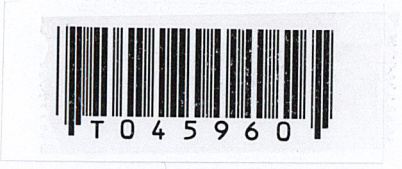
สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องชุบแข็งผิวโลหะอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงแบบเปลี่ยนชิ้นงานอัตโนมัติ

INDUCTION HEATING AND AUTOMATIC MOVING LOAD



โดย

นายธนภัทร เอื้อศิริวรรณ
นายธีระ ราศรีจันทร์
นายนิทัศน์ ใจซื่อ
นายสรพงษ์ นิ่มกลิ่น
นายสุรพล เทียนทอง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....45960
วัน, เดือน, ปี 26 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2544

เครื่องชุบแข็งผิวโลหะอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงแบบเปลี่ยนชิ้นงานอัตโนมัติ

INDUCTION HEATING AND AUTOMATIC MOVING LOAD

โดย

นายธนภัทร เอื้อศิริวรรณ

นายธีระ ราศรีจันทร์

นายนิทัศน์ ใจซื่อ

นายสรพงษ์ นิ่มกลิ่น

นายสุรพล เทียนทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ

อาจารย์สุรินทร์ คำฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องชุบแข็งผิวโลหะอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงแบบเปลี่ยนชิ้นงานอัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

1. นายธนภัทร เอื้อศิริวรรณ
2. นายธีระ ราศรีจันทร์
3. นายนิทัศน์ ใจซื่อ
4. นายสรพงษ์ นิ่มกลิ่น
5. นายสุรพล เทียนทอง

---------- อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สุรินทร์ คำฝอย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องชุบแข็งผิวโลหะอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงแบบเปลี่ยนชิ้นงานอัตโนมัติ

โดย นายธนภัทร เอื้อศิริวรรณ
นายธีระ ราศรีจันทร์
นายนิทัศน์ ใจซื่อ
นายสรพงษ์ นิ่มกลิ่น
นายสุรพล เทียนทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ
อาจารย์สุรินทร์ คำฝอย
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเครื่องชุบแข็งผิวโลหะอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงแบบเปลี่ยนชิ้นงานได้อย่างอัตโนมัติ โดยการทำงานเป็นแบบ VOLTAGE SOURCE INVERTER (VSI) ซึ่งทำการควบคุมชุดอินเวอร์เตอร์จากสัญญาณพัลส์ของชุดทีแอล 494 ที่ควบคุมสัญญาณได้ง่ายด้วยการปรับสัญญาณอัตโนมัติจากการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F84 โดยมีการตรวจจับขนาดกระแสที่ปรากฏออกมาตลอดเวลาด้วยวิธีการควบคุมป้อนกลับแบบPI-CONTROLซึ่งสามารถควบคุมพฤติกรรมกระแสได้คงที่จากการปรับความถี่เพื่อไม่ให้เกินพิกัดกระแสของอุปกรณ์ในขณะที่พารามิเตอร์ของชิ้นงานเปลี่ยนไป โดยความถี่ใช้งานอยู่ในช่วง 70 – 110 kHZ ที่พิกัดกำลังประมาณ 3 กิโลวัตต์ เมื่อชิ้นงานร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ชิ้นงานก็จะถูกเปลี่ยนออกทันที และนำชิ้นงานใหม่เข้าแทนที่ได้อย่างอัตโนมัติและแม่นยำ โดยควบคุมจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F84 ซึ่งเพิ่มความสะดวก ความรวดเร็วของระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDUCTION HEATING AND AUTOMATIC MOVING LOAD

By Tanapat Euasiriwan
Theera Rasrichan
Nitad Jaisue
Sorapong Nimglin
Suraopol Teinthong

Advisor Assc.Prof.Dr.Viriya Phichetjamroen
Mr.Surin Khomfoi
Department of Engineering
Year 2001

Abstract

This thesis presents a phototype of high frequency induction heating and automatic changing workprices. The technique for switching frequency control uses PIC16F84 ,microcontroller, and IC TL494 working together. For constant current control and current limit, a close loop control,PI-CONTROL, is used in this works. The current can be controlled by variable switching frequency ranging from 70 to 110 kHz. The inverter has maximum electric power about three kW. For faciling, an automatic work-piece parts IC controlled by PIC16F84. After the work-piece is as hot as it is expected , a new one will be changed automatic that can by increase repidly and reliability of automatic system .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญภาพ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์และความเป็นมา	2
1.2 ประโยชน์ของการใช้เครื่องเหนี่ยวนำความร้อน	2
1.3 ที่มาของโครงงานนี้	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการให้ความร้อนเหนี่ยวนำ	3
2.1 บทนำ	3
2.2 หลักการเบื้องต้น	4
2.3 จุดเปลี่ยนสภาพแม่เหล็ก	9
2.4 รีโซแนนท์	9
บทที่ 3 โครงสร้างของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนแบบเปลี่ยนชิ้นงานได้	12
3.1 โครงสร้างของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่ผิวโลหะ	12
3.1.1 วงจรของระบบหลัก	12
- วงจรเรียงกระแสและการออกแบบ	13
- ตัวต้านทานลดทอนกระแส Rs	14
- อินพุทฟิลเตอร์	15
- วงจรซอร์ฟ สตาร์ท	18
- วงจรกรองแรงดัน	19
- วงจรอินเวอร์เตอร์	21
- หม้อแปลงความถี่สูง	28
- L-C รีโซแนนท์และโหลด	29
3.2 วงจรของระบบควบคุม	29
3.2.1 ชุดไดร์ฟ TL 494	29
3.2.2 วงจร ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 วงจรของระบบทางกล	34
3.3.1 วัตถุประสงค์	34
3.3.2 ส่วนประกอบ	39
- แอคชูเอเตอร์	34
- รีเลย์	35
- โซลีนอยด์	35
- โซลีนอยด์วาว์ล	38
- สเต็ปเปอร์มอเตอร์	39
- การใช้อุปกรณ์ไดรเวอร์	42
- การควบคุมรีเลย์โดยใช้ ULN 2003	43
- การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ของ PIC 16F84	43
- สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์	44
- การกระตุ้นและควบคุมการหมุนสเต็ปเปอร์มอเตอร์	45
- คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC 16F84	46
- การจัดขาของ PIC 16F84	48
- การป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่ PIC 16F84	49
- การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ	49
- การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล	50
3.4 โปรแกรม PIC 16F84ที่ใช้ควบคุมฮาร์ทแวร์ทั้งหมดของระบบ	50
3.4.1 โปรแกรมควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์และควบคุมชุดนิวแมติค	50
3.4.2 โปรแกรมควบคุมการปิด – เปิดกำลังไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ และควบคุมการปรับความถี่อัตโนมัติ	54
3.5 วงจรควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์และอุปกรณ์ทางกลต่างๆของ PIC 16F84	58
3.6 แบบชุดเคลื่อนย้ายชิ้นงาน	59
3.6.1 หลักการทำงาน	60
3.6.2 วัสดุอุปกรณ์	60
3.6.3 โฟวชาร์จของระบบไฟฟ้าที่ชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.6.4 โฟวชาร์จของระบบเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนแบบเปลี่ยนชิ้นงานได้ 61

บทที่ 4 การทดลอง 62

4.1 การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์พฤติกรรมของกระแส 62

4.2 การทดลองที่ 2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของชิ้นงานที่ส่งผลต่อกระแส 64

4.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบการชุบแข็งเหล็กครบทั้งกระบวนการ 68

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป 72

ข้อเสนอในการปรับปรุงและประโยชน์ที่ได้รับ 73

เอกสารอ้างอิง 74

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตามวัตถุประสงค์ทั้งนี้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการให้คำปรึกษาจากบุคคลดังต่อไปนี้

1. รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ
2. อาจารย์สุรินทร์ คำฝอย
3. คุณโธมัส ธรรมาธิษฐาน

และโดยเฉพาะเพื่อนๆ, พี่นัส, พี่เอ๋ ,พี่ศักดิ์และพี่ๆทุกคนที่ได้มีส่วนร่วมในความสำเร็จและความล้มเหลวบ้างในบางครั้ง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนโดยให้ความรู้อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าซึ่งจะได้นำความรู้ที่มีค่านี้ไปพัฒนาสังคมและประเทศชาติต่อไป

คุณค่าและประโยชน์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านตลอดไป

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การไหลเวียนของกระแสแบบEXPONENTIAL	4
รูปที่ 2.2 การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำอย่างง่ายโดยวางชิ้นงานไว้ในขดลวด	5
รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงความถี่สูง	5
รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลย์ของขดลวดให้ความร้อน	6
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ระยะใดๆ กับระยะผิว	7
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของ Pw กับ $\frac{2R}{\sigma}$	8
รูปที่ 2.7 วงจรรีโซแนนท์แบบอนุกรม	9
รูปที่ 2.8 สภาวะความถี่รีโซแนนท์ระหว่าง XL กับ XC	10
รูปที่ 2.9 เฟสของอิมพีแดนซ์	10
รูปที่ 3.1 บล๊อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของโปรเจ็ค	12
รูปที่ 3.2 แสดงแรงดันไฟตรงเฉลี่ยเอาต์พุตของวงจรเรกติไฟเออร์ที่ได้ ที่โหลดและตัวต้านทานจำกัดกระแส R ค่าต่างๆ	14
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการต่อวงจร LC ฟิลเตอร์ เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI	15
รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งการต่อตัวเก็บประจุชนิด “X” และ ตัวเก็บประจุชนิด “Y” ใช้งาน	17
รูปที่ 3.5 วงจร SOFT START CIRCUIT	18
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการชาร์จประจุและคายประจุ ของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ในเรกติไฟเออร์	19
รูปที่ 3.7 แสดงการประมาณค่าเวลาในการคายประจุของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ ให้มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าคาบเวลาของแรงดันไฟสลับ	20
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันคร่อมเพาว์เวอร์มอสเฟต เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสในส่วนที่แรเงาจะเป็นส่วนที่เกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนได้สูง	23
รูปที่ 3.9 แสดงตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่างๆ ภายในตัวเพาว์เวอร์มอสเฟต	25
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะแรงดันและกระแสที่ขาเกตและเพาว์เวอร์มอสเฟต ถูกไบแอสให้นำกระแส	25
รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างของ Gate Charge Chart	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะการชาร์จประจุที่ขาเกตตามเวลามีผลต่อการเริ่มนำกระแส(ก) และผลเมื่อเริ่มหยุดนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟต (ข) 27

รูปที่ 3.13 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL494 30

รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ RT CT ในการคำนวณความถี่ 31

รูปที่ 3.15 วงจรการต่อใช้งาน 32

รูปที่ 3.16 แสดงคลื่นลักษณะการทำงาน TL494 32

รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะการเลือกใช้เอาต์พุท TL494 33

รูปที่ 3.18 กระแสไหลตรงอย่างรวดเร็ว 36

รูปที่ 3.19 การป้องกันโซลีนอยด์ AC 37

รูปที่ 3.20 โซลีนอยด์วาล์ว 38

รูปที่ 3.21 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ 40

รูปที่ 3.22 สเต็ปเปอร์มอเตอร์DC 40

รูปที่ 3.23 การควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 40

รูปที่ 3.24 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ประเภทต่างๆ 41

รูปที่ 3.25 วงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 42

รูปที่ 3.26 การพันขดลวดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 44

รูปที่ 3.27 วงจรไฟฟ้าในระบบ MECHANICAL 59

รูปที่ 3.28 ชุดป้อนเหล็กอัตโนมัติ 59

รูปที่ 3.29 แสดงโฟวชาร์จการทำงานของชุดMECHANICAL 60

รูปที่ 3.30 แสดงโฟวชาร์จการทำงานทั้งหมดของระบบ 61

รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลอง 62

รูปที่ 4.2 กราฟแรงดัน กระแส แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนขดลวดที่มีผลต่อกระแส 63

รูปที่ 4.3 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลอง 64,68

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนชิ้นงานร้อนแดง 65

รูปที่ 4.5 ชุดเคลื่อนย้ายชิ้นงานอัตโนมัติ 69

รูปที่ 4.6 การลดความถี่เข้าใกล้จุดรีโซแนนท์มากที่สุด 70

รูปที่ 4.7 ชิ้นงานร้อนแดง 71

รูปที่ 4.8 เครื่องชุบแข็งผิวโลหะอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงแบบเปลี่ยนชิ้นงานอัตโนมัติ 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

การเหนี่ยวนำความร้อนที่ผิวเหล็กเป็นนวตกรรมทางวิศวกรรมที่น่าสนใจตามหลักการออกแบบทาง POWER ELECTRONIC ตามที่ได้ศึกษาวิจัยค้นคว้ามา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันโดยได้มีการพินิจวิเคราะห์ถึงการปรับปรุง ตลอดจนการทดลองเพื่อพัฒนา เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่ผิวเหล็กให้มีคุณภาพ พร้อมทั้งมีศักยภาพที่มากขึ้นเรื่อยๆต่อไปได้ ซึ่งโดยได้ใช้ความรู้ด้าน POWER ELECTRONIC ตามที่สนใจเป็นฐานความรู้ในการเริ่มต้นพัฒนาต่อไป โดยวัตถุประสงค์ที่จะเป็นความรู้ความเข้าใจที่จะเกิดขึ้นได้อย่างละเอียดและถ่องแท้ แก่ตนเองและคณะผู้ที่จัดทำโครงงานนี้

การเหนี่ยวนำความร้อนที่ผิวเหล็กน่าสนใจตรงวิธีที่จะทำให้ชิ้นงานที่มาชุบแข็งนั้น มีความแข็งที่ผิวอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังสามารถที่จะเปลี่ยนชิ้นงานที่ชุบแข็งออกไป แล้วเอาชิ้นงานใหม่เข้ามาชุบแข็งต่อไปได้ โดยมีการออกแบบทางด้านชุดจับยึดชิ้นงานให้มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น โดยสามารถปรับเปลี่ยนชิ้นงานได้โดยใช้การควบคุมมอเตอร์แบบสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยใช้การควบคุมจากโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้น เพื่อสร้างกระแสพัลส์ไปขับวงจรสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ตามที่เราออกแบบไว้เพื่อศักยภาพที่ดีขึ้นได้ต่อไป

การเหนี่ยวนำความร้อนที่ผิวโลหะเราจะพบว่าการใช้สนามแม่เหล็ก ในการส่งถ่ายพลังงานจะมีการสูญเสียในรูปของสนามแม่เหล็กก็คือ การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และการสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิส(Hysteresis Loss) ซึ่งเกิดขึ้นในเนื้อสารที่ใช้สร้างทางเดินแม่เหล็กการสูญเสียนี้อยู่ในรูปความร้อน ซึ่งการสูญเสียแบบนี้เราไม่ต้องการและพยายามหลีกเลี่ยงมาตลอด แต่ถ้าเรามองจุดนี้ให้เป็นประโยชน์ก็จะสามารถนำมาใช้ให้ความร้อนกับชิ้นงานได้ โดยการทำให้เกิดความร้อนขึ้นบนแกนเหล็กให้มากที่สุดหรือให้มีการสูญเสียในแกนเหล็ก(Core Loss) สูงสุดจากสมการการสูญเสียในแกนเหล็กที่ประกอบด้วย การสูญเสียเนื่องกระแสไหลวน กับการสูญเสียเนื่องจากฮิสเทอรีซิส ตามสมการดังนี้

$$P_c = P_h + P_e$$
$$P_c = K_h f.B^X{}_{\max} + K_c f^2 B^2{}_{\max}$$

จากสมการมีตัวประกอบที่สำคัญ 2 อย่างคือ ค่าความถี่(f) กับค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ($B_{\max}$) โดยถ้าค่าทั้งสองยิ่งมีค่ามากความร้อนก็จะมากขึ้น แต่การออกแบบต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นสำคัญตามพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ โดยออกแบบที่ความถี่สูงๆเพื่อจะได้ว่าไม่ต้องใช้กระแสมากในการสร้างความร้อน โดยลดพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้งานต่างๆได้มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานด้านเอาท์พุทนั้นชุดโหลดที่ใช้กับชุดขดลวดให้ความร้อนจะมีลักษณะเป็น L เกิดขึ้น ทำให้เราต้องใช้ตัวเก็บประจุC ต่อร่วมด้วยเพื่อแก้ตัวประกอบกำลัง พร้อมทั้งแก้ค่า POWER FACTOR โดยที่สำคัญระบบต้องเกิดสภาวะรีโซแนนท์ ขึ้นได้จึงมีผลให้การส่งถ่ายพลังงานสูงสุดไปยังโหลด อย่างไรก็ตามในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆนั้น ตามคุณลักษณะของโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปด้วยในขณะที่ C คงที่นั้น เราต้องปรับความถี่จากการตรวจสอบกระแสให้ดีต่อไปได้

1.1วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน
2. เพื่อพัฒนาเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนให้มีความยืดหยุ่นมากกว่าเดิม โดยมีชุดเปลี่ยนเหล็กแบบอัตโนมัติ

1.2ประโยชน์ของการใช้เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนมีข้อดีดังต่อไปนี้

1. ความร้อนจะถูกเหนี่ยวนำโดยตรงให้กับวัสดุ วิธีนี้เป็นวิธีที่ให้ความร้อนที่เร็วมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ
2. สามารถควบคุมปริมาณความร้อนและพื้นที่ที่ต้องการจะทำให้ร้อนได้ง่ายและแม่นยำ
3. เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนง่ายต่อการควบคุม มีคุณภาพสูง
4. ใช้เวลาในการทำงานต่ำ โดยมีการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าต่ำด้วยเช่นกัน
5. สามารถเปลี่ยนชิ้นงานได้เมื่อชิ้นงานถูกทำให้ร้อนเสร็จชิ้นงานใหม่ก็จะเข้ามาแทนที่ได้
6. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่างๆ เช่น ควันไฟ เสียงรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นได้

1.3ที่มาของโครงงานนี้

1. โดยมีความสนใจโครงงาน INDUCTION HEATING ที่จะมีการปรับปรุงขึ้นมาได้ โดยโครงงาน เดิมนั้นไม่มีการเปลี่ยนชิ้นงานขณะชิ้นงานร้อนเสร็จสมบูรณ์ ดังนั้นเราจึงทำระบบเปลี่ยนชิ้นงานขึ้นมา
2. เพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานจริงเหมือนกับในระบบอุตสาหกรรมซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีการให้ความร้อนเหนี่ยวนำ

2.1บทนำ

ทฤษฎีที่นำมาใช้ในเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน คือการนำผลจากปรากฏการณ์ที่ผิว (Skin effect) มาใช้ประโยชน์ ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าความถี่สูงไหลในชิ้นงานที่เป็นตัวนำหรือประกอบด้วยสารเฟอร์โรที่ใช้ทำ โดยจะให้ความร้อนขึ้น ณ บริเวณที่มีกระแสไหลผ่าน ลักษณะการไหลของกระแสจะมีลักษณะเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล(exponential)

ทฤษฎีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนนี้จะให้การเหนี่ยวนำที่ความถี่สูง เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการส่งถ่ายพลังงานจากแหล่งกำเนิดความถี่สูงให้เกิดกระแสความถี่สูงไหลในชิ้นงานเปรียบเสมือนเป็นขดลวดด้านทุติยภูมิของแหล่งกำเนิดกำลังความถี่สูงที่ออกแบบสร้างขึ้น

จากการนำทฤษฎีทั้งสองที่กล่าวไว้มาประยุกต์เข้าด้วยกัน โดยนำการประยุกต์มาใช้ในงานที่เกี่ยวกับโลหะ เพื่อให้กระแสไหลอยู่ที่ผิวโลหะเท่านั้น โดยโลหะที่มีความร้อนสูง เมื่อทำให้มันเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในเนื้อโลหะ และมีแนวโน้มที่ทำให้เนื้อของโลหะมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น ในทางโลหะวิทยาถือว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากร้อนไปเย็นอย่างรวดเร็วนั้นเป็นการเพิ่มความเครียด (strain) ให้กับเนื้อของโลหะได้ ดังนั้นในงานชุบแข็งเราจึงใช้ความถี่สูงโดยความถี่เป็นตัวกำหนดความลึกของชิ้นงานตามที่เราต้องการ แต่ด้วยความแข็งของเนื้อโลหะที่ความลึกต่างกันนั้นจะไม่เท่ากันตลอดตามค่าความถี่ที่เรากำหนดขึ้นมา โดยเราเฉลี่ยเอาว่าภายใต้ความลึกค่าหนึ่งๆความแข็งของโลหะจะประมาณเท่ากันได้

เมื่อเราได้ความลึกตามที่เราต้องการแล้ว เราก็กำหนดความถี่ของการชุบแข็งได้จากสมการค่าความลึกนี้ โดยในปัจจุบันลักษณะเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่ใช้ในงานชุบแข็งมีอย่างกว้างขวาง เช่น ในงานอุตสาหกรรมรถยนต์ที่ใช้ชุบแข็งส่วนประกอบของรถ ที่มีหน้าสัมผัสติดกับส่วนอื่นๆ เพื่อป้องกันการสึกหรอได้ง่าย เช่น การชุบแข็งฟันเฟือง หรือส่วนประกอบที่ไม่ต้องการให้เกิดการงอ เช่น เพลา อื่นๆ

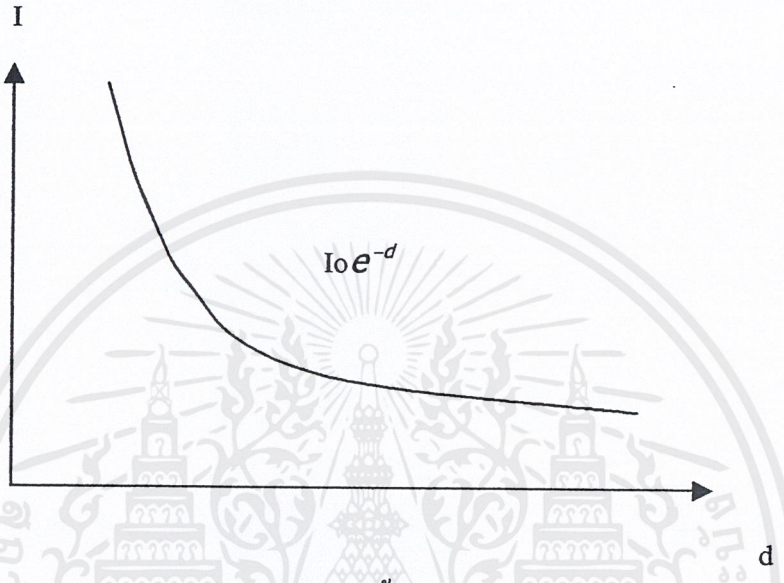
ถ้าหากเราต้องการงานที่มีความละเอียดสูงมาก เราต้องพิจารณาข้อปลีกย่อยเพื่อทำให้เราได้งานที่มีคุณภาพเช่น เมื่อเราทำให้มันร้อนแล้วมันขยายตัวไปเท่าไหร่เมื่อมันเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วการหดตัวของมันทำให้ชิ้นงานหดหรือไม่ และช่วงเวลาที่เย็นตัวลงซึ่งจะกำหนดค่าความแข็งของชิ้นงานตามที่เรากำหนดไว้

หลักสำคัญอีกอย่างหนึ่งสำหรับการชุบแข็งคือ โดยทั่วไปแล้วชิ้นงานที่เรานำมาชุบแข็งจะมีความสามารถนำความร้อนได้ดี ดังนั้นเราจำเป็นที่จะต้องอัดพลังงานจำนวนมากเข้าไปในชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างรวดเร็วและต้องเอาออกอย่างรวดเร็วโดยเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนเข้าไปในเนื้อเหล็กได้มาก นัก เพื่อป้องกันบริเวณที่เราไม่ต้องการชุบแข็งแข็งตัวตามไป

การให้ความร้อนแบบอินดัคตีฟนี้ โดยชิ้นงานจะได้รับพลังงานจากสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยการถ่ายเทพลังงานจะเป็นแบบไม่มีการสัมผัสกับชิ้นงานที่ถูกทำให้ร้อนขึ้นจากกระแสที่ไหลผ่านในชิ้นงานเนื่องจากกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นได้



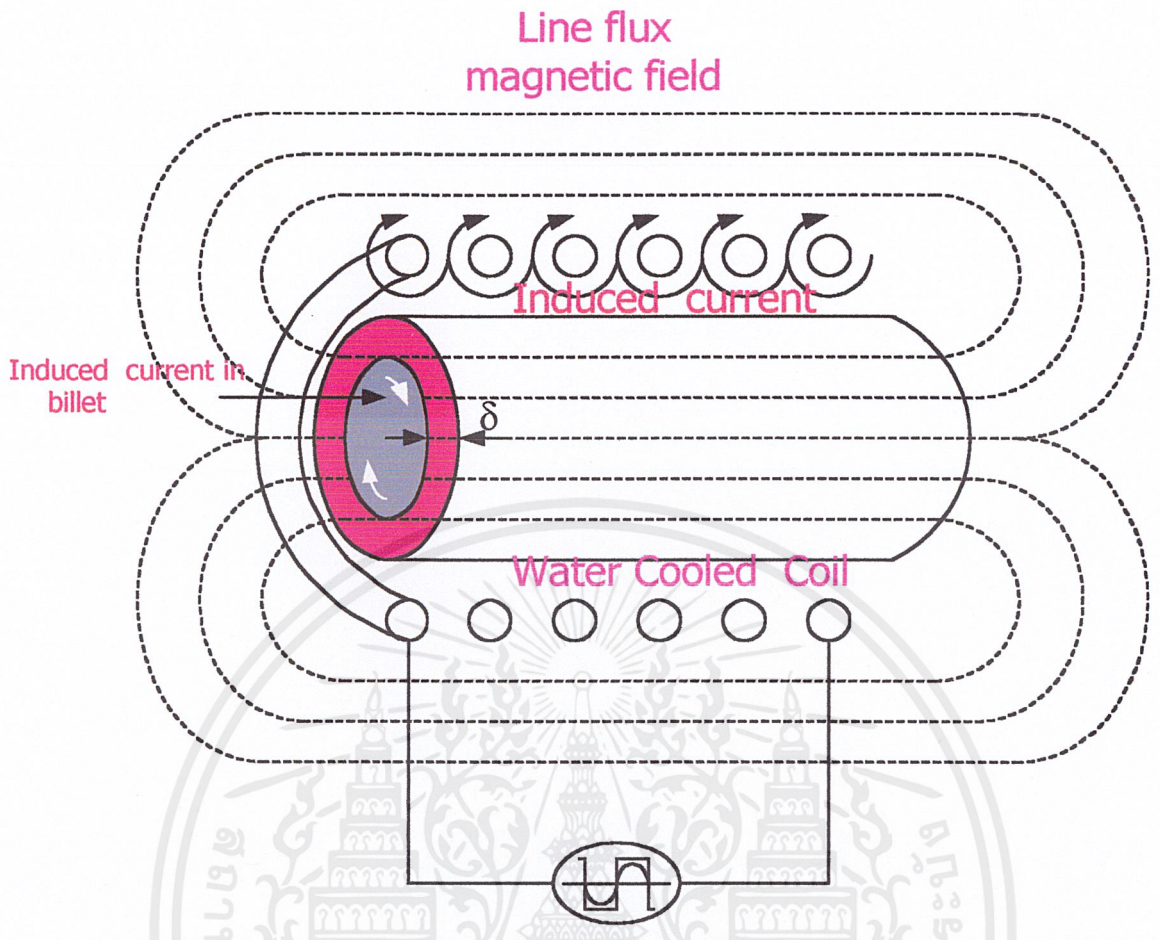
d คือค่าความลึกของชิ้นงาน

รูปที่2.1 การไหลเวียนของกระแสแบบEXPONENTIAL

2.2หลักการเบื้องต้น

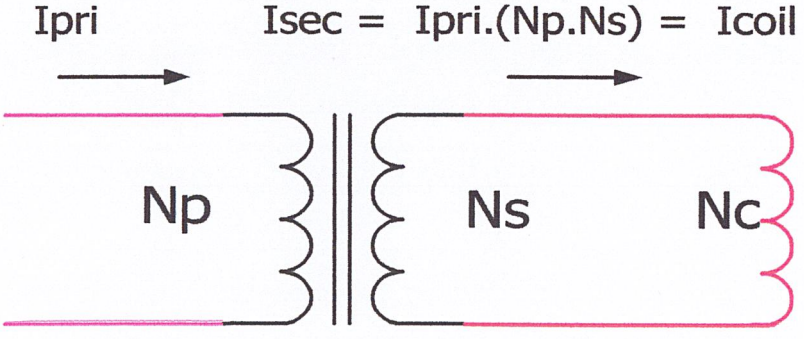
ให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ (Induction Heating) เป็นหลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าความถี่สูง ซึ่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ผลกระทบที่ผิว (Skin Effect) เกิดขึ้น โดยโหลดที่ใช้ต้องเป็นโลหะหรือมีสาร Ferro ของแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบซึ่งในขณะเหนี่ยวนำนั้นโมเลกุลที่อยู่ในเนื้อเหล็กจะเกิดการสั่นตัวขึ้นตามความถี่ที่ใช้งาน โดยทำให้เกิดการเสียดสีของโมเลกุลจึงทำให้เนื้อเหล็กบริเวณผิวเกิดความร้อนขึ้นเรื่อยๆต่อไป โดยหลักการนั้นเมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงผ่านเข้าสู่ขดลวดเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่ชิ้นงาน โดยกระแสส่วนมากจะไหลผ่านชิ้นงานที่ระดับความลึกผิวค่าหนึ่งๆตามที่กำหนดไว้ โดยความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่เหนี่ยวนำโดยความต้านทานสมมูลย์ที่โหลดจะลดลงตามความร้อนที่เพิ่มขึ้นโดยกระแสก็จะเพิ่มด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



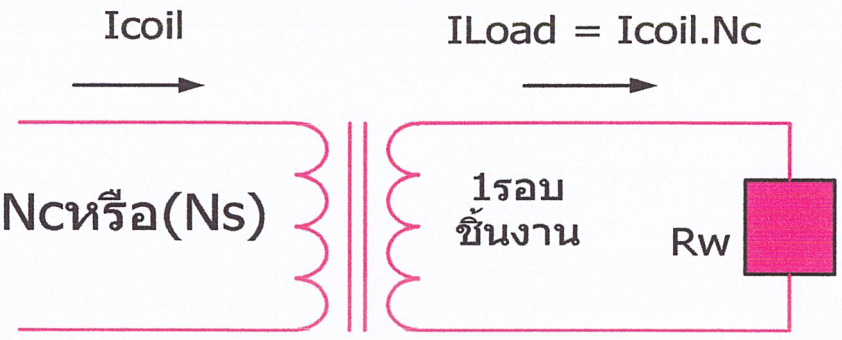
รูปที่2.2 การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำอย่างง่ายโดยวางชิ้นงานไว้ในขดลวด

ชิ้นงานนั้นจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนขึ้น โดยให้หม้อแปลงความถี่สูงจ่ายกระแสสูงไปยังขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งเปรียบเสมือนขดปฐมภูมิของหม้อแปลงชุดหนึ่ง ที่มีจำนวนรอบตามที่ออกแบบ ส่วนชิ้นงานจะเปรียบเสมือนขดทุติยภูมิของหม้อแปลงชุดหนึ่ง ที่มีจำนวนรอบ 1 รอบ และมีโหลดต่อยู่ในลักษณะเกือบลัดวงจร โดยความต้านสมมูลย์ของโลหะที่เป็นชิ้นงานจะมีค่าค่อนข้างต่ำ



รูปที่2.3 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.4 วงจรสมมูลย์ของขดลวดให้ความร้อน

โดยจะเห็นว่าให้ I_C เป็นกระแสที่ไหลในขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ส่วน I_L เป็นกระแสที่ไหลในชิ้นงาน โดยกระแสทั้งสองมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$I_L = N_c I_c \tag{2.1}$$

โดยที่ N_C เป็นจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ
กำลังสูญเสียเป็นความร้อนในชิ้นงานมีค่าเท่ากับ

$$P_w = N_c^2 I_c^2 R_w \tag{2.2}$$

โดยที่ R_w คือ ความต้านทานสมมูลย์ของชิ้นงาน

รูปที่ผ่านมาแสดงทิศทางการไหลของกระแสชิ้นงาน จากปรากฏการณ์ที่ผิวถ้าพิจารณาว่ากระแสส่วนมากไหลอยู่ในระดับความลึกผิว สามารถหาความต้านทานสมมูลย์ของชิ้นงานได้ดังรูปข้างล่าง

$$R_w = \frac{2\pi.R\rho}{\delta.l_w} \tag{2.3}$$

โดยที่ δ คือความลึกผิวชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = \sqrt{\frac{\rho}{\mu\pi.f}} = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\varpi}} \qquad (2.4)$$

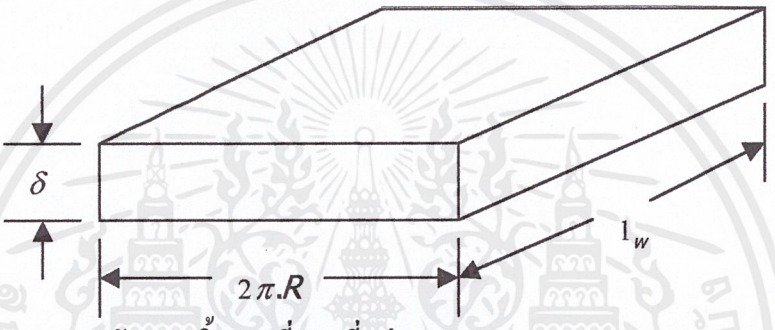
ρ คือความต้านทานจำเพาะของชิ้นงาน

μ คือค่าความซึมซาบของชิ้นงานกับอากาศ

ϖ คือค่าความถี่เชิงมุมของการเหนี่ยวนำ

R คือรัศมีของชิ้นงาน

lw คือความยาวของชิ้นงานซึ่งเท่ากับความสูงของขดลวดเหนี่ยวนำ



ลักษณะชิ้นงานที่ถูกคลี่แผ่นออกมา

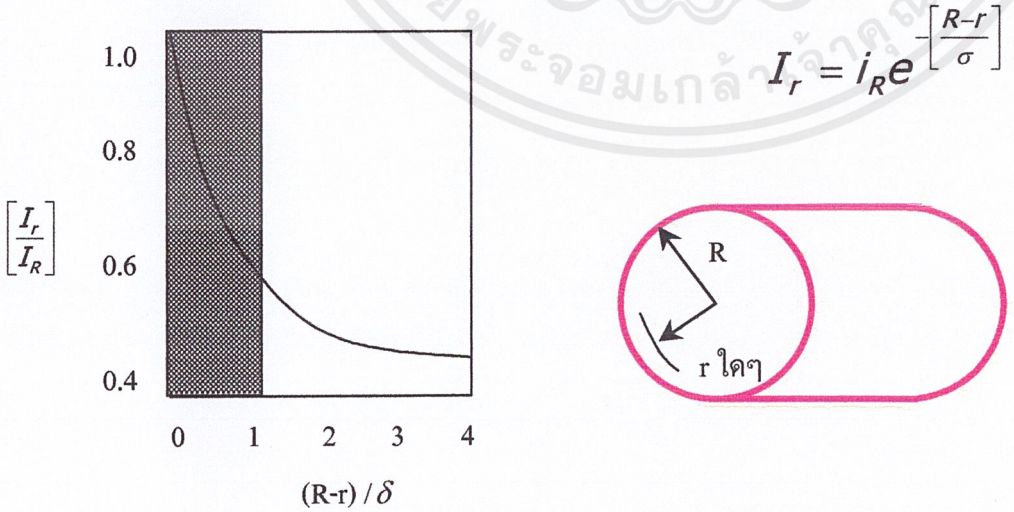
สำหรับชิ้นงานที่เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกรัศมี R ให้

