สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมเครื่องเชื่อมแบบ TIG

CONTROL SYSTEM FOR TIG WELDING

โดย

นาย วุฒิพงษ์ คำมา

นาย สุธน ศรีวิเชียร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมแกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่
เลขทะเบียน 36929
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมเครื่องเชื่อมแบบ TIG

CONTROL SYSTEM FOR TIG WELDING

ผู้จัดทำ

นาย วุฒิพงษ์ คำมา 40013187

นาย สุธน ศรีวิเชียร 40013235

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาตราจารย์ สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมเครื่องเชื่อมแบบ TIG

นาย วุฒิพงศ์ คำมา
นาย สุธน ศรีวิเชียร
รศ. สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา2542

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอ, การออกแบบ, การทำงานและผลการทดสอบการทำงานของระบบควบเครื่องเชื่อมแบบ TIG โดยมีการทำงานคือ ขั้นแรกจะทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ 50 เฮิร์ท มาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 311 โวลท์ โดยวงจรเรียงกระแสและกรองกระแส ต่อมานำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาเปลี่ยนเป็นพัลซ์ความถี่ประมาณ 29 กิโลเฮิร์ท โดยเพาเวอร์มอสเฟตของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ต่อในลักษณะฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ และมีไอซี SG 3526 ทำการควบคุมความถี่และคาบเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์มาสเฟต และใช้ Microcontroller ในการควบคุมการปรับกระแสขณะเชื่อม จังหวะการ ปิด-เปิด แก๊ส และ จังหวะ เกิด High Voltเพื่อทำให้เกิดเป็นพลาสมาบนชิ้นงาน โดยแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุทของเครื่องเชื่อมในสภาวะที่ไม่มีโหลดจะมีค่าอยู่ที่ 54 โวลท์ และค่ากระแสที่ขณะทำการเชื่อมมีค่าสูงสุด 23 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This project is studied on design ,how to work and test result of system control for TIG welding. Instruction of work, first change 220 volt. 50 Hz. AC voltage into 311 volt. DC voltage by rectifier and filter circuit. Then that DC voltage is changed into 29 KHz. pulse current by POWER MOSFET in half bridge converter circuit. In this project we use IC SG3526 to control frequency and time that make POWER MOSFET on and use microcontroller to control welding current, time ON-OFF of argon gas and time ON-OFF of high voltage. DC output voltage of this project is 54 volt. when no load and 23 amp maximum welding current.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1.วิวัฒนาการของเครื่องเชื่อม	1
1.2. การแยกประเภทวิธีการวิธีการเชื่อม	3
บทที่2. ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครื่องเชื่อม	4
2.1. วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส	4
2.1.1. ไดโอดเรียงกระแส	4
2.1.2. ตัวเก็บประจุกรองกระแส	6
2.2. วงจรคอนเวอร์เตอร์	7
2.2.1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	7
2.2.2. ฟอร์เวร์ดคอนเวอร์เตอร์	8
2.2.3. พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์	9
2.2.4. ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	10
2.2.5. ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	11
2.3. วงจรควบคุม	11
2.3.1. วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน	11
2.3.2. วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส	13
2.4. วงจรขับ	14
2.4.1. วงจรขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	14
2.4.2 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต	16
2.5. วงจรสนับเบอร์	18
2.5.1. วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส	19
2.5.2. วงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน	20
2.6. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	22
2.6.1. ฟาสต์-รีคัพเวอรี่และอุลตร้าฟาสต์-รีคัพเวอรี่ไดโอด	22
2.6.2. ซอตต์กี้ไดโอด	22
2.6.3. เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์	23
2.6.4. เพาเวอร์มอสเฟส	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

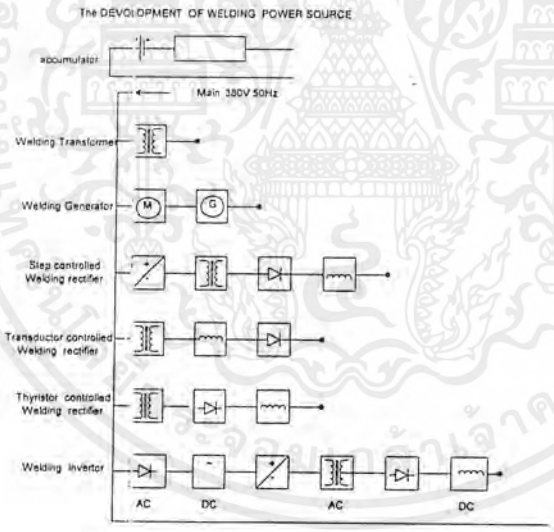
บทที่ 3. หลักการออกแบบและการทำงานของวงจร 26
3.1. ส่วนของวงจรควบคุม 26
3.1.1. วงจรป้อนกลับ 28
3.1.2. วงจรสร้างและควบคุมความกว้างของพัลซ์ 28
3.1.3. วงจรขับ 31
3.2. วงจรเพาเวอร์สวิตชิ่ง 31
3.2.1. วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสทางด้านอินพุท 33
3.2.2. วงจรคอนเวอร์เตอร์ 33
3.2.3. การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง 34
3.2.4. การคำนวณหาค่าขดลวดเหนี่ยวนำเอาท์พุท 36
บทที่ 4. การเชื่อมแบบ TIG 39
บทที่ 5. การทดสอบการทำงาน 45
5.1. การตรวจวัดรูปสัญญาณที่จุดต่างๆ ในวงจร 55
5.2. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานภาระกับกระแสเอาท์พุท 55
5.3. การทดสอบประสิทธิภาพ 57
บทที่ 6. สรุป 58
ภาคผนวก
หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

กระบวนการเชื่อมนั้นมีหลักการพื้นฐานจากการที่ให้กระแสไฟฟ้าปริมาณมากๆ ไหลผ่านรอยต่อของชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมจนหลอมละลายเชื่อมติดกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากหลักการแล้วเครื่องเชื่อมก็คือแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกระแสได้เป็นปริมาณมากนั่นเอง เริ่มแรกมีการค้นพบวิธีการเชื่อมจาก การใช้แบตเตอรี่ เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า แต่ก็มีข้อจำกัดที่มีปริมาณความจุกระแสมีน้อย และเมื่อใช้งานแล้วต้องมีการประจุแรงดันใหม่ซึ่งใช้เวลานานในการประจุกระแสแต่ละครั้ง ต่อมาใช้หลักการของหม้อแปลงเพื่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า โดยใช้การเลือกของลวดหรือการเลื่อนขดลวดเพื่อที่จะปรับค่าแระแสที่ใช้ในการเชื่อม ต่อมาเมื่ออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้ถูกพัฒนาขึ้น ก็ถูกนำมาใช้ในการเรียงกระแส เพื่อให้เป็นการเชื่อมแบบกระแสตรง และยังถูกใช้ในการควบคุมระดับกระแสในการเชื่อมอีกด้วย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 วิวัฒนาการของเครื่องเชื่อม



รูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นพัฒนาการของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

1.1.1 Accumulator เป็นการเชื่อมไฟฟ้าแบบแรกที่ถูกคิดค้นขึ้น โดยใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถให้กระแสที่มีค่ามากๆ ได้ และในการใช้แต่ละครั้งต้องทำการประจุไฟฟ้าทุกครั้ง และเมื่อใช้งานไปแล้ว ในช่วงหนึ่งกระแสจากแบตเตอรี่ก็จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แต่การเชื่อมแบบนี้มีข้อดีคือสามารถเชื่อมได้เรียบกว่าการเชื่อมที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับในการเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 Welding Transformer เป็นการใช้หม้อแปลงเพื่อทำการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ามายังจุดต่อเชื่อม โดยพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวเป็นไฟกระแสสลับ มีข้อเสียคือยากต่อการควบคุมซึ่งโดยปกติจะสามารถควบคุมกระแสในการเชื่อมได้ 4 แบบคือ แบบเคลื่อนแกน (moving core) ,แบบเคลื่อนขดลวด (moving coil) , แบบทำให้รีแอคเตอร์อิ่มตัว (saturable reactor) และแบบสวิทช์เสียบ (tap switching) อุปกรณ์เชื่อมแบบนี้จะมีการสูญเสียพลังงานมาก แต่มีข้อดีคือไม่มีวงจรหรืออุปกรณ์ต่อพ่วงให้ยุ่งยาก

1.1.3 Welding Generator เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้มอเตอร์มาทำการหมุนเจนเนอเรเตอร์ไฟกระแสตรง (DC Generator) แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเจนเนอเรเตอร์มาทำการเชื่อมไฟฟ้าอีกทีซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องเชื่อมแบบนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำเพราะเกิดการสูญเสียหลายขั้นตอน ตั้งแต่นำไฟฟ้ามาแปลงเป็นพลังงานกล แล้วแปลงพลังงานกลกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกครั้ง แต่เครื่องเชื่อมลักษณะนี้จำเป็นต้องนำมาใช้เนื่องจากในงานเชื่อมบางแบบจำเป็นต้องใช้กระแสไฟตรงในการเชื่อมเท่านั้น และใช้อยู่ในช่วงที่ยังไม่สามารถนำอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาใช้งานได้

1.1.4 Step Controlled Welding Rectifier เป็นเครื่องเชื่อมที่มีเทคโนโลยีของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเข้ามาใช้ในการเชื่อมที่ต้องการไฟกระแสตรงในการเชื่อม โดยสามารถปรับค่าแระแสในการเชื่อมได้จากการปรับเปลี่ยนแทบที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง มีข้อคือเครื่องเชื่อมมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

1.1.5 Transductor Controlled Welding Rectifier เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้หลักของการเปลี่ยนค่าความนำของขดลวด ในการปรับค่ากระแสในการเชื่อม วิธีนี้ข้อเสียคือเกิดความสูญเสียขึ้นที่ขดลวดความนำ ในขณะที่ใช้กระแสค่าสูงๆ

1.1.6 Thyristor Controlled Welding Rectifier เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้อุปกรณ์ไทริสเตอร์ในการเรียงกระแส โดยสามารถกำหนดมุมในการนำกระแสให้กับไทริสเตอร์ ซึ่งเป็นการกำหนดกระแสที่ใช้ในการเชื่อมของเครื่องเชื่อมอีกด้วย มีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสได้อย่างละเอียดและแม่นยำ แต่มีข้อเสียคือจะต้องเพิ่มเติมส่วนของวงจรควบคุมและมีราคาแพง

1.1.7 Welding Invertor เป็นเครื่องเชื่อมที่ใช้หลักการของอินเวอร์เตอร์ในการที่จะเปลี่ยนค่าความถี่ไลน์ปกติให้สูงขึ้นก่อนที่จะส่งผ่านพลังงานด้วยหม้อแปลงความถี่สูงเป็นผลให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดเล็ก สามารถควบคุมปริมาณกระแสที่ใช้ในการเชื่อมได้อย่างแม่นยำและเนื่องมาจากประสิทธิภาพที่มีค่าสูงเป็นผลให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่าเครื่องเชื่อมชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การแยกประเภทวิธีการเชื่อม

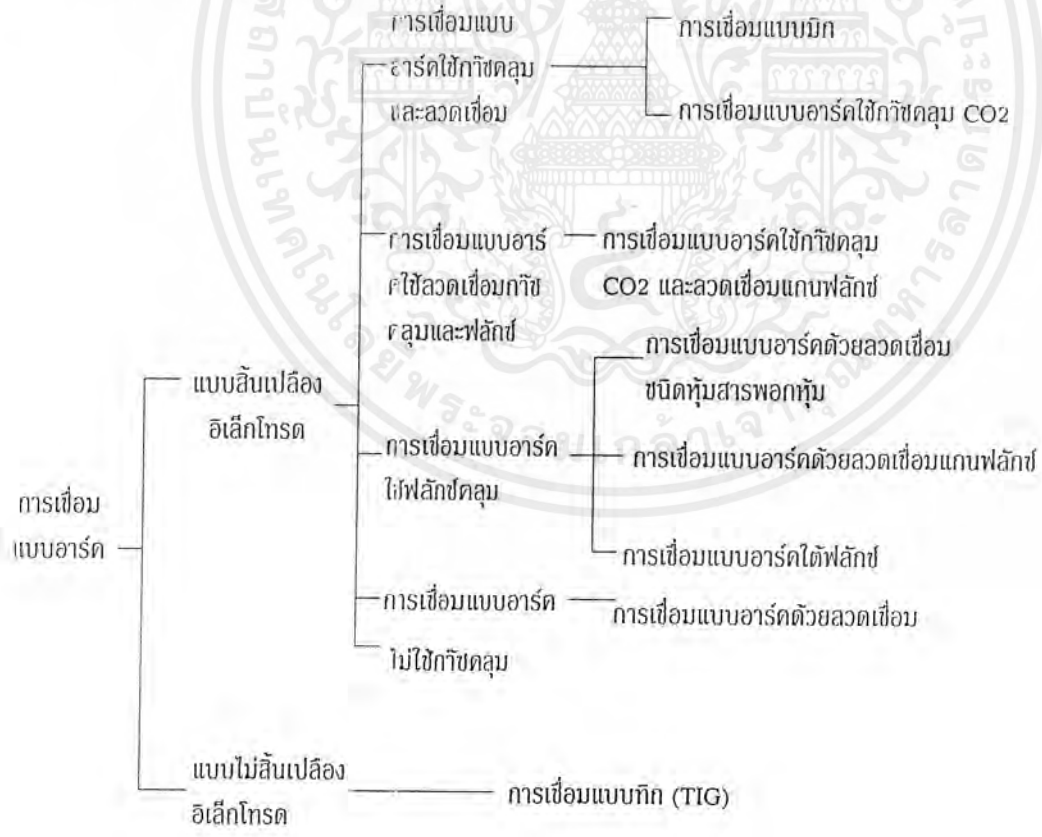
การเชื่อมโลหะสามารถทำได้หลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็จะเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทอย่างกว้างๆ คือ

1.2.1. การเชื่อมโดยโลหะถูกหลอมละลาย การเชื่อมแบบนี้ส่วนที่เป็นรอยต่อจะถูกหลอมละลายด้วยความร้อนจากการอาร์ค (arc) หรือเปลวก๊าซติดไฟ (inframable gas) การเชื่อมในลักษณะนี้ไม่จำเป็นจะต้องใช้แรงกดกับรอยเชื่อม

1.2.2. การเชื่อมโดยใช้แรงกด การเชื่อมแบบนี้จะใช้ความร้อนบวกกับการกด เพื่อที่จะทำให้โลหะเชื่อมติดกัน

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

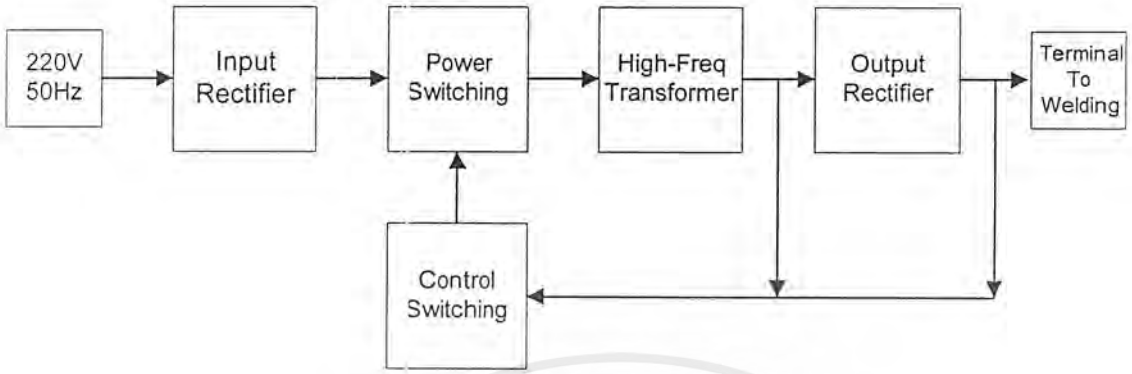
เครื่องเชื่อมที่ได้จัดทำขึ้นนั้นจะถูกแยกไว้ในประเภทแรก คือ เป็นการเชื่อมที่ใช้การหลอมละลายโลหะด้วยความร้อนจากการอาร์ค ซึ่งลักษณะการใช้งานของเครื่องเชื่อมนี้สามารถแบ่งย่อยออกตามสภาพแวดล้อม และชนิดของของลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมได้ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงลักษณะการใช้งานในแบบต่างๆ ของเครื่องเชื่อมแบบอาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครื่องเชื่อม



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์

การทำงานของเครื่องเชื่อมเริ่มจากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ 50 เฮิร์ท ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงค่าสูง ประมาณ 311 โวลท์ โดยวงจรเรียงกระแสและกรองกระแส จากนั้นนำไฟกระแสตรงที่ได้มาสวิทซ์ที่ความถี่สูงโดยวงจรเพาเวอร์สวิทซ์ สำหรับเครื่องเชื่อมที่จัดทำขึ้นนี้จะใช้วงจรเพาเวอร์สวิทซ์แบบฮาล์ไฟ-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ พัลส์ที่ได้จากการสวิทซ์จะยังคงมีแรงดันค่าสูงเกินกว่าแรงดันใช้งานอยู่ การลงแรงดันลงสามารถทำได้โดยการส่งพลังงานผ่านหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งจะเป็นการแยกส่วนระหว่างส่วนของแรงดันสูงที่เชื่อมต่อกับไลน์กับส่วนใช้งานแรงดันต่ำได้อีกด้วย จากนั้นก็นำพัลส์ที่ได้จากการคัปปลิ้งผ่านหม้อแปลงมาทำการเรียงกระแสให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงอีกครั้ง เนื่องมาจากการเชื่อมโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้จุดเชื่อมมีคุณภาพสูงกว่าการเชื่อมแบบไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อเครื่องเชื่อมทำงานจะมีการป้อนกลับค่าแรงดันจากขดลวดทุติยภูมิ มายังวงจรควบคุมการสวิทซ์ของวงจรเพาเวอร์สวิทซ์ โดยผ่านการเรียงกระแสให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเช่นกัน โดยวงจรควบคุมนี้จะทำการปรับคาบเวลาการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟสที่วงจรเพาเวอร์สวิทซ์ ตามความต้องการของโหลด

เนื่องจากพื้นฐานของเครื่องเชื่อมก็คือวงจรสวิตชิ่ง ซึ่งโครงสร้างของวงจรสวิตชิ่งนี้ก็สามารถแบ่งออกไปได้หลายชนิด เพื่อใช้ในงานที่แตกต่างกัน ทั้งยังมีส่วนประกอบอื่นที่สำคัญ ซึ่งรายละเอียดและข้อมูลต่างๆ ได้เรียบเรียงไว้ตามลำดับดังนี้

2.1 วงจรเรียงกระแสและกรองกระแส

วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสนับว่าเป็นส่วนสำคัญของวงจรในวงจรในส่วนอินพุท และเป็นตัวกำหนดค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์และวงจรกรองสัญญาณรบกวนความถี่วิทยุจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำคัญ 2 ตัวคือ ตัวเก็บประจุกรองกระแสและไดโอดเรียงกระแส ซึ่งมีหน้าที่หลักในการแปลงแรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรงเพื่อเป็นแรงดันอินพุตให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป

2.1.1. ไดโอดเรียงกระแส

การเลือกใช้ไดโอดเรียงกระแสให้เหมาะกับการใช้งานควรมีข้อควรพิจารณาดังนี้

2.1.1.1. ค่ากระแสกระชาก ; I(fsm)

กระแสกระชากสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอดเรียงกระแสจะเกิดขึ้นในขณะที่เปิดเครื่องเมื่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ค่ากระแสกระชากสูงสุดคำนวณได้จาก

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

เมื่อ Vp คือ แรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับอินพุต

ERS คือ ค่าความต้านทานแฝง ในตัวเก็บประจุค่าต่ำสุด

Rs คือ ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส

โดยทั่วไปแล้วไดโอดเรียงกระแสจะมีค่าอัตราทนกระแสกระชาก I(fsm) ประมาณ 20 ถึง 30 เท่า ของอัตราทนกระแสเฉลี่ยขณะถูกไบแอสตรงของมัน โดยไดโอดที่ใช้จะต้องมีอัตราทนกระแสกระชากมากกว่าค่ากระแสที่คำนวณได้จากสมการ ค่ากระแสกระชากอาจลดลงได้โดยการเพิ่มค่าของ Rs แต่จะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากเกิดกำลังสูญเสียในตัวต้านทาน

2.1.1.2. ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรง ; I(frm)

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจรเรียงกระแส จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุกระแสมีการเก็บประจุอีกครั้งหลังจากคายประจุออกไปให้โหลด ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรงของไดโอดเรียงกระแส สามารถหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุกรองกระแส

2.1.1.3. ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบแอสตรง ; I(fm)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4. อัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด ; V(rrm)

โดยปกติวงจรเรียงกระแสจะต้องต่อเข้ากับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ดังนั้นอัตราทนแรงดันไบแอสกลับของไดโอด ควรต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ แต่ควรเผื่อค่าแรงดันไบแอสกลับ ให้มีค่ามากกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับเอาไว้ด้วย สำหรับกรณีที่อาจเกิดทรานเซียนต์ขึ้นในสายไฟสลับ

2.1.2. ตัวเก็บประจุกรองกระแส

ตัวเก็บประจุมีหน้าที่ในการกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากเรียงกระแสของไดโอดให้มีค่าเรียบมากขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอตามที่วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้องการ ตัวเก็บประจุที่ใช้นี้จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5 ไมโครฟารัดต่อวัตต์ แต่ในการใช้งานจริงควรพิจารณาเลือกตัวเก็บประจุที่มีปัจจัยดังต่อไปนี้

2.1.2.1. อัตราทนกระแสระลอก (RMS Ripple Current Rating)

กระแสระลอกในตัวเก็บประจุกรองกระแสเกิดจากการชาร์จประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุเอง ซึ่งค่ากระแสนี้จะเป็นผลให้ตัวเก็บประจุร้อนและอายุการใช้งานลดลง การเลือกใช้งานตัวเก็บประจุกรองกระแสจะต้องให้มีค่าอัตราทนกระแสระลอกมากกว่าค่ากระแสระลอกที่คำนวณได้ เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนกับตัวเก็บประจุขณะที่ทำงาน ในกรณีที่กระแสระลอกมีค่าสูงการใช้ตัวเก็บประจุขนานกันหลายตัวจะช่วยเพิ่มอัตราทนกระแสระลอกให้ตัวเก็บประจุได้

2.1.2.2. แรงดันกระเพื่อมที่เอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส (Ripple Voltage)

การกระเพื่อมที่แรงดันเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแสจะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ การกระเพื่อมที่แรงดันเอาท์พุททำให้แรงดันที่อินพุทของคอนเวอร์เตอร์มีค่าไม่คงที่ หากยอมให้แรงดันกระเพื่อมนี้มีค่ามากก็จะลดความสามารถในการคงค่าแรงดันที่เอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ลงไป ปกติการออกแบบวงจรกระแสจะยอมให้มีค่าแรงดันกระเพื่อมไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันเอาท์พุท

ค่าของตัวเก็บประจุกรองกระแส C สามารถคำนวณได้จาก

$$C = \frac{I_e \Delta t}{\Delta V_{ripple}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Ie คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส
คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการคายประจุ
คือ ค่อยอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อม

2.1.2.3. ช่วงเวลาโฮลด์อัพ (Holdup Time)

ช่วงเวลาโฮลด์อัพ เป็นช่วงเวลาที่วงจรสวิตชิ่งยังสามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุทได้ตามปกติที่โหลดสูงสุด เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับหรือค่าแรงดันไฟสลับมีค่าต่ำกว่ากำหนดและเพื่อให้วงจรสวิตชิ่งนี้มีค่าเวลาโฮลด์อัพ ตัวเก็บประจุที่ใช้จะต้องมีค่ามากพอที่จะจ่ายกระแสให้กับคอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ

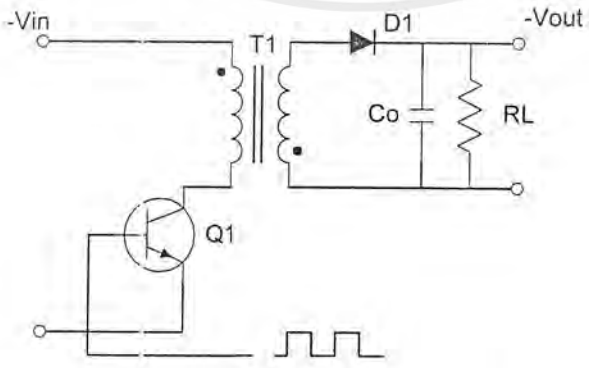
2.1.2.4. อัตราทนแรงดัน (Voltage Rating)

ตัวเก็บประจุกรองกระแสต้องทนแรงดันได้อย่างต่ำที่ค่าแรงดันไฟตรงเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส แต่เพื่อความปลอดภัยควรเผื่อค่าอัตราทนแรงดันไว้อย่างน้อยที่ค่าแรงดันไฟตรงสูงสุดที่เป็นไปได้ของคอนเวอร์เตอร์ เช่น ถ้าแรงดันไฟสลับอินพุทมีค่าอยู่ในช่วง 187 ถึง 264 โวลต์ควรมีค่าอัตราทนแรงดันอย่างต่ำที่ 400 โวลต์

2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์

วงจรคอนเวอร์เตอร์นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุด มีหน้าที่ลดทอนแรงดัน ไฟกระแสตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำและสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์



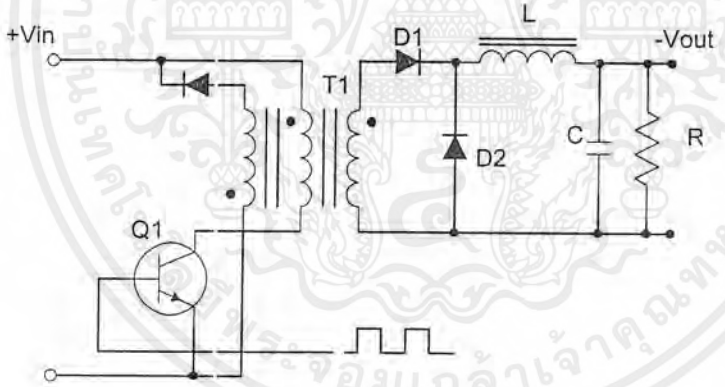
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตซ์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T1 จะกำหนดขดไพรมารี่และเซคั่นดารี่ให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q1 นำกระแสไดโอด D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส ทำให้มีการสะสมพลังงานที่ขดไพรมารี่ของหม้อแปลง T1 แทน เมื่อ Q1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดไพรมารี่และเซคั่นดารี่ D1 ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมไนขดไพรมารี่ของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขอเวคั่นดารี่ และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาท์พุท Q1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าของแรงดันที่อินพุท

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก

2.2.2. ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.4 แสดงวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

