

เครื่องเชื่อมแก๊สทั้งเสตน

TIG WELDING



โดย

นาย ขจร ถาวรศิริขจร

นาย ประจวบ คำผา

เลขหม.....  
เลขทะเบียน..... 42713  
วัน, เดือน, ปี- 7 ส.ย. 2545

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

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคนิควิชิวะพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

611015010

ปริญญาโทปีการศึกษา 2543

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องเชื่อมแก๊สทังสเตน

TIG WELDING

ผู้จัดทำ

นาย ขจร ถาวรศิริขจร 41013164

นาย ประจวบ คำผา 41013176

อาจารย์ที่ปรึกษา



( รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ เขียวศิริกุล )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องเชื่อมแก๊สทั้งเสตน

นาย ขจร ถาวรศิริขจร

นาย ประจวบ คำผา

รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอ การออกแบบ การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมเครื่องเชื่อมแก๊สทั้งเสตน โดยจะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 311 V โดยใช้วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส หลังจากนั้นนำไฟกระแสตรงที่ได้มาเปลี่ยนเป็นพัลส์ ที่มีความถี่ประมาณ 23 KHz โดยเพาเวอร์มอสเฟตของวงจรถอนเวอร์เตอร์ต่อเนื่อง ฮาร์ดฟิวรีจคอนเวอร์เตอร์ มี IC SG3526 ทำหน้าที่เป็นพัลส์วิดท์มอดูเลชันควบคุมความถี่และคาบเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมปรับกระแสขณะเชื่อม การเปิด-ปิดแก๊ส การออน-ออฟของไฮโวลท์จตและการตั้งระดับกระแสที่ทำการเชื่อม แรงดันที่เอาท์พุทขณะไม่มีโหลดประมาณ 38 V ค่ากระแสขณะเชื่อมสูงสุดเท่ากับ 43 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TIG WELDING

**STUDENT** MR. KAJORN THAVORNKIRATIKAJORN  
MR. PRAJOAB KAMPHA  
**PROJECT ADVISOR** ASSOC.PROF.SOMSAK CHEERSIRIKUL

### ABSTRACT

This project present design and testing the system of TIG WELDING. Initially the rectifier and filter circuit that convert alternating current 220 V(AC) 50Hz to the direct current 311 V(DC). Follows by converting the direct current to high frequency pulse (about 23 KHz). The power mosfet be able to control frequency and period for tuning the power mosfet. Controlling of welding such as open-close solinoid value, has been done level current for welding and on-off high voltage by the microcontroller mcs51. DC output of this project is 38 V and 43 A maximum welding current.

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วิวัฒนาการของเครื่องเชื่อม	1
1.2 การแยกประเภทวิธีการเชื่อม	3
บทที่ 2 การเชื่อมทิก (TIG WELDING)	5
2.1 กรรมวิธีการเชื่อมทิก	5
2.2 ข้อดีของการเชื่อมแบบทิก	6
2.3 ส่วนประกอบของหัวเชื่อมทิก	7
2.3.1 ตัวทอร์ช (Torch Body)	7
2.3.2 ฝาครอบ (CAP)	7
2.3.3 วงแหวนยาง (“O” Ring)	7
2.3.4 คอลเลท (Collet)	8
2.3.5 คอลเลท โฮลเดอร์ (Collet Holder)	8
2.3.6 นอซเซิล (Nozzle)	8
2.4 ระยะยื่นของปลายลวดทั้งเสตน	8
2.5 อุปกรณ์ปรับความดันและวัดปริมาณการไหลของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม	9
2.5.1 รีจิวเรเตอร์ (Regulator)	9
2.5.2 ลวดเชื่อมเติม (Filler Metal)	9
2.6 กระแสเชื่อม (Welding Current)	10
2.6.1 กระแสไฟตรงต่อขั้วตรง	10
2.6.2 กระแสไฟตรงต่อกลับขั้ว	10
2.6.3 กระแสไฟสลับ (เอซี)	11
2.7 ความถี่สูง (High Frequency)	11
2.8 การเชื่อมด้วยกระแสเป็นช่วง (Pulse Current Welding)	12
2.9 การปรับกระแสและเวลาสำหรับเชื่อมด้วยกระแสเป็นช่วง	14
2.10 ข้อดีของการเชื่อมแบบพัลส์	14
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการทํางานพื้นฐานของเครื่องเชื่อม	15
3.1 คอนเวอร์เตอร์ (Convertor)	16

3.1.1	ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	17
3.1.2	ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	17
3.1.3	พุกพุกคอนเวอร์เตอร์	18
3.1.4	ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	19
3.1.5	ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	20
3.2	วงจรถวล	20
3.2.1	วงจรถวลในโหมดควบคุมจากแรงดัน (Voltage Mode Control)	20
3.2.2	วงจรถวลในโหมดควบคุมจากกระแส (Current Mode Control)	22
3.3	วงจรถับ	22
3.3.1	วงจรถับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	22
3.3.1.1	วงจรถับกระแสโดยใช้หม้อแปลงเบเกอร์แคลมป์	23
3.3.1.2	วงจรถับกระแสด้วยกระแสเป็นสัดส่วน กับกระแสคอลเลคเตอร์	24
3.3.2	วงจรถับเพาเวอร์มอสเฟต	24
3.3.2.1	วงจรถับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย TTL	25
3.3.2.2	วงจรถับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย CMOS	27
3.3.2.3	การจับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง	28
3.4	วงจรถับเบอร์	28
3.4.1	วงจรถับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส	28
3.4.2	วงจรถับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน	30
3.5	วงจรถับกระแสและกรองกระแส	32
3.5.1	ไดโอดเรียงกระแส	32
3.5.1.1	ค่ากระแสกระชาก	33
3.5.1.2	ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบอัสตรง	33
3.5.1.3	ค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดเมื่อถูกไบอัสตรง	33
3.5.1.4	อัตราทนแรงดันไบอัสกลับสูงสุด	33
3.5.2	ตัวเก็บประจุกรองกระแส	33
3.5.2.1	อัตราทุนกระแสนาลอก	33

	(RMS Ripple Current Rating)	
3.5.2.2	แรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส (Ripple Voltage)	34
3.5.2.3	ช่วงเวลาไบอัสกลับ (Hold up Time)	34
3.5.2.4	อัตราทนแรงดัน (Voltage Rating)	34
3.6	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	35
3.6.1	ฟอสฟอรัสไดโอดและซิลิคอนไดโอด	35
3.6.2	ซีดกึ่งไดโอด	35
3.6.3	เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	35
3.6.4	เพาเวอร์มอสเฟต	37
บทที่ 4	หลักการการทำงานของวงจร	39
4.1	ส่วนของวงจรควบคุม	39
4.1.1	วงจรควบคุม	43
4.1.2	ภาคแสดงผล	44
4.1.3	วงจรสร้างและควบคุมความกว้างของพัลส์ (Regulator and PWM Generator)	44
4.1.4	วงจรขับ	45
4.2	ส่วนของเพาเวอร์สวิทชิง	46
4.2.1	วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสทางด้านอินพุต	46
4.2.2	วงจรคอนเวอร์เตอร์	46
4.3	การออกแบบหม้อแปลงกำลังสำหรับงาน Pulse Width Modulation Half Bridge Convertor	47
4.4	การคำนวณค่าขดลวดเหนี่ยวนำเอาต์พุต	50
บทที่ 5	การทดสอบการทำงาน	52
บทที่ 6	บทสรุป	57

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นพัฒนาการของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน	1
รูปที่ 1.2 แสดงลักษณะการแบบต่างๆของเครื่องเชื่อมแบบอาร์ค	4
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบภายในหัวเชื่อมทิก	7
รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ปรับความดันและวัดปริมาณการไหลของแก๊ส	9
รูปที่ 2.3 แสดงกระแสเชื่อมกับเวลาของระบบการเชื่อมด้วยกระแสเป็นช่วง	13
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของแนวเชื่อมแบบ Pulse	13
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องเชื่อม	15
รูปที่ 3.2(ก) วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	17
รูปที่ 3.2(ข) วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	17
รูปที่ 3.2(ค) วงจรพุกพุกคอนเวอร์เตอร์	18
รูปที่ 3.2(ง) วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	19
รูปที่ 3.2(จ) วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	20
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรพื้นฐานในโหมดควบคุมจากแรงดัน	21
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรพื้นฐานของการควบคุมในโหมดควบคุมกระแส	22
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรขับกระแสไอเอสด้วยกระแสคงที่แบบเบเกอร์เคลมปี	23
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขับกระแสไอเอสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลคเตอร์	24
รูปที่ 3.7(ก) แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วย TTL และ พูลอัฟริชิตเตอร์	25
รูปที่ 3.7(ข) แสดงการต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้ามาในวงจรรูปที่ 3.7(ก) เพื่อเพิ่มความเร็วในการนำกระแส	26
รูปที่ 3.7(ค) แสดงการต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้ามาอีก 1 ตัวในวงจรรูปที่ 3.7(ข) เพื่อเพิ่มความเร็วในขณะเริ่มหมุน	26
รูปที่ 3.8 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยไอซี CMOS โดยตรง	27
รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการจัดวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแส ด้วยมือแปลง	28
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการลดลงของกระแสและการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแส	29
รูปที่ 3.11 แสดงการต่อวงจรสับเบอร์ช่วยหยุดนำกระแส	29

รูปที่3.12 แสดงการต่อสับเบอรัป้องกันแรงดันเกิน เพื่อจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่จะตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ขณะที่เริ่มหยุดนำกระแส	31
รูปที่3.13 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	36
รูปที่3.14 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันที่ตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต	38
รูปที่4.1 แสดงลำดับการทำงานของวงจรควบคุมสวิทของเพาเวอร์มอสเฟต	39
รูปที่4.2 แสดงวงจรภาคควบคุม	40
รูปที่4.3 แสดงส่วนของวงจรเพาเวอร์สวิทชิง	41
รูปที่4.4 แสดงวงจรสร้างและควบคุมความกว้างของพัลส์	42
รูปที่4.5 วงจรแสดงการต่อขดลวดเหนี่ยวนำเอาท์พุทของเครื่องเชื่อม	50
รูปที่5.1 สัญญาณพัลส์ที่ขา 13 เทียบขา 16 ของ SG3526 ขณะที่เปิดเครื่อง	52
รูปที่5.2 สัญญาณพัลส์ที่ขา 13 เทียบขา 16 ของ SG3526 ขณะจ่ายกระแสสูงสุด	52
รูปที่5.3 สัญญาณฟันเลื่อยที่ขา 10 ของ SG3526	53
รูปที่5.4 สัญญาณที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตขณะเปิดเครื่อง	53
รูปที่5.5 สัญญาณที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตขณะขับกระแสสูงสุด	54
รูปที่5.6 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับเพาเวอร์ที่เอาท์พุท	55

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 แสดงแรงดันที่ขา 6 LF351 และขา 1 SG3526	54
ตารางที่ 5.2 แสดงประสิทธิภาพของวงจรที่ระดับกระแสต่างๆ	55



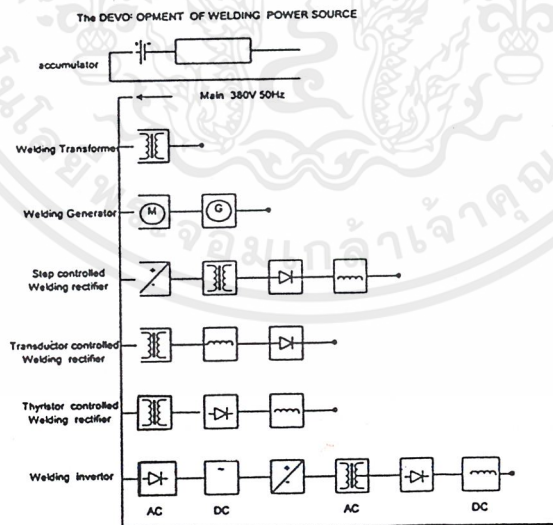
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

กระบวนการเชื่อมนั้นมีหลักการพื้นฐานจากการที่ให้กระแสไฟฟ้าปริมาณมากๆ ไหลผ่านรอยต่อชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมจนหลอมละลายติดกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากหลักการแล้ว เครื่องเชื่อมก็คือแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกระแสได้เป็นปริมาณมากนั่นเอง เริ่มแรกมีการค้นพบวิธีเชื่อมจาก การใช้แบตเตอรี่ (battery) เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแต่ก็มีข้อจำกัดที่ปริมาณความจุกระแสน้อย และเมื่อใช้งานแล้วต้องมีการประจุแรงดันใหม่ ซึ่งใช้เวลานานในการประจุกระแสแต่ละครั้ง ต่อมาใช้หลักการของหม้อแปลงเพื่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า โดยใช้การเลือกของลวดหรือการเคลื่อนของขดลวดเพื่อที่จะปรับค่ากระแสที่ใช้ในการเชื่อม ต่อมาเมื่ออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้ถูกพัฒนาขึ้น ก็ถูกนำมาใช้ในการเรียงกระแส เพื่อให้เป็นการเชื่อมแบบกระแสตรง และยังถูกใช้ในการควบคุมระดับกระแสในการเชื่อมอีกด้วย

#### 1.1 วิวัฒนาการของเครื่องเชื่อม



รูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นพัฒนาการของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

1.1.1 แอคคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) เป็นการเชื่อมไฟฟ้าแบบแรกที่ถูกคิดค้นขึ้น โดยใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถให้กระแสค่ามาก ๆ ได้ และในการใช้แต่ละครั้งต้องทำการประจุไฟฟ้าทุกครั้ง เมื่อใช้งานไปช่วงหนึ่งกระแสจากแบตเตอรี่จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แต่การเชื่อมแบบนี้มีข้อดีคือสามารถเชื่อมได้เร็วกว่าการเชื่อมที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับในการเชื่อม

1.1.2 เวลดิงทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Welding Transformer) เป็นการใช่มอเตอร์เพื่อทำการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ามายังจุดต่อเชื่อม โดยพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ มีข้อเสียคือยากต่อการควบคุมซึ่งโดยปกติสามารถควบคุมกระแสในการเชื่อมได้ 4 แบบคือ แบบเคลื่อนแกน (moving core) แบบเคลื่อนขดลวด (moving coil) แบบที่ทำให้รีแอคเตอร์อิ่มตัว (saturable reactor) และแบบสวิตช์เสียบ (tap switching) อุปกรณ์เชื่อมแบบนี้จะมีการสูญเสียพลังงานมาก แต่มีข้อดีคือไม่มีวงจรรีแอคเตอร์ต่อพ่วงให้ยุ่งยาก

1.1.3 เวลดิงเจเนอเรเตอร์ (Welding Generator) เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้มอเตอร์มาทำการหมุนเจเนอเรเตอร์ไฟกระแสตรง (DC Generator) แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเจเนอเรเตอร์มาทำการเชื่อมไฟฟ้าอีกทีซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องเชื่อมแบบนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำเพราะเกิดการสูญเสียหลายขั้นตอน ตั้งแต่ นำไฟฟ้ามาแปลงเป็นพลังงานกล แล้วแปลงพลังงานกลกลับไปเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกครั้ง แต่เครื่องเชื่อมลักษณะนี้จำเป็นต้องนำมาใช้เนื่องจากในงานเชื่อมบางประเภทจำเป็นต้องใช้กระแสไฟตรงในการเชื่อมเท่านั้น และใช้อยู่ในช่วงที่ยังไม่สามารถนำอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาใช้ได้

1.1.4 สเตป คอนโทรล เวลดิง เรคตifier (Step Controlled Welding Rectifier) เป็นเครื่องเชื่อมที่มีเทคโนโลยีของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเข้ามาใช้ในการเชื่อมที่ต้องการไฟกระแสตรงในการเชื่อม โดยสามารถปรับกระแสในการเชื่อมได้จากการปรับเปลี่ยนแทปที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง มีข้อดีคือเครื่องเชื่อมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.1.5 ทรานสดักเตอร์ คอนโทรล เวลดิง เรคตifier (Transductor Controlled Welding Rectifier) เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้หลักการเปลี่ยนค่าความนำของขดลวด ในการปรับค่ากระแสในการเชื่อม วิธีนี้ข้อเสียคือเกิดความสูญเสียขึ้นที่ขดลวดความนำ ในขณะที่ใช้กระแสค่า

สูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.6 ไทริสเตอร์ คอนโทรล เวลดิ้ง เรคติไฟเออร์ (Thyristor Controlled Welding Rectifier) เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้อุปกรณ์ไทริสเตอร์ในการเรียงกระแส โดยสามารถกำหนดมุมในการนำกระแสให้กับไทริสเตอร์ ซึ่งเป็นการกำหนดกระแสที่ใช้ในการเชื่อมของเครื่องเชื่อมอีกด้วย มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสได้อย่างละเอียดและแม่นยำ แต่มีข้อเสียคือจะต้องเพิ่มเติมส่วนของวงจรควบคุมและมีราคาแพง

1.1.7 เวลดิ้ง อินเวอร์เตอร์ (Welding Invertor) เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้หลักการของอินเวอร์เตอร์ในการที่จะเปลี่ยนค่าความถี่ไดโน้ปคิตให้สูงขึ้นก่อนที่จะส่งผ่านพลังงานด้วยหม้อแปลง ความถี่สูงเป็นผลให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดเล็กกะทัดรัด สามารถควบคุมปริมาณกระแสที่ใช้ในการเชื่อมได้อย่างแม่นยำ และเนื่องจากประสิทธิภาพมีค่าสูงเป็นผลให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่าเครื่องเชื่อมชนิดอื่น

## 1.2 การแยกประเภทวิธีการเชื่อม

การเชื่อมโลหะสามารถทำได้หลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็จะเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทอย่างกว้างๆคือ

1.2.1 การเชื่อมโลหะหลอมละลาย การเชื่อมแบบนี้ส่วนที่เป็นรอยต่อจะถูกหลอมละลายด้วยความร้อนจากการอาร์ค (arc) หรือเปลวแก๊สติดไฟ (inflamable gas) การเชื่อมแบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แรงกดกับรอยเชื่อม

1.2.2 การเชื่อมโดยใช้แรงกด การเชื่อมแบบนี้จะใช้ความร้อนรวมกับการกด เพื่อที่จะทำให้โลหะเชื่อมติดกัน

1.2.3 การบัดกรีแข็ง เป็นการประสานโลหะด้วยโลหะเจือ (alloy) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่นตะกั่วบัดกรี (solder) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสาน การประสานโลหะด้วยวิธีนี้ชิ้นงานจะไม่ถูกหลอมละลาย

เครื่องเชื่อมที่ได้จัดทำขึ้นนั้นจะถูกแยกไว้ในวิธีแรก คือ เป็นการเชื่อมที่หลอมละลายโลหะด้วยความร้อนจากการอาร์ค ซึ่งลักษณะการใช้งานของเครื่องเชื่อมนี้สามารถแบ่งย่อยออกตามสภาพแวดล้อม และชนิดของลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมได้ดังรูปที่ 1.2



## บทที่ 2

### การเชื่อมทิก (TIG WELDING)

การเชื่อมทิก เกิดขึ้นตั้งแต่ปี 1890 โดยเริ่มรู้จักใช้แก๊สเป็นตัวปกคลุมแนวเชื่อม มาในปี ค.ศ. 1920 ได้พัฒนาวิธีการเชื่อมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยใช้ทั้งเสตนเป็นลวดอาร์คซึ่งให้ความร้อนสูงและใช้แก๊สฮีเลียมกับแก๊สอาร์กอนปกคลุมแนวเชื่อม จนถึงปี 1930 HENRY M. HOBART และ PHILLIP K. BEVERS ได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ขบวนการเชื่อมนี้เอาไว้

ทิก ย่อมาจาก ทั้งเสตน อินเสิร์ต แก๊ส (Tungsten Inert Gas) สมาคมการเชื่อมของอเมริกา (American Welding Society หรือ AWS.) เรียกขบวนการเชื่อมนี้ว่า แก๊ส ทั้งเสตน อาร์ค เวลดิ้ง (Gas Tungsten-Arc Welding) โดยใช้คำย่อว่า GTAW. ซึ่งก็คือวิธีการเชื่อมที่ใช้ลวดทั้งเสตนเป็นตัวอาร์คและใช้แก๊สเฉื่อยเป็นเกราะปกคลุมแนวเชื่อม บางตำราอาจเรียกขบวนการนี้ว่า เฮลิอาร์ค (Heliarc) หรือ เฮลิเวล (Heliweld) ซึ่งเป็นชื่อดั้งเดิมของขบวนการนี้โดยใช้แก๊สฮีเลียมปกคลุมแนวเชื่อมและยังเป็นชื่อทางการค้าของบริษัทผู้ผลิตเครื่องเชื่อมทิกในประเทศสหรัฐอเมริกาอีกด้วย

#### 2.1 กรรมวิธีการเชื่อมทิก

เป็นกรรมวิธีการเชื่อมโลหะโดยชิ้นงานหลอมละลายด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอาร์คระหว่างลวดทั้งเสตน (Non-consumable Electrode) กับชิ้นงานเชื่อม โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยากับบริเวณดังกล่าว ความร้อนที่ได้จากการอาร์คสูงประมาณ 1942<sup>o</sup>เซลเซียส ในการเชื่อมนี้ลวดเชื่อมทั้งเสตนจะทำหน้าที่อาร์คเพื่อให้เกิดความร้อนเท่านั้น โดยไม่มีการเติมลงในแนวเชื่อม ถ้าต้องการเติมเนื้อเชื่อมต้องเติมลวดเชื่อมลงไป

การเชื่อมทิกสามารถทำได้ทั้งระบบเชื่อมด้วยมือ (Manual) และระบบอัตโนมัติ (Automatic) ซึ่งแตกต่างกันดังนี้

ระบบเชื่อมด้วยมือเป็นระบบที่ช่างเชื่อม (Welder) คล้ายกับการเชื่อมด้วยแก๊สอะเซตีลีน โดยช่างเชื่อมจะใช้มือควบคุมหัวเชื่อมและการเติมลวดเชื่อม ความปรานีตของงานเชื่อมขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่างเชื่อมเป็นส่วนใหญ่ ส่วนระบบการเชื่อมอัตโนมัตินั้นเป็นระบบการเชื่อมด้วยอุปกรณ์อัตโนมัติ โดยอาศัยผู้ควบคุม (Operator) บังคับการทำงานของเครื่องเชื่อมด้วย

