

ปริญญานิพนธ์

เครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

ELECTROPLATE MACHINE



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

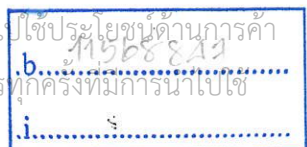
ร.พ.
ท. ๑๗๑ ค
๑๕/๗

ปีการศึกษา 2547

เลขหมู่.....เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เลขทะเบียน.....58455..... ไม่สามารถทำซ้ำได้ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน,เดือน,ปี.....- 5 ส.ย. 254๗





ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ เครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
 Electroplate

ชื่อนักศึกษา 1. นายกฤษฎา สกกุลวิโรจน์ รหัสประจำตัว 46035420
 2. นายศีกดาฐ เจนอักษรกุล รหัสประจำตัว 46035446
 3. นายชนารัตน์ พูลสี รหัสประจำตัว 46035725
 4. นายภูษงค์ บุญหลง รหัสประจำตัว 46035728

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
 อาจารย์ที่ปรึกษา อ.วรวิทย์ สมหา
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.อมรชัย ชัยชนะ

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อ.พรพิมล ฉายรัมย์	
2. อ.สุชิน อาจหาญ	
3. อ.ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	
4. อ.ปิยะ ศุภวาราสุวัฒน์	
5. อ.วรวิทย์ สมหา	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 เวลา 11.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ ราชตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....



<BT4730142>

เครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

Electroplate Machine

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการการสวิตซ์ซึ่งของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
2. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่ใช้ในการชุบโลหะชนิดต่างๆ

3. เพื่อสร้างเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการของการสวิตซ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการการสวิตซ์ซึ่งที่ใช้ในเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
2. มีความเข้าใจในการทำงานของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้าและขั้นตอนของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
3. สามารถสร้างเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการของการสวิตซ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
นักศึกษา	นายกฤษฎา สกุลวิโรจน์
	นายศีกดาฐ เจนอักษรกุล
	นายธนารัตน์ พูลสี
	นายภูซงค์ บุญหลง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์รวิทย์ สมหา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2547

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้ เป็นการสร้างเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการสวิตซ์ด้วย วงจรแปลงผันแบบฟูล-บริดจ์ โดยใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตซ์และประกอบด้วยวงจรพัลส์วิดมอดูเลชันในลักษณะของการเลือนเฟส ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมและส่งไปที่ชุดขับนำเกตของมอสเฟตกำลัง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าวงจร พัลส์วิดมอดูเลชันแบบทั่วๆ ไป เนื่องจากเกิดกำลังงานสูญเสียจากการสวิตซ์ต่ำและไม่จำเป็นต้องใช้วงจรสับเบอร์

โดยแบบจำลองการชุบโลหะด้วยไฟฟ้านี้ สามารถใช้งานในการชุบโลหะได้หลายชนิดโดยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาและตัวล่อที่จะนำมาชุบให้ติดกับชิ้นงาน

II

Thesis Title	Electroplate Machine	
Students	Mr. Kritsada	Sagulvirot
	Mr. Sakdawut	Janakarakun
	Mr. Tanarat	Pulsri
	Mr. Puchong	Boonlong
Advisor	Mr. woravit	Somha
Co-Advisor	Mr. Amornchai	Chaichana
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education	
Program in	Industrial Instrument Technology	
Academic Year	2004	

Abstract

This project describes a product of an electroplating model, based on a principle of a switch with full bridge converter circuits. A power MOSFET is applied as a switch with a phase shifted pulse width modulation (PWM) circuit. Its function is to generate and transfer a controlling signal to a gate drive power MOSFET. Therefore, this phase shifted PWM is more efficient than a general PWM because of low switching power losses.

This electroplating machine works for plating many metals which depend on the kind of electrolyte and anode that will take with metal.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการปริญญาานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีทั้งนี้เพราะได้รับคำแนะนำจาก อาจารย์วรวิทย์ สมหาและอาจารย์อมรชัย ชัยชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รวมถึงอาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทางคณะผู้จัด โครงการจึงใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ช่วย อำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้องและเพื่อนๆ สาขา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกคนที่ช่วยเหลือการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางคณะ ผู้จัดทำโครงการจึงขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องมา ณ. ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบุพการีเป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนในด้านการเงินตลอดจน กำลังใจและความหวังดีอื่นๆ ที่มีให้เสมอมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	IV
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	IVV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ชี้ความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	3
2.2.1 น้ำยาชุบโลหะ	3
2.2.2 กฎของฟาราเดย์	5
2.2.3 ประสิทธิภาพของขั้วลบและขั้วบวก	6
2.2.4 ค่าของ พีเอช	8
2.2.5 ความหนาแน่นของกระแส	9
2.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของชิ้นงานและกำลังการเคลือบผิว	10
2.3 การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนการชุบด้วยไฟฟ้า	11
2.3.1 การกำจัดไขมันด้วยไฮดรอกไซด์ไตรคลอโรเอททีลีน	11
2.3.2 การล้างด้วยน้ำด่างร้อน	13
2.3.3 การล้างด้วยไฟฟ้า	13
2.3.4 การทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก	15
2.3.5 การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มเงา	15
2.3.6 การเปรียบเทียบการทำความสะอาดชิ้นงาน	17
2.4 การชุบทองแดง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.1 การชูปทงแดงแบบต่าง	18
2.4.2 การชูปทงแดงแบบกรด (ทงแดงเง)	21
2.4.3 การบำรุงรักษาน้ำยา	23
2.4.4 การเตรียมผิวของชิ้นงานก่อนชูปทงแดงเง (แบบกรด)	24
2.4.5 ปัญหาในการชูป	25
2.5 หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส	28
2.6 หลักการของหม้อแปลง	28
2.6.1 อัตราส่วนของแรงเคลื่อนและกระแสไฟ	29
2.6.2 ทฤษฎีการทำงาน	31
2.6.3 หม้อแปลงตามความเป็นจริง	34
2.6.4 การแยกส่วนที่สูญเสียในแกนเหล็ก	34
2.6.5 การทดสอบการลัดวงจรของหม้อแปลง	35
2.6.6 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง	37
2.7 ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า	38
2.7.1 อีลเตอร์รีซีลูป	40
2.7.2 หม้อแปลงแบบการสวิตช์	43
2.7.3 ส่วนประกอบของหม้อแปลงแบบการสวิตช์	43
2.7.4 แกนเฟอร์ไรต์	43
2.7.5 ขอบบิ้น	44
2.7.6 ลวดทงแดงอาบน้ำยา	44
2.7.7 เทปฉนวน	44
2.7.8 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้	44
2.8 ทฤษฎีวงจรแปลงผันไฟตรง	49
2.8.1 การทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	50
2.8.2 การทำงานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	51
3.8.3 การทำงานของ พุช-พูล คอนเวอร์เตอร์	52
3.8.4 การทำงานของ ฮาต์-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.8.5 การทำงานของ ฟูล- บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์	53
2.9 เพาเวอร์มอสเฟต	54
2.9.1 คุณสมบัติของเพาเวอร์มอสเฟต	54
2.9.2 ข้อได้เปรียบจากการใช้เพาเวอร์มอสเฟต	54
2.9.3 คุณสมบัติการทำงานของมอสเฟตกำลัง	57
2.10 วงจรสับเบออร์	61
2.10.1 วงจร Turn- off สับเบออร์	61
2.10.2 ทรานซิสเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ	62
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	64
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	64
3.2 วงจรภาคกำลังความถี่ต่ำ	67
3.3 ภาคควบคุมและขับเคลื่อน	68
3.4 วงจรกำลังภาคความถี่สูง	69
3.5 การออกแบบเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	70
3.5.1 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรง	72
3.5.2 การออกแบบมอสเฟตกำลัง	72
3.6 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	73
3.7 การออกแบบเอาต์พุต ไซคลิก	75
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	76
4.1 การทดสอบทางไฟฟ้า	76
4.2 การใช้งานเครื่องแบบชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	81
4.3 วิธีคำนวณหาพื้นที่ผิวของชิ้นงานปริมาณกระแสไฟฟ้าและขนาดของ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	82
บทที่ 5 บทสรุป	88
5.1 สรุป	88
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	88
5.3 แนวทางการพัฒนา	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บรรณานุกรม	90
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	91
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	97
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	103
ภาคผนวก ง แผนผังการทำงาน	107
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	109
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	114
ประวัติผู้แต่ง	129



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หน้าที่ของส่วนผสมในน้ำยาชุบ	19
2.1 (ต่อ) หน้าที่ของส่วนผสมในน้ำยาชุบ	20
2.2 ส่วนผสมของน้ำยา	20
2.2 (ต่อ) ส่วนผสมของน้ำยา	21
2.3 ส่วนผสมของน้ำยาเงตามสูตรใช้น้ำยาเง Levco EX	25
2.4 ส่วนผสมน้ำยาชุบทองแดงเงตามสูตรที่ใช้น้ำยาเง UBAC	27
2.5 ตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EI และ ETD	45
4.1 อัตราการเคลือบในการชุบทองแดงแบบค้ำ ประสิทธิภาพของขั้วลบ 95%	86
4.2 ผลการทดลอง 10 ตัวอย่าง	86
4.2 (ต่อ) ผลการทดลอง 10 ตัวอย่าง	87

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการเบื้องต้นของการชูป โลหะด้วยไฟฟ้า	3
2.2 การแยกสลายของแอนไอออนและแคโทดไอออน	4
2.3 การแยกสลายของน้ำยาสารละลายของทองแดงซัลเฟต	5
2.4 คุณสมบัติการแยกสลายที่ไม่เหมือนกันของโลหะ จากกฎฟาราเดย์	6
2.5 ความสัมพันธ์ของการยึดเกาะผิวของนิเกิล	7
2.6 ค่าพีเอช	9
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของชิ้นงานและกำลังการเคลือบผิว	10
2.8 ภายในถัง ไตรคลอโรเอททีลิน	12
2.9 ตะกร้าสเตนเลส	12
2.10 การล้างด้วยไฟฟ้างานเป็นขั้วบวก	14
2.11 การล้างด้วยไฟฟ้างานเป็นขั้วลบ	14
2.12 เครื่องล้างชิ้นงานแบบอูลตราโซนิค	15
2.13 (ซ้าย) ชิ้นงานที่สะอาด (ขวา) ชิ้นงานที่ไม่สะอาด	17
2.14 ลักษณะการชูป โลหะด้วยทองแดงดำง	18
2.15 ลักษณะการชูป โลหะด้วยทองแดงกรด	21
2.16 หลักการเบื้องต้นของหม้อแปลง	29
2.17 การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับ Ideal Transformer เมื่อไม่มี load	32
2.18 Flux Wave ที่เปลี่ยนแปลงตามกำลังไฟที่เป็น Sine ภายในหม้อแปลง	33
2.19 การต่อวงจรของหม้อแปลงเข้ากับเครื่องวัดต่างๆ (A1, V1, W1)ของการทดสอบ ในขณะลัดวงจรของหม้อแปลง	35
2.20 วงจรสมมูลย์โดยประมาณของหม้อแปลงทั้งตัวเมื่อคิดทางด้าน L.V.	36
2.21 วงจรสมมูลย์โดยประมาณของหม้อแปลงทั้งตัวเมื่อคิดทางด้าน H.V.	37
2.22 รูปเวกเตอร์ของหม้อแปลงที่ได้จากการทดสอบ	37
2.23 ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแส I ไหลผ่านแกนอากาศ	38
2.24 สนามแม่เหล็กแข็งแรงขึ้นเมื่อใส่วัสดุแม่เหล็กลงในขดลวด	39
2.25 การสร้างวัสดุแม่เหล็กให้เป็นแกนตรงกับเส้นทางเดินของฟลักซ์ทำให้เกิด	

สนามแม่เหล็กขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 กราฟฮิสเตอร์ิซิสของแกนหม้อแปลง	40
2.27 ฮิสเตอร์ิซิสของแกนที่มีช่องว่างอากาศ	42
2.28 ช่วงที่เป็นเส้น และช่วงอิมิตัว	42
2.29 รูปหม้อแปลงความถี่สูงและการพันขดลวดทองแดง	43
2.30 เส้นโค้งฮิสเตอร์ิซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C6A	47
2.31 ลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์ิซิสซึ่งจะมีลักษณะสมมาตรของกราฟ ซีกบนและซีกล่าง ปกติผู้ผลิตจะให้กราฟซีกบนเท่านั้น	47
2.32 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	51
2.33 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	52
2.34 วงจร พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์	52
2.35 วงจร ฮาล์ฟ-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์	53
2.36 วงจรฟูล-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์	54
2.37 วงจรสมมูลย์ของเพาเวอร์มอสเฟต	56
2.38 ตัวเก็บประจุแผ่นภายในมอสเฟต	56
2.39 ค่าแรงดันพังทลายที่ตรงกับซอร์สต่ออุณหภูมิรอยต่อ	57
2.40 ค่าความต้านทานที่ตรงกับซอร์สต่ออุณหภูมิรอยต่อขณะนำกระแส	58
2.41 ลักษณะการนำกระแสและหยุดนำกระแส	58
2.42 ลักษณะกราฟ SOAR	59
2.43 ลักษณะการลดลงของกระแสและการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์ขณะเริ่มหยุดนำกระแส	61
2.44 การต่อวงจรสับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์	62
3.1 แผนผังการจัดทำเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	64
3.1 (ต่อ) แผนผังการจัดทำเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	65
3.1 (ต่อ) แผนผังการจัดทำเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	66
3.2 แผนผังการทำงานเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	67
3.3 วงจรกำลังความถี่ต่ำ (แหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลัง)	67
3.4 วงจรสร้างสัญญาณ พีคดับทิวเอ็มแบบเลื่อนเฟส	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 วงจรขับนำเกิดของมอเตอร์กำลังตัวที่ 1 และ 2	68
3.6 วงจรแปลงผันไฟตรงชนิดเต็มบริดจ์	69
3.7 ลักษณะของแกนเฟอร์ไรต์เบอร์ ETD49	75
4.1 จุดวัดสัญญาณ Ramp และ PWM	76
4.2 รูปคลื่นสัญญาณ Ramp	77
4.3 สัญญาณ PWM	77
4.4 จุดวัดสัญญาณขับเกิด	78
4.5 สัญญาณขับนำเกิด	78
4.6 จุดวัดสัญญาณแรงดันปฐมภูมิ	79
4.7 สัญญาณแรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิขณะทำการชูปชิ้นงาน	79
4.8 จุดวัดสัญญาณแรงดันทุติยภูมิ	80
4.9 สัญญาณแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิขณะทำการชูปชิ้นงาน	80
4.10 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตขณะยังไม่ทำการชูปชิ้นงาน	80
4.11 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตขณะชูป โลหะ	81
4.12 ขนาดของชิ้นงานในการคำนวณ	82
4.13 ขนาดของชิ้นงานจริงในการชูป	83
ก.1 ภาพถ่ายวงจรของเครื่องชูปโลหะด้วยไฟฟ้า	92
ก.2 ภาพถ่ายเครื่องชูปโลหะด้วยไฟฟ้า	92
ก.3 มุมมองต่างๆ ของ ชิ้นงาน	93
ก.4 น้ำยาชุบทองแดงต่างและตัวล่อ ก่อนทำการชูปโลหะ	93
ก.5 น้ำยาชุบทองแดงต่างและตัวล่อ ขณะทำการชูปโลหะ	94
ก.6 ชิ้นงานที่ทำการชูปทองแดงแล้ว	94
ก.7 ตัวล่อทองแดง	95
ก.8 น้ำยาชุบทองแดงต่าง	95
ก.8 น้ำยาดมล้างไขมัน	96
ข.1 วงจรสร้างสัญญาณ PWM	98
ข.2 วงจรขับเกิด	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.3 วงจรภาคกำลังของเครื่องชুবโลหะด้วยไฟฟ้า	99
ข.4 วงจรของเครื่องชুবโลหะด้วยไฟฟ้า	100
ข.5 ลายวงจรของเครื่องชুবโลหะด้วยไฟฟ้า	101
ข.6 การวางอุปกรณ์ของเครื่องชুবโลหะด้วยไฟฟ้า	102
ง.1 ผังงานเครื่องชুবโลหะด้วยไฟฟ้า	108
จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องชুবโลหะด้วยไฟฟ้า	111



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการชုပ်โลหะด้วยไฟฟ้าส่วนใหญ่มักจะกระทำกันในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เครื่องชုပ်โลหะด้วยไฟฟ้าส่วนมากจึงต้องมีขนาดใหญ่มากไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวกและอาจต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูงและยากแก่การบำรุงรักษา จึงมีแนวคิดที่จะสร้างและพัฒนาเครื่องชုပ်โลหะด้วยไฟฟ้าขนาดเล็กขึ้น โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่สามารถหาได้โดยทั่วไป โดยใช้หลักการของแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตซ์ซึ่ง สามารถใช้ในการชုပ်โลหะขนาดเล็กได้และยังมีต้นทุนในการผลิตที่ถูกกว่าเครื่องชုပ်โลหะขนาดใหญ่ ซึ่งจะสามารถกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ได้เช่น สามารถควบคุมปริมาณของกระแสที่ใช้ในการชုပ်โลหะได้ตามต้องการ โดยขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของชิ้นงานที่ต้องการนำมาชုပ်ติด เพื่อให้ได้ผลงาที่มีประสิทธิภาพดี

1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถ

1. เพื่อสร้างเครื่องชုပ်โลหะด้วยไฟฟ้าที่ใช้หลักการการสวิตซ์จำนวน 1 ชุด
2. ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์เพื่อสร้างเครื่องชုပ်โลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการของการสวิตซ์
3. สามารถปรับแรงดันและกระแสขณะชုပ်โลหะให้สอดคล้องกับขนาดของชิ้นงาน ลักษณะตัวต่อและน้ำยาชုပ်โลหะที่จะนำมาชုပ်ได้
4. สามารถชုပ်โลหะได้ที่ละ 1 ชิ้น

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานิพนธ์ ขีดความสามารถของโครงการ และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วย ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับโครงสร้างของเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้า หลักการเบื้องต้นของการชุปโลหะด้วยไฟฟ้า การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนการชุปด้วยไฟฟ้า การชุบทองแดง หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส หลักการของหม้อแปลง ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า ทฤษฎีวงจรแปลงผันไฟตรง เพาเวอร์มอสเฟต และวงจรสับเบอร์

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับ แผนผังการทำงานของโรงงาน ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโรงงาน ตลอดจนการออกแบบและการสร้างส่วนต่างๆ เช่น วงจรภาคกำลังความถี่ต่ำ ภาคควบคุมและขับเคลื่อน วงจรภาคกำลังความถี่สูง การออกแบบเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้า การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง การออกแบบเอาต์พุตโซลิด

บทที่ 4 ประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลองของวงจรภาคกำลังความถี่ต่ำ ภาคควบคุมและขับเคลื่อน วงจรภาคกำลังความถี่สูง วงจรเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้า วงจรการหม้อแปลงความถี่สูง และวงจรแบบเอาต์พุตโซลิด

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโรงงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไข รวมทั้งแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้ง การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ขณะใช้งานจริง

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยผังรายละเอียดวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในงานในแต่ละวงจร

ภาคผนวก ง แสดงแผนผังการทำงานทั้งหมดเพื่อประกอบการทำงานของโรงงาน

ภาคผนวก จ เป็นคู่มือการใช้เครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้า

ภาคผนวก ฉ แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

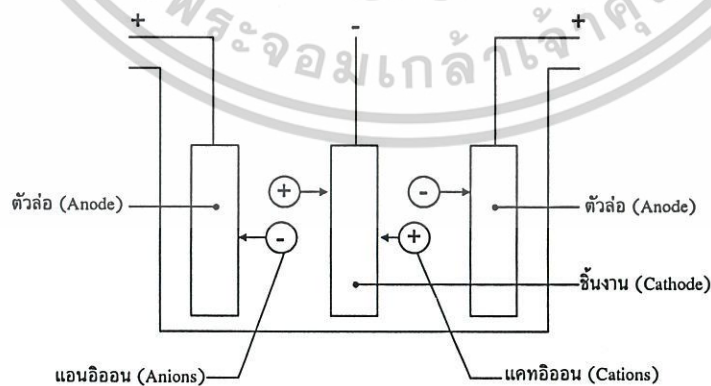
2.1 กล่าวนำ

สิ่งที่นำมาพิจารณาและศึกษาในส่วนต่างๆ เพื่อมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการสร้างในการสร้างเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้าจะต้องใช้ความรู้ในสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
2. การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนการชุบด้วยไฟฟ้า
3. การชุบทองแดง
4. หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส (Single Phase Transformer)
5. หลักการของหม้อแปลง (Transformer's Principle)
6. ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า
7. ทฤษฎีวงจรแปลงผันไฟตรง (Converter)
8. เพาเวอร์มอสเฟต (Power Mosfets)
9. วงจรสับเบอร์

2.2 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

2.2.1 น้ำยาชุบโลหะ (Electrolytes)



รูปที่ 2.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

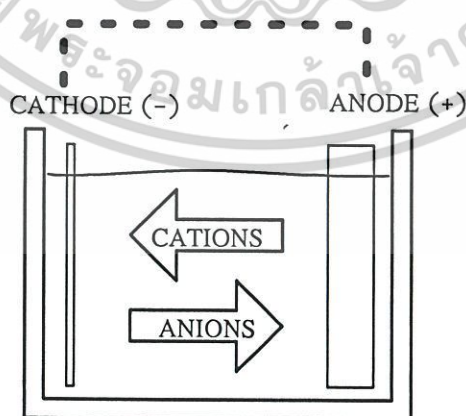
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ ได้พบว่าตัวนำไฟฟ้าแบ่งได้เป็นสองชนิด คือ

1) ชนิดที่หนึ่ง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นแต่เพียงสะพานเพื่อให้ไฟฟ้าผ่านได้เท่านั้น เช่น โลหะต่าง ๆ

2) ชนิดที่สอง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวของมัน เช่น น้ำเจือกรดและสารละลายของเกลือต่าง ๆ เป็นต้น ตัวนำไฟฟ้าพวกหลังนี้ในทางวิทยาศาสตร์ ใช้ชื่อว่า อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) ไมเคิลฟาราเดย์ นักวิทยาศาสตร์คนสำคัญของโลกได้ตั้งชื่อนี้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1832-1833 ตัวนำไฟฟ้า พวกที่สองนี้เองที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยตรง

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้แผ่นปลาทินัมเป็น ขั้วอิเล็กโทรด อนุภาคเล็กๆ พวกหนึ่งของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปยังแอโนด (Anode) หรือขั้วบวก อนุภาคเล็กๆ อีกพวกหนึ่งของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปยังแคโทด (Cathode) หรือขั้วลบ อนุภาคเล็กๆ ของอิเล็กโทรไลต์ที่วิ่งไปยังขั้วบวกหรือขั้วลบดังกล่าวแล้วนั้นเรียกว่า อีออน (Ions) แต่ละอีออนจะมีประจุไฟฟ้าประจำตัวทุกตัว อีออนที่วิ่งไปยังขั้วบวกเรียกว่า แอนไอออน (Anions) จะมีประจุไฟฟ้าลบ (-) ประจำตัว อีออนที่วิ่งไปยังขั้วลบเรียกว่า แคทไอออน (Cations) จะมีประจุไฟฟ้าบวก (+) ประจำตัวขณะที่เกิดการแยกสลายดังกล่าวในสารละลายนั้น เราจะมองไม่เห็นปฏิกิริยาใดๆ เกิดขึ้นในสารละลายนั้นเลย แต่จะเป็นปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ขั้วลบ หรือขั้วบวก ตัวอย่างเช่นใน สารละลายของอิเล็กโทรไลต์บางชนิด ที่ใช้แผ่นปลาทินัมเป็นขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อต่อแผ่นขั้ว ทั้งสองเข้ากับแบตเตอรี่ให้ครบวงจร จะปรากฏว่ามีฟองแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้นที่ขั้วบวก และมีฟองแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ เป็นต้น



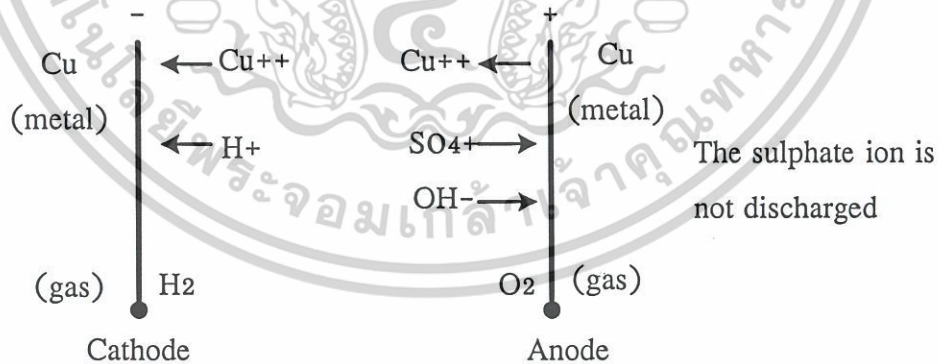
รูปที่ 2.2 การแยกสลายของแอนไอออนและแคทไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดสงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ตัวอย่างการแยกสลายของน้ำยาสารละลายของทองแดงซัลเฟต

เมื่อเอาสารละลายของทองแดงซัลเฟตมาทำการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ใช้แผ่นปลาคินัมเป็นขั้วลบโดยต่อเข้ากับขั้วลบ ของแบตเตอรี่ใช้แผ่นทองแดงบริสุทธิ์เป็นขั้วบวก โดยต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้ :- $CuSO_4 \rightarrow Cu^{++} + SO_4^{--}$

ทองแดงซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำยาจะแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็กๆ 2 ส่วนคือ อนุภาคทองแดง (Cu^{++}) มีประจุไฟฟ้าบวก (+) ประจำตัวและซัลเฟต (SO_4^{--}) มีประจุไฟฟ้าลบ (-) ประจำตัว เมื่อต่อกระแสไฟฟ้าให้ครบวงจร อนุภาคเล็ก ๆ ทองแดงจะวิ่งไปหาปลาคินัม (ขั้วลบ) เกาะติดเป็นผงสีแดงอยู่บนแผ่นปลาคินัม ส่วนอนุภาคเล็กๆ ซัลเฟตจะวิ่งไปหาแผ่นทองแดง (ขั้วบวก) ทำปฏิกิริยากับทองแดง เป็นเหตุให้ทองแดงละลายเป็นทองแดงซัลเฟตแทนที่ทองแดงซัลเฟตตัวก่อนที่หมดไป ทองแดงซัลเฟตตัวหลังนี้ จะแยกสลายออกเป็น 2 ส่วนอีก คืออนุภาคทองแดง (Cu^{++}) และอนุภาคซัลเฟต (SO_4^{--}) อนุภาคทองแดงจะวิ่งไปขั้วลบ เกาะติดอยู่ที่ขั้วลบ อนุภาคซัลเฟตวิ่งไปที่ขั้วบวกทำปฏิกิริยากับขั้วบวก กลายเป็นทองแดงซัลเฟตขึ้นมาแทนที่อีก ปฏิกิริยาจะเกิดหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดไปตราบที่ยังคงต่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จากการค้นพบกฎเกณฑ์อันนี้เราจึงนำมาใช้เป็นประโยชน์ในทางชุบเคลือบผิวโลหะ (Electro Plating) และการแยกโลหะให้บริสุทธิ์ (Refinery) เช่น ถ้าเรามีทองแดงไม่บริสุทธิ์อยู่ เราก็เอาทองแดงนี้ไปทำเป็นแผ่นขั้วบวกแล้วจุ่มในสารละลายทองแดงซัลเฟต ($CoSO_4$) เมื่อไฟฟ้าไหลผ่านครบวงจร ทองแดงบริสุทธิ์จะไปเกาะติดบนแผ่นขั้วลบซึ่งเราก็จะได้ทองแดงบริสุทธิ์ตามต้องการ



รูปที่ 2.3 การแยกสลายของน้ำยาสารละลายของทองแดงซัลเฟต

2.2.2 กฎของฟาราเดย์

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยทางแคโทดและแอโนด โลหะจะละลายจากแอโนดหรือมีออกซิเจนเกิดขึ้นที่แอโนดและจะได้โลหะเกาะจับที่แคโทดหรือมีออกสารเป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

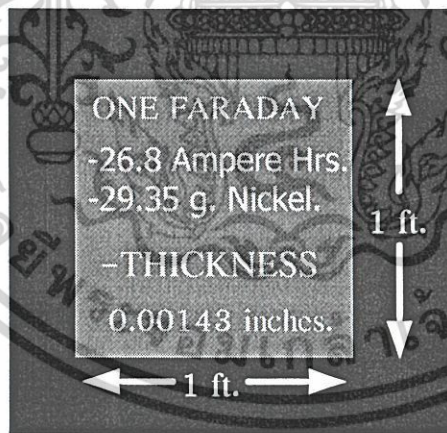
ไฮโดรเจนเกิดขึ้นที่แคโทด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายและระยะเวลาของการปล่อยให้กระแสผ่าน ไมเคิลฟาราเดย์ ได้ตั้งกฎความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสอง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้และระยะเวลาที่ให้กระแสไหลผ่านไว้ดังนี้

กฎข้อที่หนึ่ง น้ำหนักของไอออนที่ถูกปล่อยให้เป็นอิสระโดยกระแสไฟฟ้าย่อมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของไฟฟ้าที่ใช้

กฎข้อที่สอง น้ำหนักของไอออนชนิดต่างๆ ถูกปล่อยให้เป็นอิสระโดยปริมาณไฟฟ้า เท่าๆ กันย่อมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสมมูลเคมีของไอออนเหล่านั้น

จากกฎข้อที่ 1 เราสามารถนำมาใช้ในการชุบโลหะได้ คือถ้าเราต้องการให้โลหะมาเกาะจับมีความหนาจำนวนหนึ่ง เราอาจจะทำได้ 2 วิธีคือ ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยๆ แล้วใช้เวลานานๆ หรือเราอาจจะใช้กระแสไฟฟ้ามากๆ แต่ใช้เวลาสั้นๆ ก็จะได้โลหะไปเกาะจับที่แคโทดมีปริมาณเท่ากัน

จากกฎข้อที่ 2 เราทราบได้ว่า โลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการแยกสลายไม่เหมือนกัน กล่าวคือในปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เท่าๆ กัน โลหะแต่ละชนิดจะแยกสลายออกมาปริมาณไม่เท่ากัน โลหะบางชนิดจะแยกสลายออกมาน้อย โลหะบางชนิดจะแยกสลายออกมามาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติประจำตัวหรือสมมูลเคมีของโลหะนั้นๆ



รูปที่ 2.4 คุณสมบัติการแยกสลายที่ไม่เหมือนกันของโลหะ จากกฎของฟาราเดย์

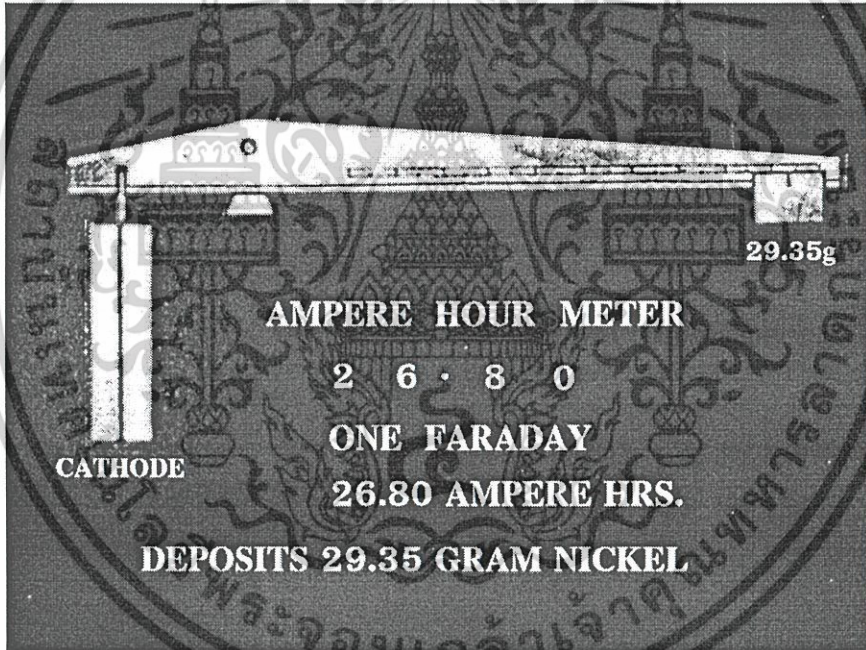
2.2.3 ประสิทธิภาพของขั้วลบและขั้วบวก

ตามกฎของฟาราเดย์ข้อที่หนึ่ง ในน้ำยาชุบโลหะนิเกิล ถ้ากระแสไฟฟ้าจำนวน 1 ฟาราเดย์ (96,500 คูลอมป์) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.8 แอมแปร์ ไหลผ่านสารละลายนิเกิลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามทฤษฎีควรจะได้โลหะนิเกิลเกาะที่แคโทดมีน้ำหนัก 29.35 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่จากการทดลองจริงๆ ผลปรากฏว่าได้โลหะนิเกิลเกาะที่แคโทดเพียง 27.9 กรัมเท่านั้น จาก การทดสอบจึงพบว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปในน้ำยาชุบนิกเกิล ไม่ได้ใช้สิ้นเปลืองไปในการ แยกสลายให้นิกเกิลไปเกาะที่แคโทดแต่อย่างใดเลย หากแต่ยังต้องสิ้นเปลืองไปกับการแยกสลายสิ่ง อื่นๆ ที่มีอยู่ในน้ำยาอีก เช่น แก๊สไฮโดรเจน เป็นต้น ถ้าเรานำเอาน้ำหนักของนิเกิลที่ไปเกาะที่ขั้วลบ อย่างแท้จริงมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักของนิเกิลที่ควรจะไปเกาะที่ขั้วลบตามทฤษฎี ก็จะสามารถ ทราบ “ประสิทธิภาพของขั้วลบ” ได้

น้ำหนักของนิเกิลที่ไปเกาะที่ขั้วลบอย่างแท้จริง	27.9 กรัม
น้ำหนักของนิเกิลที่ควรจะไปเกาะที่ขั้วลบ	29.35 กรัม
ประสิทธิภาพของขั้วลบ	$(27.9/29.35) \times 100 = 95\%$



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของการขีดยึดเกาะผิวของนิเกิล

นั่นคือปริมาณของกระแสไฟฟ้า 26.8 แอมแปร์ที่ไหลผ่านน้ำยาชุบโลหะนิเกิลเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะมีกระแสเพียง 95% เท่านั้นที่ใช้สิ้นเปลืองไปในการแยกสลายให้โลหะไปเกาะที่ขั้วลบ ส่วนอีก 5% จะเป็นปริมาณกระแสที่สูญเสียไปกับการแยกสลายของ แก๊สไฮโดรเจนเราจึงเรียกว่า นิเกิลมีประสิทธิภาพของขั้วลบ 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของขั้วลบของน้ำยาชนิดต่างๆ จะแตกต่างกันออกไป เช่น น้ำยาชุบโครเมียมจะมีประสิทธิภาพต่ำมาก คือประมาณ 10-25% เท่านั้นเอง น้ำยาชุบเงินมีประสิทธิภาพขั้วลบสูงมากคือเกือบ 100% เต็มและในน้ำยาชุบดีบุก (Tin Plating) ประสิทธิภาพของขั้วลบจะประมาณ 50 ถึง 75% ดังนี้ เป็นต้น

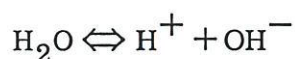
ที่แอโนดกระแสไฟฟ้าที่ไปช่วยให้แอโนดละลายก็ไม่ได้ใช้ให้หมดไปในการละลายแอโนดแต่อย่างใด กระแสไฟฟ้าต้องสูญเสียไปกับสิ่งอื่นๆ อีกเช่น ต้องเอาชนะความต้านทานที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาเคมีมีลักษณะเป็นเข็บบางๆ รอบๆ แท่งแอโนด ต้องสูญเสียไปกับการละลายสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่มีผสมอยู่ในแอโนด ฯลฯ เป็นต้น จากการสูญเสียดังกล่าวจึงต้องคำนวณหาประสิทธิภาพของแอโนดด้วย แต่วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของแอโนดเข็บบางๆ จะคำนวณโดยเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของแคโทดหรือคำนวณโดยวิธีเดียวกันกับการหาประสิทธิภาพของขั้วลบ

ในการประกอบการชุบโลหะโดยทั่วๆ ไป ถ้าประสิทธิภาพของแคโทดและแอโนด ต่างก็มีประสิทธิภาพดีเลิศคือ 100% เท่ากัน นั่นคือมีโลหะไปเกาะที่แคโทดเท่าใด ที่แอโนด ก็จะต้องมีโลหะละลายลงไปในน้ำยามีจำนวนเท่ากัน ถ้า น้ำยาชุบใดๆ เป็นเช่นนี้ ก็จะมีลักษณะดีเลิศ ไม่มีปัญหาอย่างใดๆ จะต้องแก้ไขเลย แต่ น้ำยาชุบโลหะทุกชนิดไม่มีลักษณะเช่นนั้น น้ำยาทุกชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมาก ประสิทธิภาพของขั้วบวกและขั้วลบหรือกล่าวโดยง่าย การละลายของขั้วบวกและการเกาะจับของโลหะที่ขั้วลบจะแตกต่างกันอยู่ตลอดเวลาด้วยเหตุนี้เอง น้ำยาชุบโลหะแต่ละชนิดจึงจำเป็นต้องประกอบไปด้วยตัวยาหลายๆ อย่าง เพื่อให้ตัวยาเหล่านั้นทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น ตัวที่ 1 มีหน้าที่ปล่อยโลหะออกมา ตัวที่ 2 มีหน้าที่ช่วยให้แอโนดละลายสม่ำเสมอ ช่วยเป็นสื่อไฟฟ้า ตัวที่ 3 มีหน้าที่ช่วยควบคุมไม่ให้ น้ำยาเป็นกรดมากเกินไปหรือเป็นด่างมากเกินไป ฯลฯ ดังนี้ เป็นต้น ทั้งนี้โดยมีจุดมุ่งหมายให้ขั้วบวกและขั้วลบมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้นั่นเอง

น้ำยาแต่ละชนิด ประกอบไปด้วยตัวยาแตกต่างกันออกไป ตัวยาชนิดใดมีหน้าที่อย่างไรเป็นเรื่องที่ผู้ประกอบการชุบโลหะควรศึกษาเอาไว้

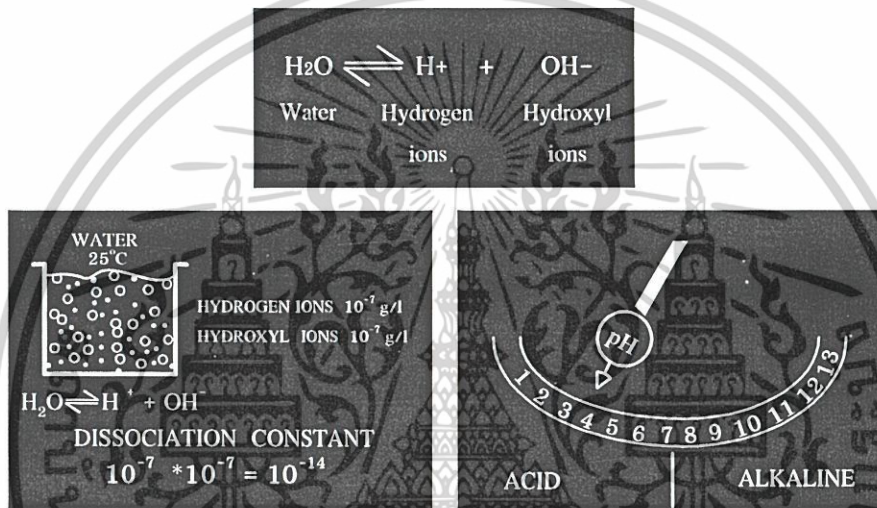
2.2.4 ค่าของ พีเอช

หนึ่งโมเลกุลของน้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอมและออกซิเจน 1 อะตอม สูตรโมเลกุลของน้ำคือ H_2O น้ำบริสุทธิ์ เมื่อมีการแตกแยกจะได้ไฮโดรเจน อีออนและไฮดรอกซิลอีออนเล็กน้อยดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในน้ำบริสุทธิ์ ค่าของไฮโดรเจนไอออนและค่าของไฮดรอกซิลไอออน จะมีค่าเท่ากันในสภาพเช่นนี้ น้ำนั้นจะมีสภาพเป็นกลาง คือไม่เป็นกรดหรือด่าง แต่ถ้าในน้ำใดมีไฮโดรเจนไอออนมากกว่าไฮดรอกซิลไอออน น้ำนั้นจะมีสภาพเป็นกรดและในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำใดมีไฮดรอกซิลไอออนมากกว่าไฮโดรเจนไอออน น้ำนั้นก็จะมีสภาพเป็นด่างในการวัดค่า พี.เอช. ของน้ำยาชุบถั้วค่า พี.เอช. 7 เป็นค่าที่น้ำยามีสภาพเป็นกลาง ค่า พี.เอช. ตั้งแต่ 7 ลงมาถึง 1 เป็นค่าที่น้ำยา มีสภาพเป็นกรด ตั้งแต่ 7 ถึง 13 เป็นค่าที่น้ำยามีสภาพเป็นด่าง