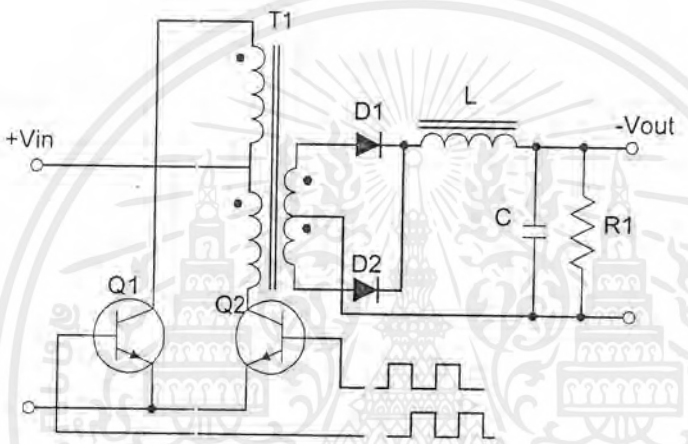
ในรูป 2.4 จะเห็นได้ว่าฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่หม้อแปลง T1 ในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะกำหนดไพรมารี่และขดเซคั่นดารี่ให้มีเฟสตรงกันดังนั้นเมื่อ Q1 นำกระแส ไดโอด D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง แต่ D2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส กระแสจึงไหลผ่านไดโอด D1 และตัวเหนี่ยวนำ L0 ไปยังตัวเก็บประจุเอาท์พุท C0 และโหลดได้ขณะที่มีกระแสไหลผ่าน L0 จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วยเมื่อ Q1 หยุดนำกระแสไดโอด D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ ทำให้ไม่มีกระแสไหลจากขดเซคั่นดารี่ สนามแม่เหล็กใน L0 จะยุบตัวทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันอยู่ ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D2 ออกไปยังโหลดได้ จะเห็นได้ว่าจะมีกระแสไหลผ่านโหลดได้อย่างต่อเนื่องทั้งในช่วงที่ Q1 นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาท์พุทต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ใช้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกันกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจะทำให้ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์นั้นมีราคาสูงกว่า

2.2.3. พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์



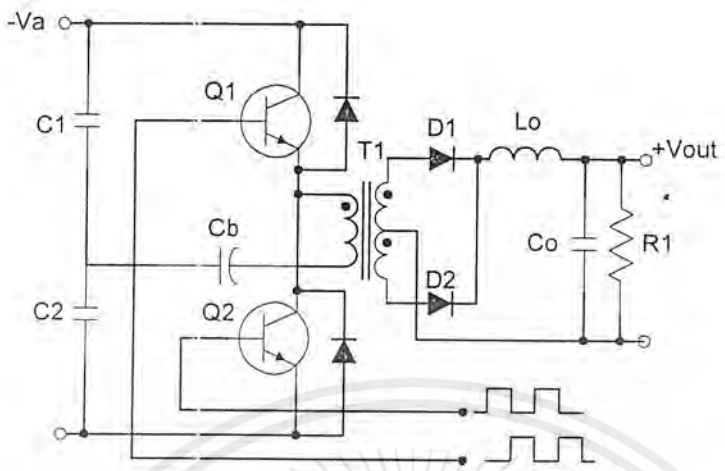
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไป แต่มีข้อเสียคือ มักเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสจะทำให้ลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้น พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับวงจร สวิตชิ่งที่ต้องการกำลังงานสูงๆ

จากรูปที่ 2.5 Q1 และ Q2 จะกลับกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลาการทำงานเมื่อ Q1 นำกระแส D1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ แต่ D2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงและนำกระแสผ่าน L0 ไปยังโหลดได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นโหลดจึงมีกระแสไหลต่อเนื่องได้ตลอดเวลากระแสที่ได้ทางเอาท์พุทจึงค่อนข้างเรียบ อย่างไรก็ตาม เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการสร้างพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4. ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์



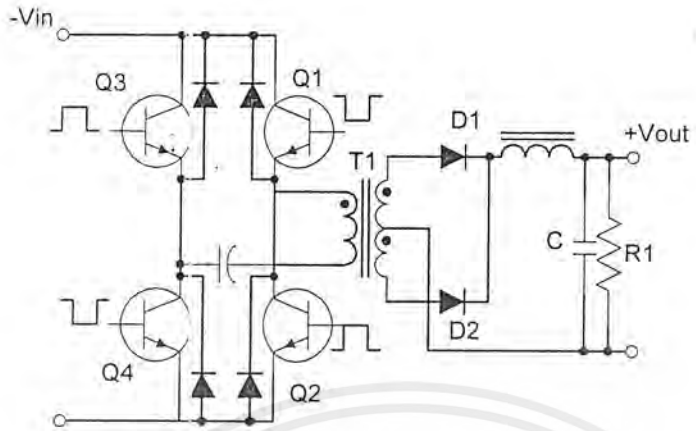
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ในตระกูลเดียวกับพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ และให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีของฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ก็คือ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแสน้อยกว่าคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวมาแล้ว และลดการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์ได้

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าหากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งนำกระแส ค่าแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ตัวที่เหลือจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุทเท่านั้น เมื่อ Q1 และ Q2 สลับกันนำกระแส ผลที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับการทำงานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นค่าแรงดันตกคร่อมขณะทำงานของขดไพรมารี่จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุท เนื่องจากผลของการต่อตัวเก็บประจุ C1 และ C2 เพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน กระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารี่จึงมีค่าสูง ซึ่งเป็นการจำกัดกำลังงานสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ โดยกำลังสูงสุดที่ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5. ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่ามีเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรทั้งหมดถึง 4 ตัว แต่จะทำงานสลับกันเป็นคู่ ๆ โดย Q1 จะนำกระแสพร้อมกับ Q4 และ Q2 จะนำกระแสพร้อมกับ Q3 กระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารี่ของหม้อแปลงจะมีลักษณะเช่นเดียวกับฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ แต่ข้อได้เปรียบของฟลู-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ก็คือ ขณะทำงานที่ขดไพรมารี่จะมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับค่าแรงดันอินพุทกระแสที่ไหลผ่านขดไพรมารี่จึงมีค่าต่ำกว่า ฟลู-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ทำให้สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงกว่า ดังนั้นวงจรสวิตชิ่งที่ต้องการกำลังงานสูงๆ ตั้งแต่ 500 วัตต์ ถึง 1000 วัตต์ ทำให้มักนิยมใช้คอนเวอร์เตอร์แบบฟลู-บริดจ์เป็นหลัก

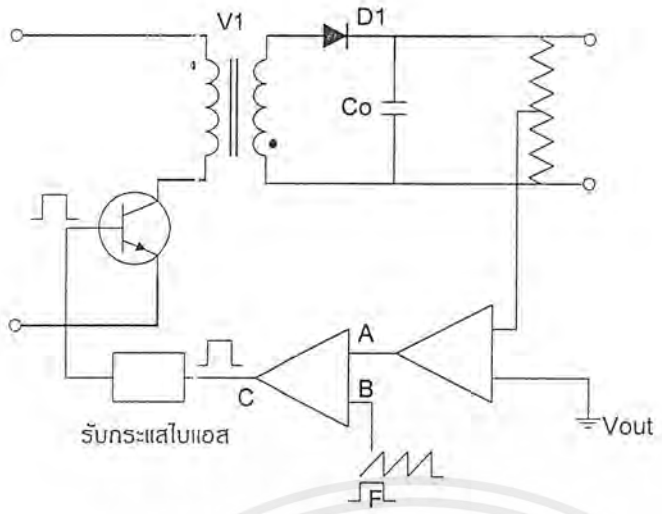
2.3 วงจรควบคุม (Controlled Switching Circuit)

วงจรคอนเวอร์เตอร์ทุกแบบ จะคงค่าแรงดันเอาท์พุตได้โดยการควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรควบคุมจะใช้เทคนิคพัลซ์วิดท์มอดดูเลชั่นเป็นหลัก การใช้เทคนิคพัลซ์วิดท์มอดดูเลชั่นเพื่อควบคุมช่วงเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์สามารถทำได้ 2 ลักษณะการทำงานของวงจรควบคุม คือ ในโหมดควบคุมจากแรงดันและโหมดควบคุมจากกระแส

2.3.1. วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน

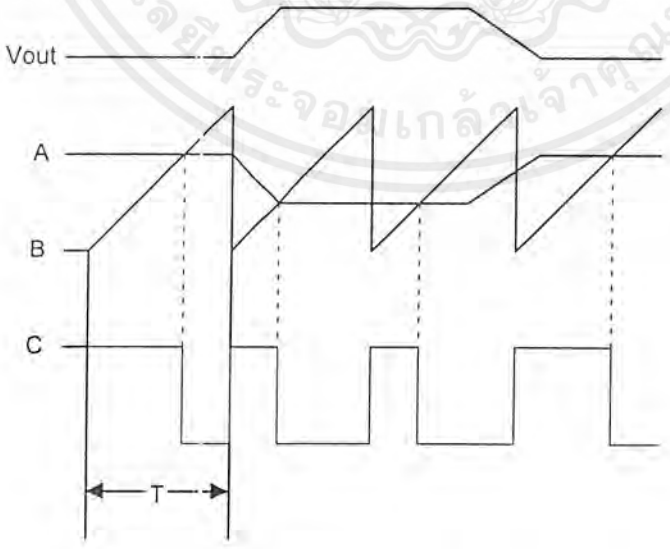
การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้ จะอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่เอาท์พุทมาทำการควบคุมช่วงเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อการคงค่าแรงดันเอาท์พุทเป็นหลักวงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันแสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรพื้นฐานในโหมดควบคุมแรงดัน

จากรูปที่ 2.8 วงจรควบคุมอาศัยการป้อนกลับของค่าแรงดันเอาท์พุทนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของวงจรเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาท์พุท ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่าง (E/A) ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจรพัลซ์วิดท์มอดดูเลชั่น โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่างจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันรูปฟันเลื่อย เอาท์พุทที่ได้จากวงจรพัลซ์วิดท์มอดดูเลชั่นจะมีลักษณะเป็นพัลซ์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อยและมีความกว้างของพัลซ์แปรเปลี่ยนไปตามผลของการมอดดูเลชั่น ค่าความกว้างของพัลซ์นี้เองจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์



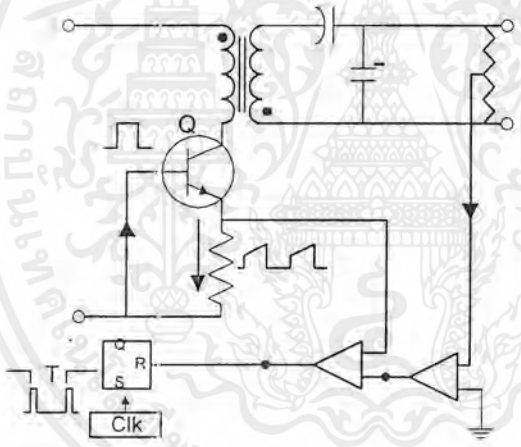
รูปที่ 2.9 แสดงรูปสัญญาณที่จุดต่างๆ ในวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่างที่ขาอินเวอร์ติ้ง ผลแตกต่างของแรงดันเอาท์พุทและแรงดันอ้างอิงที่จุด A จึงมีลักษณะกลับเฟสอยู่ 180 องศา กล่าวคือ เมื่อแรงดันเอาท์พุทมีค่ามากขึ้นแรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลง ความกว้างของพัลซ์ที่เอาท์พุทของวงจรพัลซ์วิดท์มอดดูเลชั่นจึงมีค่าลดลงด้วย และทำให้ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าลดลงเช่นกัน ถ้าแรงดันเอาท์พุทมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างของพัลซ์ที่เอาท์พุทของวงจรพัลซ์วิดท์มอดดูเลชั่นจึงมีค่าเพิ่มขึ้นช่วงเวลาการนำกระแสก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลให้คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุทไว้ได้

2.3.2. วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากกระแส

การคงค่าแรงดันเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ด้วยวงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแสมีข้อดีมากกว่าโหมดควบคุมแรงดัน แต่ยังคงใช้เทคนิคพัลซ์วิดท์มอดดูเลชั่นเช่นเดียวกัน ดังแสดงวงจรพื้นฐานในรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมกระแส

เริ่มแรกพิจารณาว่า เอาท์พุตของวงจรขยายความแตกต่างมีค่าเป็น Ver มีค่าคงที่เมื่อวงจรทำงาน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีคาบเวลาคงที่ไปกระตุ้นที่ขา S ของวงจรแลทช์ ขา Q จึงมีสถานะเป็น "1" เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 ก็จะเริ่มนำกระแสทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและ Rs ทำให้เกิดแรงดัน Vs ตกคร่อม Rs Vs ที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับ Ver โดยวงจรเปรียบเทียบ เมื่อค่าของ Vs มีค่าเพิ่ม มากกว่า Ver เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบจะมีสถานะ"1" และไปกระตุ้นขา R ของวงจรแลทช์ ทำให้ขา Q มีสถานะเป็น "0" และทำให้ Q1 หยุดนำกระแส จนกว่าที่ขา S ของวงจรแลทช์จะได้รับการกระตุ้นจากสัญญาณนาฬิกาอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าความกว้างของเอาท์พุตพัลซ์ที่ขา Q ของวงจรแลทช์จะถูกควบคุมโดย Vs นั่นเอง ถ้าค่าแรงดันอินพุตของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงดัน Vs จะมีค่าเพิ่มมากกว่า Ver ทำให้ความกว้างของเอาท์พุตพัลซ์ลดลง ทรานซิสเตอร์นำกระแสน้อยลง ในทางกลับกันถ้าแรงดันเอาท์พุตของคอนเวอร์เตอร์มีค่าลดลง Vs จะเพิ่มขึ้นได้ช้า ความกว้างของเอาท์พุตพัลซ์เพิ่มขึ้น Q1 ก็นำกระแสเพิ่มมากขึ้นจะเห็นได้ว่าเมื่อโหลดคงที่ คอนเวอร์เตอร์สามารถคงค่าแรงดันเอาท์พุตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอินพุตได้ โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนกลับจากแรงดันเอาท์พุตเลยทำให้คอนเวอร์เตอร์สามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็ว เมื่อดูจากวงจรรวมคือมีส่วนของวงจรขยายความแตกต่าง เมื่อแรงดันเอาท์พุตมีค่าลดลง เอาท์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง จะมีค่ามากขึ้นทรานซิสเตอร์ก็จะนำกระแสมากขึ้นเพื่อให้ Vs มากกว่าแรงดันเอาท์พุตของวงจรขยายความแตกต่าง ในทางกลับกัน เมื่อแรงดันเอาท์พุตของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เอาท์พุตของวงจรขยายความแตกต่างก็จะมีค่าลดลง Q1 จึงนำกระแสน้อยลง ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์จะสามารถคงค่าแรงดันที่เอาท์พุตไว้ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด

2.4 วงจรขับ

2.4.1. วงจรขับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

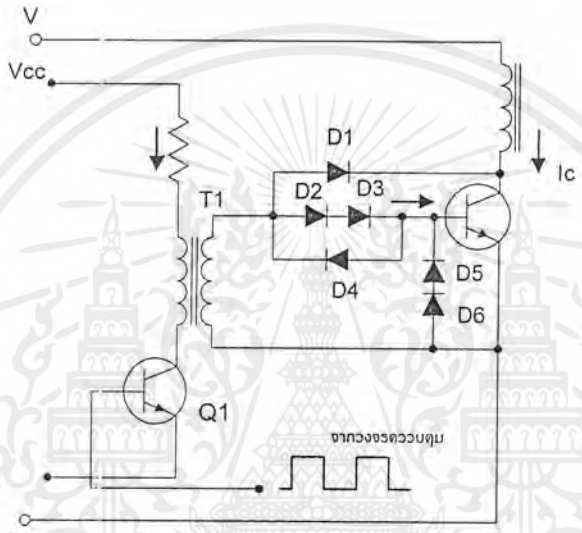
ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ต้องกระตุ้นการทำงานโดยการให้กระแสไปแอสที่ขาเบส เพื่อให้นำกระแสและหยุดนำกระแสได้ และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการลดประจุสะสมที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส จะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระแสไบแอสที่ให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการจัดวงจรขับกระแสไบแอสที่ถูกต้องจะช่วยลดกำลังงานสูญเสียให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้เช่นกัน

วงจรขับกระแสไบแอสนั้นทำได้ 2 ลักษณะคือ วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่ (Fixed Base Drive) และวงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเบสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเล็กเตอร์ (Proportional Base Drive) สำหรับคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และมีกำลังต่ำกว่า 500 วัตต์ มักนิยมใช้วงจรขับด้วยกระแสคงที่โดยวงจรขับกระแสทำให้กระแสเบสมีค่าคงที่และมากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสถึงจุดอิ่มตัวแต่วิธีนี้จะเกิดประจุสะสมในทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแสค่อนข้างสูงและใช้เวลานานในการหยุดนำกระแส ในขณะที่วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนนั้น ค่ากระแสที่เบสจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่านคอลเล็กเตอร์ ประจุสะสมจะเกิดขึ้นน้อยและการหยุดนำกระแสจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่วงจรค่อนข้างยุ่งยากมักใช้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่มีกำลังสูงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.1. วงจรขับกระแสไบแอสโดยใช้หม้อแปลงและเบเกอร์แคลมป์

เบเกอร์แคลมป์ เป็นวงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่และจัดให้ไดโอดทำงานร่วมกับทรานซิสเตอร์เพื่อป้องกันการเกิดประจุสะสม เมื่อประจุสะสมเกิดขึ้นน้อยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแสได้อย่างรวดเร็ว การใช้หม้อแปลงในการขับกระแส หม้อแปลงจะเป็นแหล่งจ่ายกระแสสูงให้กับวงจรได้ และเนื่องจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต้องการแรงดันตกคร่อมที่ขาเบสและอีมิตเตอร์ประมาณ 1 ถึง 1.8 โวลต์ ดังนั้นหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบ 10:1 ถ้ามีแรงดันที่ขดไพรมารี่ค่า 10 ถึง 18 โวลต์ และกระแสเพียง 300 มิลลิแอมป์ หม้อแปลงจะให้กระแสได้ถึง 3 แอมป์ ดังแสดงวงจรในรูปที่ 2.11

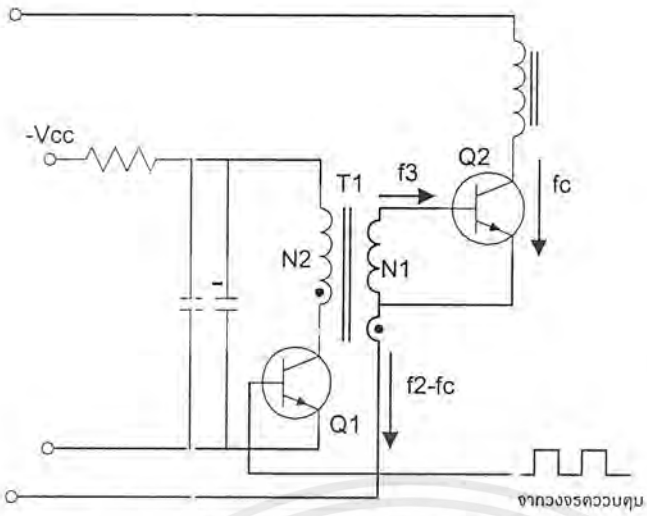


รูปที่ 2.11 แสดงวงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสคงที่ แบบเบเกอร์แคลมป์

2.4.1.2. วงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเล็กเตอร์

เป็นวงจรขับกระแสไบแอสที่นิยมใช้ในคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังงานสูงๆ วงจรขับกระแสแบบนี้จะลดช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส ด้วยการให้กระแสไบแอสเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ไหลผ่านคอลเล็กเตอร์เพื่อเป็นการลดประจุสะสมให้น้อยที่สุด ขณะที่มีแรงดันตกคร่อมตัวมันต่ำที่สุดขณะนำกระแส จากนั้นจึงให้กระแสไบแอสกลับค่าสูงๆ เพื่อหยุดการนำกระแสอย่างรวดเร็วต่างจากการใช้เบเกอร์แคลมป์ที่ป้องกันไม่ให้ประจุสะสมเกิดขึ้นภายในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ แต่มีค่าแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะนำกระแส ดังแสดงวงจรในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงวงจรขับกระแสไบแอสด้วยกระแสเป็นสัดส่วนกับกระแสคอลเล็กเตอร์

2.4.2. วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

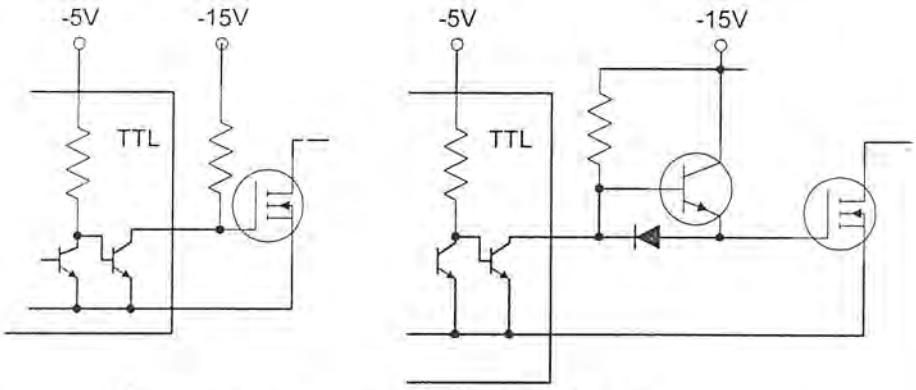
การขับเพาเวอร์มอสเฟต ให้นำกระแสนั้นแตกต่างจากการขับกระแสไบแอส ในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ สำหรับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กระแสจะไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอีมิตเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อ มีกระแสไบแอสไหลผ่านที่เบสและอีมิตเตอร์ แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อแรงดันตกคร่อมที่ขาเกตและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) แต่ใช้กระแสต่ำ การขับเพาเวอร์มอสเฟต ให้นำกระแสจึงทำได้ง่ายและยุ่งยากน้อยกว่าเพาเวอร์ทรานซิเตอร์มาก

2.4.2.1. วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย TTL

การขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย ไอซี TTL โดยตรงนั้นสามารถทำได้แต่ไอซี TTL มีขีดจำกัดในการจ่ายกระแสและรับกระแสที่เอาท์พุต ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต และทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียสูงได้ การต่อวงจรขับชนิดนี้จึงจำเป็นต้องเพิ่มตัวอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อช่วยในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



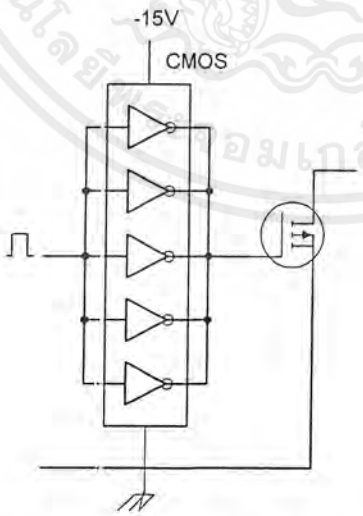
รูปที่ 2.13 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี TTL แบบต่างๆ

รูปที่ 2.13 (ก) แสดงวงจรขับด้วยไอซี TTL ที่มีเอาท์พุทเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด การต่อพูลอัพรีซิสเตอร์เข้าช่วย เพื่อให้มีแรงดันสูงพอที่จะขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานและการหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้เร็วขึ้น แต่ความเร็วขณะเริ่มนำกระแสยังมีค่าจำกัดอยู่เนื่องจากกระแสยังถูกจำกัดด้วยพูลอัพรีซิสเตอร์

รูปที่ 2.13 (ข) ทรานซิสเตอร์จะช่วยในการจ่ายกระแสได้มากขึ้นทำให้ความเร็วในการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตดีขึ้น และลดกำลังสูญเสียในตัว ไอซี TTL ด้วย

รูปที่ 2.13 (ค) วงจรขับจะเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาอีกหนึ่งตัวเพื่อให้การคายประจุที่ขาเกตเป็นไปอย่างรวดเร็วและทำให้ความเร็วขณะเริ่มหยุดนำกระแสเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น

2.4.2.2. วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS



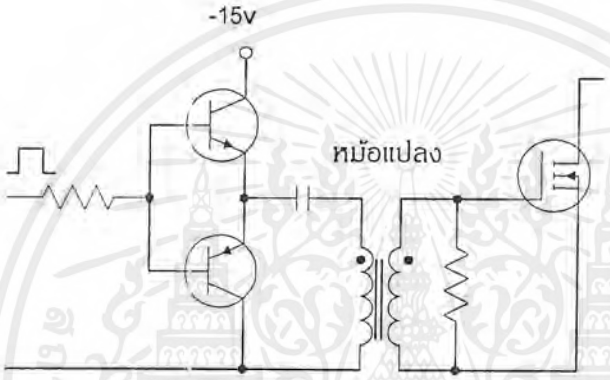
รูปที่ 2.14 แสดงการขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี CMOS

36929
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาเวอร์มอสเฟตสามารถต่อโดยตรงเข้ากับไอซี CMOS ได้ ในส่วนเอาท์พุทของไอซี CMOS จะเป็นเฟตต่อกันในลักษณะอาอมพลีเมนตารี ซึ่งสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 ถึง 8 โวลต์ โดยทั่วไปจะใช้ 12 ถึง 15 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมในการขับเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ต้องนำกระแสสูงๆ การต่อ CMOS ในลักษณะขนานกันจะสามารถเพิ่มกระแสที่ขาเกต และทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

2.4.2.3. วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง

ในกรณีของคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์ วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตัวบนและตัวล่างจะต้องมีการแยกกราวด์ออกจากกัน จึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงหรือในกรณีที่ต้องการขับเพาเวอร์มอสเฟตมากกว่า 1 ตัว พร้อมกันก็อาจต้องใช้หม้อแปลงช่วย

การต่อหม้อแปลงพัลซ์เข้ากับขาเกตและวงจรควบคุมโดยตรงอาจเกิดปัญหาการเลื่อนระดับของแรงดันเอาท์พุทที่หม้อแปลง และอาจมีปัญหาในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตได้ การต่อวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลงจึงควรทำในลักษณะดังรูปที่ 2.15

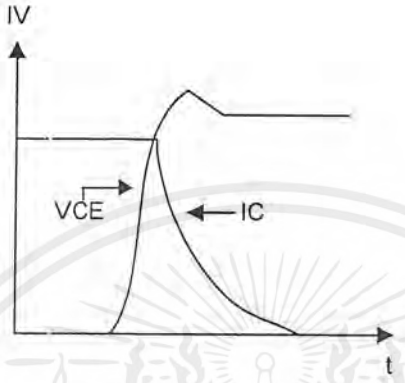
2.5 วงจรสนับเบอร์ (Snubber Network)