เปิด-ปิดสวิตซ์ เพื่อควบคุมการเริ่มต้นและการหยุดเครื่องเชื่อม  
 เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อแจกจ่ายให้แก่นักศึกษาและบุคลากรที่เกี่ยวข้องในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมทิกเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่สามารถเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิด ซึ่งรวมถึงโลหะผสม เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสม เหล็กกล้าไร้สนิม โลหะทนความร้อน อลูมิเนียมผสม ทองแดงและทองแดงผสมเป็นต้น สำหรับตะกั่วและสังกะสีไม่ควรเชื่อมแบบ TIG เนื่องจากวัสดุทั้งสองมีจุดหลอมเหลวต่ำ

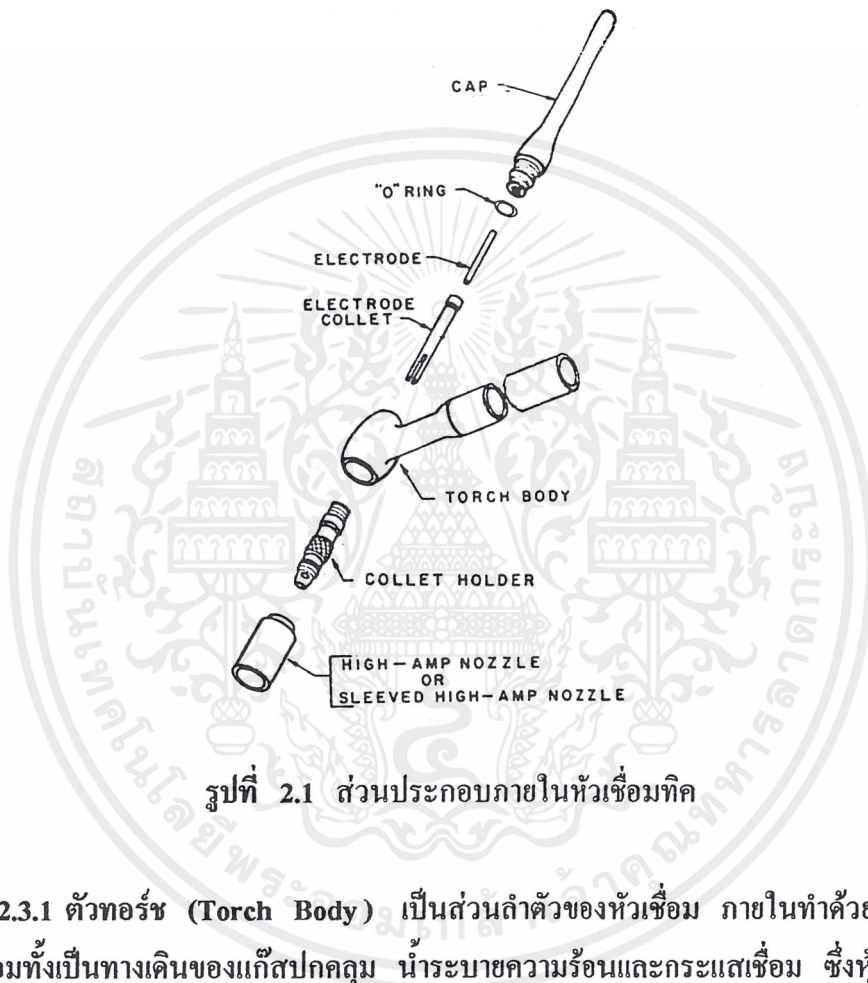
การเชื่อมทิกเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่สามารถเชื่อมโลหะบางได้ดี คือมีความหนาตั้งแต่ 0.005 นิ้ว - 1/8 นิ้ว แต่ถ้าโลหะมีความหนาตั้งแต่ 1/4 นิ้ว ควรเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอื่นจะประหยัดกว่าเว้นแต่ว่างานนั้นต้องการคุณภาพสูง จึงเชื่อมด้วยทิกและในการเชื่อมอาจจะเชื่อมแบบซ้อนแนว (Multiple-pass) ก็ได้ ซึ่งงานที่ต้องการคุณภาพสูงได้แก่ งานอากาศยานเป็นต้น สำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนยังสามารถเชื่อมด้วยทิกอาจเป็นระบบเชื่อมด้วยมือหรืออัตโนมัติก็ได้

## 2.2 ข้อดีของการเชื่อมแบบทิก

1. ไม่ต้องใช้ฟลักซ์ (flux) ดังนั้นแนวเชื่อมที่ได้จึงไม่จำเป็นต้องเคาะเสถิลค์ ซึ่งเป็นการตัดปัญหาในเรื่องเสถิลค์ฝังในแนวเชื่อม เพราะเสถิลค์ที่ฝังอยู่ในแนวเชื่อมทำให้แนวเชื่อมไม่แข็งแรงและผุกร่อน ทั้งนี้โดยการใช้แก๊สเฉื่อยทำหน้าที่แทนฟลักซ์สำหรับคลุมแนวเชื่อม ไม่ให้ออกซิเจนและไนโตรเจนจากบรรยากาศมารวมตัวกับแนวเชื่อม หรือโลหะงานหลอมละลาย
2. ส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นจะมีส่วนผสมเหมือนกับลวดเชื่อม จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากแก๊สเฉื่อยที่ปกคลุมแนวเชื่อมจะไม่รวมตัวหรือทำปฏิกิริยากับโลหะ ดังนั้นแนวเชื่อมที่ได้จากกรรมวิธีเชื่อมทิกจึงแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อนและเหนียวกว่าแนวเชื่อมที่ได้จากกรรมวิธีอื่นๆ
3. สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม
4. สามารถมองเห็นแนวเชื่อมและบ่อหลอมละลายได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการอาร์คที่เกิดขึ้นสะอาดไม่มีควันและเสถิลค์ปกคลุม
5. การเชื่อมทิกให้ความร้อนสูงและเป็นบริเวณแคบจึงไม่ทำให้ความร้อนในแนวเชื่อมแผ่กระจายกว้างเกินไป งานจึงมีโอกาสบิดตัวน้อย
6. ไม่มีเม็ดโลหะ (spatter) เกิดขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อม เนื่องจากการเชื่อมทิกไม่มีการส่งผ่านน้ำโลหะลวดเชื่อมข้ามบริเวณอาร์คสู่บ่อหลอมละลาย
7. สามารถเชื่อมต่อเหล็กเหนียวที่มีความหนาแตกต่างกันได้
8. สามารถควบคุมแนวเชื่อมได้ง่าย

## 2.3 ส่วนประกอบของหัวเชื่อมทิก

ในการเตรียมหัวเชื่อมประเภทแรกจะต้องเข้าใจหลักการทำงานและวิธีเลือกใช้ส่วนประกอบของหัวเชื่อมได้ถูกต้อง ส่วนประกอบของหัวเชื่อม TIG มีดังนี้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบภายในหัวเชื่อมทิก

2.3.1 ตัวทอร์ช (Torch Body) เป็นส่วนลำตัวของหัวเชื่อม ภายในทำด้วยทองแดงผสมพร้อมทั้งเป็นทางเดินของแก๊สปกคลุม น้ำระบายความร้อนและกระแสเชื่อม ซึ่งหุ้มด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนและกระแสไฟได้อย่างดี

2.3.2 ฝาครอบ (CAP) เป็นส่วนปลายสุดของหัวเชื่อม มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้แก๊สไหลออกและยังเป็นตัวป้องกันไม่ให้อากาศไหลเข้าไปปนกับแก๊สภายในหัวเชื่อม CAP นี้จะมีหลายขนาด กำหนดตามความยาวของลวดทังสเตน

2.3.3 วงแหวนยาง ("O" Ring) เป็นวงแหวนยางกลมที่ประกอบอยู่ที่โคนเกลียวของเอกสาฝักครอบสำหรับป้องกันการรั่วของแก๊สเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 คอลเลท (Collet) หรือ อิเล็กโทรด คอลเลท (Electrode Collet) เป็นตัวจับลวดเชื่อม ซึ่งกำหนดตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดทั้งเสตนโดยทั่วไปที่เป็นทองแดงผสมที่เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี แต่ก็มีคอลเลท ที่ทำจากโครเมียมผสม (80-20) ผิวภายในของคอลเลท จะต้องเรียบสม่ำเสมอ ก่อนที่จะนำคอลเลท ไปใช้งาน ควรทดสอบครีป (burr) ที่อาจเกิดขึ้นกับคอลเลทเสียก่อน เนื่องจากคอลเลทที่มีครีปอยู่จะทำให้กระแสไฟเชื่อมเดินไม่สะดวก

2.3.5 คอลเลท โฮลเดอร์ (Collet Holder) ยึดติดกับลำตัวหัวเชื่อมด้วยเกลียวคอลเลท โฮลเดอร์ ทำด้วยทองแดงผสมทำหน้าที่บีบจับคอลเลทให้จับลวดทั้งเสตนได้แน่น และยังมีรูเพื่อให้เกิดสปกคลุมไหลออกมาปกคลุมบ่อหลอมละลาย

2.3.6 นอซเซิล (Nozzle) ที่ใช้ในการเชื่อมทิกมีอยู่หลายชนิดได้แก่ ชนิดกระเบื้อง โลหะ แก้ว และชนิดคู่อัดซีล (Dual-Shield) นอซเซิล แต่ชนิดที่เป็นเซรามิกนั้นนิยมใช้เนื่องจากว่าราคาถูก แต่สำหรับนอซเซิลโลหะที่ระบายความร้อนด้วยน้ำนั้นมีการใช้งานนานกว่าแบบเซรามิก

## 2.4 ระยะเวลาของปลายลวดทั้งเสตน (Electrode Extension)

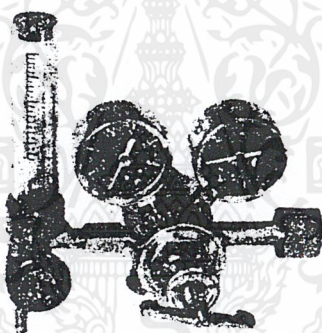
เป็นระยะที่ลวดทั้งเสตนยื่นออกไปจากนอซเซิลโดยทั่วไปเท่ากับ 1-2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของลวดทั้งเสตน ถ้าระยะยื่นของปลายลวดทั้งเสตนยาวเกินไป จะทำให้ปลายลวดทั้งเสตนสัมผัสบ่อหลอมละลายหรือลวดเชื่อมเติมได้ง่ายๆ และต้องใช้แก๊สปกคลุมมากกว่าปกติ ถ้าระยะยื่นปลายลวดทั้งเสตนสั้น จะไม่ทำให้ปลายลวดทั้งเสตนสกรปรกได้ง่ายเนื่องจากปลายลวดไม่จุ่มในบ่อหลอมละลาย แต่จะมีผลเสียต่อนอซเซิลและการเชื่อมต้องใช้ช่างเชื่อมที่มีความชำนาญ เพราะมองเห็นบ่อหลอมละลายได้ยาก

ระยะยื่นของปลายลวดทั้งเสตนขึ้นอยู่กับลักษณะของรอยต่อ สำหรับรอยต่อฟิลเลท (Fillet) ด้านในต้องการระยะยื่นปลายลวดทั้งเสตนยาว หรือให้ปลายลวดทั้งเสตนเกือบถึงก้นของรอยต่อ จึงจะทำให้เห็นบ่อหลอมละลายได้ชัดเจน ในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นรอยต่อขอบ (Edge flange) ต้องการระยะยื่นปลายลวดทั้งเสตนน้อยหรือไม่ต้องการเลย

## 2.5 อุปกรณ์ปรับความดันและวัดปริมาณการไหลของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม

ความดันและปริมาณการไหลของแก๊สปกคลุมนั้นมีความสำคัญต่อการเชื่อม TIG มาก ดังนั้นจึงต้องใช้ คอมบิเนชัน เรกจิเวอเรเตอร์ (combination regulator) และโฟลวมิเตอร์ (flowmeter) จะต้องใช้หลอดแก้ววัดปริมาณการไหลของแก๊ส ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

2.5.1 เรกจิเวอเรเตอร์ (Regulator) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความดันสูงภายในถึงหรือท่อเมนฟอลด์ (mainfold) มีหน่วยเป็น PSI และต่อผ่านไปยังโฟลวมิเตอร์ที่มีหน่วยวัดเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง (C.F.H.) ซึ่งประกอบด้วยหลอดแก้ว พร้อมทั้งถูกกลบบรรจุอยู่ภายใน และสามารถปรับปริมาณการไหลได้ ในการประกอบโฟลวมิเตอร์จะต้องให้หลอดแก้ววัดปริมาณการไหลตั้งอยู่ในแนวตั้งจึงจะได้ค่าการวัดที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ปรับความดันและวัดปริมาณการไหลของแก๊ส

## 2.5.2 ลวดเชื่อมเติม (Filler Metal)

การเลือกลวดเชื่อมเติมสำหรับการเชื่อม TIG ขึ้นอยู่กับโลหะงาน คุณสมบัติเชิงกล ภายนอก การออกแบบรอยต่อและคุณภาพผิวสำเร็จ การเลือกลวดเชื่อมเติมควรให้มีส่วนผสมเหมือนหรือเหมาะสมกับโลหะงาน ถ้าส่วนผสมของลวดเชื่อมเติมไม่เหมาะสมกับโลหะงานเชื่อม ทำให้แนวเชื่อมไม่แข็งแรงหรืออาจแตกร้าวได้ง่ายและสามารถนำเอาเศษที่ตัดออกจากโลหะงานมาใช้กับลวดเชื่อมเติมก็ได้ ลวดเชื่อมเติมที่ใช้กับขบวนการเชื่อมด้วยมือหรืออัตโนมัติจะมีทั้งชนิดที่เป็นเส้นโครงและขดเป็นม้วน

## 2.6 กระแสเชื่อม (Welding Current)

กระแสเชื่อมเป็นค่าควบคุมการซึมลึก ความเร็วของการเชื่อม อัตราการเติมลวดเชื่อม และคุณภาพของแนวเชื่อม

กระแสเชื่อมที่คแบบพื้นฐานมีอยู่ 3 ชนิดคือ

2.6.1 กระแสตรงต่อขั้วตรง (direct current straight polarity) หรือเรียกย่อๆว่า ดีซีเอสพี (DCSP)

2.6.2 กระแสตรงต่อกลับขั้ว (direct current reverse polarity) หรือเรียกย่อๆว่า ดีซีอาร์พี (DCRP)

2.6.3 กระแสไฟสลับ (Alternating current) หรือเรียกย่อๆว่า เอซี (AC)

### 2.6.1 กระแสไฟตรงต่อขั้วตรง

กระแสไฟเชื่อมชนิดไฟตรงต่อขั้วตรง เป็นที่นิยมใช้ในการเชื่อมที่คมมาก ซึ่งให้ผลดีแก่การเชื่อมโลหะทั่วไปและโลหะผสมยกเว้นอลูมิเนียมและแมกนีเซียม

การเชื่อมแบบนี้ที่ลวดเชื่อมจะต่อเข้ากับขั้วลบ ส่วนชิ้นงานเชื่อมจะต่อเข้ากับขั้วบวก ดังนั้นอิเล็กตรอนจะไหลจากลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ความร้อนเกิดขึ้นบนขั้วบวก (ชิ้นงาน) ประมาณ 70% ของความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด และความร้อนที่เกิดกับลวดเชื่อมจึงมีน้อยทำให้ลวดเชื่อมสามารถเชื่อมกับกระแสได้สูง ลดการกัดกร่อนของเปลวอาร์คและความร้อน ซึ่งเป็น การเพิ่มอายุการใช้งานของลวด

การเชื่อมด้วยไฟกระแสตรงต่อขั้วตรงจะทำให้แนวเชื่อมแคบและซึมลึกสูง ไม่เหมาะกับการเชื่อมโลหะบางและไม่เกิดปฏิกิริยาทำความสะอาด (กำจัดออกไซด์) ถ้าเชื่อมอลูมิเนียมด้วยไฟกระแสตรงต่อขั้วตรง จะต้องใช้กาววิธีเชื่อมพิเศษโดยจะต้องทำความสะอาดผิวงานด้วยกาววิธีกลหรือเคมีอย่างดีก่อนเชื่อม

### 2.6.2 กระแสตรงต่อกลับขั้ว

การเชื่อมแบบกระแสตรงต่อกลับขั้วนั้น ลวดเชื่อมต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่องเชื่อมส่วนชิ้นงานต่อเข้ากับขั้วลบ ทำให้อิเล็กตรอนไหลจากงานไปยังลวดเชื่อม ดังนั้นความร้อนจากการอาร์คส่วนใหญ่จะอยู่ที่ลวดเชื่อม และความร้อนส่วนน้อยจะอยู่ที่ชิ้นงาน ถ้ากำหนดให้กระแสเชื่อมและระยะอาร์คที่เท่ากัน จะเห็นว่าการเชื่อมด้วยไฟกระแสตรงต่อกลับขั้ว จะมีแรงเคลื่อนอาร์ค (Arc Voltage) สูงกว่าการเชื่อมด้วยไฟกระแสตรงต่อตรงขั้ว ดังนั้นการเชื่อมด้วยไฟกระแสตรงต่อกลับขั้วจึงเกิดพลังงานทั้งหมดมากกว่าการเชื่อมด้วยไฟกระแสตรงต่อตรงขั้ว

### 2.6.3 กระแสไฟสลับ (เอซี)

กระแสเชื่อมสลับเป็นกระแสเชื่อมที่ได้รวมเอากระแสไฟตรงต่อกลับซ้ำกับกระแสไฟตรงต่อซ้ำตรง โดยใน 1 ไซเคิลจะเป็นกระแสไฟตรงต่อกลับซ้ำครึ่งหนึ่ง และกระแสไฟตรงต่อซ้ำตรงครึ่งหนึ่ง ดังนั้นการกระทำของอิเล็กทรอนิกส์และไอออนบวกของแก๊ส จะกระทำกับชิ้นงานและลวดเชื่อมในลักษณะที่สลับกันไปอย่างต่อเนื่อง จากรูปของกระแสไฟสลับ 1 ไซเคิลจะประกอบด้วยลวดครึ่งหนึ่งและบวกอีกครึ่งหนึ่งเช่นกัน

การป้องกันไฟตรงย้อนกลับเข้าเครื่องเชื่อมคือ การต่อคาปาซิเตอร์ (capacitor) เข้ากับวงจร ซึ่งคาปาซิเตอร์นี้จะเป็นตัวป้องกันไฟตรงไม่ให้ไหลเข้ากลับเครื่องเชื่อมได้อีก

การที่ไฟตรงย้อนกลับเข้าเครื่องเชื่อมไฟกระแสสลับ จะทำให้คลื่นของไฟสลับจากการอาร์คไม่สมดุลย์ในตำแหน่งที่คลื่นผ่านศูนย์ การอาร์คที่เกิดขึ้นจะดับลงและติดขึ้นใหม่อีก ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่เปลี่ยนทิศทางของกระแส

### 2.7 ความถี่สูง (High Frequency)

การอาร์คจะเกิดขึ้นได้ง่ายและแน่นอนจะต้องใช้แรงดันไฟฟ้ามากกว่า 70-80 โวลต์ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีเครื่องผลิตความถี่สูง ซึ่งสามารถผลิตแรงดันได้หลายพันโวลต์ ด้วยขนาดกระแสเป็นมิลลิแอมป์เท่านั้น รวมเข้าไว้ในวงจรของขดลวดทุติยภูมิในเครื่องเชื่อมด้วยเพื่อเป็นตัวผลิตแรงดันสูงขดขยในการทำให้ครึ่งไซเคิลบวกที่ขาดหายไปบางส่วน และยังมีแรงพอที่จะไปขจัดออกไซด์ออกไปอีกด้วย ปกติแล้วมักจะเข้าใจกันว่าความถี่สูงจะทำหน้าที่ให้เกิดปฏิกิริยาทำความสะอาด แต่ที่จริงแล้วความถี่สูงเป็นตัวทำหน้าที่ช่วยจุดเปลวอาร์คให้เกิดขึ้น โดยเฉพาะในครึ่งไซเคิลบวกและเป็นผลทำให้เกิดการอาร์คที่สม่ำเสมอ และยังทำให้เกิดการขจัดออกไซด์เป็นไปอย่างได้ผลเท่านั้น

จุดประสงค์ของการที่ต้องมีความถี่สูงคือ จะทำให้เกิดสปาร์คแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลของกระแสเพิ่มมากขึ้น คำว่าการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) หมายถึงอะตอมของแก๊สที่ต้องสูญเสียอิเล็กตรอนไปหนึ่งตัวหรือมากกว่านั้น แล้วอะตอมยังคงสภาพเป็นไอออนบวก ในขณะที่เชื่อมเมื่อชิ้นงานเป็นขั้วลบ แก๊สไอออนซึ่งมีประจุเป็นบวกก็จะวิ่งเข้าชนชิ้นงานด้วยแรงที่มากพอที่จะตีออกไซด์บนผิวงานออกจนทำให้แตกหลุดออกไปได้

สรุปได้ว่าความถี่สูงจะทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. ทำหน้าที่เริ่มต้นอาร์คโดยที่ลวดทั้งเสตนไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน
2. ช่วยทำให้การอาร์คคงที่โดยการช่วยจุดกระแสไฟในช่วงไซเกิลบวกของการเชื่อมด้วยไฟกระแสสลับ
3. การแตกตัวเป็นไอออน ช่วยในการเริ่มต้นและส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาทำความสะอาดขึ้น

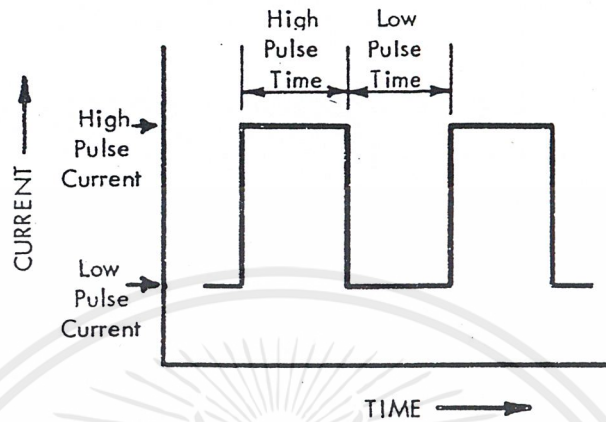
เครื่องผลิตความถี่สูงจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ หลายส่วน เช่น หม้อแปลงไฟสูง คอนเดนเซอร์ ชุดสปาร์คเพื่อสร้างความถี่ รีโอสตาทและคัปปีงคอยล์ซึ่งทำหน้าที่เหนี่ยวนำความถี่สูงเข้าไปในวงจรเชื่อม เครื่องผลิตความถี่สูงบางครั้งจะออกแบบไว้ร่วมกับเครื่องเชื่อม บางครั้งก็แยกกัน ส่วนมากเครื่องเชื่อมที่ออกแบบสำหรับการเชื่อมทิก โดยเฉพาะมักมีเครื่องผลิตความถี่สูงอยู่ในตัว ถ้าเป็นเครื่องที่ออกแบบให้แยกกันจะสามารถนำเครื่องผลิตความถี่สูงมาต่อเข้ากับวงจรเชื่อมได้เลย