รูปที่ 2.6 ค่าพีเอช

ค่าของพี.เอช. มีอิทธิพลต่อน้ำยาชุบโลหะมาก กล่าวคือถ้าค่าของพี.เอช.น้อย แสดงว่าน้ำยานั้นมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแคโทดลดต่ำลง ถ้าค่าของ พี.เอช. มาก แสดงว่าน้ำยานั้นมีสภาพเป็นด่างมากเกินไป จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแอโนดลดต่ำลง เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การควบคุมค่าของ พี.เอช. จึงสำคัญมาก น้ำยาทุกชนิดจะมีค่า พี.เอช.ที่เหมาะสมอยู่โดยเฉพาะที่ค่าหนึ่ง ฉะนั้นจึงควรพยายามควบคุมให้ค่า พี.เอช.อยู่ในขอบเขตตามที่กำหนดให้ได้ น้ำยาชุบชนิดใดควรมีค่าพี.เอช.เท่าใด จะทราบได้จากคู่มือการใช้ น้ำยาชนิดนั้นๆ

2.2.5 ความหนาแน่นของกระแส (Current Density)

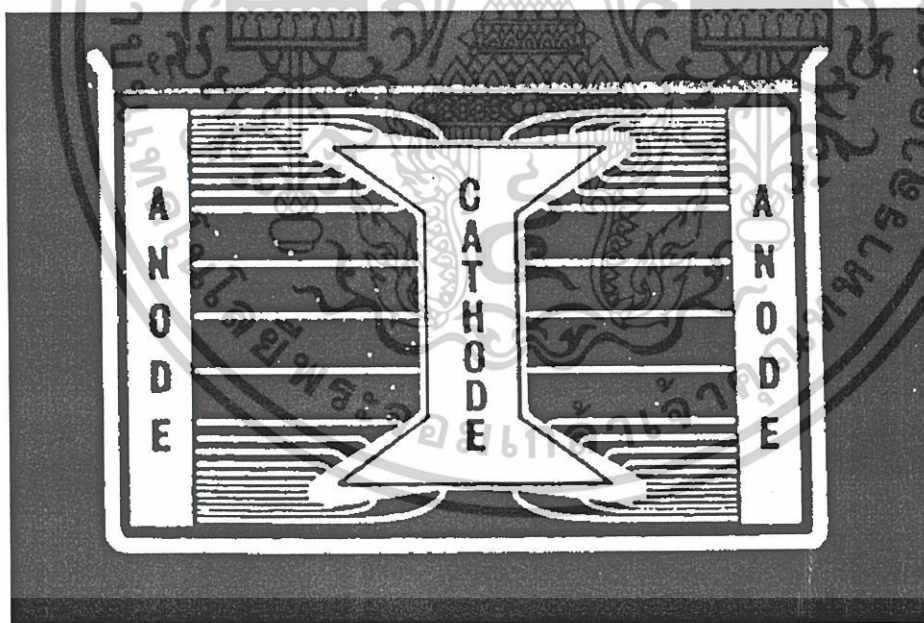
ความหนาแน่นของกระแสของขั้วลบ คือกระแสที่ช่วยให้เกิดการเคลือบที่ขั้วลบต่อหนึ่งหน่วยเนื้อที่ ปกติมักจะใช้แอมแปร์ต่อตารางฟุต หรือแอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร การคำนวณหาพื้นที่ของแคโทด เพื่อทราบว่า จะจ่ายความหนาแน่นของกระแสแตกต่างกันออกไปและงาน แต่ละชิ้นก็มีเนื้อที่ต่างๆ กัน ด้วยเหตุนี้กระแสและเนื้อที่จึงควรต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกเสมอ ก่อนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะจุ่มชิ้นงานลงในถังเพื่อทำการชุบ ความหนาแน่นของกระแสให้ดูจากคู่มือการใช้งานน้ำยา แต่ละชนิด โดยสอบถามจากผู้จำหน่าย ในการชุบ โลหะกล้ากวนน้ำยาโดยใช้เครื่องกวนหรือใช้ ลมเป่า และเพิ่มอุณหภูมิของน้ำยาขึ้นตามคู่มือการใช้งานน้ำยา จะช่วยให้สามารถใช้ความหนาแน่นของกระแสได้มากขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้ระยะเวลาของการชุบลดสั้นลงได้ โดยได้ความหนาของผิวที่เท่ากัน

2.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของชิ้นงานและกำลังการเคลือบผิว

รูปร่างของชิ้นงานที่จะต้องทำการชุบเคลือบผิวนั้นมักมีรูปร่างต่าง ๆ กันออกไป เช่น กลม, แบน, โค้งงอ, กลวง ฯลฯ รูปร่าง ต่างๆ เหล่านี้จะชุบให้มีการเกาะจับหนาเท่ากันโดยตลอดทั่วชิ้นงานย่อมยากมาก

จากการศึกษาถึงธรรมชาติการเดินทางของกระแสในการชุบโลหะพบว่า กระแสเดินทางไปยังจุดที่ใกล้เคียงที่สุดอย่างหนาแน่น จุดที่ห่างออกไปจะมีกระแสเบาบางลงไปด้วยเหตุที่การเดินทางของกระแสก็คือการเดินทางของแคโทดอันไปยังขั้วลบนั่นเอง ดังนั้นส่วนใดที่มีกระแสเดินทางไปหาอย่างหนาแน่น ย่อมมีการเกาะจับหนามาก ส่วนที่มีกระแสเดินทางไปหาเบาบาง ก็จะมีการเกาะจับบาง ดังในภาพที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของชิ้นงานและกำลังการเคลือบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนการชุบด้วยไฟฟ้า

ความสะอาดของชิ้นงานเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาในการชุบ ถ้าหากชิ้นงานไม่ได้ผ่านการทำความสะอาดที่ถูกต้องแล้ว อาจทำให้ผลการชุบออกมาไม่ได้ผลเท่าที่ควร ดังนั้นการทำความสะอาดอย่างหมกจดจึงนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญ ทั้งนี้ไม่สามารถจะกล่าวย้าให้มากกว่านี้ได้ เพราะประสิทธิภาพของงานชุบนั้นขึ้นอยู่กับการติดเกาะแน่นของเนื้อโลหะกับชิ้นงานที่ทำการชุบ การทำความสะอาดชิ้นงานแต่ละกรรมวิธีที่ทำให้ผิวสะอาดเหมาะกับการชุบก็คือการกำจัดไขมัน น้ำมัน และรอยเปื้อนอื่น ๆ ที่ติดมาจากกรรมวิธีการผลิต เช่น การกลึง บี้ม เครื่องอัด หรือเครื่องขัดผิวออก การชุบเคลือบบนผิวที่สกปรกหรือมีไขมันจะทำให้ผิวงานที่ผ่านการชุบนั้นลอกออกง่ายหรือพอง

การทำความสะอาดและกรรมวิธีของการเตรียมงานก่อนการชุบนั้นมีหลายวิธีการหลายอย่างด้วยกัน เช่น

- 1) การกำจัดไขมันหรือการทำความสะอาดขั้นแรก (Degreasing)
- 2) การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มล้างชิ้นงานให้เป็นเงา (Pickling and Dipping)
- 3) การล้างด้วยน้ำด่างร้อน (Soak Clean)
- 4) การล้างด้วยไฟฟ้า (Electro - Clean)
- 5) การทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic Clean)

2.3.1 การกำจัดไขมันด้วยไอระเหยไตรคลอโรเอททีลีน (Vapour Degreasing)

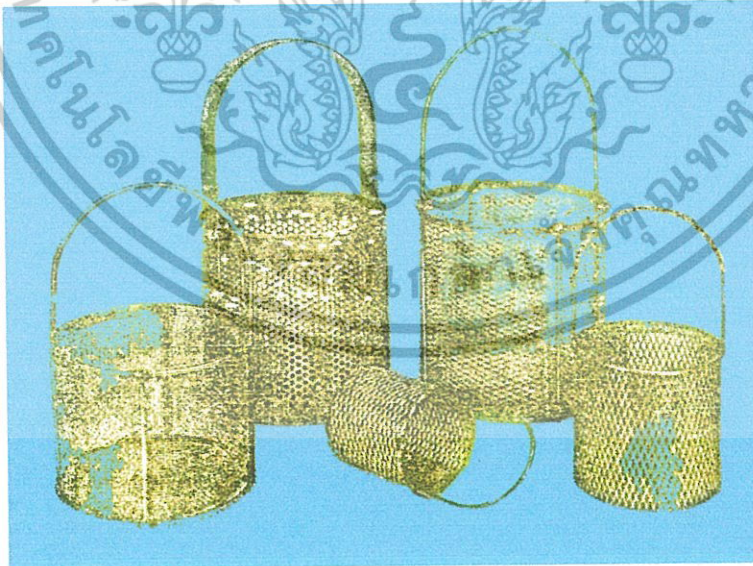
การเอาน้ำมันหรือไขมันออกจากผิวงานที่จะทำการชุบ ด้วยการนำชิ้นงานไปจุ่มแช่ลงในไตรคลอโรเอททีลีน (Trichloroethylene) ซึ่งไตรคลอโรเอททีลีนนี้ต้องบรรจุอยู่ในถังพิเศษ ซึ่งมีเครื่องทำความร้อนอยู่ใต้ถัง และมีท่อขุดทำความเย็นอยู่บริเวณของปากถัง เวลาใช้งานไตรคลอโรเอททีลีนต้องให้ความร้อนซึ่งมีจุดเดือดที่ 86°C เมื่อถึงจุดเดือดก็จะเป็นไอระเหยขึ้นมา กระทบกับความเย็นก็กลั่นตัวโดยท่อขุดที่ทำความเย็นกลับสู่ในถังอีก เมื่อจุ่มชิ้นงานลงใน ไตรคลอโรเอททีลีน ไอระเหยจะถูกกลั่นตัวบนผิวงานทำการชำระล้างไขมันหรือน้ำมันลงสู่ถังสำหรับชิ้นงานที่มียาขัดติดแน่นอยู่ ขอแนะนำให้จุ่มลงในน้ำมันระเหยนั้นก่อน เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกจำนวนมากออก ต่อมาจึงนำชิ้นงานขึ้นถูกกับไอระเหย เป็นการล้างทำความสะอาดขั้นสุดท้าย และนำไปล้างในขั้นตอนต่อไป

แต่ถ้าหากใช้กับงานเล็กๆ น้อยๆ ก็ต้องนำชิ้นงานลงแช่โดยใส่ภาชนะโลหะแล้วนำชิ้นงานขึ้นเช็ดด้วยผ้าสะอาด ชิ้นงานก็จะสะอาด ในการล้างนี้ถ้าชิ้นงานเล็กๆ จำนวนมากต้องใส่ตะกร้าแล้วนำลงแขวนแช่ในถัง



ชิ้นงาน

รูปที่ 2.8 ภายในถัง ไตรคลอโรเอททีลิน



รูปที่ 2.9 ตะกร้าสแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การล้างด้วยน้ำต่างร้อน

วิธีนี้เป็นการล้างขั้นแรก โดยงานที่ผ่านจากการขัดเตรียมผิวมาแล้ว ควรที่จะล้างด้วยน้ำต่างร้อนเสียขั้นหนึ่งก่อน เพื่อให้ชิ้นงานสะอาดหมดจดในการล้างขั้นต่อไป ดังที่ใช้บรรจุนั้นทำด้วยเหล็กหรือสแตนเลส ภายในติดตั้งเครื่องให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าและมีป่าสำหรับ ล้นออกของฟองหรือสิ่งสกปรก เวลาเอางานออกจากถังฟองสกปรกที่ลอยอยู่บนผิวน้ำยาจะไม่เกาะที่ผิวงาน น้ำยาชนิดนี้มีทั้งของสำเร็จโดยผสมกับน้ำใช้ได้ทันที แต่ถ้าหากจะผสมเองก็สามารถผสมได้ตามสูตรที่กำหนดไว้หรืออาจใช้ตัวยาล้างโลหะแบบสำเร็จรูปซึ่งมีจำหน่ายตามร้านค้าน้ำยาชุบโลหะต่างๆ ไป

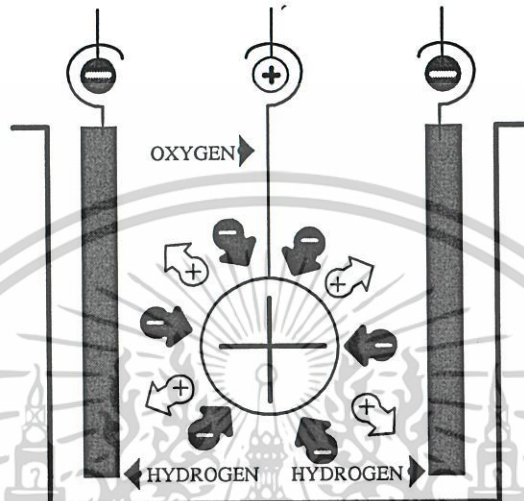
1) น้ำยาล้างโลหะ

โซเดียมไฮดรอกไซด์	15	กรัม/ลิตร
ไตรโซเดียมฟอสเฟต	25	กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอเนต	25	กรัม/ลิตร
โซเดียมเมตาซิลิเกต	8	กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	60-70°C	

2.3.3 การล้างด้วยไฟฟ้า

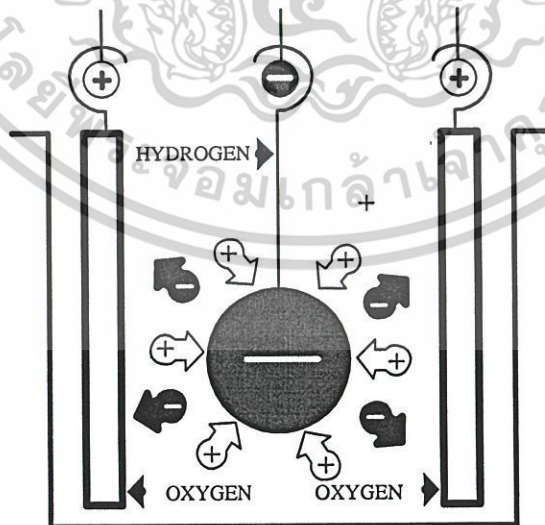
น้ำต่างที่ร้อนทุกชนิดจะมีปฏิกิริยากระทำความสะอาดต่อโลหะทุกชนิด เวลาที่ใช้ทำความสะอาดนั้นประกอบด้วยส่วนผสมของตัวยาและชนิดของน้ำมันที่จะล้างออกด้วย การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้าทำได้รวดเร็วกว่าการจุ่มล้างบางชนิด การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้าคือปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านลงไปใต้น้ำยาต่างที่ร้อนประมาณ 60-90°C พร้อมทั้งชิ้นงานนั้นล้างได้ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้านี้ไม่เหมาะต่อการใช้ทำความสะอาดครั้งละจำนวนมากๆ ส่วนผสมของน้ำยาใช้สูตรตามวิธีล้างด้วยต่างร้อนหรือใช้ตัวยาล้างสำเร็จรูปก็สะดวก การล้างด้วยไฟฟ้ายังมีแบ่งเป็น 2 วิธีคือ

1) การล้างโดยให้ชิ้นงานเป็นขั้วบวก ถ้าใช้ถังเหล็กอาจมีสวิทช์กลับขั้วติดไว้ด้วย ล้างโดยงานเป็นขั้วบวกใช้เฉพาะงานที่เป็นเหล็กเท่านั้น



รูปที่ 2.10 การล้างด้วยไฟฟ้างานเป็นขั้วบวก

2) การล้างโดยให้ชิ้นงานเป็นขั้วลบ ใช้ถังเหล็กแผ่นขั้วเป็นเหล็ก ใช้กับงานที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น ทองเหลือง, ลังกะสีหล่อ, ทองแดง เป็นต้น



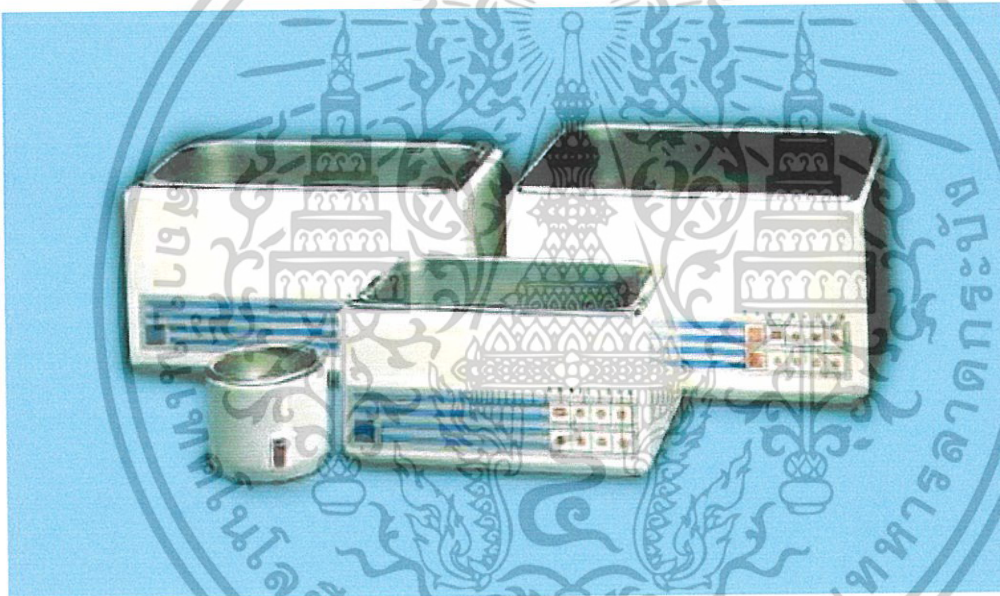
รูปที่ 2.11 การล้างด้วยไฟฟ้างานเป็นขั้วลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นที่ใช้ล้างด้วยไฟฟ้านี้ สำหรับงานทั่วไปใช้ประมาณ 5-10 แอมป์/คม² เวลา 1-2 นาที ส่วนแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 4-6 โวลต์ การทำความสะอาดด้วยงานที่เป็น ขี้บวก ถ้าใช้แรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าสูงเกินกว่ากำหนด จะทำให้ผิวงานเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนหรือผิวจะเปลี่ยนสีไป ถ้าผิวเกิดการรวมตัวกับออกซิเจนขอแนะนำให้ลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าลง

2.3.4 การทำความสะอาดด้วยเครื่องอุตสาหกรรมโซนิค

เป็นการทำความสะอาดด้วยระบบความถี่สั้นแรงของคลื่นอย่างสูงประโยชน์ของการทำความสะอาดด้วยเครื่องอุตสาหกรรมโซนิค ส่วนมากใช้กับงานที่เป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นเล็กๆ เช่น ชิ้นส่วนของนาฬิกา เครื่องประดับรูปพรรณ แวนตา เพียงนำชิ้นงานไปแช่ในเครื่อง ชิ้นงานจะสะอาดดีมาก



รูปที่ 2.12 เครื่องล้างชิ้นงานแบบอุตสาหกรรมโซนิค

2.3.5 การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มเงา

1) การกัดด้วยกรดกำมะถัน กรดกำมะถันเจือจางใช้สำหรับกัดสนิมเหล็กบางๆ เหล็กกล้า, ทองแดง, ทองเหลือง, นิกเกิลเงา และทองแดงผสมอื่นๆ

2) การผสมน้ำยา ปกติใช้ความเข้มข้นของกรดกำมะถันประมาณ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ส่วนผสมที่เหมาะสมในการใช้

กรดกำมะถัน (ถ.พ. 1.84) 55 ซี.ซี.

ปรับน้ำให้ได้ 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วิธีผสม เทน้ำเย็นลงในภาชนะ 2/3 ของความจุของถังก่อน แล้วค่อยๆ เทน้ำกรด ลงไปที่ ละน้อย ระวังน้ำกรดจะกระเซ็นถูกร่างกาย และควรกวนน้ำยาตลอดเวลาที่ผสมน้ำกรด ต่อมาจึง ค่อยเติมน้ำลงไปปรับให้ได้ระดับ

4) ข้อควรระวัง ขณะผสมจะเกิดความร้อน สิ่งสำคัญที่สุดคือเวลาผสมจะต้องค่อยๆ เท น้ำกรดลงในน้ำเสมอ

หลังจากที่ได้กัด้วยกรดกำมะถันเจือจางแล้ว ทองเหลืองนิเกิล เงิน ทองแดงและทองแดง ผสม ปกติจะจุ่มในน้ำกรดกัดเงาเพื่อทำให้ผิวเงาสุกใส

5) ส่วนผสมของน้ำยา

น้ำ	350	ซี.ซี.
กรดกำมะถัน (ถ.พ. 1.84)	55	ซี.ซี.
กรดดินประสิว (ถ.พ. 1.38)	185	ซี.ซี.
เกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์)	1.5	กรัม

6) การผสม ใส่น้ำลงในภาชนะก่อนแล้วเทกรดกำมะถันลงไปอย่างช้าๆ พร้อมกับกวน น้ำยาตลอดเวลา แล้วทิ้งไว้ให้น้ำยาเย็นถึงอุณหภูมิห้องจึงค่อยเทกรดดินประสิวจุ่มชิ้นลงไปและ ติดตามด้วยเกลือแกง

ภาชนะที่เหมาะสมสำหรับใส่น้ำยานี้ แก้ว โปลิตีน และพี.วี.ซี ในระหว่างที่ทำการกัดเงานั้น จะมีไอเกิดขึ้น ฉะนั้นสิ่งสำคัญคือจะต้องมีเครื่องดูดไอที่ใหญ่พอ ซึ่งสามารถดูดไอนี้ได้หมด การ กัดเงาทองแดงผสมนอกจากใช้น้ำยาดังนี้แล้ว ยังมีน้ำยาอีกชนิดหนึ่งแต่ไม่ทำให้ผิวเงา มากนัก น้ำยานี้อาจจะใช้สำหรับขจัดรอยคราบดำหรือรอยเปื้อนจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงาน ส่วนผสมของ น้ำยาประกอบด้วยกรดโครมิกกับกรดกำมะถัน ดังนี้

7) ส่วนผสมของน้ำยา

กรดกำมะถันเข้มข้น (ถ.พ. 1.84)	50	ซี.ซี.
กรดโครมิก	40	กรัม
ปรับน้ำให้ได้	1	ลิตร

อาจใช้โซเดียมไดโครเมตแทนกรดโครมิก โดยใช้โซเดียมไดโครเมต 60 กรัม/ลิตรจะ เท่ากับกรดโครมิก 40 กรัม/ลิตร

วิธีผสมน้ำยาคือค่อยๆ เทกรดกำมะถันลงในน้ำเย็นตามปริมาตรที่ต้องการพร้อมกับกวน น้ำยานั้นตลอดเวลา ต่อมาเติมกรดโครมิกหรือโซเดียมไดโครเมตซึ่งละลายดีในกรดกำมะถันที่เจือ จาง ปกติการจุ่มทั่วไปใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที ที่อุณหภูมิปกติ

8) การกัดด้วยกรดเกลือ โดยปกติแล้วกรดเกลือใช้กัดสนิมได้ดีมาก ใช้สำหรับงานทั่วๆ ไป

กรดเกลือ (เข้มข้น)	1 ส่วน (โดยปริมาตร)
น้ำ	5 ส่วน (โดยปริมาตร)

9) การผสม ใส่น้ำลงในภาชนะก่อนประมาณ 2/3 ของความจุ แล้วค่อยๆ เทน้ำกรดลงไป จนหมดแล้วค่อยเติมน้ำปรับระดับอีกครั้งหนึ่ง

10) กรดกัดสำหรับเหล็กหล่อ

กรดเกลือ	1.5	ลิตร
กรดไฮโดรฟลูออริก	3	ลิตร
น้ำ	10	ลิตร

2.3.6 การเปรียบเทียบการทำความสะอาดชิ้นงาน

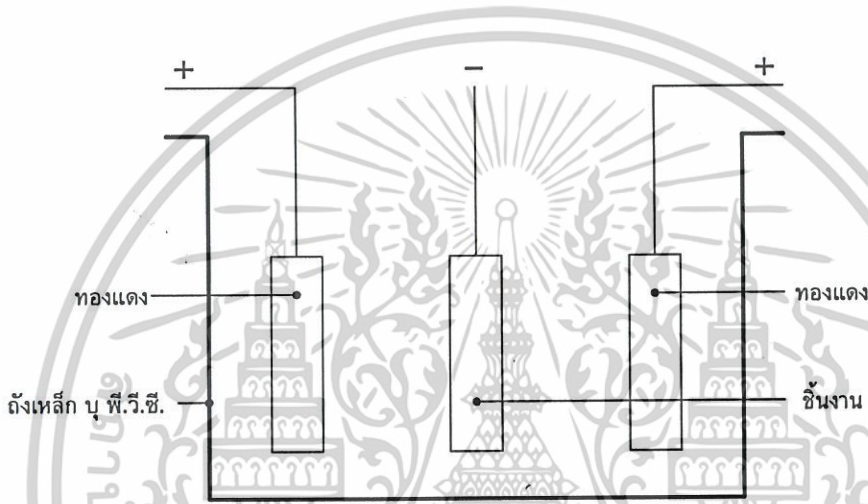
รูปที่แสดงไว้นี้เป็นผลจากการพ่นน้ำใส่ชิ้นงาน 2 ชิ้น ชิ้นงานทางซ้ายมือดูสะอาด หมดจด ชิ้นงานทางขวามือมีหยดน้ำเกาะ แสดงว่าล้างชิ้นงานยังไม่สะอาด



รูปที่ 2.13 (ซ้าย) ชิ้นงานที่สะอาด (ขวา) ชิ้นงานที่ไม่สะอาด

1) วิธีทดสอบ ใช้น้ำสะอาดพ่นลงไปบนชิ้นงาน ถ้าหากชิ้นงานนั้นสะอาดไม่มีไขมันติดอยู่ น้ำจะไม่เกาะเป็นหยด แต่ถ้ามีไขมันอยู่ที่ผิวงาน จะเห็นน้ำเกาะเป็นหยดน้ำ แสดงว่าชิ้นงานยังล้างไขมันออกไม่หมด

2.4 การชุบทองแดง



รูปที่ 2.14 ลักษณะการชุบโลหะด้วยทองแดงต่าง

ทองแดงมีประโยชน์ในการชุบเคลือบผิวชิ้นแรกของโลหะเดิมก่อนที่จะไปชุบอย่างอื่น เช่น ใช้ชุบบนงานที่มีรอยบัดกรีและชุบบนสังกะสีผสม ก่อนที่จะไปชุบนิเกิล เพราะถ้าหากเอาชิ้นงานที่มีรอยบัดกรีหรืองานที่มีสังกะสีผสมอยู่ ตั้งกะสีจะละลายในน้ำยานิเกิลทันที แต่ถ้าหากนำชิ้นงานไปชุบทองแดงแบบต่างก่อน แล้วนำไปชุบด้วยทองแดงแบบกรดและชุบด้วยนิเกิลเงาตามลำดับ ก็จะทำให้ชิ้นงานนั้นแลดูสวยงามและทนทาน สามารถชุบในขั้นต่อไปได้ การชุบทองแดงสามารถแบ่งตามสภาพน้ำยาได้ดังนี้

2.4.1 การชุบทองแดงแบบต่าง

สารละลายของการชุบทองแดงแบบต่าง มีกำลังการเคลือบผิวที่ดีมากและการเกาะจับผิวแน่น การชุบทองแดงแบบต่างนี้เหมาะสำหรับการชุบรองพื้นชิ้นแรก ก่อนที่จะเอาไปชุบในทองแดงแบบกรดและนิเกิลแบบเงา และในเมื่อโลหะที่จะชุบทองแดงนั้นไม่สามารถนำไปชุบในน้ำยาที่มีสภาพเป็นกรดได้ ดังนั้นจึงต้องนำชิ้นงานชุบในทองแดงแบบต่างก่อน แล้วจึงชุบในทองแดงแบบกรด (แบบเงา) หรือนิเกิลเงา งานประเภทนี้ คืองานที่ทำด้วยสังกะสี (Zinc Diecasting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ทองแดงแบบต่างยังแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

- 1.1) แบบสไตรค์ (Strike Bath)
- 1.2) แบบร็อกเชล (Rochelle Bath)
- 1.3) แบบมีประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Bath)

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ของส่วนผสมในน้ำยาชุบ

แบบสไตรค์	ส่วนผสมของน้ำยา
คอปเปอร์ไซยาไนด์	30 กรัม/ลิตร
โซเดียมไซยาไนด์	48 กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอเนต	15 กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	40-60 องศาเซนเซียส
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	10-30 แอมแปร์/ตารางฟุต
อัตราส่วนของขั้วบวกต่อขั้วลบ	3 : 1
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	6 โวลต์
แบบร็อกเชล	ส่วนผสมของน้ำยา
คอปเปอร์ไซยาไนด์	
โซเดียมไซยาไนด์	25 กรัม/ลิตร
ร็อกเชล ซ้อล	35 กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอเนต	45 กรัม/ลิตร
ค่า p H	30 กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	50-60 องศาเซนเซียส
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	2-5 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
แบบมีประสิทธิภาพสูง	ส่วนผสมของน้ำยา
คอปเปอร์ไซยาไนด์	75 กรัม/ลิตร
โซเดียมไซยาไนด์	93 กรัม/ลิตร
หรือโปแตสเซียมไซยาไนด์	115 กรัม/ลิตร
โซเดียมไฮดรอกไซด์	30 กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	60 องศาเซนเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) หน้าที่ของส่วนผสมในน้ำยาชุบ

แบบมีประสิทธิภาพสูง	ส่วนผสมของน้ำยา
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า	10-60 แอมแปร์/ตารางฟุต 0.75-4 โวลต์

2) โซเดียมไซยาไนด์หรือโปแตสเซียมไซยาไนด์

มีความสำคัญต่อน้ำยาชุบทองแดงมาก เป็นตัวช่วยนำกระแสไฟฟ้า ถ้าไซยาไนด์ในถังชุบน้อยกว่าที่กำหนด ผิวของขั้วบวกจะค่อยๆ เป็นสีดำ และจะมีเยื่อบางๆ เป็นฉนวนจับอยู่ ทำให้ขั้วบวกไม่ทำงาน กรณีเช่นนี้จะต้องค่อยๆ เติมไซยาไนด์ลงไป จนสังเกตเห็นขั้วบวกเป็นสีทองแดง

3) โซเดียมหรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

เติมลงในถังที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อช่วยให้การนำไฟฟ้าสูงขึ้น และเพื่อปรับกำลังการเคลือบผิวให้ดีขึ้น พร้อมกันนี้ช่วยให้ขั้วบวกละลายดีขึ้น

4) โซเดียมคาร์บอเนต

ช่วยควบคุมค่า pH ของน้ำยาไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย

การชุบทองแดงค้างส่วนมากมักจะมีสารไซยาไนด์ ซึ่งเป็นสารมีพิษให้โทษต่อร่างกาย และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ไป จึงขอแนะนำทองแดงค้างอีกชนิดหนึ่งซึ่งไม่มีสารไซยาไนด์เจือปนและยังให้ผิวชุบที่ขึ้นเงาสวยงามอีกด้วย

5) ทองแดงค้างแบบไพโรฟอสเฟต

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมของน้ำยา

สารเคมี	ส่วนผสมโดยประมาณ	มาตรฐาน
คอปเปอร์ไพโรฟอสเฟต	80-105 กรัม/ลิตร	90 กรัม/ลิตร
โปแตสเซียมไพโรฟอสเฟต	290-370 กรัม/ลิตร	345 กรัม/ลิตร
แอมโมเนีย	2-4 ม.ล./ลิตร	3 ม.ล./ลิตร
น้ำยาเงา SP 66	2-3 ม.ล./ลิตร	2.5 ม.ล./ลิตร
น้ำยาเงา SP 67	0.2-0.3 ม.ล./ลิตร	0.25 ม.ล./ลิตร
อุณหภูมิ	50-60° ซ.ซ.	55° ซ.ซ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ส่วนผสมของน้ำยา

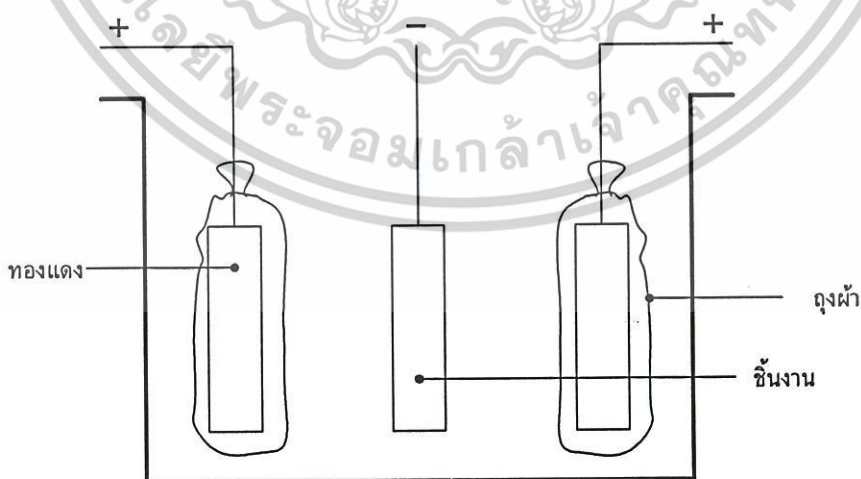
สารเคมี	ส่วนผสมโดยประมาณ	มาตรฐาน
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	2-6 แอมป์/คม.2	4 แอมป์/คม.2
ค่า pH	8.6-9.0	8.7

หมายเหตุ น้ำยาเงาของคอปเปอร์ไฟโรฟอสเฟต มีผู้ผลิตจำนวนมากใช้ชื่อต่างๆ กัน อัตราการใช้ก็ต่างกัน

6) การผสมน้ำยา

- 6.1) ใส่น้ำในถังประมาณครึ่งถัง แล้วให้ความร้อน 50° ซ.ซ.
- 6.2) ใส่โปตัสเซียมไฟโรฟอสเฟตและกวนน้ำยาให้ละลายจนหมด
- 6.3) ใส่คอปเปอร์ไฟโรฟอสเฟต กวนให้ละลายจนหมด
- 6.4) กรองน้ำยาให้สะอาด
- 6.5) ใส่แอมโมเนีย
- 6.6) ใส่น้ำยาเงา
- 6.7) เติมน้ำให้ครบตามปริมาตรที่ต้องการ

2.4.2 การชุบทองแดงแบบกรด (ทองแดงเงา)



รูปที่ 2.15 ลักษณะการชุบโลหะด้วยทองแดงกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชุบร่องพื้นด้วยทองแดงแบบกรด จะได้ผิวทองแดงที่เคลือบเรียบและเป็นเงางามและชุบให้หนาได้ตามต้องการ การควบคุมน้ำยาก็ง่าย สารละลายในการชุบทองแดงชนิดกรดนี้ใช้คอปเปอร์ซัลเฟตกับกรดกำมะถันและน้ำยาเงา (Brightener)

1) **ตัวล่อ (Anode)** ในการชุบทองแดงแบบกรด จะต้องใช้ตัวล่อที่เป็นฟอสฟอไรซ์ คอปเปอร์ (Phosphorized Copper Anode) ซึ่งเป็นทองแดงที่ผลิตขึ้นสำหรับใช้เป็นตัวล่อในการชุบทองแดงเงา โดยเฉพาะฟอสฟอไรซ์คอปเปอร์ มีส่วนผสมของฟอสฟอรัสอยู่ในเนื้อทองแดงซึ่งให้ผลดี 3 ประการดังนี้

- 1.1) จะได้ผิวชุบทองแดงที่เรียบและเป็นเงางาม
- 1.2) ตัวล่อชนิดนี้จะไม่ละลายลงในน้ำยาชุบ อันเป็นเหตุให้อัตราส่วนเปลี่ยนแปลงไป
- 1.3) จะไม่เกิดตะกอนของทองแดงในถังน้ำยาชุบ

ส่วนทองแดงที่ไม่ใช่ฟอสฟอไรซ์คอปเปอร์ จะละลายในน้ำยาชนิดกรดอย่างรวดเร็ว เกินกว่าชิ้นงานชุบจะรับได้ ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดตะกอนทองแดงในน้ำยาชุบและทำให้อัตราส่วนของน้ำยาเปลี่ยนแปลง การชุบก็ไม่ขึ้นเงาและเป็นเหตุให้ผิวชุบไม่เรียบ กรณีที่การชุบทองแดงแบบเงา นี้ต้องกวนน้ำยากด้วยลม ทำให้ลมที่กวนนั้น กวนตะกอนทองแดงขึ้นมาและลอยไปเกาะบนชิ้นงานด้วย ทำให้ผิวหยาบ

ส่วนฟอสฟอไรซ์คอปเปอร์นั้น การละลายก็ไม่ละลายจนเป็นตะกอนทองแดงในถังชุบ

2) ผลดีของการชุบทองแดงแบบเงา

- 2.1) ชุบทองแดงเงาแล้ว ไม่ต้องนำไปขัด เพราะการชุบทองแดงแบบเงานี้ มีน้ำยาเงาใส่ในน้ำยาชุบ ชุบชิ้นงานขึ้นมาจะเงาเอง
- 2.2) ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดไขมันในถังทองแดงค้าง
- 2.3) ชุบให้เงาได้ทั้งความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงและต่ำ
- 2.4) ได้ความหนาที่เร็วกว่าทองแดงแบบค้างและได้ผิวที่เรียบเป็นเงา
- 2.5) เหมาะสำหรับการชุบแผ่นปรินต์ ชนิดเจาะรู โดยชุบผ่านรูที่เจาะ
- 2.6) การบำรุงรักษาก็ง่ายและค่าใช้จ่ายก็น้อยกว่าการบำรุงรักษาถังน้ำยาทองแดงแบบค้าง

การชุบทองแดงแบบกรดหรือทองแดงแบบเงานี้ มีกำลังการเคลือบที่ดีและผิวชุบที่ได้จะเป็นทองแดงบริสุทธิ์และมีความเหนียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะใช้ชุบบน Zinc Diecasting ที่ผ่านการชุบทองแดงค้างมาแล้วและต้องการความทนทานมากๆ อันนี้เป็นเหตุผลที่ทำให้การชุบทองแดงเงาใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะใช้ชุบร่องพื้นก่อนชุบนิเกิลและโครเมียม บนชิ้นงานเหล็ก, บนชิ้นงานสังกะสีหล่อ และชุบบนพลาสติก

2.4.3 การบำรุงรักษาน้ำยา

โดยทั่วไปแล้วการควบคุมน้ำยานี้ก็มีความถึงการควบคุมอัตราส่วนต่างๆ อยู่ในพิกัดที่กำหนดไว้ เช่น อุณหภูมิขณะทำการชุบก็ควรควบคุมให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ คลอไรด์ไอออน การกวนน้ำยาขณะทำการชุบและการใช้กระแสไฟฟ้าก็ต้องให้ถูกต้องกับพื้นที่ของชิ้นงานที่ทำการชุบ

1) คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) คอปเปอร์ซัลเฟตนี้ เรียกว่าจูนสี ซึ่งเป็นตัวให้โลหะทองแดงในการชุบและถ้าหากชุบงานมากๆ คอปเปอร์ซัลเฟตก็จะจางลงไปเรื่อยๆ อีกทางหนึ่งที่ทำให้คอปเปอร์ซัลเฟตจางลงไปก็คือ ตีคมาจากชิ้นงานที่ยกออกจากถังชุบและถูกนำไปล้าง ทำให้คอปเปอร์ซัลเฟตที่ติดมากับชิ้นงานนั้นถูกล้างทิ้งไปเป็นการสูญเปล่า กรณีนี้ควรมีถังน้ำสะอาดเตรียมไว้สำหรับจุ่มชิ้นงานที่ยกออกจากถังชุบ ซึ่งเรียกว่าดึงแคร์เอา (Drag Out) แล้วจึงนำชิ้นงานไปล้าง และน้ำในถัง Drag out นี้ จะเก็บคอปเปอร์ซัลเฟตไว้ สามารถเทกลับไปยังถังชุบได้ ซึ่งนับว่าเป็นการประหยัดน้ำยาชุบที่ติดออกมากับชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

2) คอปเปอร์ซัลเฟตน้อยเกินไป จะทำให้ชิ้นงานที่ชุบนั้นเกิดการไหม้ บริเวณที่ได้รับกระแสไฟฟ้าสูง เช่น บริเวณขอบของชิ้นงานหรือบริเวณที่ยื่นแหลมออกมา

3) คอปเปอร์ซัลเฟตมากเกินไป จะทำให้น้ำยาคดผลึกเป็นก้อนคอปเปอร์ซัลเฟตอยู่ก้นถัง ทำให้ผลึกคอปเปอร์ซัลเฟต ไปปิดรูท่อลม ซึ่งวางอยู่ก้นถังและผลึกคอปเปอร์ซัลเฟต ยังเกาะติดอยู่ที่ตัวต่อทองแดงอย่างหนาแน่น ทำให้ตัวต่อไม่ทำงานขณะทำการชุบ ฉะนั้นจึงต้องรักษาให้อยู่ในอัตราส่วนที่กำหนดไว้

4) กรดกำมะถัน (H_2SO_4) กรดกำมะถันในน้ำยาชุบทองแดงชนิดกรดนี้ เป็นตัวให้ความนำไฟฟ้า ถ้าหากกรดกำมะถันในน้ำยาชุบมากเกินไปที่กำหนดไว้ จะทำให้การใช้กระแสไฟฟ้าต้องลดลงและลดกำลังการเคลือบหรือความสม่ำเสมอของผิวที่เคลือบ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมกรดกำมะถันให้อยู่ในอัตราส่วนที่กำหนดไว้

5) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) คลอไรด์ไอออน เป็นตัวหนึ่งที่ช่วยเสริมความเงาและจะต้องรักษาให้อยู่ในอัตราที่กำหนดไว้ โดยวิธีการวิเคราะห์ น้ำที่ใช้ผสมน้ำยาก็มีคลอไรด์ผสมอยู่พอเพียงกับการใช้คลอไรด์ไอออนในน้ำยาชุบ แต่คลอไรด์ไอออนในน้ำจะต้องไม่เกินไปจากที่น้ำยากำหนดไว้ คือ อย่างมากคลอไรด์ไอออนต้องไม่มากกว่า 80 มิลลิกรัมในน้ำยา 1 ลิตร ถ้าหากจะใช้น้ำที่มีคลอไรด์ไอออนผสมน้ำยาชุบ จะต้องวิเคราะห์น้ำก่อน แต่น้ำที่ผ่านกรรมวิธี Deionized จะเหมาะกว่า

6) คลอไรด์ไอออนต่ำเกินไป ถ้าคลอไรด์ไอออนน้อยกว่า 20 มิลลิกรัม ต่อน้ำยา 1 ลิตร ผลลัพธ์คือ กำลังการเคลือบไม่สม่ำเสมอและความเงาก็ลดลงและผิวชุบหลุดออกในลักษณะเป็นผง (powdery) หรือผิวชุบเป็นริ้วรอย

7) คลอไรด์ไอออนสูงเกินไป ความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนในน้ำยาชุบสูงเกินไป คือ สูงกว่า 60 มิลลิกรัม ในน้ำยา 1 ลิตร จะทำให้ความเรียบสม่ำเสมอของผิวชุบลดลงและการใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าก็ลดลง ความเงาก็ลดลงและต้องเพิ่มน้ำยาเงา ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำยาเงา

คลอไรด์ไอออน ในน้ำยาชุบทองแดงเงา สามารถใช้กรดเกลือเกรด C.P. กรดเกลือ 0.05 ม.ล./ลิตร หรือใช้โซเดียมคลอไรด์ 0.03 กรัม/ลิตร

8) อุณหภูมิของน้ำยา น้ำยาชุบทองแดงเงา ใช้อุณหภูมิ 20-32°C หรือประมาณ 25°C ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำยาทำงานดีที่สุด มีความเงามากที่สุดและกำลังการเคลือบดีที่สุด ถ้าหากอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะทำให้ความนำไฟฟ้าของน้ำยาลดลง แต่ถ้าหากอุณหภูมิของน้ำยาสูงกว่า 32°C ความสม่ำเสมอจะลดลงและความเงาก็ลดลง

9) การกวนน้ำยา (Agitation) ขณะทำการชุบจะต้องกวนน้ำยาตลอดเวลา เพื่อรักษาความเข้มข้นของน้ำยาให้เท่ากันตลอดทั้งถังและทำให้ใช้กระแสไฟฟ้าได้สูงตามที่กำหนด จะทำให้ห้องชุบเงาเร็วขึ้น

10) การกรองน้ำยา (Filtration) การชุบทองแดงเงา จำเป็นจะต้องกรองให้น้ำยาสะอาด อยู่เสมอหรือถ้าเป็นไปได้ ควรกรองตลอดเวลาที่ทำการชุบ

11) ถุงผ้าใส่ตัวล่อ (Anode bags) ในการชุบทองแดงแบบกรด จะต้องสวมด้วยถุงผ้าชนิดทนกรด

12) เครื่องให้ความร้อนและเครื่องทำความเย็น (Heating And Cooling Equipment) ทางที่ถูกต้องถึงน้ำยาชุบทองแดงเงานี้ควรจะติดตั้งอุปกรณ์ทำความร้อนและอุปกรณ์ทำความเย็นไว้ทั้ง 2 อย่าง โดยใช้ท่อใส่ไถ่ทำด้วยตะกั่วหรือดีบุก แต่จำเป็นมากก็คือเครื่องทำความเย็น เพราะอุณหภูมิของน้ำยาอาจร้อนขึ้นขณะทำการชุบ

2.4.4 การเตรียมผิวของชิ้นงานก่อนชุบทองแดงเงา (แบบกรด)

ชิ้นงานที่เป็นเหล็กหรือสังกะสี (Zinc Diecasting) ไม่สามารถชุบในน้ำยาทองแดงแบบกรดได้ เพราะการเกาะจับจะไม่แน่นและเกิดการกัดกร่อน เพราะน้ำยาชุบทองแดงแบบกรดนี้มีกรดผสมอยู่มาก ฉะนั้นชิ้นงานที่เป็นเหล็ก จะต้องชุบด้วยทองแดงแบบต่างสไตรค์หรือนิกเกิลสไตรค์เสียก่อนแล้วจึงชุบทับด้วยทองแดงเงา ส่วนชิ้นงานที่เป็นสังกะสีจะต้องชุบด้วยทองแดงต่างแบบสไตรค์ก่อนและชุบทับด้วยทองแดงต่างแบบมีประสิทธิภาพสูง แล้วจึงชุบทองแดงเงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมของน้ำยาเงาตามสูตรใช้น้ำยาเงา Levco EX

สารเคมี	อัตราส่วนโดยประมาณ	มาตรฐาน
คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	200-250 กรัม/ลิตร	220 กรัม/ลิตร
กรดกำมะถัน (H_2SO_4)	45-75 กรัม/ลิตร	60 กรัม/ลิตร
		(32.6 ซี.ซี./ลิตร)
คลอไรด์ไอออน (Cl^-)	15-18 ม.ก./ลิตร	20 ม.ก./ลิตร
น้ำยาเงา Levco EX	1-4 ม.ล./ลิตร	1.5-2.5 ม.ล./ลิตร
ตัวล่อ ฟอสฟอไรซ์คอปเปอร์		
อุณหภูมิ	20-32°C.	25°C.
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	2-6 แอมแปร์/ตร.ซม.	3-4 แอมแปร์/ตร.ซม.
กวนน้ำยาค่อยๆจนกระทั่งทำการชุบ		

1) การผสมน้ำยา

- 1.1) ใส่น้ำกลั่นหรือน้ำที่ผ่านการกรอง ประมาณ 2/3 ของความจุของถังให้ความร้อน
- 1.2) ใส่คอปเปอร์ซัลเฟตทีละน้อย กวนน้ำยาตลอดเวลาเพื่อให้คอปเปอร์ซัลเฟตละลาย
- 1.3) ใส่ผงถ่าน (Activated Carbon) 2 กรัมต่อน้ำยา 1 ลิตรกวนน้ำยาตลอดเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้ผงถ่านตกตะกอนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง
- 1.4) กรองน้ำยาให้สะอาด
- 1.5) ใส่กรดกำมะถันอย่างช้า และกวนน้ำยาตลอดเพื่อให้กรดกำมะถันผสมเข้ากับน้ำยา
- 1.6) เติมน้ำยาเงา Levco EX 2.5 ม.ล./ลิตร (2.5 ซี.ซี. ต่อน้ำยา 1 ลิตร)
- 1.7) เติมน้ำให้เต็มตามปริมาตรที่ต้องการ

2.4.5 ปัญหาในการชุบ

1) ล้างชิ้นงานไม่สะอาด

- 1.1) ชิ้นงานผิวจะหยาบและอาจเป็นเม็ดๆ (Roughness & Pitting)
- 1.2) การเกาะจับจะไม่ติดแน่น (Poor Adhesion)

2) น้ำยาเงาน้อยเกินไป

- 2.2) ความเงาจะเงาไม่เต็มที่
- 2.3) อาจเกิดการไหม้บนผิวชิ้นงาน
- 2.4) ผิวงานจะหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) น้ำยาเงามากเกินไป
 - 3.1) การเกาะจับไม่ดี (Coarse Deposit)
 - 3.2) กำลังการเคลือบไม่ดี (Poor Coverage)
- 4) ถ้าคอปเปอร์ซัลเฟตต่ำกว่า 170 กรัม/ลิตร
จะทำให้ชิ้นงานเกิดการไหม้บริเวณที่ได้รับกระแสไฟสูง
- 5) ถ้ากรดกำมะถันต่ำกว่า 30 กรัม/ลิตร
 - 5.1) การเกาะจับไม่ดี
 - 5.2) ผิวขรุขระหยาบ
 - 5.3) กำลังการเคลือบไม่ดี
- 6) ถ้ากรดกำมะถันสูงกว่า 80 กรัม/ลิตร
 - 6.1) ความเงาจะลดลง
 - 6.2) ทำให้เกิดการไหม้บริเวณที่ได้รับกระแสไฟสูง
 - 6.3) ผิวงานจะหยาบๆ ขรุขระ
- 7) ถ้าอุณหภูมิของน้ำยาต่ำกว่า 20°C.
 - 7.1) ความเงาจะลดลง
 - 7.2) ผิวงานอาจไหม้บริเวณที่ได้รับกระแสไฟสูง
 - 7.3) ผิวงานหยาบ
- 8) ถ้าอุณหภูมิของน้ำยาสูงกว่า 32°C.
 - 8.1) ผิวงานจะค้ำบริเวณที่ได้รับกระแสไฟต่ำ
 - 8.2) กำลังการเคลือบไม่ดี
- 9) ถ้ามีโลหะชนิดอื่นปะปนในน้ำยาชุบ
 - 9.1) ความเงาจะลดลง
 - 9.2) ผิวงานอาจไหม้
 - 9.3) ผิวงานหยาบ
 - 9.4) การเกาะจับไม่ดี, ชุบติดไม่แน่น
 - 9.5) ผิวงานจะค้ำ, มีบริเวณกระแสไฟต่ำ
 - 9.6) กำลังการเคลือบไม่ดี
- 10) ถ้ากระแสไฟฟ้าสูงกว่า 3 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
 - 10.1) ความเงาของผิวชุบจะลดลง
 - 10.2) ผิวชุบจะหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) ถ้าใช้ตัวล่อไม่ถูกต้อง

ฝิวงานจะหยาบหรือฝิวเป็นเม็ด ทำให้ไม่สวยงาม

12) ถ้ากวนน้ำยาขณะทำการชุบเบาเกินไป

12.1) ความเงาจะลดลง

12.2) ฝิวงานอาจไหม้บริเวณที่ได้รับกระแสไฟสูง

12.3) ฝิวงานชุบจะหยาบ ไม่เรียบ

13) เมื่อฝิวงานชุบแล้วเกิดการไหม้, ฝิวหยาบและฝิวชุบด้านบริเวณที่ได้รับกระแสไฟฟ้า

จะต้องใส่ผงคาร์บอน 2 กรัม/ลิตร แล้วกวนน้ำยาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้

ตกตะกอน แล้วกรองน้ำยาให้สะอาด เติมน้ำยาเก่าเข้าไปใหม่

ตารางที่ 2.4 ส่วนผสมน้ำยาชุบทองแดงเงาตามสูตรที่ใช้ น้ำยาเก่า UBAC

สารเคมี	ส่วนผสมโดยประมาณ	มาตรฐาน
คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	180-240 กรัม/ลิตร	225 กรัม/ลิตร
กรดกำมะถัน (H_2SO_4)	24-33 ม.ล./ลิตร	30 ม.ล./ลิตร
น้ำยาเก่า UBAC # 1 A	1.5-2.5 ม.ล./ลิตร	2 ม.ล./ลิตร
คลอไรด์ไอออน (Cl^-)	20-80 ม.ล./ลิตร	30 ม.ล./ลิตร
ใช้กรดเกลือเข้มข้น	0.05-0.20 ม.ล./ลิตร	
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	3-6 แอมแปร์/ตร.ดซม.	3-6 แอมแปร์/ตร.ดซม.
แรงเคลื่อน	3-8 โวลท์	3-8 โวลท์
อุณหภูมิ	24-40 ^o ซ.	24-40 ^o ซ.
ตัวล่อ	ฟอสฟอไรซ์คอปเปอร์	ขนาด 200 กรัม
ถุงใส่ตัวล่อใช้ผ้าทนกรด	ผ้าทนกรด	12 × 5 ตร.ซม.
กวนน้ำยาขณะทำการชุบ	1 ลิตร	1 ลิตร

14) การบำรุงรักษาและควบคุมน้ำยา

การบำรุงรักษาและควบคุมน้ำยาให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ นั้น กระทำได้โดยการนำน้ำยาไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดกำมะถันและคอปเปอร์ซัลเฟต แต่ถ้าหากไม่มีอุปกรณ์วิเคราะห์ก็สามารถควบคุมน้ำยาได้โดยวิธีควบคุมความหนาแน่นของน้ำยา โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ขนาด 0 ถึง 70 องศาโบเม่ จุ่มในน้ำยา และปล่อยให้ไฮโดรมิเตอร์ลอยอยู่ในน้ำยาชุบ แล้วอ่านค่าตัวเลขจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรมิเตอร์ ตรงตัวเลขที่พอดีกับระดับน้ำยา ตัวเลขที่บอกระดับความหนาแน่นของ น้ำยานี้มีหน่วยเป็นองศาโบเม่ (Baume) เมื่อทราบจำนวนองศาโบเม่แล้ว ก็เทียบกับตาราง เปรียบเทียบ โดยดูตารางช่ององศาโบเม่ แล้วดูตารางด้านขวา ซึ่งบอกความเข้มข้นของกรดกำมะถันรวมกับ คอปเปอร์ซัลเฟต โดยปกติ น้ำยาชुบทองแดงเงา (แบบกรด) จะมีความหนาแน่นประมาณ 19 ถึง 22 องศาโบเม่ ถ้าหากต่ำกว่านี้ก็ต้องปรับ โดยการเติมคอปเปอร์ซัลเฟต ส่วนกรดกำมะถันอาจ ตรวจสอบโดยวัดค่าพี.เอช.ปกติค่าพี.เอช.จะอยู่ระหว่าง 1 หรือต่ำกว่า แต่ถ้าหากจะให้ค่าที่แน่นอนจะต้องวิเคราะห์

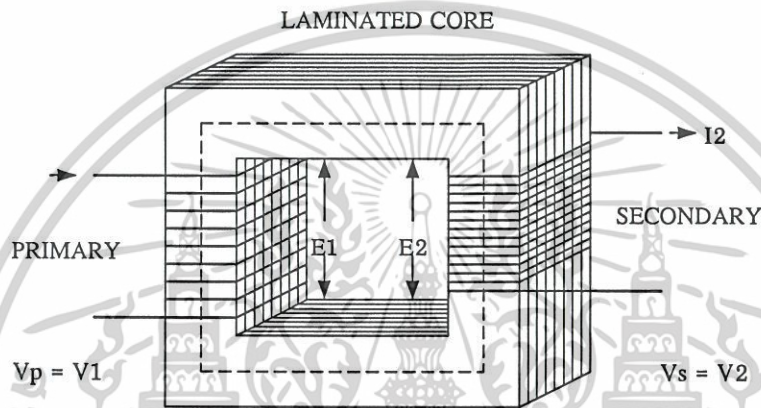
2.5 หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งในการเพิ่มหรือลด (Step up or step down) ระดับของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force = e.m.f.) จากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง โดยที่มีข้อแม้ว่า ระดับของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปได้นั้นต้องเกิดจากกระแสไฟสลับ (Alternating Current = a.c.) ดังนั้นจึงนำคุณสมบัตินี้ไปใช้ประโยชน์ในระบบสายส่ง (Transmission Line) เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าจำนวนมากไปสู่สถานที่ซึ่งอยู่ไกลมากได้ โดยการทำให้มีระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงมากๆ ทั้งนี้เพื่อประหยัดขนาดของสายไฟและเสาแรงสูงซึ่งเป็นส่วนสำคัญในระบบสายส่งที่ต้องลงทุนมาก มีบางประเทศ เช่น ในยุโรป หรืออเมริกาได้ ทำการส่งแรงเคลื่อน ไฟฟ้าสูงถึง 230 KV ไว้ใช้ในระบบสายส่งและได้สร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงถึง 1,500 KV เพื่อใช้ในการทดสอบบางอย่าง เช่นการทดสอบความสามารถต้านทานแรงเคลื่อนไฟฟ้าของลูกถ้วยหรือที่ใช้ น้ำมันเป็นตัวฉนวน ซึ่งใช้เป็นตัวระบายความร้อนภายในหม้อแปลงที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงๆ ด้วย ปกติแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าได้ออกแบบไว้ใช้งานให้มีค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่สม่ำเสมอที่ค่าของ Load ต่างๆ กัน แต่ก็มีหม้อแปลงอีกชนิดหนึ่งได้ออกแบบให้มีค่าของกระแส ไฟฟ้าคงที่ (Constant Current) ที่ load หนึ่งๆ เมื่อเปลี่ยนไป แต่ที่ขั้วของหม้อแปลงนี้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไปตาม Load หม้อแปลงชนิดนี้ต้องต่ออนุกรมเข้ากับวงจรเพื่อใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงๆ ได้ โดยที่ตัวมันจะได้ลดกระแสไฟที่สูงๆลงแล้วต่อเข้ากับ a.c.Ampmeter อีกทีหนึ่งหรือใช้กับเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter) ก็ได้

2.6 หลักการของหม้อแปลง

หม้อแปลงประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดที่พันอยู่บนแกนเหล็ก ดังรูปที่ 2.16 ชุดที่ต่อไปยังแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเรียกว่าชุดปฐมภูมิ (Primary Winding) โดยที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมอยู่ V_p (V_1) volts อีกชุดหนึ่งต่อไปยังภาระทางไฟฟ้า (load) เรียกว่าชุดทุติยภูมิ (Secondary Winding) โดยมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมที่ load เป็น V_s (V_2) volts จำนวนของขดลวดทาง Primary และ Secondary มีจำนวนรอบเป็น N_p (N_1) และ N_s (N_2) ตามลำดับ ดังนั้นด้านที่รับกำลังไฟฟ้าอาจจะเป็นด้านแรงต่ำหรือแรงสูงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เมื่อหม้อแปลงได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_p volts เข้าไปที่ขด Primary (Pri.) จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_s ทางด้าน Secondary (sec.) (รูปที่ 2.16) ขึ้นถึงแม้ว่าจะไม่มี load มาต่อก็ตาม ในกรณีเช่นนี้ $V_s = E_2 = V_2$



รูปที่ 2.16 หลักการเบื้องต้นของหม้อแปลง

2.6.1 อัตราส่วนของแรงเคลื่อนและกระแสไฟ (Voltage and Current Ratio)

จากรูปเมื่อมี Load มาต่อทางด้าน sec. ทำให้เกิดกระแส I_s ไหลอยู่ทางด้าน sec. และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อม Load = V_s ($V_s \neq E_2$) ส่วนทางด้าน Primary นั้นก็มีกระแส I_p และแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_p ออกมาจาก Source เมื่อทำการสังเกตต่อไปก็พบว่าอัตราส่วน V_p/V_s นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนของ N_p/N_s และมีค่าใกล้เคียงกับส่วนกลับของอัตราส่วน I_p/I_s นั่นก็คือ $V_p I_p$ มีค่าใกล้เคียงกับ $V_s I_s$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ I_s เกิดขึ้นทาง sec. นั้นมีผลทำให้ I_p เปลี่ยน นั่นคือ

$$V_p I_p \propto V_s I_s \quad (2.1)$$

เส้นแรงส่วนใหญ่ (ϕ) นี้คือลิงก์ (Link) ขดลวดของ Pri. และ Sec. ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นทั้ง 2 ขด (E_1 และ E_2) ซึ่งค่าของแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้เป็นสัดส่วนกับจำนวนรอบของขดลวดแต่ละขด ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ตามกฎของการเหนี่ยวนำดังสมการ (2.2)

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.2)$$

เมื่อ $e =$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นในขณะใดขณะหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N = จำนวนรอบของขดลวดที่ได้รับอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยเวลา

$$\frac{d\phi}{dt} = \text{อัตราเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยเวลา}$$

นั่นคือ = อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของหม้อแปลง (Transformer Ratio)

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.3)$$

เมื่อ E_1 และ E_2 คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวด Pri. และ Sec. ตามลำดับ N_p และ N_s ก็คือจำนวนรอบขดลวดทาง Pri. และ Sec. เช่นกัน สำหรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วของ Pri. และ Sec. ทั้ง 2 ข้างนั้น แตกต่างจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ฉะนั้นจึงไม่ทำให้ Vector ของ V_p และ V_s มีมุมแตกต่างไปจาก Vector ของ E_1 และ E_2 มากนัก ดังนั้นถ้าหากจะพิจารณาว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้ว (Terminal Voltage) นั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ จำนวนขดลวดของแต่ละด้านโดยประมาณแล้ว ก็จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ 2.4

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \text{Transformation Ratio} \quad (2.4)$$

ถ้าหากว่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากภายในหม้อแปลงนั้นมีเป็นจำนวนเล็กน้อยก็ตัดค่าที่เสียนั้นทิ้งไปได้ นั่นก็คืออาจพิจารณาได้จากกำลังที่ได้รับ (Power Output) กับกำลังที่ใส่เข้าไป (Power Input) มีค่าเท่ากันนั่นก็คือ

$$V_p I_p \cos \theta_p = V_s I_s \cos \theta_s \quad (2.5)$$

ค่า $\cos \theta_s$ นั้นหาได้จากชนิดของ load แต่เนื่องจากว่า Power Factor ของทาง Pri. และ Sec. มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย ฉะนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า

$$V_p I_p = V_s I_s \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.7)$$

จาก (2.7) ได้

$$I_p N_p = I_s N_s \quad (2.8)$$

หม้อแปลงนี้จะทำหน้าที่ต่อเมื่อไฟที่ใส่ไปทางด้าน Pri. นั้นเป็นไฟสลับหรือไฟที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะๆ (Pulse) ถ้าเป็นไฟตรงก็เป็นแบบที่มีการกระเพื่อมขึ้นลง (Fluctuating) หรือมีละมุนก็ให้มีการเปิดปิดไฟตรงด้วยอัตราเร็วอัตราใดอัตราหนึ่งหรือหลายอัตราก็ได้ จึงจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นทาง sec. อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux Change) ฉะนั้นถ้าไฟตรงที่ใส่เข้าไปทาง Pri. มีค่าคงที่ตลอดเวลาจะทำให้ไม่มีไฟเกิดทาง Sec. ดังนั้นจึงทำหม้อแปลงให้มีลักษณะเด่นในการเปลี่ยนค่าของแรงเคลื่อนและกระแสไฟ ในวงจรกระแสสลับเท่านั้น

2.6.2 ทฤษฎีการทำงาน

เพื่อความเข้าใจง่ายในทฤษฎีการทำงานของหม้อแปลง จึงใคร่ที่จะเริ่มต้นจากทฤษฎีที่ได้วางแนวคิด (Concept) ที่เป็นพื้นฐานไว้ก่อน ฉะนั้นจึงจะกล่าวถึงหม้อแปลงไฟฟ้าตามความคิด (Ideal Transformer) หม้อแปลงชนิดนี้ ไม่คิดค่าการสูญเสียต่างๆ (Loss) ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง ดังนั้นจึงเป็นการวาดภาพพจน์ของหม้อแปลงไฟชนิดนี้ในความคิดเท่านั้น

หม้อแปลงไฟฟ้า ตามความคิดหรือตามอุดมคติ (Ideal Transformer) ทำให้เกิดมีหลักการทำงานดังรูปที่ 2.16

คือเมื่อจ่ายไฟ V_p เข้าไปทำให้เกิดกระแส I_p กระแสนี้ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กแม่เหล็กทั้งหมดคือ Φ เส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำขดลวดของมันเองและขดลวดทุติยภูมิให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็น E_1 และ E_2 ขึ้นพร้อมๆ กันนั่นคือ E_1 และ E_2 ที่เกิดขึ้นเป็นไปตามกฎของ Lenz และ Faraday ตามลำดับ นั่นคือ $V_p = E_1$ และ $V_s = E_2$

เมื่อใส่ไฟกระแสสลับ V_p เข้าทางด้านปฐมภูมิทำให้มีกระแส I_p ไหลผ่านขดลวดนี้ไปยังวงจรภายนอก (วงจรภายนอกนี้คือ ตัวจ่ายไฟหรือ Source ของวงจรนั่นเอง) ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux) Φ_1 ขึ้นที่ขดลวด Primary

Φ_1 นี้ประกอบด้วย Mutual flux (Φ_{1m}) และ Leakage Flux (Φ_l) ขณะที่ Φ_1 เปลี่ยนแปรไปตามการเปลี่ยนของกระแสทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ e.m.f.(Electromotive Force) ขึ้นภายในขด Pri. และมีทิศทางตรงข้ามกับ V_p (ตามกฎของ Lenz) ให้ไฟที่จ่ายเข้าไปเป็น Sinusoidal Waveform เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น ϕ_1 เป็น Sine Wave ด้วย (ไม่คิด Loss ต่างๆ และ Lag impressed Voltage V_p ไป 90°) นั่นคือ

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \phi_{1max} \cos \omega t = \phi_{1m} + \phi_1 \\ \text{ตามกฎของ Lenz ได้ } e_1 &= -N_1 \frac{d\phi_1}{dt} \\ E_1 &= N_1 \omega \phi_{1max} \sin \omega t \quad (2.9) \\ E_{1max} &= N_1 \omega \phi_{1max} \quad (\sin \omega t = 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{N_1 2\pi f_1 \phi_{1max}}{\sqrt{2}} \\ E_1 &= 4.44 N_1 f_1 \phi_{1max} \quad (2.10) \end{aligned}$$

เมื่อ E_1 = Effective Value หรือ r.m.s. value ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้น ใน Primary และมีทิศทางตรงกันข้ามกับ V_p (โวลต์)

= Back e.m.f. (โวลต์)

N_1 = จำนวนขดลวดทาง Primary (รอบ)

f_1 = ความถี่ไฟสลับที่จ่ายให้ขดลวด Pri. (รอบ/วินาที = Hz)

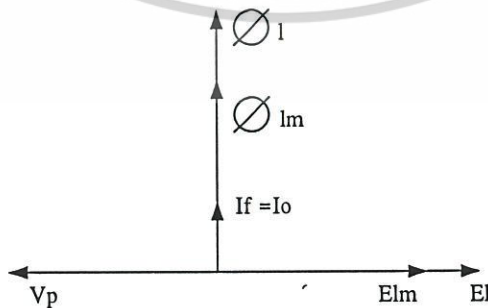
ϕ_{1max} = Flux ทั้งหมดที่เกิดทางด้าน Primary ขณะที่มีค่าสูงสุด (เวเบอร์)
(1 Weber = 10^8 lines)

ϕ_{1m} = เส้นแรงแม่เหล็กร่วมที่ขดปฐมภูมิ (Primary Mutual Flux) (เวเบอร์)

ϕ_m = เส้นแรงแม่เหล็กร่วมที่เกิดทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (Mutual Flux)
= ϕ_{1m}

แรงเคลื่อนไฟฟ้า E_1 นี้ประกอบด้วย E_{1m} และ E_1 ซึ่งเกิดจาก ϕ_{1m} และ ϕ_1 ทั้ง E_{1m} และ E_1 นี้

Inphase กันดังรูป 2.17



รูปที่ 2.17 การเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับ Ideal Transformer เมื่อไม่มี load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{1m} + E_{1l} = V_p \tag{2.10}$$

เมื่อ E_{1m} = การเหนี่ยวนำที่เกิดจาก Mutual Flux

E_{1l} = การเหนี่ยวนำที่เกิดจาก Self Inductance หรือเส้นแรงแม่เหล็กรั่ว (Leakage Flux)

สำหรับทางทุติยภูมิ (Secondary Winding) นั้นก็เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_2 ขึ้น ในขณะเดียวกันกับที่ E_1 เกิดขึ้นและมีทิศทางไปทางเดียวกันด้วยแต่ E_2 นี้เกิดจาก ϕ_m เท่านั้น ดังนั้นขนาดของ E_2 จึงขึ้นอยู่กับจำนวน N_2 และ ϕ_m ที่มาคดลองขดลวด secondary E_2 ที่เกิดขึ้นนี้ เกิดขึ้นตามกฎของ faraday

$$E_2 = 4.44 N_2 f_1 \phi_{m \max} \tag{2.11}$$

เมื่อ E_2 = Induce e.m.f. ทาง Secondary = V_s (เมื่อ No Load)

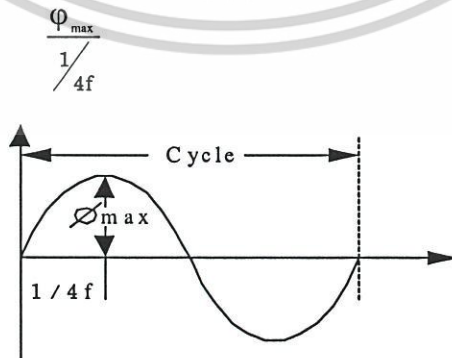
$\phi_{m \max}$ = Maximum Mutual Flux ที่มา Link หรือคดลองขดทุติยภูมิ (sec.)

= $\phi_{1 \max}$ (สำหรับ Ideal Tranformer)

N_1 = จำนวนรอบของขดลวดทางด้าน Secondary ขณะ No Load นี้ก็จะได้ ความสัมพันธ์ของกระแสดังนี้

I_p = I_o (No Load Current) = I_ϕ (Magnetizing Current) โดยที่ I_ϕ นี้ lag V_p ไป 90° และ Inphase กับ ϕ_m , ϕ_m (เมื่อเป็นหม้อแปลงตามอุดมคติ) ขณะที่ทาง Secondary ไม่มี Load นั้น $I_p = I_o$ แต่เมื่อมี load เพิ่มขึ้น I_p ไม่เท่ากับ I_o แล้ว แต่ I_o ก็ยังคงที่อยู่ตลอดเวลาแม้ว่า Load ทาง Secondary จะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม

ในการหาสมการการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงนี้ สามารถหาได้จาก คำจำกัดความของ Faraday ได้เช่นเดียวกัน โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ Flux ที่เกิดขึ้นต่อหน่วย เวลา จากการพิจารณารูปของ Sine Wave พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กจาก 0 ถึง ค่าสูงสุดคือ ϕ_{\max} ภายในเวลา $1/4f$ วินาที ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงเวลา $1/4f$ สำหรับ ตัวนำ 1 รอบ มีค่าเท่ากับ



รูปที่ 2.18 Flux Wave ที่เปลี่ยนแปลงไปตามกำลังไฟที่เป็น Sine ภายในหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Sine wave นั้นมีค่า form factor = 1.11

$$\text{Form Factor} = 1.11 = \frac{\text{R.M.S value}}{\text{average value}}$$

เพราะฉะนั้น R.M.S. value of N turn = $4.44 N f \phi_{m \max}$ จะเห็นได้ว่าสมการ e.m.f. ของ (2.9) (2.11) มีสูตรเช่นเดียวกัน

2.6.3 หม้อแปลงตามความเป็นจริง

เพื่อความง่ายต่อความเข้าใจทฤษฎีการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าจึงทำการแยกแยะออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1) คัดการสูญเสีย (Loss) ที่เกิดจากการสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core Loss) ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการรั่วของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Leakage) และกำลังไฟฟ้าที่เสียไปที่ขดลวด (Copper Loss) ในขดลวดตัดทิ้งไป

2) ไม่คิดการรั่วของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Leakage) อย่างเดียว

3) คัดค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด (Core loss + Copper Loss + Magnetic Leakage)

ทั้ง 3 ขั้นตอนข้างบนนี้จะต้องพิจารณาเมื่อตอนหม้อแปลงไฟไม่มีภาระ (No Load) และตอนที่รับภาระ (On Load)

2.6.4 การแยกส่วนที่สูญเสียในแกนเหล็ก

ส่วนที่สูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) ของหม้อแปลงนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของไฟที่จ่ายให้กับหม้อแปลงและยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเหล็กนั้นๆ ในเมื่อปริมาตรและความหนาของแกนเหล็กแต่ละแผ่นได้กำหนดไว้แล้วอย่างไร ก็ที่ส่วนที่สูญเสียในแกนเหล็กนี้มีอยู่สองอย่างคือ

1) เสียไปเนื่องจาก Hysteresis $W_h = 3f(1.6/B_{\max})$

2) เสียไปเนื่องจากกระแส Eddy $W_e = 4B_{\max}^2 f^2$

เมื่อ 3 และ 4 เป็นค่าคงที่

B_{\max} เป็นความหนาแน่นสูงสุดของเส้นแรงแม่เหล็ก

F เป็นความถี่ของที่จะแปรเปลี่ยนของเส้นแรงแม่เหล็ก อันสืบเนื่องมาจากไฟที่ หม้อแปลงได้รับนั่นคือส่วนที่สูญเสียทั้งหมดในแกนเหล็ก $W_l = W_h + W_e$

ดังนั้นเมื่อต้องการหาค่าคงที่ของ 3 และ 4 ก็ทำได้โดยใส่ไฟที่มีความถี่ต่างกันสองความถี่เข้าไปที่หม้อแปลง โดยที่ให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่แล้ววัดค่าที่ สูญเสียทั้ง

สองครั้งจากวัตต์มิเตอร์ ก็ทำให้คำนวณหาค่า 3 และ 4 ได้ดังนั้นก็ทำให้คำนวณหาค่าสูญเสียของแต่ละอย่างได้

2.6.5 การทดสอบการลัดวงจรของหม้อแปลง (Short Circuit or Impedance Test)

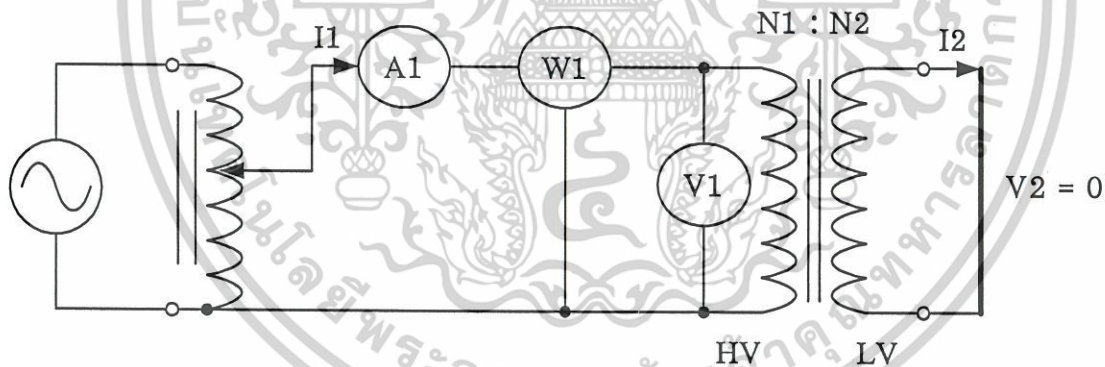
การทดสอบแบบนี้เป็นวิธีที่ประหยัดอย่างหนึ่งในการหาสิ่งต่างๆ เหล่านี้

1) Impedance สมมูลย์ (Z_{01} หรือ Z_{02}) Leakage Reactance (X_{01} หรือ X_{02}) และความต้านทานสมมูลย์ (R_{01} หรือ R_{02}) ของหม้อแปลงที่คิดทางด้านที่ใส่มิเตอร์ต่างๆ เข้าไปวัดทางด้านนั้น

2) ส่วนสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดทองแดง (Cu Loss) ที่พิกัดของภาระ (หรือที่ load ใดๆ ก็ได้ที่ต้องการ) ส่วนสูญเสียที่หาได้นี้ ใช้สำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงด้วย

3) สามารถคำนวณหา Regulation ของหม้อแปลงได้ จากการศึกษาของ Z_{01} หรือ Z_{02} ทำให้รู้ว่าแรงเคลื่อนที่หายไปทั้งหมด เมื่อคิดทางด้านรับไฟหรือจ่ายไฟเป็นค่าเท่าใด

ในการทดสอบนี้ โดยปกติแล้วมักทำการลัดวงจรทางด้านไฟต่ำโดยใช้ขดลวดทองแดงขนาดใหญ่ลัดวงจรหรืออาจใช้แอมมิเตอร์เป็นตัวลัดวงจรแทนก็ได้ เพื่อให้เห็นกระแสที่พิกัดในขณะลัดวงจร



รูปที่ 2.19 การลัดวงจรของหม้อแปลงเข้ากับเครื่องวัดต่างๆ (A_1 , V_1 , W_1) ของการทดสอบในขณะลัดวงจรของหม้อแปลง

การทดลองนี้ทำได้โดยการค่อยปรับแรงเคลื่อนไฟ V_1 จาก Variac โดยเริ่มจาก 0 โวลต์ จนกระทั่งทำให้ A_1 อ่านค่ากระแสได้ตามพิกัด (Rate Current) ของทางด้าน H.V. (หรือ $I_2 =$ พิกัดของกระแสถ้าหากว่าใส่แอมมิเตอร์เข้าไปลัดวงจรทางด้าน L.V.) โดยปกติแล้ว V_1 มีค่าประมาณ 5 ถึง 10% ของแรงเคลื่อนไฟที่หม้อแปลงได้รับตามความถี่ปกติที่ความถี่ของไฟค่าเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากว่าการทดลองนี้หม้อแปลงได้รับไฟที่ใส่เข้าไปต่ำเมื่อเทียบกับระดับไฟที่ได้รับตามปกติ ดังนั้นจึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่คล้องขดลวดทั้งสองด้านมีค่าต่ำ ฉะนั้นค่าของการสูญเสียในแกนเหล็กจึงมีค่าน้อยมาก นั่นคือค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์จึงเป็นค่าที่เกิดจากการสูญเสียทั้งหมดของหม้อแปลงอันเนื่องมาจากความต้านทานของขดลวดทั้งสองด้าน ($I_1^2 R_{01}$ หรือ $I_2^2 R_{02}$)

(a) แยกค่า R_1, R_2 และ X_1, X_2 เมื่อ R_2 และ X_2 เป็นค่าสมมูลของความต้านทานและ Reactance ของทาง L.V. ที่นำมาคิดทาง H.V.

(b) รวมค่า R_1 กับ R_2 เข้าด้วยกันเป็น R_{01} และรวม X_1 กับ X_2 เข้าด้วยกันเป็น X_{01}

จากรูป 2.19 ค่าที่วัดได้ V_1, W_1 และ A_1 มีค่าเป็น V_{sc}, W_{sc} และ I_{sc} ตามลำดับ ค่าที่ได้นี้้นำไปคำนวณหาค่า R_{01}, X_{01}, Z_{01} ได้ดังนี้

$$W_{sc} = I_{sc}^2 R_{01} \tag{2.12}$$

$$R_{01} = W_{sc} / I_{sc}^2 \tag{2.13}$$

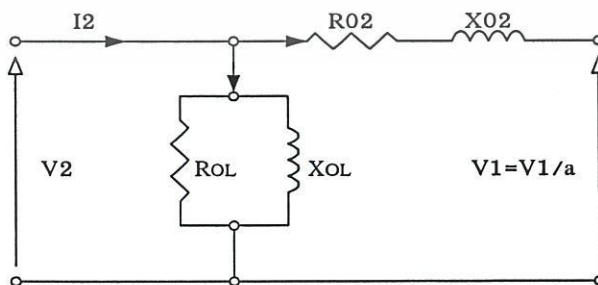
แต่ $Z_{01} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \tag{2.14}$

และ $Z = R_{01}^2 + X_{01}^2 \tag{2.15}$

$$X_{01} = \sqrt{Z_{01}^2 - R_{01}^2} \tag{2.16}$$

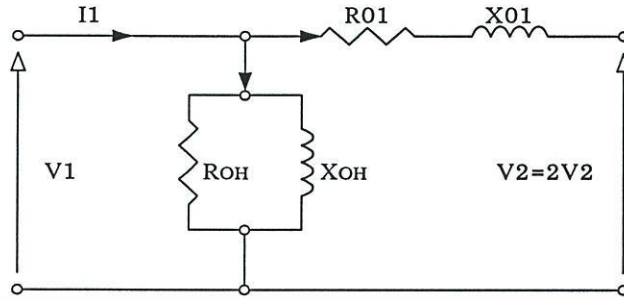
จากรูปเห็นได้ชัดว่า $V_1 = V_{sc}$ ก็คือแรงเคลื่อนไฟทั้งหมดที่ตกคร่อมหรือหายไปของ ขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงนั่นเอง

จากทดสอบแบบเปิด และลัดวงจรนี้จึงทำให้ได้วงจรสมมูล โดยประมาณของหม้อแปลงทั้งสองตัวดังรูป 2.20 ซึ่งคิดทางด้าน L.V. หรือรูป 2.21 ซึ่งคิดทางด้าน H.V. อย่างไรก็ตามถ้ารู้ค่า R_1 หรือ R_2 ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งได้จากการวัดโดยใช้วิธีโวลต์แอมป์แล้ว ก็จะทำให้คำนวณหาค่าของ R ของหม้อแปลงที่อยู่อีกด้านหนึ่งที่ยังไม่ได้วัดได้



รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลโดยประมาณของหม้อแปลงทั้งตัวเมื่อคิดทางด้าน L.V.

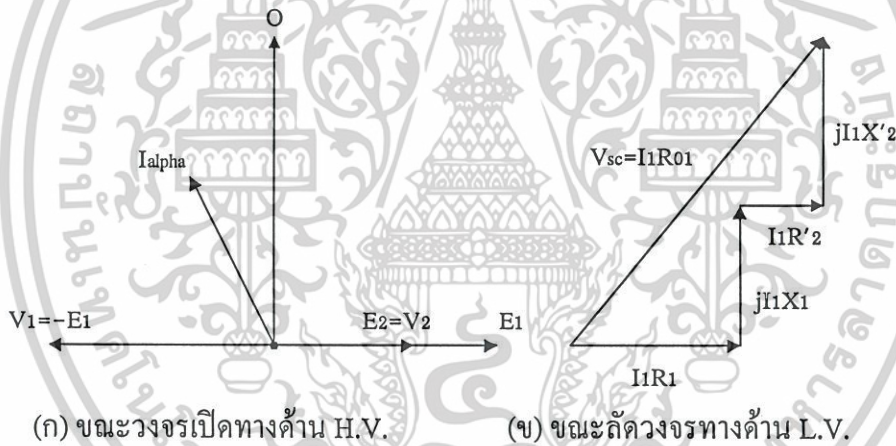
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 วงจรสมมูลย์โดยประมาณของหม้อแปลงทั้งตัวเมื่อคิดทางด้าน H.V.

