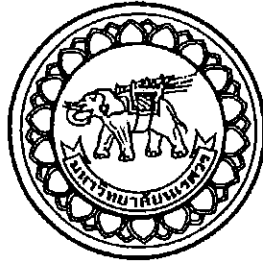


อภิธาน์นทาการ



สำนักวิทยบริการ

เครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

SOFT BEEF STIMULATOR BY USING ELECTRICITY

นายนครินทร์	ลีลา	รหัส 55364022
นายพรเทพ	ปิ่นปัก	รหัส 55364145
นายอนุชา	ไพบุลย์	รหัส 55364466

17194808

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
จำนวนเล่ม.....1.0 ต.ค. 2560.....
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ.....

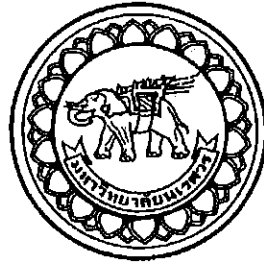
ป/ร
น 123 ค
2558

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2558



เครื่องกระตุ้นเนื้อโคหนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
SOFT BEEF STIMULATOR BY USING ELECTRICITY



นายนครินทร์	ลีลา	รหัส 55364022
นายพรเทพ	ปิ่นปัก	รหัส 55364145
นายอนุชา	ไพบุลย์	รหัส 55364466

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2558



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
ผู้ดำเนินโครงการ นายนครินทร์ ลีลา รหัส 55364022
นายพรเทพ ปิ่นปัก รหัส 55364145
นายอนุชา ไพบูลย์ รหัส 55364466
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มุขिता สงฆ์จันทร์)

.....กรรมการ
(ดร. วิษณีย์ ภาชนะพรรณณ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	เครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายนครินทร์ สีลา	รหัส	55364022
	นายพรเทพ ปิ่นปัก	รหัส	55364145
	นายอนุชา ไพบูลย์	รหัส	55364466
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2558		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า เพื่อเพิ่มความสะดวก และลดระยะเวลาในการทำให้เนื้อโคนมีความนุ่ม เครื่องนี้ถูกออกแบบให้สามารถปรับช่วงระดับแรงดันพัลส์กระแสตรงได้ 50 ถึง 90 โวลต์ สามารถปรับความกว้างพัลส์ได้ 10 20 30 และ 40 มิลลิวินาที และสามารถปรับตั้งเวลาการทำงานได้ตั้งแต่ 1 ถึง 5 นาที โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ในการใช้งานตัวเครื่องสามารถทำงานทุกฟังก์ชันได้อย่างถูกต้อง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันที่ 50 โวลต์ เท่ากับ 4.76 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่แรงดัน 90 โวลต์ เท่ากับ 2.17 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบกับเนื้อโคส่วนสะโพกบน พบว่า เนื้อโคที่ถูกกระตุ้นมีความนุ่มขึ้น โดยความนุ่มจะขึ้นอยู่กับ แรงดัน ความกว้างพัลส์ และเวลา อย่างไรก็ตามที่แรงดัน 90 โวลต์ ไม่ควรใช้เวลานานเกิน 3 นาที เนื่องจากสภาพภายนอกของเนื้อโคหลังถูกกระตุ้น จะมีรอยดำเกิดขึ้นทำให้ไม่มีความน่ารับประทาน

Project title Soft Beef Stimulator by Using Electricity
Name Mr. Nakarin Leelar ID. 55364022
 Mr. Phornthep Pinpak ID. 55364145
 Mr. Anucha Paiboon ID. 55364466
Project advisor Sarawut Wattanawongpitak, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2015

Abstract

This thesis presents soft beef stimulator by using electricity to make the process more convenient and save more time. The soft beef stimulator is designed to adjust the level of voltage between 50 to 90 volts dc and the pulse-width can be varied from 10 to 40 milliseconds. The power supply for this equipment is 220 volt ac. The equipment is able to work correctly in every functions. However there is an error about 4.76 percent at the voltage of 50 volt and at the voltage of 90 volt there is also an error about 2.17 percent. The results show that the stimulated beef is softer depending on the voltage, pulse-width and time.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณ ดร. สราวุธ วัฒนวงศ์พิทักษ์ อาจารย์ปรึกษาโครงการ ซึ่งเอาใจใส่ในรายละเอียดทุกขั้นตอนของการดำเนินโครงการ โดยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง รวมถึงแนะนำหลักการเขียนปฏิญญานิพนธ์และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปฏิญญานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. โอธ รัชชาติ (อาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) ที่คอยให้คำปรึกษาสำหรับการทดสอบคุณภาพของเนื้อโคและติดต่อประสานงานการใช้เครื่องวัดคุณภาพของเนื้อโคจนทำให้โครงการสามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ว่าที่ ร.ต. ธาณี โกสุม (ครูช่างสาขาวิชาไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์) ที่อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ ทำให้โครงการดำเนินไปได้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณ พี่ หนึ่งฤทัย เทียนทอง (นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) ที่ช่วยอธิบายการใช้งานเครื่องทดสอบคุณภาพของเนื้อโค

และขอขอบคุณ นาย วิญ นำสมบูรณ์ ผู้จัดการ ดี เอ เอ็ม เอ็น สตุคิโอ ที่อนุเคราะห์ให้ยืมใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ช่าง เพื่อใช้ในการทำโครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งท่านได้ให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนินโครงการ รวมทั้งมอบความรัก ความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้

นายนครินทร์	ลีลา
นายพรเทพ	ปิ่นปัก
นายอนุชา	ไพฑูริย์

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการงาน	3
1.7 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	4
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	4
2.2 จอแสดงผลแอลซีดี	6
2.3 รีเลย์	8
2.4 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	10
2.4.1 การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	11
2.4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจร	12
2.4.3 แรงดันสูงสุดต้านกลับ (Peak Inverse Voltage)	13
2.5 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter)	15
2.5.1 หลักการทำงาน	15
2.5.2 คุณสมบัติของวงจรที่กระแสต่อเนื่อง	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 จุดแบ่งระหว่างการทำงานแบบกระแสต่อเนื่องกับไม่ต่อเนื่อง.....	19
2.5.4 คุณสมบัติวงจรกรณีกระแสไม่ต่อเนื่อง.....	20
2.6 วงจรชอปเปอร์.....	21
2.7 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า.....	22
2.7.1 วงจรกรอง.....	22
2.7.2 วงจรกุ่มค่า.....	23
2.8 วงจรขยายสัญญาณพัลส์.....	23
2.9 เนื้อสัตว์.....	25
2.9.1 โครงสร้างของเนื้อสัตว์.....	25
2.9.2 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า.....	26
2.9.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเนื้อสัตว์.....	29
บทที่ 3 การออกแบบและการทดสอบวงจร.....	32
3.1 การออกแบบวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า.....	32
3.2 ขั้นตอนการออกแบบและการทดสอบวงจร.....	34
3.2.1 วงจรเรียงกระแส.....	34
3.2.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าเร็กกูเลเตอร์.....	37
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ.....	38
3.2.4 วงจรทบระดับแรงดัน.....	40
3.2.5 วงจรชอปเปอร์.....	57
3.3 การประกอบวงจรและการออกแบบเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า.....	62
3.3.1 จำลองแบบโครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า.....	62
3.3.2 วงจรภายในและโครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า.....	64
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพ.....	68
3.4.1 ทดสอบทางด้านอินพุต.....	68
3.4.2 ทดสอบทางด้านเอาต์พุต.....	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดสอบ	72
4.1 การทดลองทางกายภาพ	73
4.1.1 ทดสอบแรงตัก หรือแรงเฉือน	74
4.1.2 ทดสอบแรงบิด	75
4.1.3 ทดสอบแรงกด	77
4.2 การทดสอบทางเคมี	78
4.2.1 ทดสอบความเป็นกรด-ด่าง	79
4.2.2 ทดสอบอุณหภูมิ	81
4.2.3 ทดสอบสีของเนื้อ	82
4.3 การทดสอบน้ำหนัก	85
4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส	88
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	90
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	90
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	90
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	91
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก ก รหัสต้นฉบับของโปรแกรมเครื่องกระตุ้นเนื้อโคหนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	93
ภาคผนวก ข รายละเอียดของอุปกรณ์	101
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	117

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผงวงจร Arduino รุ่น UNO R3	5
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-PU	6
2.3 จอแสดงผลแอลซีดี (LCD)	6
2.4 เชื่อมต่อจอแอลซีดี แบบ 8 บิต (DB0-DB7)	7
2.5 เชื่อมต่อจอแอลซีดี แบบ 4 บิต (DB4-DB7)	8
2.6 สัญลักษณ์ในวงจรไฟฟ้าของรีเลย์	8
2.7 สถานะการทำงานของรีเลย์	9
2.8 รีเลย์ 2 ช่อง (Relay Module 2 Channels)	10
2.9 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	11
2.10 ไดโอด D1 และ D2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out})	11
2.11 ไดโอด D3 และ D4 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out})	12
2.12 รูปคลื่น (V_{out}) เปรียบเทียบกับ (V_m) ของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	12
2.13 แรงดันไฟตรงเฉลี่ยกับแรงดันไฟสูงสุด (V_p) ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	13
2.14 แรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดขึ้นกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	13
2.15 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ	14
2.16 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ	14
2.17 วงจรทบระดับแรงดัน (Boost Converter)	16
2.18 วงจรทบระดับแรงดัน (Boost Converter) ขณะสวิตช์ปิด (T_{off})	16
2.19 วงจรทบระดับแรงดัน (Boost Converter) ขณะสวิตช์เปิด (T_{on})	16
2.20 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่อเนื่อง	17
2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายแรงดันกับ D	18
2.22 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเริ่มไม่ต่อเนื่อง	19
2.23 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่ต่อเนื่อง	20
2.24 วงจรชอปเปอร์	21
2.25 รูปสัญญาณแรงดันวงจรชอปเปอร์	21
2.26 บล็อกไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า	22
2.27 วงจรกรอง	22
2.28 แรงดันไฟฟ้าที่ยังไม่ผ่านการกรอง และผ่านการกรองแล้ว	23

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ไอซี.....	23
2.30 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (IR2110).....	24
2.31 แสดงการลดค่าของกรด-ด่าง(pH) หลังสัตว์ตาย.....	28
3.1 แผนภาพวงจรการทำงานชุดอุปกรณ์ของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า.....	33
3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์.....	34
3.3 แรงดันไฟฟ้าที่ขาออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์.....	35
3.4 กระแสไฟฟ้าที่ขาออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์.....	35
3.5 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (วงจรที่ได้สร้างขึ้น).....	36
3.6 สัญญาณแรงดันออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์.....	36
3.7 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	37
3.8 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (วงจรที่ได้สร้างขึ้น).....	37
3.9 วงจรขยายสัญญาณพัลส์.....	38
3.10 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (วงจรที่ได้สร้างขึ้น).....	38
3.11 สัญญาณแรงดันที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ($D = 50$ เปอร์เซ็นต์).....	39
3.12 สัญญาณแรงดันที่ออกมาจากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ ($D = 50$ เปอร์เซ็นต์).....	39
3.13 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า ($L = 1$ มิลลิเฮนรี่).....	41
3.14 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 1$ มิลลิเฮนรี่).....	41
3.15 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 1$ มิลลิเฮนรี่).....	42
3.16 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า ($L = 10$ มิลลิเฮนรี่).....	43
3.17 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 10$ มิลลิเฮนรี่).....	43
3.18 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 10$ มิลลิเฮนรี่).....	44
3.19 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า ($L = 50$ มิลลิเฮนรี่).....	45
3.20 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 50$ มิลลิเฮนรี่).....	45
3.21 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 50$ มิลลิเฮนรี่).....	46
3.22 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า ($L = 100$ มิลลิเฮนรี่).....	47
3.23 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 100$ มิลลิเฮนรี่).....	47
3.24 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 100$ มิลลิเฮนรี่).....	48
3.25 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า ($L = 140$ มิลลิเฮนรี่).....	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.26 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 140$ มิลลิเฮนรี).....	49
3.27 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 140$ มิลลิเฮนรี)	50
3.28 ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ	52
3.29 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า ที่โหลด (R) เท่ากับ 337 โอห์ม	52
3.30 ขนาดแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต ที่ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม.....	53
3.31 ขนาดกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต ที่ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม.....	53
3.32 ขนาดแรงดันไฟฟ้าเมื่อความต้านทานเปลี่ยนแปลง.....	54
3.33 ขนาดกระแสไฟฟ้าเมื่อความต้านทานเปลี่ยนแปลง.....	54
3.34 วงจรทบทแรงดัน (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)	55
3.35 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรทบทแรงดัน ($D = 0$ เปอร์เซ็นต์).....	55
3.36 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรทบทแรงดัน ($D = 50$ เปอร์เซ็นต์)	56
3.37 จำลองวงจรชอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice	57
3.38 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรชอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice.....	57
3.39 พัลส์กระแสไฟฟ้าตรงจากวงจรชอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice.....	58
3.40 วงจรชอปเปอร์ (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)	58
3.41 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาต์พุต 50 โวลต์ (ขนาดพัลส์ 20 มิลลิวินาที)	59
3.42 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาต์พุต 50 โวลต์ (ขนาดพัลส์ 30 มิลลิวินาที)	59
3.43 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาต์พุต 90 โวลต์ (ขนาดพัลส์ 10 มิลลิวินาที)	60
3.44 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาต์พุต 90 โวลต์ (ขนาดพัลส์ 20 มิลลิวินาที)	60
3.45 ขนาดของเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า.....	62
3.46 แบบจำลองเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า.....	63
3.47 เครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า.....	65
3.48 รูปแบบการต่อวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	65
3.49 วงจรภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า.....	66
3.50 วงจรภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า (ขั้นที่ 1).....	66
3.51 วงจรภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า (ขั้นที่ 2).....	67
3.52 วงจรภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า (ขั้นที่ 3).....	67
3.53 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 50 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 4 นาที.....	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.54 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 60 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 2 นาที.....	70
3.55 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 70 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 2 นาที.....	70
3.56 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 80 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 1 นาที.....	70
3.57 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 90 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 1 นาที.....	71
4.1 การกระตุ้นเนื้อโคด้วยเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า.....	72
4.2 ลักษณะภายนอกของเนื้อ โคลหลังถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า.....	73
4.3 เครื่องมือทดสอบเนื้อสัมผัส (เครื่อง Texture Analyser).....	73
4.4 แผนภูมิแสดงการทดสอบแรงตัด หรือแรงเหวี่ยง	75
4.5 กราฟแสดงการทดสอบแรงบิด	76
4.6 แผนภูมิแสดงการทดสอบแรงกด	78
4.7 เครื่องมือทดสอบทางเคมี (เครื่อง Mettler Toledo).....	79
4.8 เครื่องมือทดสอบสีของเนื้อ โค (เครื่อง HunterLab).....	79
4.9 แผนภูมิแสดงการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง.....	80
4.10 แผนภูมิแสดงการทดสอบหุ้มน้ำ.....	82
4.11 แผนภูมิแสดงการทดสอบสี.....	83
4.12 แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการสูญเสีย.....	86
4.13 แบบสอบถามทางประสาทสัมผัส	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราการขยายแรงดันของวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า	18
3.1 แสดงค่าตัวประกอบความพลัว (RF)	51
3.2 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าจากทฤษฎีและจากวงจรที่ออกแบบ	56
3.3 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์	61
3.4 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 70 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์	61
3.5 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์	61
3.6 แสดงกระแสไฟฟ้าสลับและกำลังไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเอาต์พุต	68
3.7 แสดงกระแสไฟฟ้าตรงและขนาดพัลส์ทางด้านเอาต์พุต	68
4.1 ผลการทดสอบค่าแรงตัด	74
4.2 ผลการทดสอบค่าแรงบด	76
4.3 ผลการทดสอบค่าแรงกด	77
4.4 ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง	80
4.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิของเนื้อโค	81
4.6 ผลการทดสอบสีของเนื้อโค	83
4.7 ผลการทดสอบน้ำหนักของเนื้อโคดิบ	85
4.8 ผลการทดสอบน้ำหนักของเนื้อสุก	86
4.9 ผลสำรวจจากการทำแบบสอบถามทางประสาทสัมผัส	89

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันมีกลุ่มผู้คนที่นิยมบริโภคเนื้อโคเป็นจำนวนมาก เนื้อโคนั้นสามารถนำมาปรุงเป็นอาหารได้หลากหลายเมนู เช่น อาหารประเภท ลาบ ก้อย เนื้อย่าง ฯลฯ และความนุ่มเป็นอีกปัจจัยหนึ่งของความอร่อย ซึ่งผู้บริโภคส่วนต้องการ ซึ่งกระบวนการที่ทำให้เนื้อนุ่มมีหลายวิธี เช่น วิธีทางเคมี วิธีทางกล เป็นต้น

ซึ่งกระบวนการทำให้เนื้อนุ่มเหล่านี้ต้องอาศัยระยะเวลา และมีความยุ่งยากพอสมควร ทางเลือกใหม่ก็คือ การกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrical Stimulation) โดยมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมมาเป็นเวลานาน ส่งผลให้เนื้อมีความนุ่ม ใช้ระยะเวลาเพียงสั้นๆ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในปัจจุบันมีราคาสูง ดังนั้นจึงได้กำหนดโครงการนี้ขึ้นเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องมือ และเพิ่มมาตรฐานของเนื้อโคให้มีคุณภาพตามความต้องการของกลุ่มผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

สร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยแรงดันพัลส์กระแสตรงแรงดันต่ำ ให้สะดวกต่อการใช้งานในครัวเรือน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) สร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มที่ใช้แรงดันพัลส์กระแสตรงในการกระตุ้น
- 2) สามารถเลือกปรับแรงดันได้ 50 - 90 โวลต์
- 3) สามารถเลือกปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์ได้ 10, 20, 30 และ 40 มิลลิวินาที
- 4) สามารถปรับตั้งเวลาการทำงานได้ ตั้งแต่ 1-5 นาที/ครั้ง
- 5) ใช้กระตุ้นเนื้อโค และใช้เนื้อส่วนสะโพกบนขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์นิ้ว ในการทดสอบ
- 6) ด้านบนของตัวเครื่องมือจะแสดงผลแอลซีดี และหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาการทำงานของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าแบบเก่า
- 2) ออกแบบวงจร และประดิษฐ์เครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
- 3) ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
- 4) ปรับปรุงระบบการทำงาน บันทึกผลการทดสอบและตรวจสอบสภาพปัญหาที่พบ
- 5) รวบรวมข้อมูลสรุปผล และจัดทำรูปเล่ม

1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

รายละเอียด	พ.ศ. 2558					พ.ศ. 2559					
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1) ศึกษาการทำงานของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า											
2) ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่างๆ											
3) ออกแบบวงจรไฟฟ้าและ โครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า											
4) สร้างวงจรไฟฟ้าและเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า											
5) ทดสอบประสิทธิภาพและทดสอบคุณภาพเนื้อ โคน											
6) รวบรวมข้อมูลสรุปผล จัดทำรูปเล่ม											

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) สร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
- 2) มีความสะดวกและปลอดภัยต่อการนำมาใช้ในครัวเรือน
- 3) ประหยัดระยะเวลาในการทำเนื้อ โคนุ่ม

1.7 งบประมาณ

1) บอร์ด Microcontroller รุ่น Arduino UNO R3	600 บาท
2) แผงวงจรพิมพ์	350 บาท
3) มอสเฟต	300 บาท
4) โครงเครื่อง	1000 บาท
5) หน้าจอ LCD	250 บาท
6) หม้อแปลงแรงดัน	540 บาท
7) รีเลย์ ปุ่มกดปุ่มหมุน	300 บาท
8) ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ	400 บาท
9) สายไฟ	450 บาท
10) มิเตอร์วัดแรงดันไฟกระแสตรง	600 บาท
11) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริิญาานิพนธ์	800 บาท
12) เนื้อ โคน (สำหรับใช้ทดสอบ)	650 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (หกพันสองร้อยสี่สิบบาท)	<u>6,240 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

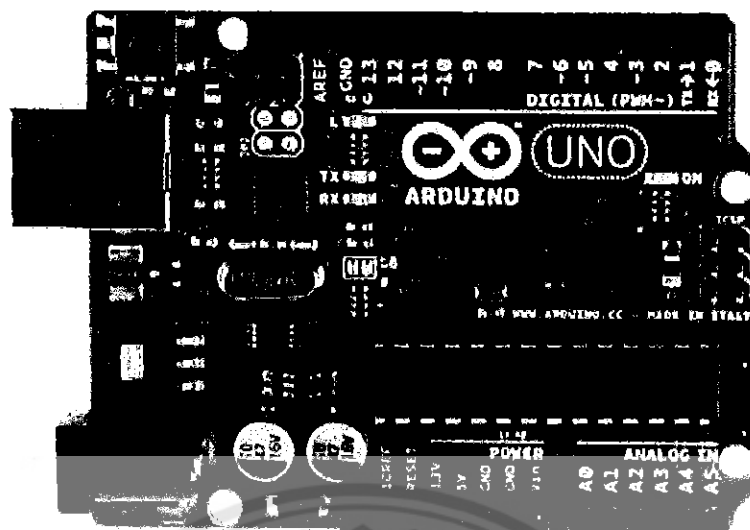
หลักการและทฤษฎี

โครงการสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคหนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า โดยเครื่องกระตุ้นจะถูกสร้างให้มีความสามารถในการสร้างแรงดันพัลส์ไฟฟ้ากระแสตรง และสามารถตั้งเวลาการทำงานได้ ดังนั้นโครงการนี้จึงจำเป็นต้องมี ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 มาควบคุมการทำงานของวงจรการออกแบบวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อโคหนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า ได้แบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นวงจรควบคุม ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย
 - 1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3
 - 1.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply)
 - 1.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (Switching circuits)
2. ส่วนที่เป็นวงจรกำลัง ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย
 - 2.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)
 - 2.2 วงจรทบแรงดัน (Boost Converter)
 - 2.3 วงจรชอปเปอร์ (Chopper Circuit)

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบันก็มีอยู่หลายยี่ห้อ เช่น PIC Z80 MCS-51 AVR ARM-Cortex และอื่นๆ อีกมาก Arduino ก็เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่ต่างจากยี่ห้ออื่น ๆ ทำให้ได้เปรียบในหลาย ๆ ด้าน เช่น ราคา การใช้งาน เป็นต้น Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่ใช้ ATmega328 (datasheet) เป็น MCU หลัก ซึ่งตัวนี้จะมีขาดิจิตอล 14 ขา อินพุต/เอาต์พุต (สามารถทำเป็น PWM ได้ถึง 6 ขา) และมีขานาฬิกาอินพุตได้อีก 6 ขา รั้นที่ความถี่ 16 เมกะเฮิรตซ์ มี USB Connector และ Power Jack DC ซึ่ง คุณสมบัติของ Arduino Board นี้ทำมาเพื่อความสะดวกง่ายในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ สามารถต่อ USB เข้ากับช่องคอมพิวเตอร์ ก็สามารถลงโปรแกรมที่บอร์ดได้ เหมาะสำหรับการใช้ควบคุมการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างแท้จริง และยังมีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้งานควบคุมอุปกรณ์ ทั้งนี้ยังสามารถใช้ดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือ โปรแกรมที่จะนำมาใช้งานได้อีกด้วย



รูปที่ 2.1 แผงวงจร Arduino รุ่น UNO R3

ที่มา <http://www.arduinoall.com/product>

Arduino มีจุดเด่นในเรื่องของง่ายต่อการเรียนรู้และการทำงาน เนื่องจากมีรูปแบบคำสั่งพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อนสามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย และมีข้อดีมากกว่าบอร์ดสำเร็จรูปชนิดอื่น ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับนำมาใช้งานควบคุมอุปกรณ์ต่างๆที่หาซื้อได้ง่าย นอกจากนี้ Arduino ยังมีการเปิดเผยข้อมูลทางด้านฮาร์ดแวร์ ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลาย ๆ ด้าน แผงวงจร Arduino ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นสถาปัตยกรรมของเอเวียร์ ขนาด 8 บิต โดยเป็นซีพียูแบบ RISC (Reduced instruction set computer) มีหน่วยความจำแบบฮาร์วาร์ด (Harvard) ซึ่งจะมีหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล โดยใช้หน่วยความจำแบบแฟลต (Flash) สำหรับเป็นหน่วยความจำโปรแกรมและใช้หน่วยความจำแบบ SRAM สำหรับหน่วยความจำข้อมูลและนอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลเอาไว้ได้โดยไม่จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยง โดย ATmega328 มีคุณสมบัติเด่นดังนี้

- 1) หน่วยความจำโปรแกรมแบบ FLASH ขนาด 32 กิโลไบต์
- 2) หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM ขนาด 2 กิโลไบต์
- 3) หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 1 กิโลไบต์
- 4) พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตจำนวน 23 บิต
- 5) วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต ในตัวจำนวน 8 ช่อง
- 6) ทำงานได้ตั้งแต่ย่านแรงดัน 1.8-5.5 โวลต์
- 7) วงจรสื่อสารอนุกรม
- 8) ตัวจับเวลาและตัวนับ ขนาด 8 บิต จำนวน 2 ตัว และ U3586 ขนาด 16 บิต 1 ตัว

- 9) ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิรตซ์
- 10) สนับสนุนช่องสัญญาณสำหรับการสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม (PWM)
- 11) รองรับการเชื่อมต่อแบบ I2C บัส

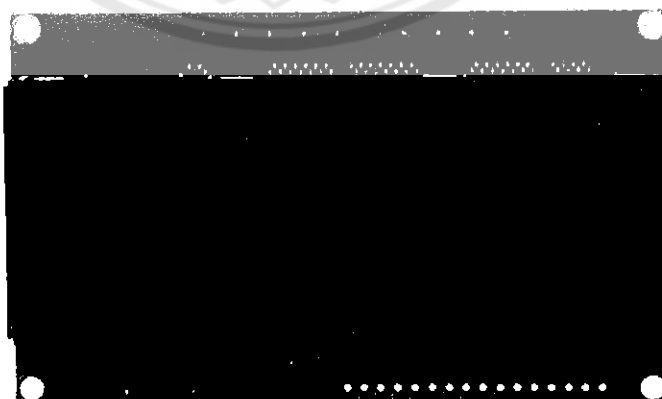


รูปที่ 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-PU

ที่มา <http://www.digitalsmarties.net/products/atmega328>

2.2 จอแสดงผลแอลซีดี

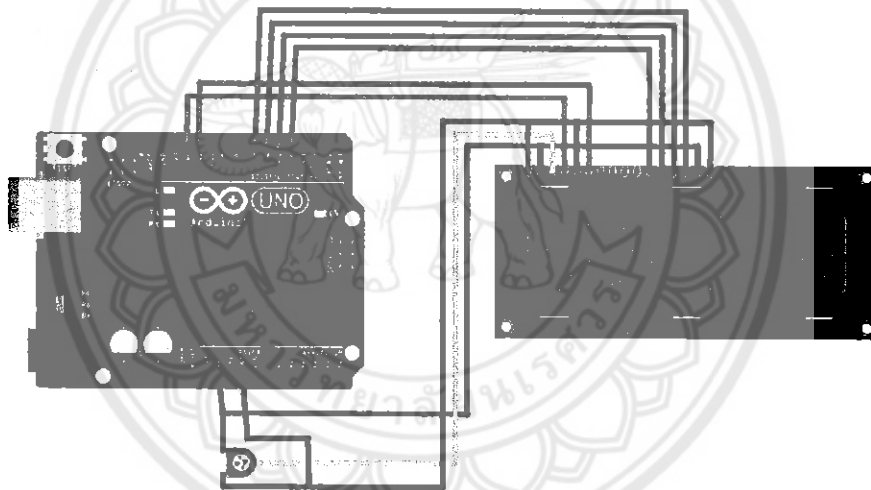
การเชื่อมต่อสัญญาณขาข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ ส่วนควบคุมจอแอลซีดี สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การเชื่อมต่อแบบ 8 บิต (DB0-DB7) และการเชื่อมต่อแบบ 4 บิต (DB4-DB7) ทั้งสองแบบแตกต่างกันเพียงจำนวนขาที่ใช้คือ 8 หรือ 4 ขา และยังสามารถทำงานได้เหมือนกัน อย่างที่แน่นอนในการส่งข้อมูลแบบ 4 ขา ย่อมทำได้ช้ากว่า 8 ขา แต่ไม่ได้ช้ามากจนสังเกตได้ด้วยสายตา



รูปที่ 2.3 จอแสดงผลแอลซีดี (LCD)

ในการควบคุมหรือสั่งงาน ตัวจอแอลซีดีนั้นมีส่วนควบคุม (Controller) รวมไว้ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งควบคุมการทำงานของจอแอลซีดีผ่านส่วนควบคุมว่าต้องการใช้แสดงผลอย่างไร โดยส่วนควบคุมของจอแอลซีดีตัวนี้เป็น Hitachi เบอร์ HD44780 และขาในการเชื่อมต่อระหว่างแอลซีดี กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มีดังนี้

- 1) GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ แอลซีดี
- 2) VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับแอลซีดีขนาด +5 โวลต์
- 3) VO ใช้ปรับความสว่างของหน้าจอแอลซีดี
- 4) RS ใช้บอกให้ส่วนควบคุมทราบว่ารหัสที่ส่งมาทางขา Data เป็นคำสั่งหรือข้อมูล
- 5) R/W ใช้กำหนดว่าจะอ่านหรือเขียนข้อมูลกับส่วนควบคุม
- 6) E เป็นขา Enable หรือ Chips Select เพื่อกำหนดการทำงานให้กับส่วนควบคุม
- 7) DB0-DB7 เป็นขาสัญญาณ Data ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูลคำสั่ง กับแอลซีดี

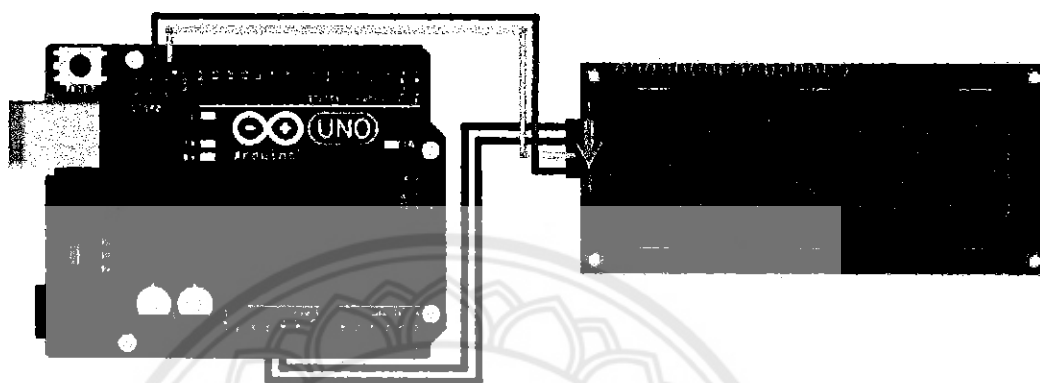


รูปที่ 2.4 เชื่อมต่อจอแอลซีดี แบบ 8 บิต (DB0-DB7)

ที่มา <http://www.arduino-build.com/product/71/1602-lcd-blue-screen-16x2-lcd-with-backlight>

ในการควบคุมหรือสั่งงาน โดยทั่วไปจอแอลซีดีจะมีส่วนควบคุม (Controller) อยู่ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอแอลซีดี (I2C) เช่นเดียวกันกับจอแอลซีดีแบบธรรมดา เรียกว่าง่าย ๆ คือรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมนั้นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่รูปแบบในการรับส่งข้อมูล ในบทความนี้เราจะมาพูดถึงจอแอลซีดี 16x2 ที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบ I2C ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเท่านั้น

- 1) GND เป็น Ground ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ แอลซีดี
- 2) VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับแอลซีดีมีขนาด +5 โวลต์
- 3) SDA (Serial Data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล
- 4) SCL (Serial Clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล

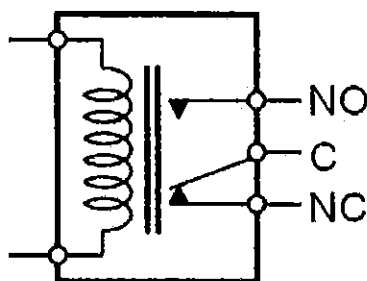


รูปที่ 2.5 เชื่อมต่อจอแอลซีดี แบบ 4 บิต (DB4-DB7)

ที่มา <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article>

2.3 รีเลย์

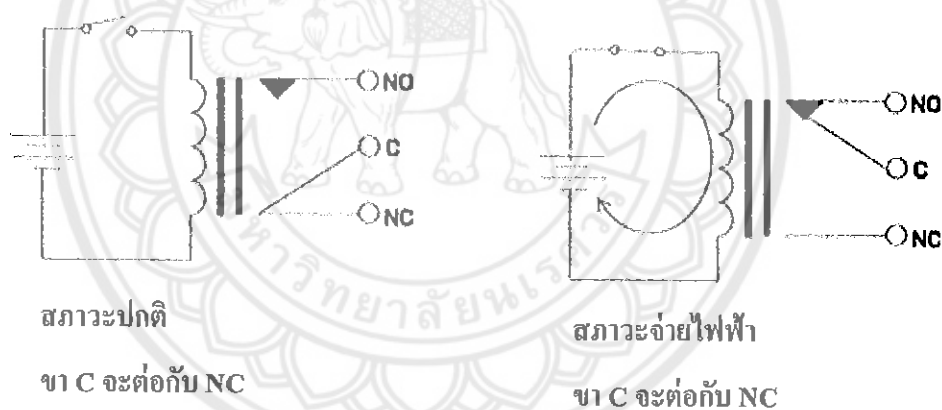
รีเลย์ (Relay) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมการเปิดปิด หรือทำหน้าที่ตัดต่อวงจรแบบเดียวกับสวิตช์โดยควบคุมการทำงานด้วยไฟฟารีเลย์ มีหลายประเภท ตั้งแต่รีเลย์ขนาดเล็กที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป จนถึงรีเลย์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานไฟฟ้าแรงสูง โดยมีรูปร่างหน้าตาแตกต่างกันออกไป แต่มีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกัน สำหรับการนำรีเลย์ ไปใช้งาน จะใช้ในการตัดต่อวงจร โดยสัญลักษณ์วงจรไฟฟ้าของรีเลย์แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์ในวงจรไฟฟ้าของรีเลย์

จากรูปที่ 2.6 ภายในวงจรรีเลย์จะประกอบไปด้วยขดลวดและหน้าสัมผัส NC(Normally Close) เป็นหน้าสัมผัสปกติปิด โดยในสภาวะปกติหน้าสัมผัสนี้จะต่อเข้ากับขา COM(Common) และจะลดยหรือไม่สัมผัสกันเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด หน้าสัมผัส NO(Normally Open) เป็นหน้าสัมผัสปกติเปิด โดยในสภาวะปกติจะลดยอยู่ ไม่ถูกต่อกับขา COM(Common) แต่จะเชื่อมต่อกันเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด และมีขา COM(Common) เป็นขาที่ถูกใช้งานร่วมกันระหว่าง NC และ NO ขึ้นอยู่กับว่า ขณะนั้นมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดหรือไม่ หน้าสัมผัสในรีเลย์ 1 ตัว อาจมีมากกว่า 1 ชุด ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและลักษณะของงานที่นำไปใช้

หลักการการทำงานของรีเลย์นั้น ในส่วนของขดลวด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้ขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำและทำหน้าที่เสมือนแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลให้ขา COM ที่เชื่อมต่ออยู่กับหน้าสัมผัส NC (ในสภาวะที่ยังไม่เกิดการเหนี่ยวนำ) ย้ายกลับเชื่อมต่อกับหน้าสัมผัส NO แทน และปล่อยให้ขา NC ลอย เมื่อบมองที่ขา NC กับ COM และ NO กับ COM แล้วจะเห็นว่ามีการทำงานปิด-เปิดลักษณะคล้ายการทำงานของสวิตช์ดังรูปที่ 2.7 เราสามารถอาศัยคุณสมบัตินี้นำไปประยุกต์ใช้งานได้

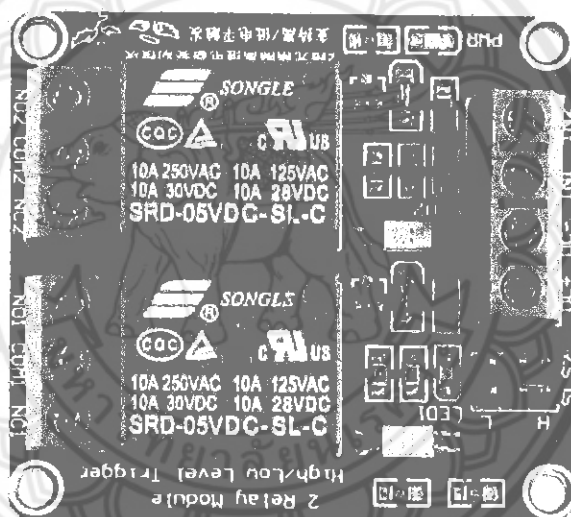


รูปที่ 2.7 สภาวะการทำงานของรีเลย์

ในโครงการนี้เลือกจะใช้รีเลย์ที่มีขนาดเล็กเพื่อควบคุมการตัดต่อการทำงานของวงจรถูกกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้รีเลย์แบบ Relay Module 2 Channels แบบ OPTO-ISOLATED ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยรีเลย์มีเอาต์พุตคอนแทคเตอร์ที่รีเลย์ เป็น NO/COM/NC สามารถใช้กับโหลดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้สัญญาณในการควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณ โวลิจ TTL และมีคุณสมบัติ ดังนี้

- 1) การเชื่อมต่อมาตรฐานที่สามารถใช้ควบคุมได้โดยตรงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino , TTL logic
- 2) สามารถใช้ไฟ 5 โวลต์จากบอร์ด Arduino ที่มีขา 5 โวลต์ ได้

- 3) ใช้ควบคุมไฟฟ้าแรงสูงได้ที่ ไฟฟ้ากระแสตรง 30 โวลต์ 10 แอมแปร์ , ไฟฟ้ากระแสสลับ 250 โวลต์ 10 แอมแปร์
- 4) มีไฟบอกสถานะ การทำงานของรีเลย์ทุกตัว
- 5) เชื่อมต่อด้วยขั้วสกู ทำให้ติดตั้งได้ง่ายและสะดวก
- 6) ใช้กระแสขับรีเลย์ แต่ละตัวที่ 15-20 มิลลิแอมแปร์
- 7) การส่งสัญญาณควบคุมรีเลย์เป็นแบบ Active High / Active Low
- 8) สามารถสั่งงานด้วยระดับแรงดัน TTL
- 9) มีจัมป์เปอร์สำหรับเลือกว่าจะใช้กราวด์ร่วมหรือแยก
- 10) มี OPTO-ISOLATED เพื่อแยกกราวด์ส่วนของสัญญาณควบคุมกับไฟฟ้าที่ขับรีเลย์ออกจากกัน



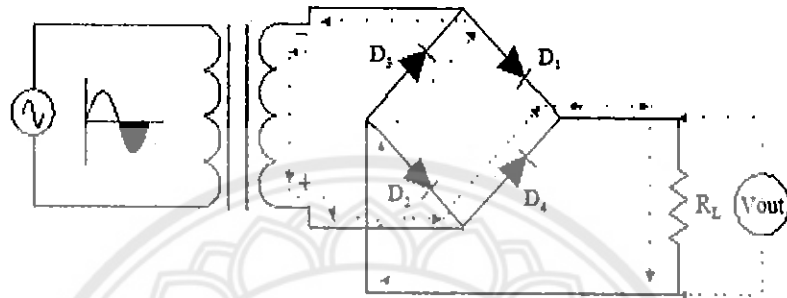
รูปที่ 2.8 รีเลย์ 2 ช่อง (Relay Module 2 Channels)

ที่มา <http://www.dx.com/p/2-channel-5v-relay-module-with-optocouple>

2.4 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เป็นวงจรที่แก้ไขจุดอ่อนของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น แบบใช้หม้อแปลงที่มีเซ็นเตอร์แท็ปซึ่งมีราคาแพง ไดโอดจะนำกระแสครั้งละตัว ทำให้ทำงานหนัก ส่วนวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงเซ็นเตอร์แท็ป ทำให้ประหยัดขึ้นและไดโอดจะนำกระแสครั้งละสองตัว ทำให้ไดโอดทนแรงดันสูงขึ้น เอาท์พุทของวงจรตลอดจนรูปร่างจะมี ลักษณะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทุกอย่าง

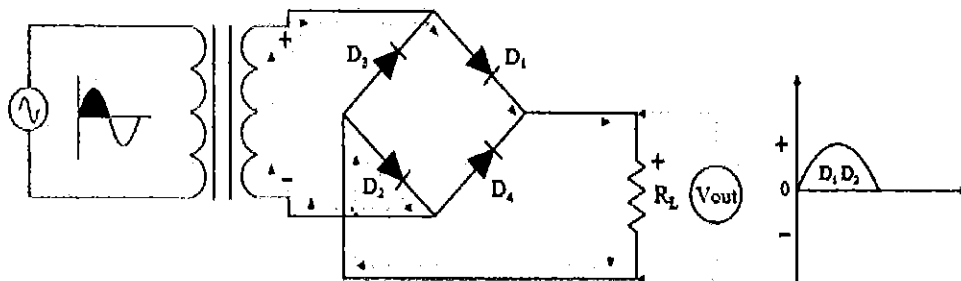
วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ มีลักษณะเหมือนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เพราะแรงดันเอาต์พุตที่ได้เป็นแบบเต็มคลื่น ข้อแตกต่างระหว่างการเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ และแบบเต็มคลื่นธรรมดา ต่างกันตรงการต่อวงจรไดโอด แบบเต็มคลื่นจะใช้ไดโอดสองตัว แบบบริดจ์จะใช้ไดโอดสี่ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ก็แตกต่างกัน แบบเต็มคลื่นธรรมดาใช้หม้อแปลงมีแท่งกลางมีสามขั้วแบบบริดจ์ ใช้หม้อแปลงสองขั้ว หรือสามขั้วก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