## 2.8 การเชื่อมด้วยกระแสเป็นช่วง (Pulse Current Welding)

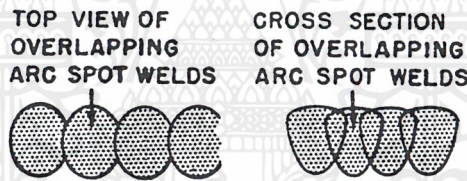
การทำงานของเครื่องเชื่อมทิก จะให้กระแสที่ใช้ในการอาร์คออกมาค่อนข้างคงที่ ซึ่งกระแสเป็นช่วงจะให้กระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ 2 ระดับคือระดับสูง (High Pulse Current) กับระดับต่ำ (Low Pulse Current)

ระดับสูง เป็นช่วงที่เกิดความร้อนสูงและมีการหลอมละลาย ส่วนระดับต่ำเป็นช่วงที่เกิดการเย็นตัวและโลหะแนวเชื่อมแข็งตัว

ได้มีการพัฒนาระบบการเชื่อมด้วยกระแสเป็นช่วง ที่มีสวิตซ์อัตโนมัติสำหรับเปลี่ยนแปลงค่าของกระแส ที่สามารถควบคุมเวลาของกระแสแต่ละช่วงได้ แนวเชื่อมแบบนี้จะมีลักษณะเหมือนกับการเชื่อมที่เป็นจุดวางเกยทับกัน จุดเชื่อมแต่ละจุดเกิดจากช่วงที่กระแสที่สูงขึ้น ซึ่งจุดเชื่อมนี้จะเกิดความร้อนและการซึมลึก และเมื่อกระแสลดสู่ระดับต่ำแนวเชื่อมจะเย็นตัวและแข็งตัว ซึ่งการเชื่อมจะเกิดขึ้นสลับกันไปตามความยาวแนวเชื่อม



รูปที่ 2.3 แสดงกระแสเชื่อมกับเวลาของระบบการเชื่อมด้วยกระแสเป็นช่วง



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของแนวเชื่อมแบบ pulse

การเชื่อมด้วยระบบกระแสเชื่อมเป็นช่วง จะต้องเข้าใจองค์ประกอบ 4 ประการดังนี้

1. ช่วงของกระแสที่สูงสุด (High Pulse Current) หรือ (Pulse Current) เป็นช่วงที่ให้ความร้อนจากการอาร์คสูงสุด
2. ช่วงของกระแสที่ต่ำสุด (Low Pulse Current) หรือ (Background Current) เป็นช่วงที่ให้ความร้อนต่ำสุด
3. ระยะเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสช่วงสูงสุด (High Pulse Time)
4. ระยะเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสช่วงต่ำสุด (Low Pulse Time)

## 2.9 การปรับกระแสและเวลาสำหรับการเชื่อมด้วยกระแสเป็นช่วง

การปรับ ช่วงของกระแสที่สูงสุด จะใช้สูงกว่ากระแสปกติเพียงเล็กน้อยเมื่อเชื่อมงานที่เหมือนกัน สำหรับ ช่วงของกระแสที่ต่ำสุด ปกติจะปรับให้ต่ำกว่า ช่วงของกระแสที่สูงสุด คือประมาณ 25% โดยให้อาร์คยังคงอยู่

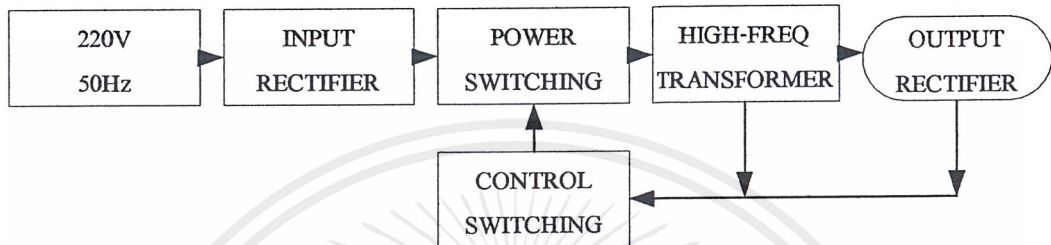
การปรับช่วงเวลาของพัลส์ (pulse) นั้นมีความสำคัญมาก โดยจะต้องปรับที่ระยะเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสช่วงสูงสุดก่อน และต้องพิจารณาถึงบ่อหลอมละลายและการซึมลึกด้วย ถ้างานหนาให้ตั้งเวลามาก ส่วนระยะเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสช่วงต่ำสุด ให้ตั้งเพียงพอแก่บ่อหลอมละลายจะเย็นตัวและโดยปกติจะตั้งให้ต่ำกว่าช่วงเวลาเครื่องเชื่อมจ่ายกระแสสูงสุด การตั้งค่าต่าง ๆ นั้นต้องคำนึงถึงบ่อหลอมละลาย การซึมลึก ชนิดของวัสดุงาน ตำแหน่งการเชื่อม และลักษณะของรอยต่อ เช่นถ้าบ่อหลอมละลายของงานเชื่อมโตเกินไปหรือซึมลึกเกินไปควรลดระยะเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสสูงสุดลง

## 2.10 ข้อดีของการเชื่อมแบบ Pulse

1. งานเสียรูปและบิดงอ น้อย
2. สามารถควบคุมขนาดของบ่อหลอมละลายและการละลายตัวของแนวเชื่อมได้
3. สามารถควบคุมการซึมลึกได้
4. สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม
5. คุณภาพแนวเชื่อมสูง
6. สามารถเชื่อมท่อและแนวเชื่อมซิกแซกได้ดี

### บทที่ 3

#### ทฤษฎีและหลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องเชื่อม



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องเชื่อม

จากรูปที่ 3.1 การทำงานของเครื่องเชื่อมเริ่มจากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิรท์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงค่าสูงประมาณ 311 โวลต์ โดยวงจรเรียงกระแสและกรองกระแส จากนั้นนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาสวิทช์ที่ความถี่สูงโดยวงจรเพาเวอร์สวิทช์ สำหรับเครื่องเชื่อมที่จัดทำขึ้นนี้จะใช้วงจรเพาเวอร์สวิทช์แบบฮาล์ฟ-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ พัลส์ที่ได้จากการสวิทช์จะยังคงมีค่าแรงดันสูงกว่าค่าแรงดันใช้งานอยู่ การลดแรงดันลงสามารถทำได้โดยการส่งผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งเป็นการแยกกันระหว่างส่วนของแรงดันสูงที่เชื่อมต่อกับไลน์กับส่วนใช้งานแรงดันต่ำอีกด้วย จากนั้นนำพัลส์ที่ได้จากการคัปปลิงผ่านหม้อแปลงมาทำการเรียงกระแสให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงอีกครั้ง เนื่องมาจากการเชื่อมโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้จุดเชื่อมมีคุณภาพสูงกว่าการเชื่อมโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อเครื่องเชื่อมทำงานจะมีการป้อนกลับค่าแรงดันจากขดลวดทุติยภูมิ มายังวงจรควบคุมการสวิทช์ของวงจรเพาเวอร์สวิทช์ โดยผ่านการเรียงกระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเช่นกัน โดยวงจรควบคุมนี้จะทำการปรับคาบเวลานำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตที่วงจรเพาเวอร์สวิทช์ตามความต้องการของโหลด

เนื่องจากพื้นฐานของเครื่องเชื่อมก็คือวงจรสวิทช์ซึ่ง นับว่าเป็นหลักการที่สำคัญมากในการออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมให้ตรงกับงานและความต้องการใช้งาน โดยรายละเอียดของหลักการพื้นฐานของวงจรต่างๆมีดังนี้

### 3.1 คอนเวอร์เตอร์ (CONVERTOR)

คอนเวอร์เตอร์ มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำและสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจับวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีที่แตกต่างกันออกไป การจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดสำหรับสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายนั้นมีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้

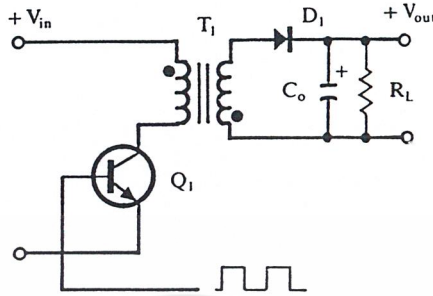
1. ลักษณะการแยกทางกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์
2. ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
3. ค่ากระแสสูงสุดที่ไฟผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
4. ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
5. การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีหลายค่าเอาต์พุตแรงดัน
6. การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI/EMI ของตัวคอนเวอร์เตอร์

จากข้อพิจารณาดังกล่าว จะทำให้ผู้ออกแบบทราบขีดจำกัดของคอนเวอร์เตอร์และประเมินราคาเพื่อตัดสินใจเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์แบบใดได้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมากมาย แต่ในปริยญาณิน์ฉบับนี้จะได้กล่าวถึงเฉพาะคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้เป็นหลักในตลาดอุตสาหกรรมของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย คือ

- 3.1.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)
- 3.1.2 ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)
- 3.1.3 พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)
- 3.1.4 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)
- 3.1.5 ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter)

คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบนี้ มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษา คอนเวอร์เตอร์เหล่านี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นคอนเวอร์เตอร์อีกหลายประเภทด้วยการเพิ่มเทคนิคบางประการให้กับคอนเวอร์เตอร์

3.1.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์



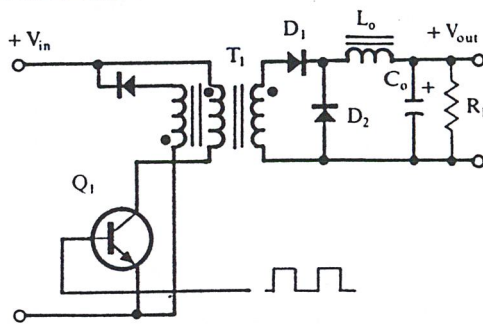
(ก)

รูปที่ 3.2(ก) วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.2(ก) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์ที่เปลี่ยนที่ป้อนให้กับขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง  $T_1$  จะกำหนดขดไพรมารีและเซคคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ  $T_1$  นำกระแสไดโอด  $D_1$  จึงอยู่ในลักษณะไบอัสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไพรมารีของหม้อแปลง  $T_1$  แทน เมื่อ  $Q_1$  หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก  $T_1$  ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดไพรมารีและเซคคันดารี  $D_1$  ก็จะอยู่ในลักษณะไบอัสตรง พลังงานที่สะสมอยู่ในขดไพรมารีของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายออกไปยังขดเซคคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไดโอด  $D_1$  ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต  $C_o$  และโหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับการทำงานของ  $Q_1$  ช่วงเวลานำกระแสของ  $Q_1$  อัตราส่วนจำนวนของหม้อแปลงและค่าของแรงดันที่อินพุต

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก

3.1.2 ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์



(ข)

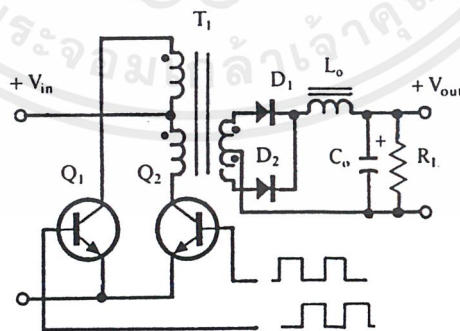
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.2 (ข) วงจรฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.2 (ข) ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่หม้อแปลง  $T_1$  ในฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์จะกำหนดขดไพรมารีและเซคคันดารีให้มีเฟสตรงกัน ดังนั้นเมื่อ  $Q_1$  นำกระแส ไดโอด  $D_1$  จึงอยู่ในลักษณะไบอัสตรง แต่  $D_2$  จะอยู่ในลักษณะไบอัสกลับและไม่นำกระแส กระแสจึงไหลผ่านไดโอด  $D_1$  และตัวเหนี่ยวนำ  $L_o$  ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต  $C_o$  และโหลดได้ ขณะที่มีการไหลผ่าน  $L_o$  จะมีการสะสมไว้ในตัวมันด้วย เมื่อ  $Q_1$  หยุดนำกระแส ไดโอด  $D_1$  จะอยู่ในลักษณะไบอัสกลับ จึงไม่มีกระแสไหลในขดเซคคันดารี สนามแม่เหล็กใน  $L_o$  จะยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันอยู่ ไดโอด  $D_2$  ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง  $L_o$  จะถ่ายเทพลังงานออกมาทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวมันและ  $D_2$  ออกไปยังโหลดได้ จะเห็นได้ว่ามีกระแสไหลผ่านโหลดได้อย่างต่อเนื่องทั้งในช่วงที่  $Q_1$  นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ให้กระแสที่ได้มีการกระเพื่อมต่ำกว่าอย่างไรก็ดี ตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจะทำให้ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์นั้นมีราคาสูงกว่า

### 3.1.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงตั้งแต่ 500 วัตต์ ขึ้นไป แต่มีข้อเสียคือ มันเกิดการไม่สมมาตรปลั๊กซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสจะทำให้ลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้นพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการทำงานสูงๆ



(ค)

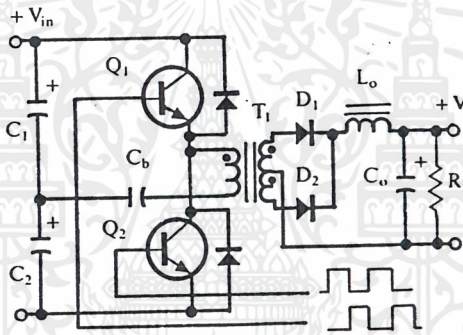
รูปที่ 3.2 (ค) วงจรพุชพูลคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.2 (ค)  $Q_1$  และ  $Q_2$  จะสลับกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบของการทำงาน เมื่อ  $Q_1$  นำกระแส  $D_1$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสกลับแต่  $D_2$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง และนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสผ่าน  $L_o$  ไปยังโหลดได้ เมื่อ  $Q_1$  หยุดนำกระแส  $Q_2$  จะเริ่มนำกระแส  $D_2$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสกลับและ  $D_1$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง และนำกระแสผ่าน  $L_o$  ไปยังโหลดได้เช่นกัน ดังนั้น โหลดจึงมีกระแสไหลอย่างต่อเนื่องได้ตลอดเวลา กระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบ อย่างไรก็ตามเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการสร้างพวง-พุกคอนเวอร์เตอร์เช่นกัน

### 3.1.4 ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับพวง-พุกคอนเวอร์เตอร์ และให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีของฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ก็คือ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแสต่ำกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวมาแล้ว และลดการเกิดไม่สมมาตรของฟลักซ์ได้

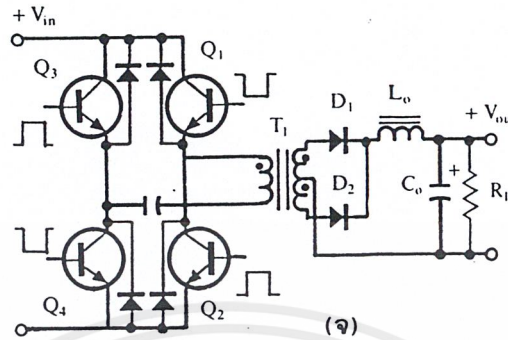


(ง)

รูปที่ 3.2 (ง) วงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.2 (ง) จะเห็นได้ว่าหากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งนำกระแส ค่าแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวที่เหลือจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น เมื่อ  $Q_1$  และ  $Q_2$  สลับกันนำกระแส ผลที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับการทำงานของพวง-พุกคอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นค่าแรงดันตกคร่อมขณะทำงานของขดไพรมารีจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เนื่องจากผลของการต่อตัวเก็บประจุ  $C_1$  และ  $C_2$  เพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน กระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารีจึงมีค่าสูง ซึ่งเป็นการจำกัดกำลังงานสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ โดยกำลังงานสูงสุดที่ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

### 3.1.5 ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.2 (จ) วงจรฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.2 (จ) จะเห็นได้ว่ามีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรทั้งหมดถึง 4 ตัว แต่จะทำงานสลับกันเป็นคู่ๆ โดย  $Q_1$  จะนำกระแสพร้อมกับ  $Q_4$  และ  $Q_2$  จะนำกระแสพร้อมกับ  $Q_3$  กระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารีของหม้อแปลงจะมีลักษณะเช่นเดียวกับฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ข้อได้เปรียบของฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ก็คือ ขณะทำงานขดไพรมารีจะมีแรงดันตกคร่อมเท่าค่าแรงดันอินพุทกระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารีจึงมีค่าต่ำกว่า ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงสามารถจ่ายกำลังงานได้สูงกว่า ดังนั้นสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังงานสูงๆตั้งแต่ 500 วัตต์ ถึง 1,000 วัตต์ จึงมักนิยมใช้คอนเวอร์เตอร์แบบฟูล-บริดจ์เป็นหลัก

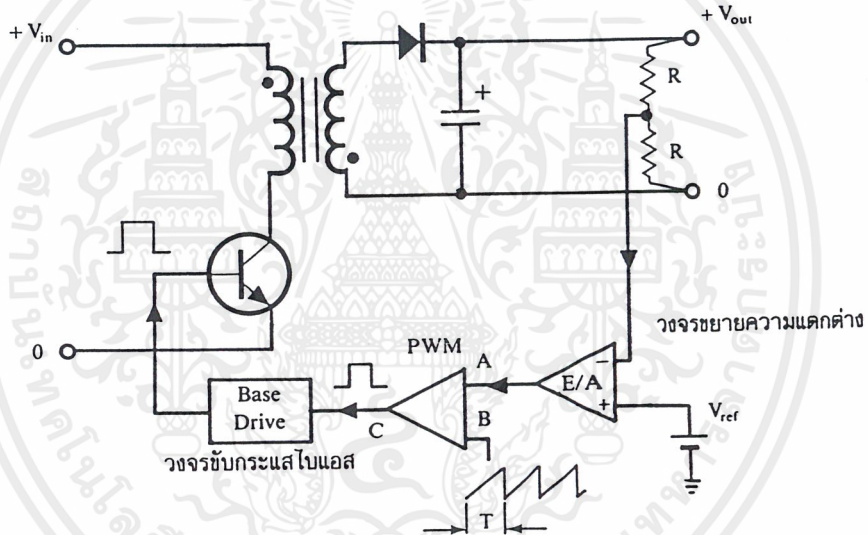
## 3.2 วงจรควบคุม

เนื่องจากคอนเวอร์เตอร์เกือบทุกแบบ จะคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ด้วยวิธีการควบคุมช่วงเวลา นำกระแส ( $t_{on}$ ) ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจึงมักนิยมใช้เทคนิคพัลส์วidthมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) หรือ PWM เป็นหลัก การใช้ PWM เพื่อควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ สามารถทำได้ในสองลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมคือ ในโหมดควบคุมจากแรงดันและโหมดควบคุมจากกระแส

### 3.2.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน (Voltage Mode Control)

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้ จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันที่เอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลักวงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันจะเป็นดังรูปที่ 3.3

จากรูปวงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  ของวงจรเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง E/A ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ตำแหน่ง A จะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง B ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อยและมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามผลมอดูเลชันของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์

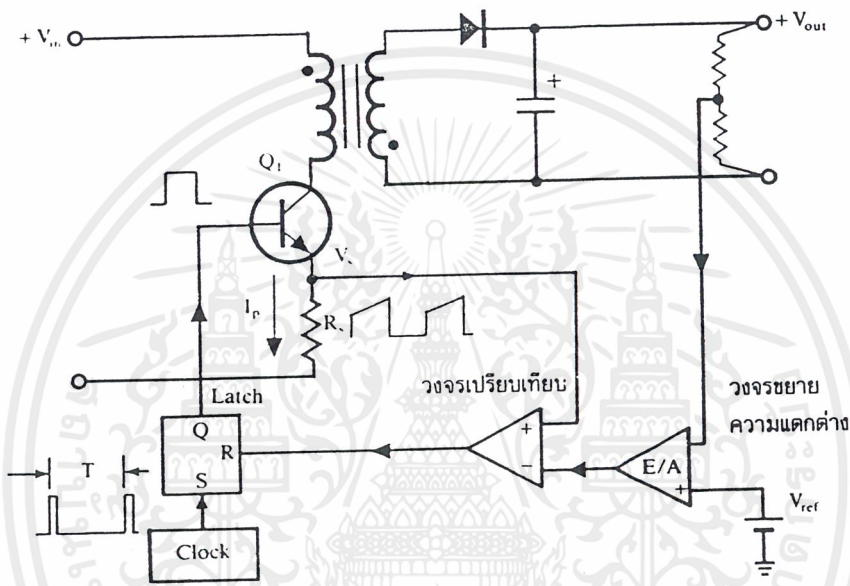


รูปที่ 3.3 แสดงวงจรพื้นฐานในโหมดควบคุมจากแรงดัน

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่าง E/A ที่ขาอินเวอร์ตซึ่งผลต่างของแรงดันเอาต์พุตและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่  $180^\circ$  กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้น แรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร PWM จึงมีค่าลดลงด้วย และช่วงนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

### 3.2.2 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส (Current Mode Control)

การคงค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส มีข้อดีหลายประการนอกเหนือจากโหมดควบคุมจากแรงดัน จึงเป็นวงจรควบคุมอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากอย่างไรก็ตาม วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแสนี้ก็ยังคงใช้เทคนิคพัลส์มอดูเลชันเช่นกัน รูปที่ 3.4 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรพื้นฐานของการควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