เมื่อ $a = \frac{N1}{N2} \approx \frac{V1}{V2}$, $R_{OH} = R_{OL} \times a^2$ และ $X_{OH} = X_{OL} \times a^2$

สำหรับเวกเตอร์จากการทดลองนี้เขียนได้ดังรูป 2.22 (a) และ (b) เขียนตามรูป 2.18



รูปที่ 2.22 รูปเวกเตอร์ของหม้อแปลงที่ได้จากการทดสอบ

2.6.6 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

มีคำจำกัดความไว้เช่นเดียวกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดต่างๆ นั่นคือไฟที่จ่ายออกไปต่อไฟที่รับเข้ามาต้องมีหน่วยเหมือนกันทั้งบนและล่าง นั่นคือมีหน่วยเป็นวัตต์หรือกิโลวัตต์ก็ได้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = [\text{Output (Watt)} / \text{Input (Watt)}]$$

$$= \text{Output (Watt)} / \text{Input (Watt)} \times 100$$

เนื่องจากหม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งเคลื่อนไหวทางกล ดังนั้นจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงไม่นิยมการวัดไฟที่รับกับไฟที่จ่ายไปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงทั้งนี้เพราะทั้งสองค่านี้มีค่าใกล้เคียงกันมากดังนั้นจึงมีวิธีที่ดีก็คือหาส่วนที่สูญเสียของหม้อแปลงทั้งหมดแล้วก็ทำการคำนวณออกมาอีกทีหนึ่งจากสมการข้างล่าง

$$\text{ประสิทธิภาพ} = (\text{Output}) / (\text{Output} + \text{กำลังไฟที่เสียไป}) = (\text{Output}) / (\text{Output} + \text{Losses})$$

$$= (\text{Output}) / (\text{Output} + \text{Cu loss} + \text{Core Loss})$$

หรือ

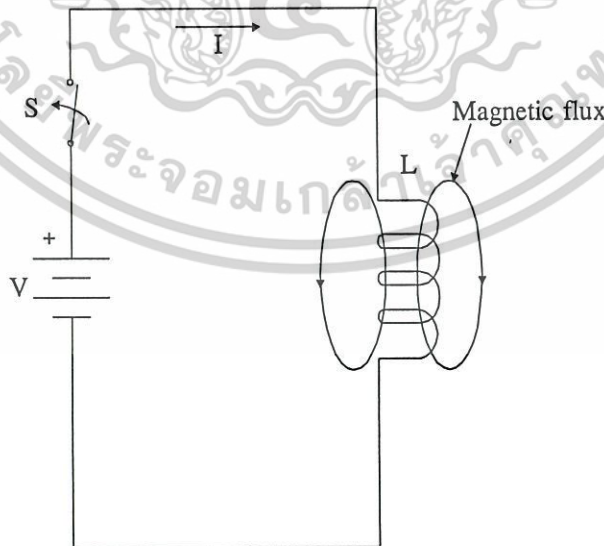
$$= (\text{Input} - \text{ไฟที่เสียทั้งหมด}) / \text{ไฟที่รับ} = (\text{Input} - \text{Loss}) / \text{Input}$$

$$= 1 - (\text{ไฟที่เสียทั้งหมด} / \text{Input}) = 1 - (\text{Losses} / \text{Input})$$

จากที่กล่าวมานี้อาจจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพนั้น ขึ้นอยู่กับกำลังไฟที่เป็นวัตต์ไม่ใช่โวลต์-แอมป์ แม้ว่ากำลังไฟที่เสียไปทั้งหมดนั้น จะขึ้นอยู่กับ โวลต์-แอมป์ก็ตาม ดังนั้นประสิทธิภาพของมันจึงขึ้นอยู่กับ Power Factor (p.f.) ด้วย ไม่ว่าจะที่ โวลต์ - แอมป์ ใดๆ ก็ตาม

2.7 ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า

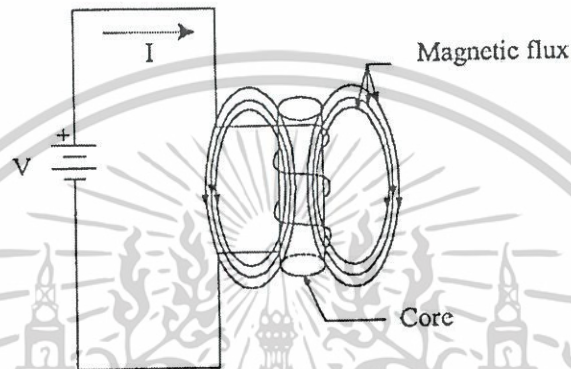
พิจารณาวจรไฟฟ้าอย่างง่าย ในรูปที่ 2.23 ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน V สวิตซ์ S และโหลด L ซึ่งโหลดในที่นี้ใช้ขดลวดแกนอากาศ ถ้าสวิตซ์ S ปิดวงจรทันทีทันใดกระแส I ก็จะไหลผ่านขดลวด ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขดลวด และเชื่อมโยงกัน เราเรียกว่า ฟลักซ์และเรียกเส้นของสนามแม่เหล็กว่า ฟลักซ์เชื่อมโยง



รูปที่ 2.23 ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแส I ไหลผ่านแกนอากาศ

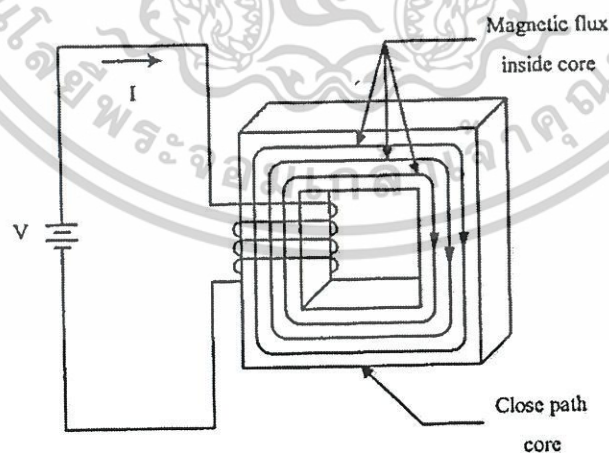
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นนี้ยังไม่แข็งแรงเมื่อเราเอาแท่งวัสดุแม่เหล็กเข้าไปในขดลวดดังแสดงในรูปที่ 2.24 สนามแม่เหล็กจะถูกเหนี่ยวนำเข้าไปยังวัสดุแม่เหล็กนั้นและสร้างฟลักซ์ให้เกิดมากขึ้น ฟลักซ์เชื่อมโยงก็จะใช้วัสดุแม่เหล็กเป็นตัวเชื่อมโยงกับอากาศรอบทิศทาง



รูปที่ 2.24 สนามแม่เหล็กแข็งแรงขึ้นเมื่อใส่วัสดุแม่เหล็กลงในขดลวด

ถ้าแท่งวัสดุแม่เหล็กถูกสร้างให้เป็นแกนตรงกับเส้นทางเดินของฟลักซ์ ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กปรากฏอยู่ภายใน ดังรูป 2.25 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กแข็งแรงขึ้น



รูปที่ 2.25 การสร้างวัสดุแม่เหล็กให้เป็นแกนตรงกับเส้นทางเดินของฟลักซ์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับของฟลักซ์ที่เกิดขึ้นเรียกว่า ความหนาแน่นฟลักซ์หรือ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กโดยใช้ B เป็นสัญลักษณ์แทน ในทางกลับกันแรงทำให้เกิดแม่เหล็กนี้จะเป็นตัวทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งเรารู้จักกันดีในชื่อแรงสนามแม่เหล็กโดยใช้ H เป็นสัญลักษณ์แทนความแรงสนามแม่เหล็กหาได้ดังนี้

จากสูตร
$$H = \frac{(0.4\pi \times 4)}{l_i} \quad (2.17)$$

- เมื่อ N = จำนวนรอบ
- f = ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (At/m)
- I = ขนาดของกระแสที่ไหลผ่าน (A)
- l_i = ความยาวของแกน (cm)

ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์แม่เหล็กและแรงทำให้เกิดแม่เหล็ก เราเรียกว่าความซึมซาบได้

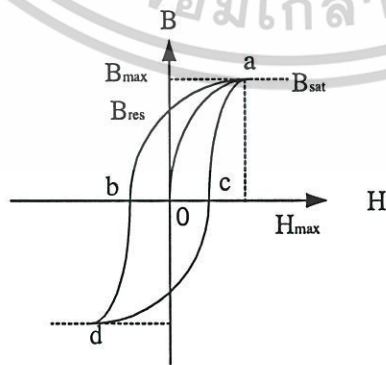
กำหนดให้
$$\mu = \frac{B}{H} \quad (2.18)$$

$$B = \mu H$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} NI}{l}$$

- เมื่อ μ = ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Wb/Atm)
- B = ความหนาแน่นของฟลักซ์ (Wb/m²)

2.7.1 ฮิสเตอร์รีซิสลูป



รูปที่ 2.26 กราฟฮิสเตอร์รีซิสลูปของแกนหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุแม่เหล็กทุกชนิดจะมีกราฟลักษณะสมบัติเป็นรูปร่างตัว S เรียกว่าฮิสเตอร์รีซิสลูปโดยฮิสเตอร์รีซิสลูปนี้สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ของ B-H

จากรูปที่ 2.26 จากกราฟฮิสเตอร์รีซิสลูปของแกน ซึ่งปรากฏช่องว่างในส่วนของฟลักซ์แม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อเริ่มพิจารณาที่จุด a บนเส้นกราฟ สังเกตได้ว่าขณะนี้จะได้ค่าแรงทำให้เกิดแม่เหล็กที่ได้ค่าสูงสุดและที่จุด b สังเกตได้ว่าขณะนี้จะได้ค่าแรงทำให้แม่เหล็กเท่ากับศูนย์ลงมาที่จุด c จะได้ค่าแรงทำให้เกิดแม่เหล็กที่ได้ค่าลบสูงสุดและกลับเป็นศูนย์อีกครั้งที่จุด d และเป็นค่าบวกสูงสุดอีกครั้งที่จุด a ครบเป็นลูปเกิดขึ้นคล้ายกับตัวอักษร S

จากรูปที่ 2.26 สามารถอธิบายความหมายของจุดต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนฮิสเตอร์รีซิสลูปได้ดังนี้

B_{max} คือ จุดที่ทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุด (Wb/m^2)

H_{max} คือ ค่าแรงทำให้เกิดแม่เหล็กสูงสุด (At/m)

B_{res} คือ จุดที่ฟลักซ์แม่เหล็กยังหลงเหลืออยู่ในขณะที่แรงทำให้เกิดแม่เหล็กมีค่าเท่ากับศูนย์ (Wb/m^2)

H_c คือ จุดที่ทำให้เกิดแม่เหล็กย้อนกลับเป็นศูนย์ (At/m)

และเมื่อย้อนกลับมาพิจารณาที่จุด a อีกครั้ง จะพบว่าไม่ว่าเราจะเพิ่มค่าของ H เท่าใดก็ตาม ก็ไม่สามารถที่จะทำให้ค่าของ B เพิ่มขึ้นตามได้ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิดการอิ่มตัว ใช้ตัวย่อว่า B_{sat}

ถ้าคิดช่องว่างอากาศที่เกิดขึ้นในแกน ก็จะเกิดส่วนของฟลักซ์ที่เรียกว่า Hybrid Flux Part ซึ่งจะเกิดหลังจากส่วนที่เรียกว่า Effective Length Of Magnetic Path ถ้ารับความซึมซาบของอากาศมีค่าเท่ากับ Effective Length Of Magnetic Path หาได้ดังนี้

$$\text{จากสูตร } I_e = I_l + \mu_i I_g \quad (2.19)$$

เมื่อ I_l = ความยาวของแท่งวัสดุแม่เหล็ก (cm)

I_g = ความยาวของส่วนของแม่เหล็กและช่องว่างอากาศ (cm^2)

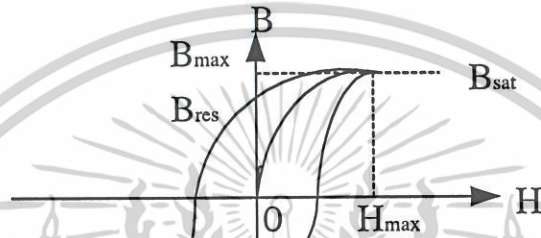
μ_i = ความซึมซาบได้ของวัสดุแม่เหล็ก ($Wb/At.m$)

$$B_i = \frac{(0.4\pi \times 4)}{(I_l + \mu I_g)} \quad (2.20)$$

จากกฎของแอมแปร์เกี่ยวข้องกับช่องว่างของแกน ความหนาแน่นของฟลักซ์ของแกน สามารถเขียนได้ดังนี้

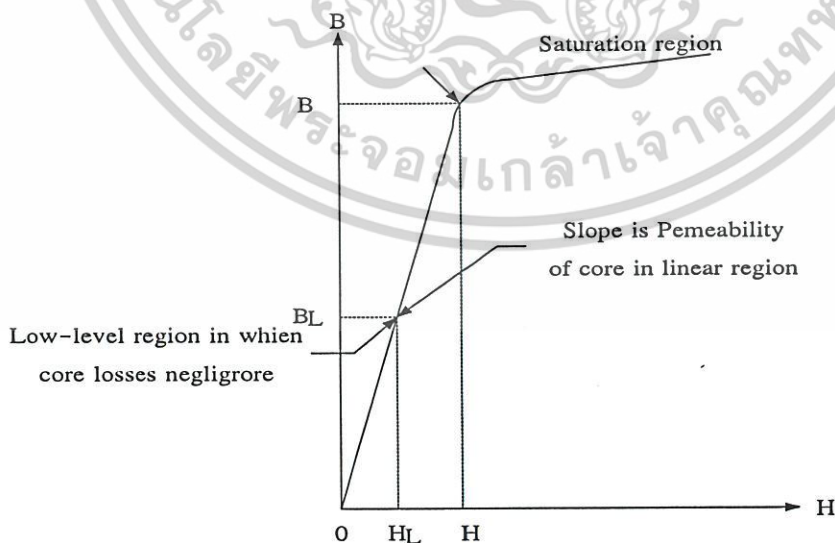
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.20 เป็นการแสดงความหนาแน่นของฟลักซ์ที่สำคัญมาก ซึ่งเป็นการกำหนดสถานะ Ampere-Turn (NI) ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์ของแกนที่มีช่องว่างอากาศ น้อยกว่าแกนที่ไม่มีช่องว่างอากาศ หรืออีกความหมายหนึ่ง B_{sat} ที่เกิดด้วยช่องว่างอากาศนั้นจะน้อยกว่า B_{sat} ที่ไม่มีช่องว่างอากาศ ดังนั้นช่องว่างอากาศที่มีอยู่ในวงจรแม่เหล็ก จึงเป็นเหตุให้เกิด ฮิสเตอร์รีซิสลูป “เอียง” ดังแสดงในรูปที่ 2.27 เมื่อลดค่าความอิมตัวของแกน ณ ขณะที่มี แรงกระทำแม่เหล็กสูงๆ



รูปที่ 2.27 ฮิสเตอร์รีซิสลูปของแกนที่มีช่องว่างอากาศ

จุดสำคัญที่จะสร้างแกนแม่เหล็ก จะต้องคำนึงถึง B-H ของวัสดุต่างๆ โดยพิจารณาจากกราฟ ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ช่วงที่เป็นเส้น และช่วงอิมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นกราฟนี้แสดงความชันของ B และ H ในบริเวณใต้เส้นโค้งดั่งนั้น ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นลักษณะเชิงเส้น ณ บริเวณระหว่างกระแสและฟลักซ์ที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นการสร้างทำให้ความซึมซาบได้ของแกนคงที่ด้วย

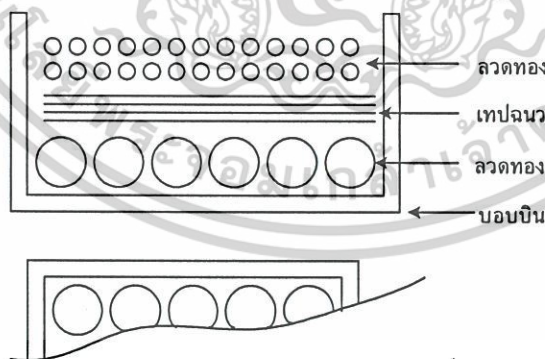
ในบริเวณ Low Level ของเส้นกราฟนี้ Core Losses สามารถตัดทิ้งไปได้ ดังนั้นอุณหภูมิของแกนจะต่ำ เนื่องจากเส้นโค้ง “Knee” นั้นเป็นส่วนที่อึดตัว ซึ่งในบริเวณนี้จะต้อง หลีกเลี่ยงสำหรับที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานประเภทเชิงเส้น

2.7.2 หม้อแปลงแบบการสวิตช์

หม้อแปลงแบบการสวิตช์จัดเป็นอุปกรณ์สำหรับเพาเวอร์สัพพลาย ผู้ออกแบบสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์สัพพลายจึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบที่เป็นไปได้ลักษณะต่างๆ ของหม้อแปลง การสวิตช์ความเหมาะสมในการใช้งาน การคำนวณขนาดแกนเฟอร์ไรต์และขนาดของขดลวดทองแดงรวมทั้งการกำหนดความเหมาะสมทางไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงแบบสวิตช์ขณะทำงาน

2.7.3 ส่วนประกอบของหม้อแปลงแบบการสวิตช์

หม้อแปลงแบบการสวิตช์มีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูงสุดได้ถึง 310 โวลต์ ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟต่ำที่เอาต์พุตและทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตที่ได้เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงแบบการสวิตช์แสดงไว้ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 รูปหม้อแปลงความถี่สูงและการพันขดลวดทองแดง

2.7.4 แกนเฟอร์ไรต์

แกนเฟอร์ไรต์ เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติก การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่า การเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าอิมพีแดนซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 ถึง 4,000 เกาส์และเกิดการสูญเสียในตัวมันค่าที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นหม้อแปลงแบบการสวิตช์จึงนิยมใช้เป็นแกนเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาทำแกนของหม้อแปลงจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานการออกแบบ

2.7.5 บอบบิน

บอบบินหรือแบบรองพันปกติจะทำจากพลาสติกชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟ บอบบินจะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์ได้สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหา การลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบินจะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ ตัวอย่างขนาดของบอบบินส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพักขดลวดทองแดงเพื่อความสะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดกับแผ่น PCB

2.7.6 ลวดทองแดงอาบน้ำยา

การพันขดลวดทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงแบบการสวิตช์ที่กำลงไม่สูง มากนัก ปกติจะใช้ขดลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนเพื่อให้ได้จำนวนรอบที่ต้องการ ขนาดของขดลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่นๆ

2.7.7 เทปฉนวน

เทปพันฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงแบบ การสวิตช์และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจเป็นพวกไมลาร์ หรือโพลีเอสเตอร์ ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05-0.1 mm. การเลือกใช้นี้จะขึ้นอยู่กับารออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจากหม้อแปลงแบบการสวิตช์เป็นหลัก


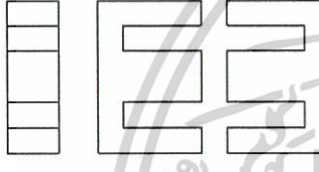
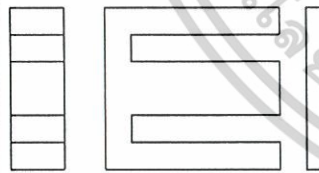
2.7.8 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้

แกนเฟอร์ไรต์เป็นแกนที่เหมาะสมกับการใช้งานที่มีความถี่สูงได้ดี

1) ลักษณะและขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงแบบการสวิตช์โดยทั่วไปจะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI, EE, ETDหรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ ออกมาในลักษณะของกลุ่มประกบ เพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิน การประกบแกนเฟอร์ไรต์บนบอบบินจะมาให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะเป็นวงบรรจบกันได้ ตัวอย่างขนาดแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE, EI และ ETD

 ETD	CORE TYPE	A_c (cm ²)	A_w (cm ²)	V_c (cm ³)	l_c (mm)
	ETD 34	0.971	1.220	7.64	78.6
	ETD 39	1.250	1.740	11.50	92.2
	ETD 44	1.740	2.130	18.00	103.0
	ETD 49	2.110	2.710	24.20	114.0
 EE	CORE TYPE	A_c (cm ²)	A_w (cm ²)	V_c (cm ³)	l_c (mm)
	EE 20/20/5	0.31	0.35	1.34	43.0
	EE 30/30/7	0.59	0.78	4.00	66.9
	EE 42/42/15	1.82	1.78	17.6	97.0
	EE 42/42/20	2.36	1.78	23.1	97.4
	EE 42/54/20	2.36	2.40	28.8	122.0
	EE 42/66/20	2.36	3.40	34.5	143.0
	EE 55/55/21	3.54	2.50	43.7	123.0
	EE 55/55/25	4.20	2.50	52.0	123.0
EE 65/66/27	5.32	3.93	78.2	147.0	
 EI	CORE TYPE	A_c (cm ²)	A_w (cm ²)	V_c (cm ³)	l_c (mm)
	EE 19	0.24	0.517	0.950	39.6
	EE 22/19	0.41	0.44	1.630	39.3
	EE 25/19	0.42	0.819	2.02	48.6
	EE 28/20	0.85	0.725	4.11	48.4
	EE 30/26	1.11	0.791	6.45	58.1
	EE 35/29	1.21	1.36	8.18	67.6
	EE 40/35	1.48	1.08	11.3	76.9
	EE 50/42	2.30	1.7	21.8	94.8
	EE 60/44	2.48	2.94	27.2	109.7

A_c = ขนาดพื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรต์ (cm²)

A_w = ขนาดพื้นที่ช่องพันขดลวดของบอบบิน (cm²)

V_c = ปริมาตรของแกนเฟอร์ไรต์ (cm³)

l_c = ระยะทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์ (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

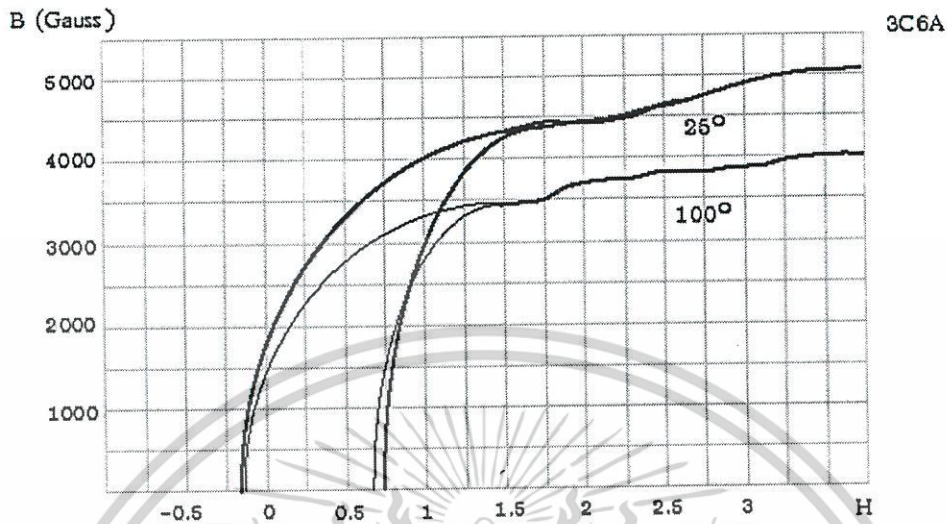
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) แกนแบบ POT นั้นจะใช้กับหม้อแปลงแบบการสวิตช์ที่ไม่ต้องการกำลังสูง (ไม่เกิน 125 วัตต์) และในงานที่ต้องการสัญญาณรบกวน EMI/RFI ต่ำ เนื่องจากลักษณะรูปทรงของมันสามารถป้องกันการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แกนแบบ POT มีช่องสำหรับให้ขดลวด ออกมาภายนอกได้ค่อนข้างเล็ก จึงเป็นอุปสรรคในการพันขดลวดทองแดงขนาดใหญ่เมื่อหม้อแปลงต้องการกำลังสูงๆ แกนที่นิยมใช้กันมากสำหรับหม้อแปลงแบบการสวิตช์ที่ต้องการ กำลังสูง จะเป็นแกนแบบ EI, EE, ETD เนื่องจากสามารถพันขดลวดรอบแกนบนบอบบิ้น ได้สะดวก แกนในกลุ่มนี้จะมีขนาดต่างๆ ให้เลือกใช้งานได้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถให้กำลังได้ตั้งแต่ 5 วัตต์ ไปจนถึง 10 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตาม สัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากกว่าแกนแบบ POT

ยังมีแกนเฟอร์ไรต์ในแบบอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้งานได้อีก เช่น แกนแบบ RM, PQ และ LP แต่มักไม่ค่อยพบเห็นตามท้องตลาดทั่วไป และไม่ค่อยเป็นที่นิยม

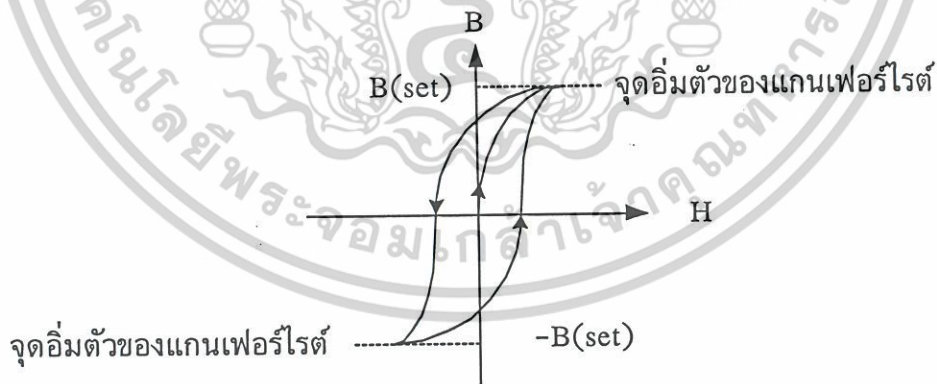
2) ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์ ชนิดของเนื้อสารแกนเฟอร์ไรต์ที่แตกต่างกัน จะทำให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรต์ แตกต่างกันด้วยถึงแม้จะมีขนาดเท่ากันทุกประการ ในแผ่นข้อมูลเนื้อสารที่ให้มา แกนเฟอร์ไรต์นั้นจะต้องมีรายละเอียดคุณสมบัติเนื้อสารแสดงไว้เสมอ ข้อมูลสำคัญที่ควรจะทำความเข้าใจและศึกษาไว้ก็คือ เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส และค่าสูญเสียแกนเฟอร์ไรต์

3) เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์กับความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกนในรูปที่ 2.30 จะแสดงในลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของเนื้อสารชนิด 3C6A ซึ่งผลิตโดย ผู้ผลิตคือ FERROXCUBE จากรูปที่ 2.31 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่น ฟลักซ์แม่เหล็ก B จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มสนามแม่เหล็ก H มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งค่า ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็ก H ก็ตามจุดดังกล่าวเรียกว่า แกนเริ่มมีการอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็ก



รูปที่ 2.30 เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C6A

โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงกราฟของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสเพียงครั้งเดียว เนื่องจากอีกครั้งหนึ่งของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการเพียงแต่จะมีลักษณะกลับทิศกันเท่านั้น ดังแสดงในรูป 2.31



รูปที่ 2.31 ลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสซึ่งจะมีลักษณะสมมาตรของกราฟซีกบนและซีกล่าง ปกติผู้ผลิตจะให้กราฟซีกบนเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานแกนเฟอร์ไรต์ในหม้อแปลงสวิตช์ ซึ่งจะต้องระวังไม่ให้แกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัวขึ้นได้ ดังนั้นโดยทั่วไปการออกแบบหม้อแปลงแบบสวิตช์ จึงควรกำหนดค่าความหนาของฟลักซ์แม่เหล็ก B ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในขณะทำงาน มีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดก่อนอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์ เพื่อความปลอดภัย

4. การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในแกนเหล็กหม้อแปลง จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและขนาดของแกน จากกฎของฟาราเดย์จะได้ว่า

$$\text{จากสูตร} \quad \Delta B = \frac{V_t}{N_p A_c} \times 10^8 \quad (2.21)$$

เมื่อ ΔB	คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกน (Wb/m^2)
V	คือ ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดลวด (V)
N_p	คือ ค่าจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
A_c	คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกน (m^2)
t	คือ ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น (sec)

จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิต่ำลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจะยิ่งมีค่ามากขึ้น ซึ่งการลดจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิต่ำลงจะทำให้สามารถใช้ขดลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถทนกระแสได้สูงทำให้หม้อแปลงให้กำลังได้สูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม หากค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวจะทำให้แรงดันตกคร่อมปฐมภูมิมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันที่อินพุตจะไปตกคร่อมที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ขณะที่กำลังนำกระแสสูงๆ แทน ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายได้และความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียภายในแกนสูงอีกด้วย ดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ต้องไม่อิ่มตัวขณะทำงานและค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้นในขณะทำงาน จะต้องเกิดการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ต่ำที่สุด

5. การเลือกขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม การใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับหม้อแปลงแบบการสวิตช์จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็นส่วนการใช้แกนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟอร์ไรต์ที่มีขนาดเล็กเกินไป ขดลวดและแกนจะร้อน กำลังงานสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับแกน เฟอร์ไรต์ขนาดต่างๆ จะพิจารณาได้จากหน้าตัดของแกน (A_c) และขนาดช่องสำหรับพันขดลวด ของบอบบิ้น (A_w) โดยอาจคำนวณได้จากสมการต่างๆดังต่อไปนี้

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

$$\text{จากสูตร} \quad P = \frac{0.5 \Delta_{(max)} f A_e A_w}{D} \times 10^{-3} \quad (2.22)$$

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของพช-พูลคอนเวอร์เตอร์

$$\text{จากสูตร} \quad P = \frac{\Delta B_{(max)} f A_e A_w}{D} \times 10^{-3} \quad (2.23)$$

สำหรับแกนที่ใช้กับหม้อแปลงของฮาล์ฟ-บริดจ์และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

$$\text{จากสูตร} \quad P = \frac{1.4 \Delta_{(max)} f A_e A_w}{D} \times 10^{-3} \quad (2.24)$$

โดยที่ $\Delta B_{(max)}$ = ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดในแกนเฟอร์ไรต์ (Wb/m^2)

f = ค่าความถี่ในการทำงานของแกนเฟอร์ไรต์ (Hz)

A_c = พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ (cm^2)

A_w = พื้นที่ช่องสำหรับพันขดลวดของแกนบอบบิ้น (cm^2)

D = ค่าความหนาแน่นกระแสในขดลวดปฐมภูมิ (CM/A)

P = กำลังสูงสุดที่ได้จากแกนเฟอร์ไรต์ (W)

ค่าของ $\Delta B_{(max)}$ ที่เหมาะสม ค่าของ A_c และ A_w เป็นมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ที่ใช้โดยดูได้จากข้อมูลจากผู้ผลิตที่ให้มากับแกนเฟอร์ไรต์ ค่าของ D กำหนดได้จากขนาดของ ลวดทองแดงที่ใช้พัน

2.8 ทฤษฎีวงจรแปลงผันไฟตรง

คอนเวอร์เตอร์เป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ปรับเปลี่ยน แรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำหรือจากค่าต่ำไปเป็นค่าสูงและสามารถยกค่า แรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไปการจะเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์สำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายนั้น มีข้อควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบดังนี้คือ

ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์แรงดันอินพุต ที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์

- 1) กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านวงจรถออิเล็กทรอนิกส์กำลังในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- 2) แรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมวงจรถออิเล็กทรอนิกส์กำลังในคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน
- 3) การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน
- 4) การกำเนิดสัญญาณรบกวน RFI / EMF ของตัวคอนเวอร์เตอร์

จากข้อพิจารณาดังกล่าว จะทำให้ผู้ออกแบบทราบขีดจำกัดของคอนเวอร์เตอร์ และประเมินราคาเพื่อตัดสินใจในการเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์ ปัจจุบันได้มีการพัฒนา คอนเวอร์เตอร์ในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมากมาย ดังนี้

- 1) ฟลายแบค คอนเวอร์เตอร์ (Fly Back Converter)
- 2) ฟอว์เวิร์ด คอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)
- 3) พูช-พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)
- 4) ฮาล์ฟ-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)
- 5) ฟูล-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter)

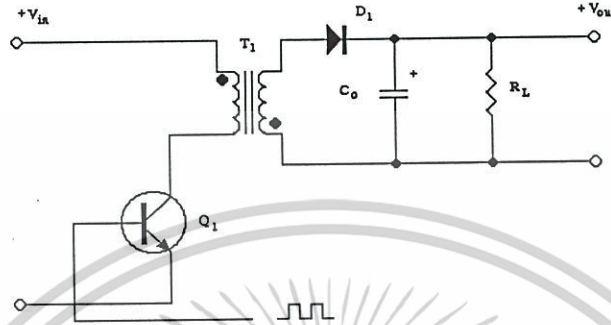
คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบนี้มีลักษณะการทำงานไม่แตกต่างกันจนเกินไปและค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษาวงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบจะแสดงไว้ในหัวข้อต่อไป

2.8.1 การทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจร ทรานซิสเตอร์กำลัง Q_1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงาน ในลักษณะเป็นสวิตช์และจะนำกระแสตามพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนดขดปฐมภูมิและทุติยภูมิให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแสไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 แทนเมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T_1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วของแรงดันที่ ขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ D_1 ก็จะอยู่ในลักษณะไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดปฐมภูมิของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และโหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ Q_1 ช่วงเวลาการนำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของแรงดันที่อินพุตฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงมากนัก เวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

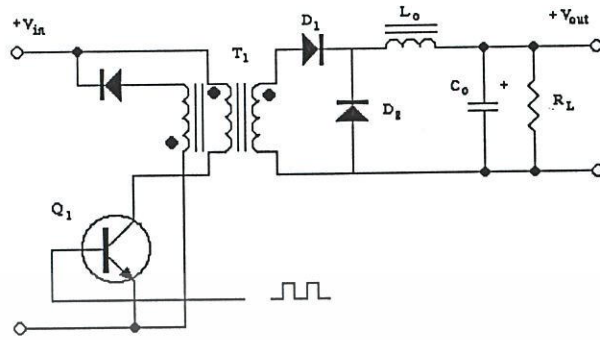
งานได้ไม่สูงมากนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMF ก่อนข้าง
สูง แต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก



รูปที่ 2.32 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

2.8.2 การทำงานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจร จะเห็นได้ว่าฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ มีลักษณะใกล้เคียงกับการทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่หม้อแปลง T_1 ในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะถูกกำหนด ให้ขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิมีเฟสตรงกัน ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง แต่ D_2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส กระแสจึงไหลผ่านไดโอด D_1 และตัวเหนี่ยวนำ L_o ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และโหลดได้ ขณะที่กระแสไหลผ่าน L_o จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันเองด้วยเมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส D_1 จะอยู่ในลักษณะไบแอสกลับ จึงไม่มีกระแสไหลจากขดทุติยภูมิ สนามแม่เหล็กใน L_o จะยุบตัวทำให้เกิด การกลับขั้วแรงดัน ที่ตกคร่อมตัวมันอยู่ ไดโอด D_2 ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง L_o จะถ่ายเทพลังงานออกมา ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวมันเองและไดโอด D_2 ออกไปยังโหลดจะเห็นได้ว่ามีกระแสไหลผ่านโหลดอย่างต่อเนื่อง ในช่วงที่ Q_1 นำกระแสและหยุดนำกระแสทำให้ มีการกระเพื่อมของแรงดัน ที่เอาต์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แต่กระแสจะมีการกระเพื่อมต่ำกว่า

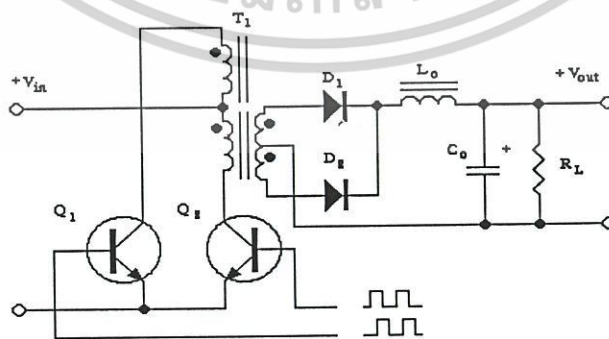


รูปที่ 2.33 วงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

2.8.3 การทำงานของ พุช-พูล คอนเวอร์เตอร์

วงจร พุช-พูล คอนเวอร์เตอร์ เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้มากกว่า 500 วัตต์ ขึ้นไป แต่มีข้อเสีย ก็มักจะเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของทรานซิสเตอร์กำลังได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันเทคนิคการควบคุมกระแสจะทำให้ลดปัญหานี้ได้ ซึ่งเห็นได้ว่าพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ ที่น่าสนใจสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ที่ต้องการกำลังงานสูงๆ

จากรูปที่ 2.34 Q_1 และ Q_2 จะสลับกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบการทำงาน เมื่อ Q_1 นำกระแส D_1 อยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ แต่ D_2 อยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงและนำกระแสผ่าน L_o ไปยังโหลดได้ ดังนั้น โหลดจึงมีกระแสไหลต่อเนื่องได้ตลอดเวลา จะเห็นได้ว่ากระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบ อย่างไรก็ตาม ทรานซิสเตอร์กำลังที่เพิ่มเข้ามา จะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการสร้าง พุช-พูล คอนเวอร์เตอร์ เช่นกัน

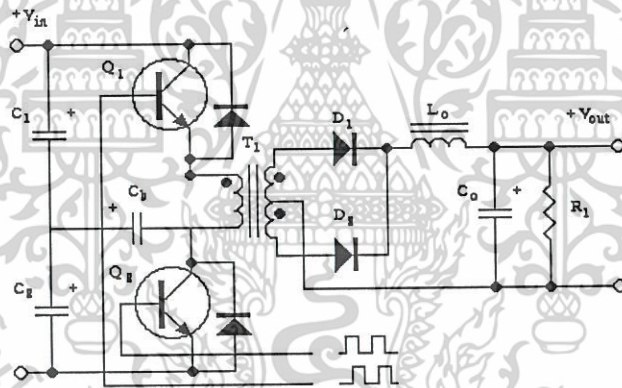


รูปที่ 2.34 วงจร พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 การทำงานของ ฮาล์ฟ-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดเป็นคอนเวอร์เตอร์ ในตระกูลเดียวกับ พูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ และสามารถให้กำลังงานได้ค่อนข้างสูง ข้อดีของ ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ คือ ทรานซิสเตอร์ภายในวงจร มีค่าแรงดันตกคร่อมขณะไม่นำกระแสต่ำกว่า ทั้งสามแบบของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้กล่าวมาแล้ว และลดการเกิดไม่สมมาตรฟลักซ์ได้ จากรูปที่ 2.35 จะเห็นได้ว่าหากมี ทรานซิสเตอร์กำลังตัวใดตัวหนึ่งนำกระแส ค่าแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ ตัวที่เหลือจะมีค่าเพียง แรงดันอินพุตเท่านั้น เมื่อ Q_1 และ Q_2 สลับกัน นำกระแสที่ได้ มีลักษณะเดียวกับการทำงานของพูล- บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นค่าแรงดัน ตกคร่อมขณะการทำงานของขดปฐมภูมิ ซึ่งจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุตเนื่องจากผลของการต่อตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 เพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน กระแสไหล ผ่านขดปฐมภูมิจึงมีค่าสูง ซึ่งเป็นการจำกัด กำลังงานสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ โดยกำลังสูงสุด ที่ ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ สามารถทำได้อยู่ในช่วงไม่เกิน 500 วัตต์

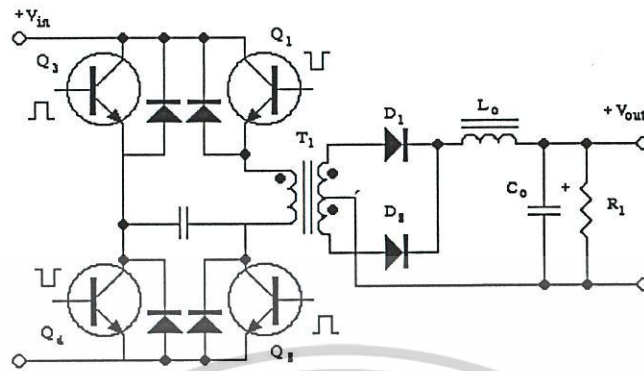


รูปที่ 2.35 วงจร ฮาล์ฟ-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

2.8.5 การทำงานของ ฟูล-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจร จากรูปที่ 2.36 จะเห็นได้ว่ามีทรานซิสเตอร์กำลังในวงจรทั้งหมดถึง 4 ตัว แต่ละสลับกันทำงานเป็นคู่ๆ โดย Q_1 นำกระแสพร้อมกับ Q_4 ส่วน Q_2 นำกระแสพร้อมกับ Q_3 กระแสที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิของหม้อแปลง มีลักษณะเดียวกับ ฮาล์ฟ-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ แต่ข้อ ได้เปรียบของฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ก็คือขณะทำงานที่ขดปฐมภูมิจะมี แรงดันตกคร่อมเท่ากับค่า แรงดันอินพุต กระแสที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิจะมีค่าต่ำกว่า ฟูล-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ จึงสามารถ จ่ายกำลังงานได้สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 วงจรฟูล-บริดจ์ คอนเวอร์เตอร์

