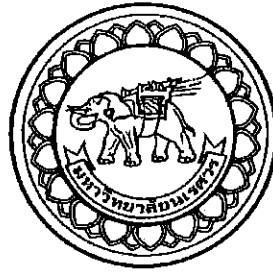


อกินันทนาการ



เครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

SOFT BEEF STIMULATOR BY USING ELECTRICITY

นายพรชัย

พันธ์มุง

รหัส 56362973

นายธนกฤต

สงทานินทร์

รหัส 56363031

มี CD

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
วันลงทะเบียน	24 ส.ค. 2561
เลขทะเบียน	17220261 ✓
เลขเรียกหนังสือ	ปฐ

พ 231 ค

2559

CD-974 81

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปีการศึกษา 2559



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
ผู้ดำเนินโครงการ นายพรชัย พันธุ์มุง รหัส 56362973
นายชนกฤต ส่งทานินทร์ รหัส 56363031
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์
ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอรส รักษาติ
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง ของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

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

.....ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอรส รักษาติ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยดนัย ภาษนะพรรณ)

.....กรรมการ
(ดร. จิรวดี ผลประเสริฐ)

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
ผู้ดำเนินโครงการ นายพรชัย พันธมุง รหัส 56362973
นายชนกฤต ส่งทานินทร์ รหัส 56363031
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์
ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอริส รักชาติ
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า เพื่อเพิ่มความสะดวก และลดระยะเวลาในการทำให้เนื้อโคนุ่ม โดยตัวเครื่องถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กกว่าเครื่องรุ่นก่อน และสามารถปรับช่วงระดับแรงดันพัลส์กระแสตรงได้ 50 ถึง 90 โวลต์ สามารถปรับความกว้างพัลส์ได้ 10, 20, 30 และ 40 มิลลิวินาที และสามารถปรับตั้งเวลาการทำงานได้ตั้งแต่ 1 ถึง 5 นาที ในการใช้งานตัวเครื่องสามารถทำงานทุกฟังก์ชันได้อย่างถูกต้อง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันที่ 50 โวลต์ เท่ากับ 2.96 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่แรงดัน 90 โวลต์ เท่ากับ 7.23 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบกับเนื้อโค พบว่า เนื้อโคที่ถูกกระตุ้นมีความนุ่มขึ้น โดยความนุ่มจะขึ้นอยู่กับ แรงดัน ความกว้างพัลส์ และเวลา อย่างไรก็ตามที่แรงดัน 90 โวลต์ ไม่ควรใช้เวลานานเกิน 3 นาที เนื่องจากสภาพภายนอกของเนื้อโคหลังถูกกระตุ้น จะมีรอยดำเกิดขึ้นทำให้ไม่มีความน่ารับประทาน

Project title Soft Beef Stimulator by using Electricity
Name Mr. Pornchai Panmung ID. 56362973
Mr. Tanakit Songtanin ID. 56363031
Project advisor Mr. Sarawut Wattanawongpitak, D.Eng.
Co-advisor Asst. Prof. Orose Rugchati, Ph.D.
Major Electrical Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2016

Abstract

This thesis presents the development of soft beef stimulator by using electricity to make the stimulation process more convenient and time saving. This stimulator is designed to be smaller than previous models, which can adjust the voltage level from 50 to 90 volts dc, and the pulse-width can be varied from 10 to 40 milliseconds. The results showed that the equipment is able to work correctly in every functions and the stimulated beef is softer depending on the voltage, pulse-width, and time. However, the use at the voltage level of 50 volt and 90 volt have errors about 2.96 and 7.29 percent, respectively. In addition, the stimulation time at 90 volt should not more than 3 minutes, because the area of beef connected with the probe will be burnt and unappetizing.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณ ดร.สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งคอยให้คำแนะนำ ปรึกษา และชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ มาโดยตลอด อีกทั้งยังเอาใจใส่ในรายละเอียดในการทำงาน ในทุกขั้นตอนของการดำเนินโครงการ จนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง รวมถึงยังให้คำแนะนำในหลักการเขียนปริญญานิพนธ์และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปริญญานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.โอรส รักชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งคอยให้คำปรึกษาและแนะนำเป็นอย่างดี สำหรับการทดสอบคุณภาพของเนื้อโคและช่วยติดต่อประสานงานการใช้เครื่องวัดคุณภาพของเนื้อโคจนทำให้โครงการสามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ว่าที่ ร.ต.ธานี โกสุม (ครูช่างสาขาวิชาไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์) ที่อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่และให้ยืมใช้อุปกรณ์ในการทำโครงการ ทำให้โครงการดำเนินไปได้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณ พี่ หนึ่งฤทัย เทียนทอง (นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) ที่อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ในการทดสอบเนื้อโค อีกทั้ง ช่วยอธิบายการใช้งานเครื่องทดสอบคุณภาพของเนื้อโค

ขอขอบคุณ พี่ นกรินทร์ ลีลา (รุ่นพี่สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์) ที่ช่วยแนะนำ และอธิบายหลักการทำงานของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้ารุ่นก่อน จนทำให้โครงการดำเนินต่อไปได้จนสำเร็จ

และขอขอบคุณ พี่ อนุชา ไพบูลย์ (รุ่นพี่สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์) ที่ช่วยให้คำแนะนำ และอธิบายหลักการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรภายในของตัวเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้ารุ่นก่อน จนทำให้โครงการดำเนินไปได้จนสำเร็จ

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งท่านได้ให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาและเงินทุนของผู้ดำเนินโครงการ รวมทั้งมอบความรัก ความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้

นายพรชัย	พันธ์มุง
นายชนกฤต	สงทานินทร์

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาบัตร	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
1.7 งบประมาณ	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	5
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	5
2.2 จอแสดงผลแอลซีดี	7
2.3 รีเลย์	9
2.4 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	12
2.4.1 การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	12
2.4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจร	14
2.4.3 แรงดันสูงสุดต้านกลับ (Peak Inverse Voltage)	14
2.5 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter)	16
2.5.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	16
2.5.2 หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์	17

สารบัญ (ต่อ)

2.5.2.1 ขณะสวิตช์นำกระแส	17
2.5.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส	18
2.5.3 คุณสมบัติวงจรกรณีกระแสต่อเนื่อง	21
2.5.4 คุณสมบัติวงจรกรณีกระแสไม่ต่อเนื่อง	21
2.6 วงจรชอปเปอร์	23
2.7 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	24
2.7.1 วงจรกรอง	24
2.7.2 วงจรคุมค่า	25
2.8 วงจรขยายสัญญาณพัลส์	26
2.9 เนื้อสัตว์	27
2.9.1 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า	27
2.9.1.1 การเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ (rigor mortis)	27
2.9.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH	28
2.9.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเนื้อสัตว์	30
2.9.3 การทำให้เนื้อมูม	31
บทที่ 3 การออกแบบและการทดสอบวงจร	33
3.1 การพัฒนางจรเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	33
3.2 ขั้นตอนพัฒนาการออกแบบตัวเครื่องและการทดสอบวงจร	35
3.2.1 การพัฒนางจรเรียงกระแส	36
3.2.2 การพัฒนางจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	37
3.2.3 การพัฒนางจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ	40
3.2.4 การพัฒนางจรทบระดับแรงดัน	42
3.2.5 การพัฒนางจรชอปเปอร์	49
3.3 การออกแบบเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	53
3.3.1 จำลองแบบโครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	53
3.3.2 วงจรภายในและ โครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพ	58
3.4.1 ทดสอบกำลังใช้งานสูงสุดทางด้านอินพุต	58
3.4.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต	59
 บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดสอบ	63
4.1 การทดลองทางกายภาพ	65
4.1.1 ทดสอบแรงบิด	66
4.2 การทดลองทางเคมี	67
4.2.1 ทดสอบอุณหภูมิ	67
 บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	70
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	71
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	71
 เอกสารอ้างอิง	71
 ภาคผนวก ก รายละเอียดของอุปกรณ์	72
 ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	89

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผงวงจร Arduino รุ่น UNO R3	6
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-PU	7
2.3 จอแสดงผลแอลซีดี (LCD)	7
2.4 เชื่อมต่อจอแอลซีดี แบบ 8 บิต (DB0-DB7)	8
2.5 เชื่อมต่อจอแอลซีดี แบบ 4 บิต (DB4-DB7)	9
2.6 สัญลักษณ์ในวงจรไฟฟ้าของรีเลย์	9
2.7 สถานะการทำงานของรีเลย์	10
2.8 รีเลย์ 2 ช่อง (Relay Module 2 Channels)	11
2.9 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	12
2.10 ไดโอด D1 และ D2 ได้รับไบอัสตรง	13
2.11 ไดโอด D3 และ D4 ได้รับไบอัสตรง	13
2.12 รูปคลื่น (V_{out}) เปรียบเทียบกับ (V_{in}) ของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	13
2.13 แรงดันไฟตรงเฉลี่ยกับแรงดันไฟสูงสุด (V_p) ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	14
2.14 แรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	14
2.15 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ	15
2.16 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ	15
2.17 วงจรทบระดับแรงดัน (Boost Converter)	16
2.18 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส	17
2.19 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ	18
2.20 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส	18
2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับ D	21
2.22 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่อเนื่อง	22
2.23 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่ต่อเนื่อง	22
2.24 วงจรชอปเปอร์	23
2.25 รูปสัญญาณแรงดันวงจรชอปเปอร์	23
2.26 บล็อกไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า	24
2.27 วงจรกรอง	24
2.28 แรงดันไฟฟ้าที่ยังไม่ผ่านการกรอง และผ่านการกรองแล้ว	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ไอซี	25
2.30 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (IR2110)	26
2.31 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพเนื้อสัตว์	28
2.32 แสดงการลดค่าของกรด-ด่าง(pH) หลังสัตว์ตาย	30
2.33 ลักษณะการใช้แรงกลเพื่อให้เนื้อนุ่ม	31
2.34 เอนไซม์จำพวกโปรตีเอส (protease)	32
2.35 การกระตุ้นเนื้อนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	32
3.1 แผนภาพวงจรการทำงานชุดอุปกรณ์ของเครื่องกระตุ้นเนื้อ ไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	35
3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	36
3.3 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	36
3.4 กระแสไฟฟ้าที่ขั้วออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	37
3.5 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	37
3.6 แรงดันค่านอกของ ไอซีเบอร์ LM7805	38
3.7 แรงดันค่านอกของ ไอซีเบอร์ LM7812	38
3.8 วงจรเรียงไฟกระแสตรง และวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(ที่ได้สร้างขึ้น)	39
3.9 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสผ่าน ไอซี LM7812	39
3.10 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสผ่าน ไอซี LM7805	39
3.11 วงจรขยายสัญญาณพัลส์	40
3.12 สัญญาณแรงดันที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณพัลส์	40
3.13 การต่อเพื่อวัดสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์	41
3.14 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรขยายสัญญาณพัลส์	41
3.15 สัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	42
3.16 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L = 140 มิลลิเฮนรี่)	43
3.17 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L = 140 มิลลิเฮนรี่)	44
3.18 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L = 140 มิลลิเฮนรี่)	44
3.19 ขดลวดเหนี่ยวนำที่ออกแบบขนาด 140 มิลลิเฮนรี่	46
3.20 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม	46
3.21 ขนาดแรงดัน และกระแสทางด้านเอาต์พุต ที่ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22 วงจรทบทแรงดัน (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)	47
3.23 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรทบทแรงดัน ($D = 0$ เปอร์เซ็นต์).....	47
3.24 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรทบทแรงดัน ($D = 50$ เปอร์เซ็นต์).....	48
3.25 จำลองวงจรชอปเปอร์โดยใช้โปรแกรม Pspice	49
3.26 แรงดันพัลส์ดีซีจากวงจรชอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice	49
3.27 กระแสพัลส์ดีซีจากวงจรชอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice	49
3.28 วงจรชอปเปอร์และวงจรทบทระดับแรงดัน (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)	50
3.29 แรงดันพัลส์ดีซีจากวงจรชอปเปอร์ (90 โวลต์/10 มิลลิวินาที)	50
3.30 แรงดันพัลส์ดีซีจากวงจรชอปเปอร์ (90 โวลต์/20 มิลลิวินาที)	51
3.31 แรงดันพัลส์ดีซีจากวงจรชอปเปอร์ (90 โวลต์/30 มิลลิวินาที)	51
3.32 แรงดันพัลส์ดีซีจากวงจรชอปเปอร์ (90 โวลต์/40 มิลลิวินาที)	51
3.33 ขนาดของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	53
3.34 แบบจำลองเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	54
3.35 ด้านหน้าเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	55
3.36 ด้านหลังเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	56
3.37 รูปแบบการต่อวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	56
3.38 รูปแบบลายเส้นการต่อวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	57
3.39 แผนภาพกำลังใช้งานสูงสุดทางด้านอินพุต	59
3.40 สัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุต ที่เวลา 1 นาที่ (90 โวลต์/40 มิลลิวินาที)	59
3.41 สัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุต ที่เวลา 5 นาที่ (90 โวลต์/40 มิลลิวินาที)	60
3.42 แผนภาพแรงดันไฟฟ้าที่ 90 โวลต์ 40 มิลลิวินาที 5 นาที่	61
3.43 แผนภาพกระแสไฟฟ้าที่ 90 โวลต์ 40 มิลลิวินาที 5 นาที่	61
3.44 แผนภาพกำลังไฟฟ้านด้านเอาต์พุตที่ 90 โวลต์ 40 มิลลิวินาที 5 นาที่	62
3.45 การสูญเสียน้ำของเนื้อ โคนุ่มทำการกระตุ้น	62
4.1 การกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า	63
4.2 ลักษณะภายนอกของเนื้อ โคนุ่มที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 50 โวลต์	64
4.3 ลักษณะภายนอกของเนื้อ โคนุ่มที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 70 โวลต์	64
4.4 ลักษณะภายนอกของเนื้อ โคนุ่มที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 90 โวลต์	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 เครื่องมือทดสอบเนื้อสัมผัส (เครื่อง Texture Analyser ยี่ห้อ Brookfield)	65
4.6 แผนภูมิแสดงการทดสอบแรงบดของชิ้นเนื้อ โค	67
4.7 การใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของเนื้อ โค	68
4.8 แผนภูมิแสดงการทดสอบอุณหภูมิ	69



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	3
2.1 อัตราขยายแรงดันของวงจรสุตค์อนเวอร์เตอร์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าดิวิตไชเกิล	20
3.1 แสดงค่าตัวประกอบความพลิว (RF)	45
3.2 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าจากทฤษฎีและจากวงจรที่ออกแบบ	48
3.3 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์	52
3.4 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 70 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์	52
3.5 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์	52
3.6 แสดงกระแสไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านอินพุต	58
3.7 แสดงกระแสไฟฟ้าตรงและขนาดพัลส์ทางด้านเอาต์พุต	60
4.1 ผลการทดสอบค่าแรงบคของชิ้นเนื้อโค	66
4.2 ผลการทดสอบอุณหภูมิของชิ้นเนื้อ โคหลังถูกกระตุ้น	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

การบริโภคเนื้อโคในปัจจุบันผู้บริโภคจะให้ความสำคัญกับคุณภาพเนื้อ ซึ่งความนุ่มของเนื้อโคเป็นลักษณะสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของเนื้อ และมีผลอย่างมากต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค รวมทั้งการตัดสินใจซื้อหรือบริโภคซ้ำอีกครั้ง อย่างไรก็ตาม เนื้อโคที่ผลิตและจำหน่ายในปัจจุบันยังมีความนุ่มที่ไม่คงที่ ซึ่งกระบวนการที่ทำให้เนื้อนุ่มมีหลายวิธี เช่น วิธีทางเคมี วิธีทางกล เป็นต้น

ซึ่งกระบวนการทำให้เนื้อนุ่มนี้ต้องอาศัยระยะเวลา และมีความยุ่งยากพอสมควร ทางเลือกใหม่ก็คือ การกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrical Stimulation) โดยมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมเป็นเวลานาน ส่งผลให้เนื้อมีความนุ่ม ใช้ระยะเวลาเพียงสั้นๆ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในปัจจุบันมีราคาแพง ดังนั้นจึงได้กำหนดโครงการนี้ขึ้นเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องมือ และเพิ่มมาตรฐานของเนื้อโคให้มีคุณภาพตามความต้องการของกลุ่มผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

พัฒนาและสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยแรงดันพัลส์กระแสตรงแรงดันต่ำให้มีขนาดเล็กลงเพื่อสะดวกต่อการใช้งานในครัวเรือน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) สร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยแรงดันพัลส์กระแสตรงในการกระตุ้น
- 2) สามารถเลือกปรับแรงดันได้ 50-90 โวลต์
- 3) สามารถเลือกปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์ได้ 10, 20, 30 และ 40 มิลลิวินาที
- 4) สามารถปรับเวลาการทำงานได้ ตั้งแต่ 1-5 นาที/ครั้ง
- 5) ใช้กระตุ้นเนื้อโค และใช้เนื้อส่วนสะโพกบนขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 1×2×1 ลูกบาศก์นิ้ว ในการทดสอบ
- 6) ด้านบนของตัวเครื่องมีจอแสดงผลแอลซีดี จอแสดงระดับแรงดันและกระแสไฟฟ้า และมีหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาการทำงานของเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าแบบเก่า
- 2) ออกแบบวงจร และประดิษฐ์เครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
- 3) ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
- 4) ปรับปรุงระบบการทำงานของตัวเครื่อง บันทึกผลการทดสอบและตรวจสอบสภาพปัญหาที่พบ
- 5) รวบรวมข้อมูลสรุปผล และจัดทำรูปเล่ม

1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2559					พ.ศ. 2560				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1) ศึกษาการทำงานของ เครื่องกระตุ้นเนื้อโค นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า										
2) ศึกษาการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์ต่างๆ										
3) ออกแบบวงจรไฟฟ้า และโครงสร้างเครื่อง กระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วย กระแสไฟฟ้า										
4) สร้างวงจรไฟฟ้าและ เครื่องกระตุ้นเนื้อโค นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า										
5) ทดสอบประสิทธิภาพ และทดสอบคุณภาพ เนื้อโค										
6) รวบรวมข้อมูล สรุปผล จัดทำรูปเล่ม										

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) สร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
- 2) มีความสะดวกและปลอดภัยต่อการนำมาใช้ในครัวเรือน
- 3) ประหยัดระยะเวลาในการทำเนื้อโคให้นุ่ม

1.7 งบประมาณ

1) บอร์ด Microcontroller รุ่น Arduino UNO R3	600 บาท
2) แฉวงจรพ่วง	500 บาท
3) มอสเฟต	390 บาท
4) โครงเครื่อง	600 บาท
5) หน้าจอ LCD	250 บาท
6) หม้อแปลงแรงดัน	540 บาท
7) รีเลย์ ปุ่มกดปุ่มหมุน	300 บาท
8) ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ	300 บาท
9) สายไฟ	350 บาท
10) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริิณูณานิพนธ์	800 บาท
11) เนื้อโค (สำหรับใช้ทดสอบ)	650 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (ห้าพันสองร้อยแปดสิบบาท)	<u>5,280 บาท</u>

