

การเรียงกระแสเฟสเดียวแบบควบคุมได้โดยใช้เซมิคอนเวอร์เตอร์  
 SINGLE-PHASE CONTROLLABLE RECTIFICATION BY USING  
 SEMICONVERTER



นายพิรุณ ภู่วิไลย รหัส 53362907

นายภานุพล ไตรรัตน์ รหัส 53362952

ชื่อผู้พิมพ์	วิชา
ชื่อผู้พิมพ์	พ.ศ. ๒๕๖
เลขทะเบียน	16589479
เลขเรียกหนังสือ	ฟ.ร.
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	๗๗๗๔

๒๕๕๖


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
 ปีการศึกษา 2556




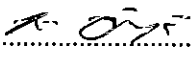
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การเรียงกระแสเฟสเดียวแบบควบคุมได้โดยใช้เซมิคอนเวอร์เตอร์  
ผู้ดำเนินโครงการ นายพิรุณ ภู่วิไลย รหัส 53362907  
นายภานุพล ไตรรัตน์ รหัส 53362952  
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

  
..... ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

  
..... กรรมการ  
(ดร. พันธุ์ นิดถุทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การเรียงกระแสเฟสเดียวแบบควบคุมได้โดยใช้เซมิคอนเวอร์เตอร์
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายพิรุณ ภูภิโย รหัสน 53362907
	นายภานุพล ไตรรัตน์ รหัสน 53362952
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2556

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการทำงานของวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวซึ่งตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสซึ่งใช้สำหรับแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้ โดยมีไทรสเตอร์ 2 ตัวร่วมกับไดโอด 2 ตัวทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับควบคุมการไหลของพลังงานจากแหล่งกำเนิดกระแสสลับไปสู่โหลดกระแสตรง ในโครงการนี้สัญญาณขับนำไทรสเตอร์ถูกสร้างจากไอซีหมายเลข TCA785 การปรับเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตที่สร้างจากวงจรนั้นทำได้โดยการปรับมุมยิงเพื่อควบคุมจังหวะการเริ่มนำกระแสของไทรสเตอร์ ซึ่งการปรับมุมยิงดังกล่าวเกิดจากการเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิง (สัญญาณรูปฟันเลื่อย) กับสัญญาณควบคุม ในโครงการนี้ได้สร้างแบบจำลองเพื่อนำเสนอการเรียงกระแสเฟสเดียวแบบควบคุมได้โดยใช้วงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์ซึ่งรับแรงดันอินพุตกระแสสลับ 12 V และนำแรงดันเอาต์พุตที่สร้างได้ไปทดสอบจ่ายโหลดตัวต้านทานและใช้ปรับความเร็วรอบของโหลดมอเตอร์กระแสตรง

<b>Project title</b>	Single-Phase Controllable Rectification by Using Semiconverter		
<b>Name</b>	Mr. Pirun Poopeeyo	ID. 53362907	
	Mr. Panupon Trairat	ID. 53362952	
<b>Project advisor</b>	Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.		

---

<b>Major</b>	Electrical Engineering		
<b>Department</b>	Electrical and Computer Engineering		
<b>Academic year</b>	2013		

.....

### Abstract

This thesis presents design and construction of a control circuit for a single-phase semiconverter, which is a phase-controlled rectifier that converts AC voltage into variable DC voltage. This type of controlled rectifier uses two thyristors and two diodes as power switches for controlling energy flow from AC sources to DC loads. In this project, switch control signals for driving thyristors are generated by a TCA785 IC. Variable values of the output voltage of the semiconverter is obtained via adjusting a firing angle, which dictates the conduction timing of the thyristors. Firing-angle adjustment is carried out by comparison between a reference signal (Sawtooth waveform) and a control signal. In this project, a model is used for presenting the controllable rectification by using the single-phase semiconverter, which is supplied by 12-V AC source. The obtained output voltage is tested with a resistive load and is used to vary the speed of a DC motor.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณ ดร. นิพัทธ์ จันทร์มินทร์ อาจารย์ปรึกษาโครงการ ซึ่งเป็นผู้  
ที่เอาใจใส่ในทุกรายละเอียดของการดำเนินโครงการ โดยให้ทั้งความรู้และคำแนะนำในการแก้ไข  
ปัญหาต่างๆอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง รวมถึงให้คำแนะนำเกี่ยวกับหลักการเขียน  
ปฏิญญาพันธบัตร การใช้ภาษา และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปฏิญญาพันธบัตรเป็นรูปเล่ม  
สมบูรณ์

และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมใช้เครื่องมือวัดใน  
การทดสอบชิ้นงานที่สร้างขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณที่ร้อยตรีธานี โกสุม (พี่ต้น) รวมทั้ง  
คุณไฉนรัตน์ มั่นนุช (พี่โบว์) ซึ่งเป็นรุ่นพี่สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและปัจจุบันดำรงตำแหน่ง  
ครูช่างของภาควิชา ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและการยืมใช้เครื่องมือวัด  
จนกระทั่งการทดสอบต่างๆสิ้นสุดลง

ขอขอบคุณคุณฐิติพงศ์ แดงเรือ (เบสท์) เพื่อนสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่หาวงจร  
พื้นฐานของการทำงานไอซี TCA785 มาให้เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าว  
ทำให้การออกแบบวงจรได้ผลสำเร็จ ซึ่งถือว่ามีจุดเริ่มต้นมาจากวงจรพื้นฐานดังกล่าว

ขอขอบคุณเทศบาลตำบลพรานกระต่าย อ.พรานกระต่าย จ.กำแพงเพชร ที่สนับสนุนให้  
เงินทุนค่าลงทะเบียน และขอขอบคุณรัฐบาลไทยที่จัดตั้งกองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ.) ซึ่ง  
สนับสนุนด้านค่าใช้จ่ายรายเดือนแก่นายพิรุณ ภูภิโย ตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณบริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่  
สนับสนุนให้เงินทุนการศึกษาโครงการ ปตท.สผ.เพชร เอส 1 แก่นายภาณุพล ไตรรัตน์ ตลอด  
การศึกษาในระดับปริญญาตรี

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่ง  
ให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนินโครงการ รวมทั้งมอบความรัก  
ความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้

นายพิรุณ ภูภิโย  
นายภาณุพล ไตรรัตน์

# สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	4
บทที่ 2 หลักการเรียงกระแสเฟสเดียวแบบควบคุมได้โดยใช้เซมิคอนเวอร์เตอร์.....	5
2.1 คุณลักษณะของไทรสเตอร์.....	5
2.2 หลักการทำงานของเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....	7
2.3 การควบคุมการนำกระแสของไทรสเตอร์ด้วยไอซี TCA785.....	10
2.4 หม้อแปลงพัลส์.....	13
2.5 การเปลี่ยนค่าแรงดันอาร์มเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง.....	14
บทที่ 3 การสร้างวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....	16
3.1 การออกแบบวงจรควบคุมสำหรับเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....	16
3.2 การจำลองผลการทำงานวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรมโปรติอุส.....	17
3.2.1 การจำลองผลวงจรสร้างสัญญาณขับนำไทรสเตอร์โดยใช้ TCA785.....	17
3.2.2 การจำลองผลของวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์.....	19
3.3 การสร้างวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมไฟฟ้ากระแสตรง.....	24

## สารบัญ

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดสอบ .....	26
4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรสร้างพัลส์กระแสจุกชนวนเกิด.....	26
4.2 การทดสอบวงจรซมิกอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว .....	28
4.2.1 แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยที่ตกคร่อม โหลดตัวต้านทาน .....	28
4.2.2 แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยที่ตกคร่อม โหลดมอเตอร์ .....	32
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	33
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	33
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข .....	33
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	34
เอกสารอ้างอิง.....	35
ภาคผนวก ก รายละเอียดของวงจรรวมหมายเลข TCA785 .....	36
ภาคผนวก ข รายละเอียดของวงจรของ ไทริสเตอร์หมายเลข BT151.....	43
ภาคผนวก ค รายละเอียดของหม้อแปลงพัลส์หมายเลข 1026C.....	49
ภาคผนวก ง รายละเอียดของทรานซิสเตอร์หมายเลข MPSA14 .....	52
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	54

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน.....	31
4.2 แรงดันและกระแสเอาต์พุตเฉลี่ยของโหลดมอเตอร์กระแสตรง.....	32





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไตรสเตอร์.....5
2.2	เส้นโค้งคุณลักษณะของไตรสเตอร์.....6
2.3	ตัวอย่างแผนภาพวงจรขั้วนำไตรสเตอร์.....7
2.4	แผนภาพวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....8
2.5	รูปสัญญาณในวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....9
2.6	โครงสร้างภายนอกของไอซีหมายเลข TCA785.....11
2.7	โครงสร้างภายในของไอซีหมายเลข TCA785.....11
2.8	สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของไอซีหมายเลข TCA785.....12
2.9	โครงสร้างภายนอกของหม้อแปลงพัลส์หมายเลข 1026C.....13
2.10	หลักการการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....14
2.11	การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส.....15
3.1	แผนภาพกรอบแสดงส่วนประกอบของวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....16
3.2	วงจรสร้างสัญญาณขั้วนำไตรสเตอร์โดยใช้ TCA785.....18
3.3	สัญญาณขั้วนำไตรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....18
3.4	สัญญาณลาดเอียงและสัญญาณแรงดันปรับค่าได้.....19
3.5	วงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว.....20
3.6	สัญญาณเอาต์พุตที่มุม $5.4^{\circ}$ .....21
3.7	สัญญาณเอาต์พุตที่มุม $45^{\circ}$ .....21
3.8	สัญญาณเอาต์พุตที่มุม $90^{\circ}$ .....22
3.9	สัญญาณเอาต์พุตที่มุม $135^{\circ}$ .....22
3.10	สัญญาณเอาต์พุตที่มุม $167.4^{\circ}$ .....23
3.11	วงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์ขับโหลดมอเตอร์กระแสตรง.....24
3.12	รูปชิ้นงานวงจรควบคุม.....25
3.13	รูปชิ้นงานวงจรกำลัง.....25
4.1	การเลื่อนเฟสของสัญญาณขั้วนำไตรสเตอร์.....27
4.2	สัญญาณเอาต์พุตที่มุม $4.59^{\circ}$ .....28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 สัญญาณเอาท์พุทที่มุม $45^{\circ}$ .....	29
4.4 สัญญาณเอาท์พุทที่มุม $90^{\circ}$ .....	29
4.5 สัญญาณเอาท์พุทที่มุม $135^{\circ}$ .....	30
4.6 สัญญาณเอาท์พุทที่มุม $172.8^{\circ}$ .....	30
4.7 พัลส์กระแสจากหม้อแปลงพัลส์.....	31



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

แม้ว่าในปัจจุบันกำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นและจำหน่ายมักจะอยู่ในรูปของไฟกระแสสลับ แต่กำลังไฟฟ้านี้ถูกนำไปใช้ในรูปของไฟกระแสตรงในสัดส่วนที่สูง รวมถึงการนำไปใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงซึ่งในปัจจุบันยังมีการใช้งานมอเตอร์กระแสตรงกันอย่างแพร่หลายเพราะมีความยืดหยุ่นสูงในการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ด้วยความโดดเด่นในด้านการควบคุมความเร็วรอบและแรงบิด นอกจากนี้มอเตอร์กระแสตรงสามารถสร้างแรงบิดเริ่มต้น (Starting torque) และแรงบิดชะลอ (Decelerating torque) ที่มีค่าสูงเพื่อใช้ในงานที่ต้องการการหยุดหมุนและการกลับทิศการหมุนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การใช้มอเตอร์กระแสตรงในงานลักษณะดังกล่าวจึงเหมาะสมกว่ามอเตอร์กระแสสลับซึ่งทำงานภายใต้แหล่งกำเนิดที่มีความถี่คงที่ การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงสามารถทำได้ในย่านที่กว้างและทำได้ง่าย ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น การเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงสามารถทำได้โดยพิจารณาพารามิเตอร์ 3 ตัวคือค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ (Armature resistance) ค่าฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux) และค่าแรงดันอาร์เมเจอร์ (Armature voltage)

การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยการเพิ่มค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์โดยใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมเข้ากับขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลงเมื่อเทียบกับขณะที่ยังไม่ได้ต่อตัวต้านทาน แต่วิธีนี้ใช้ไม่ได้ในขณะไม่มีโหลด และการเพิ่มค่าความต้านทานยังทำให้เกิดกำลังสูญเสียเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปวิธีนี้ถูกจำกัดการใช้งานไว้ไม่เกิน 50% ของความเร็วรอบพิกัด (Rated speed) วิธีที่สองในการปรับความเร็วรอบคือการเปลี่ยนค่าฟลักซ์แม่เหล็กโดยต่อตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับขดลวดสนาม (Field winding) โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวต้านทานแปรค่าหรือรีโอสแตต (Rheostat) เพื่อควบคุมกระแสสนาม ซึ่งวิธีนี้ใช้ได้เฉพาะการเพิ่มความเร็วรอบจากค่าที่สอดคล้องกับการขับโหลดค่าหนึ่ง ๆ นอกจากนี้ ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวเกิดขึ้นโดยที่โหลดของมอเตอร์ไม่ได้ลดลง จึงอาจทำให้มอเตอร์ทำงานในสภาวะโหลดเกิน (Overload) อย่างไรก็ตามที่สภาวะไม่มีโหลดหรือที่ค่าโหลดต่ำ ความเร็วรอบสามารถปรับเพิ่มได้สูงเกินความเร็วรอบปกติได้ประมาณ 3 เท่า วิธีที่สามคือการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของอาร์เมเจอร์ ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่นิยมใช้ที่สุดในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยที่ค่าความเร็วรอบขณะไม่มีโหลดและขณะโหลดเต็ม (Full-load speed) สามารถปรับลดให้กลายเป็นศูนย์ได้

การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงด้วยการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจรรีเลย์สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิด ในกรณีที่แหล่งกำเนิดไฟกระแสตรง เราสามารถใช้ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรง (DC power converter) หรือที่รู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่าวงจรชอปเปอร์ (Chopper) แต่ในกรณีแหล่งกำเนิดไฟกระแสสลับ เราสามารถใช้วงจรเรียงกระแสแบบไดโอด (Diode rectifier) เพื่อแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรงชนิดปรับค่าไม่ได้ (Uncontrolled DC voltage) จากนั้นจึงใช้วงจรชอปเปอร์ในการเปลี่ยนค่าแรงดันเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งจะเห็นว่ามีมีการแปลงผันกำลังไฟฟ้า 2 ช่วง ส่งผลให้ใช้อุปกรณ์มากขึ้นและกำลังสูญเสียมีค่าสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการแปลงผันกำลังมีค่าลดลงได้ ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ใช้ตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส (Phased-controlled rectifier) เพื่อแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้ โดยมีการศึกษา ออกแบบ และสร้างวงจรควบคุมการทำงานของวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว (Single-phase semiconverter) ซึ่งใช้ไทรสเตอร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์กำลัง (Power switch) โดยสามารถควบคุมจังหวะการเริ่มนำกระแสของไทรสเตอร์ได้โดยการเปลี่ยนมุมยิงหรือมุมจุดชนวน (Firing angle) เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้สำหรับนำไปใช้ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อออกแบบและสร้างวงจรควบคุมสำหรับขับนำไทรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้โดยการปรับมุมยิง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) จำลองผลการทำงานของวงจรควบคุมด้วยโปรแกรมโปรติอุส (Proteus) เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างวงจรควบคุมโดยใช้ไอซี TCA785
- 2) สร้างวงจรควบคุมสำหรับวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวโดยใช้ไอซี TCA785
- 3) สร้างแบบจำลองการทำงานของวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว โดยรับแรงดันอินพุตกระแสสลับ 12 V เพื่อจ่ายโหลดตัวต้านทานและมอเตอร์กระแสตรง

## 1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2556								
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1) ศึกษาหลักการทำงานวงจร เซมิคอนเวอเตอร์เฟส เดียวและคุณลักษณะของ ไทรสเตอร์									
2) ศึกษาวิธีการใช้งาน ไอซี TCA785									
3) ออกแบบวงจรควบคุมโดย จำลองผลด้วยโปรแกรม โปรติอุส									
4) สร้างวงจรควบคุมและ แบบจำลองของวงจร เซมิคอนเวอเตอร์เฟส เดียว									
5) สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม ปริญญานิพนธ์									

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

วงจรควบคุมและแบบจำลองของวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียวที่สร้างขึ้นสามารถแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรงที่สามารถปรับค่าแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยได้ด้วยการปรับมุมยิง โดยค่าแรงดันเอาท์พุทที่ปรับค่าได้สามารถนำไปใช้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงได้ และสามารถใช้เป็นชุดสาธิตการทำงานของตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส รวมถึงใช้เป็นแนวทางเพื่อสร้างตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสชนิดอื่นต่อไป

## 1.6 งบประมาณ

1) อุปกรณ์ในวงจรควบคุม	600 บาท
2) อุปกรณ์ในวงจรกำลัง	400 บาท
3) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญาบัตร	1,000 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	