I_R คือค่ากระแสที่ผิวชิ้นงาน

I_r คือค่ากระแสที่ระยะรัศมีใดๆ จากจุดศูนย์กลาง

ในกรณีที่สมมุติว่า R ใหญ่กว่า σ มากๆแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่าง I_R กับ I_r จะเป็นดังนี้

$$I_r = i_R e^{-\left[\frac{R-r}{\sigma}\right]} \qquad (2.5)$$



รูปที่2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ระยะใดๆ กับระยะผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่ไหลในชิ้นงานได้จากการอินทิเกรทความหนาแน่นกระแสที่รัศมีใดๆ กับความลึกกระแสที่ได้จะมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟดังรูป แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ใต้กราฟจะมีค่าเท่ากับพื้นที่ที่แรเงาโดยถึงแม้ว่ากระแสที่ไหลในชิ้นงาน มีความสัมพันธ์กับระยะทางโดยเป็นเอ็กโพแนนเชียลโดยให้กระแสคงที่ที่ผิวชิ้นงานในระดับความลึกจากสมการ

$$R_w = \frac{2\pi.R\rho}{\delta.I_w} \tag{2.6}$$

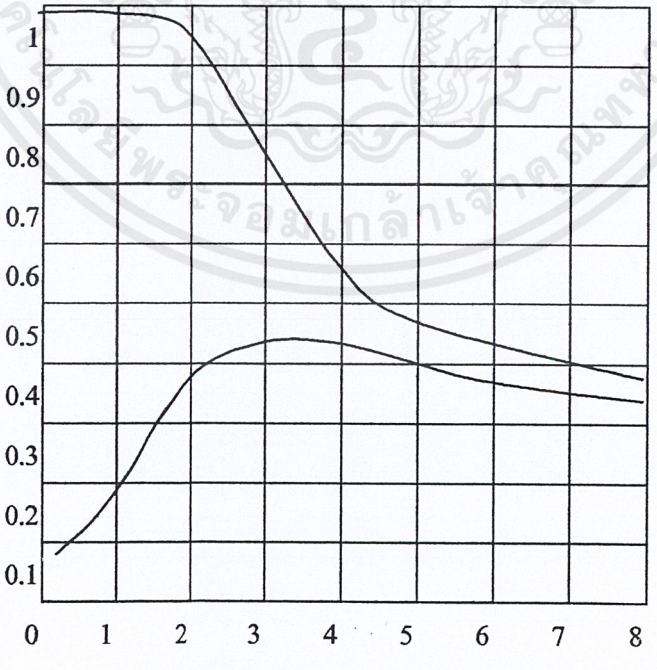
ถ้าขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กมีจำนวนรอบเท่ากับ N_C และมีกระแสไหลผ่านขดลวดเป็น I_C และมีกระแสไหลผ่านชิ้นงานเป็น $N_C I_C$ กำลังที่ได้มีสมการได้ดังนี้

$$P_w = \frac{2\pi.R\rho}{\sigma.j_w} N_c^2 I_c^2 \tag{2.7}$$

ในกรณีที่Rไม่ได้มากกว่า σ มากๆแล้ว จากทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้ว่า

$$P_W = \mu\pi.f.H_{Rm}^2 I_m A_w P \tag{2.8}$$

ซึ่ง P_W เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับ $\frac{2R}{\sigma}$ โดยมีความสัมพันธ์ดังรูปข้างล่าง ในการคำนวณกำลังความร้อนที่เกิดขึ้นที่ชิ้นงานโดยกำลังที่ได้ขึ้นอยู่กับ ความถี่ที่ใช้งานค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและคุณสมบัติของชิ้นงาน โดยหมายถึงขนาดและรูปร่างรวมทั้งค่าความต้านทานจำเพาะและค่าความซึมซาบของชิ้นงานซึ่งมีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ชิ้นงานด้วย



รูปที่2.6 ความสัมพันธ์ของ Pw กับ $\frac{2R}{\sigma}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 จุดเปลี่ยนสภาพแม่เหล็ก (Magnetic Change point)

ค่าอุณหภูมิวิกฤต(critical temperature) เหล่านี้เรียกว่า จุดคูรีย์ เป็นจุดที่ค่าความนำแม่เหล็กจำเพาะของโลหะลดลงอย่างรวดเร็วเป็น 1 ทำให้ตัวมันทำหน้าที่เป็นแกนอากาศของสนามแม่เหล็ก และพบว่าโมลิบดีนัมและซิลิกอนจะเป็นตัวผสมช่วยให้อุณหภูมิที่จุดคูรีย์มีค่าสูงขึ้นได้ ในขณะที่แมงกานีส และนิเกิลจะลดค่าอุณหภูมิที่จุดคูรีย์

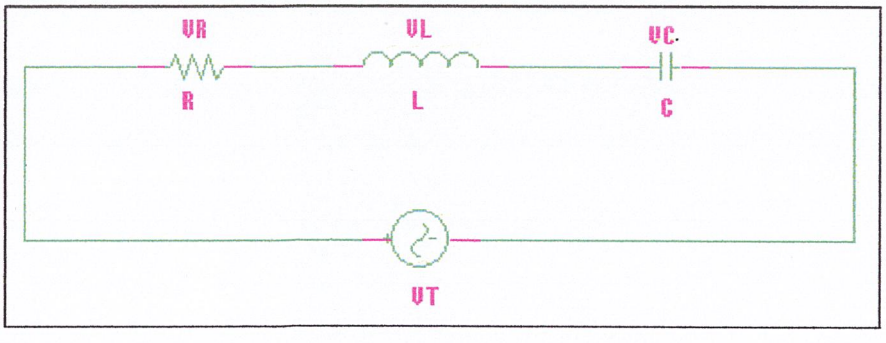
ชนิดโลหะ	อุณหภูมิ($^{\circ}F$)
เหล็ก	1420
โคบอล	2105
นิเกิล	680
เหล็กผสมนิเกิล	160
โลหะผสมต่างๆ	1020

2.4 Resonance

ในทางไฟฟ้า Resonance คือมุมเฟสของกระแสและแรงดันอินเฟสกันหรือถ้ามองจากวงจรSeries Resonanceเมื่อเราปรับความถี่ไปเรื่อยๆจะมีค่าหนึ่งๆที่ทำให้ $X_L = X_C$ ทำให้ในวงจรมีค่าอิมพีแดนท์ที่มีแต่ค่าความต้านทานเท่านั้น ทำให้กระแสมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และทำให้การทำงานของระบบทำงานที่จุดความถี่นี้เกิดรีโซแนนท์ขึ้นได้ โดยการใช้งานเราจะใช้ความถี่ 70 kHz ซึ่งจะมี การออกแบบค่า INDUCTANCE (L_o) และค่าCAPACITANCE (C_o) ขึ้นมาต่อไป

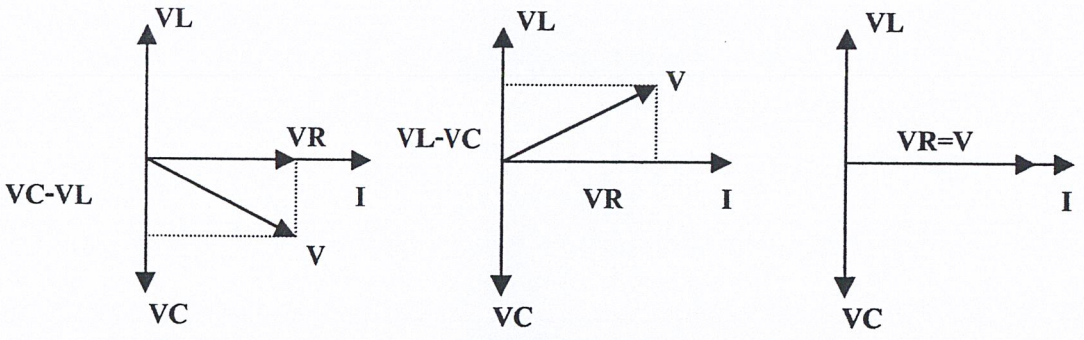
วงจร รีโซแนนท์แบบอนุกรม

การต่อวงจรรีโซแนนท์แบบอนุกรม โดยเฟสเซอร์ของแรงดันที่ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำที่ความถี่ดังรูป



รูปที่2.7 วงจรรีโซแนนท์แบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

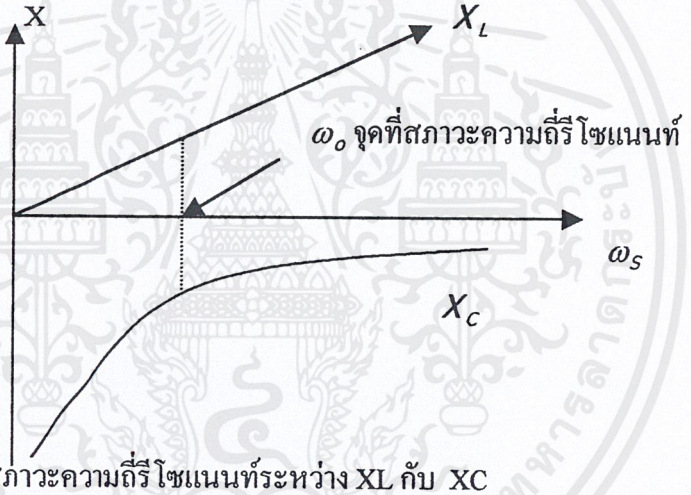


$F_S \langle F_O$ $F_S \rangle F_O$ $F_S = F_O$

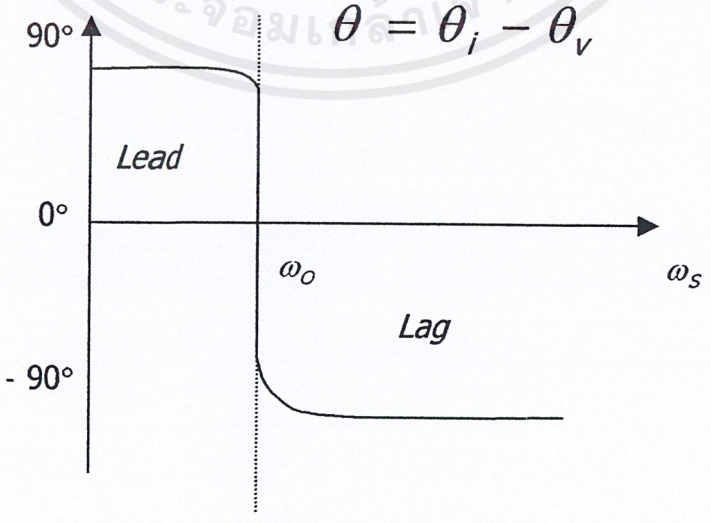
โดย F_S คือค่าความถี่สวิทช์ชิ่งที่อินเวอร์เตอร์

F_O คือค่าความถี่รีโซแนนท์ที่เอาท์พุท

นำค่ารีแอคแตนท์มาพร้อตรูปดังนี้



รูปที่2.8 สภาวะความถี่รีโซแนนท์ระหว่าง XL กับ XC



รูปที่2.9 เฟสของอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนิยามของรีโซแนนท์ จะได้สมการรีโซแนนท์คือ

$$f_o = \frac{1}{2\pi.\sqrt{LC}} \tag{2.9}$$

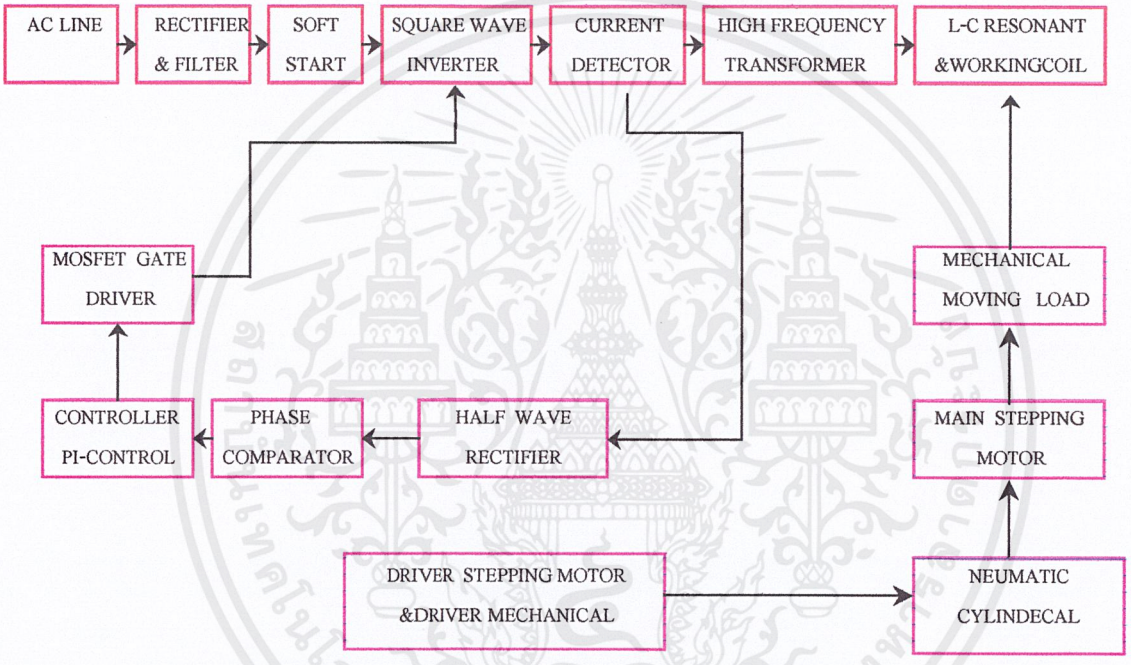
โดยหา ω_o จากสมการ $\omega_o = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}} = \frac{1}{\sqrt{LC - (CR)^2}}$ (2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
โครงสร้างของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนแบบเปลี่ยนชิ้นงานได้

ส่วนประกอบของโปรเจ็คแบ่งได้ 3 ส่วนคือ

1. วงจรของระบบหลัก(MAIN CIRCUIT)
2. วงจรของระบบควบคุม(CONTROL CIRCUIT)
3. วงจรของระบบเครื่องกล(MECHANICAL CIRCUIT)



รูปที่3.1 บล๊อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของโปรเจ็ค

3.1โครงสร้างของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่ผิวโลหะ

โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนมีส่วนประกอบ 3 ส่วนดังนี้

3.1.1 วงจรของระบบหลัก(MAIN CIRCUIT)

จากรูปของวงจรประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

1.1 วงจรเรียงกระแสและการออกแบบ (RECTIFIER & DESIGN)

1.2 ความต้านทานลดทอนกระแส

1.3 RFI อินพุทฟิลเตอร์

1.4 วงจร SOFT START

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วงจรกรองแรงดัน (CAPACITER FILTER)

1.6 วงจรอินเวอร์เตอร์(INVERTER)

1.7 หม้อแปลงความถี่สูง (HIGH FREQUENCY TRANSFORMER)

1.8 L-C Resonant & Load

1.1 วงจรเรียงกระแสและการออกแบบ (RECTIFIER & DESIGN)

เรคติไฟเออร์

วงจรเรคติไฟเออร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดของวงจรในส่วนอินพุทของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย และจะเป็นตัวกำหนด ค่าอัตราทนกระแสของฟิวส์และ RFI ฟิลเตอร์ จึงจะขอกล่าวถึงเป็นอันดับแรก เรคติไฟเออร์จะประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ตัวคือ ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C และไดโอดเรคติไฟเออร์ D1-D4 มีหน้าที่หลักคือ เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงเพื่อเป็นแรงดันอินพุทให้กับอินเวอร์เตอร์ต่อไป

การเลือกใช้ไดโอดเรคติไฟเออร์มีข้อควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ค่ากระแสกระชาก IFSM (Maximum surge Current)

กระแสกระชากสูงสุด ที่ผ่านไดโอดเรคติไฟเออร์ จะเกิดขึ้นขณะเปิดเครื่องเมื่อตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ไม่มีประจุสะสมอยู่ ค่ากระแสกระชากสูงสุดอาจคำนวณได้จาก

$$I_{FMS} = \frac{V_{Peak}}{(R_S + ESR)} \qquad (3.1)$$

เมื่อ V_{peak} คือ แรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับอินพุท

E_{SR} คือ ค่าความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุค่าต่ำสุด

R_s คือ ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส

โดยทั่วไปแล้วไดโอดเรคติไฟเออร์ จะมีค่าอัตราทนกระแสกระชาก I_{FSM} ประมาณ 20-30 เท่าของอัตราทนกระแสเฉลี่ยขณะถูกไบแอสตรงของมัน ไดโอดเรคติไฟร์ที่ใช้จะต้องมีค่าอัตราทนกระแสกระชากมากกว่าที่คำนวณได้ จากสมการที่ (3.1) ค่าของกระแสกระชาก I_{FSM} อาจลดลงได้โดยการเพิ่มค่าของ R_s แต่ประสิทธิภาพของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะลดลงเนื่อง จากกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s

2. ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรง I_{FSM} (Maximum Forward Current)

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจรเรคติไฟเออร์ จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์มีการเก็บประจุออกไปให้โหลด ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรงของไดโอดเรคติไฟร์ I_{FSM} จึงหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบแอสตรง I_{FSM} (Maximum Average Forward Current)

เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด ที่ไดโอดเรคติไฟร์จะได้รับขณะทำงาน การพิจารณาค่า I_{FSM} อาจทำได้โดย ในทางปฏิบัติควรเพื่อค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด I_{FSM} ของ ไดโอดไว้ ที่ประมาณ 1.5 – 2 เท่าจากที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งาน

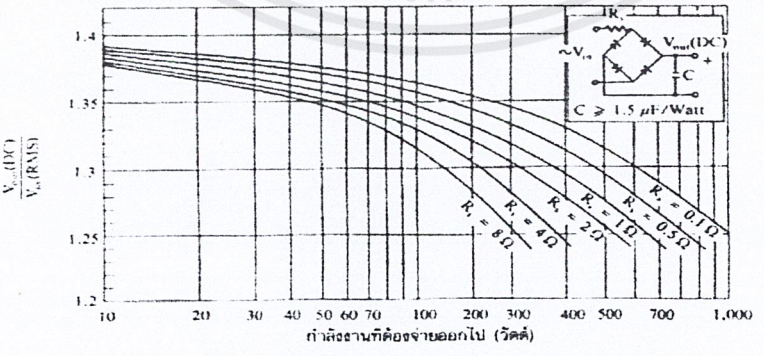
4. อัตราทนแรงดันไปแอสกลับสูงสุด V_{RRM}

ในสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ปกติเรคติไฟเออร์ต้องต่อเข้ากับแรงดันไฟสลับที่ค่า 220 โวลต์ ดังนั้นอัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุดของไดโอดV_{RRM} จึงต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาเผื่อค่าแรงดันไบแอสกลับ ให้มากกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับเอาไว้ด้วย สำหรับกรณีที่อาจเกิดทรานเซียนขึ้นในสายไฟสลับ

1.2 ตัวต้านทานลดทอนกระแส R_S

ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_S จะมีประโยชน์มากในวงจรเรคติไฟเออร์ R_S จะเป็นตัวจำกัดกระแสกระชากที่เกิดขึ้นในวงจรโดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มเปิดเครื่องให้ทำงาน โดยตัวเก็บประจุขณะชาร์จประจุจะเหมือนมีการลัดวงจรขึ้นมา โดยถ้าค่าของตัวเก็บประจุสูงก็จะทำให้เกิดกระแสกระชากขณะเปิดเครื่องสูงด้วย การกำหนดค่าตัวต้านทานจำกัดกระแส R_S ในวงจรเรคติไฟเออร์จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าอย่างเหมาะสม เนื่องจากในวงจรเรคติไฟเออร์ที่มีตัวเก็บประจุเป็นฟิลเตอร์นั้นค่าของแรงดันที่ได้จากวงจรจะขึ้นกับค่าของ R_S และกำลังงานที่วงจรเรคติไฟเออร์จะต้องจ่ายออกไป ดังแสดงในรูป

การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแส R_S จะทำให้ประสิทธิภาพของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายลดลงเนื่องจากการเกิดกำลังงานสูญเสียในตัว R_S การกำหนดค่าของ R_S จึงต้องพิจารณาจากความเหมาะสมระหว่างการลดกระแสกระชากและประสิทธิภาพการทำงานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

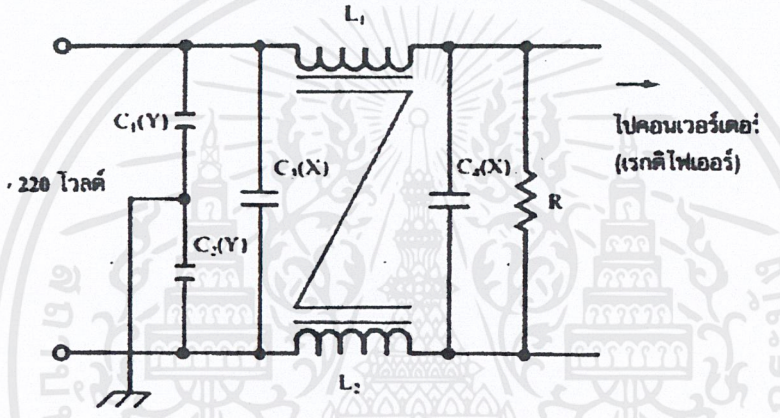


รูปที่3.2 ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยเอาต์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์ที่ได้ที่โหลดและตัวต้านทานจำกัดกระแส R_S ค่าต่างๆ (ที่มา : Billings)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 RFI อินพุทฟิลเตอร์

โดยการทำงานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายนั้นจะเป็นการทำงานในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสอย่างฉับพลันที่ค่ากระแสสูงๆ สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจึงเป็นแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน RFI ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจึงจำเป็นต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่จะออกไปภายนอกให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ วิธีการลดสัญญาณรบกวน RFI ที่จะออกไปภายนอกที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายทั่วไปก็คือ การต่อ LC ฟิลเตอร์คั่นที่อินพุทกับระบบจ่ายกำลังไฟสลับเพื่อลดสัญญาณ RFI ทั้งที่สัญญาณโหมดความแตกต่าง (differential mode) ที่สัญญาณโหมดร่วม (common mode) การต่อวงจร LC ฟิลเตอร์ทำได้ดังรูป



รูปที่3.3 การต่อวงจร LC ฟิลเตอร์ เพื่อลดสัญญาณรบกวน RFI

วงจร RFI ฟิลเตอร์ ในรูปนั้น ควรกำหนดค่าของตัวเก็บประจำและค่าของตัวเหนี่ยวนำให้มีค่าดังนี้

C_3, C_4 = 0.1 ถึง 2 u F และเป็นตัวเก็บประจุชนิด 'X'

C_1, C_2 = 2,200 pF ถึง 0.033 uf และเป็นตัวเก็บประจุชนิด "Y"

L_1, L_2 = 1.8 mH ที่ 25 mA ถึง 47 mH ที่ 0.3 A

การกำหนดค่าอุปกรณ์ ต้องให้แน่ใจว่าความถี่รีโซแนนซ์ของวงจรต้องมีค่าน้อยค่าความถี่การทำงานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ตัวต้านทาน R ที่ต่ออยู่ในวงจรก็มีไว้เพื่อให้ตัวเก็บประจุชนิด 'X' มีค่าตั้งแต่ 0.1 ไมโครฟารัด ขึ้นไปตัวต้านทาน R จะต้องมีค่าเท่ากับ

$$R \equiv \frac{1}{2.21C} \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้ t มีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ C คือผลรวมของค่าตัวเก็บประจุชนิด 'X' ในวงจรฟิลเตอร์เป็นฟารัด

ประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนของวงจรLC ฟิลเตอร์โดยจะขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างของอิมพีแดนซ์ระหว่างอินพุตของฟิลเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟสลับ และค่าแตกต่างของฟิลเตอร์ระหว่างเอาต์พุทของฟิลเตอร์กับอินพุทของอินเวอร์เตอร์ โดยถ้าค่าความแตกต่างของอิมพีแดนซ์มีค่ามากอัตราลดทอนสัญญาณรบกวน RFI จะเป็นไปได้มากด้วย

ปกติอินเวอร์เตอร์จะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำส่วนแหล่งจ่ายแรงดันไฟสลับมักมีค่าอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรRFIฟิลเตอร์ที่ต่ออยู่นั้น ต้องมีค่าอิมพีแดนซ์สูงๆเพื่อให้อัตราลดทอนสัญญาณรบกวนมีค่าสูง ดังรูปที่ต่อ C_1 (Y) และ C_2 (Y) ที่ด้านอินพุทของวงจรจะทำให้อินพุทของวงจรฟิลเตอร์อิมพีแดนซ์ต่ำ L1 และ L2 จะทำให้อิมพีแดนซ์ ที่เอาต์พุทของวงจรฟิลเตอร์มีค่าสูง C(X) ที่อยู่ในวงจรจะมีผลในการลดทรานเซียนต์ โดย C_1 (X)จะลดทรานเซียนต์ที่เกิดในสายไฟสลับไม่ให้ผ่านเข้าหาอินเวอร์เตอร์ ส่วน C_2(X) ซึ่งจะลดทรานเซียนต์ที่เกิดจากอินเวอร์เตอร์ไม่ให้ผ่านไปยังสายไฟสลับได้

ตัวเก็บประจุชนิด "X" และตัวเก็บประจุชนิด "Y"

ตัวเก็บประจุชนิด "X" และตัวเก็บประจุชนิด "Y" เป็นตัวเก็บประจุสำหรับการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ใช้กับแรงดันไฟสลับ 110โวลต์ หรือ 220โวลต์ การต่อตัวเก็บประจุเพื่อจะลดสัญญาณรบกวนตามมาตรฐานความปลอดภัยของ IEC ได้กำหนดให้ต่อใช้งานแยกประเภทตามตำแหน่งการใช้งานดังต่อไปนี้

ตัวเก็บประจุชนิด "X" (X –capacitor)

ให้ใช้ต่อได้เฉพาะตำแหน่ง ที่ไม่ทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ได้รับอันตรายจากไฟฟ้าดูดหาตัวเก็บประจุเกิดลัดทะลุหรือทำงานผิดพลาด การใช้ตัวเก็บประจุชนิด "X" จะไม่มีการจำกัดค่าความจุสูงสุดของตัวเก็บประจุไว้ ตัวเก็บประจุชนิด "X" ยังแบ่งได้อีกเป็นชนิด "X_1"และชนิด"X_2" ตามอัตราทนแรงดันสูงสุดของตัวเก็บประจุโดยตัวเก็บประจุชนิด "X_1" มีค่าอัตราทนแรงดันสูงสุดใช้งานมากกว่า 12,000 โวลต์ ส่วนตัวเก็บประจุชนิด "X_2" มีค่าอัตราทนแรงดันสูงสุดใช้งานต่ำกว่า 12,000โวลต์ลงมา

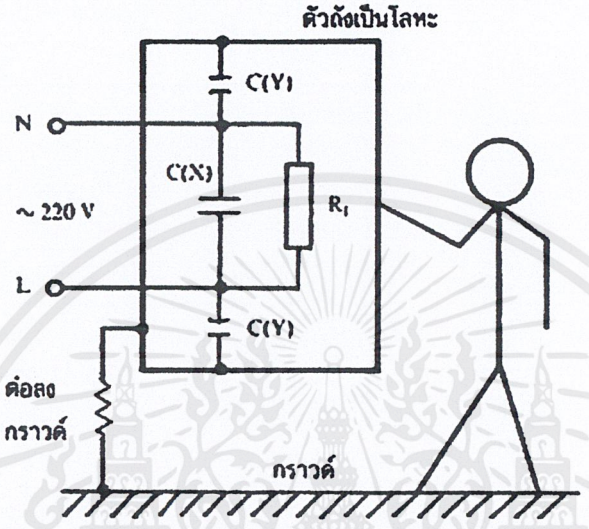
ตัวเก็บประจุชนิด"Y" (Y –capacitor)

ยอมให้ใช้ได้ในตำแหน่งที่อาจทำให้ผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ได้รับอันตรายจากไฟฟ้าดูด ถ้าตัวเก็บประจุเกิดลัดทะลุ หรือทำงานผิดพลาดตัวเก็บประจุชนิด "Y" จัดเป็นอุปกรณ์ ที่เสี่ยงกับความปลอดภัย จึงต้องมีมาตรฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยสูง และต้องมีโครงสร้างที่ป้องกันการลัดทะลุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ได้ดี ค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิด “Y” ต้องมีค่าต่ำเพื่อจำกัดกระแสรั่วไหล หรือ จำกัดกระแสดิสชาร์จจาก ตัวเก็บประจุชนิด “Y” ลงดิน (ตามมาตรฐานความปลอดภัยเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านทั่วไป จะต้องมีค่ากระแสรั่วลงดินน้อยกว่า 0.5มิลลิแอมป์) ลักษณะการต่อตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y”แสดงไว้ดังรูป



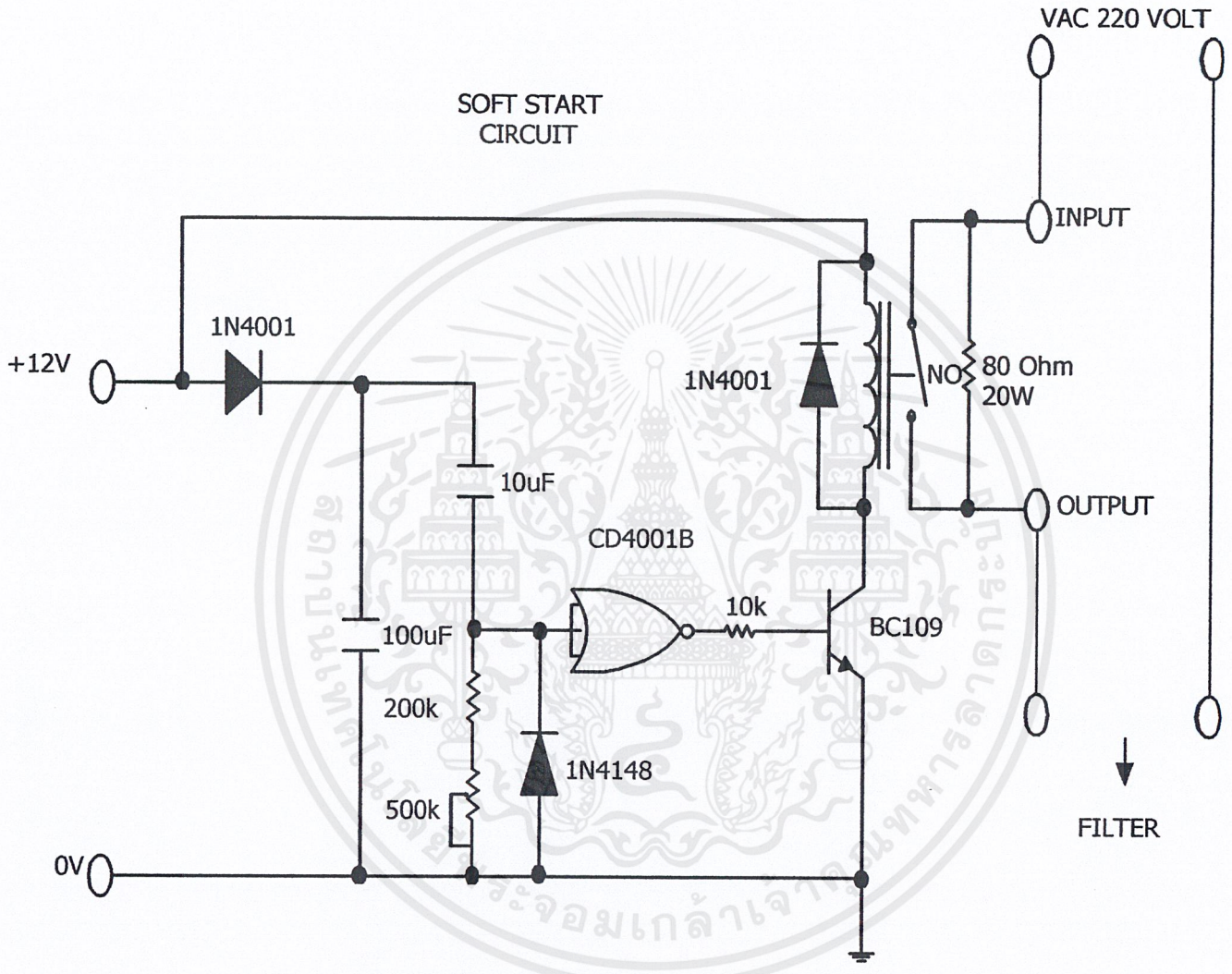
รูปที่3.4 ตำแหน่งการต่อตัวตัวเก็บประจุชนิด “X” และตัวเก็บประจุชนิด “Y”ใช้งาน