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

โครงการนี้เป็นการพัฒนาและสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโค่นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า โดยเครื่องกระตุ้นจะถูกสร้างให้มีขนาดเล็กกะทัดรัด และมีความสามารถในการสร้างแรงดันพัลส์ไฟฟ้า กระแสตรง และสามารถตั้งเวลาการทำงานได้เช่นเดียวกับเครื่องกระตุ้นเนื้อโค่นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า รุ่นก่อน[1] ดังนั้นโครงการนี้จึงจำเป็นต้องมี ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 มาควบคุมการทำงานของวงจร การออกแบบวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อโค่นุ่มด้วย กระแสไฟฟ้า ได้แบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นวงจรควบคุม ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย

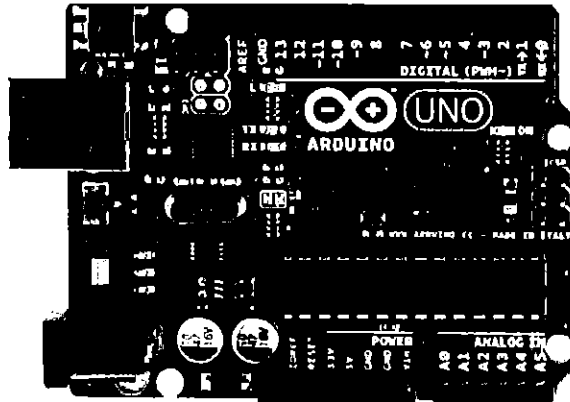
- 1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3
- 1.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply)
- 1.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ (Switching circuits)

2. ส่วนที่เป็นวงจรกำลัง ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย

- 2.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)
- 2.2 วงจรทบทแรงดัน (Boost Converter)
- 2.3 วงจรชอปเปอร์ (Chopper Circuit)

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

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



รูปที่ 2.1 แผงวงจร Arduino รุ่น UNO R3

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

แผงวงจร Arduino ที่ใช้ในโครงงานนี้มีขนาด 8 บิต โดยเป็นชิพพิวแบบ RISC (Reduced instruction set computer) มีหน่วยความจำแบบฮาร์วาร์ด (Harvard) ซึ่งจะมีหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล โดยใช้หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash) สำหรับเป็นหน่วยความจำโปรแกรมและใช้หน่วยความจำแบบ SRAM สำหรับหน่วยความจำข้อมูลและนอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลเอาไว้ได้โดยไม่จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยง โดย ATmega328 มีคุณสมบัติเด่นดังนี้

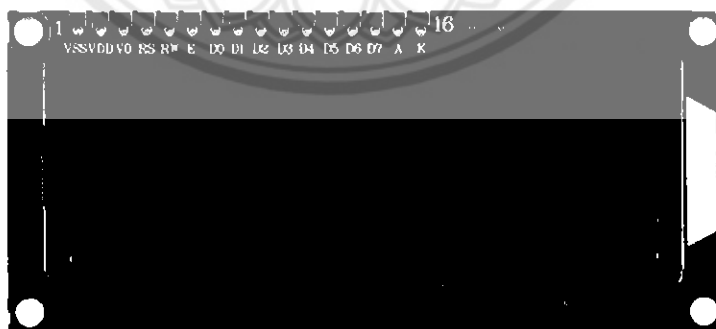
- 1) หน่วยความจำโปรแกรมแบบ FLASH ขนาด 32 กิโลไบต์
- 2) หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM ขนาด 2 กิโลไบต์
- 3) หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 1 กิโลไบต์
- 4) พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตจำนวน 23 บิต
- 5) วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต ในตัวจำนวน 8 ช่อง
- 6) ทำงานได้ตั้งแต่ย่านแรงดัน 1.8-5.5 โวลต์
- 7) วงจรสื่อสารอนุกรม
- 8) ตัวจับเวลาและตัวนับ ขนาด 8 บิต จำนวน 2 ตัว และ U3586 ขนาด 16 บิต 1 ตัว
- 9) ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิรตซ์
- 10) สนับสนุนช่องสัญญาณสำหรับการสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM)
- 11) รองรับการทำงานต่อแบบ I2C บัส



รูปที่ 2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-PU
ที่มา <http://www.digitalsmarties.net/products/atmega328>

2.2 จอแสดงผลแอลซีดี

จอ Liquid Crystal Display (LCD) ทั่วไปจะประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษร ตรงกลางระหว่างตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลวจะมีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบ เรียกว่า Alignment Layer และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Magnetic ในการนำ LCD มาใช้งานนั้นทำได้โดย 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

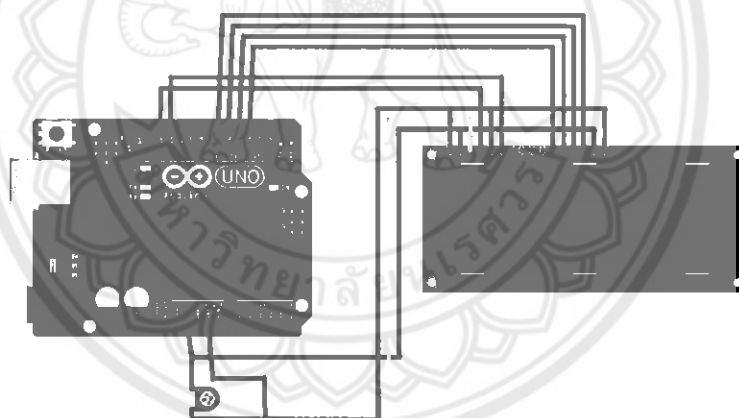


รูปที่ 2.3 จอแสดงผลแอลซีดี (LCD)

ที่มา <https://th.aliexpress.com/item/LCD-PI-1602-LCD1602-HD44780/32678906665.html?spm=2114.54010308.4.106.WH9WpA>

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

- 1) GND เป็นกราวด์ใช้ต่อระหว่างกราวด์ของระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 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 ใช้สำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูล/คำสั่ง กับแอลซีดี

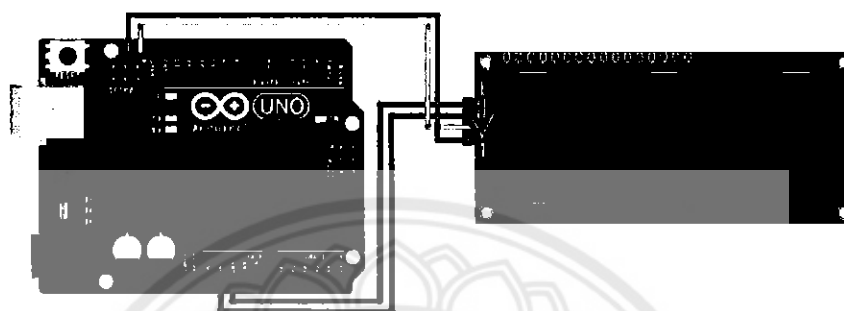


รูปที่ 2.4 เชื่อมต่อจอแอลซีดี แบบ 8 บิต (DB0-DB7)

ที่มา <http://www.arduino.build.com/product/-71/1602lcd-blue-screen-16x-2lcd-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

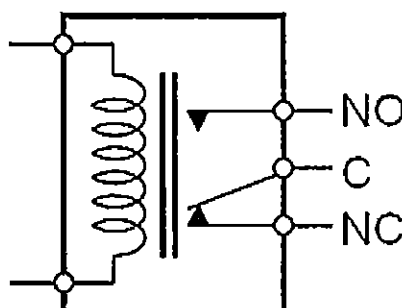


รูปที่ 2.5 เชื่อมต่อจอแอลซีดี แบบ 4 บิต (DB4-DB7)

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

2.3 รีเลย์

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



รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์ในวงจรไฟฟ้าของรีเลย์

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

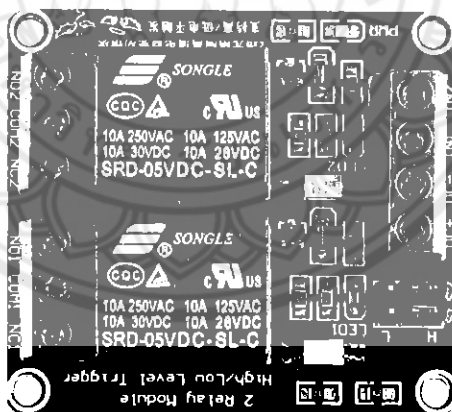
หลักการทำงานของรีเลย์นั้น ในส่วนของขดลวด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้ขดลวดเกิดการเหนี่ยวนำและทำหน้าที่เสมือนแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลให้ขา COM ที่เชื่อมต่ออยู่กับหน้าสัมผัส NC (ในสถานะที่ยังไม่เกิดการเหนี่ยวนำ) ย้ายกลับเชื่อมต่อกับหน้าสัมผัส NO แทน และปล่อยให้ขา NC ลอย เมื่อมองที่ขา NC กับ COM และ NO กับ COM แล้วจะเห็นว่ามีการทำงานปิด-เปิดลักษณะคล้ายการทำงานของสวิตช์ดังรูปที่ 2.7 เราสามารถอาศัยคุณสมบัตินี้ไปประยุกต์ใช้งานได้



รูปที่ 2.7 สถานะการทำงานของรีเลย์

ในโครงการนี้เลือกจะใช้รีเลย์ที่มีขนาดเล็กเพื่อควบคุมการตัดต่อการทำงานของวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อไค่นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้รีเลย์แบบ Relay Module 2 Channels แบบ OPTO-ISOLATED ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยรีเลย์มีเอาต์พุตคอนแทกเตอร์ที่รีเลย์ เป็น NO/COM/NC สามารถใช้กับโหลดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้สัญญาณในการควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณลอจิก TTL และมีคุณสมบัติ ดังนี้

- 1) การเชื่อมต่อมาตรฐานที่สามารถใช้ควบคุมได้โดยตรงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino, TTL logic
- 2) สามารถใช้ไฟ 5 โวลต์จากบอร์ด Arduino ที่มีขา 5 โวลต์ได้
- 3) ใช้ควบคุมไฟฟ้าแรงสูงได้ที่ ไฟฟ้ากระแสตรง 30 โวลต์ 10 แอมแปร์ , ไฟฟ้ากระแสสลับ 250 โวลต์ 10 แอมแปร์
- 4) มีไฟบอกสถานะ การทำงานของรีเลย์ทุกตัว
- 5) เชื่อมต่อด้วยขั้วสกรู ทำให้ติดตั้งได้ง่ายและสะดวก
- 6) ใช้กระแสขั้วรีเลย์ แต่ละตัวที่ 15-20 มิลลิแอมแปร์
- 7) การส่งสัญญาณควบคุมรีเลย์เป็นแบบ Active High / Active Low
- 8) สามารถสั่งงานด้วยระดับแรงดัน TTL
- 9) มีจัมป์เปอร์สำหรับเลือกว่าจะใช้กราวด์ร่วมหรือแยก
- 10) มี OPTO-ISOLATED เพื่อแยกกราวด์ส่วนของสัญญาณควบคุมกับไฟฟ้าที่ขั้วรีเลย์ออกจากกัน



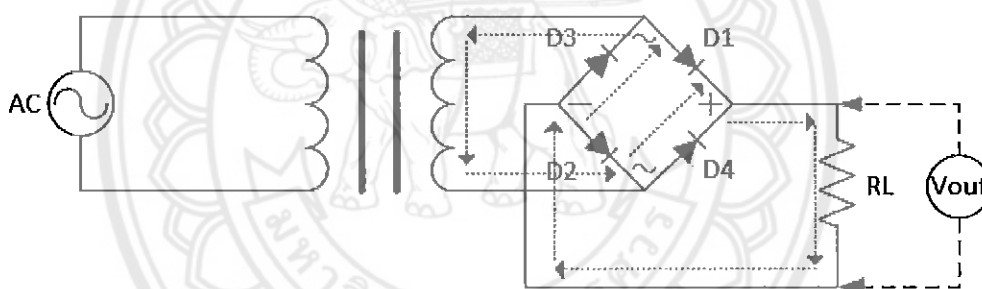
รูปที่ 2.8 รีเลย์ 2 ช่อง (Relay Module 2 Channels)

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

2.4 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เป็นวงจรที่แก้ไขจุดอ่อนของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงที่มีเซ็นเตอร์แท็ปซึ่งมีราคาแพง ไดโอดจะนำกระแสครั้งละตัว ทำให้ทำงานหนัก ส่วนวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงเซ็นเตอร์แท็ป ทำให้ประหยัดขึ้นและไดโอดจะนำกระแสครั้งละสองตัว ทำให้ไดโอดทนแรงดันสูงขึ้น เอาท์พุทของวงจรตลอดจนรูปร่างจะมี ลักษณะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทุกอย่าง

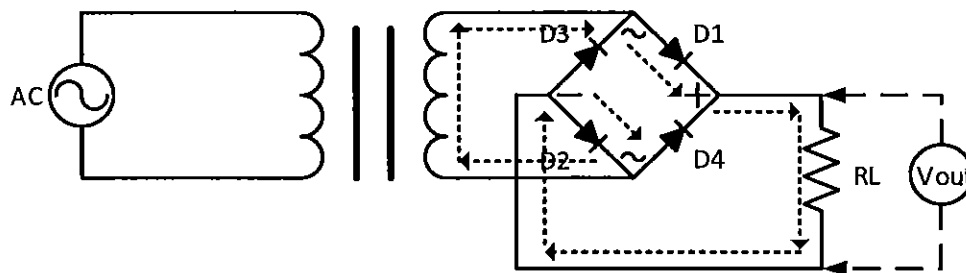
วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ มีลักษณะเหมือนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เพราะแรงดันเอาท์พุทที่ได้เป็นแบบเต็มคลื่น ข้อแตกต่างระหว่างการเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ และแบบเต็มคลื่นธรรมดา ต่างกันตรงการต่อวงจรไดโอด แบบเต็มคลื่นจะใช้ไดโอดสองตัว แบบบริดจ์จะใช้ไดโอดสี่ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ก็แตกต่างกัน แบบเต็มคลื่นธรรมดาใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลางมีสามขั้วแบบบริดจ์ ใช้หม้อแปลงสองขั้ว หรือสามขั้วก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

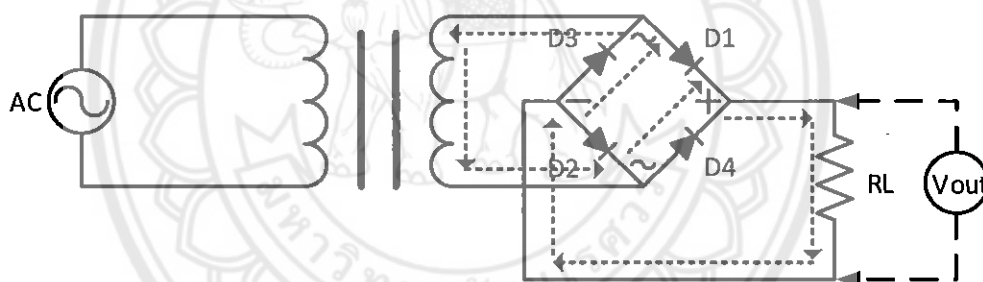
2.4.1 การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

การทำงานของวงจร ไดโอดจะผลัดกันนำกระแสครั้งละสองตัว โดยเมื่อไซเคิลบวกของแรงดันไฟสลับ ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงและด้านล่างจะเป็นลบ จะทำให้ไดโอด D1 และ D2 ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด D1 ผ่านโหลด RL ผ่านไดโอด D2 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านล่าง มีแรงดันตกคร่อมโหลด RL ด้านบนเป็นบวก ด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกจากเอาท์พุท ดังรูปที่ 2.10

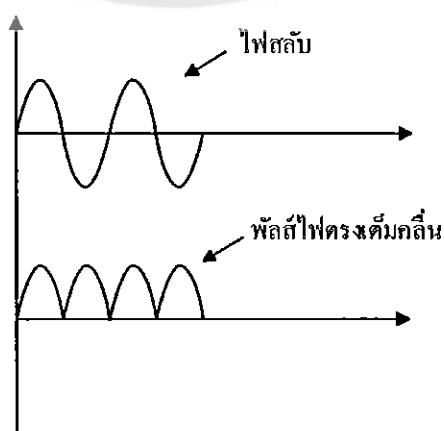


รูปที่ 2.10 ไดโอด D1 และ D2 ได้รับไบอัสตรง

ในช่วงเวลาต่อมาไซเคิลของแรงดันไฟสลับ ปรากฏที่ด้านบนของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง และด้านล่างเป็นบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ในช่วงเวลานี้ไดโอด D1 และ D2 จะได้รับไบอัสกลับ แต่ไดโอด D3 และ D4 จะได้รับไบอัสตรง ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D4 ผ่านโหลด RL และผ่านไดโอด D3 ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านบน มีแรงดันตกคร่อมโหลด RL ด้านบนเป็นบวก ด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุต ทำให้ได้คลื่นไฟตรงรวมกันเต็มคลื่นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 ไดโอด D3 และ D4 ได้รับไบอัสตรง

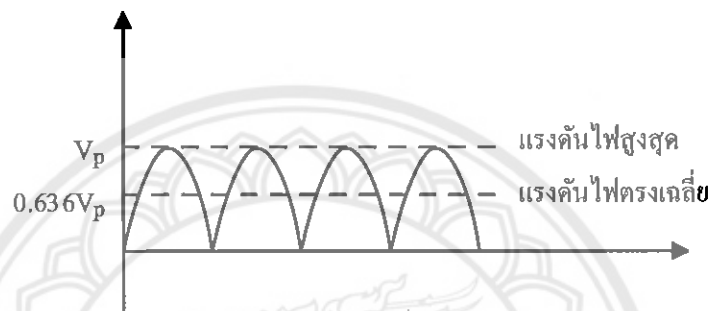


รูปที่ 2.12 รูปคลื่น (V_{out}) เปรียบเทียบกับ (V_{in}) ของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

2.4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจร

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทั้งแบบมีแท็ปกลางและแบบบริดจ์จะให้แรงดันเอาต์พุตทุกๆ ครึ่ง รอบของแรงดันไฟสลับที่เข้ามาทั้งด้านบวกและด้านลบ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตจึงมีค่าเป็น 2 เท่าของ แรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ค่าแรงดันเอาต์พุต (V_{rms}) มีค่าเป็น 0.636 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_p) ดังสมการที่ 2.1

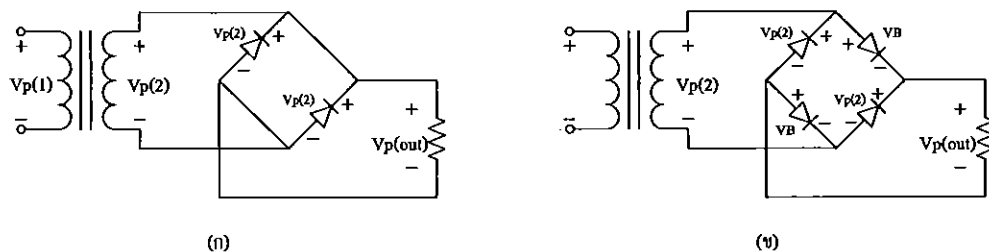
$$V_{rms} = 0.636V_p \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.13 แรงดันไฟตรงเฉลี่ยกับแรงดันไฟสูงสุด (V_p) ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