วงจรสนับเบอร์ เป็นส่วนที่พิ่มเติมเข้ามาในวงจรคอนเวอร์เตอร์ เพื่อลดการเกิดกำลังสูญเสียและป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรขณะที่ทำงานปกติ วงจรสนับเบอร์นี้อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส และสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน วงจรสนับเบอร์ทั่วไปจะประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ไดโอดเรียกว่าวงจร RCD สนับเบอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

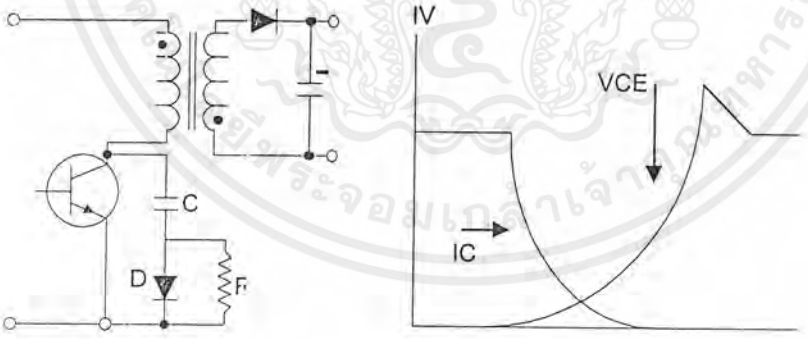
2.5.1. วงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส

ในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส ก่อนที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะหยุดนำกระแสนั้น กระแสจะลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่แรงดันเพิ่มขึ้นสู่ค่าแรงดันอินพุตอย่างรวดเร็วดังรูป 2.16



รูปที่2.16 แสดงลักษณะกระแสและแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์

เพื่อลดการสูญเสียในช่วงนี้สามารถทำได้โดยต่อวงจรสนับเบอร์เข้ากับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์และอีมิตเตอร์ให้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงได้ทันกัน ซึ่งจะทำให้กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ ลักษณะการต่อวงจรสนับเบอร์สามารถทำได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงวงจรสนับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส

การทำงานของวงจรสนับเบอร์ช่วงเริ่มหยุดนำกระแสจะเป็นไปได้ดังนี้คือ เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 เริ่มหยุดนำกระแส แรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสบางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ C1 และ ไดโอด D1 ของวงจรสนับเบอร์ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม C1 ด้วย แรงดันที่ตกคร่อม C1 จะทำให้แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นถ้าให้ C1 มีค่ามากพอ การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่คอลเล็กเตอร์ก็จะถูกหน่วงออกไปเพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงจนมีค่าน้อยๆ ได้ทันกัน และจะลดการเกิดกำลังสูญเสียในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้

ขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มนำกระแสอีกครั้ง C1 จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R1 ทิ้งไป แรงดันตกคร่อม C1 ก็จะลดลงต่ำได้อีกครั้งและสามารถทำงานได้ในช่วงต่อไป ค่าของ C1 และ R1 ที่เหมาะสมหาได้จาก

$$C1 = \frac{(I_P * t0\pi)}{2 * V_{in}}$$

$$R1 = \frac{t_{on(\min)}}{2 * 3 * C_1}$$

เมื่อ Ip คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

Vin คือ ค่าแรงดันอินพุตของวงจรคอนเวอร์เตอร์

ton คือ ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

toff คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

การคายประจุของ C1 ทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในตัว R1 สูง ดังนั้นตัวต้านทาน R1 จะต้องทนกำลังได้สูง โดยกำลังสูญเสียใน R1 หาได้จาก

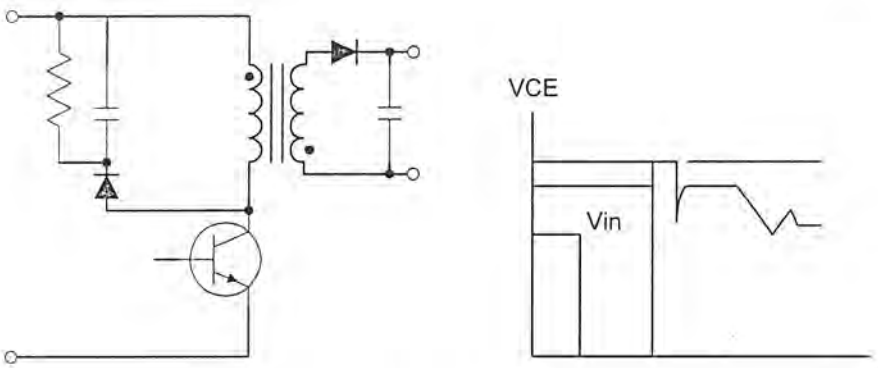
$$P_d = \frac{C_1 (2V_{in})^2}{2T}$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

2.5.2. วงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มักมีสาเหตุที่เกิดมาจากการทำงานเกินพิกัดปลอดภัย RBSOA แรงดันสไปค์ขณะหยุดนำกระแสโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟลายแบคและฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ มักทำให้ค่าของแรงดันที่ตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแสมีค่าสูงเกินค่าแรงดันสูงสุดที่มันจะทนได้ และเกิดการเสียหายขึ้น วงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกินจึงมีหน้าที่ป้องกันค่าแรงดันสไปค์ที่เกิดขึ้นไม่ให้เกินค่าความปลอดภัยของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ การต่อวงจรสนับเบอร์สามารถต่อได้ดังรูป 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงวงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน

การทำงานของวงจรสนับเบอร์ป้องกันแรงดันเกินเป็นดังนี้คือ ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุ C จะถูกชาร์จประจุผ่านไดโอด D จากค่าแรงดันสไปค์ค่าของ R1 จะทำให้แรงดันตกคร่อม C มีค่าต่ำกว่าแรงดันสไปค์ และมีค่าคงที่ตลอดช่วงของการเกิดแรงดันสไปค์ ค่าแรงดันสูงสุดที่คอลเล็กเตอร์ขณะเกิดสไปค์จึงถูกกั้นไว้ด้วยแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C และเนื่องจากแรงดันสไปค์จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นขณะที่แรงดันสไปค์มีค่าต่ำลง C จะคายประจุออกมาผ่านตัวต้านทาน R แรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์จะกลับสู่ค่าแรงดันตามการทำงานปกติ

วงจรสนับเบอร์นี้ทำงานโดยการถ่ายเทพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำแฝงอันเป็นตัวทำให้เกิดแรงดันสไปค์ ไปไว้ที่ตัวเก็บประจุ C แทน นั่นคือ

$$\frac{1}{2}CV_e^{\,2} = \frac{1}{2}L_i I_p^{\,2}$$

เนื่องจาก Vc จะมีค่าได้ไม่เกิน Vceo-Vclamp ดังนั้น

$$C = \frac{L_i I_p^{\,2}}{(V_{ceo} - V_{clamp})^2}$$

เมื่อ Li คือ ค่าความเหนี่ยวนำแฝงที่เกิดจากฟลักซ์รั่วของขดไพรมารี่

Ip คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

Vceo คือ อัตราทนแรงดันตกคร่อมสูงสุดของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

Vclamp คือ ค่าแรงดันสูงสุดที่ยอมให้เกิดได้เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของตัวต้านทาน R หาได้จาก

$$R = \frac{t_{off(\min)}}{2*3*C}$$

ค่ากำลังสูญเสียใน R สามารถหาได้จาก

$$P_d = \frac{\left[(1/2)L_t I_p{}^2\right]}{T}$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

toff คือ ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

2.6 อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

เนื่องจากวงจรคอนเวอร์เตอร์มีการทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 20 กิโลเฮิร์ทขึ้นไป และมีการสูญเสียกำลังงานทั้งในขณะนำกระแสและในขณะที่เปลี่ยนสภาวะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องทำงานอยู่ในย่านแรงดันสูง ยิ่งทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น เพราะฉะนั้นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้อยู่ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ควรจะต้องมีทั่วไปคือ มีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำ มีช่วงเวลาคือตัวสั้น และสามารถทนกำลังได้สูง ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในวงจรคอนเวอร์เตอร์มีดังนี้

2.6.1. ฟาสต์-รีคัพเวอรี่และอุลตร้าฟาสต์-รีคัพเวอรี่ไดโอด

ฟาสต์-รีคัพเวอรี่ไดโอดมีช่วงเวลาคืนตัวประมาณ 200 ถึง 750 นาโนวินาที ซึ่งสั้นกว่าซิลิกอนไดโอดมากและฟาสต์-รีคัพเวอรี่ไดโอดมีอัตราทนแรงดันไบแอสกลับได้สูงถึง 1000 โวลท์ ส่วนอุลตร้าฟาสต์-รีคัพเวอรี่ไดโอดจะมีช่วงเวลาคืนตัวประมาณ 25 ถึง 100 นาโนวินาที และมีอัตราทนแรงดันไบแอสกลับได้สูงถึง 1000 โวลท์เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสของไดโอดทั้งสองชนิดมีค่าอยู่ใกล้เคียงกันคือ ประมาณ 0.6 ถึง 1.5 โวลท์

2.6.2. ชอตต์กี้ไดโอด

ชอตต์กี้ไดโอดมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสค่อนข้างต่ำ ประมาณ 0.5 โวลท์ จึงเหมาะสมกับคอนเวอร์เตอร์ที่มีค่าแรงดันเอาท์พุตต่ำๆ และกระแสสูง เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในที่แตกต่างจากฟาสต์-รีคัพเวอรี่และอุลตร้าฟาสต์-รีคัพเวอรี่ไดโอด ชอตต์กี้ไดโอดจะไม่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุสะสมภายในตัวมันขณะนำกระแส ช่วงเวลาคืนตัวของชอตต์กี้ไดโอดจึงมีค่าสั้นมาก โดยมีค่าน้อยกว่า 10 นาโนวินาที และอาจถือได้ว่าชอตต์กี้ไดโอดไม่มีกำลังสูญเสียในช่วงนี้เลยก็ได้

ชอตต์กี้ไดโอดมีข้อเสียอยู่ 2 ประการคือ ชอตตีกี้ไดโอดมีอัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุดมีค่าน้อย และมีกระแสรั่วไหลสูง ยังมีปัญหาเมื่อนำมาใช้งานจะให้ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มนำกระแสสูง

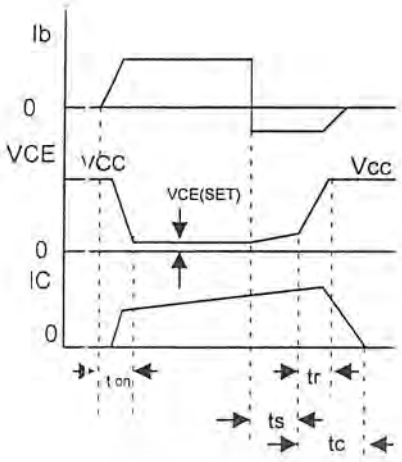
2.6.3. เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานในวงจรคอนเวอร์เตอร์จะมีการทำงานในลักษณะสวิตซ์และมีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างจากโหลดที่มีลักษณะเป็นตัวต้านทาน เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการเปลี่ยนสถานะของตัวมันเมื่อจะเริ่มนำกระแสและเมื่อจะหยุดนำกระแส รวมทั้งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังมีแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสอีกด้วย การเปลี่ยนสถานะและแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสทำให้เกิดกำลังสูญเสียในรูปของความร้อน (Power Dissipation) ขึ้นที่ตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ แต่ก็ยังมีข้อดีอยู่คือ มีอัตราทนแรงดันตกคร่อมสูงและราคาถูกกว่า ทั้งยังมีการพัฒนาให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทำงานเร็วขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานในย่านความถี่สูงๆ และลดกำลังงานสูญเสีย

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมี 2 ลักษณะคือ ขณะเปลี่ยนสถานะ และในขณะที่นำกระแสอยู่ในช่วงอิ่มตัว สำหรับการสูญเสียในการเปลี่ยนสถานะจะเกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุดขณะที่เริ่มหยุดนำกระแสเป็นส่วนใหญ่

เมื่อเริ่มให้กระแส ไบแอสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ กระแสคอลเล็กเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอ์ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่แรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์และอีมิตเตอร์(Vce) จะยังคงมีค่าเท่ากับ Vcc และจะใช้เวลาช่วงหนึ่งคือ ton เพื่อลดค่าแรงดันลงมาเป็น Vce(sat) ดังรูปข้างล่าง กำลังสูญเสียจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา ton นี้เนื่องจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขณะมีกระแสไหล อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลา ton นี้ค่อนข้างสั้นและกระแสเริ่มต้นที่ไหลผ่านมักมีค่าต่ำ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงนี้จึงมีค่าต่ำ เมื่อหยุดให้กระแสไบแอสและป้อนกระแสไบแอสค่าลบให้กับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อหยุดการนำกระแสเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะยังคงนำกระแสต่อไปอีกเป็นเวลา ts ซึ่งเป็นผลจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแส ช่วงเวลา ts นี้ เรียกว่าช่วงเวลาสะสม (Storage Time) และขณะช่วงเวลา ts นี้ แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเริ่มเพิ่มขึ้นและเกิดกำลังงานสูญเสียมากกว่าเมื่อมันนำกระแสขณะมีกระแสไบแอสอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

จากนั้นแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ยังคงนำกระแสอยู่ในช่วงเวลา tr (Voltage Rise Time) เมื่อประจุสะสมในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มลดลง กระแสที่คอลเล็กเตอร์จะเริ่มลดลงและใช้เวลาเท่ากับ tr (Current Fall Time) เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส จะเห็นได้ว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในช่วงเวลา tr และ tf จะมีค่าสูงและเป็นช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เกิดกำลังงานสูญเสียมากที่สุดขณะทำงาน ช่วงเวลา tr+tf จะเรียกว่า ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn Off Time) กำลังงานสูญเสียในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มหยุดนำกระแสนั้นอาจประมาณได้จาก

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

เมื่อ Pd(sw) คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส

Vcc คือ แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และหยุดนำกระแส

Ipk คือ ค่ากระแสสูงสุดเมื่อเริ่มหยุดนำกระแส

tc คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส

T คือ คาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

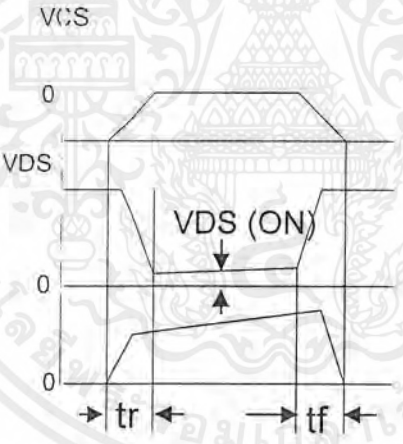
การทำให้กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส มีค่าน้อยที่สุดจะทำให้การใช้งานเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด และลดความร้อนที่เกิดกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4. เพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟต สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 กิโลเฮิร์ต ไปจนถึงประมาณ 400 กิโลเฮิร์ต เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น ซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของคอลเวอร์เตอร์ ในส่วนวงจรขับของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยอาจขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานได้จากไอซีควบคุมแบบพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น โครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตที่จะใช้ในวงจรคอลเวอร์เตอร์มีทั้งแบบ N-ch และแบบ P-ch ทำงานในลักษณะพุช-พูล หรือทำงานเพียงตัวเดียว ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้ N-ch เพราะสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงกว่าแบบ P-ch

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นกับเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน จะเป็นไปได้ทั้งในขณะที่เปลี่ยนสถานะและกำลังสูญเสียขณะนำกระแสแต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสที่สั้นกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้น แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าอความต้านทานขณะนำกระแสสูงมาก จึงมีการสูญเสียสูงกว่า เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก รูปคลื่นแสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ขณะนำกระแสแสดงดังรูป 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

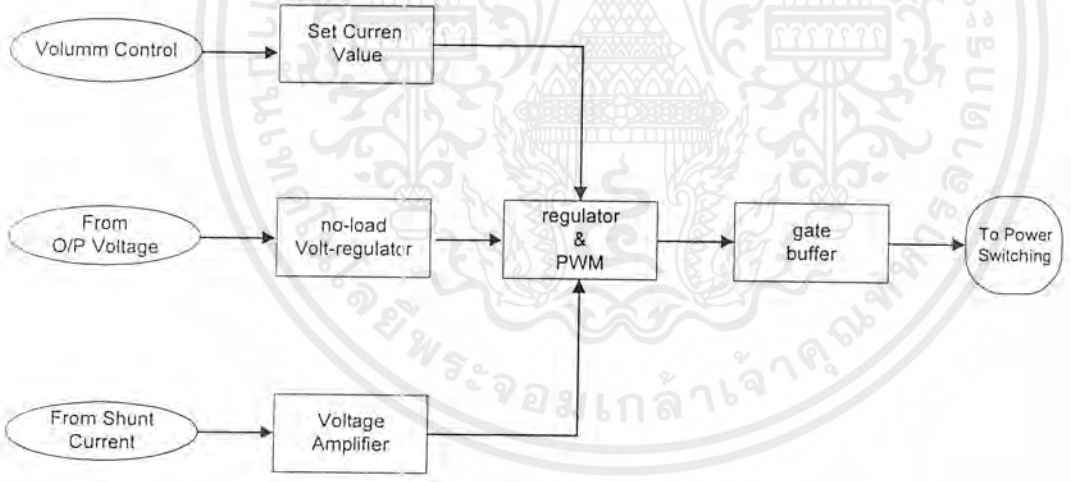
บทที่ 3

หลักการทำงานของวงจร

วงจรของเครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จัดทำขึ้นนี้สามารถใช้ได้ในการเชื่อมแบบอาร์คได้ทุกแบบ ยกตัวอย่างเช่น การเชื่อมแบบทิก (TIG) แบบมิก (MIG) และแบบเอ็มเอ็มเอ (MMA) นั่นคือสามารถใช้ได้ในการเชื่อมทั้งที่ก๊าซเฉื่อยไหลผ่านจุดเชื่อม และแบบที่ไม่มีก๊าซไหลผ่านจุดเชื่อมโดยเครื่องเชื่อมนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนของวงจรเพาเวอร์สวิตชิ่ง ซึ่งจะประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสและกรองกระแสทางด้านอินพุต และวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ และในส่วนของวงจรควบคุม จะประกอบด้วย วงจรป้อนกลับ โดยการเปรียบเทียบแรงดันและกระแสจากทางด้านเอ้าท์พุตมาส่งเป็นข้อมูลให้กับไอซี SG3526 เพื่อทำการควบคุมความกว้างของสัญญาณพัลซ์ผ่านวงจรขับไปยังวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดของการทำงานดังนี้

3.1. ส่วนของวงจรควบคุม

วงจรในส่วนนี้จะมีหน้าที่ควบคุมการสวิตช์ของเพาเวอร์มอสเฟต ดังรูปที่ 3.1 สามารถแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ได้ 4 ส่วนดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงลำดับการทำงานของวงจรควบคุมการสวิทช์ของเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1. วงจรป้อนกลับ

วงจรป้อนกลับทำหน้าที่แปลงค่าจากเอาท์พุตที่อยู่ในรูปต่างๆ เช่น กระแส แรงดัน และอุณหภูมิ ให้มาอยู่ในรูปของระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อทำการเปรียบเทียบกันกับค่าอ้างอิงที่ได้จัดตั้งค่าไว้ อุปกรณ์สำคัญในการเปรียบเทียบระดับแรงดันนี้ก็คือ ออปแอมป์ เอาท์พุตจากการเปรียบเทียบของออปแอมป์จะถูกส่งไปควบคุมการทำงานของวงจรพัลซ์วิธมอดดูเลชั่น ให้เปลี่ยนแปลงคาบเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต เป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับวงจร ส่วนของการป้อนกลับมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.1 และจะมีรายละเอียดของวงจรดังรูปที่ 3.2 ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

Set Current Value วงจรในส่วนนี้รับค่าแรงดันอ้างอิงที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้จากการปรับของวอลลุ่ม แล้วนำค่าแรงดันนี้มาทำการขยายระดับแรงดันให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมแล้วส่งเป็นข้อมูลให้กับไอซี SG3526 นำไปประมวลผลด้วยวงจรพัลซ์วิธมอดดูเลชั่น เพื่อที่จะกำหนดค่าเวลาในการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตต่อไป

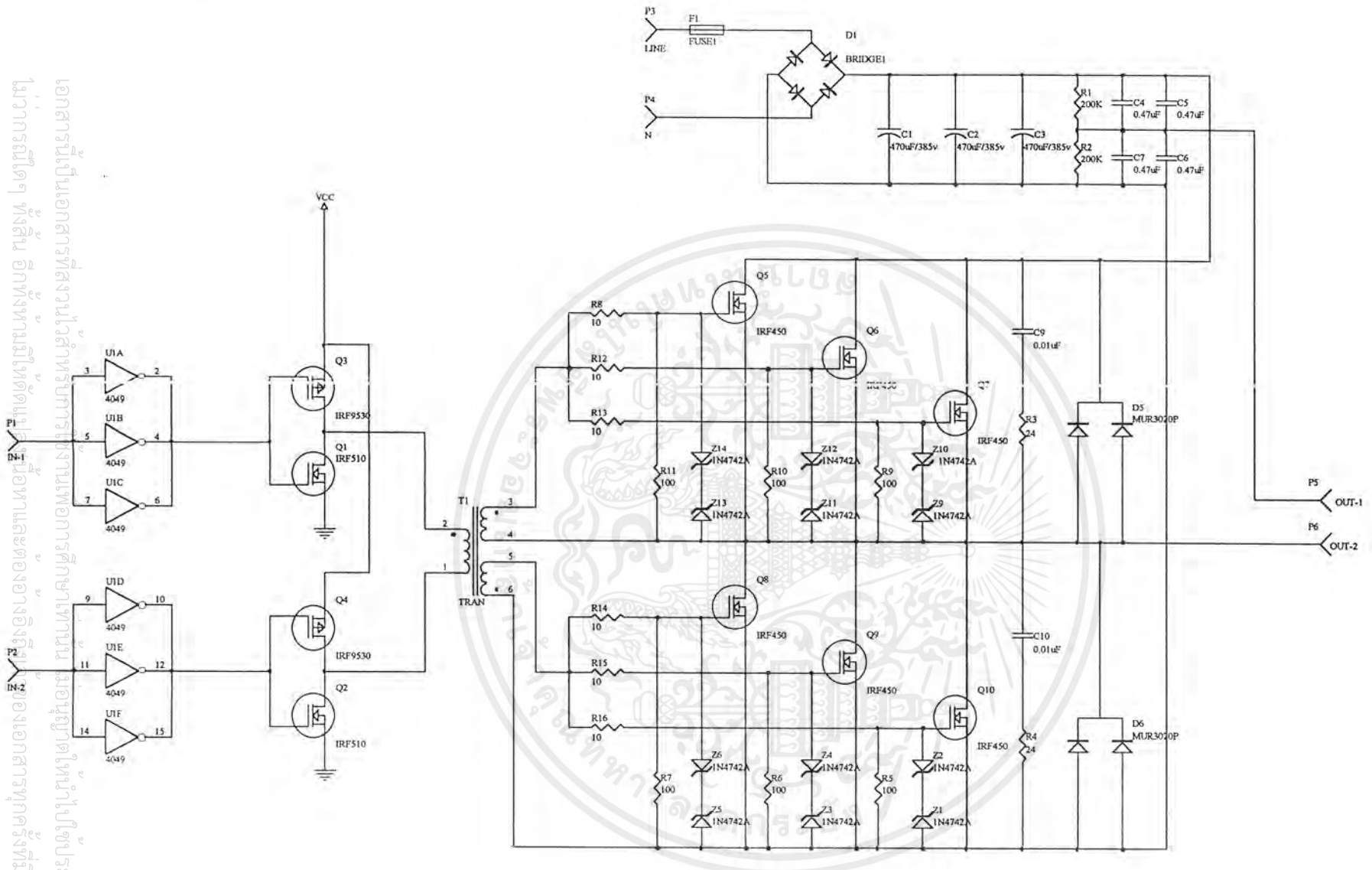
No-load voltage regulator วงจรในส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจเช็คว่าขณะนี้เครื่องเชื่อมกำลังทำงานเชื่อมอยู่หรือไม่ โดยการตรวจสองค่าแรงดันเอาท์พุตที่ถูกป้อนกลับเข้ามาในวงจรถ้าเครื่องเชื่อมทำงานอยู่ (แรงดันเอาท์พุตจะมีค่าต่ำมาก ใกล้เคียง 0 โวลท์) จะไม่มีการส่งข้อมูลให้กับเครื่องเชื่อม แต่ถ้าเครื่องเชื่อมกำลังอยู่ในสภาวะไม่มีโหลดหรือไม่มีการเชื่อมเกิดขึ้น (แรงดันเอาท์พุทจะมีค่าประมาณ 76 โวลท์) วงจรนี้จะส่งข้อมูลไปบอกให้กับไอซี SG3526 ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการสวิทช์ของวงจรคอนเวอร์เตอร์ สั่งงานให้วงจรคอนเวอร์เตอร์ทำงานน้อยลงเพื่อเป็นการลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น เป็นผลให้เครื่องเชื่อมนี้กินกำลังไฟฟ้าลดลง

Voltage amplifier วงจรในส่วนนี้จะทำหน้าที่วัดค่ากระแสเอาท์พุทของวงจรโดยรับแรงดันค่าต่ำๆ ที่ตกคร่อมชันท์เคอร์เรนท์ มื่อมีกระแสไหลผ่าน โดยค่าแรงดันที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากระแสที่ไหลผ่านชันท์เคอร์เรนท์ แรงดันที่เกิดขึ้นนี้จะถูกขยายโดยวงจรออปแอมป์ให้แรงดันมีขนาดสูงขึ้นเพื่อให้เหมาะกับการเปรียบเทียบค่าแรงดัน ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะถูกส่งไปเป็นข้อมูลให้กับไอซี SG3526 เพื่อที่จะสั่งการเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานมากขึ้นหรือทำงานน้อยลงตามค่าแรงดันอ้างอิงที่เกิดจากส่วนการปรับตั้งค่ากระแสเอาท์พุท

3.1.2. วงจรสร้างและควบคุมความกว้างพัลซ์ (reguiator and PWM generator)

วงจรที่ใช้สำหรับสร้างและควบคุมความกว้างของพัลซ์ สามารถทำได้โดยใช้ไอซี SG3526 ซึ่งมีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 3.3 ซึ่งมีรายละเอียดในการต่อใช้งานได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


P3
LINE
F1
FUSE1
P4
N
D1
BRIDGE1
C1
470uF/385v
C2
470uF/385v
C3
470uF/385v
R1
200K
R2
200K
C4
0.47uF
C5
0.47uF
C7
0.47uF
C6
0.47uF
VCC
P1
IN-1
P2
IN-2
U1A
U1B
U1C
U1D
U1E
U1F
4049
Q3
IRF9530
Q1
IRF510
Q4
IRF9530
Q2
IRF510
T1
TRAN
Q5
Q6
Q7
Q8
Q9
Q10
IRF450
R8
R12
R13
R14
R15
R16
10
R11
R10
R9
R7
R6
R5
100
Z14
Z12
Z10
Z13
Z11
Z9
Z6
Z4
Z2
Z5
Z3
Z1
1N4742A
C9
0.01uF
C10
0.01uF
R3
R4
24
D5
D6
MUR3020P
P5
OUT-1
P6
OUT-2