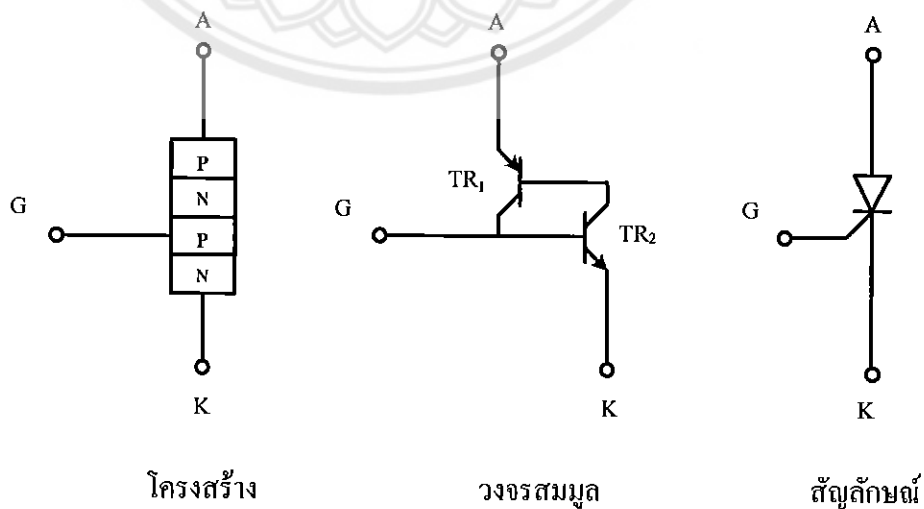
## บทที่ 2

### หลักการเรียงกระแสเฟสเดียวแบบควบคุมได้โดยใช้เซมิคอนเวอร์เตอร์

โครงการนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างวงจรควบคุมการทำงานของตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส (Phase-controlled rectifier) ชนิดเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว (Single-phase semiconverter) สำหรับแปลงไฟกระแสสลับของแหล่งกำเนิดให้กลายเป็นไฟกระแสตรง และสามารถปรับเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตของวงจรได้ด้วยการปรับมุมยิงเพื่อกำหนดช่วงเวลานำกระแสของไทรสเตอร์ (Thyristor) ในวงจร และในโครงการนี้สัญญาณควบคุมการนำกระแสของไทรสเตอร์ถูกสร้างจากไอซีหมายเลข TCA785

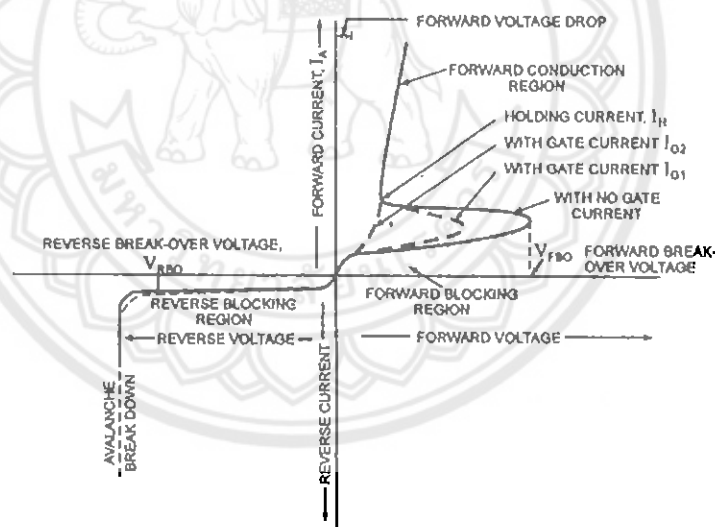
#### 2.1 คุณลักษณะของไทรสเตอร์

ไทรสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor device) ที่สามารถทำหน้าที่เป็นสวิตช์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power electronics) โดยควบคุมให้นำกระแสด้วยวงจรควบคุม (Control circuit) และหยุดนำกระแสด้วยวงจรกำลัง (Power circuit) โครงสร้างของไทรสเตอร์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P type material) และชนิดเอ็น (N type material) ต่อเรียงสลับกัน ดังรูปที่ 2.1(ก) และมีขั้วต่อ (Terminal) ให้ใช้งาน 3 ขา คือแอโนด (Anode) แคโทด (Cathode) และเกต (Gate) โครงสร้างของไทรสเตอร์สามารถเขียนแทนด้วยวงจรสมมูลซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อกันดังรูปที่ 2.1(ข) และสัญลักษณ์ของไทรสเตอร์ในแผนภาพวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 2.1(ค) [1]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไทรสเตอร์

คุณลักษณะในการทำงานของไทรสเตอร์สามารถแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 2.2 ในขณะที่ไทรสเตอร์ได้รับไบแอสไปหน้า (Forward bias) ไทรสเตอร์ยังไม่สามารถนำกระแส ในขณะที่มีเพียงกระแสรั่ว (Leakage current) ไหลผ่านอุปกรณ์ จนกระทั่งไทรสเตอร์ได้รับกระแสเกต (Gate current) จึงสามารถนำกระแสได้อย่างสมบูรณ์ โดยมีแรงดันตกคร่อม (Forward volt-drop) ค่าหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน หลังจากเริ่มนำกระแส ไทรสเตอร์สามารถนำกระแสได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่จำเป็นต้องใช้กระแสเกตอีก อย่างไรก็ตามหากไทรสเตอร์ได้รับไบแอสไปหน้าด้วยค่าแรงดันที่สูงมากพอ ก็สามารถทำให้ไทรสเตอร์นำกระแสได้เช่นกัน เราเรียกสภาวะนี้ว่าการทลายไปหน้า (Forward breakdown) ในกรณีที่ไทรสเตอร์ได้รับไบแอสย้อน (Reverse bias) จะไม่นำกระแส โดยมีเพียงกระแสรั่วที่ไหลผ่านอุปกรณ์ แต่หากค่าแรงดันของไบแอสย้อนมีค่าสูงพอ อาจทำให้เกิดการทลายย้อน (Reverse breakdown) ได้ นั่นคือมีกระแสปริมาณสูงไหลผ่านไทรสเตอร์จากแอโนดไปยังแคโทด ดังนั้นการเลือกใช้ไทรสเตอร์จึงจำเป็นต้องพิจารณาคุณลักษณะให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการ คุณลักษณะที่สำคัญได้แก่ ค่าแรงดันและค่ากระแสสูงสุดที่ทนได้ ค่าจุดชนวนของกระแสเกต และค่ากระแสคงไว้ (Holding current) เป็นต้น [1] โดยในโครงการนี้ได้เลือกใช้ไทรสเตอร์หมายเลข BT151



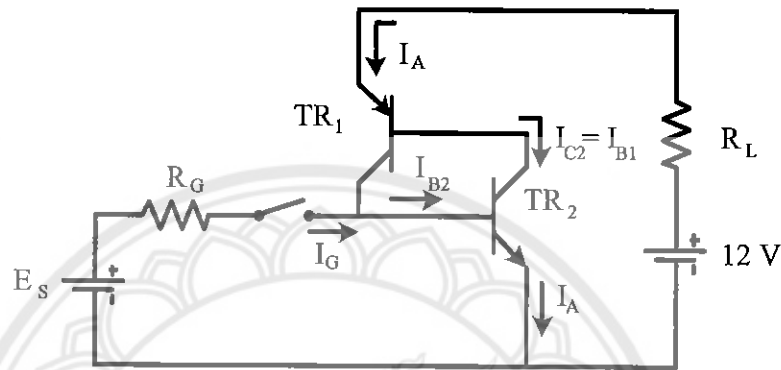
รูปที่ 2.2 เส้นโค้งคุณลักษณะของไทรสเตอร์

ที่มา: <http://www.circuitstoday.com/scr-characteristics>

การขั้บนำไทรสเตอร์สามารถอธิบายโดยใช้วงจรสมมูลของไทรสเตอร์ โดยแสดงดังรูปที่ 2.3 ในขณะที่ไทรสเตอร์ได้รับไบแอสไปหน้าโดยแอโนด มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแคโทด ไทรสเตอร์เริ่มนำกระแสก็ต่อเมื่อได้รับกระแสเกต ( $I_G$ ) ทำให้เกิดกระแสเบส ( $I_{B2}$ ) ไหลเข้าขาเบส (Base) ของ  $TR_2$  ทำให้  $TR_2$  อยู่ในสภาวะนำกระแส จึงเกิดกระแสคอลเลกเตอร์ ( $I_{C2}$ ) ไหลผ่าน  $TR_2$  ซึ่งก็คือกระแสเบส ( $I_{B1}$ ) ของ  $TR_1$  นั่นเอง ส่งผลให้  $TR_1$  นำกระแส และเนื่องจากค่าความต้านทานระหว่าง



แอมโตนและแอมโตนของทรานซิสเตอร์มีค่าต่ำมากจึงทำให้เกิดกระแสแอมโตน ( $I_A$ ) ไหลผ่านอิมิตเตอร์ (Emitter) ของ  $TR_1$  ไปยังอิมิตเตอร์ของ  $TR_2$  [9] หลังจากทรานซิสเตอร์นำกระแสแล้วไม่จำเป็นต้องคงค่ากระแสเกตไว้ตลอดเวลา โดยที่ทรานซิสเตอร์ยังคงนำกระแสอยู่เพราะ  $I_{B2}$  ที่ไหลเข้าขาเบสของ  $TR_2$  ได้ไหลมาจากคอลเลกเตอร์ (Collector) ของ  $TR_1$  ดังนั้นถึงแม้ไม่มีกระแสเกตมาจุกชนวนที่ขาเกตของทรานซิสเตอร์ก็ยังคงนำกระแสต่อไปได้ ในกรณีที่แหล่งกำเนิดเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเราสามารถกำหนดระยะเวลาที่ให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสได้โดยเลือกมุมยังไปจุกชนวนที่ขาเกต



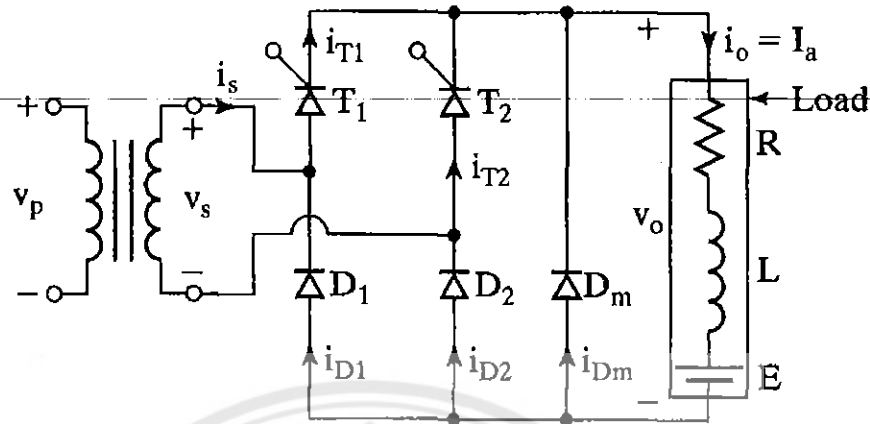
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนภาพวงจรขับนำทรานซิสเตอร์

การควบคุมให้ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสต้องอาศัยวงจรกำลัง ซึ่งอาจทำได้โดยการสับเปลี่ยนกระแสแบบธรรมชาติ (Natural commutation) โดยเฉพาะในกรณีที่วงจรรับไฟจากแหล่งกำเนิดรูปไซน์ ในขณะที่ค่าของสัญญาณไซน์ลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ กระแสของทรานซิสเตอร์จะมีค่าเหลือ้น้อยกว่าค่ากระแสคงไว้ ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส และอีกวิธีหนึ่งคือการสับเปลี่ยนกระแสแบบบังคับ (Forced commutation) ได้แก่การปรับเพิ่มโวลต์ให้สูงเพื่อลดค่ากระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ให้ต่ำกว่าค่ากระแสคงไว้ ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส

## 2.2 หลักการทำงานของเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว

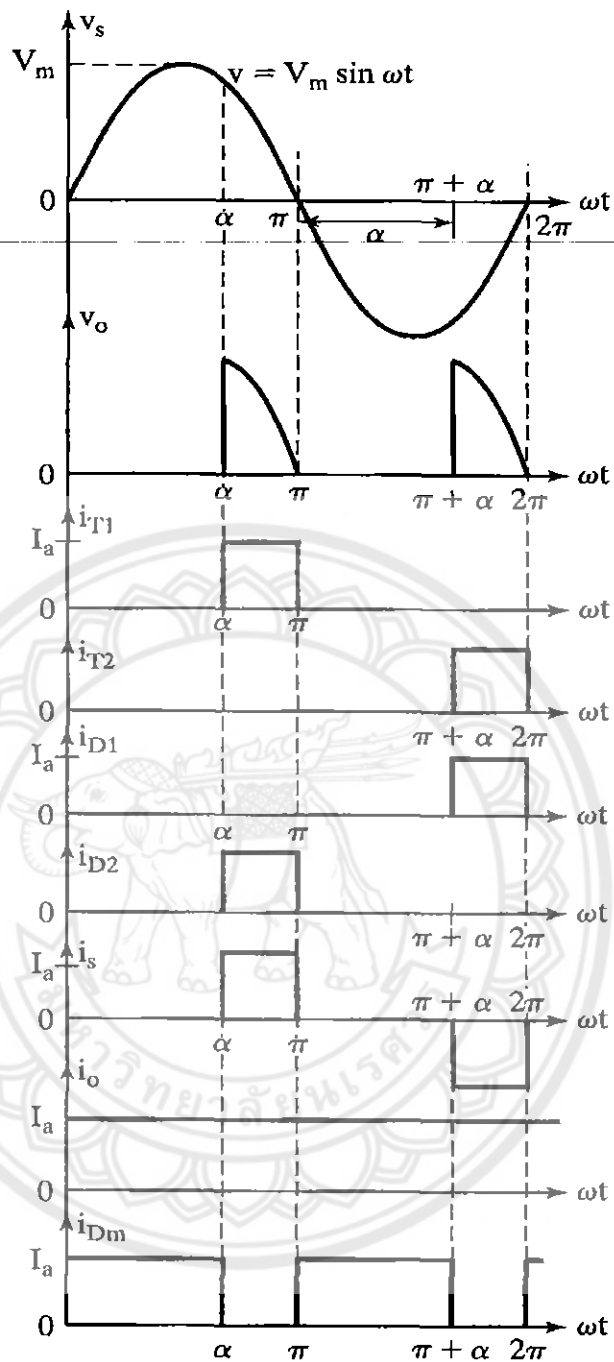
วงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวเป็นตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสที่มีการทำงานแบบ 1 ควอดแรนต์ (Quadrant) นั่นคือเป็นวงจรที่สร้างแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก แผนภาพวงจรของเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวแสดงดังรูปที่ 2.4 โครงสร้างของวงจรประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัวและไดโอด 2 ตัว ซึ่งดังรูปที่ 2.4 เป็นการต่อวงจรกับโหลดที่มีค่าความเหนี่ยวนำ จึงต้องต่อไดโอดฟรีวีลิ่ง (Free-wheeling diode) ขนานกับโหลดเพราะเมื่อทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสตัวเหนี่ยวนำจะยังคงมีกระแสตกค้างอยู่ในตัวเหนี่ยวนำไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแบบเฉียบพลันได้ จึงทำให้กระแสดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปเป็นแรงดันค่าสูงไปตก

คร่อมที่ไทรสเตอร์ทำให้ไทรสเตอร์เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นการต่อไดโอดฟรีวิลลิงเข้าไปขนานกับโหลดจึงช่วยแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้



รูปที่ 2.4 แผนภาพวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว [2]

วงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์รับอินพุตเป็นไฟกระแสสลับรูปไซน์  $v_s$  โดยอาจรับค่ามาจากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ในช่วงครึ่งบวกของ  $v_s$  ไทรสเตอร์  $T_1$  และไดโอด  $D_2$  ได้รับไบแอสไปหน้า และ  $T_1$  เริ่มนำกระแสเมื่อป้อนกระแสเกตที่มุมยิ่ง  $\omega t = \alpha$  โดยในช่วง  $\alpha < \omega t < \pi$  กระแสไหลผ่านไทรสเตอร์  $T_1$  และไดโอด  $D_2$  ไปยังโหลดส่งผลให้แรงดัน  $v_s$  ตกคร่อมโหลด ( $v_o = v_s$ ) อย่างไม่ก็ตาม ในช่วง  $\pi \leq \omega t < (\pi + \alpha)$  แรงดัน  $v_s$  มีค่าเป็นลบ ทำให้  $D_m$  ได้รับไบแอสไปหน้าจึงนำกระแสเพื่อช่วยให้กระแสไหลต่อเนื่อง กระแสไหลเปลี่ยนเส้นทางไหลจาก  $T_1$  และ  $D_2$  ไปยัง  $D_m$  ส่งผลให้  $T_1$  และ  $D_2$  หยุดนำกระแส หลังจากนั้นในช่วงครึ่งลบของ  $v_s$  ไทรสเตอร์  $T_2$  และ  $D_1$  ได้รับไบแอสไปหน้า และ  $T_2$  เริ่มนำกระแสที่มุมยิ่ง  $\omega t = \pi + \alpha$  ส่งผลให้  $D_m$  ได้รับไบแอสย้อนจึงหยุดนำกระแส ในขณะที่กระแสไหลไปสู่โหลดผ่าน  $T_2$  และ  $D_1$  รูปสัญญาณของแรงดันด้านเข้า แรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า และกระแสผ่านไทรสเตอร์และไดโอดในวงจรแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รูปสัญญาณในวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว [2]

จากรูปที่ 2.5 ค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์ ( $V_o$ ) ของมอเตอร์กระแสตรงสามารถคำนวณหาได้จาก

$$V_a = V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (2.5)$$

เมื่อ  $V_a$  = แรงดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์ มีหน่วย (V)

$V_{dc}$  = แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย มีหน่วย (V)

$V_m$  = แรงดันสูงสุดของสัญญาณไฟสลับ (V)

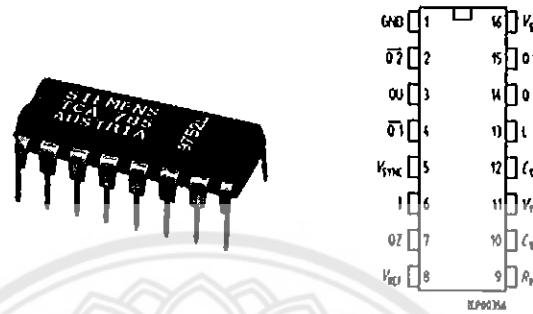
จะเห็นว่าการปรับมุม  $\alpha$  ตั้งแต่ 0 ถึง  $\pi$  ทำให้  $V_{dc}$  มีค่าอยู่ระหว่าง  $2V_m/\pi$  กับ 0 V