2.4.3 แรงดันสูงสุดด้านกลับ (Peak Inverse Voltage)

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

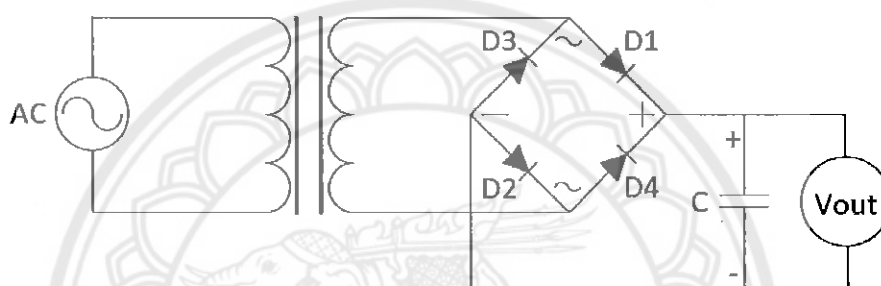


รูปที่ 2.14 แรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

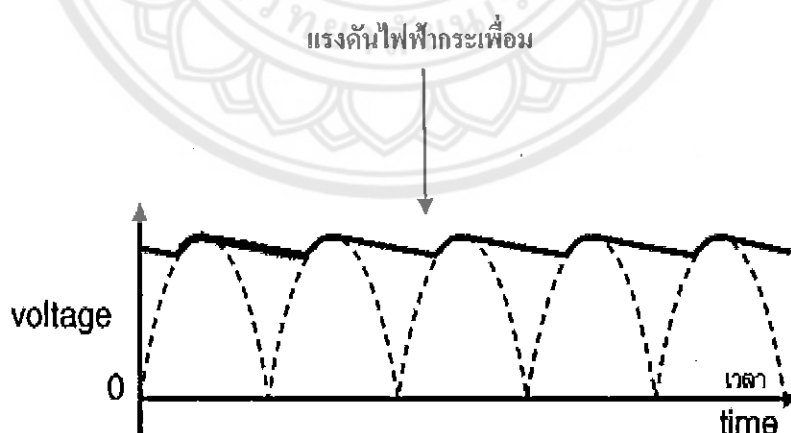
ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอด D1 และ D2 นำกระแส (V_B) ดังรูปที่ 2.14 (ข) จะเห็นว่าแรงดันสูงสุดด้านกลับ (PIV) ที่เกิดกับไดโอด D3 และ D4 จะสามารถหาได้ดังสมการ 2.2 โดยค่า $V_p(out)$ คือแรงดันสูงสุดทางด้านออก

$$PIV = V_p(out) + V_B \quad (2.2)$$

เช่นเดียวกัน ถ้าหากต้องการใช้ไฟตรงที่เรียงกระแสออกมาเรียบขึ้นเราก็ต้องใช้ตัวเก็บประจุค่ามากๆ เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรกรองโดยมีลักษณะการต่อวงจร ดังรูปที่ 2.15 ยิ่งตัวเก็บประจุมีค่ามากการคายประจุก็ต้องใช้เวลานาน จึงทำให้ไฟฟ้ากระแสตรงที่ออกมาเรียบที่สุด ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.16 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ เมื่อต่อตัวเก็บประจุ

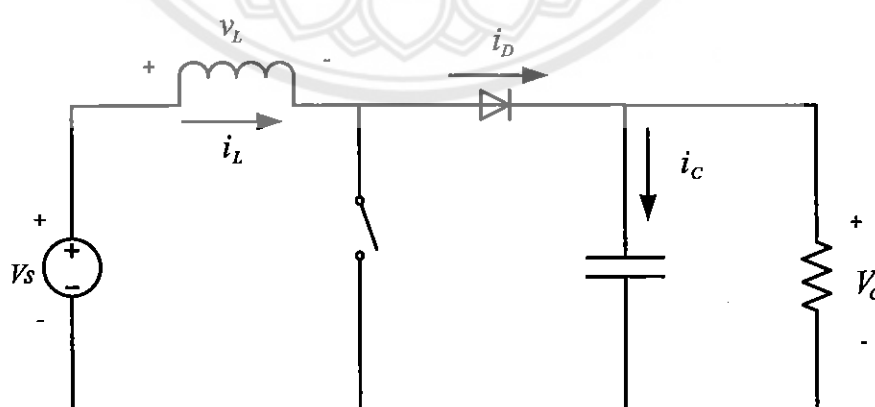
2.5 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่เรียกววงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (boost converter) ก็เพราะแรงดันไฟฟ้าด้านออกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้านั่นเอง

2.5.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เช่นเดียวกับวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าบวกเสมอ
- 2) แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา ในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
- 3) ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่
- 4) กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์



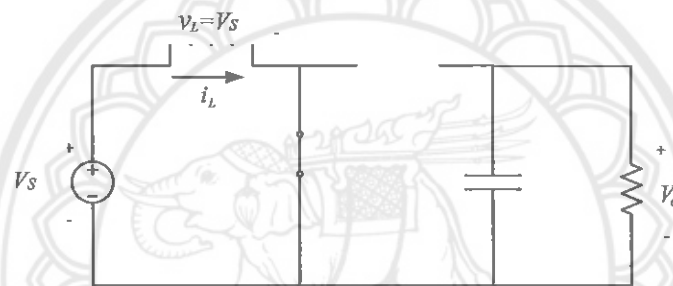
รูปที่ 2.17 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

2.5.2 หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับ ศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละ โหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

2.5.2.1 ขณะนำกระแส

จากรูปที่ 2.17 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 2.18 จากกฎของเคอร์ชอฟจะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.3)$$

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.4)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

โดยที่ V_s คือ แรงดันจากแหล่งกำเนิด, v_L คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ, L คือ ค่าของ ขดลวดเหนี่ยวนำ ในขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ อาจจะทำให้การเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

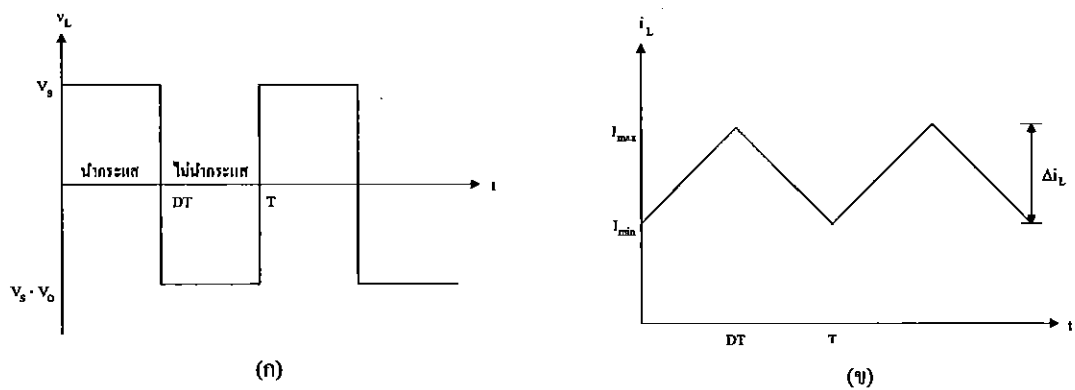
$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.5)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.6)$$

โดยที่ $\Delta i_{L,on}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

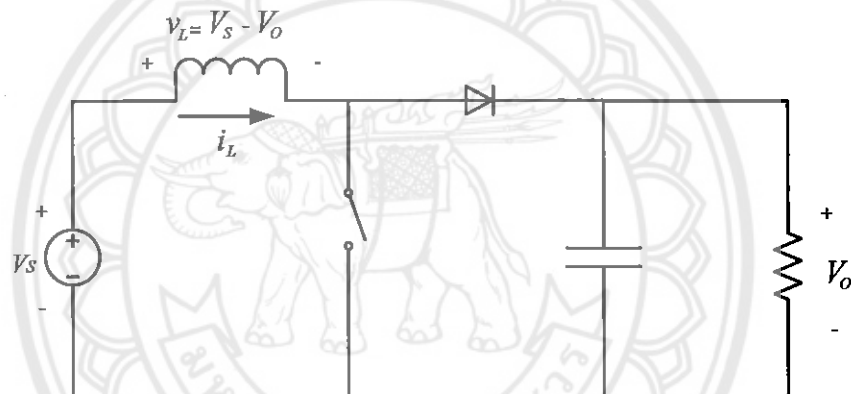
Δi_L คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ

Δt คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลา



รูปที่ 2.19 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

2.5.2.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ใดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้าที่ด้านออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้ โดย V_o คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.7)$$

$$v_L = V_s - V_o$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.8)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1 - D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ โดยที่ D คือค่าคิดที่ไซเคิล และ T คือคาบเวลา โดยจะถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 2.19 (ข) ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) (1 - D)T \quad (2.9)$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์จากสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.9) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{V_s}{L} \right) + \frac{(V_s - V_o)(1 - D)}{L} &= 0 \\ V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) &= 0 \\ V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D &= 0 \\ V_s - V_o(1 - D) &= 0 \\ \frac{V_o}{V_s} &= \frac{1}{1 - D} \end{aligned} \quad (2.11)$$

จากการหาความสัมพันธ์ ของอัตราส่วนแรงดันด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าที่เรียกว่า อัตราการขยายแรงดัน (V_o/V_s) สามารถหาได้โดยวิธีง่ายๆ โดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ และได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ (2.11) ดังนี้

$$V_{L,av} = V_{L,on}(t_{on}) + V_{L,off}(t_{off}) = 0 \quad (2.12)$$

จากสมการที่ (2.4)

$$V_{L,on} = V_s$$

และจากสมการที่ (2.8)

$$V_{L,off} = V_s - V_o$$

$$V_{L,av} = (V_s)(t_{on}) + (V_s - V_o)(t_{off}) = 0$$

$$(V_s)(DT) + (V_s - V_o)(1 - D)T = 0$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0$$

$$V_s - V_o(1 - D) = 0$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.13)$$

โดยค่า $V_{L, on}$ คือ แรงดันที่ตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

$V_{L, off}$ คือ แรงดันที่ตกคร่อมขดลวดเหนี่ยวนำขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

$V_{L, av}$ คือ แรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

t_{on} คือ ระยะเวลาขณะสวิตช์นำกระแส

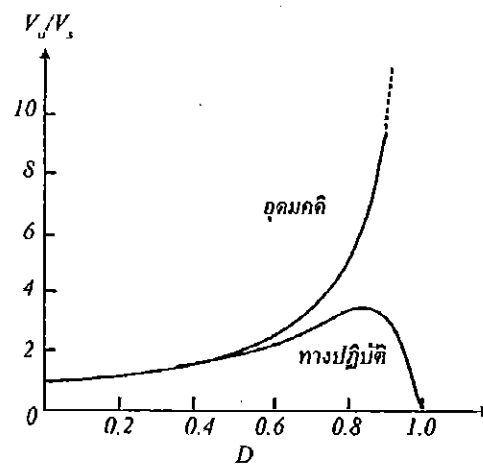
t_{off} คือ ระยะเวลาขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

การได้มาซึ่งสมการอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า จากสมการที่ (2.11) หรือ (2.13) แท้จริงแล้วมีหลักการทำงานอันเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนของแรงดันด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้จากการปรับค่า D ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราขยายแรงดันของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า D

Duty ratio (D)	อัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) (V_o/V_s)
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

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.21 เมื่อค่า D เพิ่มขึ้นค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่าทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีความเสถียรภาพ โดยอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำสุดคือ หนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าตามทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดและตัวอุปกรณ์สวิตช์



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับ D
(รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน และดร.วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์, 2557)

2.5.3 คุณสมบัติวงจรกรณีกระแสต่อเนื่อง

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

แสดงดังรูปที่ 2.22

ขณะช่วงนำกระแส (T_{on})

$$V_L = V_s$$

ความชัน(Slope) ของกระแส

$$i_L = \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{-V_L}{L} = \frac{V_s}{L}$$

ขณะช่วงไม่นำกระแส (T_{off})

$$V_s - V_o = -(V_o - V_s)$$

ความชัน(Slope) ของกระแส

$$i_L = \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{V_L}{L}$$

โดยค่า L คือ ค่าของขดลวดเหนี่ยวนำ

R คือ ค่าความต้านทานภายในของโหลด

f_s คือ ค่าของความถี่ในการเปิดและปิดของสวิตช์

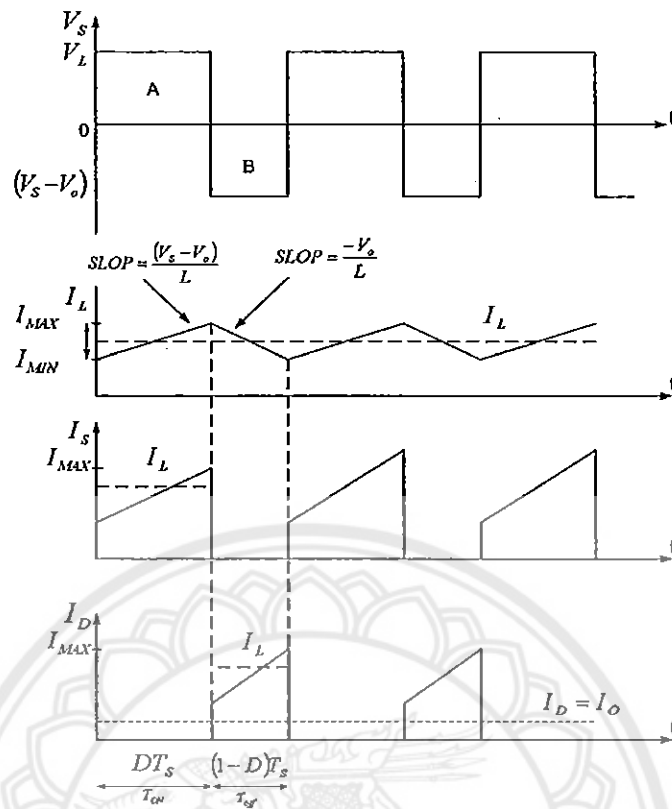
ΔI_L คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ

V_o คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต

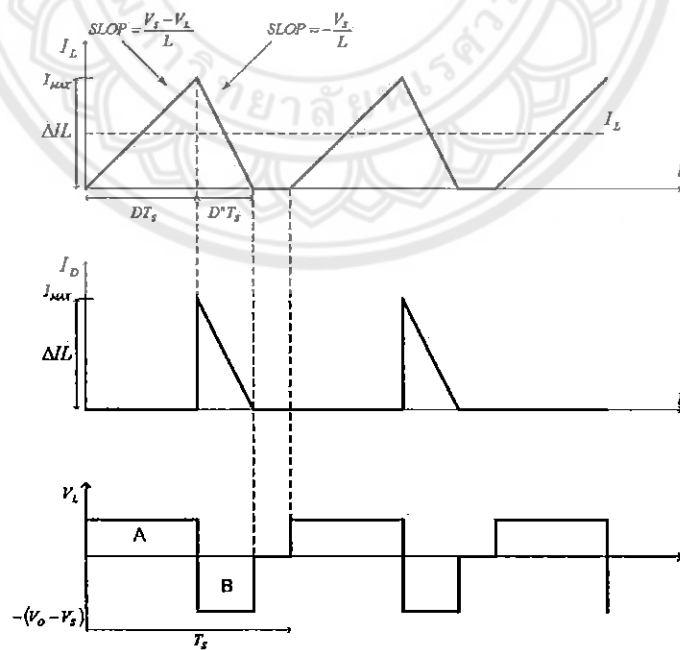
2.5.4 คุณสมบัติวงจรกรณีกระแสไม่ต่อเนื่อง

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

มีลักษณะดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.22 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่อเนื่อง
(รศ.ดร.วีระเชษฐ์ จันเงิน และดร.วุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์, 2557)



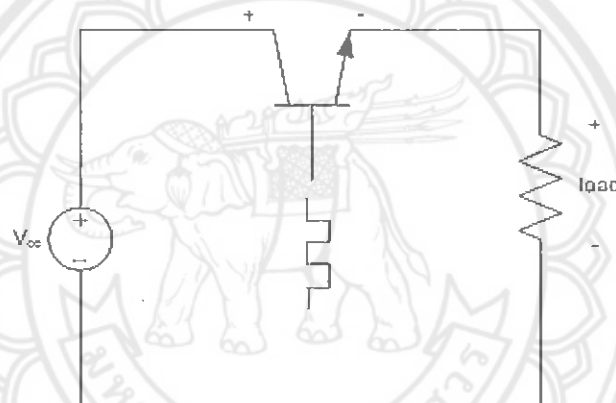
รูปที่ 2.23 กราฟกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่ต่อเนื่อง
(รศ.ดร.วีระเชษฐ์ จันเงิน และดร.วุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์, 2557)

2.6 วงจรชอปเปอร์

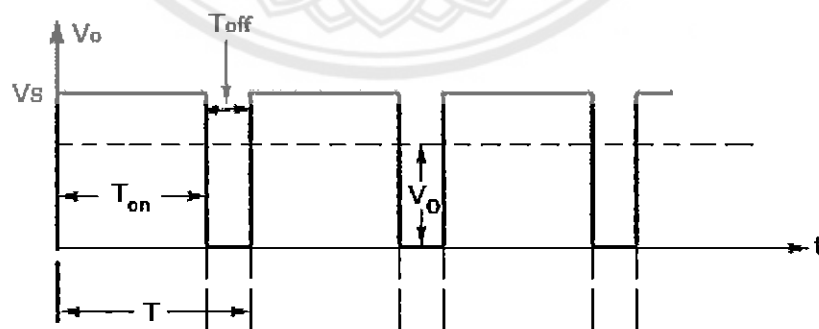
เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ ให้ได้แรงดันเอาต์พุตกระแสตรง ที่สามารถปรับค่าได้ตามที่ต้องการ โดยใช้หลักการ เปิด และ ปิด อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์การเปิด และปิด อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์มีวิธีการ 2 แบบคือ

1) Constant – frequency เป็นวงจรชอปเปอร์ที่ควบคุมให้คาบเวลาคงที่ แล้วปรับเวลาเปิด การควบคุมในลักษณะนี้เรียกว่า ความกว้างพัลส์

2) Variable - frequency เป็นวงจรชอปเปอร์ที่ปรับคาบเวลา โดยการปรับเวลาเปิด หรือ เวลาปิด การควบคุมแบบนี้เรียกว่า การมอดูเลชันทางความถี่ แต่เนื่องจากการควบคุมในลักษณะนี้ ความถี่มีการเปลี่ยนแปลงในย่านกว้างทำให้ยากในการกรอง