### 3.3 วงจรขับ

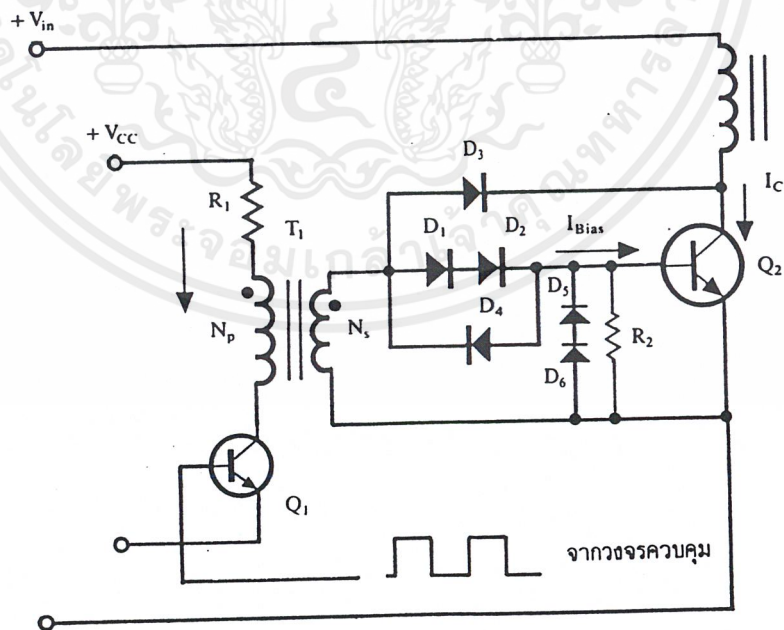
#### 3.3.1 วงจรขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

วงจรขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ต้องกระตุ้นการทำงานโดยการให้กระแสไบอัสที่ขาเบส เพื่อนำกระแสและหยุดนำกระแสได้ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการลดประจุสะสมที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส จะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระแสไบอัสที่ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการจัดวงจรขับกระแสไบอัสที่ถูกต้องจะช่วยลดกำลังงานสูญเสียให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้เช่นกัน

วงจรขับเคลื่อนไอสถ์นั้นทำได้ 2 ลักษณะคือวงจรขับเคลื่อนไอสถ์ด้วยกระแสคงที่ (Fixed Base Drive) และวงจรขับเคลื่อนไอสถ์ด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลกเตอร์ (Proportional Base Drive) สำหรับคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และมีกำลังต่ำกว่า 500 วัตต์มักนิยมใช้วงจรขับเคลื่อนไอสถ์ที่ โดยวงจรขับเคลื่อนไอสถ์ทำให้กระแสเบสมีค่าคงที่และมากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสถึงจุดอิ่มตัว แต่วิธีนี้จะเกิดประจุสะสมในทรานซิสเตอร์ขณะทำงานค่อนข้างสูงและใช้เวลานานในการหยุดนำกระแส ในขณะที่วงจรขับเคลื่อนไอสถ์ด้วยกระแสเป็นสัดส่วนนั้น ค่ากระแสที่เบสจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่านคอลเลกเตอร์ ประจุสะสมจะเกิดขึ้นน้อยและการหยุดนำกระแสจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่วงจรค่อนข้างยุ่งยากมักใช้กับคอนเวอร์เตอร์ที่มีกำลังสูงเท่านั้น

### 3.3.1.1 วงจรขับเคลื่อนไอสถ์โดยใช้หม้อแปลงและเบเกอร์เคลมบี

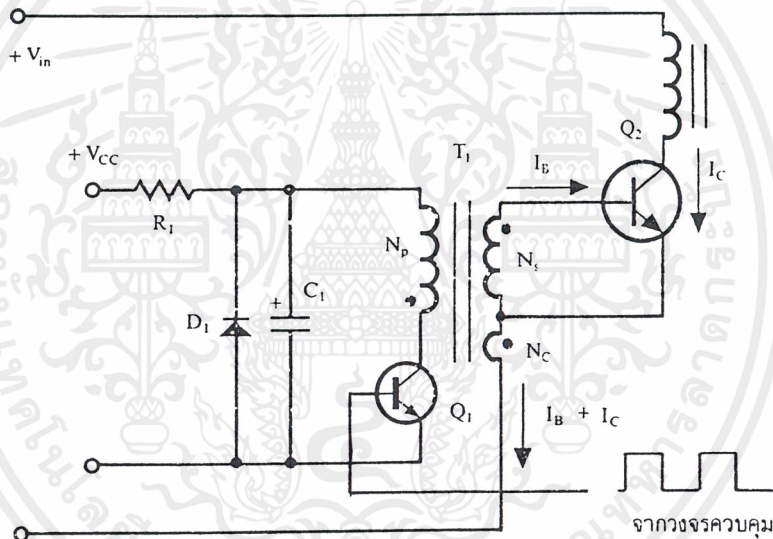
เป็นวงจรขับเคลื่อนไอสถ์ด้วยกระแสคงที่ และจัดให้ไดโอดทำงานร่วมกับทรานซิสเตอร์เพื่อป้องกันการเกิดประจุสะสม เมื่อประจุสะสมเกิดขึ้นน้อยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแสได้อย่างรวดเร็ว การใช้หม้อแปลงในการขับเคลื่อนไอสถ์ หม้อแปลงจะเป็นแหล่งจ่ายกระแสสูงให้กับวงจรได้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรขับเคลื่อนไอสถ์ด้วยกระแสคงที่แบบเบเกอร์เคลมบี

### 3.3.1.2 วงจรขับกระแสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลคเตอร์

เป็นวงจรขับกระแสที่นิยมใช้ในคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังงานสูงๆ วงจรขับกระแสแบบนี้จะลดช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส ด้วยการให้ไบอัสเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ไหลผ่านคอลเลคเตอร์ เพื่อเป็นการลดประจุสะสมให้เหลือน้อยที่สุด ขณะที่มีความดันตกคร่อมตัวมันต่ำสุดขณะนำกระแส จากนั้นจึงให้กระแสไบอัสกลับค่าสูงๆ เพื่อหยุดการนำกระแสอย่างรวดเร็วต่างจากการใช้เบเกอร์เคลมป์ที่ป้องกันไม่ให้เกิดประจุสะสมเกิดขึ้นภายในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ แต่มีค่าแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะนำกระแส ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขับกระแสไบอัสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเลคเตอร์

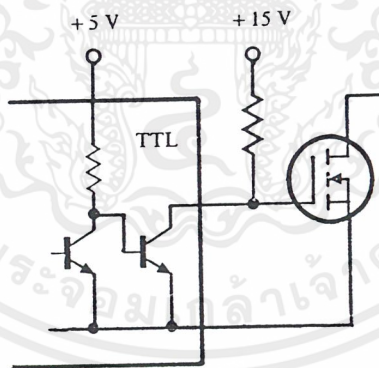
### 3.3.2 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟต (POWER MOSFET) สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ไปจนถึงประมาณ 200 หรือ 400 กิโลเฮิร์ตซ์ เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น และการพัฒนาในปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้ดีที่ความถี่สูงขึ้นไปอีก ซึ่งเป็นผลดีในการลดขนาดของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยอาจขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานได้จากไอซีควบคุม SG 3526 โดยตรง เพาเวอร์มอสเฟตจึงเข้ามาแทนที่ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็ว

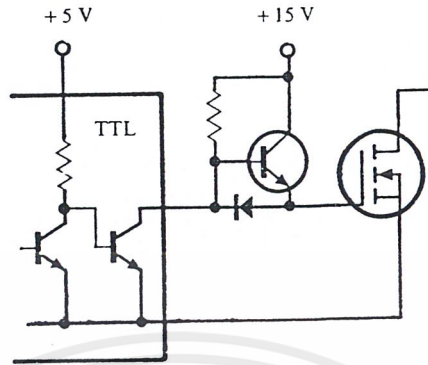
การจับเพาเวอร์มอสเฟต ให้นำกระแสที่แตกต่างจากการจับกระแสไบอัส ในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ สำหรับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กระแสไหลผ่านอิมิตเตอร์และคอลเลกเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อ มีกระแสไบอัสที่ไหลผ่านเบสและอิมิตเตอร์ แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ตกคร่อมขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) แต่ใช้กระแสต่ำการจับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสทำได้ง่าย และยุ่งยากน้อยกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

### 3.3.2.1 วงจรจับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย TTL

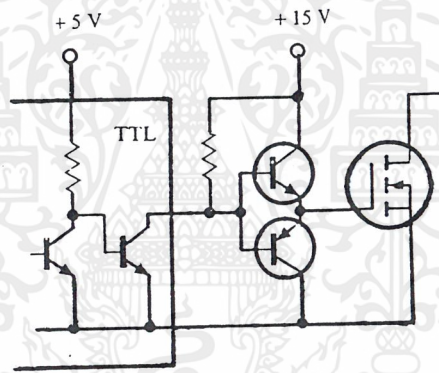
การจับเพาเวอร์มอสเฟตจากไอซี TTL โดยตรงนั้นเป็นไปได้ แต่ไอซี TTL มีขีดจำกัดในการจ่ายและรับกระแสของมันที่เอาท์พุท ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของเพาเวอร์มอสเฟตและทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียสูงได้ การต่อวงจรจับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี TTL จึงจำเป็นต้องเพิ่มตัวอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.7 (ก) แสดงการจับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยไอซี TTL และพูลอ์ฟรีซิสเตอร์



รูปที่ 3.7 (ข) แสดงการต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้ามาในวงจรรูปที่ 3.7 (ก) เพื่อเพิ่มความเร็วขณะนำกระแส



รูปที่ 3.7 (ค) แสดงการต่อทรานซิสเตอร์เข้ามาอีก 1 ตัวในวงจรรูปที่ 3.7 (ข) เพื่อเพิ่มความเร็วในขณะเริ่มหมุน

รูปที่ 3.7 (ก) แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยไอซี TTL ที่มีเอาต์พุตเป็นคอลเลคเตอร์เปิด การต่อพูล์อัพริซิสเตอร์เข้าช่วยจะทำให้แรงดันสูงพอที่จะขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานและการหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้อย่างรวดเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามความเร็วขณะเริ่มนำกระแสยังมีค่าจำกัดอยู่ เนื่องจากกระแสยังถูกจำกัดด้วยพูล์อัพริซิสเตอร์

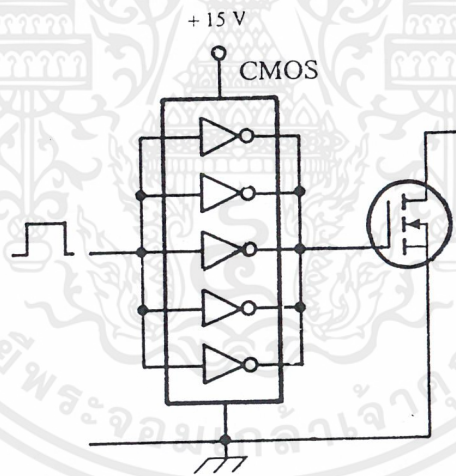
การต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้ามาดังในรูปที่ 3.7 (ข) ทรานซิสเตอร์จะช่วยจ่ายกระแสได้มากขึ้นทำให้ความเร็วขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตดีขึ้น และลดกำลังสูญเสียในตัวไอซี TTL ด้วยเพื่อให้การคายประจุที่ขาเกตเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว การเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาในวงจรอีก 1 ตัวดังรูปที่ 3.7 (ค) ก็จะทำให้ความเร็วในขณะเริ่มหยุดนำกระแสเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ทรานซิสเตอร์ที่ใช้สามารถใช้ทรานซิสเตอร์กำลังต่ำ เช่น เบอร์ 2N2222A และเบอร์ 2N2907 ก็จะสามารถทำให้วงจรขับจ่ายและรับกระแสได้ถึง 800 มิลลิแอมป์ ซึ่งนับว่าเพียงพอแล้ว

### 3.3.2.2 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย CMOS

เพาเวอร์มอสเฟตสามารถต่อโดยตรงเข้ากับไอซีชนิด CMOS มาตรฐาน เช่น ทรูกูล 14000 จะมีเอาต์พุตเป็นเฟตในลักษณะคอมพลิเมนต์ารี N และ P channel อยู่แล้ว ไอซีตระกูล 14000 สามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 โวลท์ถึง 18 โวลท์ โดยทั่วไปแรงดันไฟเลี้ยงที่ 12 โวลท์ถึง 15 โวลท์ จะเหมาะสมสำหรับการใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ต้องการกระแสสูงๆ การต่อ CMOS ในลักษณะขนานกันดังรูปที่ 3.8 จะสามารถเพิ่มกระแสที่ขาเกต และทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้เร็วขึ้นด้วย

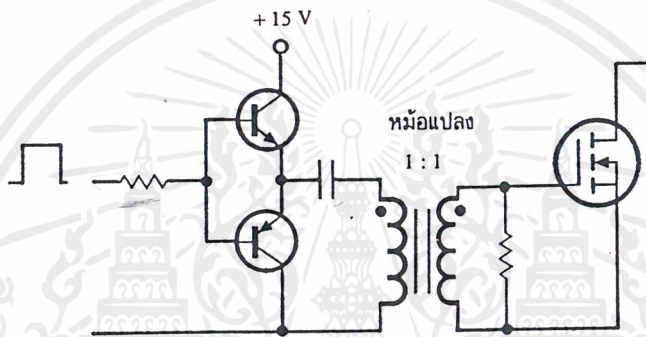


รูปที่ 3.8 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยไอซี CMOS โดยตรง

### 3.3.2.3 การขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง

ในกรณีวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์ วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวบนและตัวล่างจะต้องมีการแยกกราวด์ออกจากกันและอาจจะเป็นต้องใช้หม้อแปลงหรือในกรณีที่ต้องการขับเพาเวอร์มอสเฟตมากกว่าหนึ่งตัวพร้อมกันก็อาจต้องใช้หม้อแปลงช่วย

การต่อหม้อแปลงฟลัสเข้ากับขาเกตและวงจรควบคุม โดยตรงอาจเกิดปัญหาการเลื่อนระดับของแรงดันที่เอาท์พุทหม้อแปลง และอาจมีปัญหาในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตได้ การต่อวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลงจึงควรทำในลักษณะดังในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการจัดวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยหม้อแปลง

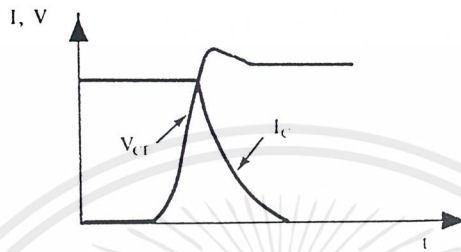
## 3.4 วงจรสแน็บเบอร์

วงจรสแน็บเบอร์ เป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาในคอนเวอร์เตอร์ เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสียและป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรขณะทำงานปกติ วงจรสแน็บเบอร์ในที่นี้อาจแบ่งได้เป็นสองลักษณะคือ วงจรสแน็บเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส (turn off snubber) และวงจรสแน็บเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน (clamp snubber) วงจรสแน็บเบอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและไดโอด ในบางครั้งจึงเรียกกันว่า วงจร RCD สแน็บเบอร์

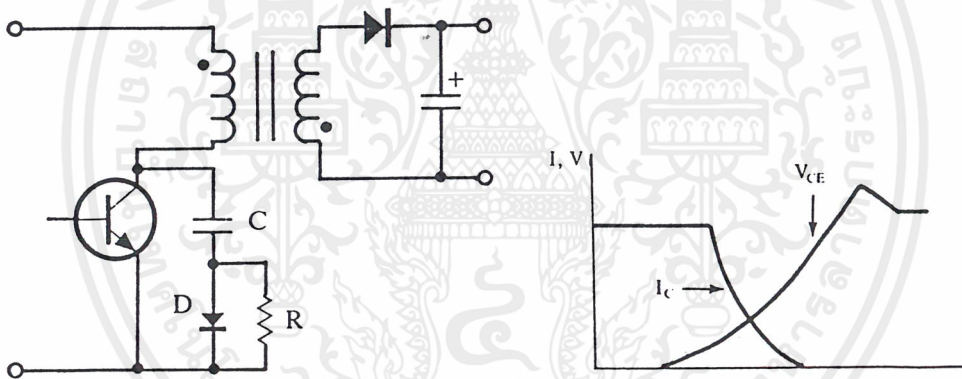
### 3.4.1 วงจรสแน็บเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่ากำลังสูญเสียที่เกิดในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จะเป็นไปได้สูงในขณะเปลี่ยนสถานะการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส ก่อนที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะหยุดนำกระแส นั้น กระแสจะลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่แรงดันเพิ่มขึ้นสู่ค่าอินพุทอย่างรวดเร็ว (ดูรูปที่ 2.9 ประกอบ) กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนในช่วงนี้จึงเกิดขึ้นสูง

เพื่อลดการเกิดกำลังงานสูญเสียในช่วงนี้อาจทำได้โดยการต่อวงจรสับเบอส์เข้ากับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์ และอิมิตเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงได้ทันกัน ซึ่งจะทำการกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำลักษณะของการต่อวงจรสับเบอส์อาจทำได้ดังในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการลดลงของกระแสและการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแส



รูปที่ 3.11 แสดงการต่อวงจรสับเบอส์ช่วยหยุดนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ

การทำงานของวงจร RCD สับเบอส์ช่วงเริ่มหยุดนำกระแสจะเป็นดังนี้คือ เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  เริ่มหยุดนำกระแส แรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้มีกระแสบางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ  $C_1$  และไดโอด  $D_1$  ของวงจรสับเบอส์ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม  $C_1$  ด้วย แรงดันที่ตกคร่อม  $C_1$  จะทำให้แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ดังนั้นถ้าให้  $C_1$  มีค่ามากพอการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะถูกหน่วงไปเพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงจนมีค่าน้อยๆได้ทันกัน และจะลดการเกิดกำลังงานสูญเสียในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้

ขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มนำกระแสอีกครั้ง  $C_1$  จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน  $R_1$  ทิ้งไป แรงดันตกคร่อม  $C_1$  จึงลดต่ำลงได้อีกครั้งและสามารถทำงานได้ในช่วงต่อไปค่าของ  $C_1$  และ  $R_1$  ที่เหมาะสมอาจหาได้จาก

$$C_1 = \frac{I_{P(pk)} \times t_{off}}{2V_{in}} \quad (3.1)$$

$$R_1 = \frac{t_{on (min)}}{2.3 C_1} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $I_{P(pk)}$  คือค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

$V_{in}$  คือค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์

$t_{on}$  คือช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

$t_{off}$  คือช่วงเวลาหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

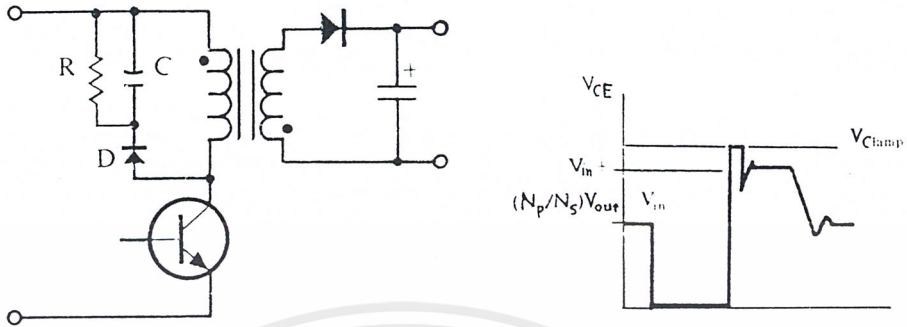
การคายประจุของ  $C_1$  จะทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในตัว  $R_1$  สูง ตัวต้านทาน  $R_1$  จะต้องทนกำลังได้สูง โดยค่ากำลังงานสูญเสียใน  $R_1$  อาจหาได้จาก

$$P_D = \frac{C_1 (2V_{in})^2}{2T} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $T$  คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

### 3.4.2 วงจรสับเบอร์ดป้องกันแรงดันเกิน

ปกติการพังเสียหายของทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน มักมีสาเหตุหลักมาจากการทำงานเกินพิกัดปลอดภัย RBSOA แรงดันสไปล์ขณะหยุดนำกระแสโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟลายแบคและเฟอโรเรวิคคอนเวอร์เตอร์ มักทำให้ค่าของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าสูงเกินค่าแรงดันสูงสุดที่มันจะทนได้ และเกิดการพังเสียหายขึ้น วงจรสับเบอร์ดป้องกันแรงดันเกินจึงมีหน้าที่ป้องกันค่าแรงดันสไปล์ที่เกิดขึ้นไม่ให้เกิดค่าปลอดภัยของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ การต่อวงจร RCD สับเบอร์ดเพื่อป้องกันแรงดันเกินอาจทำได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการต่อสับเบออร์ป้องกันแรงดันเกินเพื่อจำกัดค่ากระแสสูงสุดที่จะตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะที่เริ่มหยุดนำกระแส

การทำงานของวงจรสับเบออร์ป้องกันแรงดันเกินจะเป็นดังนี้คือในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุ C จะถูกชาร์จประจุผ่านไดโอด D จากค่าแรงดันสไปค์ ค่าของ R1 จะทำให้แรงดันตกคร่อม C มีค่าต่ำกว่าแรงดันสไปค์ และมีค่าคงที่ตลอดช่วงของการเกิดแรงดันสไปค์ ค่าแรงดันสูงสุดที่คอลเล็กเตอร์ขณะเกิดสไปค์จึงถูกกันไว้ด้วยแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C และเนื่องจากแรงดันสไปค์จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นขณะที่แรงดันสไปค์มีค่าลดลง C จะคายประจุออกมาผ่านตัวต้านทาน R แรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์จะกลับสู่ค่าแรงดันตามการทำงานปกติ

อาจกล่าวได้ว่า วงจรสับเบออร์ป้องกันแรงดันเกินนั้น ทำงานโดยการถ่ายเทพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กเป็นตัวแทนทำให้เกิดแรงดันสไปค์ ไปไว้ที่ตัวเก็บประจุ C แทนนั้นคือ

$$\frac{1}{2} C V_C^2 = \frac{1}{2} L_i I_{P(PK)}^2 \quad \text{--- (3.4)}$$

เนื่องจาก  $V_C$  จะมีค่าได้ไม่เกิน  $V_{CEO} - V_{clamp}$  ดังนั้น

$$C = \frac{L_i I_{P(PK)}^2}{(V_{CEO} - V_{Clamp})^2} \quad \text{--- (3.5)}$$

เมื่อ  $L_i$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดจากฟลักซ์รั่วของขดไพรมารี (Leakage Inductance)

$I_{P(PK)}$  คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกโดยไม่ผ่านการอนุมัติจากเจ้าของลิขสิทธิ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_{CEO}$  คือ ค่าอัตราทนแรงดันตกคร่อมสูงสุดของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

$V_{clamp}$  คือ ค่าแรงดันสูงสุดที่ยอมให้เกิดได้เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส

ค่าของ R อาจหาได้จาก

$$R = \frac{t_{off(min)}}{2.3C} \quad (3.6)$$

กำลังสูญเสียใน R จะมีค่าเท่ากับ

$$P_D = \frac{1}{2} \frac{L_i I_{P(PK)}^2}{T} \quad (3.7)$$

เมื่อ  $T$  คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

$t_{off}$  คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

### 3.5 วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส

วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส นับว่าเป็นส่วนสำคัญของวงจรในส่วนอินพุตและเป็นตัวกำหนดค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์และวงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุ โดยจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ 2 ตัวคือ ตัวเก็บประจุกรองกระแสและไดโอดเรียงกระแส ซึ่งมีหน้าที่หลักในการแปลงแรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรงเพื่อเป็นแรงดันอินพุตให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป

#### 3.5.1 ไดโอดเรียงกระแส

การเลือกใช้ไดโอดเรียงกระแสให้เหมาะกับการใช้งานควรมีข้อพิจารณาดังนี้

##### 3.5.1.1 ค่ากระแสกระชาก ; $I(fsm)$

กระแสกระชากสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอดเรียงกระแสจะเกิดขึ้นในขณะที่เปิดเครื่องเมื่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ค่ากระแสกระชากคำนวณได้จาก

$$I_{fsm} = \frac{V_p}{(R_s + ESR)} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $V_p$  คือ แรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับอินพุต

ERS คือความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุค่าต่ำที่สุด

RS คือค่าความต้านทานของตัวจำกัดกระแส

โดยทั่วไปแล้วไดโอดเรียงกระแสจะมีค่าอัตราทนกระแสระชาก  $I(fsm)$  ประมาณ 20 ถึง 30 เท่า ของอัตราทนกระแสเฉลี่ยขณะถูกไบอัสตรงของมัน โดยไดโอดเรียงกระแสที่ใช้จะต้องมีอัตราทนกระแสระชากมากกว่าค่ากระแสที่คำนวณได้จากสมการ

### 3.5.1.2 ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบอัสตรง ; $I(frm)$

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจรเรียงกระแส จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุรองกระแสมีการเก็บประจุอีกครั้งหลังจากคายประจุออกไปให้โหลด ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบอัสตรงของไดโอดเรียงกระแส สามารถหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุรองกระแส

### 3.5.1.3 ค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดเมื่อถูกไบอัสตรง ; $I(fm)$

เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดที่ไดโอดเรียงกระแสจะได้รับในขณะที่ทำงาน การพิจารณาค่ากระแสนี้ทำได้โดยใช้กราฟ ในทางปฏิบัติควรเผื่อค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด  $I(fm)$  ของไดโอดไว้ที่ประมาณ 1.5-2 เท่าจากที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและอายุการใช้งาน

### 3.5.1.4 อัตราทนแรงดันไบอัสกลับสูงสุด ; $V(rrm)$

โดยปกติวงจรเรียงกระแสจะต้องต่อเข้ากับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ดังนั้นอัตราทนแรงดันไบอัสกลับของไดโอด ควรต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับ แต่ควรเผื่อค่าแรงดันไบอัสกลับให้มีค่ามากกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับเอาไว้ด้วย สำหรับการเกิดกรณีทรานเซียนต์ขึ้นในสายไฟสลับ

## 3.5.2 ตัวเก็บประจุรองกระแส

ตัวเก็บประจุหน้าที่กรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอดให้มีค่าเรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอตามที่วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้องการ ตัวเก็บประจุที่ใช้ นี้จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5 ไมโครฟารัดต่อวัตต์ แต่ในการใช้งานจริงควรพิจารณาดังนี้

### 3.5.2.1 อัตราทนกระแสสแอมพลอก(RMS Ripple Current Rating)

กระแสสแอมพลอกในตัวเก็บประจุรองกระแสเกิดการชาร์จประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุเอง ซึ่งค่ากระแสนี้จะเป็ผลให้ตัวเก็บประจุร้อนและอายุการใช้งานลดลง การเลือกการใช้งานตัวเก็บประจุรองกระแสจะต้องให้มีค่าอัตราทนกระแสสแอมพลอกมากกว่าค่ากระแสสแอมพลอกที่คำนวณได้เพื่อ

ไม่ให้เกิดความร้อนกับตัวเก็บประจุขณะทำงาน ในกรณีที่กระแสไหลมีค่าสูงการใช้ตัวเก็บประจุขนาดกันหลายตัวจะช่วยเพิ่มอัตราทนกระแสไหลให้ตัวเก็บประจุได้

### 3.5.2.2 แรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส (Ripple Voltage)

การกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสจะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ การกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุตที่ทำให้แรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าไม่คงที่ หากยอมให้แรงดันกระเพื่อมนี้มีค่ามากก็จะลดความสามารถในการคงค่าแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ลงไป ปกติการออกแบบวงจรกรองกระแสจะยอมให้มีค่าแรงดันกระเพื่อมไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันเอาต์พุต

ค่าของตัวเก็บประจุกรองกระแส C สามารถคำนวณได้จาก

$$C = \frac{I_e \Delta t}{\Delta V_{\text{ripple}}} \quad (3.9)$$

เมื่อ  $I_e$  คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส

$\Delta t$  คือ ค่าเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการคายประจุ

$\Delta V_{\text{ripple}}$  คือ ค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อม

### 3.5.2.3 ช่วงเวลาโฮลด์อัพ (Holdup Time)

ช่วงเวลาโฮลด์อัพ เป็นช่วงเวลาที่วงจรสวิตช์ยังสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตได้ตามปกติที่โหลดสูงสุด เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับหรือค่าแรงดันไฟสลับมีค่าต่ำกว่ากำหนดและเพื่อให้สวิตช์ซึ่งมีค่าเวลาโฮลด์อัพ ตัวเก็บประจุที่ใช้จะต้องมีค่ามากพอที่จะจ่ายกระแสให้กับคอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ

### 3.5.2.4 อัตราทนแรงดัน (Voltage Rating)

ตัวเก็บประจุกรองกระแสจะต้องทนแรงดันได้อย่างต่ำที่ค่าแรงดันไฟตรงเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแส แต่เพื่อความปลอดภัยควรเลือกว่าอัตราทนแรงดันไว้อย่างน้อยที่ค่าแรงดันไฟตรงสูงสุดที่เป็นไปได้ของคอนเวอร์เตอร์ ถ้าแรงดันไฟสลับอินพุตมีค่าอยู่ในช่วง 187 ถึง 264 โวลต์ควรมีค่าอัตราทนแรงดันอย่างต่ำ 400 โวลต์

### 3.6 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

เนื่องจากวงจรคอนเวอร์เตอร์มีการทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 20 กิโลเฮิรท์ขึ้นไป และมีการสูญเสียกำลังงานทั้งในขณะนำกระแสและในขณะเปลี่ยนสภาวะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการทำงานอยู่ในย่านแรงดันสูง ยิ่งทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น เพราะฉะนั้นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้อยู่ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ควรจะต้องมีค่าทั่วไปคือ มีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ มีช่วงเวลาดับตัวสั้น และสามารถทนกำลังได้สูง ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์มีดังนี้

#### 3.6.1 ฟาสต์-รีคัพเวอร์รี่และอูลตรารีคัพเวอร์รี่ไดโอด

ฟาสต์รีคัพเวอร์รี่มีช่วงเวลาดับตัวประมาณ 200 ถึง 750 นาโนวินาที ซึ่งสั้นกว่าซิลิกอนไดโอดมากและฟาสต์รีคัพเวอร์รี่ไดโอดมีอัตราทนแรงดันไบอัสกลับได้สูงถึง 1000 โวลต์ ส่วนอูลตรารีคัพเวอร์รี่ไดโอดจะมีช่วงเวลาดับตัวประมาณ 25 ถึง 100 นาโนวินาที และมีอัตราทนแรงดันไบอัสกลับได้สูงถึง 1000 โวลต์เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของไดโอดทั้งสองชนิดมีค่าอยู่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.6-1.5 โวลต์

#### 3.6.2 ขอตต์กีไดโอด

ขอตต์กีไดโอดมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสค่อนข้างต่ำประมาณ 0.5 โวลต์ จึงเหมาะสมกับคอนเวอร์เตอร์ที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตต่ำๆ และกระแสสูง เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในที่แตกต่างจากฟาสต์-รีคัพเวอร์รี่ และอูลตรา-รีคัพเวอร์รี่ไดโอด ขอตต์กีไดโอดจะไม่เกิดประจุสะสมภายในตัวมันขณะนำกระแส ช่วงเวลาดับตัวของขอตต์กีไดโอดจึงมีค่าสั้นมาก โดยมีค่าน้อยกว่า 10 นาโนวินาที และอาจถือได้ว่าขอตต์กีไดโอดไม่มีกำลังงานสูญเสียในช่วงนี้เลยทีเดียว ขอตต์กีไดโอดมีข้อเสียอยู่ 2 ประการ ขอตต์กีไดโอดมีอัตราทนแรงดันไบอัสกลับสูงสุดมีค่าน้อย และมีกระแสรั่วไหลสูง

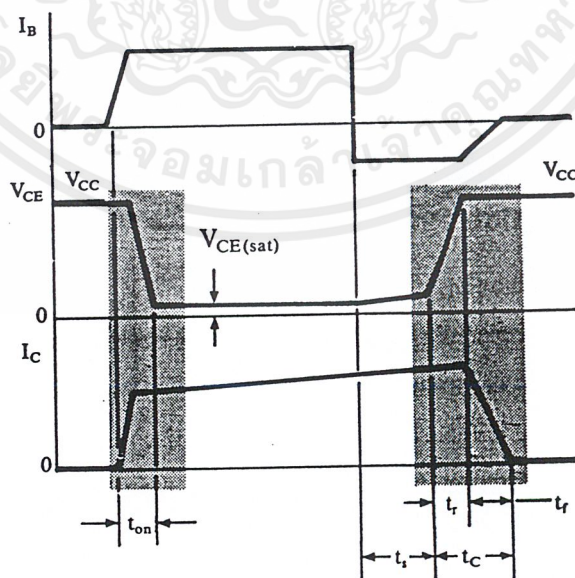
#### 3.6.3 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานในวงจรคอนเวอร์เตอร์จะมีการทำงานในลักษณะสวิตช์ และมีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างจากโหลดที่มีลักษณะเป็นตัวต้านทาน เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการเปลี่ยนสถานะของตัวมันเมื่อเริ่มนำกระแสและเมื่อเริ่มหยุดนำกระแส รวมทั้งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงมีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสอีกด้วย การเปลี่ยนแปลงสถานะและแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความ

ร้อน (Power Dissipation) ขึ้นที่ตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ แต่ก็ยังมีข้อดีอยู่คือ มีอัตราทนแรงดันตกคร่อมสูงและราคาถูกกว่า ทั้งยังมีการพัฒนาให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทำงานเร็วขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานในย่านความถี่สูงๆ และลดกำลังงานสูญเสีย

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมี 2 ลักษณะคือ ขณะเปลี่ยนสถานะ และในขณะที่นำกระแสอยู่ในช่วงอิมิต สำหรับการสูญเสียในการเปลี่ยนสถานะจะเกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสเป็นส่วนใหญ่

เมื่อเริ่มให้กระแสไบอัสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ กระแสคอลเลกเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงดันตกคร่อมคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ ( $V_{ce}$ ) จะยังคงมีค่าเท่ากับ  $V_{cc}$  และจะใช้เวลาช่วงหนึ่งคือ  $t_{on}$  เพื่อลดค่าแรงดันลงมาเป็น  $V_{ce(sat)}$  ดังรูปข้างล่าง กำลังสูญเสียจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา  $t_{on}$  นี้เนื่องจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะมีกระแสไหล อย่างไรก็ตามช่วงเวลา  $t_{on}$  นี้ค่อนข้างสั้นและกระแสเริ่มต้นที่ไหลผ่านมักมีค่าต่ำ เมื่อหยุดให้กระแสไบอัสและป้อนกระแสไบอัสค่าลบให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อหยุดการนำกระแส เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะยังคงนำกระแสต่อไปอีกเป็นเวลา  $t_s$  ซึ่งเป็นผลจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส ช่วงเวลา  $t_s$  นี้เรียกว่าช่วงเวลาสะสม (Storage Time) และขณะช่วงเวลา  $t_s$  นี้ แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเริ่มเพิ่มขึ้นและเกิดกำลังงานสูญเสียมากกว่าเมื่อมันนำกระแสขณะมีกระแสไบอัสอยู่



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นแรงดันที่ขาคอลเลกเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงนำกระแสอยู่ในช่วงเวลา  $t_r$  (Voltage Rise Time) เมื่อประจุสะสมในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มลดลง กระแสที่คอลเลกเตอร์จะเริ่มลดลงและใช้เวลาเท่ากับ  $t_f$  (Current Fall Time) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส จะเห็นได้ว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงเวลา  $t_r$  และ  $t_f$  จะมีค่าสูงและเป็นช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุด ขณะทำงาน ช่วงเวลา  $t_r+t_f$  จะเรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn Off Time) กำลังงานสูญเสียในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแสที่นี้อาจประมาณได้จาก

$$P_{d(sw)} = \frac{0.5V_{cc}I_{pk}t_c}{T} \quad (3.10)$$

เมื่อ  $P_{d(sw)}$  คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส

$V_{cc}$  คือ แรงดันตกรวมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และหยุดนำกระแส

$I_{pk}$  คือ กระแสสูงสุดเมื่อเริ่มหยุดนำกระแส

$t_c$  คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส

$T$  คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

การทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส มีค่าน้อยที่สุดจะทำให้การใช้งานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด และลดความร้อนที่เกิดกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน

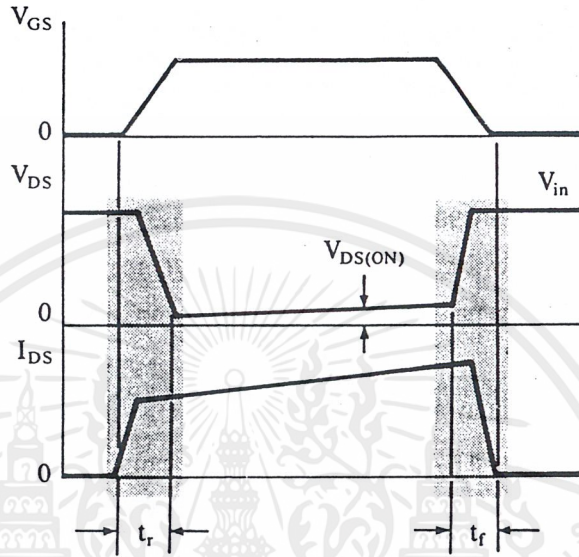
### 3.6.4 เพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟต สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 กิโลเฮิร์ต ไปจนถึงประมาณ 400 กิโลเฮิร์ต เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น ซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยอาจขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานได้จากไอซีควบคุมพัลส์ชวิตมอดคูเลชัน โครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตที่จะใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์มีทั้งแบบ N-ch และ P-ch ทำงานในลักษณะพุช-พูล หรือทำงานเพียงตัวเดียว ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้ N-ch เพราะสามารถทำงานได้ความถี่สูงกว่าแบบ P-ch

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นกับเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน จะเป็นไปได้ทั้งในขณะที่เปลี่ยนสถานะและกำลังสูญเสียขณะนำกระแสแต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส

เอกสารนี้ และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสที่สั้นกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีประจุสะสมเกิดขึ้น แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีความต้านทานขณะนำกระแสสูงมาก จึงมีการสูญเสียสูงกว่า เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก รูปคลื่นแสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต

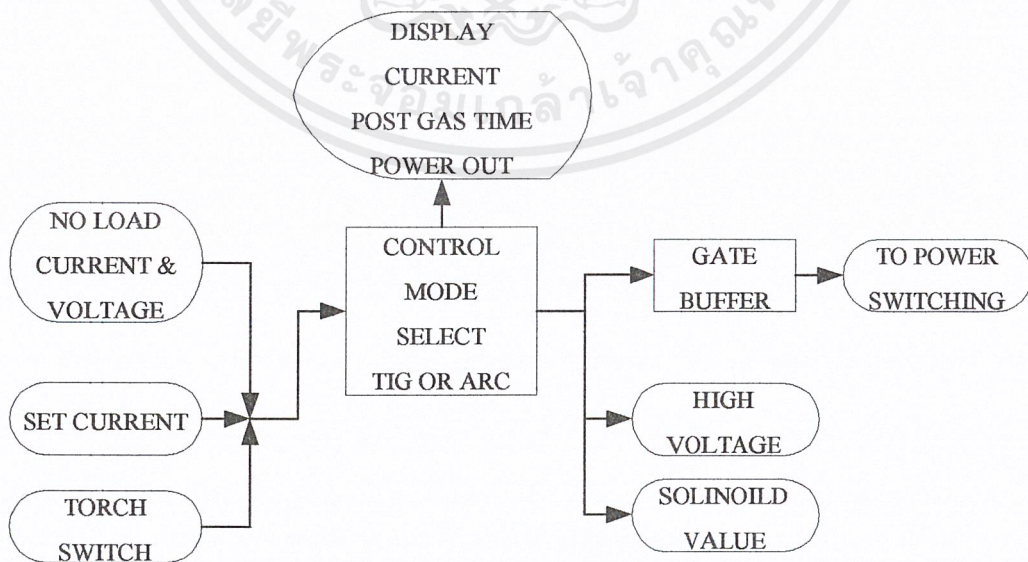
## บทที่ 4

### หลักการการทำงานของวงจร

วงจรเครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จัดทำขึ้นนี้สามารถใช้ในการเชื่อมแบบอาร์คได้ และยังสามารถใช้ในการเชื่อมที่ใช้แก๊สเฉื่อยไหลผ่านจุดเชื่อม และแบบที่ไม่ใช้แก๊สไหลผ่านจุดเชื่อม ซึ่งจุดสำคัญของเครื่องอยู่ที่ภาคควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่สามารถโปรแกรมการทำงาน และยังสามารถแสดงผลกระแสและแรงดัน กำลังวัตต์และเลือกโหมดการเชื่อมได้ โดยเครื่องเชื่อมนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนของเพาเวอร์สวิตซิ่ง ซึ่งประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสทางค่านินพุต และวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ และใน ส่วนของวงจรควบคุม ประกอบด้วยไอซี SG3526 ซึ่งเป็นไอซี พัลส์วิดท์มอดดูเลชั่น (PWM) เพื่อทำหน้าที่ควบคุมความกว้างของสัญญาณพัลส์ผ่านวงจรขับไปยังวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดของการทำงานดังนี้

#### 4.1 ส่วนของวงจรควบคุม

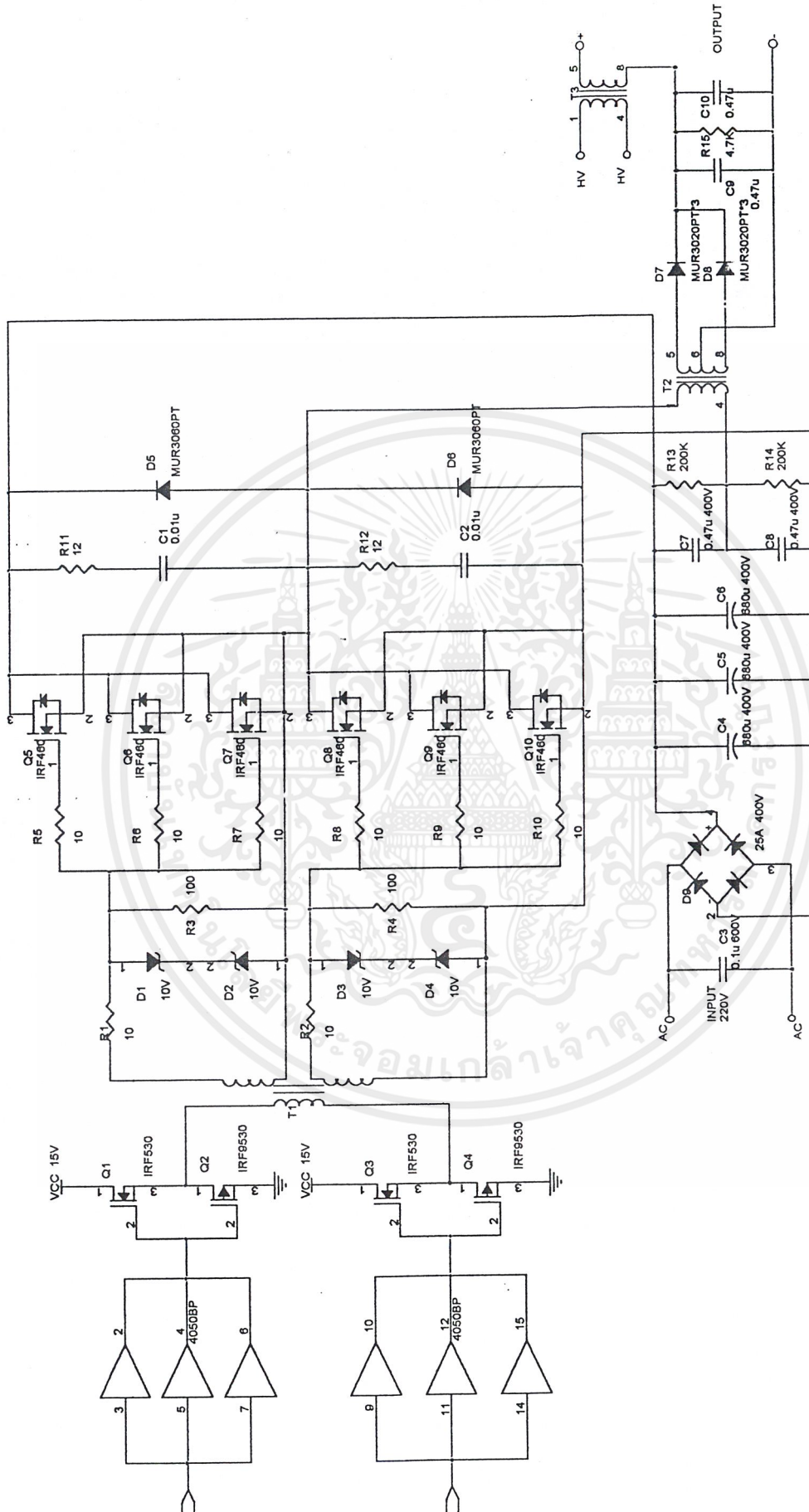
วงจรในส่วนนี้จะมีหน้าที่ควบคุมการสวิตซ์ของเพาเวอร์มอสเฟต ดังรูปที่ 4.1 สามารถแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ได้ 4 ส่วน