จะ เห็นได้ว่าหากมีการลัดทะลุในตัว C(X) ผู้ใช้อุปกรณ์ซึ่งสัมผัสกับตัวถัง ซึ่งจะไม่เป็นทางผ่านของกระแสลงดินและไม่เป็นอันตรายส่วนตำแหน่ง C(Y) ซึ่งหากมีข้อบกพร่อง ในการต่อสายลงดิน ของตัวถังเมื่อ C(Y) ผ่านกระแสได้มากเกินไปหรือการลัดทะลุในตัวผู้ใช้ก็จะเป็นอันตรายเมื่ออาจสัมผัสกับตัวถัง เครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
45960

1.4 วงจร Soft Start

เราใช้วงจร Soft Start ทำหน้าที่หน่วงเวลาในการ Chargeตัวเก็บประจุเนื่องจาก ใช้ป้องกันสัญญาณไฟฟ้ากระชากเนื่องจากผลของตัวเก็บประจุมีค่าสูง ในช่วงเริ่มต้นการทำงาน ซึ่งป้องกันอันตรายแก่วงจรได้



รูปที่ 3.5 วงจร SOFT START CIRCUIT

การทำงาน

เมื่อจ่ายแรงดันเข้าระบบทำให้แรงดันเกิดตกคร่อมที่ความต้านทานอนุกรมจึงเป็นผลให้ลดค่ากระแสชาร์จประจุของคาปาซิเตอร์ที่ชุดฟิลเตอร์ได้อย่างมาก จึงทำให้บริดจ์กรองแรงดันมีความปลอดภัยมากขึ้นด้วย โดยเมื่อคาปาซิเตอร์ชาร์จเต็มตามค่าทาว์วของวงจร วงจรจะสั่งรีเลย์ปิดหน้าสัมผัสทำให้ค่าแรงดันเพิ่มเต็มพิกัดพร้อมระบบก็จะทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วงจรกรองแรงดัน (CAPACITER FILTER)

ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอด D_1-D_4 ให้มีค่าเรียบมากขึ้นได้ โดยจะช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอตามที่อินเวอร์เตอร์ ต้องการ การทำงานของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C อยู่ในวงจรเรคติไฟเออร์จะเป็นไปในลักษณะของการชาร์จประจุและคายประจุดังรูป

ค่ากระแสขณะชาร์จประจุและคายประจุมากหรือน้อยขึ้นกับค่าความจุของตัวเก็บประจุC และภาวะของโหลดที่เอาต์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์ รูปแสดงค่ากระแส RMS ที่อินพุท และ ค่ากระแส RMSของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C ต่อค่ากระแสประสิทธิผล I_e ที่อิทธิผล I_e อินพุทของ วงจรเรคติไฟเออร์ โดยที่

$$I_C = \frac{P_{IN}}{V_{IN}} \tag{3.3}$$

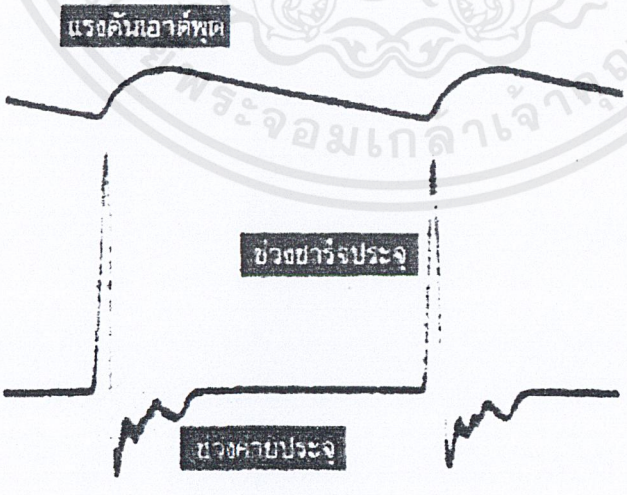
เมื่อ I_e คือ ค่ากระแสประสิทธิผลที่อินพุท เป็นอาร์เอ็มเอสแอมป์

P_{IN} คือ กำลังงานที่จ่ายเข้าทางด้านอินพุท เป็นวัตต์

$V_{IN\cdot rms}$ คือ ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสที่อินพุท เป็นอาร์เอ็มเอสโวลต์

ส่วน R_{sf} คือ ค่าแฟกเตอร์ของตัวต้านทาน R_s และค่า R_{sf} หาได้จาก

$$R_{sf} = Rs\ P_I \tag{3.4}$$



รูปที่3.6 การชาร์จประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ในวงจรเรคติไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุทของเรคติไฟเออร์

การกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุทของเรคติไฟเออร์จะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของ ชุดอินเวอร์เตอร์ ในสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย การกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุท ทำให้แรงดันที่อินพุทของอินเวอร์เตอร์มีค่าไม่คงที่ ถ้าหากยอมให้แรงดันกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุทของเรคติไฟเออร์มีค่ามากก็จะลดความสามารถในการคงค่าแรงดันที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ลงไป โดยจะทำให้ช่วงแรงดันไฟสลับอินพุทของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายแคบลง โดยปกติการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะยอมให้เรคติไฟเออร์มีค่าแรงดันกระเพื่อมได้ไม่เกิน10เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันเอาต์พุทที่ได้จากรูปที่ 3.7

ค่าของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ C เพื่อให้ค่าแรงดันกระเพื่อมไม่เกินกำหนด อาจคำนวณได้จาก

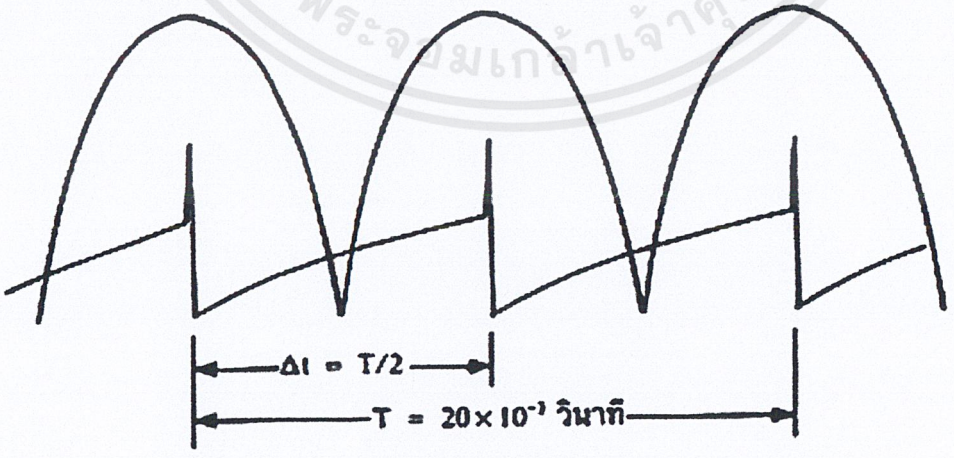
$$C = \frac{I_C . \Delta t}{\Delta V_{ripple}} \qquad (3.5)$$

เมื่อ Ic คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรคติไฟเออร์

Δt คือ ช่วงเวลาที่ C คายประจุ

Δv คือ ค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อมที่เอาต์พุทของเรคติไฟเออร์

หมายเหตุ เพื่อให้ง่ายในการคำนวณค่าของ C ช่วงเวลาที่คายประจุ Δt อาจจะกำหนดจากช่วงยอดสูงสุดของคลื่นลูกหนึ่งไปอีกลูกหนึ่งของแรงดันที่ได้จากไดโอดเรคติไฟเออร์ ดังในรูปที่ 3.7 ดังนั้นค่าเวลา Δt จะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่ง ของค่าคาบเวลาของแรงดันไฟสลับนั่นเอง (10×10^{-3} วินาทีที่ความถี่ไฟสลับ 50 เฮิรทซ์)



รูปที่3.7 การประมาณค่าเวลาในการคายประจุของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ ให้มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าคาบเวลาของแรงดันไฟสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาโฮล เวลาโฮลอัพ

ช่วงเวลาโฮลอัพเป็นช่วงเวลาที่สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย สามารถคงค่าแรงดันที่เอาต์พุทได้ตามปกติที่โหลดสูงสุด เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับหรือค่าแรงดันไฟสลับต่ำกว่ากำหนด และเพื่อให้สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายมีค่าเวลาโฮลอัพ ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์จะต้องมีค่ามากพอเพื่อจ่ายกระแสให้กับอินเวอร์เตอร์ได้เพียงพอเมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับค่าของ C เพื่อให้เกิดช่วงเวลาโฮลอัพอาจได้จาก

$$C = \frac{2P_O.t_H}{\eta(V_S^2 - V_F^2)} \qquad (3.6)$$

เมื่อ P_o คือ ค่ากำลังงานสูงสุดที่เอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์

n คือ ค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

V_s คือ ค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ก่อนหยุดแรงดันไฟสลับ

V_f คือ ค่าแรงดันที่ที่ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์หลังหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ

t_H คือ ค่าช่วงเวลาโฮลอัพที่ต้องการ (โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ $20*10^{-3}$ วินาที)

อัตราทนแรงดัน

ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ต้องทนแรงดันได้อย่างต่ำสุดได้ ที่ค่าแรงดันไฟตรงเอาต์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์แต่เพื่อความปลอดภัย เราควรเผื่อค่าอัตราทนแรงดันของตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ไว้อย่างน้อยที่ค่าแรงดันไฟตรงสูงสุดที่เป็นไปได้ของอินเวอร์เตอร์ เช่น สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่มี แรงดันไฟสลับอินพุท 187-264 โวลต์ ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ควรมีอัตราทนแรงดันอย่างต่ำที่ 385 หรือ 400 โวลต์ เป็นต้น

1.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ (INVERTER)

วงจรอินเวอร์เตอร์ (INVERTER)ที่ใช้เป็นแบบฟลูบริดจ์(Full Bridge)โดยวงจรจะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟตรงให้เป็นไฟสลับความถี่สูง โดยใช้เพาว์เวอร์มอสเฟส (Power Mosfet) โดยการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟสจะทำงานสลับกันเป็นคู่ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา คือ Q1 และ Q4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาเวลาแรก เมื่อหยุดนำกระแส Q2 และ Q3 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ ซึ่งจะทำงานสลับกันไปอย่างนี้เรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนไดโอดที่คร่อมเพาเวอร์มอสเฟสทำหน้าที่ฟรีวิลลิ่ง (Free Wheeling) คือขณะที่ปรกติเพาว์เวอร์มอสเฟส Q1 และ Q4 เริ่มหยุดนำกระแสขดปฐมภูมิจะมีการสลับขั้วแรงดันให้ไดโอด D1 และ D4 อยู่ในลักษณะไบอัสตรงและมีช่วงกระแสส่วนหนึ่งไหลออกจากขดปฐมภูมิ ซึ่งเป็นการที่คุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสส่วนนี้ไหลเข้ามอสเฟสโดยกระแสส่วนนี้จะไหลย้อนกลับเข้ามอสเฟสอาจทำให้มอสเฟสเสียได้ จึงต้องมีไดโอดเป็นทางผ่านของกระแสซึ่งมอสเฟสเบอร์IRFP460 ที่ใช้สร้างชุดอินเวอร์เตอร์มีไดโอดอยู่ภายในแล้ว

การกำหนดค่าเวลาเผื่อ t_d สำหรับฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ เมื่อพิจารณาจากวงจรจะพบว่า Q1 และ Q2 จะนำกระแสพร้อมกันไม่ได้เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจร (Short Branch) ของแรงดันอินพุททำให้มอสเฟสเสียหายได้ดังนั้นการกำหนดค่าเวลาเผื่อ t_d จึงมีความจำเป็น โดยปกติที่กำหนดเวลาเผื่อประมาณ20%ของครึ่งคาบเวลา

$$t_{on(\max)} = 0.4T \tag{3.7}$$

เพาว์เวอร์มอสเฟต

เพาว์เวอร์มอสเฟต (MOSFET POWER) สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง ขนาดตั้งแต่ 50 กิโลเฮริทซ์ไปจนถึงประมาณ 200 ถึง 400 กิโลเฮิรทซ์ เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น และการพัฒนาในปัจจุบัน มีแนวโน้มจะทำให้เพาว์เวอร์มอสเฟต ทำงานได้ที่ความถี่สูงขึ้นไปอีก ซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดอินเวอร์เตอร์ ในส่วนวงจรขับของเพาว์เวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยอาจขับเพาว์เวอร์มอสเฟตให้ทำงานได้จากไอซีควบคุมเช่นไอซี TL 494 โดยตรง เพาว์เวอร์มอสเฟตจึงเข้ามาแทนที่ไบโพลาร์เพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์ อย่างรวดเร็วในการผลิตสวิตชิ่งเพาว์เวอร์ซัพพลายในตลาดอุตสาหกรรมปัจจุบัน

โครงสร้างของเพาว์เวอร์มอสเฟตจะเป็นไปได้ทั้งในลักษณะ N - channel และ P- channel อย่างไรก็ตาม ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเพาว์เวอร์มอสเฟต ชนิด N-channel เท่านั้น

กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาว์เวอร์มอสเฟต

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาว์เวอร์มอสเฟตนั้นขณะทำงานจะเป็นไปได้ 2 ลักษณะเช่นเดียวกันกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์คือกำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนแปลงสถานะและกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่สำหรับเพาว์เวอร์มอสเฟตนั้นจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และช่วงเวลาหยุดกระแสสั้นกว่า ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างของเพาว์เวอร์มอสเฟต จะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้น จึงไม่มีปัญหาในลักษณะของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์อย่างไรก็ตาม เพาว์เวอร์-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

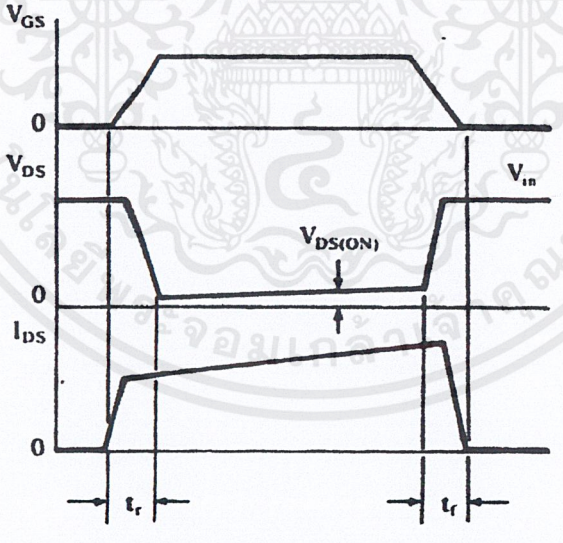
มอสเฟต จะมีค่าความต้านทานขณะมันนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียของเพาว์เวอร์มอสเฟต ขณะมันนำกระแสจึงสูงกว่าไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ดังรูป ซึ่งแสดงการตอบสนองของเพาว์เวอร์-มอสเฟต เมื่อทำงานเป็นสวิตซ์

ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟตจะค่อนข้างสั้นแต่โดยทั่วไปเพาว์เวอร์มอสเฟตจะมักถูกใช้ในงานความถี่สูง ในการใช้งานที่ความถี่สูงกว่า50 กิโลเฮิรตซ์ ถ้าการคิดค่ากำลังงานสูญเสียขณะที่เปลี่ยนแปลงสถานะมาคิดด้วย และเนื่องจากช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (turn off time) ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส(turn on time)ของเพาว์เวอร์มอสเฟต มีค่าใกล้เคียงกันจึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาด้วย เพราะฉะนั้นกำลังงานที่สูญเสียของเพาว์เวอร์-มอสเฟต ขณะทำงาน P_D จะมีค่าเท่ากับ

$$P_D \equiv P_{SW(ON)} + P_{SW(OFF)} + P_C \tag{3.8}$$

$$P_{SW(ON)} \equiv \frac{0.5 I_{PK(ON)}.V_{IN}.t_r}{T} \tag{3.9}$$

$$P_{SW(OFF)} \equiv \frac{0.5 I_{PK(OFF)}.V_{IN}.t_r}{T} \tag{3.10}$$



รูปที่3.8 ลักษณะของกระแสและแรงดันคร่อมเพาว์เวอร์มอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแส และเริ่มหยุดนำกระแส ในส่วนที่แรเงาจะเป็นส่วนที่เกิดกำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนได้สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Pc = I^2_{Drms} \times R_{DSon}(Tj) \qquad (3.11)$$

เมื่อ Psw (on) คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟต

Psw (off) คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟต

Pc คือ กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟต

Ipk(on) คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส

Ipk(off) คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแส

I_{Drms} คือ ค่ากระแส rms ที่ไหลผ่านเพาว์เวอร์มอสเฟตขณะทำงาน

$R_{DSon}(Tj)$ คือ ค่าความต้านทานระหว่างเดรน และซอร์ส ที่อุณหภูมิรอยต่อสูงสุดขณะทำงานของเพาว์เวอร์มอสเฟต

t_r คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟต

t_f คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟต

หมายเหตุ สำหรับเพาว์เวอร์มอสเฟตโดยทั่วไป ช่วงขณะเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแสในคาต้าชีตของผู้ผลิตส่วนใหญ่มักระบุมาเป็นค่า t_r (current rise time) และ t_f (current fall time) ตามลำดับในที่นี้จึงใช้สัญลักษณ์เป็น t_r และ t_f แทน t_{on} และ t_c เมื่อเปรียบเทียบกับ ไบโพลาร์เพาว์-เวอร์ทรานซิสเตอร์

เงื่อนไขของวงจรขับเพาว์เวอร์มอสเฟต

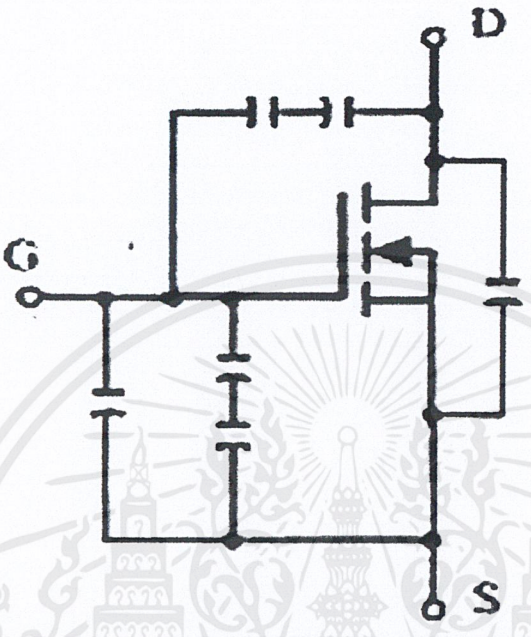
การขับเพาว์เวอร์มอสเฟตให้นำกระแสนั้น แตกต่างจากการขับกระแสไบแอสในไบโพลาร์เพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์ เนื่องจากมีเงื่อนไขที่แตกต่างกันสำหรับไบโพลาร์เพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอีมิตเตอร์ ได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสไหลผ่านที่เบสและอีมิตเตอร์ แต่เพาว์เวอร์มอสเฟต จะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อมีแรงดันตกคร่อมที่ขาเกต และซอร์ส มีค่าอย่างต่ำเท่ากับแรงดันขีดเริ่ม +(Threshold Voltage)ของมัน แต่ใช้จะกระแสต่ำ การขับเพาว์เวอร์มอสเฟต จึงทำได้ง่ายและยุ่งยากน้อยกว่า ไบโพลาร์เพาว์เวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เพาว์เวอร์มอสเฟต ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องศึกษา เงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการบังคับให้เพาว์เวอร์มอสเฟตนำกระแสเป็นอันดับแรกเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

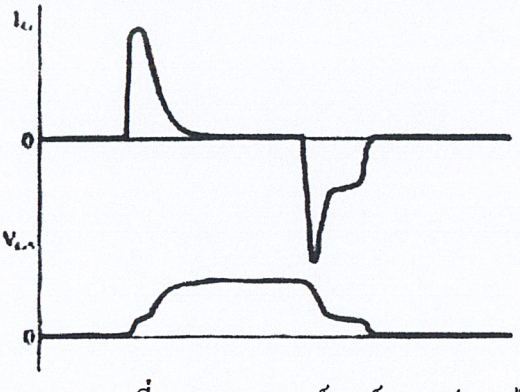
ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุตของมอสเฟส(Input Capacitance)

เนื่องจากโครงสร้างภายในตัวเพาว์เวอร์มอสเฟตเหมือนมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบ ๆ ขาต่างๆของมันดังรูป



รูปที่3.9 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่างๆภายในตัวเพาว์เวอร์มอสเฟต

โดยตัวเก็บประจุเหล่านี้จะบังคับให้เพาว์เวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุ เข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อน เพื่อให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต V_{GS}มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาว์เวอร์มอสเฟตจึงจะเริ่มนำกระแส ซึ่งในทางกลับกันการหยุดนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟต จะทำให้ตัวเก็บประจุคายออกไป จนแรงดันที่ตกคร่อมที่ขา V_{GS} มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาว์เวอร์มอสเฟตจึงหยุดนำกระแส ลักษณะของกระแสและแรงดันที่ขาเกตจึงมีลักษณะดังรูปโดยทั่วไปแล้วค่าความจุในตัวเพาว์เวอร์มอสเฟตนี้เอง จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนแปลงสถานะของมัน

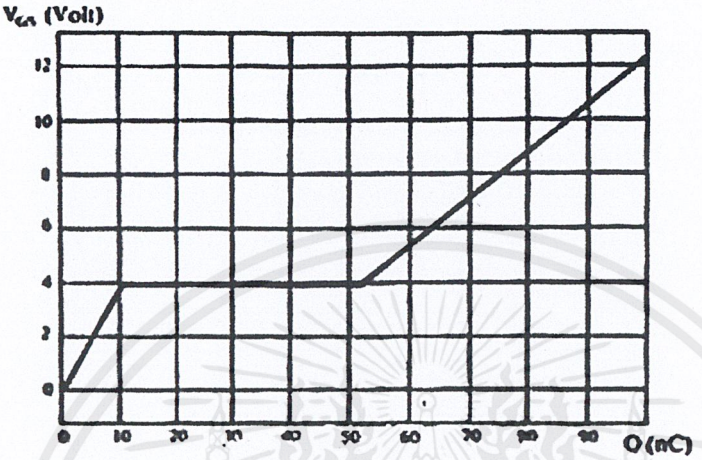


รูปที่3.10 แรงดันและกระแสที่ขาเกตขณะเพาว์เวอร์มอสเฟตถูกไบแอสให้นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดเวลาในการเปลี่ยนแปลงสถานะ

ปกติแล้วผู้ผลิตจะให้กราฟของค่าแรงดัน V_{GS} ที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าประจุสะสมที่ขาเกตเพิ่มขึ้น หรือที่เรียกว่า Gate Charge Chart มาในดาต้าชีทด้วยกราฟนี้มีประโยชน์มากในการคำนวณหาค่ากระแสไบแอสเกตและเวลาในการเปลี่ยนสถานะของเพาว์เวอร์มอสเฟต



รูปที่3.11 Gate Charge Chart

ลักษณะของกราฟแบ่งออกเป็น 3 ช่วงตามผลของประจุที่เพิ่มขึ้นคือ

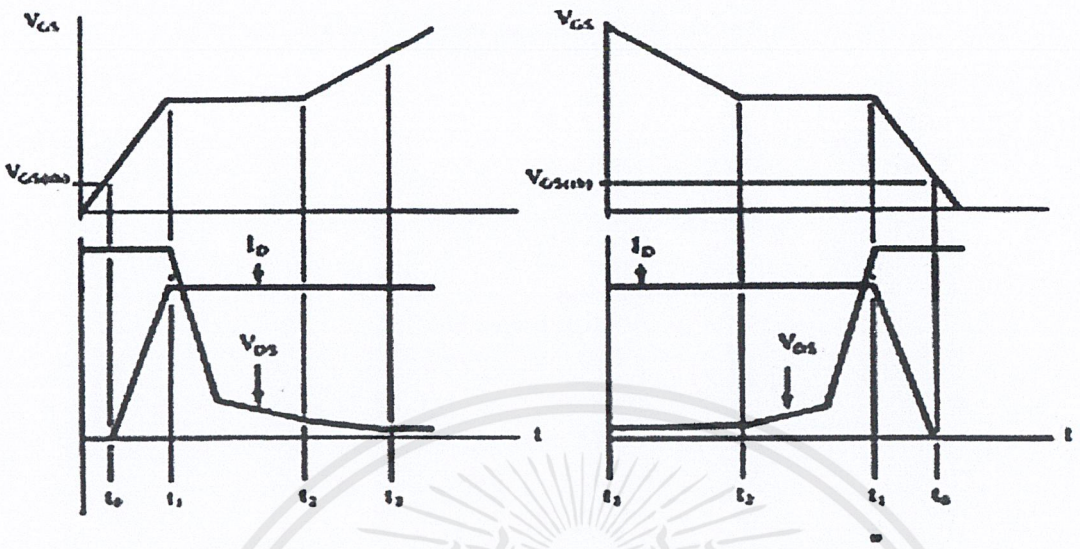
1.ช่วงเวลาหน่วงก่อนและเริ่มนำกระแส (turn on delay) t_o

2. ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (rise time) $t_o \rightarrow t_2$

3. ช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน (excess charge time) $t_2 \rightarrow t_3$

เมื่อเพาว์เวอร์มอสเฟตเริ่มชาร์จประจุที่ขาเกตนั้นจนกระทั่งพ้นช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแสเมื่อแรงดันที่ขาเกตมากกว่าแรงดันขีดเริ่ม $V_{GS(th)}$ จึงจะเริ่มมีกระแสไหลผ่าน เดรน และซอร์สที่เวลา t_o ค่าของแรงดันจะยังไม่ลดลงจนกว่าจะผ่านเวลาเท่ากับ t_1 แรงดันตกคร่อมเดรน และซอร์ส V_{GS} จึงจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากค่าแรงดันที่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ จนเหลือเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ของค่าแรงดันตกคร่อม V_{GS} สูงสุด เพาว์เวอร์มอสเฟตจะเริ่มนำกระแส ได้อย่างเต็มที่ ในช่วงเวลาที่เริ่มนำกระแส t_1 ถึง t_2 นี้เอง และแรงดันที่ตกคร่อมที่ขาเกต V_{GS} จะคงที่ จนกว่าเพาว์เวอร์มอสเฟต จะสามารถนำกระแสได้อย่างเต็มที่ ดังแสดงในรูป ในช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน ค่าความต้านทานระหว่าง ขาเดรนและซอร์ส จะมีค่าลดลงได้เรื่อย ๆ หากปล่อยให้มีการสะสมประจุต่อไป ในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 แต่เมื่อประจุสะสมที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการหน่วงขณะเริ่มนำหยุดกระแสเนื่องจากเพาว์เวอร์มอสเฟตจะต้องใช้เวลามากในการคายประจุส่วนเกินนี้ทิ้งไป ดังนั้นการขับเพาว์เวอร์มอสเฟตที่ขาเกตด้วยแรงดันสูงเกินความจำเป็น จะทำให้ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลเสียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่3.12 การชาร์จประจุที่ขาเกตตามเวลามีผลต่อการเริ่มนำกระแส (ก) และผลเมื่อเริ่มหยุดนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟต (ข)

เนื่องจากเพาว์เวอร์มอสเฟตไม่เกิดประจุสะสมขึ้นขณะนำกระแส การหยุดการนำกระแสของเพาว์เวอร์มอสเฟตจึงทำได้ง่าย ๆ ได้ด้วยการคายประจุที่ขาเกตทิ้งไป เช่นเดียวกับขณะเริ่มนำกระแส แต่ถ้าขนาดของกระแสเพื่อชาร์จประจุและคายประจุมีค่าเท่ากันช่วงเวลาเริ่มนำกระแสซึ่งจะช่วยเวลาเริ่มหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากันด้วย ยกเว้นหากมีประจุสะสมมากในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 การหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาหน่วงเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเนื่องจากต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งที่ใช้ในการคายประจุส่วนเกินทิ้งไป

จากกราฟในรูปที่ผ่านมาของเพาเวอร์มอสเฟสแต่ละเบอร์ ซึ่งจะนำมาหาค่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแส t_r และ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส t_f ได้จาก

$$t \equiv \frac{Q_G}{I_G} \qquad (3.12)$$

เมื่อ Q_G คือ ค่าประจุที่ได้จากกราฟเป็นคูลอมบ์

I_G คือ ค่ากระแสที่ใช้ชาร์จประจุที่ค่ากระแสคงที่เป็นแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ กราฟ Gate Charge Chart ที่ได้จากดาต้าชีท ปกติแล้วในการวัดผู้ผลิต จะกำหนดให้กระแส I_G สำหรับชาร์จประจุมีค่าคงที่ ซึ่งจะทำให้มีผลต่อในการใช้งานจริงแล้ว วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตอาจให้ค่า I_G ไม่คงที่ จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่นอกเหนือจากข้อใน Gate Charge chart ซึ่งจะไม่ขอกล่าวในที่นี้ อย่างไรก็ตาม ถ้าสามารถออกแบบวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตให้จ่ายกระแสได้มากพอ การคำนวณที่ได้จากสมการ (3.12) ก็นับได้ว่าใกล้เคียง

จะเห็นได้ว่าการขับเพาว์เวอร์มอสเฟตให้นำกระแสได้นั้น จะต้องมีการชาร์จประจุ และคายประจุที่ขาเกต วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตจะมีลักษณะของการจ่ายและรับกระแส (source and sink) ได้ที่ประมาณ 200 ถึง 400 มิลลิแอมป์ด้วย และต้องให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต V_{GS} มีค่ามากพอ เพื่อที่เพาเวอร์มอสเฟตจะทำงานได้อย่างเต็มที่ด้วย (ประมาณ 10 โวลต์)

1.7 หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer)

หม้อแปลงความถี่สูง (High Frequency Transformer) โดยจะใช้แกนเฟอร์ไรต์ทำงานที่ว่าเพราะมีจุดอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็กและเกิดการสูญเสียต่ำที่ความถี่สูง โดยทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานจากชุดอินเวอร์เตอร์ไปยังโหลด ในการเลือกใช้ต้องกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงขณะทำงาน

$$\Delta B = \frac{V * t}{N_p A_e} * 10^8 \qquad (3.13)$$

โดย ΔB คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์(เกาส์)

V คือ แรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารี่ (V)

N_p คือ จำนวนรอบของไพรมารี่

A_e คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์(cm^2)

t คือ เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น

จากสมการพบว่าถ้าจำนวนรอบของขดไพรมารี่มีค่าน้อยลงจะทำให้ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่ามากขึ้น การลดจำนวนรอบของขดไพรมารี่นั้นจะทำให้ลวดทองแดงมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถทนกระแสได้สูง การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ให้เหมาะสม เพราะถ้าแกนมีขนาดใหญ่เกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แต่ถ้าขนาดแกนเฟอร์ไรต์มีขนาดแกนเฟอร์ไรต์มีขนาดเล็กเกินไปขดลวดและแกนเฟอร์ไรต์จะร้อน ซึ่งในการทดลองเราไม่สามารถหาซื้อแกนที่มีกำลังวัตต์ที่ต้องการได้ในท้องตลาด ดังนั้นจึงใช้ขนาดแกนที่หาซื้อได้ทั่วไปคือแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE80 สองคู่แล้วนำมาประกอบกันเพื่อเพิ่มกำลังวัตต์ให้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 L-C Resonant & Load

ชุด L-C Resonant & Load ประกอบด้วย ขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่จะชดเชยตัวประกอบกำลัง C_o โดยขดลวดเหนี่ยวนำที่ใช้ในโครงงานนี้จะใช้ท่อทองแดงนำมาขดเป็นวงกลมเนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย โดยจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำนั้นเราจะทำการทดสอบที่จำนวนรอบต่างๆ เพื่อให้เกิดกำลังสูงสุดตามจำนวนรอบที่เหมาะสม โดยตัวเก็บประจุจะอนุกรมกับขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งมีข้อดี คือ วงจรมีลักษณะเป็น RLCอนุกรมซึ่งง่ายต่อการวิเคราะห์วงจรและมีกำลังสูงกว่า RLC แบบขนาน แต่มีข้อเสียคือในกรณีไม่มีโหลดอิมพิแดนซ์ของวงจรRLC อนุกรมจะมีค่าต่ำทำให้กระแสสูงขึ้นได้โดยจะเป็นอันตรายต่อระบบได้

3.2 วงจรของระบบควบคุม(CONTROL CIRCUIT)

จากรูปของวงจรประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

3.2.1 ชุดDrive TL 494

3.2.2 วงจร Flyback Converter

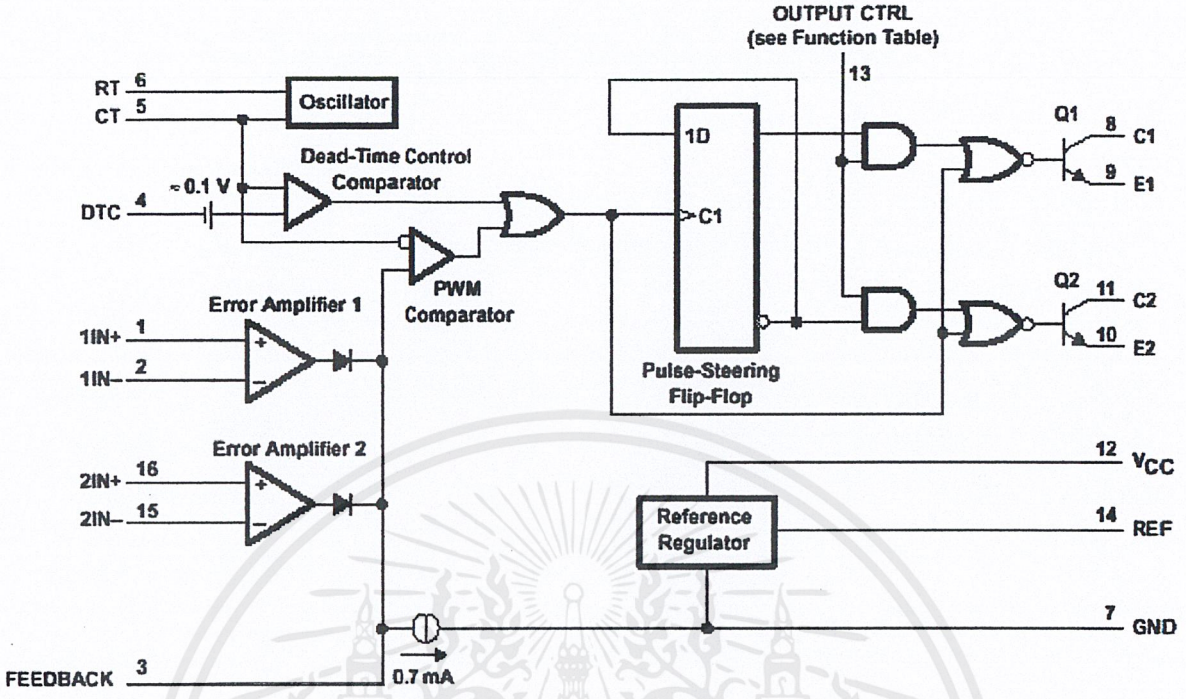
3.2.1 ชุดDrive TL 494

ชุดDrive ไอซี TL 494ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ลักษณะคลื่นสี่เหลี่ยมได้ตั้งแต่1-200 kHz เพื่อใช้เป็นสัญญาณทริกแก่มอสเฟสตามที่เราออกแบบไว้โดยข้อดีของTL 494 มีDead-Time ในตัวโดยการออกแบบสร้างสัญญาณพัลส์นั้นต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบรวม เข้าในวงจรด้วยซึ่งเราสามารถปรับสัญญาณความถี่ที่ออกไปได้ตั้งแต่ 60-100 kHzซึ่งเราจะใช้งานที่ความถี่ 70kHz โดยเมื่อชิ้นงานเริ่มร้อนขึ้นคุณลักษณะของโหลดจะเปลี่ยนแปลงโดยความต้านทานของชิ้นงานจะต่ำลงโดยมีผลทำให้กระแสเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นอันตรายแก่มอสเฟสได้ดังนั้นเราจึงป้องกันโดยมีหม้อแปลงตรวจสอบกระแสป้อนกลับมาที่TL494เพื่อเพิ่มความถี่ขึ้นโดยกระแสก็จะลดลง อย่างมีเสถียรภาพได้