2.9 เพาเวอร์มอสเฟต

2.9.1 คุณสมบัติของเพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แรงดันควบคุมและต้องการกระแส อินพุตเพียงเล็กน้อยซึ่งนิยมใช้มากในวงจรสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายในการควบคุมมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ เป็นต้น เนื่องจากมีข้อดีกว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ

1. กำลึงสูญเสียนะสวิตช์ต่ำ
2. ไม่มีช่วงแรงดันพังทลายที่ 2 (Second Breakdown)
3. มีอัตราขยายสูงและวงจรขับสร้างได้ง่ายและราคาถูก
4. มีความทนทานและเสถียรภาพของอุณหภูมิดี
5. มีความจุหรือรับกระแสได้สูง
6. สามารถนำมาต่อขนานได้ง่ายเนื่องจาก สัมประสิทธิ์ความต้านทานเป็นบวก
7. ใช้ในวงจรความถี่สูงได้ดี

แต่ข้อเสียของเพาเวอร์มอสเฟตก็มีเช่นเดียวกัน คือ แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแส มีค่ามาก (ประมาณ 4.5 โวลต์) ซึ่งเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะมีเพียง 1 โวลต์

2.9.2 ข้อได้เปรียบจากการใช้เพาเวอร์มอสเฟต

ด้านความเร็วเพาเวอร์มอสเฟตมีความสามารถในการสวิตช์ซึ่งด้วยความเร็วปราศจากการสะสมประจุอย่างไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์จึงไม่คิดช่วงเวลาสะสมทำให้มอสเฟตมีความเร็วในการสวิตช์ซึ่งมาก ความเร็วของมอสเฟตนั้นจะขึ้นอยู่กับการอัดประจุและการคายประจุของมอสเฟตเองโดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของอินพุตขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นจะถูกแยก (Isolate) จากแหล่งจ่ายด้วยชั้นออกไซด์ที่ทำให้เกิดความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 40 เมกะโอห์ม มอสเฟตจะถูกไบแอสด้วยแรงดัน 10 โวลต์ ด้วยแรงดันขนาดนี้จึงสามารถขับมอสเฟตนี้ได้ด้วย ไอซีซีมอสหรือทีทีแอลได้โดยตรง จึงไม่ต้องคำนึงถึงกระแสของโหลด จึงทำให้ลดความยุ่งยากของวงจรขับโดยรวมและจะทำให้ประหยัดขึ้น

1) สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ

สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าตรงกันข้ามกับทรานซิสเตอร์ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในตัวมอสเฟตสูงขึ้นกระแสจะมีค่าลดลงดังนั้นเพาเวอร์มอสเฟตจึงไม่เกิดการทำงานขึ้น เนื่องจากการเพิ่มหนีของอุณหภูมิ (Thermal Runaway) เพิ่มกำลังได้

2) สามารถเพิ่มกำลังของสวิทช์นี้ได้

โดยการนำมอสเฟตมาต่อขนานกันหลายๆตัว อย่างไรก็ตามมอสเฟตกำลังก็มีข้อเสียเช่นกัน คือ $V_{DS(on)}$ ในมอสเฟตกำลังสูงกว่าในไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นการใช้งานที่ค่าความถี่ต่ำค่าความสูญเสียขณะนำกระแสในอุปกรณ์สวิทช์กำลังจะมีค่าค่อนข้างมากจึงไม่ควรใช้เพาเวอร์มอสเฟตกำลัง

3) ย่านการทำงานปลอดภัย

การใช้งานเกินพิกัดของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นอาจทำให้เพาเวอร์มอสเฟตพังได้สำหรับ มอสเฟตแล้วบางที่อาจไม่จำเป็นต้องใช้วงจรสับเบอร์ก็ได้ หรือใช้ค่าตัวเก็บประจุค่าน้อยๆ ได้ ขอบเขตของย่านปลอดภัย ถูกกำหนดด้วยพิกัดกระแสสูงสุด แรงดันเบรคความและความจุของอุปกรณ์ ขอบเขตของย่านปลอดภัยจะกว้าง เนื่องจากไม่เกิดแรงดันเบรคความเซคันดารี

4) แรงดัน

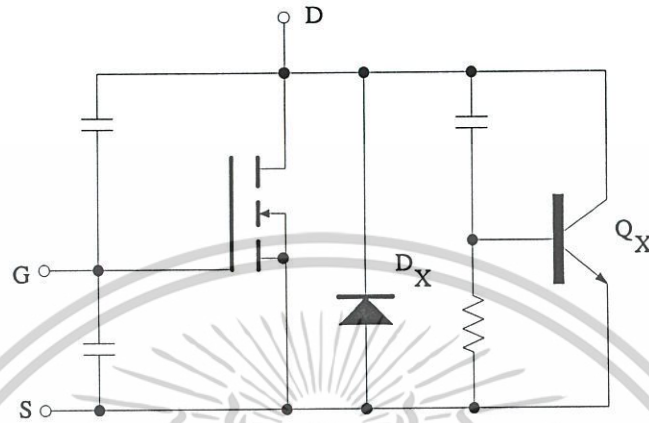
แรงดันต่ำสุดของมอสเฟตกำลังหาได้จากค่าความต้านทานของอุปกรณ์ (R_{DS}) สำหรับอุปกรณ์แรงดันต่ำ ค่าของ R_{DS} จะต้องมีค่าต่ำที่สุด สำหรับอุปกรณ์แรงดันสูง ค่า R_{DS} จะต้องมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ R_{DS} เป็นบวก

5) วงจรสมมูลย์ของเพาเวอร์มอสเฟต

จากโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตสามารถสร้างเป็นวงจรสมมูลย์ซึ่งประกอบไปด้วย ไดโอด (D_x), ค่าความจุ, ค่าความต้านทาน (ซึ่งมีค่าน้อยมาก) และทรานซิสเตอร์ชนิด NPN (Q_x) ดังรูปที่ 2.37 การพิจารณาวงจรสมมูลย์นี้สำคัญมากในการใช้งาน เพราะในขณะที่เพาเวอร์ มอสเฟตหยุดนำกระแสค่าแรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (dV/dt มีค่าสูง) กระแสส่วนหนึ่งจะผ่านค่าความจุที่ต่ออยู่ระหว่างคอลเล็กเตอร์และเบสของทรานซิสเตอร์ Q_x ค่ากระแสนี้จะทำให้เกิดแรงดันที่ความต้านทานขาเบสและอิมิตเตอร์ของ Q_x ซึ่งแรงดันนี้อาจจะทำให้ ทรานซิสเตอร์นี้

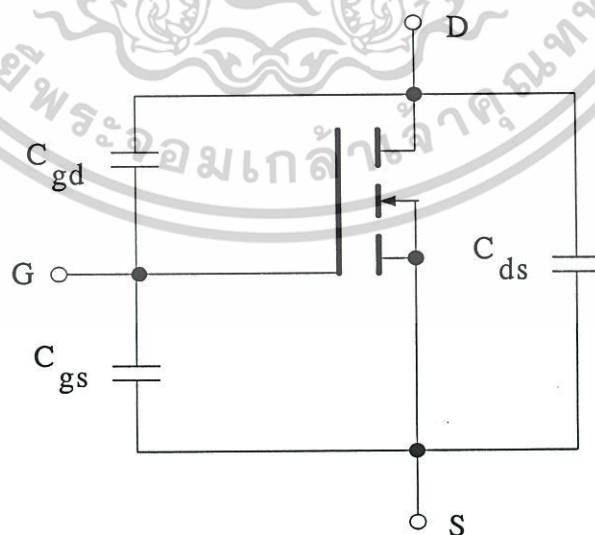
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่นำกระแสและอาจเกิดการลัดวงจรขึ้นได้



รูปที่ 2.37 วงจรสมมูลของเพาเวอร์มอสเฟต

ถึงแม้ว่าเพาเวอร์มอสเฟตสามารถทำงานด้วยแรงดันเกตเพียงเล็กน้อย แต่ก็ต้องเพียงพอในการเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุที่แฝงอยู่ในวงจรเกต ดังรูปที่ 2.38 ดังนั้นการทำงานที่ความเร็วสูงตัวเก็บประจุที่อินพุตจะต้องทำการเก็บประจุอย่างรวดเร็วจึงควรรู้แหล่งจ่ายสัญญาณที่มีค่าความต้านทานต่ำๆ จึงสรุปได้ว่าวงจรขับกระแสเกตจะมีผลต่อความเร็วในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต ส่วนอุณหภูมินั้นจะมีผลต่อความเร็วไม่มากเท่าใดนัก



รูปที่ 2.38 ตัวเก็บประจุแฝงภายในมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 คุณสมบัติการทำงานของมอสเฟตกำลัง

1) แรงดันพังทลาย (V_{DSS})

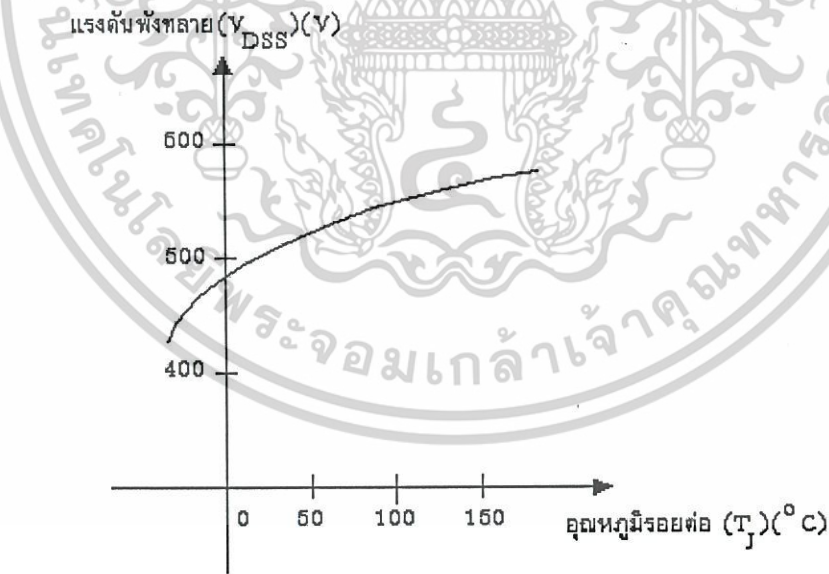
แรงดันนี้เป็นค่าแรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่างๆ ค่าแรงดันพังทลายของเพาเวอร์มอสเฟตจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด

2) ค่าความต้านทานขณะนำกระแส

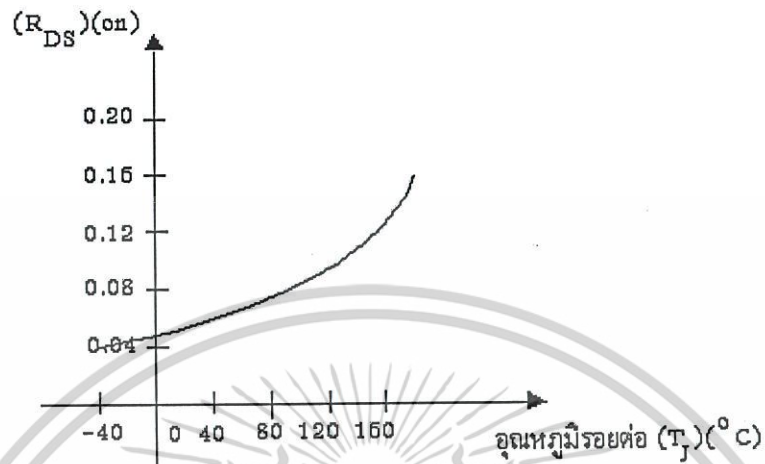
เพาเวอร์มอสเฟตในขณะนำกระแสอย่างสมบูรณ์ แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างเดรนกับซอร์สจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมันเอง เนื่องจากค่าความต้านทานระหว่างเดรนกับซอร์สซึ่งมีลักษณะเดียวกับ โอห์มรีซิสแตนซ์ (Resistance) หรือความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป โดยหาได้จากกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสจากสูตร

$$P_{COND} = I_{DM}^2 \times R_{DS(ON)} \tag{2.25}$$

โดย I_{DM} คือ ค่าสูงสุดกระแสเดรน



รูปที่ 2.39 ค่าแรงดันพังทลายที่เดรนกับซอร์สต่ออุณหภูมิรอยต่อ



รูปที่ 2.40 ค่าความต้านทานที่เดรนกับซอร์สต่ออุณหภูมิรอยต่อขณะนำกระแส



รูปที่ 2.41 ลักษณะการนำกระแสและหยุดนำกระแส

ในรูปที่ 2.41 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเกตกับซอร์ส (V_{GS}) และแรงดันเดรนกับซอร์ส (V_{DS}) ซึ่งตัวเก็บประจุแผ่นระหว่างเกตกับซอร์ส (C_{GS}) จะเก็บประจุขณะเพาเวอร์มอสเฟตเริ่มนำกระแสจนมีแรงดันเทรลไฮลด์ประมาณ 3 โวลต์ ในช่วงเวลานี้ (t_0-t_1) เรียกว่าช่วงเวลาการนำกระแส ($t_{d(on)}$; Turn-On Delay Time) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า $C_{GS}(R_{dr}+R_G)$

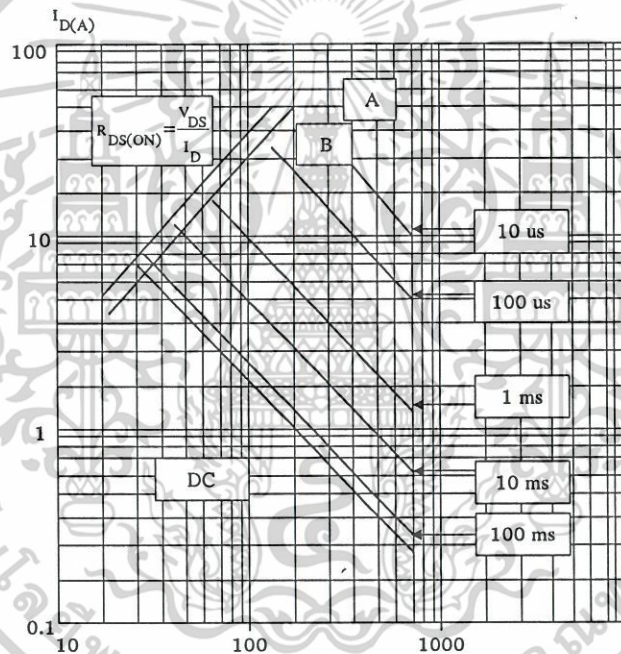
เมื่อ R_{dr} คือ ค่าอิมพีแดนซ์จรรยาบรรณกระแสเกต ส่วน R_G คือ ค่าความต้านทานขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟตในช่วง t_1 ถึง t_2 ค่าความจุทางค่านินพุตจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลของมิลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_{ISS} = C_{GS} + (1 + AV) \times C_{GD} \quad (2.26)$$

3) ช่วงการทำงานที่ปลอดภัย

ช่วงเวลาการทำงานที่ปลอดภัยหรือSOAR (Safe Operation Area) ของเพาเวอร์มอสเฟต จะต่างจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ ไม่มีแรงดันพังทลายที่ 2 (Second Breakdown) ดังนั้น SOAR ของเพาเวอร์มอสเฟตนี้จะแสดงช่วงของอัตราทนกำลังที่สภาวะการทำงานต่างๆ เป็นหลัก ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปบ้างตามอุณหภูมิที่บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำโดยปกติไม่เกิน 150 ถึง 175 องศาเซลเซียส ดังนั้นรูปร่างของตัวถังและการระบายความร้อนจะช่วยให้ SOAR ดีขึ้น



รูปที่ 2.42 ลักษณะกราฟ SOAR

ในรูปที่ 2.42 แสดงให้เห็นตัวอย่างกราฟ SOAR ของเพาเวอร์มอสเฟต ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราทนกำลังจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดความกว้างของพัลส์อินพุต ปกติแล้วกราฟ SOAR ที่คู่มือหรือบริษัทให้มานั้น มักจะเป็นกราฟในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตมีอุณหภูมิบริเวณรอยต่อ สารกึ่งตัวนำมีค่าสูงสุด แต่ในการใช้งานเราจะไม่กำหนดให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานจนกระทั่งอุณหภูมิที่บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำมีค่าสูงสุด เพราะอาจจะทำให้เกิดความเสียหายได้ซึ่งสามารถเลี่ยงได้โดยกำหนดกำลังสูงสุดที่ต้องทำงานให้กับเพาเวอร์มอสเฟตก่อนตามสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{MAX} = (T_j - T_m) / Z \quad (2.27)$$

T_j คือ อุณหภูมิที่บริเวณสารกึ่งตัวนำ (กำหนดให้ค่าน้อยกว่า T_j สูงสุดในกราฟ)

T_m คือ อุณหภูมิขณะทำงานที่บริเวณตัวถัง

Z คือ สัมประสิทธิ์การระบายความร้อนของตัวถัง (ทราบได้จากกราฟในคู่มือ)

ปกติค่า Z นี้จะขึ้นอยู่กับรูปร่างตัวถังเป็นสิ่งสำคัญ เช่นตัวถังแบบ TO220 จะมีค่า Z_m สูงกว่าตัวถังแบบ TO66 ยิ่งถ้ามีการระบายความร้อนที่ดีก็จะช่วยลดค่า T_m ลง ย่อมทำให้มีอัตราทนกำลังเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วขนาดกระแสและแรงดันของพัลส์อินพุตมีอิทธิพลต่อช่วง SOAR ซึ่งกระแสที่มากเกินไปจะทำให้อัตราทนกำลังลดลง ส่วนพัลส์ที่มีทรานเซียนจะทำให้เกิด CU พังทลายขึ้น

4) กำลังงานสูญเสีย

กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวเพาเวอร์มอสเฟต เกิดจากสาเหตุหลายประการดังต่อไปนี้

กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสเกิดจากค่าความต้านทานของเพาเวอร์มอสเฟตขณะนำกระแสแน่นอนซึ่งจะแปรผันตามอุณหภูมิ บริเวณรอยต่อสารกึ่งตัวนำหาได้จาก

$$P_C = I_{on}^2 \times R_{DS(ON)} \quad (2.28)$$

กำลังสูญเสียขณะสวิตช์ ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟต เริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านอยู่ในขณะที่มีแรงดันตกคร่อม จึงเป็นเหตุให้เกิดกำลังสูญเสียขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำงานที่ความถี่สูงๆ และปกติแล้วช่วงเวลาในการหยุดนำกระแสจะนานกว่าช่วงเริ่มนำกระแส ดังนั้นกำลังสูญเสียในขณะที่สวิตช์จึงเกิดในช่วงหยุดนำกระแสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเราลดกำลังสูญเสียในส่วนนี้ได้โดยการใส่วงจรสแน็บเบอร์ระหว่างขาเดรนกับขาซอร์ส เพื่อจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน V_{DS} หรือ dV_{DS}/dt ขณะเริ่มหยุดนำกระแสให้เหมาะสม

กำลังสูญเสียจากไดโอดแฝงเกิดจากกระแสที่ไหลผ่านไดโอดในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตหยุดนำกระแส ซึ่งจะพบว่าในวงจรมีโหลดอินดักเตนซ์ร่วมอยู่ เช่น มอเตอร์

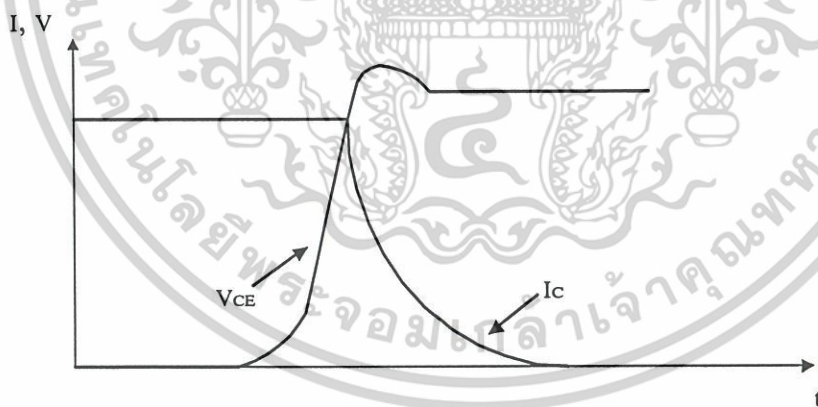
กำลังสูญเสียในภาคเกตอินพุตในส่วนนี้กำลังสูญเสียจะมีค่าน้อยที่สุดเพราะว่าขนาดของแรงดันและกระแสมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับเอาต์พุต โดยส่วนใหญ่แล้วกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนนี้จะเกิดจาก ค่าความต้านทานของขาเกตและวงจรขั้วกระแสเกตนั่นเอง

2.10 วงจรสับเบอร์

วงจรสับเบอร์ (Snubber Network) เป็นส่วนที่เพิ่มเข้ามาในคอนเวอร์เตอร์ เพื่อลดการเกิดกำลังสูญเสียและป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์สวิตช์ในวงจรขณะทำงานปกติ วงจรสับเบอร์ในที่นี้อาจแบ่งได้ออกเป็น 2 ลักษณะคือ วงจรสับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส (Turn Off Snubber) และวงจรสับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน (Clamp Snubber) วงจรสับเบอร์ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวต้านทานตัวเก็บประจุและไดโอด ในบางครั้งจึงเรียกว่าวงจร RCD สับเบอร์ ในโครงการนี้จะใช้เฉพาะวงจร Turn-Off สับเบอร์ ส่วนวงจรสับเบอร์ป้องกัน แรงดันเกิน (Clamp Snubber) ไม่จำเป็นต้องใช้เนื่องจากมีคอมมิวเตตติ้ง ไดโอด (Commutating Diode) ที่ต่อคร่อมอยู่ภายในมอสเฟตเป็นตัวช่วยลดแรงดันเกินขณะมอสเฟต หยุดนำกระแส

2.10.1 วงจร turn-off สับเบอร์

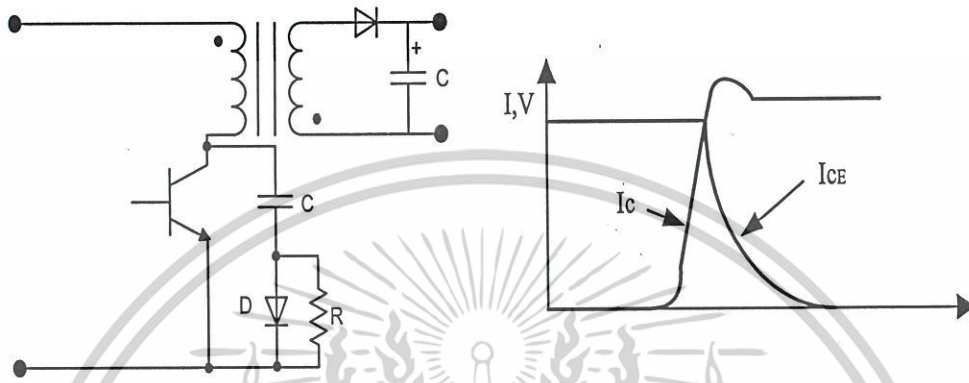
กำลังสูญเสียที่เกิดในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเป็นไปได้สูงขณะเปลี่ยนสถานการณ์ทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแส ก่อนที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะหยุดนำกระแส กระแสจะลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่แรงดันเพิ่มขึ้นสู่ค่าแรงดันอินพุตอย่างรวดเร็ว กำลังงาน สูญเสีย ในรูปความร้อนในช่วงนี้จึงเกิดขึ้นสูง



รูปที่ 2.43 ลักษณะการลดลงของกระแสและการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์ ขณะเริ่มหยุดนำกระแส

เพื่อลดกำลังงานสูญเสียในช่วงนี้อาจทำได้โดยการต่อวงจรสับเบอร์เข้ากับเพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์ เพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์และอีมีตเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงได้ทันกัน ซึ่งจะทำให้กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำลักษณะของการต่อวงจรสับเบอร์ดอาจทำได้ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 การต่อวงจรสับเบอร์ดช่วงหยุดนำกระแสเพื่อหน่วงแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์

2.10.2 ทรานซิสเตอร์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

การทำงานของวงจร RCD สับเบอร์ดช่วงเริ่มหยุดนำกระแสจะเป็นดังนี้ คือเมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 เริ่มหยุดนำกระแส แรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้มีกระแสบางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ C_1 และไดโอด D_1 ของวงจรสับเบอร์ด ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม C_1 ด้วย แรงดันที่ตกคร่อม C_1 จะทำให้แรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นถ้าให้ค่า C_1 มีค่ามากพอ การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ ขาคอลเล็กเตอร์จะถูกหน่วงออกไปเพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดลงจนมีค่าน้อยๆ ได้ทันกันและจะลดการเกิดกำลังงานสูญเสียในตัวเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้

ขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เริ่มนำกระแสอีกครั้ง C_1 จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_1 ที่ทิ้งไป แรงดันตกคร่อม C_1 จึงลดต่ำลงได้อีกครั้งและสามารถทำงานได้ในช่วงต่อไป ค่าของ R_1 และ C_1 ที่เหมาะสมอาจหาได้จาก

$$C_1 = \frac{I_{p(PK)} \times t_{OFF}}{2V_{in}} \quad (2.29)$$

$$R_1 = \frac{t_{ON(min)}}{2 \times 3C_1} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $I_{P(PK)}$	คือ	ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์
V_{IN}	คือ	ค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์
t_{ON}	คือ	ช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์
t_{OFF}	คือ	ช่วงเวลาหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

$$P_D = \frac{C_1 (2V_{in})^2}{2T} \text{ (วัตต์)} \quad (2.31)$$

เมื่อ T คือ ค่าคาบเวลาการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

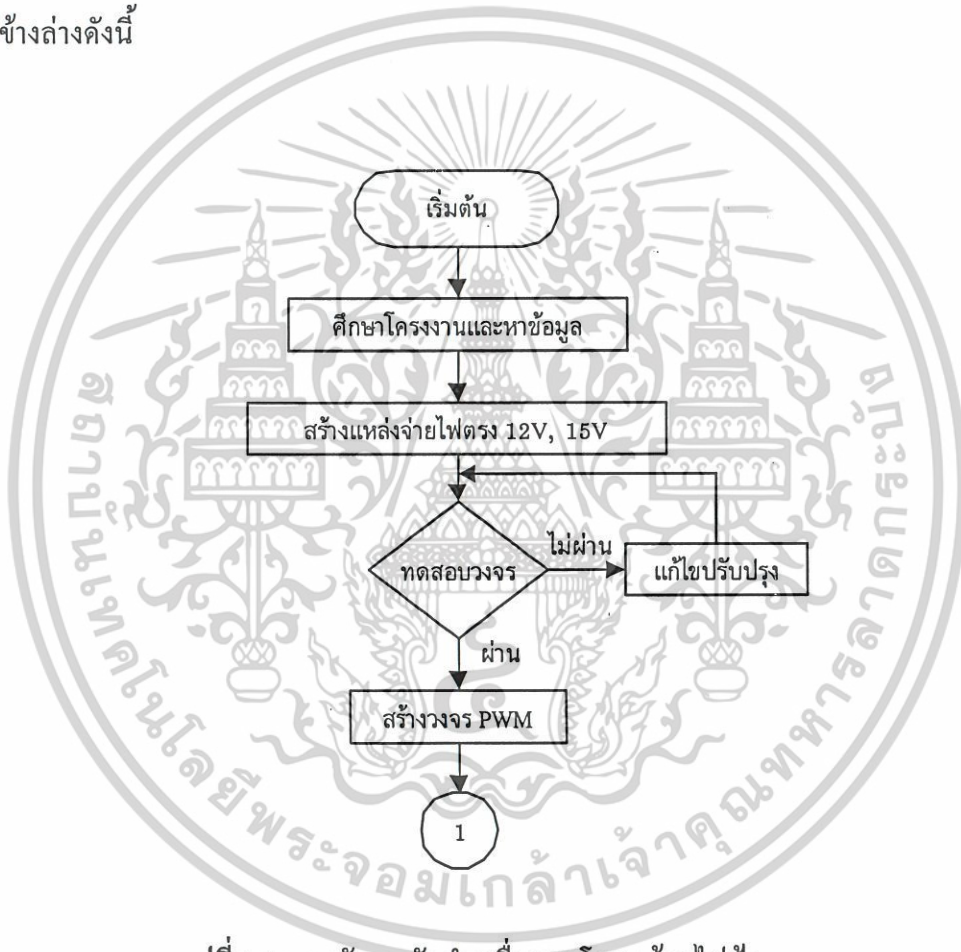


บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

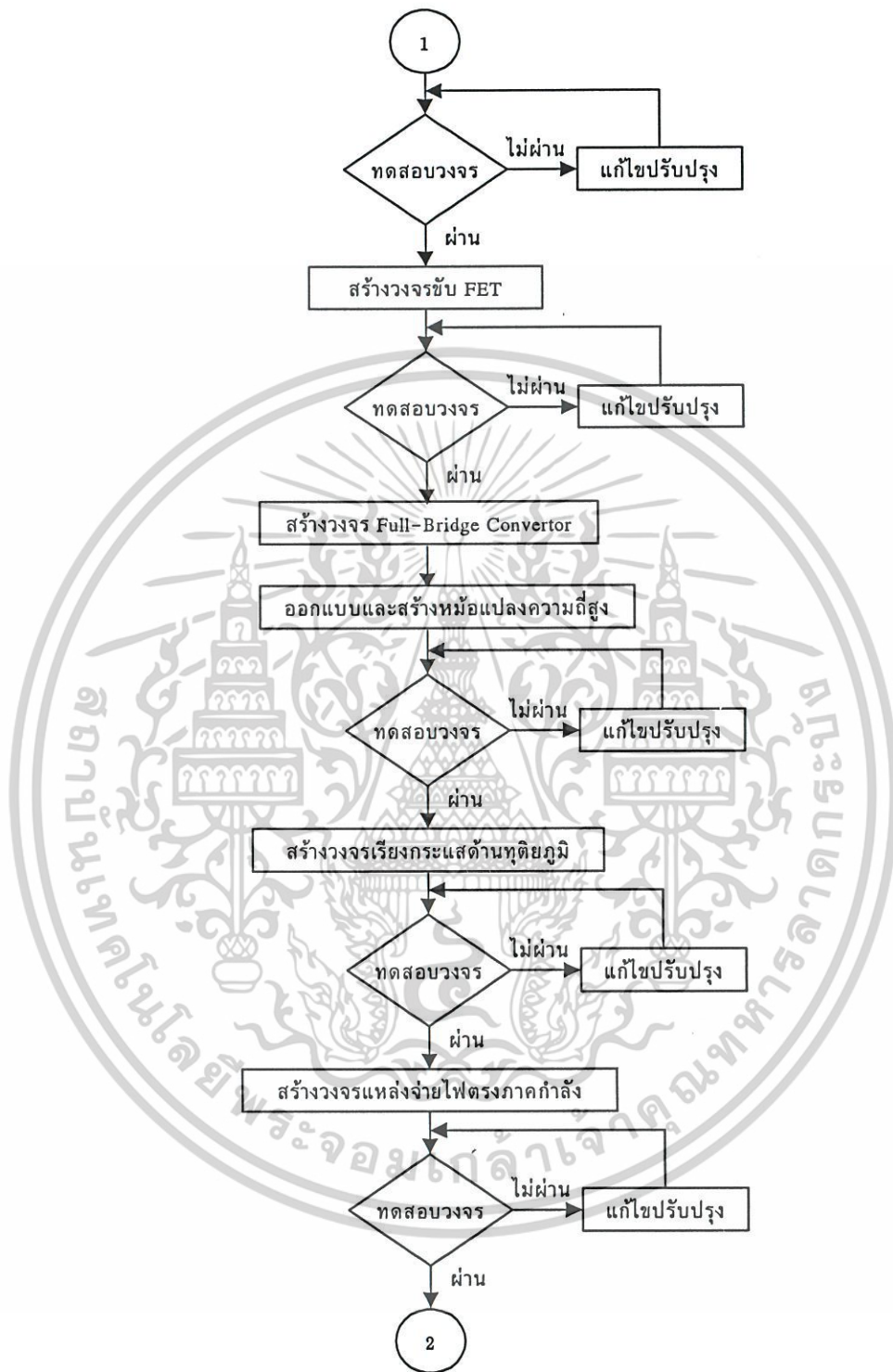
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การจัดทำเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้านี้จะประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการต่างๆ ตามแผนภูมิข้างล่างดังนี้



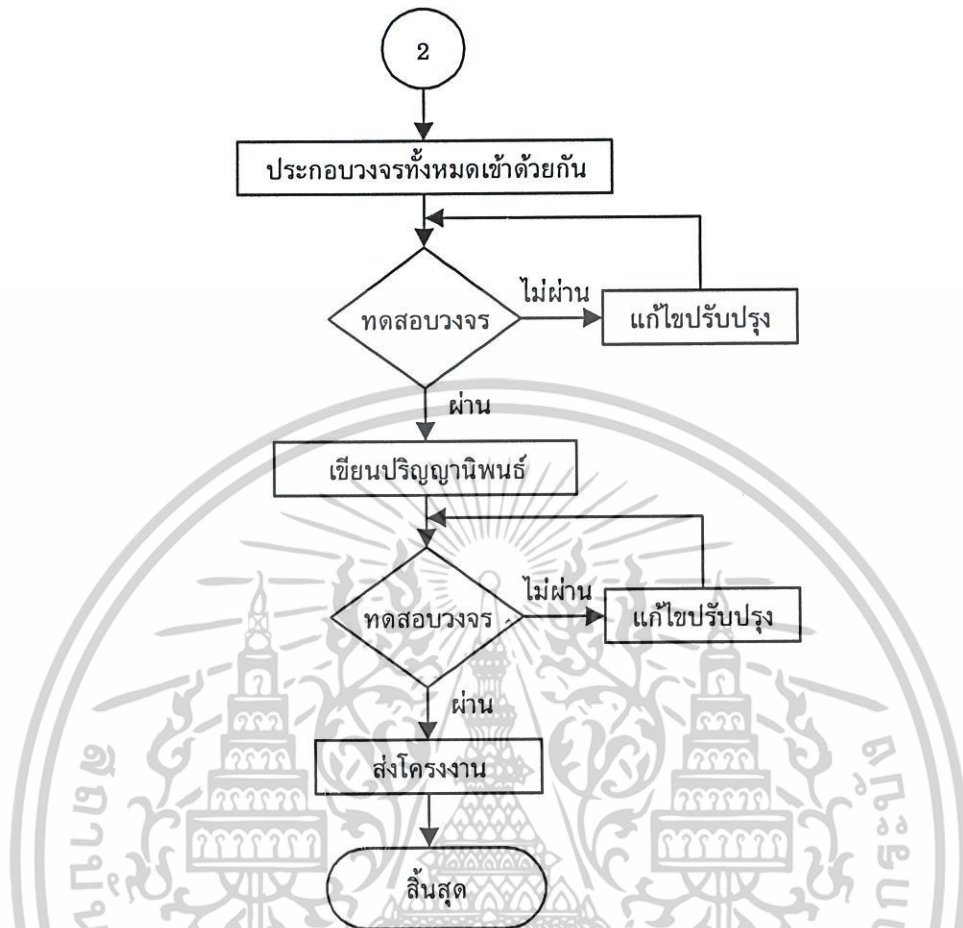
รูปที่ 3.1 แผนผังการจัดทำเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 (ต่อ) แผนผังการจัดทำเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

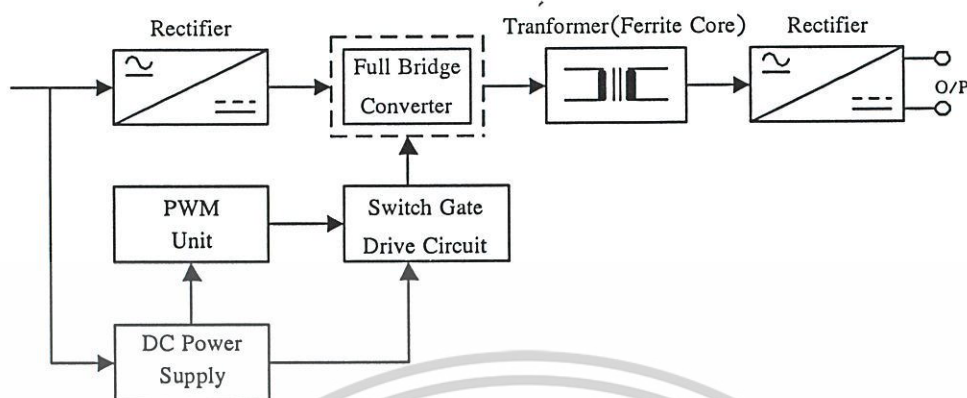


รูปที่ 3.1 (ต่อ) แผนผังการจัดทำเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้า

ในการสร้างเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้านี้ ได้เลือกวงจรแปลงผันไฟตรงแบบบริดจ์เต็ม (Full Bridge Converter) เพื่อทำหน้าที่จ่ายไฟตรงให้กับเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นแบบวิธีสวิตช์ด้วยความถี่สูง ซึ่งโครงสร้างของเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้านี้ จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

จากโครงสร้างของเครื่องชุปโลหะด้วยไฟฟ้าความถี่สูงที่แสดงให้ดูข้างต้น นั้นสามารถจำแนกออกเป็นสามส่วนหลักๆ คือ

1. ภาคกำลังความถี่ต่ำ
2. ภาคควบคุมและวงจรขับเคลื่อน
3. ภาคความถี่สูง

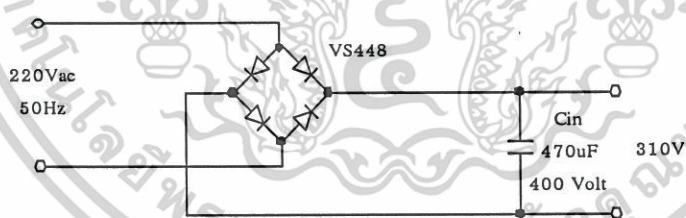


รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

3.2 วงจรภาคกำลังความถี่ต่ำ

วงจรภาคกำลังความถี่ต่ำ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. วงจรไลนฟิลเตอร์ (Line Filter)
2. ตัวเก็บประจุกรองแรงดัน (C_{in})
3. วงจรเรียงกระแส



รูปที่ 3.3 วงจรกำลังความถี่ต่ำ (แหล่งจ่ายไฟตรงภาคกำลัง)

วงจรแหล่งจ่ายไฟตรง จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับวงจรแปลงผันไฟตรงแบบบริดจ์เต็ม โดยจะรับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ 1 เฟส ผ่านวงจรเรียงกระแสแบบ บริดจ์เต็ม และวงจรกรองแรงดัน ซึ่งจะใช้ตัวเก็บประจุให้ได้แรงดันไฟตรงประมาณ 310 โวลต์ จากการคำนวณทำให้ได้ค่ากระแสที่ไหลผ่านสวิตช์สูงสุดมีค่าประมาณ 0.4 แอมแปร์ (ที่กระแสชูป 10 แอมแปร์ แรงดัน 4 โวลต์) สำหรับค่าอุปกรณ์จะแสดงอยู่ในส่วนของการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

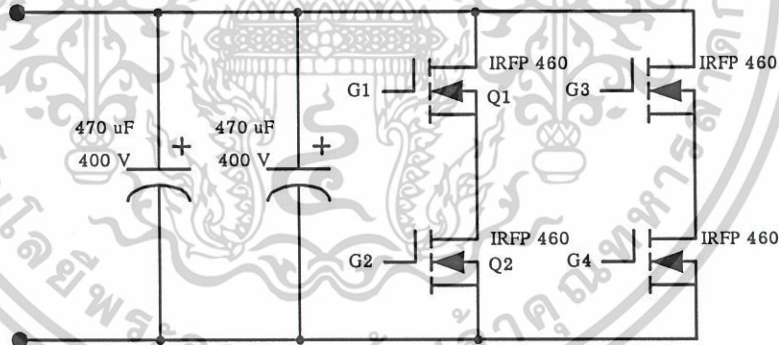
หม้อแปลงพัลส์เป็นชุดขับนำเกิดโดยเลือกขนาดของหม้อแปลงคือ EE28 โดยพันอัตราส่วน 1:1 จำนวนรอบเท่ากับ 22 รอบ

3.4 ภาคกำลังความถี่สูง

วงจรภาคกำลังความถี่สูงมีดังนี้

- 1) วงจรแปลงผันไฟตรงชนิดเต็มบริดจ์ ใช้มอสเฟตกำลังเบอร์ IRFP 460
- 2) หม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้แกนเฟอร์ไรต์เบอร์ ETD49
- 3) วงจรเรียงกระแสทางด้านขาออกใช้ไดโอดเบอร์ MURP20040 CT