ขา 1,2 จะใช้สำหรับรับข้อมูลที่เป็นค่าแรงดัน จากการป้อนกลับ และการเซตค่าเข้ามายังขา อินเวอร์ติ้ง และนอนอินเวอร์ติ้ง ของวงจรขยายความผิดพลาดภายในไอซี ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะส่งไปยังวงจรพัลซ์วิตธ์มอดดูเลชั่น เพื่อที่ปรับค่าความกว้างของพัลซ์ให้เปลี่ยนไปตามข้อมูลแรงดันอินพุท

ขา 3 เป็นขาที่ใช้สำหรับชดเชยกับวงจรขยายในกรณีเปิดลูป โดยการต่อค่าตัวเก็บประจุลงกราวด์หรือปรับตั้งค่าอัตราการขยายให้กับวงจรขยายความผิดพลาด โดยการต่อร่วมกันกับขา 2

ขา 4 เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อตัวเก็บประจุเพื่อหน่วงเวลาในการเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต เพื่อให้ได้การทำงานในลักษณะ Soft Start

ขา 5 เป็นขา รีเซ็ต เพื่อการ ริ่มต้นทำงานที่ถูกต้องตรงจังหวะอีกครั้ง หลังจากการชัดดาวน์ (Shutdown) ซึ่งจะสังเกตุได้ว่า ขารีเซ็ตจะต่ออยู่กับขาชัดดาวน์ ดังนั้นจะเกิดการรีเซ็ตทุกครั้งหลักจากการชัดดาวน์

ขา 6,7 เป็นขาเคอร์เรนท์ เซนท์ (Current Sense) ทำหน้าที่รับค่ากระแสจากหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ทำหน้าที่คอยตรวจจับกระแสเอาท์พุท ด้วยวงจรเปรียบเทียบความเร็วสูง เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น วงจรเปรียบเทียบก็จะส่งเอาท์พุทไปทำการชัดดาวน์ทันที เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวงจร

ขา 8 เป็นขาที่ใช้สำหรับสั่งชัดดาวน์จากวงจรภายนอก โดยการป้อนลอจิก"0"

ขา 9 เป็นขาที่ต่อกับ Rt เพื่อที่จะกำหนดค่ากระแสให้กับหน่วยกำเนิดกระแสคงที่ภายในให้มีค่ากระแสที่เหมาะสมเพื่อให้วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) มีเสถียรภาพอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 400 กิโลเฮิร์ท

ขา 10 เป็นขาที่ต่อกับตัวเก็บประจุ Ct เพื่อที่จะกำหนดค่าความถี่ให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณ

ขา 11 เป็นขาที่ใช้สำหรับกำหนดค่าเวลาหยุดนำกระแส (Dead Time) โดยการต่อตัวต้านทาน Rd ลงกราวด์ โดยสามารถกำหนดค่า Rd ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 22 โอห์ม ซึ่งจะให้ค่าเวลาหยุดนำกระแสอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 9.7 ไมโครเซค

ขา 12 เป็นขาสัญญาณที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณ ต่อออกมายังภายนอกเพื่อเป็นประโยชน์กับวงจรอื่นที่ต่อร่วมที่ต้องการมีคาบเวลาเดียวกัน เพื่อให้เกิดการทำงานที่พร้อมกัน (Synchronization)

ขา 13,16 เป็นขาเอาท์พุทพัลซ์ A และ B ตามลำดับ โดยพัลซ์ที่ออกจากเอาท์พุททั้งสองจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา พัลซ์ที่ได้จะถูกนำไปขับวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่อไป สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 250 มิลลิแอมป์

ขา 14 เป็นขาที่รับแรงดันไฟเลี้ยงสำหรับส่วนของเอาท์พุทภายใน ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันแบบคอมพลีเมนตารี่ อันที่จริงสามารถใช้ร่วมกันกับไฟเลี้ยงไอซีขา 17 ก็ได้

ขา 15 เป็นขา กราวด์ของไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 17 เป็นขาที่รับแรงดันไฟเลี้ยงจากภายนอกมาทำการเลี้ยงวงจรภายในไอซี โดยผ่านวงจรสร้างค่าแรงดันอ้างอิง (5V) ก่อน เพื่อให้ไอซีทำงานอย่างคงที่

ขา 18 เป็นขาเอาท์พุทของวงจรกำเนิดแรงดันอ้างอิงภายในไอซี เพื่อที่จะนำแรงดันอ้างอิงนี้ไปใช้กับวงจรภายนอกเพื่อให้มีค่าแรงดันอ้างอิงค่าเดียวกัน โดยสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดประมาณ 50 มิลลิแอมป์

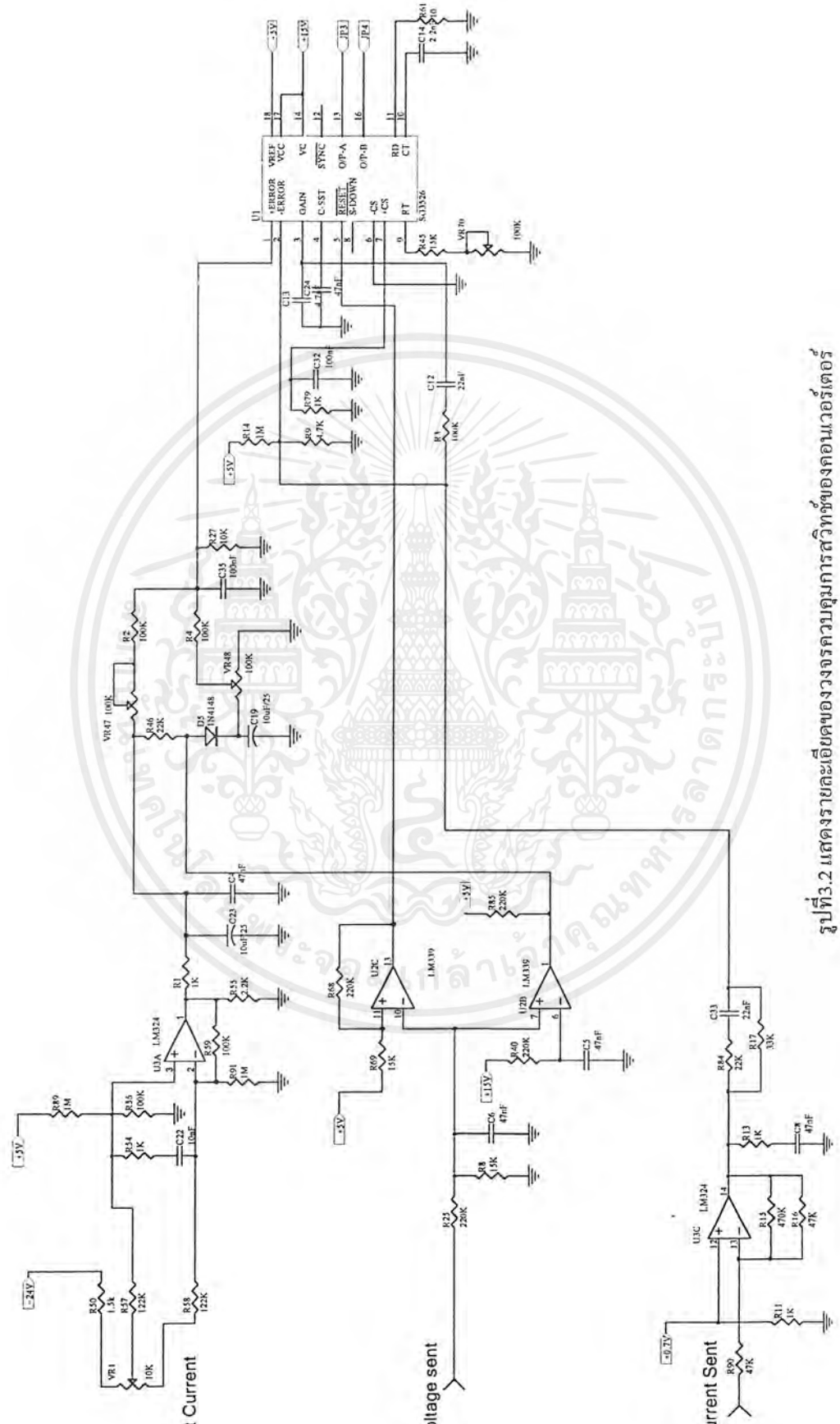
3.1.3. วงจรขับ

วงจรขับจะประกอบด้วยมอสเฟต เอ็น-เชนแนล และ พี-เชนแนล ต่อด้วยกันแบบคอมพลีเมนตารี่ จำนวนสองชุด โดยเอาท์พุทของวงจรคอมพลีเมนตารี่ทั้งสองจะต่อผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงขับสวิตชิ่งเพื่อที่จะส่งผ่านพลังงานไปยังขดทุติยภูมิ นำไปขับเกตของเพาเวอร์มอสเฟตต่อไป เนื่องจากเอาท์พุท A และ B ของไอซี SG3526 สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดเพียง 250 มิลลิแอมป์ การขับมอสเฟตจึงไม่สามารถทำได้รวดเร็วพอ ต้องเพิ่มกระแสที่จะใช้ในการขับเกตโดยการต่อ ซีมอสอินเวอร์เตอร์ขนานกันเปรียบเสมือนเป็นการลดค่าความต้านทานเอาท์พุทของแหล่งจ่ายกระแสเพื่อให้ได้กระแสในการขับเกตสูงและเป็นผลให้มอสเฟตทำงานเร็วขึ้น

3.2. ส่วนของวงจรเพาเวอร์สวิตชิ่ง

วงจรในส่วนนี้มีหน้าที่หลักในการเปลี่ยนค่าความถี่จาก เอ,ซี ไลน์ ที่มีค่าประมาณ 50 เฮิร์ท ให้มีค่าสูงขึ้น เพื่อการส่งผ่านพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเริ่มจากการนำไฟกระแสสลับ 220 โวลท์ 50 เฮิร์ท มาทำการแปลงเป็นไฟกระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสตามลำดับ จากนั้นก็นำไฟกระแสตรงที่ได้มาเปลี่ยนให้เป็นไฟกระแสสลับอีกครั้งในรูปของพัลซ์ โดยใช้เพาเวอร์มอสเฟตสวิตซ์ด้วยความถี่สูง โดยเรียกวงจรในส่วนนี้ว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์ พัลซ์ที่ได้จากการสวิตซ์ก็จะนำไปป้อนให้กับหม้อแปลงเอาท์พุทความถี่สูงขดลวดปฐมภูมิ เมื่อพลังงานถูกส่งผ่านไปยังขดทุติยภูมิ และทำการเรียงกระแส,กรองกระแสแล้ว ก็จะได้เอาท์พุตเป็นแรงดันไฟกระแสตรงตามต้องการ เนื่องจากในการเชื่อมต้องการไฟฟ้ากระแสตรง เพราะจะทำให้จุดเชื่อมมีคุณภาพสูงกว่าการเชื่อมในระบบกระแสสลับ ตามโครงสร้าง (รูป 3.1) ที่ได้กล่าวมานี้มีรายละเอียดของวงจรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.2 แสดงรายละเอียดของวงจรควบคุมการสวิทช์ของคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1. วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองกระแสทางด้านอินพุท

วงจรเรียงกระแสที่ใช้สร้างไฟกระแสตรงสำหรับป้อนให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์นี้จะเป็นแบบฟูลบริดจ์เรกติไฟเออร์ โดยการเรียงกระแสแบบนี้จะทำให้พัลซ์เซติ้ง ดีซี ที่ได้มีค่าความถี่สูงกว่าค่าความถี่ของระบบแรงดันไฟสลับปกติเท่าตัว เป็นผลให้เมื่อทำการกรองกระแสแล้วจะทำให้แรงดันริปเปิ้ล มีขนาดน้อยกว่าการเรียงกระแสแบบอื่นๆ (ในขณะที่ตัวเก็บประจุกรองกระแสมีค่าเท่ากัน) เนื่องจากวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ จะอยู่ในลักษณะฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ดังนั้นจึงต้องทำการแบ่งแรงดันกระแสตรงจากการเรียงกระแสเป็นครึ่งหนึ่งโดยใช้ตัวเก็บประจุค่าเท่ากันต่ออนุกรมกันต่อเข้ากับชุดแรงดันไฟกระแสตรงดังรูปที่ 3.4 และเพื่อให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากันอย่างแท้จริง จำเป็นต้องใส่ตัวต้านทานที่มีค่าเท่าๆ กันต่อคร่อมกับตัวเก็บประจุ ในส่วนของการกรองกระแสเป็นการกรองกระแสที่แรงดันสูง เราไม่สามารถหาตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุมากและทนแรงดันได้สูงได้ง่ายนัก การขนานตัวเก็บประจุเพื่อเพิ่มค่าความจุ จะเป็นวิธีที่ดีที่สุด อีกทั้งยังเป็นการลดค่าอิมพิแดนซ์ของแหล่งจ่าย อันเนื่องมาจากค่าความต้านทานแฝงภายในตัวเก็บประจุอีกด้วย

3.2.2. วงจรคอนเวอร์เตอร์

วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยเพาเวอร์มอสเฟสทั้งหมด 3 ชุด ต่อขนานกัน ดังรูปที่ 3.4 เพื่อแบ่งกันรับภาระทางกระแสเมื่อโหลดต้องการกระแสสูงมาก โดยเพาเวอร์มอสเฟตชุดบนและชุดล่างจะสลับกันทำงาน นั่นคือเพาเวอร์มอสเฟตในแต่ละชุดที่ขนานกันจะทำงานเหมือนๆ กัน

การทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตจะเป็นไปตามพัลซ์ที่ส่งมาจากวงจรควบคุมผ่านหม้อแปลงขับ โดยพัลซ์จากขดลวดทุติยภูมิชุดบนจะกลับเฟสกันกับพัลซ์ที่มาจากขดลวดชุดล่าง พัลซ์ที่ออกจากขดลวดทุติยภูมินี้จะผ่านวงจรจำกัดแรงดันก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าสูงมากเกินกว่าจุดที่เพาเวอร์มอสเฟตจะเกิดการอิ่มตัว โดยวงจรดังกล่าวนี้จะประกอบด้วยตัวต้านทานและซีเนอร์ไดโอดสองตัวที่ต่ออนุกรมกัน คือถ้าแรงดันพัลซ์ทั้งด้านบวกและลบมีค่าสูงเกินกว่าค่าเบรคดาวน์ของซีเนอร์ไดโอด ซีเนอร์ไดโอดก็จะนำกระแสทันที

ไดโอดฟาสต์รีคัพเวอร์รี่ที่ต่อคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตทั้งชุดบนและชุดล่างนั้นเป็นดอมมิวเตติ้งไดโอด (Commutating Diode) มีหน้าที่ประการแรกคือ ป้องกันแรงดันสไปค์ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตเริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากพลังงานที่สะสมไว้ในขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง และหน้าที่ประการที่สอง ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตหยุดนำกระแสขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะเกิดการกลับขั้วแรงดันขึ้น เมื่อรวมกับแรงดันครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายกระแสตรงแล้ว จะทำให้มีแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตสูงมาก แต่ไดโอดฟาสต์รีคัพเวอร์รี่ที่ต่ออยู่กับเพาเวอร์มอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟตอีกตัวจะอยู่ในลักษณะไบแอสตรง ดังนั้นไดโอดนี้จะนำกระแสเป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับเพาเวอร์มอสเฟต

หลังจากการสวิทซ์ของเพาเวอร์มอสเฟต พัลซ์ที่ได้ก็จะถูกส่งผ่านพลังงานโดยหม้อแปลงความถี่สูงไปยังขดลวดทุติยภูมิ พัลซ์ที่ขดลวดทุติยภูมิจะถูกเรียงกระแสโดยไดโอดฟาสต์รีคัพเวอร์รี่จำนวน 6 ตัวที่ต่ออยู่ในลักษณะฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์ เพื่อแบ่งกันรับภาระทางกระแส แรงดันที่ได้นี้สามารถนำไปทำการเชื่อมได้แล้ว แต่การอาร์คของรอยเชื่อมจะไม่เรียบ ต้องต่อหม้อแปลงโช้คอนุกรมเข้าไป จะทำให้การเชื่อมทำได้เรียบขึ้น

3.2.3. การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)

การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงสำหรับเครื่องเชื่อม ที่ต้องการค่ากระแสเอาท์พุท 150 แอมป์ และใช้แกนเฟอร์ไรท์แบบยูคอร์ 60 (U-core Type) ที่ทำจากสารเฟอร์ไรท์ชนิด 3C8 ที่มีพื้นที่หน้าตัดแกนเท่ากับ 0.7854 ตารางเซนติเมตร และมีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุดอิ่มตัว (Bsat) ประมาณ 3300 เกาส์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แต่ในการใช้งานจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิปกติซึ่งจะมีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุดอิ่มตัว ประมาณ 3000 เกาส์

คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดปฐมโดยใช้สมการ

$$N_p = \frac{V_p * 10^8}{K * f * B_{max} * A_e}$$

โดยที่ Np คือ จำนวนรอบของขอลวดปฐมภูมิ (รอบ)

Vp คือ ค่าแรงดันตกคร่อมขดลวด (โวลท์)

K คือ ค่าคงที่เท่ากับ 4.0 สำหรับรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

f คือ ค่าความถี่ (เฮิร์ท)

Ae คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน (ตารางเซนติเมตร)

แทนค่า

$$N_p = \frac{(150)(10^8)}{(4)(27*10^3)(3000)(0.784*3)}$$

$$= 19.6$$

เพราะฉะนั้นจะใช้ขดลวดทางด้านปฐมภูมิจำนวน 20 รอบ

คำนวณหาขนาดของเส้นลวดทองแดงที่จะนำมาพันแกนหม้อแปลงได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = \frac{\left[1.47 * f * B * A_e * A_c\right] * 10^{-3}}{P_{out}}$$

โดยที่ D คือ ค่าที่เปรียบเทียบกับค่า 1000 เซอร์คูล่า-มิลล์ ต่อแอมป์

Ac คือ พื้นที่สำหรับการพันขดลวดบนบ๊อบบิ้น (ตารางเซนติเมตร)แทนค่าจะได้

$$D = \frac{\left[1.47 * 27 * 10^{3} * 3000 * (0.7854 * 3) * (9.4247 + 12)\right] * 10^{3}}{1500}$$

$$= 4007$$

จากค่า D ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกันกับตารางแสดงขนาดของลวดทองแดงที่ใช้พันหม้อแปลง จะได้ตรงกันขนาดขดลวดเบอร์ 14 AWG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการคำนวณจำนวนรอบของขดลวดทางด้านเอาท์พุทจะใช้ความสัมพันธ์ดังข้างล่างนี้

$$N_s V_p = N_p V_s$$

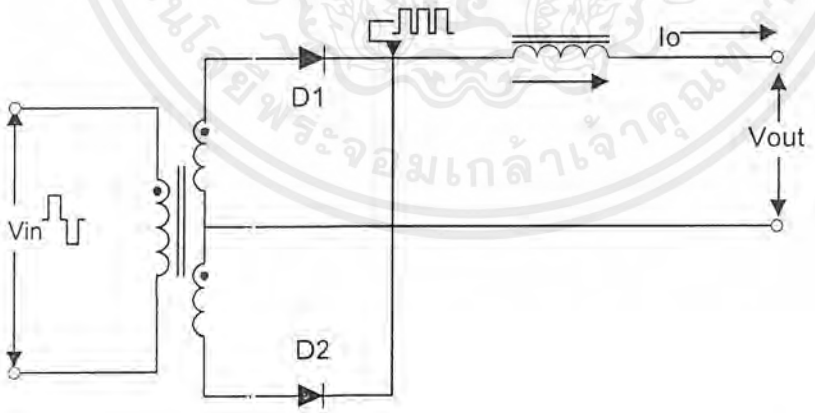
แทนค่า

$$N_s = \frac{(20)(80)}{300} = 5$$

ดังนั้นจะได้จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ 20 รอบและจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ 5 รอบ หรือจะได้อัตราส่วนจำนวนรอบเท่ากับ 4 ต่อ 1

จากการทดลองสร้างหม้อแปลงความถี่สูงปรากฏว่า จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิมีค่ามาก จึงจำเป็นต้องพันขดลวดเป็น 2 ชั้นทับกัน ซึ่งการพันในลักษณะนี้จะเกิดปัญหาเรื่องความแน่นหนา และทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นลวดมาก ทำให้เกิดการสูญเสียทางสนามแม่เหล็ก และอาจเกิดการออสซิลเลตขึ้นได้จึงจำเป็นต้องลดจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิลงเหลือ 12 รอบ ตามอัตราส่วน 4 ต่อ 1 จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิจะลดลงเหลือ 3 รอบ จากการทดสอบใช้งานจริงปรากฏว่าหม้อแปลงนี้สามารถทำงานได้เป็นปกติ

3.2.4. การคำนวณหาค่าของขดลวดเหนี่ยวนำเอาท์พุท (Output Choke)



รูปที่ 3.6 วงจรแสดงการต่อขดลวดเหนี่ยวนำเอาท์พุทของเครื่องเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำและค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงไป

$$_L = L\frac{d_i}{dt}$$

เนื่องจาก

$$_L = E_{in} - E_{out}$$

$$di = \Delta I_L$$

จะได้ว่า

$$L = \frac{(E_{in} - E_{out})^* \Delta t}{\Delta I_L}$$

จากโครงสร้างของฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ คือ แรงดันอินพุท (Ein) จะมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันเอาท์พุท (Eout) ดังนั้น Ein-Eout =Ein-(Ein/2)=Ein/2=Eout ส่วนช่วงเวลา

คือ ช่วงเวลาหยุดนิ่ง (notch :ime ; toff) จะเกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่น นั่นคือขดลวดเหนี่ยวนำจะทำงานในช่วงนี้ จากการกำหนดค่า ton ของวงจรเชื่อมจะได้ toff มีค่า 3.664 ไมโครเซค สามารถคำนวณค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดโดยการแทนค่าลงในสมการ

$$L = \frac{E_{out} * t_{off}}{0.25 I_{out}}$$

โดยที่ ΔIL คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงกระแสของขดลวดเหนี่ยวนำ (โดยปกติ จะมีค่าไม่เกิน 0.25 Iout)

$$L = \frac{[80 * 3.664 \mu S]}{[0.25 * 150]}$$

$$= 7.8 \mu H$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบการทำงานขดลวดเหนี่ยวนำดังกล่าวจะใช้ค่าที่มากกว่าหรือน้อยกว่าขึ้นอยู่กับค่า ΔIL คือ ถ้าต้องการให้ ΔIL มีค่าน้อยก็ควรใช้ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดมากขึ้น แต่จากการทดลองพบว่าถ้าขดลวดเหนี่ยวนำนี้มีค่ามาก ถึงแม้จะทำให้ค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงมีค่าลดลง แต่ก็ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นที่ตัวขดลวดเหนี่ยวนำนี้อย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การเชื่อม TIG
(Gas Tungsten – Arc Welding)

การเชื่อม TIG เกิดขึ้นตั้งแต่ปี 1890 โดยเริ่มรู้จักใช้แก๊สเป็นตัวปกคลุมแนวเชื่อม มาในปี ค.ศ.1920 ได้พัฒนาวิธีเชื่อมนี้ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยให้ทังสเตนเป็นลวดอาร์กซึ่งให้ความร้อนสูง และใช้แก๊สฮีเลียมกับแก๊สอาร์กอนปกคลุมแนวเชื่อมจนถึงปี 1930 HENRY M. HOBART และ PHILLIP K. BEVERS จึงได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ขบวนการเชื่อมนี้เอาไว้

ขณะนั้นแก๊สฮีเลียมและอาร์กอนมีราคาสูง จึงไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้ขบวนการเชื่อมดังกล่าวมากนักจนถึงช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงได้พัฒนาการเชื่อม TIG กันอย่างจริงจัง โดยใช้เชื่อมอะลูมิเนียม, แมกนีเซียม ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน นอกจากนั้นยังไม่สามารถเชื่อมโลหะผสมอื่น ๆ ที่มีความต้านทางต่อการกัดกร่อนและโลหะที่มีจุดหลอมตัวสูง ได้แก่เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นต้น

TIG ย่อมาจาก TUNGSTEN INERT GAS สมาคมการเชื่อมของอเมริกา (American welding society หรือ AWS.) เรียกกระบวนการเชื่อมนี้ว่า gas tungsten are welding โดยใช้คำย่อว่า GTAW. ซึ่งก็คือวิธีการเชื่อมที่ใช้ลวด Tungsten เป็นตัวอาร์กและใช้แก๊สเฉื่อยเป็นเกราะปกคลุมแนวเชื่อมบางตำราอาจจะเรียกขบวนนี้ว่า Heliarc หรือ Weliweld ซึ่งเป็นชื่อดั้งเดิมของขบวนการนี้ โดยใช้แก๊สอีเลียมปกคลุมแนวเชื่อม และยังเป็นชื่อทางการค้าของบริษัทผู้ผลิตเครื่องเชื่อม TIG ในประเทศสหรัฐอเมริกาด้วย

กรรมวิธีเชื่อม TIG เป็นการรวมวิธีการเชื่อมโลหะโดยใช้ชิ้นงานหลอมละลายด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอาร์กระหว่างลวดทังสเตน (Non – consumabld Electrode) กับชิ้นงานเชื่อม โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อมหรือบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยากับบริเวณดังกล่าว ความร้อนที่ได้จากการอาร์กสูงประมาณ 1940 ซ (35,000 ฟ) ในการเชื่อมนี้ลวดทังสเตนจะทำหน้าที่อาร์กเพื่อให้เกิดความร้อนเท่านั้น โดยจะไม่มีการเติมลงในแนวเชื่อม ถ้าต้องการเติมเนื้อเชื่อมต้องเติมลวดเชื่อมลงไป

การเชื่อม TIG สามารถทำได้ทั้งระบบเชื่อมด้วยมือ (Manual) และระบบอัตโนมัติ (Automatic) ซึ่งแตกต่างกันดังนี้

ระบบเชื่อมด้วยมือเป็นระบบที่ต้องใช้ช่างเชื่อม (Welder) คล้ายกับการเชื่อมด้วยแก๊สออกซิเอเซทิลีน โดยช่างเชื่อมจะใช้มือควบคุมหัวเชื่อมและการเติมลวดเชื่อม ความประณีตของงานเชื่อมขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่างเชื่อมเป็นส่วนใหญ่ ส่วนระบบเชื่อมอัตโนมัติเป็นการเชื่อมด้วยอุปกรณ์อัตโนมัติ โดยอาศัยผู้ควบคุม (Operator) บังคับการทำงานของเครื่องเชื่อม ได้แก่ การปิด – เปิดสวิตช์เพื่อควบคุมการเริ่มต้นและการหยุดเครื่องเชื่อมแต่บางครั้งจะต้องเตรียมการเชื่อม เช่น ตั้งระยะอาร์ก,