ไอซีเบอร์ TL 494 สำหรับโหมดการทำงานควบคุมจากแรงดัน

ไอซีเบอร์ TL494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของชุดอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะมีการทำงานด้วยโหมดควบคุมจากแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างของการทำงานสำหรับ วงจรควบคุม ด้วยวิธีควบคุมจากแรงดันโครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL 494 แสดงดังรูป ด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน โครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL 494 แสดงดังรูปที่3.13การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.13 การจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL 494 (ที่มา: Motorola)

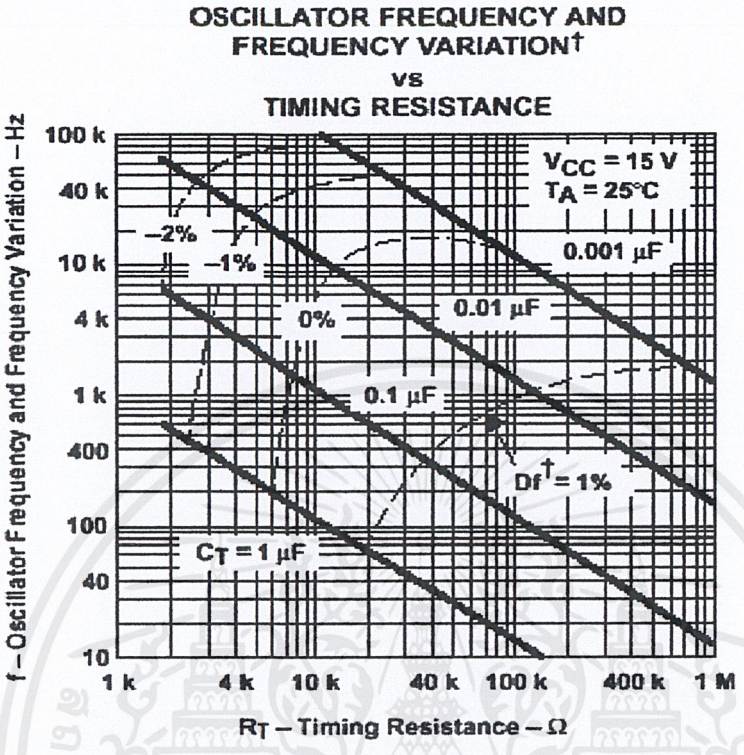
การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

วงจรของ TL 494 เป็นวงจร PMW ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์กำหนดโดยค่าของ RT และ CT จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซี ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก

$$T \equiv \frac{R_T.C_T}{1.1} \qquad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS



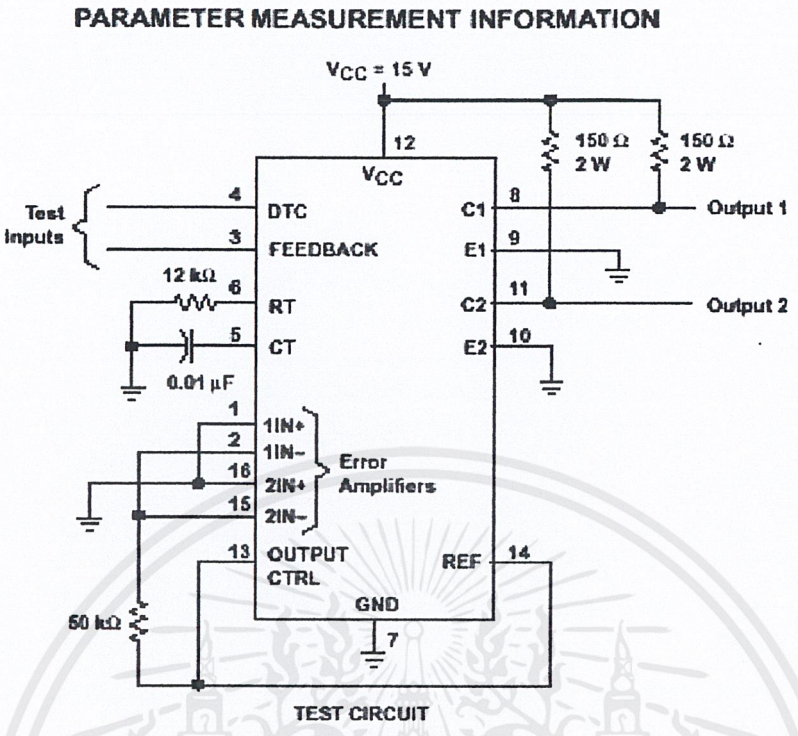
รูปที่3.14 ความสัมพันธ์ RT CT ในการคำนวณความถี่

การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของอินเวอร์เตอร์

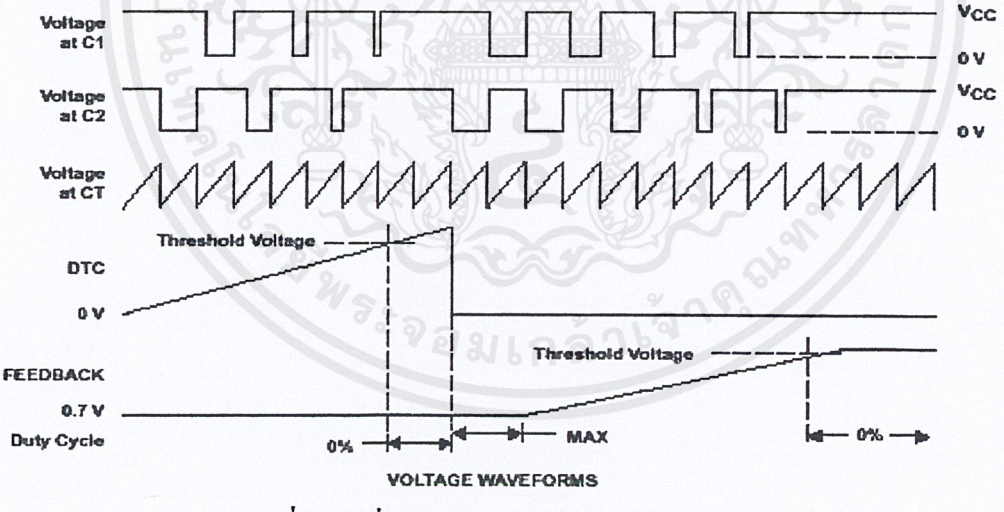
ความกว้างเอาท์พุทพัลส์ของไอซีจะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา S กับแรงดันที่ได้จากวงจร ขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้ง 2 ตัวที่ PWM Comparator ส่วน NOR เกท ที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุท Q1 และ Q2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา C_k ของ FLIP-FLOP อยู่ในสถานะ " Low" เท่านั้น ซึ่ง C_k จะเป็น " Low" ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่า แรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้ง 2 ตัว นั้นคือแรงดันป้อนกลับ จากเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างเอาต์พุทพัลส์ของไอซีจะลดลง ซึ่งในทางกลับกันแรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างเอาต์พุทพัลส์ของไอซีจะเพิ่มขึ้น

ความกว้างเอาต์พุทพัลส์ของไอซีนี้ สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุด หรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วย การเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 โวลล์ จนถึง 3.5 โวลล์ ส่วน Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุทคอมมอนโหมดตั้งแต่ -0.3 ถึง (Vcc -2) โวลต์ สามารถใช้ตรวจจับแรงดันกระแสที่เอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ได้ Error Amp ทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุทในลักษณะให้สถานะ "High" (Active high) โดยต่อกันอยู่ลักษณะ OR ที่ขา non-invertingของ PWM Comparator ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุท โดยพัลส์ต่ำสุดจะเป็นตัวควบคุมความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.15 วงจรการต่อใช้งาน



รูปที่3.16 คลื่นลักษณะการทำงาน TL 494

การกำหนดค่าเวลาเผื่อ T_D

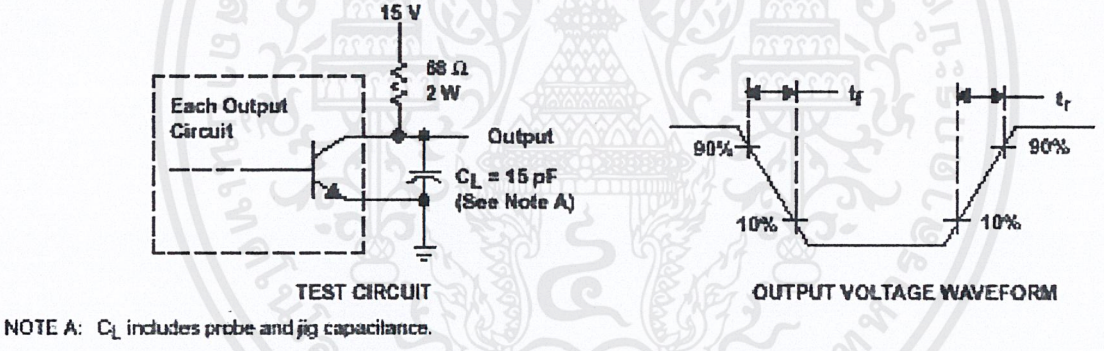
TL 494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดเวลาเผื่อ T_D ของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของไอซี อย่างไรก็ตาม หากแรงดันที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0โวลต์ ค่าเวลาเผื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 เปอร์เซนต์ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซ็ต120 มิลลิโวลล์ต่ออยู่ภายในดังนั้นช่วงเวลาของ t_{on} สูงสุดของอินเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีจะเท่ากับ 48%

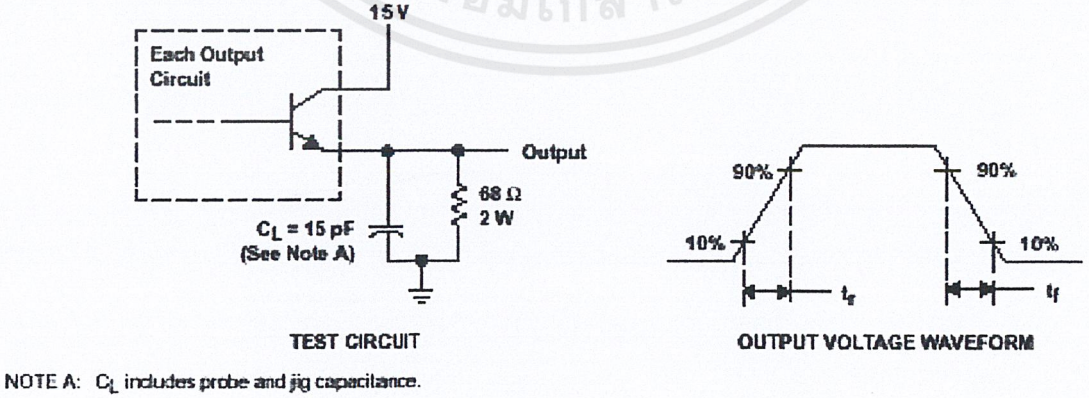
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 (Output control) เข้ากับขา 14 และ (+5 V_{ref}) และมีค่าเท่ากับ 96 % ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์

การเลือกใช้ Q1 และ Q2 ที่เอาต์พุทของไอซี

เอาต์พุท Q1 และ Q2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือทำงานพร้อมกัน หรือสลับกันทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ ขา 13 (output control) โดยขณะที่ C_T ดิสชาร์จเอาต์พุทของ Dead -Time Comparator จะให้พัลส์ออกมา C_k จะมีสถานะ "High" โดยการต่อเข้ากับขา 4 (+5 V_{ref}) Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงานตามจังหวะของ FLIP- FLOP เพื่อใช้ขับอินเวอร์เตอร์แบบพุช-พูล ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของคาบเวลาสัญญาณฟันเลื่อยของไอซีแต่ถ้ากำหนดให้ขา13มีสถานะเป็น "Low" โดยการต่อลงกราวด์(ยกเลิกFLIP- FLOP) Q1 และ Q2 จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนานQ1 และ Q2 เข้าด้วยกันได้ ถ้าต้องการให้นำกระแสได้มากขึ้นในกรณีคาบเวลาของการทำงาน จะมีค่าเท่ากับคาบเวลาของสัญญาณฟันเลื่อย ของไอซี(ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96 % ของค่าคาบเวลา)





รูปที่3.17 ลักษณะการเลือกใช้เอาต์พุท TL 494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL 494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 \leq Vcc \leq 40$ โวลล์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน $V_{ref} = 5$ โวลล์ และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้ดี โดยมีค่าความถูกต้อง $\pm$ 1.5%ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า50มิลลิโวลล์ทำงานในช่วง 0 ถึง 70 $^{\circ}C$

ค่าของแรงดันไบแอสกลับที่ตกคล่อมเบสและอิมิตเตอร์ถ้ามีค่ามากจะทำให้พิกัดของช่วง RBSOA มากขึ้น แต่ถ้าการเพิ่มค่าแรงดันไบแอสกลับต้องมีข้อระวังคือต้องมีค่าไม่เกินอัตราทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด(V_{EBO})ของมันด้วย

3.2.2 วงจร Flyback Converter

วงจร Flyback Converter ทำหน้าที่แยกกราวด์ของสัญญาณทริกมอสเฟสเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการช๊อตของชุดไดรฟ์หรือเกิดการช๊อตของชุดอินเวอร์เตอร์ได้โดยส่วนประกอบของวงจรจะมีหม้อแปลงความถี่สูง พร้อมกับวงจร Snubber circuit ซึ่งป้องกันกระแสเกินและแรงดันเกินที่อาจจะเกิดขึ้นได้

3.3 วงจรของระบบเครื่องกล(MECHANICAL CIRCUIT)

3.3.1วัตถุประสงค์ที่ต้องการ

สามารถแสดงการป้อนเข้าและนำออกของแท่งเหล็กตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 5 แท่ง ได้อย่างอัตโนมัติด้วยตัวของมันเองอย่างอัตโนมัติตามโปรแกรม โดยใช้การจับที่กระแสทางด้านวงจรมาเป็นตัวควบคุมว่าเมื่อไรที่จะนำแท่งเหล็กออกและนำแท่งเหล็กแท่งต่อไปเข้ามา

3.3.2ส่วนประกอบ (Component)

จะมีการนำแท่งเหล็กตัวอย่างวางอยู่บนจานเหล็กวงกลมจำนวน 5 แท่งสามารถหมุนได้โดยใช้ Motor stepper พร้อมชุดเฟืองทด โดยจะคอยหมุนตามคำสั่งที่เขียนโปรแกรม การนำเหล็กออกจากชุดชุบผิวโลหะสามารถทำได้โดยใช้ชุดยกขึ้นและยกลงได้ที่ใช้ชุดปั้มลม Cylinder โดยจ่ายลมจากเครื่องปั้มลมผ่านตัวควบคุมแรงดันลม Pressure regulator มาผ่านชุดจ่ายลม Solinoid valve เพื่อจ่ายลมให้ Cylinder

แอคชูเอเตอร์

แอคชูเอเตอร์(actuator) คืออุปกรณ์ที่ตรวจรู้สัญญาณไฟฟ้า ทำการเปลี่ยนสัญญาณนี้เป็นการเคลื่อนที่ทางกล(mechanical movement)แอคชูเอเตอร์ที่สำคัญๆได้แก่ รีเลย์ โซลีนอยด์และมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นสวิทซ์ทางกลสำหรับวงจรไฟฟ้า โดยรีเลย์เป็นส่วนสำคัญของระบบควบคุมที่ใช้กันทั่วไป เพราะสามารถใช้ควบคุมอุปกรณ์แรงดันแรงดันสูงและอุปกรณ์กระแสที่มีแรงดันต่ำตลอดจนควบคุมสัญญาณไฟฟ้าเมื่อกระแสไหลผ่านแม่เหล็กไฟฟ้า ในรีเลย์ควบคุมไฟฟ้าเชิงกล (electromechanical control relay) สนามแม่เหล็กจะดูดแขนเหล็ก ของอาร์เมเจอร์ไปสัมผัสกับแกนของแม่เหล็กทำให้รีเลย์ทำงาน รีเลย์อาจจะมี NO คอนแทก หรือ NC คอนแทก หรือมีทั้งสองแบบ

โซลีนอยด์

โซลีนอยด์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าเป็นการเคลื่อนที่ในเชิงกลแบบเชิงเส้น โซลีนอยด์เป็นขดลวดที่มีแกนเหล็กเคลื่อนที่ได้ เมื่อขดลวดได้รับการกระตุ้น แกน หรืออาร์เมเจอร์จะถูกดึงเข้าไปในขดลวดแรงดัน หรือแรงผลักที่เกิดในขดลวดโซลีนอยด์มีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดกับกระแสที่ไหลในขดลวด

กระแสในขดลวดเป็นกระแสตรง มีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับความต้านทานของขดลวด ถ้าส่วนกลไกเคลื่อนไหวอยู่กับที่แรงดึงจะต้องมีค่ามาก ฉะนั้นจะต้องใช้ขดลวดขนาดเล็กที่มีแรงดันบางส่วนถ้าขดลวดโซลีนอยด์ขนาดใหญ่ จะต้องแบ่งออกเป็น 2 ส่วนซึ่งสวิตซ์ จะตัดการทำงานเมื่อส่วนกลไกที่เคลื่อนที่เพิ่งจะอยู่กับที่ และสวิตซ์จะเปิดวงจรบางส่วนของวงจร แกนเหล็ก ทำจากเหล็กอ่อนที่มีค่ารีลักแตนซ์ (reluctance) ต่ำ กรณีโซลีนอยด์กระแสตรงซึ่งใช้แกนเป็นของแข็งทั้งนี้เพราะว่ากระแสไหลผ่านในทิศทางเดียวอย่างต่อเนื่อง ค่าคงที่เวลาของโซลีนอยด์กระแสตรงเนื่องจากค่าอินดักแตนซ์ของขดลวดจะทำให้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กช้าลงกว่ากรณีของโซลีนอยด์ กระแสสลับ

กรอบและกลไกที่เคลื่อนที่ของโซลีนอยด์กระแสสลับจะประกอบด้วยซิลิกอนสตีล(silicon steel) ที่บางมากโดยที่ลามิเนทและขัดให้เรียบเพื่อลดกระแส eddy ทั้งหมดนี้จะต่อสายดินไว้ด้วย ช่วงว่างอากาศ (airgap)เป็นส่วนของวัสดุ ซึ่งไม่เป็นแม่เหล็กจะต้องอยู่ในเส้นทางแม่เหล็ก จึงจะทำให้ส่วนกลไกที่เคลื่อนที่โดยจะไม่ติดขัดเนื่องจากความเป็นแม่เหล็กเหลืออยู่ ความต้านทานของขดลวดกระแสสลับมีค่าต่ำมาก ดังนั้นการไหลของกระแสจะถูกจำกัดด้วยค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L) ของขดลวด

→ เราอาจจะเข้าได้ว่า ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (X_L) ของขดลวดหาได้จากสูตร

$$X_L = 2\pi f L$$

เมื่อ X_L คือค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ มีหน่วยเป็นโอห์ม

f คือความถี่ของกระแสสลับ มีหน่วยเป็นเฮริตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

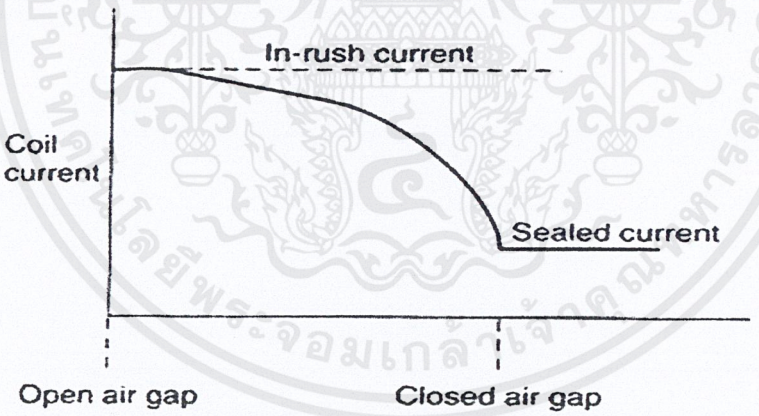
L คือค่าอินดักแตนซ์ มีหน่วยเป็นเป็นเฮนรี่ (henry)

โดยใช้กฎของโอห์มจะทำให้สามารถคำนวณกระแสได้จาก

$$I = \frac{V}{X_L}$$

ส่วนกลไกที่เคลื่อนที่จะต้องปิดไว้ให้สนิท มิฉะนั้นจะทำให้ช่องว่างอากาศในเส้นทางแม่-เหล็กกว้างขึ้น จึงให้ค่าอินดักแตนซ์ลดลงอันเป็นผลให้มีความร้อนเกิดขึ้นในขดลวด

ความยาวของโซลีนอยด์สโตรก (selenoid stroke) มีความสำคัญมาก ถ้าสโตรกสั้นลงจะทำให้การทำงานรวดเร็วขึ้นและยังต้องการกำลังที่ต่ำ ในกรณีที่สโตรกสั้นจะต้องใช้แรงมากจึงทำให้ขนาดของโซลีนอยด์เล็กลง ความยาวของสโตรกที่มากที่สุดไม่ควรเกิน 1.5 เท่าของส่วนกลไกที่เคลื่อนที่ในขดลวดโซลีนอยด์ กระแสสลับที่ไหลตรงอย่างรวดเร็วจะให้ค่าแรงสูงสโตกที่ยาว ๆ เหตุผลที่มีกระแสไหลตรงอย่างรวดเร็วคือ การไหลในทิศที่ตรงข้ามเมื่อโซลีนอยด์จะถูกกระตุ้น ทำให้อาร์เมเจอร์เริ่มต้นเคลื่อนที่ขึ้นทำให้แกนเหล็กเข้าไปในแกนของขดลวดแกนเหล็กนี้จะให้ค่า อิน-ดักแตนซ์ของขดลวดเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสลดลงความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวดเป็นแฟ็กเตอร์ หนึ่งทำให้กระแสไหลลดลง



รูปที่ 3.18 กระแสไหลตรงอย่างรวดเร็ว

หลักการเบื้องต้นของโซลีนอยด์ที่ต้องพิจารณา แรง สโตรก ไซเคิล อุณหภูมิ และกำลัง ข้อที่ควรพิจารณานอกเหนือจากนี้ได้แก่ ขนาด การติดตั้ง การต่อสายไฟ อายุการทำงาน และ สภาวะแวดล้อมในการเลือกใช้โซลีนอยด์สำหรับงานต่างๆ จะต้องพิจารณาถึงค่าแรงที่ต้องการ สโตรกและพิสัยอุณหภูมิการทำงาน ฉะนั้นโหลดจะต้องไม่เกินกำลังของแรงที่ขับสโตรก ถ้าหากโหลดสูงมาก ส่วนกลไกที่เคลื่อนที่จะไม่เคลื่อนที่ในทางสลับกัน ถ้าโซลีนอยด์มีจะอัตราการทำงานสูงจึงทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

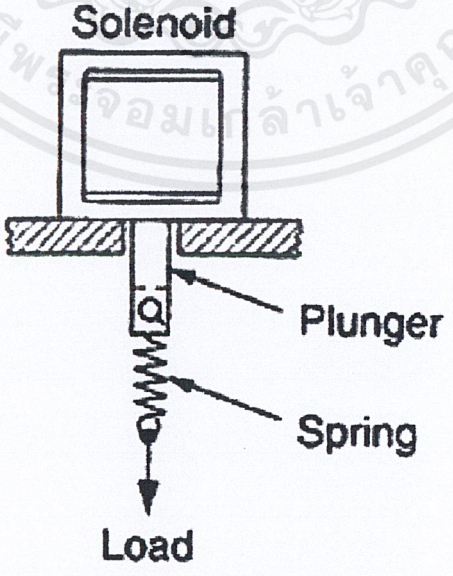
แรงมากกว่าที่ต้องการจากโหลด การทำงานไม่ควรเกินกำลัง พลังงานที่มากเกินนี้จะแบ่งส่วนเป็นพลังงานที่สูญเสียไปทางใดทางหนึ่ง มิฉะนั้นส่วนกลไกที่เคลื่อนที่อื่นจะถูกดูดกลืนพลังงานส่วนเกิน ทำให้อายุการใช้งานน้อยลง ดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) กำหนดไว้เปอร์เซ็นหมายถึงอัตราส่วนของ “on time” กับ “total time” ของไซเคิลการทำงานเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ถ้าขดลวดโซลีนอยด์ได้รับการกระตุ้น 100s และ ไม่ได้รับการกระตุ้น 300 s ดิวตี้ไซเคิลจะหาได้จากการ

$$\textit{ดิวตี้ไซเคิล\%} = \frac{ontime}{ontime - offtime} \times 100$$

$$\textit{ดิวตี้ไซเคิล\%} = \frac{100}{100-300} \times 100 = 25\%$$

การใช้โซลีนอยด์ให้ได้ประสิทธิผลสูงสุด ขดลวดโซลีนอยด์ไฟกระแสสลับจะต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟขนาดขดลวด 50Hz ซึ่งจะไม่เหมาะกับกระแส 60Hz และขดลวด 60Hz จะเกิดโอเวอร์ฮีท (overheat)ขึ้นได้ เมื่อใช้กระแส 50 Hz ในการประยุกต์บางประเภทอาจใช้ขดลวดคู่ 50-60 Hz.

การจัดโหลดและขดลวดโซลีนอยด์ของไฟกระแสสลับมีความสำคัญมากกว่ากรณีกระแสตรงโซลีนอยด์ ควรได้รับการติดตั้งและเชื่อมต่อกับโหลด ในลักษณะส่วนกลไกที่เคลื่อนที่มีอิสระที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เมื่อกระตุ้นปรับขดลวดโซลีนอยด์ ส่วนกลไกที่เคลื่อนจะมีอิสระที่จะให้อยู่ที่ศูนย์กลางของขดลวดมิฉะนั้นจะมีการสั่นและโอเวอร์ฮีท กรณีที่ติดตั้งโหลดโดยมีการป้องกันโอเวอร์ฮีทซึ่งทำได้โดยใช้ฟิวส์และสวิตช์ตัดความร้อนหรือต่อโหลดโดยสปริง ดังแสดงในรูป 3.19



รูปที่ 3.19 การป้องกันโซลีนอยด์ AC

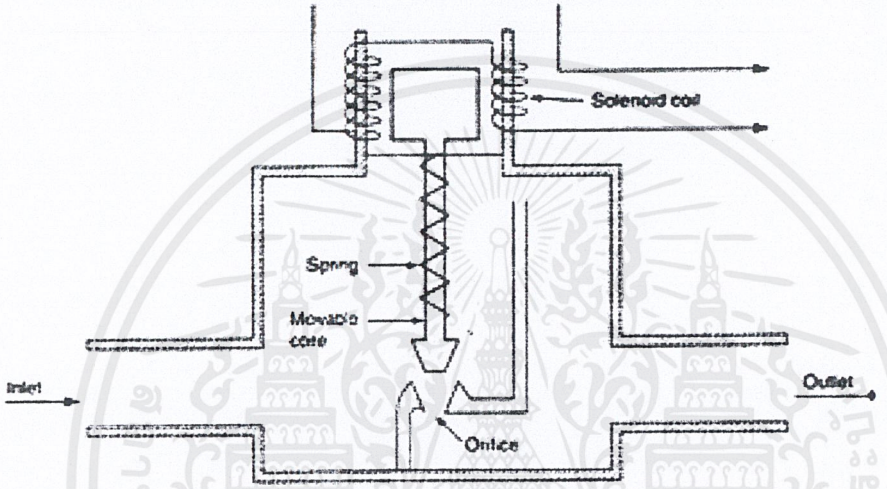
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid value)

โซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid value) ประกอบด้วยหน่วยที่ทำหน้าที่ต่างกันสองหน่วยคือ

1. ขดลวดโซลีนอยด์วาล์ว(แม่เหล็กไฟฟ้า) ที่มีแกนที่เคลื่อนที่ได้

2. วาล์วที่มีช่องที่มีแผ่นสามารถปิดกั้น ไม่ให้มีการไหลได้ เมื่อขดลวดได้รับการกระตุ้น แกนจะถูกดึงเข้าไปในขดลวดโซลีนอยด์ทำให้วาล์วเปิด และเมื่อกระแสลดลงสปริงจะดึงให้วาล์วกลับมาที่ตำแหน่งปิดวาล์ว เราใช้โซลีนอยด์วาล์วควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ (ของลม) นิวแมติกส์ หรือการไหลของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่3.20 โซลีนอยด์วาล์ว

การประยุกต์ใช้โซลีนอยด์วาล์วนั้น จะต่อขวางกับทางเข้า (inlet) กับทางออก (outlet) ของท่อที่ของไหลไหลผ่าน ดังแสดงในรูป 3.20 ตัววาล์วจะเป็นโลหะทองเหลือง ในวาล์วจะมีเครื่องกรอง เพื่อป้องกันเศษหินเล็กๆ และสิ่งสกปรกค้างอยู่ในช่องและป้องกันการรั่ว การติดตั้งวาล์ว จะทำให้ทิศทางการไหลโดยที่ระบุเป็นลูกศรบนตัววาล์ว หรือระบุเป็น “IN” และ “OUT” บนท่อ โซลีนอยด์วาล์วเหมาะสมกับการควบคุมการไหล ในทิศทางเดียวเท่านั้น ไดเรกชั่นนัลวาล์ว (directional value) กระตุ้นหยุดและควบคุมทิศของเส้นทางการไหล การไหล จะเปิดหรือจะปิดตามวาล์ว ดังแสดงในรูป 3.20 เราจำแนกวาล์วตามลักษณะการต่อและตำแหน่ง ของวาล์ว ตัวอย่างได้แก่ วาล์วที่ต่อในสี่ทิศ และมีตำแหน่งสวิตซ์ 3 ตำแหน่ง เช่นนี้เรียกว่าวาล์ว 4/3 ทิศ สัญลักษณ์ของไดเรกชั่นนัลวาล์วคือ สี่เหลี่ยมจตุรัสในแต่ละตำแหน่ง และแสดงการไหล วงจรวาล์วจะแสดงไว้ในสภาวะปกติที่ไม่มีการกระตุ้น โดยมีเส้นแสดงไว้เชื่อมกับตำแหน่งที่ยังไม่มีการกระตุ้น เมื่อวาล์วการกระตุ้น ให้เราพิจารณาว่าเส้นที่แสดงไว้เลื่อนไปอยู่ตำแหน่งอื่น วาล์ว 2 ทางจะมีโหมดการทำงานเป็น “เปิดปกติ” (NO) และ “ปิดปกติ” (NC) สัญลักษณ์ NO และ NC แสดงในรูป 3.20 เมื่อโซลีนอยด์วาล์วเป็น NC จะทำให้ไม่มีการไหล แต่ถ้ามีการกระตุ้นให้อยู่ที่ NO จะมีการไหลของของไหลรูปที่3.20แสดงโซลีนอยด์วาล์วแบบ2/2มื่อกระตุ้นโซลีนอยด์จะมีสนามแม่เหล็กที่ดึงแท่ง (rod)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวาล์ว ทำให้เลื่อนไปทางด้านเกิดการกระตุ้นเมื่อขดลวดโซลีนอยด์ไม่ได้รับการกระตุ้น ความดันจากสปริงจะกดแท่งกลับไปยังตำแหน่งปกติจึงไม่มีการไหลเกิดขึ้น

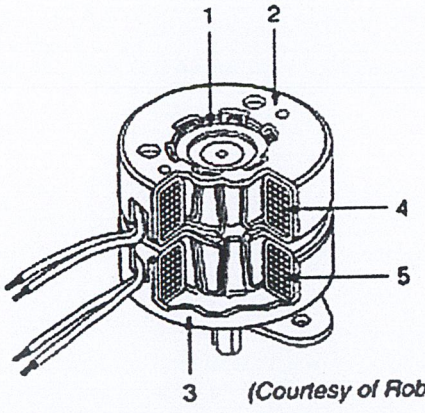
ไดเรกชั่นนัลวาล์ว ใช้กันมากในระบบทรงกระบอกคู่ (double – acting cylinder) ให้ความดันด้านหนึ่งของทรงกระบอกอีกด้านหนึ่งจะปล่อยความดัน หรือทำกลับกันในทางตรงข้าม ได้แสดงโซลีนอยด์วาล์วเดี่ยว ทำงานแบบระบบทรงกระบอกคู่ เมื่อไม่ได้กดปุ่มแกนวาล์วจะเลื่อนไปทำให้ของไหลมีทิศทางอยู่ด้านหลังลูกสูบทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เมื่อปล่อยมือ จากปุ่มแกนวาล์วจะเลื่อนกลับมาตำแหน่งไม่มีการกระตุ้นดังนั้นของไหลในทิศด้านหน้าของลูกสูบ ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ย้อนกลับวาล์วที่ใช้อาจเป็นแบบเปิด - ปิดและแบบอนาลอกแบบแรก ใช้หลักการของโซลีนอยด์ส่วนแบบหลังใช้มอเตอร์หรือลิ้นบังคับอัตราการไหล