วงจรภาคกำลังความถี่สูงเป็นส่วนที่จ่ายกำลังหลักให้กับการชูป โดยจะรับแรงดัน อินพุตมาจากวงจรภาคกำลังความถี่ต่ำซึ่งเป็นแรงดันไฟตรงเมื่อผ่านวงจรแปลงผันไฟตรงชนิด เต็มบริดจ์ ก็จะถูกสวิตช์ด้วยความถี่สูงและแปลงผ่านเป็นแรงดันไฟตรงอีกครั้งด้วยวงจรเรียงกระแสเพื่อเป็นเอาต์พุตให้กับเครื่องชูปโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับวงจรแปลงผันไฟตรงชนิด เต็มบริดจ์ที่ใช้ในเครื่องชูปโลหะด้วยไฟฟ้าจะเป็นแบบเลื่อนเฟสโดยจะทำงานตามสัญญาณที่ส่งมาจากไอซีสำเร็จรูปเบอร์ UC3875 ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.6 วงจรแปลงผันไฟตรงชนิดเต็มบริดจ์

ในการทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรงทั่วๆ ไปมีการทำงานของสวิตช์ดังนี้คือ สวิตช์ที่อยู่คู่กันในแต่ละขั้วจะมีการทำงานพร้อมกันเท่านั้น แต่ในการทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรงแบบเต็มบริดจ์ที่ใช้เทคนิค พัดดับลิวเอ็มแบบเลื่อนเฟส (Phase Shifted PWM Control) นอกจากจะสั่งให้สวิตช์ที่อยู่คู่กันทำงานพร้อมกันในแต่ละขั้วแล้วจะมีบางช่วงที่สั่งให้สวิตช์ที่อยู่คู่กันด้านบนหรือด้านล่างให้ทำงานพร้อมกันเพื่อเป็นการลดวงจรที่ ขดปฐมภูมิของหม้อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงทำให้พลังงานที่สะสมอยู่ในหม้อแปลงให้หมดไปก่อนที่จะมีการส่งสวิตช์อีกชุดที่อยู่คู่กันใน
แนวทแยงทำงานต่อไป โดยมีลำดับขั้นในการสวิตช์ดังนี้

หลักการการทำงานของเทคนิคพีดับบลิวเอ็มแบบเลื่อนเฟส (Phase Shifted PWM Control)

1) สั่งให้สวิตช์ Q_A และ Q_D ทำงานพร้อมกันก่อนในช่วงนี้ก็จะมีการถ่ายเท พลังงานจาก
ทางด้านขดปฐมภูมิไปทางด้านขดทุติยภูมิเพื่อจ่ายให้กับโหลด

2) สั่งให้สวิตช์ Q_D หยุดการทำงานก่อนแล้วจึงสั่งให้สวิตช์ Q_C ทำงานชั่วขณะหนึ่ง (ในช่วง
นี้สวิตช์ Q_A และ Q_C ทำงานพร้อมกัน) เพื่อเป็นการลัดวงจรที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ทำให้
พลังงานที่สะสมอยู่ในหม้อแปลงให้หมดไป

3) สั่งให้สวิตช์ Q_A หยุดการทำงาน ต่อมาจึงสั่งให้สวิตช์ Q_B ทำงาน (ในช่วงนี้สวิตช์ Q_B
และ Q_C ทำงานพร้อมกัน) ในช่วงนี้ก็จะมีการถ่ายเทพลังงานจากทางด้านขดปฐมภูมิไปทางด้านขด
ทุติยภูมิเพื่อจ่ายให้กับโหลด

4) สั่งให้สวิตช์ Q_C หยุดการทำงานก่อนแล้วจึงสั่งให้สวิตช์ Q_B ทำงานตัวเดียวก่อนชั่ว
ขณะหนึ่ง ต่อมาก็จะสั่งให้ Q_D ทำงาน (ในช่วงนี้สวิตช์ Q_B และ Q_D ทำงานพร้อมกัน) เพื่อเป็นการ
ลัดวงจรที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลงทำให้พลังงานที่สะสมอยู่ในหม้อแปลงให้หมดไป (คล้ายกับ
การทำงานในช่วงที่สอง) ก่อนที่จะมีการเริ่มรอบการทำงานใหม่ในครั้งต่อไป

3.5 การออกแบบเครื่องการชูปโลหะด้วยไฟฟ้า

หากำลังงานจริงด้านเอาต์พุต (P_o)

$$P_o = I_{dc(max)} \times V_{dc-sh} \quad (3.1)$$

P_o คือ กำลังงานจริงด้านเอาต์พุตเป็น W

$I_{dc(max)}$ คือ ค่ากระแสไฟตรงที่เอาต์พุต = 28 A

V_{dc-sh} คือ ค่าแรงดันไฟตรงที่เอาต์พุตขณะชูปชิ้นงาน = 12 V

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{P_o}{\eta} \\ &= \frac{336}{0.8} \\ &= 420 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร $T = \frac{1}{f}$

เมื่อ T คือ ค่าคาบเวลาการทำงานเป็น μS

f คือ ค่าความถี่การทำงานของสวิทช์เท่ากับ 120 kHz (Ramp = 240 kHz)

$$\begin{aligned} \therefore T &= \frac{1}{120 \times 10^3} \\ &= 8.3 \mu\text{S} \end{aligned}$$

กำหนดให้คาบเวลาสูงสุดที่มอสเฟตกำลังนำกระแสเท่ากับ 40%

จากสูตร $T_{\text{on(max)}} = 0.4T$

เมื่อ $T_{\text{on(max)}}$ คือ ค่าคาบเวลาสูงสุดที่นำกระแสเป็น μS

$$\begin{aligned} \therefore T_{\text{on(max)}} &= 0.4 \times 8.3 \mu\text{S} \\ &= 3.32 \mu\text{S} \end{aligned}$$

ค่าแรงดันไฟสลับปกติขณะคอนเวอร์เตอร์หยุดนำกระแส จะมีค่าเพื่อดังนี้

$\pm 10\%$ for Steady – state tolerance

$\pm 15\%$ for Steady – tolerance on top

จากสูตร $V_{\text{dc(min)}} = 1.41 \times V_{\text{ac}} \times (+10\%) \times (+15\%)$

$$V_{\text{dc(min)}} = 1.41 \times V_{\text{ac}} \times (-10\%) \times (-15\%)$$

$$\therefore V_{\text{dc(min)}} = 1.41 \times V_{\text{ac}} \times 1.1 \times 1.15$$

$$= 392 \text{ Volt}$$

$$V_{\text{dc(min)}} = 1.41 \times V_{\text{ac}} \times 0.9 \times 0.85$$

$$= 237 \text{ Volt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } P_{in} &= P_o \\ P_{in} &= V_{dc(\min)} (0.4 I_{pft}) \\ I_{pft} &= \frac{3.13 P_o}{V_{dc(\min)}} \end{aligned}$$

เมื่อ I_{pft} คือ ค่ากระแส flat – topped ที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิเป็น A

$$\begin{aligned} \therefore I_{pft} &= \frac{3.13 \times 336}{237} \\ &= 4.4374 \approx 4.44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } I_{p(\text{rms})} &= I_{pft} \sqrt{\frac{T_{on(\text{max})}}{T}} \\ \therefore I_{p(\text{rms})} &= 4.44 \sqrt{0.4} \\ &= 2.808 \approx 2.81 \text{ A} \end{aligned}$$

3.5.1 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรง

เนื่องจากกระแส $I_{p(\text{rms})}$ มีค่า 2.81 A และกำหนดค่า Safety factor เท่ากับ 2 เท่าของ I_{pft}

\therefore ขนาดกระแส Rectifier เท่ากับ 5.62 A ดังนั้นเลือกค่ากระแส Diode Bridge เท่ากับ

6A/600V

3.5.2 การออกแบบมอสเฟตกำลัง

ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและมอสเฟตกำลังมีค่าเท่ากับ 4.4374 A. กำหนดค่า Safety factor เท่ากับ 2 เท่าของ I_{pft} ดังนั้น ขนาดกระแสที่มอสเฟตกำลังจะได้รับเท่ากับ 8.874 A

$$\text{จากสูตร } V_{\text{rms}} = 1.3 \times V_{dc(\text{max})}$$

เมื่อ V_{rms} คือ ค่าแรงดัน Stress สูงสุดที่ตกคร่อมมอสเฟตกำลังขณะหยุดนำกระแส เป็นโวลต์ (Vdc)

1.3 คือ ค่าแรงดัน leakage spikes ต่ำสุดเท่ากับ 30% ของแรงดันไฟตรงสูงสุด

$$\therefore V_{\text{rms}} = 1.3 \times 392$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้เลือกมอสเฟตกำลังเบอร์ IRFP 460 ซึ่งสามารถรับกระแสได้ 20 A 500 V

3.6 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

หาจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

จากกฎของฟาราเดย์

$$N_p = \frac{(V_{dc(\min)} - 2) \times T \times 0.4 \times 10^8}{A_e \times d_b}$$

เมื่อ N_p คือ ค่าจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ เป็นรอบ

$V_{dc(\min)}$ คือ ค่าแรงดันต่ำสุดที่ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ เท่ากับ 237 V

T คือ ช่วงเวลาการทำงานปกติขณะนำและหยุดนำกระแส เท่ากับ 8.3 μ s

A_e คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ เท่ากับ 2.11 ตร.ซม.

d_b คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์ เท่ากับ

1600 เกาส์

$$\begin{aligned} \therefore N_p &= \frac{(237 - 2)(8.3 \times 10^{-6} \times 0.4) \times 10^8}{2.11 \times 1600} \\ &= 23.11 \approx 23 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

หาขนาดขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

จากกระแสไฟที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ $I_{p(\text{rms})}$ มีค่าเท่ากับ 2.81 A

$$\begin{aligned} \text{Circular Mils} &= \frac{300 \times 1.97 P_o}{V_{dc(\min)}} \end{aligned}$$

เมื่อ Circular Mils คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำ เท่ากับ 300 Circular Mils/1A

$$\therefore \text{Circular Mils} = \frac{300 \times 1.97 \times 336}{237}$$

$$= 838 \text{ Circular Mils}$$

พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำมีค่าเท่ากับ 838 CM จากตารางเทียบเบอร์ลวดตัวนำอบน้ำยาลวดตัวนำเบอร์ 21 SWG มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 1022 CM ในที่นี้เลือกใช้ลวดตัวนำเบอร์ 21 SWG

หาจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = \left[(V_{dc} - 2) \frac{N_s}{N_p} - V_d \right] \times \frac{T_{on(max)}}{T}$$

คือ ค่าแรงดันเอาต์พุตขณะยังไม่ซบเท่ากับ 25 V

V_o

V_{dc} คือ ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ 310 V

N_p คือ ค่าจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ 23 รอบ

N_s คือ ค่าจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

V_d คือ ค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดเรียงกระแสด้านเอาต์พุตเท่ากับ 2 V

$T_{on(max)}$ คือ ค่า Duty Cycle สูงสุดเท่ากับ 40%

$$N_s = \left[\frac{V_o \frac{T}{T_{on(max)}} + V_d}{V_{dc} - 2} \right] \times N_p$$

$$N_s = \left[\frac{(21 \times 2.5) + 2}{310 - 2} \right] \times 23$$

$$= 4.069 \approx 4 \text{ รอบ}$$

หากระแสไฟไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิ $I_{s(rms)}$

$$\therefore I_{s(rms)} = I_{dc(max)} \sqrt{0.4}$$

เมื่อ $I_{s(rms)}$ คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดทุติยภูมิ เป็น A

$$\begin{aligned} \therefore I_{s(rms)} &= 28 \times \sqrt{0.4} \\ &= 17.71 \text{ A} \end{aligned}$$

หาขนาดลวดทางด้านทุติยภูมิ

จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิ $I_{s(max)}$ มีค่าเท่ากับ 18 A

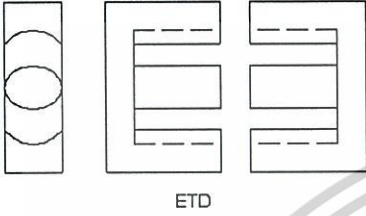
$$\text{Circular Mils} = 300 \times 0.632 \times I_{dc(max)}$$

เมื่อ Circular Mils คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำ เท่ากับ 300 CM / 1 A

$$\begin{aligned} \text{Circular Mils} &= 300 \times 0.632 \times 28 \\ &= 5309 \text{ Cmil} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน้าตัดของขดลวดมีค่าเท่ากับ 5,309 Cmil จากตารางเทียบเบอร์ลวดตัวนำ อาน้ำยา ได้ลวดเบอร์ 18 SWG และในการสร้างหม้อแปลงความถี่สูงนี้ได้เลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์เบอร์ ETD49 ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.7



CORE TYPE	A_c (cm ²)	A_w (cm ²)	V_c (cm ³)	l_c (mm)
ETD 49	2.110	2.710	24.20	114.0

รูปที่ 3.7 ลักษณะของแกนเฟอร์ไรต์เบอร์ ETD49

3.7 การออกแบบเอาต์พุตใช้ค

$$L_o = \frac{3V_{osh} \times T}{I_{on(min)}}$$

เมื่อ L_o คือ ค่าความเหนี่ยวนำด้านเอาต์พุตใช้ค เป็น H

V_{osh} คือ ค่าแรงดันด้านเอาต์พุตขณะชูปรับขึ้นงานเท่ากับ 4 V

$I_{on(min)}$ คือ ค่ากระแสกระแสเพิ่มเอาต์พุตต่ำสุดขณะชูปรับขึ้นงานเท่ากับ 5 A

T คือ คาบเวลาการทำงานเท่ากับ 8.3 μ S

$$\therefore L_o = \frac{3 \times 4 \times 8.3 \times 10^{-6}}{5}$$

$$= 19.92 \mu\text{H}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

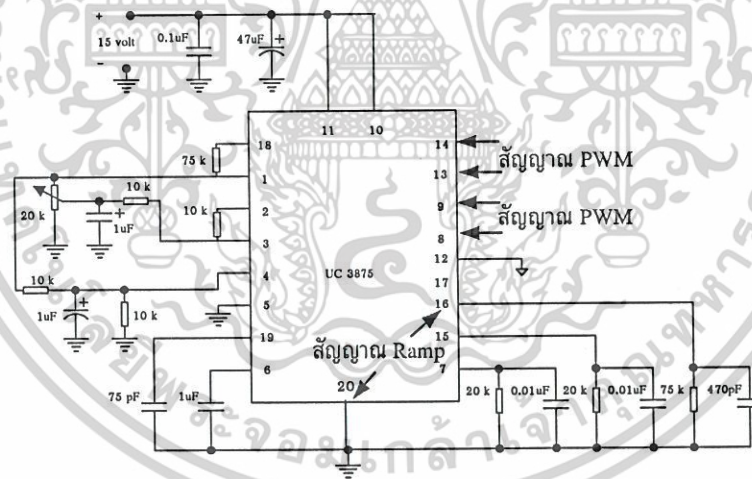
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการทดสอบทางไฟฟ้าด้วยการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจรและทำการบันทึกเป็นรูปคลื่นโดยใช้เครื่องมือวัดออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะและการทำงานและคุณสมบัติต่างๆ ของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

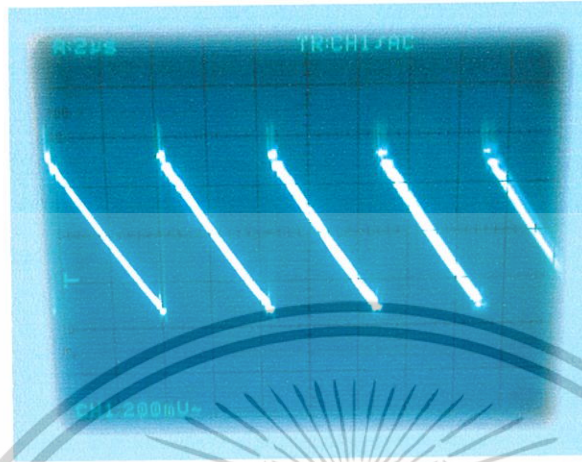
4.1 การทดสอบทางไฟฟ้า

การจะวัดรูปคลื่นของกระแสและแรงดันในแต่ละส่วนของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า จะวัดที่ความถี่สวิทซ์เท่ากับ 120 กิโลเฮิรตซ์ ในการทดสอบขณะชุบขึ้นงาน ผลจากการวัดได้บันทึกรูปคลื่นสัญญาณไว้ที่แต่ละส่วนโดยแสดงไว้ดังต่อไปนี้



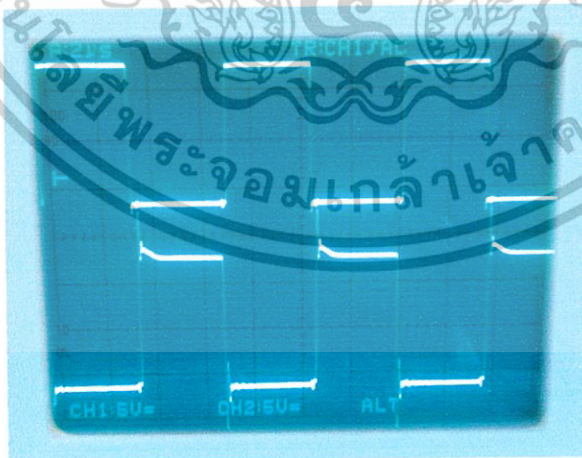
รูปที่ 4.1 จุดวัดสัญญาณ Ramp และ PWM

จากรูปที่ 4.1 จะสามารถวัดสัญญาณ Ramp จากบริเวณขาสัญญาณของ IC เบอร์ UC3875 ที่ขา 16 และ 20 จะได้รูปคลื่นสัญญาณดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปคลื่นสัญญาณ Ramp

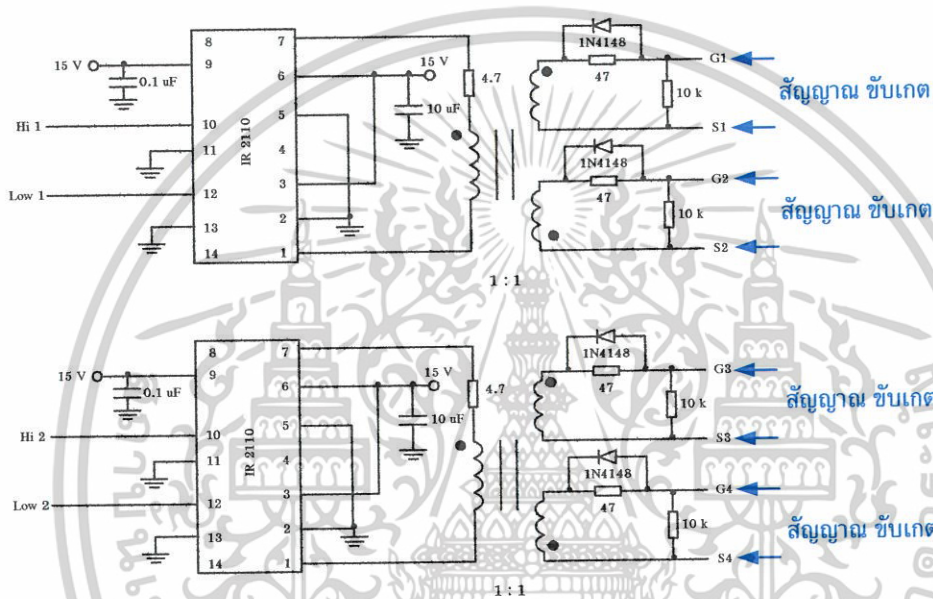
จากรูปที่ 4.1 สามารถวัดสัญญาณ PWM โดยวัดที่ขา 8 กับ 9 หรือขาสัญญาณ 13 กับ 14 ของ IC เบอร์ UC 3875 จะได้สัญญาณ PWM ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นสัญญาณ ไปจ่ายให้กับภาคขับนำเกตโดยสัญญาณ ทั้งสอง คือ A และ B จะสลับกันทำงานในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยมีมุมต่างเฟสกัน 180 องศา และสามารถปรับความกว้างของพัลส์หรือค่าเวลาของการ ON ได้ เมื่อปรับจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งสัญญาณ A และ B ไปพร้อมๆ กันและจะมีค่าเวลา Dead Time อยู่เพื่อป้องกัน ไม่ให้เกิดการลัดวงจรกันทางเฟสบวกและลบ



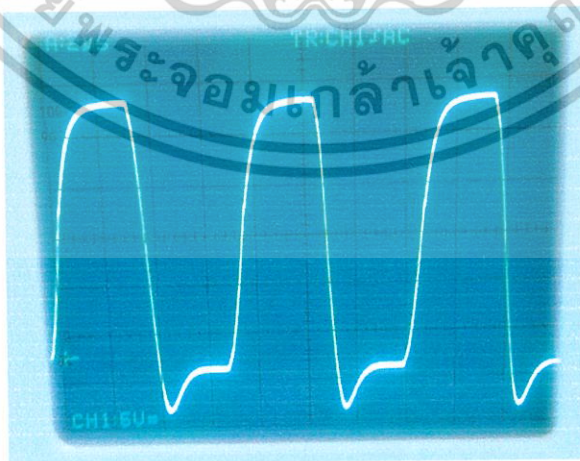
รูปที่ 4.3 สัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงการวัดสัญญาณขับเคลื่อนและได้รูปสัญญาณที่แสดงในรูป 4.5 เป็นเอาต์พุตภาคขับนำเกตเพียงหนึ่งข้างเพราะไม่สามารถที่จะวัดสัญญาณขับเคลื่อนนำเกตได้พร้อมๆ กัน อันเนื่องมาจากเครื่องมือที่ใช้จับสัญญาณใช้กราวด์ร่วมกันทั้งสองเซนแนล อาจทำให้เกิดการลัดวงจรของภาคกำลังได้ สัญญาณขับเคลื่อนนี้ จะนำไปขับเฟดให้ทำงานโดยต่อกับขา G และ S ของเฟด จากรูปจะเห็นได้ว่าแรงดัน ON มีค่าประมาณ 15 โวลต์และยังมีช่วง OFF ลงมาถึงค่าลบประมาณ 15 โวลต์เช่นเดียวกัน

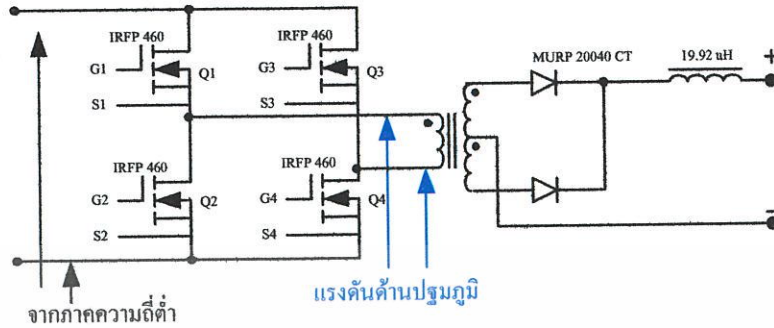


รูปที่ 4.4 จุดวัดสัญญาณขับเคลื่อน



รูปที่ 4.5 สัญญาณขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



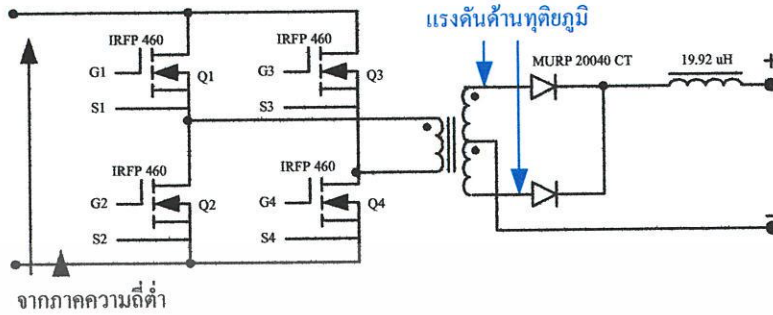
รูปที่ 4.6 จุดวัดสัญญาณแรงดันปฐมภูมิ

รูปที่ 4.7 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงกำลังความถี่สูง ขณะทำการชูปรับงาน โดยสามารถวัดสัญญาณได้จากรูป 4.6



รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันที่ขดลวดปฐมภูมิขณะทำการชูปรับงาน

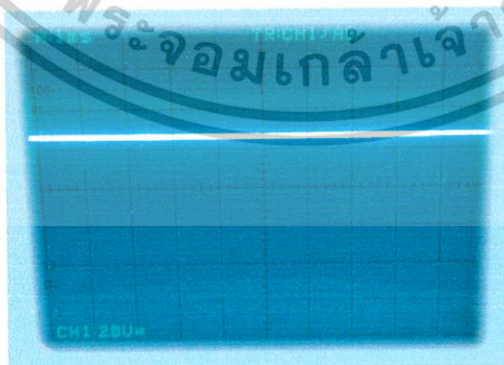
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 จุดวัดสัญญาณแรงดันทุติยภูมิ

รูปที่ 4.9 แสดงรูปคลื่นสัญญาณด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกำลังความถี่สูงขณะทำการชูป
 ชีงงาน โดยสามารถวัดสัญญาณได้จากรูป 4.8

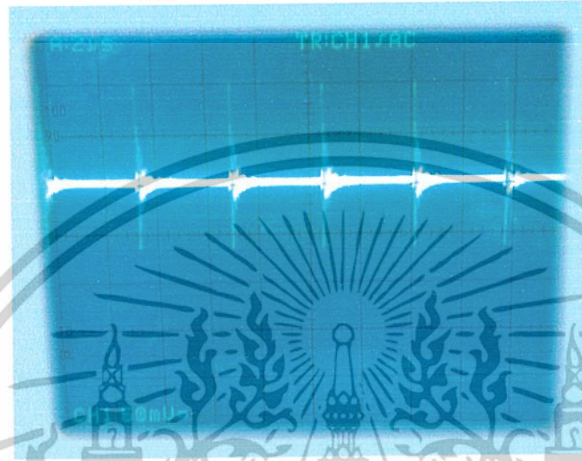
รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิขณะทำการชูปชิ่งงาน



รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตขณะยังไม่ทำการชูปชิ่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตขณะทำการชุบชิ้นงาน ซึ่งจะเห็นเป็นแรงดันไฟตรง เนื่องจากผ่านการแปลงจากไฟสลับเป็นไฟตรงจากไดโอดกำลังแล้วและจะสังเกตเห็นว่าสัญญาณแรงดันมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากขณะทำการชุบชิ้นงาน ทำให้เอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนแปลง



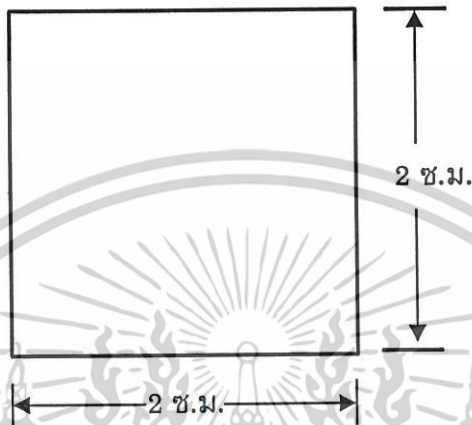
รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตขณะชุบ โลหะ

4.2 การใช้งานเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

1. เสียบปลั๊กเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีแรงดัน 220 V 50Hz
2. เปิดสวิตช์ของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้าที่ด้านหน้าของเครื่องไปที่ตำแหน่ง ON จะแสดงการทำงานของเครื่องโดยมีไฟสีแดงติด
3. นำชิ้นงานแขวนในบ่อชุบโลหะที่มีน้ำยาชุบโลหะ พร้อมต่อขั้วไฟฟ้ากระแสตรงตามขั้วบวกและลบให้เรียบร้อย โดยศึกษาวิธีต่อขั้วของการชุบโลหะชนิดต่างๆ ก่อน
4. จากนั้นทำการปรับระดับแรงดันโดยการหมุนปุ่มปรับระดับ ไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกาเพื่อเพิ่มระดับแรงดันให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่จะนำมาชุบ โดยจะสามารถทราบระดับแรงดันได้จาก Volt Meter ด้านหน้าเครื่อง โดยศึกษาวิธีการปรับระดับแรงดัน เวลาที่ใช้ในการชุบโลหะต่างๆ ก่อน
5. เมื่อทำการชุบชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว หมุนปุ่มปรับระดับไปตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเพื่อลดระดับแรงดัน แล้วจึงทำการปิดสวิตช์ของเครื่องชุบโลหะไปที่ตำแหน่ง OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีคำนวณหาพื้นที่ผิวของชิ้นงาน ปริมาณกระแสไฟฟ้าและขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.12 ขนาดของชิ้นงานในการคำนวณ

สมมติว่าชิ้นงานในภาพเป็นแผ่นทองเหลืองบาง ขนาดกว้าง 2 ซม. ยาว 2 ซม.

$$\begin{aligned} \therefore \text{พื้นที่ผิวของชิ้นงานทั้งหมด (สองด้าน)} &= (2 \times 2) \times 2 \\ &= 8 \text{ ตร. ซม.} \end{aligned}$$

หากต้องการชุบชิ้นงานขนาดเดียวกันนี้ 100 ชิ้นพร้อมกัน

$$\begin{aligned} \therefore \text{พื้นที่ผิวของชิ้นงาน 100 ชิ้น} &= 8 \times 100 \\ &= 800 \text{ ตร. ซม.} \end{aligned}$$

$$\text{แต่ 1 ตร.คม.} = 100 \text{ ตร. ซม.}$$

$$\therefore \text{พื้นที่ผิวชิ้นงาน 100 ชิ้น} = 8 \text{ ตร.คม.}$$

และหากในสูตรน้ำยาชุบกำหนดไว้ว่าจะต้องชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 5 แอมป์/ตร.คม.

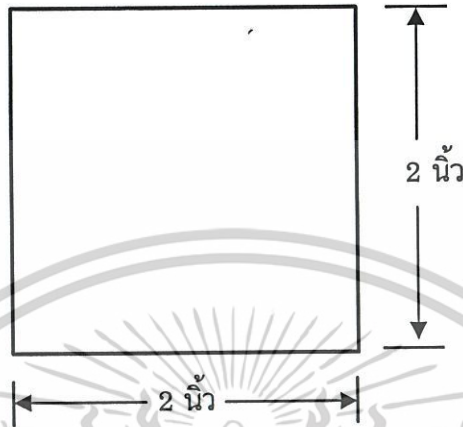
$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชุบชิ้นงาน} &= 8 \times 5 \\ 100 \text{ ชิ้น} & \end{aligned}$$

$$= 40 \text{ แอมป์}$$

\therefore เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการชุบชิ้นงาน 100 ชิ้นนี้ควรจะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 40 แอมป์ ซึ่งควรจะเป็น 50 แอมป์หรือมากกว่า

1 แอมป์ / ตร.คม. = 10,8 แอมป์ / ตร.ฟุต
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองในการหุบเคลือบผิวโลหะเหล็กด้วยทองแดงค่า ได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.13 ขนาดของชิ้นงานจริงในการหุบ

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นแผ่นเหล็กบางขนาดกว้าง 2 นิ้ว (0.1667 ฟุต) ยาว 2 นิ้ว (0.1667 ฟุต)

$$\therefore \text{พื้นที่ผิวของชิ้นงานทั้งหมด (สองด้าน)} \\ (0.1667 \times 0.1667) \times 2 = 0.0556 \text{ ตร. ฟุต}$$

ใช้ชิ้นงานในการหุบ 1 ชิ้น

$$\therefore \text{พื้นที่ผิวของชิ้นงาน 1 ชิ้น} \\ 0.0556 \times 1 = 0.0556 \text{ ตร. ฟุต}$$

กำหนดให้

$$\begin{aligned} 1 \text{ นิ้ว} &= 2.54 \text{ ซม.} \\ 0.00001 \text{ นิ้ว} &= 0.25 \text{ ไมครอน} \\ 1 \text{ แอมป์/ตร.คม.} &= 10.8 \text{ แอมป์/ตร.ฟุต} \end{aligned}$$

1) ผลการทดลองที่ 1 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 40 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 1.5 นาที

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้หุบชิ้นงาน 1 ชิ้น} \\ = 0.0556 \times 40 \approx 2.2 \text{ แอมป์.} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่างที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 40 แอมป์ / ตร.ฟุต ในเวลา 1.5 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.00008 นิ้ว หรือ เท่ากับ 2 ไมครอน

2) ผลการทดลองที่ 2 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 40 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 4 นาที

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชูปชิ้นงาน 1 ชิ้น = $0.0556 \times 40 \approx 2.2$ แอมป์.

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่าง ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 40 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 4 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.00025 นิ้ว หรือ เท่ากับ 6.25 ไมครอน

3) ผลการทดลองที่ 3 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 40 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 7 นาที

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชูปชิ้นงาน 1 ชิ้น = $0.0556 \times 40 \approx 2.2$ แอมป์.

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่าง ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 40 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 7 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.00045 นิ้ว หรือ เท่ากับ 11.25 ไมครอน

4) ผลการทดลองที่ 4 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 40 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 10 นาที

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชูปชิ้นงาน 1 ชิ้น = $0.0556 \times 40 \approx 2.2$ แอมป์.

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่าง ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 40 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 10 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.00072 นิ้ว หรือ เท่ากับ 18 ไมครอน

5) ผลการทดลองที่ 5 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 25 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 9 นาที

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชูปชิ้นงาน 1 ชิ้น = $0.0556 \times 25 \approx 1.4$ แอมป์.

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่าง ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 25 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 9 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.00038 นิ้ว หรือ เท่ากับ 9.5 ไมครอน

6) ผลการทดลองที่ 6 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 25 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 13 นาที

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชูปชิ้นงาน 1 ชิ้น = $0.0556 \times 25 \approx 1.4$ แอมป์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่าง ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 25 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 13 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.00058 นิ้ว หรือ เท่ากับ 14.5 ไมครอน

7) ผลการทดลองที่ 7 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 15 แอมป์/ตร.ฟุตในเวลา 7.5 นาที

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชูปชิ้นงาน 1 ชิ้น $= 0.0556 \times 15 \approx 0.8$ แอมป์.

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่าง ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 15 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 7.5 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.00018 นิ้ว หรือ เท่ากับ 4.5 ไมครอน

8) ผลการทดลองที่ 8 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 15 แอมป์/ตร.ฟุตในเวลา 11 นาที

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชูปชิ้นงาน 1 ชิ้น $= 0.0556 \times 15 \approx 0.8$ แอมป์.

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่าง ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 15 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 11 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.00026 นิ้ว หรือ เท่ากับ 6.5 ไมครอน

9) ผลการทดลองที่ 9 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 10 แอมป์/ตร.ฟุตในเวลา 5.5 นาที

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชูปชิ้นงาน 1 ชิ้น $= 0.0556 \times 10 \approx 0.6$ แอมป์.

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่าง ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 10 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 5.5 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.00006 นิ้ว หรือ เท่ากับ 1.5 ไมครอน

10) ผลการทดลองที่ 10 ใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 10แอมป์/ตร.ฟุตในเวลา 11 นาที

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ชูปชิ้นงาน 1 ชิ้น $= 0.0556 \times 10 \approx 0.6$ แอมป์.

จากการทดลองได้อัตราการเคลื่อนในการชูปทองแดงแบบต่าง ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขนาด 10 แอมป์/ตร.ฟุต ในเวลา 11 นาที โดยการวัดผลด้วยไมโครมิเตอร์ ได้ความหนาของทองแดงที่เคลือบผิวเหล็ก เท่ากับ 0.0002 นิ้ว หรือ เท่ากับ 5 ไมครอน

ซึ่งค่าที่ได้จากผลการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกับตารางที่แสดงอัตราการเคลือบ ในการชุบทองแดงแบบต่างดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4.1 อัตราการเคลือบในการชุบทองแดงแบบต่าง ประสิทธิภาพของขั้วลบ 95%

ความหนาที่เคลือบ (นิ้ว)	น้ำหนักที่เคลือบ (ออนซ์/ตารางฟุต)	เวลาที่ใช้ในการชุบ (นาทีก)			
		ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (แอมป์/ตารางฟุต)			
		10 แอมป์.	15 แอมป์.	25 แอมป์.	40 แอมป์.
0.0001	0.074	5.6	3.7	2.2	1.4
0.0002	0.148	11.1	7.4	4.4	2.8
0.0003	0.222	16.7	11.1	6.7	4.2
0.0004	0.296	22.2	14.8	8.9	5.6
0.0005	0.370	27.8	18.6	11.1	7.0
0.0006	0.444	33.4	22.3	13.3	8.3
0.0007	0.518	38.9	26.0	15.5	9.7
0.0008	0.592	44.5	29.7	17.8	11.1
0.0009	0.666	50.0	33.4	20.0	12.5
0.0010	0.740	55.6	37.1	22.2	13.9

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจาก 10 ตัวอย่าง

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (แอมป์/ตารางฟุต)	ผลการทดลองที่	เวลาที่ใช้ในการชุบ (นาทีก)	ความหนาที่เคลือบ (นิ้ว)
40 แอมป์	1	1.5	0.00008
	2	4	0.00025
	3	7	0.00045
	4	10	0.00072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการทดลองจาก 10 ตัวอย่าง

ความหนาแน่นของ กระแสไฟฟ้า (แอมป์/ตารางฟุต)	ผลการ ทดลองที่	เวลาที่ใช้ในการชุบ (นาที)	ความหนาที่เคลือบ (นิ้ว)
25 แอมแปร์	5	9	0.00038
	6	13	0.00058
15 แอมแปร์	7	7.5	0.00018
	8	11	0.00026
10 แอมแปร์	9	5.5	0.00006
	10	11	0.0002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

โครงการนี้จัดทำเพื่อสร้างเครื่องขับโลหะด้วยไฟฟ้า โดยส่วนประกอบที่มีในโครงการที่จัดสร้างขึ้นคือ วงจรพัลส์วิดมอดูเลชัน (PWM) โดยใช้ไอซีเบอร์ UC 3875 ชุดขับนำเกตของเฟต (Gate Drive) โดยเลือกใช้อิซีเบอร์ IR 2110 เป็นชุดบัฟเฟอร์ก่อนต่อเข้ากับหม้อแปลงพัลส์เพื่อไม่ให้หม้อแปลงพัลส์ดึงกระแสจากชุดกำเนิดสัญญาณ PWM มากเกินไป วงจรกำลังต่อเป็นแบบฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter) โดยใช้หม้อแปลงกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งใช้หม้อแปลงเบอร์ IRFP 460 ในส่วนของหม้อแปลงความถี่สูงเลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์ เพราะสามารถตอบสนองต่อความถี่สูงได้ดีกว่าแกนเหล็ก และที่เอาต์พุตได้เลือกใช้ ไดโอดเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นเบอร์ MURP 20040 CT

ผลการทดสอบเครื่องขับโลหะด้วยไฟฟ้า จะได้จากผลการทดสอบดังนี้ โดยทางด้านอินพุตใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ โดยแรงดันเอาต์พุตที่ขั้วขณะยังไม่ทำการชูปสามารถปรับได้ไม่เกิน 20 โวลต์ ส่วนแรงดันและกระแสขณะทำการชูปนั้นจะขึ้นอยู่กับภาระงานชนิดต่างๆ โดยต้องทำการปรับให้เหมาะสมอีกครั้ง

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงการพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหา วงจรภาคกำลังผลิตพลังงานได้น้อย กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง

แนวทางแก้ไข วงจรภาคกำลังที่ใช้ ควรเป็นแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง โครงสร้างแบบวงจรฟูล-บริดจ์ซึ่งมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือได้สูง กระแสไหลได้ต่อเนื่องให้พลังงานได้สูงไม่ควรใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดอื่นในการทำเครื่องขับโลหะด้วยไฟฟ้า

2. ปัญหา ในการใช้อิซีเบอร์ IR2110 ในการสั่งให้หม้อแปลงกำลังจะเกิดปัญหาการ ON-OFF ไม่สนิททำให้เกิดการเสียหายของอุปกรณ์

แนวทางแก้ไข โดยแก้ปัญหาได้โดยใช้หม้อแปลงพัลส์ ต่อเป็นชุดขับนำเกต แล้วเลือกใช้อิซีเบอร์ IR2110 ต่อเป็นชุดบัฟเฟอร์ก่อนต่อเข้ากับหม้อแปลงพัลส์ เพื่อไม่ให้หม้อแปลงพัลส์ดึงกระแสจากชุดกำเนิดสัญญาณ PWM มากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ก่อนที่จะเริ่มทำโครงการควรสำรวจหาแกนเฟอร์ไรต์และไดโอดที่คิดว่าจะใช้ในโครงการ เพื่อการตัดสินใจในการออกแบบวงจรต่างๆ
2. ในการออกแบบลายวงจรควรแยกในส่วนของภาคกำเนิดความถี่สูงและภาคกำลังให้ห่างกัน เพื่อป้องกันการเกิดสัญญาณรบกวนทำให้สัญญาณที่ได้เกิดการผิดเพี้ยน
3. สามารถนำไปพัฒนาได้โดยออกแบบให้มีกระแสขณะทำการชูปสูงขึ้นเพื่อสามารถนำไปใช้งานในรูปแบบขนาดใหญ่ขึ้นได้หลากหลายมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. ชูบทอง. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดมิตรเจริญการพิมพ์. 2537.