รูปที่ 2.24 วงจรชอปเปอร์

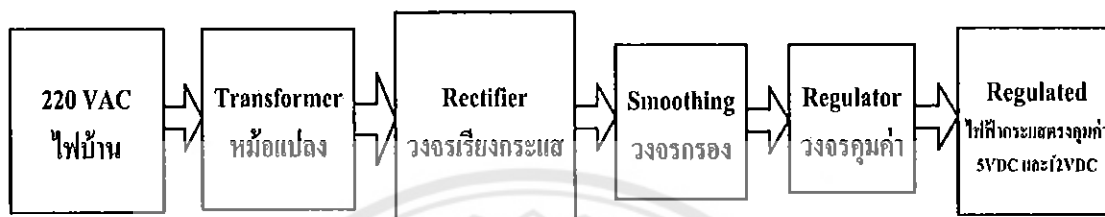


รูปที่ 2.25 รูปสัญญาณแรงดันวงจรชอปเปอร์

ที่มา <http://www.circuitstoday.com/wp-content/uploads/2012/01/Output-Voltage-and-Current-Waveforms.jpg>

2.7 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

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

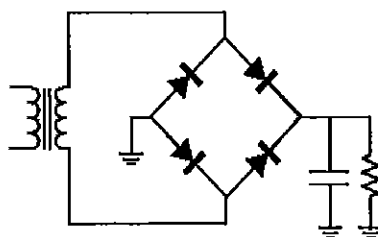


รูปที่ 2.26 บล็อกไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า

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

2.7.1 วงจรกรอง

วงจรกรอง (Smoothing) การกรองเกิดขึ้นโดยการต่อ คาปาซิเตอร์ หรือตัวเก็บประจุค่าสูงคร่อมไฟฟ้ากระแสตรงที่ออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ดังรูปที่ 2.27 ทำหน้าที่เหมือนบ่อเก็บน้ำ คือ บ่อนแรงดันไฟฟ้าให้กับเอาต์พุต เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขาเข้าของวงจรกรองตกคร่อม ดังรูป 2.28 แสดงให้เห็นการตกของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ยังไม่กรอง (เส้นประ) และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่กรองแล้ว (เส้นทึบ) ถ้าตัวเก็บประจุมีค่ามาก จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตรงทางด้านเอาต์พุตมีความเรียบมากขึ้นไปด้วย



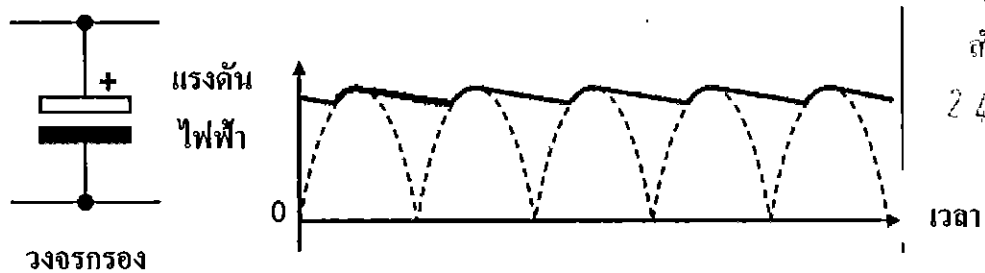
รูปที่ 2.27 วงจรกรอง

19220261



สำนักหอสมุด

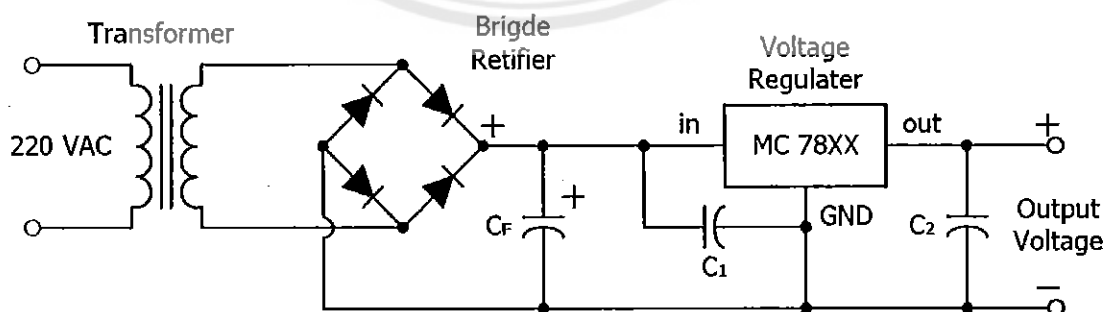
24 ส.ค. 2561



รูปที่ 2.28 แรงดันไฟฟ้าที่ยังไม่ผ่านการกรอง และผ่านการกรองแล้ว

2.7.2 วงจรคุมค่า

วงจรคุมค่า (Regulator) จะใช้ไอซีคุมค่าแรงดันไฟฟ้า เพื่อทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตคงที่ เช่น LM7805 และ LM7812 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ ตามลำดับ ไอซีคุมค่าส่วนใหญ่จะมีวงจรการป้องกันอัตโนมัติจาก กระแสเกิน (overload protection) และความ ร้อนเกิน (thermal protection) ไอซีคุมค่าแรงดันไฟฟ้าแบบคงที่ส่วนมากมี 3 ขา และมีลักษณะคล้าย เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นวงจรคุมค่า หรือวงจรเรกูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีจะรับสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าอินพุตมาจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่ผ่านการกรองแรงดันมาแล้ว โดยวงจรเรกู เลเตอร์จะทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้า และรักษาระดับแรงดันให้คงที่ตลอดการใช้งาน วงจรเรกูเล เตอร์ที่ใช้เป็นไอซี ซึ่งไอซีที่ใช้จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่ระดับสูง ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ ระดับต่ำกว่า โดยจะกล่าวถึงการใช IC 78xx Series ในวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.29 ซึ่งเป็น วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบ Fixed Linear Voltage Regulator คือ ไม่สามารถเปลี่ยนแรงดันเอาต์พุตได้ (มี Linear Voltage Regulator บางตัวที่สามารถเปลี่ยนค่าแรงดันเอาต์พุตได้)



รูปที่ 2.29 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ไอซี

2.9 เนื้อสัตว์

เนื้อสัตว์ประกอบด้วยน้ำและโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ และโดยปกติกินร่วมกับอาหารอย่างอื่น เนื้อสัตว์นั้นกินดิบ ๆ ได้ แต่ปกติจะกินสุกและสามารถปรุงรสได้หลายวิธี หากไม่ผ่านการแปรรูป เนื้อสัตว์จะเน่าในเวลาไม่กี่วัน การเน่าเสียของเนื้อสัตว์นั้นเกิดจากการติดเชื้ออันมีอาจหลีกเลี่ยงได้ และจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียและฟังไจ ซึ่งอาจจะมาจากตัวเนื้อสัตว์เอง มาจากมนุษย์จัดการกับเนื้อสัตว์ และจากกระบวนการปรุงอาหาร การบริโภคเนื้อสัตว์นั้นมีหลากหลายทั่วโลก ขึ้นอยู่กับวัฒนธรรม หรือศาสนา หรือสถานะทางเศรษฐกิจ ผู้กินมังสวิรัตเลือกไม่กินเนื้อ ด้วยเหตุผลด้านจริยธรรม สิ่งแวดล้อม ศาสนาหรือสุขภาพ ซึ่งสัมพันธ์กับการผลิตและบริโภคเนื้อสัตว์ โดยส่วนใหญ่ เนื้อสัตว์หมายถึงกล้ามเนื้อ โครงสร้างและไขมันและเนื้อเยื่ออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง แต่อาจหมายถึงเนื้อเยื่อที่กินได้ เช่น เครื่องในสัตว์ ในทางกลับกัน เนื้อสัตว์ บางครั้งใช้เรียกอย่างจำกัด คือหมายถึงเพียงเนื้อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (หมู, ปลายี่สุ, แกะ, ฯลฯ) ที่ถูกเลี้ยงดูและเตรียมไว้ให้มนุษย์บริโภค แต่ไม่รวมถึงปลา สัตว์ทะเลต่าง ๆ สัตว์ปีก หรือสัตว์ชนิดอื่น ๆ

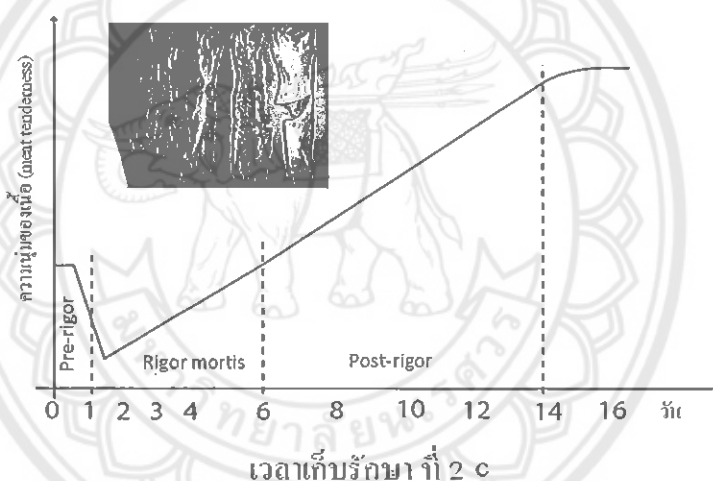
2.9.1 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า

การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า สัตว์หลังการฆ่า มีปริมาณออกซิเจนที่หล่อเลี้ยงเซลล์เนื้อเยื่อจะค่อยๆ ลดลง จนหมดไปในที่สุด แต่เซลล์ยังคงมีชีวิตและพยายามที่จะคงความมีชีวิตไว้ด้วยกระบวนการเมแทบอลิซึมแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เนื้อสัตว์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งจากกระบวนการทางชีวเคมีของสัตว์เองและจากจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของเนื้อสัตว์หลังจากการฆ่า มีดังนี้

2.9.1.1 การเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ (rigor mortis)

กล้ามเนื้อของสัตว์ขณะที่มีชีวิตจะนุ่ม ยืดหยุ่น เคลื่อนไหวได้ แต่เมื่อสัตว์ตายแล้ว ระยะเวลาหนึ่ง กล้ามเนื้อจะเกร็ง แข็งและเหนียว เรียกว่า ระยะเกร็ง หรือ ริกออร์ทอร์ติส (rigor mortis) เกิดจากการหดตัวในระดับโมเลกุลของโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril) เนื่องจากการเคลื่อนที่เข้ามาจับตัวกันของโปรตีนแอกติน (actin) และไมโอซิน (myosin) เป็นแอคโตไมโอซิน ขณะที่สัตว์มีชีวิตอยู่ การจับตัวกันของแอกตินและไมโอซิน จะคลายตัวได้ เนื่องจากมีพลังงาน ATP จากการหายใจทำให้กล้ามเนื้อยืดหดและเคลื่อนไหวได้ เมื่อสัตว์ตาย เซลล์กล้ามเนื้อขาดพลังงานจากการหายใจ แอกตินกับไมโอซินที่เลื่อนเข้ามาหาอีกกัน จะจับกันล็อกแน่น ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว แต่คลายตัวไม่ได้เนื่องจากขาด ATP ทำให้ซากสัตว์เกร็ง แข็งทื่อ อาการนี้จะเป็นอยู่ระยะหนึ่งหลังจากที่สัตว์ตาย สัตว์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น วัว ควาย หมู จะมีระยะ rigor mortis นานกว่าสัตว์เล็ก เช่น ซากโค มีระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ซากหมูมีระยะเวลาประมาณ 10 ชั่วโมง ซากแกะประมาณ 7-8 ชั่วโมง และซาก

ใช้เวลาเพียง ประมาณ 2-4 ชั่วโมง เป็นต้น ในระยะ Rigor motis เป็นระยะที่เนื้อแน่น เหนียว โดยเฉพาะสัตว์ใหญ่เช่น วัว ไม่เหมาะกับการนำเนื้อสัตว์ไปปรุงอาหาร ควรรอให้พ้นระยะนี้ไปแล้ว ให้เข้าสู่ หลังระยะเกร็งตัว (post-rigor) ความนุ่มของเนื้อสัตว์ (meat tenderness) เพิ่มขึ้น เนื่องจาก เอนไซม์โปรตีเอส (protease) ที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ย่อย เส้นใยโปรตีนกลายเป็นที่เกร็งตัว รวมทั้ง โปรตีนที่เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น คอลลาเจนมีผลให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาที่การเก็บรักษา ซากสัตว์ขนาดใหญ่ เช่น ซากโค จึงมีการบ่ม (meat aging) โดยการเก็บซาก หรือก้อนเนื้อไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ ประมาณ 1-4 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุการเสื่อมเสียของเนื้อสัตว์ การบ่มเนื้อจะใช้เวลา 2-4 สัปดาห์ เนื้อสัตว์ที่ผ่านการบ่มจะนุ่ม มีรสชาติดี เหมาะกับการบริโภค การบ่มซากโค จึงมีผลต่อความนุ่มและรสชาติของเนื้อวัว ซึ่งเป็นสัตว์ใหญ่มากกว่าเนื้อสัตว์อื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.31



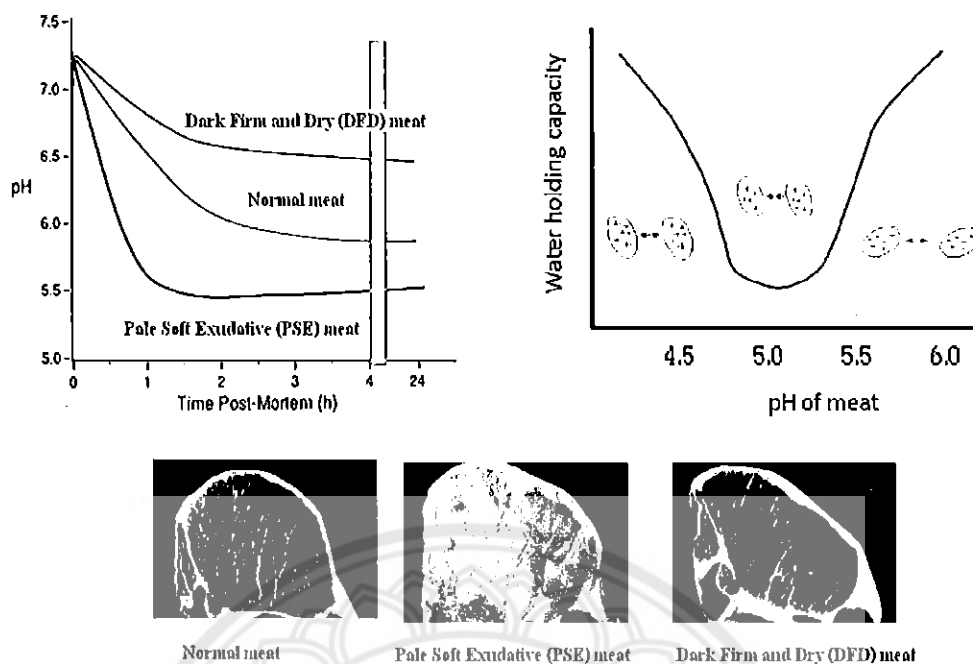
รูปที่ 2.31 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพเนื้อสัตว์

ที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/meat%20aging.JPG>

2.9.1.2. การเปลี่ยนแปลงค่า pH

การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า มีผลต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์ ทั้งด้านสี รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัส คุณภาพผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ และยังมีผลต่อการเสื่อมเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนื้อสัตว์มีสาเหตุหลักมาจากไกลโคเจน ซึ่งเป็น คาร์โบไฮเดรตที่เป็นแหล่งพลังงานในกล้ามเนื้อของสัตว์ ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อกัน มีโครงสร้างคล้าย อะไมโล เพกทิน (amylopectin) ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อจะถูกใช้ใน กิจกรรมการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อของสัตว์ เช่น การเดิน การวิ่ง โดยอาศัยปฏิกิริยาที่เรียกว่า ไกลโคไลซิส (glycolysis) เพื่อเป็นแหล่งพลังงานโดยไม่ต้องใช้ออกซิเจน และจะได้กรดแลคติก ซึ่งทำ

ให้เกิดการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขณะที่สัตว์มีชีวิต กรดแล็กติกจะสลายไปด้วยการหายใจแบบใช้ออกซิเจน เพื่อรักษาระดับค่า pH ของกล้ามเนื้อให้เป็นปกติ สัตว์ที่ได้รับการเลี้ยงดูที่ดี มีการพักผ่อนเพียงพอไม่บาดเจ็บ ไม่มีโรคภัยจะมีปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อสูง สัตว์ที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อมากกว่าสัตว์ที่มีขนาดเล็ก หลังจากที่ถูกฆ่า เซลล์สัตว์ยังคงมีชีวิต และพยายามรักษาความมีชีวิตไว้ ในภาวะที่เซลล์ขาดออกซิเจนด้วยการสลายไกลโคเจนที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ เกิดเป็นกรดแล็กติก สัตว์ที่ถูกเลี้ยงดูดี ได้รับอาหารดี มีสุขภาพดี ไม่เจ็บป่วยหรือบาดเจ็บ ไม่มีความเครียด มีการฆ่าแบบไม่ทรมาน เช่น ทำให้สัตว์สลบ (stunning) ก่อนการฆ่า จะเนื้อสัตว์ที่ได้มีคุณภาพดี ค่า pH ของเนื้อสัตว์ลดลง จากระดับค่า pH ของกล้ามเนื้อ ขณะมีชีวิต ซึ่งมีค่าประมาณ 7.4 ถึงประมาณ 6.2 หรือ ต่ำกว่านี้เล็กน้อยในเวลา 24 ชั่วโมง เนื้อสัตว์จะมีคุณภาพดี มีกลิ่น สีสัน รสชาติดี และมีการอุ้มน้ำที่ดี เหมาะสมกับการบริโภค และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ นอกจากนี้กรดแล็กติกที่เกิดขึ้น จะช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของเนื้อสัตว์ ผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH ต่อคุณภาพเนื้อสัตว์ การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนื้อสัตว์หลังการฆ่าสัตว์ มีผลมากต่อคุณภาพของซากสัตว์และเนื้อสัตว์ อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่เกิดขึ้นช้า หรือเร็วเกินไป ทำให้เกิดลักษณะที่ไม่ต้องการในเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะเนื้อจากสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น เนื้อวัว เนื้อหมู แพะ แกะ คือ Dark Firm Dry (DFD) เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการของเนื้อสัตว์คือ มีสีเข้ม (dark) เนื้อแน่น (firm) เหนียวผิดปกติ และผิวหน้าแห้ง ไม่ชุ่มชื้น (dry) มีสาเหตุมาจากกล้ามเนื้อสัตว์ ขณะที่ปริมาณไกลโคเจนเริ่มต้นในกล้ามเนื้อน้อย เนื่องจากการเลี้ยงดูที่ไม่ดี สัตว์มีสภาวะเครียด อดอยาก ขาดอาหาร บาดเจ็บหรือมีโรค เมื่อสัตว์ตายค่า pH ของเนื้อสัตว์จึงสูงผิดปกติ เพราะเกิดกรดแล็กติกจากการสลายตัวของไกลโคเจนปริมาณน้อยรสชาติไม่ดี เนื้อสัมผัสแข็งเหนียว ไม่ยืดหยุ่น นอกจากนี้เนื้อสัตว์ลักษณะ DFD ยังเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย เพราะค่า pH สูง ไม่มีกรดแล็กติกซึ่งช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และ Pale Soft Exudative (PSE) เป็นลักษณะของเนื้อสัตว์ที่ไม่ต้องการเช่นกัน ลักษณะคือ มีสีซีด (pale) เนื้อนิ่ม (soft) มีน้ำเยิ้ม (exudative) เกิดกับสัตว์ที่ได้รับการเลี้ยงดูปกติ มีระดับไกลโคเจนในกล้ามเนื้อปกติ แต่สัตว์ที่มีความเครียดระยะสั้นๆ ก่อนถูกฆ่า เช่น ระหว่างการขนส่งไปโรงฆ่าสัตว์ สัตว์ตื่นรนต่อสู้ ด้วยความตกใจ หวาดกลัว การฆ่าด้วยความรุนแรง ทารุน ซึ่งทำให้สัตว์ใช้ไกลโคเจน ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อเพื่อเป็นพลังงาน และได้กรดแล็กติกปริมาณมาก หลังจากที่ถูกฆ่า ค่า pH ของเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วจากประมาณ 7.4 เหลือ ประมาณ 5.4-5.6 ใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง เป็นค่า pH ที่อยู่ในช่วง Isoelectric point มีประจุบวกและประจุลบพอกัน เกิดการดึงดูดกันของโปรตีนกับโปรตีน (protein-protein interaction) มากกว่าโปรตีนกับน้ำ ทำให้เนื้อสัตว์อุ้มน้ำได้น้ำลง ส่งผลให้เนื้อสูญเสียน้ำที่อยู่ภายในเนื้อ ทำให้เนื้อมีคุณภาพต่ำ กลิ่นรส เนื้อสัมผัสไม่ดีและมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื้อสัตว์ที่นำไปแช่เยือกแข็ง จะเกิดการสูญเสีย (drip loss) มากภายหลังการหลอมละลาย โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงการลดค่าของกรด-ด่าง(pH) หลังสัตว์ตาย