สเต็ปเปอร์มอเตอร์

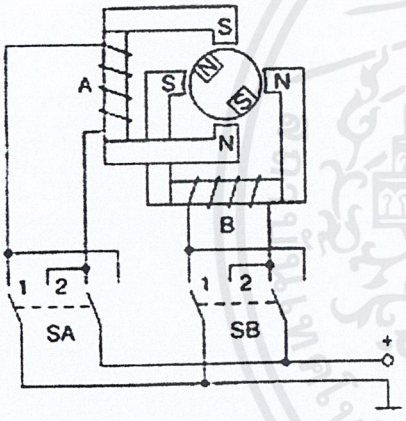
สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (stepper motor) เปลี่ยนสัญญาณพัลส์ไฟฟ้า เป็นการหมุนเป็นสเต็ป (step)ไม่ต่อเนื่อง โดยหมุน 1.8 องศาต่อสเต็ป ฉะนั้นมอเตอร์ใช้สัญญาณพัลส์ 360 พัลส์เพื่อให้หมุนได้ครบรอบไมโครสเต็ปเปอร์ มอเตอร์จะหมุนเป็นสเต็ปเป็นพันๆ สเต็ป จะครบรอบคาบของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ จะขึ้นอยู่กับจังหวะการหมุนที่สเต็ปจนครบรอบของมอเตอร์ มอเตอร์ประเภทนี้จะมีอัตราเร็วต่ำ ค่าทอร์กน้อย และสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้แม่นยำมากรูปที่3.21 แสดงหลักการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบกระแสตรง ประกอบด้วยสเตเตอร์ที่กระตุ้นสนามแม่-เหล็กไฟฟ้าและโรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร เมื่อขั้วของขดลวด เปลี่ยนแปลง โรเตอร์จะหมุนไปในทิศทางที่กำหนดได้เพียง 1 สเต็ปไปอยู่ตำแหน่งใหม่ จำนวนสเต็ปต่อหนึ่งรอบหาได้จากจำนวนคู่ของขั้วที่โรเตอร์และสเตเตอร์ ถ้าจำนวนขั้วของโรเตอร์และสเตเตอร์ มีมากจำนวนสเต็ปต่อรอบของมอเตอร์จะมีค่ามากตามไปด้วย

การทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ขึ้นอยู่กับกำลังที่จ่าย ให้กับมอเตอร์แหล่งจ่ายกำลังจะผลิตพัลส์โดยทั่วไปเกิดขึ้นด้วยการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์PIC ซึ่งจะให้พัลส์เพื่อขับดันอุปกรณ์ควบคุมไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ด้วยวิธีดังกล่าวนี้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ ช่วยทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ไปตำแหน่งหนึ่งๆ ได้ละเอียดแม่นยำ โดยการนับพัลส์คอมพิวเตอร์ จะช่วยบอก ให้รู้ตำแหน่งที่มอเตอร์อยู่ ดั้งนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณฟีดแบค (feedback signal) ระบบควบคุมด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ประกอบด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์และแพคเกจขับดัน (drive package) โดยมีส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิคส์และแหล่งจ่ายกำลัง ดังแสดงในรูปที่3.22 ตัวขับดัน จะต่ออินเตอร์เฟส (interface) คอมพิวเตอร์เข้ากับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยมีลอจิกที่จะแปรข้อมูลดิจิตอลไปให้กับเพลามอเตอร์หมุนได้ มอเตอร์จะหมุนทีละสเต็ปในแต่ละพัลส์ที่ได้รับจากตัวขับดันคอมพิวเตอร์จะให้จำนวนพัลส์ตามที่ต้องการ สำหรับกรณีเฉพาะที่จะขับเคลื่อนให้อัตราเร็ว และระยะทางที่ต้องการ

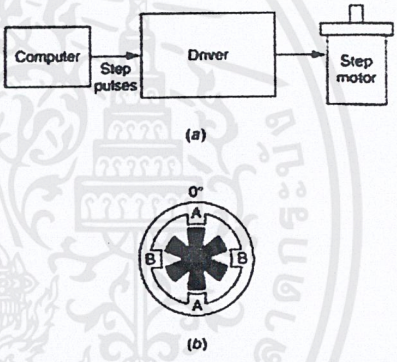
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.21 สเต็ปเปอร์มอเตอร์



รูปที่3.22 สเต็ปมอเตอร์dc



รูปที่3.23 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์

สเตเตอร์เมื่อให้แรงดัน กับขดลวดโรเตอร์แม่เหล็กถาวรของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ อยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีโหลด กล่าวคือขั้วแม่เหล็กถาวรจะจัดตั้งอยู่ในแนวขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์ ค่าทอร์กสูงสุดที่กระตุ้นมอเตอร์ที่มีโหลดโดยไม่ให้มีการหมุนอย่างเดียว เราเรียกค่าทอร์กนี้ว่าสเต็ปเปอร์มอเตอร์โฮลดิ้งทอร์ก (stepper motor holding torque) แม้ขณะที่มอเตอร์ไม่ได้รับการกระตุ้นมอเตอร์จะมีค่าทอร์กอยู่ด้วย ที่เป็นเช่นนี้เพราะการเหนี่ยวนำที่ขั้วแม่เหล็กถาวรของสเตเตอร์ เมื่อพิจารณาความเสียดทานภายในมอเตอร์ด้วย จะมีค่าทอร์กดีเทนท์ (detent torque) ซึ่งเป็นค่าทอร์กที่มอเตอร์ไม่ถูกกระตุ้นเรียกว่ามีเสถียรภาพ ดังแสดงในรูปที่3.23

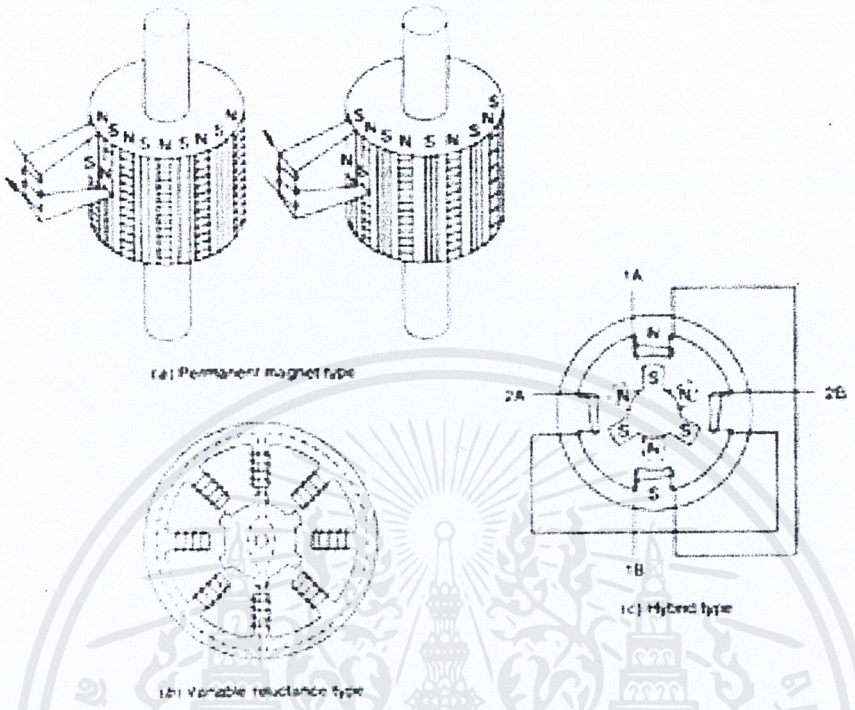
สเต็ปเปอร์มอเตอร์ มี 3 ประเภทคือ

(1) มอเตอร์แม่เหล็กถาวร

(2) มอเตอร์ที่ค่ารีลักแตนซ์แปรได้ (variable reluctance motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ไฮบริดมอเตอร์ (hybird motor) มอเตอร์ประเภทแรกแสดงในรูปที่3.24



รูปที่3.24 สเต็ปมอเตอร์ประเภทต่างๆ

โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสเต็ปเป็นมุมกว้าง ซึ่งจะเหมาะสมที่จะใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ควบคุม มอเตอร์ประเภทที่สองจะไม่มีแม่เหล็กถาวรฉะนั้นการขับดันให้มอเตอร์หมุนจะไม่เหมือนกับกรณีอื่นๆ โรเตอร์จะหมุนอิสระ โดยไม่มีค่าทอร์กดีเทนท์ ดังแสดงในรูปที่3.23 มอเตอร์ชนิดนี้ใช้ในงานปรับตำแหน่งอย่างละเอียด มอเตอร์ประเภทที่สามเป็นไฮบริดมอเตอร์ มีหลักการทำงานผสานกัน ระหว่างมอเตอร์ประเภทแรกกับมอเตอร์ประเภทที่สองมอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม โรเตอร์ประกอบขั้ว 2ขั้วโดยแต่ละขั้วจะมีเฟือง 3เฟือง ระหว่างขั้วจะมีแม่หล็กถาวรซึ่งถูกกระตุ้นในแนวของโรเตอร์ ทำให้ด้านหนึ่งเป็นขั้วเหนือ และอีกด้านหนึ่งเป็นขั้วใต้ เฟืองจะเริ่มต้นที่ขั้วเหนือและขั้วใต้ ดังแสดงในรูปที่3.24 สเตเตอร์ประกอบด้วยเปลือก (scell)ภายนอกที่มี 4 เฟืองที่หมุนได้รอบโรเตอร์ มีขดลวดพันเฟือง ของสเตเตอร์และต่อเข้าด้วยกันเป็นคู่

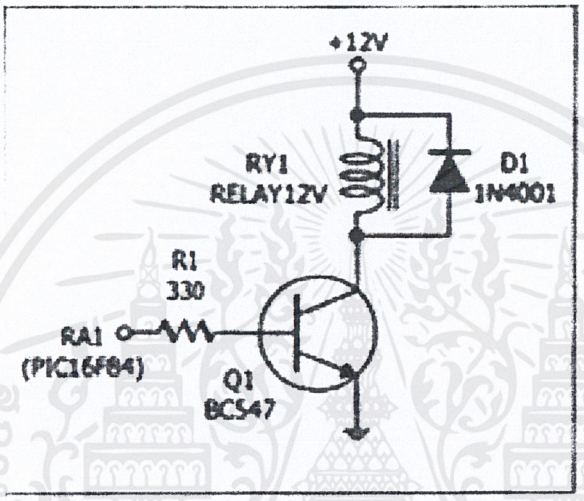
ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้การควบคุมเครื่องมือและกลไกทางอุตสาหกรรมแบบดิจิตอล ทำให้มีการใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ ในอุตสาหกรรมมีการควบคุม และการระบุตำแหน่ง ดังนั้นเราจึงสามารถใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แทนเบรค คลัทซ์ และเกียร์ ทำให้การทำงานดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานอุปกรณ์ไดรเวอร์

ควบคุมรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้าแบบหนึ่งที่ใช้ในการตัดต่อวงจรมีสัญลักษณ์แสดง ตามรูปที่3.25 เมื่อขดลวดรีเลย์มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นทำให้หน้า สัมผัสโลหะที่ปกติเปิดวงจรแยกจากกันอยู่ถูกดูดติดกัน เกิดการต่อวงจรขึ้นส่วนหน้าสัมผัสที่ปกติ ต่อวงจรอยู่ก็แยกออกจากกัน เกิดการเปิดวงจรขึ้น



รูปที่ 3.25 วงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

รีเลย์โดยทั่วไปจะมีหน้าสัมผัสทางเอาต์พุต 2 แบบที่มีความเกี่ยวข้องกันคือ หน้าสัมผัสปกติต่อ วงจรหรือ NC (Normaly closed))และหน้าสัมผัสปกติเปิดวงจร หรือ NO (Normaly Opened) ในกรณีของหน้าสัมผัสปกติต่อวงจรเมื่อรีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสชุดนี้จะแยกจากกัน กลายเป็นเปิดวงจรหน้าสัมผัสชุดนี้จึงใช้ก็ต่อเมื่อมีจุดประสงค์ให้รีเลย์ทำการตัดวงจรเมื่อทำงาน

ส่วนหน้าสัมผัสปกติเปิดวงจรเมื่อรีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสชุดนี้จะต่อกันกลายเป็นปิดวงจร ดังนั้นจึงใช้หน้าสัมผัสชุดนี้ก็ต่อเมื่อ ต้องการให้รีเลย์ต่อวงจรเมื่อทำงาน ดังนั้นหน้าสัมผัสรีเลย์ 1 ชุดจึงเสมือนกับสวิตช์ 2 ทางหรือ DPST (Double Pole Single Throw)

รีเลย์ที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปมีขดลวด 1 ชุด ใขณะที่หน้าสัมผัสมีตั้งแต่ 1 ชุด (หน้าสัมผัส 1 ชุด ประกอบด้วย NO และ NC) จำนวน 5 ขา ไปจนถึง 4 ชุด 14 ขา ส่วนอัตราการทนกำลังไฟฟ้าของหน้าสัมผัสมีให้เลือกมากมาย ถ้าเป็นขนาดของแรงดันจะมีตั้งแต่ 30 โวลต์ ขึ้นไปจนถึง 1,000 โวลต์ ส่วนขนาดของกระแสมีตั้งแต่ไม่กี่แอมป์จนถึงหลายๆ สิบแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับรีเลย์ โดยใช้ทรานซิสเตอร์แสดงตามรูปที่ 3.25 ขาพอร์ตเอาต์พุตต่อเข้ากับ ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ที่ใช้ขับรีเลย์ผ่านตัวต้านทาน R1 ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสเบส ให้แก่ทรานซิสเตอร์ Q1 ขดลวดรีเลย์จะต่อเข้าที่คอลเล็กเตอร์ โดยมีไดโอด D1 ต่อคร่อมขดลวดรีเลย์ RY1 อยู่เพื่อป้องกันกระแสที่ไหลย้อนกลับมาเข้าทรานซิสเตอร์ เมื่อรีเลย์หยุดทำงาน

เมื่อต้องกันสั่งให้รีเลย์ทำงาน ต้องเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดให้ขา RA1 เป็นเอาต์พุท เสียก่อนจากนั้นจึงเขียนข้อมูล “1” ออกไปทางขา RA1 ทรานซิสเตอร์ Q1 โดยจะนำกระแสทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดรีเลย์รีเลย์จึงทำงาน โหลดในวงจรนี้คือ LED 1 จะติดสว่างเมื่อต้องการจะควบคุมให้รีเลย์หยุดทำงาน ทำได้โดยการเขียนข้อมูล “0” ออกไปทางขา RA1 อีกครั้ง ทรานซิสเตอร์ Q1 ก็จะหยุดนำกระแสทำให้รีเลย์หยุดทำงาน LED 1 จึงดับลง

ข้อเสนอแนะประการหนึ่ง ในการใช้รีเลย์เพื่อขับโหลดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงคือ ไม่ควรใช้ รีเลย์กับโหลดที่มีขนาดมากกว่า 20 แอมป์ เนื่องจากเมื่อรีเลย์ทำงาน ทำการต่อไฟเลี้ยงให้โหลดอาจ เกิดประกายไฟขึ้นหน้าสัมผัสได้ทำให้หน้าสัมผัสเสื่อมสมรรถภาพส่งผลให้เกิดความเสียหายได้ในที่สุด

ควบคุมรีเลย์โดยใช้ ULN2003

วงจรการทำงาน โดยทำการต่อขาอินพุทของ ULN2003 เข้ากับขาพอร์ทเอาต์พุทของ PIC 16F84 ในที่นี้คือ RB1 เมื่อต้องการให้รีเลย์ทำงาน ต้องเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดให้ขา RB1 เป็นเอาต์พุทเสียก่อน จากนั้นจึงเขียนข้อมูล“1”ออกไปทางขา RB1 เมื่อผ่าน ULN2003 จะเกิดการกลับลอจิกเป็น ”0” ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ รีเลย์จึงสามารถนำกระแสได้ โหลดในวงจรนี้คือ LED 1จะติดสว่าง จะเห็นได้ว่ารีเลย์ต้องการไฟเลี้ยงสูง +12 โวลต์ แต่สามารถเลือกใช้ลอจิกเป็น ”1” ที่มีขนาดเพียง +5โวลต์ ขับให้ทำงานได้ เมื่อต้องการควบคุม ให้รีเลย์หยุดทำงานทำได้โดยการเขียนข้อมูล “0” ออกไปทางขา RB1อีกครั้ง ULN2003 จะทำการ กลับลอจิกเป็น ”1” ส่งผลให้ไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดรีเลย์ RY1 ทำให้รีเลย์หยุดทำงาน LED 1 จึงดับ

อนึ่งจะเห็นได้ว่าการต่อไดโอดคร่อมขดลวดรีเลย์ ทั้งนี้เนื่องจากที่ขามีไดโอดต่อเพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับจากโหลดทางเอาต์พุทอยู่แล้ว

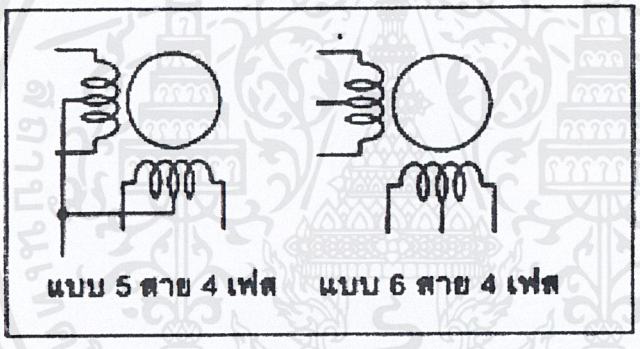
การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ของ PIC16F84

การใช้ PIC 16F84 ขับอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าอย่างมอเตอร์โดยตรงไม่สามารถทำได้ เนื่องจากกระแสทางเอาต์พุทของ PIC16F84 จำกัดไว้ที่ 20 mA เท่านั้น จึงต้องอาศัยอุปกรณ์ขับช่วยได้แก่ทรานซิสเตอร์กำลังปานกลางหรือกำลังสูง , มอตเฟตกำลังปานกลางหรือกำลังสูง, ไอซีขับเบอร์ ULN2003 หรือ ULN2803 หรือ 2804 เป็นต้น

สำหรับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงาน แตกต่างจากมอเตอร์ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะจะต้องป้อนสัญญาณเป็นพัลส์ ให้กับขดลวดของมอเตอร์เป็นจังหวะอย่างเหมาะสม และการหมุนเป็นจังหวะตามพัลส์ที่ป้อน ไม่หมุนต่อเนื่องเหมือนกับมอเตอร์ธรรมดาโดยทำให้ผู้ควบคุมสามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์หมุนได้ จังหวะของการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์เรียกว่าสเต็ป (step)ความละเอียดของมอเตอร์กำหนดเป็นองศาที่หมุนไปในหนึ่งสเต็ป หากมอเตอร์มีจำนวนองศาต่อสเต็ปมาก หมายความว่า มอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนต่ำ ยกตัวอย่างการหมุนครบรอบเท่ากับ 360 องศา แต่หากมอเตอร์มีสเต็ปการหมุนเท่ากับ 7.5 องศา ต่อ สเต็ป มอเตอร์ตัวนี้ มีความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 48 ตำแหน่ง แต่หากถ้ามีสเต็ปการหมุน เท่ากับ 1.8 องศาต่อสเต็ปความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 200 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามอเตอร์ ตัวหลังนี้มีความละเอียดสูงมากกว่าตัวแรก ทำให้นำมาใช้งานที่ต้องการกำหนดตำแหน่งได้ดีกว่า แม่นยำกว่าผนวกเข้ากับวงจรขับแบบครึ่งสเต็ป (ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป) ความละเอียดของการหมุนกลายเป็นการผนวกเข้ากับวงจรขับแบบครึ่งสเต็ป (ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป) ความละเอียดของการหมุนกลายเป็น 400 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.26 การพันขดลวดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดและหาง่ายคือสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ (uni-polar stepper - motor) มีลักษณะการพันขดลวดแสดงในรูปที่ 3.26

สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งออกเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟสคือ 1,2,3และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สาย และ 6 สาย ถ้าเป็น แบบ 5 สายจะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อร่วมกันเป็นสายเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนสเต็ปเปอร์มอเตอร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียล ในรูปแบบที่ถูกต้องด้วยสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส (full step 1 phase) , แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส,แบบฮาล์ฟสเต็ป (half step)

แบบฟูลสเต็ป 1 เฟส เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวด ทีละขดในเวลาหนึ่งไล่เรียงถัดกันไป เช่นเริ่มต้นที่ขดที่ 1,2,3,4 แล้ววนกลับมาขดที่ 1 วนไป เรื่อยๆ หรือเริ่มที่ขดที่ 1 แล้วย้อนไปยังขดที่ 4,3,2 แล้วกลับมายังขดที่ 1 อีกครั้ง ซึ่งทำให้ทิศทาง การหมุนสวนกัน ในการกระตุ้นรูปแบบนี้ จึงมีขดลวดขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น

แบบฟูลสเต็ป 2 เฟสเป็นการกระตุ้นซึ่งคล้ายกับแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส แต่การกระตุ้นนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส ดังตัวอย่าง ขดลวดชุดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดที่1และ 2 ต่อไปเป็นขดที่ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขดที่1และ 2 วนไปตามลำดับเช่นนี้ หรือเริ่มที่ขด 1 และ 4 ตามด้วยขดที่ 4 และ 3 ถัดไปเป็น3 และ 2 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 2 ต่อไปเป็นขดที่2 และ 1 แล้ววนกลับมาที่ขดที่ 1 และ 4 ทิศทางการหมุนจะสวนทางกัน การกระตุ้นสเต็ปเปอร์มอเตอร์ มอเตอร์แบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟโรเตอร์ จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือ การกระตุ้นรูปแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น

แบบฮาล์ฟสเต็ปรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป 1 และ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ เริ่มต้นที่ขดที่ 1,1 และ 2, 2 ,2 และ 3, 3, 3 และ 4, 4, 4 ,4 วนกลับมายังขดลวดที่ 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง แต่ละสเต็ปเกิด แรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึง ระวังไว้อีกประการหนึ่งว่า เมื่อกระตุ้นให้ทำงานรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้ เท่ากับ 1 สเต็ปเต็มของการควบบคุมใน 2 แบบแรกสำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้อง ใช้ขนาด เท่ากัน แบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อย จึงจะเพียงพอ

ขนาดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีการผลิตและจำหน่ายในท้องตลาด มีตั้งแต่ขนาดแรงดันต่ำ 3V ไปจนถึง24Vส่วนขนาดของกระแสมีตั้งแต่ไม่กี่สิบมิลลิแอมป์ อันเป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์ตัวเล็ก ไปจนถึงสิบแอมป์ซึ่งมีขนาดมอเตอร์ใหญ่โตขึ้นตามลำดับราคาอยู่ในหลัก ร้อยบาทขึ้นไปสำหรับของใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F84

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) , ส่วนของเพอริเฟอรัล (Peripheral) และคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ

คุณสมบัติทางเทคนิคของหน่วยประมวลผลกลางภายใน PIC16F84

- หน่วยประมวลผลกลางเป็นแบบ RISC
- มีคำสั่ง 35 คำสั่ง ขนาด 14 บิต
- ทุกคำสั่งใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 1 ไซเกิลของสัญญาณนาฬิกา หรือประมาณ 250นาโนวินาทีที่สัญญาณนาฬิกาความถี่ 4MHz ยกเว้นชุดคำสั่งการกระโดดจะใช้เวลานาน 2 ไซเกิลของสัญญาณนาฬิกา
- ประมวลผลข้อมูลขนาด 8 บิต
- มีรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ 15 ตัว
- มีสแต็ก 8 ระดับ
- มีโหมดการอ้างอิงแอดเดรส3โหมดคือ แบบโดยตรง (direct) , แบบโดยอ้อม (indirect) และแบบสัมพันธ์ (relative)
- มีแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ 4 แหล่ง ได้แก่
  1. รับสัญญาณจากภายนอก โดยป้อนสัญญาณอินเตอร์รัปต์เข้าที่ขา RB0/INT
  2. จากไทเมอร์ TMR0 เกิดโอเวอร์โฟลว์
  3. เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงที่พอร์ต B (ขา RB4 - RB7)
  4. เมื่อการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมเสร็จสิ้นสมบูรณ์
- หน่วยความจำข้อมูล(data memory) เป็นแบบอีอีพรอมสามารถลบและเขียนใหม่ได้ประมาณ ล้านครั้ง และเก็บข้อมูลได้นาน 40 ปี
- ขนาดหน่วยความจำโปรแกรมซึ่งเป็นแบบแฟลชมีขนาด 1 กิโลเวิร์ด (1 เวิร์ดของ PIC16F84 มีขนาด 14 บิต) , หน่วยความจำอีอีพรอมภายใน 64 ไบต์ และหน่วยความจำแรม 68 ไบต์ซึ่งใช้เป็นรีจิสเตอร์

คุณสมบัติทางเทคนิคของเพอริเฟอรัลใน PIC16F84

- มีขาอินพุตเอาต์พุท 13 ขา สามารถกำหนดเป็นขาอินพุทหรือเอาต์พุทได้อย่างอิสระ
- กระแสซิงก์/ซอร์สของแต่ละขาอินพุทเอาต์พุทสูงพอที่จะขับ LED ได้โดยตรง
- กระแสซิงก์สูงสุด 25 mAต่อขา
- กระแสซอร์สสูงสุด 20 mAต่อขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิตคือ TMR0 พร้อมกับปรีสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตที่สามารถโปรแกรมได้

คุณสมบัติอื่นๆ

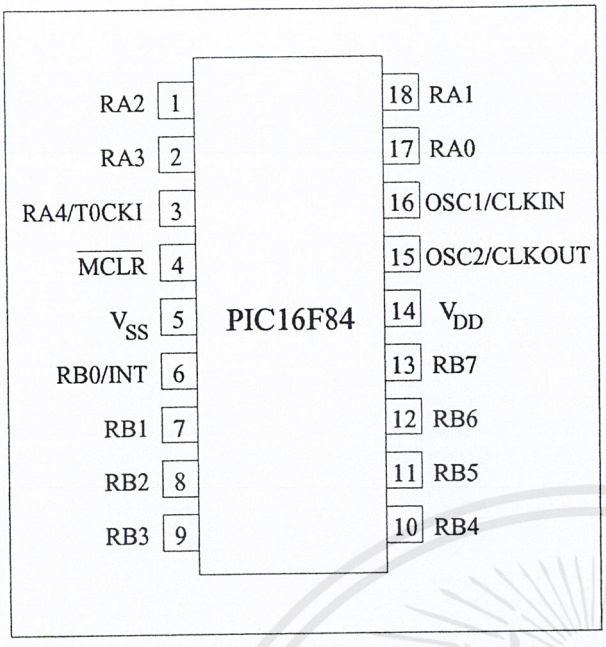
- มีเพาเวอร์ออนรีเซตในตัว (POR : Power-On Reset)
- มีเพาเวอร์อัปไทเมอร์ในตัว (PWRT : Power-up Timer)
- มีออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทเมอร์ (OST : Oscillator Start-up Timer)
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT : Watch Dog Timer) พร้อมกับวงจรออสซิลเลเตอร์ RC ภายในเพื่อช่วยให้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์มีเสถียรภาพยิ่งขึ้น
- ป้องกันการคัดลอกข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม
- มีโหมดประหยัดพลังงานหรือโหมดสลีป (Sleep mode)
- สามารถเลือกวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้กำหนดการทำงานได้
- การเขียนข้อมูลเข้าสู่หน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบอนุกรมผ่านขาใช้งานเพียง 2 ขา
- ย่านไฟเลี้ยง 2.0-6.0 V
- ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า

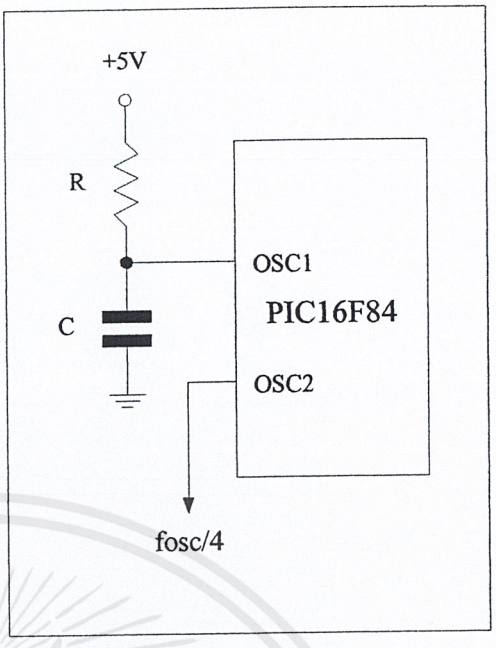
  <2 mA ที่ไฟเลี้ยง +5 V สัญญาณนาฬิการความถี่ 4 MHz

  15 mA ที่ไฟเลี้ยง +2 V สัญญาณนาฬิการความถี่ 32 MHz

  <1 μA ที่ไฟเลี้ยง +2 V ขณะแสตนด์บาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F84

การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (โหมด RC)

ในส่วนของพอร์ทอินพุทใน PIC16F84 มีด้วยกัน 2 พอร์ทคือ พอร์ต A และ B โดยในพอร์ท A มี 5 บิตคือ RA0-RA4 สำหรับขา RA4 ยังใช้เป็นขาอินพุทสำหรับรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ให้แก่ TMR0 ด้วย ส่วนพอร์ต B มี 8 บิตคือ RB0-RB7 สำหรับขา RB0 ยังใช้เป็นขาอินพุทสำหรับ สัญญาณอินเตอร์รัปต์ด้วย

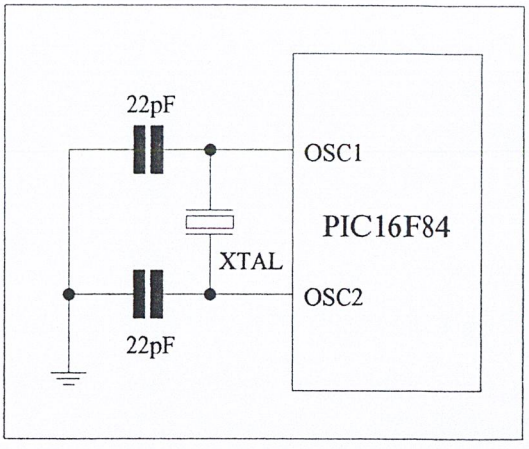
การกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84เป็นหน้าที่ของส่วนกำเนิด จังหวะการทำงาน (timing generation) ซึ่งต้องทำงานสัมพันธ์กับไทเมอร์ทั้ง 3 ตัวคือ เพาว์เวอร์อัปไทเมอร์,ออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์และวอตช์ด็อกไทเมอร์ สำหรับ PIC16F84 สามารถใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกโดยต่อสัญญาณเข้าที่ขา OSC1 และ OSC2 หรือจะใช้สัญญาณนาฬิกาภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ได้ด้วยการต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพิ่มเติม

การจัดขาของ PIC16F84

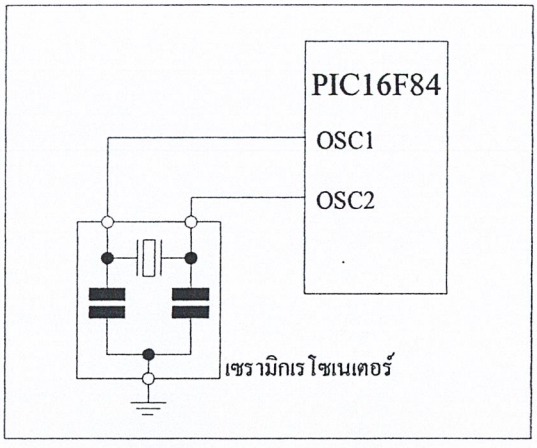
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 บรรจุอยู่ในตัวถัง 2 แบบคือ PDIP (Plastic Dual-In Line package) ซึ่งมีลักษณะเดียวกับไอซีแบบตีนตะขาบที่พบเห็นโดยทั่วไป และแบบ SOIC อันเป็นตัวถังแบบที่ใช้ติดตั้งบนผิวหน้าของแผ่นวงจรพิมพ์ ตัวถังทั้งสองแบบของ PIC16F84 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 18 ขา ดังแสดงในรูปที่ 1-2 ซึ่งสามารถจัดขาต่อใช้งานของ PIC16F84 เป็น 4 กลุ่มคือ

1. **กลุ่มสัญญาณนาฬิกา** มี 2 ขาคือ OSC1/CLKIN (ขา 16) และ OSC2/CLKOUT (ขา 15)
2. **กลุ่มขาควบคุม** มี 1 ขาคือ MCLR (ขา 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล



การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้เซรามิกเรโซเนเตอร์

3. **กลุ่มขาพอร์ทอินพุทเอาต์พุท** มี 13 ขา แบ่งเป็นขาพอร์ท A 5 ขา ได้แก่ RA0-RA4 (ขา 17,18,1,2 และ 3) และขาพอร์ท B ได้แก่ ขา RB0-RB7 (ขา 6 ถึง ขา 13)
4. **กลุ่มขาไฟเลี้ยง** มี 2 ขา คือ ขา V_{SS} (ขา 5) หรือขาต่อกราวด์ และขา V_{DD} (ขา 14) หรือขาต่อไฟเลี้ยง ปกติใช้ +5 V

การป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่ PIC16F84

สามารถเลือกได้ 4 วิธี ดังนี้

1. RC – เป็นการใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุร่วมกับแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง
2. XT – ใช้คริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์
3. HS – ใช้คริสตอลความถี่สูง (มากกว่า 4 MHz)
4. LP – ใช้คริสตอลกำลังงานต่ำ

อาจสรุปได้ว่าการป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่PIC16F84ทำได้3 วิธีการใหญ่ โดยใช้อุปกรณ์ 3 รูปแบบคือ ตัวต้านทานร่วมกับตัวเก็บประจุ,เซรามิกเรโซเนเตอร์ และคริสตอล

การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (RC clock circuit)

การใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาโดยเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด โดยจะใช้งบประมาณต่ำที่สุดโดยสามารถเลือกความถี่ของสัญญาณนาฬิกาได้จากการที่กำหนดค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้อนสัญญาณนาฬิกาแบบนี้เหมาะสำหรับงานที่มีการควบคุมขนาดของวงจร มีพื้นที่ของแผ่นวงจรพิมพ์จำกัด และต้องเป็นงานที่ไม่เข้มงวดเรื่องความแม่นยำและเสถียรภาพของความถี่ของสัญญาณนาฬิกามากนัก

การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบนี้มีความเที่ยงตรงสูงมาก และมีความแม่นยำสูงมาก ส่งผลในการคำนวณที่เกี่ยวกับการหน่วงเวลาในการเขียนโปรแกรมจะกระทำได้อย่างแม่นยำมากขึ้น สัญญาณนาฬิกาจะป้อนเข้าที่ขา OSC1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 จะทำการหารความถี่ลง 4 เท่า เพื่อให้เกิดสัญญาณนาฬิกาภายในมีความถี่ 1 MHz ในกรณีที่ใช้คริสตอลค่า 4 MHz ในขณะที่ขา OSC2 จะมีสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับ1/4 เท่าของความถี่ที่ขา OSC1

ในกรณีที่กำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายในเท่ากับ 1 MHz ทำให้เวลาของการทำงาน 1 คำสั่งซึ่งจะใช้สัญญาณนาฬิกา 1 ไซเกิล มีค่าเท่ากับ 1 ไมโครวินาที แต่ถ้าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ขา OSC1 มีการเปลี่ยนแปลง คาบเวลาของ 1 ไซเกิลการทำงานก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

3.4โปรแกรม PIC 16F84 ที่ใช้ในการควบคุมฮาร์ทแวร์ทั้งหมดของระบบ

3.4.1โปรแกรมควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์และควบคุมชุดนิวแมติค

```
list  P=16F84
__config  0x3ff9


STATUS      equ         0x03
PORTA       equ         0x05
PORTB       equ         0x06
O           equ         0x0b
M           equ         0x0c
N           equ         0x0d
COUNT       equ         0x0e
COUNT1      equ         0x0f


C           equ         0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RPO         equ         5
W           equ         0
F           equ         1

            org   0x000

START       bsf         STATUS,RPO
            clrf        PORTB
            movlw       0x01
            movwf       PORTA
            bcf         STATUS,RPO
            clrf        PORTB
            clrf        PORTA

DELAYDOWN   movlw       0x50
            movwf       M
MCO1        movlw       0x80
            movwf       N
NCO1        movlw       0x80
            movwf       O
OCO1        decfsz      O,F
            goto        OCO1
            decfsz      N,F
            goto        NCO1
            decfsz      M,F
            goto        MCO1

AGAINE      movlw       0xff
            movwf       COUNT
            movlw       0x91
            movwf       COUNT1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DRIVE     call    TURN
          decfsz  COUNT,F
          goto    DRIVE
DRIVE1    call    TURN
          decfsz  COUNT1,F
          goto    DRIVE1
          clrf    PORTB

MOVE      call    DELAYUP
          clrf    PORTB
UP        movlw   0x04
          movwf   PORTA

STOP      goto    STOP


DELAY     movlw   0x10
          movwf   M
MCO       movlw   0xff
          movwf   N
NCO       decfsz  N,F
          goto    NCO
          decfsz  M,F
          goto    MCO
          return

TURN      movlw   0x0c
          movwf   PORTB
          call    DELAY
          movlw   0x06
          movwf   PORTB
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                call        DELAY
                movlw       0x03
                movwf       PORTB
                call        DELAY
                movlw       0x09
                movwf       PORTB
                call        DELAY
                return

DELAYUP         movlw       0x50
                movwf       M
MCO2            movlw       0x80
                movwf       N
NCO2            movlw       0x80
                movwf       O
OCO2            decfsz      O,F
                goto        OCO2
                decfsz      N,F
                goto        NCO2
                decfsz      M,F
                goto        MCO2
                return
                end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2โปรแกรมควบคุมการปิด-เปิดกำลังไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ และควบคุมการปรับความถี่อัตโนมัติ

```
        list P=16F84
        __config 0x3ff9

STATUS  equ     0x03
PORTA   equ     0x05
PORTB   equ     0x06
O       equ     0x0b
M       equ     0x0c
N       equ     0x0d
P       equ     0x0a
COUNT   equ     0x0e
COUNT1  equ     0x0f

C       equ     0
RPO     equ     5
W       equ     0
F       equ     1

        org     0x000

START   bsf     STATUS,RPO
        clrf    PORTB
        movlw   0x01
        movwf   PORTA
        bcf     STATUS,RPO
        clrf    PORTB
        clrf    PORTA

DELAY   movlw   0x80
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                movwf       M
MCO1            movlw       0x50
                movwf       N
NCO1            movlw       0x10
                movwf       O
OCO1            movlw       0x10
                movwf       P
PCO1            decfsz      P,F
                goto        PCO1
                decfsz      O,F
                goto        OCO1
                decfsz      N,F
                goto        NCO1
                decfsz      M,F
                goto        MCO1

INCREASE        movlw       0x04
                movwf       PORTA

DELAY           movlw       0x80
                movwf       M
MCO             movlw       0x50
                movwf       N
NCO             movlw       0x10
                movwf       O
OCO             decfsz      O,F
                goto        OCO
                decfsz      N,F
                goto        NCO
                decfsz      M,F
                goto        MCO
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
START           movlw           0x02
                movwf           PORTB

DELAY           movlw           0x80
                movwf           M
MCO2            movlw           0x80
                movwf           N
NCO2            movlw           0x80
                movwf           O
OCO2            movlw           0x75
                movwf           P
PCO2            decfsz          P,F
                goto            PCO2
                decfsz          O,F
                goto            OCO2
                decfsz          N,F
                goto            NCO2
                decfsz          M,F
                goto            MCO2
                clrf            PORTB

