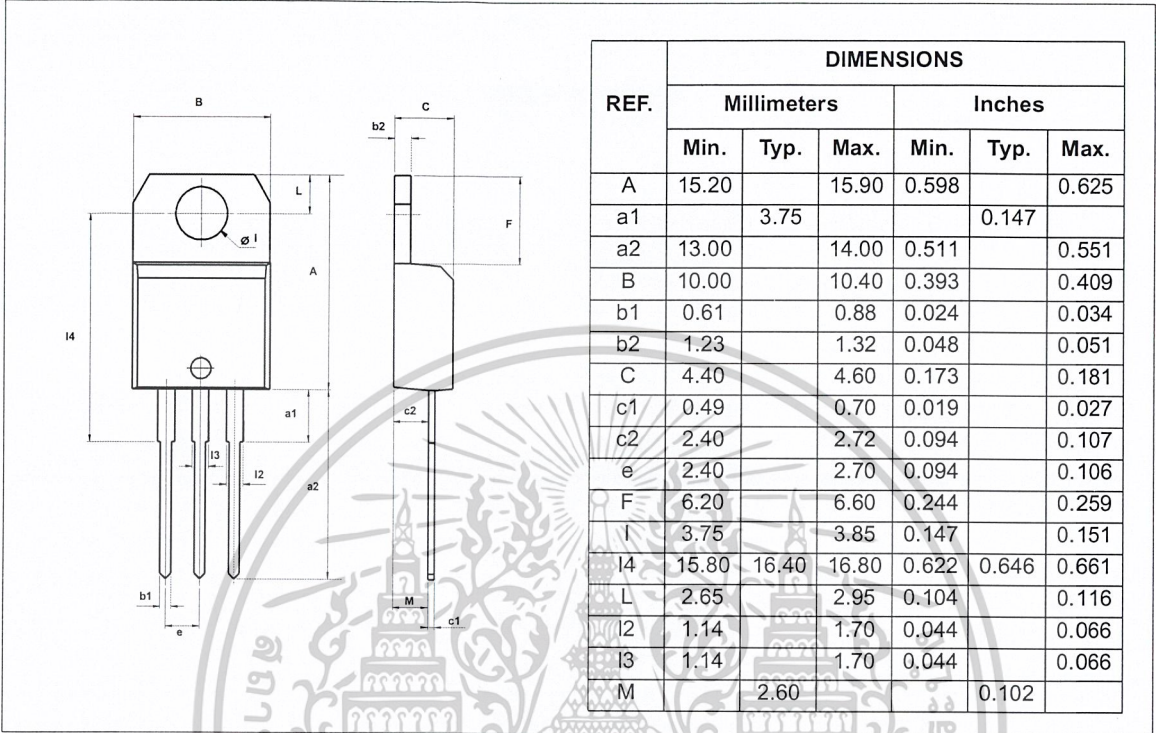


FOOTPRINT DIMENSIONS (in millimeters) D²PAK (Plastic)



PACKAGE MECHANICAL DATA

TO-220AB / TO-220AB Ins.



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom

<http://www.st.com>



เอกสารอ้างอิง

1. ประภาส ไพรสสุวรรณและนพปฎล ชนะ ‘อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ’ วิศวกรรมสารลาดกระบัง, ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 , กรกฎาคม 2539
2. นพปฎล ชนะ ‘อุปกรณ์ควบคุมการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีปรับปรุ่งค่าตัวประกอบกำลัง’ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2540.
3. ประภาส ไพรสสุวรรณ, อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศและ สุรเชษฐ เดชฟุ้ง ‘อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและปรับปรุ่งตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยวิธีการควบคุมสลิปที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดแฟคเตอร์ที่มีความผิดเพี้ยน’ วิศวกรรมสารลาดกระบัง, ปีที่ 17 ฉบับที่ 1, มีนาคม 2539
4. สุรเชษฐ เดชฟุ้ง “อุปกรณ์ควบคุมพลังงานและปรับปรุ่งตัวประกอบกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมสลิป” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2543
5. อุดมศักดิ์ ชัยยืน “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 TECHNOLGY.” NIRJACONSTRUTION & DEVELOPMENT CO.(P) LTD NEW. DEHLI INDIA 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้