### 2.3 การควบคุมการนำกระแสของไทรสเตอร์ด้วยไอซี TCA785

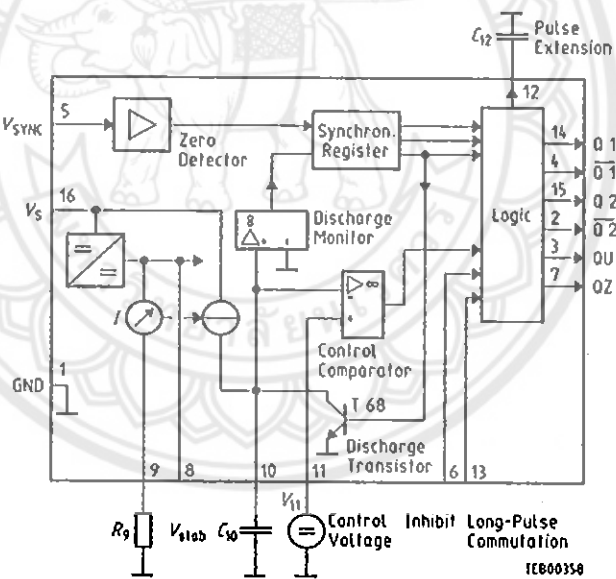
การนำกระแสของไทรสเตอร์อาศัยการจุดชนวนที่ขาเกตของไทรสเตอร์ ในโครงงานนี้ใช้ไอซี TCA785 สร้างสัญญาณควบคุมเป็นพัลส์กระแสเพื่อป้อนให้ขาเกตของไทรสเตอร์ โดยที่ไอซี TCA785 นิยมใช้ในงานควบคุมเฟสหรือใช้ได้กับวงจรแปลงผันแบบสับเปลี่ยน โดยแรงดันสายซึ่งเป็นแรงดันไฟกระแสสลับ (Line-commutated converter) และใช้ได้ทั้งกับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส สามารถปรับมุมจุดชนวนที่ขาเกตได้ตั้งแต่  $0^\circ$  ถึง  $180^\circ$  และสามารถสร้างลักษณะสัญญาณพัลส์ได้หลายรูปแบบ ใช้งานได้ดีในย่านความถี่ระหว่าง 10 ถึง 500 Hz อุณหภูมิระหว่าง  $-25$  ถึง  $85^\circ\text{C}$  และต้องการไฟเลี้ยงกระแสตรงขนาด 8 ถึง 18 V ทนกระแสได้ 4.5 ถึง 10 mA อินเตอร์เฟสโดยตรงกับลอจิกเกตที่ใช้แรงดัน +15 V สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าด้านออกของวงจรที่ขา 14 และ 15 ได้ประมาณ 250 mA สัญญาณด้านออกมีทั้งแบบปกติ และแบบกลับสัญญาณ นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในลักษณะวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing) ได้ [3]

โครงสร้างภายนอกและส่วนประกอบภายในไอซี TCA785 แสดงดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ ไอซี TCA785 เป็นวงจรรวมแบบ (Large scale integrated) มี 16 ขา บรรจุแบบตัวถังพลาสติก ขาที่ 16 คือ แรงดันไบแอส ( $+V_S$ ) ในย่าน 8 ถึง 18 V โดยขาที่ 1 เป็นกราวด์ แรงดันควบคุมภายในเป็นแรงดันอ้างอิง ( $V_{REF}$ ) ประมาณ 3.81 V วัดได้ที่ขา 8 โดยตัวเก็บประจุ  $C_8$  ทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวน (Noise) ขา 5 รับแรงดันซิงโครไนซ์ ( $V_{SYNC}$ ) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายที่ต่อกับวงจรภาคกำลังโดยต่อนิวตรอนกับขาที่ 1 ตัวต้านทาน  $R_9$  สร้างสัญญาณลาดเอียง และ ตัวเก็บประจุ  $C_{10}$  เป็นตัวเก็บประจุของสัญญาณลาดเอียงโดยต่อกับขา 9 และขา 10 ตามลำดับ ค่าของ  $C_{10}$  จะมีค่าประมาณ 500 pF ถึง 1  $\mu\text{F}$  และ  $R_9$  มีค่าเหมาะสมในย่าน 3 ถึง 300 k $\Omega$  ค่าของ  $R_9$  และ  $C_{10}$  จะเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณลาดเอียง  $V_{10}$  ถ้ามีค่ามากความลาดเอียงก็จะมากตามไปด้วย ส่วนขา 11 เป็นขาที่ต่อแรงดันควบคุมเป็นแรงดันไฟตรงปรับค่าได้ แรงดัน  $V_{11}$  นี้จะป้อนเข้าขาบวกของออปแอมป์ เปรียบเทียบสัญญาณควบคุมโดยเทียบกับแรงดัน  $V_{10}$  เพื่อกำหนดขนาดของมุมจุดชนวนที่ด้านออกของวงจร จะเห็นว่าสัญญาณอยู่ที่ขา 14 และ 15 โดยพัลส์ที่ขา 15 จะทำงานช่วงเวลา  $WT = 0^\circ$  ถึง  $180^\circ$  และพัลส์ที่ขา 14 จะทำงานช่วงเวลา  $WT = 180^\circ$  ถึง  $360^\circ$  ขนาดความกว้างพัลส์ด้านออกคือ  $\beta$  โดยใช้ค่า  $C_{12}$  ต่อเข้าที่ขา 12 สำหรับขา 2 และขา

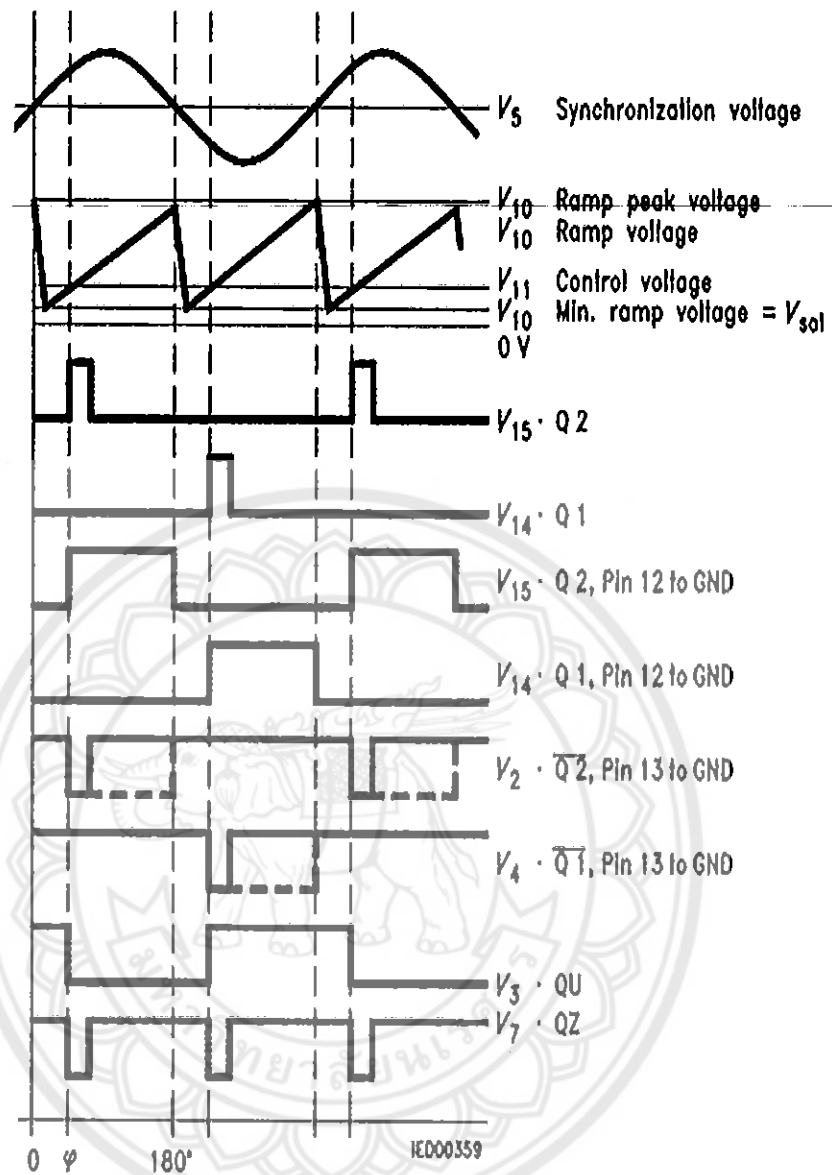
4 คือสัญญาณกลับของ  $V_{14}$  และ  $V_{15}$  สัญญาณลักษณะพัลส์เดี่ยวที่มี  $\beta = 30 \mu s$  นั้น จะเกิดได้เมื่อไม่มีการต่อ  $C_{12}$  เข้าที่ขา 12 แต่ถ้าต้องการให้พัลส์ด้านนอกเป็นพัลส์ยาว ทำได้โดยการต่อขา 12 ลงกราวด์ และถ้าต้องการให้สัญญาณออกที่ขา 2 และขา 4 เป็นพัลส์ยาว ทำได้โดยการต่อขา 13 ลงกราวด์ [3] โดยสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของ ไอซี TCA785 แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 โครงสร้างภายนอกของ ไอซีหมายเลข TCA785 [3]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างภายในของ ไอซีหมายเลข TCA785 [3]



รูปที่ 2.8 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของไอซีหมายเลข TCA785 [3]

## 2.4 หม้อแปลงพัลส์

ในทางปฏิบัติการขับนำไทรสเตอร์นิยมทำผ่านหม้อแปลงพัลส์ (Pulse transformer) เพื่อให้การแยกทางไฟฟ้า (Electrical isolation) ระหว่างวงจรกำลังและวงจรควบคุมเพื่อความปลอดภัยและป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ในวงจร [4] ซึ่งหม้อแปลงพัลส์ใช้แกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite core transformer) โดยส่วนผสมของเฟอร์ไรท์มีความแตกต่างกันหลายอย่าง เช่น แมกนีเซียมกับสังกะสี แมกนีเซียมกับแมงกานีส แมกนีเซียมกับทองแดง นิกเกิลกับสังกะสี และแมงกานีสกับสังกะสี เป็นต้น แต่ละชนิดของเฟอร์ไรท์ให้ความเข้มของค่าความเหนี่ยวนำแตกต่างกัน ข้อดีของแกนเฟอร์ไรท์ คือ สามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆ ได้ ใช้งานได้ดีทั้งความถี่ต่ำและความถี่สูง [5]

เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ได้จากขา 14 และ 15 ของ TCA785 นั้นมีกรวดร่วนร่วมกัน ดังนั้น การขับนำไทรสเตอร์ทั้ง 2 ตัวในวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์ซึ่งต่อกลับทิศทางกันจึงไม่สามารถทำให้ไทรสเตอร์นำกระแสได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงพัลส์ในการแยกกรวดดังกล่าว โดยในโครงการนี้เลือกใช้หม้อแปลงพัลส์หมายเลข 1026C ดังรูปที่ 2.9

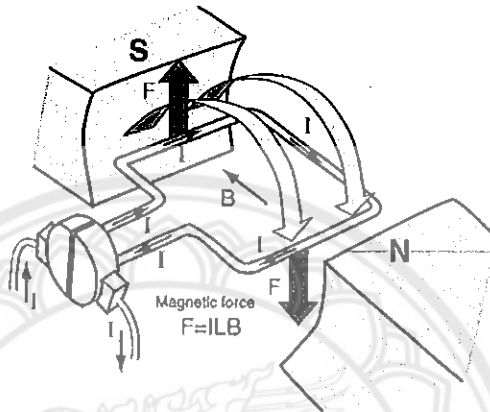


รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายนอกของหม้อแปลงพัลส์หมายเลข 1026C

ที่มา: [http://www.murata-ps.com/data/magnetics/kmp\\_1000.pdf](http://www.murata-ps.com/data/magnetics/kmp_1000.pdf)

## 2.5 การเปลี่ยนค่าแรงดันอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงคือเครื่องจักรกลที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยอาศัยหลักการคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้ขดลวดตัวนำเกิดการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ที่มา: <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric4/topweek9.htm>

สมการที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์กระแสตรง ได้แก่

$$E_g = k \cdot I_f \cdot \omega \quad (2.1)$$

$$V_a = R_a I_a + E_g = R_a I_a + k \cdot I_f \cdot \omega \quad (2.2)$$

$$\omega = \frac{V_a - R_a I_a}{k \cdot I_f} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $E_g$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าติกลับ (Back emf) มีหน่วย (V)

$V_a$  = แรงดันตกคร่อมอาร์เมเจอร์ มีหน่วย (V)

$K$  = ค่าคงที่ของมอเตอร์ มีหน่วย (V/A.rad/s)

$I_f$  = กระแสสนาม (Field current) มีหน่วย (A)

$I_a$  = กระแสอาร์เมเจอร์ (Armature current) มีหน่วย (A)

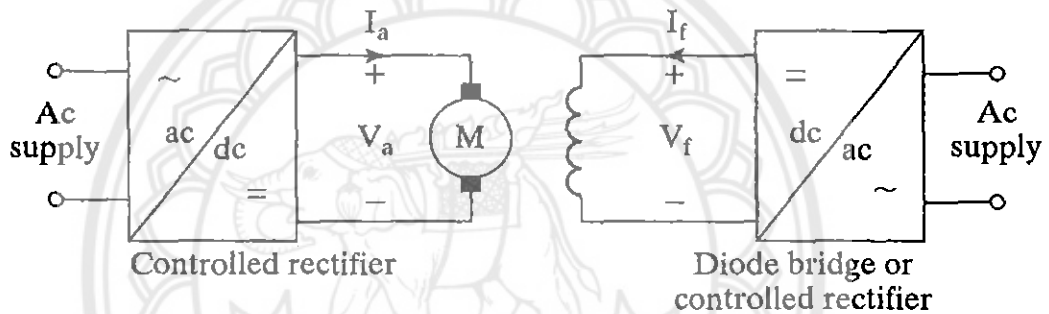
$\omega$  = ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ มีหน่วย (rad/s)

$R_a$  = ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ มีหน่วย ( $\Omega$ )



จากสมการที่ (2.3) จะเห็นว่า การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงสามารถทำได้โดย 3 วิธี คือการเปลี่ยนค่าความต้านทานในวงจรรีอาร์เมเจอร์ วิธีที่สองคือการควบคุมค่าฟลักซ์แม่เหล็ก โดยเปลี่ยนค่ากระแสสนาม และวิธีที่สามคือการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของอาร์เมเจอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและเป็นที่ยอมรับเพราะสามารถปรับค่าความเร็วรอบได้ในช่วงกว้าง

การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงจากตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสเป็นการสร้างแรงดันเอาต์พุตกระแสตรงที่ปรับค่าได้จากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าคงที่ ด้วยคุณสมบัติในการสร้างแรงดันไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้อย่างต่อเนื่อง ตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟสจึงนิยมใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงดังรูปที่ 2.11 โดยวงจรควบคุมที่สร้างขึ้นในโครงการถูกนำไปใช้ควบคุมมุมยิงของไทรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เพื่อป้อนแรงดันกระแสตรงที่ปรับค่าได้ และนำไปทดสอบในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงต่อไป



รูปที่ 2.11 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงด้วยตัวเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส [2]

### บทที่ 3

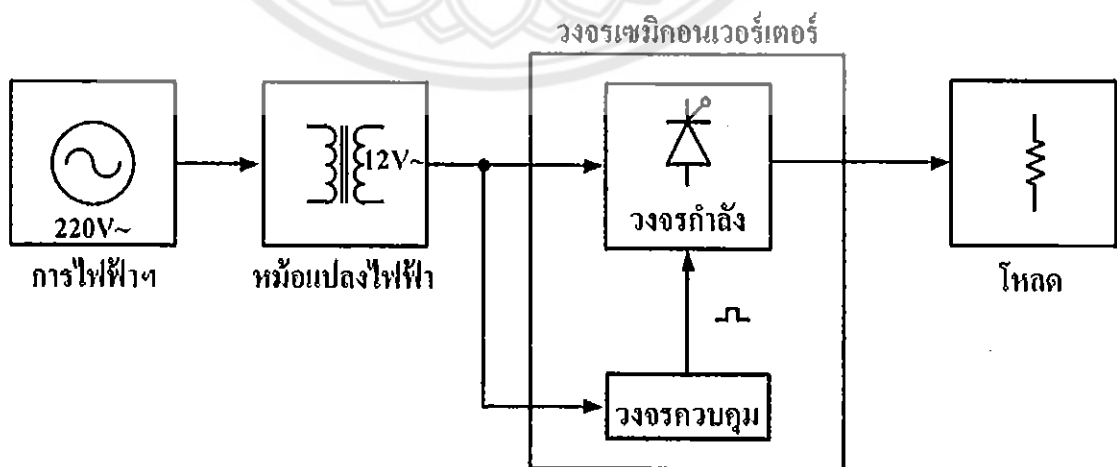
## การสร้างวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียว

เมื่อได้ศึกษาหลักการทำงานและการควบคุมวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ในบทที่ 2 ผู้ดำเนินโครงการได้ทำการออกแบบและสร้างวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียว โดยเริ่มจากการออกแบบวงจรด้วยการจำลองผลการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม โปรติอุส จากนั้นจะสร้างเป็นชิ้นงานและทดสอบวงจรที่สร้างขึ้น

การออกแบบโดยการจำลองผลวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียวแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกจะจำลองวงจรควบคุมสำหรับขับนำไทรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอเตอร์โดยใช้ไอซีหมายเลข TCA785 เมื่อได้ส่วนนี้จะนำไปควบคุมส่วนที่สองคือวงจรกำลังเฟสเดียว เมื่อออกแบบทั้งสองส่วนเสร็จสมบูรณ์แล้วก็จะนำมาประกอบกันเป็นวงจรจำลองการทำงานของวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียว เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ตามการเปลี่ยนมุมยิง

### 3.1 การออกแบบวงจรควบคุมสำหรับเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียว

รูปแบบการทำงานของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบควบคุมได้ด้วยเซมิคอนเวอเตอร์ที่ออกแบบในโครงการนี้แสดงดังรูปที่ 3.1 วงจรจะรับไฟจากการไฟฟ้ามา 220 V แล้วแปลงแรงดันให้เหลือ 12 V ด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อจ่ายให้กับวงจรควบคุมและวงจรกำลัง วงจรควบคุมจะสร้างกระแสพัลส์สำหรับขับนำไทรสเตอร์ในวงจรกำลัง เมื่อไทรสเตอร์นำกระแสจะสามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้โดยการปรับค่ามุมยิง