CLOSE_POWER     movlw           0x04
                movwf           PORTB

DELAY_RESET     movlw           0x80
                movwf           M
MCO3            movlw           0x50
                movwf           N
NCO3            movlw           0x50
                movwf           O
OCO3            decfsz          O,F
                goto            OCO3
```

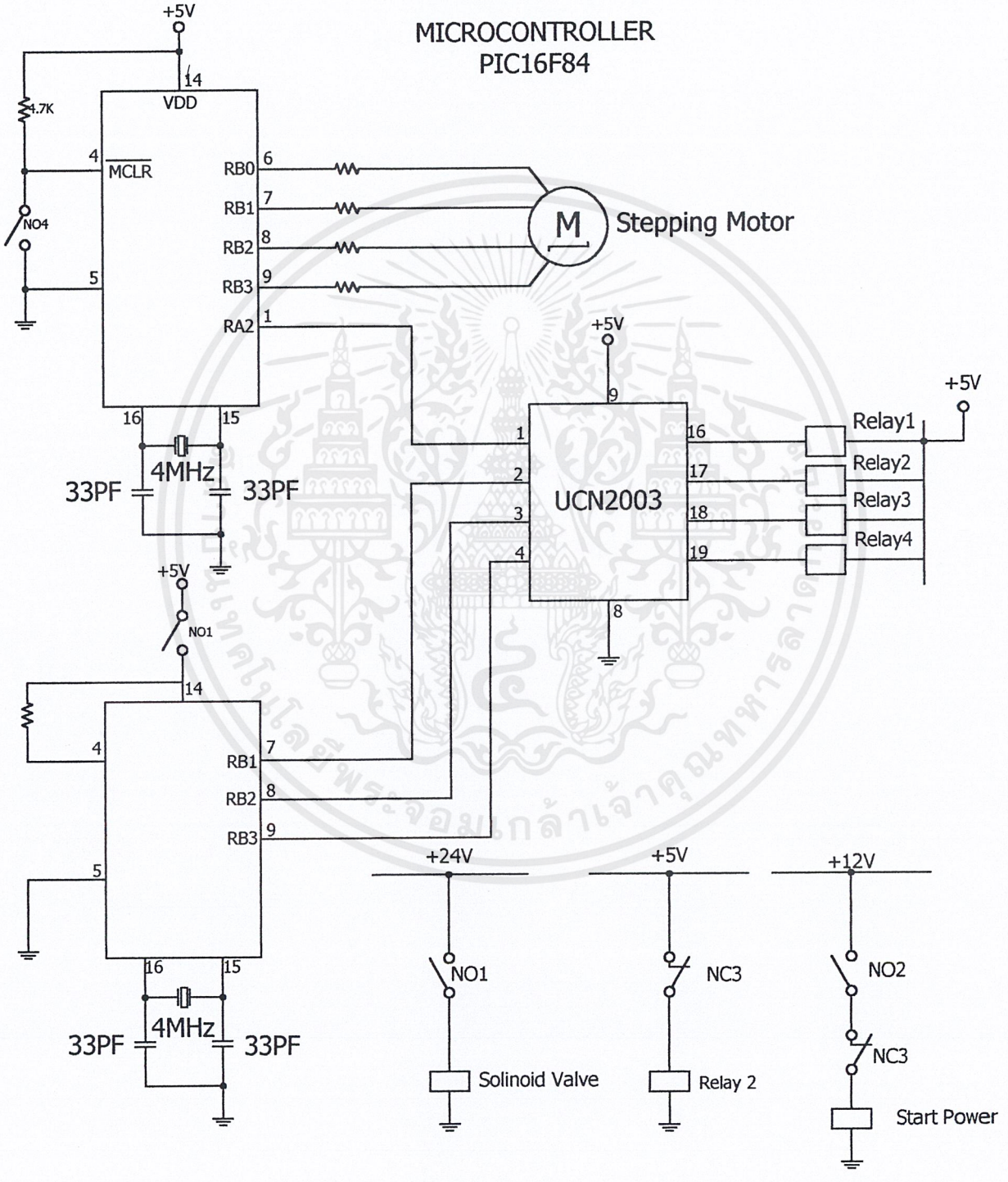
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                decfsz          N,F
                goto            NCO3
                decfsz          M,F
                goto            MCO3
                clrf            PORTB

RESET           movlw           0x08
                movwf           PORTB

STOP            goto            STOP

end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

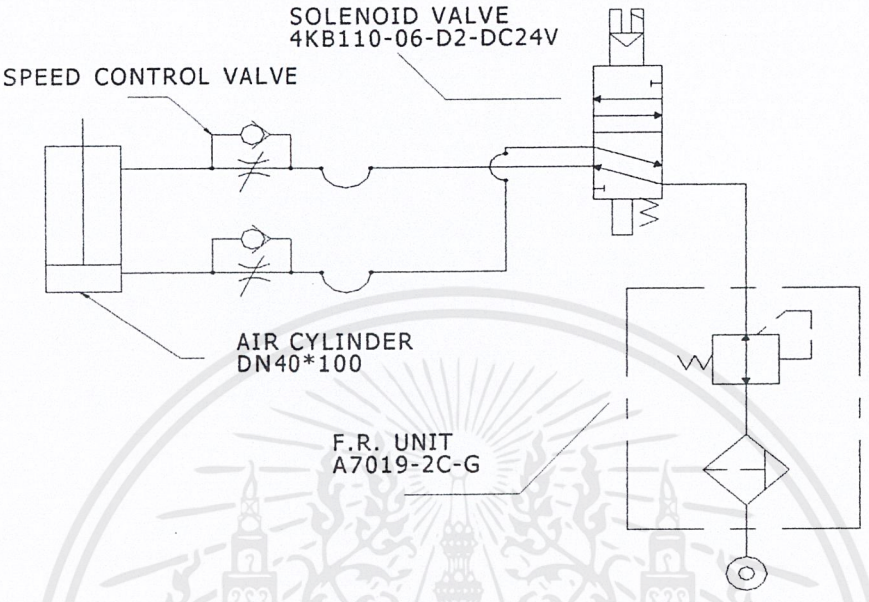
3.5 วงจรควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์และอุปกรณ์ทางกลต่างๆของ PIC16F84

แสดงวงจรตามรูปP24-14 PIC16F84 จะทำการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ผ่านทางอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ Q1-Q4 ซึ่งจัดวงจรในลักษณะคอลเล็กเตอร์เปิด โดยมีไดโอด D1-D4 ทำหน้าที่ป้องกัน กระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับอยู่ในวงจรแล้ว

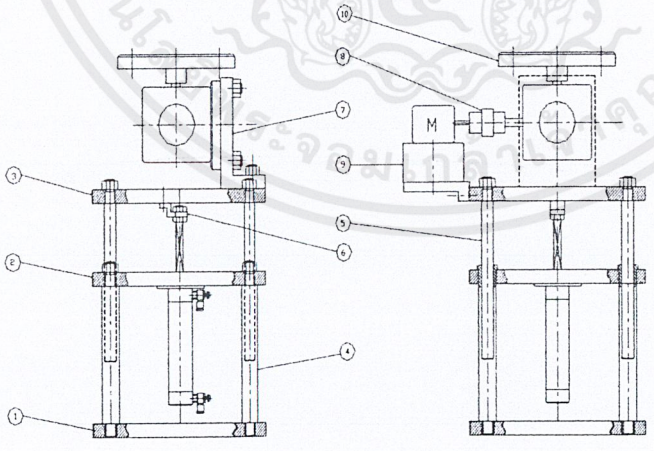


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แบบชุดเคลื่อนย้ายชิ้นงาน



รูปที่3.27 วงจรไฟฟ้าในระบบ MECHANICAL



รูปที่3.28 ชุดป้อนเหล็กอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

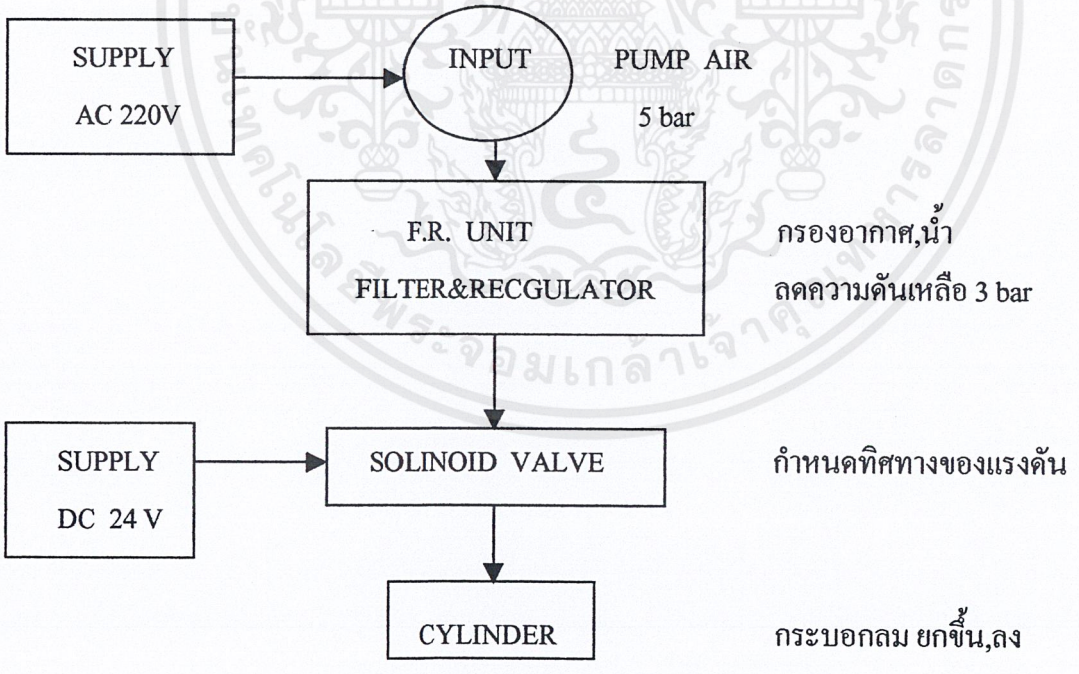
3.6.1 หลักการทำงาน

เมื่อ Start มอเตอร์จะหมุนให้แท่งเหล็กไปตรงกับรูของชุดชุบผิวโลหะจากนั้น Solinoid valve ก็จะจ่ายลมให้ Cylinder ยกจานเหล็กขึ้นไป จากนั้นวงจรก็จะทำการชุบแข็งแท่งเหล็ก เมื่อตัวจับกระแสสามารถตรวจจับได้ว่ากระแสถึงจุดที่ตั้งไว้แล้วก็จะสั่งให้Solinoidvalve ดูดลมออก ก็จะทำให้จานเหล็กเลื่อนลงมา หลังจากนั้นมอเตอร์ก็จะหมุนนำแท่งเหล็กแท่งต่อไปมาให้ตรงกับรูของชุดชุบผิวโลหะและก็จะทำไปเรื่อยๆเพื่อกันแท่งเหล็กแท่งแรกอย่างอัตโนมัติ

3.6.2วัสดุอุปกรณ์

1. PUPM AIR 5 bar
2. STEPPING MOTOR
3. SOLINOIL VALVE
4. F.R. UNIT (FILTER & RECGULATOR)
5. CYLINDER
6. GEAR BOX

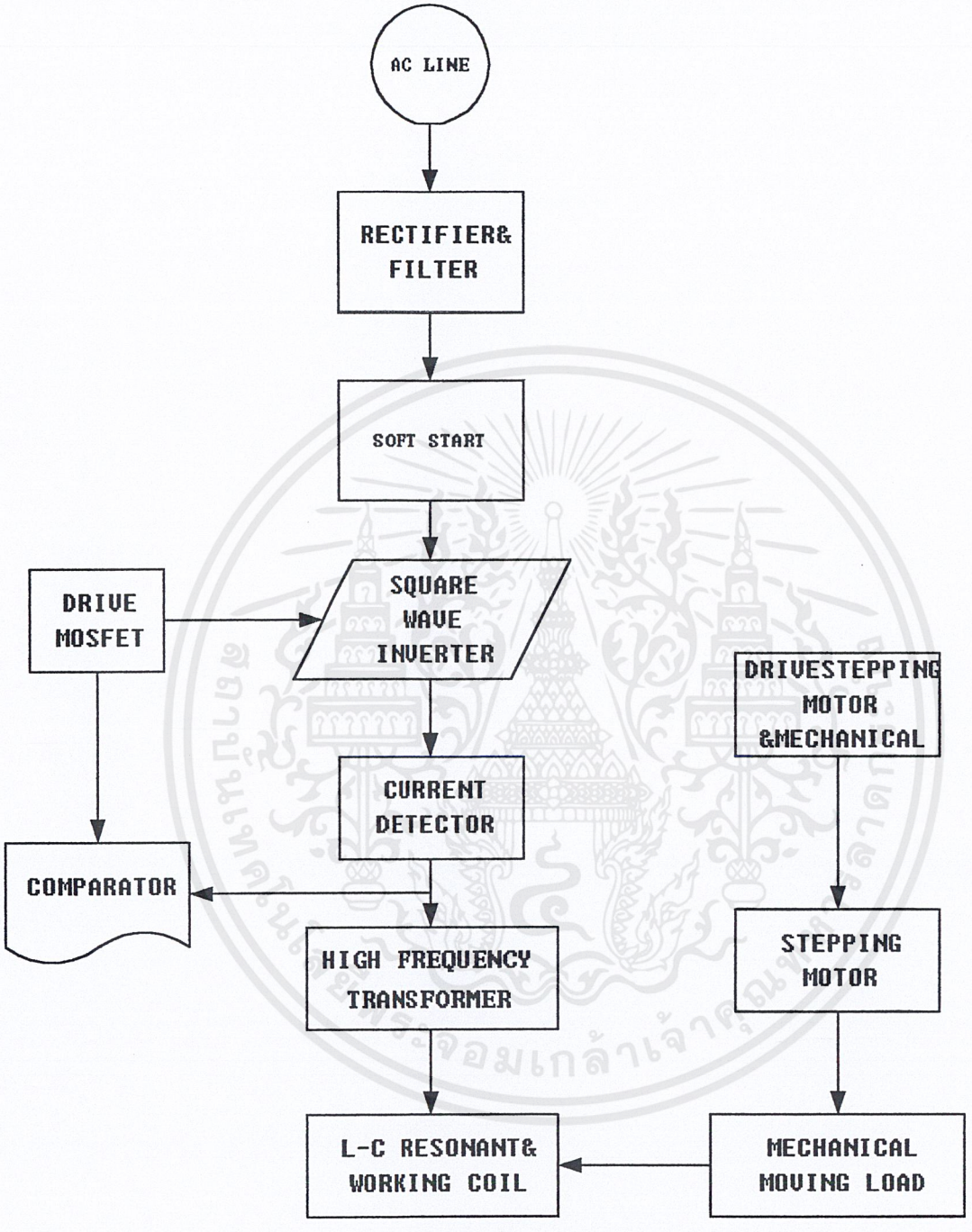
3.6.3 FLOW CHART ระบบไฟฟ้าของชุดป้อนชิ้นงานอัตโนมัติ



รูปที่3.29 แสดงโฟวชาร์จการทำงานของชุดMECHANICAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 FLOW CHART ของระบบเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนแบบเปลี่ยนชิ้นงานได้



รูปที่3.30 แสดงโฟวชาร์จการทำงานทั้งหมดของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
การทดลอง

การทดลองที่4.1 การวิเคราะห์พฤติกรรมกระแส

วัตถุประสงค์

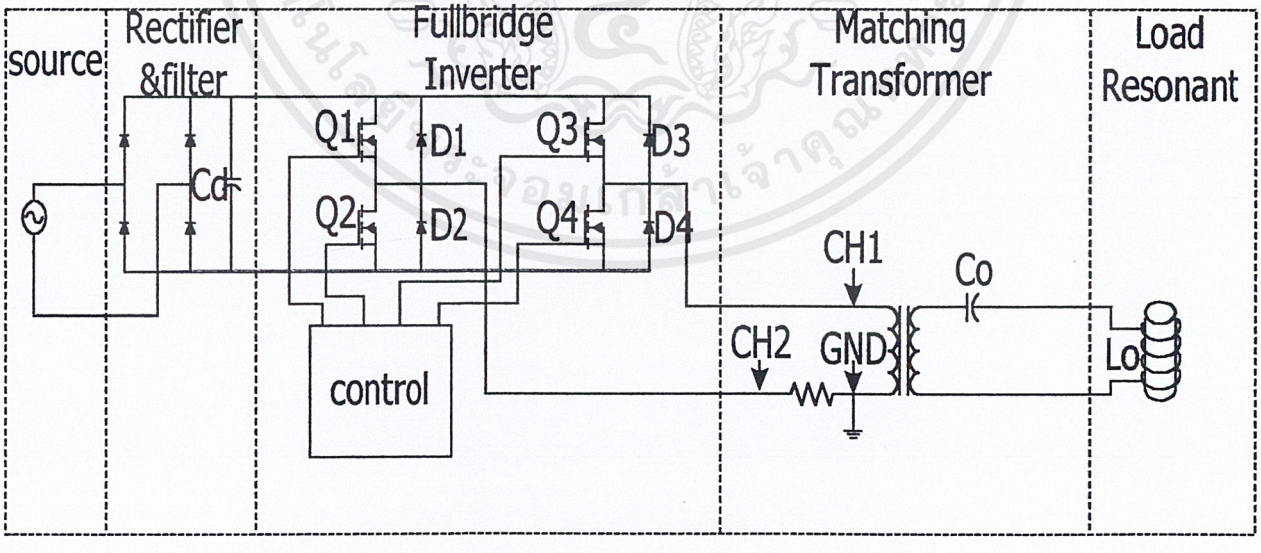
1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบโดยการเซ็ตค่าความถี่ใกล้รีโซแนนท์ที่สุด
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบที่มีการตอบสนองที่สภาวะต่างๆ
3. เพื่อทดลองเก็บฐานข้อมูลที่จะใช้ทดลองต่อไป
4. เพื่อหาจุดบกพร่องของระบบเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันต่อไป

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้จำนวนคอยล์เหนี่ยวนำที่จำนวนรอบต่างๆตั้งแต่ 2 – 5 รอบ ตามลำดับ โดยใช้ชิ้นงานที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1นิ้ว
2. เริ่มปรับแรงดันตั้งแต่ 0 – 100โวลต์ โดยใช้ Variac ค่อยๆปรับแรงดัน
3. ทำการบันทึกข้อมูลของแรงดันและกระแสที่ปรากฏออกมา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. VARIAC ขนาด 10 Amp
2. STORAGE-SCOPE
3. METER DIGITAL



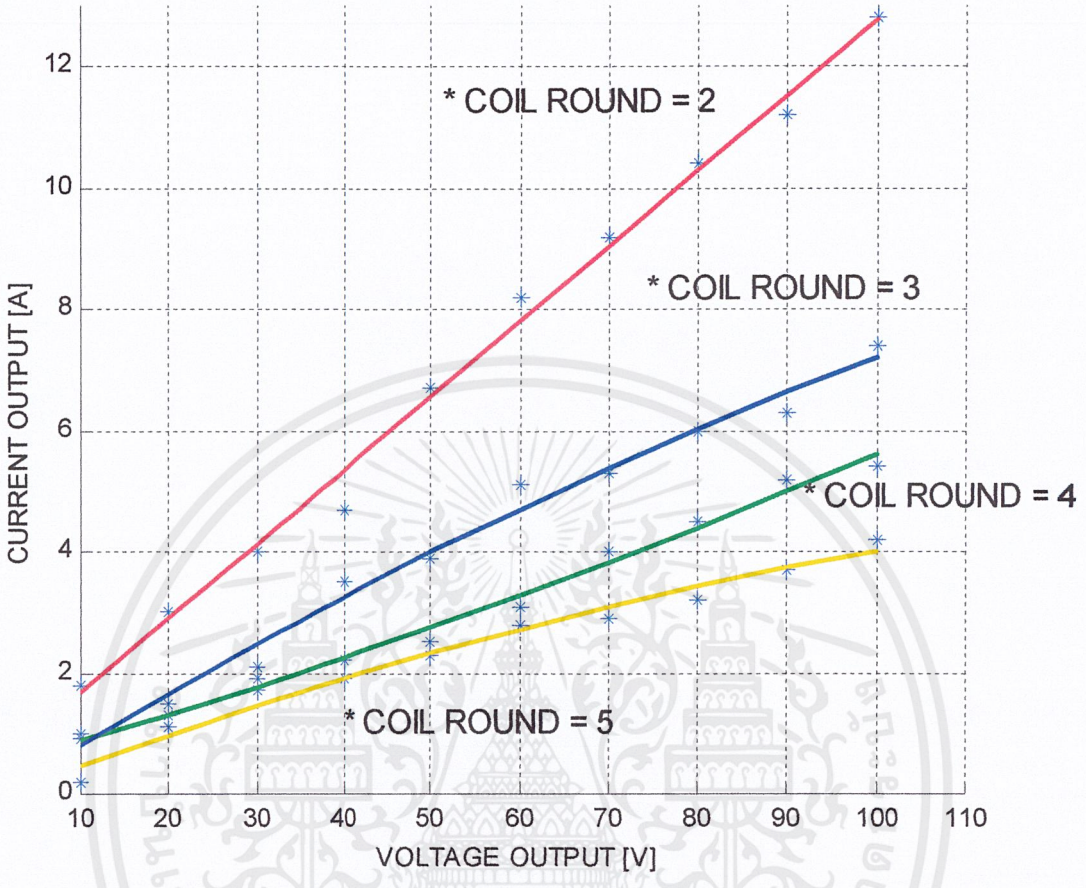
รูปที่4.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

โดย CH1 วัดแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์

CH2 วัดกระแสที่ขดไพรมารี่ของหม้อแปลงแมตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่4.1



รูปที่4.2 กราฟแรงดัน กระแส แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนรอบขดลวดที่มีผลต่อกระแส

สรุปผลการทดลองที่ 4.1

จากกราฟวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อจำนวนรอบขดลวดน้อยค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรก็จะมีค่าน้อยเช่นกัน จึงทำให้ค่าของกระแสที่โหลดมีค่าสูง ซึ่งทำให้ค่ากระแสเกินพิกัดของอุปกรณ์ได้เมื่อปรับค่าแรงดันสูงขึ้น ตรงกันข้ามเมื่อเราเพิ่มจำนวนรอบขดลวดมากขึ้น ค่าของกระแสก็จะน้อยลงที่ขนาดพิกัดของแรงดันที่เท่ากัน ดังนั้นเราสามารถหาขนาดของขดลวดที่จำนวนที่เหมาะสมได้ เพื่อให้ระบบได้พิกัดแรงดันเต็มที่ที่กระแสที่เหมาะสมกับระบบเช่นกัน

ผลที่ได้จากการทดลอง

เราสามารถหาจำนวนรอบที่เหมาะสมกับระบบได้ที่จำนวนรอบขดลวด 4 รอบ ซึ่งทำให้การควบคุมพิกัดแรงดัน กระแส และความถี่ สามารถได้พิกัดสูงได้ตามพิกัดที่ตั้งไว้ ซึ่งทำให้อุปกรณ์ที่ใช้งานตามพิกัดนั้นๆ เหมาะสมและปลอดภัยได้ในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของชิ้นงานที่ส่งผลต่อกระแส

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกระแสต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น
2. เพื่อทำการออกแบบระบบป้องกันกระแสเปลี่ยนแปลงฉับพลันได้

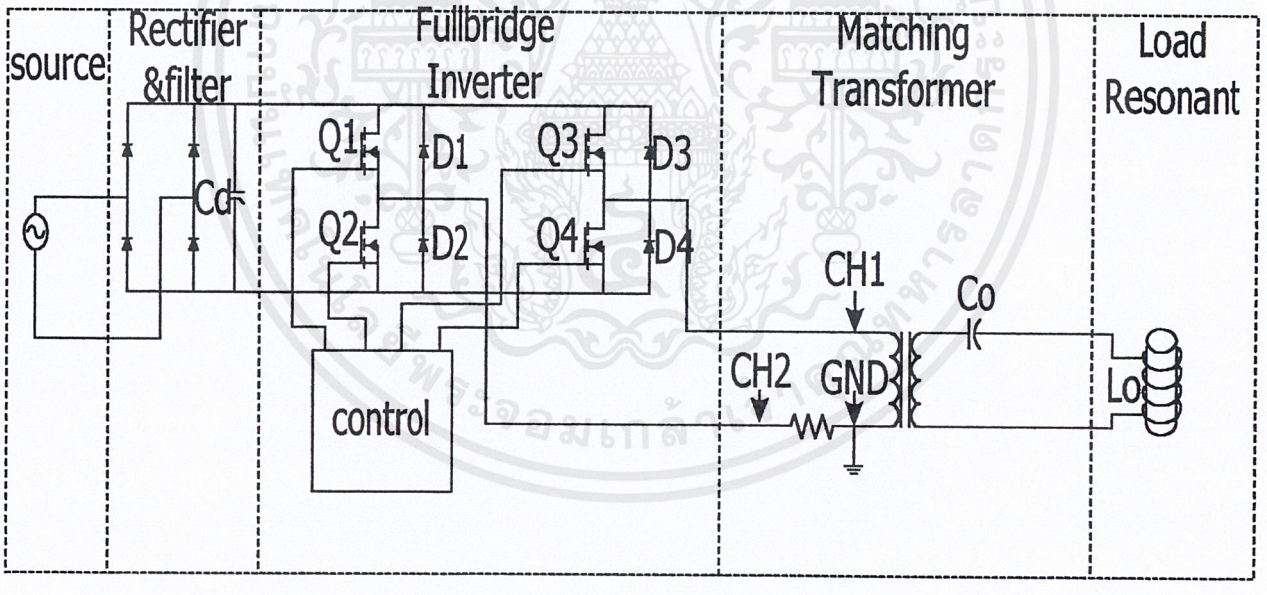
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการจ่ายแรงดันเต็มพิกัด 220 โวลต์ โดยการเปิดVariacแทนการเปิดทันทีเพื่อป้องกัน กระแสทรานสเซียนส์ ที่มีผลต่ออุปกรณ์ชุดเพาเวอร์ซัพพลาย และชุดอินเวอร์-เตอร์ได้

2.จับเวลาที่จุดต่างๆเพื่อดูผลของกระแสที่เปลี่ยนแปลงได้

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1. VARIAC ขนาด 10 Amp
2. STORAGE-SCOPE
3. METER DIGITAL
4. นาฬิกาจับเวลา



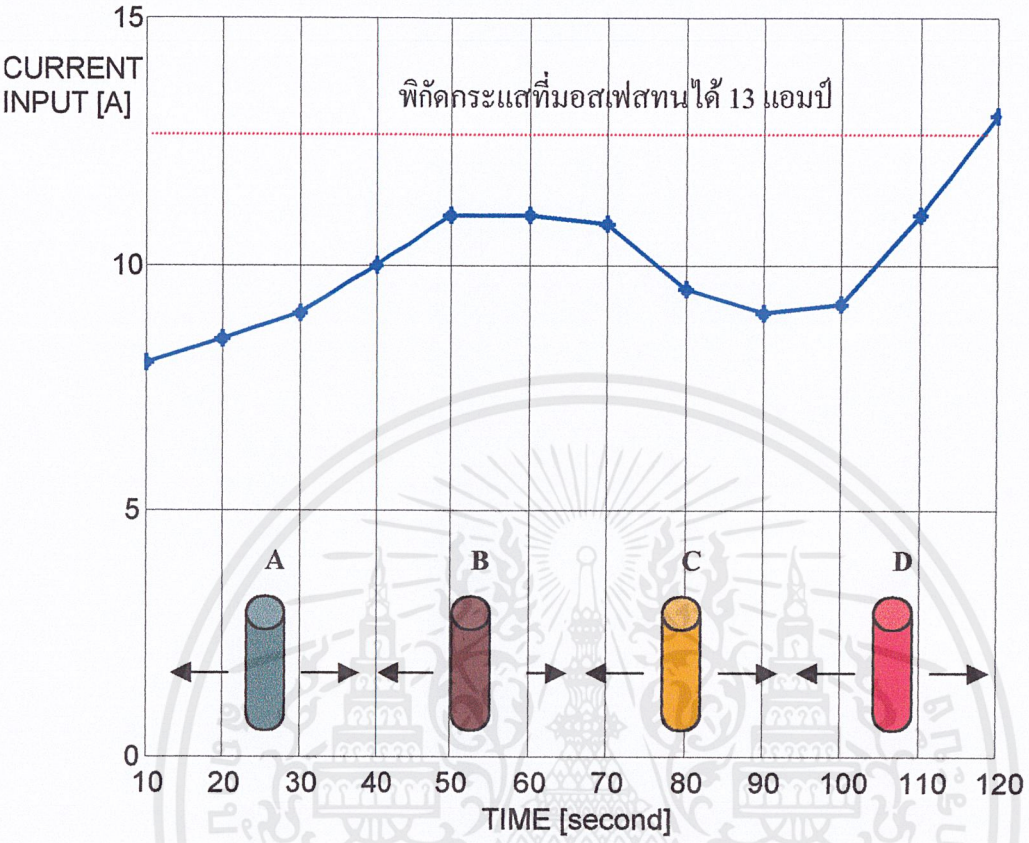
รูปที่4.3 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

โดย CH1 วัดแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์

CH2 วัดกระแสที่ขดไพรมารี่ของหม้อแปลงแมตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่4.2



รูปที่4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนชิ้นงานร้อนแดง

ช่วงสถานะต่างๆของชิ้นงาน

ช่วง A กระแสอยู่ในช่วง 7 – 10 แอมป์โดยชิ้นงานมีอุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียสซึ่งกระแสมีลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากความต้านทานของชิ้นงานลดลง ตามอุณภูมิที่เพิ่มขึ้น

ช่วง B กระแสอยู่ในช่วง 10 –11 แอมป์โดยชิ้นงานมีอุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียสซึ่งกระแสเริ่มคงที่ดังกราฟ เนื่องจากความต้านทานของเริ่มคงที่ตามพฤติกรรมของเหล็กที่ส่งผลจากอุณหภูมิขณะนั้น

ช่วง C กระแสอยู่ในช่วงลดลงจาก11- 9 แอมป์ โดยชิ้นงานมีอุณหภูมิประมาณ 650 องศาเซลเซียสซึ่งกระแสเริ่มลดลงเล็กน้อยเป็นผลมาจากความต้านทานเพิ่มขึ้นของเหล็กตามพฤติกรรมของมัน ที่อุณหภูมิมากขึ้นซึ่งเหล็กมีลักษณะร้อนใกล้จุดอิ่มตัวของเหล็ก โดยค่า Permeability ของชิ้นงานจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ซึ่งหมายถึง สภาพของสารแม่เหล็กมีค่าน้อยลง

ช่วง D กระแสอยู่ในช่วงเพิ่มขึ้นอย่างเร็วซึ่งอาจเกิน13 แอมป์ได้ซึ่งทำให้มอสเฟสเสียหายได้ ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงถึงจุดอิ่มตัว โดยทำให้ความต้านทานของเหล็กลดลงทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดของมอสเฟส

กราฟผลการทดลองแสดงถึงพฤติกรรมของกระแสเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เมื่ออุณหภูมิของชิ้นเพิ่มขึ้นตามเวลาช่วงต่างๆ โดยอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ที่ใช้มอสเฟสทำงานจะมีพิกัดกระแสที่ทนได้ประมาณ 13 แอมป์ ซึ่งจากการทดลองวิเคราะห์ได้ว่ากระแสอาจสูงขึ้นเรื่อยๆในสภาวะที่ชิ้นงานร้อนถึงจุดคูรีย์(ประมาณ 760 องศาเซลเซียส) ซึ่งเกินพิกัดที่มอสเฟสจะทนได้จึงทำให้อุปกรณ์การทำงานเสียหายได้ดังรูปกราฟที่แสดง

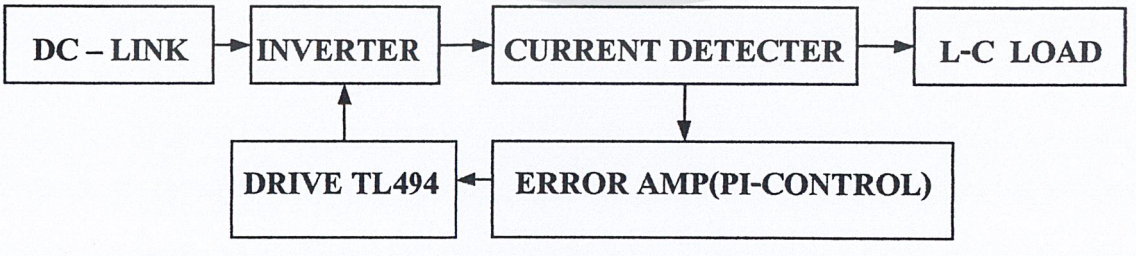
สรุปผลการทดลองที่4.2

กราฟที่ได้จากผลการทดลองตามกราฟที่ออกมาวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อช่วงเวลาแต่ละวินาทีที่เพิ่มขึ้นของขนาดกระแส ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด โดยกระแสจะมีการเพิ่มขึ้นอยู่ช่วงหนึ่ง แล้วก็จะลดลงมาซึ่งสภาวะนี้ผิวของชิ้นงานยังไม่ร้อนแดง โดยจะทำให้อณูของโมเลกูลของชิ้นงานมีการสั่นตามความถี่ที่จ่ายให้กับชิ้นงาน และมาถึงจุดๆหนึ่งที่ชิ้นงานเปลี่ยนสภาวะร้อนจนถึงจุดที่เรียกว่าจุดคูรีย์ (ชิ้นงานร้อนแดง) ทำให้กระแสพุ่งอย่างรวดเร็วตามกราฟที่แสดง โดยที่เป็นอย่างนี้ เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นมาก โดยจะแปรผันตามกระแสที่เกิดขึ้นได้ดังกราฟ

ผลที่ได้จากการทดลอง

จากกราฟที่เราวิเคราะห์มาเราสามารถนำผลที่ได้ไปออกแบบระบบป้องกันกระแสเพิ่มขึ้นฉับพลัน โดยมีการป้อนกลับของระบบเพื่อตรวจสอบขนาดกระแสตลอดเวลา เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งรักษาพิกัดเพาเวอร์ตลอดเวลาด้วย

การป้อนกลับ PI - CONTROL



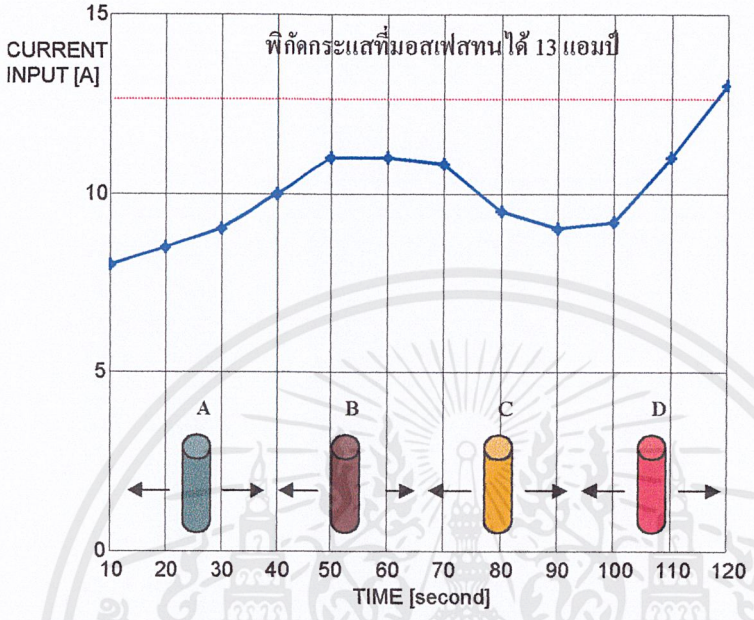
การทำงาน

เมื่อเปิดระบบที่ 220 โวลต์ กระแสที่โหลดจะค่อยๆเพิ่มขึ้น โดยจะถูกควบคุมจากการปรับความถี่สวิทช์ชิ่งจาก TL 494 โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์PIC 16F84ควบคุมอีกครั้ง ซึ่งเมื่อกระแส

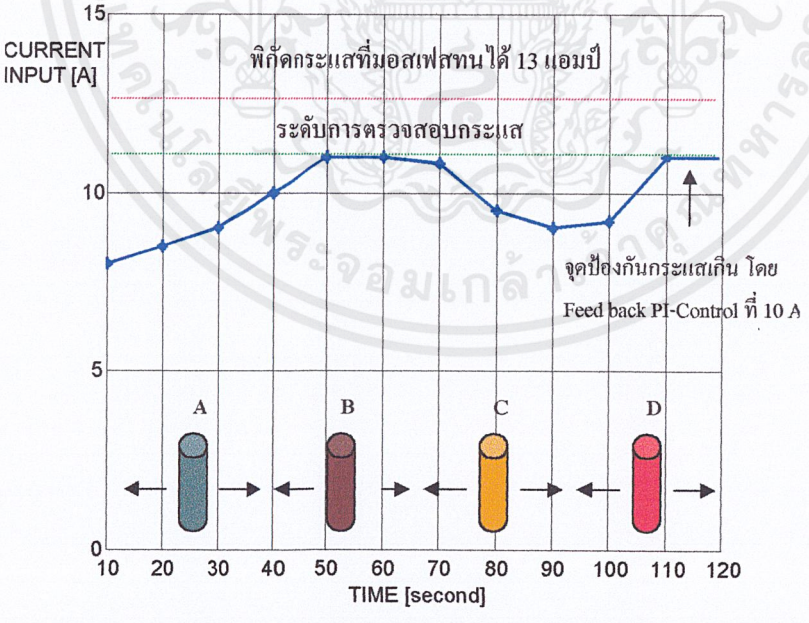
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นถึงระดับที่ตั้งไว้ 11 แอมป์ ชุดป้อนกลับกระแสก็จะทำงานทันที แล้วสั่งการควบคุมความถี่ที่ชุดTL 494 อีกครั้ง เป็นตั้งความถี่สวิทช์ชิ่งให้คงที่ ซึ่งหมายถึงกระแสโหลดก็คงที่เช่นกัน

ผลของการควบคุมกระแสโดยใช้ PI – CONTROL ป้อนกลับกระแส



กราฟแสดงกระแสที่ส่งผลต่อระบบขณะที่ไม่มีการป้อนกลับของ PI-CONTROL



กราฟแสดงกระแสที่ส่งผลต่อระบบขณะที่มีการป้อนกลับของ PI-CONTROL

จากการตรวจสอบการป้อนกลับของกระแส พบว่าทำให้กระแสที่เวลา 110 วินาทีขึ้นกระแสจะคงที่ที่ 11 A ตามที่ตั้งไว้ตลอดไปไม่ว่าอุณหภูมิของเหล็กจะสูงมากก็ตามทำให้อินเวอร์เตอร์ปลอดภัยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่4.3 การทดสอบการชุบแข็งผิวเหล็กพร้อมทั้งเปลี่ยนชิ้นงานอัตโนมัติ 5 ชิ้น

วัตถุประสงค์

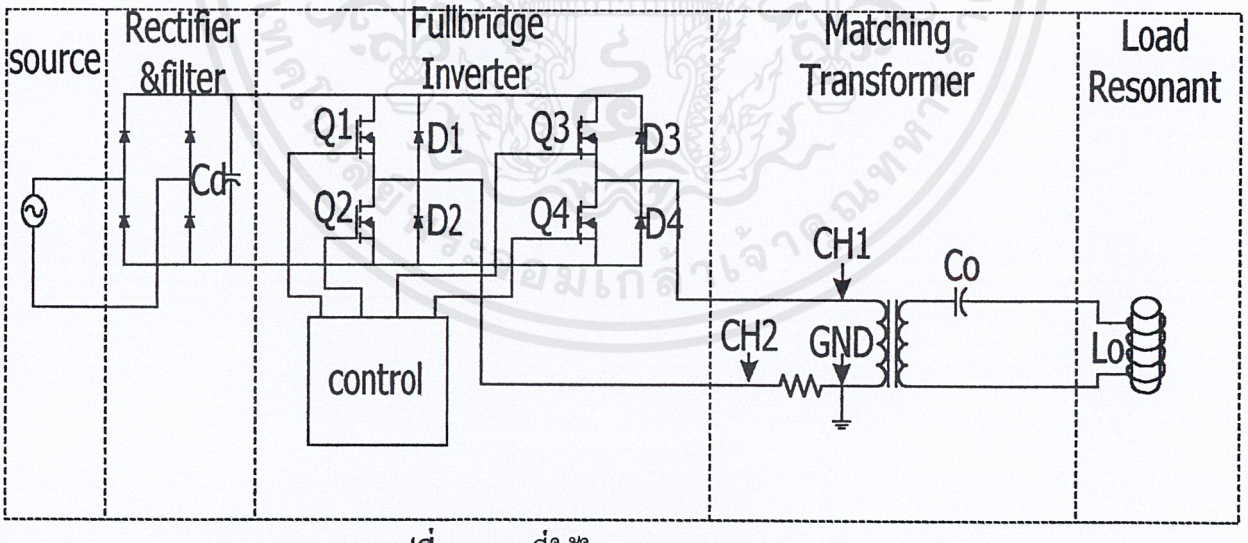
1. ทดสอบเพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบที่เป็นอัตโนมัติทั้งหมด
2. เพื่อหาจุดบ่งพร่องของระบบได้ขณะเครื่องทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน

1. เปิดสวิทช์การทำงานของชุดเคลื่อนย้ายเหล็กให้ทำงานทันที
2. ทำการจ่ายพิกัดแรงดัน 220 โวลต์ เข้าระบบ
3. ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระแส อุณหภูมิ รวมทั้งการตรวจสอบการป้อนกลับของกระแส โดยให้ระบบเดินเครื่องเอง
4. เมื่อถึงสภาวะการตัดวงจรเนื่องจากเวลาที่ตั้งไว้ ซึ่งช่วงนี้ชิ้นงานจะร้อนแดงมาก โดยตรวจข้อบ่งพร่องของระบบต่างๆ เพื่อหาทางแก้ไขต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1. VARIAC ขนาด 10 Amp
2. STORAGE-SCOPE
3. METER DIGITAL
4. ชุดเคลื่อนย้ายชิ้นงานอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



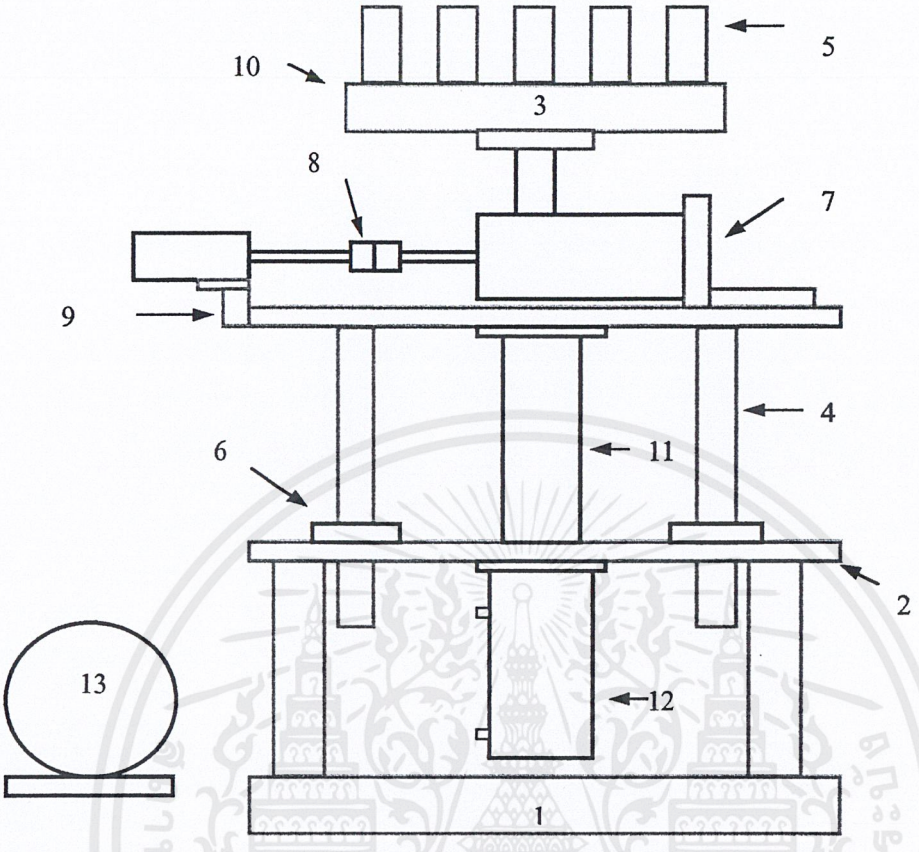
รูปที่4.3 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

โดย CH1 วัดแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์

CH2 วัดกระแสที่ขดไพรมารี่ของหม้อแปลงแมตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของชุดเคลื่อนย้ายชิ้นงาน



รูปที่4.5 ชุดเคลื่อนย้ายชิ้นงานอัตโนมัติ

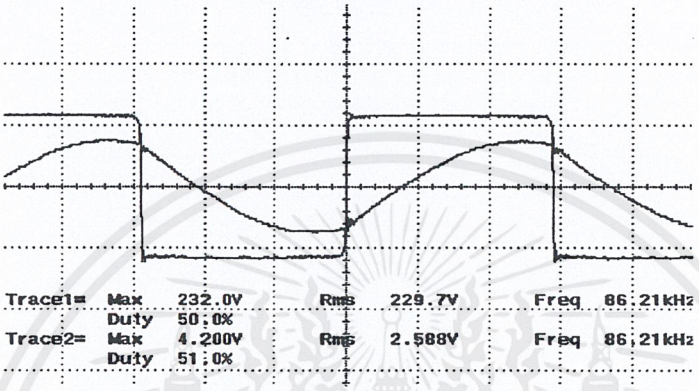
ส่วนประกอบ

1. พื้นรองรับที่ฐาน
2. พื้นรองรับส่วนที่เลื่อนได้
3. พื้นรองรับชิ้นงาน
4. เสาโครงสร้างรองรับน้ำหนัก
5. เหล็กชุบแข็งส่วนที่ใช้เลื่อน
6. น็อตยึดฐานรองชิ้นงานกับกระบอกแรงดัน
7. แท่นยึดชุดเฟืองทด
8. ข้อต่อระหว่างมอเตอร์กับเฟืองทด
9. แท่นรองมอเตอร์
10. ฐานชิ้นงาน
11. ก้านกระบอกลม
12. กระบอกลม
13. ปั๊มลม

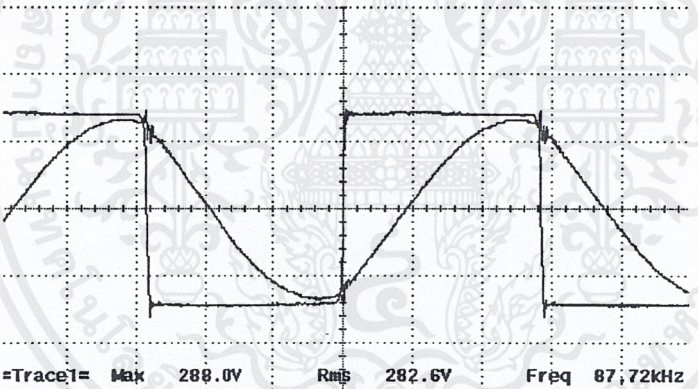
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่4.3

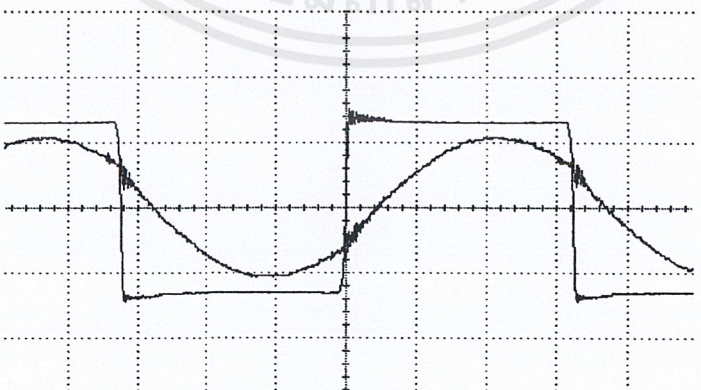
เมื่อทำการเปิดกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่แรงดัน 220 โวลต์ ซึ่งชุดเคลื่อนย้ายชิ้นงานจะยกชิ้นงานรออยู่แล้วตามกระบวนการที่ออกแบบไว้ โดยชิ้นงานจะถูกในความร้อนที่ผิวที่ละอันจากทั้งหมด 5 ชิ้น ซึ่งกระแสของระบบก็จะเพิ่มขึ้นทีละน้อย ตามการควบคุมการปรับความถี่อัตโนมัติ ซึ่งลักษณะตามรูปเป็นลักษณะการเพิ่มกระแส โดยระบบจะลดความถี่ลงอัตโนมัติอย่างช้าๆจนถึงจุดใกล้การเกิดรีโซแนนท์มากที่สุด โดยความถี่รีโซแนนท์เกิดที่ 78 KHz (f_o)



กระแส 5 A f_s ที่ 86 KHz



กระแส 9 A f_s ที่ 87 KHz

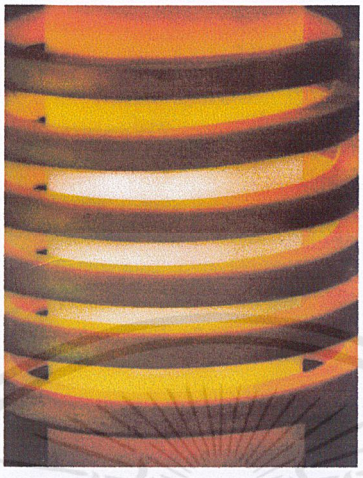


กระแส 11 A f_s ที่ 80 KHz

รูปที่4.6 การลดความถี่เข้าใกล้จุดรีโซแนนท์

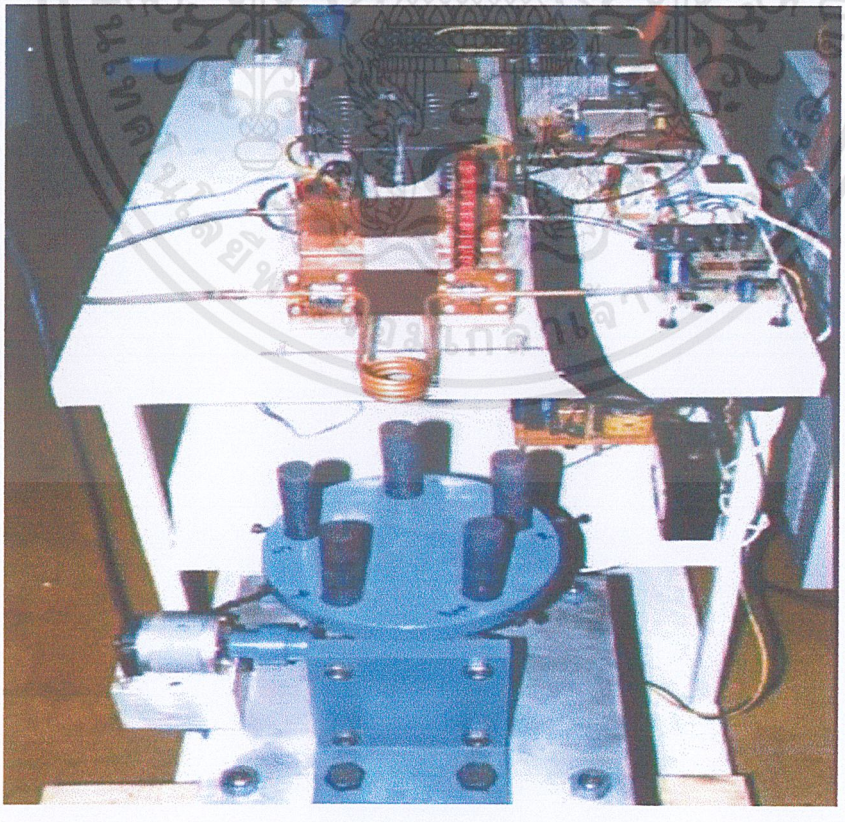
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อถึงจุดคูรีย์หรือที่เรียกว่าสภาวะชิ้นงานร้อนแดง ที่พิกัดแรงดัน 220 โวลต์ กระแส 10 แอมป์ ที่ความถี่ 78 กิโลเฮริทซ์ ซึ่งจุดรีโซแนนท์มากสุดในเวลาประมาณ 2 นาที หรือน้อยกว่า 2 นาที



รูปที่ 4.7 ชิ้นงานร้อนแดง

จากนั้นระบบก็จะทำการปิดเพาวเวอร์ โดยก็จะดึงชิ้นงานออกไปอย่างอัตโนมัติ พร้อมกับนำชิ้นงานใหม่เข้ามาแทนที่ต่อไป ซึ่งจะเป็นระบบต่อเนื่องเรื่อยๆ จนเหล็กครบ 5 แท่ง ซึ่งทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น และความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญที่สุด



รูปที่ 4.8 เครื่องชุบแข็งผิวโลหะอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงแบบเปลี่ยนชิ้นงานได้อัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องที่พัฒนาให้มีการเปลี่ยนชิ้นงานได้อัตโนมัติ โดยเครื่องให้ความร้อนนี้ต่างจากเครื่องให้ความร้อนทั่วไปตรงที่ใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทมอสเฟตกำลังสามารถควบคุมลักษณะการให้ความร้อนได้เฉพาะตามต้องการ และไม่เกิดมลภาวะ โดยในการออกแบบอินเวอร์เตอร์ เราจะมุ่งเน้นให้ทำงานที่ความถี่สูง เพื่อให้ความร้อนเฉพาะที่บริเวณผิว เพื่อประโยชน์ในหารชุบแข็งผิวเหล็ก นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงพิกัดกระแสและแรงดัน ของอุปกรณ์สวิทซ์ที่อินเวอร์เตอร์ด้วย

เครื่องให้ความร้อนที่สร้างขึ้นเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดในการทดลองใช้เหล็กผสมคาร์บอนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 มม. มีพิกัดกำลังทางด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ 3 กิโลวัตต์ และจากพิกัดของอุปกรณ์ต่างๆในระบบความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 70-110 กิโลเฮิรทซ์

การควบคุมอินเวอร์เตอร์ใช้วิธีปรับความถี่ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ได้ และสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้

การทดลองต่างๆพอสรุปได้ว่าที่สภาวะไร้โหลด (ไม่มีแท่งเหล็ก) กระแสจะเพิ่มขึ้นหลายเท่า อุณหภูมิของชิ้นงานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแท่งแม่เหล็ก คือเมื่อชิ้นงานได้รับความร้อน ค่าความต้านทานสมมูลย์ของขดลวดให้ความร้อนและชิ้นงานมีขนาดสูงขึ้นและมุมประกอบกำลังระหว่างแรงดันและกระแสมากขึ้น ผลที่ได้จากการปฏิบัติคือค่ากระแสลดลงจนเมื่อชิ้นงานได้รับความร้อนถึงจุดคูรี ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กของชิ้นงานจะลดลง เป็นค่าความซึมซาบของสุญญากาศ มีผลทำให้ความต้านทานสมมูลย์ของขดลวดให้ความร้อนและชิ้นงานมีค่าลดลง ทำให้กระแสเพิ่มขึ้นหลายเท่าคล้ายกับสภาวะไร้โหลด

จากข้อสรุปที่ผ่านมากระแสที่เพิ่มขึ้นเมื่อชิ้นงานร้อนจนถึงจุดคูรีจะเป็นอันตรายต่อมอส-เฟตดังนั้นจึงต้องมีส่วนป้องกันกระแสเกิน เราใช้การป้อนกลับกระแส feed back PI Control เมื่อกระแสเกินพิกัดที่ตั้งไว้ โดยใช้หม้อแปลงกระแส (CT)จับสัญญาณกระแสที่ขาออกของอินเวอร์-เตอร์ คือเมื่อกระแสเกินก็จะควบคุมกระแสให้คงที่ตลอดเวลาตามที่ตั้งไว้

โดยส่วนที่สำคัญที่สุดของระบบเห็นจะเป็นชุดเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ทำงานได้อย่างมีประ-สิทธิภาพมาก จากการทดลองที่ปฏิบัติมา เมื่อชิ้นงานที่ถูกทำให้ความร้อนที่ผิวมีลักษณะร้อนแดงจนถึงจุดที่เราตั้งไว้ จากการทดลองของชิ้นงานแต่ละอันที่พิกัดแรงดันคงที่ 220 โวลต์ ที่ความถี่สูงประมาณช่วง 70 – 110 กิโลเฮิรทซ์ กระแสที่ชิ้นงานประมาณ 300 แอมป์ ไหลวนอยู่ในชิ้นงานแต่ละชิ้นงาน จะได้เวลาที่ใกล้เคียงกันมาก ประมาณ 2 นาที จึงนำระยะเวลานี้มาหยุดการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ พร้อมด้วยกันนั้นก็จะเคลื่อนย้ายชิ้นงานโดยอัตโนมัติ โดยโปรแกรมที่ตั้งไว้จากชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F84 ของตระกูลไมโครชิพ ซึ่งสามารถให้การปฏิบัติเป็นไปอย่างแม่นยำ 100 % ทุกสภาวะของการทำงาน ระบบก็จะมีศักยภาพมากขึ้นได้อย่างมาก

ข้อเสนอในการปรับปรุง

1. เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นมานี้มีพิกัดกำลังขาออกของอินเวอร์เตอร์ 3 กิโลวัตต์โดยใช้มอสเฟตเป็นสวิทซ์มอสเฟตที่ใช้เบอร์IRFP460ที่มีพิกัดกระแสและแรงดัน20 แอมป์ 500โวลท์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนอยู่ในรูปของความร้อนที่ชิ้นงานได้รับจาก กำลังขาออกของอินเวอร์เตอร์ นั้นจะมีการสูญเสียที่เกิดขึ้น ดังนั้นกำลังที่ชิ้นงานได้รับจะน้อยกว่า 3 กิโลวัตต์ ซึ่งทำให้เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนนานดังนั้นการเพิ่มพิกัดขาออก ของอินเวอร์เตอร์ไปสู่โหลด โดยมีแนวทางในการเพิ่มพิกัดขาออกอินเวอร์เตอร์ดังนี้

- ศึกษาการนำอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชิ้นอื่นเช่น ทรานซิสเตอร์กำลังมาใช้ ในวงจรอินเวอร์-เตอร์ โดยอาจสร้างเครื่องที่สามารถทำงานในช่วงความพี่ต่ำลงแต่เพิ่มขนาดกำลังให้สูงขึ้น หรือการใช้ IGBT แทนเพราะอุปกรณ์ประเภทนี้จะมีพิกัดความสามารถในการใช้งานที่ความถี่สูง จะต่ำกว่าเล็กน้อย

- ทำการขนานมอสเฟตเพื่อเพิ่มพิกัดกำลังของมอสเฟตหรือขนานอินเวอร์เตอร์ 2 ชุด เพื่อช่วย จ่ายกระแสให้สูงขึ้น

2. จากการทดลองเมื่อชิ้นงานเริ่มร้อนกระแสจะเริ่มลดลง มุมระหว่างแรงดันและกระแสจะเริ่มลดลง มุมระหว่างแรงดันและกระแสเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าลดลง เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นนี้ การทำงานเป็นแบบ Open Loop คือการควบคุมกำลังไฟฟ้าเป็นการควบคุมแรงดันและกระแสโดยการควบคุมการเลื่อนความถี่ที่สวิทซ์ โดยใช้การปรับค่าความต้านทานที่ชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์ และการควบคุมความถี่ก็ใช้การปรับค่าความต้านทานเช่นเดียวกัน ทำให้ขาดเสถียรภาพและอันตรายในกรณีที่ ทำงานที่กำลังไฟฟ้าสูงๆ และอาจทำให้การควบคุมกำลังเกิดการผิดพลาด ดังนั้นจึงมีการควบคุม แบบ Closed Loop โดยมีแนวทางดังนี้

- ทำการตรวจจับปริมาณแรงดันและกระแสที่กำลังขาออกของอินเวอร์เตอร์ นำไปควบคุมการเลื่อนเฟสเพื่อรักษากำลังไฟฟ้าให้คงที่

- ทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสเพื่อไปควบคุมความถี่ให้อยู่จุดที่ต้องการ

ประโยชน์ที่ได้รับ

- เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นนี้ สามารถนำไปชุบแข็งผิวชิ้นงานที่มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 30 มม. ได้
- หลักการที่ได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำลักษณะอื่นๆเช่นเตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำ , เตาต้มอาหาร โดยการเหนี่ยวนำ หรือเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงความถี่สูงเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] John Davies & Peter Simpson , **"Induction Heating Handbook"** ,McGraw-Hill , New York , 1979

[2] GEORGE C. CHRYSIS , **"High Frequency switching Power Supply Theory And Design"** second edition McGraw-Hill ,New York 1990

[3] Rashid,Muhammad H. , **"Power Electronics Circuit, Device, and Applications."** Prentice Hall : New Jersey, 1993

[4] Frank D. Petruzella , **"Industrial Electronics"** McGraw-Hill ,New York , 1998

[5] สุวัฒน์ ดั่น , **"เทคนิคและการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย"**, บริษัท เอนเทลไทย จำกัด , 2537

[6] กฤษดา ใจเย็น ,ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, **"เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84"** , บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด , 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARRIS SEMICONDUCTOR

IRFP460, IRFP462

20A and 17A, 500V, 0.27 and 0.35 Ohm, N-Channel Power MOSFETs

January 1998

Features

- 20A and 17A, 500V
- $r_{DS(ON)}$ = 0.27Ω and 0.35Ω
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Description

These are N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistors. They are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

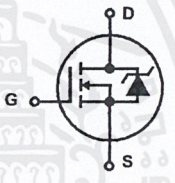
Formerly developmental type TA17465.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRFP460	TO-247	IRFP460
IRFP462	TO-247	IRFP462

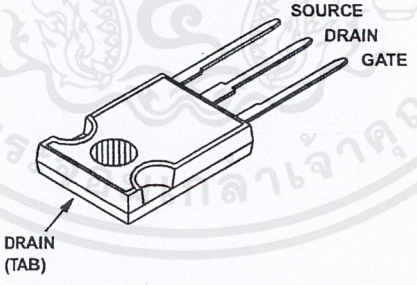
NOTE: When ordering, use the entire part number.

Symbol



Packaging

JEDEC STYLE TO-247



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper ESD Handling Procedures.

Copyright © Harris Corporation 1997

File Number **2291.2**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

		IRFP460	IRFP462	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	500	500	V
Drain to Gate Voltage (R_{GS} = 20kΩ) (Note 1)	V_{DGR}	500	500	V
Continuous Drain Current	I_D	20	17	A
$T_C = 100^oC$	I_D	12	11	A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	80	68	A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	±20	±20	V
Maximum Power Dissipation	P_D	250	250	W
Linear Derating Factor		2.0	2.0	W/^{o}C
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	960	960	mJ
Operating and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-55 to 150	-55 to 150	^{o}C
Maximum Temperature for Soldering				
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300	300	^{o}C
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260	260	^{o}C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

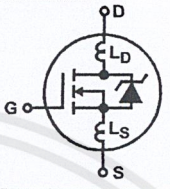
1. $T_J = 25^oC$ to $T_J = 125^oC$.

Electrical Specifications $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

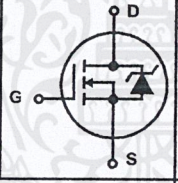
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	I_D = 250μA, V_{GS} = 0V, (Figure 10)				
IRFP460			500	-	-	V
IRFP462			500	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, I_D = 250μA	2	-	4	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	V_{DS} = Rated BV_{DSS}, V_{GS} = 0V	-	-	25	μA
		V_{DS} = 0.8 x Rated BV_{DSS}, V_{GS} = 0V $T_J = 125^o$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$, V_{GS} = 10V				
IRFP460			20	-	-	A
IRFP462			17	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	V_{GS} = ±20V	-	-	±100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	I_D = 11A, V_{GS} = 10V, (Figures 8, 9)				
IRFP460			-	0.24	0.27	Ω
IRFP462			-	0.27	0.35	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} \geq 50V$, $I_{DS} > 11A$, (Figure 12)	13	19	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	V_{DD} = 250V, I_D = 21A, R_{GS} = 4.3Ω, R_D = 12Ω, V_{GS} = 10V, (Figures 17, 18) MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	23	35	ns
Rise Time	t_r		-	81	120	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	85	130	ns
Fall Time	t_f		-	65	98	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate-Drain)	$Q_{g(TOT)}$	V_{GS} = 10V, I_D = 21A, V_{DS} = 0.8 x Rated BV_{DSS}, $I_{G(REF)}$ = 1.5mA, (Figures 14, 19, 20) Gate Charge is Essentially Independent of OperatingTemperature	-	120	190	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}		-	18	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	62	-	nC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified **(Continued)**

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Capacitance	C_{ISS}	V_{DS} = 25V, V_{GS} = 0V, f = 1MHz, (Figure 10)		-	4100	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}			-	480	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}			-	84	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured from the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to Center of Die	Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Device Inductances 	-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured from the Source Lead, 6mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad		-	13	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$			-	-	0.50	$^oC/W$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation		-	-	30	$^oC/W$

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Rectifier		-	-	20	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}			-	-	80	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^oC$, I_{SD} = 21A, V_{GS} = 0V, (Figure 13)		-	-	1.8	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^oC$, I_{SD} = 21A, dI_{SD}/dt = 100A/µs		280	580	1200	ns
Reverse Recovery Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^oC$, I_{SD} = 21A, dI_{SD}/dt = 100A/µs		3.8	8.1	18	µC

NOTES:

2. Pulse test: pulse width ≤ 300µs, duty cycle ≤ 2%.
3. Repetitive rating: pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. V_{DD} = 50V, starting $T_J = 25^oC$, L = 4.3mH, R_{GS} = 25Ω, Peak I_{AS} = 20A (Figures 15, 16).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

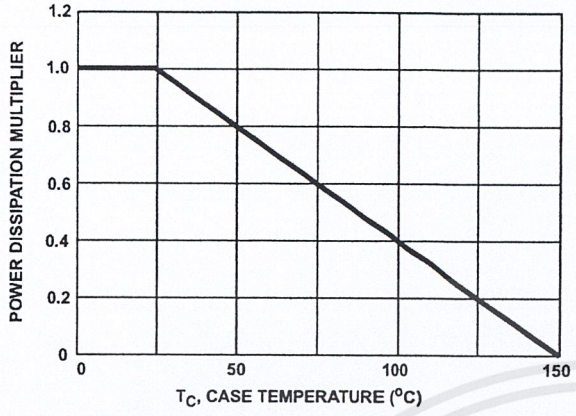


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

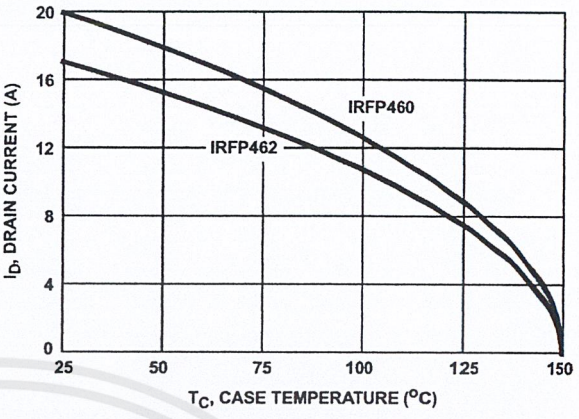


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

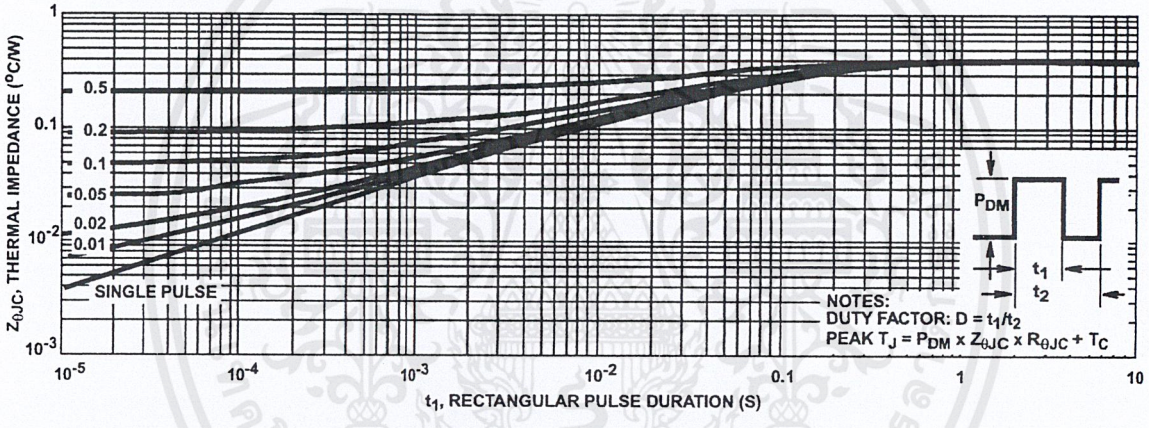


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

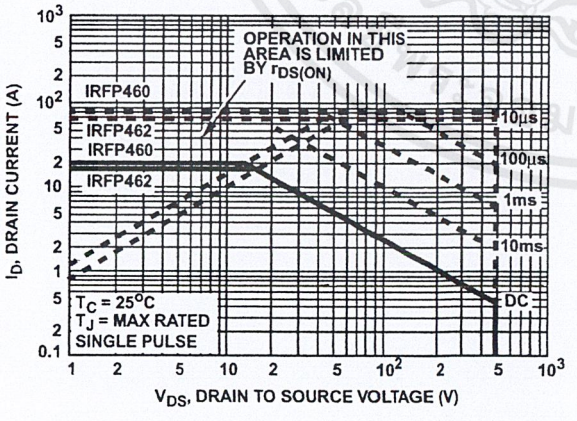


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

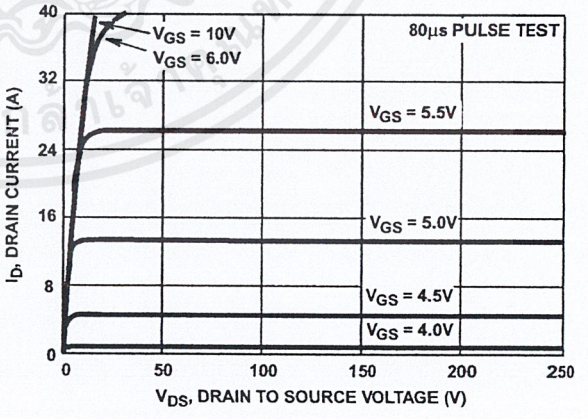


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

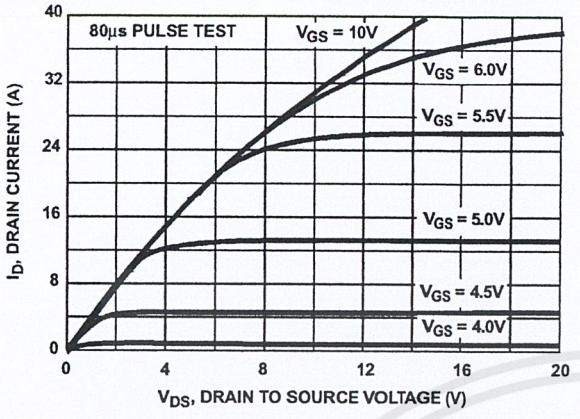


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

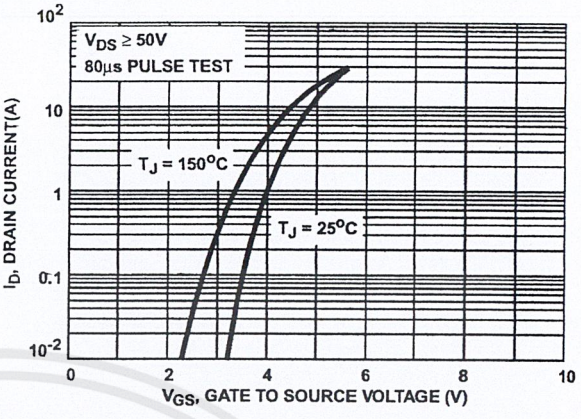


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

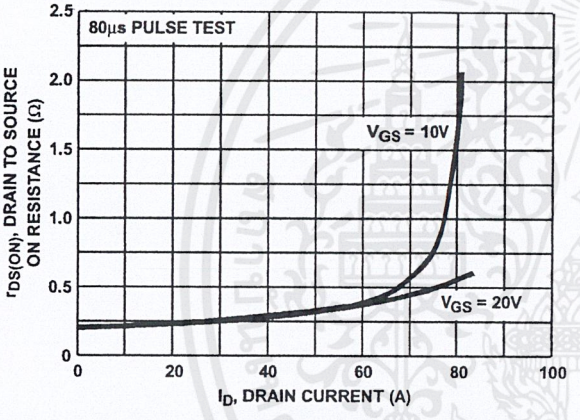


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

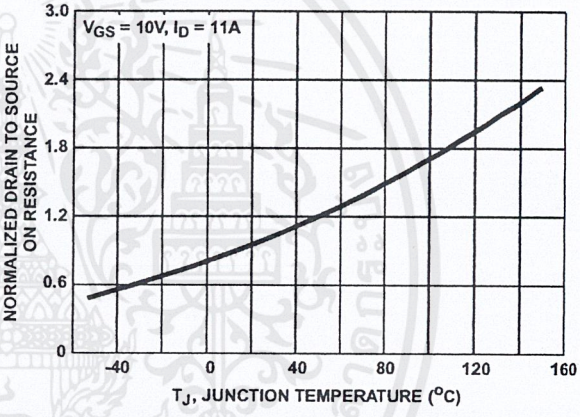


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

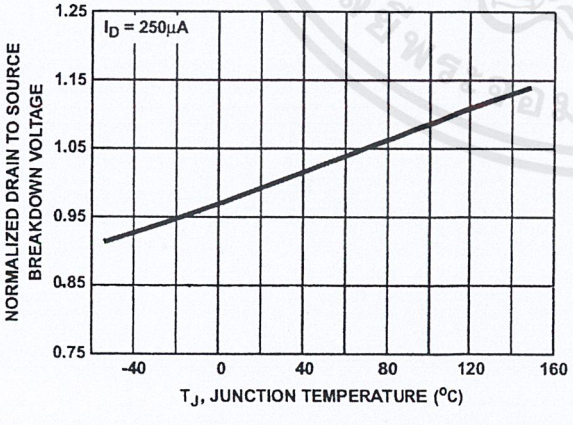


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

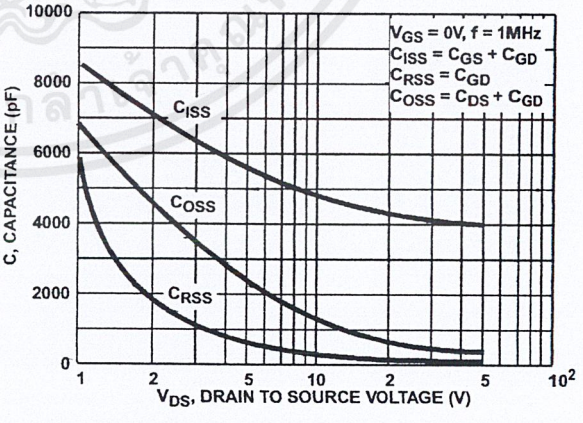


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

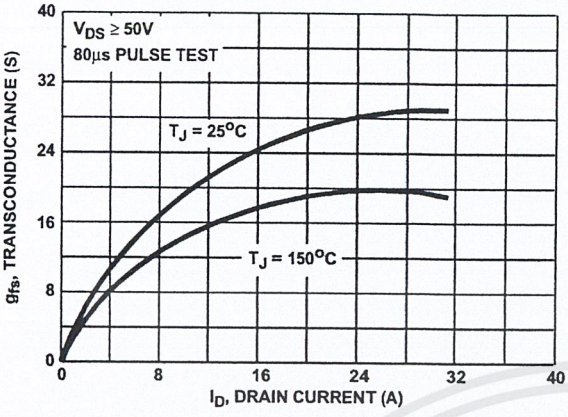


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

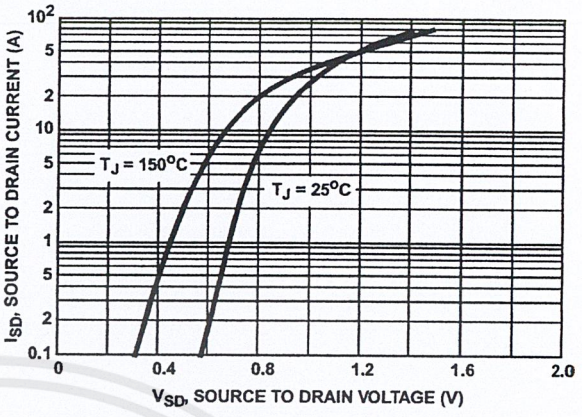


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

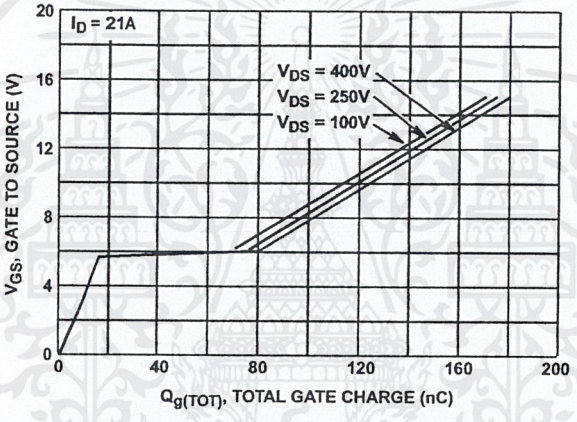


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Circuits and Waveforms

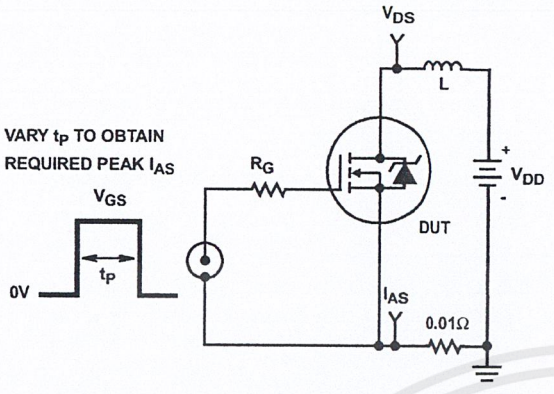


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

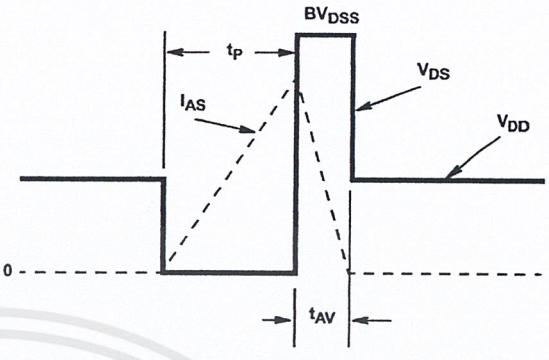


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

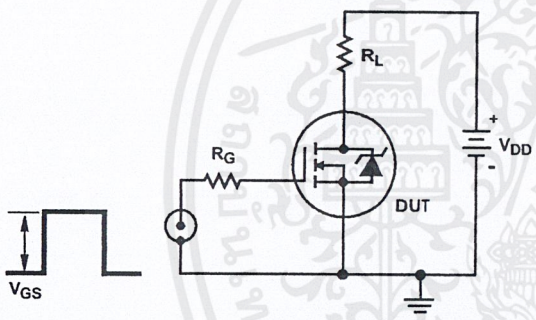


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

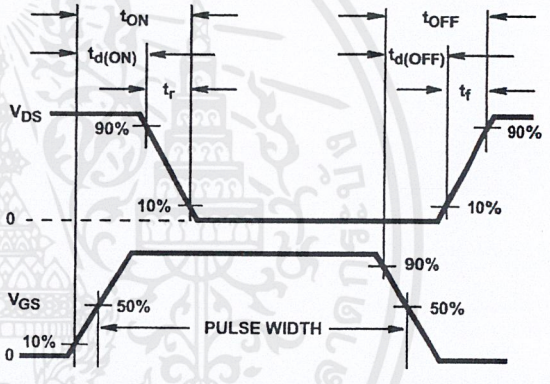


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

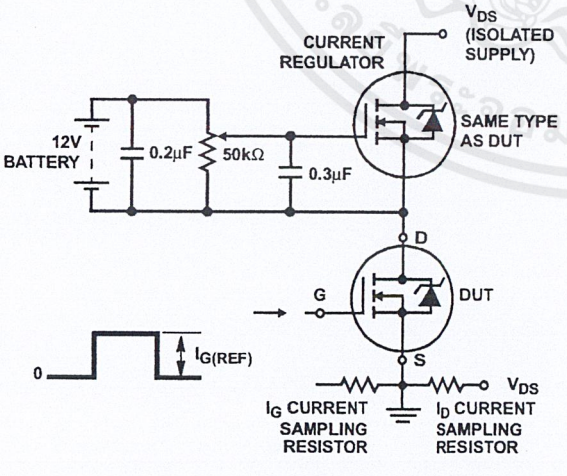


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

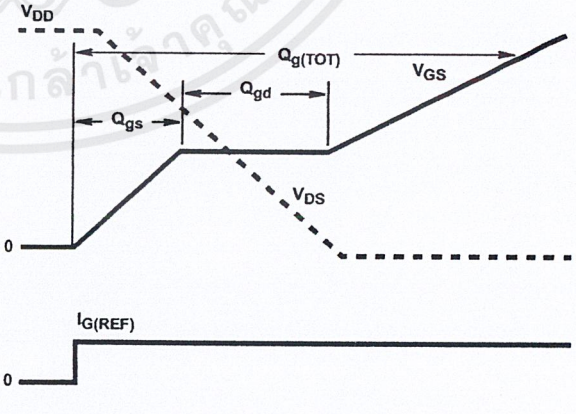


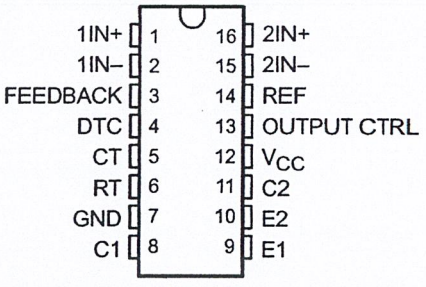
FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SLVS074C – JANUARY 1983 – REVISED DECEMBER 2001

- **Complete PWM Power Control Circuitry**
- **Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current**
- **Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation**
- **Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output**
- **Variable Dead Time Provides Control Over Total Range**
- **Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance**
- **Circuit Architecture Allows Easy Synchronization**

D, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from –0.3 V to V_{CC} – 2 V. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C. The TL494I is characterized for operation from –40°C to 85°C.

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
V_I = GND	Single-ended or parallel output
V_I = V_{ref}	Normal push-pull operation

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2001, Texas Instruments Incorporated

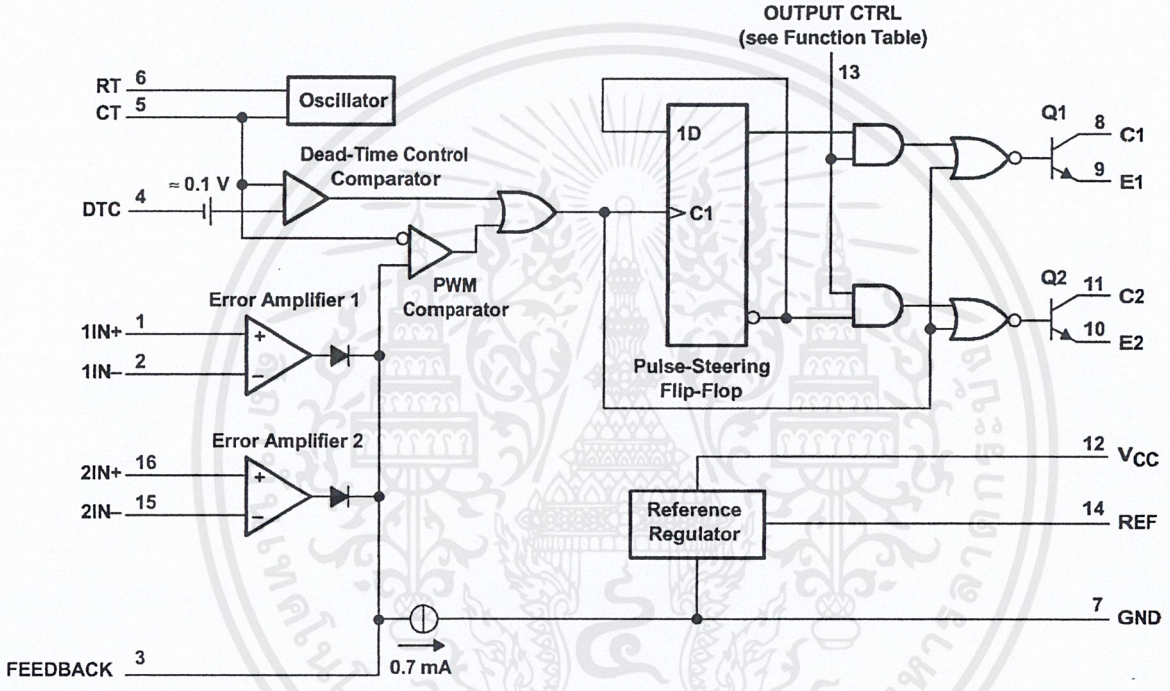
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AVAILABLE OPTIONS

T_A	PACKAGED DEVICES			
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (PW)
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CPW
–40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—

The D, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR).

functional block diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1) . . . . . 41 V
Amplifier input voltage, V_I . . . . . V_{CC} + 0.3 V
Collector output voltage, V_O . . . . . 41 V
Collector output current, I_O . . . . . 250 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2 and 3): D package . . . . . 73°C/W
N package . . . . . 67°C/W
NS package . . . . . 64°C/W
PW package . . . . . 108°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds . . . . . 260°C
Storage temperature range, T_{stg} . . . . . –65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltage values are with respect to the network ground terminal.
2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) – T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can impact reliability.
3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

			MIN	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage		7	40	V
V_I	Amplifier input voltage		–0.3	V_{CC}–2	V
V_O	Collector output voltage			40	V
	Collector output current (each transistor)			200	mA
	Current into feedback terminal			0.3	mA
f_{osc}	Oscillator frequency		1	300	kHz
C_T	Timing capacitor		0.47	10000	nF
R_T	Timing resistor		1.8	500	kΩ
T_A	Operating free-air temperature	TL494C	0	70	°C
		TL494I	–40	85	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, V_{CC} = 15 V, f = 10 kHz (unless otherwise noted)

reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Output voltage (REF)	I_O = 1 mA	4.75	5	5.25	V
Input regulation	V_{CC} = 7 V to 40 V		2	25	mV
Output regulation	I_O = 1 mA to 10 mA		1	15	mV
Output voltage change with temperature	ΔT_A = MIN to MAX		2	10	mV/V
Short-circuit output current§	REF = 0 V		25		mA

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at T_A = 25°C.
§ Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, C_T = 0.01 µF, R_T = 12 kΩ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	TL494, TL494I			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency¶	All values of V_{CC}, CT, RT, and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	V_{CC} = 7 V to 40 V, T_A = 25°C		1		Hz/kHz
Frequency change with temperature#	ΔT_A = MIN to MAX			10	Hz/kHz

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at T_A = 25°C.
¶ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} (x_n - \overline{X})^2}{N - 1}}$$

Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor are not taken into account.

error-amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS		TL494, TL494I			UNIT
			MIN	TYP‡	MAX	
Input offset voltage	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V			2	10	mV
Input offset current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V			25	250	nA
Input bias current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V			0.2	1	µA
Common-mode input voltage range	V_{CC} = 7 V to 40 V		–0.3 to V_{CC}–2			V
Open-loop voltage amplification	ΔV_O = 3 V, R_L = 2 kΩ,	V_O = 0.5 V to 3.5 V	70	95		dB
Unity-gain bandwidth	V_O = 0.5 V to 3.5 V,	R_L = 2 kΩ		800		kHz
Common-mode rejection ratio	ΔV_O = 40 V, T_A = 25°C		65	80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	V_{ID} = –15 mV to –5 V,	V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA
Output source current (FEEDBACK)	V_{ID} = 15 mV to 5 V,	V (FEEDBACK) = 3.5 V	–2			mA

‡ All typical values, except for parameter changes with temperature, are at T_A = 25°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

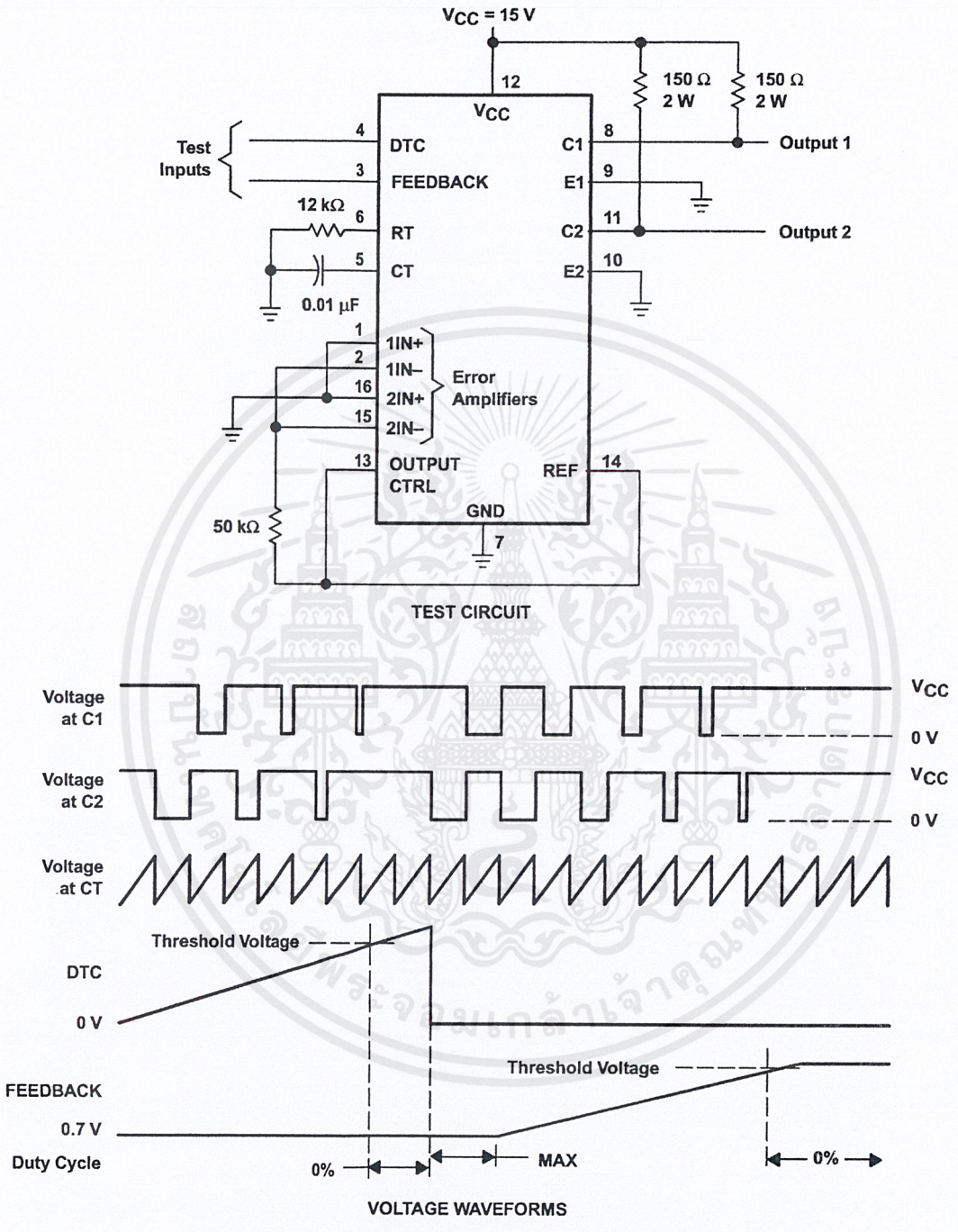


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

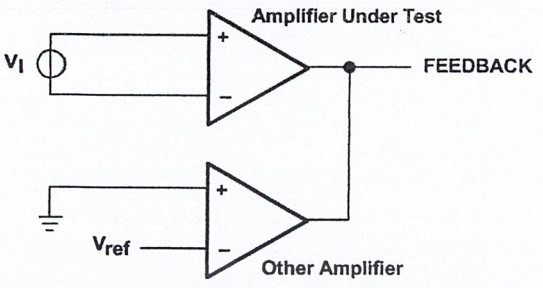
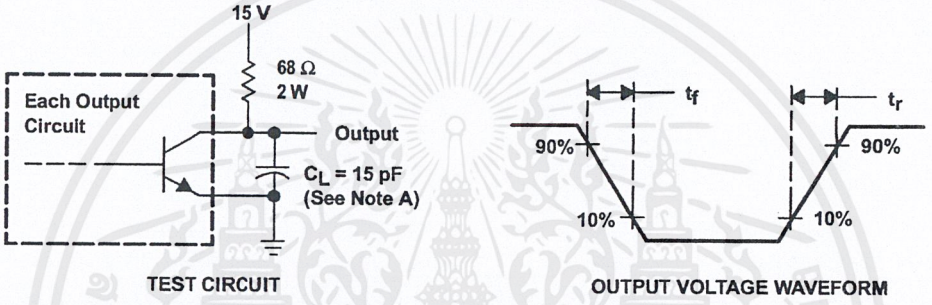
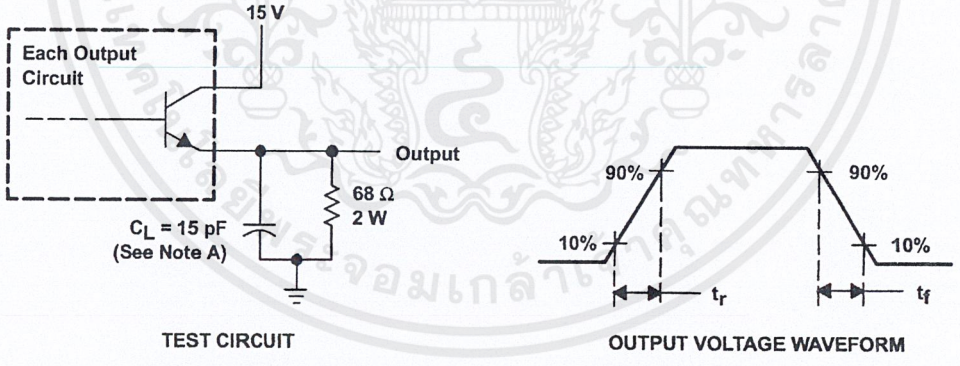


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 3. Common-Emitter Configuration

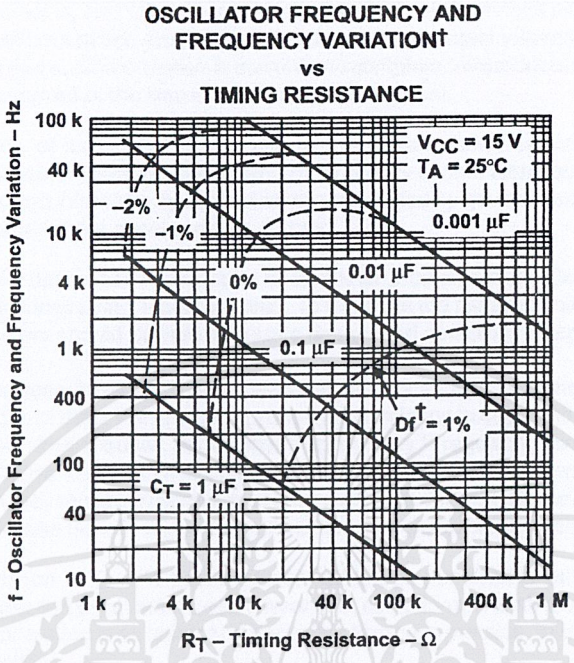


NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Emitter-Follower Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS



† Frequency variation (Δf) is the change in oscillator frequency that occurs over the full temperature range.

Figure 5

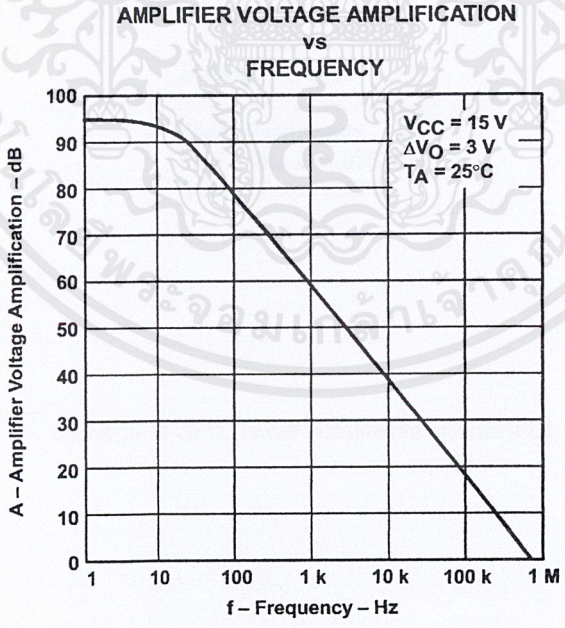


Figure 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้