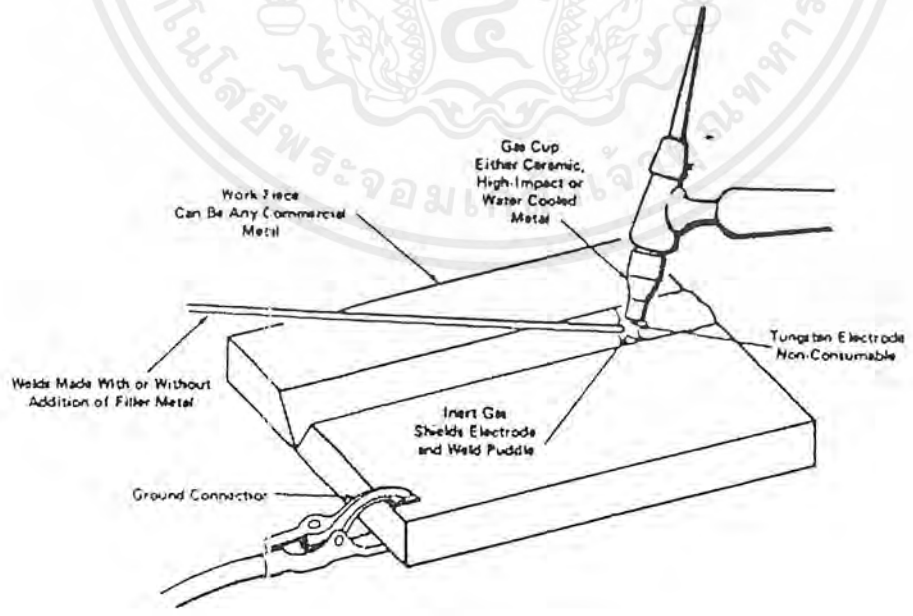
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งความเร็วเชื่อมหรือตั้งโปรแกรมการทำงานของเครื่องเชื่อมโดยช่างเชื่อมจะใช้มือควบคุมหัวเชื่อมและการเติมลวดเชื่อม ความประณีตของงานเชื่อมขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่างเชื่อมเป็นส่วนใหญ่

นอกจากนี้ยังพัฒนาวิธีเชื่อมใหม่ ๆ ขึ้น ได้แก่ การเชื่อมแบบต่อเนื่อง (Continuous Weld) การเชื่อมเป็นช่วง (Intermittent) หรือบางทีเรียกว่า " Skip weld" และการเชื่อมจุด (spot weld)

การเชื่อม TIG เป็นกรรมวิธีเชื่อมที่สามารถเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิด ซึ่งรวมถึงโลหะผสม เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน, เหล็กกล้าผสม, เหล็กกล้าไร้สนิม, โลหะทนความร้อน, อลูมิเนียมผสม, ทองแดงและทองแดงผสม เป็นต้น สำหรับตะกั่วและสังกะสีไม่ควรเชื่อม TIG เนื่องจากวัสดุทั้งสองมีจุดหลอมต่ำ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แตกต่างกันกับอุณหภูมิของเปลวอาร์กมากและเนื้อวัสดุดังกล่าวหลอมละลายจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอ ส่วนโลหะที่มีจุดหลอมสูงสามารถเชื่อมด้วย TIG ได้ดี แต่ถ้าโลหะดังกล่าวเคลือบไว้ด้วยตะกั่ว, สังกะสี, ดีบุก แคดเมียมหรืออะลูมิเนียมจะต้องใช้วิธีเชื่อมที่พิเศษ แนวเชื่อมของโลหะที่เคลือบจะมีคุณสมบัติเชิงกลต่ำ เนื่องจากเกิดการผสมของวัสดุดังกล่าวภายในแนวเชื่อม วิธีป้องกันควรกำจัดวัสดุเคลือบบนโลหะออกก่อนที่จะทำการเชื่อมและเมื่อเชื่อมเสร็จแล้วจึงซ่อมแซมใหม่

การเชื่อม TIG เป็นกรรมวิธี ชื่อมที่สามารถเชื่อมโลหะบางได้ดี คือมีความหนาตั้งแต่ 0.005 นิ้ว – 1/8 นิ้ว แต่ถ้าโลหะมีความหนามากกว่า ¼ นิ้ว ควรเชื่อมด้วยขบวนการอื่นจะประหยัดกว่า เว้นแต่ว่างานนั้นต้องการคุณภาพสูงจึงเชื่อมด้วย TIG และในการเชื่อมอาจจะเชื่อมแบบซ้อนแนว (Multiyple – pass) ก็ได้ ซึ่งงานที่ต้องการคุณภาพสูงได้แก่ งานอากาศยาน เป็นต้น สำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนยังสามารถเชื่อมด้วย TIG อาจจะเป็นระบบเชื่อมด้วยมือหรืออัตโนมัติก็ได้



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของการเชื่อม TIG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี

1. ไม่ต้องใช้ฟลักซ์ ดังนั้นแนวเชื่อมที่ได้จึงไม่จำเป็นที่จะต้องเคาะสแลก ซึ่งเป็นการตัดปัญหาในเรื่องสแลกฝังในแนวเชื่อม เพราะสแลกที่ฝังอยู่ในแนวเชื่อมจะทำให้แนวเชื่อมไม่แข็งแรงและผุกร่อน ทั้งนี้โดยการใช้แก๊สเฉื่อยทำหน้าที่แทนฟลักซ์สำหรับปกคลุมแนวเชื่อม ไม่ให้อ๊อกซิเจนและไนโตรเจนจากบรรยากาศมารวมตัวกับแนวเชื่อมหรือโลหะงานขณะหลอมละลาย

2. ส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นจะมีส่วนผสมเหมือนกับลวดเชื่อม จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากแก๊สเฉื่อยที่ปกคลุมแนวเชื่อมจะไม่รวมตัวหรือทำปฏิกิริยากับโลหะ ดังนั้นแนวเชื่อมที่ได้จากกรรมวิธีเชื่อม TIG จึงแข็งแรง, ทนต่อการกัดกร่อนและเหนียวกว่าแนวเชื่อมที่ได้จากกรรมวิธีอื่น ๆ

3. สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม

4. สามารถมองเห็นแนวเชื่อมและบ่อหลอมละลายได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการอาร์กที่เกิดขึ้นสะอาดไม่มีควันและสแลกปกคลุม

5. การเชื่อม TIG ให้ความร้อนสูงและเป็นบริเวณแคบจึงไม่ทำให้ความร้อนในงานเชื่อมแผ่กระจายกว้างเกินไป งานจึงมีโอกาสบิดตัวน้อย

6. ไม่มีเม็ดโลหะ (spatter) เกิดขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อม เนื่องจากการเชื่อม TIG ไม่มีการส่งผ่านน้ำโลหะลวดเชื่อมข้ามบริเวณอาร์กสู่บ่อหลอมละลาย

7. สามารถเชื่อมต่อเหล็กเหนียวที่มีความหนาแตกต่างกันได้

8. สามารถควบคุมแนวเชื่อมได้ง่าย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้กับการเชื่อม TIG จะกำหนดตามลักษณะการใช้งาน และการออกแบบของบริษัทผู้ผลิต ซึ่งประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

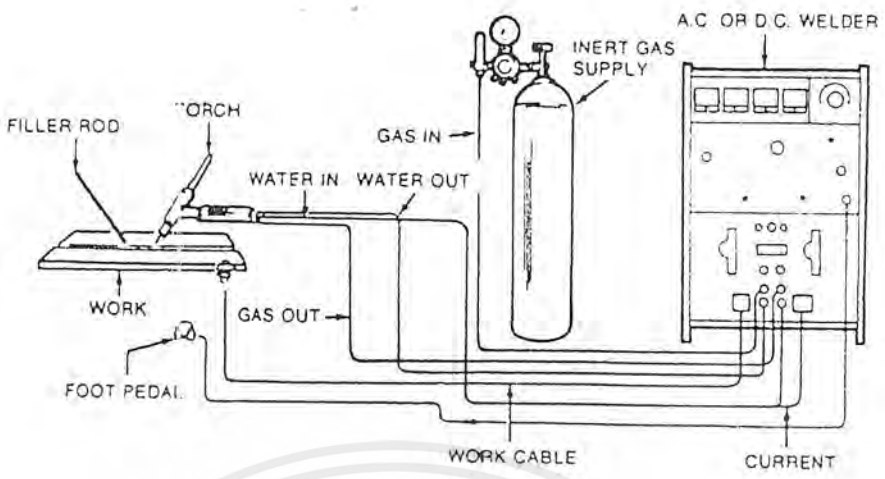
1. เครื่องเชื่อม (Power Source)

2. ระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling System)

3. แก๊สปกคลุม (Shielding Gas)

4. หัวเชื่อมและอุปกรณ์ประกอบ (Welding Torch and Equipment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์การเชื่อม TIG

1. เครื่องเชื่อม

เครื่องเชื่อม TIG มีอยู่หลายแบบ เช่น

1. Transformer – rectifier: เป็นเครื่องเชื่อมที่จ่ายไฟกระแสตรง

2. Transformer, เป็นเครื่องเชื่อมที่จ่ายไฟกระแสสลับ

3. Power- driver generaters มีทั้งชนิดขับด้วยมอร์เตอร์ไฟฟ้า จะจ่ายเฉพาะไฟกระแสตรงเท่านั้น แต่ถ้าเป็นชนิดเครื่องยนต์ขับ จะจ่ายได้ทั้งไฟกระแสตรงและไฟกระแสสลับ สำหรับเครื่องเชื่อมชนิด Trans – former และ rectifier นั้น มีข้อดีหลายอย่าง เมื่อเปรียบเทียบกับชนิด Power-Driver generators คือลงทุนต่ำ, ไม่มีเสียงดัง, ค่าบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่ำ,ชิ้นส่วนของเครื่องไม่มีการเคลื่อนที่, ต้องการกำลังต่ำในขณะเดินเครื่อง (ไม่ทำการเชื่อม)

ข้อดีของเครื่องเชื่อมแบบเครื่องยนต์ขับ ซึ่งสามารถนำมาเชื่อมในสถานที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้

เครื่องเชื่อม TIG มีหลายขนาดคือตั้งแต่ขนาดที่ผลิตไฟเชื่อมได้ 2-3 แอมป์จนถึงขนาดหลายร้อยแอมป์ มีทั้งชนิดไฟ AC และไฟ AC/DC ซึ่งสามารถใช้เชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้นฟลักซ์ได้

3. แก๊สปกคลุม (Shielding Gas)

เป็นแก๊สที่ใช้สำหรับปกคลุมแนวเชื่อมและข่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้อากาศโดยรอบเข้าไปทำปฏิกิริยาในขณะเชื่อม ซึ่งวิธีนี้ได้ใช้กันมานานแล้ว เช่นวิธีเชื่อมแบบออกซิอะเซทิลีนได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ของแก๊สอะเซทิลีน ซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงกับออกซิเจนจากการเผาไหม้นี้จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์,คาร์บอนมอนอกไซด์และไอน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมที่กำลังหลอมละลาย ในการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้นฟลักซ์ แนวเชื่อมที่หลอมละลายและบริเวณอาร์กจะถูกปกคลุมด้วยแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของฟลักซ์เช่นกันและยังทำให้การอาร์กสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อม TIG นั้นไม่มีเปลวไฟและฟลักซ์ที่หุ้มลวดหุ้มลวดเชื่อมเกิดเป็นแก๊สปกคลุมบริเวณอาร์ก ดังนั้น จำเป็นต้องใช้แก๊สปกคลุมจากแหล่งภายนอก โดยทั่วไปแก๊สปกคลุมที่ใช้ในการเชื่อม TIG ได้แก่ อาร์กอนและฮีเลียม โดยอาจจ่ายจากท่อ หรือแบบ Manifold ที่ต่อไปยังจุดต่าง ๆ ภายในโรงงานก็ได้ แต่แก๊สที่ใช้นั้นจะต้องมีความบริสุทธิ์คือประมาณ 99.99% และไม่มีความชื้นปะปนอยู่ บางครั้งอาจจะใช้แก๊สชนิดอื่นผสมกับแก๊สอาร์กอนเพื่อผลในการเชื่อม

แก๊สปกคลุมที่กล่าวมาแล้วจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานและขบวนการเชื่อม ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติและคุณลักษณะของแก๊สปกคลุมต่าง ๆ เสียก่อน

2. หัวเชื่อมและอุปกรณ์ประกอบ

หัวเชื่อมสำหรับการเชื่อม TIG ควรจะมีความแข็งแรง, กะทัดรัด, เบาและหุ้มด้วยฉนวนที่ดี หน้าที่ของหัวเชื่อมที่สำคัญได้แก่

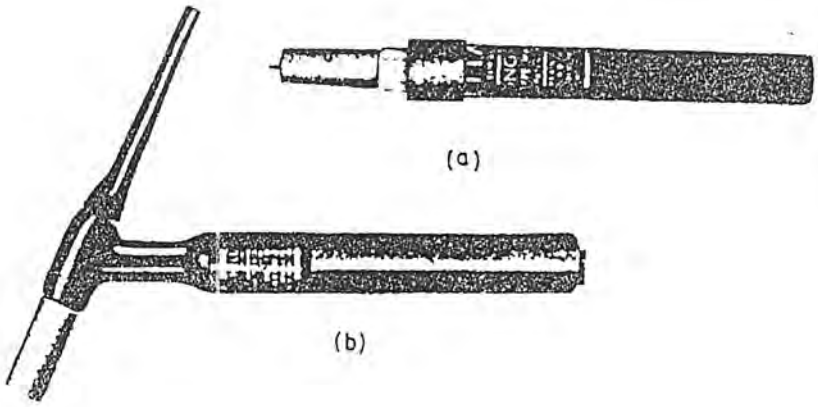
1. เป็นที่จับถือขณะเชื่อม
2. เป็นทางผ่านและบังคับแก๊สปกคลุมเพื่อให้ปกคลุมบริเวณอาร์ก
3. นำกระแสไฟเชื่อมสู่บริเวณอาร์ก
4. เป็นทางผ่านเพื่อให้น้ำระบายความร้อนออกจากอุปกรณ์ที่อยู่ภายในหัวเชื่อม
5. เป็นตัวจับลวดทังสเตน

หัวเชื่อมจะประกอบด้วย สายเชื่อม, สายยางและข้อต่อสำหรับต่อหัวเชื่อมเข้ากับเครื่องเชื่อม, แก๊สปกคลุมและน้ำระบายความร้อน, สำหรับหัวเชื่อม TIG ชนิดที่ควบคุมการเชื่อมด้วยมือ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air – Cooled)
2. ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled)

หัวเชื่อม TIG มีหลายขนาดตั้งแต่น้ำหนัก 3 ออนซ์จนถึงขนาด 1 ปอนด์ ทั้งขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสเชื่อม, ลวดเชื่อม และ Nozzle ส่วนรูปร่างจะแตกต่างกันตามบริษัทผู้ผลิต แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีทั้งแบบหัวเชื่อมเป็นมุมและหัวตรง โดยทั่วไปนิยมใช้หัวเอียงซึ่งลวดเชื่อมจะเอียงทำมุม 120 กับมือจับ อาจจะเป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำหรืออากาศก็ได้ ส่วนแบบหัวตรงนั้นลวดเชื่อมจะอยู่ในแนวเดียวกับมือจับ และหัวเชื่อมบางอันจะมีสวิตซ์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมการไหลของแก๊สปกคลุม โดยการบังคับด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

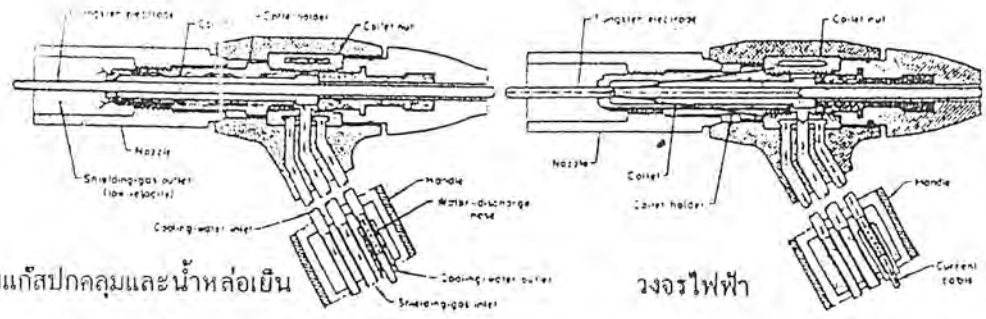


รูปที่ 4.3 (a) หัวเชื่อมแบบตรง (b) หัวเชื่อมแบบมุม

หัวเชื่อมชนิด Air Cooled นั้นที่จริงแล้วระบายความร้อนด้วยแก๊สปกคลุม สำหรับอากาศที่ระบายความร้อนออกจะเป็นอากาศที่อยู่โดยรอบหัวเชื่อม ซึ่งจะระบายความร้อนออกได้น้อยมาก หัวเชื่อมชนิดนี้มีน้ำหนักเบา, ขนาดกะทัดรัด และราคาถูกกว่าแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ส่วนมากใช้กับกระแสเชื่อมไม่เกิน 150 แอมป์ ซึ่งใช้ในการเชื่อมโลหะบางและ Duty Cycle ต่ำ ลวดเชื่อมทังสเตนที่ใช้กับหัวเชื่อมแบบ Air Cooled จะมีความร้อนมากกว่าลวดที่ใช้กับหัวเชื่อมชนิด Water Cooled โดยเฉพาะถ้าใช้ลวดทังสเตนบริสุทธิ์แล้วจะทำให้อนุภาคของทังสเตนจากลวดเชื่อมเติมลงในบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมได้เมื่อเชื่อมด้วยกระแสสูง

หัวเชื่อมชนิด Water Cocled ออกแบบไว้สำหรับการเชื่อมแบบต่อเนื่องด้วยกระแสสูงซึ่งมีอยู่หลายขนาดของกระแสเชื่อม เช่น 200, 300, 500 แอมป์ เป็นต้น และหัวเชื่อมชนิด Water Cooled จะมีราคาสูงกว่าชนิด Air Cooled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การไหลของแก๊สปกคลุมและน้ำหล่อเย็น วงจรไฟฟ้า

รูปที่ 4.4 (a)แสดงทิศทางการไหลของแก๊สปกคลุมและน้ำหล่อเย็น, (B)วงจรไฟฟ้า

หัวเชื่อมชนิด Water Cooled มีสายต่ออยู่ 3 เส้น คือ

1. สายเชื่อม เป็นสายเคเบิลทองแดงที่หุ้มด้วยยาง และยังทำหน้าที่เป็นท่อน้ำทิ้งของน้ำระบายความร้อน สายเคเบิลทองแดงจะมีขนาดเล็กกว่าสายเชื่อมธรรมดาเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าเท่ากัน เพราะสายเชื่อมชนิด Water Cooled มีน้ำสำหรับระบายความร้อนภายใน การใช้สายเชื่อมชนิดนี้ต้องระวังอย่าให้น้ำระบายความร้อนขาด เพราะหัวเชื่อมและสายเชื่อมจะร้อนเกินไปเป็นเหตุให้อุปกรณ์ดังกล่าวเสียหายได้ ภายในสายเชื่อมชนิด Water Cooled อาจจะติดตั้งฟิวส์ไว้สำหรับตัดวงจรเชื่อมเมื่อขาดน้ำระบายความร้อน และต้องระวังการรั่วของน้ำหรือการกลั่นตัวของน้ำภายในหัวเชื่อม เพราจะทำให้เกิดไอน้ำพุ่งไปยังบ่อหลอมละลาย เป็นเหตุให้แนวเชื่อมเกิดรูพรุนได้

2. ทางเข้าของน้ำระบายความร้อน เป็นสายยางกลวงที่ต่อออกจาก Solenoid Valve ของน้ำหล่อเย็นไปยังหัวเชื่อม

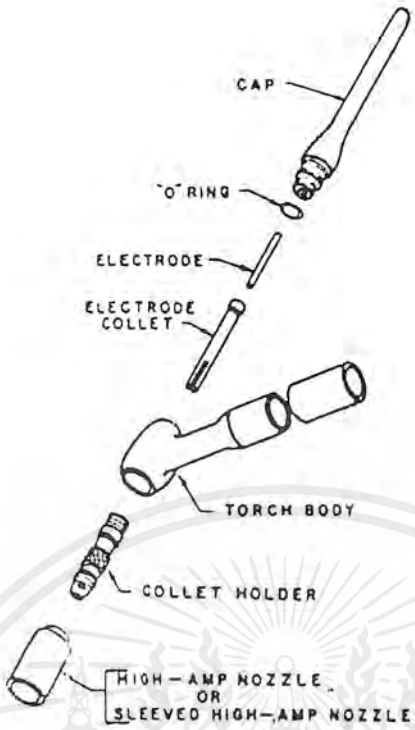
3. ทางเข้าของแก๊สปกคลุม เป็นสายยางกลวงที่ต่อจาก Solenoid Valve ของแก๊สปกคลุมไปยังหัวเชื่อม

ส่วนประกอบของหัวเชื่อม TIG

ในการเตรียมหัวเชื่อมประการแรกจะต้องเข้าใจหลักการทำงานและวิธีเลือกใช้ส่วนประกอบของหัวเชื่อมได้ถูกต้อง ส่วนประกอบของหัวเชื่อม TIG มีดังนี้

1. ตัวทอร์ช (Torch Body) เป็นส่วนลำตัวของหัวเชื่อม ภายในทำด้วยทองแดงผสมพร้อมทั้งเป็นทางเดินของแก๊สปกคลุม, น้ำระบายความร้อนและกระแสเชื่อม ซึ่งหุ้มด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนกันความร้อนและกระแสไฟเชื่อมอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงส่วนประกอบภายในหัวเชื่อม TIG

2. ฝาครอบ (Cap) เป็นส่วนปลายสุดของหัวเชื่อม มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้แก๊สไหลออกและยังเป็นตัวป้องกันไม่ให้อากาศไหลเข้าไปปนกับแก๊สภายในหัวเชื่อม Cap มีหลายขนาด กำหนดตามความยาวของลวดทังสเตน เช่น ขนาด 2 นิ้ว , 3 นิ้ว และ 7 นิ้ว เป็นต้น

3. วงแหวนยาง (Q Ring) เป็นวงแหวนยางกลมที่ประกอบอยู่ที่โคนเกลียวของ Cap สำหรับป้องกันการรั่วของแก๊ส

4. Collet หรือ electrode Collet เป็นตัวจับลวดเชื่อม ซึ่งกำหนดขนาดตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดทังสเตน โดยทั่วไปทำด้วยทองแดงผสมที่เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี แต่ก็มี collet ที่ทำจากนิกเกิลโครเมียมผสม (80-20) ผิวภายในของ collet จะต้องเรียบสม่ำเสมอ ก่อนที่จะนำ collet ไปใช้งานควรตรวจสอบครีบ (burr) ที่อาจเกิดขึ้นกับ collet เสียก่อน เนื่องจาก collet ที่มีครีบอยู่จะทำให้กระแสไฟเชื่อมไหลไม่สะดวก

5. Nozzle ที่ใช้ในการเชื่อม TIG มีอยู่หลายชนิดได้แก่ ชนิดกระเบื้อง (เซรามิก), โลหะ, แก้ว (Fused quartz) และชนิด Dual – Shield Nozzle, Nozzle ชนิดที่ทำด้วย ceramic เป็นแบบที่นิยมใช้กันและราคาถูก แต่สำหรับ Nozzl โลหะที่ระบายความร้อนด้วยน้ำจะมีอายุการใช้งานนานกว่าแบบเซรามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nozzle ชนิดเซรามิก เมื่อใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานานจะเปราะ ดังนั้นจะต้องเปลี่ยน Nozzle ใหม่ เมื่อ Nozzle ที่ใช้มีขอบขรุขระและไม่เรียบ ซึ่งจะเป็นเหตุให้การไหลของแก๊สออกมาปกคลุมแนวเชื่อมไม่สม่ำเสมอและ Nozzle ชนิดนี้ใช้กับกระแสเชื่อมที่ต่ำกว่า 275 แอมป์

Nozzle โลหะชนิดที่เป็นปลอกสวม (Sleeve – Type) ใช้ได้กับกระแสไฟฟ้าเชื่อมขนาดต่ำกว่าชนิดเซรามิก การใช้ Nozzle โลหะชนิดนี้จะต้องใช้ด้วยความระมัดระวังและถูกวิธี เพราะมีโอกาสสูญเสียได้มากกว่า Nozzle โลหะชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

Nozzle โลหะชนิดระยายความร้อนด้วยน้ำใช้ได้กับกระแสเชื่อมสูงสุด 500 แอมป์ สำหรับการเชื่อมด้วยมือ (ระบบอัตโนมัติจะสามารถใช้ได้กับกระแสเชื่อมเกินกว่า 500 แอมป์)

Nozzle ชนิดที่ทำด้วยแก้ว (Fused – Quartz) สามารถมองเห็นบริเวณอาร์กได้อย่างชัดเจนเนื่องจาก Nozzle ใสและเกิดแสงสว่างขึ้นจากลวดเชื่อม แต่เมื่อใช้ไปนาน ๆ Nozzle จะขุ่นมัว เนื่องจากไอระเหยของโลหะที่เชื่อมเกาะที่ Nozzle

Dual – Shield Nozzle มีทางแก๊สออก ๒ ทางคือ บริเวณกลางโดยรอบลวดเชื่อมจะถูกคลุมด้วยแก๊สอาร์กอนหรือฮีเลี่ยมจำนวนเล็กน้อยและปกคลุมบ่อหลอมละลายโดยตรง สำหรับบริเวณวงแหวนรอบนอกภายใน Nozzle จะปกคลุมด้วยแก๊สไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเกราะปกคลุมแก๊สเฉื่อยไว้ตรงกลาง

ขนาดของ Nozzle โดยทั่วไปแล้วการกำหนดขนาดของ Nozzle จะยึดถือเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเป็นหลักและกำหนดเป็นเบอร์ 4,5,6, และ 7 แล้วถ้าหารด้วย 16 จะได้ขนาดรูภายในของ Nozzle