ที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/meat%20aging.JPG>

2.9.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเนื้อสัตว์

1) สีของเนื้อ สีของเนื้อจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อายุ เพศ การทำงานของกล้ามเนื้อ ปริมาณเม็ดสีในเลือดและเม็ดสีในกล้ามเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของสีภายในกล้ามเนื้อ เป็นต้น สีที่เปลี่ยนไปแล้วก่อให้เกิดปัญหาในเนื้อสัตว์คือ ไมโอโกลบินเปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาลแดงชื่อ เมทไมโอโกลบิน จะเกิดขึ้นเมื่อเหล็กในฮีมเปลี่ยนจาก ferrous เป็น ferric เนื่องจากเหล็กถูกเติมออกซิเจน การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงไม่ได้ทำให้รสชาติของเนื้อเสียไป แต่มองดูไม่น่ากินเท่านั้น

2) ความนุ่มของเนื้อสัตว์ชนิดและปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน(พังผืด) เนื้อที่มีพังผืดมากจะเหนียวมาก ถ้ามีพังผืดน้อยก็จะไม่เหนียว เนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อสัตว์มี 2 ชนิด คือ คอลลาเจนสีขาวและอีลาสตินที่มีสีเหลือง แม้ว่าเมื่อเนื้อยังดิบ อีลาสตินจะเหนียวน้อยกว่าคอลลาเจน แต่อีลาสตินไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนในขณะที่คอลลาเจนสลายตัวให้เจลาติน

3) ความแน่นเนื้อขณะสัตว์มีชีวิตอยู่นั้นกล้ามเนื้อจะมีลักษณะที่ค่อนข้างแน่นและสามารถคงรูปร่างที่แน่นอนได้ตลอดเวลา

4) ความสามารถในการอุ้มน้ำในกล้ามเนื้อมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 65-80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกล้ามเนื้อทั้งหมด น้ำเหล่านี้ จะถูกจับไว้ในเส้นใยกล้ามเนื้อโดยเกาะอยู่กับโปรตีน

2.9.3 การทำให้เนื้อนุ่ม

เนื่องจากการบริโภคเนื้อโคในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนมากจะให้ความสำคัญกับคุณภาพเนื้อ ซึ่ง ความนุ่มของเนื้อเป็นลักษณะสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของเนื้อ และมีผลอย่างมากต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค รวมทั้งการตัดสินใจซื้อหรือบริโภคซ้ำอีกครั้ง อย่างไรก็ตาม เนื้อโคที่ผลิตและจำหน่าย ในปัจจุบันยังมีความนุ่มที่ไม่คงที่ ซึ่งกระบวนการที่ทำให้เนื้อนุ่มมี 3 วิธีดังนี้

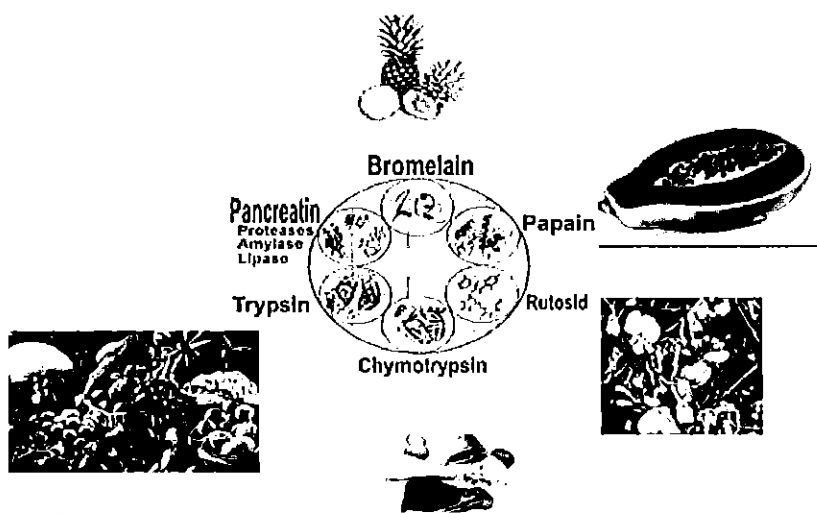
1) วิธีการใช้แรงกล การใช้แรงทางกล คือการใช้แรงในการกระแทก หรือทุบ จนทำให้เส้นใยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันฉีกขาด จึงทำให้เนื้อนั้นมีความนุ่มขึ้นได้ แต่การใช้แรงกลจะไม่สามารถควบคุมความนุ่มของเนื้อได้แน่นอน อีกทั้งยังทำให้เนื้อนั้นมีลักษณะปรากฏ ที่ไม่น่ารับประทาน โดยใช้อุปกรณ์คือค้อนทุบเนื้อ หรือวัตถุที่มีความแข็ง ทุบลงไปทีละชิ้นเนื้อดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ลักษณะการใช้แรงกลเพื่อทำให้เนื้อนุ่ม

ที่มา <http://www.streetdeal.co.th/images/deals/697740199604316.jpg>

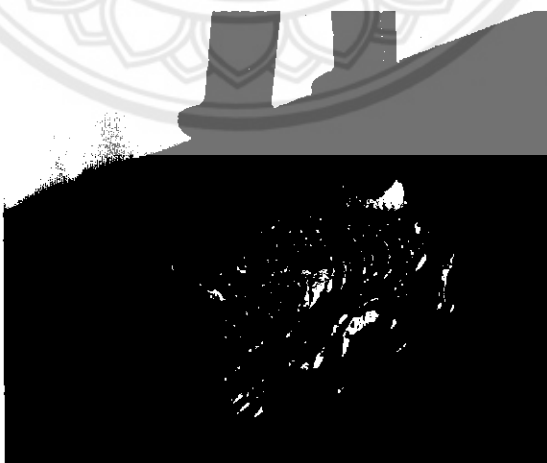
2) วิธีการทางเคมี การใช้สารเคมีในการทำให้เนื้อนุ่ม จะต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเป็นพิเศษ โดยรูปแบบของสารเคมีที่นำมาใช้เพื่อให้เนื้อนุ่ม มีทั้งที่เป็นกรด(acid) เช่นการใช้กรดอ่อนเพื่อช่วยให้เกิดการบวมตัวของคอลลาเจน ซึ่งทำให้ พันธะไฮโดรเจนภายในคอลลาเจนถูกตัดขาดจึงทำให้เนื้อนุ่มขึ้น ค่าง(base) เกลือฟอสเฟต และบางครั้งอาจใช้เอนไซม์(enzyme) จำพวก โปรตีเอส (protease) เช่น เอนไซม์ปาเปน (papain) ที่มีในยางจากใบและผลมะละกอดิบ เอนไซม์โบรมิลิน (bromelin) ในสับปะรด เป็นต้น ดังรูปที่ 2.34 เอนไซม์เหล่านี้มี คุณสมบัติในการย่อยโปรตีนได้ แต่จะต้องใช้ในปริมาณ และเวลาที่เหมาะสม เพราะหากใช้เป็นเวลา หรือปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้เนื้อเปื่อยได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้สารเคมีนั้น จะมีความซับซ้อนและยากต่อการควบคุม อีกทั้งสารเคมีบางตัวยังมีราคาที่สูง



รูปที่ 2.34 เอนไซม์จำพวก โปรตีเอส (protease)

ที่มา https://cdn.slidesharecdn.com/ss_thumbnails/proteaseenzymes-151006023528-lva1-app6892-thumbail-4.jpg?cb=1444098991

3) วิธีการกระตุ้นเนื้อให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 2.45 จะใช้หลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ปลอ่ยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในชิ้นเนื้อ ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ผ่านความชื้นที่มีอยู่ในชิ้นเนื้อโค โดยผลของกระแสไฟฟ้าจะทำให้ อะมิโนแอซิด(Amino-acid) หรือ โปรตีน เกิดการเสียสภาพธรรมชาติ โดยเซลล์ของโปรตีนจะถูกทำลาย เมื่อเซลล์ของโปรตีนถูกทำลายทำให้เซลล์ของกล้ามเนื้อฉีกขาด มีผลทำให้เส้นใยของกล้ามเนื้อห่างออกจากกัน ดังนั้นจึงเกิดช่องว่างขึ้นในชิ้นเนื้อ ซึ่งจะมีผลให้เนื้อบริเวณนั้นมีความนุ่ม



รูปที่ 2.35 การกระตุ้นเนื้อนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

บทที่ 3

การออกแบบและการทดสอบวงจร

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนในการออกแบบและพัฒนาเครื่องให้มีขนาดเล็กลงจากเครื่องรุ่นก่อน[1] โดยได้ทำการสร้างวงจรควบคุม และวงจรกำลัง ขึ้นมาใหม่ให้มีขนาดเล็กลง โดยมีวงจรที่ทำการพัฒนาดังนี้

- 1 วงจรเรียงกระแส
- 2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
- 3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ
- 4 วงจรทบทระดับแรงดัน
- 5 วงจรชอปเปอร์

รวมถึงการทดสอบวงจร วิธีการใช้ และขั้นตอนการประกอบวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

3.1 การพัฒนางจรเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

แนวทางในการพัฒนา การออกแบบเครื่องกระตุ้นเนื้อไคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้านั้นยังคงยึดหลักการเดิม ซึ่งมีการออกแบบให้มีพิคัดแรงดันไม่เกิน 90 โวลต์ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ และเรื่องความปลอดภัยแก่ผู้ใช้

ส่วนของวงจรควบคุม ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 เป็นตัวควบคุม เช่นเดียวกับเครื่องรุ่นก่อน[1] โดยที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 จะไปควบคุมการปล่อยสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ที่ปล่อยออกมาในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square-wave) ให้วงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ (Drive Circuit) เพื่อไปสวิตซ์ซึ่งมอสเฟต ของวงจรทบทแรงดัน และทรานซิสเตอร์ในวงจรชอปเปอร์ให้ทำงาน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ต่อเพิ่มเติมในวงจรควบคุมเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานเครื่อง โดยอาศัยสัญญาณควบคุมจาก Arduino เช่นจอแสดงผลแอลซีดีเพื่อใช้แสดงคำสั่งต่างๆดังนี้

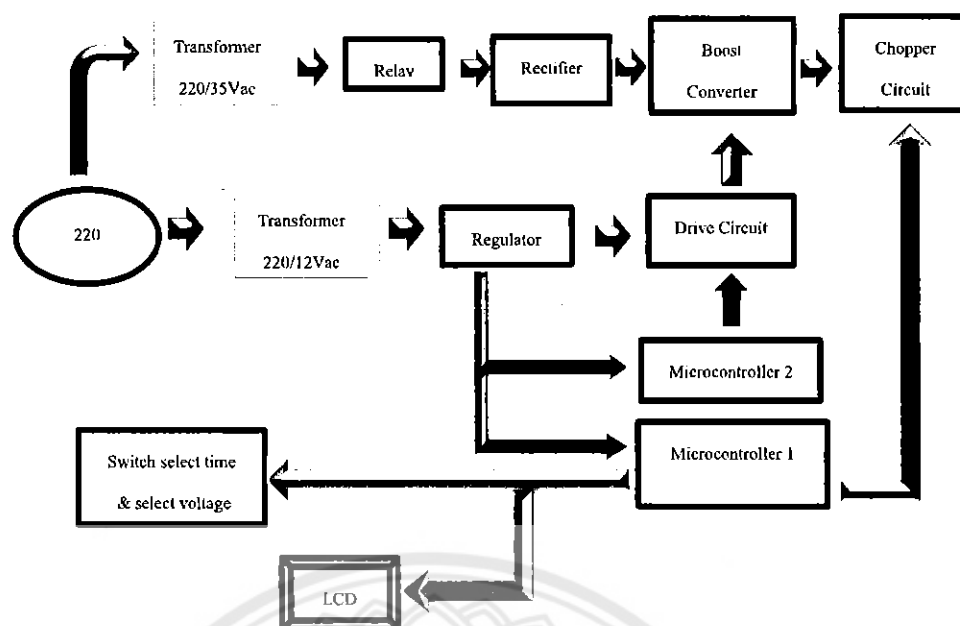
- 1) สวิตช์ (Switch) เพื่อใช้ในการกด เพิ่ม-ลดเวลา และเริ่ม-หยุดการทำงานของวงจรกำลัง
- 2) หลอดแอลอีดีเพื่อใช้เป็นสัญญาณไฟแสดงการทำงานของวงจรควบคุม
- 3) วงจรรีเลย์ เพื่อใช้ตั้งเวลาการส่งแรงดันไฟฟ้าของวงจรกำลัง
- 4) ตัวต้านทานปรับค่าได้ ใช้ปรับค่าตัวดิโไซเคิล เพิ่ม-ลดระดับแรงดันไฟฟ้า

เครื่องกระตุ้นเนื้อโคขุนด้วยกระแสไฟฟ้าที่พัฒนาแล้ว จะมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) ใช้ได้กับไฟกระแสสลับ 220 โวลต์
- 2) สามารถปรับตั้งเวลาการทำงานได้
- 3) มีขนาดของตัวเครื่องที่เล็กลงทำให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและใช้งาน

การพัฒนางจรกำลังในส่วนนี้ ยังคงใช้ขนาดของหม้อแปลงขนาดแรงดันเท่าเดิมแต่มีการเปลี่ยนเบอร์ของมอสเฟต ที่ให้มีความสามารถในการทนแรงดันมากขึ้น ทำให้มอสเฟตทนความร้อนได้มากขึ้น และเครื่องสามารถทำงานได้ต่อเนื่องนานขึ้น ในส่วนของหม้อแปลงจะทำหน้าที่แปลงแรงดัน 220 โวลต์ ให้เป็น 35 โวลต์ (AC-AC) ขนาดกระแส 1 แอมป์ มีกำลังด้านออก 35 วัตต์ และส่งแรงดันไปยังวงจรเรียงกระแส (AC-DC) โดยมีวงจรรีเลย์ทำหน้าที่ตัดหรือต่อการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทบระดับแรงดันต่อไปเพื่อทำการเพิ่มระดับแรงดันในระดับที่ต้องการ จากนั้นจ่ายแรงดันไปที่ วงจรชอปเปอร์ (สร้างพัลส์แรงดัน) ตามลำดับ

วงจรควบคุมในส่วนนี้ได้ใช้บอร์ด Arduino UNO R3 ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์เพื่อไปสวิตซ์ซึ่งมอสเฟต ในวงจรทบระดับแรงดัน โดยสัญญาณพัลส์จะต้องผ่านวงขยายสัญญาณพัลส์ (Drive Circuit) ก่อนเพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดเพิ่มขึ้นพอที่จะสวิตซ์ซึ่งมอสเฟตให้เริ่มทำงานได้ นอกจากนี้ยังใช้ Arduino UNO R3 เป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น จอแสดงผลแอลซีดี และสวิตช์ เป็นต้น



รูปที่ 3.1 แผนภาพวงจรการทำงานชุดอุปกรณ์ของเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

3.2 ขั้นตอนพัฒนาการออกแบบตัวเครื่องและการทดสอบวงจร

สำหรับ โครงการนี้ เป็นการพัฒนาการออกแบบและสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าให้มีขนาดเล็กลงเพื่อความสะดวกต่อการใช้งานในชีวิตประจำวัน เพื่อที่จะสามารถลดขนาดและช่วยในการประหยัดการใช้สายไฟ จึงได้ทำการออกแบบวงจรไฟฟ้าภายในใหม่ โดยเปลี่ยนแปลงจากแผ่นลายวงจรปกติ เป็นแผ่นปริ้นต์ (Printed Circuit Board: PCB) และทำให้เครื่องดูไม่ซับซ้อนมากเกินไป และวงจรอื่นๆยังคงใช้วงจรเช่นเดิม ดังนี้

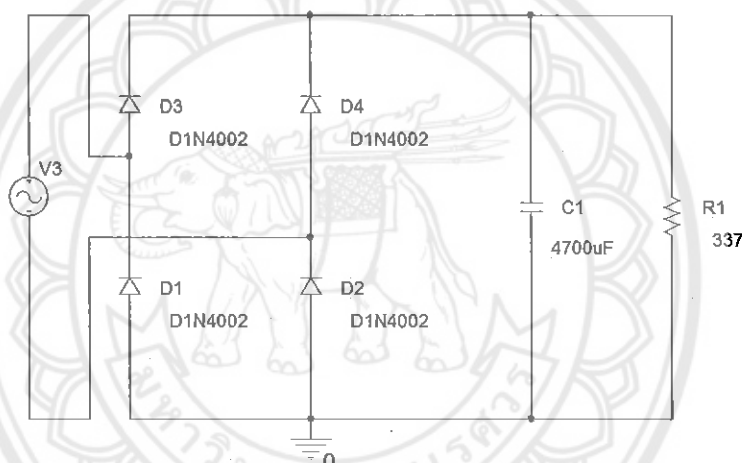
- 1) วงจรเรียงกระแส
- 2) วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
- 3) วงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ
- 4) วงจรทบทระดับแรงดัน
- 5) วงจรชอปเปอร์

โดยมีรายละเอียดในพัฒนา และในการเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างเหมาะสมดังนี้