รูปที่ 4.1 แสดงลำดับการทำงานของวงจรควบคุมการสวิตซ์ของเพาเวอร์มอสเฟต

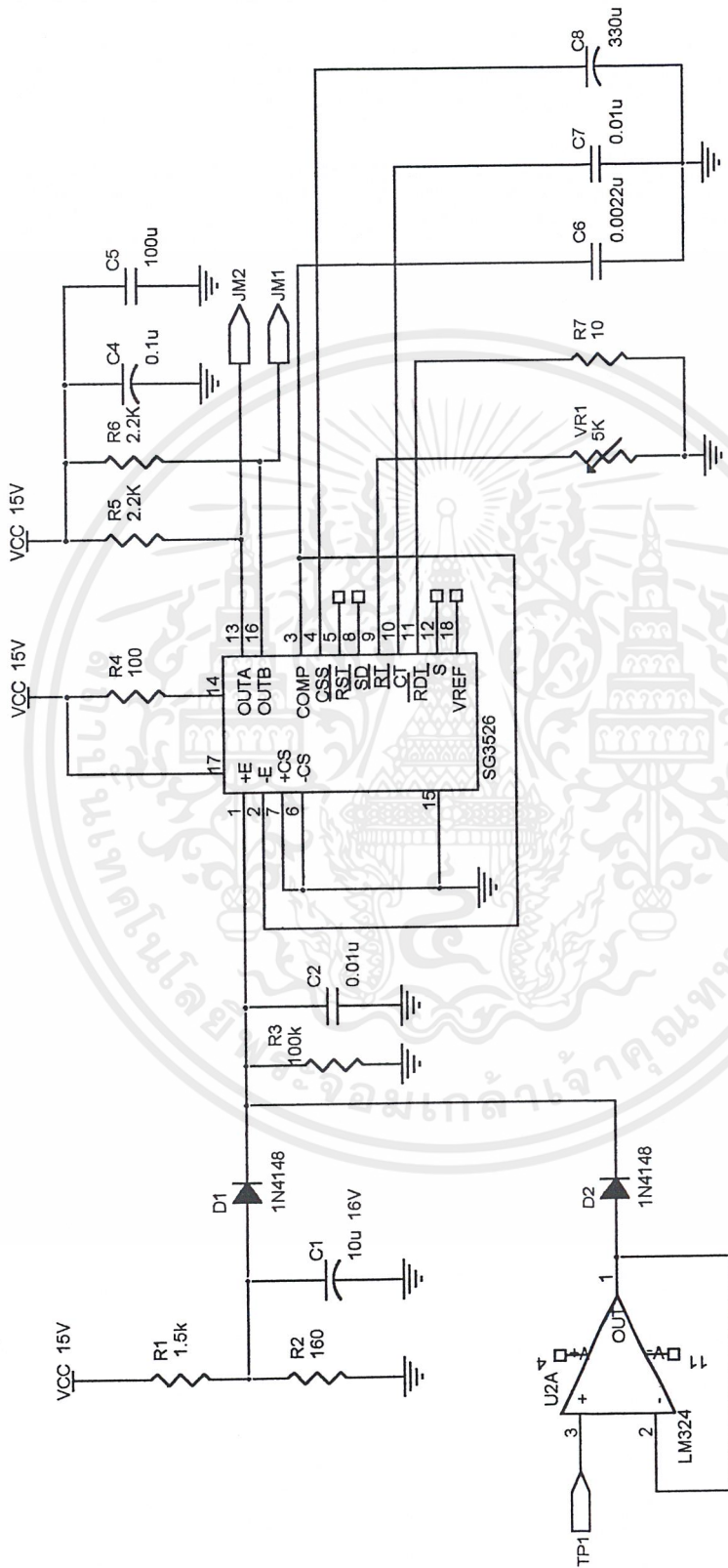
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.3 แสดงส่วนของวงจรเพาเวอร์สวิตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรสร้างและควบคุมความกว้างของพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 วงจรควบคุม

หัวใจหลักของวงจรคือไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS51) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ จะส่งข้อมูลที่ไ้จากการประมวลผลไปควบคุมการทำงานของ Pulse Width Modulation ให้เปลี่ยนคาบเวลาในการนำกระแสของ Power Mosfet ส่วนวงจรควบคุมมีรายละเอียดโครงสร้างดังรูปที่ 4.1 และมีรายละเอียดของวงจร ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

Set Current วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่เพิ่ม-ลดกระแสที่ใช้ในการเชื่อมโดยการกดปุ่ม up-down ข้อมูลที่ไ้จากการประมวลผลจะถูกเก็บในรูปเลขฐาน16 และถูกแปลงเป็นแรงดันโดยวงจร DAC เพื่อนำค่าแรงดันนี้ไปให้ SG3526 เปรียบเทียบกับ saw tooth ที่สร้างขึ้น ซึ่งใช้หลักการของ PWM กำหนดค่าเวลาในการนำกระแสของ Power Mosfet

No-load Voltage วงจรนี้ทำการสร้างแรงดันเพื่อส่งไปให้ขา1 ของ SG3526 สร้างพัลส์แคบๆส่งงานให้วงจรคอนเวอร์เตอร์ทำงานน้อยลงเพื่อเป็นการลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะไม่มีโหลด ให้เครื่องเชื่อมกินกำลังไฟฟ้าน้อยลง

From Voltage Output วงจรนี้ทำการตรวจเช็คค่าเครื่องเชื่อมทำการเชื่อมอยู่หรือไม่โดยการตรวจสอบแรงดันที่เอาท์พุทป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับแรงดันที่ตั้งไว้ ถ้าแรงดันที่ป้อนกลับต่ำกว่าแรงดันที่ตั้งไว้ วงจรจะส่งข้อมูลไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปประมวลผล หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบเลขฐาน16 แล้วผ่านวงจร DAC แปลงเป็นแรงดันไปให้ขา1 ของ SG3526 ปรับค่าเวลานำกระแสของ Power Mosfet เป็นการควบคุมกระแสที่เอาท์พุทไม่ให้สูงเกินกระแสที่ตั้งไว้

Control Mode ทำหน้าที่ควบคุมระบบทั้งหมด ซึ่งสามารถเลือกการทำงานของเครื่องเชื่อมได้ว่าเป็น TIG หรือ ARC โดยการกดสวิทช์เลือกและตั้งกระแสที่ใช้ในการเชื่อมได้ โดยการกดปุ่ม up-down current ถ้าเลือก TIG Mode สามารถตั้ง Post Gas Time ได้อัตโนมัติจากกระแสที่ตั้งไว้ ถ้ามีการกด Touch Switch MCS51 จะสั่งให้ Solinoid ทำการเปิดแก๊สอาร์กอนปกคลุมพิวงาน แล้วสั่งให้ภาค High Voltage สร้างแรงดัน High Volt ความถี่สูงกระตุ้นให้ไอออนเกิดการแตกตัว ทำให้เกิดพลาสมาทำให้กระแสไหลระหว่างชิ้นงานและหัวเชื่อมได้ หลังจากนั้นจะสั่งปิด High Volt เมื่อหยุดกด Touch Switch MCS51 จะลดกระแสลงเรื่อยๆ และนับเวลาถอยหลังเพื่อปิดแก๊สอาร์กอน และ MCS51 ยังส่งข้อมูลไปยังภาคแสดงผลให้แสดงค่าต่างๆที่ตั้งไว้ด้วย

#### 4.1.2 ภาคแสดงผล

วงจรนี้จะรับข้อมูลจากภาคคอนโทรลเพื่อแสดงผลโหมดการเชื่อมขณะนั้น ว่าเป็น TIG หรือ ARC แสดงกระแสที่ใช้ในการเชื่อม กำลังวัตต์และเวลาในการปิดแก๊ส โดยใช้ MCS51 รับข้อมูลจาก Port P0 ของ MCS51 ภาค Control Mode เพื่อรับข้อมูลที่ได้อาประมวลผลแล้วนำไปแสดงผลบน LCD

#### 4.1.3 วงจรสร้างและควบคุมความกว้างของพัลส์ (regulator and PWM generator)

วงจรที่ใช้สำหรับสร้างและควบคุมความกว้างของพัลส์ สามารถทำได้โดยใช้ไอซี SG3526 ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งมีรายละเอียดในการต่อใช้งานดังนี้

ขา 1,2 จะใช้สำหรับรับข้อมูลที่เป็นค่าแรงดัน จากการป้อนกลับ และการเซตค่ามายังขา อินเวอร์ตติ้ง และนอนอินเวอร์ตติ้งของวงจรขยายความผิดพลาดในไอซี ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะส่งไปยังวงจรพัลส์วิดมอดคูลเลอร์ เพื่อที่ปรับค่าความกว้างของพัลส์ให้เปลี่ยนไปตามข้อมูลแรงดันอินพุท

ขา 3 เป็นขาที่ใช้สำหรับชดเชยวงจขยายในกรณีเปิดลูบ โดยการต่อค่าตัวเก็บประจุลงกราวด์หรือปรับตั้งค่าอัตรการขยายให้กับวงจรขยายความผิดพลาด โดยการต่อร่วมกันกับขา 2

ขา 4 เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อตัวเก็บประจุเพื่อหน่วงเวลาในการเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต เพื่อให้ได้การทำงานในลักษณะ Soft Start

ขา 5 เป็นขา รีเซ็ต เพื่อการเริ่มต้นการทำงานที่ถูกต้องตรงจังหวะอีกครั้ง หลังจากการชัตดาวน์ (Shutdown) ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ขา รีเซ็ตจะต่ออยู่กับขาชัตดาวน์ ดังนั้นจะเกิดการรีเซ็ตทุกครั้งหลังจากการชัตดาวน์

ขา 6,7 เป็นขาเคอร์เรนเซนส์ (Current Sense) ทำหน้าที่รับค่ากระแสจากหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ทำหน้าที่คอยตรวจจับกระแสเอาท์พุท ด้วยวงจรเปรียบเทียบความเร็วสูง เมื่อเกิดความผิดปกติเกิดขึ้น วงจรเปรียบเทียบก็จะส่งเอาท์พุทไปทำการชัตดาวน์ทันที เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจร

ขา 8 เป็นขาที่ใช้สำหรับสังชัตดาวน์จากวงจรภายนอก โดยการป้อนลอจิก 0

ขา 9 เป็นขาที่ต่อกับ  $R_t$  เพื่อที่จะกำหนดค่ากระแสให้กับหน่วยกำเนิดกระแสคงที่ภายในให้มีค่ากระแสที่เหมาะสมเพื่อให่วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) มีเสถียรภาพอยู่ในช่วงตั้ง แต่ 1 ถึง 400 กิโลเฮิร์ต

ขา 10 เป็นขาที่ต่อกับตัวเก็บประจุ เพื่อที่จะกำหนดค่าความถี่ให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณ

ขา 11 เป็นขาที่ใช้สำหรับกำหนดค่าเวลาหยุดนำกระแส (Dead Time) โดยการต่อตัวต้านทานลงกราวด์ สามารถกำหนดค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 22 โอห์ม ซึ่งจะให้ค่าเวลาหยุดนำกระแสอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 9.7 ไมโครเซค

ขา 12 เป็นขาสัญญาณที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณ ต่อออกมายังภายนอกเพื่อเป็นประโยชน์กับวงจรอื่นที่ต้องร่วมที่ต้องการมีคาบเวลาเดียวกัน เพื่อให้เกิดการทำงานที่พร้อมกัน (Synchronization)

ขา 13,16 เป็นขาเอาต์พุตพัลส์ A และ B ตามลำดับ โดยพัลส์ที่ออกจากเอาต์พุตทั้งสองจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา พัลส์ที่ได้จะถูกนำไปขับวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 250 มิลลิแอมป์

ขา 14 เป็นขาที่รับแรงดันไฟเลี้ยงเอาต์พุตภายใน ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันแบบคอมพลิเมนต์ารี อันที่จริงสามารถใช้ร่วมกันกับไฟเลี้ยงไอซีขา 17 ก็ได้

ขา 15 เป็นขากราวด์ของไอซี

ขา 17 เป็นขาที่รับแรงดันไฟเลี้ยงจากภายนอกมาทำการเลี้ยงวงจรภายในไอซี โดยผ่านวงจรสร้างค่าแรงดันอ้างอิง (5V) ก่อน เพื่อให้ไอซีทำงานอย่างคงที่

ขา 18 เป็นขาเอาต์พุตของวงจรกำเนิดแรงดันอ้างอิงภายในไอซี เพื่อที่จะนำแรงดันอ้างอิงนี้ไปใช้กับวงจรภายนอกเพื่อให้มีแรงดันอ้างอิงค่าเดียวกัน โดยสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดประมาณ 50 มิลลิแอมป์

#### 4.1.4 วงจรขับ

วงจรขับจะประกอบด้วยมอสเฟต เอ็น-เซนแนล และ พี-เซนแนล ต่อกันแบบคอมพลิเมนต์ารี จำนวนสองชุด โดยเอาต์พุตของวงจรคอมพลิเมนต์ารีทั้งสองจะต่อผ่านขั้วป้อนของหม้อแปลงขับสวิตช์ซึ่งเพื่อที่จะส่งผ่านพลังงานไปยังขดลวดขั้วป้อน นำไปขับเกตของวงจรเพาเวอร์มอสเฟตต่อไป เนื่องจากเอาต์พุต A และ B ของไอซี SG3526 สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดเพียง 250 มิลลิแอมป์ การขับมอสเฟตจึงไม่สามารถทำได้รวดเร็วพอ ต้องเพิ่มกระแสที่ใช้ในการขับเกตโดยการต่อ ซีมอสอินเวอร์เตอร์ขนานกัน เปรียบเสมือนเป็นการลดความต้านทานเอาต์พุตของแหล่งจ่ายกระแสเพื่อให้ได้กระแสในการขับเกตสูงและเป็นผลให้มอสเฟตทำงานเร็วขึ้น

## 4.2 ส่วนของวงจรเพาเวอร์สวิตชิง

วงจรในส่วนนี้มีหน้าที่หลักในการเปลี่ยนค่าความถี่จาก เอซีไลน์ ที่มีค่าประมาณ 50 เฮิร์ตให้มีค่าสูงขึ้น เพื่อการส่งผ่านพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเริ่มจากการนำไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต มาทำการแปลงเป็นไฟกระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสตามลำดับ จากนั้นนำไฟกระแสตรงที่ได้มาเปลี่ยนเป็นไฟกระแสสลับอีกครั้งในรูปของพัลส์ โดยใช้เพาเวอร์มอสเฟตสวิตช์ด้วยความถี่สูง โดยเรียกวงจรในส่วนนี้ว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์ พัลส์ที่ได้จากการสวิตช์ก็จะนำไปป้อนให้กับหม้อแปลงเอาท์พุทความถี่สูงของลวดคูปรัมมูมิ เมื่อพลังงานถูกส่งผ่านไปยังขดลวดคูปรัมมูมิ และทำการเรียงกระแสและกรองกระแสแล้ว ก็จะได้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟกระแสตรงตามต้องการ เนื่องจากในการเชื่อมต้องการไฟฟ้ากระแสตรง เพราะจะทำให้จุดเชื่อมมีคุณภาพสูงกว่าการเชื่อมระบบไฟกระแสสลับ โดยมีรายละเอียดของวงจรดังนี้

### 4.2.1 วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสทางด้านอินพุท

วงจรเรียงกระแสที่ใช้สร้างไฟกระแสตรงสำหรับป้อนให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์นี้จะเป็นแบบฟูลบริดจ์เรคติไฟเออร์ โดยการเรียงกระแสแบบนี้จะทำให้พัลส์เซตติง ดีซี ที่ได้มีค่าความถี่สูงกว่าค่าความถี่ของระบบแรงดันไฟสลับปกติเกือบเท่าตัว เป็นผลให้เมื่อทำการกรองกระแสแล้วจะทำให้แรงดันเรียบเปิด มีขนาดน้อยกว่าการเรียงกระแสแบบอื่นๆ (ในขณะที่ตัวเก็บประจุกรองกระแสมีค่าเท่ากัน) เนื่องจากวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ จะอยู่ในลักษณะฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นจึงต้องทำการแบ่งแรงดันกระแสตรงจากการเรียงกระแสเป็นครึ่งหนึ่งโดยใช้ตัวเก็บประจุค่าเท่ากันต่ออนุกรมกันต่อเข้ากับขดลวดแรงดันไฟกระแสตรงดังรูป 4.4 และเพื่อให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากันอย่างแท้จริง จำเป็นต้องใส่ค่าตัวต้านทานที่มีค่าเท่าๆกันต่อคร่อมตัวเก็บประจุ ในส่วนของการกรองกระแสเป็นการกรองกระแสที่แรงดันสูง เราไม่สามารถหาตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุมากและทนแรงดันได้สูงได้ง่ายนัก การขนานตัวเก็บประจุเพื่อเพิ่มความจุ จะเป็นวิธีที่ดีที่สุดอีกทั้งยังเป็นการลดค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย อันเนื่องมาจากความต้านทานแฝงภายในตัวเก็บประจุอีกด้วย

### 4.2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์

วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยเพาเวอร์มอสเฟตทั้ง 3 ชุด ต่อขนานกัน เพื่อแบ่งกันรับภาระทางกระแสเมื่อโหลดต้องการกระแสสูงมาก โดยเพาเวอร์มอสเฟตชุดบนและชุดล่างจะสลับกันทำงาน นั่นคือเพาเวอร์มอสเฟต

ในแต่ละชุดที่ขนานกันจะทำงานเหมือนกัน

การทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตจะเป็นไปตามพัลส์ที่ส่งมาจากวงจรควบคุมผ่านหม้อแปลง ขั้ว โดยพัลส์จากขดลวดทุติยภูมิขดบนจะกลับเฟสกันกับพัลส์ที่มาจากขดลวดขดล่าง พัลส์ที่ออกมาจากขดลวดทุติยภูมินี้จะผ่านวงจรจำกัดแรงดันก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต มีค่าสูงเกินกว่าจุดที่เพาเวอร์มอสเฟตจะเกิดการอิมิตัว โดยวงจรดังกล่าวนี้จะประกอบด้วยตัวต้านทานและซีเนอร์ไดโอดสองตัวที่ต่ออนุกรมกัน คือค่าแรงดันพัลส์ทั้งด้านบวกและลบมีค่าสูงเกินกว่าค่าเบรคดาวน์ของซีเนอร์ไดโอด ซีเนอร์ไดโอดจะนำกระแสทันที

ไดโอดฟาสต์รีคัฟเวอร์รี่ที่ต่อคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตทั้งขดบนและขดล่างเป็นคอมมิวเตติ้งไดโอด (Commutating Diode) มีหน้าที่ประการแรกคือ ป้องกันแรงดันสไปค์ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตเริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากพลังงานที่สะสมไว้ในขดปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง และหน้าที่ประการที่สอง ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตหยุดนำกระแสขดลวดปฐมภูมิจะเกิดการกลับขั้วแรงดันขึ้น เมื่อรวมกับแรงดันครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายกระแสตรงแล้วจะทำให้มีแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตสูงมาก แต่ไดโอดฟาสต์รีคัฟเวอร์รี่ที่ต่ออยู่กับเพาเวอร์มอสเฟตอีกตัวจะต่ออยู่ในลักษณะไบแอสตรง ดังนั้นไดโอดจะนำกระแสเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับเพาเวอร์มอสเฟต

หลังจากการสวิตช์ของเพาเวอร์มอสเฟต พัลส์ที่ได้ก็จะถูกส่งผ่านพลังงานโดยหม้อแปลงความถี่สูงไปยังขดลวดทุติยภูมิ พัลส์ที่ขดลวดทุติยภูมิจะถูกเรียงกระแสโดยไดโอดฟาสต์รีคัฟเวอร์รี่จำนวน 6 ตัวที่ต่ออยู่ในลักษณะพูลเวฟเรคติกไฟเออร์ เพื่อแบ่งกันรับภาระทางกระแส แรงดันที่ได้นี้สามารถนำไปทำการเชื่อมได้แล้ว แต่การอาร์คของรอยเชื่อมจะไม่เรียบ ต้องต่อโฆ็คโดยอนุกรมเข้าไป จะทำให้การเชื่อมทำได้เรียบยิ่งขึ้น

#### 4.3 การออกแบบหม้อแปลงกำลังสำหรับงาน Pulse Width Modulation Half-Bridge Convertor

ตัวอย่างแสดงขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับงาน Half-Bridge Convertor และวิธีการเลือกใช้วัสดุทำได้ตามขั้นตอนข้างล่าง

ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างการออกแบบหม้อแปลงขนาด 1000 W เพื่อใช้ในงาน Half-Bridge Convertor ทำงานจาก และ 180 ถึง 260 Vac และได้แรงดันเอาต์พุตที่ 40 V 50 A

ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนที่ 1 เลือกลักษณะแกนวัสดุเฟอร์ไรท์ในที่นี้เลือกแกนพอร์ทรุ่น 3C8 ใช้วงจรในรูปเป็นการออกแบบ

ขั้นตอนที่ 2 เลือกค่า Bmax จากข้อมูลของรุ่น 3C8 พบว่าความหนาแน่นของฟลักซ์อิ่มตัวที่ 100 °C คือ B<sub>sat</sub> ที่ 180 Vac เท่ากับ 1600 G ซึ่งการเลือกเช่นนี้เป็นการป้องกันว่า B<sub>max</sub> จะต้องต่ำกว่า 3300 G ที่ 260 Vac แน่นอน ดังนั้นหม้อแปลงก็จะไม่เกิดการอิ่มตัวด้วย

ขั้นตอนที่ 3 หาค่ากระแสสูงสุดที่ขดลวดปฐมภูมิขณะทำงาน ซึ่งขดลวดปฐมภูมิจะมีกระแสสูงสุดที่เป็นไปได้ที่แรงดันอินพุต 180 V และแรงดันไฟตรงหลังจากผ่านการเรียงกระแสแล้วคือ

$$V_{in} = 2(180 \times 2^{1/2}) = 509 \text{ V}$$

กระแสที่ขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ

$$I_p = \frac{3P_{out}}{V_{in}} = \frac{3 \times 100}{252} = 1.19 \text{ A}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดของแกนและบอบบิ้น โดยเลือกความหนาแน่นกระแสขณะทำงานเท่ากับ 400 cm/A

สมการที่ใช้คำนวณมากในการเลือกขนาดของหม้อแปลง

$$AcAe = \frac{(0.68 P_{out} D) 10^3}{f B_{max}} \text{ cm}^4$$

ความหนาแน่นกระแส D จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตเส้นลวดที่ความหนาแน่นกระแส 1000 circular mils per ampere (cm/A) ในทางปฏิบัติ จะใช้ความหนาแน่นกระแสค่า ค่าที่ได้คือ 200 cm/A เพื่อความปลอดภัย