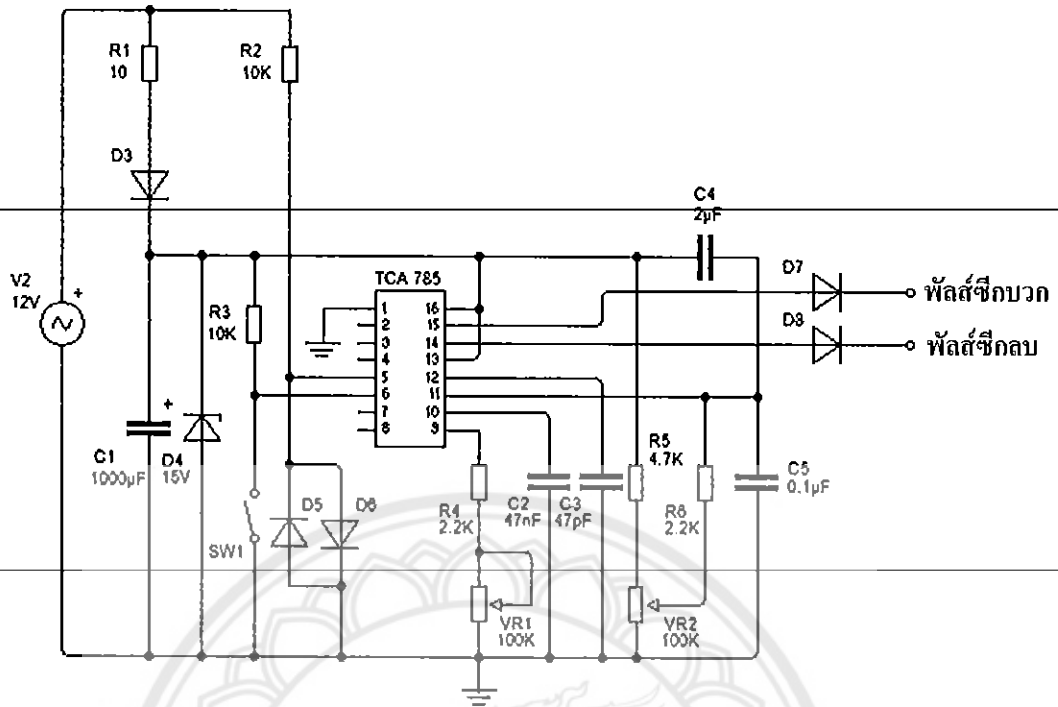
รูปที่ 3.1 แผนภาพกรอบแสดงส่วนประกอบของวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียว

### 3.2 การจำลองผลการทำงานวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรมโปรติอุส

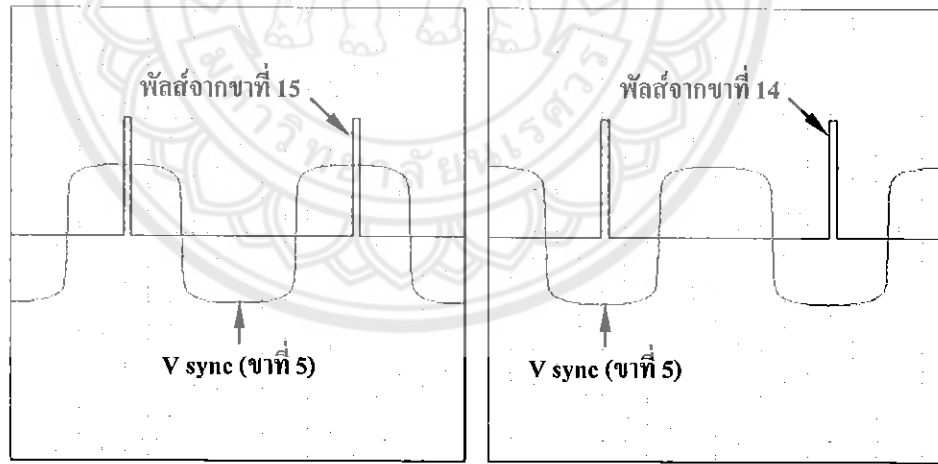
โครงการนี้จะใช้โปรแกรมโปรติอุสในการออกแบบและจำลองผลของวงจร เพื่อสร้างเป็นวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว โดยเริ่มจากการจำลองผลของวงจรควบคุม คือ การสร้างสัญญาณพัลส์กระแสสำหรับขับนำไทรสเตอร์โดยใช้ TCA785 และเมื่อได้พัลส์กระแสที่เหมาะสมในการขับนำไทรสเตอร์แล้ว จะนำไปควบคุมจังหวะการนำกระแสของไทรสเตอร์ในการจำลองผลวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว

#### 3.2.1 การจำลองผลวงจรสร้างสัญญาณขับนำไทรสเตอร์โดยใช้ TCA785

การสร้างสัญญาณขับนำไทรสเตอร์ของวงจรควบคุมด้วย TCA785 ดังรูปที่ 3.2 วงจรควบคุมจะรับไฟฟ้ากระแสสลับ 12 V ส่วนหนึ่งจ่ายให้กับวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ด้วยไดโอดซีเนอร์เพื่อสร้างไฟฟ้ากระแสตรง 15 V จ่ายให้กับขา 16 ซึ่งเป็นไฟเลี้ยงของ TCA785 และอีกส่วนหนึ่งจะจ่ายให้กับขา 5 โดยมีไดโอดสองตัวต่อขนานกลับทิศกัน ทำหน้าที่สร้างสัญญาณตรวจจับศูนย์ (Zero crossing) ด้วยการลดทอนแรงดันค่าของสัญญาณไซน์จากกระแสสลับที่จ่ายเข้ามา เพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิงให้กับวงจรควบคุม และขา 10 จะสร้างสัญญาณลาดเอียง (Ramp) ด้วยการต่อตัวเก็บประจุ โดยสามารถปรับความสูงของแรงดันสัญญาณลาดเอียงได้จากตัวต้านทานแปรค่าที่ต่ออยู่กับขา 9 เมื่อปรับค่าความสูงของสัญญาณลาดเอียงได้ตามที่ต้องการแล้ว จะนำสัญญาณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันควบคุม (Control voltage) ที่ขา 11 ซึ่งสามารถปรับค่าแรงดันได้โดยใช้ตัวต้านทานแปรค่าให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง  $(v_c - 2)$  V ดังแสดงในรูปที่ 3.4 การเปรียบเทียบของสองสัญญาณนี้จะเป็นตัวกำหนดการเลื่อนเฟสของสัญญาณขับนำไทรสเตอร์ที่ให้ออกมาจากขา 14 และขา 15 ดังแสดงในรูปที่ 3.3



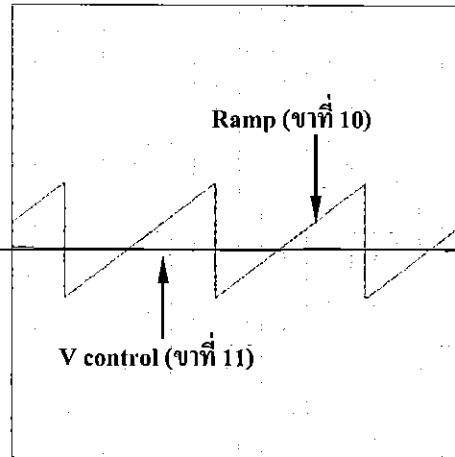
รูปที่ 3.2 วงจรสร้างสัญญาณขับนำไทรสเตอร์โดยใช้ TCA785



(ก) สัญญาณพัลส์ซีกบวก

(ข) สัญญาณพัลส์ซีกลบ

รูปที่ 3.3 สัญญาณขับนำไทรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว



รูปที่ 3.4 สัญญาณลาดเอียงและสัญญาณแรงดันควบคุม

จากการจำลองการสร้างพัลส์กระแสสำหรับขับนำไทรสเตอร์โดยใช้ TCA785 ของวงจรควบคุม พัลส์กระแสได้มีแรงดันประมาณ 13 V ซึ่งเท่ากับ  $(v_s - 2)$  V ตามค่าจำกัดของช่วงแรงดัน (Limit values) ของสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากขา 14 และขา 15 ซึ่งระบุไว้ในคุณสมบัติของการใช้งานของ TCA785 ความกว้างของพัลส์เป็นแบบพัลส์ความกว้างแคบ (Short pulse) พัลส์กระแสที่จะนำไปขับนำไทรสเตอร์มีค่าต่ำสุดประมาณ 2 mA และค่าสูงสุดประมาณ 250 mA ดังนั้นไทรสเตอร์ที่เลือกใช้ต้องมีกระแสขับนำอยู่ในช่วง 2 ถึง 250 mA

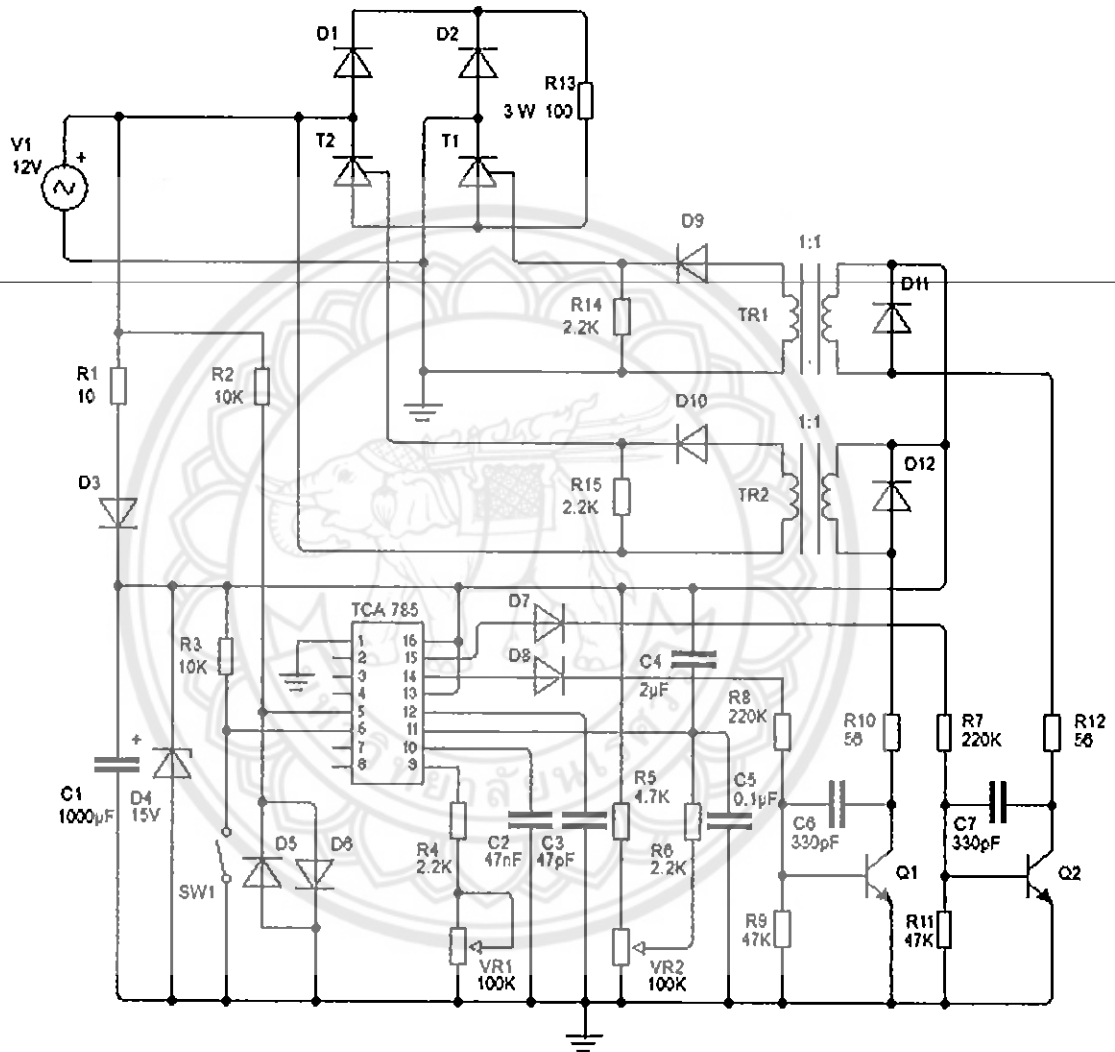
### 3.2.2 การจำลองผลของวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์

เมื่อได้พัลส์กระแสทั้งซีกบวกซีกลบสำหรับขับนำไทรสเตอร์แล้ว จะนำมาควบคุมจังหวะการนำกระแสในการจำลองผลของวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์ โดยพัลส์กระแสทั้งซีกบวกและซีกลบจะส่งผ่านหม้อแปลงพัลส์ โดยมีทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์กำลัง ก่อนนำไปขับนำไทรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากการใช้หม้อแปลงเป็นตัวส่งผ่านกระแสพัลส์จะทำให้วงจรควบคุมและวงจรกำลังแยกออกจากกัน เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์และเป็นการแยกกราวด์ของระบบ

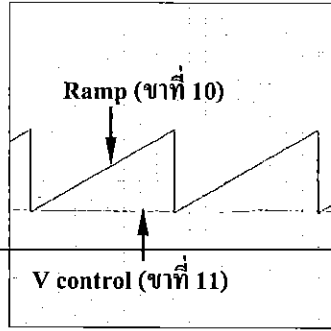
ไทรสเตอร์จะเริ่มนำกระแสเมื่อมีการจุดชนวนด้วยพัลส์กระแสที่ขาเกต โดยที่ขั้วแอโนดและแคโทดได้รับแรงดันไบแอสไปข้างหน้า คือที่ขั้วแอโนดได้รับแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับขั้วแคโทด แต่เนื่องจากการต่อไทรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์นั้นขั้วแอโนดของไทรสเตอร์ทั้งสองตัวไม่ได้อยู่จุดเดียวกันทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องแยกกราวด์ของวงจรควบคุมและวงจรกำลังออกจากกัน โดยใช้หม้อแปลงพัลส์มาเป็นตัวส่งผ่านพัลส์กระแสไปขับนำไทรสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์กำลังเพื่อควบคุมแรงดันโดยการ

ไบแอสด้วยพัลส์กระแสส่งให้กับขดลวดด้านลบของด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงพัลส์ ซึ่งเป็นวงจรไบแอสกึ่งที่และเป็นวิธีการไบแอสที่ง่ายที่สุด [6]

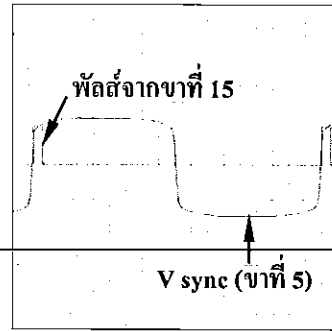
การจำลองผลวงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวโดยใช้โหนดเป็นตัวต้านทาน เพื่อคุณลักษณะของสัญญาณแรงดันเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนมุมยิงที่ค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.6 ถึง 3.10



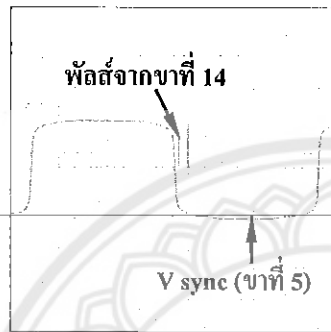
รูปที่ 3.5 วงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวโหนดตัวต้านทาน