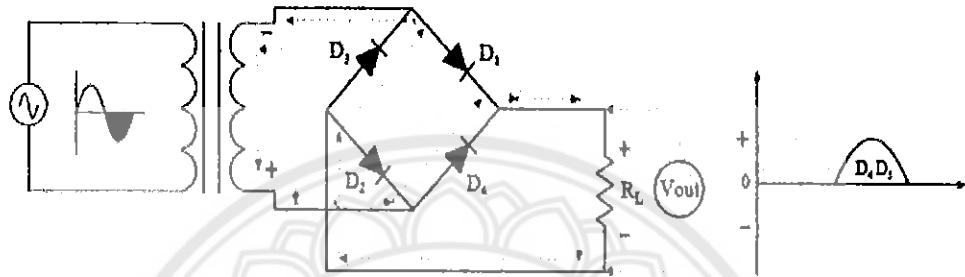
2.4.1 การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

การทำงานของวงจร ไดโอดจะผลัดกันนำกระแสครั้งละสองตัว โดยเมื่อไซเคิลบวกของแรงดันไฟสลับ (V_{in}) ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงและด้านล่างจะเป็นลบ จะทำให้ไดโอด D1 และ D2 ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด D1 ผ่านโหลด RL ผ่านไดโอด D2 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านล่าง มีแรงดันตกคร่อมโหลด RL ด้านบนเป็นบวก ด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุต ดังรูปที่ 2.10

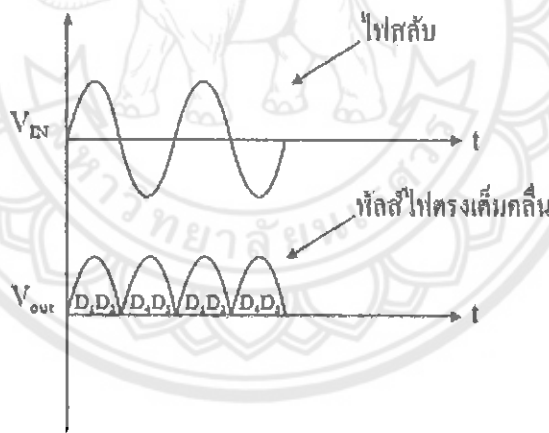


รูปที่ 2.10 ไดโอด D1 และ D2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out})

ในช่วงเวลาต่อมาไซเคิลของแรงดันไฟสลับ (V_{in}) ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลง และด้านล่างเป็นบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ในช่วงเวลานี้ไดโอด D1 และ D2 จะได้รับไบอัส กลับแต่ไดโอด D3 และ D4 จะได้รับไบอัสตรง ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D4 ผ่านโหลด RL และผ่านไดโอด D3 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านบน มีแรงดันตกคร่อมโหลด RL ด้านบนเป็นบวกด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุต ทำให้ได้คลื่นไฟตรงรวมกันเต็มคลื่นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 ไดโอด D3 และ D4 ได้รับ ไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด (V_{out})

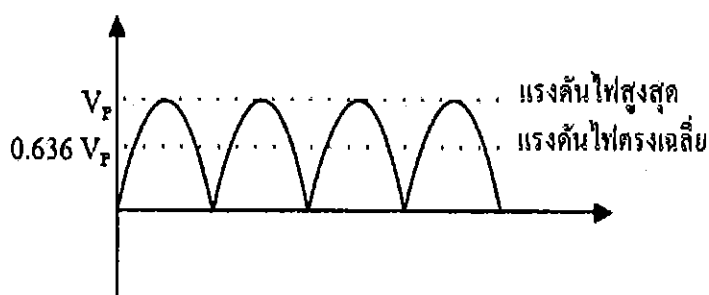


รูปที่ 2.12 รูปคลื่น (V_{out}) เปรียบเทียบกับ (V_{in}) ของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

2.4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจร

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทั้งแบบมีแท็ปกลางและแบบบริดจ์จะให้แรงดันเอาต์พุตทุกๆ ครั้ง รอบของแรงดันไฟสลับที่เข้ามาทั้งซีกบวกและซีกลบ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตจึงมีค่าเป็น 2 เท่าของ แรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ค่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็น 0.636 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ดังสมการที่ 2.1

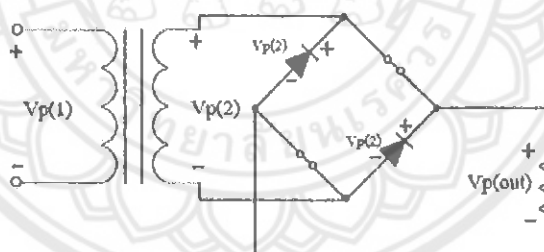
$$V_{rms} = 0.636V_p \quad (2.1)$$



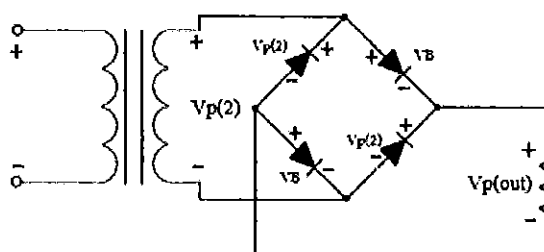
รูปที่ 2.13 แรงดันไฟตรงเฉลี่ยกับแรงดันไฟสูงสุด (V_p) ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

2.4.3 แรงดันสูงสุดด้านกลับ (Peak Inverse Voltage)

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์จะมีค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับ (PIV) น้อยกว่าวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแท็ปครึ่งหนึ่ง เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 2.14 (ก) เมื่อไดโอด D1 และ D2 นำกระแส ไดโอด D1 และ D2 จะทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ปิดวงจร (ถ้าไม่คิดแรงดันตกคร่อมไดโอด) จะเห็นว่า แรงดันสูงสุดด้านกลับที่ตกคร่อมไดโอด D3 และ D4 ที่ได้รับไบอัสกลับจะมีค่าเท่ากับแรงดันพีค (V_p)



(ก)



(ข)

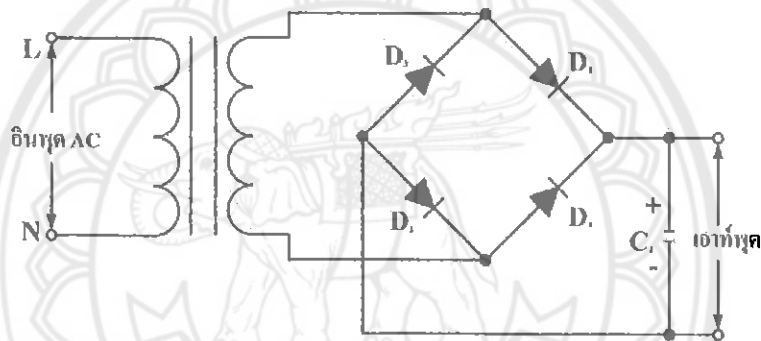
รูปที่ 2.14 แรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอด D1 และ D2 นำกระแส ดังรูปที่ 2.14 (ข) จะเห็นว่าแรงดัน PIV ที่เกิดกับไดโอด D3 และ D4 จะสามารถหาได้ดังสมการ 2.2

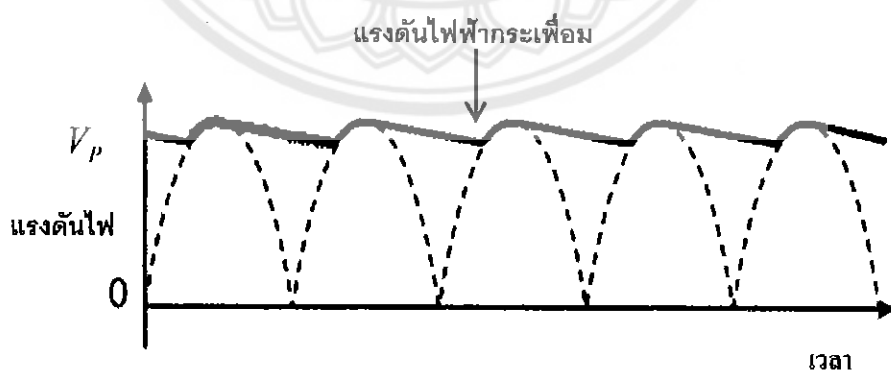
$$PIV = V_p(out) + VB \tag{2.2}$$

เช่นเดียวกัน ถ้าหากต้องการใช้ไฟตรงที่เรียงกระแสออกมาเรียบขึ้นเราก็ต้องใช้ตัวเก็บประจุค่ามากๆ เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรกรองโดยมีลักษณะการต่อวงจร ดังรูปที่ 2.15 ยิ่งตัวเก็บประจุมีค่ามากการคายประจุก็จะต้องใช้เวลานาน จึงทำให้ไฟฟ้ากระแสตรงที่ออกมาเรียบที่สุด ดังรูปที่ 2.16

$$V_p = 1.4V_{rms} \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.15 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.16 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ

2.5 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter)

วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือ วงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ที่เรียกว่าวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (boost converter) ก็เพราะแรงดันไฟฟ้าขาออกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าหรืออาจเรียกว่า Step Converter ซึ่งจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของวงจรกำลัง จะประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุด้านเอาต์พุต ไดโอด และอีกส่วนคือ วงจรควบคุมการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต โดยมีเงื่อนไขในการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

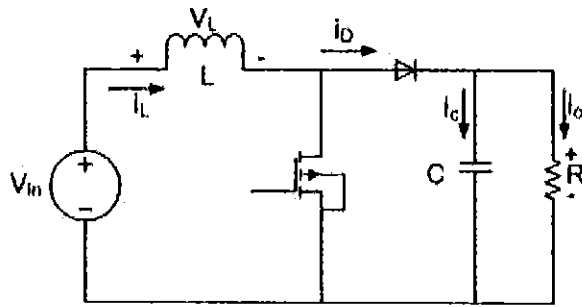
- 1) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นบวกเสมอ
- 2) แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา ในแต่ละคาบเท่ากับศูนย์
- 3) ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าคงที่
- 4) กำลังไฟฟ้าขาเข้ากับกำลังไฟฟ้าขาออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจรไฟฟ้า โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

2.5.1 หลักการทำงาน

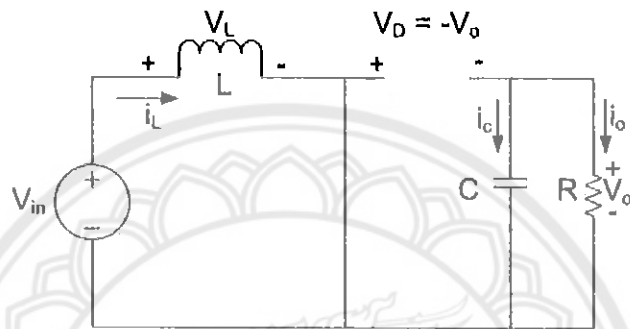
วงจรทบทระดับแรงดันมีหน้าที่สร้างแรงดันขาออกที่มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าแรงดันขาเข้า นิยมใช้ในแหล่งจ่ายกำลังกระแสตรงและการเบรกแบบป้อนกลับ วงจรทบทระดับแรงดันหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 2.17 โดยกำหนดให้ตัวเก็บประจุมีค่ามากพอที่จะให้แรงดันทางด้านออก (V_{out}) คงที่ในสถานะอยู่ตัว

เมื่อสวิตช์ปิด ไดโอดได้รับไบแอสย้อน ทำให้เกิดการแยกกันระหว่างด้านเข้าและด้านออกของวงจรในรูปที่ 2.18 แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับแรงดันของแหล่งกำเนิด (และมีค่าเป็นบวก) แหล่งกำเนิดจ่ายพลังงานให้กับตัวเหนี่ยวนำ กระแสของตัวเหนี่ยวนำจึงมีค่าสูงขึ้นและเกิดการสะสมพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่โหลดได้รับพลังงานจากตัวเก็บประจุ

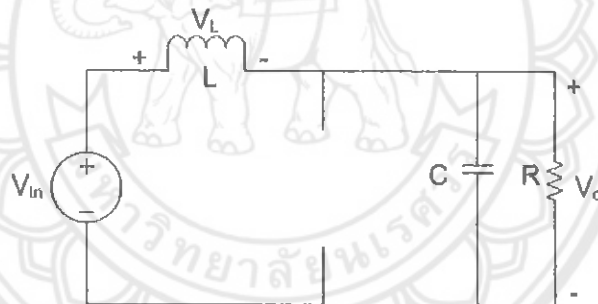
เมื่อสวิตช์เปิด ตัวเหนี่ยวนำคายพลังงานที่สะสมไว้ส่งผลให้ไดโอดนำกระแสและตัวเก็บประจุได้รับพลังงานจากตัวเหนี่ยวนำและแหล่งกำเนิดดังรูปที่ 2.19 ในช่วงนี้แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกมีค่าเป็นลบและ กระแสของตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลงไปด้วย



รูปที่ 2.17 วงจรทบทระดับแรงดัน (Boost Converter)



รูปที่ 2.18 วงจรทบทระดับแรงดัน (Boost Converter) ขณะสวิตช์ปิด (T_{on})



รูปที่ 2.19 วงจรทบทระดับแรงดัน (Boost Converter) ขณะสวิตช์เปิด (T_{off})

2.5.2 คุณสมบัติของวงจรนี้กระแสต่อเนื่อง

กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i_L) จะต่อเนื่อง เมื่อ $L > \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s}$ ลักษณะรูปคลื่น

แสดงดังรูปที่ 2.20

ขณะช่วง (T_{on}) $V_L = V_S$

ความชัน(Slope) ของกระแส $i_L = \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{-V_L}{L} = \frac{V_S}{L}$

ขณะช่วง (T_{off}) $V_S - V_O = -(V_O - V_S)$

ความชัน(Slope) ของกระแส $i_L = \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{V_L}{L}$

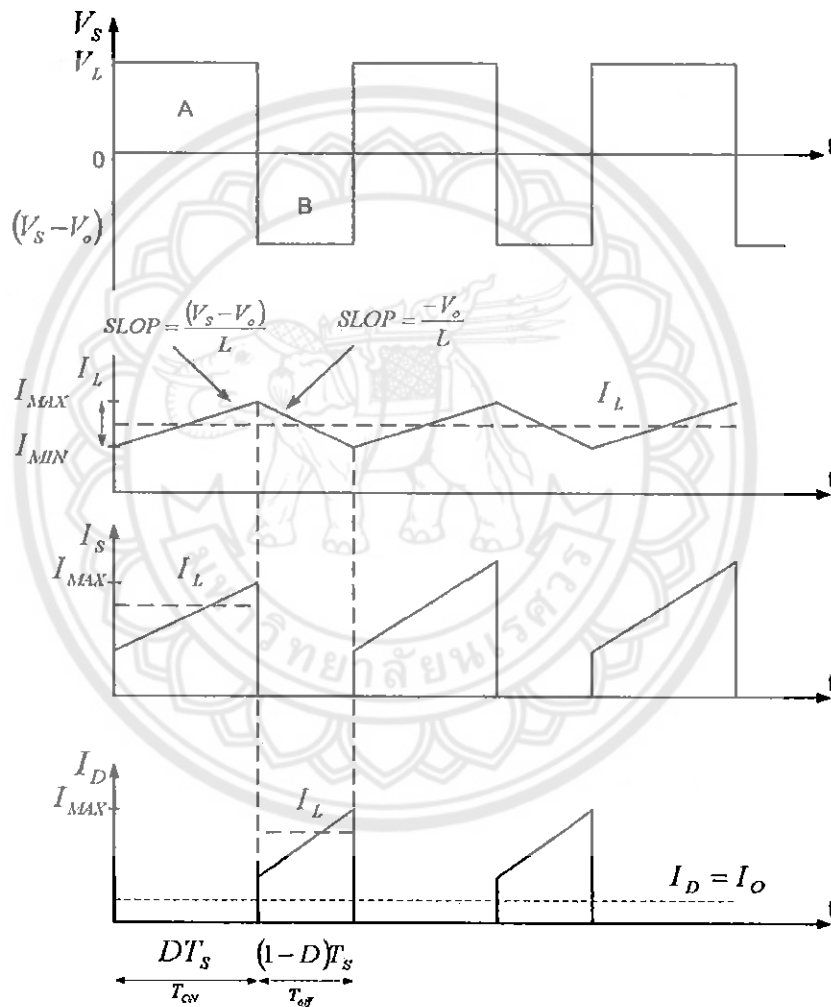
จากรูปที่ 2.20 พื้นที่ A = พื้นที่ B

$$V_s DT_s = -(V_o - V_s)(1 - D)T_s$$

$$V_s D = V_o(1 - D) - V_s(1 - D)T_s$$

$$V_s = V_o(1 - D)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.20 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่อเนื่อง

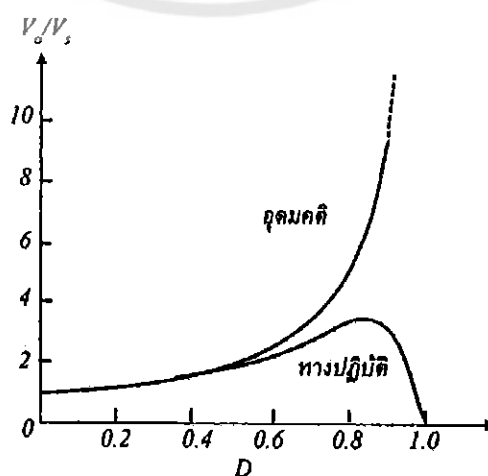
จากการหาความสัมพันธ์ ของอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า เรียกว่า “อัตราส่วนขยายแรงดัน” สามารถหาอัตราส่วนแรงดันขยายได้จากการปรับค่าคิวตี้ไซเคิล ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราการขยายแรงดันของวงจรหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า

Duty ratio (D)	อัตราการขยายแรงดัน (Voltage gain)
	V_s / V_o
0.0	1.00
0.1	1.10
0.2	1.25
0.3	1.43
0.4	1.67
0.5	2.00
0.6	2.50
0.7	3.33
0.8	5
0.9	10
1.0	Infinity

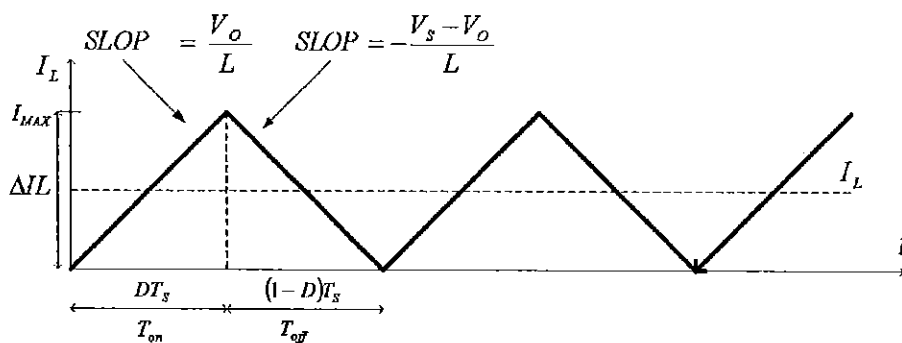
เมื่อค่าดีวตีไซเคิล เพิ่มขึ้นค่าอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีความเสถียรภาพ โดยอัตราการขยายแรงดันตัวสุดท้ายคือหนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้าด้านออก เท่ากันกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ในทางทฤษฎี

แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเล็กน้อยเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด และตัวอุปกรณ์สวิตช์



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายแรงดันกับ D

2.5.3 จุดแบ่งระหว่างการทำงานแบบกระแสต่อเนื่องกับไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.22 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเริ่มไม่ต่อเนื่อง

พิจารณา T_{on}

$$\frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{V_s DT_s}{L}$$

$$I_L = \frac{I_L}{2} = \frac{V_s DT_s}{2L}, \quad V_s = V_s(1-D)$$

$$I_L = \frac{V_o T_s}{2L} D(1-D) \tag{2.4}$$

จากรูปที่ 2.20 สังเกตว่า

$$I_D = I_o = \frac{V_o}{R}$$

จากรูปที่ 2.22

$$I_D = \frac{I_L(1-D)T_s}{T_s} = (1-D)I_L$$

$$I_L = \frac{V_o}{(1-D)R} \tag{2.5}$$

จากสมการที่ (2.4) และ (2.5)

$$\frac{V_o}{(1-D)R} = \frac{V_o T_s}{2L} D(1-D)$$

$$L = \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s}$$

ดังนั้นจุดแบ่งระหว่างการทำงานแบบกระแสต่อเนื่องกับกระแสไม่ต่อเนื่อง คือตำแหน่งที่

$$L = \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s} \text{ เรียก } L \text{ ค่านี้ว่า } L_{min}$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s} \tag{2.6}$$

เมื่อ L_{\min} คือค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดที่ยังคงทำให้กระแสไหลต่อเนื่อง

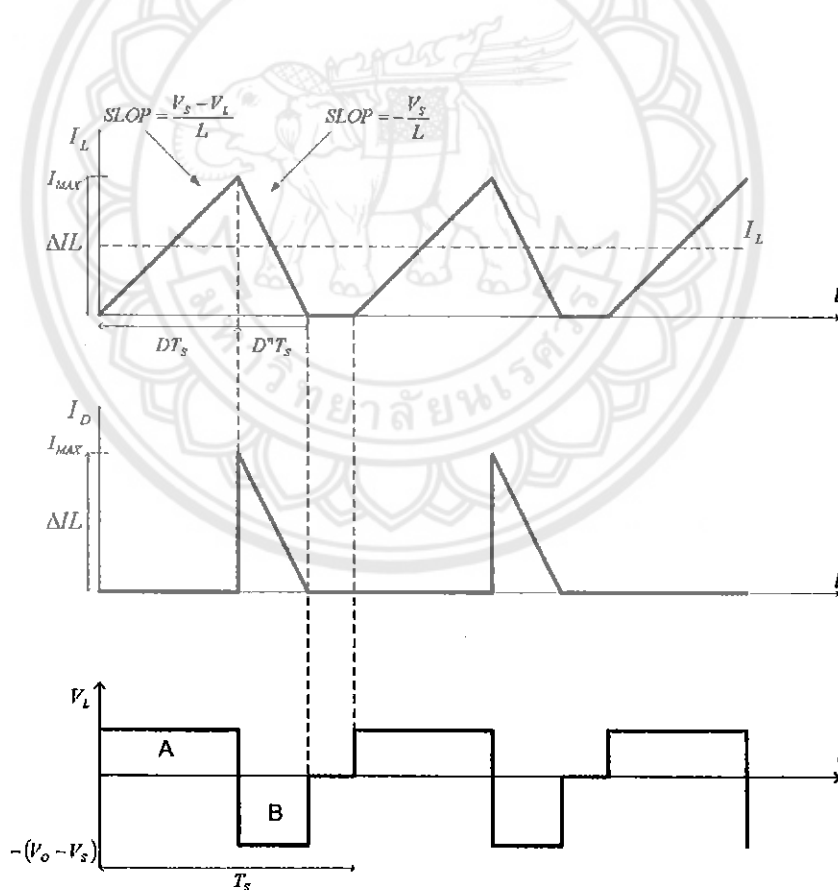
ถ้า $L > \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s}$ เป็นกรณีกระแสต่อเนื่อง $\tag{2.7}$

$$L < \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s} \text{ เป็นกรณีกระแสไม่ต่อเนื่อง} \tag{2.8}$$

2.5.4 คุณสมบัติวงจรกรณีกระแสไม่ต่อเนื่อง

วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าจะทำงานเป็นแบบกระแสไม่ต่อเนื่องเมื่อ $L < \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s}$

มีลักษณะดังรูปที่ 2.23



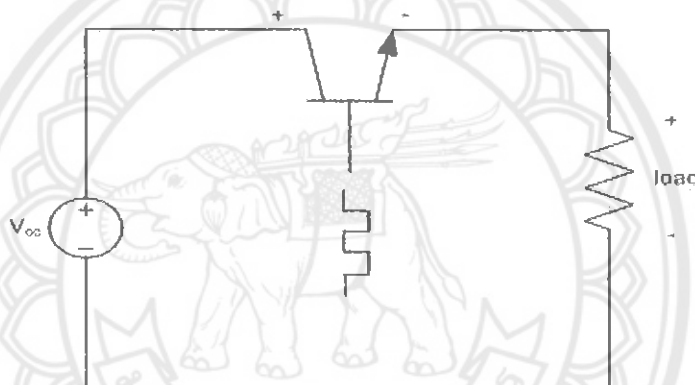
รูปที่ 2.23 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่ต่อเนื่อง

2.6 วงจรชอปเปอร์

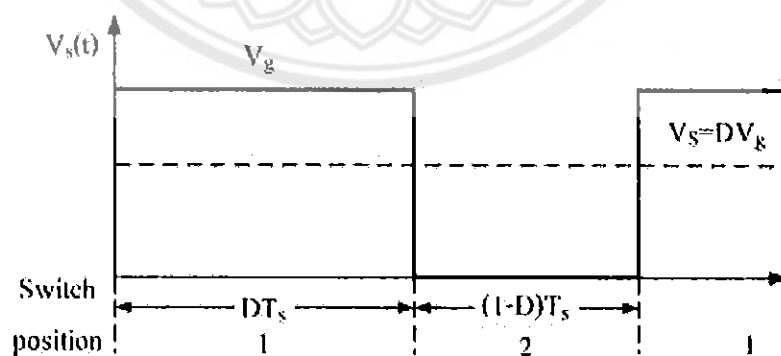
เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ ให้ได้แรงดันเอาต์พุตกระแสตรง ที่สามารถปรับค่าได้ตามที่ต้องการ โดยใช้หลักการ เปิด และ ปิด อิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์การเปิด และปิด อิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์มีวิธีการ 2 แบบคือ

1) Constant – frequency เป็นวงจรชอปเปอร์ที่ควบคุมให้คาบเวลาคงที่ แล้วปรับเวลาเปิด การควบคุมในลักษณะนี้เรียกว่า ความกว้างพัลส์

2) Variable - frequency เป็นวงจรชอปเปอร์ที่ปรับคาบเวลา โดยการปรับเวลาเปิด หรือเวลาปิด การควบคุมแบบนี้เรียกว่า การมอดูเลชันทางความถี่ แต่เนื่องจากการควบคุมในลักษณะนี้ ความถี่มีการเปลี่ยนแปลงในย่านกว้างทำให้ยากในการกรอง



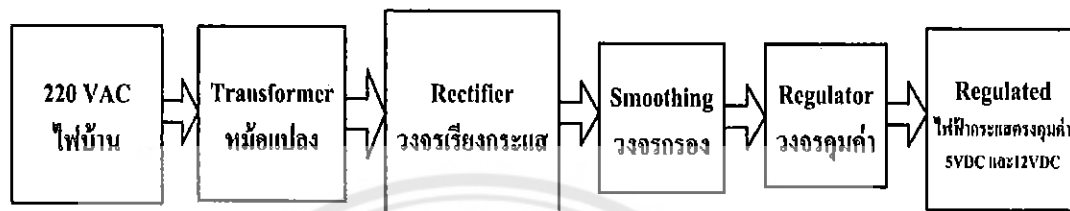
รูปที่ 2.24 วงจรชอปเปอร์



รูปที่ 2.25 รูปสัญญาณแรงดันวงจรชอปเปอร์

2.7 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า (DC Power Supply) คือ ชนิดของแหล่งจ่ายไฟ แหล่งจ่ายไฟมีหลายชนิด ส่วนใหญ่ออกแบบเพื่อแปลงไฟบ้านซึ่งมีแรงดันสูง (ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์) ให้ได้แรงดันไฟฟ้าต่ำ (ไฟฟ้ากระแสตรง) ที่เหมาะสมใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ แหล่งจ่ายไฟสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรม ซึ่งแต่ละบล็อกมีหน้าที่เฉพาะต่างกัน ดังรูปที่ 2.26

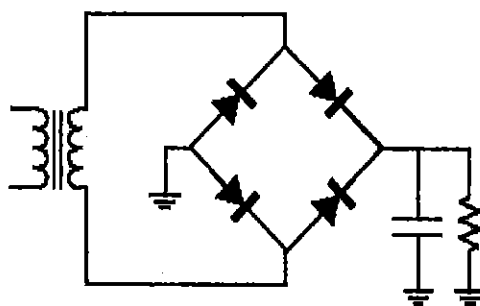


รูปที่ 2.26 บล็อกไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า

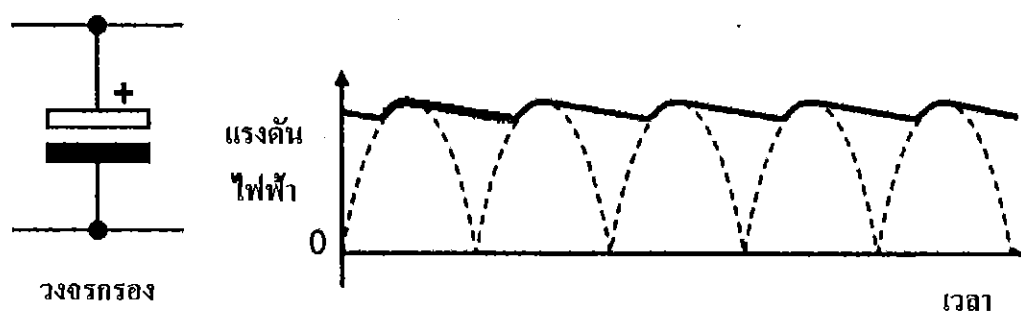
จากบล็อกไดอะแกรม พบว่าหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันไฟฟ้า (ไฟบ้าน) ให้ลดลง (step-down) แล้วส่งไปยังวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และผ่านวงจรกรองเพื่อทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีความเรียบขึ้น จากนั้นส่งไปยังวงจรคุมค่า หรือวงจรเร็กกูเลเตอร์เพื่อปรับลด และคุมค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่เราต้องการ เช่น 5 โวลต์

2.7.1 วงจรกรอง

วงจรกรอง (Smoothing) การกรองเกิดขึ้นโดยการต่อ คาปาซิเตอร์ หรือตัวเก็บประจุค่าสูง คร่อมไฟกระแสตรงที่ออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ดังรูปที่ 2.27 ทำหน้าที่เหมือนบ่อเก็บน้ำ คือ บ่อนแรงดันไฟฟ้าให้กับเอาท์พุท เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขาเข้าของวงจรกรองตกคร่อม ดังรูป 2.28 แสดงให้เห็นการตกของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังไม่กรอง (เส้นประ) และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่กรองแล้ว (เส้นทึบ) ถ้าตัวเก็บประจุมีค่ามาก จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตรงทางด้านเอาท์พุทมีความเรียบมากขึ้นไปด้วย



รูปที่ 2.27 วงจรกรอง

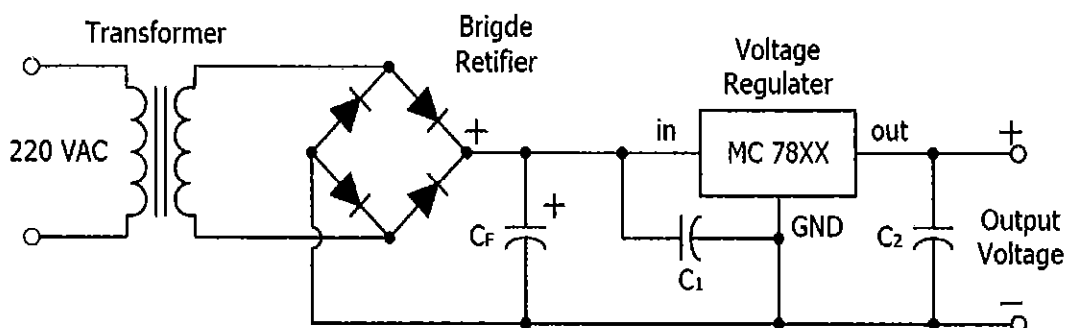


รูปที่ 2.28 แรงดันไฟฟ้าที่ยังไม่ผ่านการกรอง และผ่านการกรองแล้ว

2.7.2 วงจรคุมค่า

วงจรคุมค่า (Regulator) จะใช้ไอซีคุมค่าแรงดันไฟฟ้า เพื่อทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตคงที่ เช่น LM7805 และ LM7812 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ ตามลำดับ ไอซีคุมค่าส่วนใหญ่จะมีวงจรป้องกันอัตโนมัติจาก กระแสเกิน (overload protection) และความ ร้อนเกิน (thermal protection) ไอซีคุมค่าแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่ส่วนมากมี 3 ขา และมีลักษณะคล้าย เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

ดังนั้นวงจรคุมค่า หรือวงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีจะรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอินพุตมา จากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่ผ่านการกรองแรงดันมาแล้ว โดยวงจรเร็กกูเลเตอร์จะทำหน้าที่จ่าย แรงดันไฟฟ้า และรักษาระดับแรงดันให้คงที่ตลอดการใช้งาน วงจรเร็กกูเลเตอร์ที่ใช้เป็นไอซี ซึ่ง ไอซีที่ใช้จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่ระดับสูง (V_{in}) ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ระดับต่ำกว่า (V_{out}) โดยจะกล่าวถึงการใช IC 78xx Series ในวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.29 ซึ่งเป็นวงจรจ่าย แรงดันไฟฟ้าแบบ Fixed Linear Voltage Regulator คือไม่สามารถเปลี่ยนแรงดันเอาต์พุตได้ (มี Linear Voltage Regulator บางตัวที่สามารถเปลี่ยนค่าแรงดันเอาต์พุตได้)

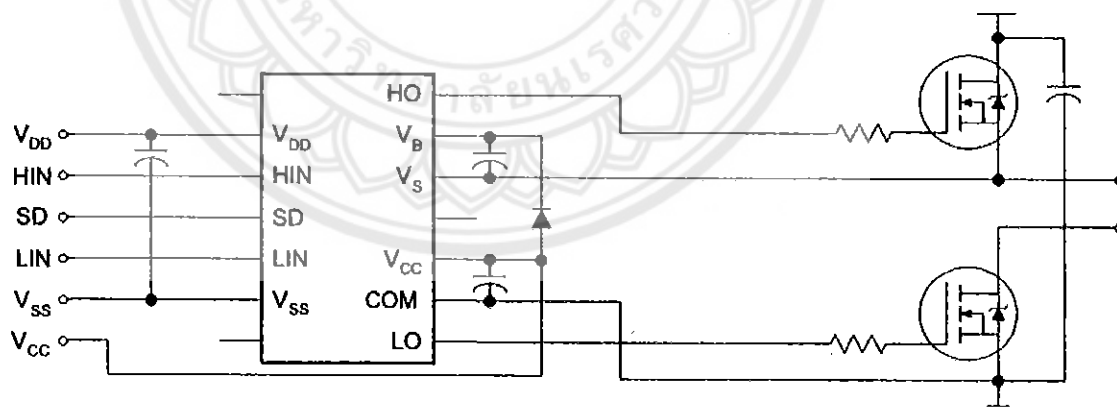


รูปที่ 2.29 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ไอซี

2.8 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำบางชนิด เช่น มอสเฟต ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษอื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมากสามารถถูกนำมาใช้งาน เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ได้เป็นอย่างดี การนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้มาใช้งานเพื่อเป็นสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์ ปกติมักจะมีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เช่น ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุไฟฟ้ามา ประกอบร่วมกันเป็นวงจรไฟฟ้านี้ด้วย วงจรไฟฟ้านี้ถูกเรียกว่า "วงจรสวิตช์ซิ่ง" (Switching circuits) ซึ่งผลการทำงานของวงจรสวิตช์ซิ่งจะทำให้ได้สัญญาณไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นกระแสหรือแรงดัน ก็ได้ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นห้วงๆ ซึ่งไม่ใช่คลื่นไซน์ (Nonsinusoidal wave) แต่เป็นลักษณะของคลื่น ที่มีเหลี่ยมมีมุม โดยที่รูปร่างคลื่นแต่ละช่วงอาจจะซ้ำกันหรือไม่ก็ได้ คลื่นไฟฟ้างี้เรียกว่า "พัลส์" (Pulse)

ในการสร้างวงจรวงจรสวิตช์ซิ่ง (Switching circuits) โดยใช้สัญญาณพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) ขนาด 5 โวลต์ จากบอร์ด Arduino UNO R3 เพื่อมาควบคุมการทำงานของเพา มอสเฟตในการทำหน้าที่เป็นสวิตช์ จึงจำเป็นต้องมีวงจขยายสัญญาณพัลส์ให้มีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่ง โดยทั่วไปการสวิตช์ซิ่งมอสเฟตให้สามารถทำงาน จะต้องให้แรงดันที่ขาเกต (GATE) สูงกว่าแรงดัน ที่ขาซอร์ส (SOURCE) ประมาณ 10-15 โวลต์ ดังนั้นจึงใช้ไอซีเบอร์ IR 2110 ในการขยายสัญญาณ พัลส์ วงจรขยายสัญญาณพัลส์ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (IR2110)

17194804

ปฐ
น 1230
2559



สำนักหอสมุด

10 ต.ค. 2561

2.9 เนื้อสัตว์

เนื้อสัตว์มีความหมายโดยทั่วไปอย่างกว้างๆ คือ ชิ้นส่วนของร่างกายสัตว์ เช่น โค กระบือ สุกร แพะ แกะ ไก่ เป็ด กระจง เป็นต้น ซึ่งมนุษย์นำมาบริโภคเป็นอาหาร ชิ้นส่วนดังกล่าวได้แก่ กล้ามเนื้อ ไขมัน เอ็น ฟังคืด อวัยวะต่าง ๆ เช่น ตับ ปอด หัวใจ และ ส่วนอื่นที่บริโภคได้ รวมถึงผลิตภัณฑ์เนื้อที่ทำมาจากชิ้นส่วนของร่างกายสัตว์ แต่เนื้อของโคและสุกรเป็นเนื้อที่มนุษย์นิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารมากที่สุด ในด้านโภชนาการ เนื้อสัตว์เป็นอาหารที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตมนุษย์มาก เนื่องจากเนื้อมีโปรตีนเป็นองค์ ประกอบหลักซึ่งเป็นโปรตีนที่สมบูรณ์เพราะประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential amino acid) ใน ปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เนื้อสัตว์ยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายกับองค์ประกอบของเนื้อเยื่อร่างกายมนุษย์ และมีแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการ โดยเฉพาะธาตุเหล็กทั้งยังเป็นแหล่งวิตามินบีรวมอีกด้วย การขาดอาหารประเภท เนื้อสัตว์จะส่งผลทำให้ร่างกายไม่เจริญเติบโต เป็น โรคโลหิตจาง ผอม แคระแกร็น กล้ามเนื้อ ไม่มีแรงและเสียการทรงตัว ในเด็กที่มีอายุ 1-5 ปี ที่ขาดโปรตีนและพลังงานอย่างรุนแรงจะทำให้เด็กมีลักษณะฟุงโร ผิวหนังอักเสบและเป็นสีแดง ร่าง กายมีความต้านทาน โรคต่ำ เป็น โรคติดเชื้อได้ง่าย เมื่อเจ็บป่วยแล้วจะหายช้าและมีสติปัญญาต่ำ

2.9.1 โครงสร้างของเนื้อสัตว์

กล้ามเนื้อ เนื้อสัตว์ที่นำมาใช้เป็นอาหาร และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่เป็นส่วนของกล้ามเนื้อซึ่งกล้ามเนื้อของสัตว์ก็ยังมีแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามบทบาทหน้าที่การทำงาน คือกล้ามเนื้อลาย ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อส่วนที่ร่างกายบังคับได้ การทำงานของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับการกระตุ้นของระบบประสาท เช่น กล้ามเนื้อขา และส่วนต่างๆของลำตัวเป็นส่วนที่มีมากที่สุด และนำมาใช้เป็นอาหารและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากที่สุด มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ โปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใยซึ่งเรียกว่า ไมโอไฟบริล อยู่รวมกันเป็น เรียกว่า เส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) มีหน้าที่โดยตรงเกี่ยวกับการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ หากกล้ามเนื้อส่วนใดมีการเคลื่อนที่มาก เช่น เนื้อน่องเส้นใยก็จะแข็งแรงหยาบ เหนียว แต่ส่วนของมีการเคลื่อนไหวน้อย เซลล์ใยจะมีเป็นเส้นบาง นุ่ม เช่น เนื้อสัน ไมโอไฟบริล (myofibril) มีดรวมกันเรียกว่า มัดกล้ามเนื้อ (muscle bundle) หุ้มอีกทีด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) เช่น ฟังคืด เส้นเอ็น และมีเส้นเลือด เนื้อเยื่อไขมันแทรกอยู่ด้วยกล้ามเนื้อเรียบ เป็นกล้ามเนื้อส่วนที่ร่างกายบังคับไม่ได้ ได้แก่ ส่วนของอวัยวะภายใน ที่เรียกว่า เครื่องในของสัตว์ บางส่วนนำมาใช้เป็นอาหารได้ เช่น ตับ ไต ลำไส้ กระเพาะ เป็นต้นกล้ามเนื้อ หัวใจ เป็นกล้ามเนื้อที่ไม่ได้อยู่ในความควบคุมของสมอง ไม่ค่อยมีความสำคัญในการนำมาใช้เป็นอาหาร

เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เนื้อเยื่อชนิดนี้ทำหน้าที่เหมือนชื่อเรียก คือ เกี้ยวและพันหลักๆก็ทำหน้าที่ เกี้ยว พัน มัด และห่อหุ้มกล้ามเนื้อชนิดต่างๆ เส้นเลือด ไขมัน ไขมันไว้ให้อยู่รวมเป็นก้อนเป็นมัด ยึดเนื้อ ให้ติดกับกระดูก ยึดกระดูกให้ติดกัน เนื้อเยื่อชนิดนี้ ที่เรารู้จักกันดี ว่าเป็นผังผืด (ligament) เส้นเอ็น (tendon) เนื้อเยื่อส่วนนี้มีส่วนประกอบหลักเป็นเส้นใยเหนียวๆ อยู่ 2 ชนิด เรียกว่าเส้นใยอีลาสติน (elastin) และเส้นใยคอลลาเจน (collagen) สัตว์ส่วนใหญ่จะมีเส้นใยคอลลาเจนมากกว่า เส้นใยอีลาสติน เมื่อสัตว์อายุมากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันก็ยิ่งแข็งแรง ทำให้เหนียวมาก

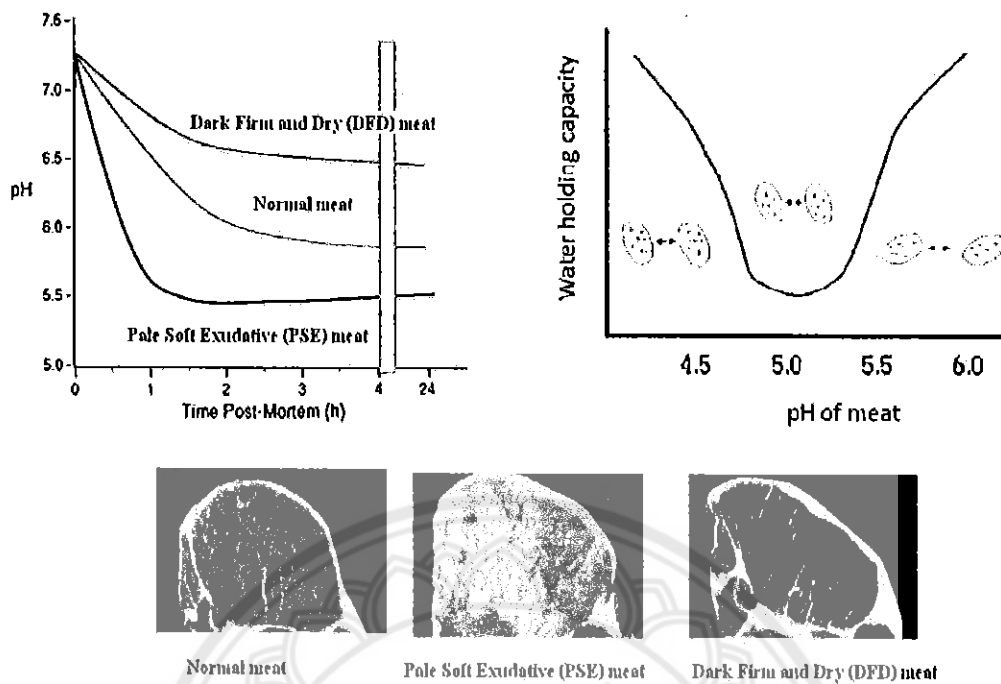
เนื้อเยื่อไขมัน เนื้อเยื่อไขมันจะพบตามส่วนต่างๆ ของร่างกายเช่น อยู่ในกล้ามเนื้อ อยู่นอกกล้ามเนื้อ อยู่นอกหนัง อยู่ในช่องท้อง ปริมาณไขมันในสัตว์ก็ขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์กิน และการเลี้ยงดูเป็นหลัก ก็เหมือนคนนั่นแหละ ออกกำลังกายมากก็มันน้อย ออกกำลังกายน้อยนั่งกินนอนกินก็มันมาก แล้วก็ยังขึ้นอยู่กับว่าเป็นเนื้อส่วนไหน เคลื่อนไหวมากน้อย ถ้าเป็นเนื้อสัน ก็เคลื่อนไหวใช้งานน้อย ก็มีไขมันมากกว่าเนื้อขา เนื้อสัน โคขุนอาจมีไขมันสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ไขมันในเนื้อก็มีผลกับความอร่อยของเนื้อมากๆ เพราะไขมันจะละลาย ทำให้เนื้อนุ่ม ชุ่มน้ำ และที่สำคัญไขมันเป็นแหล่งรวมของกลิ่นรส ทำให้มีกลิ่นหอม เนื้อที่มีไขมันแทรกที่เห็นในรูปเรียกว่า marbling เป็นเนื้อที่มีคุณภาพสูง ไขมันจะแทรกอยู่ในกล้ามเนื้อเป็นสายๆ ลายๆ ราคาแพง

2.9.2 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า

การฆ่าสัตว์ใหญ่ เช่น วัว หมู แพะ แกะ โดยส่วนมากสัตว์จะถูกทำให้สลบ (stunning) ก่อน เพื่อไม่ให้ตื่นทรมานทรมาย และไม่ทรมานขณะฆ่า การฆ่าสัตว์มักตัดหรือแทงคอ แล้วห้อยหัวลง เพื่อให้เลือดถูกแยกออกจากซากให้หมด ถ้ามีเลือดตกค้างในกล้ามเนื้อมาก จะเก็บเนื้อได้ไม่นานเพราะเลือดเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ การเชือดสัตว์ควรทำบนรางแขวน ไม่ให้ซากสัมผัสกับพื้น หลังการเชือดแล้วจึงแยกส่วนที่ไม่ต้องการ เช่น หัว หนัง กีบเท้าออก หากเป็นสัตว์ปีกจะกำจัดขนออก อวัยวะภายในของสัตว์เป็นแหล่งสะสมของจุลินทรีย์ จะถูกแยกออกและป้องกันไม่ให้ปนเปื้อนกับซากสัตว์ จากนั้นจึงล้างทำความสะอาดซาก ตัดแต่งส่วนที่ไม่ต้องการ เช่น ไขมัน กระดูก แล้วจึงชำแหละเพื่อแยกเป็นชิ้นส่วน และการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังการฆ่าแล้วจะมีปริมาณออกซิเจนที่หล่อเลี้ยงเซลล์เนื้อเยื่อจะค่อยๆ ลดลง จนหมดไปไปในที่สุด แต่เซลล์ยังคงมีชีวิตและพยายามที่จะคงความมีชีวิตไว้ด้วยกระบวนการเมแทบอลิซึมแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เนื้อสัตว์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งจากกระบวนการทางชีวเคมีของสัตว์เองและจากจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของเนื้อสัตว์หลังจากการฆ่า มีดังนี้การเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ (rigor mortis) กล้ามเนื้อของสัตว์ขณะที่มีชีวิตจะนุ่ม ยืดหยุ่น เคลื่อนไหวได้ แต่เมื่อสัตว์ตายแล้วระยะหนึ่ง กล้ามเนื้อจะเกร็ง แข็งและเหนียว เรียกว่า ระยะเกร็ง หรือ ริกออร์ทอร์ติส (rigor mortis) เกิดจากการหดตัวในระดับโมเลกุลของโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril) เนื่องจากการเคลื่อนที่เข้ามาจับตัว

กันของโปรตีนแอกติน (actin) และไมโอซิน (myosin) เป็นแอกโตไมโอซิน ขณะที่สัตว์มีชีวิตอยู่ การจับตัวกันของแอกตินและไมโอซิน จะคลายตัวได้ เนื่องจากมีพลังงาน ATP จากการทำงานของหัวใจทำให้กล้ามเนื้อยืดหดและเคลื่อนไหวได้ เมื่อสัตว์ตายเซลล์กล้ามเนื้อขาดพลังงานจากการหายใจ แอกตินกับไมโอซินที่เลื่อนเข้ามาหากัน จะจับกันล็อกแน่น ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว แต่คลายตัวไม่ได้ เนื่องจากขาด ATP ทำให้ซากสัตว์เกร็ง แข็ง อาการนี้จะเป็นอยู่ระยะหนึ่งหลังจากที่สัตว์ตาย สัตว์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น วัว ควาย หมู จะมีระยะ rigor mortis นานกว่าสัตว์เล็ก เช่น ซากโค มีระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ซากหมูมีระยะเวลาประมาณ 10 ชั่วโมง ซากแกะประมาณ 7-8 ชั่วโมง และซากไก่ใช้เวลาเพียง ประมาณ 2-4 ชั่วโมง เป็นคืนการเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่าง (pH) การเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่าง (pH) ของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า มีผลต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์ ทั้งด้านสี รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัส คุณภาพผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ และยังมีผลต่อการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่าง (pH) ของเนื้อสัตว์มีสาเหตุหลักมาจากไกลโคเจน ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นแหล่งพลังงานในกล้ามเนื้อของสัตว์ ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกัน มีโครงสร้างคล้าย อะไมโลเพกทิน (amylopectin) ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อจะถูกใช้ในกิจกรรมการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อของสัตว์ เช่น การเดิน การวิ่ง โดยอาศัยปฏิกิริยาที่เรียกว่า ไกลโคไลซิส (glycolysis) เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจน และจะได้กรดแล็กติก ซึ่งทำให้เกิดการเหม็นอับของกล้ามเนื้อขณะที่สัตว์มีชีวิต กรดแล็กติกจะสลายไปด้วยการหายใจแบบใช้ออกซิเจน เพื่อรักษาระดับค่า pH ของกล้ามเนื้อให้เป็นปกติ สัตว์ที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ มากกว่าสัตว์ที่มีขนาดเล็ก

หลังจากที่สัตว์ถูกฆ่า เซลล์สัตว์ยังคงมีชีวิตและพยายามรักษาความมีชีวิตไว้ ในภาวะที่เซลล์ขาดออกซิเจนด้วยการสลายไกลโคเจนที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ เกิดเป็นกรดแล็กติก สัตว์ที่ถูกเลี้ยงดูดี ได้รับอาหารดี มีสุขภาพดี ไม่เจ็บป่วยหรือบาดเจ็บ ไม่มีความเครียด มีการฆ่าแบบไม่ทรมาน เช่น ทำให้สัตว์สลบก่อนการฆ่า จะเนื้อสัตว์ที่ได้มีคุณภาพดี ค่ากรด-ด่าง (pH) ของเนื้อสัตว์ลดลงจากระดับค่ากรด-ด่าง (pH) ของกล้ามเนื้อขณะมีชีวิตซึ่งมีค่าประมาณ 7.4 ถึงประมาณ 6.2 หรือต่ำกว่านี้เล็กน้อยในเวลา 24 ชั่วโมง เนื้อสัตว์จะมีคุณภาพดี มีกลิ่น สีสัน รสชาติดี และมีการอุ้มน้ำที่ดีเหมาะสมกับการบริโภค และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ นอกจากนี้กรดแล็กติกที่เกิดขึ้นจะช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของเนื้อสัตว์



รูปที่ 2.31 แสดงการลดค่าของกรด-ด่าง(pH) หลังสัตว์ตาย

ผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ากรด-ด่าง(pH) ต่อคุณภาพเนื้อสัตว์การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนื้อสัตว์หลังการฆ่าสัตว์มีผลมากต่อคุณภาพซากสัตว์และเนื้อสัตว์ อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่เกิดขึ้นช้า หรือเร็วเกินไป ทำให้เกิดลักษณะที่ไม่ต้องการในเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะ เนื้อจาก สัตว์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น เนื้อวัว เนื้อหมู แพะ แกะ คังนุ

1) Dark Firm Dry (DFD) เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการของเนื้อสัตว์คือ มีสีเข้ม(Dark) เนื้อแน่น เหนียว ผิดปกติ(Firm) และ ผิวหน้าแห้ง ไม่ชุ่มชื้น(Dry) มีสาเหตุมาจากกล้ามเนื้อสัตว์ขณะที่มีปริมาณไกลโคเจนเริ่มต้นในกล้ามเนื้อน้อย เนื่องจากการเลี้ยงดูที่ไม่ดี สัตว์มีสภาวะเครียด ออกอยากขาดอาหาร บาดเจ็บหรือมีโรค เมื่อสัตว์ตายค่ากรด-ด่าง(pH) ของเนื้อสัตว์จึงสูงผิดปกติ เพราะเกิดกรดแลกติก จากการสลายตัวของไกลโคเจนปริมาณน้อยรสชาติไม่ดี เนื้อสัมผัสแข็งเหนียว ไม่ยืดหยุ่นนอกจากนี้เนื้อสัตว์ลักษณะ DFD ยังเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่ายมาก เพราะค่ากรด-ด่าง(pH) สูง ไม่มีกรดแลกติกซึ่งช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2) Normal meat ค่ากรด-ด่าง(pH) ลดลงแบบปกติเป็นลักษณะที่ต้องการของเนื้อสัตว์ หลังจากสัตว์ตายกล้ามเนื้อจะทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดการสร้างกรดแลกติกขึ้น กรดเหล่านี้จะถูกสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อจึงทำให้กล้ามเนื้อมีความเป็นกรดมากขึ้น เป็นผลให้ค่ากรด-ด่าง(pH) ของกล้ามเนื้อลดลงอย่างช้าๆ จากค่าเดิมประมาณ 7.0 ไปเป็นประมาณ 5.6-5.7 ภายในเวลา 6-8 ชั่วโมงหลังจากที่สัตว์ตาย และลดลงสู่จุดสุดท้ายในช่วง 5.3-5.7 ภายในเวลา 24 ชั่วโมง

3) Pale Soft Exudative(PSE) เป็นลักษณะของเนื้อสัตว์ไม่ต้องการเช่นกันลักษณะคือ มีสีซีด(Pale) เนื้อนุ่ม(Soft) มีน้ำเยิ้ม(Exudative) เกิดกับสัตว์ที่ได้รับการเลี้ยงดูปกติ มีระดับ ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อปกติ แต่สัตว์ความเครียดระยะสั้นๆ ก่อนถูกฆ่า เช่น ระหว่างการขนส่งไปโรงฆ่าสัตว์ สัตว์ตื่นรนต่อผู้ ด้วยความตกใจ หวาดกลัว การฆ่าด้วยความรุนแรง ทารุณ ซึ่งทำให้สัตว์ใช้ไกลโคเจน ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อเพื่อเป็นพลังงาน และได้ กรดแลคติกปริมาณมาก หลังจากสัตว์ถูกฆ่าค่ากรด-ด่าง(pH) ของเนื้อลงอย่างรวดเร็ว จาก ประมาณ 7.4 เหลือ ประมาณ 5.4-5.7 ใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง ทำให้เนื้อสัตว์อุ้มน้ำได้น้ำลง ส่งผลให้เนื้อสูญเสียน้ำในเนื้อทำให้เนื้อมี คุณภาพต่ำ กลิ่นรสเนื้อสัมผัส ไม่ดีและมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เนื้อสัตว์ที่นำไปแช่เยือกแข็ง จะเกิดการสูญเสีย (drip loss) มากหลังการละลาย

2.9.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเนื้อสัตว์

1) สีของเนื้อ สีของเนื้อจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อายุ เพศ การทำงานของกล้ามเนื้อ ปริมาณเม็ดสีในเลือดและเม็ดสีในกล้ามเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของสีภายในกล้ามเนื้อ เป็นต้น ในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่ตายแล้วนั้น ออกซิเจนจะหมดไปทำให้กล้ามเนื้อมีสีแดงคล้ำหรือออกม่วง เมื่อตัดเนื้อจะทำให้เนื้อสัมผัสกับออกซิเจนจากบรรยากาศรอบๆ ทำให้สีจางค่อยๆ เปลี่ยนกลับเป็นสีแดงสดอีกครั้ง แต่ในกล้ามเนื้อที่ผ่านการเสียสภาพทางธรรมชาติอย่างหนักเนื้อที่ได้จะมีสีซีดมาก สีของเนื้อนับเป็นลักษณะประการแรกที่บ่งบอกคุณภาพของเนื้อนั้นและยังขึ้นอยู่กับปริมาณ ไมโอโกลบินที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อสัตว์ สัตว์ต่างชนิดกันมีปริมาณ ไมโอโกลบิน ในเนื้อแตกต่างกัน เช่น เนื้อโคจะมีปริมาณ ไมโอโกลบินมากกว่าเนื้อสุกร จึงทำให้เนื้อโคมีสีเข้มกว่าเนื้อสุกร อายุสัตว์ที่แตกต่างกัน ทำให้มีปริมาณ ไมโอโกลบิน ในกล้ามเนื้อแตกต่างกัน เช่น โคอายุมากจะมีปริมาณ ไมโอโกลบินมากกว่าโคอายุน้อย และเพศของสัตว์ที่แตกต่างกันพบว่าเนื้อจากสัตว์ตัวผู้จะมี ไมโอโกลบินมากกว่าตัวเมีย นอกจากนี้ กล้ามเนื้อของสัตว์บริเวณที่ต้องถูกใช้งาน เช่น บริเวณขาหน้าและขาหลังจะมี ไมโอโกลบินปริมาณมากเนื้อที่ได้จึงมีสีเข้มกว่าส่วนที่ออกกำลังหรือถูกใช้งานน้อย

เม็ดสีที่ให้สีแดงแก่เนื้อสัตว์ คือ ฮีโมโกลบิน และไมโอโกลบิน ฮีโมโกลบินยังคงเหลือติดอยู่บ้างเล็กน้อยในเส้นเลือดฝอยหรืออวัยวะที่มีเลือดหล่อเลี้ยงมากๆ ฮีโมโกลบินจะพาออกซิเจนไปตามเส้นเลือดเพื่อส่งให้อวัยวะต่างๆ ไมโอโกลบินรับออกซิเจนจากฮีโมโกลบินไว้ใช้ในการหดตัวของเซลล์กล้ามเนื้อ เนื้อสัตว์มีสีเข้มมากน้อยไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้เป็นชนิดของสัตว์ เช่น เนื้อวัวสีเข้มสดกว่าเนื้อหมูแล อายุของสัตว์ เช่น เนื้อของสัตว์ที่มีอายุมากจะมีสีเข้มมากกว่าเนื้อของสัตว์ที่มีอายุน้อย การออกกำลังกายของสัตว์ เช่น อวัยวะส่วนที่ออกกำลังกายมาก จะมีสีเข้มมากกว่าส่วนที่ออกกำลังกายน้อยอาหารของสัตว์

สีที่เปลี่ยนไปแล้วก่อให้เกิดปัญหาในเนื้อสัตว์ คือ ไมโอโกลบินเปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาลแดงชื่อ เมทไมโอโกลบิน จะเกิดขึ้นเมื่อเหล็กในฮีมเปลี่ยนจาก ferrous เป็น ferric เนื่องจากเหล็กถูกเติมออกซิเจน การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงไม่ได้ทำให้รสชาติของเนื้อเสียไป แต่มองดูไม่น่ากินเท่านั้น สารที่ช่วยลดออกซิเจนสามารถเปลี่ยนให้เมทไมโอโกลบินกลับเป็นไมโอโกลบินได้ การเกิดเมทไมโอโกลบินจะเกิดได้รวดเร็วเมื่อมีแบคทีเรียเจริญ และในที่อยู่อุณหภูมิสูง สภาพที่ทำให้โปรตีนโกลบินเปลี่ยนลักษณะธรรมชาติ ก็เร่งปฏิกิริยาการเกิดเมทไมโอโกลบิน เช่น การแช่แข็ง เกลือ แสง อุตราไวโอเลต และโลหะบางชนิด การเปลี่ยนสีเนื่องจากการเกิดการเกิดเมทไมโอโกลบินสามารถป้องกันได้โดยการเติมวิตามินซีลงไป หลังจากที่เนื้อสัตว์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงเพราะเกิดจากเมทไมโอโกลบินแล้ว ปฏิกิริยาของเอนไซม์และการกระทำของแบคทีเรีย อาจทำให้ออกซิเจนเข้าไปในเนื้อสัตว์อีก ทำให้มีสารสีน้ำตาล เขียวหรือซีด เมื่อถึงขั้นนี้แล้ว รสและกลิ่นของเนื้อก็จะเปลี่ยนไป ไม่สามารถทำให้กลับคืนมาอีกได้ ในการหุงต้ม ตอนแรกเนื้อจะมีสีแดง(ซึ่งเป็นสีของออกซีสีโมโกลบิน) ต่อมาเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของออกซีสีโมโกลบินลดลง เนื้อสัตว์จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล(เป็นสีที่บ่งบอกว่าเนื้อสุกแล้ว) และเหล็กถูกเติมออกซิเจน เปลี่ยนจาก ferrous เป็น ferric ได้ สารชื่อ denatured globin hemichrome สารนี้เร่งการเกิดปฏิกิริยาการเหม็นหืนของไขมันในเนื้อสุกด้วยเหตุนี้เนื้อสุกที่เก็บไว้ในตู้เย็นจึงมีกลิ่นหืนภายในเวลาอันสั้น

2) ความนุ่มของเนื้อสัตว์ชนิดและปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน(พังผืด) เนื้อที่มีพังผืดมากจะเหนียวมาก ถ้ามีพังผืดน้อยก็จะไม่เหนียว เนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อสัตว์มี 2 ชนิด คือ คอลลาเจนสีขาวและอีลาสตินที่มีสีเหลือง แม้ว่าเนื้อเยื่อคิบบี อีลาสตินจะเหนียวน้อยกว่าคอลลาเจน แต่อีลาสตินไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนในขณะที่คอลลาเจนสลายตัวให้เจลาติน ดังนั้นเนื้อในส่วนที่มีอีลาสตินจึงเหนียวกว่าส่วนที่มีคอลลาเจน ชนิดและปริมาณของพังผืดสัตว์ต่างชนิด ต่างอายุ และต่างเพศ ย่อมแตกต่างกัน เนื้อวัวมีพังผืดมากกว่าเนื้อหมู เนื้อปลาส่วนใหญ่นุ่มเพราะมีพังผืดน้อยมาก เนื้อของสัตว์ที่มีอายุมากจะมีพังผืดมากกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย เนื้อควายแก่จึงเหนียวกว่าควายนุ่ม สัตว์ตัวผู้ที่มีพังผืดมากกว่าตัวเมีย ยกเว้นไก่ตัวผู้ที่ตอนแล้ว สัตว์ที่ออกกำลังกายมากจะมีพังผืดมาก และมีอีลาสตินมากด้วย

ลักษณะและตำแหน่งของกล้ามเนื้อ เนื้อสัตว์ส่วนที่มีเซลล์กล้ามเนื้อมากเป็ยคั้นแน่น แข็งแรงและหยาบกว่า ตั้งแต่เกิด จำนวนเซลล์กล้ามเนื้อไม่เปลี่ยนแปลง แต่ขนาดและความยาวของเซลล์จะมากขึ้น กล้ามเนื้อของสัตว์ที่มีอายุมากจะมีขนาดใหญ่กว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย เนื้อของสัตว์แก่จึงเหนียวกว่าสัตว์อ่อน เซลล์กล้ามเนื้อของสัตว์ตัวเมียมีขนาดเล็กและละเอียดกว่าสัตว์ตัวผู้(ยกเว้นตัวผู้ที่ถูกตอนแล้ว) อวัยวะส่วนที่ออกแรงมากจะเหนียวกว่าส่วนที่ไม่ได้ออกแรง

3) ความแน่นเนื้อขณะสัตว์มีชีวิตอยู่นั้นกล้ามเนื้อจะมีลักษณะที่ค่อนข้างแน่นและสามารถคงรูปร่างที่แน่นอนได้ตลอดเวลา เมื่อสัตว์ตายกล้ามเนื้อที่เกิดการเกร็งตัวจะมีลักษณะแน่นและแข็งทื่อ เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการย่อยสลาย ตัวเอง และเกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนจึงทำให้

กล้ามเนื้อเริ่มอ่อนตัวลง ในกรณีที่เกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีนอย่างรุนแรงมาก กล้ามเนื้อจะอ่อนลงตัวจนกลายเป็นเหลวเกินไปซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ

4) ความสามารถในการอุ้มน้ำในกล้ามเนื้อมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 65-80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกล้ามเนื้อทั้งหมด น้ำเหล่านี้ จะถูกจับไว้ในเส้นใยกล้ามเนื้อโดยเกาะอยู่กับโปรตีน เมื่อโปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติจะทำให้โมเลกุลของน้ำเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาได้ ดังนั้นเนื้อที่มีค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วใน 1 ชั่วโมงหลังฆ่า กล้ามเนื้อเกิดการเสียสภาพตามธรรมชาติจึงทำให้เนื้อมีความสามารถในการจับน้ำต่ำมาก และจะส่งผลให้มีน้ำไหลซึมออกจากกล้ามเนื้อในทางตรงกันข้าม ในเนื้อที่มีค่าพีเอชลดลงเพียงเล็กน้อย น้ำส่วนใหญ่จะถูกโปรตีนจับไว้ซึ่งถือว่ามีความสามารถในการจับน้ำสูงกว่าปกติ การทราบการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ถูกฆ่าจะช่วยให้ปฏิบัติ กับเนื้อได้ถูกต้องมากขึ้นเพื่อให้ได้เนื้อที่มีลักษณะทางเคมีและทางกายภาพที่ดี รวมถึงมีความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ด้วย

5) รสชาติของเนื้อสัตว์ในกล้ามเนื้อสัตว์มีสารหลายอย่าง เช่น น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน เม็ดสี เกลืออินทรีย์และอนินทรีย์ น้ำเนื้อสัตว์ที่มีในโตรเจน ได้แก่ ครีเอติน และยูเรีย เป็นต้น น้ำเนื้อส่วนที่ไม่มีในโตรเจน ได้แก่ กรดแลคติก เป็นต้น สารเหล่านี้จะให้กลิ่นและรส แต่เดิมเข้าใจว่าน้ำเนื้อส่วนที่มีและไม่มีในโตรเจน โดยเฉพาะครีเอติน และครีเอตินิน เป็นสารที่ให้กลิ่นและรสที่สำคัญ แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้ค้นพบว่า สารพวกนี้มีรสและกลิ่นอ่อนมากรสชาติของเนื้อมาจากส่วนที่เป็นน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อ รสหวานและเค็มของเนื้อมาจากเลือด ดังนั้น ถ้าล้างเนื้อจนน้ำในเนื้อไหลออกไปหมด เนื้อสัตว์จะซีดไม่มีกลิ่นและรส การหุงต้มทำให้รสชาติดีขึ้นบ้าง เพราะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เส้นใยโปรตีนในเซลล์กล้ามเนื้อ นอกจากสารต่างๆดังที่กล่าวมาแล้ว

บทที่ 3

การออกแบบและการทดสอบวงจร

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการออกแบบหรือการสร้างวงจรควบคุม และวงจรกำลัง รวมถึงการทดสอบวงจร วิธีการใช้ และขั้นตอนการประกอบวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

3.1 การออกแบบวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

ในการออกแบบเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า ได้ออกแบบให้มีพิกัดแรงดันไม่เกิน 90 โวลต์ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ และเรื่องความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ โดยการออกแบบจะคำนึงถึงขนาดของชิ้นเนื้อ โคนุ่มที่นำมากระตุ้น และระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นเนื้อ โคนุ่ม เพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ และวงจรไฟฟ้าที่ได้ออกแบบไว้

วงจรควบคุม การออกแบบวงจรนี้จะเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 เป็นตัวควบคุม โดยที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 จะไปควบคุมการปล่อยสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ที่ปล่อยออกมาในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square-wave) ให้วงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ (Drive Circuit) เพื่อไปสวิตซ์ซึ่งมอเตอร์ของ วงจรทบทแรงดัน และทรานซิสเตอร์ในวงจรชอปเปอร์ให้ทำงาน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ต่อเพิ่มเติมในวงจรควบคุมเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานเครื่อง โดยอาศัยสัญญาณควบคุมจาก Arduino เช่น

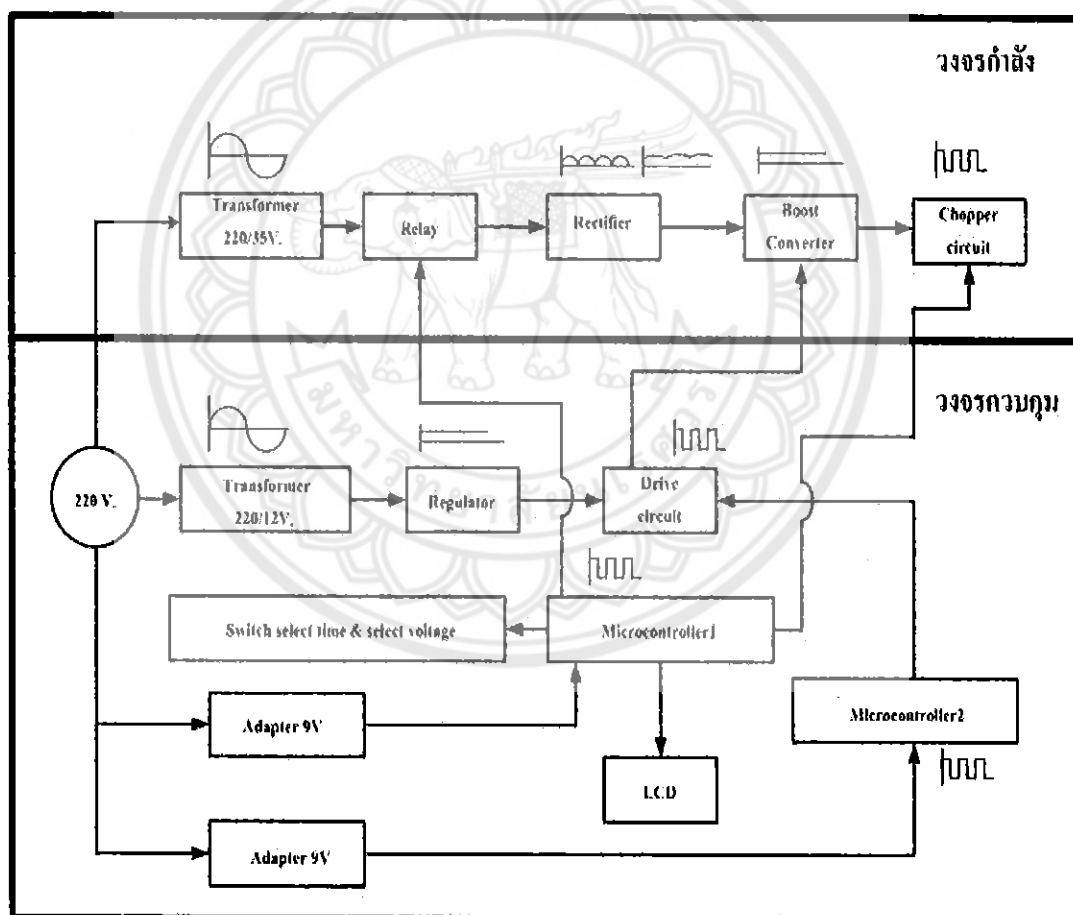
- 1) จอแสดงผลแอลซีดีเพื่อใช้แสดงคำสั่งต่างๆ
- 2) สวิตซ์ (Switch) เพื่อใช้ในการกด เพิ่ม-ลดเวลา และเริ่ม-หยุดการทำงานของวงจรกำลัง
- 3) หลอดแอลอีดีเพื่อใช้สัญญาณไฟแสดงการทำงานของวงจรควบคุม
- 4) วงจรรีเลย์ เพื่อใช้ตั้งเวลาการส่งแรงดันไฟฟ้าของวงจรกำลัง
- 5) ตัวต้านทานปรับค่าได้ ใช้ปรับค่าความถี่ไซเคิล เพิ่ม-ลดระดับแรงดันไฟฟ้า

การออกแบบเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า จะมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) ใช้ได้กับไฟกระแสสลับ 220 โวลต์
- 2) ปรับตั้งแรงดันพัลส์กระแสตรงได้ตั้งแต่ 50-90 โวลต์
- 3) จ่ายกระแสได้ไม่เกิน 1 แอมแปร์
- 4) สามารถปรับค่าความถี่ไซเคิล ได้ตั้งแต่ 0.02-0.45
- 5) สามารถปรับตั้งเวลาการทำงานได้ ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน

วงจรกำลัง ในส่วนนี้จะประกอบด้วย หม้อแปลงที่ทำหน้าที่แปลงแรงดัน 220 โวลต์ ให้เป็น 35 โวลต์ (AC-AC) และส่งแรงดันไปยังวงจรเรียงกระแส (AC-DC) โดยมีวงจรีเลย์ทำหน้าที่ตัดหรือต่อการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทระดับแรงดันต่อไปเพื่อทำการเพิ่มระดับแรงดันในระดับที่ต้องการ จากนั้นจ่ายแรงดันไปที่ วงจรชอปเปอร์ (สร้างพัลส์แรงดัน) ตามลำดับ

วงจรควบคุมในส่วนนี้จะประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) ในโครงการจะใช้เป็น Arduino UNO R3 ให้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์เพื่อไปสวิตซ์ซึ่งมอสเฟตในวงจรทระดับแรงดัน โดยสัญญาณพัลส์จะต้องผ่านวงขยายสัญญาณพัลส์ (Drive Circuit) ก่อนเพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดเพิ่มขึ้นพอที่จะสวิตซ์ซึ่งมอสเฟตให้เริ่มทำงานได้ นอกจากนี้ยังใช้ Arduino UNO R3 เป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น จอแสดงผลแอลซีดี สวิตซ์ เป็นต้น



รูปที่ 3.1 แผนภาพวงจรการทำงานชุดอุปกรณ์ของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

3.2 ขั้นตอนการออกแบบและการทดสอบวงจร

สำหรับโครงการนี้ เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า โดยจะมีการออกแบบตัวเครื่อง และออกแบบวงจรไฟฟ้า ดังนี้

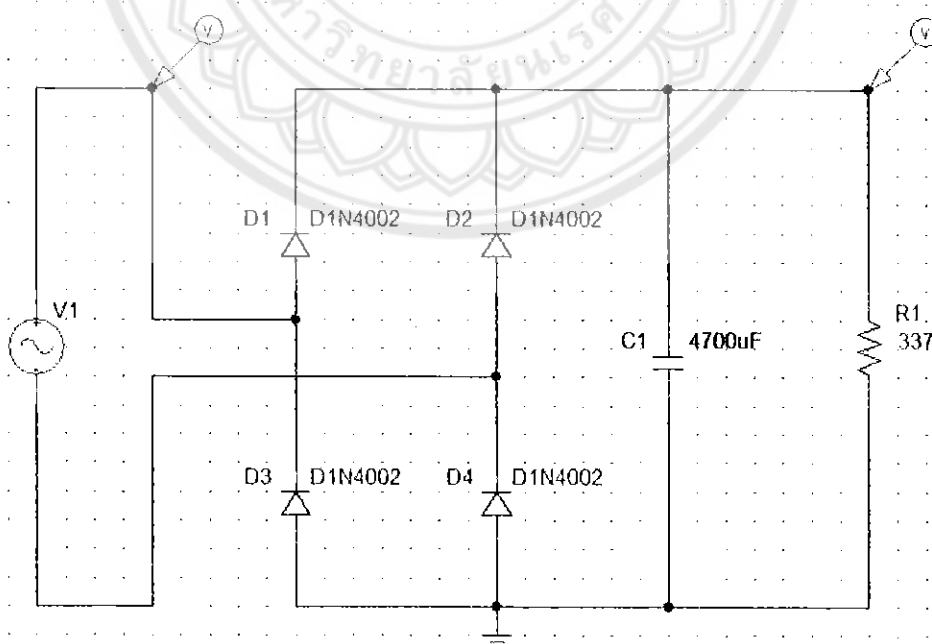
- 1) วงจรเรียงกระแส
- 2) วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
- 3) วงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ
- 4) วงจรทบทระดับแรงดัน
- 5) วงจรวงจรชอปเปอร์

โดยมีรายละเอียดในการออกแบบ และในการเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างเหมาะสมดังนี้

3.2.1 วงจรเรียงกระแส

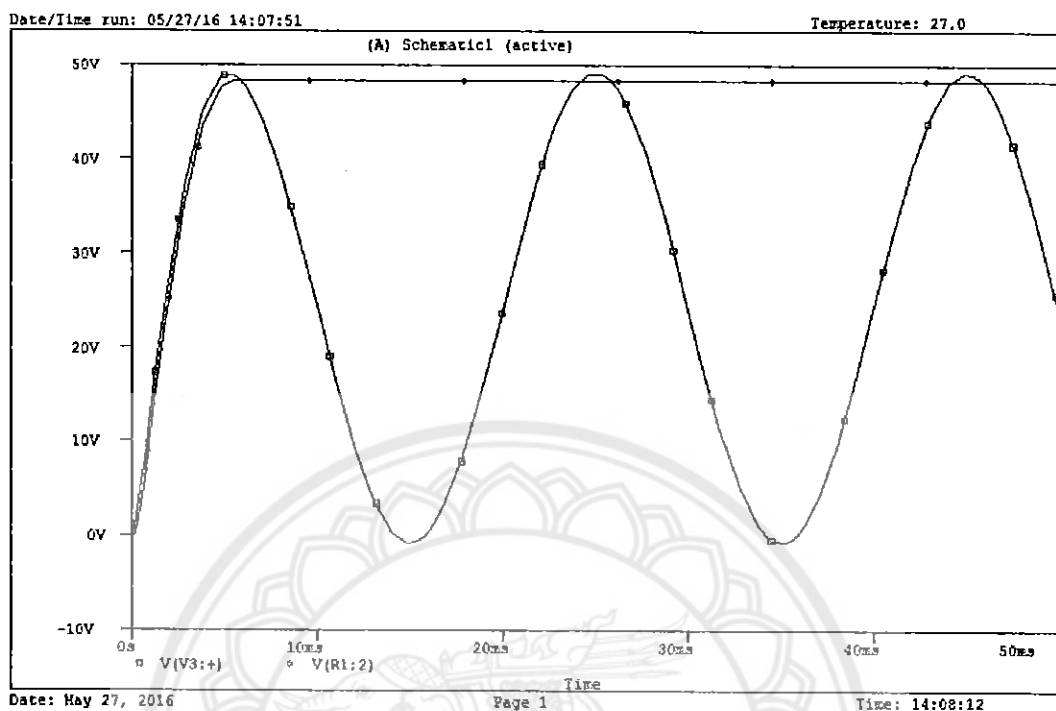
เนื่องจากเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้านี้ ต้องการไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นจึงได้มีวงจรเรียงกระแส เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับจากหม้อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาออก

สำหรับโครงการนี้เราได้เลือกใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และได้โอดจะนำกระแสครั้งละสองตัว ทำให้ไดโอดทนแรงดันสูงขึ้น

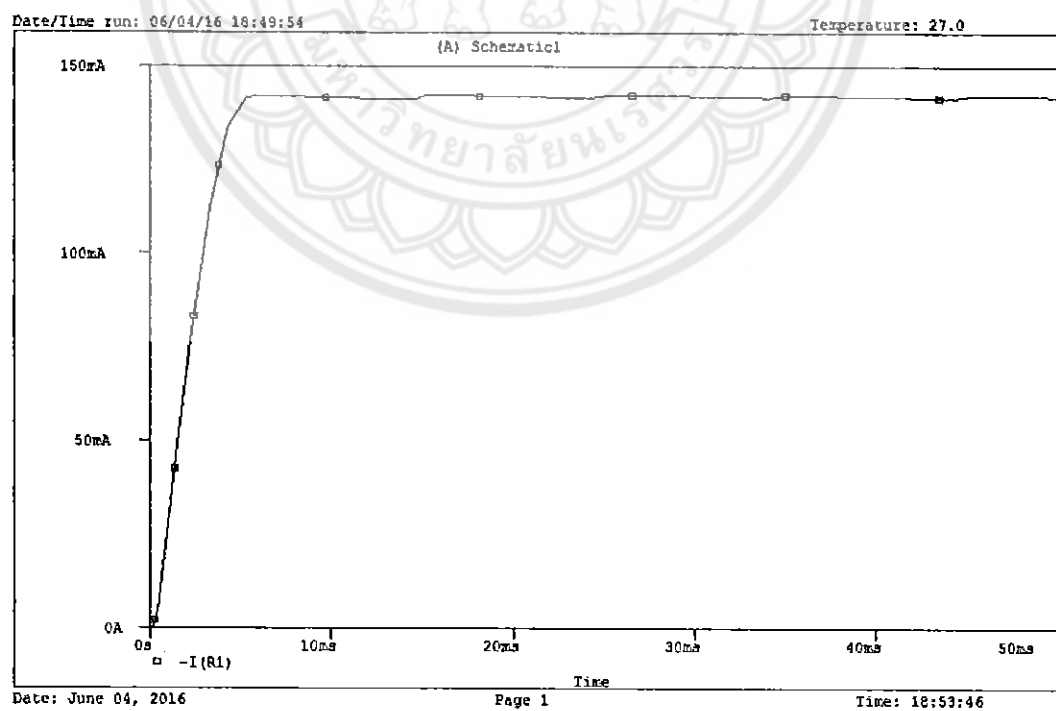


รูปที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ทำการซิมูเลท โปรแกรม Pspice ได้สัญญาณแรงดันขาออก ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แรงดันไฟฟ้าที่ขาออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

