สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด

WIRE CUT

นายวิพากษ์ คุณนาเมือง

นายวิริยะวัฒน์ พิทักษ์กิจเจริญ

เลขหมู่..............

เลขทะเบียน 83181

วัน,เดือน,ปี -6 ส.ค. 2551

.b 11962124

.i..............

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WIRE CUT

WIPARK KUNNAMUANG

WIRIYAWAT PITUKKITJARERN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด WIRE CUT
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายวิพากษ์ คุณนาเมือง รหัสประจำตัว 47010708 นายวิริยะวัฒน์ พิทักษ์กิจเจริญ รหัสประจำตัว 47010711
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา	2550

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์	[signature]
รศ.ดร.ธนิตย์ ตรีสุวรรณวัฒน์	
อาจารย์กฤษณ์ เสมอพิทักษ์	[signature]

ภาควิชารับรองแล้ว

[signature]

(รศ.ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด		
	Wire Cut		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายวิพากย์	คุณนาเมือง	รหัสประจำตัว 47010708
	นายวิริยะวัฒน์	พิทักษ์กิจเจริญ	รหัสประจำตัว 47010711
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ประภาษ	อุคคกิมาพันธุ์	
	รศ.ดร.ธนิตย์	ตรีสุวรรณวัฒน์	
	อาจารย์กฤษณ์	เสมอพิทักษ์	
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการศึกษาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ชุดขับเคลื่อนลวด และชุดขับเคลื่อนชิ้นงาน เพื่อนำมาออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกลไกการตัดโลหะที่มีขนาดเล็ก ราคาถูกและสามารถใช้ตัดโลหะชิ้นเล็ก ๆ ได้ โดยลักษณะการทำงานจะมีการใช้ EDM เทคนิคเข้ากับเส้นลวด โดยอาศัยหลักการสปาร์คของขั้วไฟฟ้า ที่เกิดจากการกักเก็บประจุของตัวคาปาซิเตอร์ ผ่านเส้นลวดอิเล็คโทรดเข้าสู่ชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานสึกกร่อนตามต้องการ ซึ่งเทคนิคนี้จะสามารถกัดกร่อนชิ้นงานที่เป็นตัวนำไฟฟ้าได้เท่านั้น การควบคุมการเคลื่อนที่จะอาศัยการเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมไปเป็นการเคลื่อนที่ในแนวราบ เพื่อควบคุมจังหวะการสปาร์คและมีการจ่ายน้ำในบริเวณการตัดชิ้นงาน ซึ่งน้ำจะทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ระบายความร้อนและระบายเศษโลหะออกจากชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Wire Cut	
Authors	Mr. Wipark	Kunnamuang
	Mr. Wiriyawat	Pitukkitjarern
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Prapart	Ukakimapurn
	Assoc.Prof.Dr.Thanit	Trisuwannawat
	Lecturer.Krit	Samerpitak
Year	2007	

ABSTRACT

This thesis is operation power supply, wire's feed and workpiece's control for construction the prototype of wire-electric discharge machine for cutting workpiece. The EDM's technique is used for wire-electrode by sparking wire-electrode with workpiece. We use theory of capacity discharge to release current to wire-electrode. This project can cut a small workpiece, which is controlled in small gap between wire-electrode and workpiece. Moreover, it can be control the period of sparking. This system use dielectric water to cooling the workpiece and remove a particular of metal out.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ประภาษ อุคคกิมาพันธุ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิตย์ ศรีสุวรรณวัฒน์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำงาน และให้ความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์กฤษณ์ เสมอพิทักษ์ ที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และเอื้อเฟื้อเครื่องมือต่าง ๆ และกราบขออภัยเป็นอย่างสูงที่ทำให้เครื่องกัดอะคิลิคเกิดความเสียหาย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณสุธัญญา สิงหนุวัฒนะ และคุณสุรี วงศ์ขวัญ ที่ช่วยเหลือ ประสานงานกับอาจารย์ในภาค และให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆมาโดยตลอด อีกทั้งยังให้ความกรุณาในการตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 1

บทที่ 2 ทฤษฎี 2

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด 2

2.1.1 หลักการทำงานและทฤษฎีต่างๆ 2

2.1.2 หลักการออกแบบ 3

2.2 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 3

2.2.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้น 3

2.2.2 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ชิ่ง 4

2.3 องค์ประกอบและหลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 4

2.3.1 หม้อแปลงไฟฟ้า 4

2.3.2 วงจรเรียงกระแส 5

2.3.3 วงจรกรองสัญญาณ 9

2.3.4 วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ 11

2.3.5 วงจรป้องกัน 16

2.4 หลักการทำงานของคาปาซิตี้ดิจชาร์จ 16

2.4.1 ตัวเก็บประจุ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 หลักการของตัวเก็บประจุ 17
2.4.3 ความจุของตัวเก็บประจุ 18
2.4.4 องค์ประกอบของความจุ 19
2.4.5 ชนิดของตัวเก็บประจุ 20
2.4.6 การต่อตัวเก็บประจุ 27
2.5 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์ 30
2.5.1 ความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า 30
2.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 30
2.5.3 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 30
2.5.4 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 32
2.5.5 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 32
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำ 34
2.6.1 ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า 34
2.6.2 ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า 35
2.6.3 ประโยชน์ของค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า 35
2.6.4 น้ำปราศจากไออน 38
2.6.5 ประโยชน์ของน้ำปราศจากไอออน 38

บทที่ 3 การออกแบบระบบต่าง ๆ 40
3.1 การออกแบบแหล่งไฟฟ้ากระแสตรง 40
3.2 การออกแบบระบบขับเคลื่อนเส้นลวด 40
3.2.1 การเลือกใช้วัสดุ 42
3.3 การออกแบบชุดเลื่อนชิ้นงาน 46

บทที่ 4 ผลการทดลอง 47
4.1 จุดประสงค์การทดลอง 47
4.2 ลำดับขั้นตอนการทดลอง 47
4.2.1 การทดลองที่ 1 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 สรุปผลการทดลองที่ 1 54

4.2.3 การทดลองที่ 2 55

4.2.4 สรุปผลการทดลองที่ 2 56

4.2.5 การทดลองที่ 3 57

4.2.6 สรุปผลการทดลองที่ 3 58

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 59

5.1 บทสรุป 59

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา 59

บรรณานุกรม 60

ภาคผนวก 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบหน่วยของค่าความจุ	19
2.2 แสดงค่าคงตัวของไดอิเล็กตริกชนิดต่าง ๆ	20
2.3 ค่า conductivity factors ของอิออนที่พบบ่อยในน้ำ	38
4.1 แสดงผลการทดลองที่ 1	48
4.2 แสดงผลการทดลองที่ 2	55
4.3 แสดงผลการทดลองที่ 3	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	แสดงส่วนประกอบของเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด	2
2-2	วงจรจ่ายไฟตรงจากไฟบ้าน	4
2-3	ขั้วหรือเฟสของหม้อแปลง	5
2-4	แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น	6
2-5	แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แท็ป	7
2-6	แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	8
2-7	การทำงานของตัวเก็บประจุกรองไฟ ในสภาวะที่มีโหลด	10
2-8	แหล่งจ่ายไฟที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน	12
2-9	วงจรรักษาแรงดันโดยใช้ทรานซิสเตอร์	13
2-10	วงจรรักษาแรงดันแบบอนุกรมที่ดัดแปลงใหม่	14
2-11	วงจรรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าแรงดันคงที่ใช้ MC 78xx	15
2-12	วงจรรักษาระดับปรับค่าแรงดันเอาท์พุทได้	15
2-13	แสดงตัวเก็บประจุที่ต่อใช้งานในวงจรอิเล็คทรอนิกส์	16
2-14	แสดงการเปลี่ยนแปลงของแผ่นตัวนำในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ	17
2-15	แสดงการคายประจุของตัวเก็บประจุ	18
2-16	แสดงพื้นที่ของแผ่นตัวนำที่มีผลต่อค่าความจุ	19
2-17	แสดงระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ	20
2-18	แสดงตัวเก็บประจุชนิดต่าง ๆ	21
2-19	ตัวเก็บประจุชนิดกระดาษ	21
2-20	ตัวเก็บประจุไฟฟ้า	22
2-21	ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกแบบรูปร่างจานกลม	23
2-22	ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม	23
2-23	ตัวเก็บประจุชนิกเซรามิกแบบไร้ขา	23
2-24	ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์มพลาสติก	24
2-25	ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติก	25
2-26	แสดงรูปร่างตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัม	25
2-27	ตัวเก็บประจุชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้	26
2-28	ตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2-29 แสดงการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม 27

2-30 แสดงการต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน 29

2-31 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง 30

2-32 แปรงถ่าน 32

2-33 การต่อมอเตอร์แบบอนุกรม 33

2-34 การต่อมอเตอร์แบบขนาน 33

2-35 ชอทชันท์ 34

2-36 ลองชั้นท์คอมเปาวด์ 34

3-1 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 40

3-2 การออกแบบขนาดฐาน 41

3-3 ชิ้นงานที่ได้เมื่อกำหนดค่าแล้ว 41

3-4 เครื่องฟีดลวดที่ออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks 42

3-5 โครงสร้างของเครื่องฟีดลวด 42

3-6 โครงสร้างของรอกอะลูมิเนียม 43

3-7 รอกอะลูมิเนียม 43

3-8 โครงสร้างของรอกทองเหลือง 44

3-9 รอกทองเหลือง 44

3-10 ไกด์ 45

3-11 ตัวกดเส้นลวด 45

3-12 ชุดขับเคลื่อนเส้นลวด 46

3-13 ชุดขับเคลื่อนชิ้นงานด้านข้าง 46

4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา 49

4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C = 10ไมโครฟารัด 49

4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C= 47ไมโครฟารัด 49

4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C= 100ไมโครฟารัด 50

4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C= 147ไมโครฟารัด 50

4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C= 470ไมโครฟารัด 50

4-7 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 10 ไมโครฟารัด 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4-8 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 47 ไมโครฟารัด 51

4-9 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 47 ไมโครฟารัด 51

4-10 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 100 ไมโครฟารัด 52

4-11 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 100 ไมโครฟารัด 52

4-12 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 147 ไมโครฟารัด 52

4-13 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 147 ไมโครฟารัด 53

4-14 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 470 ไมโครฟารัด 53

4-15 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 470 ไมโครฟารัด 53

4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการกำจัดเศษโลหะ 56

4-17 ชิ้นงานที่อยู่กำจัดเศษโลหะ 56

4-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C=100 ไมโครฟารัด 57

4-19 ชิ้นงานที่อยู่กำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 100 ไมโครฟารัด 58

4-20 ชิ้นงานที่อยู่กำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 100 ไมโครฟารัด 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในอดีตรวมถึงปัจจุบันในการจะตัดโลหะเป็นเรื่องที่ยากลำบากและใช้เวลานาน โดยส่วนใหญ่ในการตัดโลหะนั้นจะใช้ใบมีดในการตัดชิ้นงาน เมื่อใบมีดถูกใช้ตัดเป็นเวลานานก็จะมีการสึกกร่อนขาดความคม จึงได้มีการพัฒนาโดยการนำไฟฟ้ามาช่วยในการตัดโลหะ โดยลักษณะการทำงานคือ เมื่อปล่อยแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับเส้นลวดและชิ้นงาน โดยนำเส้นลวดและชิ้นงานเข้าใกล้กันแต่ไม่ชนกัน เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าหรือลดช่องว่างระหว่างเส้นลวดกับชิ้นงานลงเรื่อย ๆ จะทำให้ตัวกลางซึ่งเป็นช่องว่างอยู่ จะสูญเสียความเป็นฉนวน ทำให้ชิ้นงานสูญเสียอิเล็กตรอน ทำให้ผิวของชิ้นงานค่อย ๆ หลุดออกได้ หลักการนี้มีประโยชน์ตรงที่สามารถตัดชิ้นงานที่เป็นตัวนำไม่ว่าชิ้นงานจะมีความแข็งมากน้อยแค่ไหนก็ตาม

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

วัตถุประสงค์ในการทำโครงงานนี้คือ เพื่อศึกษาการตัดชิ้นงานโลหะ โดยการใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและสร้างเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดต้นแบบ ขนาดเล็กที่สามารถใช้ในการตัดชิ้นงานเล็ก ๆ ได้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาและการพัฒนาต่อไป

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ระยะเวลาในการทำโครงงานนี้มีเวลา 1 ปี โดยที่โครงสร้างของเครื่อง Wire-Cut นั้นจะประกอบไปด้วยชุดจ่ายไฟกระแสตรง เพื่อใช้จ่ายกระแสให้กับเส้นลวดและชิ้นงาน ชุดขับเคลื่อนเส้นลวด เพื่อกำหนดความเร็วของเส้นลวดและไม่ให้บริเวณที่ลวดถูกใช้งานแล้วถูกใช้ซ้ำและชุดขับเคลื่อนชิ้นงานเพื่อค่อย ๆ เลื่อนชิ้นงานขยับเข้าใกล้ลวดตัวนำ โครงงานนี้จึงแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ แหล่งจ่ายไฟ ชุดขับเคลื่อนเส้นลวดและตัวขับเคลื่อนชิ้นงาน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง จากนั้นจะเป็นส่วนของมอเตอร์ดีซีเพื่อใช้ในการฟีดเส้นลวด โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบคือโปรแกรม SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

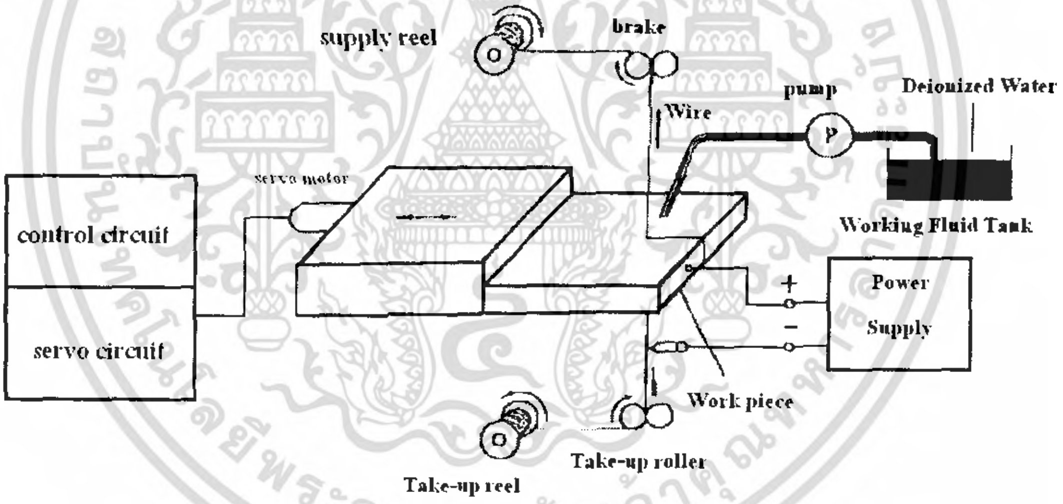
บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด (Wire Cut)

เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด Wire Cut คือเครื่องกำจัดเศษโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้อิเล็คโทรตที่เป็นเส้นลวดกำจัดเศษวัสดุคล้ายเลื่อยฉลุ โดยลวดจะเดินต่อเนื่องใต้ความตึงที่เหมาะสมตามขนาดของลวดแต่ละขนาด

อิเล็คโทรตหรือลวดตัวนำนี้จะทำจากทองเหลือง ทองแดง หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าได้มีความโตระหว่าง 0.05-0.5 มิลลิเมตร

ของเหลวไดอิเล็คตริก เป็นสารละลายที่ผ่านการทำดีไอโอไนซ์ (Deionize) ซึ่งจะทำการไหลวนฉีดตรงบริเวณการตัดเพื่อไล่เศษโลหะที่เกิดจากการตัด ของเหลวไดอีเล็คตริกนี้ จะควบคุมความเป็นตัวนำไฟฟ้าระหว่างลวดและชิ้นงาน และยังช่วยลดความร้อนที่เกิดจากการสปาร์คด้วย



ภาพที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด

จากภาพที่ 2-1 จะพบว่าในการทำงานของเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดจะประกอบด้วยหลายส่วนโดยจะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้คือ เครื่องฟีดลวด ตัวขับเคลื่อนชิ้นงานและแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

2.1.1 หลักการทำงานและทฤษฎีต่าง ๆ มีดังนี้

2.1.1.1 หลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 หลักการทำงานของคาปาซิตี้ดิสชาร์จ

2.1.1.3 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

2.1.1.4 ทฤษฎีของน้ำ

2.1.2 หลักการทำงานออกแบบมีดังนี้

2.1.2.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องฟีดเส้นลวด

2.2 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC POWER SUPPLY) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายกำลังงานให้แก่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่ง เพราะในอุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ต่างชนิดกันก็ต้องการแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแตกต่างกันด้วยและในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาปรับปรุงเปลี่ยนแปลงทำให้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีโครงสร้างพื้นฐานคล้าย ๆ กัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.2.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้น (Linear Power Supply)

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่นิยมใช้มาตั้งแต่อดีต เพราะออกแบบได้ง่าย และรวดเร็วไม่ซับซ้อน แต่จะเกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในรูปของความร้อน ทำให้ได้ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟต่ำ

โครงสร้างพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC POWER SUPPLY)

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าจะทำหน้าที่เปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยสามารถเปลี่ยนได้ทั้งมากขึ้นและลดลง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการทำให้แรงดันมีขนาดลดลง

วงจรเรียงกระแส (Rectifier) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งอาจใช้ไดโอดเพียง 1 ตัว 2 ตัว หรือ 4 ตัว ต่อกันจะได้ไฟตรงที่มีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulsating DC) ที่มีการกระเพื่อมสูงมาก

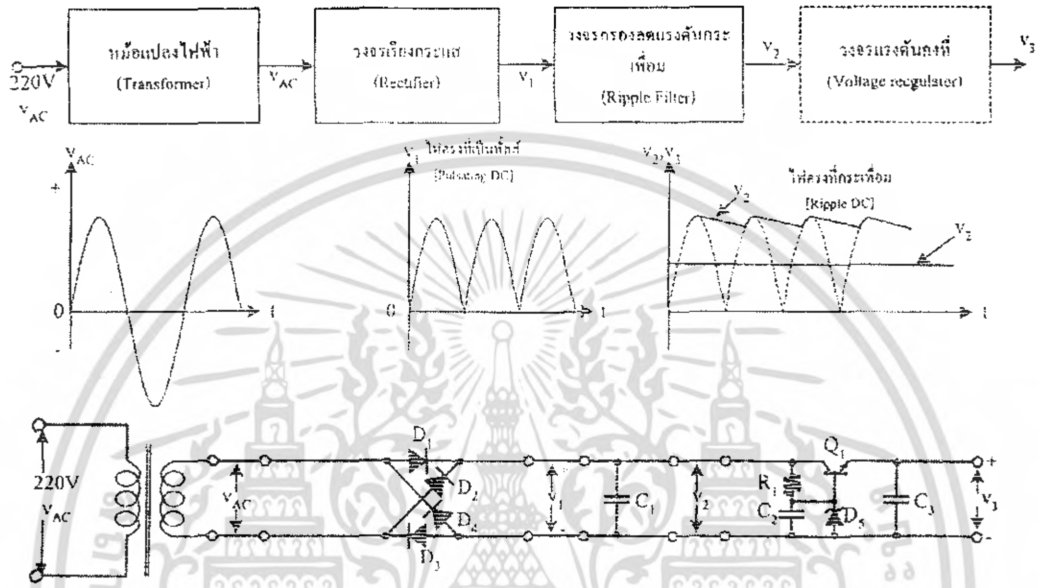
วงจรกรองสัญญาณ (Ripple Filter) ทำหน้าที่กรองแรงดันกระเพื่อมให้มีการกระเพื่อมน้อยลงโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะสามารถทำงานได้ดีเมื่อมีค่าเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเปอร์เซ็นต์การกระเพื่อมควรน้อยกว่า 10% โดยสามารถสร้างขึ้นมาได้จากอุปกรณ์ที่เป็นรีแอคทีฟ (Reactive) ได้แก่ ตัวเก็บประจุ และ ตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะต่อในลักษณะวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter)

วงจรรักษาแรงดันคงที่ (Voltage Regulator) ใช้สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการความคงที่ของแรงดันไฟตรงที่เรียบมาก ๆ โดยจะทำหน้าที่กำจัดแรงดันกระเพื่อมที่ยังหลงเหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อยให้หมดไป ไฟตรงที่ได้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับแบตเตอรี่ สามารถสร้างได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานหรือใช้วงจรรวม (IC)

วงจรป้องกัน (Protection) เป็นวงจรที่เพิ่มเติมขึ้นมาเพื่อป้องกันไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าเสียหายอันเนื่องมาจากการลัดวงจร (Short Circuit) หรือกระแสเกิน (Overload) ที่เอาท์พุท ที่อาจทำให้อุปกรณ์บางตัวเสียหายได้ จึงเป็นวงจรที่มีความสำคัญในแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง



ภาพที่ 2-2 วงจรจ่ายไฟตรงจากไฟบ้าน

2.2.2 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตซ์ชิ่ง (Switching Power Supply)

เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีประสิทธิภาพสูง มีน้ำหนักเบา แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบนี้มีแนวโน้มที่จะใช้มากในอนาคตเพราะมีขนาดเล็กจึงทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง มีขนาดเล็กลงด้วยแต่มีข้อเสียตรงที่มีวงจรที่ยุ่งยากซับซ้อนเสี่ยงต่อการผิดพลาดได้ง่าย

2.3 องค์ประกอบและหลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

2.3.1. หม้อแปลงไฟฟ้า (TRANSFORMER)

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ ให้มีขนาดของแรงดันสูงขึ้นหรือต่ำลงตามต้องการ โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของฟลักซ์แม่เหล็กในขดลวด โดยจะให้ขดลวดด้านไฟขาเข้าเรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดที่เป็นตัวจ่ายกระแสด้านขาออกเรียกว่าขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในกรณีหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ (Ideal Transformer) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดัน ดังนี้

$$V_P I_P = V_S I_S$$

เมื่อ V_P คือแรงดันที่ป้อนให้ขดปฐมภูมิ

V_S คือแรงดันที่ป้อนให้ขดทุติยภูมิ

I_P คือกระแสที่ป้อนให้ขดปฐมภูมิ

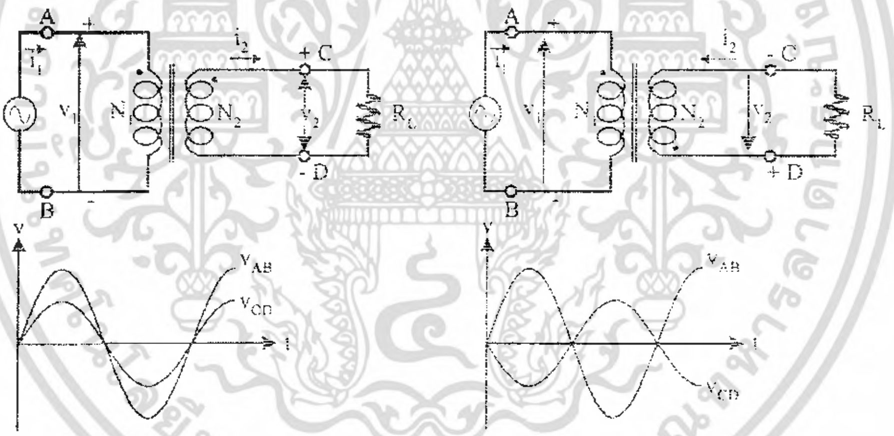
I_S คือกระแสที่ป้อนให้ขดทุติยภูมิ

สมการความสัมพันธ์ของแรงดันและจำนวนรอบหม้อแปลง ดังนี้

$$V_P/V_s = N_P/N_S$$

N_P คือจำนวนรอบของขดปฐมภูมิ

N_S คือจำนวนรอบของขดทุติยภูมิ



ภาพที่ 2-3 ขั้วหรือเฟสของหม้อแปลง

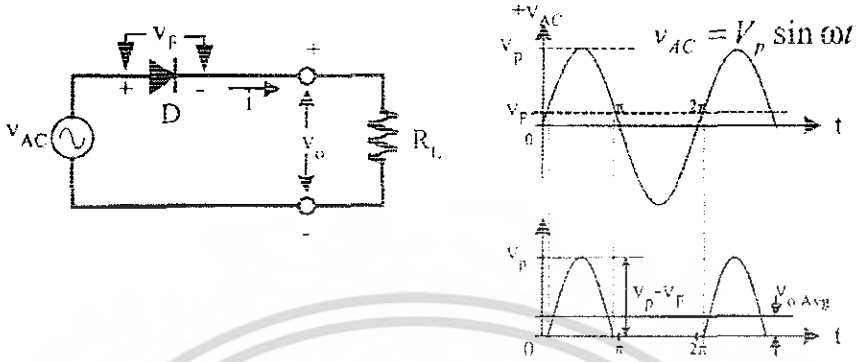
2.3.2 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

เป็นวงจรที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และมีคุณสมบัติยอมให้กระแสไหลผ่านไปยังโหลดเพียงทิศทางเดียว สามารถแบ่งวงจรนี้เป็น 2 ประเภท คือ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) และวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปวงจรเรียงกระแสแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

1. วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier)