<u>ตัวอย่าง</u> เบอร์ 6 หาร 16 จะได้ 6/16 นิ้ว หรือ 3/8 นิ้ว

ดังนั้น ขนาดรูภายในของ Nozzle = 3/8 นิ้ว

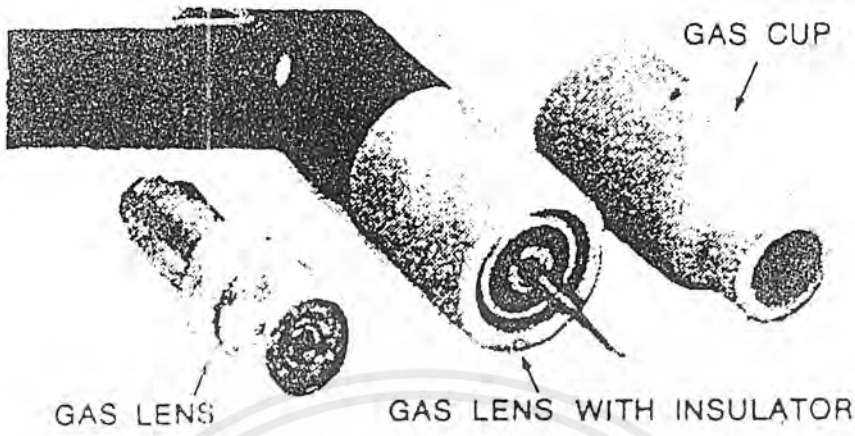
การเลือกขนาดของ Nozzle มีหลักง่าย ๆ คือให้เลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูภายใน Nozzle = 4-6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม ระวังอย่าใช้ขนาด Nozzle เล็กเกินไปเพราะจะทำให้ Nozzle ร้อนจัดและมีอายุการใช้งานสั้นลง ถ้าเลือกใช้ Nozzle ใหญ่เกินไปต้องใช้แก๊สปกคลุมมากขึ้น

Gas Lens เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแก๊สหมุนเวียนขึ้นที่ปลาย Nozzle โดยสวมติดอยู่ภายใน Nozzle ซึ่งเป็นผลดีทำให้สามารถเชื่อมได้เมื่อ Nozzle ห่างจากชิ้นงานได้ถึง 1 นิ้ว จึงทำให้ช่างเชื่อมสามารถมองเห็นบ่อหลอมละลายได้อย่างชัดเจนในขณะเชื่อมและยังเหมาะกับการเชื่อมภายในซอกมุมได้ดี

7. ลวดทังสเตน (Tungsten Electrode)

ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อม TIG จะแตกต่างจากลวดเชื่อมอื่น ๆ เนื่องจากลวดเชื่อมทังสเตน ซึ่งทำหน้าที่สำหรับการอาร์กเท่านั้น ไม่ได้เป็นลวดสำหรับเติมแนวเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 Gas Lens พร้อมอุปกรณ์ประกอบ

ทังสเตนมีจุดหลอมเหลวสูง ประมาณ 6170 ฟ (3410 ซ) จึงนิยมใช้ทำลวดเชื่อมชนิดไม่สิ้นเปลืองซึ่งมีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.5% ส่วนทังสเตนผสมนั้นจะประกอบด้วยธาตุผสมต่าง ๆ(troria หรือ zirconia) และมีราคาสูงกว่าทังสเตนบริสุทธิ์ สำหรับส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมทังสเตนแต่ละชนิด กำหนดตามมาตรฐานของสมาคมช่างเชื่อมอเมริกัน (AWS.A5 12-69)

AWS.Classification	Tungsten%min	Thoria%	Zirconia%	Other%mor
EWP...	99.5	.....	-	0.5
EWTh – 1	98.5	0.8 - 1.2	-	0.5
EWTh – 2	97.5	1.7 - 2.2	-	0.5
EWTh – 3	98.95	0.35 – 0.55	-	0.5
EWZr	99.2	.....	0.15 – 0.40	0.5

ลักษณะของผิวลวดเชื่อมทังสเตน

ผิวของลวดเชื่อมต้องปราศจากสิ่งสกปรก ไม่มีตะเข็บรอยขีดข่วน ,รอยแตก โพรงหดตัวและสารมลทินฝังใน สำหรับลวดเชื่อมที่มีจุดบกพร่องดังกล่าวนี้ไม่สมควรนำมาใช้งาน เพราะจะทำให้แนว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมมีคุณภาพไม่ดีพอ การเกิดความไม่สมบูรณ์ขึ้นภายในโครงสร้างของลวดเชื่อม ทำให้ลดความหนาแน่นของกระแสลงไป ถ้าผิวของลวดเชื่อมไม่สม่ำเสมอจะเป็นเหตุให้เปลวอาร์กย้อนกลับเข้ามาที่ปลายลวดและควบคุมการอาร์กยาก ผิวของลวดเชื่อมแบ่งออกเป็น ๒ ลักษณะ คือ

1. ผิวเจียระไน (Ground Fomosh)

2. ผิวล้างด้วยน้ำยาเคมี (Chemically cleaned Finish)

ลวดเชื่อมชนิดผิวเจียรไน เป็นลวดทังสเตนที่มีผิวเรียบเป็นมันโดยการเจียรไนให้ได้ตามมาตรฐาน มีราคาสูงกว่าลวดชนิดผิวล้างด้วยน้ำยาเคมี ซึ่งลวดชนิดนี้จะให้ผลดีหลายประการ คืออาร์กที่ได้คงที่และสม่ำเสมอความเรียบของผิวลวดจะช่วยให้มีหน้าสัมผัสระหว่างลวดเชื่อมกับ collet มีมาก ทำให้กระแสเชื่อมไหลผ่านได้สะดวกกว่าลวดเชื่อมชนิดผิวล้างด้วยน้ำยาเคมี

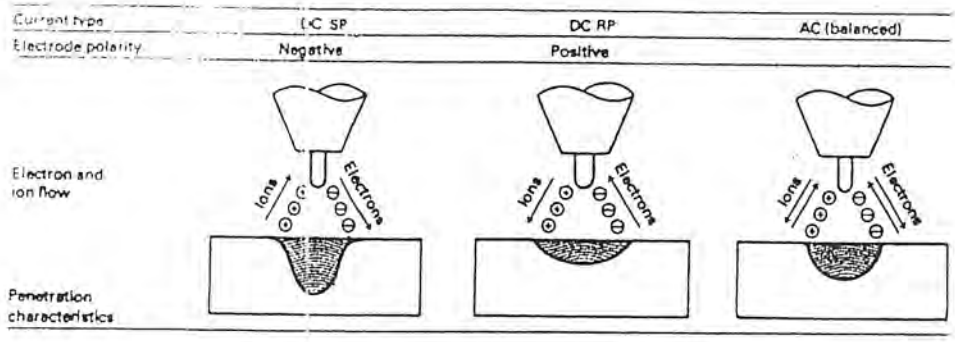
ลวดทังสเตนผลิตจากกรรมวิธีการดึงขึ้นรูป (Drawing) โดยใช้กราไฟต์เป็นวัสดุหล่อลื่น ดังนั้นลวดที่ผลิตออกมาจะมีผงกราไฟต์เคลือบอยู่บาง ๆ ซึ่งจะมองเห็นเป็นสีดำหรือน้ำเงินดำ ผลกราไฟต์ที่ติดอยู่บนผิวของลวดเชื่อมจะไม่มีผลต่อการอาร์กหรือคุณภาพของแนวเชื่อม สำหรับจุดต่างที่เกิดขึ้นบนผิวของลวดทังสเตนนั้น อาจเนื่องจากออกไซด์หรือสารมลทิน ซึ่งจะทำให้เกิดความสกปรกกับแนวเชื่อมและทำให้ลวดเชื่อมสึกหรอเร็ว

ความถี่สูง (High Quequency)

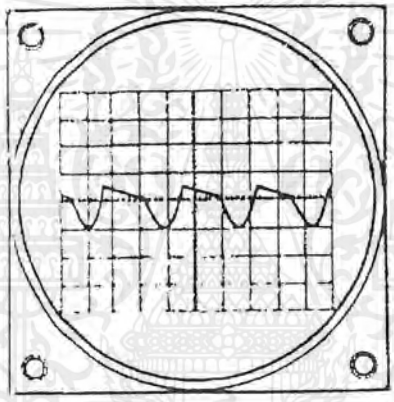
จากการทดลอง แสดงให้ เห็นว่าการอาร์กจะเกิดได้ง่ายและแน่นอนจะต้องใช้แรงดังไฟฟ้ามากกว่า 70 – 80 Volts ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีเครื่องผลิตความถี่สูง ซึ่งสามารถผลิตแรงดันได้หลายพันโวลต์ด้วยขนาดกระแสเป็นมิลลิแอมแปร์ เท่านั้น รวมเข้าไว้ในวงจรของขดลวดทุติยภูมิในเครื่องเชื่อมด้วยเพื่อเป็นตัวผลิตแรงดันสูงชดเชยในการทำให้ครึ่งไซเกิลบวกที่ขาดหายไปบางส่วน และยังแรงพอที่จะไปขจัดออกไซด์ออกไปได้อีกด้วย ปกติแล้วมักจะเข้าใจกันว่าความถี่สูงจะทำหน้าที่ให้เกิดปฏิกิริยาทำความสะอาด (cleaning Action) แต่ที่จริงแล้วความถี่สูงเป็นเพียงตัวทำหน้าที่ช่วยจุดเปลวอาร์กให้เกิดขึ้น โดยเฉพาะในครึ่งไซเกิลบวกและเป็นผลทำให้เกิดการอาร์กที่สม่ำเสมอ และทำให้การขจัดออกไซด์เป็นไปอย่างได้ผลเท่านั้น

ความถี่สูงจะทำหน้าที่เริ่มต้นอาร์กในตอนแรกโดยที่ปลายอิเล็กโทรดไม่ได้สัมผัสอยู่กับชิ้นงาน ซึ่งจำเป็นมากสำหรับการเชื่อมอลูมิเนียมและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นโลหะที่มีความไวสูงต่อสารที่ไม่บริสุทธิ์อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 คุณลักษณะของกระแสเชื่อม TIG แต่ละชนิด



รูปที่ 4.8 unbalanced AC Sine Wave

นอกจากนี้ความถี่ยังสูงได้ถูกนำมาใช้กับการเชื่อมเหล็ก สเตนเลส,ทองเหลือง และอื่น ๆ อีกด้วย เมื่อใช้กระแสไฟตรงเชื่อมโดยความถี่สูงจะทำหน้าที่เริ่มต้นอาร์กในตอนแรก และจะถูกตัดออกไปโดยอัตโนมัติเมื่อการอาร์กดำเนินไปได้แล้ว

จุดประสงค์อีกประการหนึ่งของการที่ต้องมีความถี่สูงคือ การทำให้แก๊สปกคลุมแตกตัวเป็นอิออน ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลของกระแสเพิ่มมากขึ้น คำว่าการแตกตัวเป็นอิออน (Ionization) หมายถึง อะตอมของแก๊สที่ต้องสูญเสียอิเล็กตรอนไปหนึ่งตัวหรือมากกว่านั้น แล้วอะตอมนั้นยังคงสภาพเป็นอิออนบวก ในขณะเชื่อมเมื่อชิ้นงานเป็นขั้วลบ แก๊สอิออนซึ่งมีประจุเป็นบวกก็จะวิ่งเข้าชนชิ้นงานด้วยเครื่องที่มากพอที่จะดีออกไซด์บนผิวงาน (อะลูมิเนียม) ให้แตกหลุดออกไปได้จึงพอจะสรุปได้ว่าความถี่สูงจะทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. ทำหน้าที่เริ่มต้นอาร์กโดยที่ลวดทังสเตนไม่ต้องสัมผัสชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ช่วยทำให้การอาร์กคงที่โดยการช่วยจุดกระแสไฟในช่วงไซเกิลบวกของการเชื่อมด้วยกระแสไฟสลับ

3. การแตกตัวเป็นอิออน ช่วยในการเริ่มต้นและส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาทำความสะอาดขึ้น

เครื่องผลิตความถี่สูงนี้จะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ หลายส่วน เช่น หม้อแปลงไฟสูง คอนเดนเซอร์ ชุดสปาร์คเพื่อสร้างความถี่ รีโอสตาทและคัปปลิ้งคอยส์ ซึ่งทำหน้าที่เหนี่ยวนำความถี่สูงเข้าไปในวงจรเชื่อม เครื่องผลิตความถี่สูงนี้บางครั้งจะออกแบบรวมไว้กับเครื่องเชื่อม บางครั้งก็แยกกัน ส่วนมากเครื่องเชื่อมที่ออกแบบสำหรับการเชื่อม TIG โดยเฉพาะมักจะมีเครื่องผลิตความถี่สูงในตัว ถ้าเป็นเครื่องที่ออกแบบให้แยกกันจะสามารถนำเครื่องผลิตความถี่สูงมาต่อเข้ากับวงจรเชื่อมได้เลย

การเชื่อมด้วยกระแสเป็นช่วง (Pulsed Current Welding)

Pulsed current welding เป็นการเชื่อม TIG ที่ค่อนข้างใหญ่และมีผู้ผลิตเครื่องเชื่อมชนิดนี้เพียงไม่กี่ราย หน้าปัดเครื่องเชื่อมประกอบด้วยตัวควบคุมต่าง ๆ ดังนี้

1. Off – On เป็นสวิตซ์ปิด – เปิด เครื่องเชื่อม

2. Hot –Start เป็นปุ่มควบคุมการเริ่มต้นอาร์ก (ดูรายละเอียดในหัวข้ออุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องเชื่อม)

3. Weld current เป็นปุ่มตั้งกระแสเชื่อมสำหรับกระแสเชื่อมปกติ หรือกระแสช่วงสูงของ Pulsed

4. Percent of weld current เป็นปุ่มตั้งกระแสเชื่อมต่ำสุดของกระแส Pulsed

5. Pulsation off – on switch เป็นสวิตซ์สำหรับเลือกระบบการทำงานของเครื่อง เช่น โยกสวิตซ์ไปที่ "ON" เครื่องเชื่อมจะจ่ายกระแสออกมาเป็นระบบ Pulse แต่ถ้าโยกสวิตซ์ไปที่ "OFF" เครื่องเชื่อมจะทำงานเป็นระบบ TIG ธรรมดา

6. Low Pulse เป็นไฟแสดงในช่วงเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสเชื่อมช่วงต่ำ (Low Time Preiod)

7. High Pulse เป็นไฟแสดงในช่วงเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสเชื่อมช่วงสูง

8. High Pulse time เป็นปุ่มตั้งช่วงเวลาที่เครื่องจ่ายกระแสไฟระดับสูง

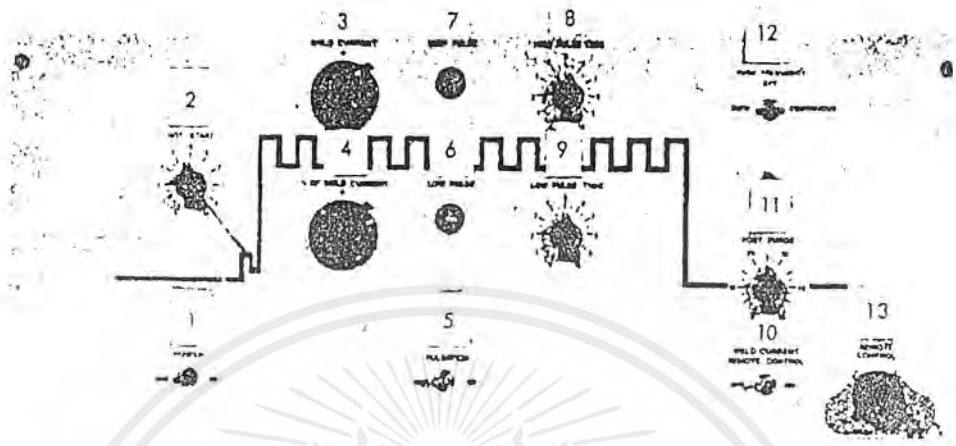
9. Low Pulse time เป็นปุ่มตั้งช่วงเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสไฟระดับต่ำ

10. Weld current Remote control เมื่อโยกสวิตซ์นี้ไปที่ตำแหน่ง "ON" จะสามารถควบคุมการทำงานด้วย Remote control

11. Post Flow control เป็นปุ่มตั้งเวลาให้แก๊สปกคลุมไหลปกคลุมบริเวณอาร์กและลวดทังสเตน ภายหลังจากหยุดอาร์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. High Frequency (Auto, off, continuous) เป็นสวิตซ์ควบคุมการทำงานของความถี่สูงโดยการโยกสวิตซ์ไปที่ตำแหน่งที่ต้องการ



รูปที่ 4.9 แสดงหน้าปัดควบคุมการทำงานของเครื่องเชื่อม Pulsed

Auto หมายถึง ความถี่สูงจะเริ่มอาร์กและเมื่ออาร์กแล้วความถี่สูงจะถูกตัดออกไปโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะใช้เมื่อเชื่อมด้วยกระแสตรง

OFF หมายถึง ตำแหน่งที่ไม่ต้องการใช้ความถี่สูง โดยมากใช้เมื่อเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

Continuous หมายถึง ตำแหน่งที่ความถี่สูงทำงานอย่างต่อเนื่องในขณะเชื่อม

13. Remote control เป็นรูสำหรับเสียบปลั๊กสายต่อของ Remote control

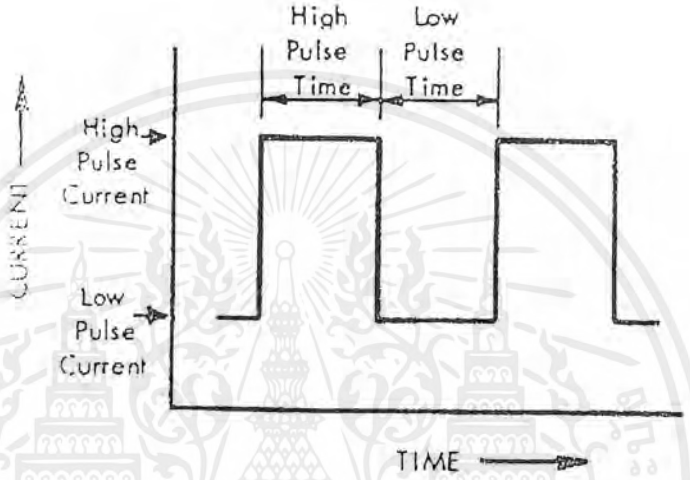
หลักการทำงานของกระแส Pulsed

การทำงานของเครื่องเชื่อม TIG จะให้กระแสที่ใช้ในการอาร์กออกมาคงที่ยกเว้นเมื่อมีการใช้ rheostat หรือเท้าเหยียบควบคุม จากเหตุผลดังกล่าวจะต้องใช้กระแสเชื่อมมากเมื่อต้องการการซึมลึกมาก และใช้กระแสน้อยเมื่องต้องการบ่อหลอมละลายเล็ก ซึ่งกระแส Pulsed จะให้กระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในสองระดับ คือ ระดับสูง (High Pulsed current) กับระดับต่ำ (Low Pulsed current) ดูรูปที่ 4.10

ช่วง High Pulsed curren เป็นช่วงที่เกิดความร้อนสูงและมีการหลอมละลาย ส่วนช่วง Low Pulsed current เป็นช่วงที่เกิดการเย็นตัวและโลหะแนวเชื่อมจะแข็งตัว จึงเปรียบเสมือนการเหยียบสวิตซ์ที่เท้าของ Remote control ลง เป็นการเพิ่มกระแสและเมื่อยกเท้าขึ้นจะเป็นการลดกระแส วิธีดัง

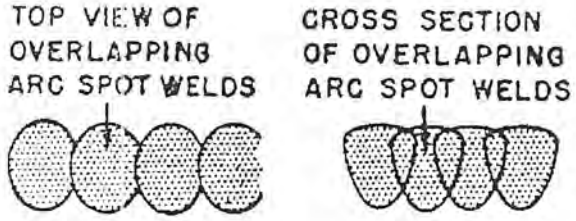
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวนี้ไม่สามารถกระทำได้คงที่ ดังนั้นจึงได้พัฒนาระบบ Pulse ที่มีสวิตซ์อัตโนมัติสำหรับเปลี่ยนแปลงค่าของกระแสที่สามารถควบคุมเวลาของกระแสแต่ละช่วงได้ แนวเชื่อมแบบ Pulse จะมีลักษณะเหมือนกับการเชื่อมเป็นจุดที่วางเกยทับกัน จุดเชื่อมแต่ละจุดเกิดจากช่วงที่กระแสที่สูงขึ้นซึ่งจุดเชื่อมนี้จะเกิดความร้อนและการซึมลึก และเมื่อกระแสลดสู่ระดับต่ำแนวเชื่อมจะเย็นตัวและแข็งตัว ซึ่งการเชื่อมจะเกิดขึ้นสลับกันไปตามความยาวแนวเชื่อม (รูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.10 แสดงกระแสเชื่อมกับเวลาของระบบ Pulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะแนวเชื่อมแบบ Pulse

การเชื่อมด้วยระบบ Pulse จะต้องเข้าใจองค์ประกอบ 4 ประการ ดังนี้

1. "High Pulse current" หรือ "Pulse current" คือช่วงของกระแสที่สูงสุดซึ่งเป็นช่วงที่ให้ความร้อนจากการอาร์กสูงสุด

2. "Low Puse current" หรือ "Background current" คือช่วงของกระแสที่ต่ำสุดและเป็นช่วงที่ให้ความร้อนต่ำสุด

3. "High Pulse time" เป็นระยะเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสช่วงสูงสุด "High curren Pulset"

4. "Low Pulse time" เป็นระยะเวลาที่เครื่องเชื่อมจ่ายกระแสช่วงต่ำสุด "Low curren Pulset"

การปรับกระแสและเวลาสำหรับเชื่อม Pulse

การปรับ High Pulse current จะใช้สูงกว่ากระแสปกติเพียงเล็กน้อยเมื่อเชื่อมงานที่เหมือนกัน สำหรับ Low Pulse current ปกติจะปรับให้ต่ำกว่า High Pulse current คือประมาณ 25% ของ High Pulse current โดยให้อาร์กยังคงอยู่

<u>ตัวอย่าง</u> ถ้าปรับ High Pulse current 200 Amps. และปรับ Low Pulse current ที่ 25% ซึ่งจะได้กระแสช่วงต่ำสุด 50 Amps.

การปรับช่วงของ Pulse นั้นมีความสำคัญมาก โดยจะต้องปรับที่ High Pulse time และต้องพิจารณาถึงบ่อหลอมละลายและการซึมลึกด้วย ถ้างานหนาให้ตั้งเวลาบวก ส่วน Low Pulse time ตั้งให้เพียงพอแก่บ่อหลอมละลายจะเย็นตัวและโดยปกติจะตั้งให้ต่ำกว่าช่วงเวลา High Pulse time การตั้งค่าต่าง ๆ นั้นต้องคำนึงถึงบ่อหลอมละลาย, การซึมลึก ชนิดของวัสดุงาน, ตำแหน่งการเชื่อมและลักษณะของรอยต่อ เช่น ถ้าบ่อหลอมละลายของงานเชื่อมโตเกินไปหรือซึมลึกเกินไปควรลด Hihg Pulse current ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดสอบการทำงาน

5.1 การตรวจวัดรูปสัญญาณที่จุดต่างๆ ในวงจร

ในขณะที่ทำการทดสอบใช้งานเครื่องเชื่อมโดยการใช้เชื่อมจริงนั้นสามารถวัดรูปสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรได้ดังนี้

5.1.1. รูปสัญญาณที่วัดจากขา 10 ของไอซี SG3526 มีลักษณะเป็นคลื่นเอียง (Ramp Wave) ส่วนคาบเวลาที่ได้นั้นจะเป็นฐานเวลาให้กับวงจรสวิทชิ่ง ส่วนช่วงเวลาในจังหวะขาลงของรูปสัญญาณจะเป็นตัวบอกค่าค่าเวลาที่รอให้อุปกรณ์สวิทชิ่งหยุดนำกระแส (Dead Time)

รูปที่ 5.1 รูปแสดงสัญญาณฟันเลื่อยซึ่งเป็นฐานเวลาในการสร้างพัลซ์

5.1.2. รูปสัญญาณที่วัดจากขา 13 และ 16 ของไอซี SG3526 ซึ่งเป็นสัญญาณเอาท์พุทพัลซ์ที่จะส่งไปควบคุมการสวิทซ์ของอุปกรณ์เพาเวอร์สวิทซ์ โดยผ่านวงจรขับ

รูปที่ 5.2 รูปแสดงสัญญาณพัลซ์ที่เอาท์พุท A และ B ของไอซี SG3526

5.1.3. รูปสัญญาณพัลซ์จากวงจรขับที่ส่งผ่านหม้อแปลงเพื่อแยกระบบควบคุมกับระบบกำลังมายังขาเกตของเพาเวอร์มอส.ฟต

รูปที่ 5.3 รูปแสดงสัญญาณพัลซ์ที่ขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต

5.1.4. รูปสัญญาณที่วัดจากการสวิทซ์ของเพาเวอร์มอสเฟตในวงจรคอนเวอร์เตอร์

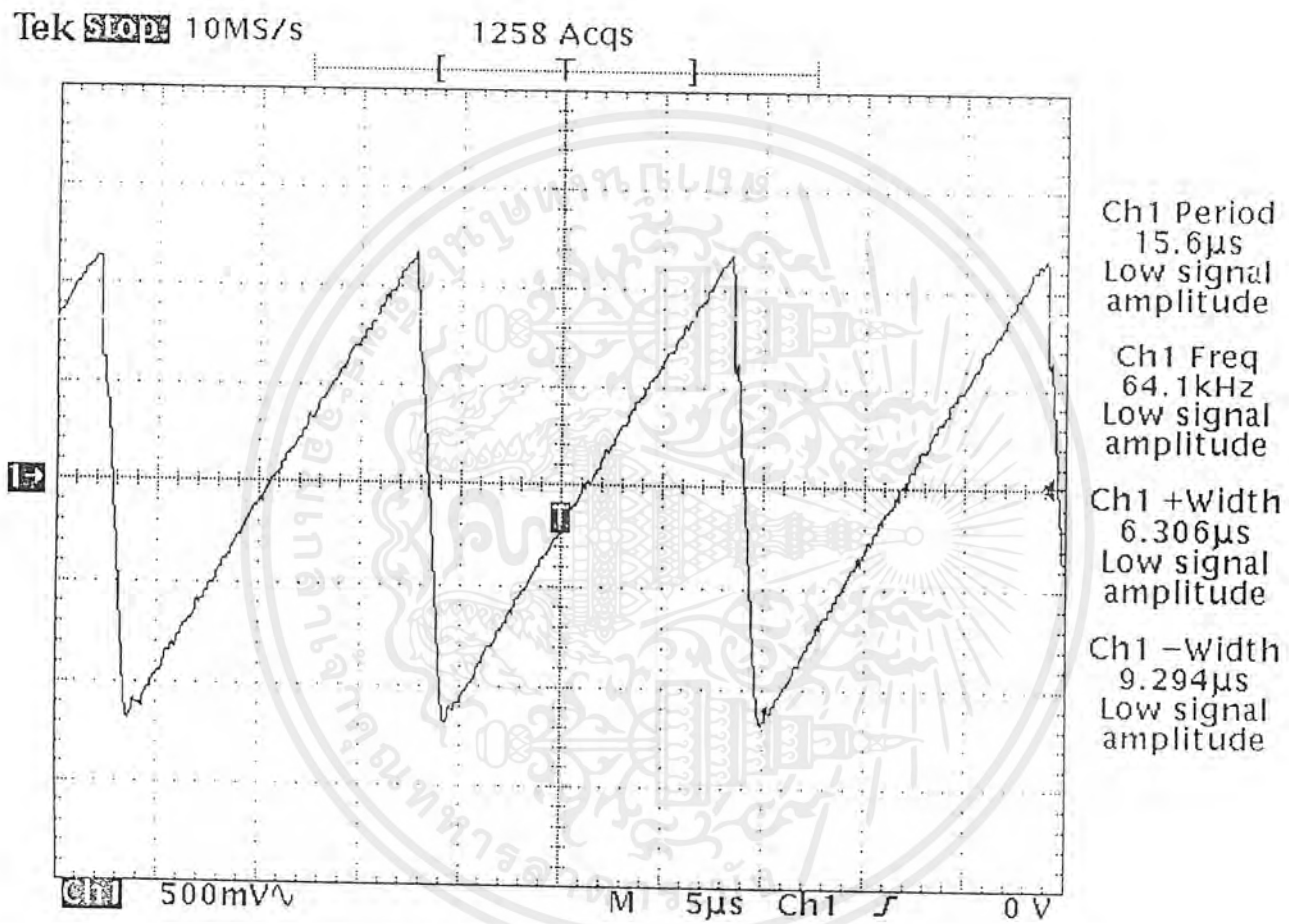
รูปที่ 5.4 รูปแสดงสัญญาณการสวิทซ์ของเพาเวอร์มอสเฟตในสภาวะที่เครื่องเชื่อมทำงาน