สาโรช พันธุ์แพ. การหุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดโรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

2526

สุวัฒน์ คั่น. เทคนิคการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย. กรุงเทพฯ : บริษัท เอนเทลไทย

จำกัด. 2538

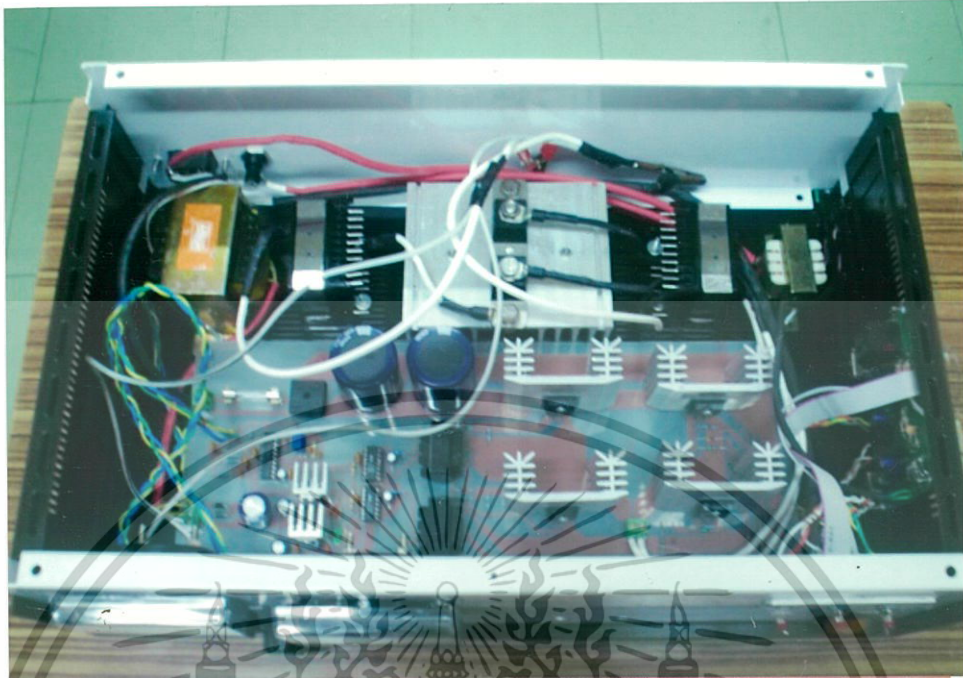
อนันต์ ทองมอญ. หุบโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์ จำกัด. 2526.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

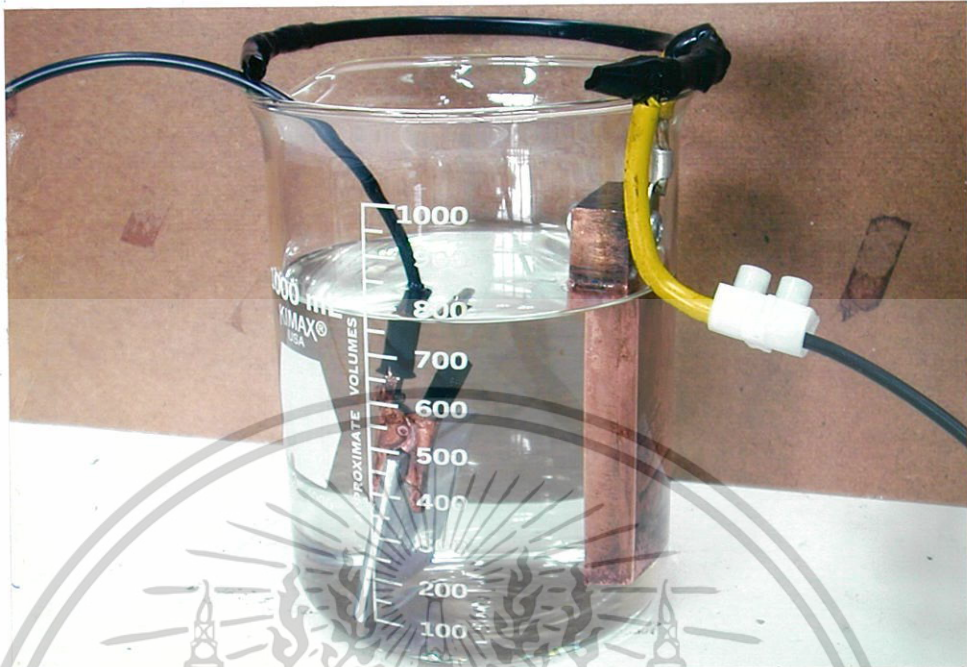


รูปที่ ก.1 ภาพถ่ายวงจรของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า



รูปที่ ก.2 ภาพถ่ายเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

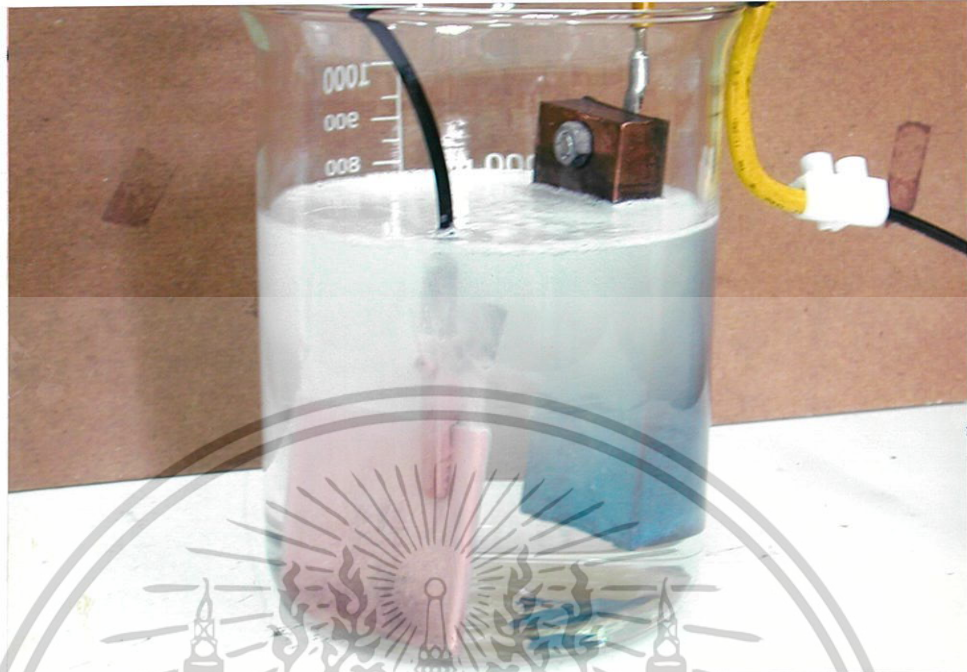


รูปที่ ก.3 มุมมองต่างๆ ของ ชิ้นงาน

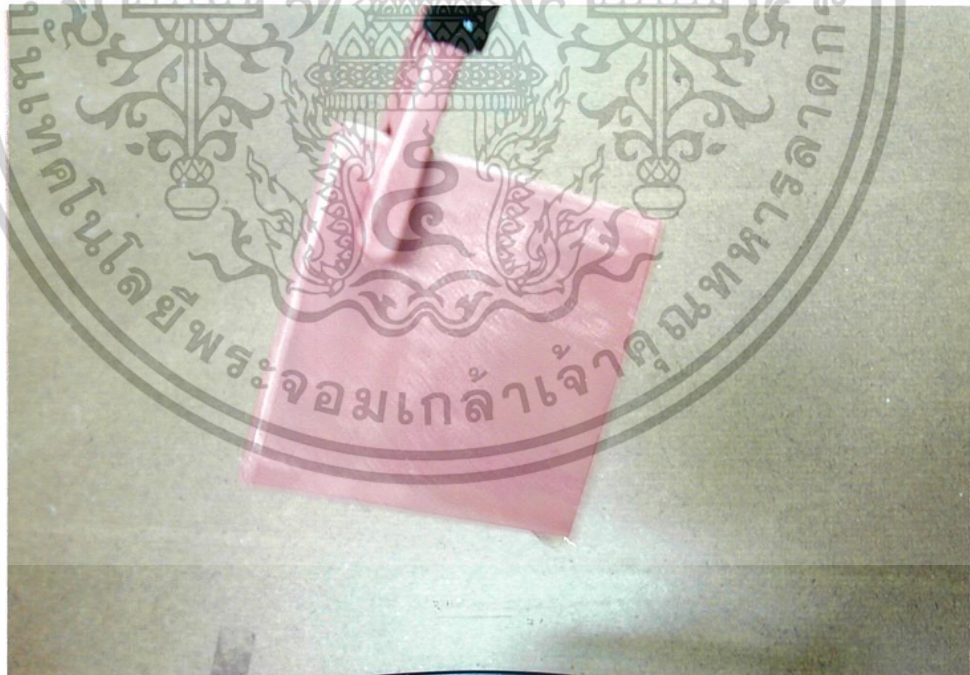


รูปที่ ก.4 น้ำยาชุบทองแดงค้างและตัวต่อ ก่อนทำการชุบโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

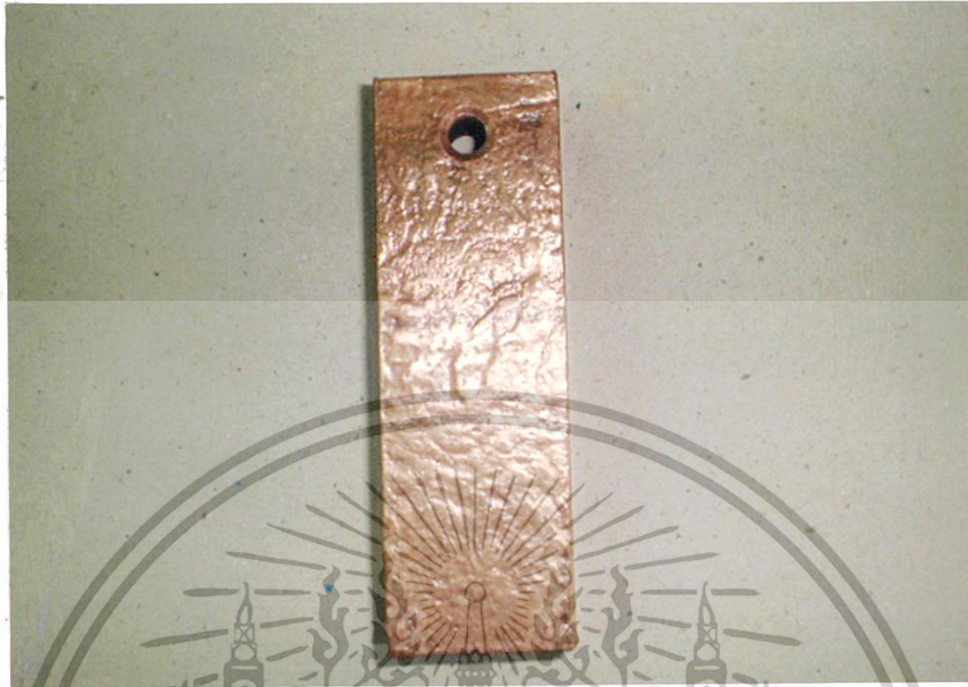


รูปที่ ก.5 น้ำยาชุบทองแดงต่างและตัวล่อ ขณะทำการชุบโลหะ



รูปที่ ก.6 ชิ้นงานที่ทำกรชุบทองแดงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 ตัวล่อทองแดง



รูปที่ ก.8 น้ำยาชุบทองแดงค้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



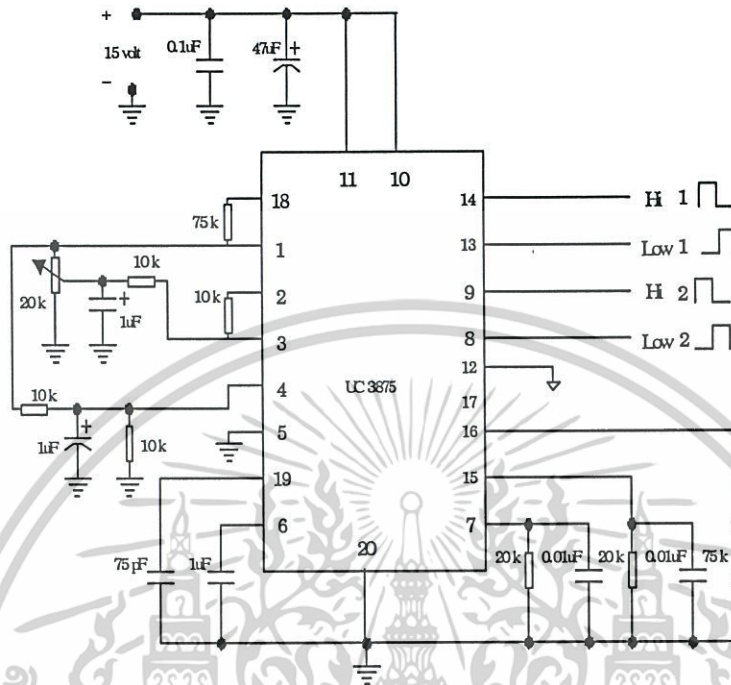
รูปที่ ก.9 น้ำยาต้มล้างไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

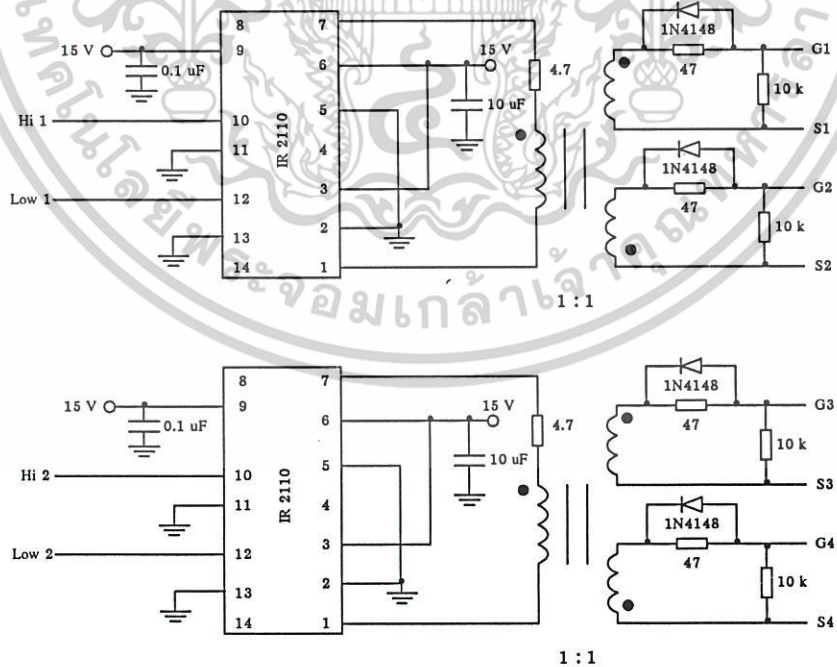


ภาคผนวก ข
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

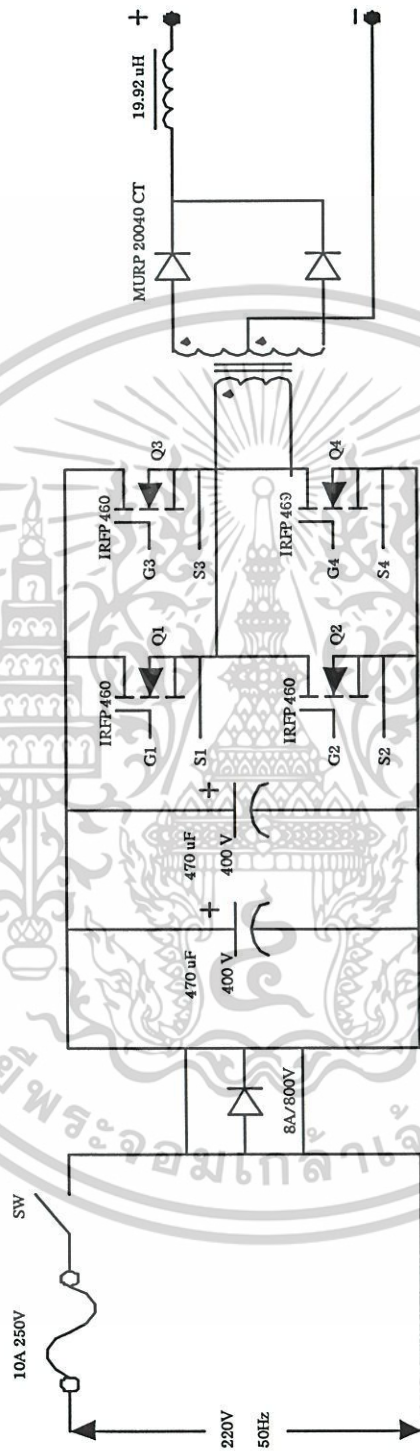


รูปที่ ข.1 วงจรสร้างสัญญาณ PWM



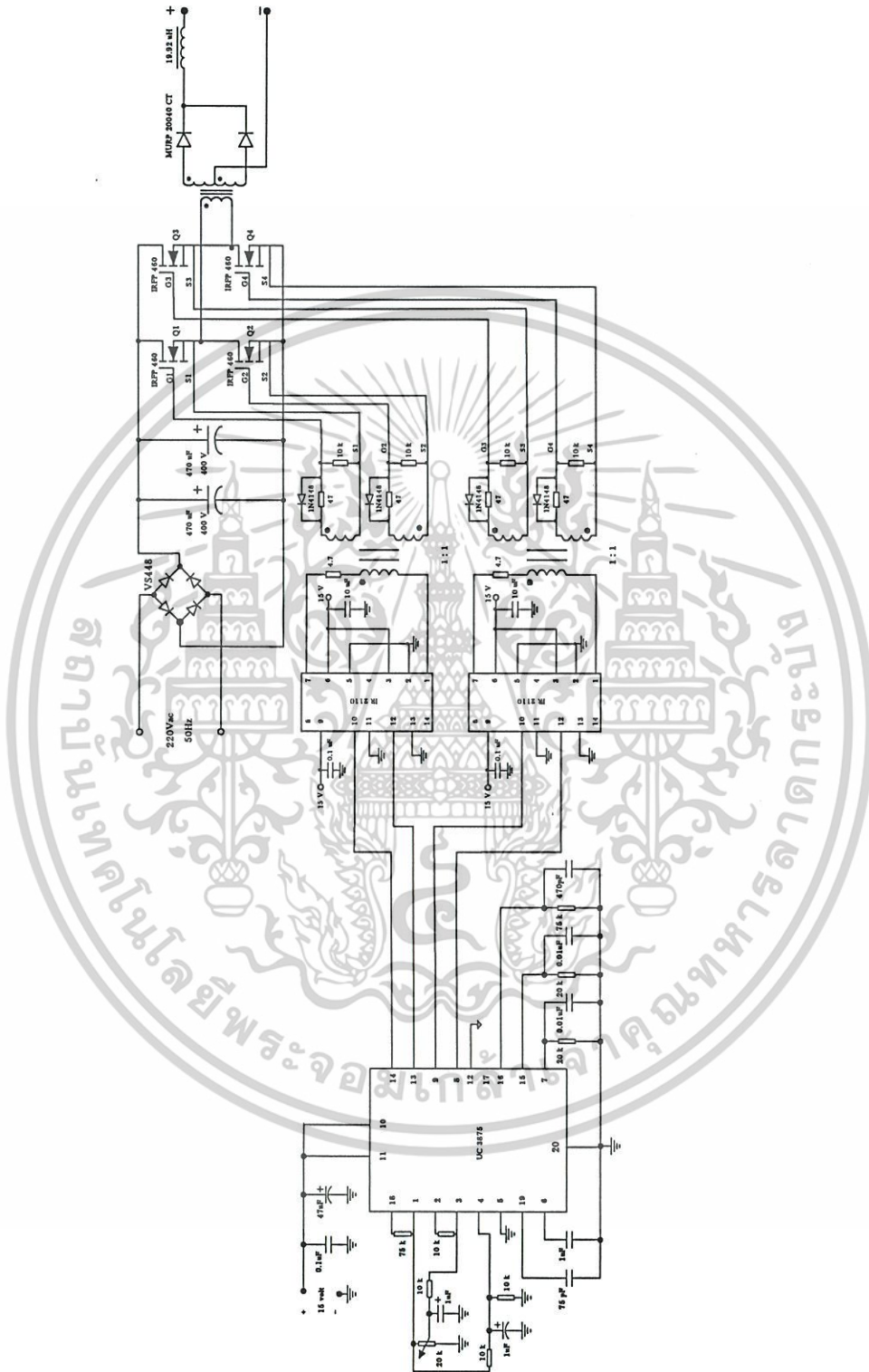
รูปที่ ข.2 วงจรขับเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



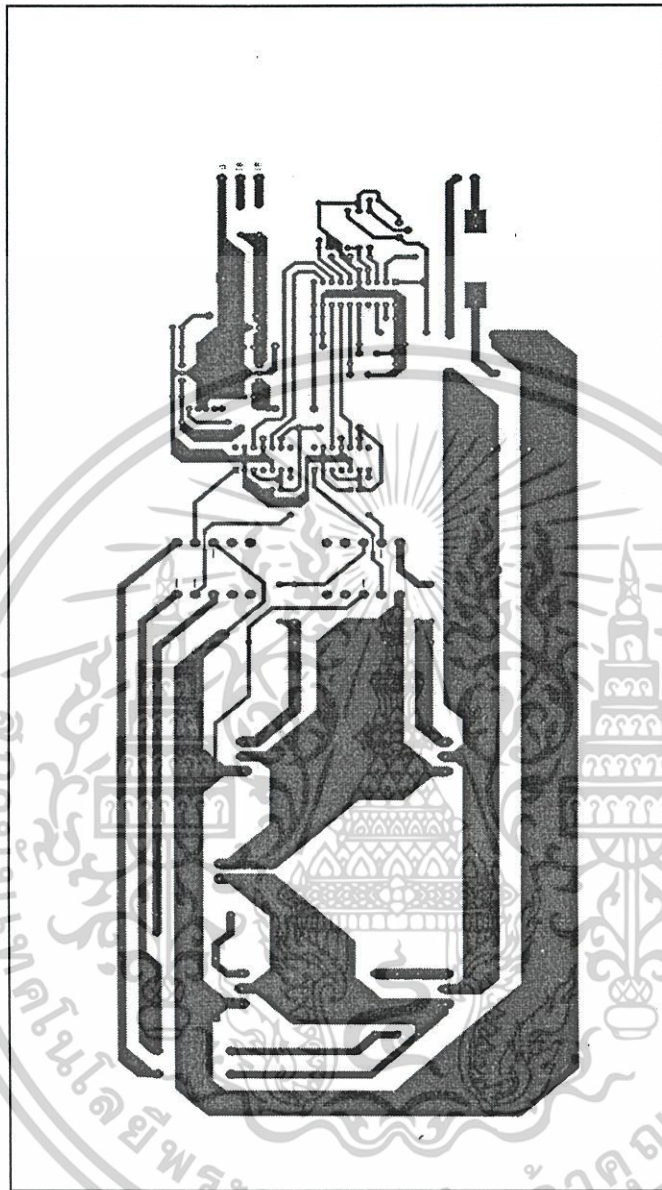
รูปที่ ข.3 วงจรภาคกำลังของเครื่องชুবโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



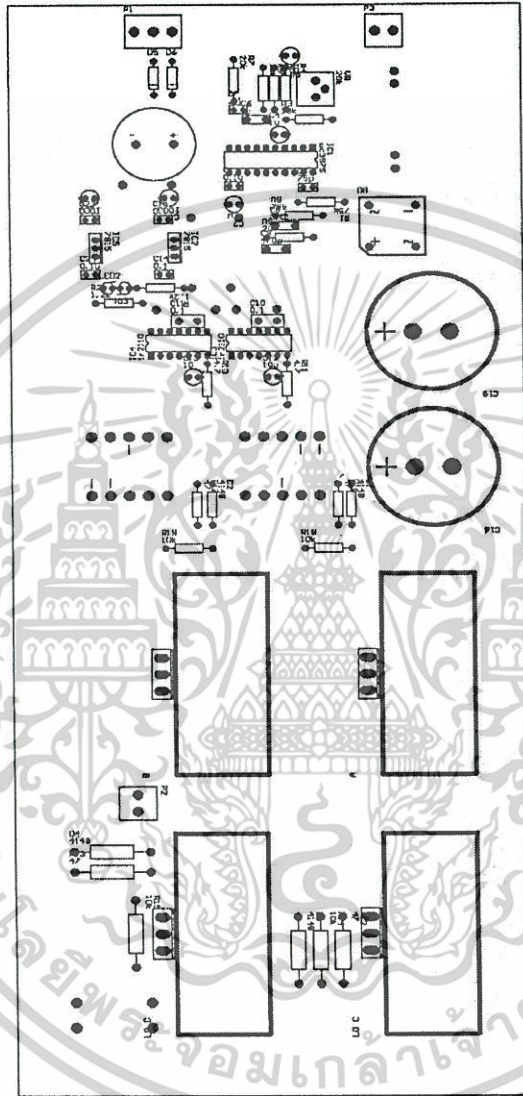
รูปที่ ข.4 วงจรของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ลายวงจรของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 การวางอุปกรณ์ของเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรสร้างสัญญาณ PWM

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	UC 3875	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	0.1 μ F เซรามิก	1 ตัว
C2	47 μ F 50 V	1 ตัว
C3, C4, C5	1 μ F เซรามิก	3 ตัว
C6	75 μ F เซรามิก	1 ตัว
C7, C8	0.01 μ F เซรามิก	2 ตัว
C9	470 μ F เซรามิก	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
VR1	20 K Ω Trimpot 20 รอบ	1 ตัว
R1, R2, R3, R4	10 K Ω 1/4 W 1%	4 ตัว
R5, R6	20 K Ω 1/4 W 1%	2 ตัว
R7, R8	75 K Ω 1/4 W 1%	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J 1	Socket 20 pin	1 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรขับเกต

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	IR 2110	2 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1 – D4	1N4148	4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรจับเกต

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวเก็บประจุ		
C1, C2	0.1 μ F เซรามิก	2 ตัว
C3, C4	10 μ F เซรามิก	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1, R2	4.7 Ω 1/4 W 1%	2 ตัว
R3, R4, R5, R6	10 K Ω 1/4 W 1%	4 ตัว
R7, R8, R9, R10	47 K Ω 1/4 W 1%	4 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
T1, T2	หม้อแปลงจับเกต แกนเฟอร์ไรต์ EI 28	2 ตัว
J1, J2	Socket 14 pin	2 ตัว

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรภาคกำลังของเครื่องขับโลหะด้วยไฟฟ้า

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q1 – Q4	IRFP460	4 ตัว
D1	MURP 20040 CT	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1, C2	470 μ F 400 V	2 ตัว
ตัวเหนี่ยวนำ		
L1	19.92 μ H	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
F1	ฟิวส์ 10 A	1 ตัว
T1	หม้อแปลงความถี่สูง	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรรภาคกำลังของเครื่องชูปโลหะด้วยไฟฟ้า

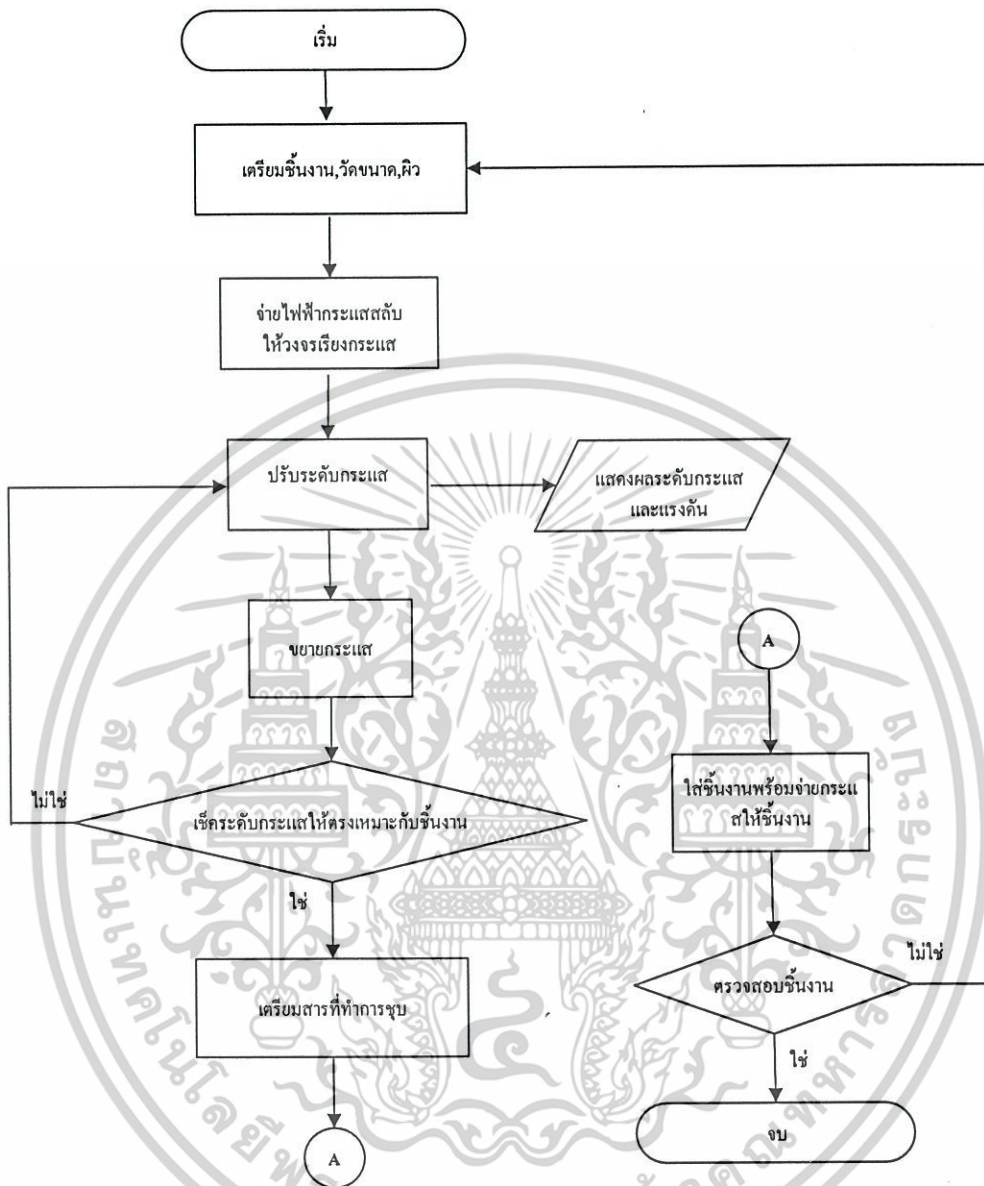
ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์อื่นๆ S1	สวิตช์แบบ DPST 30 A	1 ตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 ผังงานเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน เครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า



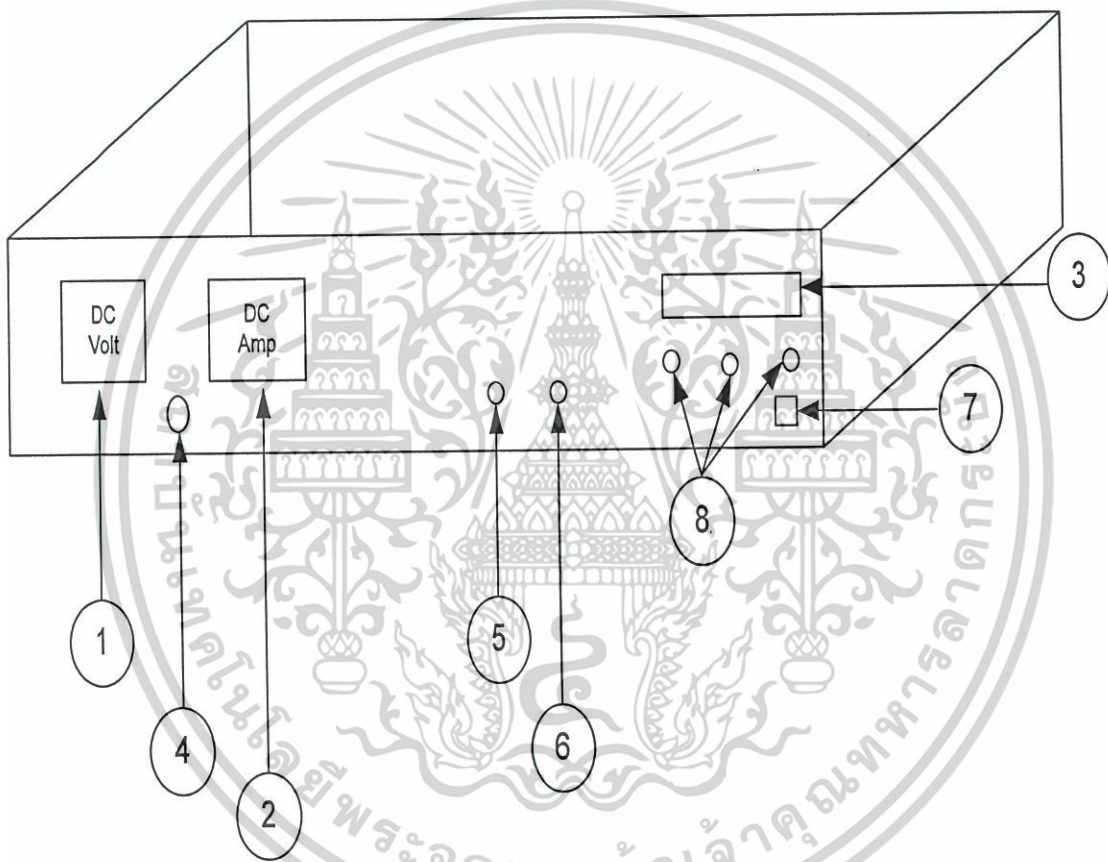
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานเครื่องชั่งโลหะด้วยไฟฟ้า ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือ ให้เข้าใจ เพื่อการใช้งาน ที่ถูกต้องและเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องชั่งโลหะด้วยไฟฟ้า

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องชั่งโลหะด้วยไฟฟ้า

จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. โวลต์มิเตอร์
2. แอมป์มิเตอร์
3. นาฬิกาจับเวลาในการชั่ง
4. ปุ่มปรับแรงดันและกระแส
5. จุดต่อสำหรับชั่งโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จุดต่อสำหรับขุบโลหะ
7. สวิตช์เปิด – ปิดเครื่อง
8. สวิตช์เลือกโหมดการทำงานของนาฬิกา

3. การติดตั้งและการใช้งาน

- 3.1 เสียบปลั๊กเครื่องแบบจำลองการขุบโลหะด้วยไฟฟ้าเข้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีแรงดัน 220 V 50Hz
- 3.2 เปิดสวิตช์ของเครื่องขุบโลหะด้วยไฟฟ้าที่ด้านหน้าของเครื่องไปที่ตำแหน่ง ON จะแสดงการทำงานของเครื่อง โดยมีไฟสีแดงติด
- 3.3 นำชิ้นงานแขวนในบ่อขุบโลหะที่มีน้ำยาขุบโลหะ พร้อมต่อขั้วไฟฟ้ากระแสตรงตามขั้วบวกและลบให้เรียบร้อย โดยศึกษาวิธีต่อขั้วของการขุบโลหะชนิดต่างๆก่อน
- 3.4 จากนั้นทำการปรับระดับแรงดันโดยการหมุนปุ่มปรับระดับ ไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกาเพื่อเพิ่มระดับแรงดันให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่จะนำมาขุบ โดยจะสามารถทราบระดับ แรงดันได้จาก Volt Meter ด้านหน้าเครื่อง
- 3.5 เมื่อทำการขุบชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว หมุนปุ่มปรับระดับไปตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเพื่อลดระดับแรงดัน แล้วจึงทำการปิดสวิตช์ของเครื่องขุบโลหะไปที่ตำแหน่ง OFF

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานเครื่องขุบโลหะด้วยไฟฟ้า สามารถตรวจสอบแนวทางแก้ปัญหาเบื้องต้นจากตารางนี้

ตารางที่ จ.1 การแก้ปัญหาเบื้องต้นในการใช้เครื่องขุบโลหะด้วยไฟฟ้า

อาการ	สาเหตุและ/ หรือวิธีแก้ไข
ขุบชิ้นงานไม่ติด	ตรวจสอบกระแสและแรงดันในการขุบ
นาฬิกาไม่แสดงผล	ตรวจสอบสายต่อต่าง, ไม่มีไฟไปเลี้ยง
เครื่องร้อนและประสิทธิภาพของชิ้นงานไม่เป็นดังที่ปรารถนา	ตรวจสอบวงจร ควรพักการใช้งานเป็นระยะๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

- ทำความสะอาดด้วยการปิดฝุ่น
- เช็ดทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้านุ่มอยู่เสมอ
- ขัดและทำความสะอาดตัวล่ออยู่เสมอ

5.2 ข้อควรระวัง

- อย่าเปิดสวิทช์ขณะทำความสะอาด
- อย่าให้น้ำเข้าแผงวงจร
- ขณะทำการชุปอย่าให้ตัวล่อสัมผัสกับชิ้นงาน

6. ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
หลักการผลิต PWM	ใช้วงจรรวมเบอร์ UC3875 ในการสร้างสัญญาณ PWM
หลักการขับเคลื่อน	ใช้วงจรรวมเบอร์ IR2110 ในการขับเคลื่อน
หลักการภาคกำลัง	ใช้โมสเฟตเบอร์ IRFP460 ในการขยายกระแส
หลักการหม้อแปลงขับเคลื่อน	ใช้หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ขนาด EI28
หลักการหม้อแปลงความถี่สูง	ใช้หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ขนาด ETD49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase Shift Resonant Controller

FEATURES

- Zero to 100% Duty Cycle Control
- Programmable Output Turn-On Delay
- Compatible with Voltage or Current Mode Topologies
- Practical Operation at Switching Frequencies to 1MHz
- Four 2A Totem Pole Outputs
- 10MHz Error Amplifier
- Undervoltage Lockout
- Low Startup Current -150µA
- Outputs Active Low During UVLO
- Soft-Start Control
- Latched Over-Current Comparator With Full Cycle Restart
- Trimmed Reference

DESCRIPTION

The UC1875 family of integrated circuits implements control of a bridge power stage by phase-shifting the switching of one half-bridge with respect to the other, allowing constant frequency pulse-width modulation in combination with resonant, zero-voltage switching for high efficiency performance at high frequencies. This family of circuits may be configured to provide control in either voltage or current mode operation, with a separate over-current shutdown for fast fault protection.

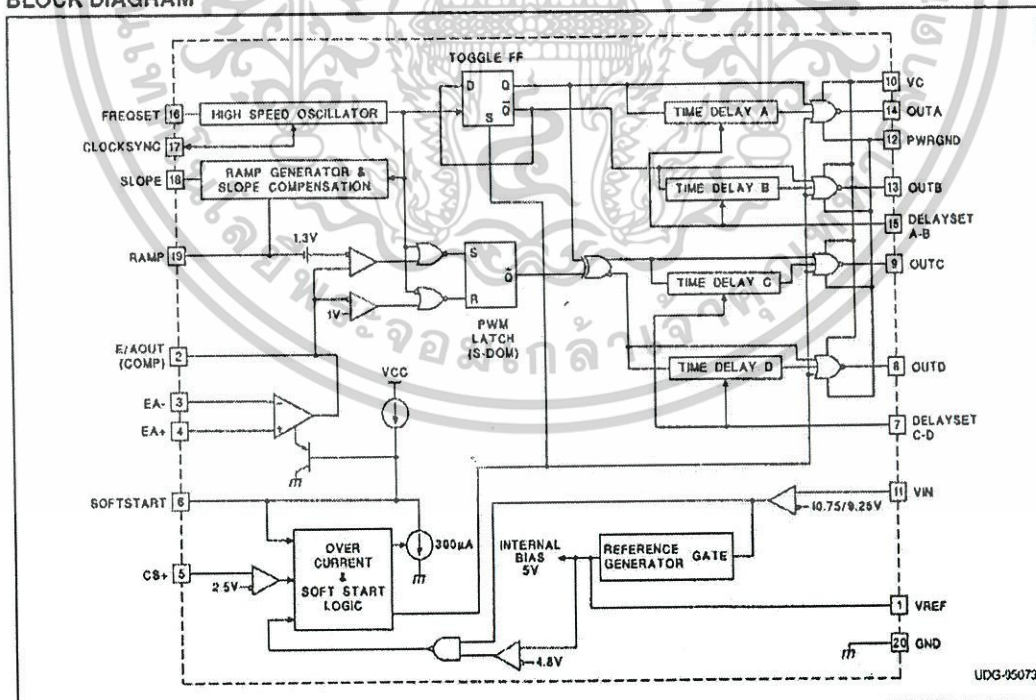
A programmable time delay is provided to insert a dead-time at the turn-on of each output stage. This delay, providing time to allow the resonant switching action, is independently controllable for each output pair (A-B, C-D).

With the oscillator capable of operation at frequencies in excess of 2MHz, overall switching frequencies to 1MHz are practical. In addition to the standard free running mode, with the CLOCKSINC pin, the user may configure these devices to accept an external clock synchronization signal, or may lock together up to 5 units with the operational frequency determined by the fastest device.

Protective features include an undervoltage lockout which maintains all outputs in an active-low state until the supply reaches a 10.75V threshold. 1.5V hysteresis is built in for reliable, boot-strapped chip supply. Over-current protection is provided, and will latch the outputs in the OFF state within 70nsec of a fault. The current-fault circuitry implements full-cycle restart operation.

(continued)

BLOCK DIAGRAM



SLUS229 - JULY 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1875/6/7/8
UC2875/6/7/8
UC3875/6/7/8

DESCRIPTION (cont.)

Additional features include an error amplifier with bandwidth in excess of 7MHz, a 5V reference, provisions for soft-starting, and flexible ramp generation and slope compensation circuitry.

These devices are available in 20-pin DIP, 28-pin "bat-wing" SOIC and 28 lead power PLCC plastic packages for operation over both 0°C to 70°C and -25°C to +85°C temperature ranges; and in hermetically sealed cerdip, and surface mount packages for -55°C to +125°C operation.