เพราะฉะนั้นคำนวณ AcAe ได้ดังนี้

$$AcAe = \frac{0.68 \times 1000 \times 400 \times 10^3}{20 \times 10^3 \times 1600} = 8.5 \text{ cm}^4$$

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณหาขนาดของเส้นลวดและจำนวนรอบขดปฐมภูมิ

ในการออกแบบครั้งนี้ เราเลือกความหนาแน่นกระแส 400 cm/A ดังนั้นขนาดของเส้นลวดจะได้  $5.89 \times 400 = 2356$  cm ซึ่งจากตารางตรงกับเบอร์ 16 AWG

ถ้าคิดสถานะที่เลวร้ายของ 180 Vac  $V_{in}$  น้อยที่สุด =  $180 \times 2^{1/2} \times 1.4 - 20V_{dc}$  ripple และผ่านการเรียงกระแสตกลงเท่ากับ 234 Vdc จำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิสามารถหาได้จาก

$$N_p = \frac{(V_p)10^8}{4fB_{max}Ae} = \frac{234 \times 10^8}{4 \times 1600 \times 20 \times 10^3 \times 3 \times 2} = 30.5$$

ใช้ค่าเพียง 31 รอบ

ขั้นตอนที่ 6 เลือก  $B_{max}$  ที่  $V_{in}$  สูงสุด จากการคำนวณหารอบนั้น สามารถหาค่าความหนาแน่นฟลักซ์ขณะทำงานสูงสุดที่  $V_{in}$  สูงสุดเท่ากับ  $260 \times 2^{1/2} + 20V_{dc}$  สำหรับแรงดัน ripple เท่ากับ 387 V<sub>dc</sub> หา  $B_{max}$

$$B_{max} = \frac{387 \times 10^8}{4 \times 30 \times 20 \times 10^3 \times 2.02 \times 3} = 2665$$

ค่า 2665G ที่ได้นี้ต่ำกว่าค่าความหนาแน่นฟลักซ์อิ่มตัวที่ระบุไว้ในวัสดุเฟอร์ไรท์ รุ่น 3C8 ซึ่งระบุว่า  $B_{sat} > 4400G$  ที่ 25 C และ  $B_{sat} > 3300G$  ที่ 100C ค่า  $B_{sat}$  ย่านที่มีค่าสูงกว่านั้น เป็นค่าที่เราต้องการ ดังนั้นค่า  $B_{max}$  ที่ใช้ในขั้นตอนที่ 5 จะต้องต่ำกว่า 1600G

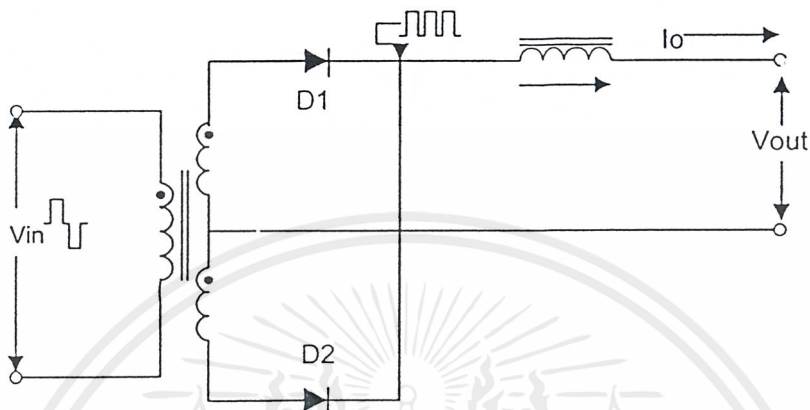
ขั้นตอนที่ 7 คำนวณจำนวนรอบขดทุติยภูมิ เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตนั้นได้จาก centertap เรียงกระแสเต็มรูปคลื่นโดยใช้วิธี PWM ดังนั้น  $V_s = 2V_{out}$  ที่แรงดันเอาต์พุตต่ำสุด เมื่อ  $V_{out}$  คือแรงดันเอาต์พุตโดยทั่วไป และค่า 2 คือแฟคเตอร์ ค่าเฉลี่ยประมาณ 50% คิวดีไซเคิล จำนวนรอบของขดทุติยภูมิได้

$$N_s = N_p \frac{V_s}{V_p} = 30 \frac{80}{234} = 10 \text{ รอบ}$$

ขั้นตอนที่ 8 คำนวณหาขนาดและจำนวนชั้นของขดทุติยภูมิ เราใช้การเรียงกระแสแบบเต็มรูปคลื่น ชนิดหม้อแปลงมี center tap ดังนั้นแต่ละครึ่งของขดลวดทุติยภูมิก็จะนำกระแสประมาณ 50% ของกระแสโหลด หรือ 25A ใช้ค่าความหนาแน่นกระแสที่ 400 cm/A ดังนั้นแต่ละครึ่งของขดลวดจึงต้องการ  $400 \text{ cm/A} \times 25A = 10,000$  cm ตรงกับเส้นลวดเบอร์ 10 AWG เพื่อให้เกิดค่า copper loss ระหว่าง skin effect ต่ำสุดจึงควรใช้คู่ตัวนำที่มี gauge ต่ำในการพันแต่ละครึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การคำนวณหาค่าขดลวดเหนี่ยวนำเอาต์พุต (Output Choke)



รูปที่ 4.5 วงจรแสดงการต่อขดลวดเหนี่ยวนำเอาต์พุตของเครื่องเชื่อม

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำและกระแสที่เปลี่ยนแปลงไป

เนื่องจาก

$$V_l = L \frac{di}{dt} \quad (4.1)$$

$$V_l = E_{in} - E_{out} \quad (4.2)$$

$$di = \Delta I_l \quad (4.3)$$

จะได้ว่า

$$L = \frac{(E_{in} - E_{out}) * \Delta t}{\Delta I_l} \quad (4.4)$$

จากโครงสร้างของฮัลฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ คือ แรงดันอินพุต (Ein) จะมีค่าเป็น 2 เท่า ของแรงดันเอาต์พุต(Eout) ดังนั้น Ein-Eout = Ein-(Ein/2) = Ein/2 = Eout ส่วนช่วงเวลา

คือช่วงเวลาหยุดนิ่ง (noth time ; toff) จะเกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่น นั่นคือขดลวดเหนี่ยวนำจะทำงานในช่วงนี้ จากการกำหนดค่า ton ของวงจรเชื่อมจะได้ toff มี

ค่า 3.664 uS สามารถคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดโดยการแทนค่าลงในสมการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = \frac{E_{out} * t_{off}}{0.25 I_{out}} \quad (4.5)$$

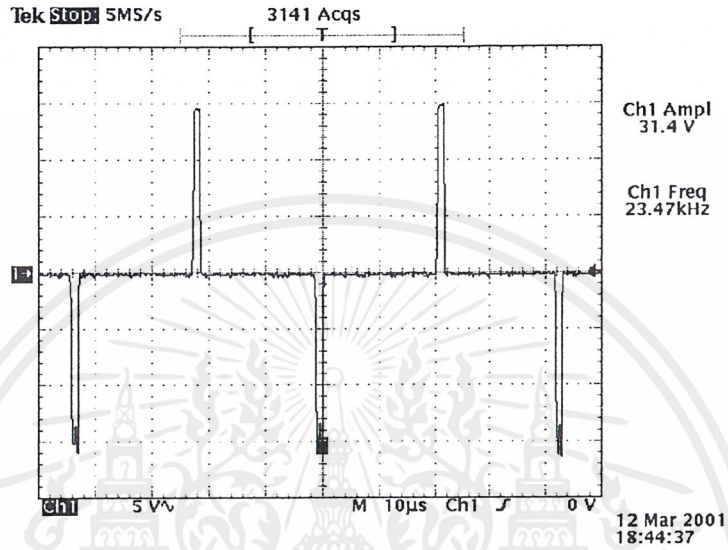
โดยที่  $\Delta I_L$  คือค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสขดลวดเหนี่ยวนำ (โดยปกติ จะมีค่าไม่เกิน 0.25 I<sub>out</sub>)

$$L = \frac{40 * 3.64}{0.25 * 50} = 11.72 \mu H$$

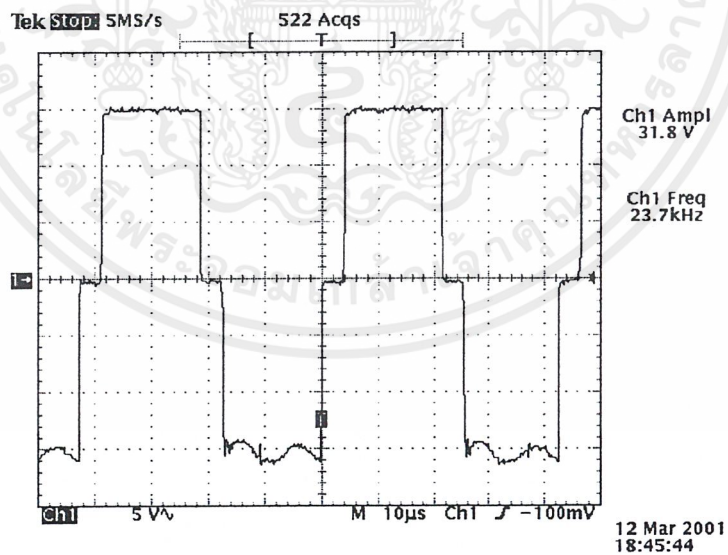
ในการทดสอบการทำงานขดลวดเหนี่ยวนำดังกล่าวจะใช้ค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าขึ้นอยู่กับค่า  $\Delta I_L$  คือถ้าต้องการให้  $\Delta I_L$  มีค่าน้อยก็ควรใช้ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดมากขึ้น แต่จากการทดสอบพบว่าถ้าขดลวดเหนี่ยวนำมีค่ามาก ทำให้ค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงลดลงแต่ก็ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นที่ขดลวดเหนี่ยวนำอย่างมาก

## บทที่ 5

## การทดสอบการทำงาน

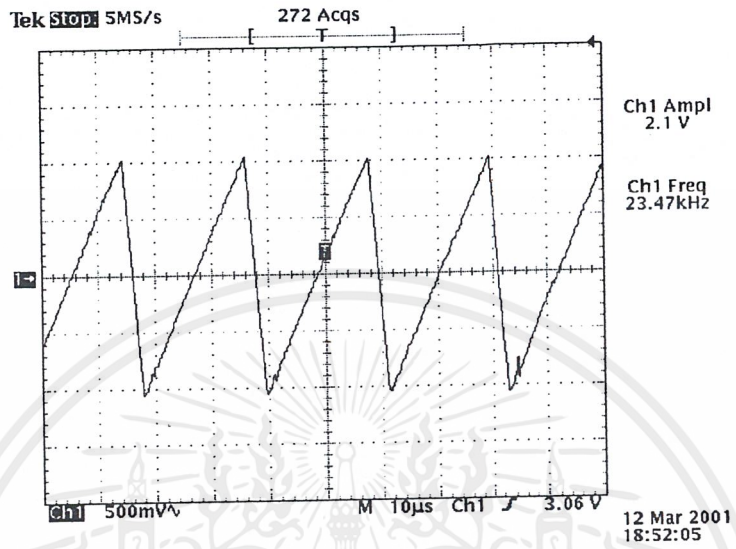


รูปที่ 5.1 สัญญาณพัลส์ที่ขา 13 เทียบกับขา 16 ของ SG 3526 ขณะที่เปิดเครื่อง

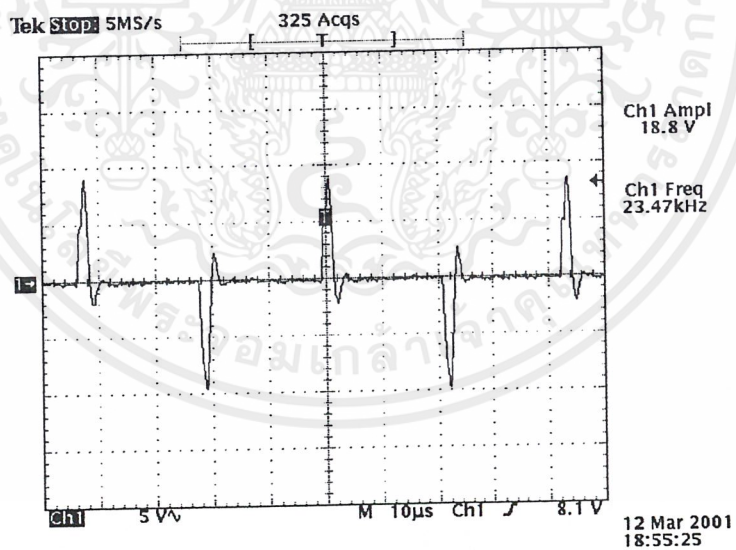


รูปที่ 5.2 สัญญาณพัลส์ที่ขา 13 เทียบกับขา 16 ของ SG 3526 ขณะที่ย้ายกระแสสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

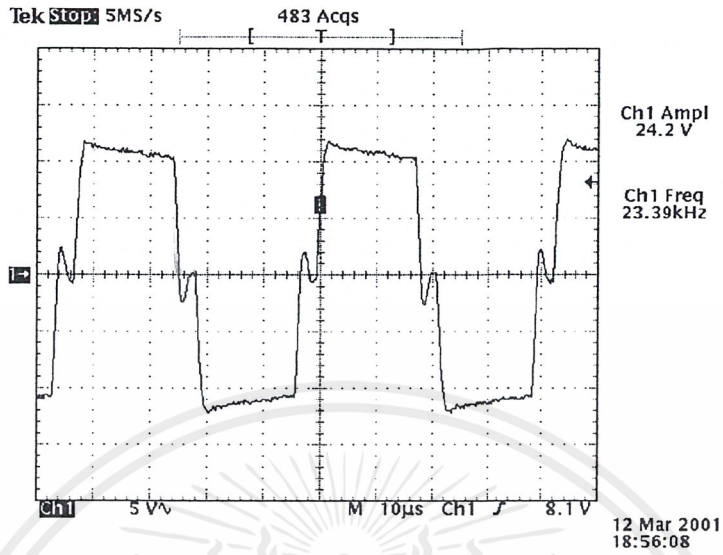


รูปที่ 5.3 สัญญาณฟันเลื่อยที่ขา 10 ของ SG3526



รูปที่ 5.4 สัญญาณที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตขณะเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 สัญญาณที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตขณะขับกระแสสูงสุด

ตารางที่ 5.1 แสดงแรงดันที่ขา 6 LF351 และขา 1 SG3526

กระแส (A)	แรงดันที่ขา 6 ของ LF351 (V)	แรงดันที่ขา 1 ของ SG3526 (V)
No Load	0.3	1
10	1.75	1.3
15	2.25	1.8
20	2.4	1.95
25	2.95	2.4
30	3.75	3.2
40	4.2	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

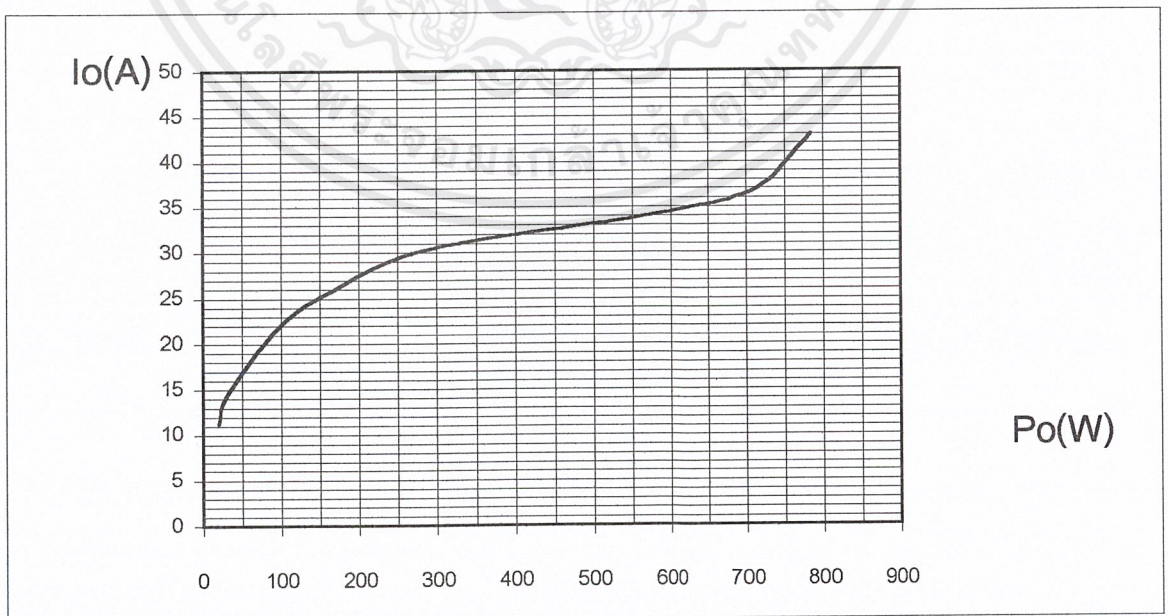
ตารางที่ 5.2 แสดงประสิทธิภาพของวงจรที่ระดับกระแสต่างๆ

V no load 38 V normalized load  $R = 1 \Omega$

Pin(W)	Vo(V)	Po(W)	Io(A)	$\eta$ (%)
39	4.5	20.25	11.25	0.52
50	5.3	28.09	14	0.56
123	9.8	96	21.8	0.78
198	13	169	26	0.85
335	17	289	30.4	0.862
795	25	685	36	0.867
903	28	784	43.5	0.868

$$\eta_{\text{total}} = 86\%$$

จากตารางที่ 5.2 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเพาเวอร์ที่เอาต์พุตได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับเพาเวอร์ที่เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ทำการทดลองพบว่าเกิดความสูญเสียขึ้นในขดลวดเหนี่ยวนำไฮโวลต์ เกิดความร้อนขึ้นสูงมากเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านสูง

## 5.2 การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานโดยเปรียบเทียบระหว่างพลังงานที่เครื่องสามารถจ่ายออกมาและพลังงานที่เครื่องดูดกลืนเข้าไป

โดยเพาเวอร์เอาต์พุตสูงสุดที่เครื่องสามารถทำได้จาก

ค่ากระแสสูงสุดที่เครื่องสามารถจ่ายได้คือ	43	แอมป์
ในขณะนั้นมีแรงดันเอาต์พุต	18.2	โวลต์
ดังนั้นจะได้เพาเวอร์เอาต์พุตเป็น	784	โวลต์-แอมป์

ส่วนทางด้านอินพุตกินกระแส	4.1	แอมป์
ดังนั้นจะได้เพาเวอร์อินพุตเป็น	903	โวลต์-แอมป์

สามารถคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมนี้ได้โดย

$$\text{ประสิทธิภาพ} = 0.86 * 100 = 86\%$$

จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพดังกล่าว คาดว่าการสูญเสียส่วนหนึ่งอาจเกิดขึ้นที่หม้อแปลงเอาต์พุตเนื่องจากมีความร้อนสูง

## บทที่ 6

### บทสรุป

จากการทดสอบระบบควบคุมของเครื่องเชื่อม TIG นั้นสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการเชื่อม จังหวะการเปิด-ปิดแก๊ส รวมทั้งการแสดงผลผ่าน LCD Module ทำให้ผู้เชื่อมสามารถทราบสถานะการทำงานของเครื่องเชื่อมได้

#### ปัญหาที่เกิดขึ้น

ที่กระแสสูงๆ วงจรจะกำเนิด Noise ออกมารบกวน Clock ของ MCS51 ทำให้วงจรเกิดการ Reset ขึ้นเป็นบางครั้ง วิธีแก้ปัญหาคือการแยกกราวด์ของวงจรมอเตอร์และดิจิตอลออกจากกัน ป้องกันการรบกวนและควรมีการชัตดาวน์วงจรป้องกัน Noise