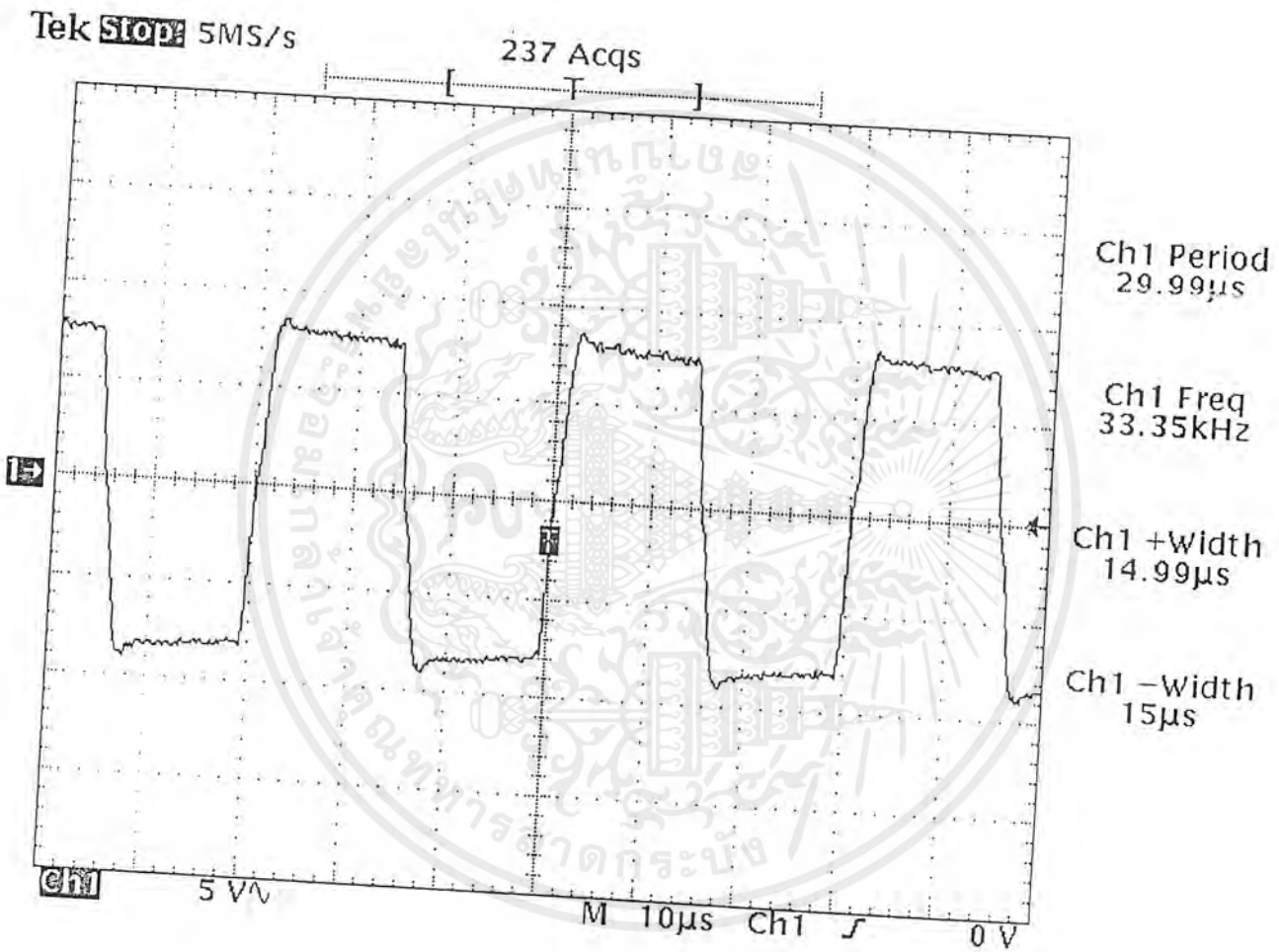
5.2. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานภาระต่อค่ากระแสเอาท์พุท

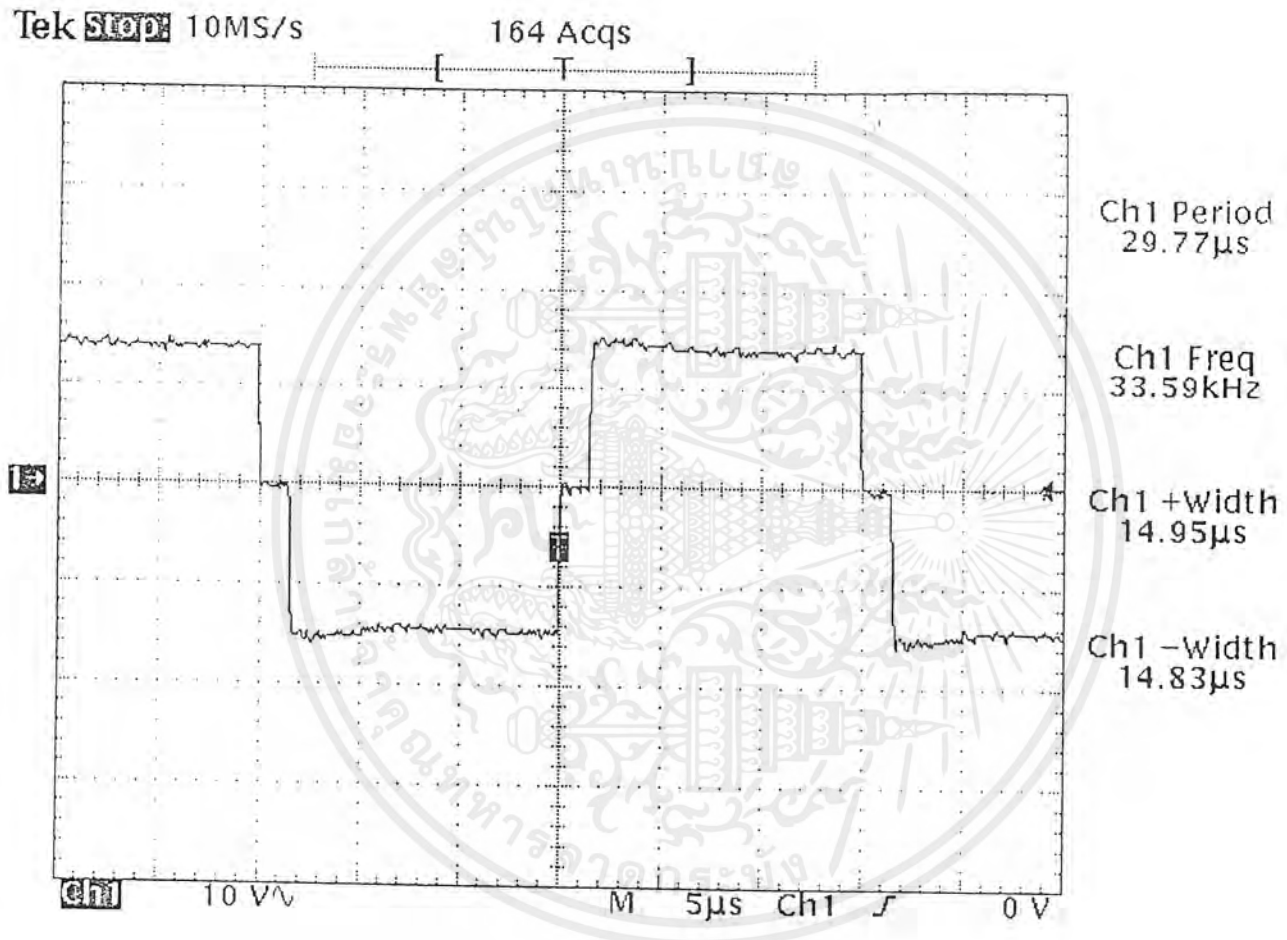
การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานภาระต่อค่ากระแสเอาท์พุท ทำโดยการต่อความต้านทานภาระค่าคงที่ ที่มีขนาดต่างๆ กัน แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่ากระแสและค่าแรงดันเอาท์พุทที่ได้ จากการทดลองสามารถเขียนตารางได้ดังนี้

Load R (Ω)	Output Voltage (V)	Output Current (A)
50	50	1
40	48	1.2
30	46	1.53
25	43	1.72
15	42	2.8
9.5	40.8	4.29

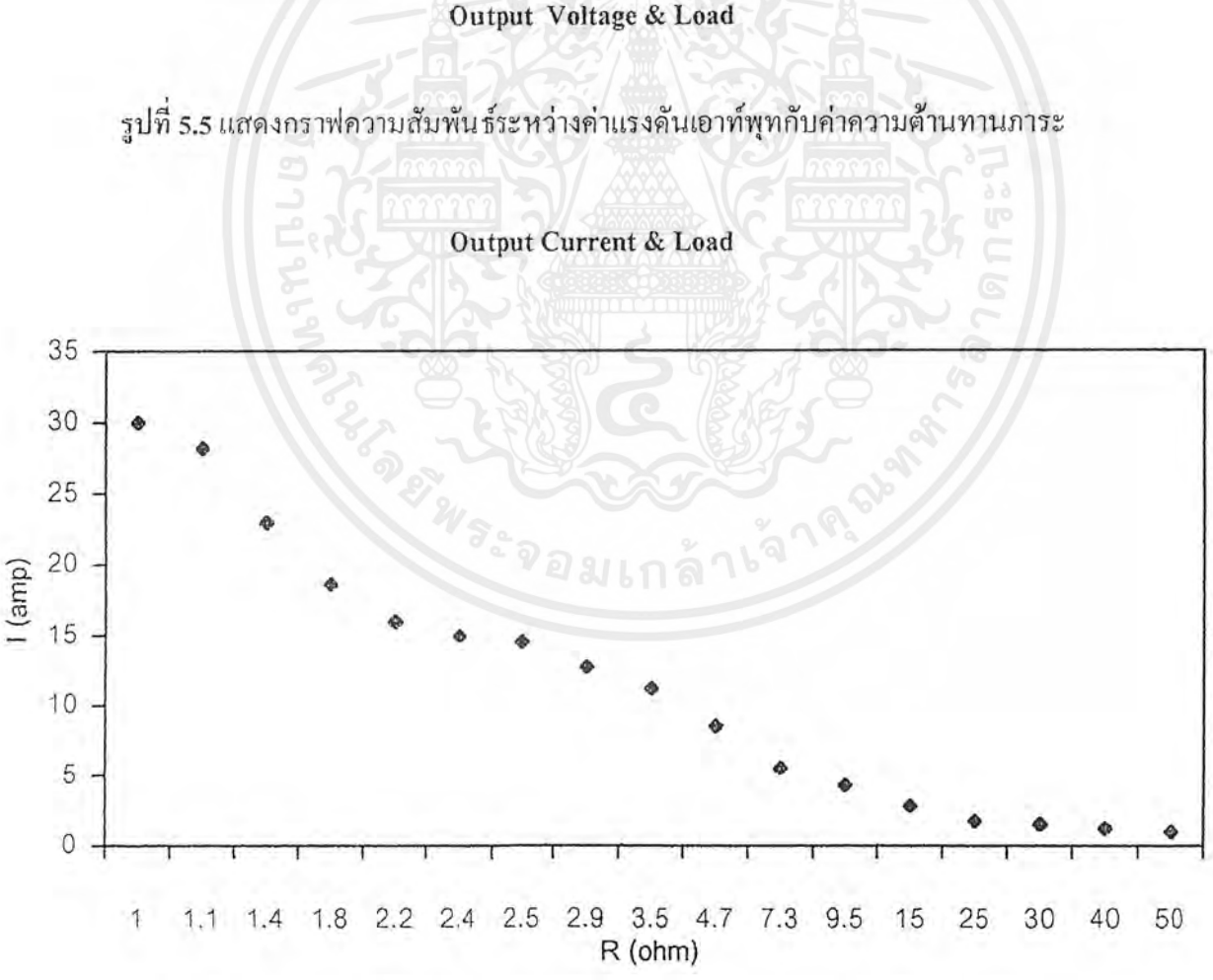
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Tek STOP 10MS/s
1258 Acqs
Ch1 Period
15.6µs
Low signal
amplitude
Ch1 Freq
64.1kHz
Low signal
amplitude
Ch1 +Width
6.306µs
Low signal
amplitude
Ch1 −Width
9.294µs
Low signal
amplitude
Ch1 500mV
M 5µs Ch1
0 V


Tek Stop: 5MS/s
237 Acqs
Ch1 Period
29.99µs
Ch1 Freq
33.35kHz
Ch1 +Width
14.99µs
Ch1 −Width
15µs
Ch1
5 V
M 10µs Ch1
0 V


Tek Stop: 10MS/s
164 Acqs
Ch1 Period
29.77µs
Ch1 Freq
33.59kHz
Ch1 +Width
14.95µs
Ch1 −Width
14.83µs
Ch1 10 V
M 5µs Ch1 0 V

7.3	40.5	5.54
4.7	40.1	8.53
3.5	39.1	11.17
2.9	37.0	12.75
2.5	36.3	14.52
2.4	35.9	14.95
2.2	35.1	15.95
1.8	33.5	18.61
1.4	32.3	23.0
1.1	31	28.18
1.0	30	30



รูปที่ 5.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันเอาท์พุทกับค่าความต้านทานภาระ

รูปที่ 5.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสเอาท์พุทกับค่าความต้านทานภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางสามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและค่าแรงดันเอาท์พุท ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความต้านทานภาระได้ดังรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 ตามลำดับ

ในขณะที่ทำการทดลองพบว่าเกิดการสูญเสียขึ้นในขดลวดเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่กรองกระแสทางด้านเอาท์พุทเพราะเกิดความร้อนขึ้นสูงมาก

5.3. การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานทำโดยการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานที่เครื่องสามารถจ่ายออกมาได้กับพลังงานที่เครื่องดูดกลืนเข้าไป

โดยเพาเวอร์เอาท์พุทสูงสุดที่เครื่องสามารถทำได้หาได้จาก

ค่ากระแสสูงสุดที่เครื่องสามารถจ่ายได้ที่โหลด 1 โอห์ม คือ	30	แอมป์
ในขณะนั้นมีแรงดันเอาท์พุท	30	โวลท์
ดังนั้นจะได้เพาเวอร์เอาท์พุทเป็น	900	โวลท์-แอมป์

ส่วนทางด้านอินพุทกินกระแส	7.5	แอมป์
ดังนั้นจะได้เพาเวอร์อินพุทเป็น	1,650	โวลท์-แอมป์

สามารถคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมนี้ได้โดย

ประสิทธิภาพ = (900/1650) *100%

= 54.54 เปอร์เซ็นต์

จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพดังกล่าว คาดว่าการสูญเสียส่วนหนึ่งอาจเกิดขึ้นที่ขดลวดเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่กรองกระแสเอาท์พุท ซึ่งต่ออนุกรมโดยตรงกับโหลด เพราะมีความร้อนเกิดขึ้นสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุป

จากการทดสอบเครื่องเชื่อมแบบ TIG จะพบว่าเราสามารถใช้ Microcontroller ควบคุมการเชื่อมแบบ TIG ได้โดยให้การทำงานของส่วนต่างๆ ทำงานสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี เช่น จังหวะการปิด –เปิด วาล์วแก๊ส การ ON-OFF แรงดัน High Volt รวมทั้งการ ON-OFF กระแสเชื่อม

ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

จากการทดลองเชื่อมจะพบว่าการควบคุมกระแสเชื่อมไม่คงที่เท่าที่ควร ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากแรงดันOut put จาก Microcontroller ที่ไปควบคุมกระแสนั้นไม่นิ่ง กระแส Out put จึงเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเราสามารถแก้ไขได้โดยแทนที่จะเอาแรงดันOut put ของ Microcontroller 5V ไปควบคุมกระแสโดยตรงเราก็นำไปผ่านชุด Driver กระแสก่อนเพื่อให้แรงดัน 5 V คงที่เพื่อกระแสจะได้คงที่

และปัญหาที่เกิดขึ้นอีกอย่างก็คือ กระแสสูงสุดที่ใช้เชื่อมมีค่าน้อยไม่สามารถเพิ่มให้เท่ากับเครื่องเชื่อมที่มีขายในท้องตลาดได้ซึ่งการที่กระแสเชื่อมไม่คงที่ จะเป็นสาเหตุให้การเชื่อมโลหะที่มีความหนามากๆ ไม่ได้ เนื่องจากชิ้นงานไม่หลอมละลาย ชิ้นงานไม่ติดกันหรือรอยเชื่อมไม่แข็งแรง ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากหม้อแปลง Out put ตัวเล็กเกินไป ทำให้จ่ายกระแสได้ไม่สูงมากนัก ซึ่งวิธีการแก้ไขก็คือควรมีการพันหม้อแปลงให้มีขนาดใหญ่ขึ้นกระแสจะได้มากขึ้นไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

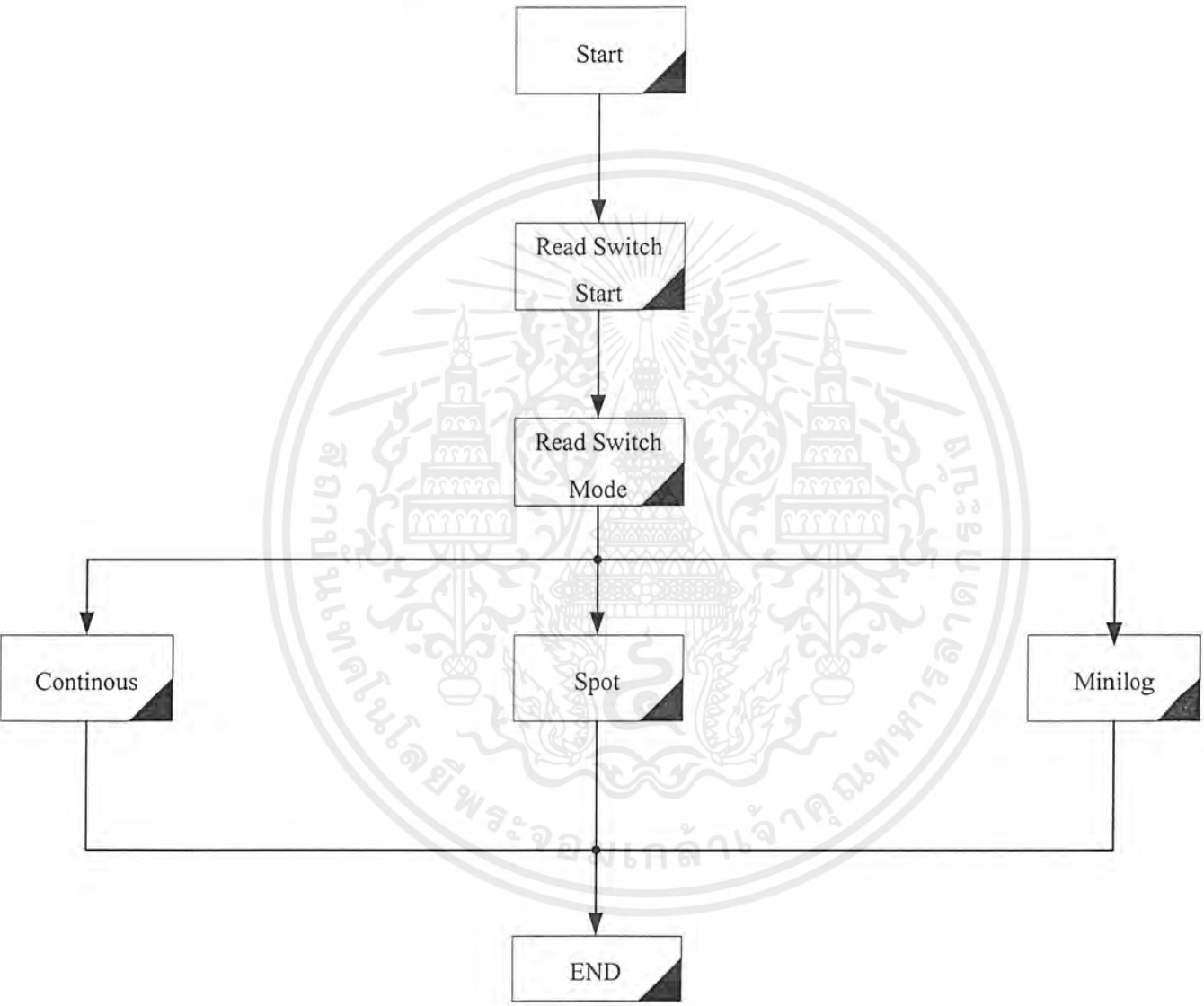
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดโปรแกรมที่ใช้ควบคุม

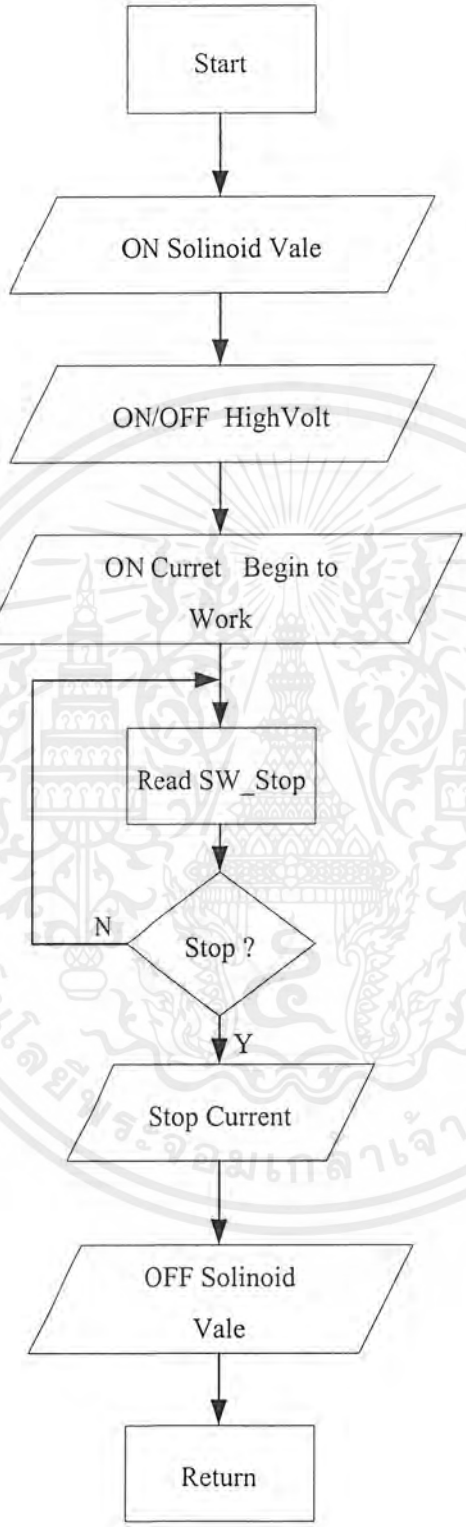
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมเครื่องเชื่อมแบบ TIG



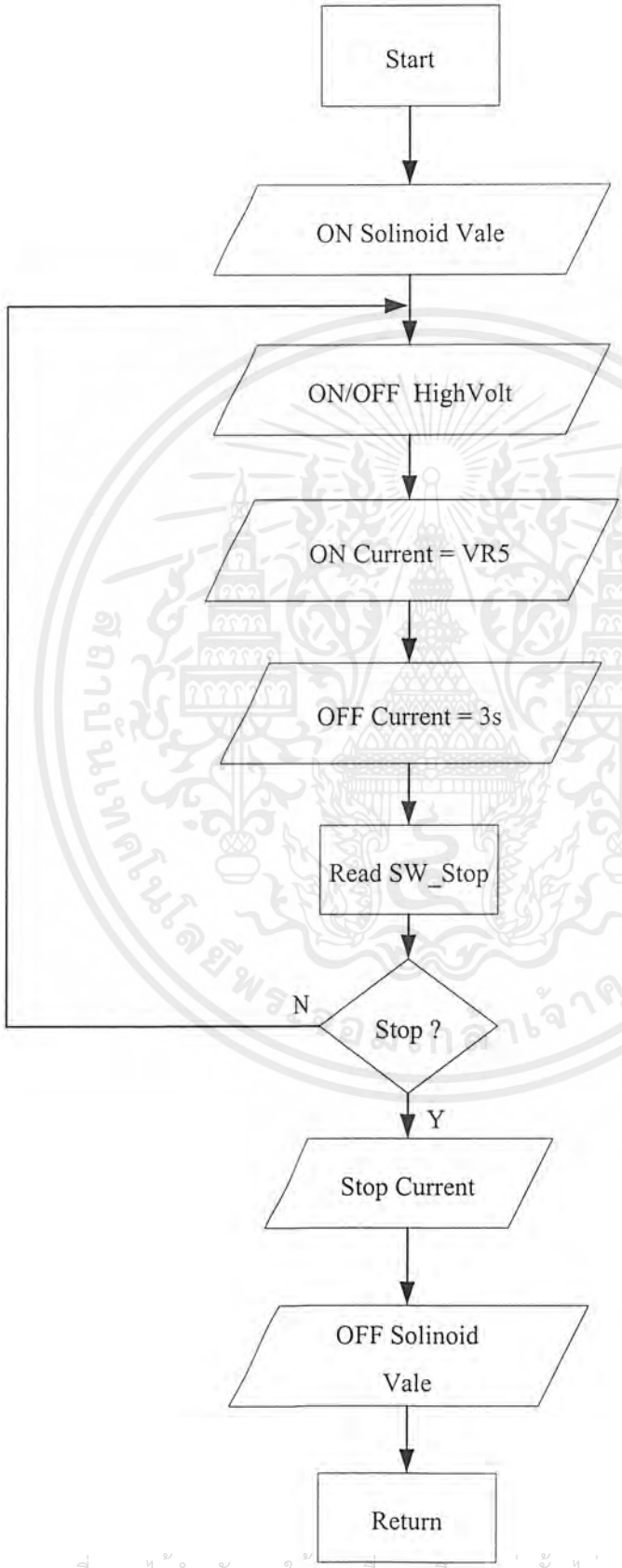
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continous Mode