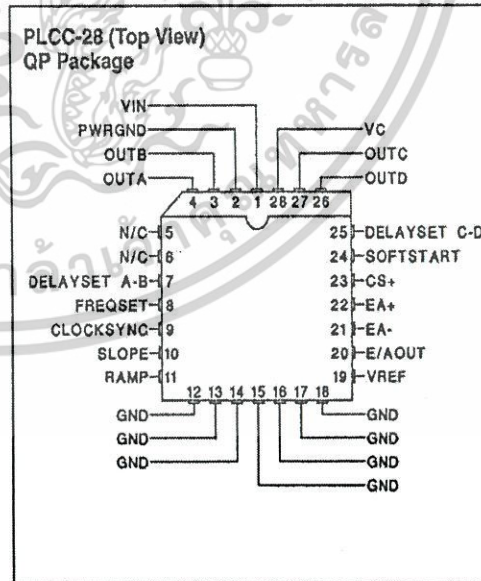
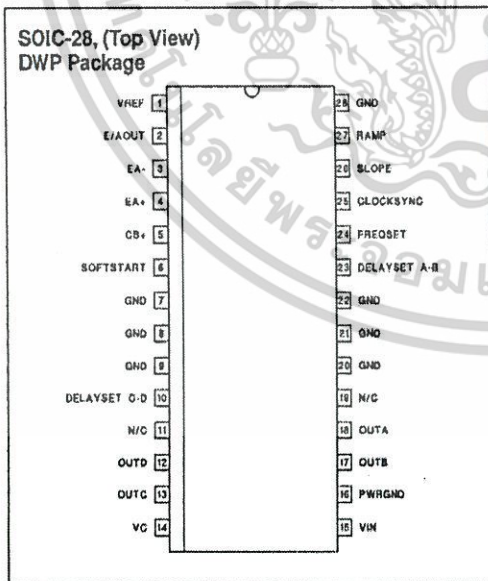
Device	UVLO Turn-On	UVLO Turn-Off	Delay Set
UC1875	10.75	9.25V	Yes
UC1876	15.25V	9.25V	Yes
UC1877	10.75V	9.25V	No
UC1878	15.25V	9.25V	No

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (VC, VIN) 20V
Output Current, Source or Sink 0.5A
DC 0.5A
Pulse (0.5µs) 3A
Analog I/Os
(Pins 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 15, 16, 17, 18, 19) -0.3 to 5.3V
Storage Temperature Range -65°C to +150°C
Junction Temperature -55°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) +300°C

Note: Pin references are to 20 pin packages. All voltages are with respect to ground. Currents are positive into, negative out of, device terminals. Consult Unimicro databook for information regarding thermal specifications and limitations of packages.

CONNECTION DIAGRAMS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1875/6/7/8
UC2875/6/7/8
UC3875/6/7/8

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: Unless otherwise stated, $-55^{\circ}\text{C} < T_A < 125^{\circ}\text{C}$ for the UC1875/6/7/8, $-25^{\circ}\text{C} < T_A < 85^{\circ}\text{C}$ for the UC2875/6/7/8 and $0^{\circ}\text{C} < T_A < 70^{\circ}\text{C}$ for the UC3875/6/7/8, $V_C = V_{IN} = 12\text{V}$, $R_{\text{FREQSET}} = 12\text{k}\Omega$, $C_{\text{FREQSET}} = 330\text{pF}$, $R_{\text{SLOPE}} = 12\text{k}\Omega$, $C_{\text{RAMP}} = 200\text{pF}$, $C_{\text{DELAYSET A-B}} = C_{\text{DELAYSET C-D}} = 0.01\mu\text{F}$, $I_{\text{DELAYSET A-B}} = I_{\text{DELAYSET C-D}} = -500\mu\text{A}$, $T_A = T_J$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Undervoltage Lockout					
Start Threshold	UC1875/UC1877		10.75	11.75	V
	UC1876/UC1878		15.25		V
UVLO Hysteresis	UC1875/UC1877	0.5	1.25	2.0	V
	UC1876/UC1878		6.0		V
Supply Current					
I_{IN} Startup	$V_{\text{IN}} = 8\text{V}$, $V_C = 20\text{V}$, R_{SLOPE} open, $I_{\text{DELAY}} = 0$		150	600	μA
I_C Startup	$V_{\text{IN}} = 8\text{V}$, $V_C = 20\text{V}$, R_{SLOPE} open, $I_{\text{DELAY}} = 0$		10	100	μA
I_{IN}			30	40	mA
I_C			15	30	mA
Voltage Reference					
Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.92	5	5.08	V
Line Regulation	$11 < V_{\text{IN}} < 20\text{V}$		1	10	mV
Load Regulation	$I_{\text{VREF}} = -10\text{mA}$		5	20	mV
Total Variation	Line, Load, Temperature	4.9		5.1	V
Noise Voltage	10Hz to 10kHz		50		μVrms
Long Term Stability	$T_J = 125^{\circ}\text{C}$, 1000 hours		2.5		mV
Short Circuit Current	$V_{\text{REF}} = 0\text{V}$, $T_J = 25^{\circ}\text{C}$		60		mA
Error Amplifier					
Offset Voltage			5	15	mV
Input Bias Current			0.6	3	μA
AVOL	$1\text{V} < V_{\text{E/AOUT}} < 4\text{V}$	60	90		dB
CMRR	$1.5\text{V} < V_{\text{CM}} < 5.5\text{V}$	75	95		dB
PSRR	$11\text{V} < V_{\text{IN}} < 20\text{V}$	85	100		dB
Output Sink Current	$V_{\text{E/AOUT}} = 1\text{V}$	1	2.5		mA
Output Source Current	$V_{\text{E/AOUT}} = 4\text{V}$		-1.3	-0.5	mA
Output Voltage High	$I_{\text{E/AOUT}} = -0.5\text{mA}$	4	4.7	5	V
Output Voltage Low	$I_{\text{E/AOUT}} = 1\text{mA}$	0	0.5	1	V
Unity Gain BW	(Note 8)	7	11		MHz
Slew Rate	(Note 8)	6	11		V/ μsec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1875/6/7/8
UC2875/6/7/8
UC3875/6/7/8

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: Unless otherwise stated, $-55^{\circ}\text{C} < T_A < 125^{\circ}\text{C}$ for the UC1875/6/7/8, $-25^{\circ}\text{C} < T_A < 85^{\circ}\text{C}$ for the UC2875/6/7/8 and $0^{\circ}\text{C} < T_A < 70^{\circ}\text{C}$ for the UC3875/6/7/8, $V_C = V_{IN} = 12\text{V}$, $R_{\text{FREQSET}} = 12\text{k}\Omega$, $C_{\text{FREQSET}} = 330\text{pF}$, $R_{\text{SLOPE}} = 12\text{k}\Omega$, $C_{\text{RAMP}} = 200\text{pF}$, $C_{\text{DELAYSET A-B}} = C_{\text{DELAYSET C-D}} = 0.01\mu\text{F}$, $I_{\text{DELAYSET A-B}} = I_{\text{DELAYSET C-D}} = -500\mu\text{A}$, $T_A = T_J$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
PWM Comparator					
Ramp Offset Voltage	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$ (Note 3)		1.3		V
Zero Phase Shift Voltage	(Note 4)	0.55	0.9		V
PWM Phase Shift (Note 1) and (Note 7)	$V_{E/AOUT} > (\text{Ramp Peak} + \text{Ramp Offset})$	98	99.5	102	%
	$V_{E/AOUT} < \text{Zero Phase Shift Voltage}$	0	0.5	2	%
Output Skew (Note 1) and (Note 7)	$V_{E/AOUT} < 1\text{V}$		5	± 20	nsec
Ramp to Output Delay, (Note 8)	UC3875/6/7/8 (Note 6)		65	100	nsec
	UC1875/6/7/8, UC2875/6/7/8 (Note 6)		65	125	nsec
Oscillator					
Initial Accuracy	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	0.85	1	1.15	MHz
Voltage Stability	$11\text{V} < V_{IN} < 20\text{V}$		0.2	2	%
Total Variation	Line, Temperature	0.80		1.20	MHz
Sync Pin Threshold	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		3.8		V
Clock Out Peak	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		4.3		V
Clock Out Low	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		3.3		V
Clock Out Pulse Width	$R_{\text{CLOCKSYNC}} = 3.9\text{k}\Omega$		30	100	nsec
Maximum Frequency, (Note 7)	$R_{\text{FREQSET}} = 5\text{k}\Omega$	2			MHz
Ramp Generator/Slope Compensation					
Ramp Current, Minimum	$I_{\text{SLOPE}} = 10\mu\text{A}$, $V_{\text{FREQSET}} = V_{\text{REF}}$		-11	-14	μA
Ramp Current, Maximum	$I_{\text{SLOPE}} = 1\text{mA}$, $V_{\text{FREQSET}} = V_{\text{REF}}$	-0.8	-0.95		mA
Ramp Valley			0		V
Ramp Peak - Clamping Level	$R_{\text{FREQSET}} = 100\text{k}\Omega$		3.8	4.1	V
Current Limit					
Input Bias	$V_{\text{CS}+} = 3\text{V}$		2	5	μA
Threshold Voltage		2.4	2.5	2.6	V
Delay to Output, (Note 8)	UC3875/6/7/8		85	125	nsec
	UC1875/6/7/8, UC2875/6/7/8		85	150	nsec
Soft-Start/Reset Delay					
Charge Current	$V_{\text{SOFTSTART}} = 0.5\text{V}$	-20	-9	-3	μA
Discharge Current	$V_{\text{SOFTSTART}} = 1\text{V}$	120	230		μA
Restart Threshold		4.3	4.7		V
Discharge Level			300		mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UC1875/6/7/8
 UC2875/6/7/8
 UC3875/6/7/8

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: Unless otherwise stated, $-55^{\circ}\text{C} < T_A < 125^{\circ}\text{C}$ for the UC1875/6/7/8, $-25^{\circ}\text{C} < T_A < 85^{\circ}\text{C}$ for the UC2875/6/7/8 and $0^{\circ}\text{C} < T_A < 70^{\circ}\text{C}$ for the UC3875/6/7/8, $V_C = V_{IN} = 12\text{V}$, $R_{FREQSET} = 12\text{k}\Omega$, $C_{FREQSET} = 330\text{pF}$, $R_{SLOPE} = 12\text{k}\Omega$, $C_{RAMP} = 200\text{pF}$, $C_{DELAYSET\ A-B} = C_{DELAYSET\ C-D} = 0.01\mu\text{F}$, $I_{DELAYSET\ A-B} = I_{DELAYSET\ C-D} = -500\mu\text{A}$, $T_A = T_J$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Drivers					
Output Low Level	$I_{OUT} = 50\text{mA}$		0.2	0.4	V
	$I_{OUT} = 500\text{mA}$		1.2	2.6	V
Output High Level	$I_{OUT} = -50\text{mA}$		1.5	2.5	V
	$I_{OUT} = -500\text{mA}$		1.7	2.6	V
Delay Set (UC1875 and UC1876 only)					
Delay Set Voltage	$I_{DELAY} = -500\mu\text{A}$	2.3	2.4	2.6	V
Delay Time, (Note 8)	$I_{DELAY} = -250\mu\text{A}$ (Note 5) (UC3875/6/7/8, UC2875/6/7/8)	150	250	400	nsec
	$I_{DELAY} = -250\mu\text{A}$ (Note 5) (UC1875/6/7/8)	150	250	600	nsec

Note 1: Phase shift percentage ($0\% = 0^{\circ}$, $100\% = 180^{\circ}$) is defined as $\theta = \frac{200}{T} \Phi\%$, where θ is the phase shift, and Φ and T are defined in Figure 1. At 0% phase shift, Φ is the output skew.

Note 2: Delay time is defined as $\text{delay} = T(1/2 - \text{duty cycle})$, where T is defined in Fig. 1.

Note 3: Ramp offset voltage has a temperature coefficient of about $-4\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

Note 4: Zero phase shift voltage has a temperature coefficient of about $-2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

Note 5: Delay time can be programmed via resistors from the delay set pins to ground. Delay time $\cong \frac{62.5 \cdot 10^{-12}}{I_{DELAY}}$ sec. Where

$$I_{DELAY} = \frac{\text{Delay set voltage}}{R_{DELAY}}$$

The recommended range for I_{DELAY} is $25\mu\text{A} \leq I_{DELAY} \leq 1\text{mA}$

Note 6: Ramp delay to output time is defined in Fig. 2.

Note 7: Not production tested at -55°C .

Note 8: Not production tested.

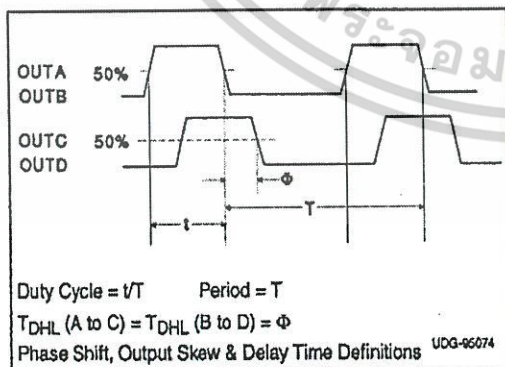


Figure 1

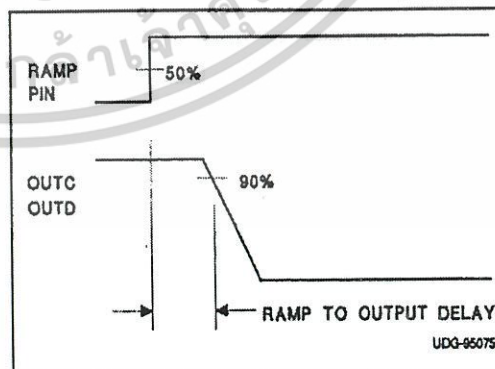


Figure 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS

CLOCKSYNC (bi-directional clock and synchronization pin): Used as an output, this pin provides a clock signal. As an input, this pin provides a synchronization point. In its simplest usage, multiple devices, each with their own local oscillator frequency, may be connected together by the CLOCKSYNC pin and will synchronize on the fastest oscillator. This pin may also be used to synchronize the device to an external clock, provided the external signal is of higher frequency than the local oscillator. A resistor load may be needed on this pin to minimize the clock pulse width.

EA/OUT (error amplifier output): This is the gain stage for overall feedback control. Error amplifier output voltage levels below 1 volt will force 0° phase shift. Since the error amplifier has a relatively low current drive capability, the output may be overridden by driving with a sufficiently low impedance source.

CS+ (current sense): The non-inverting input to the current-fault comparator whose reference is set internally to a fixed 2.5V (separate from VREF). When the voltage at this pin exceeds 2.5V the current-fault latch is set, the outputs are forced OFF and a SOFT-START cycle is initiated. If a constant voltage above 2.5V is applied to this pin the outputs are disabled from switching and held in a low state until the CS+ pin is brought below 2.5V. The outputs may begin switching at 0 degrees phase shift before the SOFTSTART pin begins to rise -- this condition will not prematurely deliver power to the load.

FREQSET (oscillator frequency set pin): A resistor and a capacitor from FREQSET to GND will set the oscillator frequency.

DELAYSET A-B, DELAYSET C-D (output delay control): The user programmed current flowing from these pins to GND set the turn-on delay for the corresponding output pair. This delay is introduced between turn-off of one switch and turn-on of another in the same leg of the bridge to provide a dead time in which the resonant switching of the external power switches takes place. Separate delays are provided for the two half-bridges to accommodate differences in the resonant capacitor charging currents.

EA- (error amplifier inverting input): This is normally connected to the voltage divider resistors which sense the power supply output voltage level.

EA+ (error amplifier non-inverting input): This is normally connected to a reference voltage used for comparison with the sensed power supply output voltage level at the EA+ pin.

GND (signal ground): All voltages are measured with respect to GND. The timing capacitor, on the FREQSET

pin, any bypass capacitor on the VREF pin, bypass capacitors on VIN and the ramp capacitor, on the RAMP pin, should be connected directly to the ground plane near the signal ground pin.

OUTA-OUTD (outputs A-D): The outputs are 2A totem-pole drivers optimized for both MOSFET gates and level-shifting transformers. The outputs operate as pairs with a nominal 50% duty-cycle. The A-B pair is intended to drive one half-bridge in the external power stage and is synchronized with the clock waveform. The C-D pair will drive the other half-bridge with switching phase shifted with respect to the A-B outputs.

PWRGND (power ground): VC should be bypassed with a ceramic capacitor from the VC pin to the section of the ground plane that is connected to PWRGND. Any required bulk reservoir capacitor should parallel this one. Power ground and signal ground may be joined at a single point to optimize noise rejection and minimize DC drops.

RAMP (voltage ramp): This pin is the input to the PWM comparator. Connect a capacitor from here to GND. A voltage ramp is developed at this pin with a slope:

$$\frac{dV}{dT} = \frac{\text{Sense Voltage}}{R_{SLOPE} \cdot C_{RAMP}}$$

Current mode control may be achieved with a minimum amount of external circuitry, in which case this pin provides slope compensation.

Because of the 1.3V offset between the ramp input and the PWM comparator, the error amplifier output voltage can not exceed the effective ramp peak voltage and duty cycle clamping is easily achievable with appropriate values of R_{SLOPE} and C_{RAMP} .

SLOPE (set ramp slope/slope compensation): A resistor from this pin to VCC will set the current used to generate the ramp. Connecting this resistor to the DC input line voltage will provide voltage feed-forward.

SOFTSTART (soft start): SOFTSTART will remain at GND as long as VIN is below the UVLO threshold. SOFTSTART will be pulled up to about 4.8V by an internal 9μA current source when VIN becomes valid (assuming a non-fault condition). In the event of a current-fault (CS+ voltage exceeding 2.5V), SOFTSTART will be pulled to GND and then ramp to 4.8V. If a fault occurs during the SOFTSTART cycle, the outputs will be immediately disabled and SOFTSTART must charge fully prior to resetting the fault latch.

For paralleled controllers, the SOFTSTART pins may be paralleled to a single capacitor, but the charge currents will be additive.

PIN DESCRIPTIONS (cont.)

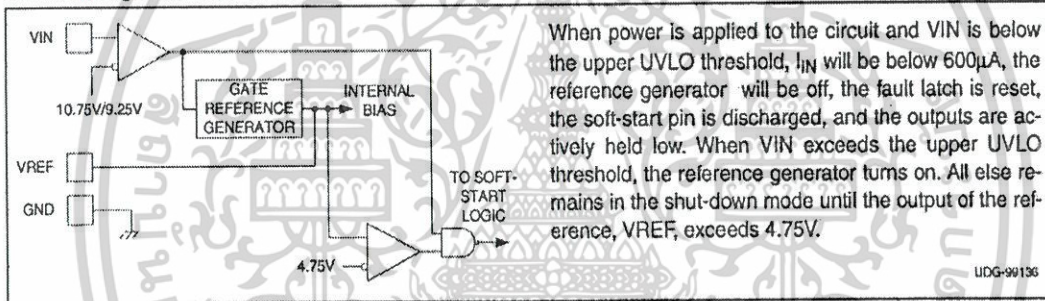
VC (output switch supply voltage): This pin supplies power to the output drivers and their associated bias circuitry. Connect VC to a stable source above 3V for normal operation, above 12V for best performance. This supply should be bypassed directly to the PWRGND pin with low ESR, low ESL capacitors.

VIN (primary chip supply voltage): This pin supplies power to the logic and analog circuitry on the integrated circuit that is not directly associated with driving the output stages. Connect VIN to a stable source above 12V for normal operation. To ensure proper chip functionality, these devices will be inactive until VIN exceeds the upper undervoltage lockout threshold. This pin should be bypassed directly to the GND pin with low ESR, low ESL capacitors.

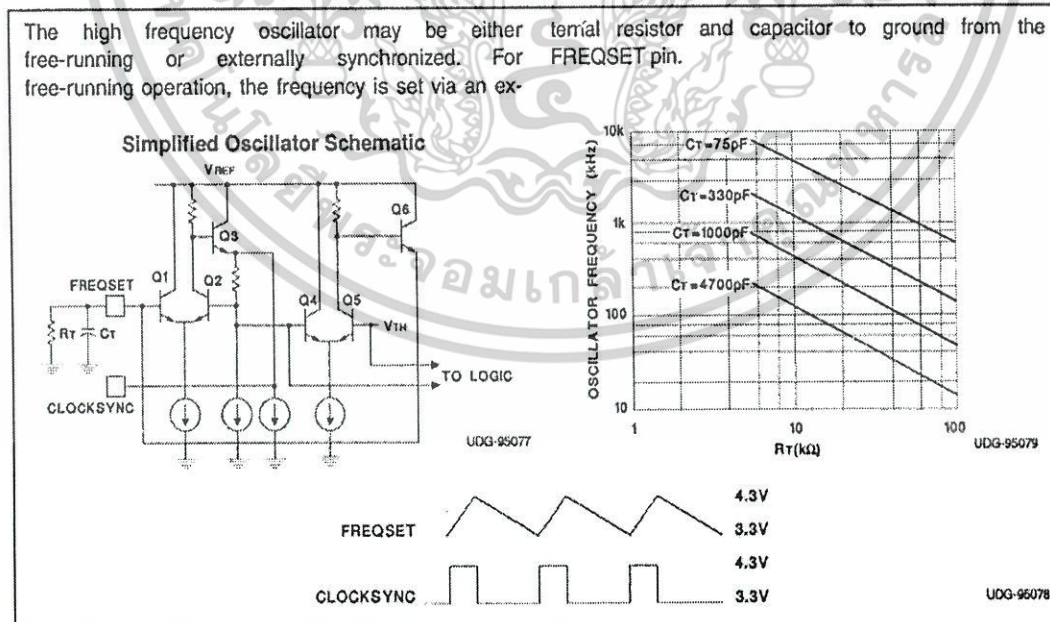
NOTE: When VIN exceeds the UVLO threshold the supply current (I_{IN}) will jump from about 100 μ A to a current in excess of 20 μ A. If the UC1875 is not connected to a well bypassed supply, it may immediately enter UVLO again.

VREF: This pin is an accurate 5V voltage reference. This output is capable of delivering about 60mA to peripheral circuitry and is internally short circuit current limited. VREF is disabled while VIN is low enough to force the chip into UVLO. The circuit is also in UVLO until VREF reaches approximately 4.75V. For best results bypass VREF with a 0.1 μ F, low ESR, low ESL, capacitor to the GND pin.

APPLICATION INFORMATION
Undervoltage Lockout Section



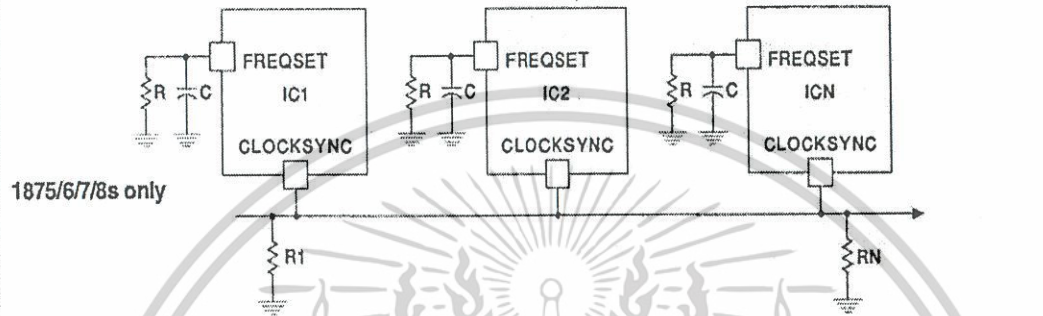
The high frequency oscillator may be either free-running or externally synchronized. For free-running operation, the frequency is set via an external resistor and capacitor to ground from the FREQSET pin.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION (cont.)
Synchronizing The Oscillator

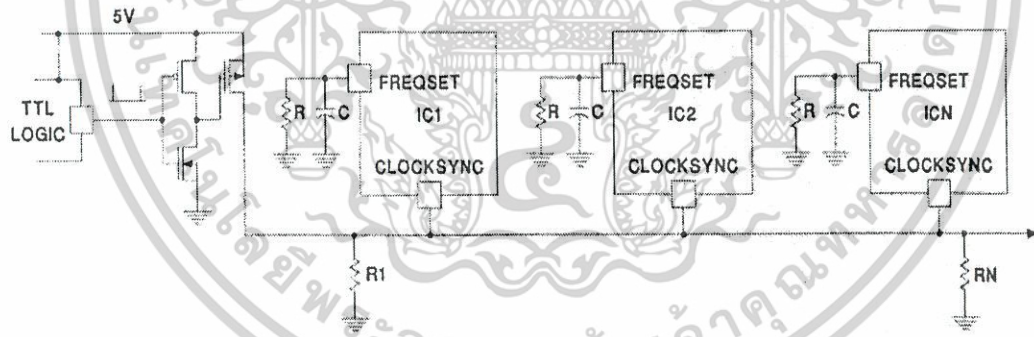
The CLOCKSINC pin of the oscillator may be used to synchronize multiple UC1875 devices simply by connecting the CLOCKSINC of each UC1875 to the others:



UDG-95080

All ICs will sync to chip with the fastest local oscillator.
R1 & RN may be needed to keep sync pulse narrow due to capacitance on line.
R1 & RN may also be needed to properly terminate R_{SYNC} line.

Syncing to external TTL/CMOS



UDG-95081

ICs will sync to fastest chip or TTL clock if it is higher frequency.
R & RN may be needed for same reasons as above

Although each UC1875/6/7/8 has a local oscillator frequency, the group of devices will synchronize to the fastest oscillator driving the CLOCKSINC pin. This arrangement allows the synchronizing connection between ICs to be broken without any local loss of functionality.

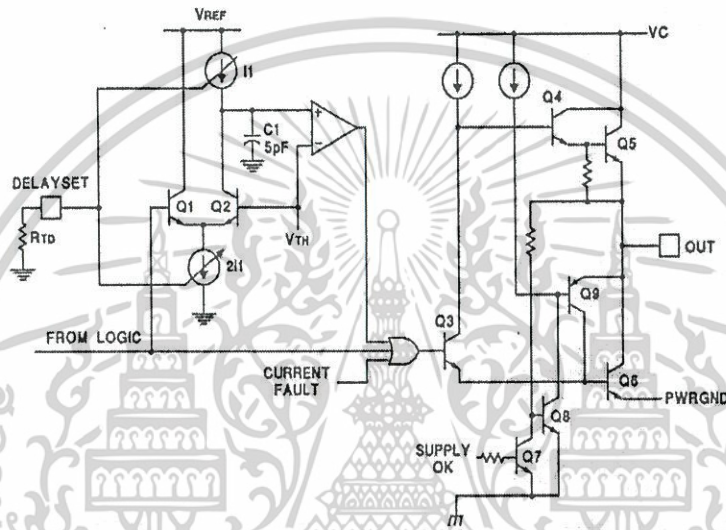
Synchronizing the device to an external clock signal may be accomplished with a minimum of external circuitry, as shown in the previous figure.

Capacitive loading on the CLOCKSINC pin will increase the clock pulse width, and may adversely effect system performance. Therefore, a resistor to ground from the CLOCKSINC pin is optional, but may be required to offset capacitive loading on this pin. These resistors are shown in the oscillator schematics as R1, RN.

APPLICATION INFORMATION (cont.)
Delay Blocks And Output Stages

In each of the output stages, transistors Q3 through Q6 form a high-speed totem-pole driver which will source or sink more than one amp peak with a total delay of approximately 30 nanoseconds. To ensure a low output level prior to turn-on, transistors Q7 through Q9 form a

self-biased driver to hold Q6 on prior to the supply reaching its turn-on threshold. This circuit is operable when the chip supply is zero. Q6 is also turned on and held low with a signal from the fault logic portion of the chip.



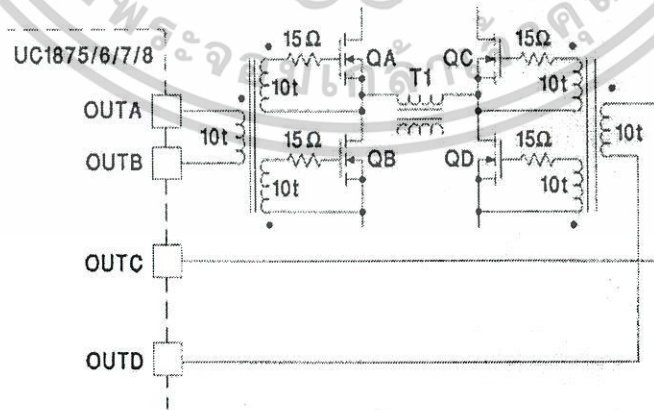
UDG-95082

The delay providing the dead-time is accomplished with C1 which must discharge to V_{TH} before the output can go high. The time is defined by the current sources, I_1 , which is programmed by an external resistor, R_{TD} . The voltage on the Delay Set pins is internally regulated to

2.5V and the range of dead time control is from 50 to 200 nanoseconds. NOTE: There is no way to disable the delay circuitry, and the delay time must be programmed.

Output Switch Orientation

The four outputs of the UC1875/6/7/8 interface to the full bridge converter switches as shown below:



UDG-95083

3 Winding Bifilar, AWG 30 Kynar Insulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**APPLICATION INFORMATION (cont.)
Fault/Soft-Start**

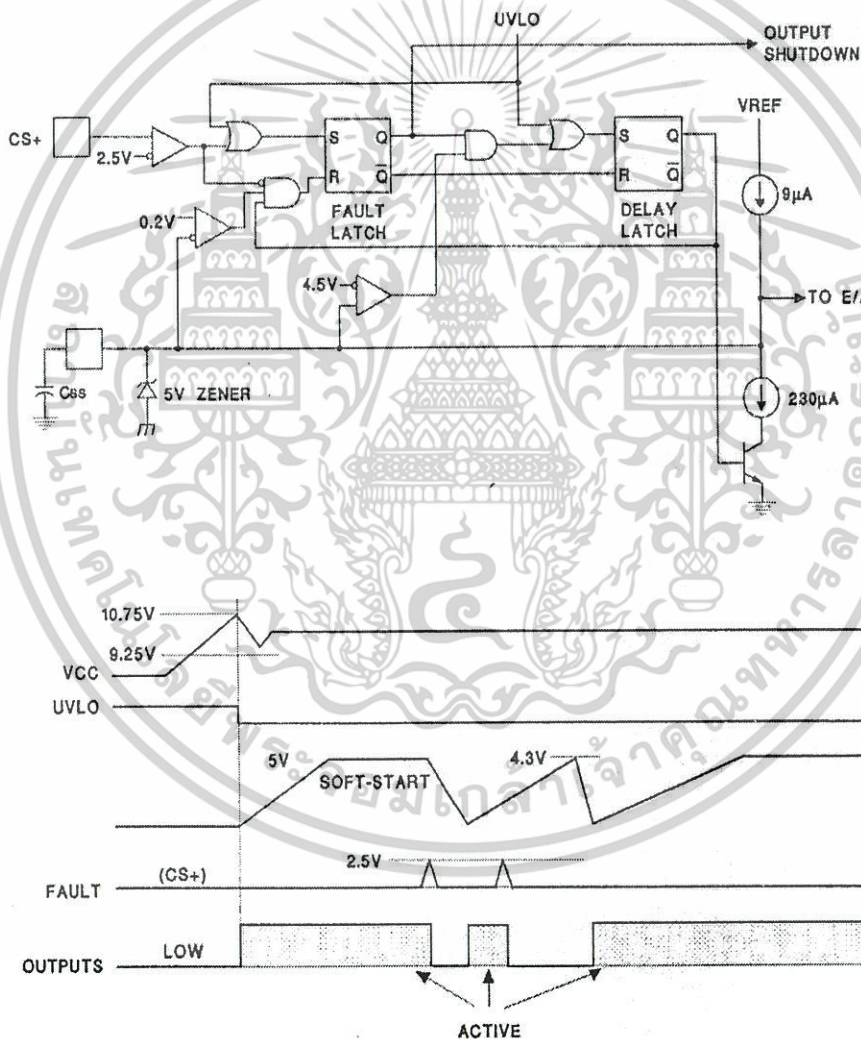
The fault control circuitry provides two forms of power shutdown:

- Complete turn-off of all four output power stages.
- Clamping the phase shift command to zero.

Complete turn-off is ordered for an over-current fault or a low supply voltage. When the SOFTSTART pin reaches its low threshold, switching is allowed to pro-

ceed while the phase-shift is advanced from zero to its nominal value with the time constant of the SOFT-START capacitor.

The fault logic insures that a continuous fault will institute a low frequency "hiccup" retry cycle by forcing the SOFT-START capacitor to charge through its full cycle between each restart attempt.



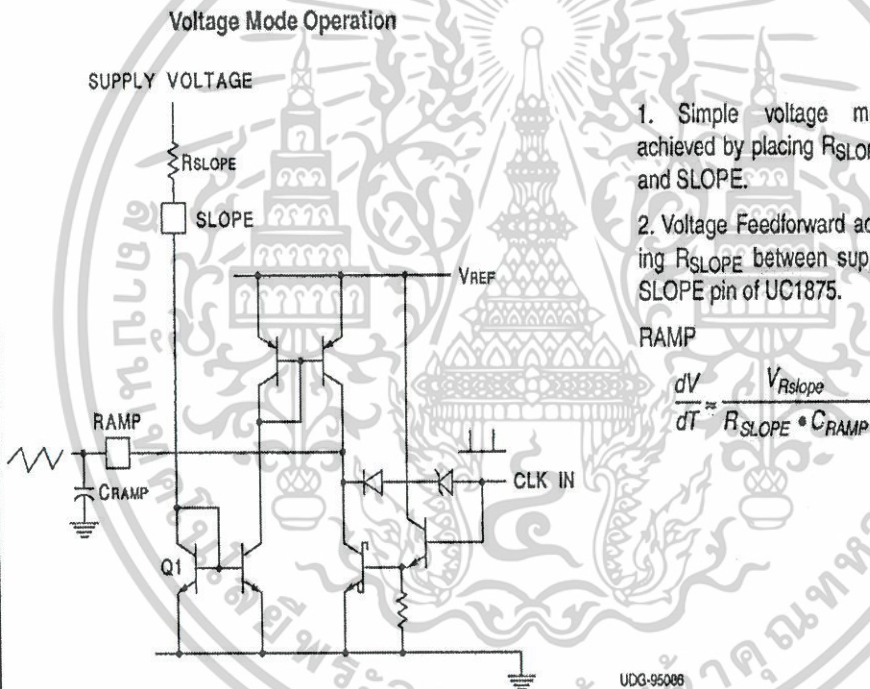
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION (cont.) Slope/Ramp Pins

The ramp generator may be configured for the following control methods:

- Voltage Mode
- Voltage Feedforward
- Current Mode
- Current Mode with Slope Compensation

The figure below shows a voltage-mode configuration. With R_{SLOPE} tied to a stable voltage source, the waveform on C_{RAMP} will be a constant-slope ramp, providing conventional voltage-mode control. If R_{SLOPE} is connected to the power supply input voltage, a variable-slope ramp will provide voltage feedforward.



1. Simple voltage mode operation achieved by placing R_{SLOPE} between V_{IN} and $SLOPE$.

2. Voltage Feedforward achieved by placing R_{SLOPE} between supply voltage and $SLOPE$ pin of UC1875.

For current-mode control the ramp generator may be disabled by grounding the slope pin and using the ramp pin as a direct current sense input to the PWM comparator.

**MURP20020CT,
MURP20040CT**

Preferred Devices

**POWERTAP™ II Ultrafast
SWITCHMODE™ Power
Rectifiers**

... designed for use in switching power supplies, inverters, and as free wheeling diodes. These state-of-the-art devices have the following features:

- Dual Diode Construction
- Low Leakage Current
- Low Forward Voltage
- 175°C Operating Junction Temperature
- Labor Saving POWERTAP Package

Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded with metal heatsink base
- Weight: 80 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant
- Top Terminal Torque: 25–40 lb-in max
- Base Plate Torques: See procedure given in the Package Outline Section
- Shipped 25 units per foam
- Marking: UP20020, UP20040

MAXIMUM RATINGS

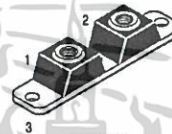
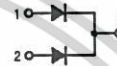
Please See the Table on the Following Page



ON Semiconductor™

<http://onsemi.com>

**ULTRAFAST
RECTIFIERS
200 AMPERES
200–400 VOLTS**



PLASTIC CASE 357C
POWERTAP II

MARKING DIAGRAM



UP200x0 = Device Code
x = 2 or 4
YY = Year
WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MURP20020CT	POWERTAP II	25 Units/Tray
MURP20040CT	POWERTAP II	25 Units/Tray

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MURP20020CT, MURP20040CT

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MURP20020CT	MURP20040CT	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	200	400	Volts
Average Rectified Forward Current (Rated V_R)	Per Device Per Leg $I_{F(AV)}$	200 ($T_C = 130^\circ\text{C}$) 100 ($T_C = 130^\circ\text{C}$)	200 ($T_C = 100^\circ\text{C}$) 100 ($T_C = 100^\circ\text{C}$)	Amps
Peak Repetitive Forward Current, Per Leg (Rated V_R , Square Wave, 20 kHz), $T_C = 95^\circ\text{C}$	I_{FRM}	200	200	Amps
Nonrepetitive Peak Surge Current Per Leg (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz)	I_{FSM}	800	800	Amps
Operating Junction Temperature	T_J	-55 to +175	-55 to +175	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{slg}	-55 to +150	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS (Per Leg)

Rating	Symbol	Max		Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	0.45	0.45	$^\circ\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Per Leg)

Rating	Symbol	Max		Unit
Instantaneous Forward Voltage (Note 1.) ($I_F = 100$ Amps, $T_C = +25^\circ\text{C}$) ($I_F = 200$ Amps, $T_C = 25^\circ\text{C}$) ($I_F = 100$ Amps, $T_C = 125^\circ\text{C}$)	V_F	1.00 1.10 0.95	1.30 1.75 1.15	Volts
Instantaneous Reverse Current (Note 1.) (Rated dc Voltage, $T_C = 125^\circ\text{C}$) (Rated dc Voltage, $T_C = 25^\circ\text{C}$)	I_R	1000 150	500 50	μA
Maximum Reverse Recovery Time ($I_F = 1.0$ Amp, $di/dt = 50$ Amps/ μs)	t_{rr}	50	75	ns

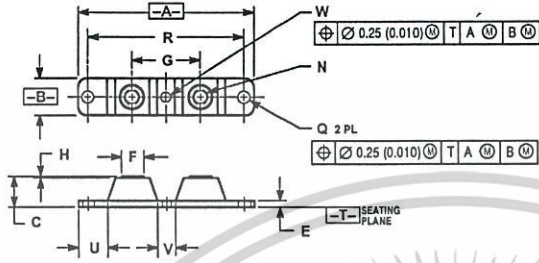
1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MURP20020CT, MURP20040CT

PACKAGE DIMENSIONS

POWERTAP II
CASE 357C-03
ISSUE E



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. TERMINAL PENETRATION: 5.87 (0.236) MAXIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	3.450	3.525	87.63	92.33
B	0.700	0.810	17.78	20.57
C	0.615	0.640	15.63	16.26
E	0.120	0.130	3.05	3.30
F	0.435	0.445	11.05	11.30
G	1.370	1.380	34.80	35.05
H	0.007	0.020	0.18	0.76
N	1/4-20UNC-2B	1/4-20UNC-2B		
Q	0.270	0.285	6.86	7.27
R	31.50 BSC	60.01 BSC		
U	0.620	0.630	15.74	16.00
V	0.530	0.375	8.30	9.52
W	0.170	0.190	4.32	4.82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ – สกุล	นายกฤษฎา สกุลวิโรจน์
วัน เดือน ปีเกิด	3 กันยายน พ.ศ. 2524
ภูมิลำเนา	321 หมู่ 1 ตำบลท้องลำเจียก อำเภอเชียรใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80190 โทรศัพท์ 075-386292
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดพระมหาธาตุ จังหวัดนครศรีธรรมราช
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	ทำดียอมได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ – สกุล นายศักดิ์วารุ เจนอักษรกุล
 วัน เดือน ปีเกิด 7 กันยายน พ.ศ. 2524
 ภูมิลำเนา 54 หมู่ 12 ตำบลคันทรูลี อำเภอท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84170

ประวัติการศึกษา
 ประถมศึกษา โรงเรียนเจริญวิทย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสหวิทยากร จังหวัดนครศรีธรรมราช
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยการอาชีพไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี จังหวัดปราจีนบุรี
 ปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการวิศวกรรมอุตสาหการ
 ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม

คติพจน์ ทำทุกสิ่งทุกอย่างให้ดีที่สุด เพื่ออนาคตที่ดี

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ – สกุล	นาย ชนารัตน์ พูลศรี
วัน เดือน ปีเกิด	15 ธันวาคม พ.ศ. 2525
ภูมิลำเนา	63/1204 หมู่ 7 ตำบล สะพานสูง เขต สะพานสูง กรุงเทพมหานคร 10240
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลสามเสน จังหวัดกรุงเทพมหานคร
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยการอาชีพนวมินทรราชูทิศ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	วันนี้เพื่อวันข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ - สกุล	นาย กุขงค์ บุญหลง
วัน เดือน ปีเกิด	6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525
ภูมิลำเนา	111 หมู่ 13 ตำบล เมืองใหม่ เขต ศรีบุญเรือง จังหวัดหนองบัวลำภู 10240
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเมืองใหม่วิทยา จังหวัดอุดรธานี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอุดรพิชัยรักษ์พิทยา จังหวัดอุดรธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	โรงเรียนเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	Now is a good times

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้