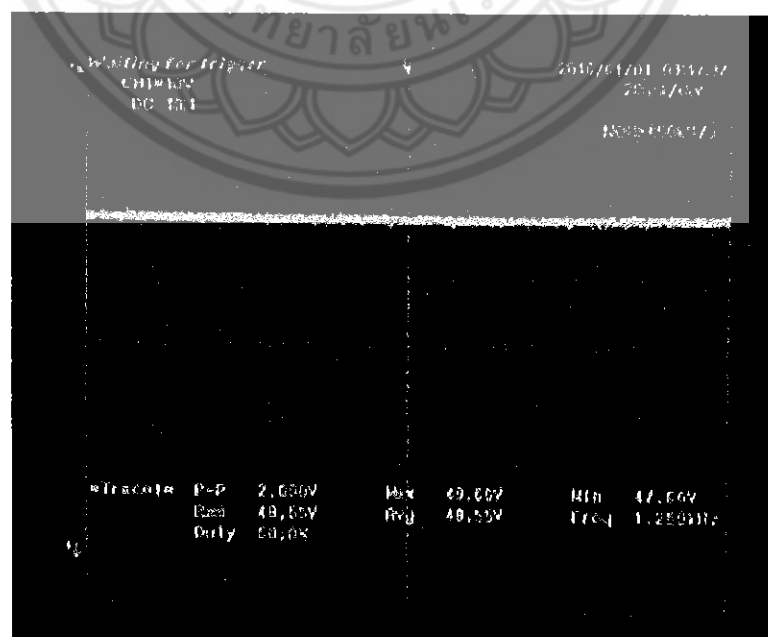


รูปที่ 3.4 กระแสไฟฟ้าที่ขาออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ทำการต่อวงจรเรียงกระแสที่ได้ออกแบบไว้โดยใช้ตัวเก็บประจุขนาด 4700 ไมโครฟารัด และวงจรบริดจ์ ดังรูปที่ 3.5 และเมื่อใช้ข้อสซิโลสโคปวัดพบว่า รูปสัญญาณจะมีลักษณะที่เรียบ เนื่องจากสัญญาณแรงดันขาออกถูกวงจรเรียงกระแส เปลี่ยนจากรูปสัญญาณที่ไม่เรียบ ให้มีลักษณะที่เรียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



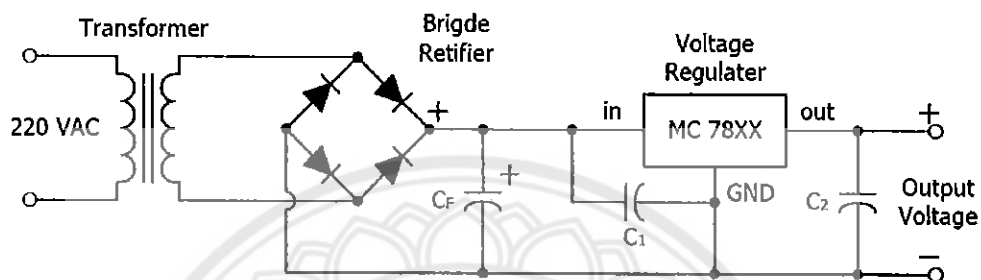
รูปที่ 3.5 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)



รูปที่ 3.6 สัญญาณแรงดันออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

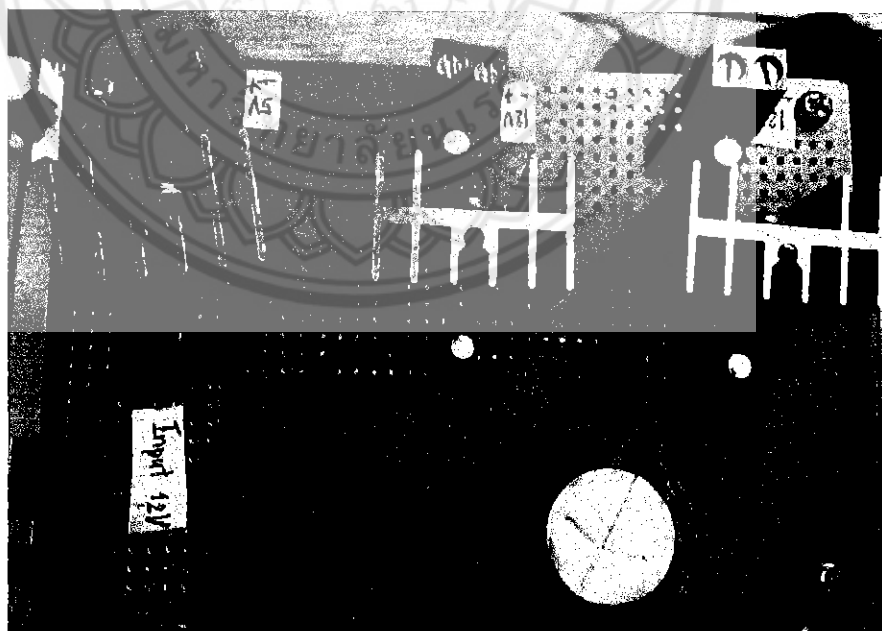
3.2.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องจากวงจรขยายพัลส์สัญญาณใช้ไอซีเบอร์ IR 2110 ทำหน้าที่ขยายพัลส์สัญญาณเพื่อนำไปสวิตซ์ซึ่งมอเตอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่แปลงระดับไฟฟ้ากระแสตรงและรักษาระดับแรงดัน โดยใช้ ไอซีเบอร์ LM7805 และ LM7812 มาต่อวงจรดังรูปที่ 3.7 เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับ ไอซีเบอร์ IR 2110 ในวงจรขยายพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 3.7 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

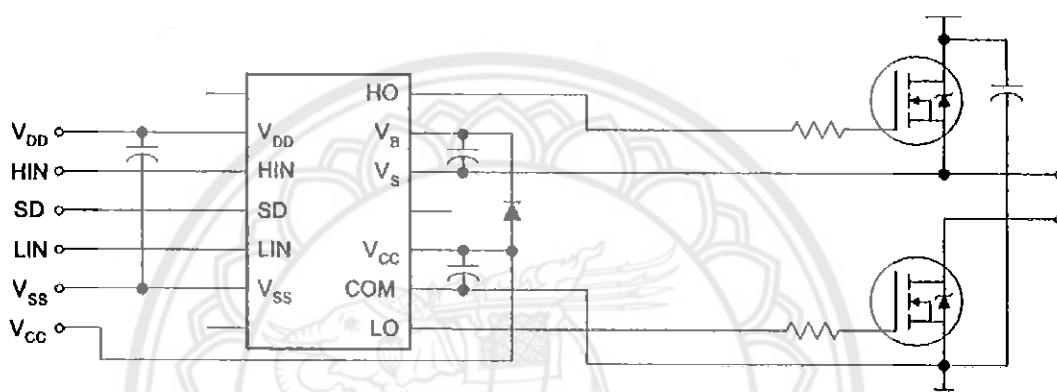
ในการใช้ไอซีเบอร์ LM7812 และ LM7805 แปลงแรงดันให้มีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็น 12 โวลต์ และ 5 โวลต์ ตามลำดับ โดยแรงดันทางด้านอินพุตจะถูกส่งมาจากวงจรบริดจ์เรียงกระแส ในการออกแบบวงจรจะเป็นดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)

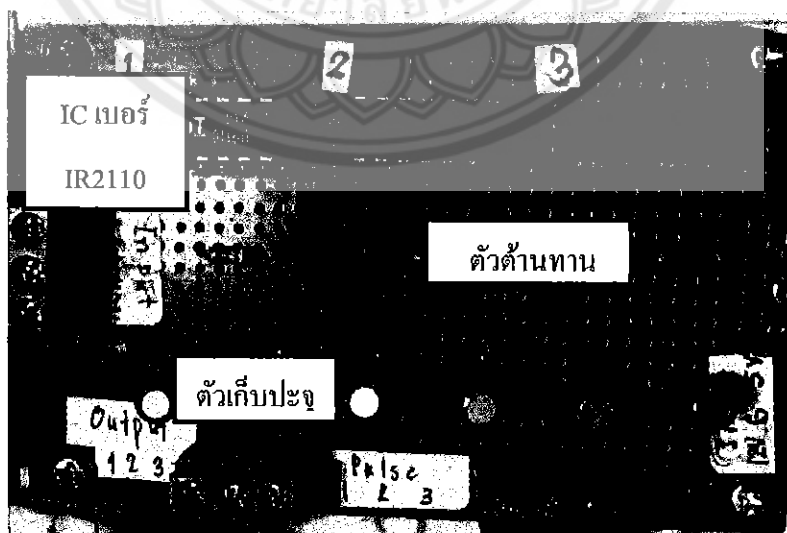
3.2.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ

สร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์ จากเบอร์ IR 2110 เพื่อนำสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Arduino UNO R3 ไปขยายสัญญาณสวิทซ์ซึ่งมอสเฟต เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่สร้างจากบอร์ด Arduino UNO R3 มีค่าแอมปริจูดประมาณ 5 โวลต์ไม่เพียงพอที่จะไปสวิทซ์ซึ่งมอสเฟตให้ทำงานได้ จำเป็นต้องมีวงจรสำหรับขยายสัญญาณพัลส์ โดยใช้ไอซีเบอร์ IR 2110 เป็นตัวขยายสัญญาณพัลส์จากบอร์ด Arduino UNO R3 โดยมีสัญญาณที่ถูกขยายสามารถนำไปสวิทซ์ซึ่งมอสเฟตในวงจรทบระดับแรงดัน



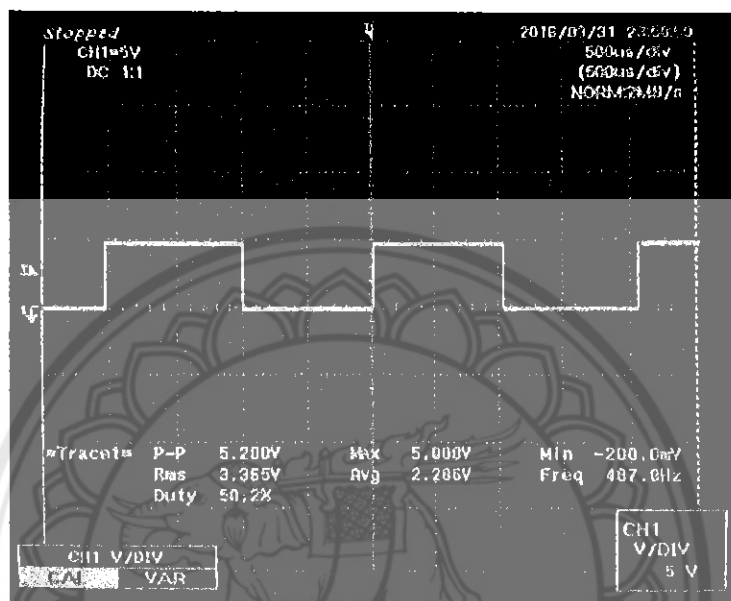
รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

วงจรขยายสัญญาณพัลส์หรือวงจรสวิทซ์ซึ่งมอสเฟต โดยวงจรจะประกอบไปด้วยไอซีเบอร์ IR 2110 ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน ที่ได้ประกอบเสร็จแล้วดังแสดงในรูปที่ 3.10

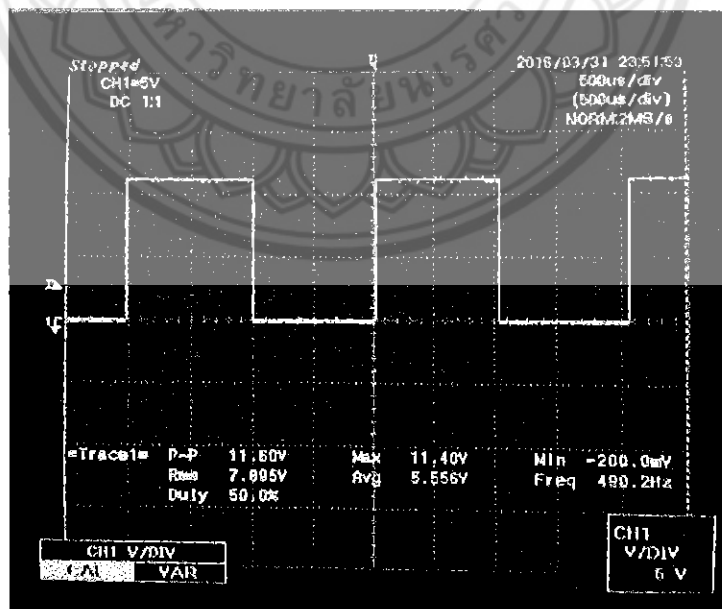


รูปที่ 3.10 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)

โดยสัญญาณที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อใช้ ออสซิลอสโคปวัด พบว่าสัญญาณแรงดันที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ มีค่าเท่ากับ 5.2 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 เมื่อได้ประกอบวงจรขยายสัญญาณเข้าไป ทำให้แรงดันขาออกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อใช้ออสซิลอสโคปวัด พบว่าสัญญาณแรงดันมีค่า 11.6 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 สัญญาณแรงดันที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ($D = 50$ เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 3.12 สัญญาณแรงดันที่ออกมาจากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ ($D = 50$ เปอร์เซ็นต์)

3.2.4 วงจรทบทระดับแรงดัน

เนื่องจากค่าความต้านทานของเนื้อ โคมิผลต่อการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันจึงจำเป็นต้องทดสอบหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของเนื้อ โคมิ โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่พิกัด 50 โวลต์ เข้าไปในเนื้อ โคมิ แล้ววัดกระแสได้ 0.148 แอมแปร์ จาก

$$V = IR \quad (3.1)$$

จากสมการ (3.1) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานของเนื้อ โคมิค่าเท่ากับ 337 โอห์ม และการออกแบบวงจรทบทระดับแรงดัน จำเป็นต้องมีขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเหมาะสมกับวงจรที่ใช้งานในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ เพื่อให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตเพิ่มขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหาได้จากสมการของ (L_{\min}) ดังนี้ (โดยค่าของ (L_{\min}) จะเป็นจุดแบ่งระหว่างการทำงานแบบกระแสต่อเนื่องกับไม่ต่อเนื่อง)

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s} \quad (3.2)$$

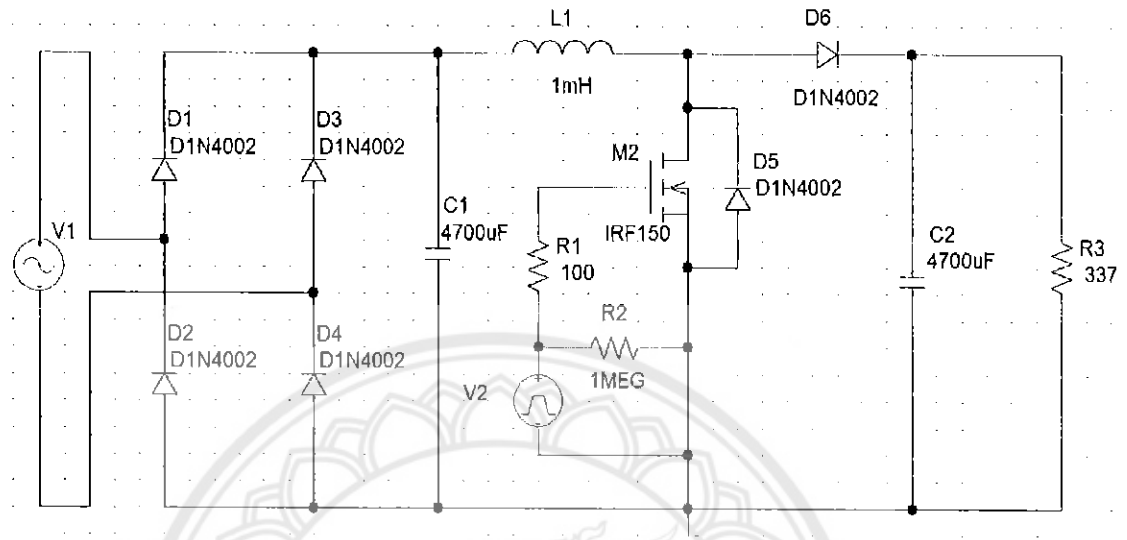
โดยการออกแบบกำหนดให้มี ค่าความถี่ที่ใช้งาน (f_s) เท่ากับ 25 กิโลเฮิรตซ์ ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 338 โอห์ม แรงดันทางด้านอินพุต (V_{in}) เท่ากับ 50 โวลต์ แรงดันทางด้านเอาต์พุต (V_{out}) เท่ากับ 90 โวลต์ และมีวัฏจักรงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง (ค่าของดีวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของวงจรที่โหมดกระแสต่อเนื่อง)

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (3.2)$$

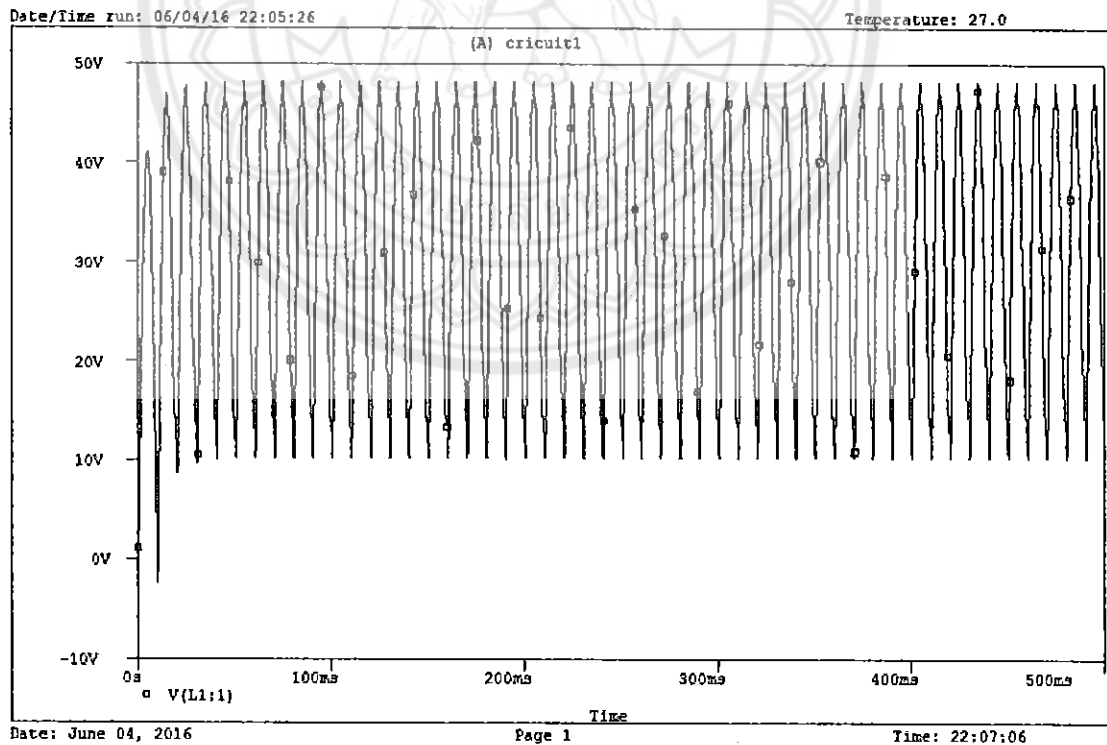
จากสมการ(3.3) สามารถหาวัฏจักรงานที่เหมาะสม (D) เท่ากับ 0.44 และจากสมการ(3.2) สามารถคำนวณหาขนาดของขดลวด (L_{\min}) เท่ากับ 0.93 มิลลิเฮนรี่ ซึ่งเป็นค่าที่เป็นจุดแบ่งระหว่างโหมดการทำงานที่กระแสต่อเนื่องกับโหมดการทำงานที่กระแสไม่ต่อเนื่อง โดยการพิจารณาเลือกใช้ค่าขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมพิจารณาจากค่า $L > L_{\min}$ จะเป็นกรณีกระแสต่อเนื่อง แต่ถ้า $L < L_{\min}$ จะเป็นกรณีกระแสไม่ต่อเนื่อง

จากที่ได้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าความต้านทาน และขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ที่ใช้สำหรับในการออกแบบวงจรทบทระดับแรงดัน ไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว จะใช้โปรแกรม Pspice จำลองวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้พิจารณาเลือกค่าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่สามารถใช้งานได้กับวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าในโหมดการทำงานที่กระแสต่อเนื่องได้อย่างเหมาะสม โดยขนาดของขดลวดที่พิจารณามีขนาด 1 10 50 100 และ 140 มิลลิเฮนรี่ ซึ่งจะพิจารณาจากค่าขนาดแรงดันไฟฟ้า และค่าขนาดกระแสไฟฟ้า เป็นหลัก และใช้โปรแกรมพิจารณา ค่าขนาดแรงดันไฟฟ้า และค่าขนาดของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่ค่าความต้านทานของเนื้อโคมิมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ดังต่อไปนี้

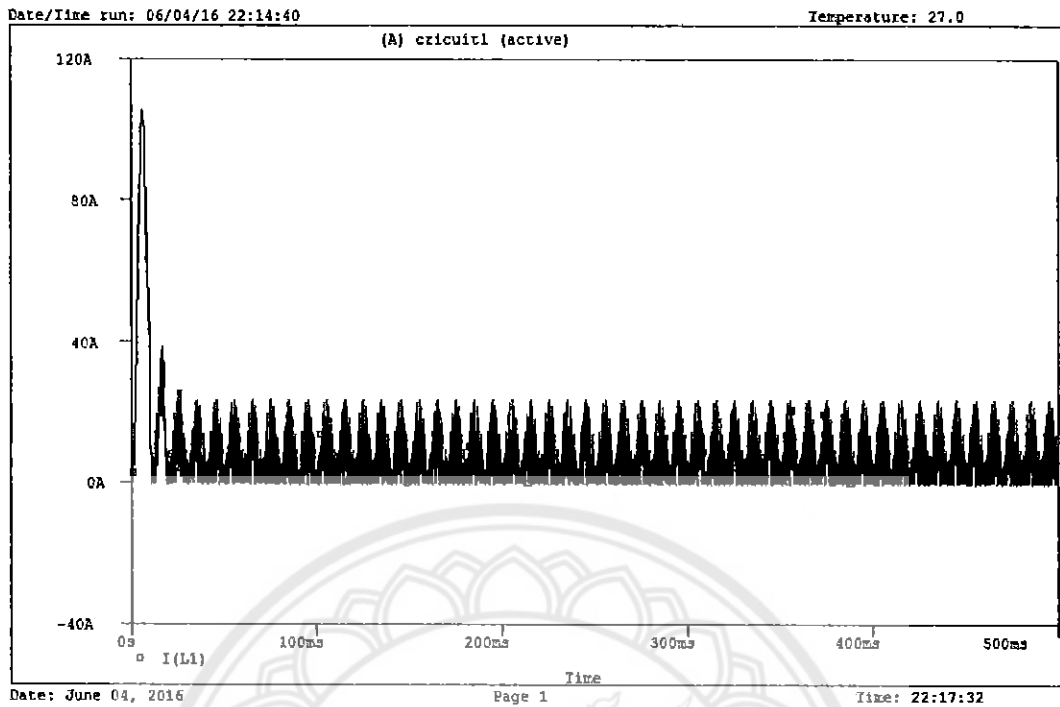
กำหนดให้ขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 1 มิลลิเฮนรี่ ค่าความต้านทานขนาด 337 โอห์ม และแหล่งจ่าย $V_{rms} = 50$ โวลต์ โดยใช้โปรแกรม Pspice ในการจำลองวงจรไฟฟ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.13 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า ($L=1$ มิลลิเฮนรี่)



รูปที่ 3.14 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L=1$ มิลลิเฮนรี่)



รูปที่ 3.15 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L=1$ มิลลิเฮนรี่)

ผลที่ได้จากใช้โปรแกรม Pspice พบว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L=1$ มิลลิเฮนรี่) มีการแกว่งค่อนข้างมากในช่วงเวลาที่พิจารณา 500 มิลลิวินาที โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 49 โวลต์ ต่ำสุดอยู่ที่ 10 โวลต์ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 29.5 โวลต์ ดังรูปที่ 3.14 และพบว่าขนาดของกระแสไฟฟ้ามักมีค่าสูงมากในช่วงเวลาเริ่มต้น และในช่วงเวลาต่อมาจนถึง 500 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าก็ยังคงมีค่าสูงซึ่งเป็นผลมาจากค่าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้กระมีการแกว่งขึ้นลงมาก ดังรูปที่ 3.15 และยังส่งผลให้ตัวเรียงกระแส หรือระบบส่งจ่ายไฟฟ้าก่อนเข้าขดลวดตัวเหนี่ยวนำ มีค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) มีค่ามากอีกด้วย (สำหรับตัวเรียงกระแสที่ส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติจะมี $FF=1$ และ $RF=0$) โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

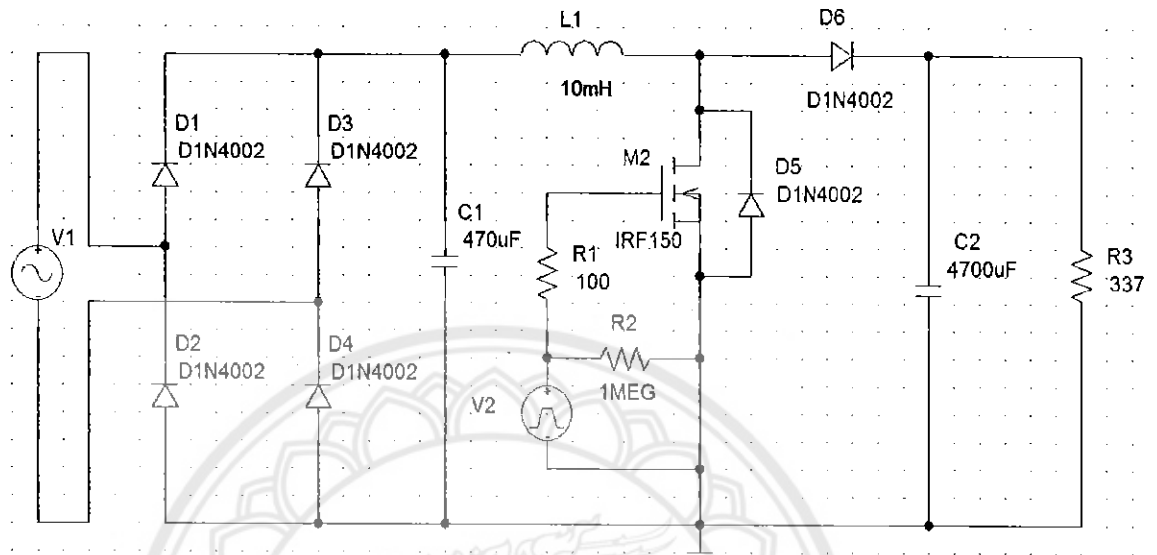
$$RF = \sqrt{FF^2 - 1}$$

ตัวประกอบรูปแบบ (Form factor, FF) เป็นตัววัดรูปร่างลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้กับวงจรทระดับแรงดันที่ผ่านขดลวดตัวเหนี่ยวนำ

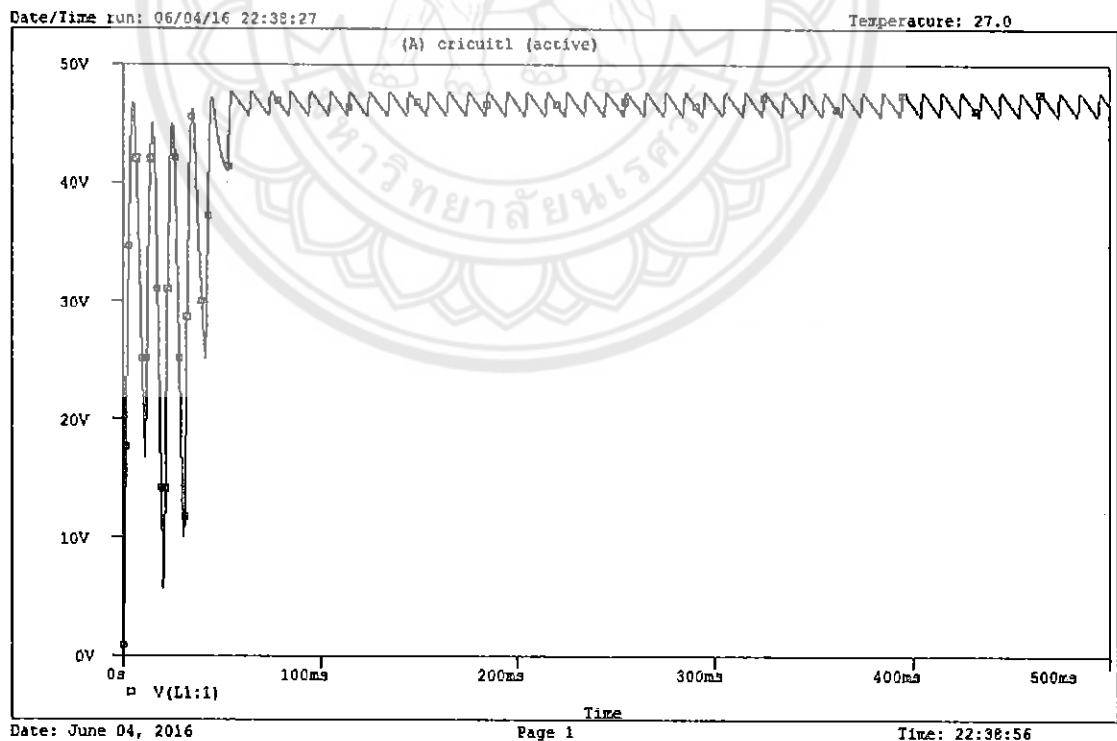
$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \text{ จะได้ } FF = \frac{50}{29.5} = 1.69$$

ดังนั้น ค่าตัวประกอบความพลัว (RF) มีค่าเท่ากับ 1.36

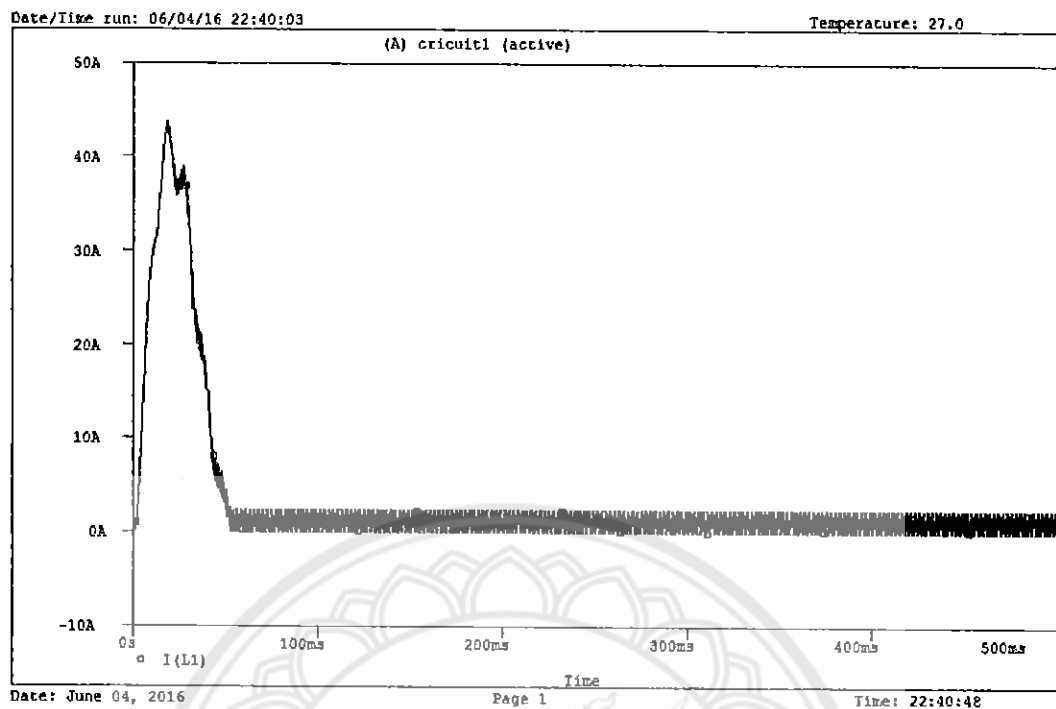
กำหนดให้ขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 10 มิลลิเฮนรี่ ค่าความต้านทานขนาด 337 โอห์ม และแหล่งจ่าย $V_{rms} = 50$ โวลต์ โดยใช้โปรแกรม Pspice ในการจำลองวงจรไฟฟ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.16 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า ($L = 10$ มิลลิเฮนรี่)



รูปที่ 3.17 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 10$ มิลลิเฮนรี่)



รูปที่ 3.18 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 10$ มิลลิเฮนรี)

ผลที่ได้จากใช้โปรแกรม Pspice พบว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 10$ มิลลิเฮนรี) มีการแกว่งค่อนข้างมากในช่วงแรกและจะแกว่งน้อยลงในช่วงหลัง โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 49 โวลต์ ต่ำสุดที่ 10 โวลต์โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 34.5 โวลต์ ดังรูปที่ 3.17 และพบว่าขนาดของกระแสไฟฟ้ายังมีค่าสูงในช่วงเวลาเริ่มต้น และในช่วงเวลาต่อมาจนถึง 500 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้าก็ยังคงมีค่าสูงซึ่งเป็นผลมาจากค่าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้กระมีการแกว่งขึ้นลงมาก ดังรูปที่ 3.18 และยังส่งผลให้ตัวเรียงกระแส หรือระบบส่งจ่ายไฟฟ้าก่อนเข้าขดลวดตัวเหนี่ยวนำ มีค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) มีค่ามากอีกด้วย (สำหรับตัวเรียงกระแสที่ส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติจะมี $FF = 1$ และ $RF = 0$) โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

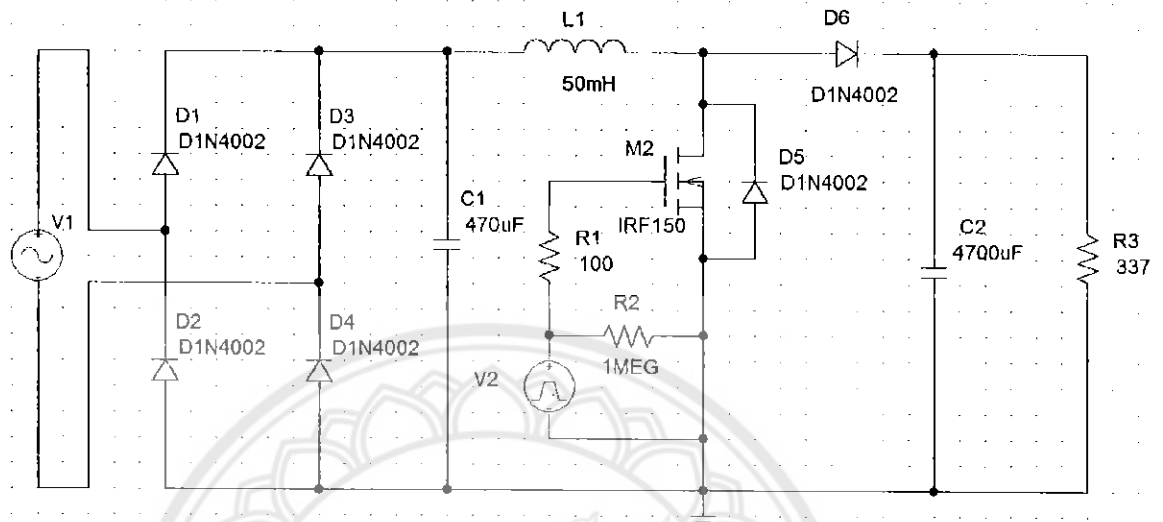
$$RF = \sqrt{FF^2 - 1}$$

ตัวประกอบรูปแบบ (Form factor, FF) เป็นตัววัดรูปร่างลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้กับวงจรทระดับแรงดันที่ผ่านขดลวดตัวเหนี่ยวนำ

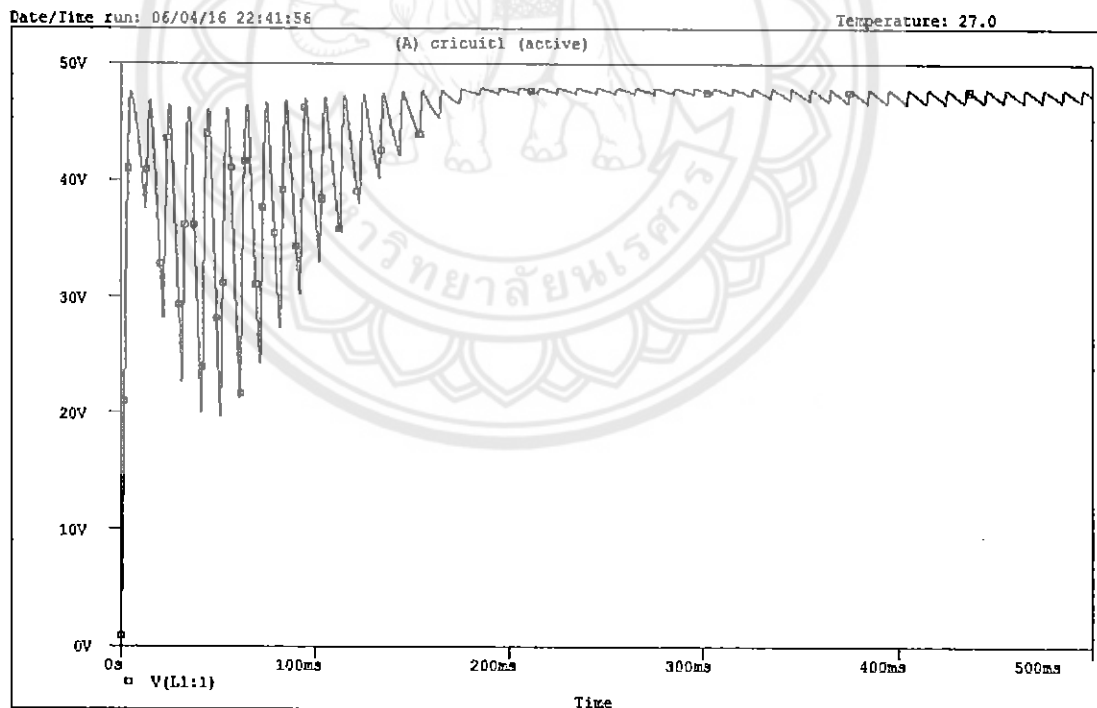
$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \text{ จะได้ } FF = \frac{50}{34.5} = 1.45$$

ดังนั้น ค่าตัวประกอบความพลัว (RF) มีค่าเท่ากับ 1.05

กำหนดให้ขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 50 มิลลิวินาที ค่าความต้านทานขนาด 337 โอห์ม และแหล่งจ่าย $V_{rms} = 50$ โวลต์ โดยใช้โปรแกรม Pspice ในการจำลองวงจรไฟฟ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.19 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า ($L = 50$ มิลลิวินาที)

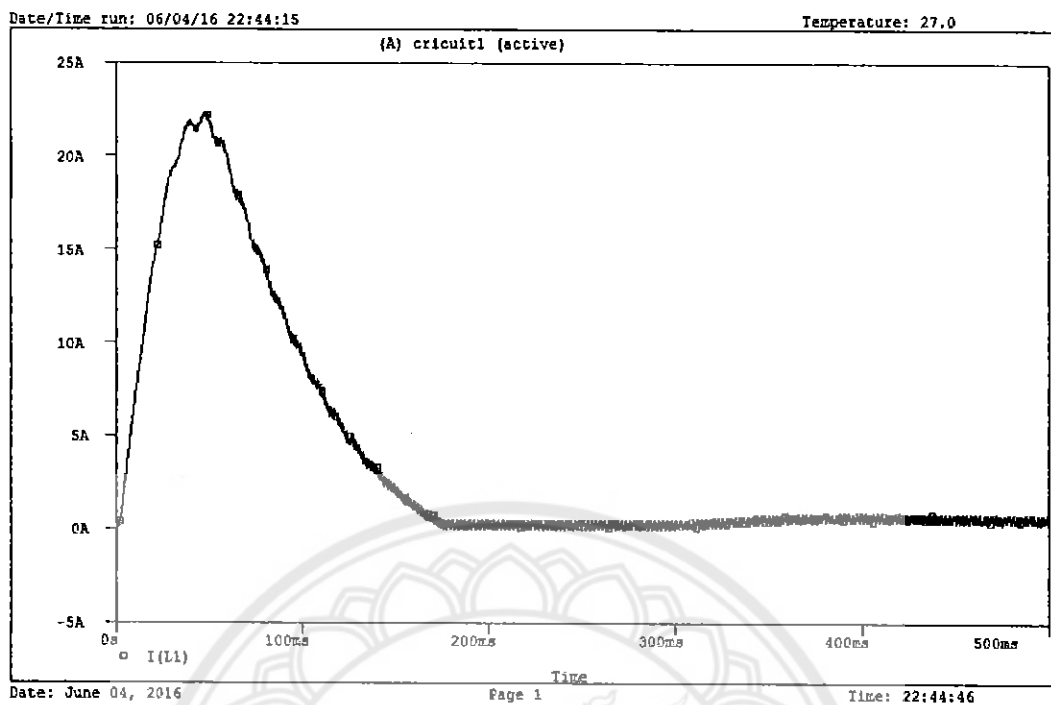


Date: June 04, 2016

Page 1

Time: 22:42:39

รูปที่ 3.20 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 50$ มิลลิวินาที)



รูปที่ 3.21 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 50$ มิลลิวินาที)

ผลที่ได้จากใช้โปรแกรม Pspice พบว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 50$ มิลลิวินาที) มีการแกว่งน้อยลงในช่วงเวลาที่พิจารณา 500 มิลลิวินาที โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 49 โวลต์ ต่ำสุดที่ 20 โวลต์ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 42 โวลต์ ดังรูปที่ 3.20 และพบว่าขนาดของกระแสไฟฟ้ามูลค่าลดลงเมื่อเทียบกับในแต่ละกรณีที่ผ่านมาในช่วงเวลาเริ่มต้น และในช่วงเวลาต่อมาจนถึง 500 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้ามูลค่าลดลง ดังรูปที่ 3.21 ซึ่งเป็นผลมาจากค่าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น และยังส่งผลให้ตัวเรียงกระแส หรือระบบส่งจ่ายไฟฟ้าก่อนเข้าขดลวดตัวเหนี่ยวนำ มีค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) มีค่าน้อยลงอีกด้วย (สำหรับตัวเรียงกระแสที่ส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติจะมี $FF = 1$ และ $RF = 0$) โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