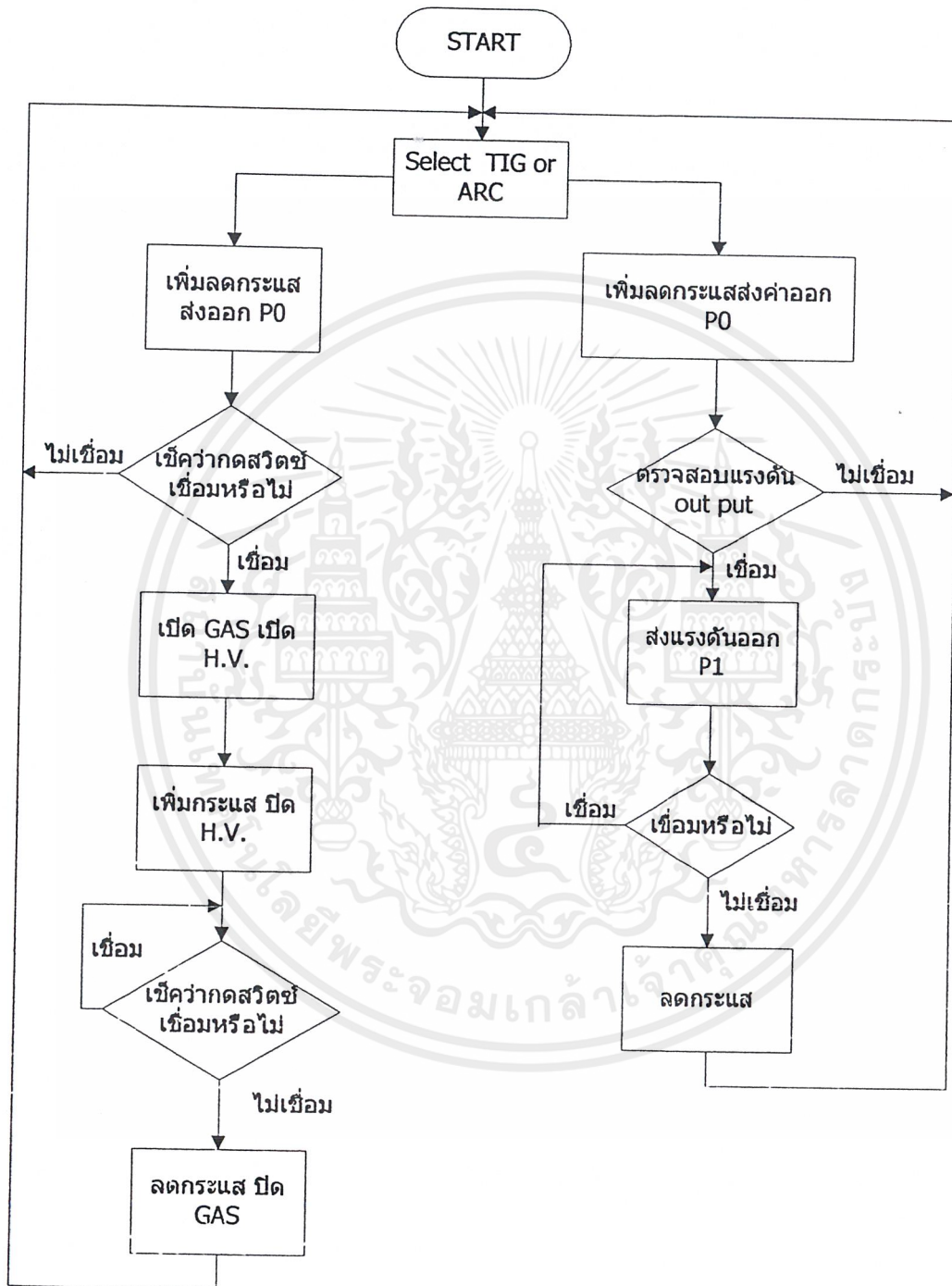
Output ต่ำเนื่องจาก การเพิ่ม Power ที่เอาต์พุตทำให้ Power ของฮาร์โมนิกส์เพิ่มตาม ทำให้เกิดการรบกวนวงจร ควรใส่ C Filter ค่ามากๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมภาคควบคุม

```
ORG 0000H
MOV P1,#00H
MOV P0,#00H
MOV P2,#0FFH
MOV P3,#00H
CLR P2.2
CLR P2.1
MOV A,#00H
MOV R5,A
J0: JB P2.3,J1
CLR P2.4
SETB P2.5
MOV P0,A
MOV P0,#0FDH
JB P2.7,J2
E1: JNB P2.7,E1
ADD A,#19H
JC J4
MOV P0,A ;*****
CALL DELAY1
CALL DELAY1
MOV R5,A
J2: JB P2.6,J3
E2: JNB P2.6,E2
CLR C
SUBB A,#19H
JC J4
MOV P0,A ;*****
CALL DELAY1
CALL DELAY1
```

```

MOV R5,A
J3:  JB P2.0,J4
    CJNE A,#00H,JC
    JMP J4
JC:  SETB P2.2
    JB P2.0,J4
    MOV A,R5 ;*****
    MOV B,A  ;*****
    MOV P1,B ;*****CALL DELAY2
JP1: JB P2.0,J5
    JMP JP1
J5:  MOV A,B
    MOV R6,A
JP2: MOV P1,R6
    DJNZ R6,JP2
    CALL TABLE
J4:  CLR P2.2
    MOV A,R5
    LJMP J0
J1:  CLR P2.2
    CLR P2.1
    CLR P2.5
    SETB P2.4
    MOV P0,A
    MOV P0,#0FEH
    JB P2.7,J2C
E1C: JNB P2.7,E1C
    ADD A,#19H
    JC J4C
    MOV P0,A ;*****
    CALL DELAY1

```

```

CALL DELAY1
MOV R5,A
J2C: JB P2.6,J3C
E2C: JNB P2.6,E2C
CLR C
SUBB A,#19H
JC J4C
MOV P0,A ;*****
CALL DELAY1
CALL DELAY1
MOV R5,A
J3C: JB P2.0,J4C
CJNE A,#00H,JCC
JMP J4C
JCC: JB P2.0,J4C
MOV P1,R5 ;*****INC CURRENT****
JP1C:JB P2.0,J5C
JMP JP1C
J5C: MOV P1,#00H
J4C: MOV A,R5
LJMP J0

```

```

DELAY0: MOV R3,#09H
I02: MOV R4,#0FFH
I01: DJNZ R4,I01
DJNZ R3,I02
RET

```

```

DELAY1: MOV R3,#0FFH
I2: MOV R4,#0FFH
I1: DJNZ R4,I1

```

DJNZ R3,I2

RET

TABLE: MOV A,R5

MOV R6,A

I5: CALL DELAY0

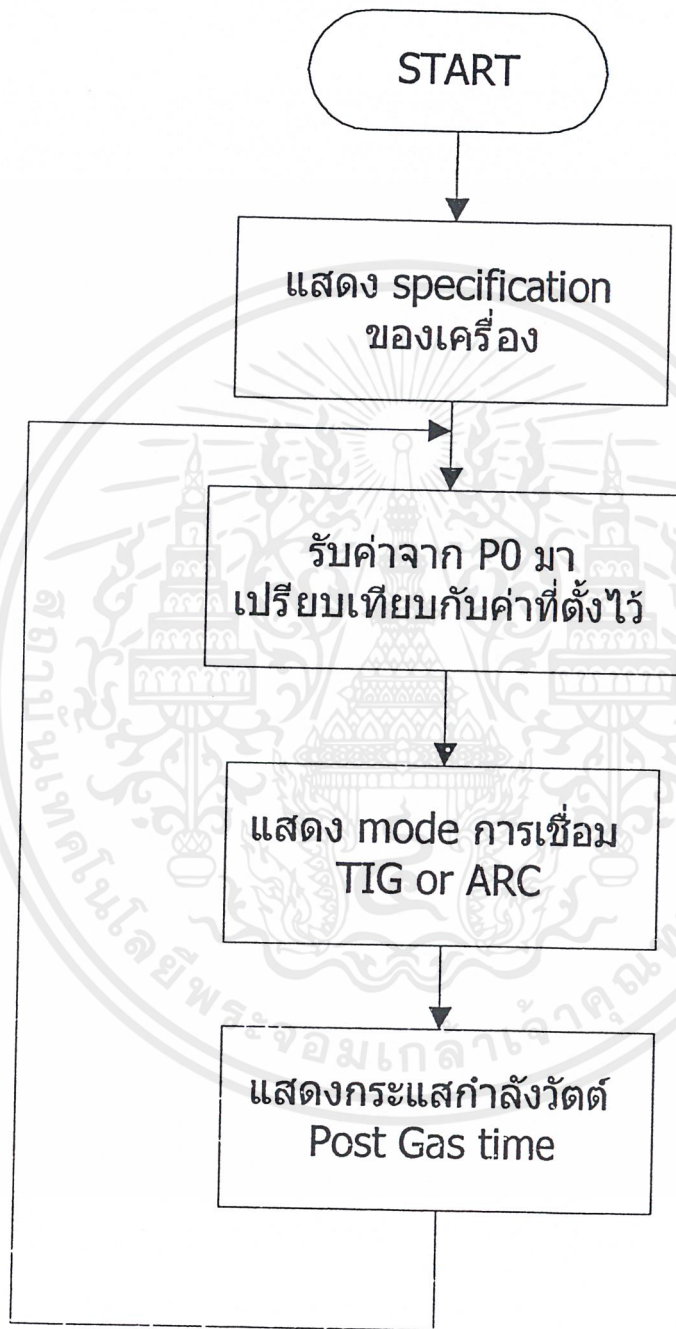
DJNZ R6,I5

RET

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมภาคแสดงผล

```
ORG 0000H
MOV P1,#00H
MOV P3,#0FFH
MOV P2,#0FFH
LCALL TDISPLAY
MOV A,#080H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
L1: PUSH ACC
    MOV DPTR,#0700H
    MOVC A,@A+DPTR
    ACALL DISPLAY
    LCALL DELAY
    POP ACC
    INC A
    CJNE A,#10H,L1
    MOV A,#0C0H
    LCALL COMMAND
    MOV A,#00H
U1: PUSH ACC
    MOV DPTR,#0710H
    MOVC A,@A+DPTR
    ACALL DISPLAY
    LCALL DELAY
    POP ACC
    INC ACC
    CJNE A,#10H,U1
    MOV A,#090H
    LCALL COMMAND
```

```
MOV A,#00H
```

L11: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0720H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
LCALL DELAY
POP ACC
INC A
CJNE A,#10H,L1
MOV A,#0D0H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

U11: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0730H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
LCALL DELAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#10H,U11
LCALL TDISPLAY
MOV A,#080H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

IL1: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0740H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
LCALL DELAY
POP ACC
INC A
CJNE A,#10H,IL1
```

```
MOV A,#0C0H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

IUI: PUSH ACC

MOV DPTR,#0750H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

LCALL DELAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#10H,IUI

MOV A,#090H

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

IL11: PUSH ACC

MOV DPTR,#0760H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

LCALL DELAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#10H,IL1

MOV A,#0D0H

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

IUI1: PUSH ACC

MOV DPTR,#0770H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

LCALL DELAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#10H,IUI1

```
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL TDISPLAY
MOV A,#080H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

L2: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0560H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
LCALL DELAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#10H,L2
MOV A,#0C0H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

U2: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0570H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
LCALL DELAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#10H,U2
MOV A,#090H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

L22: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0580H
MOVC A,@A+DPTR
```

```
ACALL DISPLAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LCALL DELAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#10H,L22
MOV A,#0D0H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

U22: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0590H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
LCALL DELAY
LCALL DELAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#10H,U22
LCALL DELAY
LCALL DELAY
LCALL TDISPLAY
MOV A,#080H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

L3: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0660H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#10H,L3
MOV A,#0C0H
LCALL COMMAND
```

```
MOV A,#00H
```

U3: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0670H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
LCALL DELAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#10H,U3
MOV A,#090H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

L32: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0680H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
LCALL DELAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#10H,L32
MOV A,#0D0H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

U33: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0690H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
LCALL DELAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#10H,U33
```

```
HOME: MOV R7,P0
      LCALL DT
      JMP HOME
```

COMMAND:

```
ACALL READY
MOV P1,A
CLR P3.1
CLR P3.2
SETB P3.3
CLR P3.3
RET
```

DISPLAY:

```
ACALL READY
MOV P1,A
SETB P3.1
CLR P3.2
SETB P3.3
CLR P3.3
RET
```

READY:

```
CLR P3.3
MOV P1,#0FFH
CLR P3.1
SETB P3.2
```

WAIT:

```
CLR P3.3
SETB P3.3
JB P1.7,WAIT
CLR P3.3
RET
```

TDISPLAY:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV A,#03CH
ACALL COMMAND
MOV A,#0EH
ACALL COMMAND
MOV A,#06H
ACALL COMMAND
MOV A,#01H
ACALL COMMAND
```

```
RET
```

```
DELAY: MOV R7,#090H
```

```
B2: MOV R6,#0FFH
```

```
B1: DJNZ R6,B1
```

```
DJNZ R7,B2
```

```
RET
```

```
,*****CURRENT SET UP*****
```

```
DT: CJNE R7,#00H,LD0
```

```
MOV A,#088H
```

```
LCALL COMMAND
```

```
MOV A,#00H
```

```
IL3: PUSH ACC
```

```
MOV DPTR,#0668H
```

```
MOVC A,@A+DPTR
```

```
ACALL DISPLAY
```

```
POP ACC
```

```
INC ACC
```

```
CJNE A,#02H,IL3
```

```
MOV A,#0CDH
```

```
LCALL COMMAND
```

```
MOV A,#00H
```

```
IU3: PUSH ACC
```

```
MOV DPTR,#067DH
```

```

MOV A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#02H,IU3
MOV A,#090H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
V0:  PUSH ACC
      MOV DPTR,#0680H
      MOV A,@A+DPTR
      ACALL DISPLAY
      POP ACC
      INC ACC
      CJNE A,#10H,V0
      RET
LD0:  CJNE R7,#32H,LD1    ; 5 AMP.
      MOV A,#088H
      LCALL COMMAND
      MOV A,#00H
IIL3:  PUSH ACC
      MOV DPTR,#07E8H
      MOV A,@A+DPTR
      ACALL DISPLAY
      POP ACC
      INC ACC
      CJNE A,#02H,IIL3
      MOV A,#0CDH
      LCALL COMMAND
      MOV A,#00H
IIU3:  PUSH ACC

```

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#02H,IIU3

MOV A,#09AH

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

VI: PUSH ACC

MOV DPTR,#0900H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#04H,V1

RET

LD1: CJNE R7,#4BH,LD2 ; 10 AMP.

MOV A,#088H

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

CIIL3: PUSH ACC

MOV DPTR,#0808H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#02H,CIIL3

MOV A,#0CDH

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

CIIIU3: PUSH ACC

MOV DPTR,#081DH

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#02H,CIIIU3

MOV A,#09AH

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

CV2: PUSH ACC

MOV DPTR,#0904H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#04H,CV2

RET

LD2: CJNE R7,#64H,LD3 ; 15 AMP.

MOV A,#088H

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

IIIL3: PUSH ACC

MOV DPTR,#05A8H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#02H,IIIL3

MOV A,#0CDH

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

IIIU3: PUSH ACC

MOV DPTR,#05BDH

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#02H,IIIU3

MOV A,#09AH

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

V2: PUSH ACC

MOV DPTR,#0908H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#04H,V2

RET

LD3: CJNE R7,#7DH,LD4 ; 20 AMP.

MOV A,#088H

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

CIHIL3: PUSH ACC

MOV DPTR,#0828H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#02H,CIHIL3

MOV A,#0CDH

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

CIHIIU3: PUSH ACC

MOV DPTR,#083DH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV C A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#02H,CIIIU3
MOV A,#09AH
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
CV3:  PUSH ACC
      MOV DPTR,#090CH
      MOV C A,@A+DPTR
      ACALL DISPLAY
      POP ACC
      INC ACC
      CJNE A,#04H,CV3
      RET
LD4:  CJNE R7,#096H,LD5 ;25 AMP.
      MOV A,#088H
      LCALL COMMAND
      MOV A,#00H
IIIL3:  PUSH ACC
        MOV DPTR,#05C8H
        MOV C A,@A+DPTR
        ACALL DISPLAY
        POP ACC
        INC ACC
        CJNE A,#02H,IIIL3
        MOV A,#0CDH
        LCALL COMMAND
        MOV A,#00H
IIIU3:  PUSH ACC

```

```
MOV DPTR,#05DDH
```

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#02H,IIIIU3

MOV A,#09AH

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

V3: PUSH ACC

MOV DPTR,#0620H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#04H,V3

RET

LD5: CJNE R7,#0AFH,LD6 ; 30 AMP.

MOV A,#088H

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

CIIIIL3: PUSH ACC

MOV DPTR,#0848H

MOVC A,@A+DPTR

ACALL DISPLAY

POP ACC

INC ACC

CJNE A,#02H,CIIIIL3

MOV A,#0CDH

LCALL COMMAND

MOV A,#00H

CIIIIU3: PUSH ACC

MOV DPTR,#085DH

```
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#02H,CIIIIU3
MOV A,#09AH
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

CV4: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0624H ;*****
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#04H,CV4
RET
```

LD6: CJNE R7,#0C8H,LD7 ; 40 AMP.

```
MOV A,#088H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

IIIIIL3: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#05E8H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#02H,IIIIIL3
MOV A,#0CDH
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

IIIIU3: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#05FDH
```

```
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#02H,IIIIU3
MOV A,#09AH
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

V4: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#0628H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#04H,V4
RET
```

LD7: CJNE R7,#0E1H,LD8 ; 50 AMP.

```
MOV A,#088H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

CIIIII3: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#08A8H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#02H,CIIIII3
MOV A,#0CDH
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

CIIIIIU3: PUSH ACC

```
MOV DPTR,#08BDH
```

```
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#02H,CIIIIU3
MOV A,#09AH
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

```
CV11:  PUSH ACC
MOV DPTR,#062CH
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#04H,CV11
RET
```

```
LD8:  CJNE R7,#0FAH,LD9 ; 60 AMP.
MOV A,#088H
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

```
IIIIIL3:  PUSH ACC
MOV DPTR,#08A8H
MOVC A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#02H,IIIIIL3
MOV A,#0CDH
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
```

```
IIIIIU3:  PUSH ACC
```

```
MOV DPTR,#08BDH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,@A+DPTR
ACALL DISPLAY
POP ACC
INC ACC
CJNE A,#02H,I3
MOV A,#09AH
LCALL COMMAND
MOV A,#00H
V11:  PUSH ACC
      MOV DPTR,#0630H
      MOV A,@A+DPTR
      ACALL DISPLAY
      POP ACC
      INC ACC
      CJNE A,#04H,V11
      RET
LD9:  CJNE R7,#0FDH,LD10
      MOV A,#0D0H
      LCALL COMMAND
      MOV A,#00H
AIIIIIL3:  PUSH ACC
          MOV DPTR,#06B0H
          MOV A,@A+DPTR
          ACALL DISPLAY
          POP ACC
          INC ACC
          CJNE A,#10H,AIIIIIL3
          RET
LD10:  CJNE R7,#0FEH,LD11
        MOV A,#0D0H
        LCALL COMMAND

```

```
MOV A,#00H
```

```

AAIIIIILU3:  PUSH ACC
              MOV DPTR,#06A0H
              MOVC A,@A+DPTR
              ACALL DISPLAY
              POP ACC
              INC ACC
              CJNE A,#10H,AAIIIIILU3

```

```

              RET

```

```

LD11:  RET

```

```

;*****SPECIFICATION*****

```

```

ORG 0560H

```

```

  DB 49H,6EH,70H,75H,74H,20H,31H,38H,30H,2DH,32H,34H,30H,56H,2EH,20H

```

```

ORG 0570H

```

```

  DB 20H,39H,30H,30H,57H,35H,30H,48H,7AH,20H,46H,75H,73H,65H,35H,41H

```

```

ORG 0580H

```

```

  DB 4FH,75H,74H,70H,75H,74H,20H,30H,2DH,34H,35H,20H,41H,6DH,70H,2EH

```

```

ORG 0590H

```

```

  DB 56H,6EH,6FH,6CH,20H,34H,34H,56H,2EH,65H,66H,66H,38H,36H,25H,2EH

```

```

;*****ADD CURRENT*****

```

```

ORG 05A0H ;15A

```

```

  DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,31H,35H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

```

```

ORG 05B0H ;POST GAS TIME

```

```

  DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,20H,35H,53H

```

```

ORG 05C0H ;25A

```

```

  DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,32H,35H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

```

```

ORG 05D0H ;POST GAS TIME

```

```

  DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,20H,38H,53H

```

```

ORG 05E0H ;40A

```

```

  DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,34H,30H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

```

```

ORG 05F0H ;POST GAS TIME

```

```

  DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,31H,30H,53H

```

ORG 0600H ;60A

DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,34H,30H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

ORG 0610H ;POST GAS TIME

DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,31H,33H,53H

;\*\*\*\*\*ADD VALUE\*\*\*\*\*

ORG 0620H

DB 20H,34H,30H,30H,20H,34H,35H,30H,20H,35H,38H,30H,20H,35H,38H,30H

ORG 0630H

DB 20H,35H,38H,30H

;\*\*\*\*\*INITIAL\*\*\*\*\*

ORG 0660H

DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,30H,30H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

ORG 0670H

DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,20H,30H,53H

ORG 0680H

DB 50H,4FH,57H,45H,52H,28H,6DH,61H,78H,29H,20H,20H,30H,30H,57H,2EH

ORG 0690H

DB 20H,53H,79H,73H,74H,65H,6DH,20H,52H,65H,61H,64H,2EH,2EH,2EH,20H

ORG 06A0H

DB 20H,20H,41H,52H,43H,20H,57H,45H,4CH,44H,49H,4EH,47H,20H,20H,20H

ORG 06B0H

DB 20H,20H,54H,2EH,49H,2EH,47H,20H,57H,45H,4CH,44H,49H,4EH,47H,20H

;\*\*\*\*\*SHOW SCREEN\*\*\*\*\*

ORG 0700H

DB 54H,75H,6EH,73H,74H,61H,69H,6EH,20H,49H,6EH,6EH,65H,72H,74H,20H

ORG 0710H

DB 47H,61H,73H,20H,41H,72H,63H,20H,57H,65H,6CH,64H,69H,6EH,67H,20H

ORG 0720H

DB 43H,6FH,6EH,74H,72H,6FH,6CH,20H,62H,79H,20H,4DH,43H,53H,35H,31H

ORG 0730H

DB 4DH,69H,63H,72H,6FH,63H,6FH,6EH,74H,72H,6FH,6CH,6CH,65H,72H,20H

;\*\*\*\*\*INTRODUCTION\*\*\*\*\*

ORG 0740H

DB 50H,72H,65H,73H,65H,6EH,74H,20H,62H,79H,2EH,2EH,2EH,20H,20H,20H

ORG 0750H

DB 20H,20H,20H,50H,72H,61H,6AH,6FH,75H,62H,20H,4BH,2EH,20H,20H,20H

ORG 0760H

DB 20H,20H,20H,4BH,61H,6AH,72H,6FH,6EH,20H,54H,2EH,20H,20H,20H,20H

ORG 0770H

DB 28H,41H,44H,2EH,29H,20H,53H,6FH,6DH,73H,61H,6BH,20H,43H,2EH,20H

;\*\*\*\*\*CURRENT SET UP & POST GAS TIME\*\*\*\*\*

ORG 07E0H ;5A

DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,20H,35H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

ORG 07F0H ;POST GAS TIME

DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,20H,32H,53H

ORG 0800H ;10A

DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,31H,30H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

ORG 0810H ;POST GAS TIME

DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,20H,33H,53H

ORG 0820H ;20A

DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,32H,30H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

ORG 0830H ;POST GAS TIME

DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,20H,36H,53H

ORG 0840H ;30A

DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,33H,30H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

ORG 0850H ;POST GAS TIME

DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,20H,39H,53H

ORG 08A0H ;50A

DB 43H,55H,52H,52H,45H,4EH,54H,20H,34H,30H,20H,41H,6DH,70H,2EH,20H

ORG 08B0H ;POST GAS TIME

DB 50H,4FH,53H,54H,2DH,47H,41H,53H,20H,54H,49H,4DH,45H,31H,31H,53H

;\*\*\*\*\*VALUE\*\*\*\*\*

ORG 0900H

DB 20H,20H,31H,36H,20H,20H,32H,30H,20H,31H,31H,30H,20H,33H,34H,32H END

## กิตติกรรมประกาศ

เครื่องเชื่อมแก๊สทั้งเสตนที่ได้จัดทำขึ้นจะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าปราศจากรองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ เขียวศิริกุล ที่ช่วยให้คำแนะนำและช่วยเหลือในด้านต่างๆ และที่ลืมเสียไม่ได้คือเพื่อนๆห้อง R ที่คอยช่วยเหลือกันในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. สุวัฒน์ คั่น,เทคนิคการออกแบบสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลาย,บ.เอนเทลไทย,2537
2. Pressman,A.I.,Switching Power Supply Design,McGraw-Hill,1991
3. Cherysis,G.,High-Frequency Switching Power Supplies Theory and design,McGraw-Hill,1989



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้