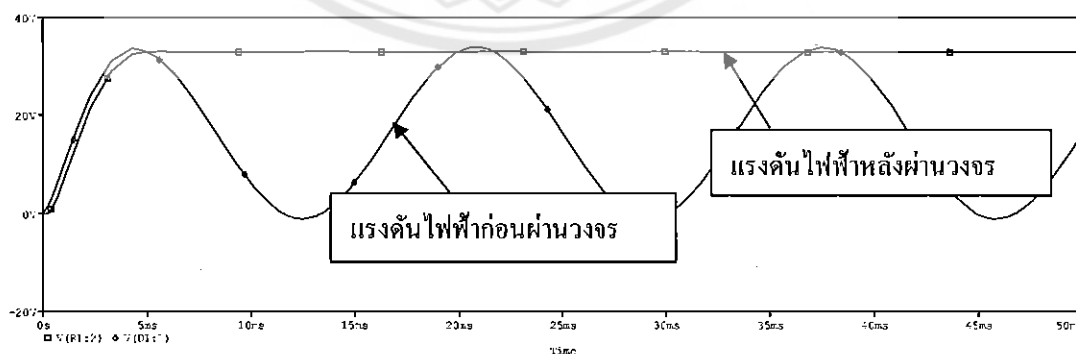
3.2.1 การพัฒนางจรเรียงกระแส

ในส่วนของวงจรเรียงกระแสเน้นสามารถใช้การออกแบบตามเดิม แต่มีการปรับเปลี่ยนให้มีขนาดเล็กลงจึงได้ทำการ ออกแบบลายวงจรพีซีบี ดังรูปที่ 3.8 เนื่องจากเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้านี้ ต้องการไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นจึงได้มีวงจรเรียงกระแส เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับจากหม้อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาออก

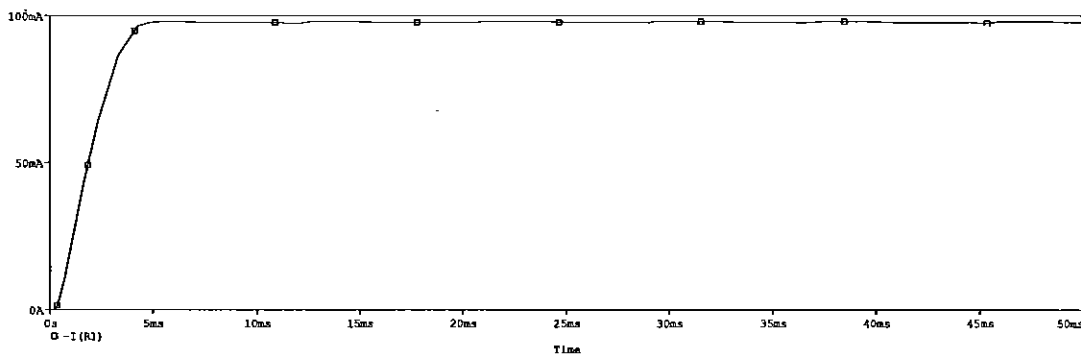
สำหรับโครงงานนี้เราได้เลือกใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลง(AC-DC)ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย อีกทั้งไดโอดยังนำกระแสทั้งละสองตัว ทำให้ไดโอดทนแรงดันสูงขึ้น จึงทำการทดสอบด้วยโปรแกรม Pspice ดังรูปที่ 3.2 และได้สัญญาณแรงดันขาออก ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์



รูปที่ 3.3 แรงดันไฟฟ้าที่ขาออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

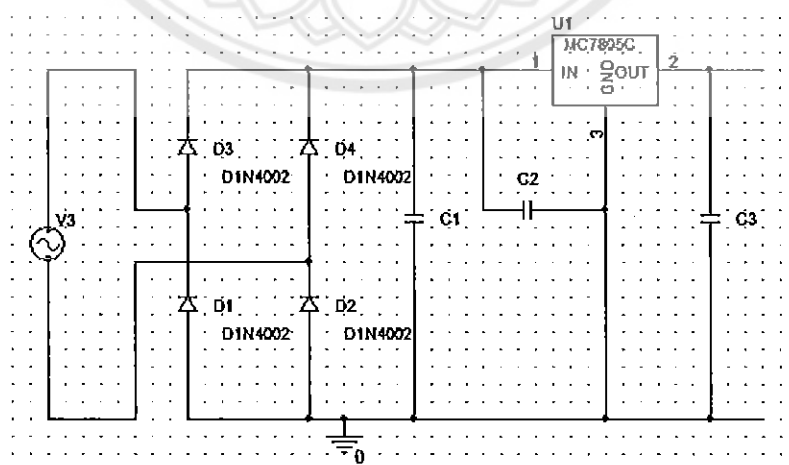


รูปที่ 3.4 กระแสไฟฟ้าที่ขาออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

ทำการต่อวงจรเรียงกระแสที่เคยได้ออกแบบไว้โดยใช้ตัวเก็บประจุขนาด 4700 ไมโครฟารัด และวงจรบริดจ์ และเมื่อใช้โปรแกรม Pspice ทำการจำลองรูปสัญญาณพบว่า สัญญาณจะมีลักษณะที่เรียบ เนื่องจากสัญญาณแรงดันขาออกถูกวงจรเรียงกระแส เปลี่ยนจากรูปสัญญาณที่ไม่เรียบ ให้มีลักษณะที่เรียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

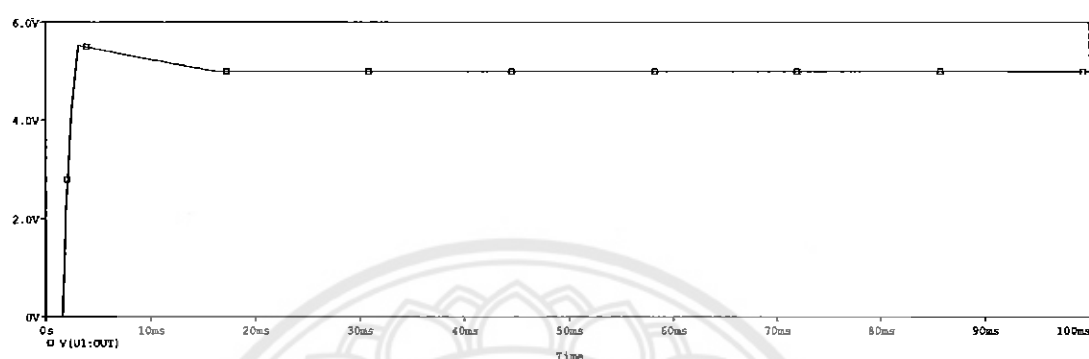
3.2.2 การพัฒนางจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องจากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ใช้ไอซีเบอร์ IR 2110 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์เพื่อนำไปสวิตช์ซึ่งมอเตอร์นั้นสามารถทำงานได้ดี ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงวงจรและ ได้ทำการรวมวงจรเรียงกระแส และวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไว้ในแผ่นวงจรพีซีบี เดียวกันดังรูปที่ 3.8 โดยมีไอซีเรกกูเลเตอร์(IC Regulator) ทำหน้าที่แปลงระดับไฟฟ้ากระแสตรงและรักษาระดับแรงดัน โดยใช้ ไอซีเบอร์ LM7805 และ LM7812 ตามเดิม มาต่อวงจรดังรูปที่ 3.5 เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับไอซีเบอร์ IR 2110 ในวงจรขยายสัญญาณพัลส์

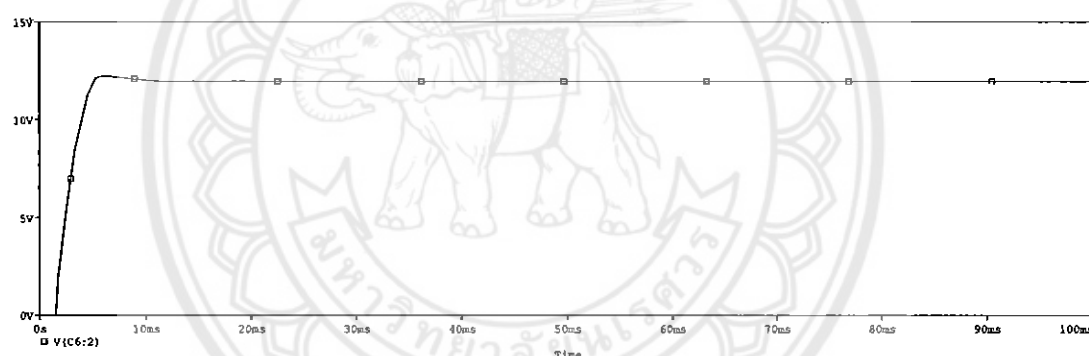


รูปที่ 3.5 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ในการใช้ไอซีเบอร์ LM7805 และ LM7812 แปลงแรงดันให้มีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็น 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ ตามลำดับ โดยแรงดันทางด้านอินพุตจะถูกส่งมาจากวงจรบริดจ์เรียงกระแส โดยได้ทดสอบวัดค่าด้วยโปรแกรม Pspice มีผลการจำลองดังรูปที่ 3.6 และ 3.7

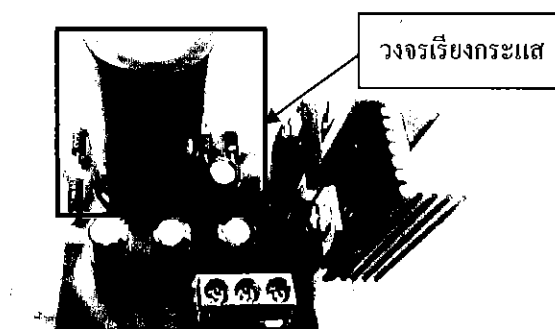


รูปที่ 3.6 แรงดันด้านออกของ ไอซีเบอร์ LM7805

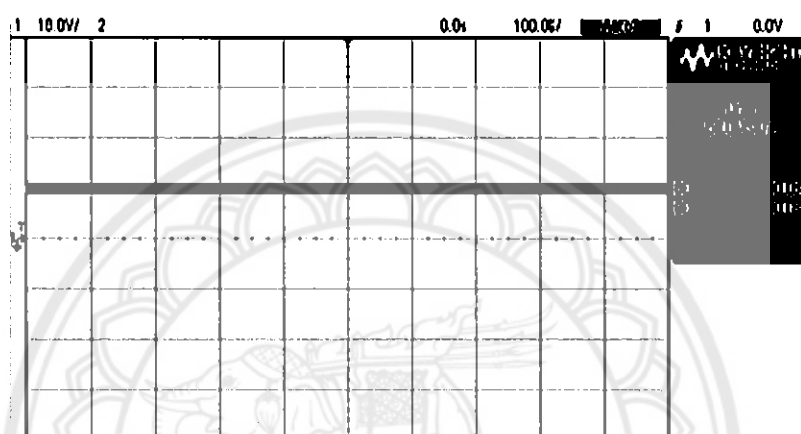


รูปที่ 3.7 แรงดันด้านออกของ ไอซีเบอร์ LM7812

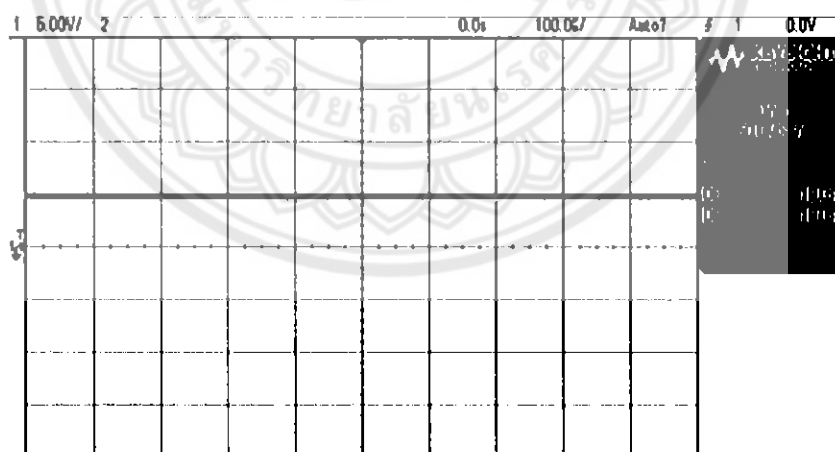
ทำการต่อวงจร และทดสอบการทำงานของวงจรเรียงกระแส และวงจรแปลงแรงดันไฟ กระแสตรงดังรูปที่ 3.8 และได้มีการทดสอบโดยใช้ฮอสซิล โลส โคปวัดสัญญาณแรงดันขาออก ซึ่ง จะได้สัญญาณแรงดันขาออกดังรูปที่ 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.8 วงจรเรียงไฟกระแสตรง และวงจรแปลงแรงดันไฟกระแสตรง(ที่ได้สร้างขึ้น)



รูปที่ 3.9 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสผ่านไอซี LM7812 (10 V/div, 0 Time/div)

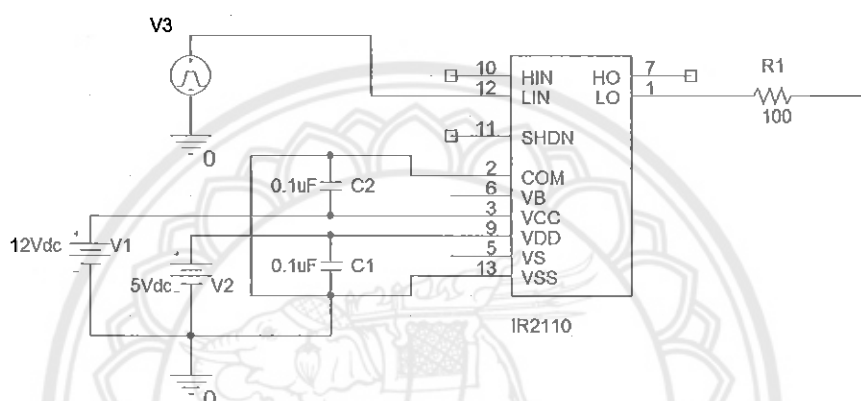


รูปที่ 3.10 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสผ่านไอซี LM7805 (5 V/div, 0 Time/div)

แรงดันไฟที่ก่อนที่จะเข้าวงจรนั้น จะเห็นได้ว่าสัญญาณด้านออกเป็นลักษณะเส้นตรง ที่มีขนาด 12 โวลต์ เพราะมีการแปลงแรงดันไฟฟ้าโดยผ่านไอซี LM7812 ดังรูปที่ 3.9 และมีแรงดันไฟกระแสตรง 5 โวลต์ เพราะมีการแปลงแรงดันไฟฟ้าโดยผ่านไอซี LM7805 ดังรูปที่ 3.10 ในวงจรแปลงแรงดันไฟกระแสตรง

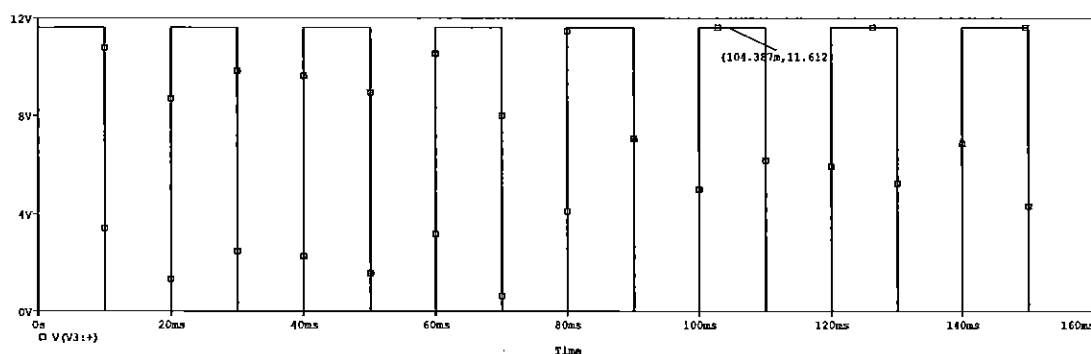
3.2.3 การพัฒนาวงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ

ในวงจรขยายสัญญาณพัลส์นั้นได้ทำการออกแบบให้วงจรมีขนาดเล็กกลง โดยการออกแบบแผ่นปริ้นต์ ดังรูปที่ 3.13 โดยวงจรจะสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 25 กิโลเฮิรตซ์ จากเบอร์ IR 2110 เพื่อนำสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Arduino UNO R3 ไปขยายสัญญาณสวิตซ์ซึ่งมอสเฟต เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่สร้างจากบอร์ด Arduino มีค่าแอมปริจูดประมาณ 5 โวลต์ไม่เพียงพอที่จะไปสวิตซ์ซึ่งมอสเฟตให้ทำงานได้ จำเป็นต้องมีวงจรสำหรับขยายสัญญาณพัลส์ โดยมีสัญญาณที่ถูกขยายสามารถนำไปสวิตซ์ซึ่งมอสเฟตในวงจรทบทระดับแรงดัน



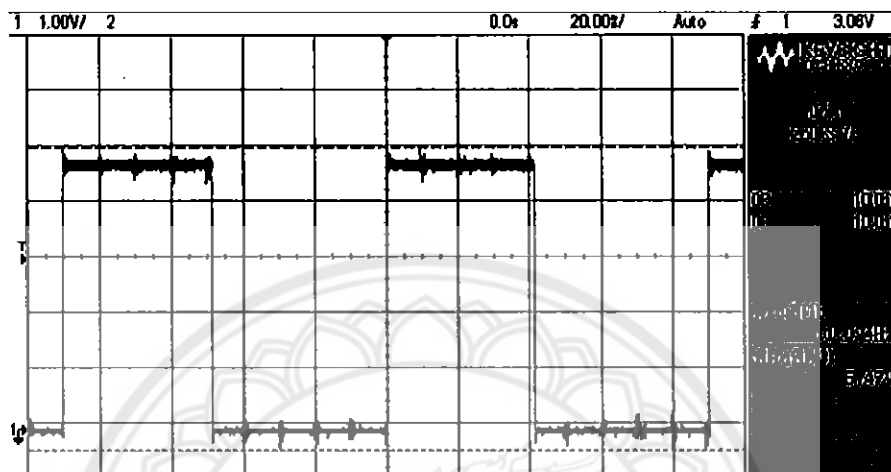
รูปที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

วงจรขยายสัญญาณพัลส์หรือวงจรสวิตซ์ซึ่งมอสเฟต โดยวงจรจะประกอบไปด้วยไอซีเบอร์ IR 2110 ต่อกับตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน โดยสัญญาณที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อใช้โปรแกรม Pspice ทำการจำลองวงจรพบว่าสัญญาณแรงดันที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ มีค่าเท่ากับ 5.2 โวลต์ เมื่อแรงดันผ่านเข้าไปในวงจรขยายสัญญาณพัลส์ จะทำให้แรงดันขาออกมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อได้ทดสอบวัดค่าทางด้านออกด้วยโปรแกรม Pspice โดยมีผลการจำลอง พบว่าสัญญาณแรงดันมีค่า 11.61 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 สัญญาณแรงดันที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณพัลส์