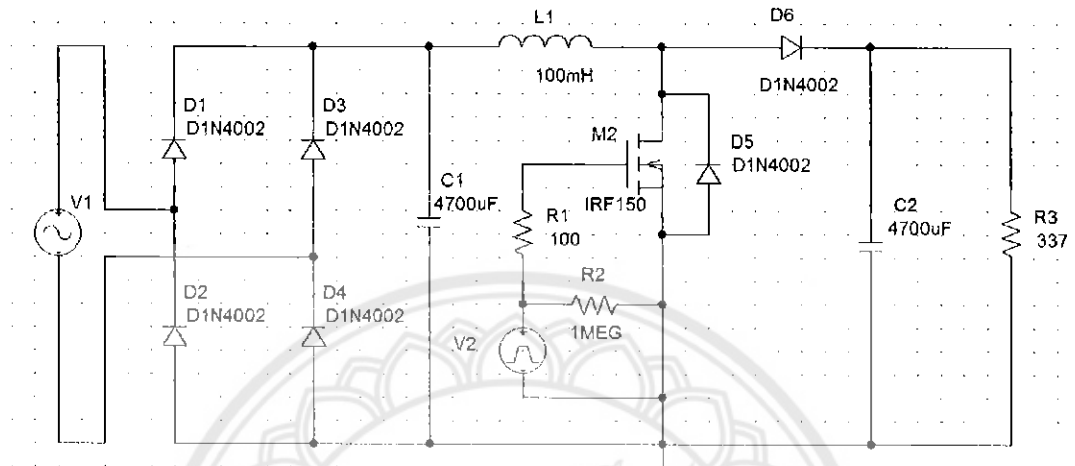
$$RF = \sqrt{FF^2 - 1}$$

ตัวประกอบรูปแบบ (Form factor, FF) เป็นตัววัดรูปร่างลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้กับวงจรทระดับแรงดันที่ผ่านขดลวดตัวเหนี่ยวนำ

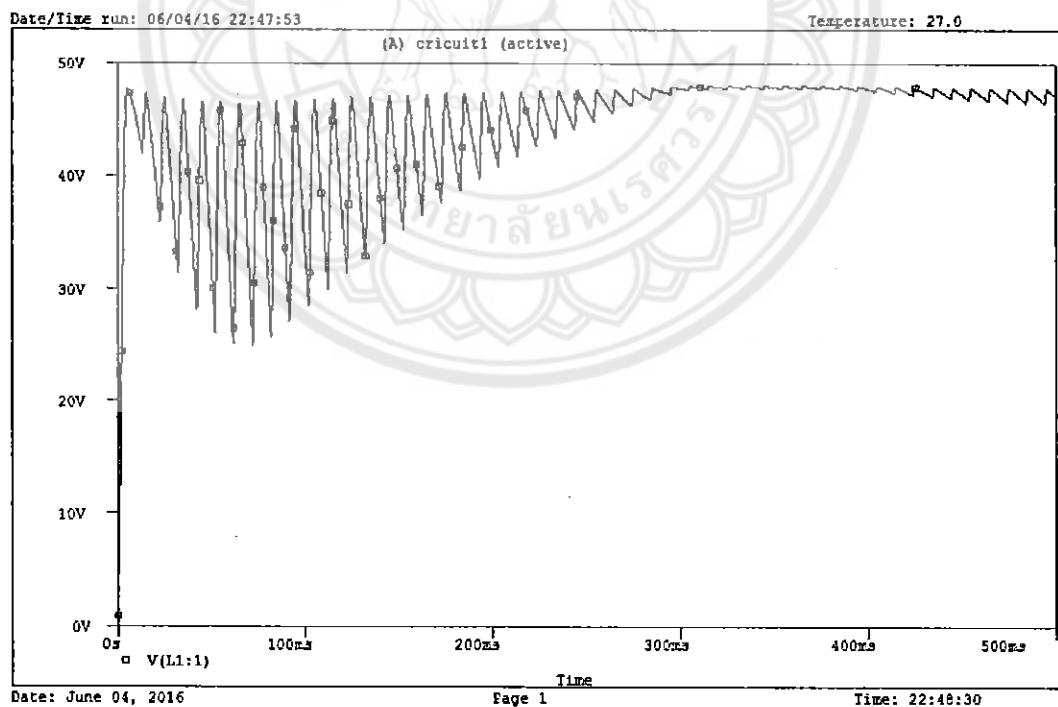
$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \text{ จะได้ } FF = \frac{50}{42} = 1.19$$

ดังนั้น ค่าตัวประกอบความพลัว (RF) มีค่าเท่ากับ 0.64

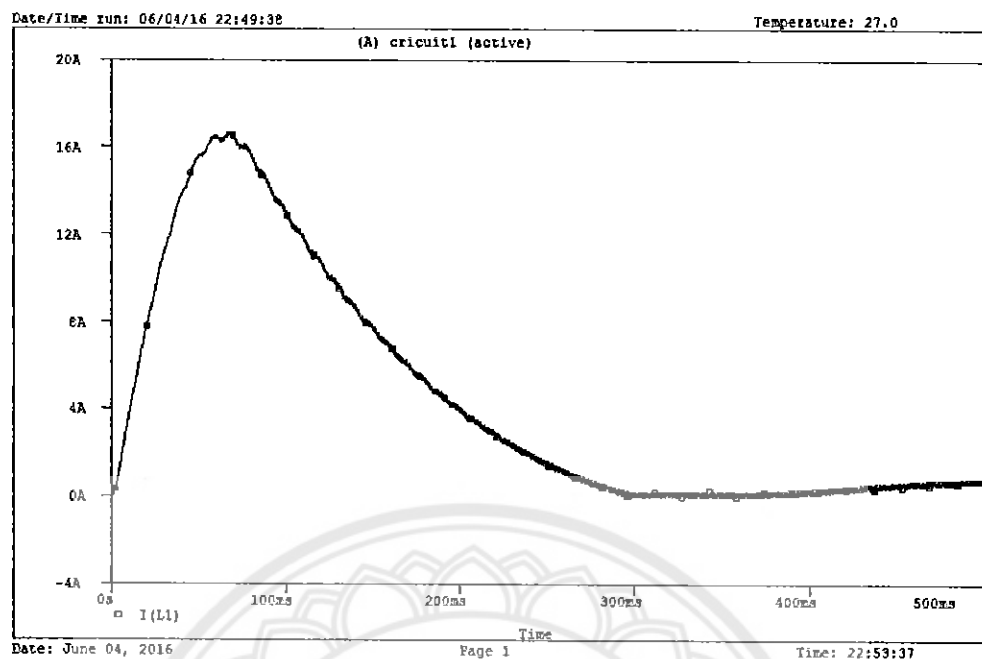
กำหนดให้ขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 100 มิลลิวินาที ค่าความต้านทานขนาด 337 โอห์ม และแหล่งจ่าย $V_{rms} = 50$ โวลต์ โดยใช้โปรแกรม Pspice ในการจำลองวงจรไฟฟ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.22 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า ($L = 100$ มิลลิวินาที)



รูปที่ 3.23 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 100$ มิลลิวินาที)



รูปที่ 3.24 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 100$ มิลลิวินาที)

ผลที่ได้จากใช้โปรแกรม Pspice พบว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 100$ มิลลิวินาที) มีการแกว่งลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ผ่านมา ในช่วงเวลาที่พิจารณา 500 มิลลิวินาที โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 49 โวลต์ และต่ำสุดที่ 25 โวลต์ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 45.5 โวลต์ ดังรูปที่ 3.23 และพบว่าขนาดของกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงจากกรณีที่ผ่านมาแต่ไม่มากในช่วงเวลาเริ่มต้น และในช่วงเวลาต่อมาจนถึง 500 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้ายังคงมีค่าลดลง ดังรูปที่ 3.24 ซึ่งเป็นผลมาจากค่าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้กระมีการแกว่งลดลง และยังส่งผลให้ตัวเรียงกระแส หรือระบบส่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรทระดับแรงดันก่อนเข้าขดลวดตัวเหนี่ยวนำ มีค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) มีค่าน้อยลง (สำหรับตัวเรียงกระแสที่ส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติจะมี $FF = 1$ และ $RF = 0$) โดยสามารถ พิจารณาได้ดังนี้

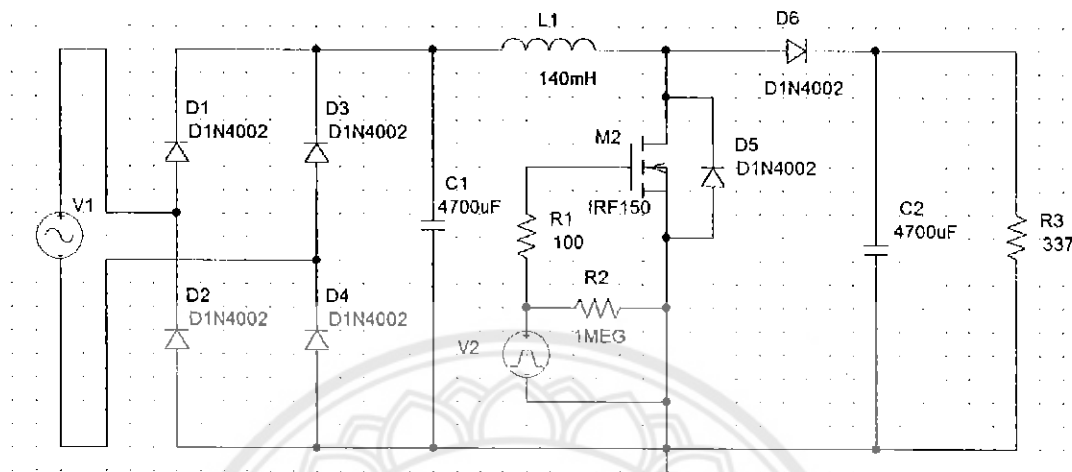
$$RF = \sqrt{FF^2 - 1}$$

ตัวประกอบรูปแบบ (Form factor, FF) เป็นตัววัดรูปร่างลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้กับวงจรทระดับแรงดันที่ผ่านขดลวดตัวเหนี่ยวนำ

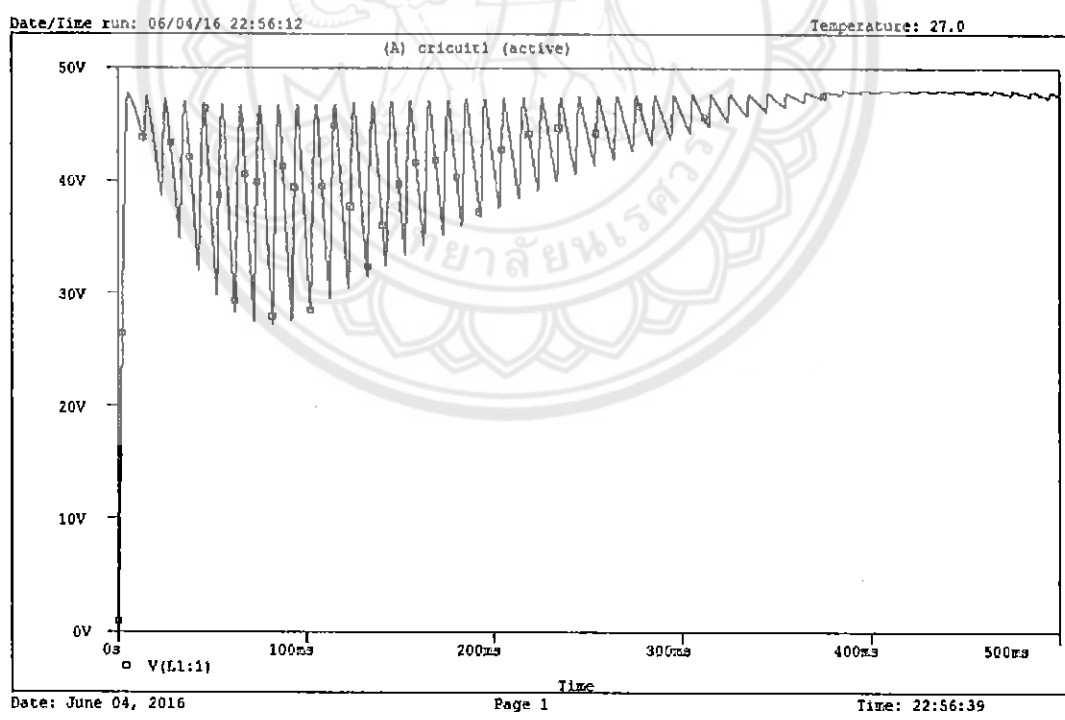
$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \text{ จะได้ } FF = \frac{50}{45.5} = 1.09$$

ดังนั้น ค่าตัวประกอบความพลัว (RF) มีค่าเท่ากับ 0.43

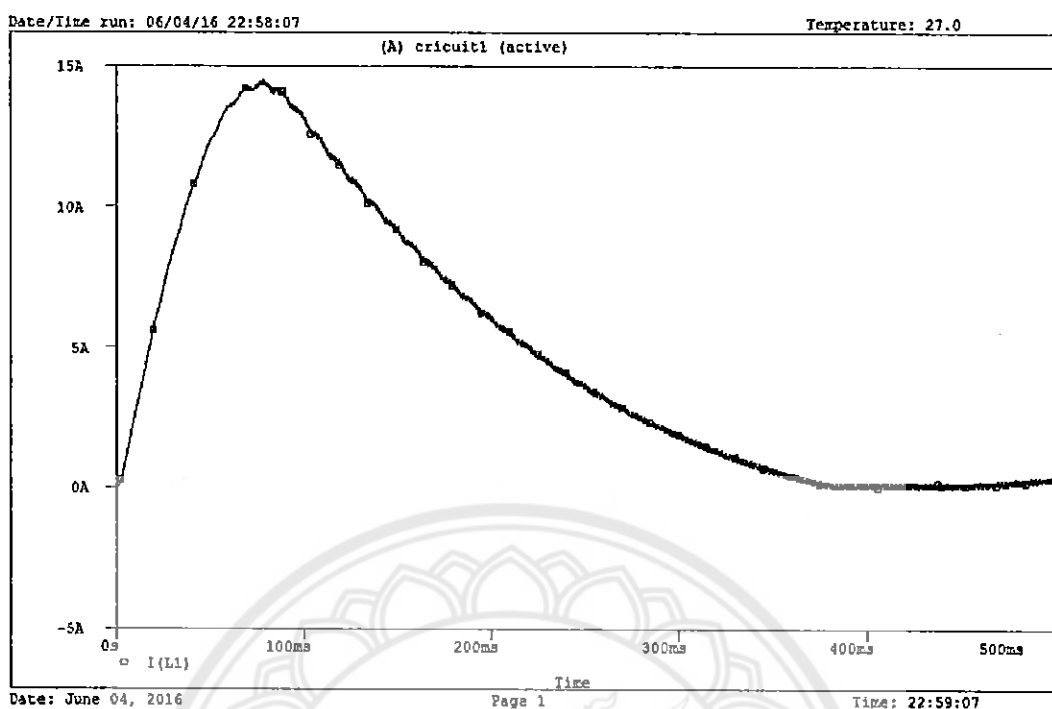
กำหนดให้ขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 140 มิลลิเฮนรี่ ค่าความต้านทานขนาด 337 โอห์ม และแหล่งจ่าย $V_{rms} = 50$ โวลต์ โดยใช้โปรแกรม Pspice ในการจำลองวงจรไฟฟ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.25 วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า ($L = 140$ มิลลิเฮนรี่)



รูปที่ 3.26 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 140$ มิลลิเฮนรี่)



รูปที่ 3.27 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดเหนี่ยวนำ ($L = 140$ มิลลิเฮนรี่)

ผลที่ได้จากใช้โปรแกรม Pspice พบว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 140$ มิลลิเฮนรี่) มีการแกว่งน้อยกว่ากรณีที่ผ่านมา และในช่วงท้ายแรงดันไฟฟ้ามีความเรียบในช่วงเวลาที่พิจารณา 500 มิลลิวินาที โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 49 โวลต์ ต่ำสุดที่ 30 โวลต์ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 48 โวลต์ ดังรูปที่ 3.26 และพบว่าขนาดของกระแสไฟฟ้ามี่ค่าต่ำลงที่สามารถยอมรับได้ในช่วงแรก และในช่วงเวลาต่อมาจนถึง 500 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้ามี่ค่าต่ำมาก ดังรูปที่ 3.27 ซึ่งเป็นผลมาจากค่าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นทำให้กระมีการแกว่งลดลงมาก และยังส่งผลให้ตัวเรียงกระแส หรือระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเข้าขดลวดตัวเหนี่ยวนำมีค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) มีค่าน้อยลงมาก (สำหรับตัวเรียงกระแสที่ส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติจะมี $FF = 1$ และ $RF = 0$) โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1}$$

ตัวประกอบรูปแบบ (Form factor, FF) เป็นตัววัดรูปร่างลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้กับวงจรทบระดับแรงดันที่ผ่านขดลวดตัวเหนี่ยวนำ

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \text{ จะได้ } FF = \frac{50}{48} = 1.04$$

ดังนั้น ค่าตัวประกอบความพลัว (RF) มีค่าเท่ากับ 0.28

จากการซิมูเลทวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Pspice ในกรณีต่างๆ เมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่า ถ้าขนาดของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L) มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การแกว่งของระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยลง และการขึ้น-ลงของกระแสไฟฟ้าจะมีค่าลดลงไปด้วย โดยขนาดของขดลวดตัวเหนี่ยวนำในแต่ละกรณีมีค่าที่แตกต่างกันมาก เป็นเพราะว่าขนาดของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากขดลวดตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่เป็นตัวสะสมพลังงานไฟฟ้า และทำหน้าที่หน่วงกระแส ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาดขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L) ที่มีขนาดเท่ากับ 140 มิลลิเฮนรี่ โดยจะพิจารณาจาก ค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) ดังตารางที่

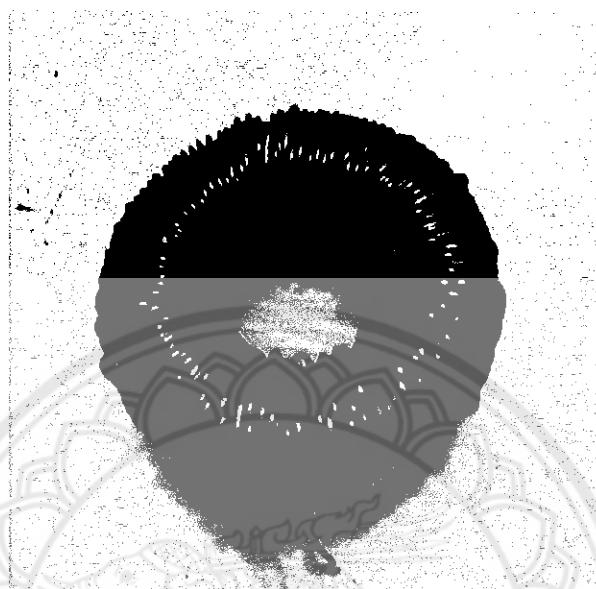
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตัวประกอบความพลัว (RF)

ขนาดขดลวดเหนี่ยวนำ (mH)	ค่าตัวประกอบความพลัว (RF)
1	1.36
10	1.05
50	0.64
100	0.43
140	0.28

ถ้า ขดลวดเหนี่ยวนำ (L) มีค่ามาก กระแสจะขึ้น-ลงช้า (Ripple factor น้อย)
 ขดลวดเหนี่ยวนำ (L) มีค่าน้อย กระแสจะขึ้น-ลงเร็ว (Ripple factor มาก)

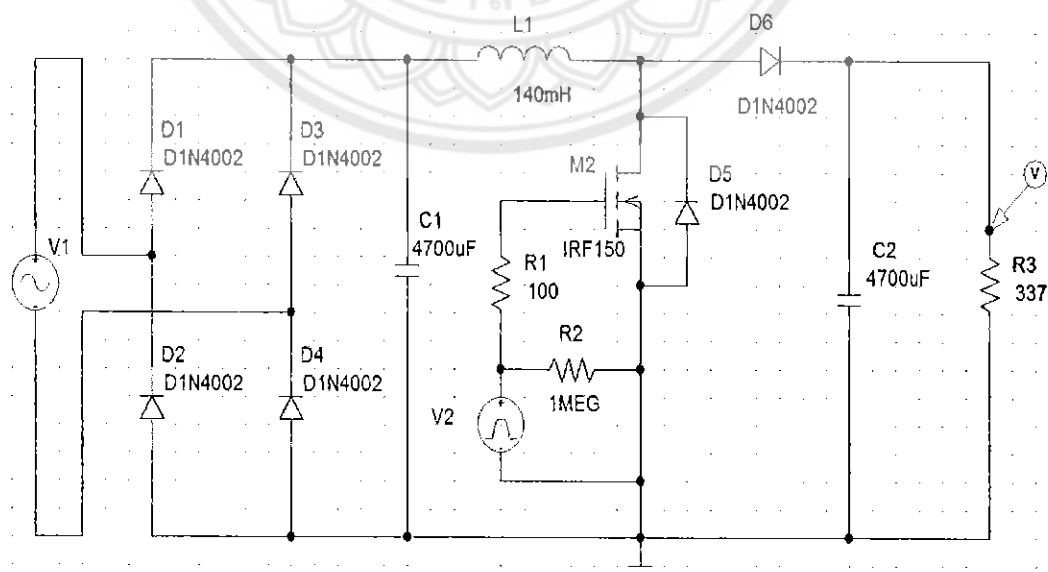
โดยค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) คือ ความสามารถของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากสัญญาณระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ จะมีทั้งองค์ประกอบไฟฟ้าตรงและองค์ประกอบไฟฟ้าสลับ โดยวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ในอุดมคติจะมีค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) ซึ่งจะเท่ากับ 0 ซึ่งสามารถเป็นตัวจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรงได้ดีที่สุด จึงเลือกใช้ขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 140 มิลลิเฮนรี่ เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในส่วน of วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าในการเพิ่ม-ลดระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ค่าความต้านทาน (R) ของเนื้อโคเท่ากับ 337 โอห์ม

จากการจำลอง และพิจารณาเลือกใช้ขนาดของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ โดยใช้โปรแกรม Pspice จากนั้นสร้างขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 140 มิลลิเฮนรี่ โดยสร้างจากนำลวดทองแดงพันเข้ากับแกนแกรไฟต์กลม ดังรูปที่ 3.28

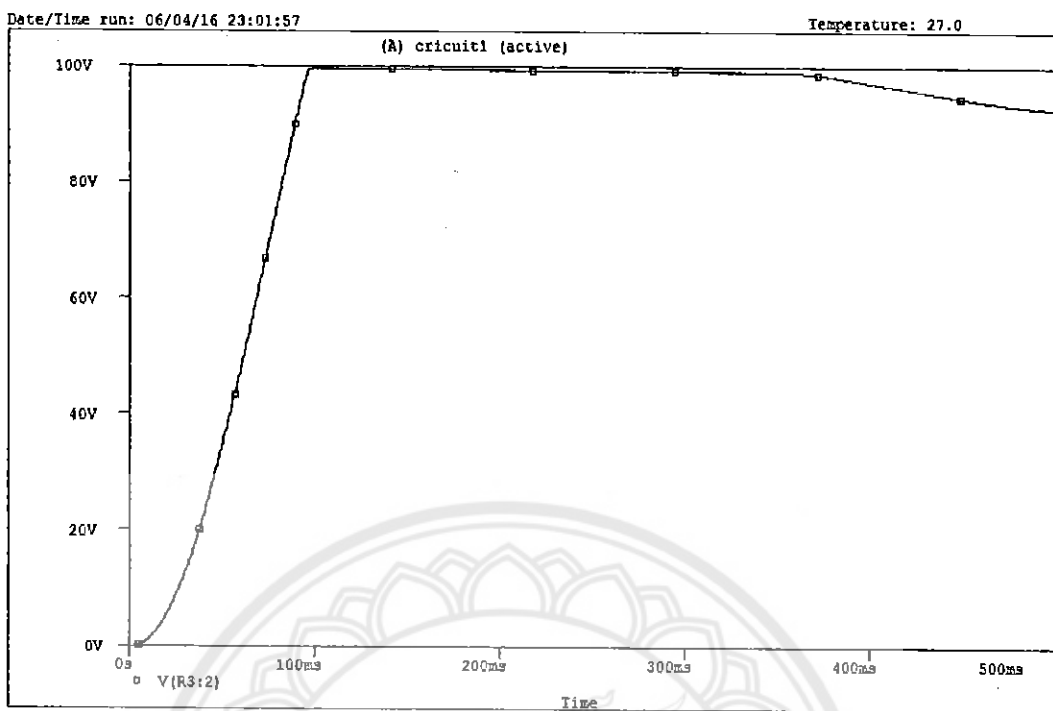


รูปที่ 3.28 ขดลวดเหนี่ยวนำ

ในการต่อขดลวดตัวเหนี่ยวนำ 140 มิลลิเฮนรี่ ในวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม Pspice ดังรูปที่ 3.29 และทดสอบขนาดแรงดันไฟฟ้า และขนาดกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต ดังรูปที่ 3.30 และ 3.31 ตามลำดับ



รูปที่ 3.29 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม

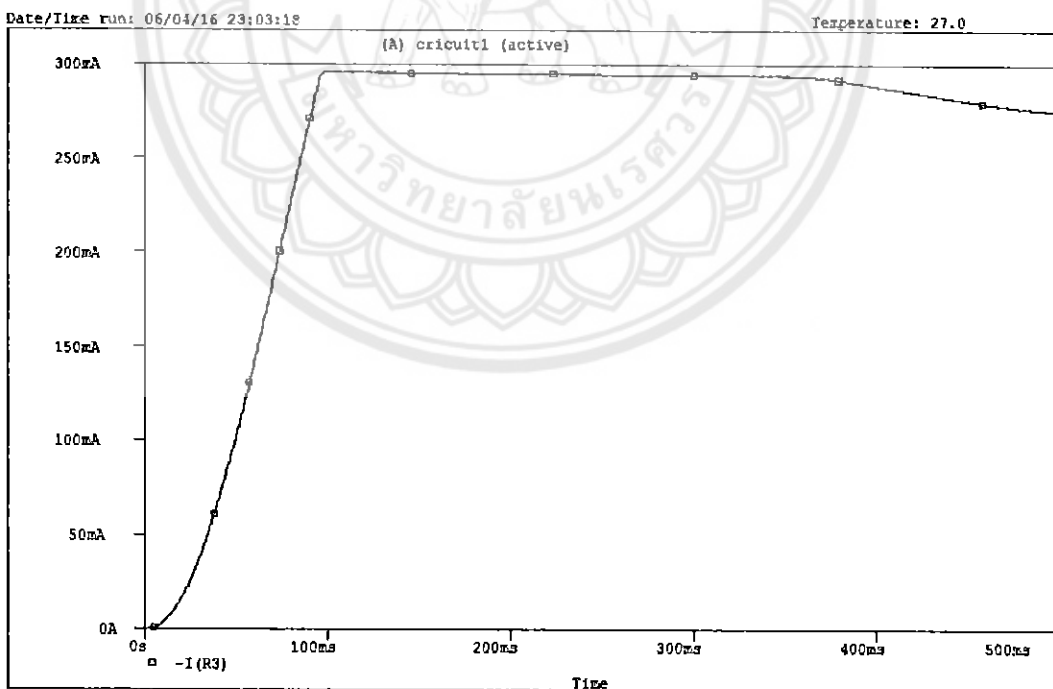


Date: June 04, 2016

Page 1

Time: 23:02:15

รูปที่ 3.30 ขนาดแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต ที่ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม



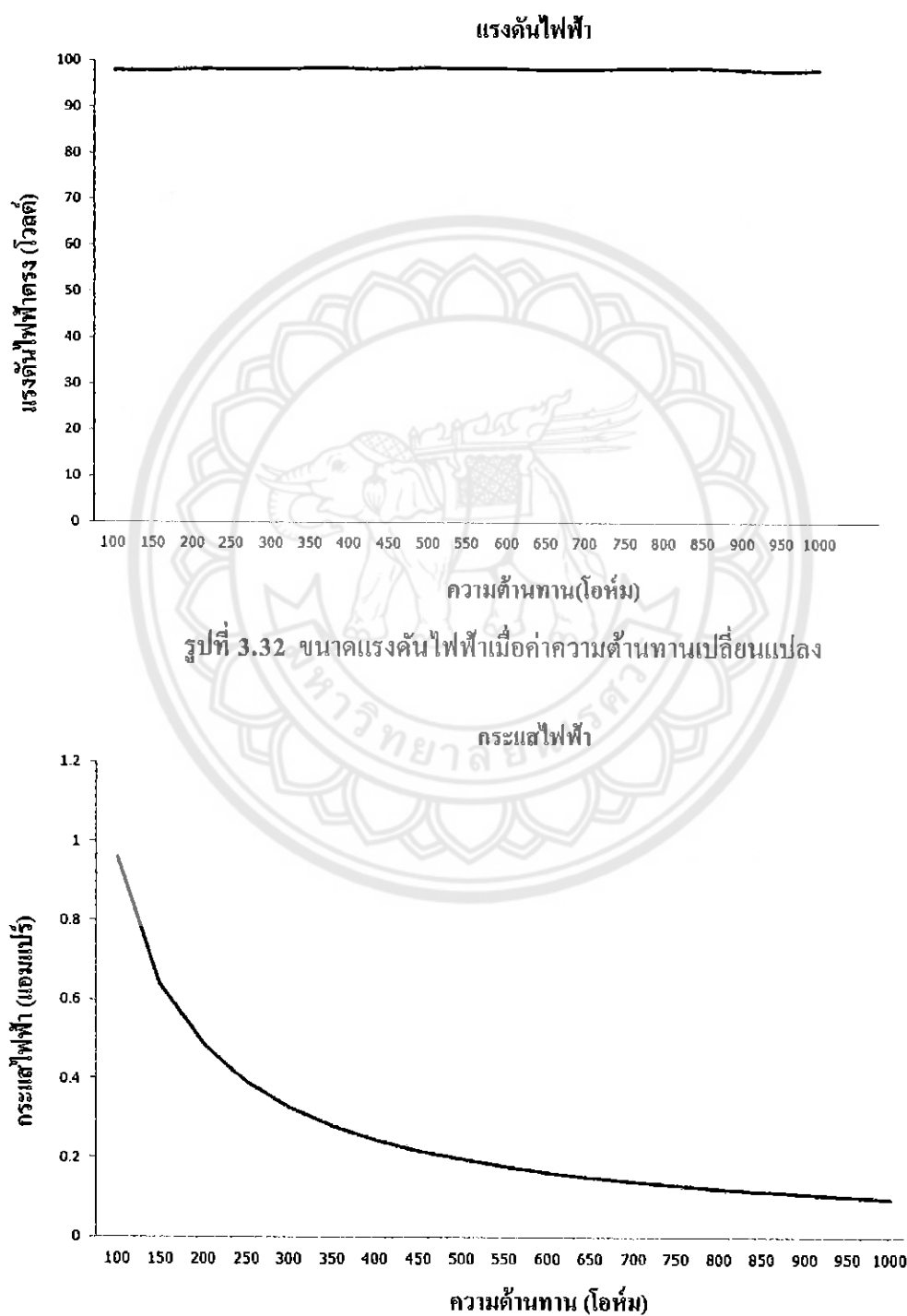
Date: June 04, 2016

Page 1

Time: 23:03:42

รูปที่ 3.31 ขนาดกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต ที่ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม

เมื่อค่าความต้านทาน (R) ของเนื้อโคถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้า ทำให้โครงสร้างภายในของเนื้อเกิดการสูญเสียน้ำ จึงทำให้ค่าความต้านทานของเนื้อเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถจำลองค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นของเนื้อ ที่ทำให้ขนาดแรงดัน และขนาดกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 3.32 และ 3.33 ตามลำดับ



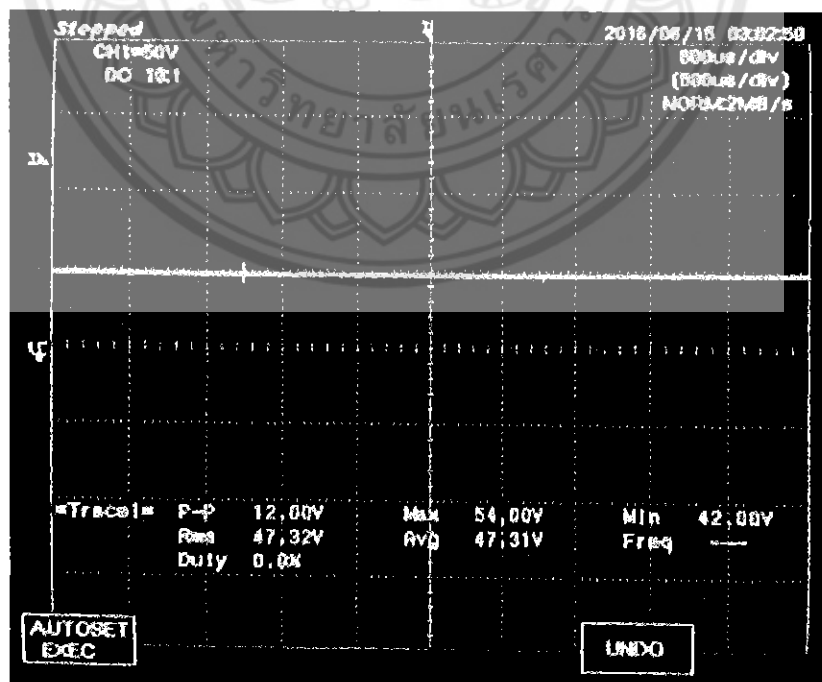
รูปที่ 3.33 ขนาดกระแสไฟฟ้าเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างวงจรทบทแรงดัน เพื่อใช้ในการเพิ่มแรงดันขาเข้าให้มีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการกระตุ้นเนื้อโกลีนุ่ม โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้คำนวณไว้ข้างต้นมาประกอบเป็นวงจรทบทระดับแรงดันดังรูปที่ 3.34

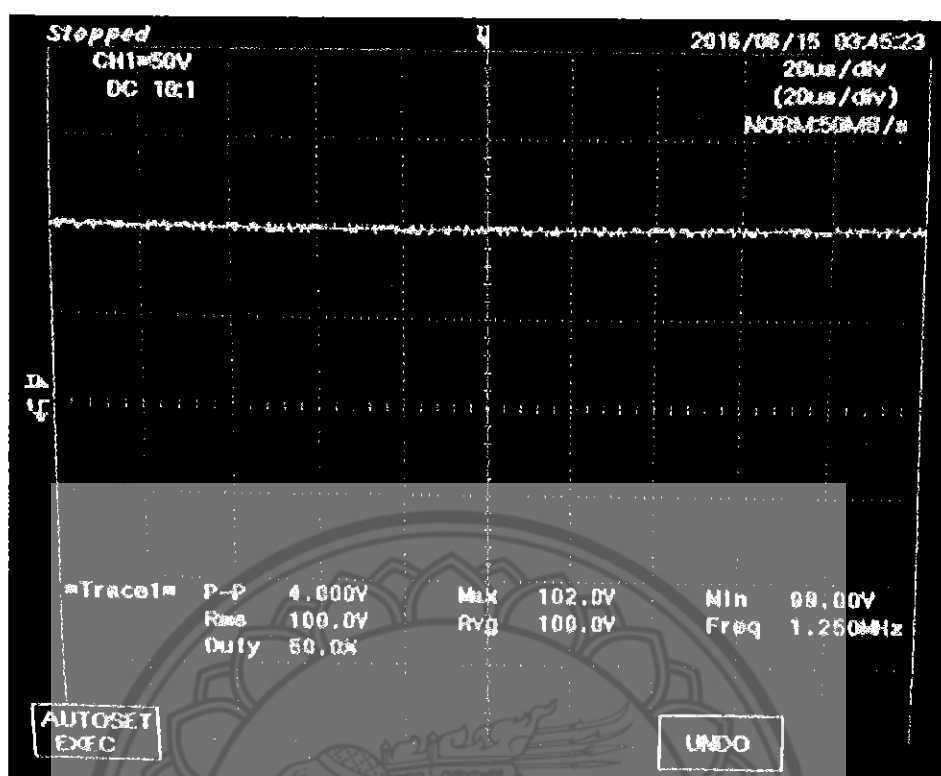


รูปที่ 3.34 วงจรทบทแรงดัน (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)

ระดับแรงดัน โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณแรงดันขาออก โดยปรับค่าความถี่ไซเคิลต่ำสุด และสูงสุด ได้สัญญาณแรงดันขา ดังแสดงในรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรทบทแรงดัน ($D=0$ เปอร์เซนต์)



รูปที่ 3.36 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรหม้อแปลงแรงดัน ($D = 50$ เปอร์เซ็นต์)

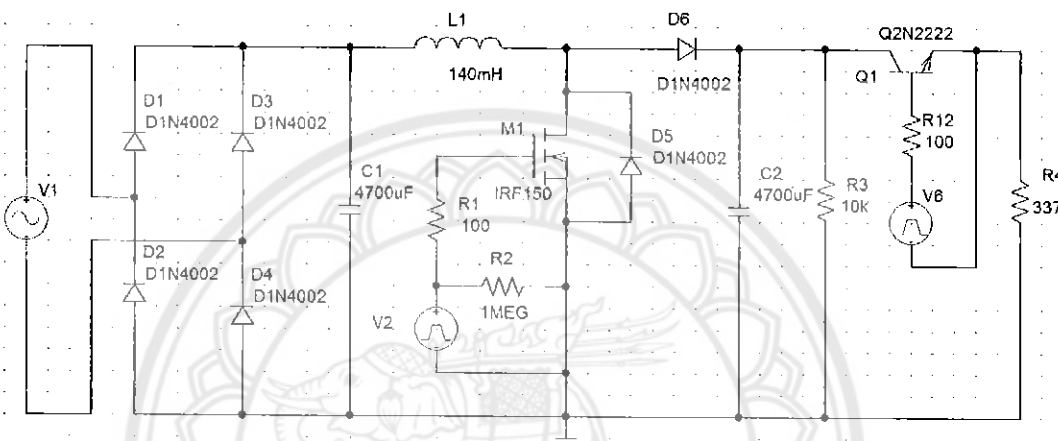
การเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี กับระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ออกจากวงจรหม้อแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบโดยใช้เครื่องมือวัดออสซิลโลสโคป วัดระดับแรงดันไฟฟ้า ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าจากทฤษฎีและจากวงจรที่ออกแบบ

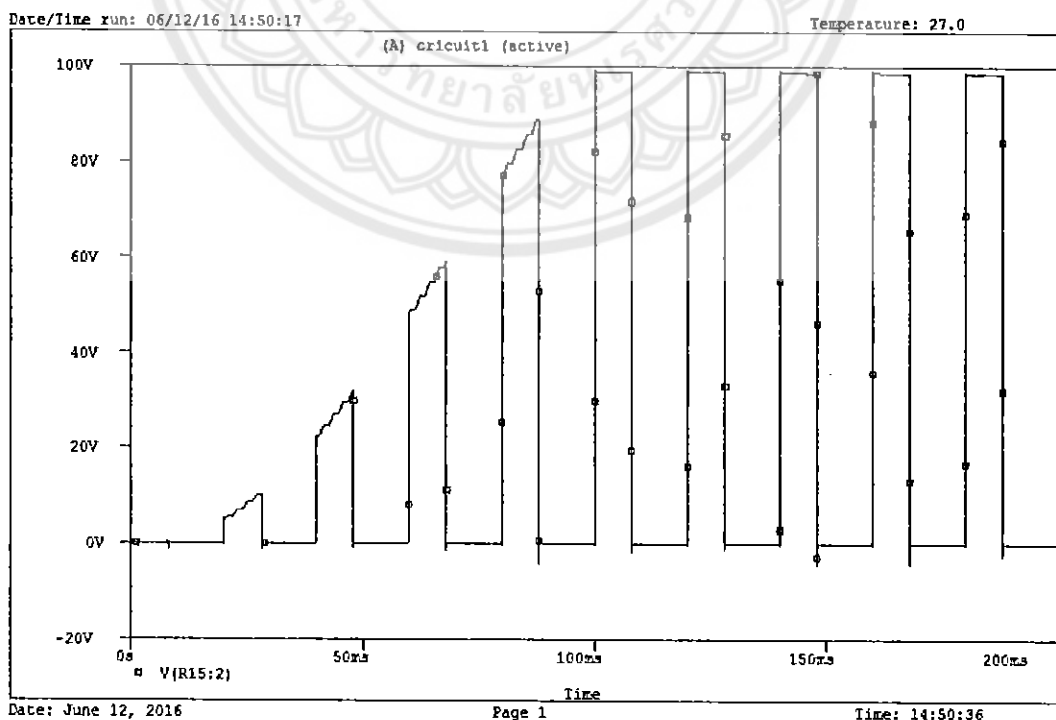
ค่าความถี่ (%)	แรงดันขาเข้า (VDC)	แรงดันขาออก (VDC)	
		จากทฤษฎี	จากวงจร
0	50	50	51.00
20	50	62.50	60.60
30	50	71.42	69.75
40	50	83.33	80.72
50	50	100.00	98.63