ภาพที่ 2-4 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

จากการคำนวณจะได้ว่า $V_{rms} = 0.318\,(V_m - V_d)$

และความถี่ $V_i\,(f_{line}) =$ ความถี่ $V_o\,(f_i)$

จากภาพที่ 2-4 วงจรเรียงกระแสนี้จะทำงาน โดยอาศัยหลักการทำงานของไดโอด ดังนี้

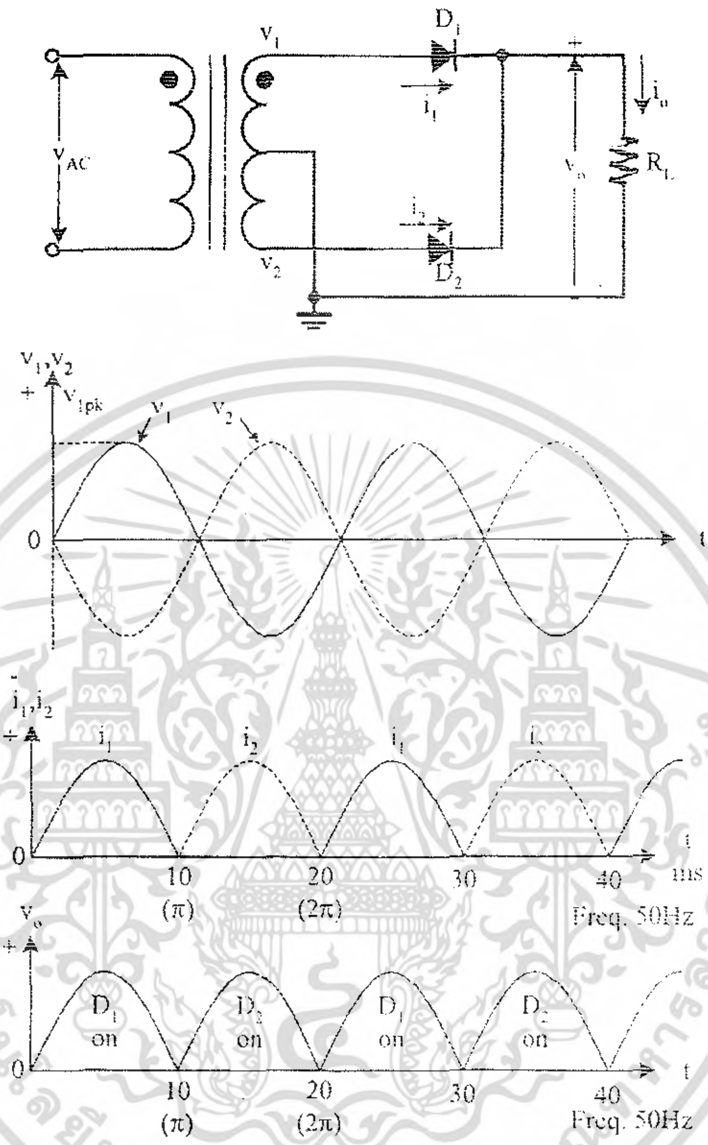
พิจารณาสัญญาณครึ่งไซเคิลบวกเข้ามาในวงจร (V_m) และมีค่ามากกว่าศักดาคร่อมไดโอด ($V_d = 0.6V$) ไดโอดจะทำงานอยู่ในช่วงไบอัสตรง (Forward Bias) นั่นคือ กระแสสามารถไหลผ่านไดโอดได้และมีศักดาออกมา = $V_m - V_d$

พิจารณาสัญญาณครึ่งไซเคิลลบเข้ามาในวงจร ไดโอดทำงานช่วงไบอัสย้อนกลับ (Reward Bias) กระแสไม่สามารถไหลผ่านไดโอดไปได้ คือไม่มีศักดาคร่อมตัวต้านทาน

จากภาพ 2-4 พบว่าแรงดันกระเพื่อมนั้นมีค่ามาก เราจึงไม่นิยมนำมาใช้งานกัน และยังพบอีกว่าต้องมีอัตราทนกำลัง VA ทางด้านปฐมภูมิอย่างน้อยสูงกว่า 40% ของหม้อแปลงที่ป้อนเท่ากัน ค่าเฉลี่ยความต่างศักย์ที่เอาท์พุทของวงจรเท่ากับ 45% ของค่าความต่างศักย์แบบ V_{rms} และค่าแรงดันกระเพื่อมเท่ากับ 120%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แท็ป (Full wave Center tapped Rectifier)



ภาพที่ 2-5 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบเซ็นเตอร์แท็ป

จากการคำนวณจะได้ว่า V_{rms} = $0.636(V_m - V_d)$

และ 2 เท่าของความถี่ $V_i\ (2f_{line})$ = ความถี่ $V_0(f_r)$

จากภาพที่ 2-5 วงจรเรียงกระแสนี้จะทำงาน โดยอาศัยหลักการทำงานของไดโอดดังนี้

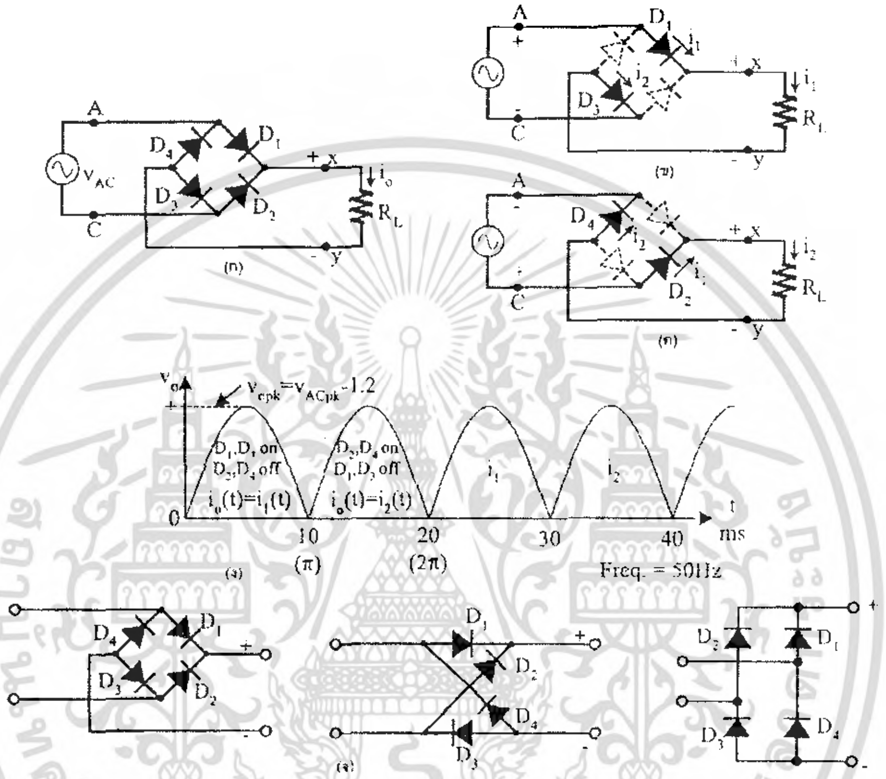
พิจารณาสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก กระแสจะไหลผ่านไดโอด D_1 ได้ แต่จะไม่ให้กระแสไหลผ่าน D_2 (เสมือนลัดวงจรที่ D_1 และเปิดวงจรที่ D_2)

พิจารณาสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ กระแสจะไหลผ่านไดโอด D_2 ได้ แต่จะไม่ให้กระแสไหลผ่าน D_1 (เสมือนลัดวงจรที่ D_2 และเปิดวงจรที่ D_1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2-5 พบว่า เราสามารถที่จะใช้วงจร Full Wave Center Tapped Rectifier ได้ก็ต่อเมื่อ เรามีหม้อแปลงแบบมีแท็ปและพบว่าค่าแรงดันกระเพื่อมเท่ากับ 48% ในขณะที่ความถี่ Ripple เป็น 2 เท่าของความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยของไฟที่เอาท์พุทเท่ากับ 90% ของค่าความต่างศักย์แบบ V_{rms} ที่ป้อนเข้ามา

3. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full Wave Bridge Rectifier)



ภาพที่ 2-6 แสดงการทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

จากการคำนวณจะได้ว่า Vrms = 0.636 (Vm-2Vd)

และ 2 เท่าของความถี่ Vi(2f line) = ความถี่ V0 (fr)

จากภาพที่ 2-6 วงจรเรียงกระแสนี้จะทำงานโดยอาศัยหลักการทำงานของไดโอด ดังนี้

พิจารณาสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก กระแสจะไหลผ่านไดโอด D2 และผ่านโหลด จากนั้นจึงไหลผ่านไดโอด D3 ส่วนไดโอต D1 และ D4 ไม่ยอมให้กระแสไหลผ่าน (เป็น Reward Bias)

พิจารณาสัญญาณครึ่งไซเคิลลบ กระแสจะไหลผ่านไดโอด D4 และผ่านโหลด จากนั้นจึงไหลผ่านไดโอด D1 ส่วนไดโอด D2 และ D3 ไม่ยอมให้กระแสไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ V_0 ของวงจรเรียงกระแสทั้ง 3 วงจร ยังมี Ripple อยู่มากและมีค่า V_{rms} ต่ำ ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยเฉพาะ Half Wave Rectifier ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ Ripple สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\% \text{ Ripple} = V_{r(rms)} / V_{dc} \times 100\%$$

คุณสมบัติหลักของไดโอดที่จำเป็นต่อการพิจารณาเลือกใช้ไดโอดมี 4 อย่าง คือ

1. กระแสกระชาก (Surge Current) เป็นค่ากระแสสูงสุดในช่วงเวลาสั้น ๆ เพียงครั้งเดียว ในขณะที่เราเริ่มต้นจ่ายไฟให้กับวงจร ในวงจรที่มีค่าแรงดันไฟสลับที่ป้อนให้กับวงจรเรียงกระแสมีค่ามาก จะต้องมีวงจรเพิ่มเติมเพื่อลดค่ากระแสกระชากขณะเริ่มต้นจ่ายไฟ

2. กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เป็นค่ากระแสที่ไหลเมื่อไดโอดในวงจรเรียงกระแสได้รับไบอัสย้อนกลับ ซึ่งค่านี้ควรจะมีค่าน้อย ๆ

3. กระแสที่ไหลในทิศทางตรง (Forward Bias) เป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไดโอดนั้นทนได้โดยไม่เกิดความเสียหายจากค่าคุณสมบัติที่ได้กำหนดไว้ใน Databook ในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยควรจะเลือกให้ทนกระแสได้มากกว่าโหลด 50% เป็นอย่างน้อยที่สุด

$I_d \geq I_o$ ของ HW ; I_d = average forward current rate of diode

$2I_d \geq I_o$ ของ HW ; I_d = average output current

4. ค่าทนแรงดันย้อนกลับสูงสุด (Peak Inverse Voltage:PIV) เป็นค่าความต่างศักย์ในการไบอัสย้อนกลับสูงสุดที่ไดโอดสามารถทนได้โดยไม่เกิดความเสียหาย อัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาขึ้นกับนักออกแบบ เพราะสาเหตุที่วงจรเรียงกระแสนั้นเสียหายเป็นเพราะว่าไดโอดแรงดันย้อนกลับสูงสุดได้ไม่เพียงพอ

Minimum PIV ของ HW , FWCT = $2V_p$

Minimum PIV ของ FWB = V_p

และควรเผื่อ Safety margin 50%

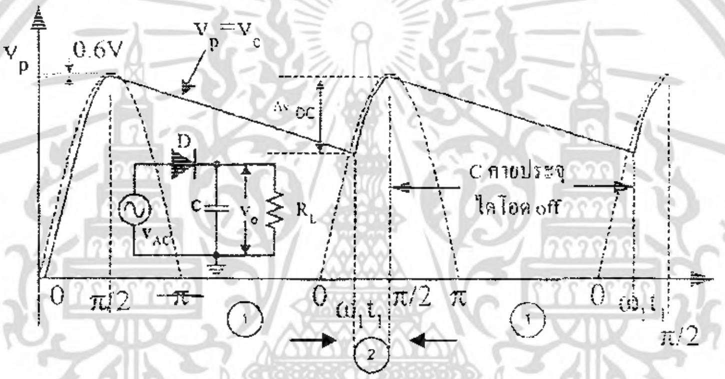
2.3.3 วงจรกรองสัญญาณ (Ripple Filter)

มีหน้าที่กรองไฟกระแสตรงที่กระเพื่อมให้เรียบขึ้น โดยมีอัตราการกระเพื่อมต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ ที่ง่ายที่สุดได้แก่ การต่อตัวเก็บประจุขนานกับเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองสัญญาณที่ใช้กันมีหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการต่ออุปกรณ์ สามารถใช้ขดลวดเหนี่ยวนำ (L) หรือตัวเก็บประจุ (C) มาต่อเพื่อนำมาทำ แต่โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ตัวเก็บประจุ เพราะว่ามีราคาถูก ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา ส่วนขดลวดเหนี่ยวนำ พันยาก และไม่สะดวก ดังนั้นเราจะกล่าวถึงแต่ตัวเก็บประจุ

การกรองสัญญาณด้วยตัวเก็บประจุ เป็นวงจรที่ทำงานได้ดี และสร้างได้ง่าย ตัวเก็บประจุจะเก็บประจุเอาไว้ ขณะที่ไดโอดนำกระแสและเมื่อไดโอดหยุดนำกระแส ก็จะจ่ายประจุให้แก่โหลดแทนหม้อแปลง ดังนั้นในวงจรที่มีโหลดมากก็ต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก ๆ เพื่อเก็บประจุพอที่จะจ่ายแก่โหลด โดยแรงดันเอาท์พุทมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือประสิทธิภาพของการกรองสัญญาณ ขึ้นกับค่ารีแอคแตนซ์ของตัวเก็บประจุ ควรมีค่าน้อยมาก เทียบกับความต้านทานโหลด



C charge ประจุ ไดโอด on

ภาพที่ 2-7 การทำงานของตัวเก็บประจุกรองไฟ ในสภาวะที่มีโหลด

จากภาพที่ 2-7 ในช่วงเวลา T_1 ตัวเก็บประจุจะเก็บประจุ (Charge) จนช่วงเวลา T_2 เป็นช่วงเวลาไดโอด Cut Off ตัวเก็บประจุจะคายประจุ (Discharge) เป็นการจ่ายไฟแก่โหลดแทน ดังนั้นกราฟ V_o มีลักษณะเรียบขึ้น ความสามารถของวงจรกรองสัญญาณที่จะทำให้ระดับแรงดันเอาท์พุทเรียบนั้นขึ้นอยู่กับค่า R และ C โดยถ้าค่า 1/RC มาก จะทำให้ Time Constant สูงทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุได้ช้า กราฟแรงดันเอาท์พุทจะเรียบมากขึ้น สมการที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

$$CV_r = I_o/F_r$$

C	:	ค่าตัวเก็บประจุในหน่วยฟารัด (Farad)
V_r	:	แรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage)
F_r	:	ความถี่ของแรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแปลงไฟจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงนั้น รูปคลื่นที่ได้ทางเอาท์พุทมีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse) ไม่เหมือนกระแสตรงที่ได้จากแบตเตอร์รี่ เนื่องจากมีรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงเสมอ เรียก Ripple Factor ในทางปฏิบัติการแปลงไฟต้องพยายามลดค่าริปเปิ้ลที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของวงจร

ในการแสดงถึงคุณสมบัติของวงจรกรองลดการกระเพื่อมว่ามีคุณสมบัติดีเพียงใด เราสามารถดูได้จากค่าของเปอร์เซ็นต์ของการกระเพื่อม (Percentage of Ripple : R) ซึ่งนิยามโดย

$$\%R = (V_{rms}/V_{dc}) \times 100$$

หากแหล่งจ่ายไฟมีค่าริปเปิ้ลสูงจะเป็นอันตรายต่อระบบการทำงานและอาจเกิดสัญญาณรบกวนขึ้น

2.3.4 วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ (Voltage Regulator)

เป็นวงจรที่ใช้รักษาระดับแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ แม้ว่ากระแสไฟฟ้าของโหลด หรือระดับแรงดันอินพุท หรือทั้ง 2 อย่างมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสาเหตุหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟจากสายไฟตามบ้าน ซึ่งเปลี่ยนแปลงได้ถึง 20%

สาเหตุที่ 2 เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเอาท์พุท ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงกระแสโหลด เพราะแหล่งจ่ายไฟทุกชนิด จะมีค่าความต้านทานภายในที่เรียกว่า ความต้านทานแหล่งจ่าย (Source Resistance: R_S) ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟ เมื่อไม่มีกระแสเอาท์พุทไหล ระดับแรงดัน V_o จะเท่ากับ V_{noload} แต่เมื่อกระแสเอาท์พุท $V_o = V_{noload} - (I_o R_S)$

เราสามารถสรุปได้ว่าการรักษาแรงดันเอาท์พุทเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดสามารถทำได้โดย

- พยายามรักษาค่า I_o ให้คงที่ (ซึ่งเป็นไปไม่ได้เสมอ)
- ลดค่าความต้านทาน R_S ให้น้อยที่สุด
- จัดหาวงจรรักษาระดับแรงดันซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด

วงจรรักษาแรงดันมีด้วยกันหลายแบบ ได้แก่

1. วงจรรักษาแรงดันโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode Regulator)
2. วงจรรักษาแรงดันโดยใช้ทรานซิสเตอร์ (Series-pass Transistor Regulator)
3. วงจรรักษาแรงดันโดยใช้ไอซีรักษาแรงดัน (IC Regulator)

ทั้ง 3 วงจร มีลักษณะการต่ออยู่ 2 แบบ คือ ต่อแบบขนาน และ ต่อแบบอนุกรมกับโหลด ซึ่งมีข้อดี ข้อเสีย ดังนี้

แบบขนาน

- ต้องจ่ายไฟให้ตลอดไม่ว่ามีโหลดหรือไม่ก็ตาม

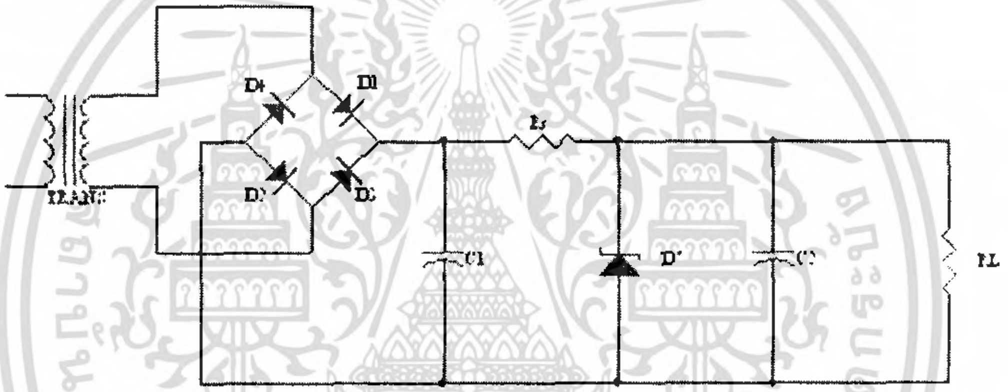
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไม่เสียหายเมื่อลัดวงจร
- ใช้ในงานที่กระแสกำลังงานไม่สูงนัก

แบบอนุกรม

- รูปแบบการต่อวงจรซับซ้อน
- เสียหายได้ง่ายเมื่อมีการลัดวงจร
- ใช้ในงานที่กระแสและกำลังงานสูง ๆ ได้

1. วงจรรักษาแรงดันโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode Regulator) การใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาแรงดันนั้น เป็นวงจรที่ง่ายที่สุด

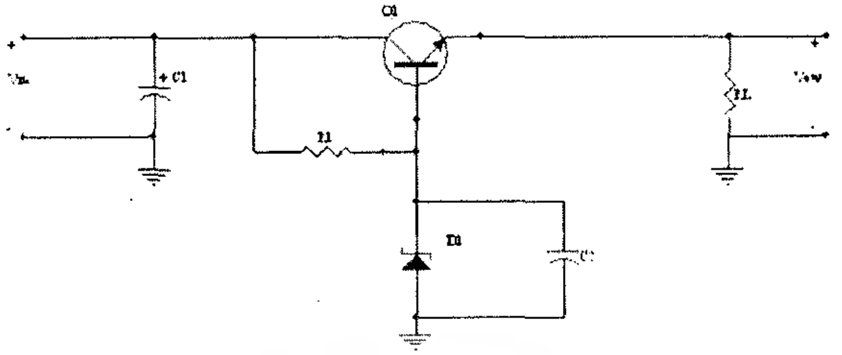


ภาพที่ 2-8 แหล่งจ่ายไฟที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน

พิจารณาภาพที่ 2-8 เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงที่รักษาระดับแรงดันโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด โดยตัวต้านทาน R_L แทนโหลดที่ใช้กับแหล่งจ่าย ตัวเก็บประจุ C_1 ใช้กรองกระแสแบบธรรมดาในวงจรทั่วไป ไม่ควรต่ำกว่า 1,000 μF ส่วนตัวเก็บประจุ C_2 ในวงจรที่ไม่คำนึงถึงสัญญาณรบกวนอาจตัด C_2 ไปได้

2. วงจรรักษาแรงดันใช้ทรานซิสเตอร์ (Series-Pass Transistor Regulator) เราสามารถที่จะเพิ่มความสามารถในการจ่ายกระแสของซีเนอร์ไดโอด โดยใช้ทรานซิสเตอร์ กำลังในการจ่ายกระแสให้โหลดและซีเนอร์ไดโอตในการควบคุมรอยต่อระหว่าง B-E ของทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-9 วงจรรักษาแรงดันโดยใช้ทรานซิสเตอร์

พิจารณาภาพที่ 2-9 จะเห็นได้ว่า วงจรรักษาระดับแรงดันใช้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ต่ออนุกรม โดยในภาพเป็นตัวอย่างของวงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม เนื่องจากรอยต่อระหว่างขา C-E จะต่ออนุกรมกับโหลด

ตัวเก็บประจุ C_1 ในภาพใช้กรองกระแสแบบธรรมดา ที่อยู่ตรงเอาท์พุทของวงจรเรียงกระแสควรมีค่าอย่างต่ำ 1,000 μF ต่อกระแสเอาท์พุทสูงสุด 1A (I_{omax})

ระดับแรงดันเอาท์พุทถูกกำหนดโดยค่าความต่างศักย์ของซีเนอร์ไดโอด (Vz) และมีค่าโดยประมาณเท่ากับ Vo= Vz/Vbe ,Vbe : 0.7V ซิลิกอนทรานซิสเตอร์

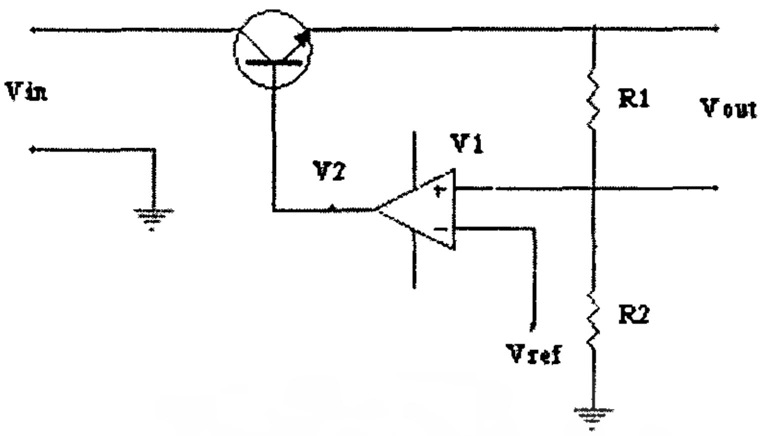
ค่ากระแสโหลดในภาพที่ 2-9 จะเป็นกระแสเบส (I_b) ของ Q_1 เนื่องจากกระแสมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับระดับแรงดันแรงดันเอาท์พุท การเลือกทรานซิสเตอร์ Q_1 จึงจำเป็นต้อง

- สามารถปรับค่ากระแสเอาท์พุทสูงสุด (Iomax) ได้
- มีค่าแรงดันที่ขาดคอลเลคเตอร์อย่างน้อยเท่ากับค่าสูงสุดของ Vin
- สามารถจ่ายกำลังงานโดยการแทนค่าด้วย (Vin-Vo)/Io
- มีอัตราขยายกำลัง เป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสคอลเลคเตอร์ Ic ต่อกระแส Ib

$$h_{fe}\ (\text{หรือ}\ \beta) = I_c/I_b$$

วงจรรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรมสามารถดัดแปลงใหม่ดังภาพที่ 2-10 โดยใช้ทรานซิสเตอร์ที่ต่ออยู่นั้นเหมือนกับในภาพที่ 2-9 แรงดันที่ใช้ควบคุมขาเบสจะเป็นความต่างศักย์เอาท์พุท (V_b) ที่สร้างจากวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-10 วงจรรักษาแรงดันแบบอนุกรมที่ดัดแปลงใหม่

วงจรขยายมีอินพุทที่เป็นแบบความแตกต่าง โดยระดับแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ป้อนเข้าสู่ขา Non Inverting ในขณะที่ระดับความต่างศักย์ที่เป็นจริงจะป้อนเข้าสู่ขา Inverting ของ Op-Amp โดยแรงดันเอาท์พุทที่เป็นจริงอาจเป็นค่า V_o ที่แท้จริง หรือเปอร์เซนต์ของแรงดันเอาท์พุท (V_1) หลังจากผ่านวงจรแบ่งแรงดัน (R_1 และ R_2) เอาท์พุทของวงจรขยายสัญญาณ จะแปรผันโดยตรงกับ

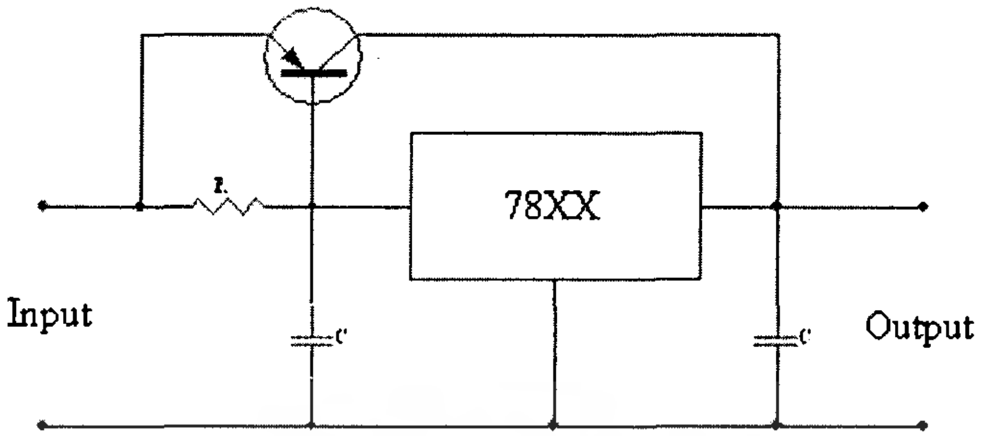
- ค่าความแตกต่างของอัตราแรงดันของ Op-Amp
- ค่าแรงดันที่แตกต่างของ Vref-V1