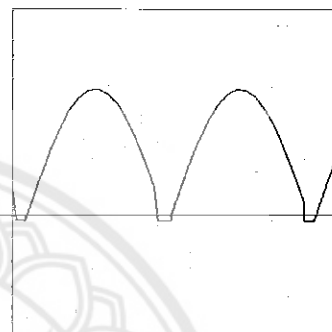
ก) สัญญาณเปรียบเทียบเฟส



ข) พัลส์กระแสช็อบวอก

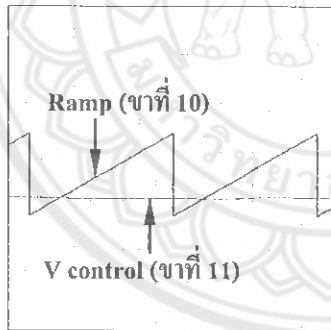


ค) พัลส์กระแสช็อบกลบ

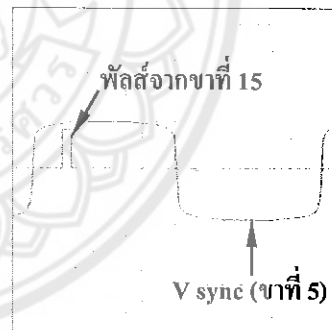


ง) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

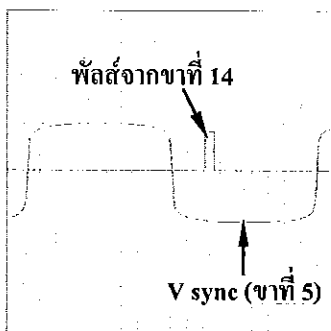
รูปที่ 3.6 สัญญาณเอาต์พุตที่มุม 5.4°



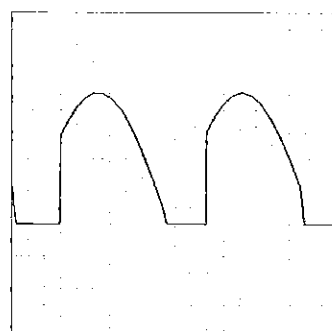
ก) สัญญาณเปรียบเทียบเฟส



ข) พัลส์กระแสช็อบวอก

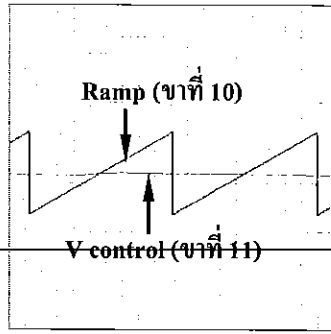


ค) พัลส์กระแสช็อบกลบ

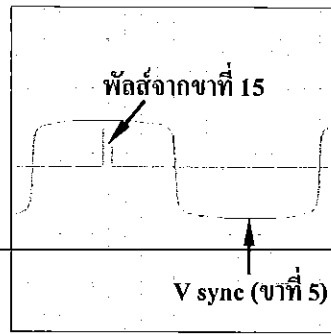


ง) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

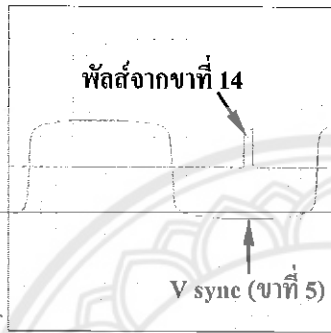
รูปที่ 3.7 สัญญาณเอาต์พุตที่มุม 45°



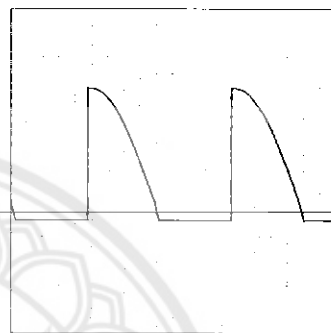
ก) สัญญาณเปรียบเทียบเฟส



ข) พัลส์กระแสชีกบวก

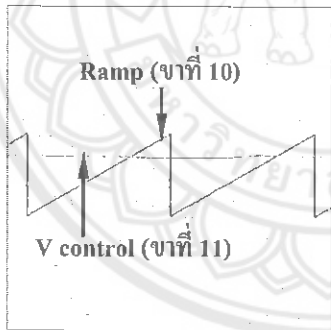


ค) พัลส์กระแสชีกลบ

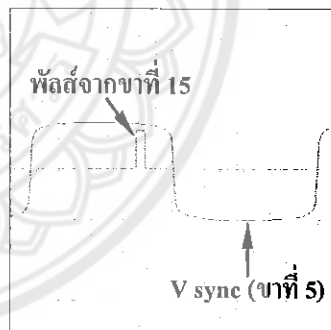


ง) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

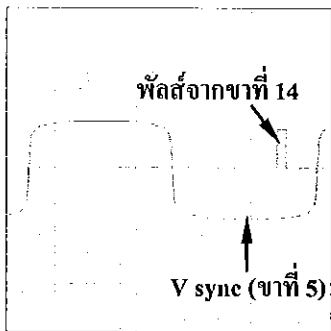
รูปที่ 3.8 สัญญาณเอาต์พุตที่มุม 90°



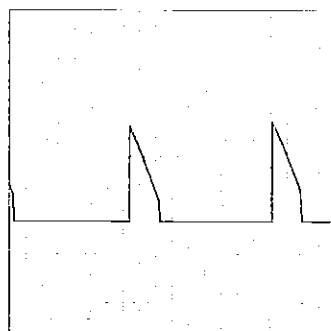
ก) สัญญาณเปรียบเทียบเฟส



ข) พัลส์กระแสชีกบวก



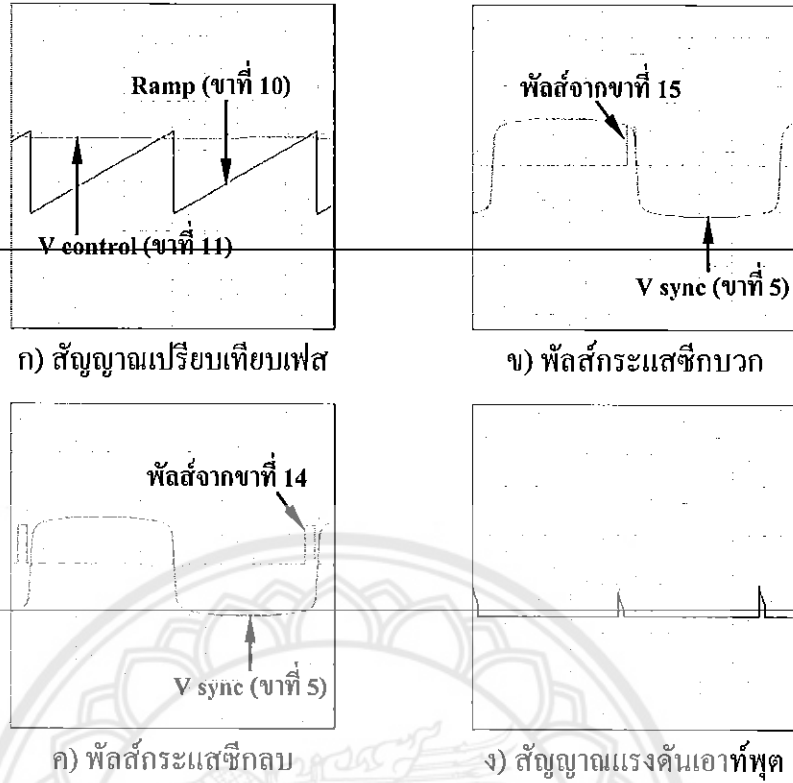
ค) พัลส์กระแสชีกลบ



ง) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

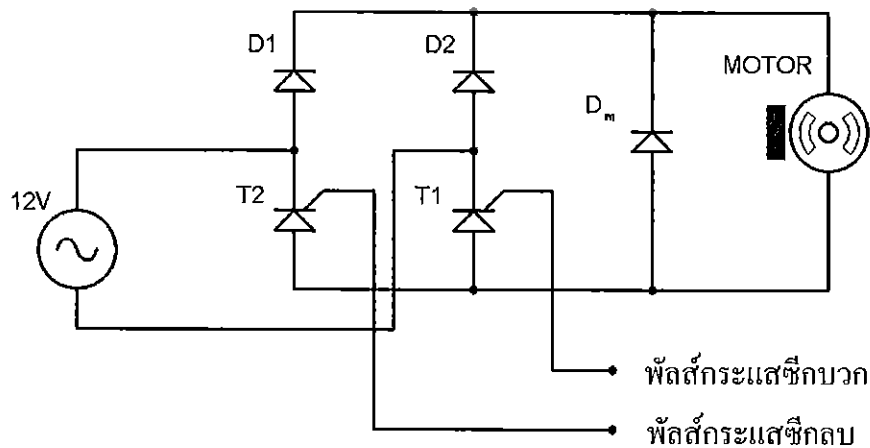
รูปที่ 3.9 สัญญาณเอาต์พุตที่มุม 135°





รูปที่ 3.10 สัญญาณเอาต์พุตที่มุม 167.4°

ในการต่อ โหลดที่เป็นมอเตอร์จะต้องต่อ ไดโอดฟรีวิลลิ่ง เนื่องจากมอเตอร์กระแสตรง เป็นโหลดที่ประกอบด้วยค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำ เมื่อไทรสเตอร์หยุดนำกระแสค่าความเหนี่ยวนำของโหลดจะทำให้กระแสเปลี่ยนแปลงฉับพลัน ซึ่งขณะนั้น ไทรสเตอร์ทำตัวเสมือน วงจรเปิด (Open circuit) ส่งผลให้เกิดแรงดันค่าสูงตกคร่อมไทรสเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องต่อ ไดโอดฟรีวิลลิ่งดังรูปที่ 3.11 เพื่อเป็นทางไหลของกระแสโหลดเมื่อไทรสเตอร์หยุดนำกระแส

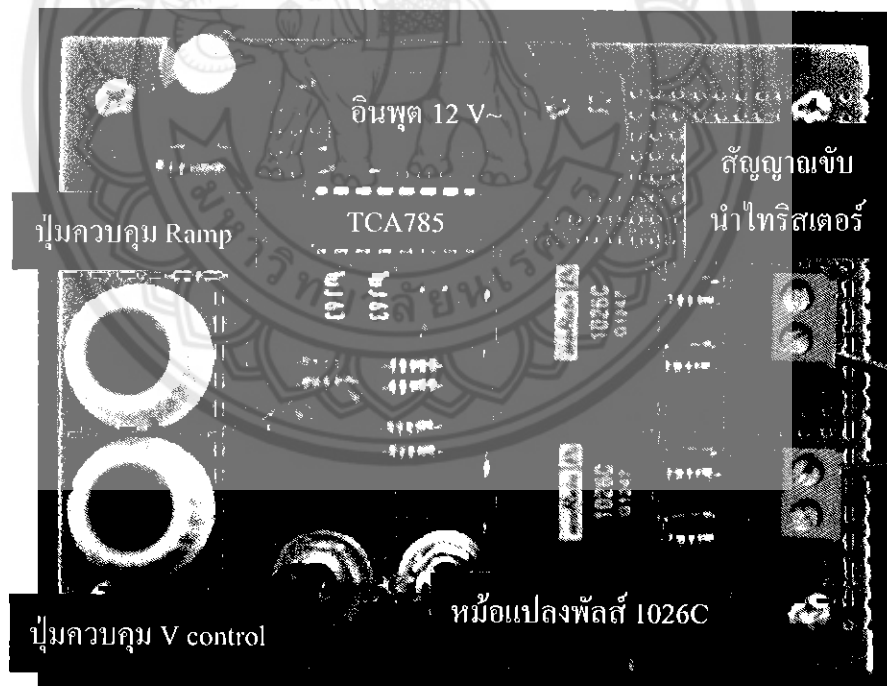


รูปที่ 3.11 วงจรเซมิคอนเวอร์เตอร์ขับโหลดมอเตอร์กระแสตรง

### 3.3 การสร้างวงจรเคมีคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว

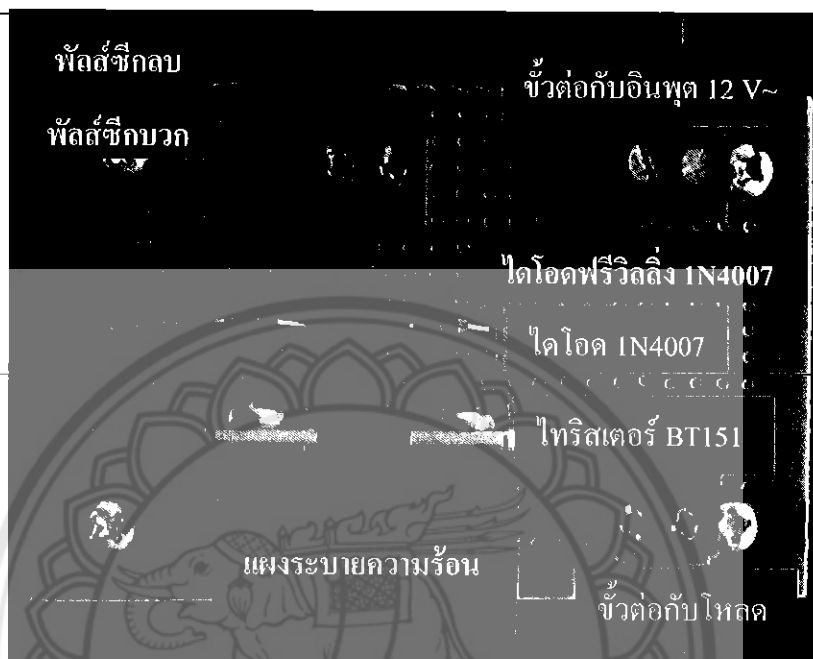
เมื่อออกแบบวงจรโดยการจำลองผลวงจรควบคุมสำหรับเคมีคอนเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรมโปรติอุสและได้ค่าของอุปกรณ์ต่างๆในวงจรเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำวงจรดังกล่าวมาสร้างเป็นชิ้นงาน โดยชิ้นงานนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ วงจรควบคุมและวงจรกำลัง

วงจรควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3.12 จะมีไอซีที่สำคัญ คือ TCA785 ซึ่งทำหน้าที่สร้างพัลส์กระแสของวงจรควบคุม และจะมีการทำงานตามส่วนต่างๆ ดังนี้ วงจรควบคุมจะรับไฟกระแสสลับจากหม้อแปลงไฟฟ้ามา 12 V เพื่อจ่ายให้กับวงจรรักษาระดับแรงดัน โดยวงจรรักษาระดับแรงดันจะสร้างแรงดันไฟกระแสตรง 15 V ไปเลี้ยง TCA785 เพื่อสร้างพัลส์กระแสบวกและพัลส์กระแสลบไปที่หม้อแปลงพัลส์ ซึ่งหม้อแปลงพัลส์จะถูกควบคุมโดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิทช์กำลังในการควบคุมการนำสัญญาณพัลส์กระแสที่ออกมาจาก TCA785 เมื่อพัลส์กระแสถูกส่งมาถึงด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงพัลส์แล้ว พัลส์กระแสที่ได้ก็จะถูกนำไปขับนำไทรสเตอร์เพื่อที่จะให้ไทรสเตอร์เริ่มทำงาน



รูปที่ 3.12 รูปชิ้นงานวงจรควบคุม

วงจรกำลังที่ต่อแบบเซมิคอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 3.13 ประกอบไปด้วยไทรสเตอร์ 2 ตัว และไดโอด 2 ตัว โดยใช้ฟิลส์กระแสที่ได้จากวงจรควบคุมไปขับนำไทรสเตอร์ สามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้โดยการปรับมุมยิง



รูปที่ 3.13 รูปชิ้นงานวงจรกำลัง

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบวงจรควบคุมสำหรับวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ หลังจากที่ได้สร้างวงจรเซมิคอนเวอเตอร์แล้วจึงได้ทำการทดสอบผลการทำงานของวงจร โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

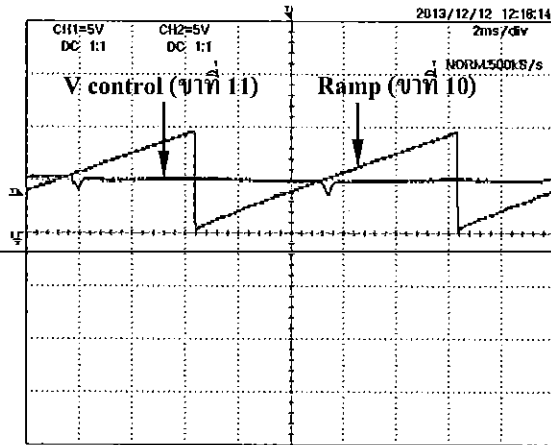
1) การทดสอบวงจรควบคุม เพื่อตรวจสอบสัญญาณพัลส์กระแสสำหรับนำไปขับนำตัวไทรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ และสัญญาณแรงดันลาดเอียงกับสัญญาณควบคุมที่ใช้ในการเปรียบเทียบเฟสเมื่อต้องการเปลี่ยนมุมยิง

2) การทดสอบวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ โดยเริ่มจากการตรวจสอบการทำงานของวงจรกำลังด้วยการเปรียบเทียบค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยที่สร้างขึ้นกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยนำวงจรไปทดสอบกับโหลดที่เป็นตัวต้านทานและโหลดที่เป็นมอเตอร์กระแสตรง

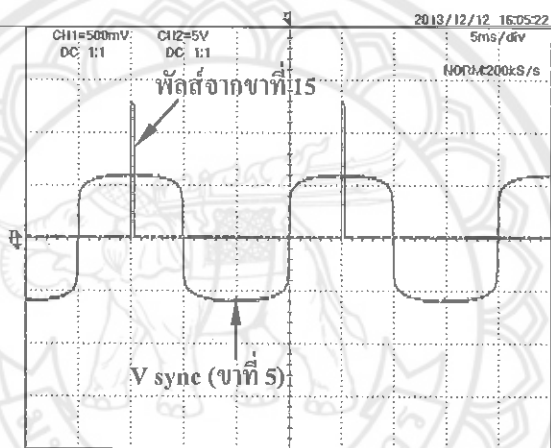
#### 4.1 การทดสอบการทำงานของวงจรสร้างพัลส์กระแสจุดชนวนเกด

การทดสอบวงจรควบคุมมีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบสัญญาณพัลส์กระแสที่จะนำไปขับนำไทรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ โดยพัลส์กระแสทั้งซีกบวกและซีกลบจะเลื่อนเฟสตามสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างแรงดันลาดเอียงกับแรงดันควบคุม แสดงดังรูปที่ 4.1

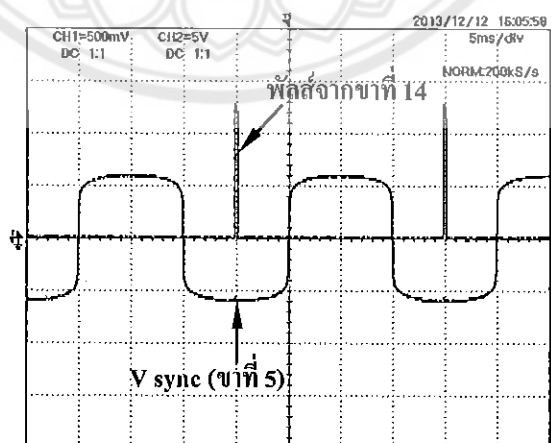
รูปที่ 4.1 แสดงการเลื่อนเฟสของสัญญาณพัลส์กระแสที่สร้างขึ้นจากวงจรควบคุม โดยใช้ TCA785 ที่มุมยิง  $90^\circ$  พัลส์กระแสที่ได้มีแรงดันพัลส์วัดค่าได้ประมาณ 13 V ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ออกแบบไว้



ก) สัญญาณแรงดันเปรียบเทียบเฟส



ข) พัลส์กระแสช็อบวาก



ค) พัลส์กระแสช็อบกลบ

รูปที่ 4.1 การเลื่อนเฟสของสัญญาณขับนำไทรสเตอร์

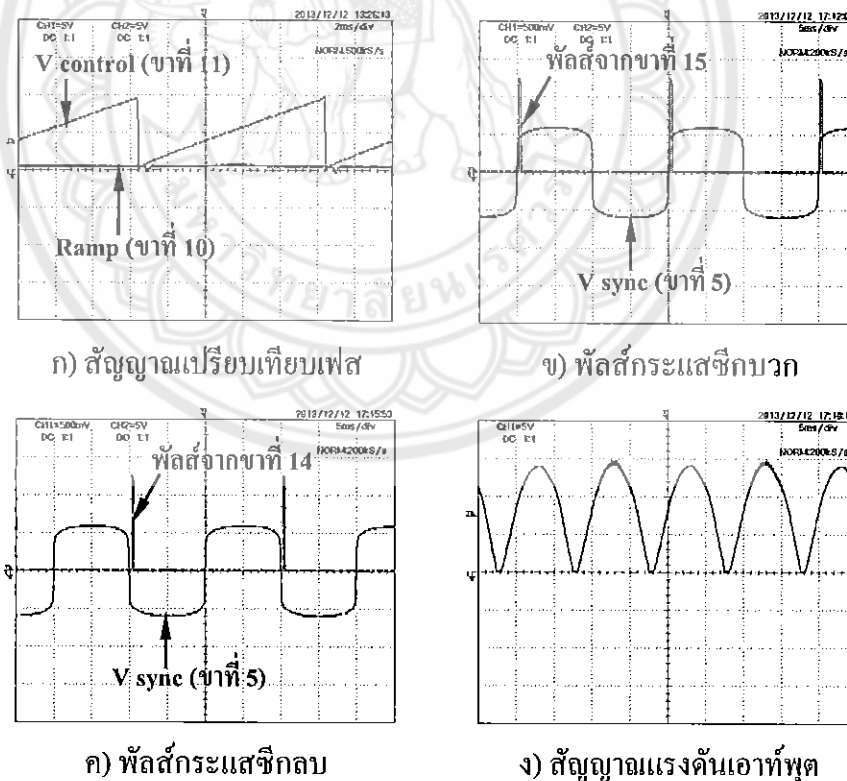
## 4.2 การทดสอบวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียว

การทดสอบวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบแรงดันกระแสตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ โดยการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยที่ตกคร่อมโหลด โดยนำไปทดสอบกับโหลดตัวต้านทานและโหลดมอเตอร์กระแสตรง

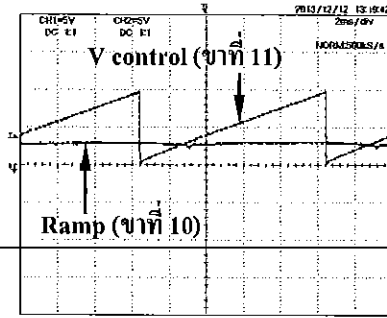
### 4.2.1 แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน

การทดสอบวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ด้วยโหลดตัวต้านทาน มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุมยิงต่างๆ และวัดค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย ( $V_{dc}$ ) เปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณ

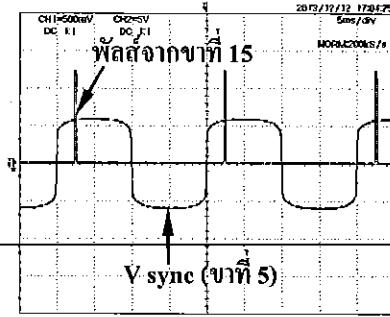
สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน มีการเปรียบเทียบมุมยิงที่ค่าต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย สัญญาณเปรียบเทียบเฟส และสัญญาณพัลส์กระแสเสฉีกบวกลบและซีกลบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ถึง 4.6



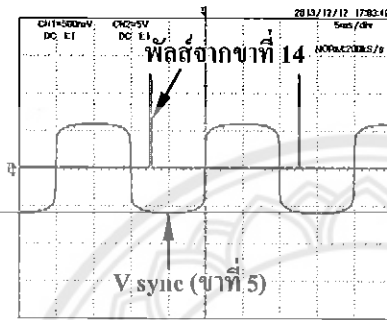
รูปที่ 4.2 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุม  $4.59^\circ$



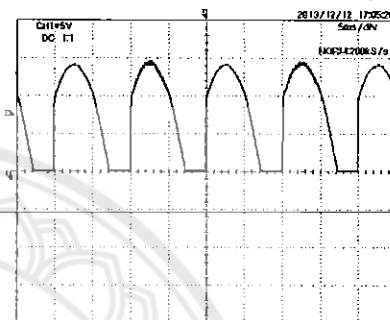
ก) สัญญาณเปรียบเทียบเฟส



ข) พัลส์กระแสช็อบก

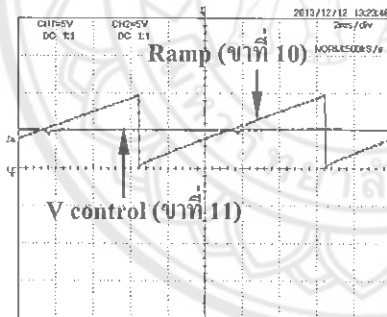


ค) พัลส์กระแสช็อบกลบ

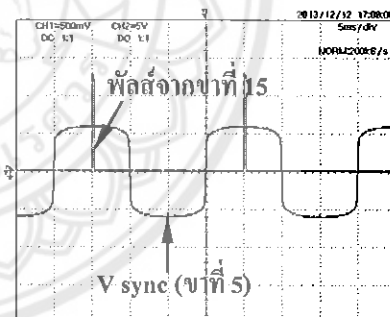


ง) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

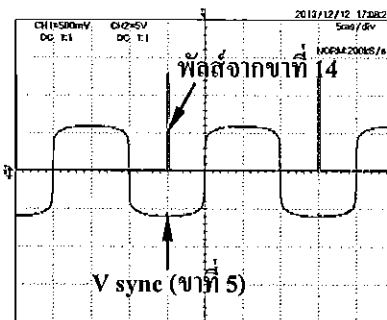
รูปที่ 4.3 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุม 45°



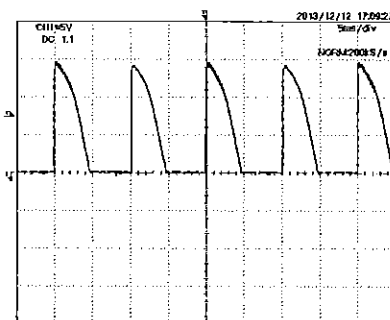
ก) สัญญาณเปรียบเทียบเฟส



ข) พัลส์กระแสช็อบก

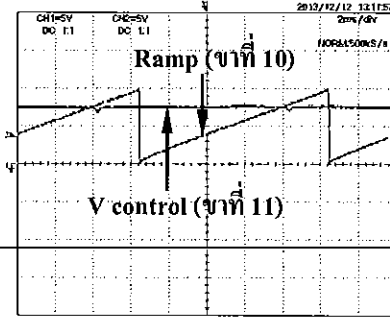


ค) พัลส์กระแสช็อบกลบ

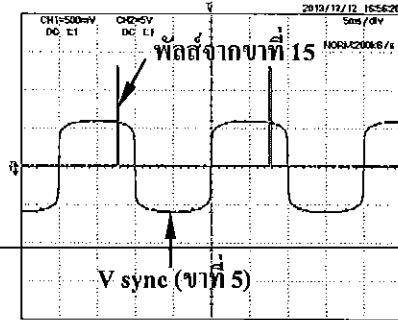


ง) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

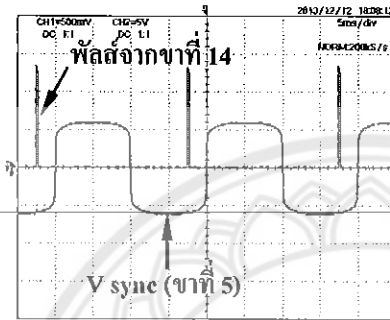
รูปที่ 4.4 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุม 90°



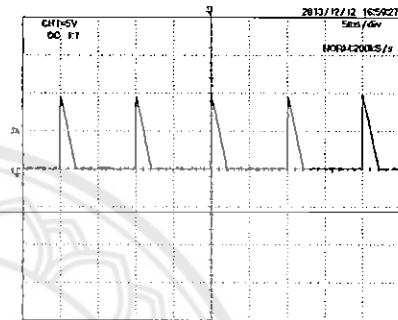
ก) สัญญาณเปรียบเทียบเฟส



ข) พัลส์กระแสช็อบวอก

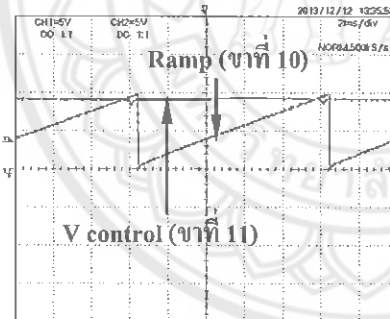


ค) พัลส์กระแสช็อบ

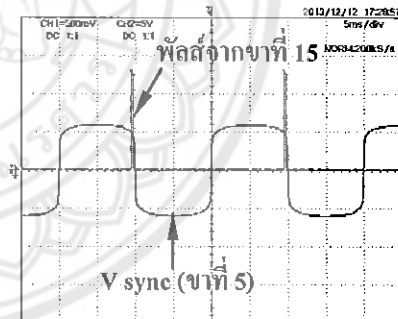


ง) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

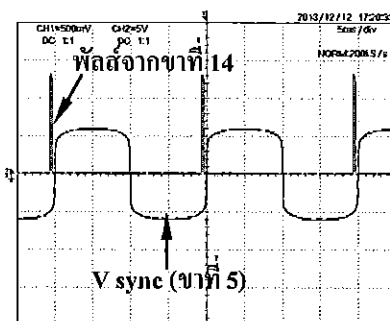
รูปที่ 4.5 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุม 135°



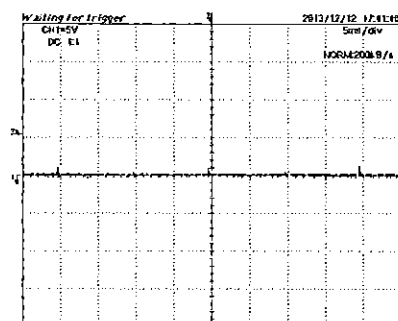
ก) สัญญาณเปรียบเทียบเฟส



ข) พัลส์กระแสช็อบวอก



ค) พัลส์กระแสช็อบ

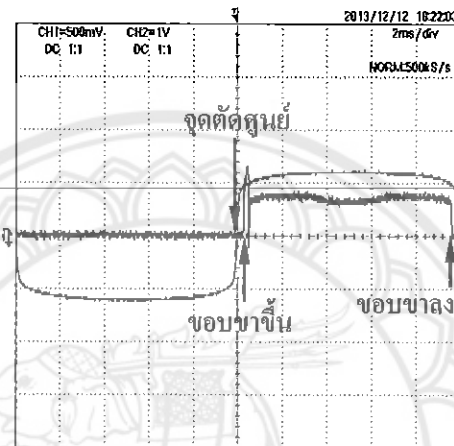


ง) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุม 172.8°



จากรูปที่แสดงสัญญาณของแรงดันที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน ที่ได้จากการเรียงกระแส โดยวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ที่ค่ามุมต่างๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.6 ถึง 3.10 จะสังเกตเห็นได้ว่ามุมยั้ง สำหรับปรับค่าการนำกระแส สามารถปรับได้ตั้งแต่  $4.59^\circ$  ถึง  $172.8^\circ$  ทั้งนี้เป็นเพราะพัลส์กระแส ออกจากหม้อแปลงพัลส์เป็นพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์ยาว (Long pulse) และมีขอบขาขึ้นของพัลส์ เริ่มต้นที่มุม  $4.59^\circ$  และมีขอบขาลงอยู่ที่มุม  $172.80^\circ$  โดยเทียบกับสัญญาณอ้างอิง แสดงดังรูปที่ 4.7 ดังนั้นจึงทำให้สามารถควบคุมมุมยั้งของสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อม โหลดตัวต้านทาน ได้ ตั้งแต่  $4.59^\circ$  ถึง  $172.8^\circ$



รูปที่ 4.7 พัลส์กระแสจากหม้อแปลงพัลส์

จากนั้นจะวัดค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ แสดง ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยคำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.1 แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน

มุมยั้ง ( $\alpha$ )	ค่าจากการคำนวณ		ค่าจากการทดลอง		เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย
	$V_{dc}$	$I_{dc}$	$V_{dc}$	$I_{dc}$	
$4.59^\circ$	8.26 V	0.10 A	8.54 V	0.10 A	3.39 %
$45^\circ$	7.06 V	0.09 A	7.35 V	0.09 A	4.11 %
$90^\circ$	4.13 V	0.05 A	4.07 V	0.05 A	1.45 %
$135^\circ$	1.21 V	0.01 A	1.11 V	0.01 A	8.26 %
$172.80^\circ$	0.07 V	0.85 mA	0.05 V	0.61 mA	28.57 %

จากตารางที่ 4.1 จากการเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยที่ตกคร่อมโหลด จะได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าที่สอดคล้องกับค่าจากการคำนวณ เมื่อดูจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่แสดงไว้ในตารางจะเห็นว่าที่มุมยิง  $172.80^\circ$  มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากมีแรงดันที่ได้มีค่าต่างกัน  $0.02\text{ V}$  ซึ่งเท่ากับ  $20\text{ mV}$  จึงถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมุมยิงอื่น

#### 4.2.2 แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยที่ตกคร่อมโหลดมอเตอร์กระแสตรง

การทดสอบโดยใช้เป็นโหลดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีการทดสอบวัดค่าแรงดันเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า ( $I_{dc}$ ) และความเร็วรอบที่ค่ามุมยิงต่างๆ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แรงดันและกระแสเอาต์พุตเฉลี่ยของโหลดมอเตอร์กระแสตรง

มุมยิง ( $\alpha$ )	ค่าจากการทดลอง		ความเร็วรอบ			
	$V_{dc}$	$I_{dc}$	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
$18.72^\circ$	5.26 V	0.60 A	2400	2340	2400	2380
$45^\circ$	4.35 V	0.56 A	1860	1920	1860	1880
$90^\circ$	2.24 V	0.38 A	960	900	900	920
$135^\circ$	0.10 V	0.09 A	-	-	-	-
$172.80^\circ$	0.02 V	0.02 A	-	-	-	-

จากตารางที่ 4.2 จะสังเกตเห็นได้ว่ามุมยิงที่มีแรงดันเฉลี่ยสูงสุด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และความเร็วรอบสูงสุดที่มุมยิง  $18.72^\circ$  ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าเมื่อปรับมุมยิงไปที่ค่าน้อยกว่ามุมยิงที่  $18.72^\circ$  สัญญาณพัลส์กระแสที่จะไปขับนำไทรสเตอร์นั้นมียุทธานอกมาที่ไม่สมบูรณ์จึงทำให้มีการไหลของกระแสในวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ไปยังโหลดมอเตอร์ที่ไม่ต่อเนื่องจึงทำให้มีแรงดันไม่คงที่ และในมุมยิงที่  $135^\circ$  กับ  $172.80^\circ$  ไม่สามารถวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ เนื่องจากมอเตอร์จะเริ่มหมุนที่กระแสต่ำสุดประมาณ  $0.3\text{ A}$  แต่ที่มุมยิง  $135^\circ$  และ  $172.80^\circ$  มีค่ากระแสเท่ากับ  $0.09\text{ A}$  และ  $0.02\text{ A}$  ตามลำดับ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการเริ่มหมุนของมอเตอร์จึงไม่สามารถวัดความเร็วรอบได้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผู้ดำเนินโครงการได้ออกแบบวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียวโดยการจำลองผลด้วยโปรแกรมโปรโตสและได้สร้างวงจรออกมาเป็นชิ้นงานตามลำดับ ซึ่งได้ใช้ไอซีหมายเลข TCA785 เป็นตัวสร้างพัลส์กระแสออกมาขับนำไทรสเตอร์ในวงจรเซมิคอนเวอเตอร์ โดยสามารถควบคุมจังหวะการเริ่มนำกระแสของไทรสเตอร์ด้วยการปรับมุมยิง ซึ่งวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียวสามารถที่จะแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้

เมื่อได้วงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียว ที่สามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้โดยการปรับมุมยิง จึงนำไปทดสอบกับโหลดซึ่งเป็นตัวต้านทาน และมอเตอร์กระแสตรงโดยการทดสอบวงจรเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียวด้วยโหลดตัวต้านทาน พบว่าสามารถควบคุมมุมยิงได้ตั้งแต่มุม  $4.59^\circ$  ถึง  $172.80^\circ$  และเมื่อเปลี่ยนไปใช้เป็นโหลดมอเตอร์กระแสตรงพบว่าสามารถควบคุมมุมยิงได้ตั้งแต่มุม  $18.72^\circ$  ถึง  $172.80^\circ$  จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้โหลดเป็นตัวต้านทานและมอเตอร์กระแสตรงจะได้ช่วงการควบคุมมุมยิงออกมามีค่าไม่เท่ากัน โดยโหลดตัวต้านทานสามารถควบคุมมุมยิงได้ในช่วงที่กว้างกว่า

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

วงจรควบคุมสำหรับเซมิคอนเวอเตอร์เฟสเดียวที่สร้างขึ้น เมื่อโหลดเป็นมอเตอร์กระแสตรงจะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยสุดที่มุมยิงเท่ากับ  $18.72^\circ$  และเมื่อปรับค่ามุมยิงให้น้อยกว่านี้จะทำให้แรงดันมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ ซึ่งในทางทฤษฎีแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยมีค่าสูงสุดที่มุมยิง  $0^\circ$

ดังนั้นถ้าต้องการแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยมีค่าสูงสุดใกล้เคียงกับมุมยิง  $0^\circ$  มากที่สุดจะต้องเลือกใช้หม้อแปลงพัลส์ที่ให้พัลส์กระแสออกมาจุกชนวนที่ขาเกตของไทรสเตอร์ให้มีความสมบูรณ์ของสัญญาณที่ออกมามากที่สุด

### 5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบควบคุมได้โดยเซมิคอนเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ 1 ควอดแรนต์ ซึ่งสามารถพัฒนาได้เป็นแบบฟลูคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียว (Single-phase full converter) และแบบคอนเวอร์เตอร์คู่เฟสเดียว (Single-phase dual converter) ซึ่งแบบฟลูคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวสามารถทำงานได้ 2 ควอดแรนต์ และแบบคอนเวอร์เตอร์คู่เฟสเดียวสามารถทำงานได้ 4 ควอดแรนต์ รวมถึงกระแสโหลดสามารถกลับทิศได้ด้วย



## เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์ซ่อมบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์, “อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น” สืบค้นวันที่ 27 เมษายน 2556 จาก <http://pp-service.freetzi.com/Scr>.
- 
- [2] M. H. Rashid, “Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications”, 3rd ed.: Prentice-Hall International, 2004.
- [3] Siemens. TCA785 Datasheet, สืบค้นวันที่ 30 พฤษภาคม 2556 จาก <http://www4.hcmut.edu.vn>.
- 
- [4] Stable Electric Supply, หม้อแปลงไฟฟ้า. สืบค้นวันที่ 5 มิถุนายน 2556, จาก <http://www.stable.co.th>.
- 
- [5] สุวัฒน์ หนูคีรี, ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, สืบค้นวันที่ 5 มิถุนายน 2556 จาก <http://www.rmutphysics.com>.
- [6] อุดลย์ เคลือแก้ว, “การไบแอสทรานซิสเตอร์”. สืบค้นวันที่ 2 กรกฎาคม 2556 จาก <http://www.slideshare.net/adkadool>.