3.2.5 วงจรชอปเปอร์

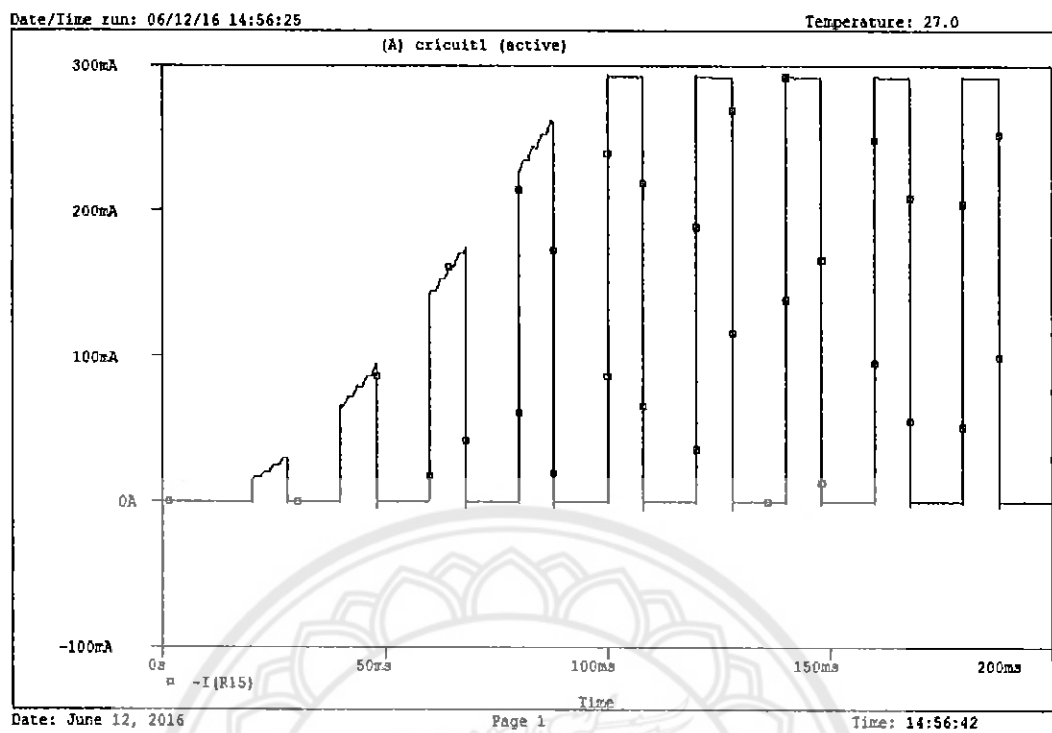
เครื่องกระตุ้นเนื้อโคหนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าจะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุท ในลักษณะเป็นพัลส์แรงดัน โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเหล่านี้ถูกส่งมาจากวงจรทบทระดับแรงดันมายังวงจรชอปเปอร์เพื่อสร้างแรงดันให้มีลักษณะเป็นพัลส์แรงดันขนาดต่างๆ สามารถใช้เครื่องมือออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณพัลส์ได้ดังรูปที่ 3.38 และ 3.39 ซึ่งในภายในวงจรชอปเปอร์จะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่สวิตช์อยู่ภายในวงจร ดังรูปที่ 3.40



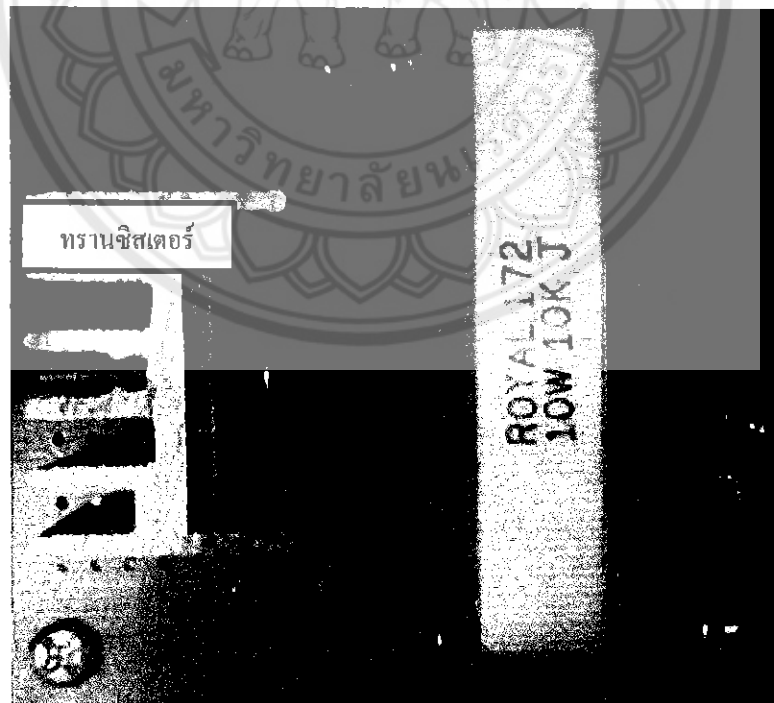
รูปที่ 3.37 จำลองวงจรชอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice



รูปที่ 3.38 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากวงจรชอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice

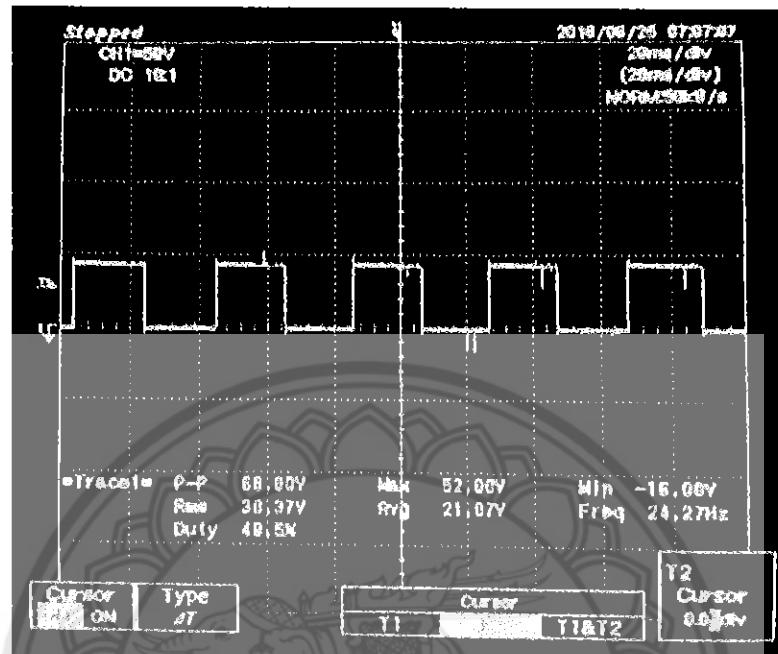


รูปที่ 3.39 พัลส์กระแสไฟฟ้าตรงจากวงจรชอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice

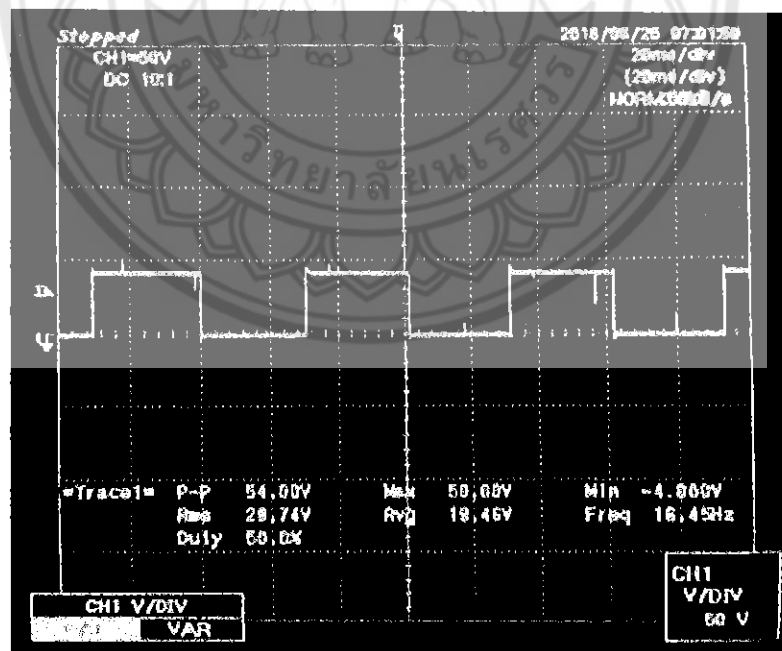


รูปที่ 3.40 วงจรชอปเปอร์ (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)

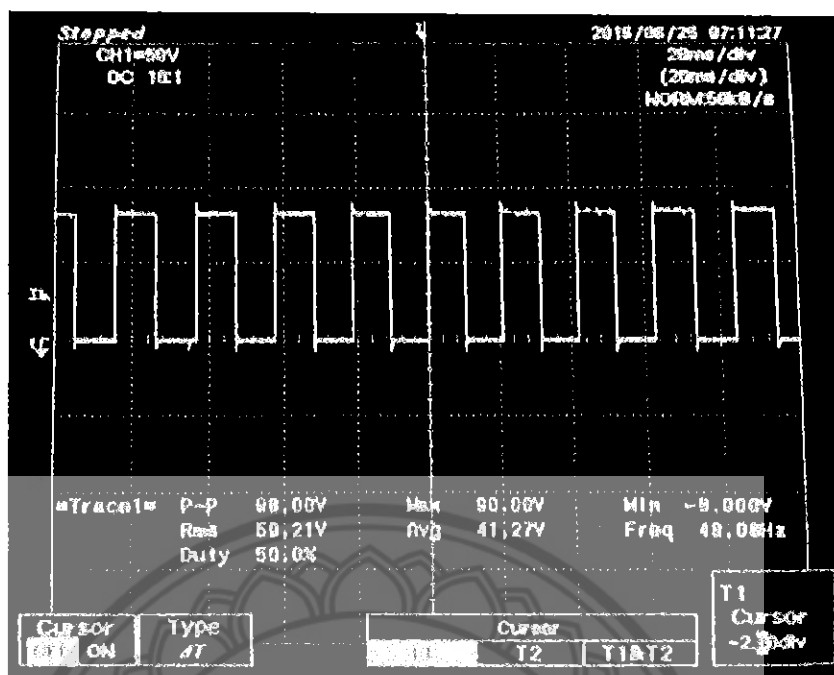
ขนาดพัลส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุตมีพิกัดแรงดัน 50 60 70 80 และ 90 โวลต์ สามารถปรับเปลี่ยนช่วงพัลส์หรือขนาดของพัลส์แรงดันได้ 10 20 30 และ 40 มิลลิวินาที



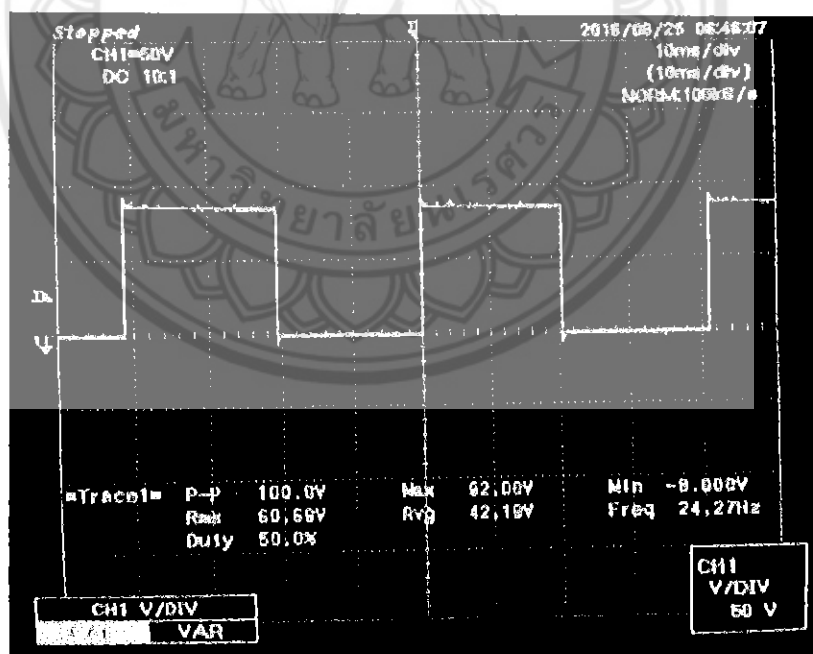
รูปที่ 3.41 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาต์พุต 50 โวลต์ (ขนาดพัลส์ 20 มิลลิวินาที)



รูปที่ 3.42 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอาต์พุต 50 โวลต์ (ขนาดพัลส์ 30 มิลลิวินาที)



รูปที่ 3.43 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอ้าท์พุท 90 โวลต์ (ขนาดพัลส์ 10 มิลลิวินาที)



รูปที่ 3.44 พัลส์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเอ้าท์พุท 90 โวลต์ (ขนาดพัลส์ 20 มิลลิวินาที)

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวงจรชอปเปอร์สามารถเลือกระดับแรงดันได้หลายระดับตามต้องการ รวมถึงสามารถเลือกความกว้างพัลส์ได้หลายขนาดอีกด้วย ซึ่งขนาดความกว้างพัลส์นั้นจะมีผลต่อขนาดของแรงดันไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเนื่องจากมีช่วงเวลาการ เปิด-ปิด ของทรานซิสเตอร์เท่ากันทุกช่วงความกว้างพัลส์ โดยทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เมื่อเลือกขนาดแรงดันเท่าเดิม แต่เปลี่ยนขนาดความกว้างพัลส์ไปที่ระดับต่างๆ ดังตารางที่ 3.3 3.4 และ 3.5

ตารางที่ 3.3 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์

พิกัดแรงดันไฟฟ้า (VDC)	ความกว้างพัลส์ (ms)	พัลส์แรงดันเอาต์พุต (VDC)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
90	10	90.0	0.00
	20	92.0	2.17
	30	90.0	0.00
	40	89.5	0.50

ตารางที่ 3.4 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 70 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์

พิกัดแรงดันไฟฟ้า (VDC)	ความกว้างพัลส์ (ms)	พัลส์แรงดันเอาต์พุต (VDC)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
70	10 ms	71.5	2.09
	20 ms	70.0	0.00
	30 ms	69.5	0.71
	40 ms	69.0	1.43

ตารางที่ 3.5 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์

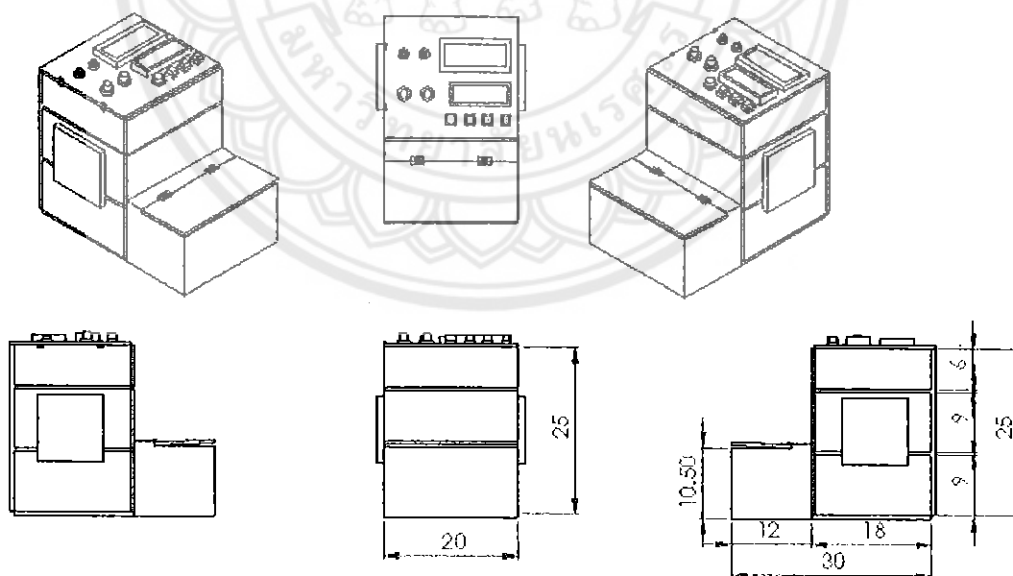
พิกัดแรงดันไฟฟ้า (VDC)	ความกว้างพัลส์ (ms)	พัลส์แรงดันเอาต์พุต (VDC)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
50	10 ms	52.5	4.76
	20 ms	52.0	3.84
	30 ms	50.0	0.0
	40 ms	49.5	1.00

3.3 การประกอบวงจรและการออกแบบเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

จากการออกแบบและสร้างวงจรกำลังและวงจรควบคุมแล้วจากนั้นนำแต่ละวงจรต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้วงจรแต่ละวงจรสามารถทำงานร่วมกัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นประกอบวงจรแต่ละส่วนเข้าไปในโครงสร้างของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าและทดสอบการทำงานหรือทดสอบขีดจำกัดในการทำงานของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

3.3.1 จำลองแบบโครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

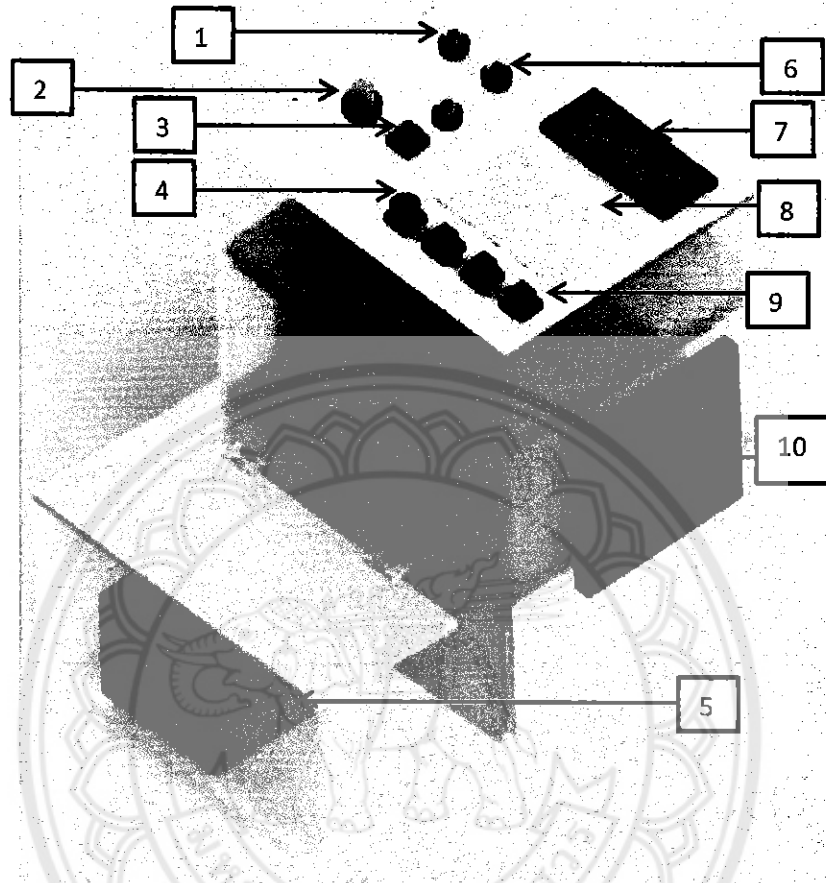
จากที่ได้ออกแบบโครงสร้างของแต่ละวงจร และวิธีขั้นตอนการทำงานของวงจรต่างๆ ภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการออกแบบโครงสร้างของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม SolidWork ในการออกแบบ โดยมีขนาดของตัวเครื่อง ดังรูปที่ 3.45 และลักษณะโดยรวมของเครื่อง ดังรูปที่ 3.46 โดยจะมีทั้งในส่วนของวงจรกำลังและวงจรควบคุมรวมอยู่ด้วยกัน เช่น มีปุ่มกด จอแสดงผลแอลซีดี เพื่อปรับตั้งค่า และแสดงผลต่างๆ เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย และมีความปลอดภัยต่อการใช้งานต่อผู้ใช้



หมายเหตุ: หน่วย cm

รูปที่ 3.45 ขนาดของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

เครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าที่ได้ออกแบบโดยใช้โปรแกรม SolidWork



รูปที่ 3.46 แบบจำลองเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

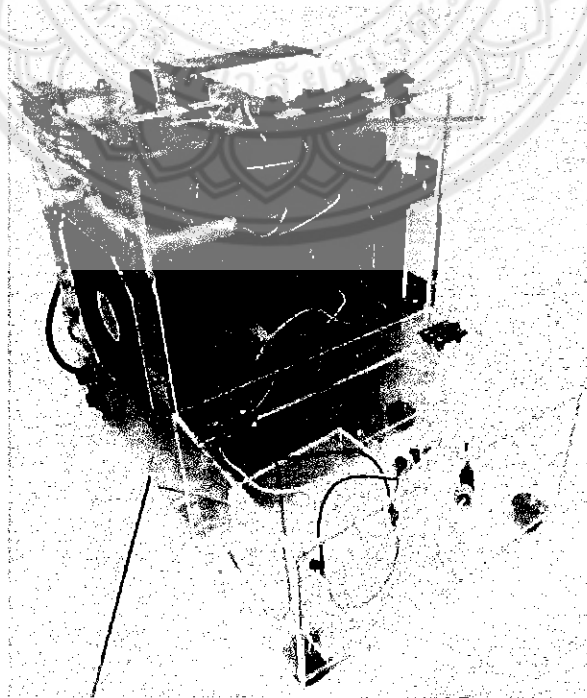
ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

- 1) หลอดแอลอีดีแสดงสถานะขณะทำงาน
- 2) ปุ่มปรับระดับแรงดัน
- 3) ปุ่มรีเซ็ตการทำงาน
- 4) ปุ่มเปลี่ยนความกว้างพัลส์แรงดันไฟฟ้า
- 5) ช่องสำหรับใส่เนื้อโค
- 6) หลอดแอลอีดีแสดงสถานะหยุดการทำงาน
- 7) หน้าจอแสดงผลการทำงาน
- 8) คู่มือแสดงการใช้งาน
- 9) ปุ่มกดปรับตั้งเวลา
- 10) พัดลมระบายความร้อน

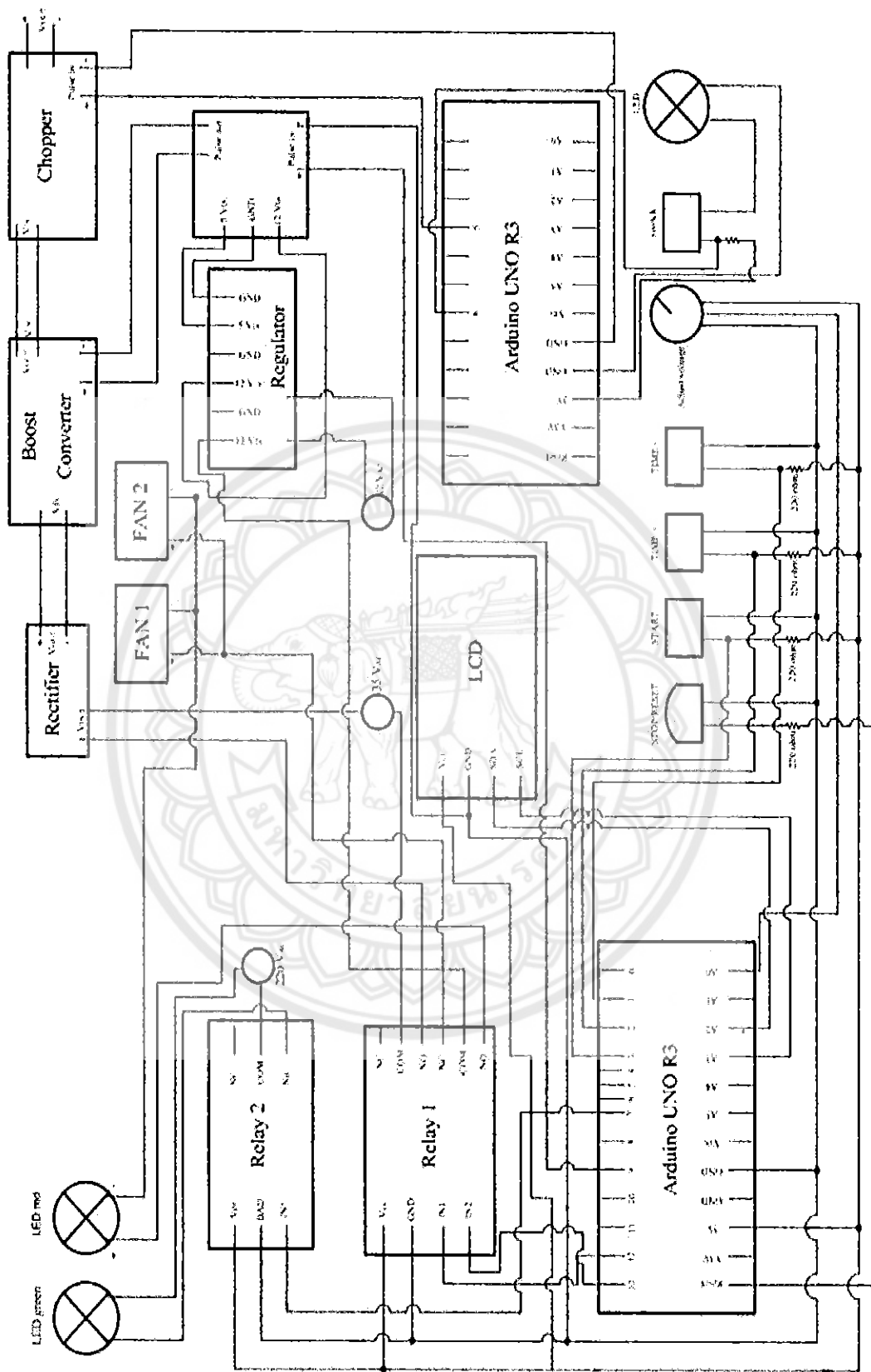
3.3.2 วงจรภายในและโครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

การสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าที่ได้ออกแบบไว้แล้วด้วยโปรแกรม SolidWork โดยมีลักษณะของเครื่อง ดังรูปที่ 3.47 และในส่วนของการทำงานกำลัง เข้ากับวงจรควบคุม และอุปกรณ์อื่นๆดังรูปที่ 3.48 ซึ่งอาจมีความซับซ้อนเนื่องจากตัวเครื่องมีขนาดเล็ก โดยมีวิธีการต่อวงจรดังนี้

- 1) ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เข้ากับตัววงจรทระดับแรงดัน เพื่อส่งจ่ายแรงดันขนาด 50 โวลต์ เข้าสู่ตัววงจรทระดับแรงดันดังกล่าว โดยถูกกำหนดให้เป็นแรงดันขาเข้า
- 2) ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ เข้ากับวงจรขยายสัญญาณพัลส์ เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับไอซีเบอร์ IR 2110 ในวงขยายสัญญาณพัลส์ให้สามารถทำงานได้
- 3) นำบอร์ด Arduino ที่สร้างสัญญาณพัลส์ไปต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณพัลส์ เพื่อให้สัญญาณพัลส์มีขนาดของแอมป์ริจูดเพิ่มมากขึ้น
- 4) นำสัญญาณพัลส์ที่ถูกขยายแล้วไปต่อเข้ากับวงจรทระดับแรงดัน เพื่อมาใช้สวิตซ์ซึ่งมอสเฟตในแผงวงจรทระดับแรงดันเพื่อให้วงจรสามารถทำงานเป็นตัวสวิตซ์ซึ่งได้
- 5) ปรับค่าควิตีไซเคิล โดยการปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ออกแบบไว้เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรทระดับแรงดันให้ออกมาตามต้องการ จากนั้นนำแรงดันที่ได้ส่งจ่ายไปยังในส่วนของวงจรชอปเปอร์ เพื่อให้แรงดันเอาท์พุทมีลักษณะเป็นพัลส์แรงดัน

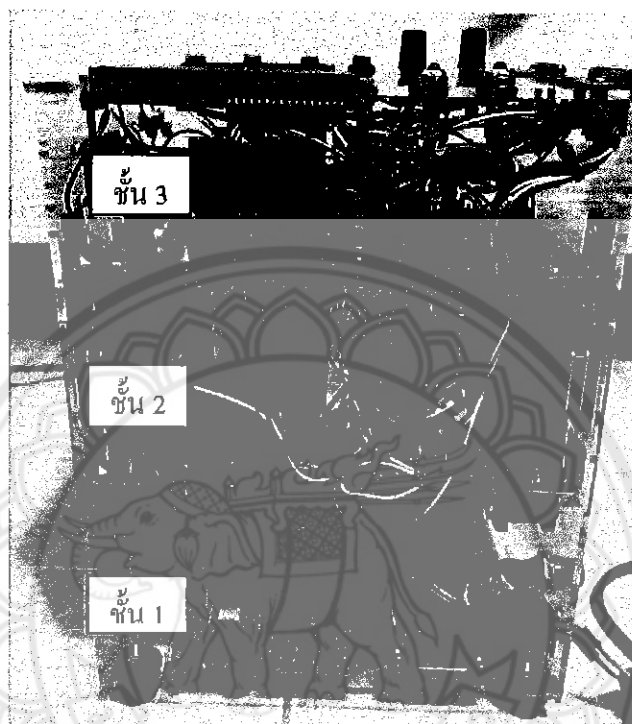


รูปที่ 3.47 เครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

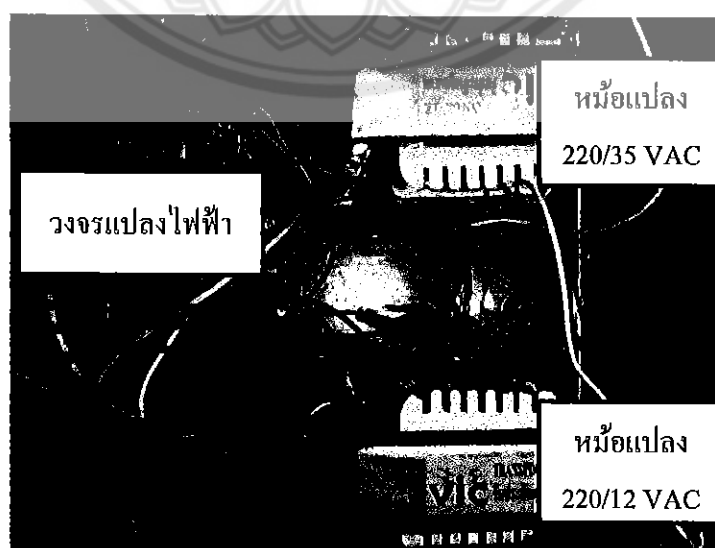


รูปที่ 3.48 รูปแบบการต่อวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

จากวิธีการต่อวงจรหรือขั้นตอนการต่อวงจรกำลังให้สามารถทำงานร่วมกับวงจรควบคุม เพื่อนำมาสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า โดยจะมีลักษณะของการต่อวงจรไฟฟ้าภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ดังรูปที่ 3.49



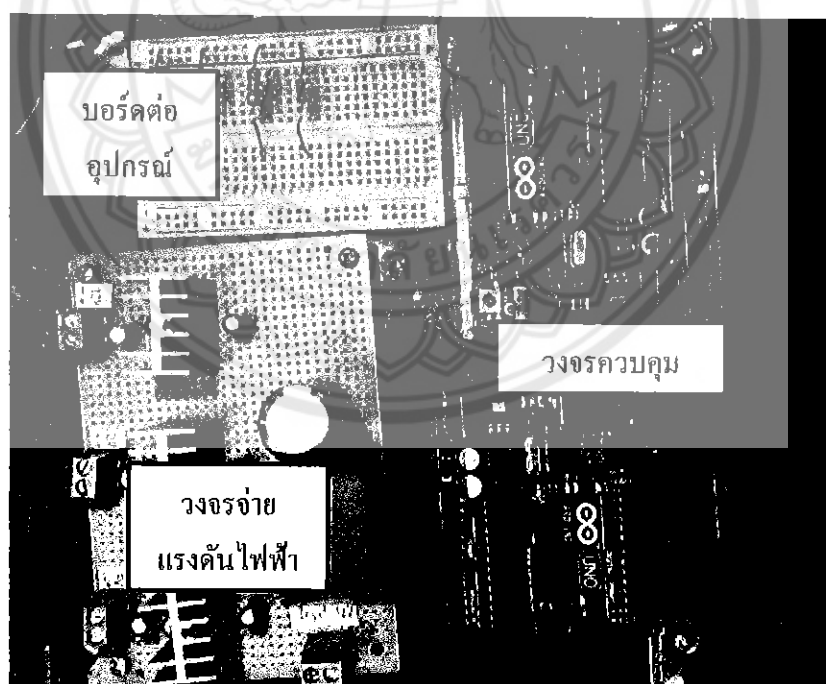
รูปที่ 3.49 วงจรภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.50 วงจรภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า (ชั้นที่ 1)



รูปที่ 3.51 วงจรภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า (ชั้นที่ 2)



รูปที่ 3.52 วงจรภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า (ชั้นที่ 3)

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพ

จากการสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคหนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าโดยมีการติดตั้งแผงวงจรให้ทำงานร่วมกัน และติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานจากนั้นจึงทำการทดสอบการทำงานของตัวเครื่องโดยใช้เครื่องมือวัด เช่น ออสซิลโลสโคป โวลต์มิเตอร์ มิลลิแอมป์ และแคลมป์ เพื่อใช้วัดขนาดของแรงดันไฟฟ้า และขนาดของกระแสไฟฟ้าในขณะที่ก่อนทำงาน และหลังทำงาน ซึ่งเป็นการทดสอบทางด้านขีดจำกัดการทำงานของเครื่อง และความปลอดภัยของเครื่องต่อการใช้งาน

3.4.1 ทดสอบทางด้านอินพุต

เครื่องกระตุ้นเนื้อโคหนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าจะเริ่มทำงานได้ก็ต่อเมื่อต้องแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เข้าไปในเครื่อง ดังนั้นจึงมีขนาดของกระแสที่จ่ายให้กับเครื่อง และขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ภายในตัวเครื่อง ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงกระแสไฟฟ้าสลับและกำลังไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเอาต์พุต

ปรับขนาดแรงดันไฟฟ้า กระแสตรง (VDC)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ (VDC)	กระแสสลับ ทางด้านอินพุต (A)	กำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย (W)
90	220	0.266	58.52
80	220	0.236	51.92
70	220	0.207	45.54
60	220	0.177	38.94
50	220	0.147	32.34

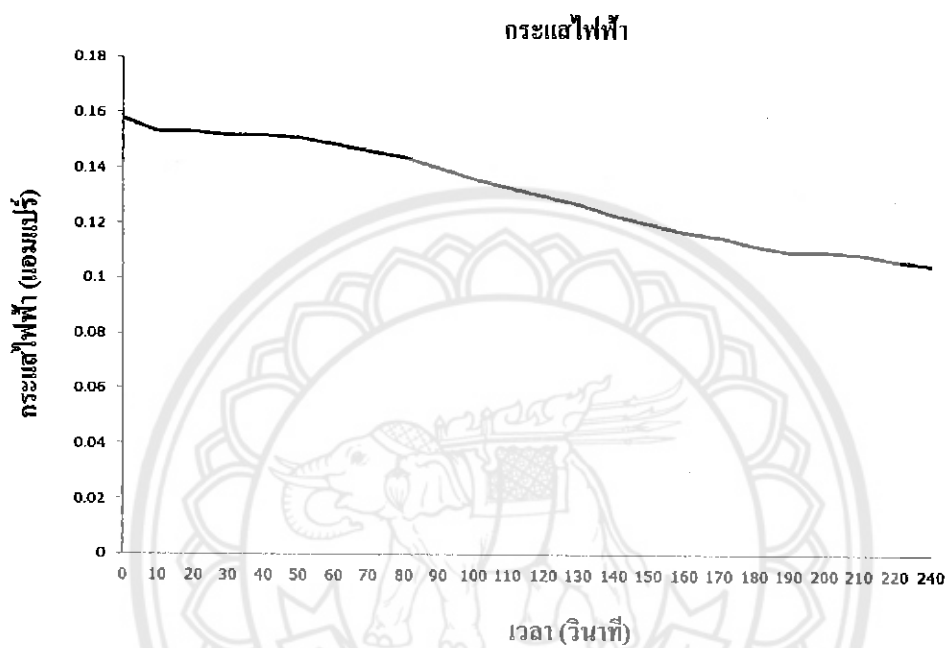
3.4.2 ทดสอบทางด้านเอาต์พุต

ขนาดความกว้างพัลส์ของแรงดันไฟฟ้าตรงที่ความถี่เปลี่ยนแปลงไป ขนาดแรงดันและขนาดกระแสไฟฟ้าตรงทางด้านเอาต์พุต ในขณะที่ใช้เครื่องกระตุ้นในกระตุ้นเนื้อโค ดังตารางที่ 3.7

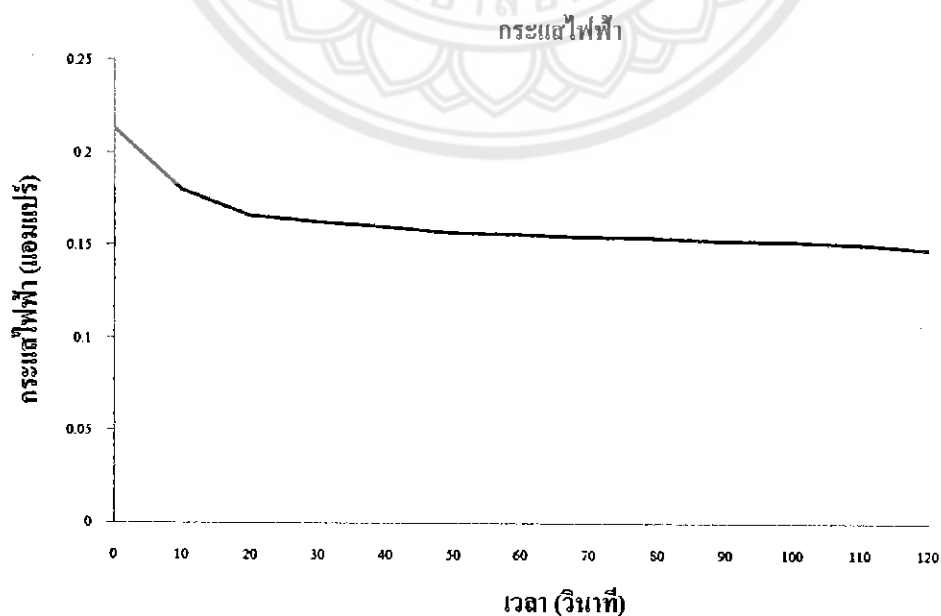
ตารางที่ 3.7 แสดงกระแสไฟฟ้าตรงและขนาดพัลส์ทางด้านเอาต์พุต

ขนาดแรงดันไฟฟ้า(VDC)	ขนาดกระแสไฟฟ้าตรง (A)	ขนาดพัลส์ขณะกระตุ้น (ms)
90	0.318	40
80	0.283	40
70	0.249	40
60	0.213	40
50	0.158	40

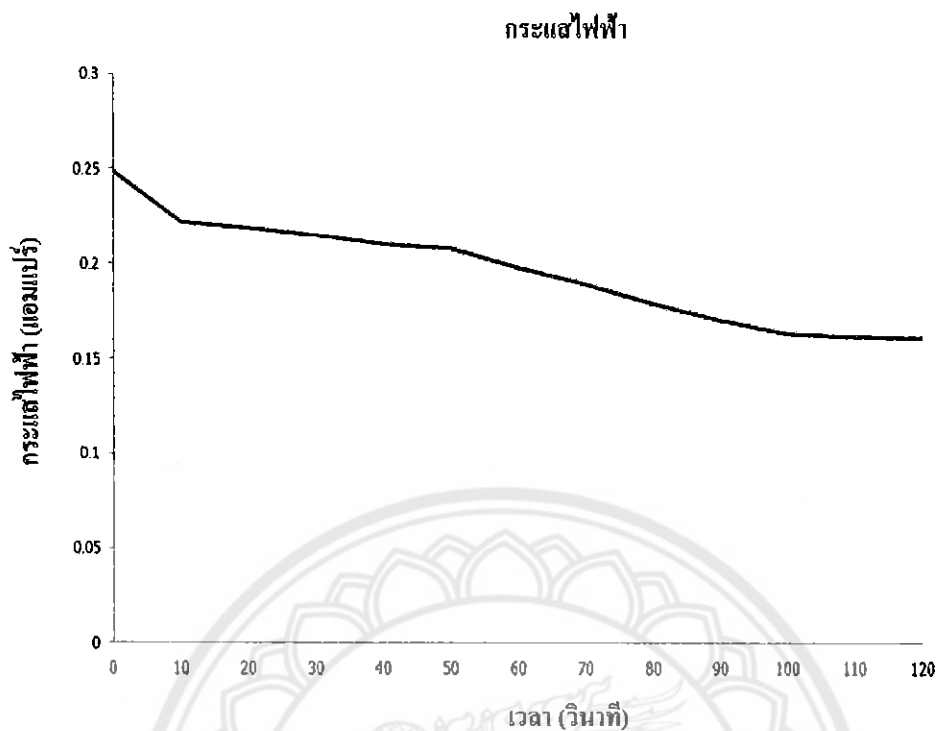
การทดสอบปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่พิกัดต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยจะนำขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเหล่านี้มาใช้กระตุ้นเนื้อโคให้มีความนุ่ม และในส่วนของ การกระตุ้นเนื้อโคจะทำการกระตุ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีระยะเวลาสำหรับการกระตุ้นเนื้อโคที่มีความ เหมาะสมที่ทำให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และขนาดกระแสตรงที่ไหลผ่านเนื้อโค มีการ เปลี่ยนแปลงไป ดังต่อไปนี้