วงจรนี้เรียกว่า วงจรรักษาระดับแรงดันแบบป้อนกลับ (Feedback Voltage Regulation) ซึ่งทำงานโดยการเปรียบเทียบค่าแรงดันเอาท์พุทที่เป็นจริงกับค่าที่ควรจะเป็นจาก V_{ref}

3. วงจรรักษาแรงดันใช้ไอซีรักษาแรงดัน (IC Regulator) ข้อดีของวงจรแบบนี้คือ ราคาถูก มีขนาดเล็กและรูปแบบวงจรที่ง่าย สามารถจ่ายกระแสเอาท์พุทได้ตั้งแต่ 3 mA ถึง 100 mA ตามเบอร์ที่เราเลือกใช้ อีกทั้งยังมีวงจรป้องกันกระแสเกินภายในและวงจรป้องกันอุณหภูมิเกินภายในด้วยโดย IC เบอร์ต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติด้านกระแสเอาท์พุทสูงสุด, แรงดันอินพุท, Line Regulation, Load Regulation และช่วงอุณหภูมิที่เราทำงานให้เราเลือกตามต้องการ วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ IC แบ่งได้เป็น 2 ชนิด

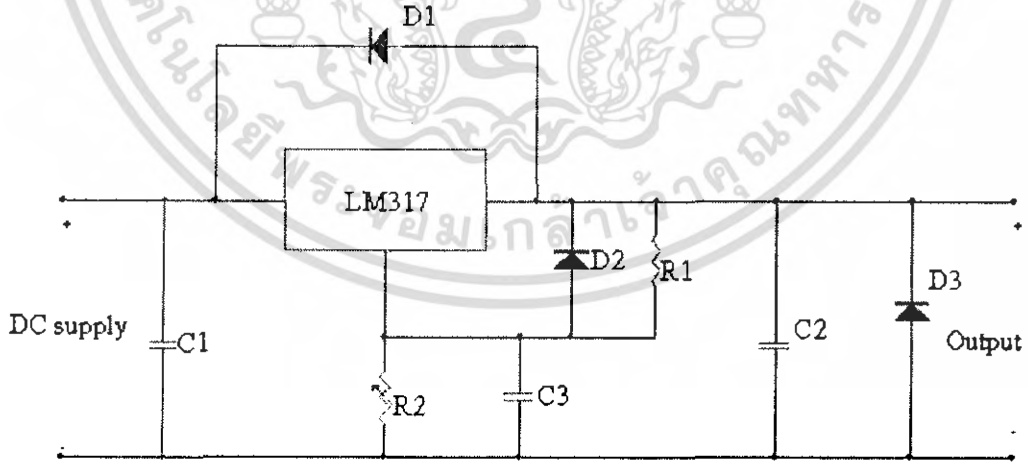
แบบแรกคือ วงจรรักษาระดับแรงดันแบบแรงดันเอาท์พุทคงที่ เบอร์ที่นิยมใช้จะเป็น IC ตระกูล 78xx และ 79xx และต่างกันที่ 78xx ให้ไฟบวกและ 79xx ให้ไฟลบ โดยมีเลข xx เป็นค่าแรงดันเอาท์พุท เช่น 7805 ให้ไฟบวกแรงดันคงที่ 5V, 7812 ให้ไฟบวกแรงดันคงที่ 12V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-11 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าแรงดันคงที่ใช้ MC 78xx

แบบที่สองคือ วงจรรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าแรงดันเอาท์พุทได้ เป็นวงจรที่สามารถปรับค่าแรงดันเอาท์พุทได้ในช่วงที่กำหนด เช่น LM317 ปรับค่าแรงดันเอาท์พุทได้ตั้งแต่ 1.25V-37V แต่ถ้าต้องการจ่ายเอาท์พุทตั้งแต่ 0V สามารถทำได้โดยเพิ่มส่วนไฟลบให้กับวงจร แต่ละเบอร์ IC นั้นจะมีคุณสมบัติทางแรงดันเอาท์พุท กระแสสูงสุดช่วงแรงดันที่สามารถทำงานได้ ความแตกต่างระหว่างแรงดันอินพุทกับเอาท์พุท (V_o-V_{in}) ต่ำสุดที่สามารถทำงานได้ Line Regulation, Load Regulation และการป้องกันต่าง ๆ เช่น วงจรจำกัดกระแส วงจรป้องกันให้อยู่ในช่วงที่ปลอดภัย (Safe Operation Area Protection) เป็นต้น



ภาพที่ 2-12 วงจรรักษาระดับปรับค่าแรงดันเอาท์พุทได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 วงจรป้องกัน (Protection Circuit)

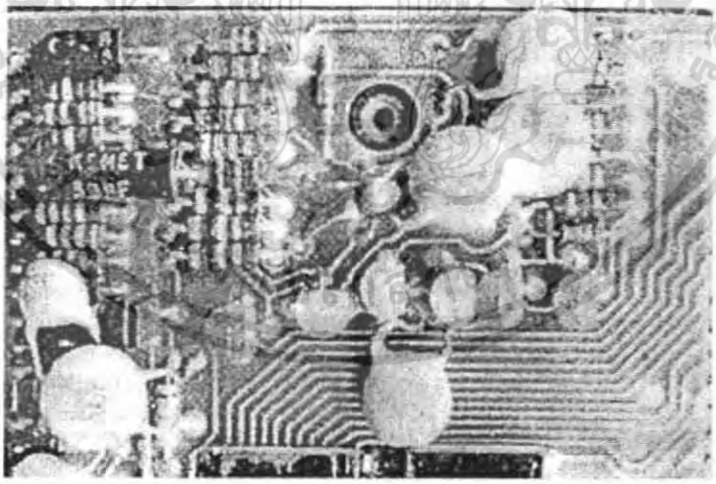
ในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จำเป็นต้องมีวงจรป้องกัน เช่น ป้องกันกระแสเกินเพื่อไม่ให้วงจรเสียหาย เมื่อจ่ายกระแสเกินค่ามาก ๆ ซึ่งสามารถใช้อุปกรณ์หลายชนิดในวงจรป้องกันนี้ เช่น รีเลย์ ออปโต้คัปเปลอร์ SRC, ออปแอมป์, ทรานซิสเตอร์ เป็นต้น ซึ่งการใช้งานก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละวงจร

ในแหล่งจ่ เยไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องนี้ได้ใช้หลักการของทรานซิสเตอร์ คือ การที่แรงดันตกคร่อมขาอีมิตเตอร์และขาเบส ของทรานซิสเตอร์มีค่า 0.6V แล้วใช้ตัวต้านทานค่าน้อย ๆ คร่อมขาทั้ง 2 ให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทานดังกล่าวเกิดแรงดันตกคร่อมค่าหนึ่ง ถ้าค่าของแรงดันดังกล่าวมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.6V จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ส่งผลให้ V_{out} และ I_{out} ลดลงด้วย

2.4 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของคาปาซิตี้ดิสชาร์จ

2.4.1 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ถูกใช้อย่างมากในวงจรอิเล็คทรอนิกส์ เพราะตัวเก็บประจุจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าเอาไว้ภายในตัวมันได้ ซึ่งจะมีคุณสมบัติเปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าที่ต่ออยู่ภายในวงจรเพื่อใช้งานในช่วงที่วงจรมีระดับของแรงดันไม่เพียงพอ หรือใช้กรองกระแสไฟฟ้าหรืออื่น ๆ



ภาพที่ 2-13 แสดงตัวเก็บประจุที่ต่อใช้งานในวงจรอิเล็คทรอนิกส์

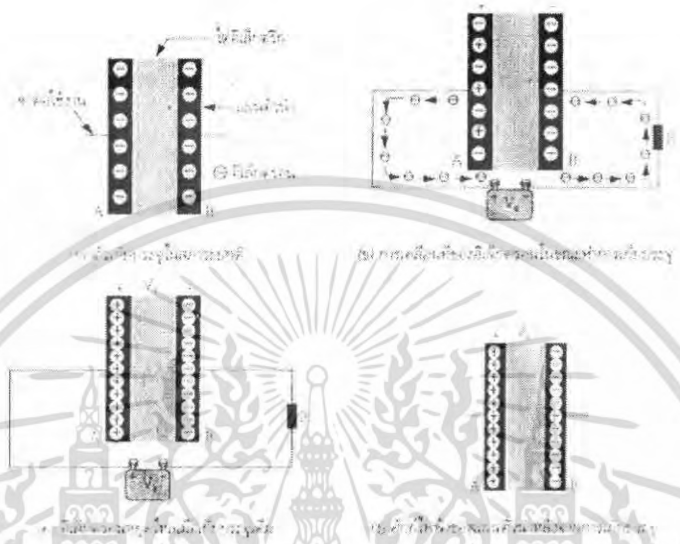
ตัวเก็บประจุในบางครั้งอาจเรียกทับศัพท์ว่า คาพาซิเตอร์หรือคอนเดนเซอร์ (Condenser) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า ซี (C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4.2 หลักการของตัวเก็บประจุ

1. การเก็บประจุ จากภาพที่ 2-14 (ก) เป็นโครงสร้างภายในของตัวเก็บประจุที่ยังไม่ได้ผ่านการเก็บประจุ เราจะเห็นว่าที่แผ่นตัวนำทั้งสองข้างของตัวเก็บประจุจะมีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง คือ มีจำนวนของประจุบวกและประจุลบอยู่ในจำนวนเท่ากัน



ภาพที่ 2-14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแผ่นตัวนำในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ

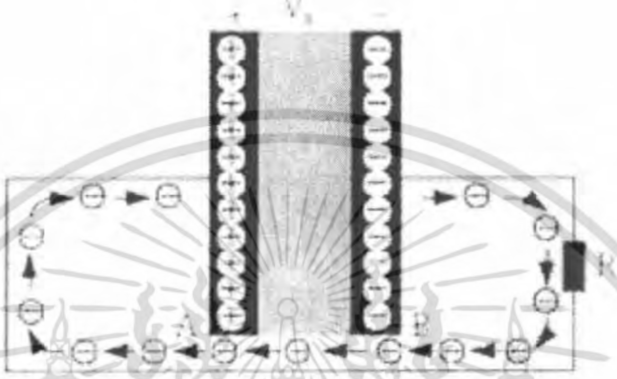
จากภาพที่ 2-14 แสดงการเก็บประจุของตัวเก็บประจุในขณะที่ทำการต่อตัวเก็บประจุเข้ากับแบตเตอรี่ (Vs) ดังภาพที่ 2-14 (ข) แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าทำให้อิเล็กตรอนบางส่วนเคลื่อนที่ได้ทั้ง ๆ ที่ตัวเก็บประจุเป็นตัวเปิดวงจร โดยมีไดอิเล็คตริกกั้นระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนนี้เกิดขึ้นได้เพราะระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำจะวางชิดกัน และขนาดพื้นที่ของแผ่นตัวนำเมื่อเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำแล้วจะใหญ่กว่ามาก แบตเตอรี่จะพยายามผลักอิเล็กตรอนให้ออกจากขั้วลบไฟยังแผ่นตัวนำ (B) ที่ต่ออยู่และอิเล็กตรอนจำนวนนี้จะผลักอิเล็กตรอนที่อยู่บนแผ่นตัวนำ (A) ซึ่งเป็นไปตามกฎธรรมชาติของอิเล็กตรอนที่จะต้องผลักซึ่งกันและกัน ระหว่างที่มีอิเล็กตรอนไหลไปยังแผ่นตัวนำ (B) ก็จะมีอิเล็กตรอนจำนวนเท่ากันไหลออกจากแผ่นตัวนำ (A) แต่ไม่ไหลผ่านไดอิเล็กตริกที่เป็นฉนวนกั้น ถ้าตัวเก็บประจุทำการประจุจนเต็มที่แล้วก็จะไม่มีอิเล็กตรอนไหล ดังภาพที่ 2-14 (ค) ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะผลักดันให้อิเล็กตรอนไหลได้เพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้นและในภาพที่ 2-14 (ง) จะเห็นว่าแผ่นตัวนำ (B) มีประจุเป็นลบ ส่วนแผ่นตัวนำ (A) ที่อิเล็กตรอนถูกผลักออกไปก็จะเหลือเป็นประจุบวก แม้ว่าจะไม่มีแบตเตอรี่ (Vs) ต่ออยู่ก็ตาม

2. การคายประจุของตัวเก็บประจุ เมื่อเรานำตัวเก็บประจุที่ผ่านการเก็บประจุมากแล้วมาต่อตามในภาพที่ 2-15 ประจุลบของแผ่นตัวนำ (B) จะทำให้อิเล็กตรอนไหลผ่านโหลด (R) เข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

83181

รวมตัวกับประจุบวกภายในแผ่นตัวนำ (A) เพราะโดยธรรมชาติ ประจุลบจะรวมตัวกับประจุบวกเสมอ กระบวนการคายประจุจะสิ้นสุดลงก็ต่อเมื่อแผ่นตัวนำทั้งสองมีศักย์เป็นกลางทางไฟฟ้า คือไม่แสดงศักย์ไฟฟ้าออกมาที่ขาต่อของแผ่นตัวนำทั้งสอง อิเล็กตรอนจึงจะหยุดไหล ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนภายในวงจรนี้จะมีทิศทางตรงข้ามกับการเก็บประจุ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการคายประจุ



ภาพที่ 2-15 แสดงการคายประจุของตัวเก็บประจุ

2.4.3 ความจุของตัวเก็บประจุ

ความจุ (Capacitance) คือความสามารถในการสะสมประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ซึ่งนิยมใช้สัญลักษณ์ชื่อย่อว่า ซี (C) สูตรการหาค่าความจุตัวเก็บประจุ ดังแสดงในสมการ

$$C = Q/V$$

เมื่อ C = ความจุ หน่วยฟารัด

Q = ประจุ หน่วยคูลอมบ์

V = แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของตัวเก็บประจุ หน่วยโวลต์

หน่วยของค่าความจุมีค่า 1 ฟารัด หมายถึงเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ แล้วทำให้เกิดประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ (6.25 x 10^18 อิเล็กตรอน) ขึ้นที่แผ่นตัวนำทั้งสองของตัวเก็บประจุ

ฟารัด (Farad) เป็นหน่วยของค่าความจุไฟฟ้าที่ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) เมื่อปี พ.ศ. 2334 – 2410 ซึ่งค่าความจุ 1 ฟารัด จะเป็นตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากโดยปกติแล้วค่าความจุที่ใช้งานจะอยู่ในพิสัยไมโครฟารัด (uF) ลดลงจนถึงพิโคฟารัด (pF) ดังแสดงตารางการเปรียบเทียบหน่วยของค่าความจุในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบหน่วยของค่าความจุ

หน่วยของค่าความจุ (UNIT OF CAPACITANCE)		
1 Micro Farads (uF)	= 0.000001 F	$10^{-6}\ Farads$
1 Nano Farads (nF)	= 0.000000001 F	$10^{-9}\ Farads$
1 Pico Farads (pF)	= 0.000000000001	$10^{-12}\ Farads$
1 Farad	= 1,000,000 Micro Farad(uF)	$10^{6} uF$
	= 1,000,000,000 Nano Farad (nF)	$10^{9}\ nF$
	= 1,000,000,000,000 Pico Farad (pF)	$10^{12}\ pF$

2.4.4 องค์ประกอบของความจุ

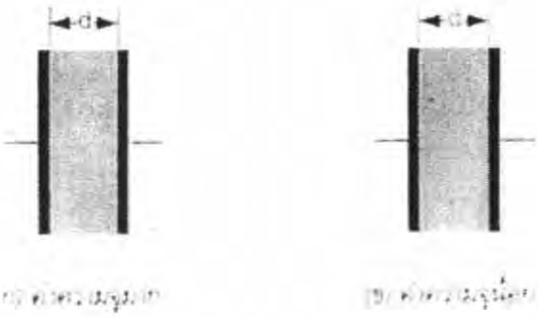
ค่าความจุของตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางฟิสิกส์ที่สำคัญอยู่ 3 ประการคือ

1. **พื้นที่ของแผ่นตัวนำ** พื้นที่ของแผ่นตัวนำ เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการกำหนดขนาดของค่าความจุ เพราะถ้าเราวางแผ่นตัวนำซ้อนกันเต็มแผ่นตามภาพที่ 2-16 (ก) ตัวเก็บประจุก็สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้มาก และถ้าเราวางแผ่นตัวนำให้ซ้อนกันน้อย ก็จะทำให้ตัวเก็บประจุสามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ลดน้อยลง ดังภาพที่ 2-16 (ข) ว่าปรากฏการณ์แบบนี้จะเกิดขึ้นในตัวเก็บประจุชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้ หรืออีกประการหนึ่ง ถ้าพื้นที่ผิวของแผ่นตัวนำมีขนาดน้อยก็จะทำให้ตัวเก็บประจุสามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้น้อย ในทางตรงข้าม ถ้าพื้นที่ผิวของแผ่นตัวนำมีขนาดใหญ่มากก็จะทำให้ตัวเก็บประจุสามารถ เก็บประจุไฟฟ้าได้มากด้วย

ภาพที่ 2-16 แสดงพื้นที่ของแผ่นตัวนำที่มีผลต่อค่าความจุ

2. **ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ** ระยะห่างระหว่าง แผ่นตัวนำ จะมีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง โดยถ้าเราวางแผ่นตัวนำทั้งสองให้มีระยะห่างน้อยลง จะทำให้ค่าความจุเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 5.6 (ก) แต่ถ้าเราเลื่อนแผ่นตัวนำทั้งสองออกให้มีระยะห่างกันมาก ๆ จะมีผลทำให้ค่าความจุลดลง ดังภาพที่ 5.6 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-17 แสดงระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ

3. ชนิดของไดอิเล็กตริก ชนิดของไดเล็กตริกที่นำมาใช้ทำตัวเก็บประจุ จะเป็นสิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความจุของตัวเก็บประจุ โดยทั่วไปชนิดของไดอิเล็กตริกที่ถูกใช้จะเปรียบเทียบกับไดอิเล็กตริกที่เป็นชนิดอากาศ (Air) เนื่องจากว่ามันจะมีค่าไดอิเล็กตริกคงตัวเท่ากับ 1 ซึ่งค่าไดอิเล็กตริกคงตัวของฉนวนที่นำมาใช้ทำตัวเก็บประจุชนิดต่าง ๆ จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

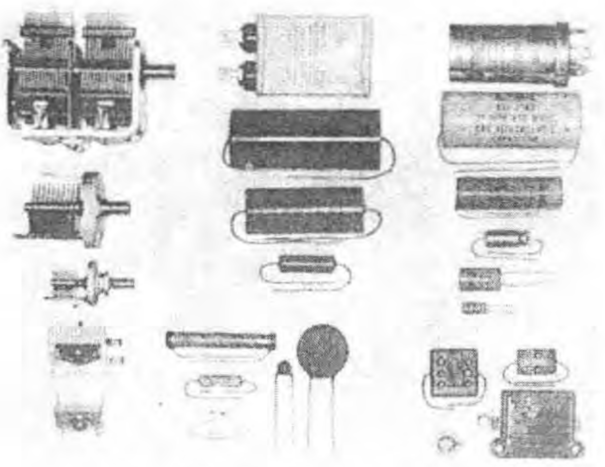
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าคงตัวของไดอิเล็กตริกชนิดต่าง ๆ

วัสดุ	ค่าคงตัวของไดอิเล็กตริก
สุญญากาศ	1
อากาศ	1.0006
ยาง	2-3
กระดาษ	2-3
เซรามิก	3-7
แก้ว	4-7
ควอร์ต	4
ไมก้า	5-7
กระเบื้อง	6-7
น้ำ	80

2.4.5 ชนิดของตัวเก็บประจุ

ในปัจจุบันนี้ตัวเก็บประจุที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีอยู่มากมายหลายชนิดและหลายรูปร่าง ซึ่งมีขนาดของค่าความจุต่ำ ๆ จนถึงความจุสูงถึงหลายพันไมโครฟารัด ดังจะแสดงตัวเก็บประจุชนิดต่าง ๆ ในภาพที่ 2-18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-18 แสดงตัวเก็บประจุชนิดต่าง ๆ

จากภาพที่ 2-18 แถวแนวตั้งทางซ้ายมือด้านบนจะแสดงตัวเก็บประจุชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้ ส่วนด้านล่างจะแสดงตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้ ที่แถวแนวตั้งตรงกลางด้านบนจะแสดงตัวเก็บประจุชนิดกระดาส่วนด้านล่างจะแสดงตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค และแถวแนวตั้งทางขวามือจะแสดงตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติก ส่วนด้านล่างจะแสดงตัวเก็บประจุชนิดไมก้า

การแบ่งชนิดของตัวเก็บประจุจะจำแนกออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. ตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่ (Fixed Capacitor) เป็นตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุคงที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปรค่าได้ ส่วนมากจะแบ่งชนิดตามประเภทวัสดุ ฉนวนที่นิยมนำมาใช้ทำเป็นไดอิเล็กตริกมีดังนี้

ตัวเก็บประจุชนิดกระดาษ (Paper Capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดกระดาษ เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้กระดาษหรือน้ำมัน (Oil) เป็นฉนวน ไดอิเล็กตริก โครงสร้างของตัวเก็บประจุชนิดนี้จะประกอบด้วยแผ่นตัวนำ 2 แผ่นที่เป็นแผ่นดีบุกรีดจนบาง คั่นกลางด้วยกระดาษชุบไข แล้วนำมาม้วนเข้าเป็นท่อนกลม จากแผ่นตัวนำทั้งสองแต่ละข้างจะถูกต่อขาที่เป็นลวดตัวนำออกมาใช้งาน ตัวเก็บประจุจะถูกห่อหุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ แล้วแต่บริษัทผู้ผลิตอย่างเช่น ปลอกกระดาษ กระเบื้องเคลือบ กระดาษอาบขี้ผึ้ง เป็นต้น เพื่อป้องกันความชื้นและฝุ่นละออง ดังภาพที่ 2-19

ภาพที่ 2-19 ตัวเก็บประจุชนิดกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุชนิดกระดาษจะมีค่าความจุไม่สูงมากนัก ซึ่งจะเขียนบอกไว้ท้าย ๆ ตัวเก็บประจุ คืออยู่ในพิสัยจาก 10 พิโคฟารัด ถึง 10 ไมโครฟารัด อัตราทนไฟสูงประมาณ 150 โวลต์ จนถึงหลายพันโวลต์ โดยมากนิยมใช้วงจรจ่ายกำลังไฟสูง

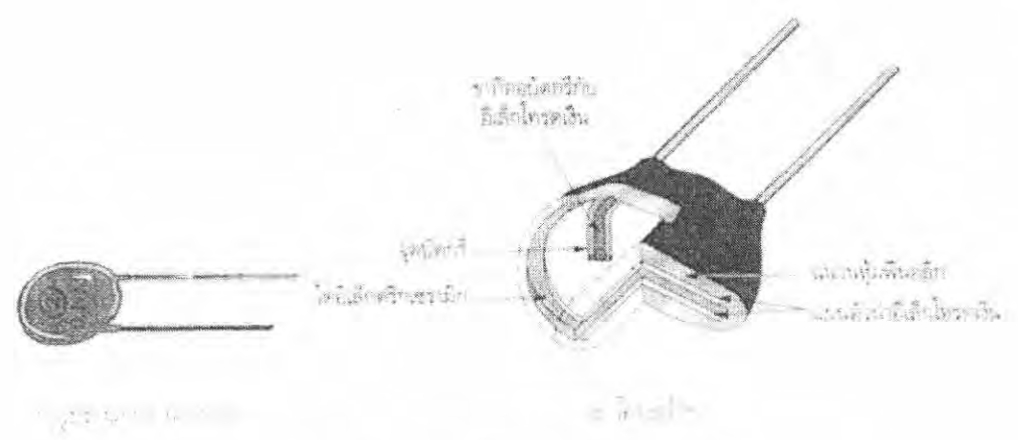
ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า (Mica Capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้แผ่นไมก้าเป็นฉนวนไดเล็กตริก โครงสร้างภายในของตัวเก็บประจุชนิดนี้จะประกอบด้วยแผ่นโลหะบาง ๆ (Metal Foil) อาจใช้หลาย ๆ แผ่นวางซ้อนกัน แล้วคั่นระหว่างแผ่นโลหะบาง ๆ ด้วยแผ่นไมก้าแล้วต่อขาใช้งานเข้ากับแผ่นโลหะบาง ๆ ดังภาพที่ 2-20 (ก) ซึ่งตัวเก็บประจุจะถูกห่อหุ้มด้วยฉนวนจำพวกเมกาไลต์ เพื่อป้องกันการชำรุดสึกหรอ ดังภาพที่ 2-20 (ข)

ภาพที่ 2-20 ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

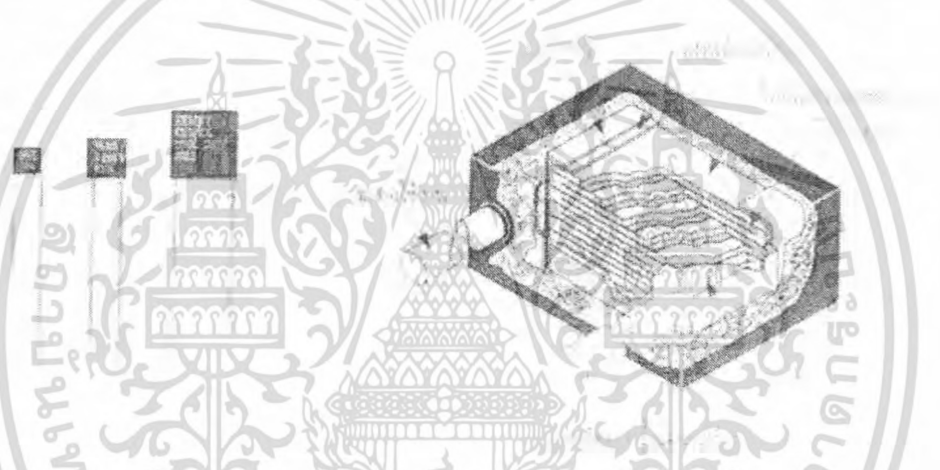
ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า จะมีค่าความจุตั้งแต่ 1.5 พิโคฟารัด จนถึงค่า 0.1 ไมโครฟารัดและมีอัตราทนแรงดันไฟฟ้าสูงถึง 350 โวลต์ นิยมใช้งานวงจรความถี่วิทยุ (R.F.) และวงจรที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงมาก

ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก (Ceramic Capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิค เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้เซรามิกเป็นฉนวนไดอิเล็กตริกที่มีค่าคงตัวสูงจึงทำให้ตัวเก็บประจุชนิดนี้มีค่าความจุสูง แต่มีขนาดเล็กลงและโดยทั่วไปตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกจะมีรูปร่างเป็นแบบจาน (Disk) ที่มีโครงสร้างภายในคือ ใช้เงินทำเป็นแผ่นตัวนำรูปจานกลมบาง ๆ วางซ้อนกัน และคั่นกลางด้วยเซรามิก แล้วต่อขาใช้งานเข้าที่แผ่นตัวนำเงินแล้วเคลือบผิวด้วยฉนวนจำพวกฟีนอลิก (Phenolic) ดังภาพที่ 2-21 นอกจากนี้ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกยังได้พัฒนารูปร่างให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ดังภาพที่ 2-22 และเป็นตัวเก็บประจุแบบไร้ขา (Surface Mount) ที่ใช้งานในแผงประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 2-23 ตามลำดับ

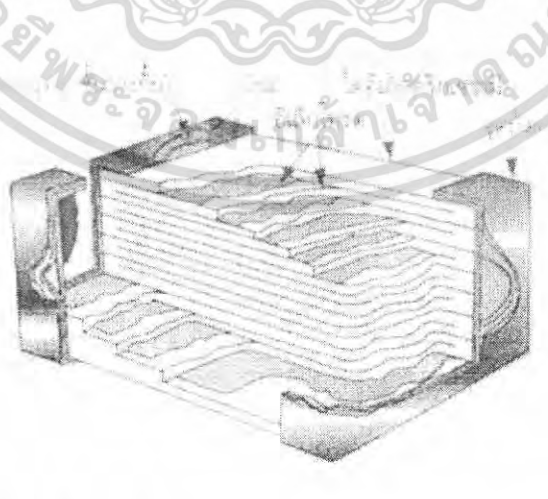
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-21 ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกแบบรูปร่างจานกลม



ภาพที่ 2-22 ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม



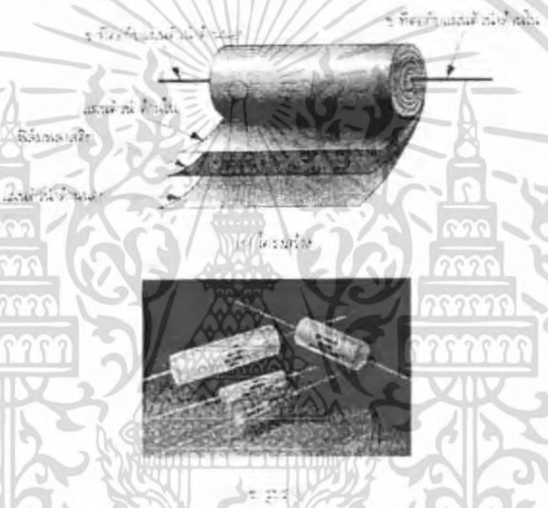
ภาพที่ 2-23 ตัวเก็บประจุชนิกเซรามิกแบบไร้ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก ทั่วไปจะมีค่าความจุตั้งแต่ 1 พิโคฟารัด จนถึง 2.2 ไมโครฟารัด มีอัตราทนแรงดันไฟฟ้าสูงถึง 6000 โวลต์ และมีสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิ 200000 ppm/C

ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์มพลาสติก (Plastic – Film Capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์มพลาสติกจะใช้ไดอิเล็กตริกที่เป็นแผ่นฟิล์มพลาสติก อันได้แก่โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate), โพรพีลีน (Propylene), โพลีเอสเตอร์ (Polyester), โพลสไตรลีน (Polystyrene), โพลีโพรพีลีน (Polypropylene) และไมลาร์ (Mylar) มาคั่นระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองแผ่น แล้วม้วนให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก (Tubular) ดังภาพที่ 2-24

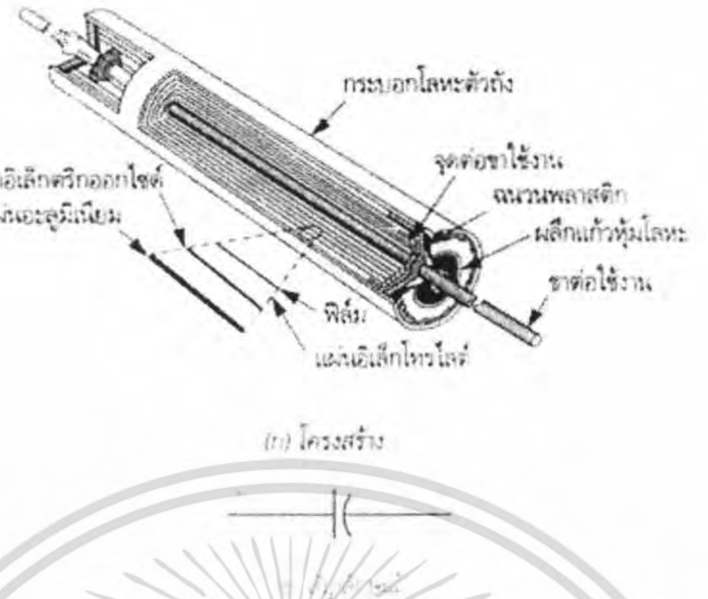
ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์มพลาสติก มีค่าความจุใช้งานตั้งแต่ 2 ไมโครฟารัดขึ้นไป ซึ่งบางชนิดอาจมีค่าสูงถึง 100 ไมโครฟารัด และมีอัตราทนแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 200 ถึง 600 โวลต์



ภาพที่ 2-24 ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์มพลาสติก

ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติก (Electrolytic Capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติกเป็นตัวประจุที่ใช้น้ำยาอิเล็กโทรไลต์เป็นแผ่นข้างหนึ่งแทนโลหะและอีกแผ่นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะมีเยื่อบาง ๆ ที่เรียกว่า ฟิล์ม หุ้มอยู่ เยื่อบาง ๆ นี้คือไดอิเล็กตริกหรือแผ่นกั้น ซึ่งจะแสดงโครงสร้างของตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติก ดังภาพที่ 2-24 (ก) และสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีเครื่องหมายบวกและลบซึ่งเป็นขั้วในการต่อใช้งาน ดังภาพที่ 2-24 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-25 ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติก

ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติกจะมีค่าต่ำ ๆ จนถึงมากกว่า 200000 ไมโครฟารัดแต่มันจะทนแรงดันไหลย้อนกลับได้ต่ำและมีกระแสรั่วไหลสูง อัตราแรงดันไฟฟ้ามีตั้งแต่ 5 ถึง 700 โวลต์ โดยมากตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติกจะนิยมใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัม (Tantalum Capacitor) ตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัมเป็นตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างคล้ายกับตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติก โดยขั้วบวกจะใช้สารแทนทาลัมแทนอะลูมิเนียม ส่วนสารอิเล็กโทรไลต์ใช้แมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese Dioxide) แทน ดังภาพที่ 2-26

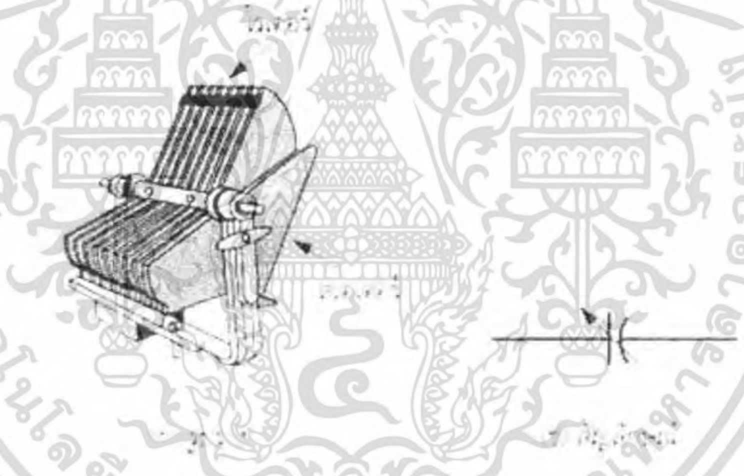
ภาพที่ 2-26 แสดงรูปร่างตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัมมีรูปร่างเป็นแบบทรงกระบอกและแบบหยดน้ำ (Tear Drop) มีคุณสมบัติการรั่วของกระแส คุณสมบัติทางความถี่และอุณหภูมิ ดีกว่าตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรลิติก มีค่าความจุตั้งแต่ 0.001 ไมโครฟารัด อัตราทนแรงดันไฟ 6 ถึง 12โวลต์ ใช้ในวงจรกำจัดสัญญาณรบกวน วงจรการเชื่อมต่อ (Coupling) และอื่น ๆ

ข้อควรระวัง ก่อนนำตัวเก็บประจุชนิดนี้ไปใช้งาน ควรพิจารณาขั้วของตัวเก็บประจุให้ดี หากต่อขั้วผิดกระแสไฟจะทำให้ฟิล์มไดอิเล็กตริกชำรุดเสียหายได้

2. ตัวเก็บประจุชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้ (Variable Capacitor) จะมีลักษณะโครงสร้างที่ประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 ชุด แต่ละชุดของแผ่นโลหะจะเป็นแผ่นที่วางซ้อนทับกันอยู่ คือชุดหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้โดยการหมุนแกนที่เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) และชุดของแผ่นโลหะที่ยึดติดอยู่กับที่ ซึ่งเรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) ที่บริเวณรอยต่อลอยอยู่ได้เพราะใช้ฉนวนเบกาไลต์หรือกระเบื้องเป็นตัวยึดตรึงไว้กับตัวถังของตัวเก็บประจุนี้ ดังภาพที่ 2-27

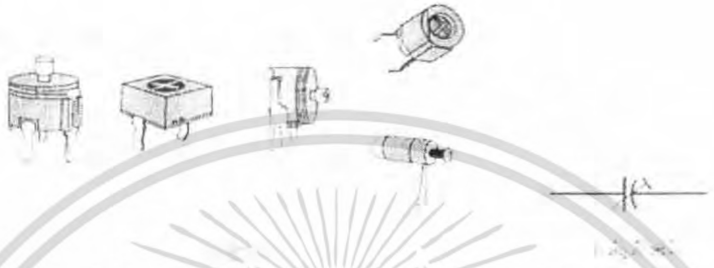


ภาพที่ 2-27 ตัวเก็บประจุชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้

ตัวเก็บประจุชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้ จะนิยมใช้อากาศเป็นไดอิเล็กตริกและค่าความจุของตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีค่าความจุเปลี่ยนแปรได้เมื่อเราหมุนแกนโรเตอร์ ถ้าหมุนให้แผ่นโลหะทั้งสองวางขนานกันมากที่สุด ค่าความจุของตัวเก็บประจุจะมีค่ามาก แต่ถ้าหมุนให้แผ่นโลหะทั้งสองวางซ้อนกันน้อยที่สุดค่าความจุของตัวเก็บประจุจะมีค่าน้อย โดยทั่วไปตัวเก็บประจุชนิดเปลี่ยนแปรค่าได้ จะมีค่าความจุประมาณ 10 ถึง 400 พิโคฟารัด นิยมนำไปใช้งานในวงจรจูนเนอร์ของเครื่องรับวิทยุหรือเครื่องรับโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้ (Adjustable Capacity) ในบางครั้งตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้ จะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ทริมเมอร์ (Trimmer) ซึ่งจะมีโครงสร้างภายในที่ประกอบขึ้นมาจากโลหะแผ่นบาง ๆ วางซ้อนกันหลาย ๆ แผ่นและใช้เซรามิกหรือไมก้าเป็นไดอิเล็กตริกคั่นกลางระหว่างแผ่นโลหะ ส่วนตรงกลางจะมีสกรูขันไว้เพื่อใช้ปรับแผ่นโลหะที่วางซ้อกันให้มีระยะชิดกันหรือระยะห่างกันได้ ดังภาพที่ 2-28

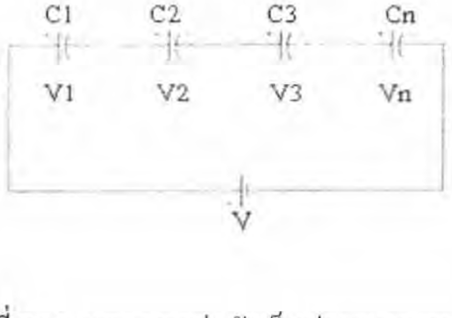


ภาพที่ 2-28 ตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้

2.4.6 การต่อตัวเก็บประจุ

ในวงจรไฟฟ้าตัวเก็บประจุที่มีการต่อใช้งานมากกว่า 2 ตัวขึ้นไปก็ย่อมจะมีผลต่อค่าความจุและอัตราทนแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อวงจรของตัวเก็บประจุ โดยทั่วไปจะมีการต่อวงจรอยู่ 3 แบบ คือ แบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม

1. การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม มีลักษณะการต่อวงจรคือ แผ่นตัวนำขั้วลบของตัวเก็บประจุตัวหนึ่งจะถูกต่อเข้ากับแผ่นตัวนำขั้วบวกของตัวเก็บประจุอีกตัวหนึ่งในลักษณะเรียงอันดับกันไปเรื่อย ๆ ดังภาพที่ 2-29 ซึ่งการต่อตัวเก็บประจุลักษณะเช่นนี้ จะมีผลต่อวงจร โครงสร้างของไดอิเล็กตริกของตัวเก็บประจุที่มีขนาดกว้างมากขึ้น ดังนั้นผลรวมค่าความจุของวงจรจะมีค่าลดลง แต่อัตราทนแรงดันไฟฟ้าในวงจรนี้จะมีค่าเท่ากับผลรวมของอัตราทนแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแต่ละตัวรวมกัน



ภาพที่ 2-29 แสดงการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรตัวเก็บประจุแบบอนุกรม ผลรวมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่วงจร ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_N$$

และเมื่อ $$V = \frac{Q}{C}$$

$$\frac{Q}{C_s} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \cdots + \frac{Q_N}{C_N}$$

แต่ $$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \cdots = Q_N$$

$$\therefore \frac{Q}{C_s} = Q(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_N})$$

ดังนั้นสมการค่าความจุของตัวเก็บประจุแบบอนุกรมคือ

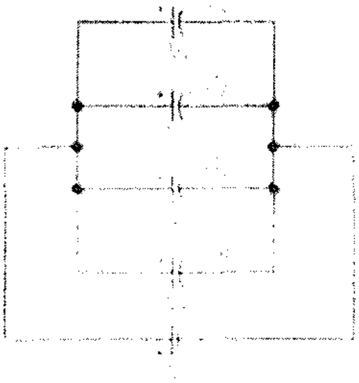
$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_N}$$

ถ้าเราใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัวต่ออนุกรมกัน เราสามารถพิจารณาสูตรค่าความจุได้คือ

$$C_s = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

2. การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน มีลักษณะการต่อวงจรคือ แผ่นตัวนำขั้วบวกของตัวเก็บประจุทุกตัวจะถูกต่อเข้าด้วยกันและแผ่นตัวนำขั้วลบของตัวเก็บประจุทุกตัวก็จะถูกต่อเข้าด้วยเช่นกัน ในลักษณะการต่อวงจรแบบขนาน ดังภาพที่ 2-30 ผลที่เกิดขึ้นกับวงจรตัวเก็บประจุแบบนี้คือ ค่าความจุรวมจะมีค่าเท่ากับผลรวมค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแต่ละตัวในวงจรขนานรวมกันและอัตราทนแรงดันไฟฟ้าในวงจรนี้จะมีค่าเท่ากัน หรือเท่ากับอัตราทนแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-30 แสดงการต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

สูตรในการคำนวณหาค่าความจุสำหรับการต่อตัวเก็บประจุแบบ**ขนาน** สามารถพิจารณาได้จากสิ่งต่อไปนี้

เมื่อ $$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots + Q_N$$

และเมื่อ $$Q = CV$$

$$C_pV = C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3 + \cdots + C_NV_N$$

แต่ $$V = V_1 = V_2 = V_3 = \cdots + V_N$$

$$\therefore\ C_pV = V(C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_N)$$

ดังนั้นสมการค่าความจุของตัวเก็บประจุแบบขนานคือ

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_N$$

3. **การต่อตัวเก็บประจุแบบผสม** เป็นการต่อตัวเก็บประจุในลักษณะของวงจรอนุกรม โดยการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้ารวมของวงจรนั้น เราจะต้องพิจารณาในแต่ละส่วนของการต่อวงจรตัวเก็บประจุว่าเป็นวงจรแบบอนุกรมหรือวงจรขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

2.5.1 ความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

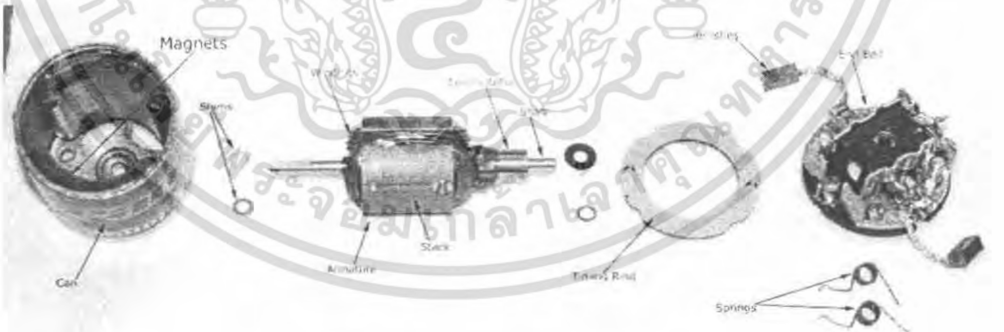
มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานต่างเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงานดังนั้นเราจึงต้องทราบถึงความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าตลอดคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของมอเตอร์นั้น ๆ

มอเตอร์ไฟฟ้า (MOTOR) หมายถึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

2.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงาอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ หรือให้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าเป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบดังภาพที่ 2-31



ภาพที่ 2-31 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง

2.5.3 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1. **ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator)** ประกอบด้วยเฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงสร้างภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก จากขั้วเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปขั้วใต้ให้ครบวงจรยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก

ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด

ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque)

ส่วนที่สองคือ ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบ ๆ แกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้นและเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

2. **ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ (Rotor)** ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานจะมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์

ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

2. แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวนเป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (Mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลา เป็นรูปกลมทรงกระบอกมีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก อีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันของเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวมาแล้วเรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor Action)

แปรงถ่าน (Brushes) ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ดังภาพที่ 2-32 ในซองแปรงถ่านมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแสและส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์ กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก คือถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2-32 แปรงถ่าน

4. ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอท (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ละจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้น ๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ ที่ต้องการ

2.5.4 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action)

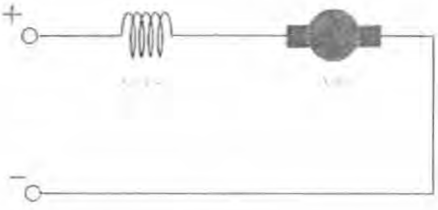
หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้นจะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ตัดกัน ทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกันและทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลาและแกนเพลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์หรือโรเตอร์หมุนไปนั้น เป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming's Left Hand Rule)

2.5.5 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor) คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ มอเตอร์ชนิดนี้เรียกว่า ซีรีสฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้า รถยกของเครนไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อ ความเร็วก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายอย่าง เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้าเครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมาก

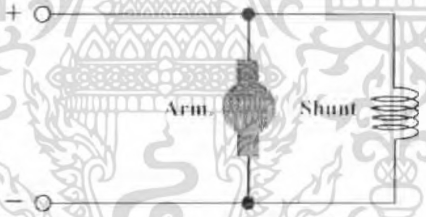
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ



ภาพที่ 2-33 การต่อมอเตอร์แบบอนุกรม

2. **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)** หรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ (Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวดชุดอาเมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ ชันท์มอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับพัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย



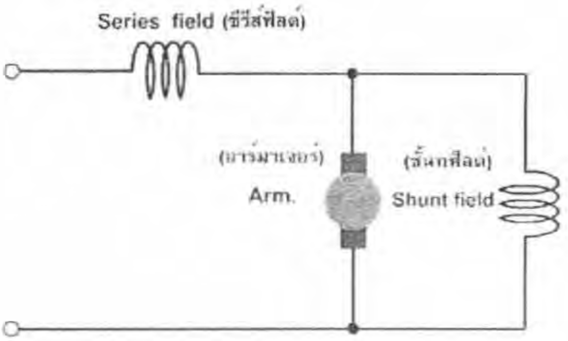
ภาพที่ 2-34 การต่อมอเตอร์แบบขนาน

3. **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)** หรือเรียกว่าอีกอย่างหนึ่งว่าคอมเปาว์ดมอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานและแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High Staring Torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่

มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชันท์อยู่ 2 วิธี

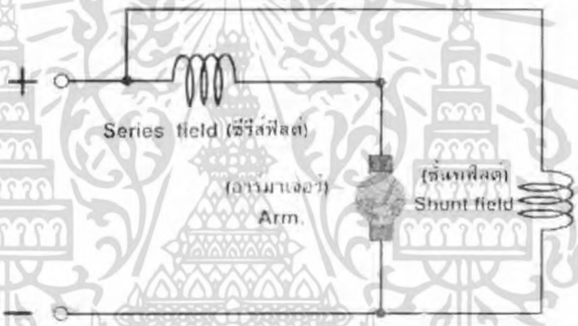
1. คือต่อขดลวดแบบชันท์ขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอทชันท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-35 ชอทชันท์

2. คือต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่าลองชั้นท์คอมเปาวด์



ภาพที่ 2-36 ลองชั้นท์คอมเปาวด์

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำ

2.6.1 ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า

ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า หมายถึง ความสามารถในการนำไฟฟ้าหรือยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารละลายที่อยู่ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดอันละ 1 ตารางเซนติเมตร และระยะระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองคือ 1 เซนติเมตร เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความนำไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Conductance) ซึ่งจะมีความหมายตรงกันข้ามกับ ความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร (mmho/cm) หรือมิลลิซีเมนส์ต่อเมตร (mS/m) ในหน่วย SI (International System of Unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าในน้ำ แต่ละประเภทมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ

1. ความเข้มข้นของอิออนที่แตกตัวได้ ถ้าในน้ำมีปริมาณสารที่สามารถแตกตัวเป็นอิออนได้ (Ionizable Matter) มากค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าก็สูง ได้แก่ กรด เบส เกลืออนินทรีย์ เช่น H+, Na+, K+, Ca+, Cl-, CO32-, OH- ฯลฯ ซึ่งหมายถึงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ยกเว้นโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่น ซูโครส เบนซีน ฯลฯ ซึ่งไม่แตกตัวในน้ำ จึงไม่มีผลต่อค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า

2. ชนิดของอิออน ถ้าเป็นอิออนที่เกิดจากอนุมูลกรดแก่ หรืออนุมูลเบสแก่ จะให้ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าสูงกว่าอิออนของอนุมูลกรดอ่อน หรือเบสอ่อน

3. การเคลื่อนที่ของอิออน (Ionic Mobility) ถ้าอิออนมีการเคลื่อนที่มากก็มีผลทำให้ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าสูง

4. อุณหภูมิ มีผลต่อการเคลื่อนที่ ถ้าอุณหภูมิสูงอิออนต่าง ๆ มีการเคลื่อนที่มาก ทำให้ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าสูงด้วย ดังนั้นการรายงานค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าจึงต้องระบุอุณหภูมิด้วย

5. ความเป็นกรด - ด่าง ถ้าน้ำมีค่าความเป็นกรด - ด่างมากกว่า 9 หรือน้อยกว่า 5 จะมีผลต่อค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้ามาก ทั้งนี้เพราะ ไฮโดรเจนอิออน (H+) และไฮดรอกไซด์อิออน (OH-) มีการเคลื่อนที่ของอิออน (Ionic Mobility) สูงกว่าอิออนตัวอื่น กล่าวคือไฮโดรเจนอิออนมีการเคลื่อนที่ของอิออนของเท่ากับ 350 ไฮดรอกไซด์อิออนเท่ากับ 278 และโซเดียมอิออน (Na+) เท่ากับ 20-60 เป็นต้น ดังนั้นค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ได้นั้น จะมาจากไฮโดรเจนอิออนและไฮดรอกไซด์อิออน ซึ่งมาจากค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำมากกว่ามาจากอิออนอื่น

2.6.3 ประโยชน์ของค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า

1. ใช้เป็นเกณฑ์ในการดูองศาของการแตกตัว (Degree of Mineralization) ซึ่งโดยปกตินั้นจะใช้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เพื่อประเมินผลของความเข้มข้นของอิออนทั้งหมดต่อสมดุลเคมี ต่อการกัดกร่อนและผลทางสรีระศาสตร์ต่อพืชและสัตว์

2. ใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของน้ำ เช่น น้ำกลั่น โดยที่ในน้ำกลั่นที่กลั่นใหม่ ๆ นั้นจะมีค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าประมาณ 0.5-3 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตรและค่านี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บตัวอย่างน้ำไว้ เนื่องจากการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ รวมทั้งก๊าซแอมโมเนียด้วย