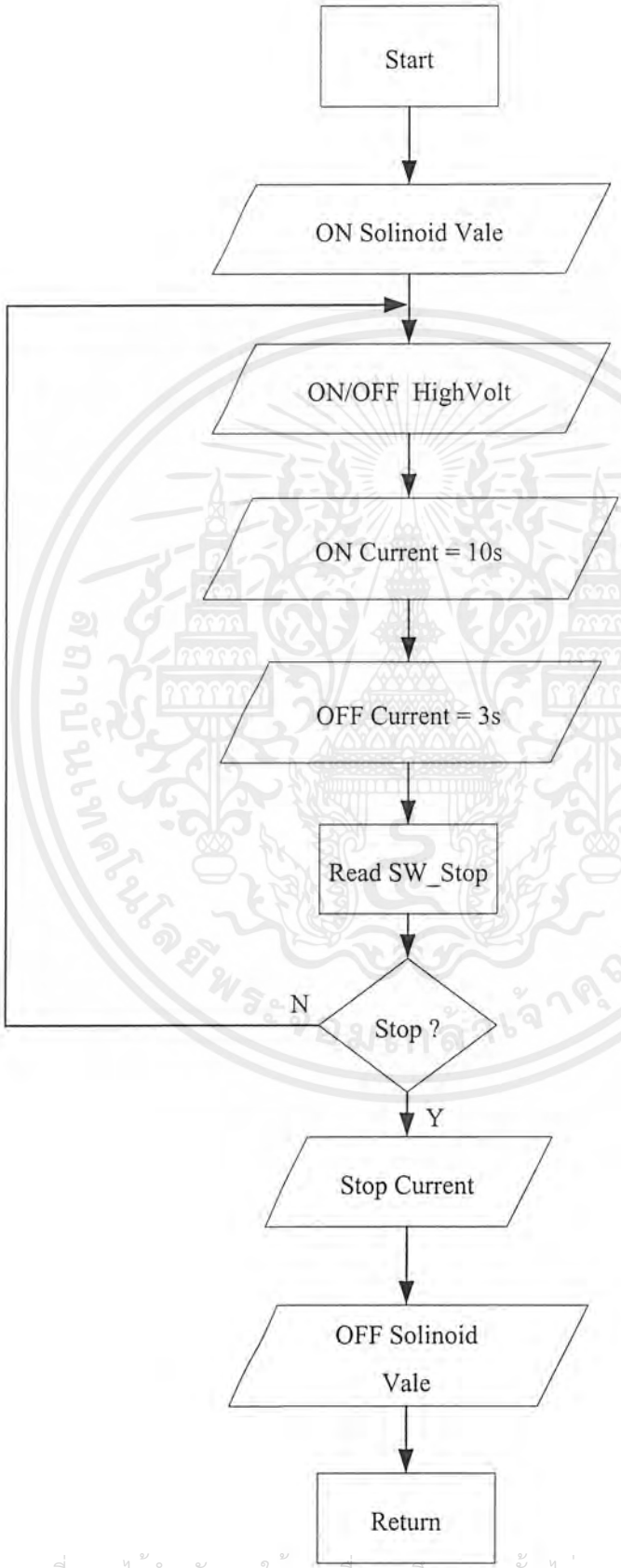
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spot Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Minilog Mode



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;FLAG
MULFG       EQU   00H

;PORT
PORTA       EQU   0FC00H
PORTB       EQU   0FC01H
PORTC       EQU   0FC02H
PORTCTL     EQU   0FC03H
;CONSTANT
CTLWORD     EQU   89H
ON_HIGH_VOLT  EQU  10
;BIT I/O
SOL_VALVE    EQU   ACC.1
HIGH_VOLT    EQU   ACC.0
START_SW     EQU   ACC.3
STOP_SW      EQU   ACC.3
;BUFFER
VR0_BUF      EQU   30H
VR1_BUF      EQU   31H;-32H
VR2_BUF      EQU   33H
VR3_BUF      EQU   34H;-35H
VR4_BUF      EQU   36H;-37H
VR5_BUF      EQU   38H
STORE_TIME   EQU   39H;-3AH
NUMBER_STEP  EQU   3BH
ADCBUF       EQU   3CH;-3DH
; Pin Interface
CSBIT       EQU   P3.4   ;CHIP SELECT
SCLKBT      EQU   P3.5   ;SERIAL CLOCK
DINBIT      EQU   P1.2   ;DATA IN
DOUTBT      EQU   P1.3   ;DATA OUT

;SUB-ROUTINE
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
UBEEP       EQU   00A5H

;-------------------------------------------------------

        ORG   8100H

MAIN:  MOV   DPTR,#PORTCTl
    MOV   A,#CTLWORD
    MOVX  @DPTR,A

    SETB  CSBIT       ;SET CS
    CLR   SCLKBT      ;CLEAR SCLK

    CALL  UBEEP
MAIN01: MOV   DPTR,#PORTC       ;CHECK START SWITCH
    MOVX  A,@DPTR
    JB    START_SW,MAIN01

    MOV   DPTR,#PORTC
    MOVX  A,@DPTR
    ANL   A,#07H
    CJNE  A,#01H,MAIN02
    CALL  UBEEP
    CALL  CONTINOUS
    CALL  UBEEP
    JMP   MAIN01
MAIN02:
    CJNE  A,#05H,MAIN03
    CALL  UBEEP
    CALL  SPOT
    CALL  UBEEP
    JMP   MAIN01
MAIN03:
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    CJNE  A,#04H,MAIN01
    CALL  UBEEP
    CALL  MINI
    CALL  UBEEP
    JMP   MAIN01


;-------------------------------------------------
CONTINOUS:
    MOV   DPTR,#PORTB        ;ON SOLINOID VALVE
    MOV   A,#2
    MOVX  @DPTR,A
    PUSH  ACC
    MOV   A,#0               ;ON CURRENT = VR0
    CALL  READ_VR
    CALL  SHIFT_RIGHT_4BIT
    MOV   A,R3
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOVX  @DPTR,A
    POP   ACC
    MOV   R2,#ON_HIGH_VOLT   ;ON HIGH VOLTAGE
LOOP1:  PUSH  02H
    MOV   DPTR,#PORTB        ;MAKE PULSE
    SETB  HIGH_VOLT
    MOVX  @DPTR,A
    CALL  DELAY100mS
    CLR   HIGH_VOLT
    MOVX  @DPTR,A
    CALL  DELAY100mS
    POP   02H
    DJNZ  R2,LOOP1

    CALL  TIME_SLOP_UP       ;SLOP UP TO VR2
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOV   R7,VR0_BUF
    MOV   R2,NUMBER_STEP
LOOP2:  PUSH  02H
    INC   R7
    MOV   A,R7
    MOVX  @DPTR,A
    MOV   R2,STORE_TIME+1
    MOV   R3,STORE_TIME
    CALL  DMSEC
    POP   02H
    DJNZ  R2,LOOP2

LOOP22: MOV   DPTR,#PORTC          ;CHECK STOP SWITCH
    MOVX  A,@DPTR
    JB    STOP_SW,LOOP22

    CALL  TIME_SLOP_DOWN       ;SLOP DOWN TO ZERO
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOV   R2,NUMBER_STEP
LOOP3:  PUSH  02H
    DEC   R7
    MOV   A,R7
    MOVX  @DPTR,A
    MOV   R2,STORE_TIME+1
    MOV   R3,STORE_TIME
    CALL  DMSEC
    POP   02H
    DJNZ  R2,LOOP3


    MOV   DPH,VR4_BUF+1        ;DELAY BEFORE OFF SOLINOID VALVE
    MOV   DPL,VR4_BUF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      MOV   A,DPH
      CPL   A
      MOV   DPH,A
      MOV   A,DPL
      CPL   A
      MOV   DPL,A
      INC   DPTR
LOOP4:  MOV   R2,#0
      MOV   R3,#30
      CALL  DMSEC
      INC   DPTR
      MOV   A,DPH
      ORL   A,DPL
      JNZ   LOOP4
      MOV   DPTR,#PORTB          ;OFF SOLINOID VALVE
      MOV   A,#0
      MOVX  @DPTR,A
      RET
;-------------------------------------------------------
SPOT:
      MOV   DPTR,#PORTB          ;ON SOLINOID VALVE
      MOV   A,#2
      MOVX  @DPTR,A
      PUSH  ACC
      MOV   A,#0                 ;ON CURRENT = VR0
      CALL  READ_VR
      CALL  SHIFT_RIGHT_4BIT
      MOV   A,R3
      MOV   DPTR,#PORTA
      MOVX  @DPTR,A
      POP   ACC
      MOV   R2,#ON_HIGH_VOLT     ;ON HIGH VOLTAGE
SPOT_LOOP1:  PUSH  02H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MOV   DPTR,#PORTB          ;MAKE PULSE
    SETB  HIGH_VOLT
    MOVX  @DPTR,A
    CALL  DELAY100mS
    CLR   HIGH_VOLT
    MOVX  @DPTR,A
    CALL  DELAY100mS
    POP   02H
    DJNZ  R2,SPOT_LOOP1

    CALL  TIME_SLOP_UP         ;SLOP UP TO VR2
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOV   R7,VR0_BUF
    MOV   R2,NUMBER_STEP
SPOT_LOOP2:  PUSH  02H
    INC   R7
    MOV   A,R7
    MOVX  @DPTR,A
    MOV   R2,STORE_TIME+1
    MOV   R3,STORE_TIME
    CALL  DMSEC
    POP   02H
    DJNZ  R2,SPOT_LOOP2

    MOV   A,#5          ;READ VR5
    CALL  READ_VR
    MOV   A,R2
    ORL   A,R3
    JNZ   SPOT_JMP
    MOV   R3,#10
SPOT_JMP:
    MOV   VR5_BUF,R3
    MOV   VR5_BUF+1,R2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MOV   DPH,VR5_BUF+1
    MOV   DPL,VR5_BUF
    MOV   R3,#3
    MOV   R2,#0
    CALL  DPMUL
    MOV   R2,DPH
    MOV   R3,DPL
    MOV   VR5_BUF,R3
    MOV   VR5_BUF+1,R2
    CALL  DMSEC
SPOT_LOOP22:
    MOV   DPTR,#PORTA          ;OFF
    MOV   A,VR0_BUF
    MOVX  @DPTR,A
    MOV   R1,#4
    CALL  DSEC

    MOV   R2,#ON_HIGH_VOLT     ;ON HIGH VOLTAGE
SPOT_LOOP11:  PUSH  02H
    MOV   DPTR,#PORTB          ;MAKE PULSE
    SETB  HIGH_VOLT
    MOVX  @DPTR,A
    CALL  DELAY100mS
    CLR   HIGH_VOLT
    MOVX  @DPTR,A
    CALL  DELAY100mS
    POP   02H
    DJNZ  R2,SPOT_LOOP11
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOV   A,R7                 ;ON
    MOVX  @DPTR,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MOV   R2,VR5_BUF+1
    MOV   R3,VR5_BUF
    CALL  DMSEC


    MOV   DPTR,#PORTC          ;CHECK STOP SWITCH
    MOVX  A,@DPTR
    JB    STOP_SW,SPOT_LOOP22
    PUSH  07H
    CALL  UBEEP
    POP   07H

    CALL  TIME_SLOP_DOWN       ;SLOP DOWN TO ZERO
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOV   R2,NUMBER_STEP
SPOT_LOOP3:  PUSH  02H
    DEC   R7
    MOV   A,R7
    MOVX  @DPTR,A
    MOV   R2,STORE_TIME+1
    MOV   R3,STORE_TIME
    CALL  DMSEC
    POP   02H
    DJNZ  R2,SPOT_LOOP3


    MOV   DPH,VR4_BUF+1        ;DELAY BEFORE OFF SOLINOID VALVE
    MOV   DPL,VR4_BUF
    MOV   A,DPH
    CPL   A
    MOV   DPH,A
    MOV   A,DPL
    CPL   A
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MOV   DPL,A
    INC   DPTR
SPOT_LOOP4:  MOV   R2,#0
    MOV   R3,#30
    CALL  DMSEC
    INC   DPTR
    MOV   A,DPH
    ORL   A,DPL
    JNZ   SPOT_LOOP4
    MOV   DPTR,#PORTB          ;OFF SOLINOID VALVE
    MOV   A,#0
    MOVX  @DPTR,A
    RET
;-------------------------------------------------------
 MINI:
    MOV   DPTR,#PORTB          ;ON SOLINOID VALVE
    MOV   A,#2
    MOVX  @DPTR,A
    PUSH  ACC
    MOV   A,#0                 ;ON CURRENT = VR0
    CALL  READ_VR
    CALL  SHIFT_RIGHT_4BIT
    MOV   A,R3
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOVX  @DPTR,A
    POP   ACC
    MOV   R2,#ON_HIGH_VOLT     ;ON HIGH VOLTAGE
MINI_LOOP1:  PUSH  02H
    MOV   DPTR,#PORTB          ;MAKE PULSE
    SETB  HIGH_VOLT
    MOVX  @DPTR,A
    CALL  DELAY100mS
    CLR   HIGH_VOLT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MOVX  @DPTR,A
    CALL  DELAY100mS
    POP   02H
    DJNZ  R2,MINI_LOOP1

    CALL  TIME_SLOP_UP        ;SLOP UP TO VR2
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOV   R7,VR0_BUF
    MOV   R2,NUMBER_STEP
MINI_LOOP2:  PUSH  02H
    INC   R7
    MOV   A,R7
    MOVX  @DPTR,A
    MOV   R2,STORE_TIME+1
    MOV   R3,STORE_TIME
    CALL  DMSEC
    POP   02H
    DJNZ  R2,MINI_LOOP2

    MOV   R1,#10
    CALL  DSEC
MINI_LOOP22:
    MOV   DPTR,#PORTA         ;OFF
    MOV   A,VR0_BUF
    MOVX  @DPTR,A
    MOV   R1,#4
    CALL  DSEC

    MOV   R2,#ON_HIGH_VOLT    ;ON HIGH VOLTAGE
MINI_LOOP11:  PUSH  02H
    MOV   DPTR,#PORTB         ;MAKE PULSE
    SETB  HIGH_VOLT
    MOVX  @DPTR,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    CALL  DELAY100mS
    CLR   HIGH_VOLT
    MOVX  @DPTR,A
    CALL  DELAY100mS
    POP   02H
    DJNZ  R2,MINI_LOOP11
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOV   A,R7              ;ON
    MOVX  @DPTR,A

    MOV   R1,#10
    CALL  DSEC


    MOV   DPTR,#PORTC       ;CHECK STOP SWITCH
    MOVX  A,@DPTR
    JB    STOP_SW,MINI_LOOP22
    PUSH  07H
    CALL  UBEEP
    POP   07H

    CALL  TIME_SLOP_DOWN    ;SLOP DOWN TO ZERO
    MOV   DPTR,#PORTA
    MOV   R2,NUMBER_STEP
MINI_LOOP3:  PUSH  02H
    DEC   R7
    MOV   A,R7
    MOVX  @DPTR,A
    MOV   R2,STORE_TIME+1
    MOV   R3,STORE_TIME
    CALL  DMSEC
    POP   02H
    DJNZ  R2,MINI_LOOP3
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MOV   DPH,VR4_BUF+1        :DELAY BEFORE OFF SOLINOID VALVE
    MOV   DPL,VR4_BUF
    MOV   A,DPH
    CPL   A
    MOV   DPH,A
    MOV   A,DPL
    CPL   A
    MOV   DPL,A
    INC   DPTR
MINI_LOOP4:  MOV   R2,#0
    MOV   R3,#30
    CALL  DMSEC
    INC   DPTR
    MOV   A,DPH
    ORL   A,DPL
    JNZ   MINI_LOOP4
    MOV   DPTR,#PORTB          :OFF SOLINOID VALVE
    MOV   A,#0
    MOVX  @DPTR,A
    RET

;-------------------------------------------------------
:DELAY SECOND
;INPUT = R1
DSEC:
    MOV   R2,#10
    CALL  DTSEC
    DJNZ  R1,DSEC
    RET
;-------------------------------------------------------
;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; Initialize MAX192 ADC by transmit TB1 byte (serial form)
;

INIT_MAX192:
    CLR   CSBIT        ;prompt to transfer
    MOV   A,#10001111B  ;set TB1 byte (select Channel 0, unipolar,
                ;single ended line & ext clock mode
    ORL   A,R2
    MOV   R2,#08H      ;8-data bits out
TB1_1: RLC   A
    MOV   DINBIT,C     ;output to pin
    LCALL  MAKE_ADC_CLK  ;make sync clock
    DJNZ  R2,TB1_1
    RET
;
; Sync. clock for MAX192 ADC
;
MAKE_ADC_CLK:
    SETB  SCLKBT       ;high signal
    MOV   R3,#1        ;on period
MAKE11: DJNZ  R3,MAKE11
    CLR   SCLKBT       ;low signal
    RET
;
; Receive byte RB2 and RB3 (contain 10 bits data) from ADC
; OUT: ADCBUF+0 (000000XXB) HIGH BYTE
;    ADCBUF+1 (XXXXXXXXB) LOW BYTE
;
ADC_READ_10BITS:
    LCALL  ADC_READ_8BIT
    RL    A
    RL    A
    MOV   R4,A
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ANL   A,#00000011B
    MOV   ADCBUF+0,A
;
    LCALL ADC_READ_8BIT
    SETB  CSBIT         ;reset CS\ signal (end of comm.)
    RL    A
    RL    A
    ORL   A,#11111100B
    ANL   A,R4
    MOV   ADCBUF+1,A
    RET
;
; Get 8-bit serial data from MAX192 ADC
; OUT: A
;
ADC_READ_8BIT:
    MOV   R2,#08H       ;receive 8 bits
    CLR   A             ;clear variable
RD_8BIT1:
    LCALL MAKE_ADC_CLK
    SETB  DOUTBT        ;SET DOUTBT=INPUT
    MOV   C,DOUTBT      ;read data
    RLC   A             ;shift left
    DJNZ  R2,RD_8BIT1
    RET


;-------------------------------------------------------------
;DELAY 1/1000 SECOND
DMSEC:  MOV   R4,#230
DMSEC1: NOP
    NOP
    DJNZ  R4,DMSEC1
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    DJNZ  R3,DMSEC
    MOV   A,R2
    CJNE  A,#0,DMSEC2
    RET
DMSEC2: DEC   R2
    SJMP  DMSEC

;-------------------------------------------------------
DELAY100mS:
    MOV   R2,#1
    CALL  DTSEC
    RET
;-------------------------------------------------------
;DELAY 1/10 SECOND
DTSEC:  MOV   R3,#179
DTSEC1: MOV   R4,#0
DTSEC2: DJNZ  R4,DTSEC2
    NOP
    NOP
    DJNZ  R3,DTSEC1
    DJNZ  R2,DTSEC
    RET
;-------------------------------------------------------
TIME_SLOP_UP:
    MOV   A,#2        ;READ VR2
    CALL  READ_VR
    CALL  SHIFT_RIGHT_2BIT
    MOV   VR2_BUF,R3

    MOV   A,#0        ;READ VR0
    CALL  READ_VR
    CALL  SHIFT_RIGHT_4BIT
    MOV   VR0_BUF,R3
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MOV   A,#1        ;READ VR1
    CALL  READ_VR
    MOV   VR1_BUF,R3
    MOV   VR1_BUF+1,R2

    MOV   DPH,VR1_BUF+1
    MOV   DPL,VR1_BUF
    MOV   R2,#0
    MOV   R3,#5
    CALL  DPMUL
    MOV   A,VR2_BUF
    CLR   C
    SUBB  A,VR0_BUF
    JNC   SLOP_UP_LOOP
    MOV   A,VR0_BUF
    ADD   A,#10
    MOV   VR2_BUF,A
    MOV   A,#10
SLOP_UP_LOOP:
    MOV   R3,A
    MOV   NUMBER_STEP,A
    MOV   R2,#0
    CALL  DPDIV
    MOV   STORE_TIME,DPL
    MOV   STORE_TIME+1,DPH
    MOV   A,DPH
    ORL   A,DPL
    JNZ   SLOP_UP_OUT
    MOV   STORE_TIME,#20
    MOV   STORE_TIME+1,#0
SLOP_UP_OUT:
    RET
;-------------------------------------------------------
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TIME_SLOP_DOWN:

    MOV   A,#3        ;READ VR3
    CALL  READ_VR
    MOV   VR3_BUF,R3
    MOV   VR3_BUF+1,R2
    MOV   A,#4        ;READ VR4
    CALL  READ_VR
    MOV   VR4_BUF,R3
    MOV   VR4_BUF+1,R2

    MOV   DPH,VR3_BUF+1
    MOV   DPL,VR3_BUF
    MOV   R2,#0
    MOV   R3,#10
    CALL  DPMUL
    MOV   A,VR2_BUF
    MOV   R3,A
    MOV   NUMBER_STEP,A
    MOV   R2,#0
    CALL  DPDIV
    MOV   STORE_TIME,DPL
    MOV   STORE_TIME+1,DPH
    MOV   A,DPH
    ORL   A,DPL
    JNZ   SLOP_DOWN_OUT
    MOV   STORE_TIME,#20
    MOV   STORE_TIME+1,#0
SLOP_DOWN_OUT:
    RET

;-------------------------------------------------------------
READ_VR:
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    CJNE  A,#0,READ_VR1
    MOV   R2,#0
    LCALL INIT_MAX192
    LCALL ADC_READ_10BITS    ;read 10-bit digital conversion
    MOV   R2,ADCBUF
    MOV   A,R2
    ANL   A,#03H
    MOV   R2,A
    MOV   R3,ADCBUF+1
    RET
READ_VR1:CJNE  A,#1,READ_VR2
    MOV   R2,#40H;01000000B
    LCALL INIT_MAX192
    LCALL ADC_READ_10BITS    ;read 10-bit digital conversion
    MOV   R2,#ADCBUF
    MOV   A,R2
    ANL   A,#03H
    MOV   R2,A
    MOV   R3,#ADCBUF+1
    RET
READ_VR2:CJNE  A,#2,READ_VR3
    MOV   R2,#10H;00010000B
    LCALL INIT_MAX192
    LCALL ADC_READ_10BITS    ;read 10-bit digital conversion
    MOV   R2,ADCBUF
    MOV   A,R2
    ANL   A,#03H
    MOV   R2,A
    MOV   R3,ADCBUF+1
    RET
READ_VR3:CJNE  A,#3,READ_VR4
    MOV   R2,#50H;01010000B
    LCALL INIT_MAX192
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    LCALL ADC_READ_10BITS    ;read 10-bit digital conversion
    MOV   R2,ADCBUF
    MOV   A,R2
    ANL   A,#03H
    MOV   R2,A
    MOV   R3,ADCBUF+1
    RET
READ_VR4:CJNE  A,#4,READ_VR5
    MOV   R2,#20H;00100000B
    LCALL INIT_MAX192
    LCALL ADC_READ_10BITS    ;read 10-bit digital conversion
    MOV   R2,ADCBUF
    MOV   A,R2
    ANL   A,#03H
    MOV   R2,A
    MOV   R3,ADCBUF+1
    RET
READ_VR5:CJNE  A,#5,READ_VR6
    MOV   R2,#60H;01100000B
    LCALL INIT_MAX192
    LCALL ADC_READ_10BITS    ;read 10-bit digital conversion
    MOV   R2,ADCBUF
    MOV   A,R2
    ANL   A,#03H
    MOV   R2,A
    MOV   R3,ADCBUF+1
    RET
READ_VR6:RET
;-------------------------------------------------------
;INPUT  = R2,R3
;OUTPUT = R2,R3
SHIFT_RIGHT_4BIT:
    MOV   R0,#02H
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   A,R3
        XCHD  A,@R0
        SWAP  A
        ANL   A,#3FH
        MOV   R3,A
        MOV   R2,#0
        RET
;-------------------------------------------------------------
SHIFT_RIGHT_2BIT:
        CLR   C
        MOV   A,R2
        ANL   A,#03H
        RRC   A
        MOV   R2,A
        MOV   A.R3
        RRC   A
        MOV   R3,A
        CLR   C
        MOV   A,R2
        RRC   A
        MOV   R2,A
        MOV   A,R3
        RRC   A
        MOV   R3,A
        RET

;-------------------------------------------------------------
;--- DPMUL ---
;IN   = DPTR   MULTIPLIER
;     = R2,R3  MULTIPLICAND
;OUT  = DPTR   RESULT
;     = CARRY FLAG SET WHEN RESULT OVERFLOW
;REG  = A,R1,R2,R3,R4,R5,DPTR
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DPMUL:  MOV   R4,#0
        MOV   R5,#0
        CLR   MULFG
        MOV   R1,#16
DPMUL1: MOV   A,R5
        ADD   A,R5
        MOV   R5,A
        MOV   A,R4
        ADDC  A,R4
        MOV   R4,A
        JNC   DPMUL2
        SETB  MULFG
DPMUL2: MOV   A,R3
        RLC   A
        MOV   R3,A
        MOV   A,R2
        RLC   A
        MOV   R2,A
        JNC   DPMUL3
        MOV   A,R5
        ADD   A,DPL
        MOV   R5,A
        MOV   A,R4
        ADDC  A,DPH
        MOV   R4,A
        JNC   DPMUL3
        SETB  MULFG
DPMUL3: DJNZ  R1,DPMUL1
        MOV   DPH,R4
        MOV   DPL,R5
        MOV   C,MULFG
        RET
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;--- DPDIV SUB ---
;IN   = DPTR   DIVIDEND
;     = R2,R3  DIVISOR
;OUT  = DPTR   RESULT
;     = R4,R5  REMAINDER
;     = CARRY FLAG SET WHEN HAS REMAINDER
;REG  = A,R1,R2,R3,R4,R5,DPTR
DPDIV:  CLR   C
        MOV   R4,#0
        MOV   R5,#0
        MOV   R1,#16
DPDIV1: MOV   A,DPL
        RLC   A
        MOV   DPL,A
        MOV   A,DPH
        RLC   A
        MOV   DPH,A

        MOV   A,R5
        ADDC  A,R5
        MOV   R5,A
        MOV   A,R4
        ADDC  A,R4
        MOV   R4,A

        MOV   A,R5
        SUBB  A,R3
        MOV   R5,A
        MOV   A,R4
        SUBB  A,R2
        MOV   R4,A
        JNC   DPDIV2
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   A,R5
        ADD   A,R3
        MOV   R5,A
        MOV   A,R4
        ADDC  A,R2
        MOV   R4,A

DPDIV2: CPL   C
        DJNZ  R1,DPDIV1

        MOV   A,DPL
        ADDC  A,DPL
        MOV   DPL,A
        MOV   A,DPH
        ADDC  A,DPH
        MOV   DPH,A

        MOV   A,R4
        ORL   A,R5
        JZ    DPDIV3
        SETB  C
        RET
DPDIV3: CLR   C
        RET
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้