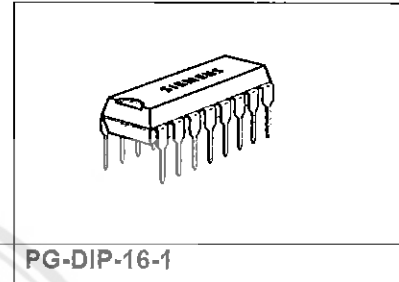


# SIEMENS

## Phase Control IC

**TCA 785**
**Pb-free lead plating; RoHS compliant**
**Bipolar IC**
**Features**

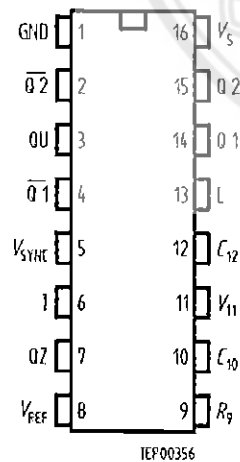
- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range



Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	PG-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 Configuration**  
(top view)

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	Q2	Output 2 inverted
3	Q U	Output U
4	Q2	Output 1 inverted
5	V <sub>SYN</sub>	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	Q Z	Output Z
8	V <sub>REF</sub>	Stabilized voltage
9	R <sub>9</sub>	Ramp resistance
10	C <sub>10</sub>	Ramp capacitance
11	V <sub>11</sub>	Control voltage
12	C <sub>12</sub>	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	V <sub>s</sub>	Supply voltage

### 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  $\varphi$ ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage  $V_{11}$ , the triggering angle  $\varphi$  can be shifted within a phase angle of  $0^\circ$  to  $180^\circ$ .

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

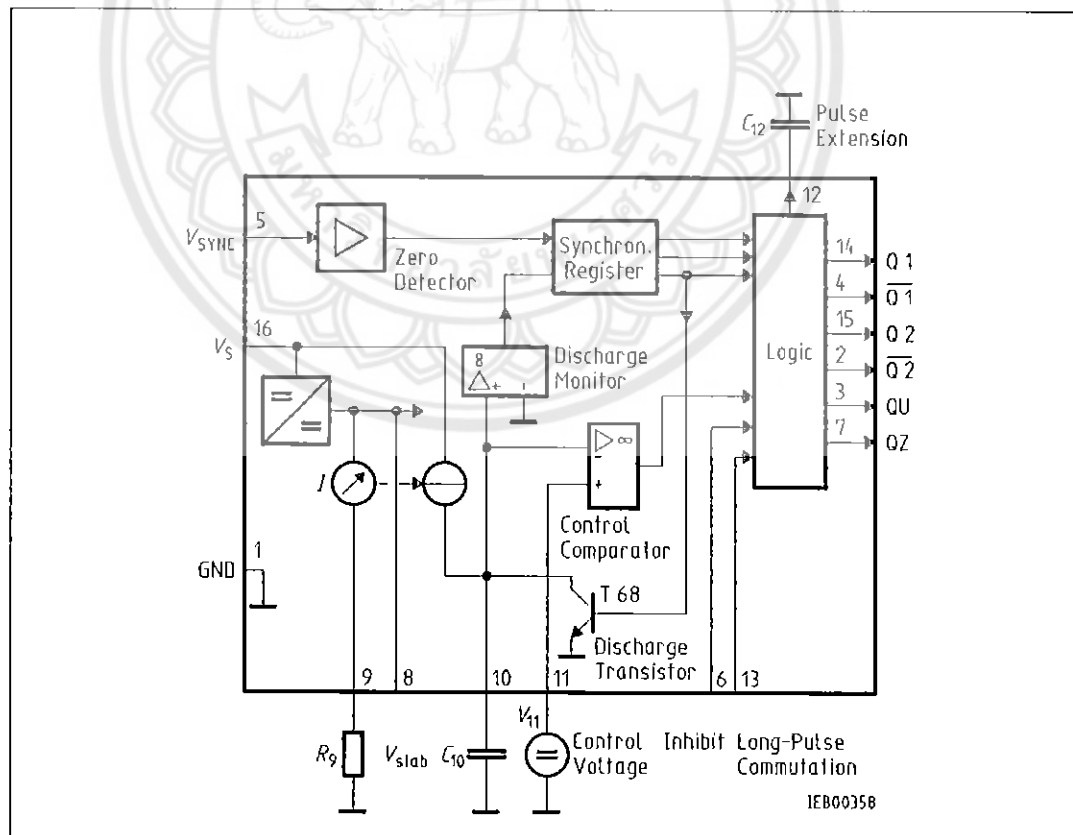
Outputs  $\overline{Q1}$  and  $\overline{Q2}$  supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

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 Q 1, Q 2 and  $\overline{Q1}$ ,  $\overline{Q2}$ .

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

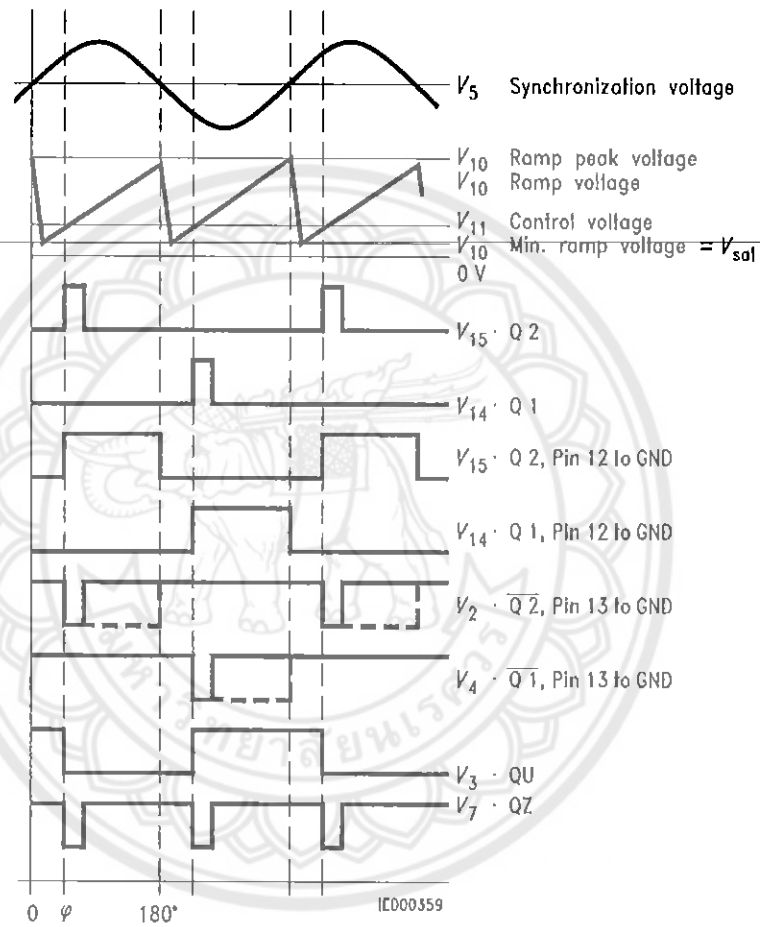


Block Diagram



SIEMENS

TCA 785



Pulse Diagram

SIEMENS

TCA 785

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	$V_s$	- 0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	$I_o$	- 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	$I_5$	- 200	+ 200	$\mu$ A
Output voltage at pin 14, 15	$V_o$		$V_s$	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	$I_o$		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	$V_o$		$V_s$	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

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

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
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	$\mu$ A	1
Offset voltage	$\Delta V_5$		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		$\text{k}\Omega$	5

SIEMENS

TCA 785

## 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	$\mu\text{A}$	
Max. ramp voltage	$V_{10}$			$V_2 - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	$V_{10}$	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	$R_0$	3		300	$\text{k}\Omega$	1
Sawtooth return time	$t_r$		80		$\mu\text{s}$	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	$\mu\text{s}$	1
Input current	$I_{6H}$		500	800	$\mu\text{A}$	1
$V_6 = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{6L}$	80	150	200	$\mu\text{A}$	1
$V_6 = 1.7 \text{ V}$						
Deviation of $I_{10}$	$I_{10}$	-5		5	%	1
$R_0 = \text{const.}$						
$V_s = 12 \text{ V}; C_{10} = 47 \text{ nF}$						
Deviation of $I_{10}$	$I_{10}$	-20		20	%	1
$R_0 = \text{const.}$						
$V_s = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage						
between 2 following						
half-waves, $V_s = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		$\pm 1$		%	
Long pulse switch-over						
pin 13						
switch-over of S8						
Short pulse at output	$V_{13H}$	3.5	2.5		V	1
Long pulse at output	$V_{13L}$		2.5	2	V	1
Input current	$I_{13H}$			10	$\mu\text{A}$	1
$V_{13} = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	$\mu\text{A}$	1
$V_{13} = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	$I_{CEO}$			10	$\mu\text{A}$	2.6
$V_Q = V_s$						
Saturation voltage	$V_{\text{sat}}$	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_Q = 2 \text{ mA}$						

SIEMENS

TCA 785

**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 $-I_O = 250 \text{ mA}$	$V_{14/15 H}$	$V_S - 3$	$V_S - 2.5$	$V_S - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_O = 2 \text{ mA}$	$V_{14/15 L}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse)	$t_p$	20	30	40	$\mu\text{s}$	1
S9 open 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	$\alpha_{REF}$		$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	1/K	1



ภาคผนวก ข  
รายละเอียดของวงจรของไทรสเตอร์หมายเลข BT151

**Thyristors**

**BT151 series**

**GENERAL DESCRIPTION**

Passivated thyristors in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

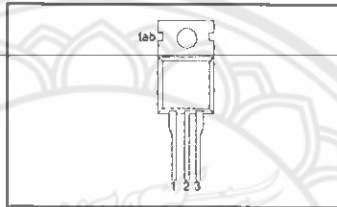
**QUICK REFERENCE DATA**

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
$V_{DRM}$ , $V_{RRM}$	Repetitive peak off-state voltages	500R 500	650R 650	800R 800	V
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	7.5	7.5	7.5	A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	12	12	12	A
$I_{TSM}$	Non-repetitive peak on-state current	100	100	100	A

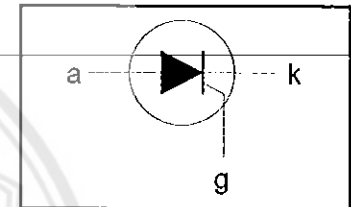
**PINNING - TO220AB**

PIN	DESCRIPTION
1	cathode
2	anode
3	gate
tab	anode

**PIN CONFIGURATION**



**SYMBOL**



**LIMITING VALUES**

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.			UNIT
				-500R 500 <sup>1</sup>	-650R 650 <sup>1</sup>	-800R 800	
$V_{DRM}$ , $V_{RRM}$	Repetitive peak off-state voltages		-				V
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	half sine wave; $T_{mb} \leq 109$ °C all conduction angles	-		7.5		A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current		-		12		A
$I_{TSM}$	Non-repetitive peak on-state current	half sine wave; $T_1 = 25$ °C prior to surge $t = 10$ ms	-		100		A
$I^2t$	$I^2t$ for fusing	$t = 8.3$ ms	-		110		A <sup>2</sup> s
$di_T/dt$	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering	$t = 10$ ms $I_{T(1)} = 20$ A; $I_G = 50$ mA; $di_G/dt = 50$ mA/ $\mu$ s	-		50		A/ $\mu$ s
$I_{GM}$	Peak gate current		-		2		A
$V_{GM}$	Peak gate voltage		-		5		V
$V_{RGM}$	Peak reverse gate voltage		-		5		V
$P_{GM}$	Peak gate power		-		5		W
$P_{G(AV)}$	Average gate power	over any 20 ms period	-		0.5		W
$T_{slg}$	Storage temperature		-40		150		°C
$T_J$	Operating junction temperature		-		125		°C

## Thyristors

## BT151 series

## THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{\theta j-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base	in free air	-	-	1.3	K/W
$R_{\theta j-a}$	Thermal resistance junction to ambient		-	60	-	K/W

## STATIC CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_{GT}$	Gate trigger current	$V_D = 12\text{ V}$ ; $I_T = 0.1\text{ A}$	-	2	15	mA
$I_L$	Latching current	$V_D = 12\text{ V}$ ; $I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	10	40	mA
$I_H$	Holding current	$V_D = 12\text{ V}$ ; $I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	7	20	mA
$V_T$	On-state voltage	$I_T = 23\text{ A}$	-	1.4	1.75	V
$V_{GT}$	Gate trigger voltage	$V_D = 12\text{ V}$ ; $I_T = 0.1\text{ A}$	-	0.6	1.5	V
$I_D, I_R$	Off-state leakage current	$V_D = V_{DRM(max)}$ ; $I_T = 0.1\text{ A}$ ; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	0.25	0.4	-	V
		$V_D = V_{DRM(max)}$ ; $V_R = V_{RRM(max)}$ ; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	0.1	0.5	mA

## DYNAMIC CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$dV_D/dt$	Critical rate of rise of off-state voltage	$V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)}$ ; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$ ; exponential waveform; Gate open circuit	50	130	-	V/ $\mu\text{s}$
		$R_{GK} = 100\ \Omega$	200	1000	-	V/ $\mu\text{s}$
$t_{on}$	Gate controlled turn-on time	$I_{TM} = 40\text{ A}$ ; $V_D = V_{DRM(max)}$ ; $I_G = 0.1\text{ A}$ ; $dI_G/dt = 5\text{ A}/\mu\text{s}$	-	2	-	$\mu\text{s}$
$t_q$	Circuit commutated turn-off time	$V_D = 67\% V_{DRM(max)}$ ; $T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$ ; $I_{TM} = 20\text{ A}$ ; $V_R = 25\text{ V}$ ; $dI_{TM}/dt = 30\text{ A}/\mu\text{s}$ ; $dV_D/dt = 50\text{ V}/\mu\text{s}$ ; $R_{GK} = 100\ \Omega$	-	70	-	$\mu\text{s}$

Thyristors

BT151 series

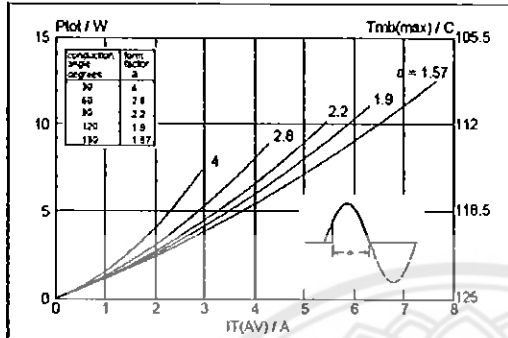


Fig. 1. Maximum on-state dissipation,  $P_{tot}$ , versus average on-state current,  $I_T(AV)$ , where  $a = \text{form factor} = I_T(RMS) / I_T(AV)$ .

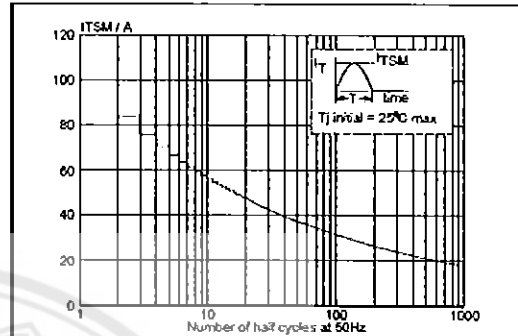


Fig. 4. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current  $I_{TSM}$  versus number of cycles, for sinusoidal currents,  $f = 50 \text{ Hz}$ .

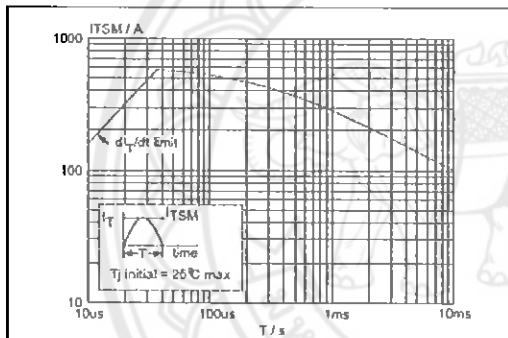


Fig. 2. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current  $I_{TSM}$  versus pulse width  $I_p$ , for sinusoidal currents,  $I_p \leq 10 \text{ ms}$ .

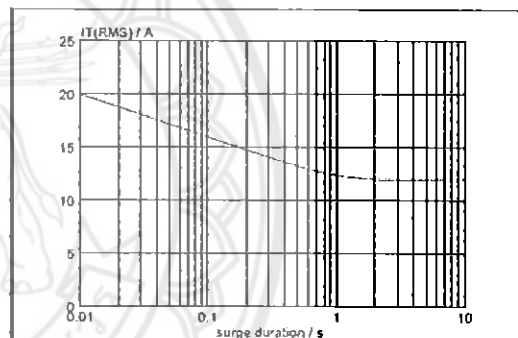


Fig. 5. Maximum permissible repetitive rms on-state current  $I_T(RMS)$  versus surge duration, for sinusoidal currents,  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $T_{mb} \leq 109^\circ C$ .

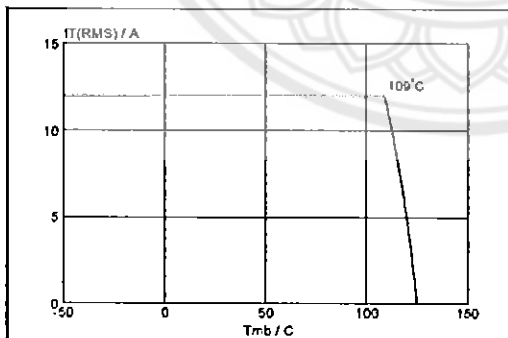


Fig. 3. Maximum permissible rms current  $I_T(RMS)$ , versus mounting base temperature  $T_{mb}$ .