3. ทำให้สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำดิบและน้ำโสโครกอย่างรวดเร็ว ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเนื่องจากฤดูกาล โดยจะพบในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะตรงข้ามกับการขึ้น ๆ ลง ๆ ในแม่น้ำบางสายซึ่งสกปรก นอกจากนี้ค่านี้จะบอกถึงความแปรผันของคุณภาพน้ำ หรือน้ำทิ้งในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้เป็นค่าในการประมาณปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์สารต่าง ๆ ทางเคมี เช่น ถ้าค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าต่ำแสดงว่าในน้ำมีเกลือแร่ต่าง ๆ น้อย จึงต้องใช้ตัวอย่างจำนวนมาก เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด ความกระด้าง คลอไรด์ ฯลฯ และใช้ในการตรวจสอบหรือประเมินผลการวิเคราะห์ทางเคมี

5. ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารเคมีของน้ำในหม้อต้ม (Boiler Waters) ตรวจดูการรั่วใน Stream Condenser ควบคุมการกำจัดความกระด้างของน้ำ ตลอดจนในเครื่องกำจัดเกลือแร่ (Demineralizing Plant)

6. ใช้ตรวจแหล่งของน้ำที่มีการรั่วหรือปะปนกัน เช่น ในท่อประปา เพราะค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าจะต่างกัน

7. ใช้บอกสัดส่วนของน้ำที่มาผสมกัน โดยวัดค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าของน้ำแต่ละแหล่ง และค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าของน้ำที่ผสมกัน แล้วประเมินสัดส่วนในการผสมกัน

8. ใช้ในการประมาณค่ามิลลิอิควิวาเลนท์ต่อลิตร (Milliequivalents/L) ของอิออนบวกหรืออิออนลบในตัวอย่างน้ำ โดยคูณค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า (ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร) ด้วย 0.01

9. ใช้ประมาณค่าความเข้มข้นของสารที่ละลายในน้ำ (Dissolved Solids) และแตกตัวเป็นอิออน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในตัวอย่าง โดยคูณค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า ด้วย Empirical Factor ซึ่งแปรผันในช่วง 0.55-0.9 ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ละลายในน้ำและอุณหภูมิที่ทำการวัด

10. ใช้ในการตรวจความถูกต้องของผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี

การคำนวณอย่างคร่าว ๆ สำหรับน้ำธรรมชาติทั่วไป พบว่า

$$EC \times Factor = Total\ Dissolve\ Solids$$

สำหรับน้ำที่มีค่ากรดอิสระ หรือความเป็นด่าง เนื่องจากไฮดรอกไซด์ (Caustic Alkalinity) ในปริมาณมากพอ แฟคเตอร์นี้อาจจะต่ำกว่า 0.55 และสำหรับน้ำที่มีความเค็มสูง หรือน้ำในหม้อต้ม (Boiler Waters) แฟคเตอร์นี้อาจจะสูงกว่า 0.7 การตรวจสอบคร่าว ๆ โดยอาศัยหลักดังกล่าว จะแสดงให้เห็นถึงความผิดพลาดในการวิเคราะห์ได้

การคำนวณอย่างละเอียด เพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอนของค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า จึงต้องเจือจางตัวอย่างน้ำ เพื่อให้ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าอยู่ในช่วงแคบ ๆ โดยใช้น้ำกลั่นที่ต้มเดือดและปล่อยให้เย็นโดยปิดด้วยกระจกนาฬิกาในการเจือจางตัวอย่าง จนกระทั่งค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 90-120 mmho/cm ในการทดลองต้องพยายามเจือจางให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม เพราะค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าไม่ได้แปรผันในอัตราส่วนที่แน่นอนกับการทำเจือจาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วน การเจือจางที่แน่นอน (D) คือ

$$D = \frac{V_S + V_W}{V_S}$$

เมื่อ V_S = ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_W = ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)

วัดค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าของน้ำกลั่นซึ่งควรจะน้อยกว่า 2 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร วัดความเป็นตัวนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำ แล้วคำนวณค่า Diluted Conductivity (Kd) จากสมการ

$$Kd = \frac{AD \times 10.6 - (D-1)Kw}{Rd}$$

เมื่อ A = ค่าคงที่ของเซล (cell constant)

Rd = ค่า resistance ที่วัดได้ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้ว (diluted sample, ohm)

Kw = ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าของน้ำกลั่น (m mho/cm)

ต่อไปให้คำนวณค่า Kd จากการวิเคราะห์ทางเคมี โดยคูณค่าความเข้มข้นที่พบ (ไม่ว่าจะเป็น meq/L หรือ mg/L) โดยแฟคเตอร์ที่เหมาะสมจากตารางที่ 2.3 โดยให้รวมผลที่ได้เข้าด้วยกัน ถ้าค่า Kd ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1.5% หรือน้อยกว่า 2% ของค่า Kd ที่วัดได้ แสดงว่าอาจมีการผิดพลาดในการวิเคราะห์ทางเคมี และควรที่จะทำการตรวจดูใหม่

การตรวจสอบโดยวิธีนี้ เรียกว่า Diluted Conductivity Method ไม่ใช้กับตัวอย่างที่มีค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าต่ำกว่า 90 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร หรือมีค่าความเป็นกรด - ด่างน้อยกว่า 5 หรือมากกว่า 9 หรือกับตัวอย่างที่มีอิออนซึ่งไม่มีรายชื่อในตารางที่ 2.3 อยู่ในปริมาณสูง ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าเนื่องจากไฮโดรเจนอิออนและไฮดรอกไซด์อิออน จะมากกว่าค่าเนื่องจากอิออนอื่น จึงทำให้วิธีนี้ใช้ไม่ได้ผลกับตัวอย่างที่มีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่นอกช่วง 5-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่า Conductivity Factors ของอิออนที่พบบ่อยในน้ำ

อิออน	ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ 25°C	
Per meq/L	Per mg/L	(μmho/cm)
ไบคาร์บอเนต	43.6	0.715
แคลเซียม	52.0	2.6
คาร์บอเนต	84.6	2.82
คลอไรด์	75.9	2.14
แมกนีเซียม	46.6	3.82
ไนเตรท	71.0	1.15
โปแตสเซียม	72.0	1.84
โซเดียม	48.9	2.13
ซัลเฟต	73.9	1.54

อย่างไรก็ตามค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งในการประเมินคุณภาพน้ำเบื้องต้นเท่านั้น น้ำที่มีค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าสูงไม่ได้หมายความว่าคุณภาพของน้ำไม่ดีแต่บ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำมาก ซึ่งอาจเป็นแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์หรือเป็นโทษต่อร่างกายก็ได้ ต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ประกอบด้วย เช่น แหล่งน้ำ การนำไปใช้งาน ดังนั้นเราควรจะวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางกายภาพ เคมี สารเป็นพิษ และจุลินทรีย์ เพิ่มเติม ตามความเหมาะสม

2.6.4 น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)

น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water) หรือทั่วไปเรียกกันว่าน้ำ DI เป็นน้ำที่ผ่านการกรองไอออน โดยใช้เรซินเป็นตัวกรอง จึงทำให้ได้น้ำที่ไม่มีไอออนหลงเหลืออยู่ และเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงอย่างแท้จริงเพราะโมเลกุลที่เหลืออยู่จะมีเพียงโมเลกุลของน้ำ H2O เท่านั้น ปัจจุบันวิธี Deionization เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ และยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับวิธีการทำให้น้ำบริสุทธิ์วิธีอื่น ๆ เช่น RO การกรอง หรือการกลั่นอีกด้วย ถึงแม้ว่าวิธี DI จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีข้อจำกัดคือไม่สามารถกรองจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีอื่นควบคู่กันไป

2.6.5 ประโยชน์ของน้ำปราศจากไอออน

น้ำชนิดนี้มักใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำปฏิกิริยาในระดับห้องปฏิบัติการเพราะเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก ดังที่ได้กล่าวมาแล้วซึ่งปัจจุบัน น้ำ DI ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้หลายทาง เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตยาในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง ใช้เติมแบตเตอรี่รถยนต์ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

ถึงแม้น้ำปราศจากไอออน จะถือเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง แต่น้ำชนิดนี้ก็ไม่เหมาะจะนำมารับประทาน เพราะไม่มีแร่ธาตุอะไรเหลืออยู่เลย จึงมีคุณค่าไม่เพียงพอที่จะนำไปบริโภค และยังอาจทำให้แร่ธาตุในร่างกายถูกดูดออกไปเมื่อบริโภค DI Water อีกด้วย นอกจากนี้ น้ำ DI ไม่มีแม้กระทั่งประจุไฟฟ้า ซึ่งร่างกายคนเราจำเป็นต้องใช้เพื่อนำมาปรับสมดุล ด้วยเหตุผลนี้น้ำที่บริสุทธิ์มากชนิดนี้ จึงไม่เหมาะจะนำมาบริโภคในระยะยาว

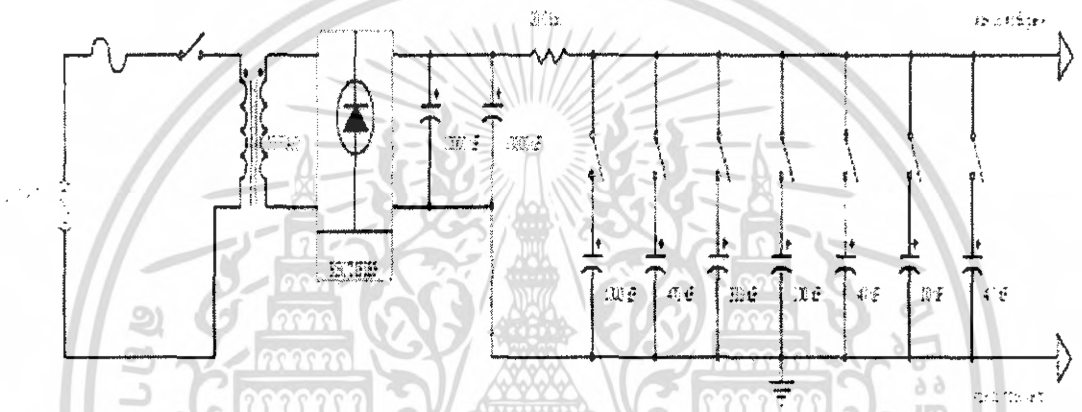
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบต่าง ๆ

3.1 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เราจะใช้หลักการของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น ซึ่งภายในประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ 3 ส่วนคือ หม้อแปลง วงจรเรียงกระแส และวงจรคาปาซิตี้ดิสชาร์จ



ภาพที่ 3-1 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

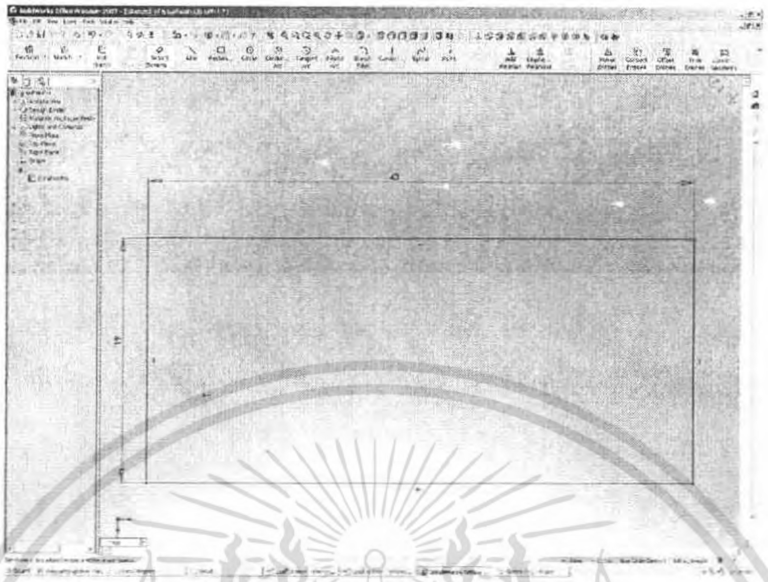
1. หม้อแปลง ใช้หม้อแปลงแลงแรงดันต่ำจาก 220Vac เป็น 50Vac 3A เพื่อให้ได้แรงดันกระแสตรง 70.7 Vdc 3A
2. วงจรเรียงกระแส ใช้บริดจ์ไดโอดเพื่อให้ได้แรงดันสูงที่สุด และผ่านวงจร C Filter
3. วงจรคาปาซิตี้ดิสชาร์ต ใช้ค่าคาปาซิเตอร์ที่ขนาดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทดลองสมมติฐาน

3.2 การออกแบบระบบขับเคลื่อนเส้นลวด

ในการออกแบบชุดขับเคลื่อนเส้นลวดนี้ เราจะใช้โปรแกรม SolidWorks ซึ่งเป็นโปรแกรมเขียนรูปชิ้นงาน 3 มิติ โดยที่ต้องมีการวิเคราะห์และวางแผนลักษณะและขนาดของเครื่องก่อนนำไปเขียนในโปรแกรม เพื่อสามารถได้มองเห็นเครื่องที่จะสร้างได้อย่างคร่าว ๆ โดยโปรแกรมนี้มีความยืดหยุ่นในการแก้ไข ดัดแปลง หรือเปลี่ยนขนาดได้อย่างง่ายดาย เราสามารถสร้างชิ้นงานจำนวนหลาย ๆ ชิ้น และนำมาประกอบเป็นชิ้นเดียวกันได้ ทำให้สะดวกในการเพิ่มเติมหรือแก้ไขงานก่อนที่นำมาสร้างจริง

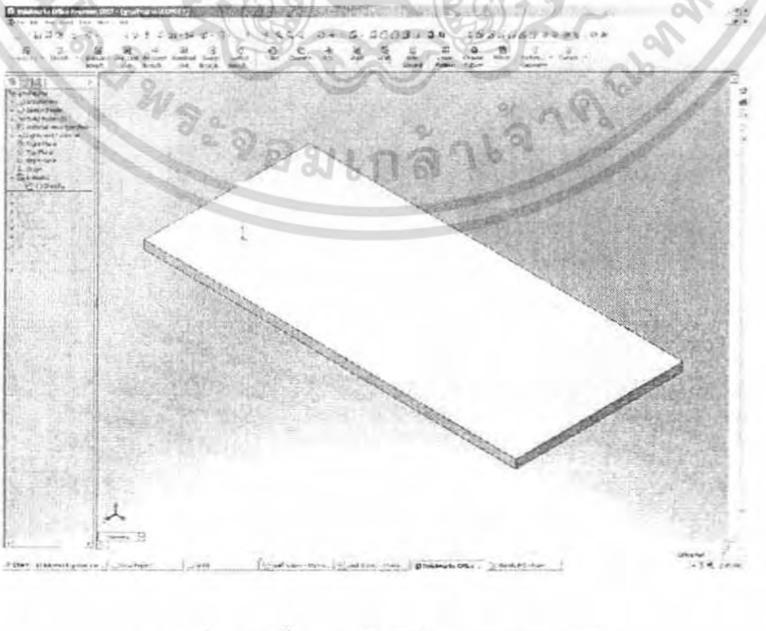
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างคร่าว ๆ ในการออกแบบชิ้นงานในโปรแกรม SolidWorks



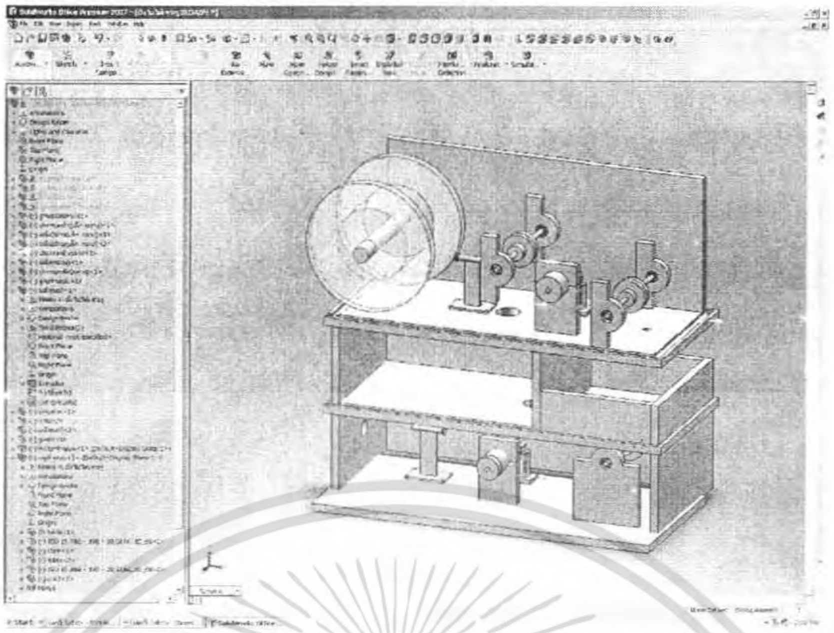
ภาพที่ 3-2 การออกแบบขนาดฐาน

จากภาพที่ 3-2 แสดงการออกแบบ โดยเริ่มต้นจากการสร้างรูปสี่เหลี่ยมขึ้นมาและกำหนดขนาดของชิ้นงานให้มีขนาด 19×43 เซนติเมตร จากนั้นจึงกำหนดความหนาของชิ้นงาน โดยให้มีความหนา 1 เซนติเมตร เมื่อกำหนดขนาดชิ้นงานได้ทั้งหมดแล้ว จะได้ชิ้นงานสามมิติตามที่เราต้องการ



ภาพที่ 3-3 ชิ้นงานที่ได้เมื่อกำหนดค่าแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3-4 เครื่องฟีดลวดที่ออกแบบโดยโปรแกรม SolidWorks

จากภาพที่ 3-4 คือเมื่อได้สร้างชิ้นงานสามมิติขึ้นมาจนครบทุกส่วนแล้ว เราจึงประกอบชิ้นงานทุกส่วนเข้าด้วยกัน โดยจะมีการเลือกใช้วัสดุต่าง ๆ ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน

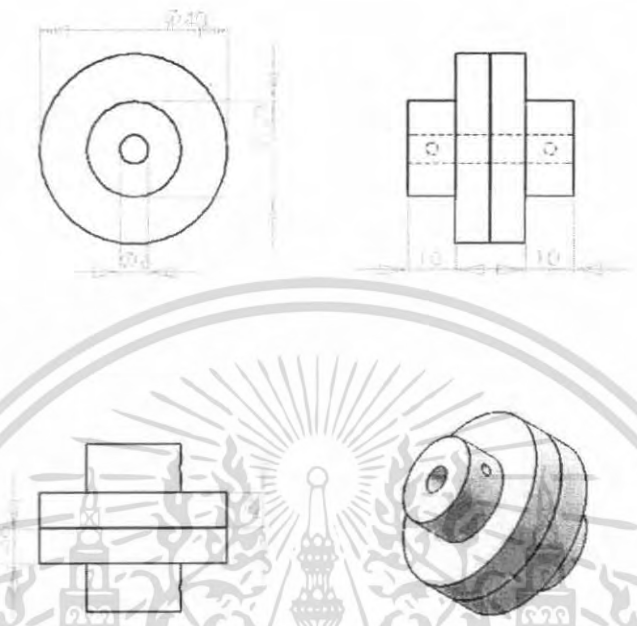
3.2.1 การเลือกใช้วัสดุ

อะคลิลิค (Acrylic) จะใช้ในส่วนโครงสร้างทั้งหมดของเครื่องฟีดลวด ดังภาพที่ 3-4 เนื่องจากมีความสวยงาม สะดวกในการแก้ไขหรือปรับปรุง หาซื้อได้ง่าย

ภาพที่ 3-5 โครงสร้างของเครื่องฟีดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะลูมิเนียม (Aluminium) ใช้ในส่วนของรอกด้านบนและด้านล่างดังภาพที่ 3-6 และ 3-7 โดยที่รอกด้านล่างอาจต้องสัมผัสกับของเหลว จึงต้องใช้วัสดุที่ไม่เป็นสนิม

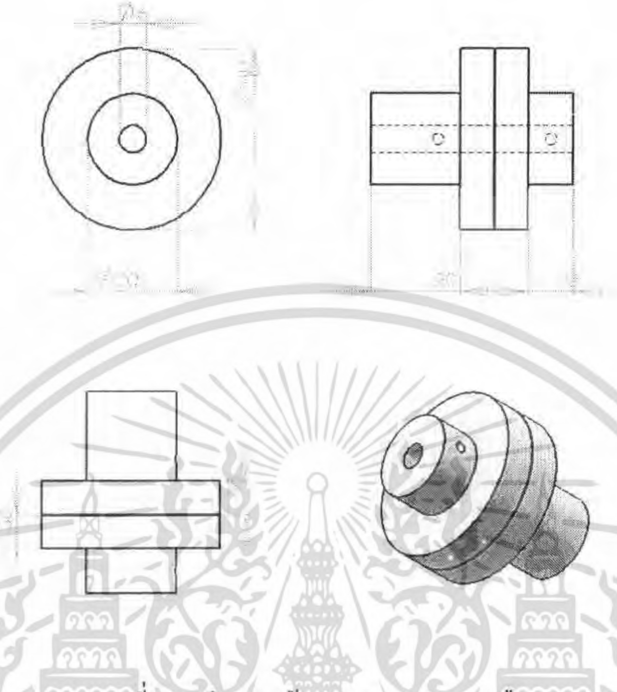


ภาพที่ 3-6 โครงสร้างของรอกอะลูมิเนียม

ภาพที่ 3-7 รอกอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองเหลือง (Brass) จะใช้ในส่วนของรอกด้านบนดังภาพที่ 3-8 และ 3-9 ที่ต้องใช้ในการจ่ายไฟเข้ากับเส้นลวด เนื่องจากทองเหลืองเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี

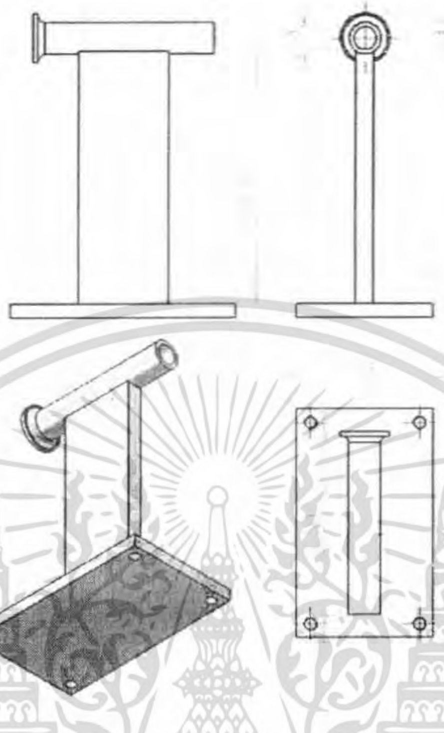


ภาพที่ 3-8 โครงสร้างของรอกทองเหลือง

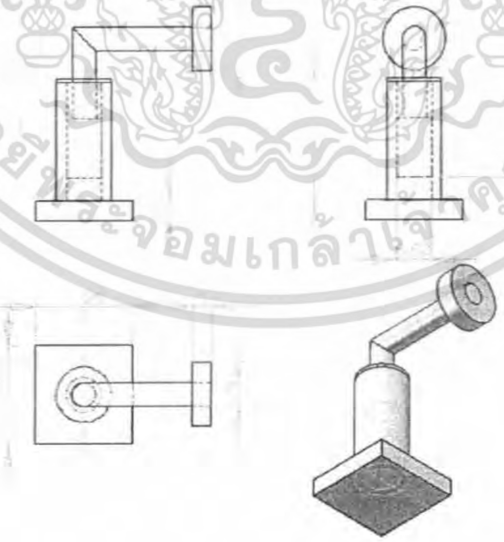
ภาพที่ 3-9 รอกทองเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็ก (Iron) จะใช้ตรงส่วนที่เป็นไกด์ ดังภาพที่ 3-10 และตัวกดลวด ดังภาพที่ 3-11 เพราะต้องการความแข็งแรง แต่ข้อเสียคือมีน้ำหนักมาก และเกิดสนิมได้ง่าย



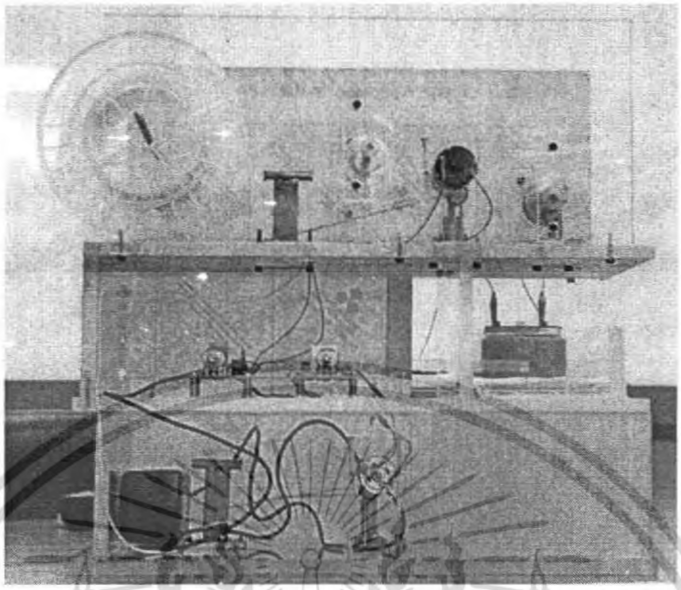
ภาพที่ 3-10 ไกด์



ภาพที่ 3-11 ตัวกดเส้นลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ออกแบบชิ้นส่วนทั้งหมดเรียบร้อยแล้วจึงนำมาประกอบดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 ชุดขับเคลื่อนเส้นลวด

3.3 การออกแบบชุดเลื่อนชิ้นงาน

ในการออกแบบชุดเลื่อนชิ้นงานนี้ เราอาศัยหลักการของการเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่แนวราบเพื่อให้สะดวกแก่การใช้งาน โดยมีบอลสไลด์ทำหน้าที่ยึดกับชิ้นงานและมีน็อตติดระหว่างก้านหมุนและบอลสไลด์

ภาพที่ 3-13 ชุดขับเคลื่อนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 จุดประสงค์การทดลอง

1. เพื่อให้ทราบถึงผลของการปรับค่าคาปาซิเตอร์ที่ค่าต่าง ๆ ที่เกิดกับชิ้นงาน
2. เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองเมื่อปรับเปลี่ยนชิ้นงานโลหะ