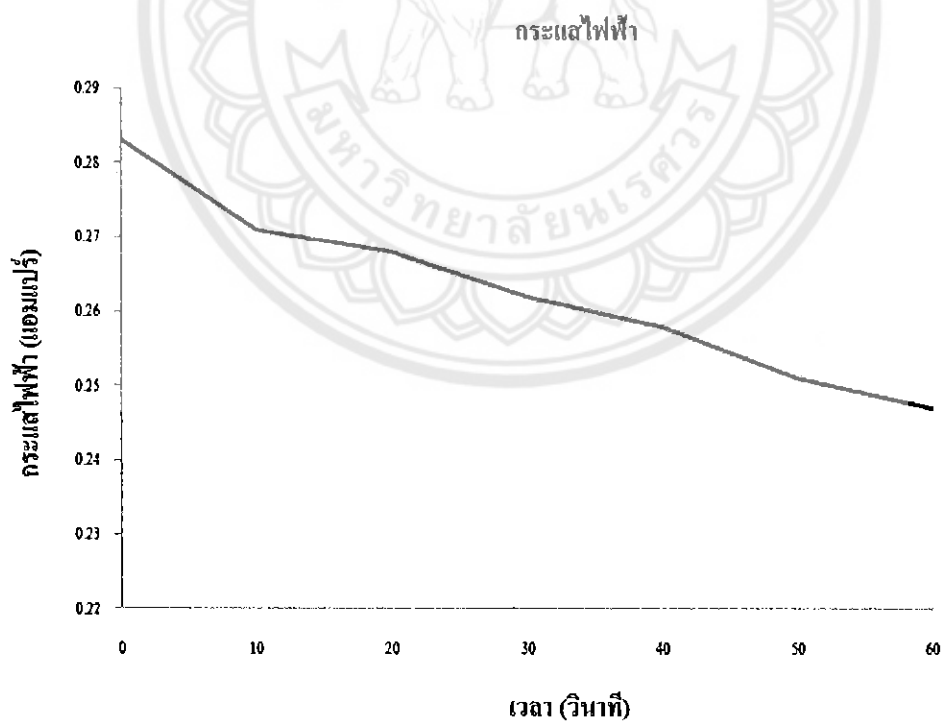
รูปที่ 3.53 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 50 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 4 นาที



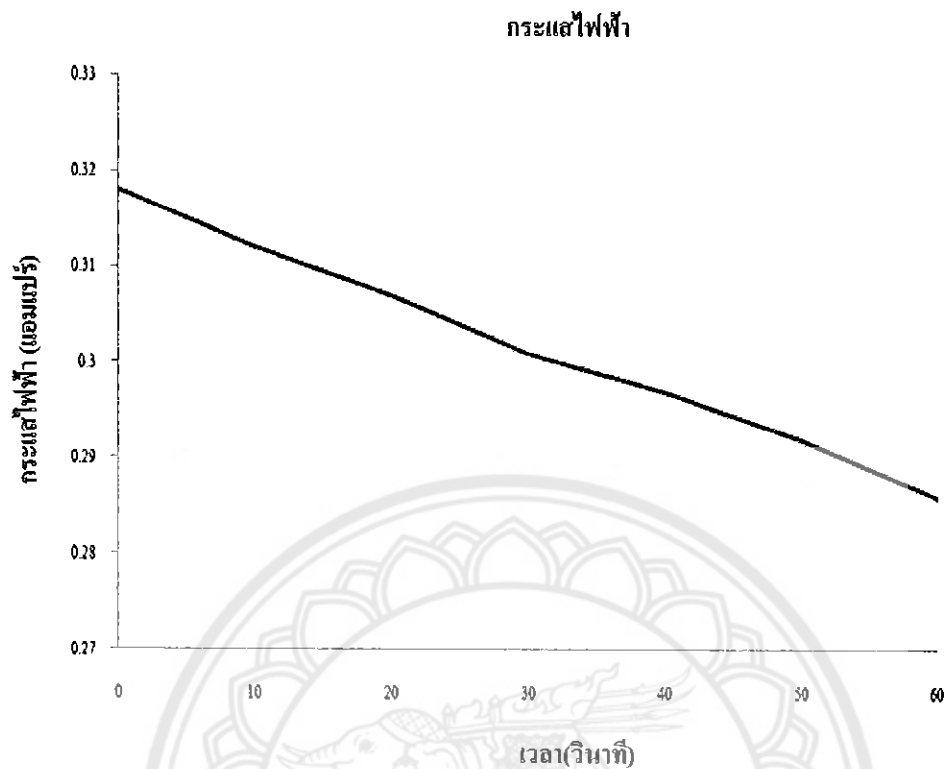
รูปที่ 3.54 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 60 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 2 นาที



รูปที่ 3.55 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 70 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 2 นาที



รูปที่ 3.56 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 80 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 1 นาที



รูปที่ 3.57 กราฟแสดงกระแสไฟฟ้าตรงที่ 90 โวลต์ 40 มิลลิวินาที ที่เวลา 1 นาที

จากการทดสอบ ปรับแรงดันที่พิกัดต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับกระตุ้นเนื้อโคให้มีความนุ่ม พบว่าในแต่ละช่วงเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น จะมีกระแสไฟฟ้าลดลง และส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลงไปด้วย เนื่องจากเนื้อโคจะมีน้ำที่เป็นองค์ประกอบภายในเนื้อ ในช่วงแรกที่ทำกรกระตุ้นเนื้อจะมีน้ำไหลออกมาจากเนื้อทำให้เนื้อมีความต้านทานเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าลดลง

บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบ และผลการทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อโค โดยเป็นการทดสอบสภาพของเนื้อโคที่ถูกกระตุ้นด้วยเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้านี้ จะใช้ชิ้นเนื้อโคส่วนสะโพกบนที่มีขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์นิ้ว ในการทดสอบ โดยมีวิธีต่าง ๆ ในการทดสอบเนื้อโคด้วยวิธีดังต่อไปนี้

1) การทดสอบทางกายภาพ แบ่งออกเป็น

- 1.1) ทดสอบแรงตัด หรือแรงเคียน
- 1.2) ทดสอบแรงกด
- 1.3) ทดสอบแรงบิด

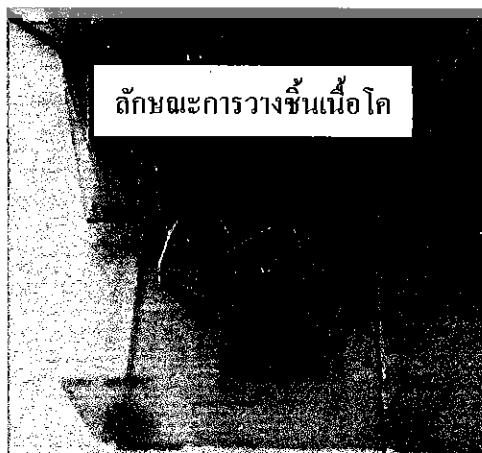
2) การทดสอบทางเคมี แบ่งออกเป็น

- 2.1) ทดสอบสีของเนื้อ
- 2.2) ทดสอบอุณหภูมิ
- 2.3) ทดสอบความเป็นกรด-ด่าง

3) การทดสอบการสูญเสียน้ำหนักถูกกระตุ้น

4) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบความนุ่มของชิ้นเนื้อโค โดยเนื้อที่นำมากระตุ้นจะเป็นเนื้อโคส่วนสะโพกบน โดยจะกระตุ้นเนื้อโคหลังถูกชำแหละทันที เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเนื้อโค โดยจะกระตุ้นเนื้อโคด้วยพิกัดแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด และสูงสุด คือ 50 และ 90 โวลต์ ที่ช่วงเวลา 1 และ 5 นาที ขนาดพัลส์ 10 และ 40 มิลลิวินาที ดังรูปที่ 4.1 และลักษณะของเนื้อเมื่อถูกกระตุ้น ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การกระตุ้นเนื้อโคด้วยเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า



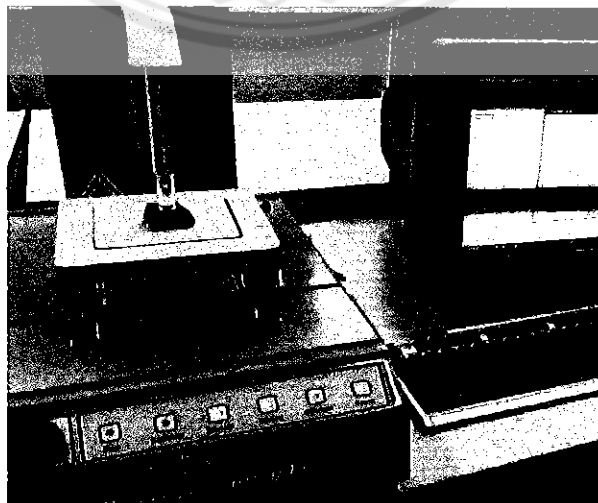
รูปที่ 4.2 ลักษณะภายนอกของเนื้อโคหลังถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.2 เมื่อกระตุ้นเนื้อ โคด้วยพิกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด พบว่าลักษณะภายนอกของเนื้อโคที่ถูกกระตุ้นมีรอยดำอย่างเห็นได้ชัด เมื่อใช้ระยะเวลาในการกระตุ้น 4 -5 นาที เนื่องจากถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้านานเกินไป ส่วนที่พิกัดแรงต่ำสุดไม่ทำให้เนื้อมีรอยดำ ดังนั้นจึงสุ่มทดสอบกระตุ้นเนื้อโคที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างๆ ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 50 และ 90 โวลต์

โดยการทดสอบจะกระตุ้นเนื้อ โคส่วนสะโพกบน ขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์นิ้ว จำนวน 3 ชิ้น ต่อหนึ่งสภาวะ เช่น สภาวะแรงดัน 50 โวลต์ ขนาดพัลส์ 10 มิลลิวินาที เวลา 1 นาที โดยวางแผนการทดสอบแบบ RCRD และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

4.1 การทดลองทางกายภาพ

การทดสอบทางกายภาพเป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ของเนื้อ โคส่วนสะโพกบนหลังถูกกระตุ้น ดังรูปที่ 4.3 ในการวัดแรงตัด แรงกด และแรงบดของเนื้อ โค



รูปที่ 4.3 เครื่องมือทดสอบเนื้อสัมผัส (เครื่อง Texture Analyser)

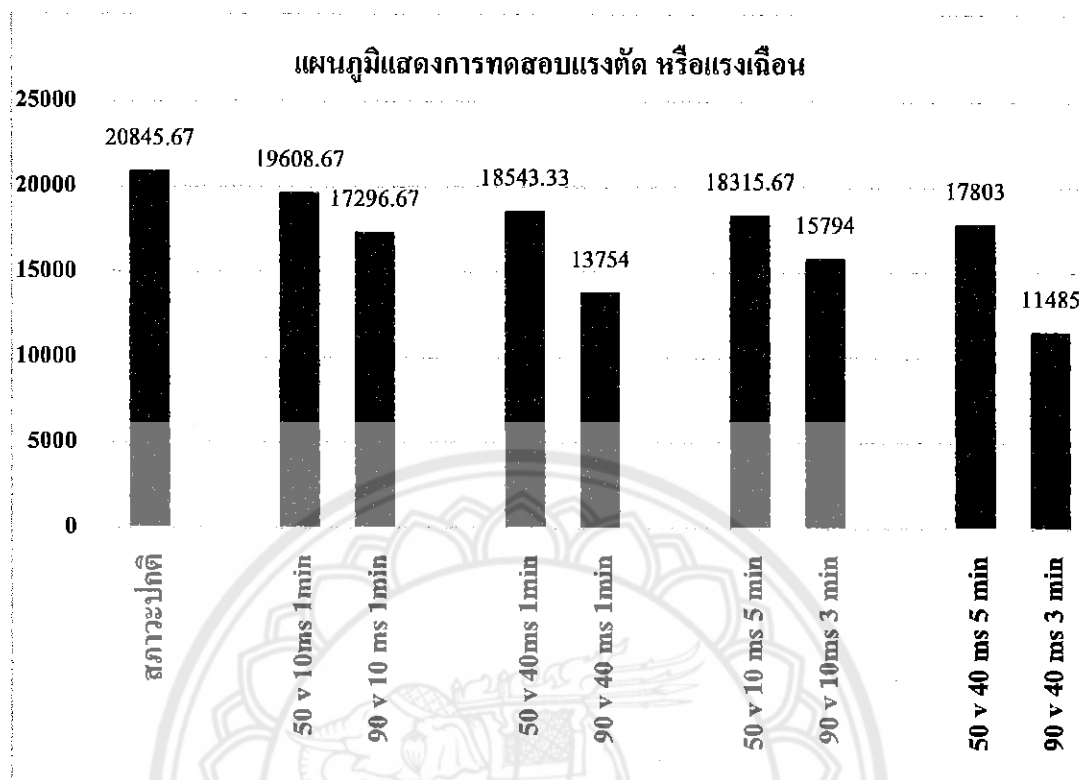
เนื้อสัมผัส (texture) หมายถึง ลักษณะที่ผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ด้วยการสัมผัส ซึ่งผู้บริโภคสามารถรับรู้เนื้อสัมผัสของอาหารได้ด้วยการสัมผัสด้วยมือ โดยการจับ และ บีบ บี การสัมผัสด้วยฟัน ลิ้น และอาจรับรู้ด้วยการเคี้ยว โดยสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อโค มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของเนื้อโคโดยตรง และเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้บริโภคใช้เนื้อสัมผัสเป็นเกณฑ์หลักเพื่อพิจารณา ตัดสินการยอมรับ และมีผลอย่างยิ่งกับระดับความชอบ โดยมีการทดสอบดังนี้

4.1.1 ทดสอบแรงตัด หรือแรงเฉือน

การทดสอบแรงตัด หรือแรงเฉือน (shear test) เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อโค โดยการใช้เครื่องมือวัด (เครื่อง texture analysis) โดยจะใช้ใบมีดตัดชิ้นเนื้อสุกให้ขาดออกเป็นสองส่วน มีหน่วยในการวัดเป็น กรัมฟอส (gf) เป็นวิธีที่มักใช้กับอาหารที่เป็นเส้นใย เช่น เนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ การทดสอบค่าแรงตัด หรือแรงเฉือน ดังตารางที่ 4.1 โดยแรงตัด หรือแรงเฉือนจะมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัส คือ ความนุ่ม (tenderness) และความเหนียว (toughness)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบค่าแรงตัด

แรงดันไฟฟ้า (VDC)	ฟิล์ม (ms)	เวลา (min)	แรงตัด (gf)
50	10	1	19608.67
		5	18315.67
	40	1	18543.33
		5	17803.00
90	10	1	17296.67
		3	15794.00
	40	1	13754.00
		3	11485.00
สภาวะปกติ	-	-	20845.67



รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงการทดสอบแรงตัด หรือแรงเฉือน

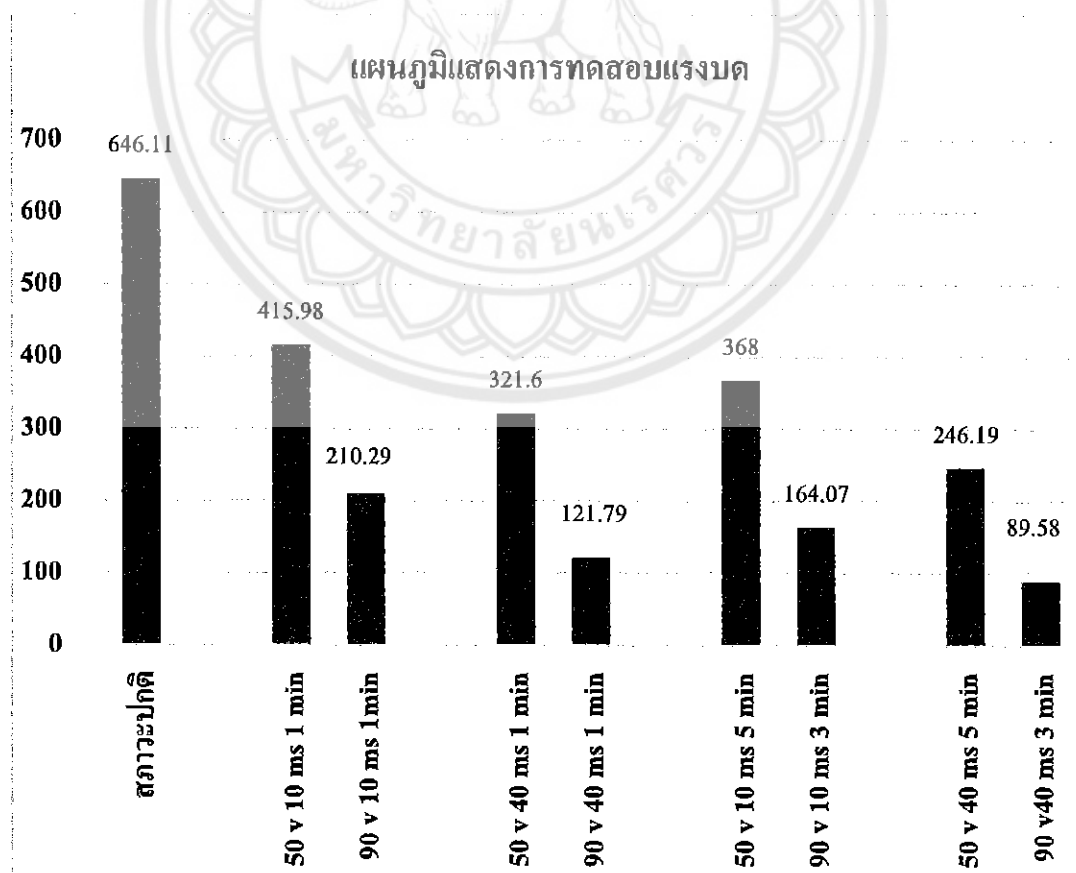
จากรูปที่ 4.4 ในการทดสอบแรงตัดขนาดของเนื้อพบว่า เมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นเนื้อโคจะทำให้ค่าแรงตัดมีค่าน้อยลง เช่นที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ และ 90 โวลต์ ที่เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าแรงตัดที่แตกต่างกัน แต่ถ้าเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นเนื้อโค ก็จะทำให้ค่าแรงตัดน้อยลงด้วย เช่น ที่ระยะเวลา 1 นาที และ 3 นาที ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าแรงตัดที่แตกต่างกัน และถ้าเพิ่มขนาดพัลส์ในการกระตุ้นมากขึ้น ก็จะทำให้ค่าของแรงตัดน้อยลงไปด้วยเช่นกัน เมื่อนำในแต่ละสภาวะมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเนื้อมีความนุ่มลงมากเมื่อเทียบกับเนื้อที่สภาวะปกติ โดยจากการทดสอบค่าแรงตัดขนาด หรือแรงเฉือน

4.1.2 ทดสอบแรงบด

การทดสอบแรงบด (Chewiness) เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อโค โดยการใช้เครื่องมือวัด (เครื่อง texture analysis) โดยใช้หัวกดทดสอบแบบกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดของชิ้นเนื้อโค โดยเป็นการให้แรงกด ลงบนชิ้นเนื้อโคเป็นจำนวน 2 ครั้ง เพื่อเป็นการจำลองการใช้ฟันบดเนื้อโค ที่มีความง่ายต่อการเคี้ยว และการทดสอบค่าแรงบดแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าแรงบด

แรงดันไฟฟ้า (VDC)	พัลส์ (ms)	เวลา (min)	แรงบด (g)	
50	10	1	415.98	
		5	368.00	
	40	1	321.60	
		5	246.19	
90	10	1	210.29	
		3	164.07	
	40	1	121.79	
		3	89.58	
	สถานะปกติ	-	-	646.11



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการทดสอบแรงบด

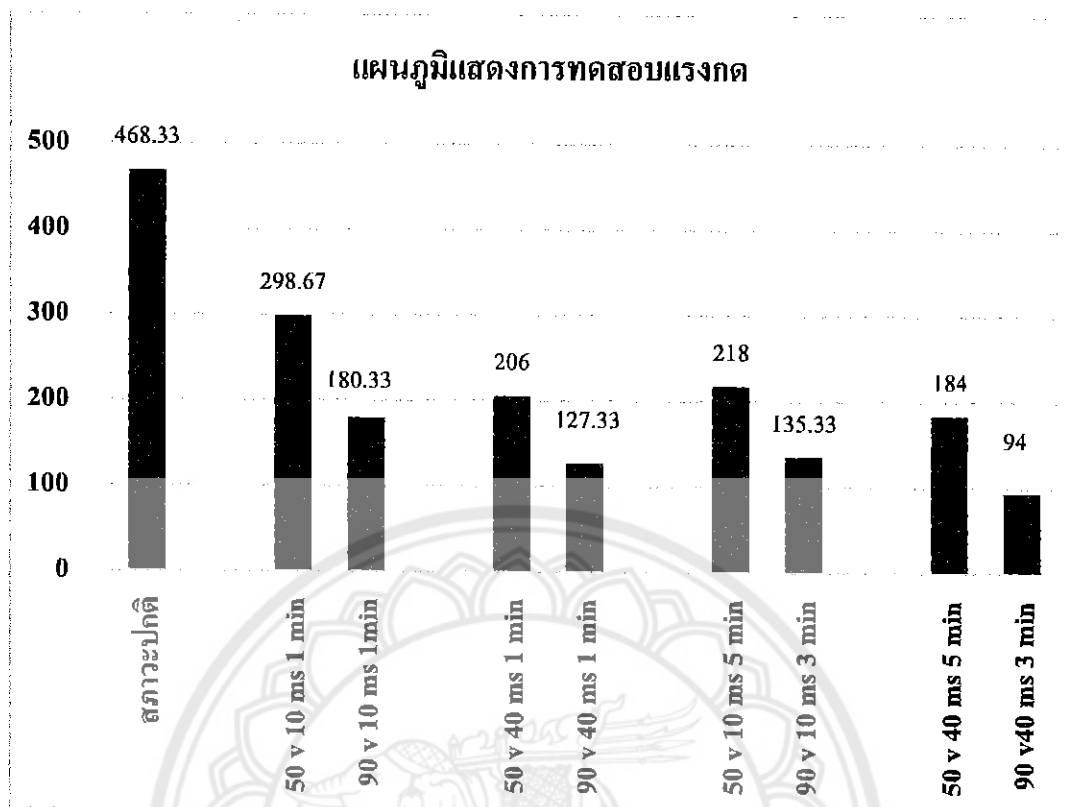
จากรูปที่ 4.5 ในการทดสอบแรงกดของเนื้อโคพบว่า เมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นเนื้อโคจะทำให้ค่าแรงกดมีค่าน้อยลง เช่นที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ และ 90 โวลต์ ที่เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าแรงกดที่แตกต่างกัน แต่ถ้าเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นเนื้อโคก็จะทำให้ค่าแรงกดน้อยลงด้วย เช่น ที่ระยะเวลา 1 นาที และ 3 นาที ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าแรงกดที่แตกต่างกัน และถ้าเพิ่มขนาดพัลส์ในการกระตุ้นมากขึ้น ก็จะทำให้ค่าของแรงกดน้อยลงไปด้วยเช่นกัน เมื่อนำชิ้นเนื้อโคในแต่ละสภาวะมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเนื้อที่มีความง่ายต่อการเคี้ยว หรือมีความนุ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อที่สภาวะปกติ โดยจากการทดสอบแรงกด

4.1.3 ทดสอบแรงกด

การทดสอบแรงกด (compression test) เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อโค โดยการใช้เครื่องมือวัด (เครื่อง texture analysis) โดยใช้หัวกดทดสอบแบบกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับแรงกด เป็นการทดสอบการตอบสนองของชิ้นเนื้อโคเมื่อมีแรงกดมากระทำ การทดสอบแรงกด เป็นวิธีที่ใช้การที่วิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยการใช้แรงกดหรือแรงอัดในแนวตรง ทำให้วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เพื่อแสดงให้เห็นว่าชิ้นเนื้อมีความง่ายต่อการกด หรือมีความนุ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าแรงกด

แรงดันไฟฟ้า (VDC)	พัลส์ (ms)	เวลา (min)	แรงกด (gf)
50	10	1	298.67
		5	218.00
	40	1	206.00
		5	184.00
90	10	1	180.33
		3	135.33
	40	1	127.33
		3	94.00
สภาวะปกติ	-	-	468.33

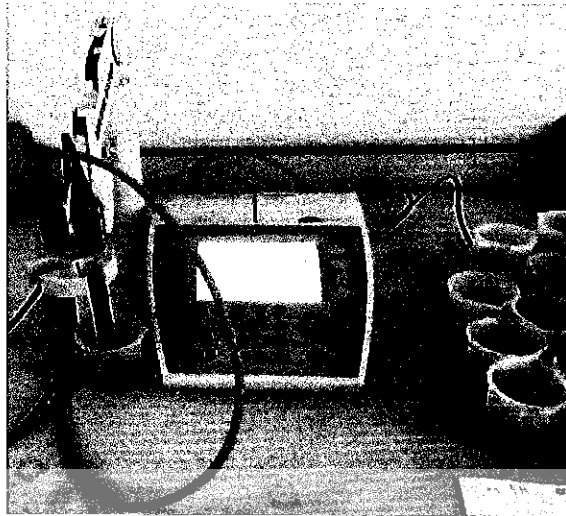


รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการทดสอบแรงกด

จากรูปที่ 4.6 ในการทดสอบแรงกดของเนื้อโคพบว่า เมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในการกระตุ้นเนื้อโคจะทำให้ค่าแรงกดมีค่าน้อยลง เช่นที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ และ 90 โวลต์ ที่เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าแรงกดที่แตกต่างกัน แต่ถ้าเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นเนื้อโค ก็จะทำให้ค่าแรงกดน้อยลงด้วย เช่น ที่ระยะเวลา 1 นาที และ 3 นาที ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าแรงกดที่แตกต่างกัน และถ้าเพิ่มขนาดพัลส์ในการกระตุ้นมากขึ้น ก็จะทำให้ค่าของแรงกดน้อยลงไปด้วยเช่นกัน เมื่อนำชิ้นเนื้อโคในแต่ละสภาวะมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเนื้อมีความง่ายต่อการกดมากขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้อที่สภาวะปกติ โดยจากการทดสอบแรงกด

4.2 การทดสอบทางเคมี

การทดสอบทางเคมีเป็นการทดสอบสภาพของชิ้นเนื้อโคโดยใช้เครื่องมือวัด และสารเคมีบางชนิด ดังรูปที่ 4.4 และทดสอบสีของเนื้อโค ดังรูปที่ 4.5 เพื่อทดสอบ โครงสร้าง และลักษณะภายนอกของเนื้อโคจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากการถูกกระตุ้น



รูปที่ 4.7 เครื่องมือทดสอบทางเคมี (เครื่อง Mettler Toledo)



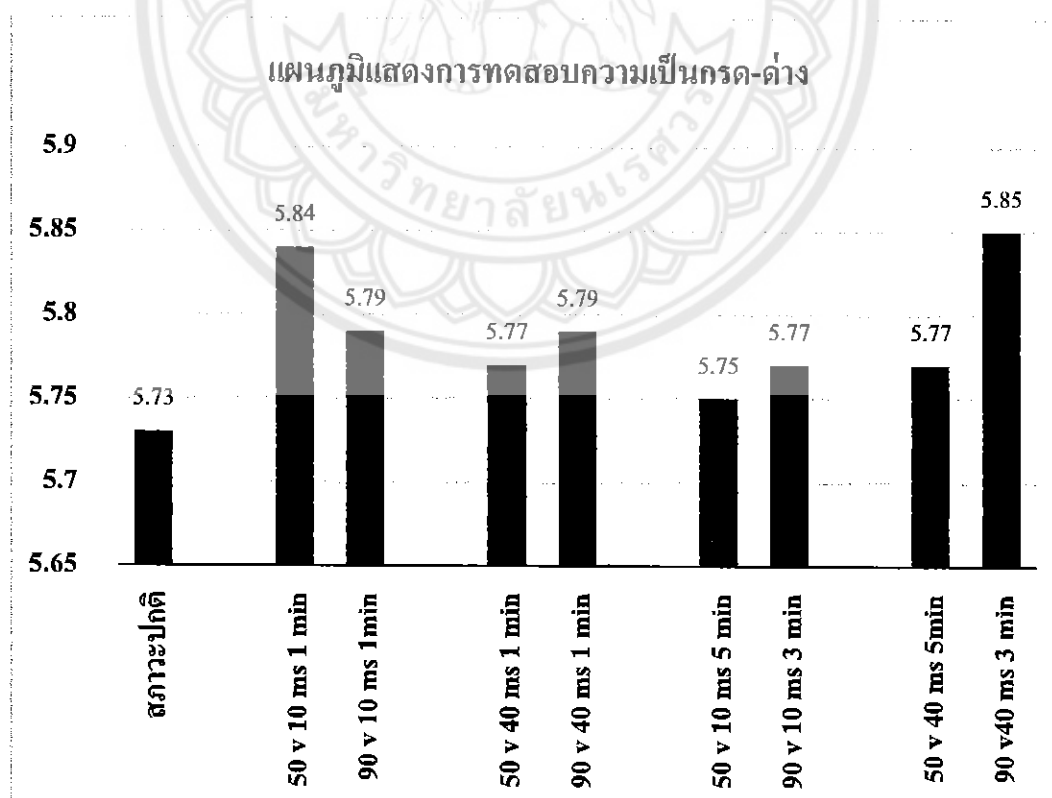
รูปที่ 4.8 เครื่องมือทดสอบสีของเนื้อโค (เครื่อง HunterLab)

4.2.1 ทดสอบความเป็นกรด-ด่าง

การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง จะใช้เครื่อง Mettler Toledo ในการทดสอบ โดยนำเนื้อโค หลังถูกกระตุ้นแต่ละสภาวะมาผ่านการสับทำให้เนื้อละเอียดผสมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร และทำการวัดค่า ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง

แรงดันไฟฟ้า (VDC)	พัลส์ (ms)	เวลา (min)	กรด-ด่าง (pH)
50	10	1	5.84
		5	5.75
	40	1	5.77
		5	5.77
90	10	1	5.79
		3	5.77
	40	1	5.79
		3	5.85
		-	-
สถานะปกติ	-	-	5.73



รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง

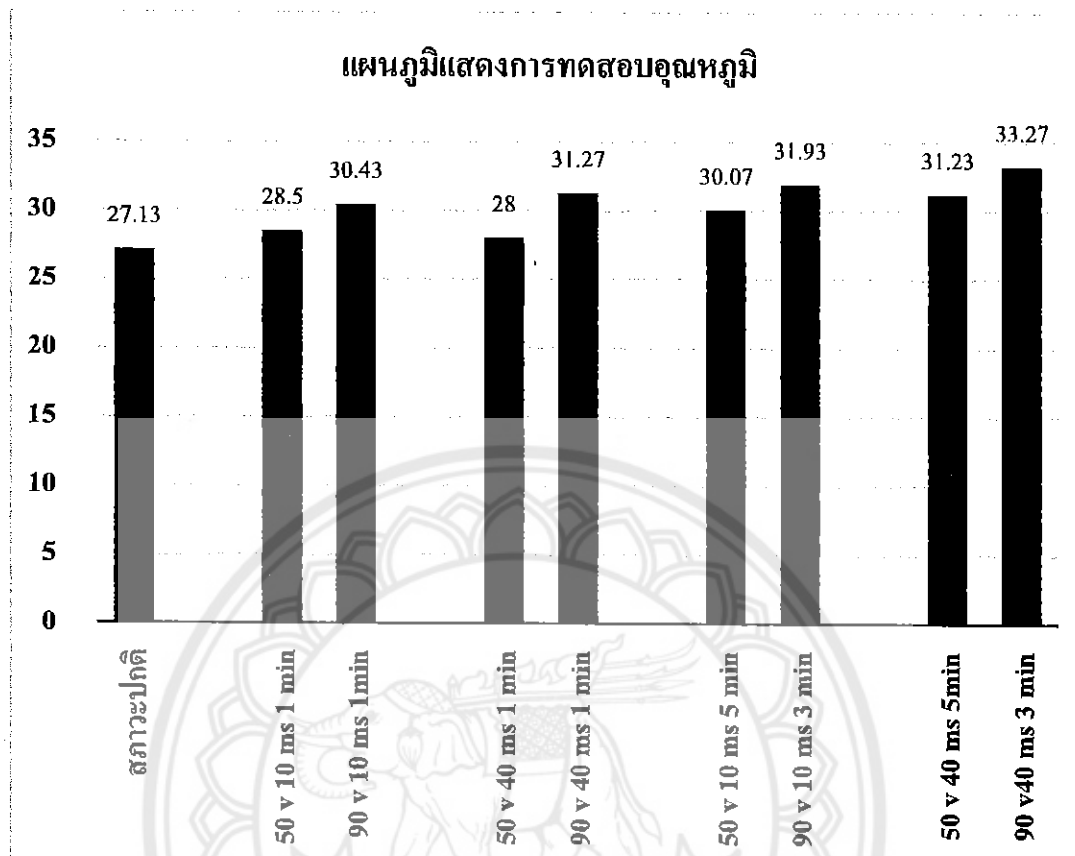
จากรูปที่ 4.9 ในการทดสอบแรงกดของเนื้อโคพบว่า เมื่อขึ้นเนื้อโคถูกกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้า จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้นมากกว่า กรณีของสภาวะปกติ เช่น ที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.85 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ เนื้อที่สภาวะปกติ ซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ 5.73 ซึ่งจากตารางการทดสอบ จะพบว่าถ้าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้กระตุ้นเนื้อ ไม่เกิน 90 โวลต์ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะปกติไปมาก (ค่ากรด-ด่าง เท่ากับ 6) เนื่องจากระดับไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดเป็นไฟฟ้าระดับต่ำ ที่สำหรับใช้กระตุ้นขึ้นเนื้อโคให้มีความนุ่ม

4.2.2 ทดสอบอุณหภูมิ

การทดสอบอุณหภูมิของชิ้นเนื้อโค โดยการใช้เทอร์โมมิเตอร์วัด โดยจะทำการวัดชิ้นเนื้อโค ทั้งสี่ด้านที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยจะทำการวัดค่าทันทีหลังเนื้อโคถูกกระตุ้น ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิของเนื้อโค

แรงดันไฟฟ้า (VDC)	พัลส์ (ms)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (C°)
50	10	1	28.50
		5	30.07
	40	1	28.00
		5	31.23
90	10	1	30.43
		3	31.93
	40	1	31.27
		3	33.27
สภาวะปกติ	-	-	27.23



รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงการทดสอบอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.10 ในการทดลองอุณหภูมิพบว่า ชิ้นเนื้อโคที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าอุณหภูมิเท่ากับ 33.27 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเนื้อที่สภาวะปกติ มีค่าอยู่ที่ 27.23 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อโคที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของเนื้อโคที่สภาวะปกติ ดังนั้นจากการทดลองสรุปได้ว่า ขนาดแรงดัน เวลา และ ขนาดของพัลส์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อโคเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปจากเดิม แต่ก็ไม่เป็นปัญหาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมีค่าค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับเนื้อโคที่สภาวะปกติ

4.2.3 ทดสอบสีของเนื้อ

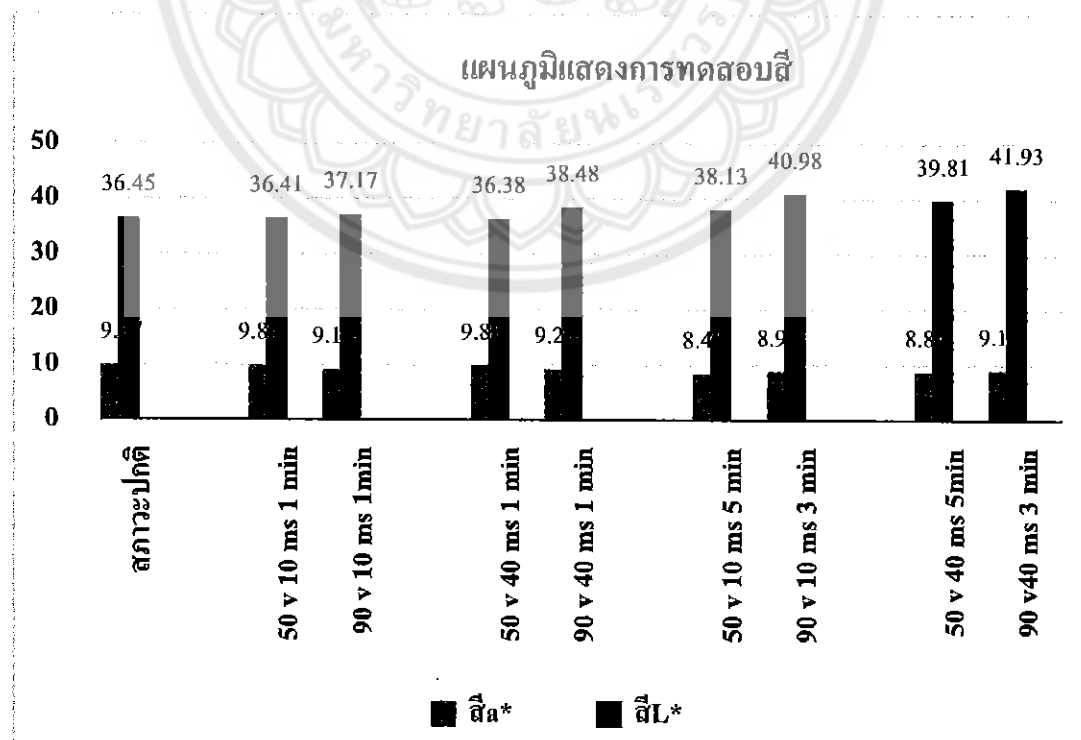
การทดสอบสีของชิ้นเนื้อ โค จะใช้เครื่องมือชื่อ HunterLab ในการตรวจวัดค่าสีของชิ้นเนื้อโคในทุกสภที่ถูกระตุ้น โดยชิ้นเนื้อโคที่ใช้จะเป็นเนื้อโคที่อุณหภูมิห้องในการทดสอบ ได้ผลการทดสอบดังตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบสีของเนื้อโค

แรงดันไฟฟ้า (VDC)	พัลส์ (ms)	เวลา (min)	สีของเนื้อโค	
			a*	L*
50	10	1	9.85	36.41
		5	8.49	38.13
	40	1	9.88	36.38
		5	8.84	39.81
90	10	1	9.15	37.16
		3	8.91	40.98
	40	1	9.26	38.48
		3	9.13	41.93
		-	9.87	36.45
สถานะปกติ	-	-	9.87	36.45

หมายเหตุ a* คือ ค่าความแดงของเนื้อ ถ้ามีค่ามากเนื้อจะแดงมาก

L* คือ ค่าความสว่างของเนื้อ ถ้ามีค่ามากเนื้อจะสว่างมาก



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงการทดสอบสี

ค่า a^* คือ ค่าความแดงของเนื้อ ถ้ามีค่ามากเนื้อจะแดงมา L^* คือ ค่าความสว่างของเนื้อ ถ้ามีค่ามากเนื้อจะมีความชื้น จากรูปที่ 4.11 ในการทดสอบค่าสีของเนื้อโค ที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที พบว่า L^* มีค่าเท่ากับ 41.93 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ เนื้อที่สภาวะปกติซึ่ง L^* มีค่าอยู่ที่ 36.45 พบว่าสีของเนื้อมีความชื้นมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสีของเนื้อที่สภาวะปกติ

ที่สภาวะแรงดัน 50 โวลต์ เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที พบว่า L^* มีค่าเท่ากับ 39.81 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ เนื้อที่สภาวะปกติซึ่ง L^* มีค่าอยู่ที่ 36.45 พบว่าสีของเนื้อมีความชื้นมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสีของเนื้อที่สภาวะปกติ

เนื้อโค ที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 1 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที พบว่า L^* มีค่าเท่ากับ 38.48 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสีของเนื้อที่สภาวะแรงดัน 50 โวลต์ เวลา 1 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที พบว่า L^* มีค่าเท่ากับ 36.38 สีของเนื้อที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 1 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีความชื้นมากกว่าเล็กน้อย

แต่ค่า a^* ที่แสดงในตารางจะมีค่าใกล้เคียงคือเนื้อ โคยังมีสีแดงอยู่ เมื่อผ่านการกระตุ้นในสภาวะต่างๆ ถ้าหากค่า a^* มีค่าน้อยแปลว่าเนื้อจะมีสีน้ำเงิน

จากการทดลองสรุปได้ว่า ขนาดแรงดัน เวลา และ ขนาดของพัลส์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อโคเกิดการเปลี่ยนสีไปจากเดิม เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เรานำไปกระตุ้นเนื้อ โคไปทำลายเซลล์เม็ดสีทำให้เนื้อมีความชื้นลง ส่งผลลักษณะปรากฏไม่ดีเท่าที่ควร