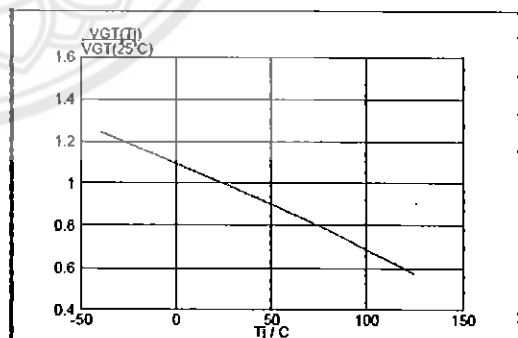


Fig. 6. Normalised gate trigger voltage  $V_{GT}(T_j) / V_{GT}(25^\circ C)$ , versus junction temperature  $T_j$ .



Thyristors

BT151 series

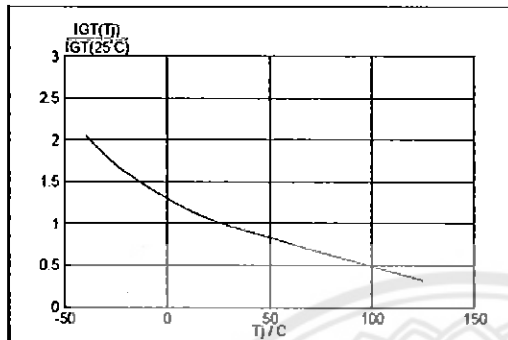


Fig. 7. Normalised gate trigger current  $I_{GT}(T)/I_{GT}(25^{\circ}\text{C})$ , versus junction temperature  $T_j$ .

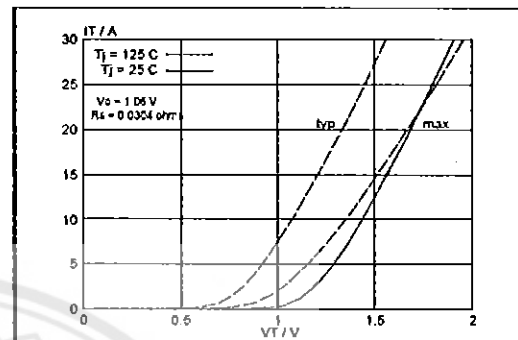


Fig. 10. Typical and maximum on-state characteristic.

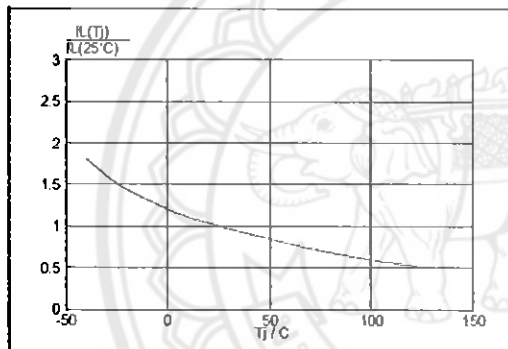


Fig. 8. Normalised latching current  $I_L(T)/I_L(25^{\circ}\text{C})$ , versus junction temperature  $T_j$ .

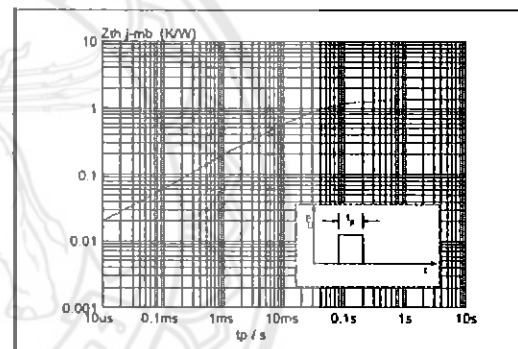


Fig. 11. Transient thermal impedance  $Z_{th(j-mb)}$  versus pulse width  $t_p$ .

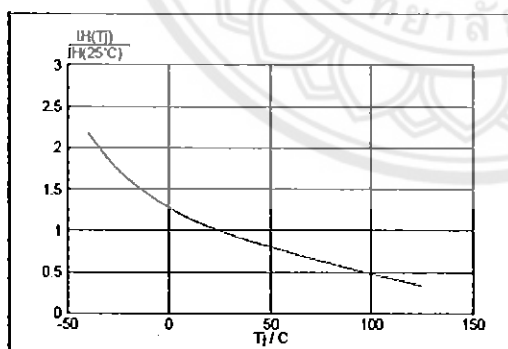


Fig. 9. Normalised holding current  $I_H(T)/I_H(25^{\circ}\text{C})$ , versus junction temperature  $T_j$ .

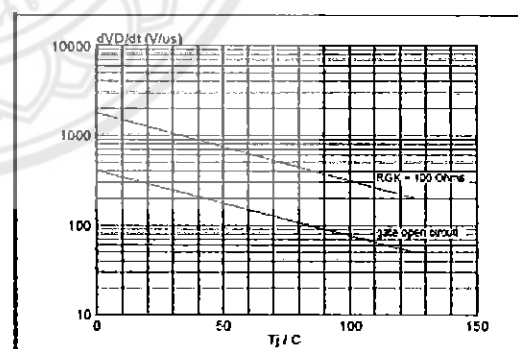
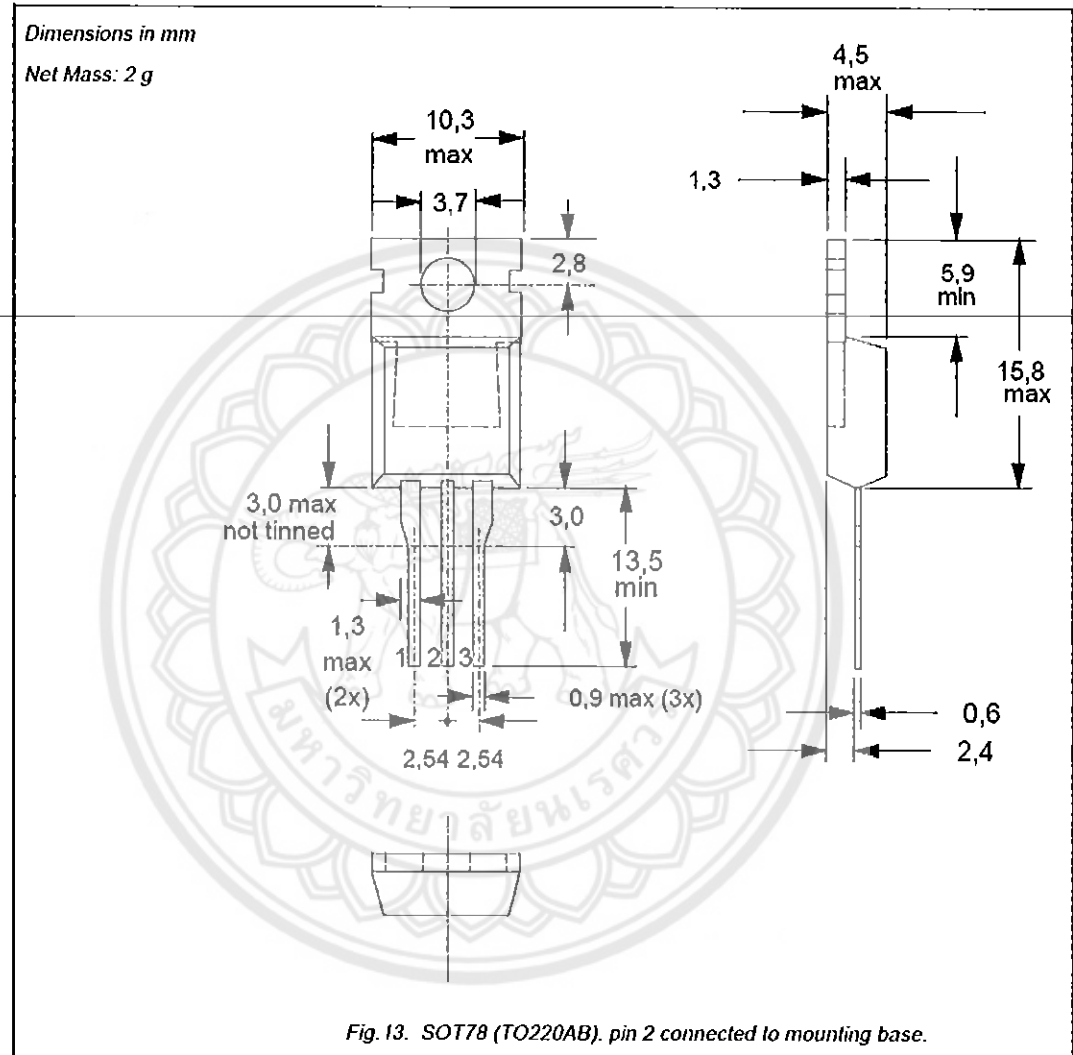


Fig. 12. Typical, critical rate of rise of off-state voltage,  $dV_D/dt$  versus junction temperature  $T_j$ .

**MECHANICAL DATA****Notes**

1. Refer to mounting instructions for SOT78 (TO220) envelopes.
2. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".



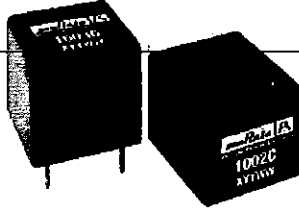
ภาคผนวก ก

รายละเอียดของหม้อแปลงพัลส์หมายเลข 1026C



# 1000 Series

Pulse Transformers



### FEATURES

- RoHS compliant
- UL 94V-0 Package Material
- Isolation to 4kVrms
- Compact Footprint
- PCB Mounting
- Backward compatible with Sn/Pb soldering systems

### DESCRIPTION

The 1000 series are intended for wideband and pulse operations. They are also suitable for signal isolation and use in small isolated power supplies. The compact footprint makes them ideal for applications where space is at a premium.

### SELECTION GUIDE<sup>1</sup>

Order Code	Turns Ratio ±2%	Min. Primary Inductance mH	Min. Primary Constant E <sub>1</sub> V/μs	Max. Leakage Inductance μH	Max. Interwinding Capacitance pF	Max. DC Resistance Primary Winding Ω	Max. DC Resistance Secondary 1 winding Ω	Max. DC Resistance Secondary 2 winding Ω	Isolation Voltage Vrms	Pin Connection Style	Mechanical Dimensions
1001C	1:1	3.0	200	22	23	1.2	1.0	-	2000	A	2
1002C	1:1:1	3.0	200	9	28	1.4	1.3	1.7	2000	B	1
1003C	2:1:1	12	400	35	30	4.0	1.8	2.4	2000	B	1
1007C	1:1:1	7.4	310	20	55	2.9	2.5	3.4	2000	B	1
1009C	1:1:1	22	550	65	18	10.6	8.9	12.2	2000	B	1
1013C	1:1:1	3.0	200	3	280	1.3	1.3	1.3	500Vdc	B	1
1016C	1:1	3.0	200	22	23	1.2	1.0	-	3500	A	2
1017C	1:1	0.8	130	4	20	0.4	0.3	-	4000	A	2
1024C	1.2CT:1CT	8.8	340	60	25	2.5	2.5	-	2000	C	1
1025C	2:1:1	24	570	70	20	7.5	3.5	4.5	2000	B	1
1026C	1:1:1	6.0	285	30	30	4.0	4.0	4.0	2000	B	1
1082C	100:1	6.1	280	-	6	0.7	0.1	-	2000	A	2

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

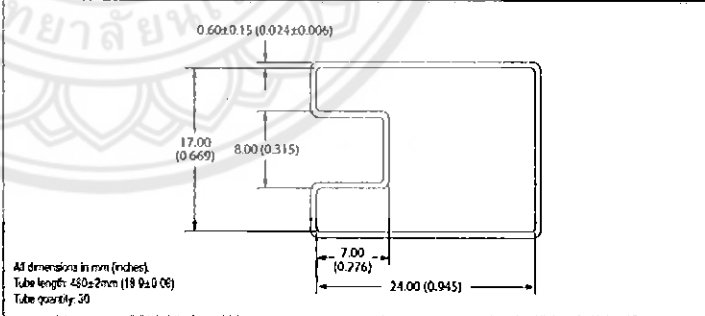
Operating free air temperature range	0°C to 70°C
Storage temperature range	-60°C to 125°C

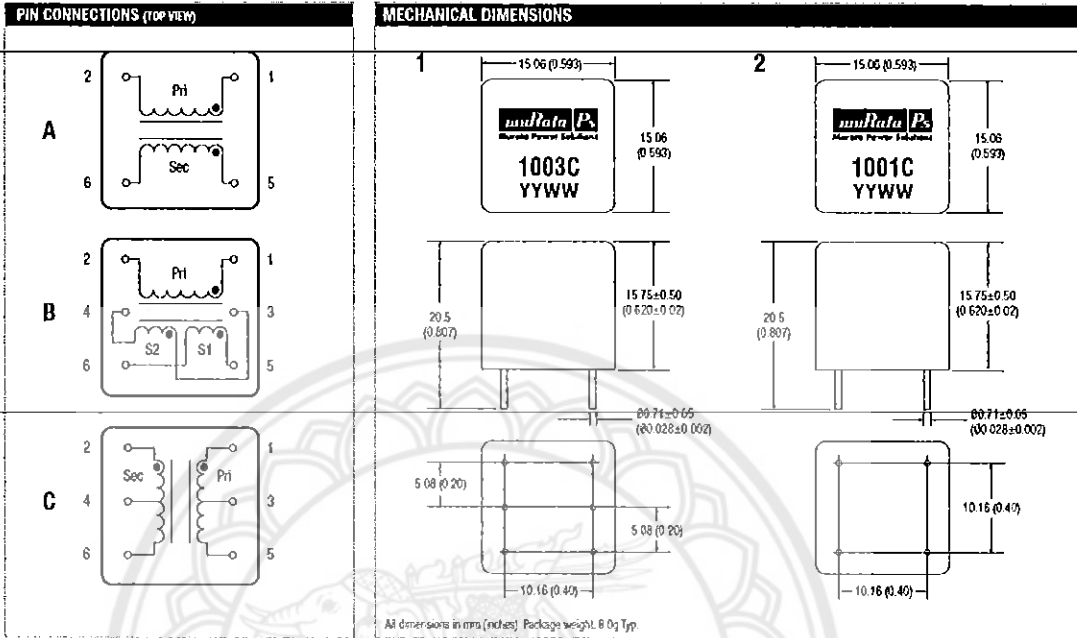
### SOLDERING INFORMATION<sup>1</sup>

Peak wave solder temperature	300°C for 10 seconds
Pin finish	Matte tin

<sup>1</sup> For further information please visit [www.murata-ps.com/rohs](http://www.murata-ps.com/rohs)  
All specifications typical at T<sub>a</sub>=25°C.

### TUBE DIMENSIONS





**TECHNICAL NOTES**

**ISOLATION VOLTAGE**

'Hi Pot Test', 'Flash Tested', 'Withstand Voltage', 'Proof Voltage', 'Dielectric Withstand Voltage' & 'Isolation Test Voltage' are all terms that relate to the same thing, a test voltage, applied for a specified time, across a component designed to provide electrical isolation, to verify the integrity of that isolation.

All products in this series are 100% production tested at their stated isolation voltage.

A question commonly asked is, "What is the continuous voltage that can be applied across the part in normal operation?"

For a part holding no specific agency approvals both input and output should normally be maintained within SELV limits i.e. less than 42.4V peak, or 60VDC. The isolation test voltage represents a measure of immunity to transient voltages and the part should never be used as an element of a safety isolation system. The part could be expected to function correctly with several hundred volts offset applied continuously across the isolation barrier; but then the circuitry on both sides of the barrier must be regarded as operating at an unsafe voltage and further isolation/insulation systems must form a barrier between these circuits and any user-accessible circuitry according to safety standard requirements.

**REPEATED HIGH-VOLTAGE ISOLATION TESTING**

It is well known that repeated high-voltage isolation testing of a barrier component can actually degrade isolation capability, to a lesser or greater degree depending on materials, construction and environment. While parts can be expected to withstand several times the stated test voltage, the isolation capability does depend on the insulative materials used. Such materials are susceptible to chemical degradation when subject to very high applied voltages. We therefore strongly advise against repeated high voltage isolation testing, but if it is absolutely required, that the voltage be reduced by 20% from specified test voltage.

This consideration equally applies to agency recognized parts rated for better than functional isolation where wire enamel insulation is always supplemented by a further insulation system of physical spacing or barriers.



ภาคผนวก ง

รายละเอียดของทรานซิสเตอร์หมายเลข MPSA14

# MPSA13, MPSA14

MPSA14 is a Preferred Device

## Darlington Transistors

### NPN Silicon



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

#### Features

- Pb-Free Packages are Available\*

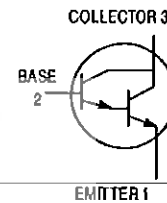
#### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CES}$	30	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	30	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	10	Vdc
Collector Current - Continuous	$I_C$	500	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	°C

#### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/mW
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/mW

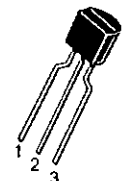
Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.



TO-92  
CASE 29  
STYLE 1

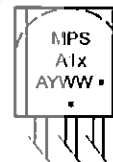


STRAIGHT LEAD  
BULK PACK



BENT LEAD  
TAPE & REEL  
AMMO PACK

#### MARKING DIAGRAM



- x = 3 or 4
- A = Assembly Location
- Y = Year
- WW = Work Week
- = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

#### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

\*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายพิรุณ ภูภิโณ  
 ภูมิลำเนา 36 หมู่ 12 ต.ถ้ำกระต่ายทอง อ.พรานกระต่าย  
 จ.กำแพงเพชร

### ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพรานกระต่ายพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [poopeeyo@hotmail.co.th](mailto:poopeeyo@hotmail.co.th)



ชื่อ นายปานุพล ไตรรัตน์  
 ภูมิลำเนา 145 หมู่ 6 ต.จันทิมา อ.ลานกระบือ จ.กำแพงเพชร  
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนลานกระบือวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: [panupon\\_poom@hotmail.com](mailto:panupon_poom@hotmail.com)