4.2 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ตัดชิ้นงานตามขนาดที่ต้องการ นำไปยึดติดกับชุดขับเคลื่อนชิ้นงานและปรับตำแหน่งชิ้นงานให้ตรงกับเส้นลวด
2. จัดเตรียมชุดขับเคลื่อนเส้นลวด ให้มีความเร็วตามที่ต้องการ
3. ปรับระยะห่างของชิ้นงานและเส้นลวด ให้ห่างกันก่อนเปิดเครื่อง
4. ปรับค่าคาปาซิเตอร์ ตลอดจนพารามิเตอร์อื่น ๆ ตามตาราง
5. จัดเตรียมชุดฉีดน้ำ โดยใช้น้ำปราศจากไอออน
6. เปิด Power Supply เพื่อเริ่มกำจัดเศษโลหะ
7. ควบคุมการไหลของน้ำและการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนชิ้นงาน ให้ได้ระดับและระยะห่างที่เหมาะสม
8. ควบคุมเวลาที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

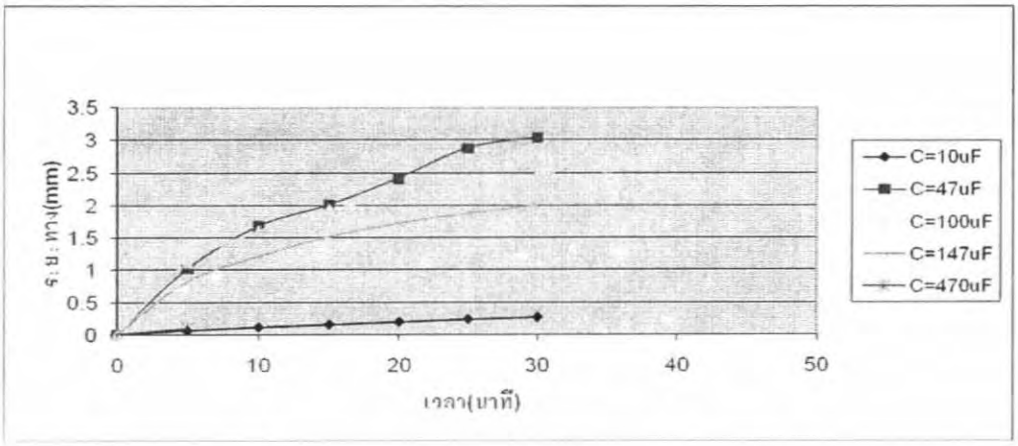
4.2.1 การทดลองที่ 1

ทำการกำจัดเศษโลหะซึ่งเป็น อลูมิเนียม ยาว 25.71 มิลลิเมตร กว้าง 17.14 มิลลิเมตร หนา 1.40 มิลลิเมตรโดยตั้งค่าของเครื่องไว้ดังตาราง ซึ่งใช้ลวดโลหะทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตรในการกำจัดเศษโลหะโดยให้แรงดันไฟฟ้าด้านลบแก่ชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าด้านบวกแก่เส้นลวด กำจัดเศษโลหะในส่วนที่มีความหนา 1.40 มิลลิเมตร

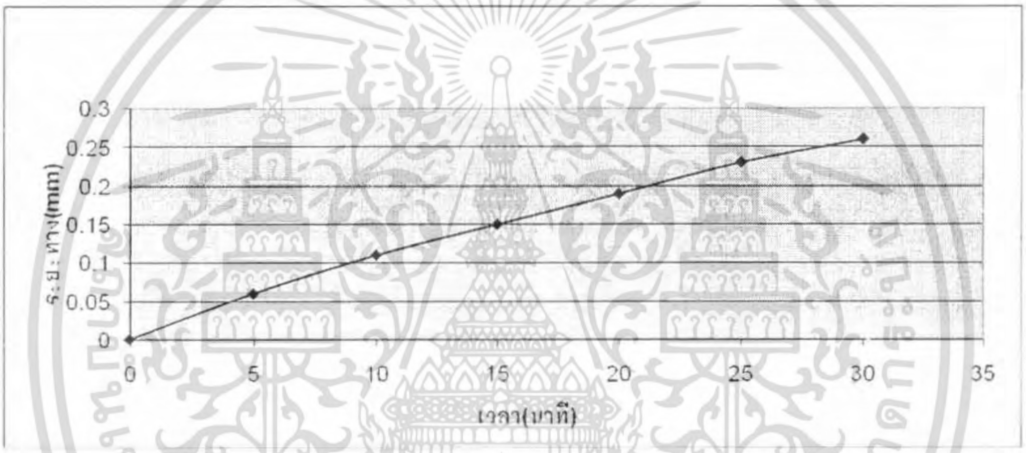
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองที่ 1

ชิ้นงาน	อลูมิเนียม	อลูมิเนียม	อลูมิเนียม	อลูมิเนียม	อลูมิเนียม
แรงดัน	70.7 V	70.7 V	70.7 V	70.7 V	70.7 V
กระแส	3A	3A	3A	3A	3A
พลังงาน	212.1	212.1	212.1	212.1	212.1
ความเร็วในการฟีดลวด	0.266 เมตรต่อนาที	0.266 เมตรต่อนาที	0.266 เมตรต่อนาที	0.266 เมตรต่อนาที	0.266 เมตรต่อนาที
สารตัวกลาง	น้ำปราศจากไอออน	น้ำปราศจากไอออน	น้ำปราศจากไอออน	น้ำปราศจากไอออน	น้ำปราศจากไอออน
ค่าคาปาซิเตอร์	10 ไมโครฟารัด	47 ไมโครฟารัด	100 ไมโครฟารัด	147 ไมโครฟารัด	470 ไมโครฟารัด
เวลา	30นาที	30นาที	45นาที	30นาที	-
สภาพของเส้นลวด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ขาดเมื่อทำงาน
ระยะทางในการกำจัดเศษโลหะ	0.26 มิลลิเมตร	3.04 มิลลิเมตร	2.66 มิลลิเมตร	2.00 มิลลิเมตร	0.1 มิลลิเมตร
ความกว้างในการกำจัดเศษโลหะ	0.21 มิลลิเมตร	0.18 มิลลิเมตร	0.20 มิลลิเมตร	0.23 มิลลิเมตร	0.18 มิลลิเมตร
การติดกันระหว่างเส้นลวดกับงาน	ติดน้อยมาก	ติดน้อยมาก	ติดน้อย	ติดบ่อย	ขาด
สภาพบริเวณการกำจัดเศษโลหะ	มีเขม่าดำ	มีเขม่าดำ	มีเขม่าดำ	มีเขม่าดำ	มีเขม่าดำ

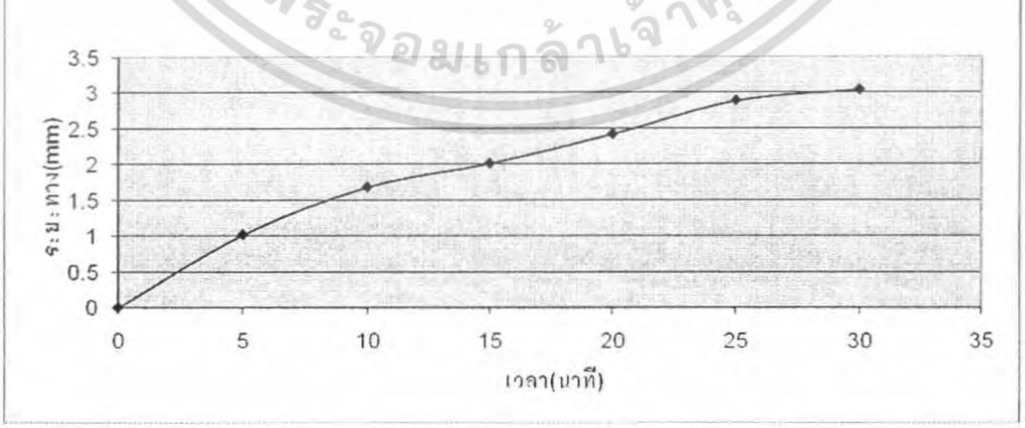
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา

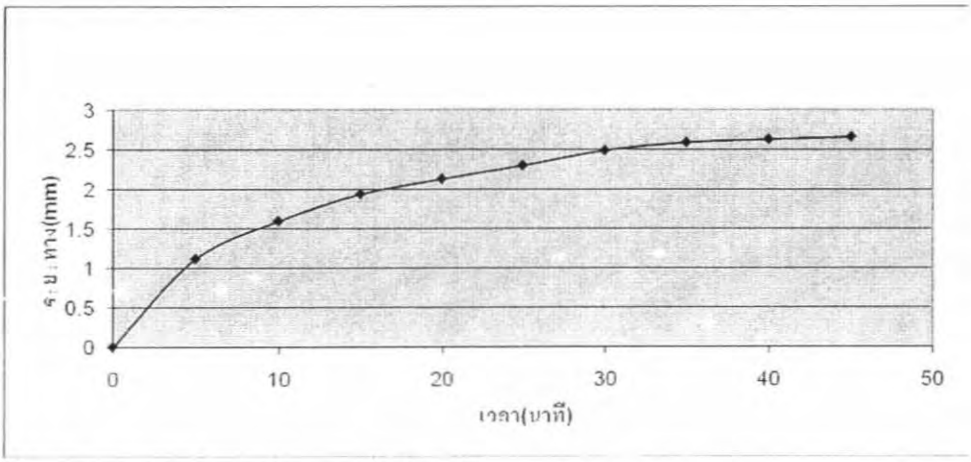


ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C = 10 ไมโครฟารัด

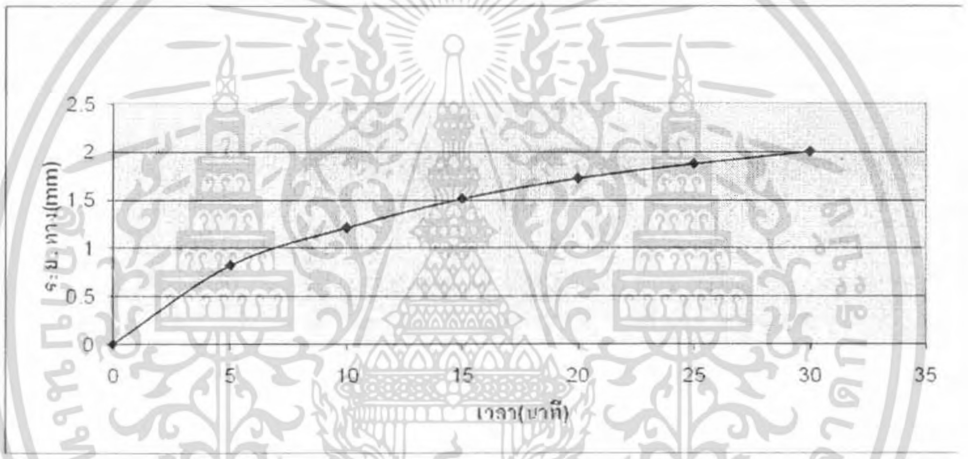


ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C= 47 ไมโครฟารัด

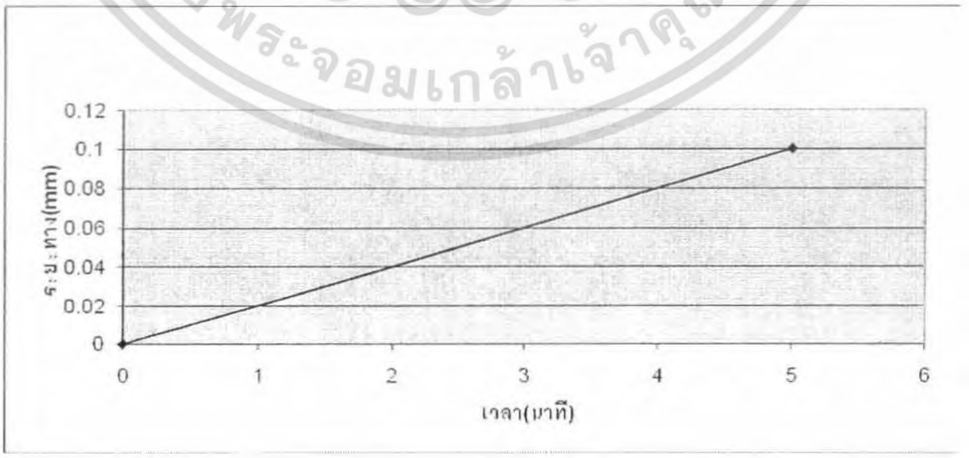
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C= 100 ไมโครฟารัด

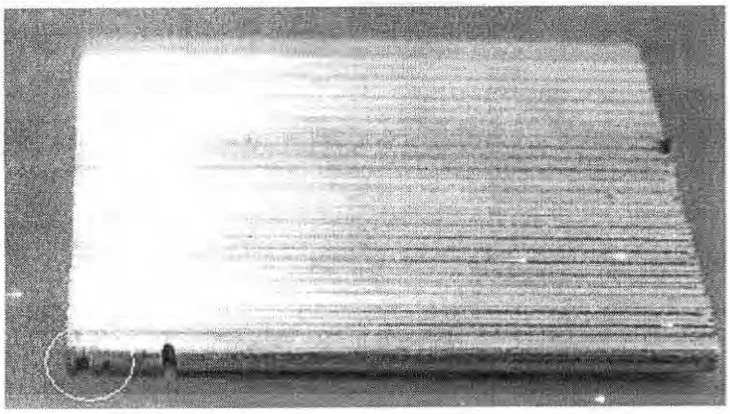


ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C= 147 ไมโครฟารัด

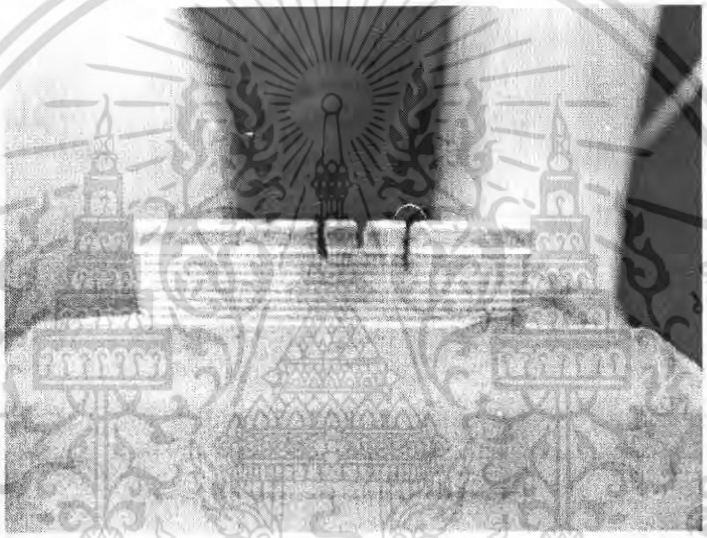


ภาพที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาที่ C= 470 ไมโครฟารัด

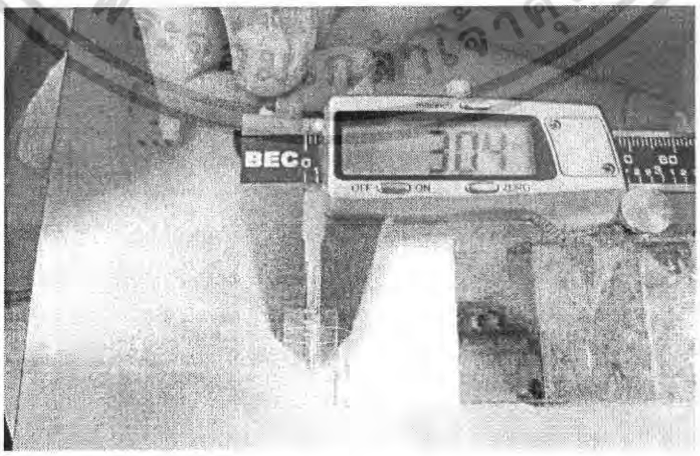
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4-7 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 10 ไมโครฟารัด

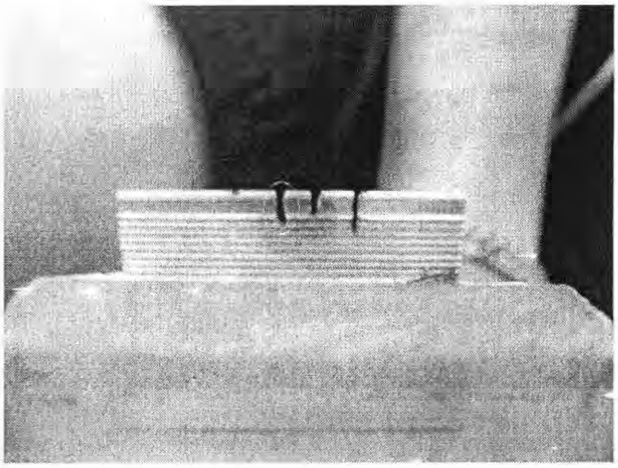


ภาพที่ 4-8 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 47 ไมโครฟารัด



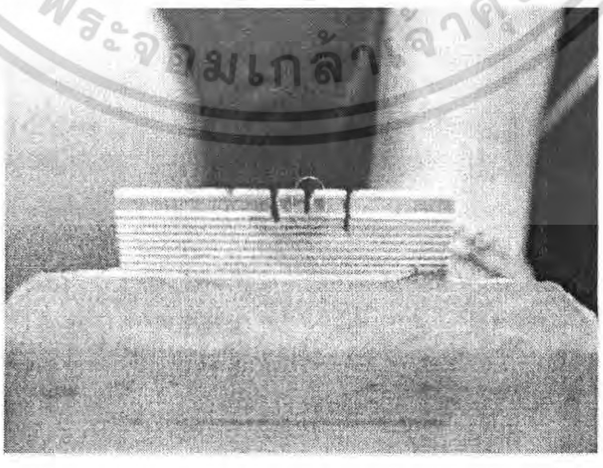
ภาพที่ 4-9 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 47 ไมโครฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



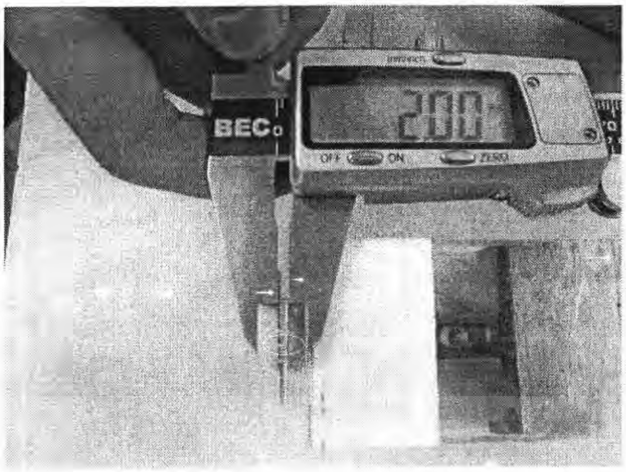
ภาพที่ 4-10 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 100 ไมโครฟารัด

ภาพที่ 4-11 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 100 ไมโครฟารัด

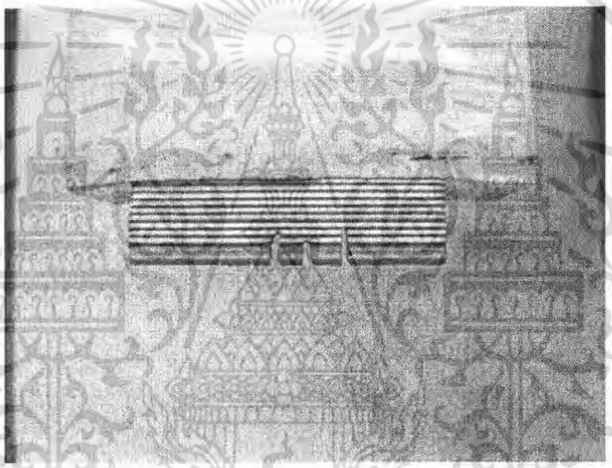


ภาพที่ 4-12 ชิ้นงานที่ถูกกำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 147 ไมโครฟารัด

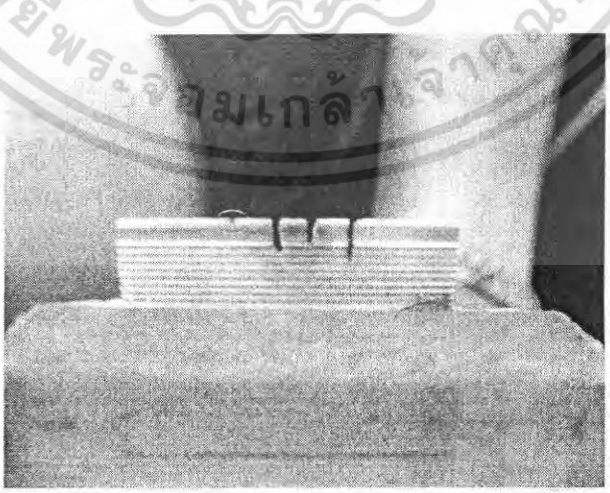
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4-13 ชิ้นงานที่อยู่กำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 147 ไมโครฟารัด



ภาพที่ 4-14 ชิ้นงานที่อยู่กำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 470 ไมโครฟารัด



ภาพที่ 4-15 ชิ้นงานที่อยู่กำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 470 ไมโครฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 สรุปผลการทดลองที่ 1

จากผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ค่าคาปาซิเตอร์ที่ใช้ มีผลกับชิ้นงานที่ออกมาทั้งระยะทางในการกำจัดเศษโลหะ ความกว้างในการกำจัดเศษโลหะ รวมถึงเวลาที่ใช้ในการกำจัดเศษโลหะด้วย โดยที่ค่าคาปาซิเตอร์ที่ 10 ไมโครฟารัดนั้นความรุนแรงของการสปาร์คจะต่ำซึ่งทำให้ความสามารถในการกำจัดเศษโลหะต่ำ เมื่อเพิ่มค่าคาปาซิเตอร์เป็น 47 ไมโครฟารัด ความรุนแรงของการสปาร์คจะเพิ่มขึ้น ความต่อเนื่องในการกำจัดเศษโลหะสูง ทำให้ความสามารถในการกำจัดโลหะนั้นสูง และเมื่อเพิ่มค่าคาปาซิเตอร์เป็น 100 ไมโครฟารัดและ 147 ไมโครฟารัด ความรุนแรงของการสปาร์คจะเพิ่มขึ้นกว่าเดิม แต่ความต่อเนื่องในการกำจัดเศษโลหะนั้นจะลดลงและความกว้างในการกำจัดเศษโลหะนั้นจะมีความกว้าง ทำให้ชิ้นงานออกมาขาดความละเอียดเมื่อเพิ่มค่าคาปาซิเตอร์เป็น 470 ไมโครฟารัดนั้นพบว่าความรุนแรงของการสปาร์คนั้นสูงเกินกว่าที่เส้นลวดจะรับได้ จึงทำให้เส้นลวดขาดตั้งแต่เกิดการสปาร์คครั้งแรก ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการผลิตที่มีประสิทธิภาพจึงควรเลือกใช้ค่าคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสม ไม่สูงและต่ำจนเกินไป ในที่นี้จึงควรเลือกใช้ค่าคาปาซิเตอร์ที่ 47 ไมโครฟารัด ซึ่งจะให้ความต่อเนื่องของการสปาร์คที่ดี ในส่วนของความละเอียดก็อยู่ในช่วงที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

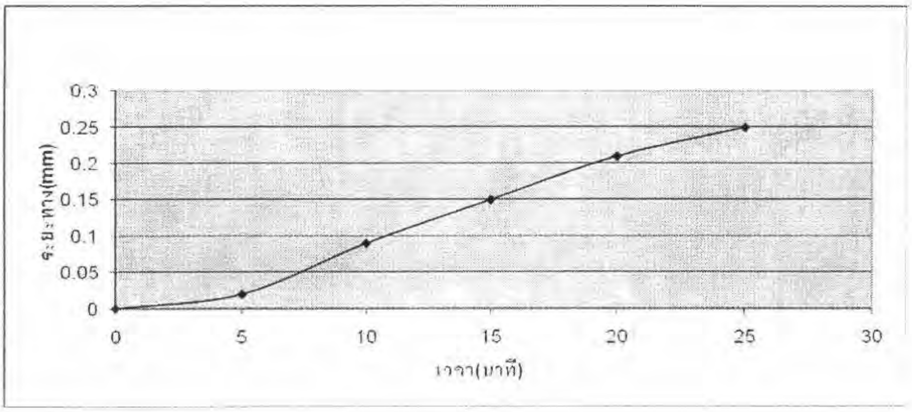
4.2.3 การทดลองที่ 2

ทำการกำจัดเศษโลหะซึ่งเป็น อลูมิเนียม ยาว 25.45 มิลลิเมตร กว้าง19.71 มิลลิเมตร โดยตั้งค่าของเครื่องไว้ดังตาราง ซึ่งใช้ลวดโลหะทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ในการกำจัดเศษโลหะ โดยให้แรงดันไฟฟ้าด้านลบแก่ชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าด้านบวกแก่เส้นลวด กำจัดเศษโลหะในส่วนที่มีความยาว 25.45 มิลลิเมตร โดยทำการเพิ่มค่าคาปาซิเตอร์ขึ้นเรื่อย ๆ

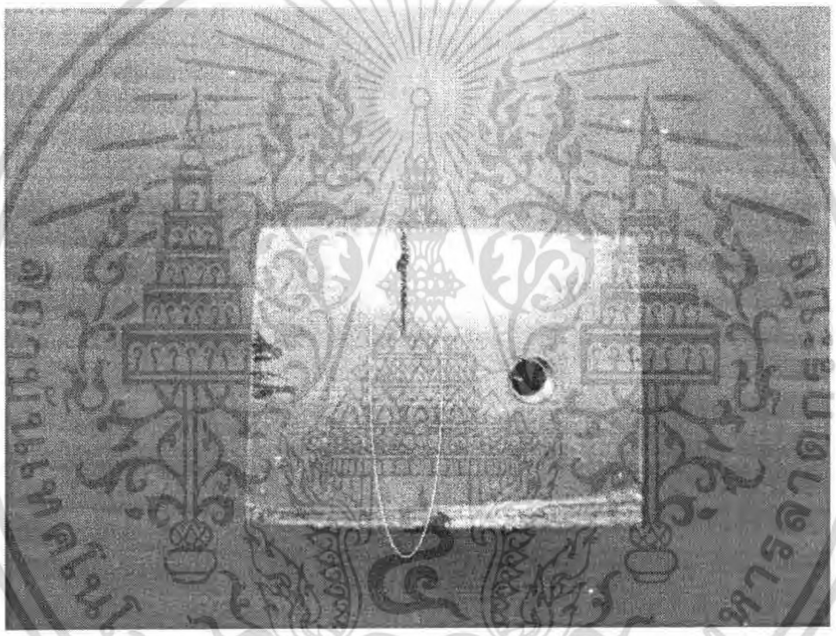
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่ 2