จะเห็นได้ว่ารูปที่ 3.14 สัญญาณที่ออกมาจะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ขนาดแรงดัน 11.5 โวลต์ และคิวตี้ไชเกิดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่วงจรขยายสัญญาณพัลส์นั้น จะรับแรงดันพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งออกมาเพียง 5.47 โวลต์เท่านั้น ดังรูปที่ 3.15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วงจรขยายสัญญาณพัลส์สามารถทำงานได้ปกติ



รูปที่ 3.15 สัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (1 V/div, 0 Time/div)

3.2.4 การพัฒนางจรทบระดับแรงดัน

วงจรทบระดับแรงดันได้มีการปรับเปลี่ยนมอสเฟตจากเบอร์ IRFP150 เป็นเบอร์ IRFP260 เพื่อให้เครื่องจะสามารถทนรับระดับแรงดันได้มากขึ้นจากเดิม ทนแรงดันได้ 100 โวลต์ เป็น 250 โวลต์ ซึ่งจะทำให้เครื่องทำงานต่อเนื่องได้นานขึ้น และสามารถลดระดับความร้อน ของมอสเฟตลงได้ด้วย และจากเครื่องรุ่นก่อน[1] ได้มีการหาค่าความต้านทานของเนื้อโค ซึ่งมีผลต่อการทำงานของ วงจรทบระดับแรงดันจึงจำเป็นต้องทดสอบหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของเนื้อโค โดยจ่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่พิกัด 50 โวลต์ เข้าไปในเนื้อโค แล้ววัดกระแสได้ 0.148 แอมแปร์ จาก

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

จากสมการ (3.1) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าความต้านของเนื้อ โคได้ค่าความต้านทานของ เนื้อโคมีค่าเท่ากับ 337 โอห์ม และการออกแบบวงจรทบระดับแรงดัน จำเป็นต้องมีขนาดของตัว เหนี่ยวนำที่มีค่าเหมาะสมกับวงจรที่ใช้งานในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ เพื่อให้แรงดันทางด้าน เอาท์พุตเพิ่มขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหาได้จากสมการของ L_{min} ดังนี้ (โดยค่าของ L จะเป็นจุดแบ่ง ระหว่างการทำงานแบบกระแสต่อเนื่องกับไม่ต่อเนื่อง)

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

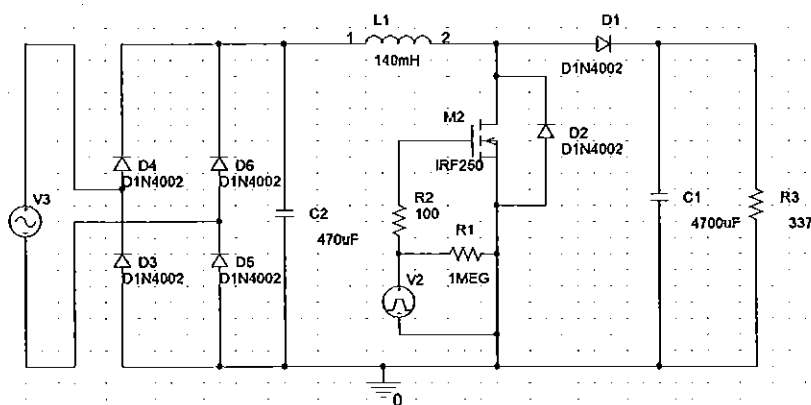
โดยการออกแบบกำหนดให้มี ค่าความถี่ที่ใช้งาน (f_s) เท่ากับ 25 กิโลเฮิรท์ส ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม แรงดันทางดำนอินพุต (V_{in}) เท่ากับ 50 โวลต์ แรงดันทางดำนเอาต์พุต (V_{out}) เท่ากับ 90 โวลต์ และมีวัฏจักรงาน (D) ในโหมดกระแสต่อเนื่อง (ค่าของคิวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของวงจรที่โหมดกระแสต่อเนื่อง)

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (3.3)$$

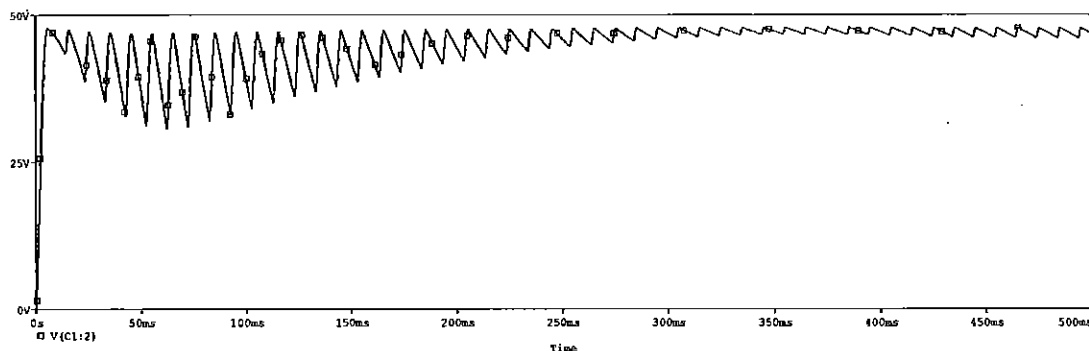
จากสมการ(3.3) สามารถหาวัฏจักรงาน (D) ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.44 และจากสมการ(3.2) สามารถคำนวณหาขนาดของ ขดลวด(L_{min}) เท่ากับ 0.93 มิลลิเฮนรี่ ซึ่งเป็นค่าที่เป็นจุดแบ่งระหว่าง โหมดการทำงานที่กระแสต่อเนื่องกับโหมดการทำงานที่กระแสไม่ต่อเนื่อง โดยการพิจารณาเลือกใช้ค่าขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสมพิจารณาจากค่า $L > L_{min}$ จะเป็นกรณีกระแสต่อเนื่อง แต่ถ้า $L < L_{min}$ จะเป็นกรณีกระแสไม่ต่อเนื่อง

จากที่ได้คำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ ใช้โปรแกรม Pspice จำลองวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อใช้พิจารณาเลือกค่าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่สามารถใช้งานได้กับวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าในโหมดการทำงานที่กระแสต่อเนื่องได้อย่างเหมาะสม โดยขนาดของขดลวดที่พิจารณามีขนาด 1, 10, 50, 100 และ 140 มิลลิเฮนรี่ ซึ่งจะพิจารณาจากค่าขนาดแรงดันไฟฟ้า และค่าขนาดกระแสไฟฟ้า เป็นหลัก และใช้โปรแกรมพิจารณา ค่าขนาดแรงดันไฟฟ้า และค่าขนาดของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่ค่าความต้านทานของเนื้อมามีค่าเปลี่ยนแปลงไป ดังต่อไปนี้

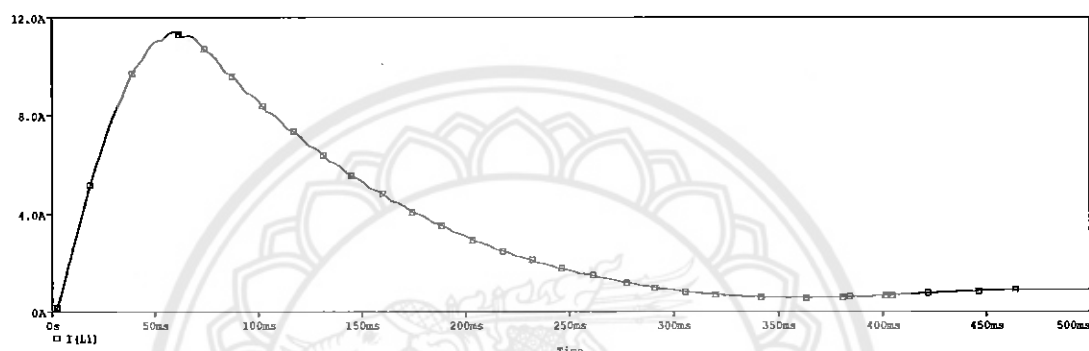
ทั้งนี้ได้ทำการยกตัวอย่างการทดสอบ โดยกำหนดให้ขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 140 มิลลิเฮนรี่ เท่านั้น แต่ได้ทำการทดสอบขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 1, 10, 50, 100 และ 140 มิลลิเฮนรี่ โดยได้สรุปค่าไว้ในตารางที่ 3.1 ค่าความต้านทานขนาด 337 โอห์ม และแหล่งจ่าย 35 โวลต์กระแสสลับ โดยใช้โปรแกรม Pspice ในการจำลองวงจรไฟฟ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงดันไฟฟ้า และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.16 วงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 140$ มิลลิเฮนรี่)



รูปที่ 3.17 ขนาดของแรงดันไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 140$ มิลลิเฮนรี)



รูปที่ 3.18 ขนาดของกระแสไฟฟ้า ที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ ($L = 140$ มิลลิเฮนรี)

ผลที่ได้จากใช้โปรแกรม Pspice พบว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 140 มิลลิเฮนรี จากรูปที่ 3.17 จะเห็นได้ว่า มีการแกว่งเกิดขึ้นเล็กน้อยในช่วงเวลาเริ่มต้นตั้งแต่ 0-250 มิลลิวินาที และในช่วงท้ายแรงดันไฟฟ้ามีความเรียบ ในช่วงเวลาที่พิจารณา 500 มิลลิวินาที โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 48 โวลต์ ต่ำสุดที่ 30 โวลต์โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 48 โวลต์ และพบว่าขนาดของกระแสไฟฟ้ามีค่าพุ่งสูงขึ้น ที่สามารถยอมรับได้ในช่วงแรก และในช่วงเวลาต่อมาจนถึง 500 มิลลิวินาที กระแสไฟฟ้ามีค่าต่ำมาก ดังรูปที่ 3.18 ซึ่งเป็นผลมาจากค่าของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น ทำให้กระแสมีการแกว่งลดลงมาก และยังส่งผลให้ตัวเรียงกระแส หรือระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเข้าขดลวดตัวเหนี่ยวนำมีค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) น้อยลงมาก (สำหรับตัวเรียงกระแสที่ส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติจะมี $FF = 1$ และ $RF = 0$) โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} \quad (3.4)$$

ตัวประกอบรูปแบบ (Form factor, FF) เป็นตัววัดรูปร่างลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้กับวงจรทบทระดับแรงดันที่ผ่านขดลวดตัวเหนี่ยวนำ

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \text{ จะได้ } FF = \frac{50}{48} = 1.042$$

จากสมการที่ (3.4)

$$RF = \sqrt{1.04^2 - 1}$$

$$RF = 0.292$$

ดังนั้น ค่าตัวประกอบความพลัว (RF) ผลที่ได้จากใช้โปรแกรม Pspice ในกรณีค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่างๆ เมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่า ถ้าขนาดของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L) มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การแกว่งของระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยลง และการขึ้น-ลงของกระแสไฟฟ้าจะมีค่าลดลงไปด้วย โดยขนาดของขดลวดตัวเหนี่ยวนำในแต่ละกรณีมีค่าที่แตกต่างกันมาก เป็นเพราะว่าขนาดของขดลวดตัวเหนี่ยวนำที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากขดลวดตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่เป็นตัวสะสมพลังงานไฟฟ้า และทำหน้าที่หน่วงกระแส ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาดขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L) ที่มีขนาดเท่ากับ 140 มิลลิเฮนรี่ โดยจะพิจารณาจาก ค่าตัวประกอบความพลัว (Ripple factor, RF) ดังตารางที่ 3.1 โดยค่าตัวประกอบความพลัว คือ ความสามารถของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากสัญญาณระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ จะมีทั้งองค์ประกอบไฟฟ้าตรงและองค์ประกอบไฟฟ้าสลับ โดยวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ในอุดมคติจะมีค่าตัวประกอบความพลัว ซึ่งจะเท่ากับ 0 ซึ่งสามารถเป็นตัวจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรงได้ดีที่สุด จึงเลือกใช้ขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 140 มิลลิเฮนรี่ เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในส่วนของวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าในการเพิ่ม-ลดระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ค่าความต้านทาน (R) ของเนื่อโศเท่ากับ 337 โอห์ม

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตัวประกอบความพลัว (RF)

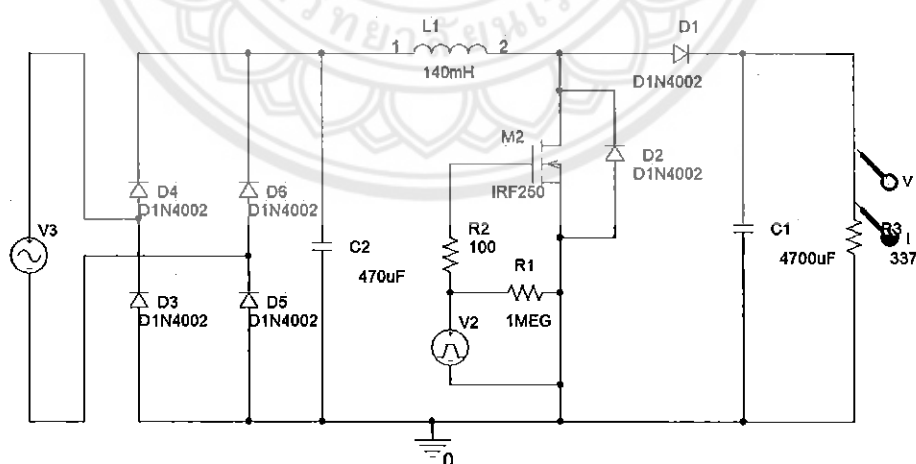
ขนาดขดลวดเหนี่ยวนำ (mH)	ค่าตัวประกอบความพลัว (RF)
1	1.368
10	1.049
50	0.646
100	0.456
140	0.292

จากตารางสามารถสรุปได้ว่า ถ้าขดลวดเหนี่ยวนำ (L) มีค่ามาก กระแสจะขึ้น-ลงช้า (Ripple factor น้อย) และถ้าหากขดลวดเหนี่ยวนำ (L) มีค่าน้อย กระแสจะขึ้น-ลงเร็ว (Ripple factor มาก) จากการจำลอง และพิจารณาเลือกใช้ขนาดของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ โดยใช้โปรแกรม Pspice จากนั้นสร้างขดลวดตัวเหนี่ยวนำขนาด 140 มิลลิเฮนรี่ โดยสร้างจากนำลวดทองแดงพันเข้ากับแกนแกรไฟต์กลม ดังรูปที่ 3.19

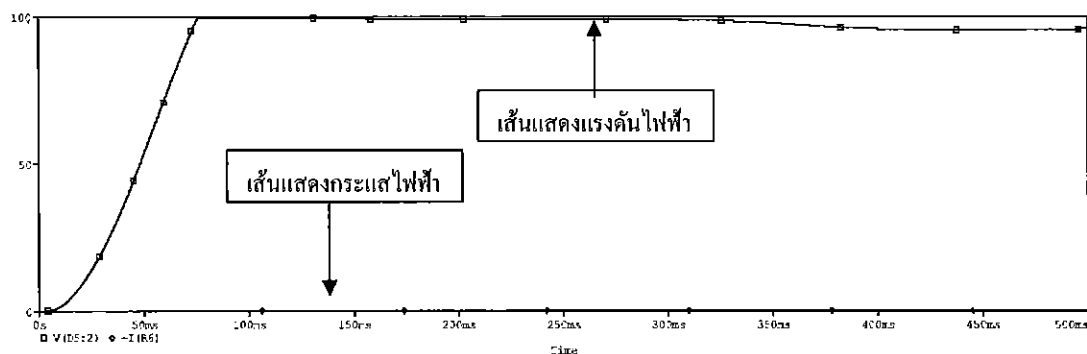


รูปที่ 3.19 ขดลวดเหนี่ยวนำที่ออกแบบขนาด 140 มิลลิเฮนรี่

ในการต่อขดลวดตัวเหนี่ยวนำ 140 มิลลิเฮนรี่ ในวงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม Pspice ดังรูปที่ 3.20 และทดสอบขนาดแรงดันไฟฟ้า และขนาดกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต ดังรูปที่ 3.21

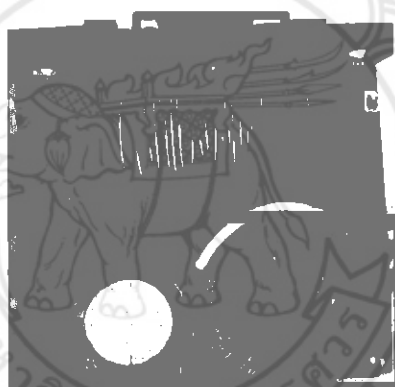


รูปที่ 3.20 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม



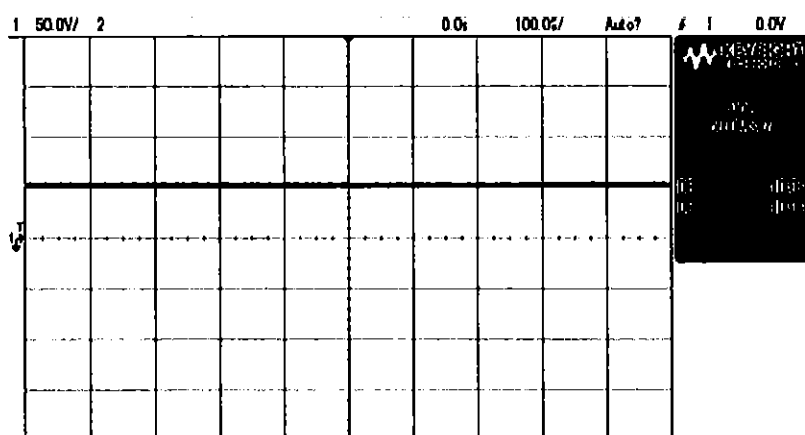
รูปที่ 3.21 ขนาดแรงดัน และกระแสทางด้านเอาต์พุต ที่ค่าความต้านทาน (R) เท่ากับ 337 โอห์ม

ขั้นต่อไป คือการสร้างวงจรทบทวนแรงดัน เพื่อใช้ในการเพิ่มแรงดันขาเข้าให้มีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่ม โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้คำนวณไว้ข้างต้นมาประกอบเป็นวงจรทบทวนระดับแรงดันดังรูปที่ 3.22

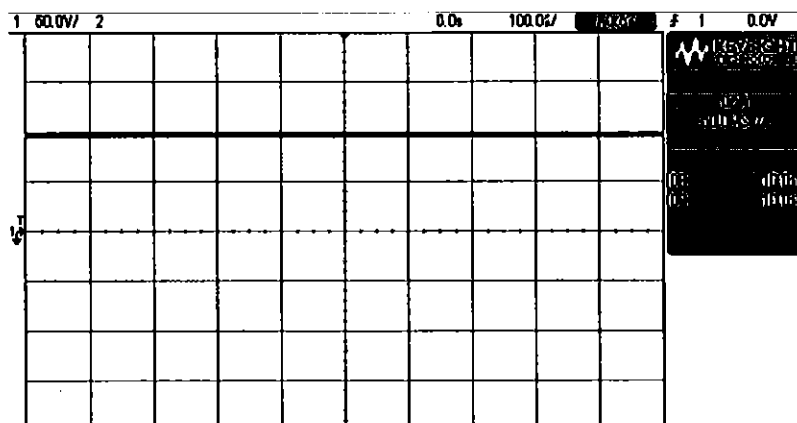


รูปที่ 3.22 วงจรทบทวนแรงดัน (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)