4.3 การทดสอบน้ำหนัก

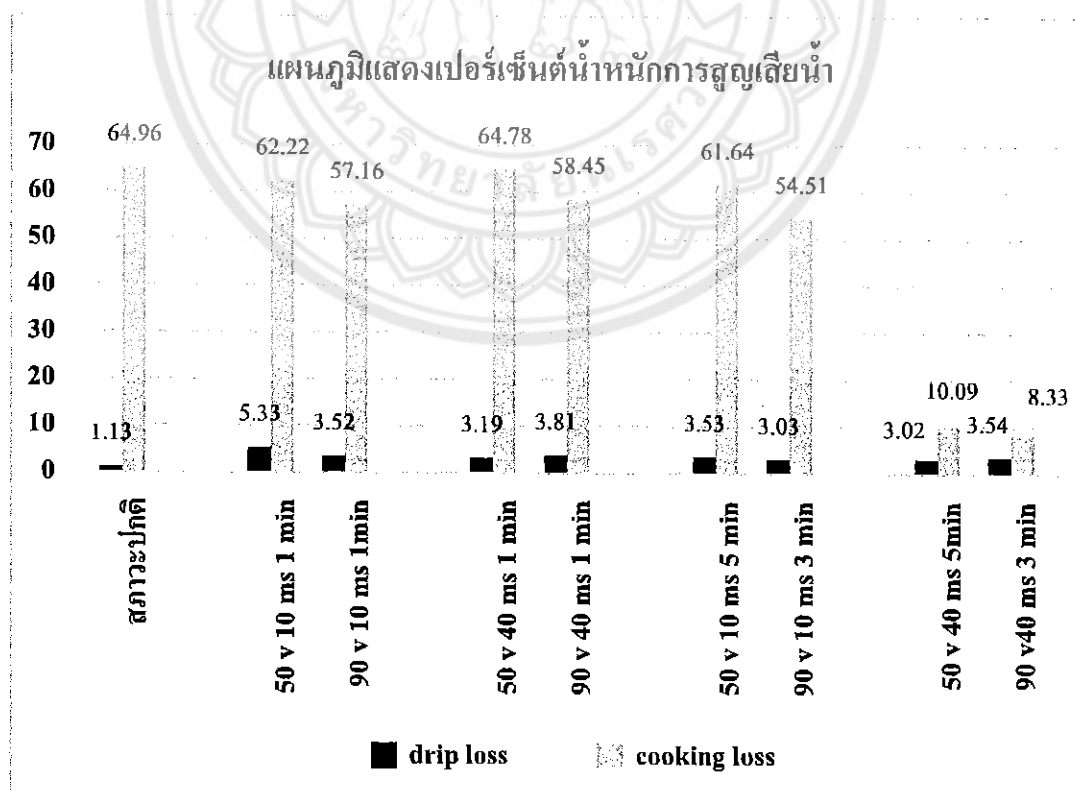
คุณภาพของเนื้อโคสามารถวิเคราะห์ได้จาก การหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ที่แสดงในรูปของค่าการสูญเสียน้ำขณะเก็บรักษาเนื้อดิบ (drip loss) หลังถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้า และ ใช้ผ้าขาวบางห่อชิ้นเนื้อโค เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยค่าการสูญเสีย น้ำจากการทำละลายน้ำแข็ง (thawing loss) ดังตารางที่ 4.7 ส่วนการประกอบอาหารเนื้อสุก (cooking loss) เป็นการวิเคราะห์ความนุ่มของเนื้อ โคด้วยวิธีการประเมินด้านประสาทสัมผัส โดยนำเนื้อ โคม่า คัมที่อุณหภูมิน้ำเดือด 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 นาที และวิเคราะห์การสูญเสีย น้ำ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบน้ำหนักของเนื้อโคดิบ

แรงดัน (VDC)	พัลส์ (ms)	เวลา (min)	เนื้อดิบ			
			น้ำหนักเนื้อ (g)	น้ำหนักผ้า ก่อนห่อ (g)	น้ำหนักผ้า หลังห่อ (g)	น้ำที่ไหล ออกมาจากเนื้อ (%)
50	10	1	13.89	2.17	2.91	5.33
		5	11.88	2.18	2.60	3.53
	40	1	14.39	2.21	2.67	3.19
		5	17.86	2.27	2.81	3.02
90	10	1	10.51	2.23	2.60	3.52
		3	12.54	2.10	2.48	3.03
	40	1	14.95	2.14	2.71	3.81
		3	14.68	2.15	2.67	3.54
สภาวะ ปกติ	-	-	10.66	2.44	2.56	1.13

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบน้ำหนักของเนื้อสุก

แรงดันไฟฟ้า (VDC)	พัลส์ (ms)	เวลา (min)	น้ำหนักเนื้อสุก (g)	น้ำหนักเนื้อสุกเมื่อเทียบกับเนื้อดิบ (%)
50	10	1	8.65	62.22
		5	7.30	61.46
	40	1	9.33	64.78
		5	10.09	56.49
90	10	1	5.79	57.16
		3	6.83	54.51
	40	1	8.73	58.45
		3	8.33	56.75
สภาวะปกติ	-	-	5.91	64.96



รูปที่ 4.12 แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการสูญเสีย

จากรูปที่ 4.11 ในการทดสอบการสูญเสียของเนื้อโคดิบ(drip loss) พบว่า เนื้อโคที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีค่าความสูญเสียเท่ากับ 3.54 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ เนื้อที่สภาวะปกติ ซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ 1.13 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเนื้อโคที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาทีที่มีค่าความสูญเสียน้ำมากกว่าที่สภาวะปกติเมื่อนำมาเปรียบเทียบ เนื่องจากเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นเนื้อโคจะทำให้เซลล์ภายในเนื้อโคเกิดการแตกตัว ทำให้เกิดน้ำไหลออกมา ส่วนเนื้อโคที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 1 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที พบว่ามีค่าความสูญเสียน้ำเท่ากับ 3.81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ เนื้อที่สภาวะแรงดัน 50 โวลต์ เวลา 1 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที ซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ 3.19 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเนื้อโคที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 1 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาทีที่มีค่าความสูญเสียน้ำมากกว่าที่สภาวะแรงดัน 50 โวลต์ เวลา 1 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที เมื่อนำมาเปรียบเทียบ

จากการทดสอบการสูญเสียของเนื้อโคดิบ สรุปได้ว่า ขนาดแรงดัน เวลา และ ขนาดของพัลส์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อโคเกิดการเปลี่ยนแปลงสีไปจากเดิม เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เรานำไปกระตุ้นเนื้อโคทำให้เซลล์ภายในเนื้อโคเกิดการแตกตัว ทำให้เกิดน้ำไหลออกมา ส่งผลให้ความฉ่ำของเนื้อโคลดลง อาจส่งผลต่อความชอบส่วนบุคคลได้

จากรูปที่ 4.11 ในการทดสอบการสูญเสียของเนื้อโคสุก(cooking loss) พบว่าเนื้อโคที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที มีน้ำหนักเท่ากับ 56.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเนื้อดิบซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับ 14.68 กรัม ในขณะที่ เนื้อที่สภาวะปกติ ซึ่งจะมีน้ำหนักอยู่ที่ 64.96 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเนื้อดิบซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับ 14.34 กรัม พบว่าเนื้อโคที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 3 นาที ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาทีมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักของเนื้อโคที่สภาวะปกติเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นเนื้อโคจะทำให้เซลล์ภายในเนื้อโคเกิดการแตกตัว ทำให้เกิดน้ำไหลออกมาในขณะที่ต้มเนื้อ

จากการทดสอบการสูญเสียของเนื้อโคสุก ทั้งหมดข้างต้นพบว่า เมื่อเรากระตุ้นเนื้อด้วยแรงดันที่มากขึ้น และเวลาที่มากขึ้นจะทำให้เนื้อโคมีความนุ่มมากขึ้น ดังการทดลองทางกายภาพตามตารางที่ 4.1 4.2 และ 4.3 แต่ลักษณะที่ปรากฏไม่ดีเนื่องจากเรื่องสี ความสว่างของเนื้อโค มีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องมาจาก กระแสไฟฟ้าที่ไปกระตุ้นเนื้อโคจะทำให้การแตกตัวของเซลล์เกิดได้มากขึ้น และทำให้อุณหภูมิในเนื้อโคมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นถ้ายังใช้แรงดันมากก็จะยิ่งทำให้เนื้อโคนุ่มมากขึ้น แต่ลักษณะปรากฏของเนื้อโคหลังกระตุ้นจะมีคุณภาพลดลง

4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะวัดโดยใช้ ผู้บริโภค จำนวน 10 คน โดยจะให้ผู้บริโภค รับประทานเนื้อโคที่ทำให้สุกด้วยวิธีการต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และถูกทำให้เย็นที่ อุณหภูมิห้อง โดยชิ้นเนื้อจะมีขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์นิ้ว และจะให้ผู้ทดสอบบริโภคชิ้นเนื้อโคทำ แบบสอบถาม

แบบสอบถาม

ส่วนที่1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ: ชาย หญิง อายุ.....

ส่วนที่2: ความพึงพอใจของผู้ตอบแบบสอบถาม

สถานะของเนื้อโค	ลักษณะเนื้อสัมผัส				
	ชอบมาก	ชอบ	เฉยๆ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบมาก
50 โวลต์ 10 ms เวลา 5 นาที					
50 โวลต์ 40 ms เวลา 5 นาที					
90 โวลต์ 10 ms เวลา 3 นาที					
90 โวลต์ 40 ms เวลา 3 นาที					
สถานะปกติ					

หมายเหตุ: สามารถเลือกตอบได้เพียงสถานะเดียวเท่านั้น

รูปที่ 4.13 แบบสอบถามทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.9 ผลสำรวจจากการทำแบบสอบถามทางประสาทสัมผัส

สภาวะของเนื้อโค	จำนวนคน				
	ชอบมาก	ชอบ	เฉยๆ	ไม่ชอบ	ไม่ชอบมาก
50 V 10 ms เวลา 5 min	3	2	3	2	0
50 V 40 ms เวลา 5 min	3	4	2	1	0
90 V 10 ms เวลา 3 min	3	4	2	1	0
90 V 40 ms เวลา 3 min	5	3	1	1	0
สภาวะปกติ	1	2	5	2	0

จากตารางที่ 4.9 ผลการสำรวจความนิยมพบว่าที่สภาวะปกติ มีความชอบเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะมีความรู้สึกเฉยๆกับสภาวะปกติ แต่เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น ความกว้างพัลส์เพิ่มขึ้น จะมีคะแนนความชอบเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และยังมีส่วนที่ไม่ชอบอาจเป็นเพราะความชอบส่วนบุคคล เรื่องของการสูญเสียทำให้เนื้ออาจจะแห้งกว่าปกติเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น และเวลาเพิ่มขึ้น จากผลสำรวจความนิยมทั้ง 5 สภาวะ ผู้บริโภคนับจำนวน 10 คน พอใจกับเนื้อที่ถูกกระตุ้น

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการ สามารถสรุปผล และชี้แจงปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน รวมทั้งข้อเสนอแนะและแนวทางการแก้ปัญหาต่างๆ และให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไปดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในโครงการนี้ได้ทำการสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำให้ชิ้นเนื้อโคให้มีความนุ่มขึ้น สามารถใช้ภายในครัวเรือน และเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวก โดยจะใช้แรงดันพัลส์กระแสตรงเพื่อไปกระตุ้นเนื้อที่เกิดการเกร็งหลังถูกฆ่า ภายในตัวเครื่องจะมีปุ่มหมุนปรับระดับแรงดัน ปุ่มกดเลือกพัลส์ เลือกเวลาการทำงาน และจอแอลซีดีแสดงผลอยู่ด้านบน ซึ่งในการกระตุ้นนั้น จะมีเหล็กปลายแหลมเพื่อเสียบเข้าไปในเนื้อ โคน ซึ่งง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้เครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนส่วนสะโพกบนขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์นิ้ว ซึ่งเครื่องกระตุ้นสามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 50-90 โวลต์ ปรับตั้งเวลาการทำงานได้ 1-5 นาที และสามารถปรับขนาดความกว้างของพัลส์ได้ 10 20 30 และ 40 มิลลิวินาที เมื่อนำชิ้นเนื้อ โคนมากระตุ้นพบว่า เมื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้า หรือเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นชิ้นเนื้อ โคนให้เพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นเนื้อ โคน เช่น ค่าของแรงตึง แรงกด และแรงบิด มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นเนื้อที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นหรือชิ้นเนื้อ โคนที่สภาวะปกติ ส่วนคุณภาพของชิ้นเนื้อ โคน ในด้านลักษณะของสีเนื้อ โคน และความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะปกติไม่มากนัก เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นเป็นแรงดัน ไฟฟ้าต่ำ และคุณภาพของเนื้อ ในด้านการอุ้มน้ำภายในชิ้นเนื้อ โคน เมื่อนำชิ้นเนื้อ โคนดิบมาทำให้สุก โดยการนำมาต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นเนื้อ โคนสุกมีขนาดน้ำหนักเบาว่าเนื้อดิบ เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำจากการนำมาประกอบอาหาร โดยผลทดสอบดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าสามารถทำให้เนื้อ โคนนุ่มขึ้น สามารถใช้งานในครัวเรือนได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

1) ในขณะที่ชุดอุปกรณ์กำลังเป็นเวลานานทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าเกิดความร้อน ซึ่งการแก้ปัญหาในกรณีนี้ คือ การพักการทำงานของเครื่องสักครู่เพื่อรอให้หม้อแปลงเย็นลง

2) โครงสร้างของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้ามีลักษณะปิดทำให้เมื่อเกิดความเสียหายจึงซ่อมแซมได้ยาก โดยการแก้ไขปัญหาคือ ทำโครงสร้างเครื่องที่สามารถเปิดออกได้หลายด้านเพื่ออำนวยความสะดวก

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

1) ในการทำงาน สามารถเพิ่มความสามารถในการวัดแรงดัน โดยมีการติดตั้ง โวลต์มิเตอร์ เข้าไปในเครื่อง

2) การออกแบบให้สามารถใช้กับเนื้อที่ขนาดใหญ่ขึ้น

3) ในการต่อวงจรไฟฟ้า สามารถทำการการออกแบบลายทองแดง แทนการต่อสายไฟแบบธรรมดา

4) เพิ่มการทดสอบเนื้อที่ถูกกระตุ้นในทุกระดับแรงดัน



เอกสารอ้างอิง

- [1] Arduino UnoBoard “Overview arduinouno R3”, สืบค้นเมื่อกันยายน 2558 จาก <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>.
- [2] Smart Learning, “หลักการทงานของรีเลย์ (Relay)”, สืบค้นเมื่อกันยายน 2558 จาก <http://www.smartlearningweb.com/knowledge/relay/relay.htm>
- [3] <http://www.thaieasyelec.com/>, สืบค้นเมื่อกันยายน 2558
- [4] <http://www.myarduino.net/article/25>, สืบค้นเมื่อตุลาคม 2558
- [5] บ้านอิเล็กทรอนิกส์, “อุปกรณ์ ตอน รีเลย์”, สืบค้นเมื่อตุลาคม 2558 จาก http://www.semi-shop.com/knowledge/knowledge_detail.php?sk_id=28
- [6] กรมปลั้วตัว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สืบค้นเมื่อตุลาคม 2558 จาก <http://extension.dld.go.th/th1/>
- [7] อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น, สืบค้นเมื่อตุลาคม 2558 จาก <http://icelectronic.com/beginner/index.htm>
- [8] ชัยณรงค์ คันทพินิต, วรณวิมล สาสนรักกิจ, สมศักดิ์ เกศสิทธิชัย และพิชัย เถิมहित. 2529. เครื่องกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงความเหนียวและคุณภาพเนื้อโคอายุมาก. การประชุมทางวิชาการสาขาสัตว ครึ่งที่ 24 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [9] วีรเชษฐ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์ 2549. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. ปรินต์ติ้ง



โปรแกรมภาษาซีที่ใช้ในการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์

การเขียนโปรแกรมภาษาซี ที่ควบคุมการปล่อยสัญญาณพัลส์เพื่อไปสวิตซ์ซึ่งมอเตอร์เฟสของ วงจรทบทแรงดัน (Boost Converter) และวงจรชอปเปอร์ รวมไปถึงการควบคุมเวลาในการทำงาน

```
#include <Wire.h> //เรียกใช้คำสั่งการสื่อสารแบบ I2C
#include <LCD.h> //เรียกใช้คำสั่งจอ LCD
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //ประกาศ Library ของจอ LCD
#define I2C_ADDR 0x27 // กำหนดตำแหน่ง Address ของและขนาดของจอ LCD
#define BACKLIGHT_PIN 8 //กำหนดเพื่อให้สามารถควบคุมไฟแบล็คไลท์ของจอ LCD ได้
LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR,2,1,0,4,5,6,7); //กำหนดขาใช้งานจอแสดงผลแอลซีดี
int A = 2; //กำหนดตัวแปร A ให้ทำงานที่ขา 2
int B = 3; //กำหนดตัวแปร B ให้ทำงานที่ขา 3
int C = 4; //กำหนดตัวแปร C ให้ทำงานที่ขา 4
int D = 6; //กำหนดตัวแปร D ให้ทำงานที่ขา 6
const byte PULSES2 = 5; //กำหนดตัวแปร PULSES2 ให้ทำงานที่ขา 5
int sensorPin = A0; //กำหนดตัวแปร sensorPin ให้ทำงานที่ขา A0
int PULSES1 = 9; //กำหนดตัวแปร PULSES1 ให้ทำงานที่ขา 9
int sensorValue; //กำหนดตัวแปร sensorValue
int VRValue; //กำหนดตัวแปร VRValue
int Relay1 = 12; //กำหนดตัวแปร Relay1 ให้ทำงานที่ขา 12
int Relay2 = 13; //กำหนดตัวแปร Relay2 ให้ทำงานที่ขา 13
int Relay3 = 7; //กำหนดตัวแปร Relay3 ให้ทำงานที่ขา 7
int i=0; //ประกาศตัวแปร i ให้เริ่มต้นทำงานที่ 0
int j=0; //ประกาศตัวแปร j ให้เริ่มต้นทำงานที่ 0
int AA = 0; //ประกาศตัวแปรชื่อ AA ให้เริ่มทำงานที่ 0
int BB = 0; //ประกาศตัวแปรชื่อ BB ให้เริ่มทำงานที่ 0
int CC = 0; //ประกาศตัวแปรชื่อ CC ให้เริ่มทำงานที่ 0
int DD = 0; //ประกาศตัวแปรชื่อ DD ให้เริ่มทำงานที่ 0
unsigned char T; //ประกาศตัวแปร T เพื่อใช้เก็บข้อมูลเป็นตัวเลข
unsigned char P; //ประกาศตัวแปร P เพื่อใช้เก็บข้อมูลเป็นตัวเลข
unsigned char X; //ประกาศตัวแปร X เพื่อใช้เก็บข้อมูลเป็นตัวเลข
```



```

unsigned char Y; //ประกาศตัวแปร Y เพื่อใช้เก็บข้อมูลเป็นตัวเลข
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin (20,4); //คำสั่งเปิดให้จอ LCD แสดงทั้ง 4 แถว
  lcd.setBacklightPin(BACKLIGHT_PIN,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.home ();
  pinMode(A, INPUT); //กำหนดให้ A เป็นข้อมูลอินพุต
  pinMode(B, INPUT); //กำหนดให้ B เป็นข้อมูลอินพุต
  pinMode(C, INPUT); //กำหนดให้ C เป็นข้อมูลอินพุต
  pinMode(D, INPUT); //กำหนดให้ D เป็นข้อมูลอินพุต
  pinMode(PULSES1, OUTPUT); //กำหนดให้ PULSES1 เป็นข้อมูลเอาต์พุต
  pinMode(PULSES2, OUTPUT); //กำหนดให้ PULSES2 เป็นข้อมูลเอาต์พุต
  pinMode(Relay1, OUTPUT); //กำหนดให้ Relay1 เป็นข้อมูลเอาต์พุต
  pinMode(Relay2, OUTPUT); //กำหนดให้ Relay2 เป็นข้อมูลเอาต์พุต
  pinMode(Relay3, OUTPUT); //กำหนดให้ Relay3 เป็นข้อมูลเอาต์พุต
}
void loop()
{
  lcd.setCursor(0,2); // คำสั่งให้จอ LCD แสดงข้อความบนจอ
  lcd.print("SET TIME   MINUTE");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("-----");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("SET PULS   ms");
  lcd.setCursor(10,2);
  lcd.print(T); // คำสั่งให้อ่านค่าของตัวแปร T ให้นำมาแสดงบนจอ LCD
  lcd.setCursor(10,3);
  lcd.print(P);
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("STIMULATOR ELECTRI");

```

```

AA=digitalRead(A); //คำสั่งให้ตัวแปร AA อ่านค่าอินพุตจากตัวแปร A
BB=digitalRead(B); //คำสั่งให้ตัวแปร BB อ่านค่าอินพุตจากตัวแปร A
CC=digitalRead(C); //คำสั่งให้ตัวแปร CC อ่านค่าอินพุตจากตัวแปร A
DD=digitalRead(D); //คำสั่งให้ตัวแปร DD อ่านค่าอินพุตจากตัวแปร A
sensorValue = analogRead(sensorPin); //เงื่อนไขในการสร้างสัญญาณ PWM
VRValue = map( sensorValue, 0, 1023, 0, 125);
Serial.println(VRValue);
delay(100);
analogWrite (PULSES1, VRValue); // คำสั่งให้แสดงสัญญาณ PWM ที่ PULSES ขา 9
if(AA == HIGH && DD == HIGH) //เงื่อนไขแสดงการเพิ่มเวลา
{
  T++;
  delay(150);
}
if(BB == HIGH && DD == HIGH) //เงื่อนไขแสดงการลดเวลา
{
  T--;
  delay(150);
}
if(T>=5 && DD == HIGH)
{
  T= 5;
}
if(AA == HIGH && DD == LOW) //เงื่อนไขในการเพิ่มขนาดพัลส์
{
  X++;
  P=X*10;
  delay(150);
}
if(BB == HIGH && DD == LOW) //เงื่อนไขในการเพิ่มขนาดพัลส์
{

```

```

X--;
P=X*10;
delay(150);
}
if(P>=40 && DD == LOW)
{
P= 40;
}
if(CC == LOW && P == 10 && (T == 1 || T == 2 || T == 3 || T == 4 || T == 5)) //เงื่อนไขในการ
เลือกขนาดความกว้างพัลส์และตั้งเวลา
{
for(i=0;i<=T*2045;i++)
{
Serial.println("turn LED on");
digitalWrite(Relay1, HIGH);
digitalWrite(Relay3, HIGH);
delay(7);

for(j=0;j<=10;j++)
{
digitalWrite(PULSES2, HIGH);
delay(1);
}

for(j=0;j<=10;j++)
{
digitalWrite(PULSES2, LOW);
delay(1);
}
}
digitalWrite(Relay2, HIGH);
}

```

if(CC == LOW && P == 20 && (T == 1 || T == 2 || T == 3 || T == 4 || T == 5)) //เงื่อนไขในการ
เลือกขนาดความกว้างพัลส์และตั้งเวลา

```
{
  for(i=0;i<=T*1200;i++)
  {
    Serial.println("turn LED on");
    digitalWrite(Relay1, HIGH);
    digitalWrite(Relay3, HIGH);
    delay(7);
    for(j=0;j<=20;j++)
    {
      digitalWrite(PULSES2, HIGH);
      delay(1);
    }
    for(j=0;j<=20;j++)
    {
      digitalWrite(PULSES2, LOW);
      delay(1);
    }
  }
  digitalWrite(Relay2, HIGH);
}

if(CC == LOW && P == 30 && (T == 1 || T == 2 || T == 3 || T == 4 || T == 5)) //เงื่อนไขในการ  
เลือกขนาดความกว้างพัลส์และตั้งเวลา
{
  for(i=0;i<=T*860;i++)
  {
    Serial.println("turn LED on");
    digitalWrite(Relay1, HIGH);

    digitalWrite(Relay3, HIGH);
    delay(7);
```

```

for(j=0;j<=30;j++)
{
  digitalWrite(PULSES2, HIGH);
  delay(1);
}
for(j=0;j<=30;j++)
{
  digitalWrite(PULSES2, LOW);
  delay(1);
}
}
digitalWrite(Relay2, HIGH);
}
if(CC == LOW && P == 40 && (T == 1 || T == 2 || T == 3 || T == 4 || T == 5)) //เงื่อนไข
การเลือกขนาดความกว้างพัลส์และตั้งเวลา
{
  for(i=0;i<=T*663;i++)
  {
    Serial.println("turn LED on");
    digitalWrite(Relay1, HIGH);
    digitalWrite(Relay3, HIGH);
    delay(7);
  }
  for(j=0;j<=40;j++)
  {
    digitalWrite(PULSES2, HIGH);
    delay(1);
  }
  for(j=0;j<=40;j++)
  {
    digitalWrite(PULSES2, LOW);
    delay(1);
  }
}

```

```
}  
    digitalWrite(Relay2, HIGH);  
}  
else  
{  
    Serial.println("turn LED off");  
    digitalWrite(Relay1, LOW);  
    digitalWrite(Relay3, LOW);  
}  
}
```





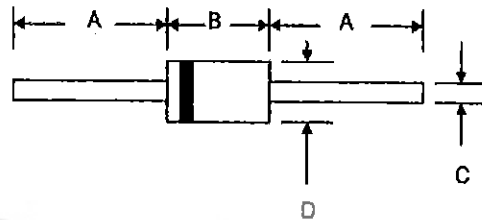


1N4001 – 1N4007

1.0A SILICON RECTIFIER

Features

- Diffused Junction
- Low Forward Voltage Drop
- High Current Capability
- High Reliability
- High Surge Current Capability



Mechanical Data

- Case: Molded Plastic
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Weight: 0.35 grams (approx.)
- Mounting Position: Any
- Marking: Type Number

DC-41		
Dim	Min	Max
A	25.4	—
B	4.06	6.21
C	0.71	0.864
D	2.00	2.72

All Dimensions in mm

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A=25°C unless otherwise specified

Single Phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N 4001	1N 4002	1N 4003	1N 4004	1N 4005	1N 4006	1N 4007	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V _{RRM} V _{RWM} V _R	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}}	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @T _A = 75°C	I _O	1.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}	30							A
Forward Voltage @I _F = 1.0A	V _{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current At Rated DC Blocking Voltage @T _A = 25°C @T _A = 100°C	I _{RM}	5.0 50							μA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J	15							pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient (Note 1)	R _{θJA}	50							K/W
Operating Temperature Range	T _J	-65 to +125							°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 to +150							°C

*Glass passivated forms are available upon request

Note: 1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case
2. Measured at 1.0 MHz and Applied Reverse Voltage of 4.0V D.C.

International
IR Rectifier

Data Sheet No. PD60147 rev.U

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

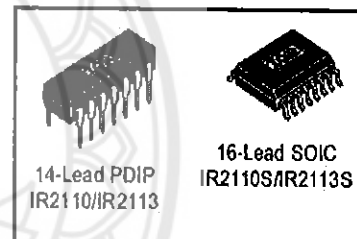
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O+/-}}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

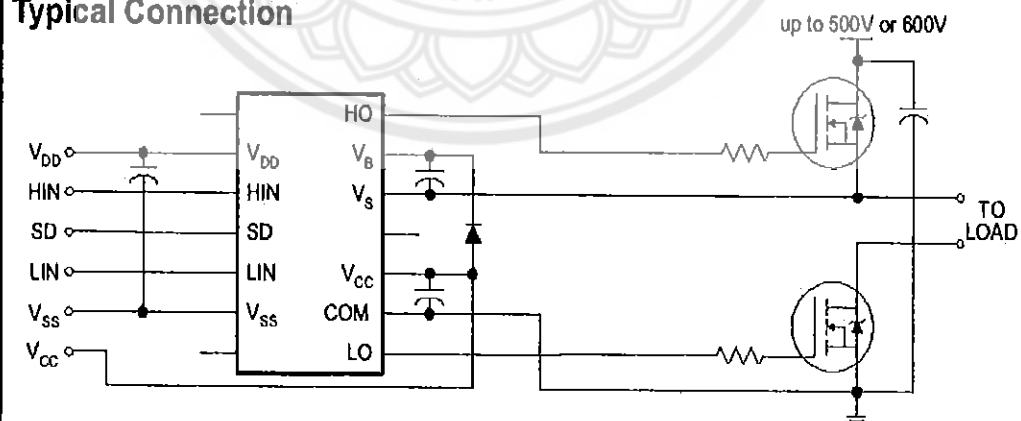
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and DesignTips for proper circuit board layout.

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_B. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	— —	— —	10 20		

Static Electrical Characteristics

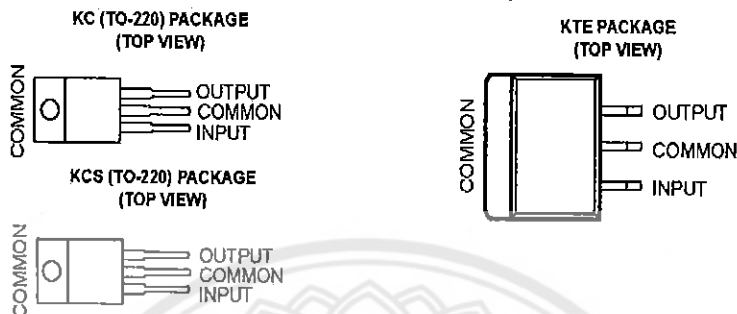
V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0	$V_{IN} = 0V$	
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLV5056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{O(NOM)} (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7810CKCS	
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7815CKC	
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μA7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC		

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



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

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



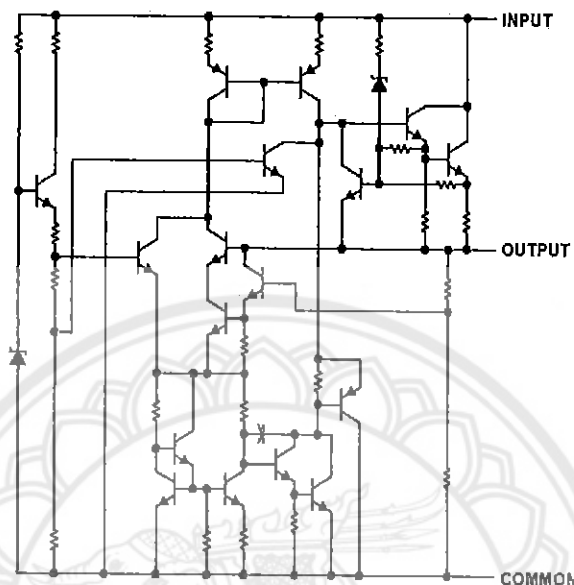
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1978 – REVISED MAY 2003

schematic



absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, V_I : μA7824C	40 V
All others	35 V
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

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

package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	θ_{JC}	θ_{JA}
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVSD56J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V_I	Input voltage	μA7805C	7	25	V
		μA7808C	10.5	25	
		μA7810C	12.5	28	
		μA7812C	14.5	30	
		μA7815C	17.5	30	
		μA7824C	27	38	
I_O	Output current		1.5	A	
T_J	Operating virtual junction temperature	μA7800C series	0	125	°C

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10$ V, $I_O = 500$ mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5$ mA to 1 A, $P_D \leq 15$ W	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7$ V to 25 V	25°C		3	100	mV
	$V_I = 8$ V to 12 V			1	50	
Ripple rejection	$V_I = 8$ V to 18 V, $f = 120$ Hz	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5$ mA to 1.5 A	25°C		15	100	mV
	$I_O = 250$ mA to 750 mA			5	50	
Output resistance	$f = 1$ kHz	0°C to 125°C	0.017			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5$ mA	0°C to 125°C	-1.1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10$ Hz to 100 kHz	25°C	40			μV
Dropout voltage	$I_O = 1$ A	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.2	8		mA
Bias current change	$V_I = 7$ V to 25 V	0°C to 125°C		1.3		mA
	$I_O = 5$ mA to 1 A			0.5		
Short-circuit output current		25°C	750			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.



μ A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 14$ V, $I_O = 500$ mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μ A7808C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5$ mA to 1 A, $V_I = 10.5$ V to 23 V, $P_D \leq 15$ W	25°C	7.7	8	8.3	V
		0°C to 125°C	7.6		8.4	
Input voltage regulation	$V_I = 10.5$ V to 25 V	25°C		6	160	mV
	$V_I = 11$ V to 17 V			2	80	
Ripple rejection	$V_I = 11.5$ V to 21.5 V, $f = 120$ Hz	0°C to 125°C	55	72		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5$ mA to 1.5 A	25°C		12	160	mV
	$I_O = 250$ mA to 750 mA			4	80	
Output resistance	$f = 1$ kHz	0°C to 125°C		0.018		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5$ mA	0°C to 125°C		-0.8		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10$ Hz to 100 kHz	25°C		52		μ V
Dropout voltage	$I_O = 1$ A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 10.5$ V to 25 V	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5$ mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		450		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μ F capacitor across the input and a 0.1- μ F capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 17$ V, $I_O = 500$ mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μ A7810C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5$ mA to 1 A, $V_I = 12.5$ V to 25 V, $P_D \leq 15$ W	25°C	9.6	10	10.4	V
		0°C to 125°C	9.5	10	10.5	
Input voltage regulation	$V_I = 12.5$ V to 28 V	25°C		7	200	mV
	$V_I = 14$ V to 20 V			2	100	
Ripple rejection	$V_I = 13$ V to 23 V, $f = 120$ Hz	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5$ mA to 1.5 A	25°C		12	200	mV
	$I_O = 250$ mA to 750 mA			4	100	
Output resistance	$f = 1$ kHz	0°C to 125°C		0.018		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5$ mA	0°C to 125°C		-1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10$ Hz to 100 kHz	25°C		70		μ V
Dropout voltage	$I_O = 1$ A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 12.5$ V to 28 V	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5$ mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		400		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μ F capacitor across the input and a 0.1- μ F capacitor across the output.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7812C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 14.5\text{ V to }27\text{ V}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	11.5	12	12.5	V
		0°C to 125°C	11.4		12.6	
Input voltage regulation	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		10	240	mV
	$V_I = 16\text{ V to }22\text{ V}$			3	120	
Ripple rejection	$V_I = 15\text{ V to }25\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	240	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	120	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.018		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		75		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		350		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7815C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	14.4	15	15.6	V
		0°C to 125°C	14.25		15.75	
Input voltage regulation	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		11	300	mV
	$V_I = 20\text{ V to }26\text{ V}$			3	150	
Ripple rejection	$V_I = 18.5\text{ V to }28.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	54	70		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	300	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	150	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.019		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		90		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.4	8	mA
Bias current change	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		230		mA
Peak output current		25°C		2.1		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.



POST OFFICE BOX 655301 • DALLAS, TEXAS 75265

μ A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 33$ V, $I_O = 500$ mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_{J\ddagger}$	μ A7824C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5$ mA to 1 A, $V_I = 27$ V to 38 V, $P_D \leq 15$ W	25°C	23	24	25	V
		0°C to 125°C	22.8		25.2	
Input voltage regulation	$V_I = 27$ V to 38 V	25°C		18	480	mV
	$V_I = 30$ V to 36 V			6	240	
Ripple rejection	$V_I = 28$ V to 38 V, $f = 120$ Hz	0°C to 125°C	50	66		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5$ mA to 1.5 A	25°C		12	480	mV
	$I_O = 250$ mA to 750 mA			4	240	
Output resistance	$f = 1$ kHz	0°C to 125°C		0.028		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5$ mA	0°C to 125°C		-1.5		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10$ Hz to 100 kHz	25°C		170		μ V
Dropout voltage	$I_O = 1$ A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.6	8	mA
Bias current change	$V_I = 27$ V to 38 V	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5$ mA to 1 A				0.5	
Short-circuit output current		25°C		150		mA
Peak output current		25°C		2.1		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μ F capacitor across the input and a 0.1- μ F capacitor across the output.



TIGER ELECTRONIC CO., LTD

Product specification

3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

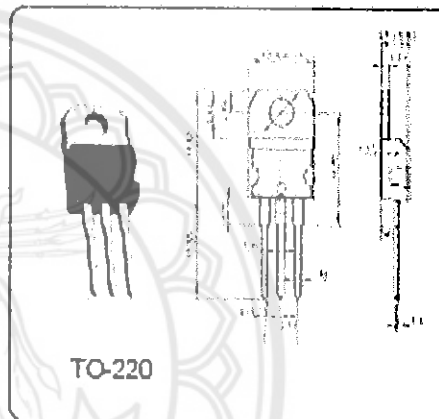
LM7812

GENERAL DESCRIPTION

The LM7812 series of three terminal positive regulators are available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Typ	Unit
Input Voltage	V_i	35	V
Output Voltage	V_o	12.0	V
Peak Current	I_{pk}	2.2	A
Operating Temperature Range	T_{oper}	0-125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65-150	$^\circ\text{C}$



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

(Refer to test circuit, $I_o = 500\text{mA}$, $V_i = 19\text{V}$, $C_i = 0.33\mu\text{F}$, $C_o = 0.1\mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_o	$V_i = 14.5\text{V to } 30\text{V}$	11.64	12.0	12.36	V
Line Regulation (Note 1)	Reg _{line}	$V_i = 14.5\text{V to } 30\text{V}$		10	240	mV
		$V_i = 16\text{V to } 22\text{V}$		3.0	120	
Load Regulation (Note 1)	Reg _{load}	$I_o = 5.0\text{mA to } 1.5\text{A}$		11	240	mV
		$I_o = 250\text{mA to } 750\text{mA}$		5	120	
Quiescent Current	I_q	$T_j = +25^\circ\text{C}$		5.1	8	mA
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_o = 15\text{V to } 30\text{V}$	56	73		dB
Dropout Voltage	V_{Dro}	$I_o = 1\text{A}$, $T_j = +25^\circ\text{C}$		2		V
Output Resistance	r_o	$f = 1\text{KHz}$		0.018		Ω
Short Circuit Current	I_{sc}	$V_i = 35\text{V}$, $T_j = +25^\circ\text{C}$		230		mA
Peak Current	I_{pk}	$T_j = +25^\circ\text{C}$		2.2		A



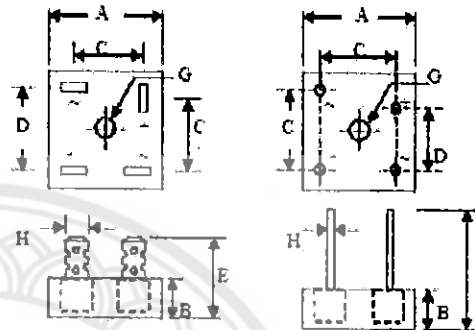
WTE
POWER SEMICONDUCTORS

KBPC15, 25, 35/W SERIES

15, 25, 35A HIGH CURRENT BRIDGE RECTIFIER

Features

- ! Diffused Junction
- ! Low Reverse Leakage Current
- ! Low Power Loss, High Efficiency
- ! Electrically Isolated Metal Case for Maximum Heat Dissipation
- ! Case to Terminal Isolation Voltage 2500V
- ! UL Recognized File = E157705



Mechanical Data

- ! Case: Metal Case with Electrically Isolated Epoxy
- ! Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- ! Polarity: Symbols Marked on Case
- ! Mounting: Through Hole for #10 Screw
- ! Weight: KBPC 31.6 grams (approx.)
KBPC-W 28.5 grams (approx.)
- ! Marking: Type Number

KBPC

KBPC-W

Dim	KBPC		KBPC-W	
	Min	Max	Min	Max
A	28.40	28.70	25.40	25.70
B	10.97	11.23	10.97	11.23
C	15.70	16.70	17.10	19.10
D	17.50	18.50	10.90	11.90
H	27.86	25.40	30.50	—

"W" Suffix Designates Wire Leads
No Suffix Designates Faston Terminals
Hole for #10 screw: 5.080 Nominal
H 6.35 Typical 0.270 1.070
All Dimension in mm

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T

Single Phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristics	Symbol	+00/W	-01/W	-02/W	-04/W	-06/W	-08/W	-10/W	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	VRRM	50	100	200	400	600	800	1000	V
Working Peak Reverse Voltage	VWRM	50	100	200	400	600	800	1000	V
DC Blocking Voltage	VR	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	VR(RMS)	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectifier Output Current @TC = 60°C	IO	15	25	35	—	—	—	—	A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave Superimposed on rated load (JEDEC Method)	IFSM	300	400	400	—	—	—	—	A
Forward Voltage Drop (per element)	VFM	1.2	—	—	—	—	—	—	V
Peak Reverse Current At Rated DC Blocking Voltage	IRM	10	—	—	—	—	—	—	µA mA
I ² t Rating for Fusing (t < 8.3ms) (Note 1)	I ² t	373	373	664	—	—	—	—	A ² s

IRFP150 IRFP150FI

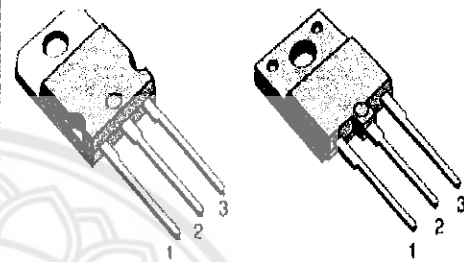
N - CHANNEL ENHANCEMENT MODE POWER MOS TRANSISTORS

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRFP150	100 V	0.055 Ω	40 A
IRFP150FI	100 V	0.055 Ω	26 A

- AVALANCHE RUGGEDNESS TECHNOLOGY
- 100% AVALANCHE TESTED
- REPETITIVE AVALANCHE DATA AT 100°C
- LOW GATE CHARGE
- HIGH CURRENT CAPABILITY
- 175°C OPERATING TEMPERATURE FOR STANDARD PACKAGE
- ISOLATED PACKAGE UL RECOGNIZED, ISOLATION TO 4000V DC

APPLICATIONS

- HIGH CURRENT, HIGH SPEED SWITCHING
- SOLENOID AND RELAY DRIVERS
- REGULATORS
- DC-DC & DC-AC CONVERTERS
- MOTOR CONTROL, AUDIO AMPLIFIERS
- AUTOMOTIVE ENVIRONMENT (INJECTION, ABS, AIR-BAG, Etc.)



TO-218

ISOWATT218

INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		IRFP150	IRFP150FI	
V _{DSS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	100		V
V _{DGM}	Drain- gate Voltage (R _{GS} = 20 kΩ)	100		V
V _{GS}	Gate-source Voltage	± 20		V
I _D	Drain Current (cont.) at T _c = 25 °C (#)	40	26	A
I _D	Drain Current (cont.) at T _c = 100 °C	30	16	A
I _{DM} (*)	Drain Current (pulsed)	160	160	A
P _{tot}	Total Dissipation at T _c = 25 °C	180	65	W
	Derating Factor	1.2	0.52	W/°C
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to 175	-65 to 150	°C
T _j	Max. Operating Junction Temperature	175	150	°C

(*) Pulse width limited by safe operating area

(#) T_c = 50 °C for TO-218

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายกรินทร์ ลีลา
 ภูมิลำเนา 138 หมู่ 13 ต.ลานป่า อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนหล่มสักวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: nakarin155@email.nu.ac.th



ชื่อ นายพรเทพ ปิ่นปัก
 ภูมิลำเนา 77 หมู่ 13 ต.วังชมภู อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเพชรพิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: phornthepp55@email.nu.ac.th



ชื่อ นายอนุชา ไพบุญย์
 ภูมิลำเนา 44 หมู่ 3 ต.ทุ่งหลวง อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: anuchap55@email.nu.ac.th