ชิ้นงาน	อลูมิเนียม	อลูมิเนียม	อลูมิเนียม	อลูมิเนียม	อลูมิเนียม
แรงดัน	70.7 V	70.7 V	70.7 V	70.7 V	70.7 V
กระแส	3A	3A	3A	3A	3A
พลังงาน	212.1	212.1	212.1	212.1	212.1
ความเร็วในการฟีดลวด	0.266 เมตรต่อนาที	0.266 เมตรต่อนาที	0.266 เมตรต่อนาที	0.266 เมตรต่อนาที	0.266 เมตรต่อนาที
สารตัวกลาง	น้ำปราศจากไอออน	น้ำปราศจากไอออน	น้ำปราศจากไอออน	น้ำปราศจากไอออน	น้ำปราศจากไอออน
ค่าคาปาซิเตอร์	100 uF	147 uF	470 uF	1000 uF	3300 uF
ขณะเวลา	5	10นาที	15นาที	20นาที	25นาที
สภาพเส้นลวด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ขาด
ระยะทางในการกำจัดเศษโลหะ	0.02 มิลลิเมตร	0.09 มิลลิเมตร	0.15 มิลลิเมตร	0.21 มิลลิเมตร	0.25 มิลลิเมตร
ความกว้างในการกำจัดเศษโลหะ	0.21 มิลลิเมตร	0.21 มิลลิเมตร	0.22 มิลลิเมตร	0.23 มิลลิเมตร	0.23 มิลลิเมตร
การติดกันระหว่างเส้นลวดกับงาน	ติดน้อยมาก	ติดน้อย	ติดน้อย	ติดบ่อย	ขาด
บริเวณการกำจัดเศษโลหะ	มีเขม่าดำ	มีเขม่าดำ	มีเขม่าดำ	มีเขม่าดำ	มีเขม่าดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการกำจัดเศษโลหะ



ภาพที่ 4-17 ชิ้นงานที่อยู่กำจัดเศษโลหะ

4.2.4 สรุปผลการทดลองที่ 2

จากผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า เนื่องจากการตัดในบริเวณที่มีพื้นที่สัมผัสมากนั้น เป็นการยากที่จะตัดเนื่องจาก น้ำมีแรงตึงผิว เมื่อฉีดน้ำลงบนบริเวณชิ้นงานนั้น จะทำให้น้ำเกาะบนชิ้นงานมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทำให้น้ำสัมผัสเส้นลวดก่อนที่จะเกิดการสปาร์คกับชิ้นงาน การสปาร์คจึงไม่มีพลังงานที่มากพอที่จะตัดชิ้นงาน จึงได้เพิ่มค่าประจุไฟฟ้าเรื่อย ๆ พบว่าสามารถทำให้การสปาร์คแรงขึ้นแต่ไม่มากนัก จนเมื่อเพิ่มค่าประจุไฟฟ้าถึง 3300 uF เส้นลวดจึงขาดจึงควรที่จะเพิ่มพลังงานให้มากขึ้นกว่านี้

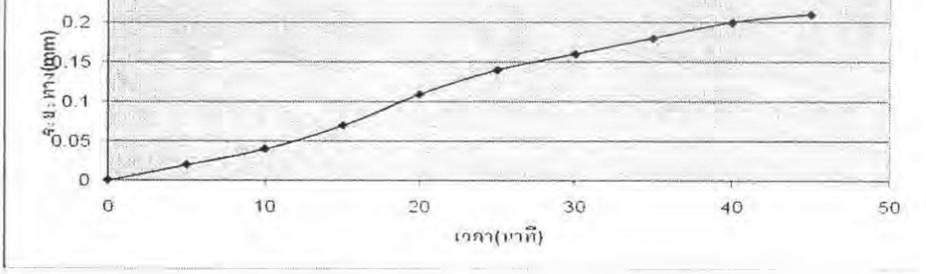
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การทดลองที่ 3

ทำการกำจัดเศษโลหะซึ่งเป็นชิ้นงานโลหะแข็งรูปวงแหวน ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 39.72 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 12.76 มิลลิเมตร ความหนา 0.76 มิลลิเมตร โดยตั้งค่าของเครื่องไว้ดังตาราง ซึ่งใช้ลวดโลหะทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ในการกำจัดเศษโลหะ โดยให้แรงดันไฟฟ้าด้านลบแก่ชิ้นงาน แรงดันไฟฟ้าด้านบวกแก่เส้นลวด กำจัดเศษโลหะในส่วนที่มีความยาว 25.45 มิลลิเมตร

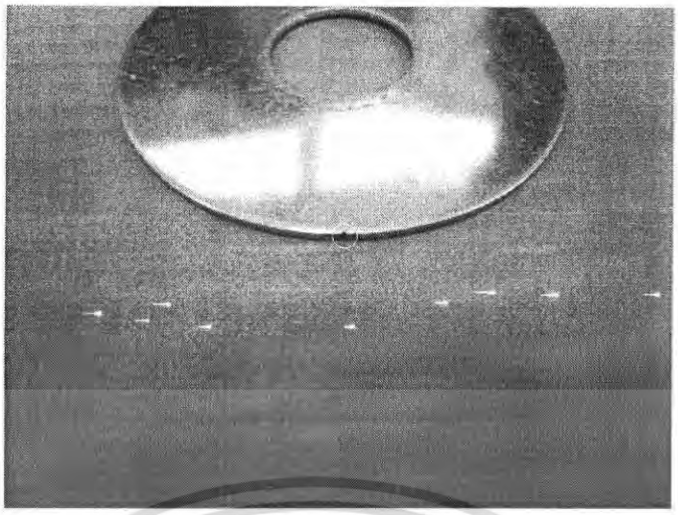
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองที่ 3

ชิ้นงาน	อลูมิเนียม
แรงดัน	70.7 V
กระแส	3A
พลังงาน	212.1
ความเร็วในการฟีดลวด	0.266 เมตรต่อนาที
สารตัวกลาง	น้ำปราศจากไอออน
ค่าคาปาซิเตอร์	100uF
เวลา	45
สภาพของเส้นลวด	ไม่ขาด
ระยะทางในการกำจัดเศษโลหะ	0.21มิลลิเมตร
ความกว้างในการกำจัดเศษโลหะ	0.21มิลลิเมตร
การติดกันระหว่างเส้นลวดกับงาน	ติดน้อย
สภาพบริเวณการกำจัดเศษโลหะ	มีเขม่าดำ

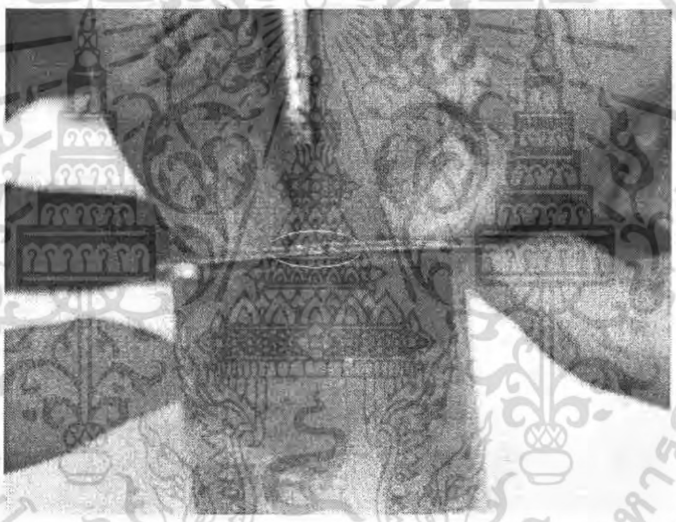


ภาพที่ 4-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการกำจัดเศษโลหะที่ C=100 uF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4-19 ชิ้นงานที่อยู่กำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 100 ไมโครฟารัด



ภาพที่ 4-20 ชิ้นงานที่อยู่กำจัดเศษโลหะที่คาปาซิเตอร์ 100 ไมโครฟารัด

4.2.6 สรุปผลการทดลองที่ 3

จากผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การกำจัดเศษโลหะแข็งรูปวงแหวนนั้นยากต่อกัดกร่อนเนื่องจากโลหะมีความแข็งมาก จุดหลอมเหลวสูง การกัดกร่อนจึงช้ามาก จำเป็นที่จะต้องทำการเพิ่มพลังงานให้มากขึ้นกว่านี้เพื่อใช้ในการกำจัดเศษโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ ของการสปาร์ค รวมถึงความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดได้สำเร็จ ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1. ส่วนของการศึกษาความสามารถในกรสร้างเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด โดยใช้เส้นลวดทองเหลืองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร เป็นเส้นลวดในการกำจัดเศษโลหะได้รับการจ่ายพลังงานจากวงจร RC มีชุดขับเคลื่อนเส้นลวดทำหน้าที่กำหนดความเร็วในการขับเคลื่อนเส้นลวด และมีชุดขับเคลื่อนชิ้นงานทำหน้าที่ในการเลื่อนชิ้นงาน ในส่วนนี้จะเน้นการประยุกต์ใช้งานในการตัดต่อไป

2. ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ของอุปกรณ์กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่อง ซึ่งมีผลกับชิ้นงาน แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการผลิตชิ้นงานให้มีคุณภาพดีต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากการที่ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวดตามกระบวนการความคิดที่ได้วางแผนไว้แล้ว สามารถควบคุมเครื่องตัด ให้ผลิตชิ้นงานตามที่ต้องการ ได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านโครงสร้างและจุดด้อยที่ควรนำไปแก้ไข ซึ่งได้แก่

1. การปรับปรุงโครงสร้างของชุดขับเคลื่อนเส้นลวดให้มีความมั่นคง
2. การปรับปรุงแก้ไขระบบการจ่ายน้ำ ให้มีความสะดวกและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. หม้อแปลงที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายควรเป็นหม้อแปลงที่ใช้โวลต์ต่ำกว่า 30 โวลด์และกระแสสูงกว่า 5 แอมป์ขึ้นไป เพื่อประสิทธิภาพของการทำงานที่ดียิ่งขึ้น
4. ระบบการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน
5. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สมคิด วิริยประสิทธ์ชัย, สมบูรณ์ มาลานนท์, ทฤษฎีการออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้น" สำนักพิมพ์ หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์

[2] สุวัฒน์ ตั่น "เทคนิคและการออกแบบ สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย" บริษัท เอเทลไทยจำกัด 2537

[3] แหล่งจ่ายไฟสำหรับนักอิเล็กทรอนิกส์ ชุด สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2539

[4] วิเชียร คชานุกูลย์,การเชื่อมขั้นพื้นฐาน (Fundamental of welding), พิทักษ์อักษร กรุงเทพฯ

[5] Don Geary, Welding , McGraw-Hill, New York 2000

[6] ชวลิต เชียงกูล, โลหะวิทยา , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ,กรุงเทพฯ 2542

[7] R.P. Beasley, James M. Gregory, Thomas R. McCarty, Erosion and sediment pollution control, Iowa State University Press, Ames 1984

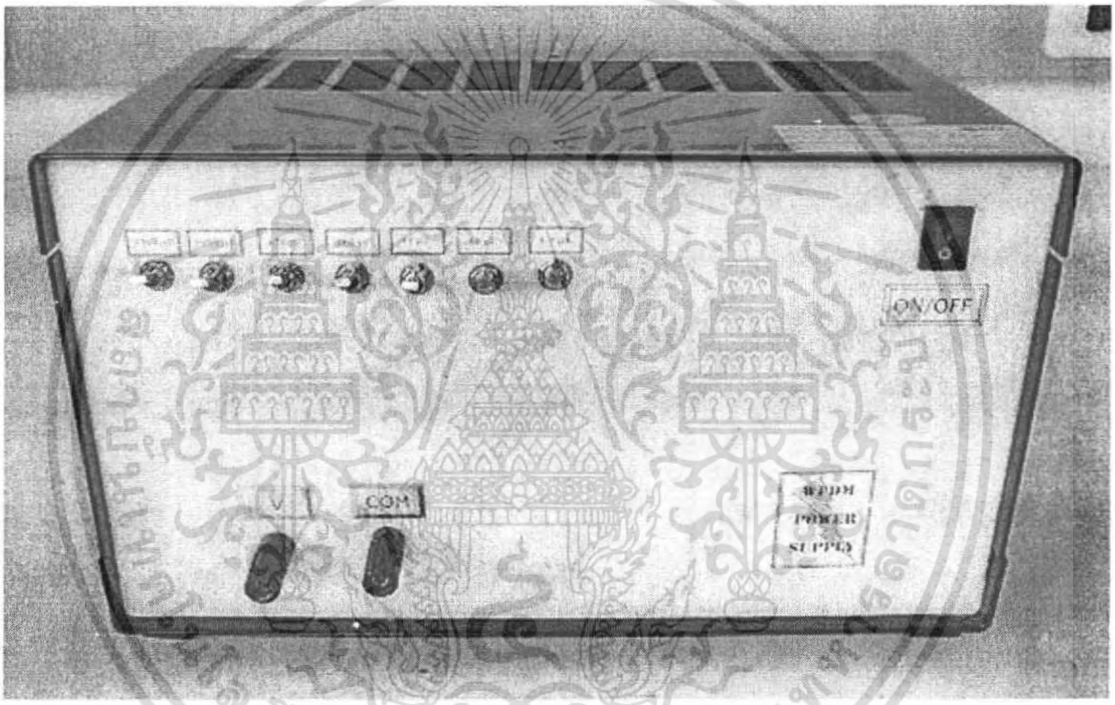
[8] E. Kuffel, W.S. Zaengl, J. Kuffel, High voltage engineering : fundamentals, Newnes, Oxford 2000

[9] V. Rybakov, ARC and Gas Welding, Mir, Moscow 1986

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

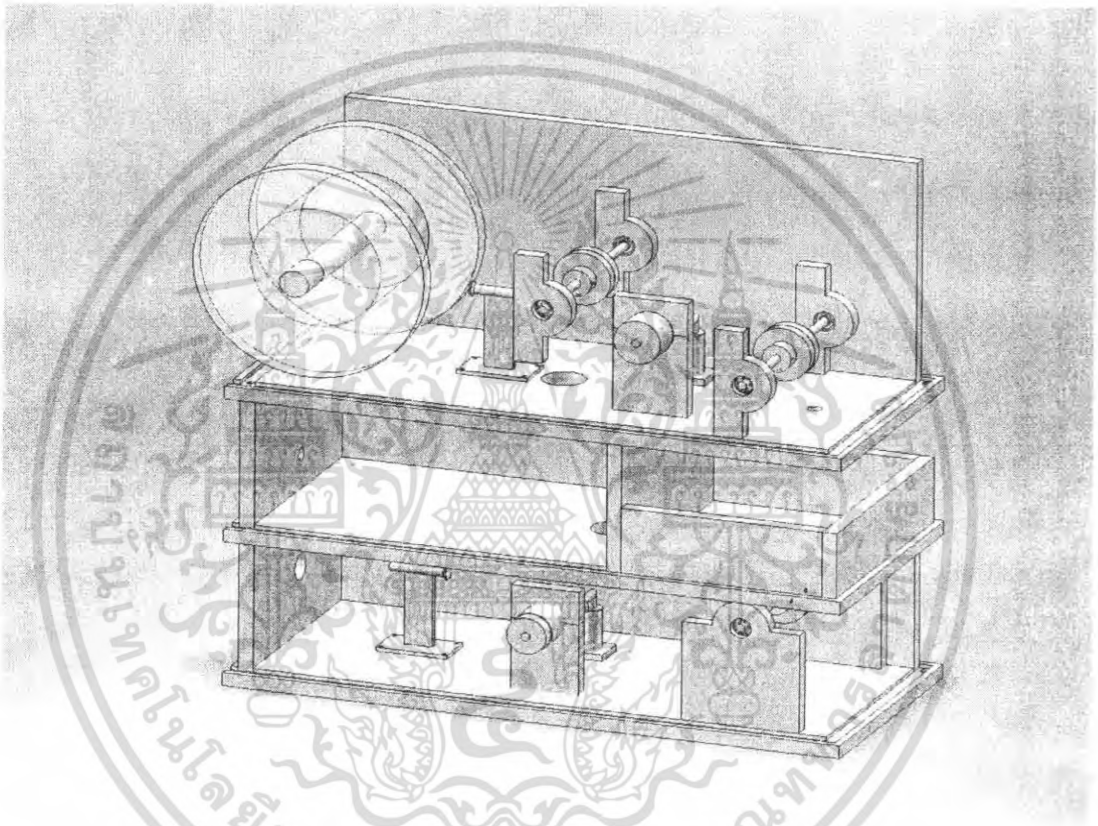
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



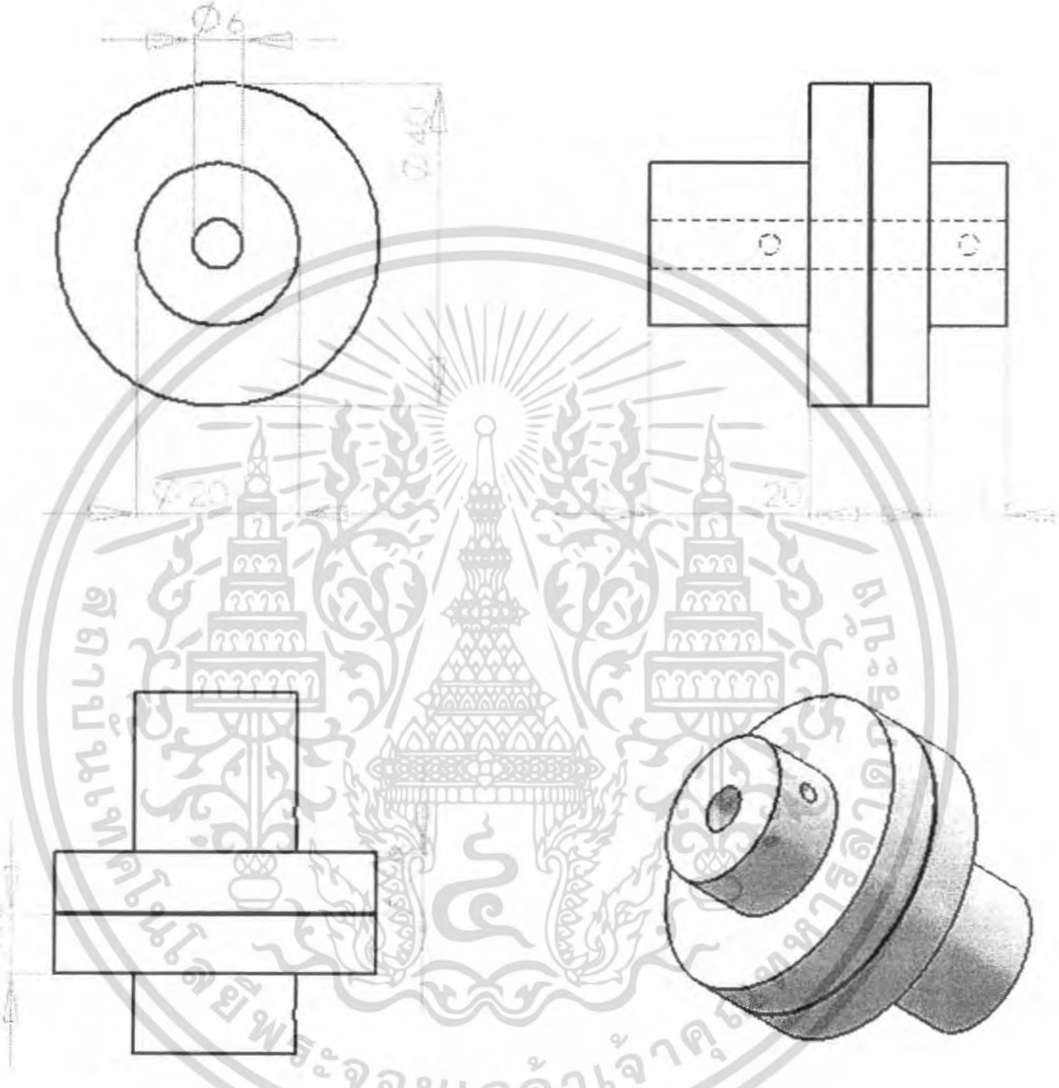
ภาพแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



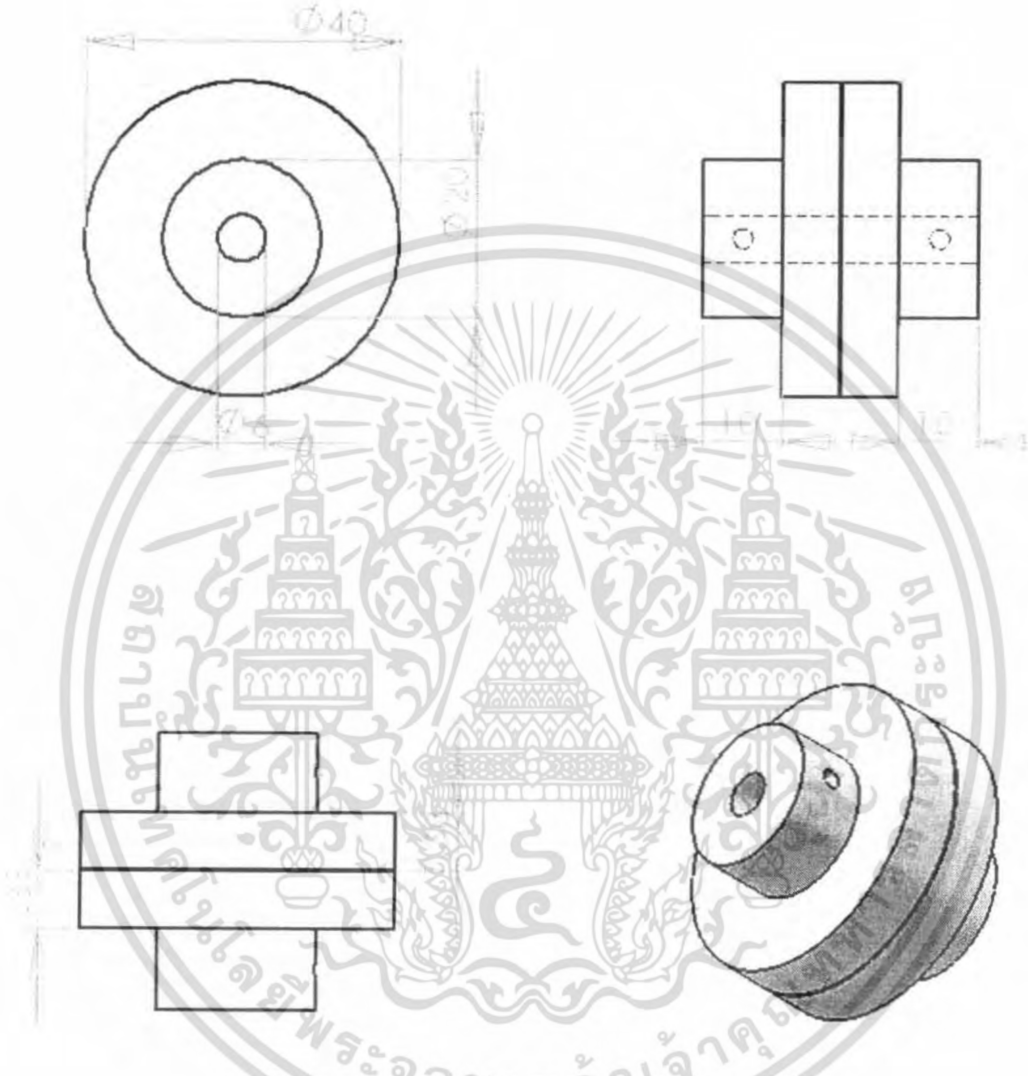
ภาพโครงสร้างของชุดขับเคลื่อนเส้นลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



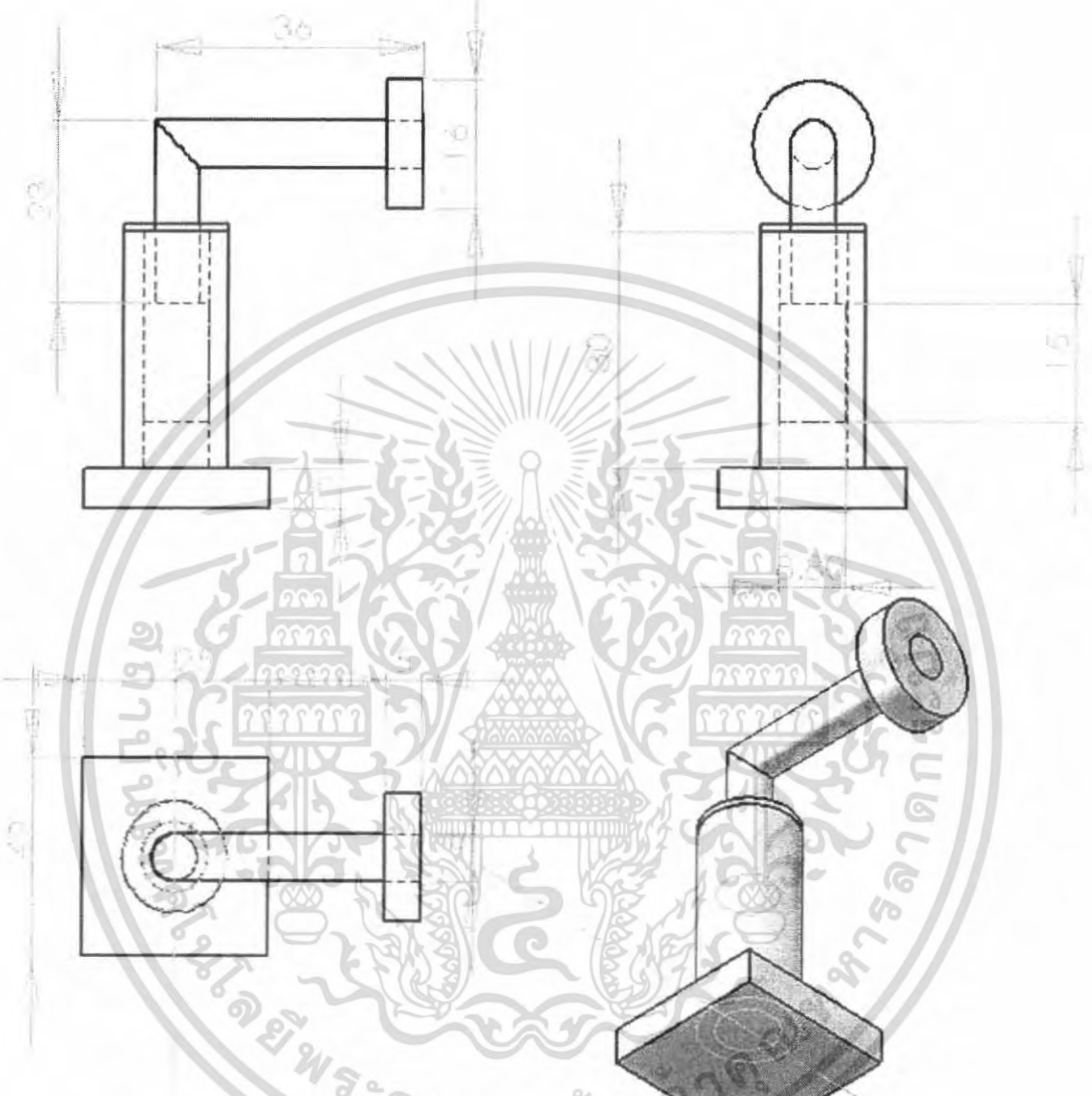
ภาพที่โครงสร้างของรอกทองเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



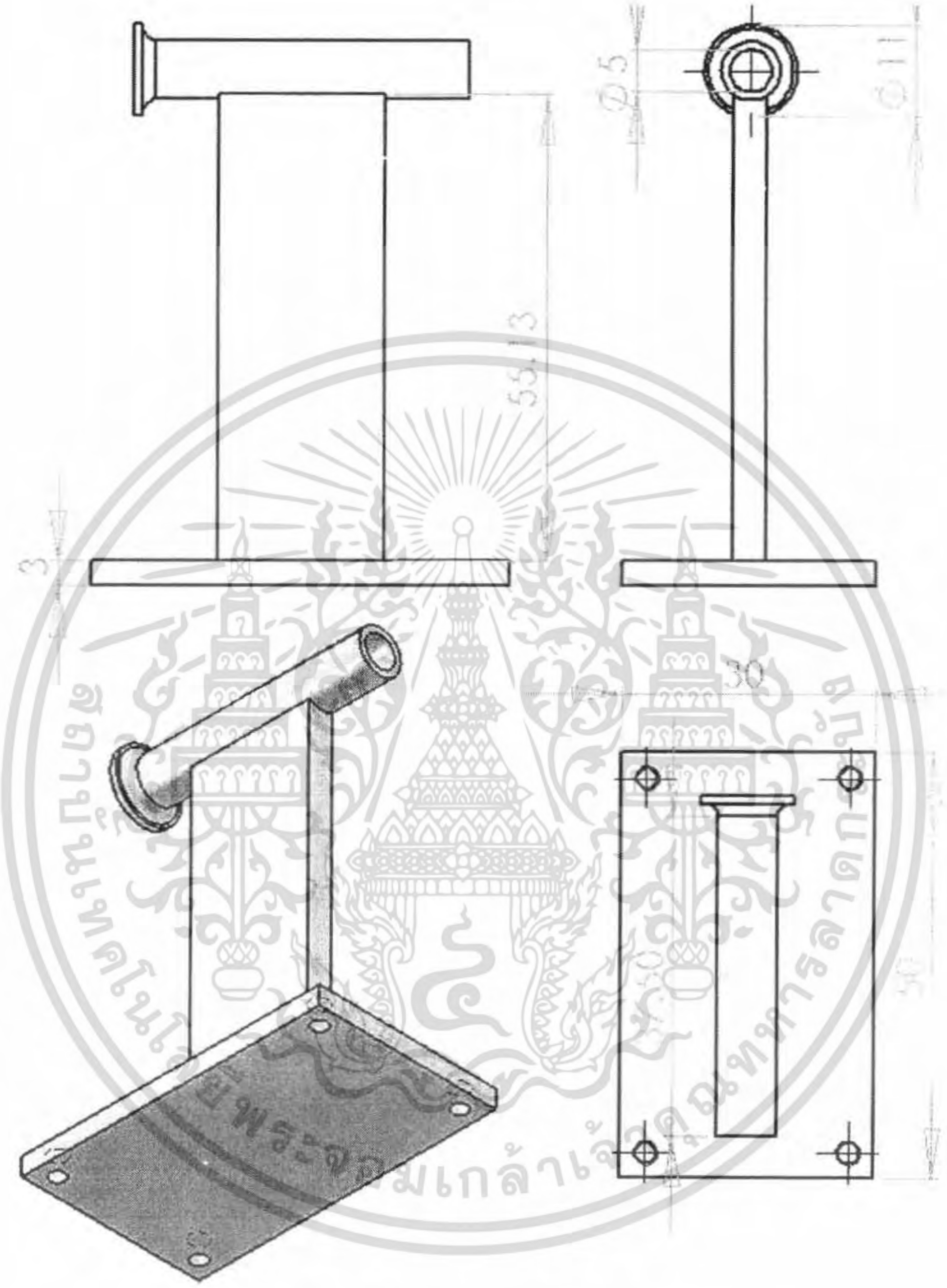
ภาพโครงสร้างของรอกอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



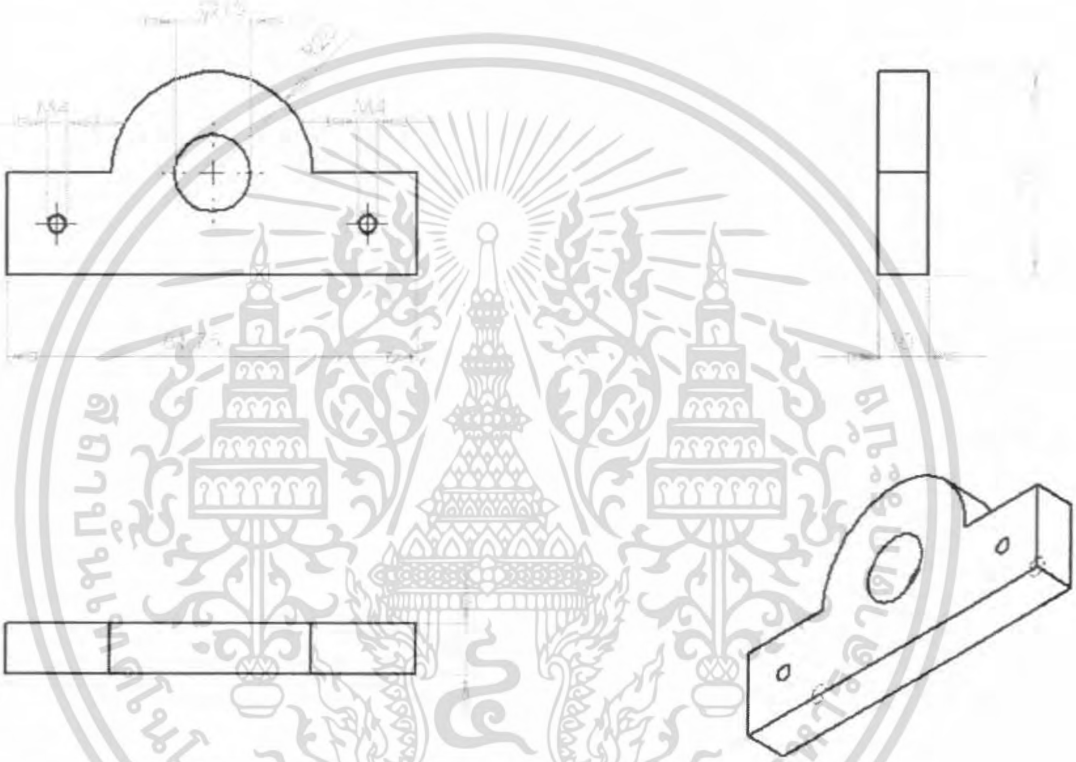
ภาพโครงสร้างของตัวกดเส้นลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



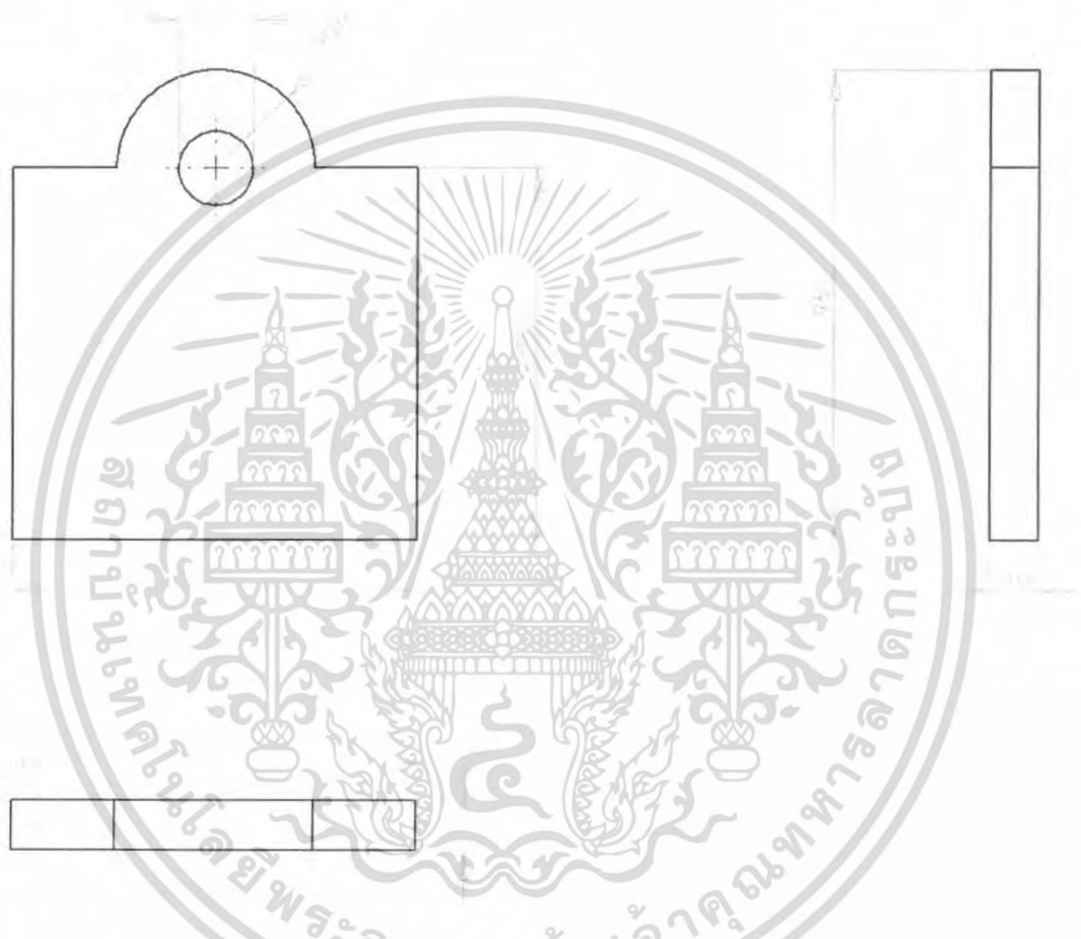
ภาพโครงสร้างของไกด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



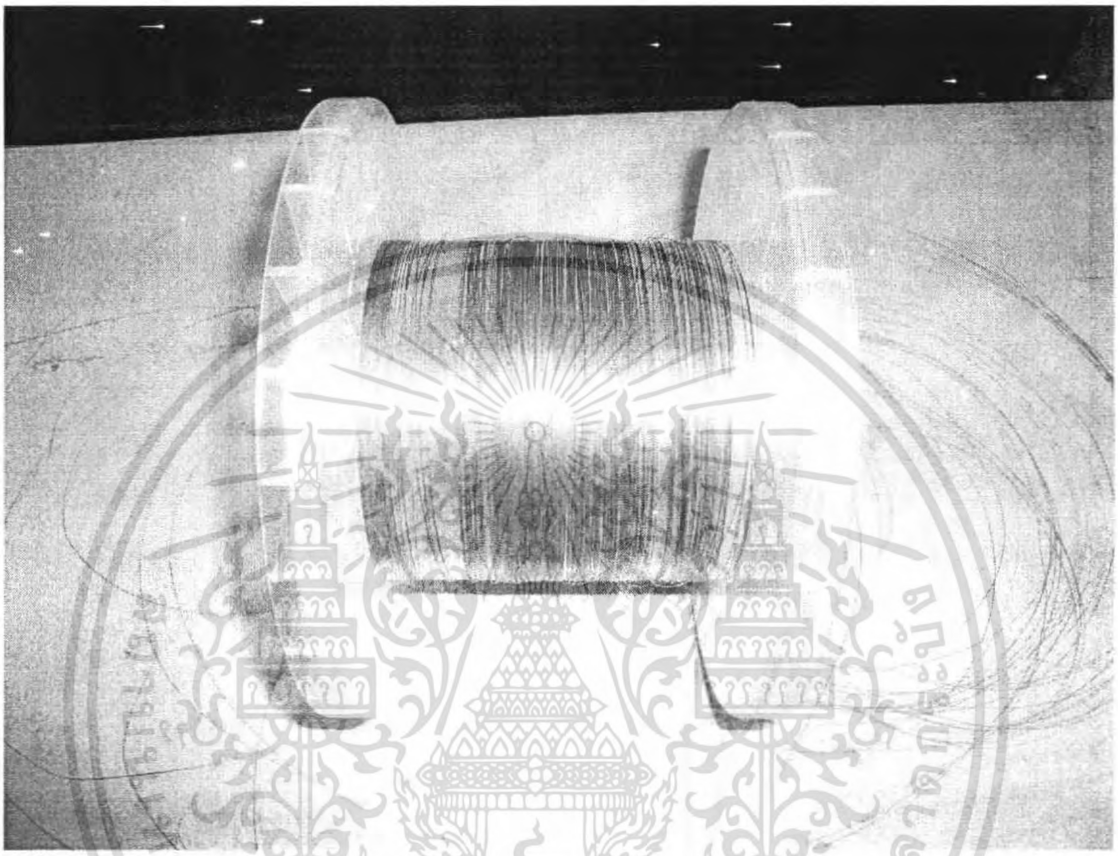
ภาพโครงสร้างของตุ๊กตาด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

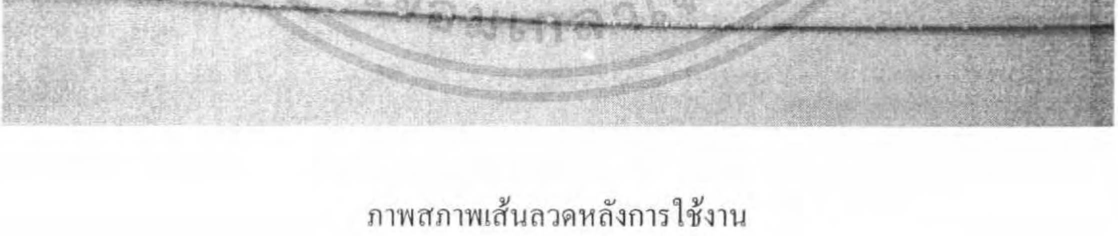


ภาพโครงสร้างของตุ๊กตาด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

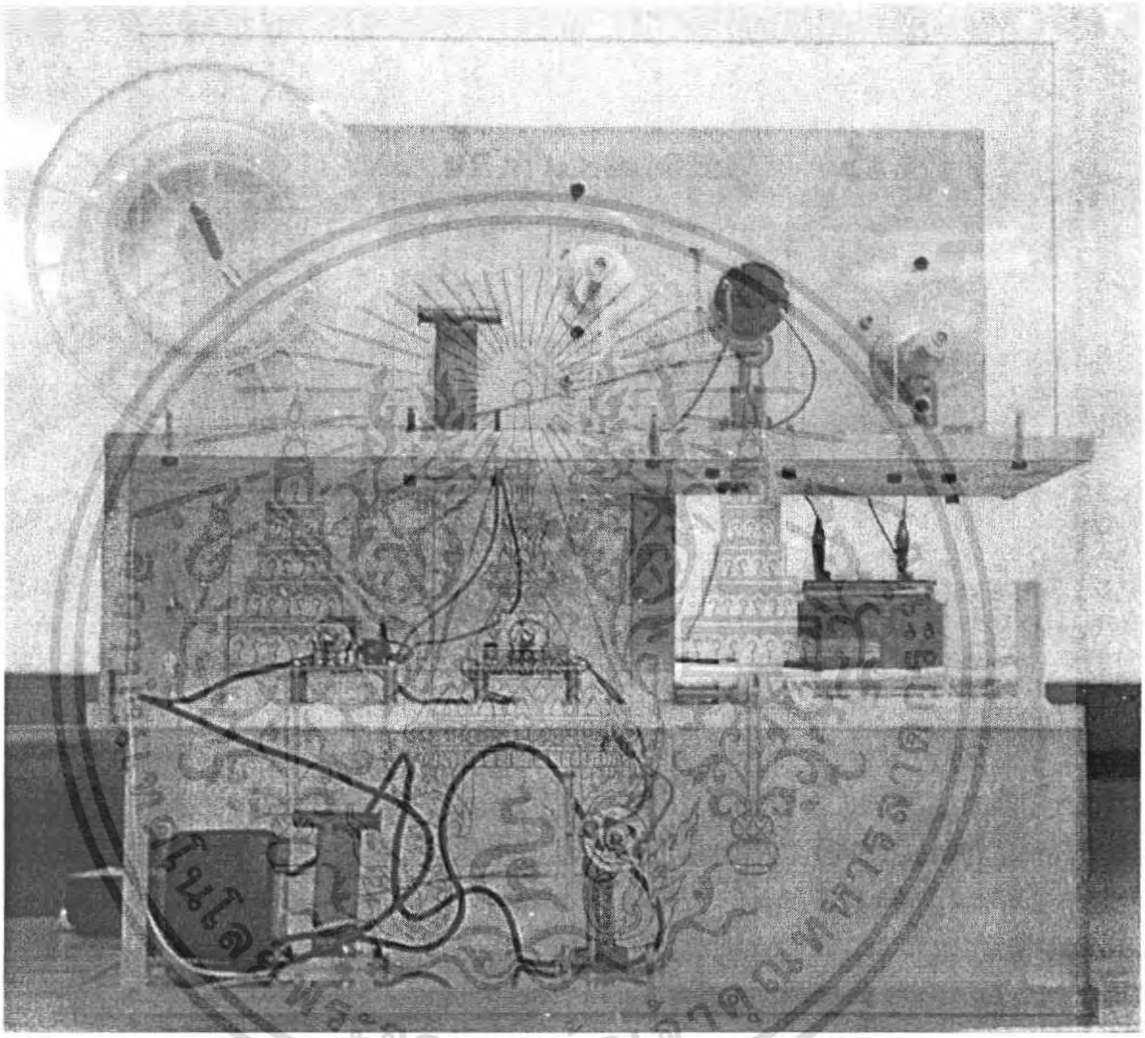


ภาพเส้นลวดก่อนใช้งาน



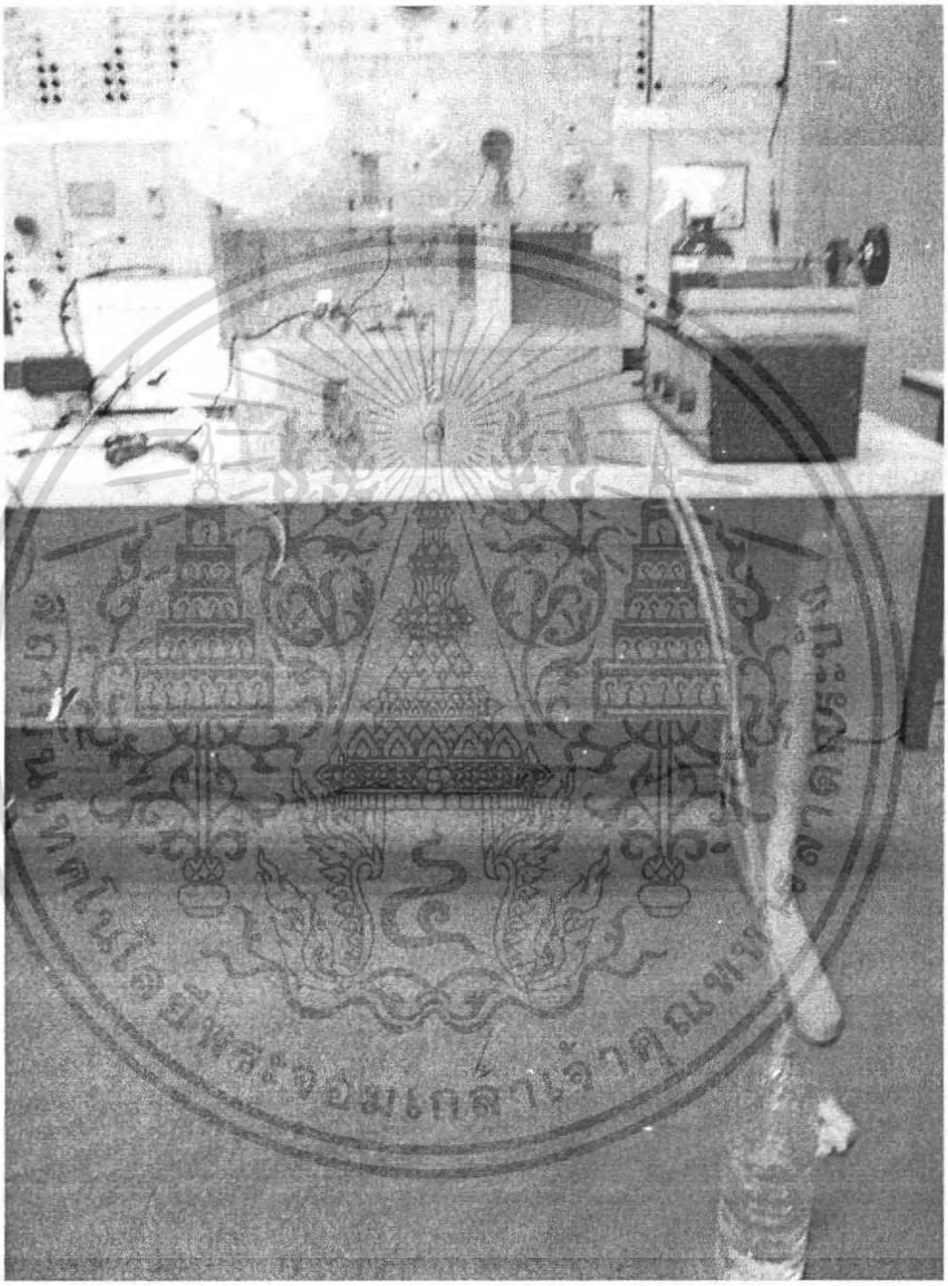
ภาพสภาพเส้นลวดหลังการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



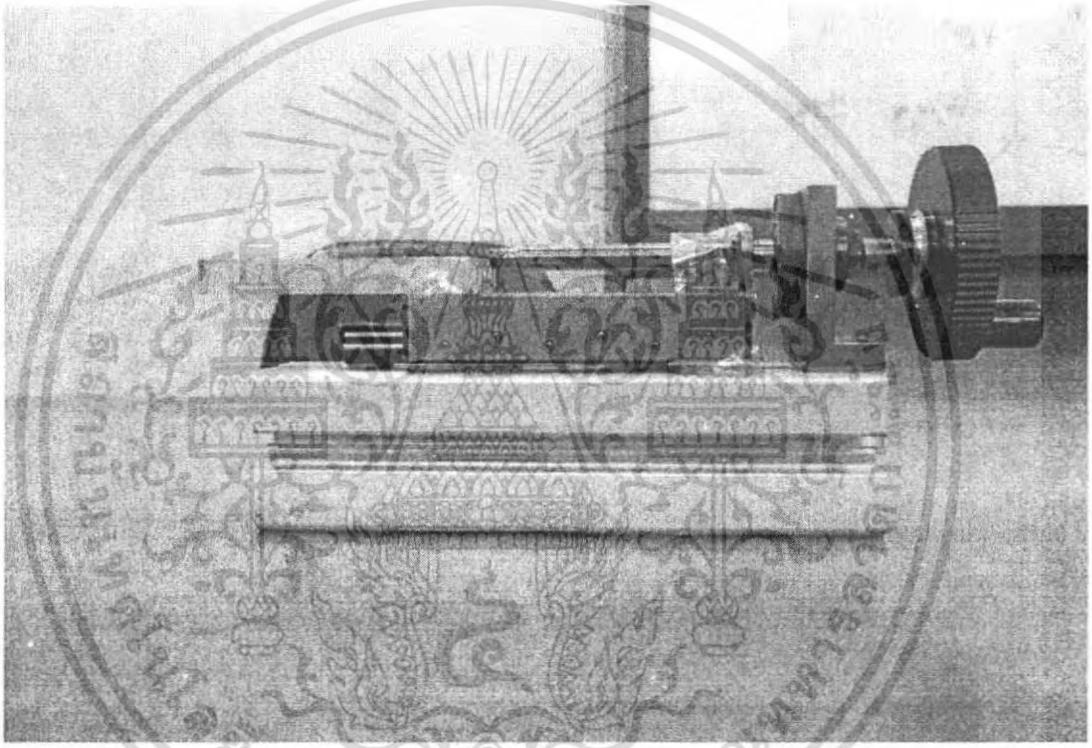
ภาพเครื่องจัดโลหะด้วยเส้นลวดต้นแบบเมื่อเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพลักษณะการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพชุดขับเคลื่อนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้