หาระดับของแรงดัน โดยใช้ฮอสซิลโลสโคปวัดสัญญาณแรงดันขาออก โดยปรับค่าตัวตั้งให้เกิตต่ำสุด และสูงสุด ได้สัญญาณแรงดันขาออก ดังแสดงในรูปที่ 3.23 และ 3.24 ตามลำดับ



รูปที่ 3.23 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรทบทวนแรงดัน ($D = 0\%$), (50 V/div, 0 Time/div)



รูปที่ 3.24 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรทบทแรงดัน ($D = 50\%$), (50 V/div, 0 Time/div)

การเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี กับระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่ออกจากวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบ โดยใช้เครื่องมือวัด ออสซิลโลสโคป เพื่อวัดระดับแรงดันไฟฟ้า พบว่าเมื่อค่า D มากขึ้นระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรทบทระดับแรงดัน ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3.2

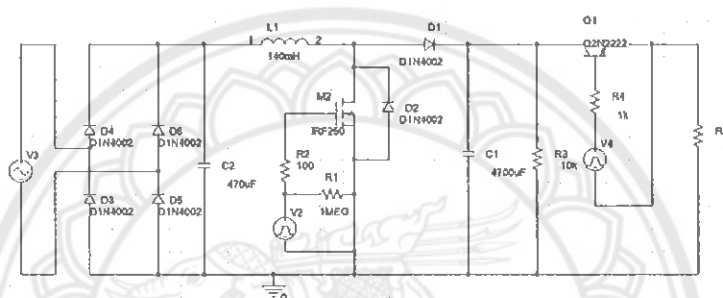
ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าจากทฤษฎีและจากวงจรที่ออกแบบ

ค่าดีวตีไซเคิล(%)	แรงดันขาเข้า(VDC)	แรงดันขาออกจาก (VDC)	
		จากทฤษฎี $\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$	จากวงจร
0	50	50.00	50.00
20	50	62.50	61.70
30	50	71.42	70.85
40	50	83.33	82.16
50	50	100.00	100.00

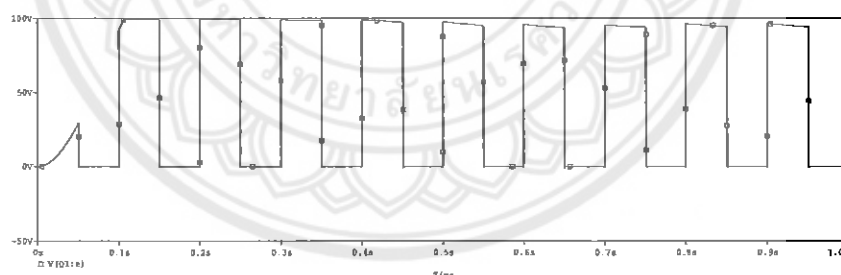
ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนั้น อาจเกิดจากในทางทฤษฎี เมื่อค่า D เพิ่มขึ้นค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เชิงเส้น โดยอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าขึ้นต่ำสุดคือ หนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับกับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าตามทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดและ ตัวอุปกรณ์สวิตซ์

3.2.5 การพัฒนางจรขอปเปอร์

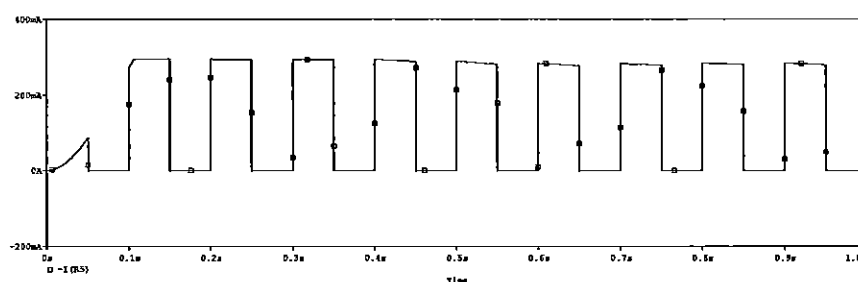
เครื่องกระตุ้นเนื้อโคลนด้วยกระแสไฟฟ้า จะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุต ในลักษณะเป็นพัลส์แรงดัน โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเหล่านี้ถูกส่งมาจากวงจรทบระดับแรงดันมายังวงจรขอปเปอร์เพื่อสร้างแรงดันให้มีลักษณะเป็นพัลส์แรงดันขนาดต่างๆ โดยรูปแบบวงจรจะเปลี่ยนแปลงให้เล็กลง โดยการออกแบบลายวงจรลงบนแผ่นวงจรพีซีบี จะรวมวงจรทบระดับแรงดันและวงจรขอปเปอร์เข้าไว้ในแผ่นวงจรเดียวกัน โดยจะสามารถใช้โปรแกรม Pspice จำลองสัญญาณแรงดันพัลส์ดีซี และกระแสพัลส์ดีซีได้ดังรูปที่ 3.26 และ 3.27 ตามลำดับ โดยภายในวงจรขอปเปอร์จะต้องประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ซึ่งทำหน้าที่คล้ายสวิตช์อยู่ภายในวงจรด้วยดังรูป 3.25



รูปที่ 3.25 จำลองวงจรขอปเปอร์โดยใช้โปรแกรม Pspice

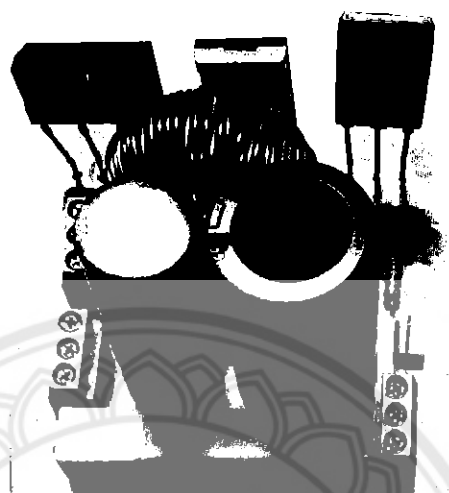


รูปที่ 3.26 แรงดันพัลส์ดีซีจากวงจรขอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice



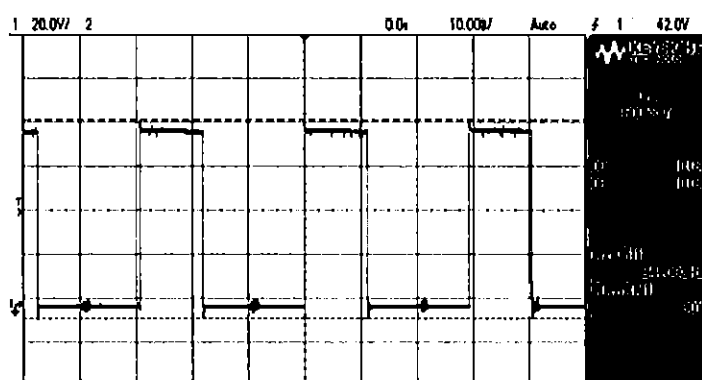
รูปที่ 3.27 กระแสพัลส์ดีซีจากวงจรขอปเปอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice

ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างวงจรขอปเปอร์ตามวงจรที่ออกแบบไว้จะได้วงจรขอปเปอร์และวงจรทระดับแรงดันอยู่ในแผงวงจรเดียวกัน โดยได้นำพารามิเตอร์ที่ได้คำนวณไว้ข้างต้นมาสร้างเป็นแผงวงจรปรินต์ ดังรูปที่ 3.28

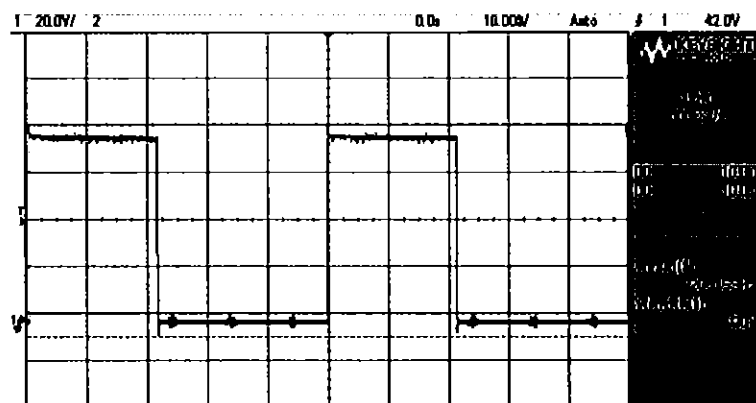


รูปที่ 3.28 วงจรขอปเปอร์และวงจรทระดับแรงดัน (วงจรที่ได้สร้างขึ้น)

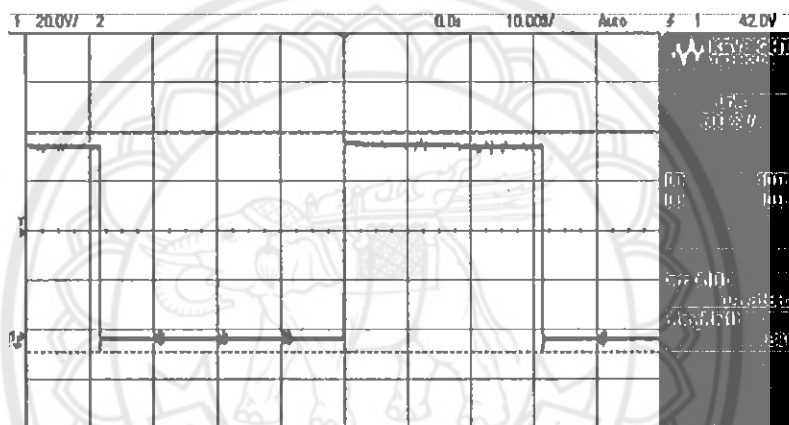
วงจรขอปเปอร์สามารถเลือก ระดับแรงดันได้หลายระดับตามต้องการ รวมถึงสามารถเลือกความกว้างพัลส์ได้หลายขนาดอีกด้วย ซึ่งขนาดความกว้างพัลส์นั้นจะมีผลต่อขนาดของแรงดันไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเนื่องจากมีช่วงเวลาการ เปิด-ปิด ของทรานซิสเตอร์เท่ากันทุกช่วงความกว้างพัลส์ โดยได้เลือกขนาดพัลส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุตมีพิกัดแรงดัน 50, 70 และ 90 โวลต์ ทำการวัดแรงดันด้านออกของวงจรขอปเปอร์ด้วยอุปกรณ์วัด ออสซิลอ스코ป และได้สรุปค่าต่างๆดังตารางที่ 3.3, 3.4 และ 3.5 ซึ่งได้ยกตัวอย่างในการปรับเปลี่ยนช่วงพัลส์หรือขนาดของพัลส์แรงดันได้ 10, 20, 30 และ 40 มิลลิวินาที โดยขนาดของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 90 โวลต์ ดังรูปที่ 3.29, 3.30, 3.31 และ 3.32 ตามลำดับ



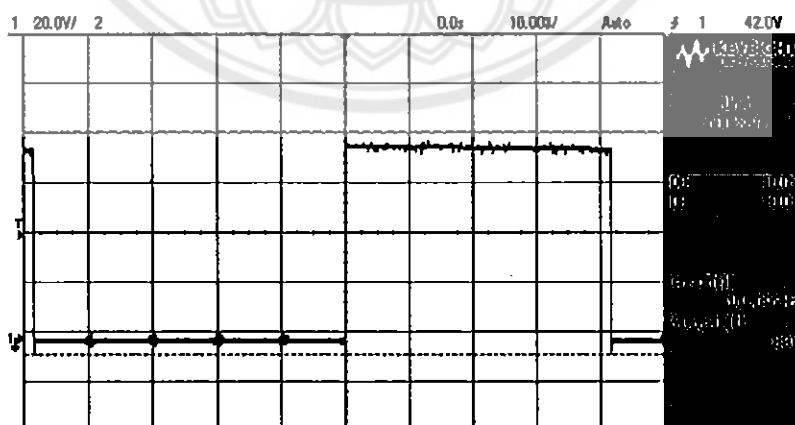
รูปที่ 3.29 แรงดันพัลส์ที่ชั่งจากวงจรขอปเปอร์ (90 โวลต์/10 มิลลิวินาที), (20 V/div, 10 Time/div)



รูปที่ 3.30 แรงดันพัลส์ดีซีจากวงจรชอปเปอร์ (90 โวลต์/20 มิลลิวินาที), (20 V/div, 10 Time/div)



รูปที่ 3.31 แรงดันพัลส์ดีซีจากวงจรชอปเปอร์ (90 โวลต์/30 มิลลิวินาที), (20 V/div, 10 Time/div)



รูปที่ 3.32 แรงดันพัลส์ดีซีจากวงจรชอปเปอร์ (90 โวลต์/40 มิลลิวินาที), (20 V/div, 10 Time/div)

ตารางที่ 3.3 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์

พิกัดแรงดันไฟฟ้า (VDC)	ความกว้างพัลส์ (ms)	พัลส์แรงดันเอาต์พุต (VDC)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
50	10 ms	50.00	0.00
	20 ms	50.00	0.00
	30 ms	50.00	0.00
	40 ms	50.00	0.00

ตารางที่ 3.4 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 70 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์

พิกัดแรงดันไฟฟ้า (VDC)	ความกว้างพัลส์ (ms)	พัลส์แรงดันเอาต์พุต (VDC)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
70	10 ms	70.00	0.00
	20 ms	70.00	0.00
	30 ms	70.00	0.00
	40 ms	70.00	0.00

ตารางที่ 3.5 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เมื่อปรับเปลี่ยนความกว้างพัลส์

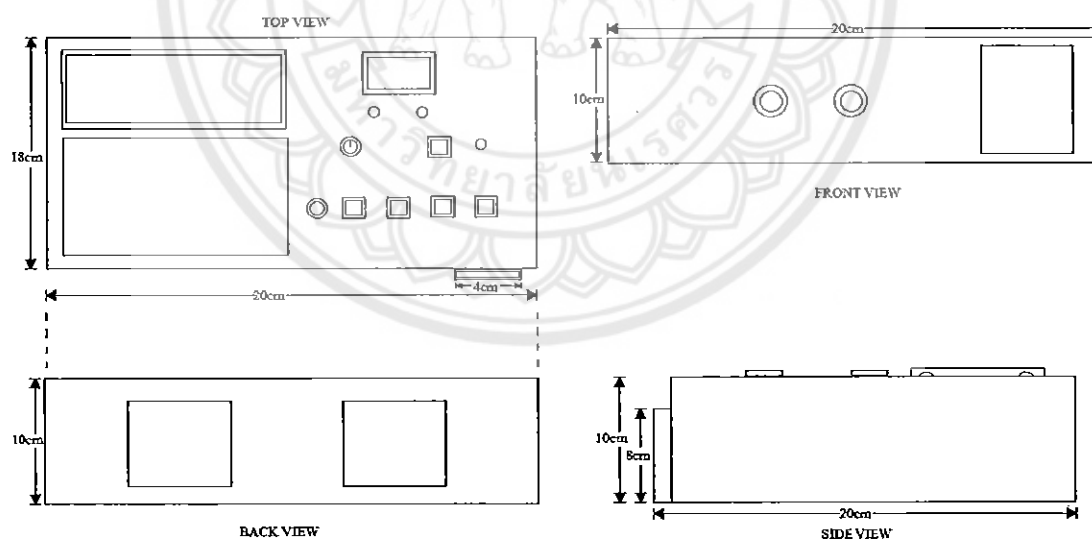
พิกัดแรงดันไฟฟ้า (VDC)	ความกว้างพัลส์ (ms)	พัลส์แรงดันเอาต์พุต (VDC)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
90	10 ms	90.00	0.00
	20 ms	88.00	2.22
	30 ms	88.00	2.22
	40 ms	89.00	1.11

3.3 การออกแบบเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

จากการพัฒนางจรกำลัง และวงจรควบคุมแล้วจากนั้นนำแต่ละวงจรต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้วงจรแต่ละวงจรสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำการประเมินคุณลักษณะโดยรวมของอุปกรณ์และหม้อแปลงต่างๆ โดยคำนึงถึงหลักความเป็นจริงเช่น ความสูง และความกว้างของอุปกรณ์จริง จึงสามารถคำนวณและประเมินการออกแบบลักษณะตัวเครื่องที่มีรูปลักษณะใหม่และมีขนาดเล็กกว่า เครื่องกระตุ้นเนื้อรุ่นเดิมอย่างเห็นได้ชัดเจน

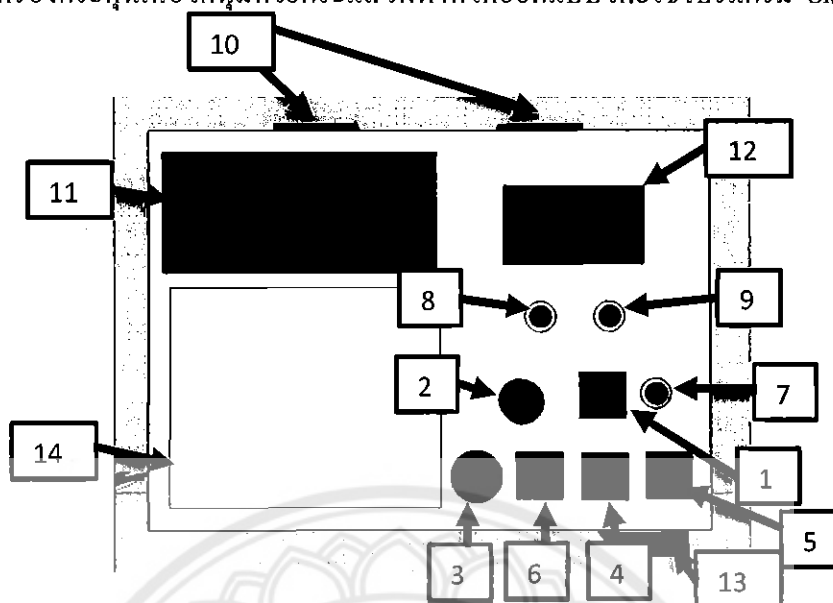
3.3.1 จำลองแบบโครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

จากที่ได้ออกแบบ โครงสร้างของแต่ละวงจร และวิธีขั้นตอนการทำงานของวงจรต่างๆ ภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการออกแบบ โครงสร้างของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม SketchUp ในการออกแบบ โดยมีขนาดของตัวเครื่อง ดังรูปที่ 3.33 และลักษณะโดยรวมของเครื่อง ดังรูปที่ 3.34 โดยจะมีทั้งในส่วนของวงจรกำลังและวงจรควบคุมรวมอยู่ด้วยกัน เช่น มีปุ่มกด จอแสดงผลแอลซีดี เพื่อปรับตั้งค่า และแสดงผลต่างๆ เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย และมีความปลอดภัยต่อการใช้งานต่อผู้ใช้



รูปที่ 3.33 ขนาดของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

เครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าที่ได้ออกแบบโดยใช้โปรแกรม SketchUp



รูปที่ 3.34 แบบจำลองเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

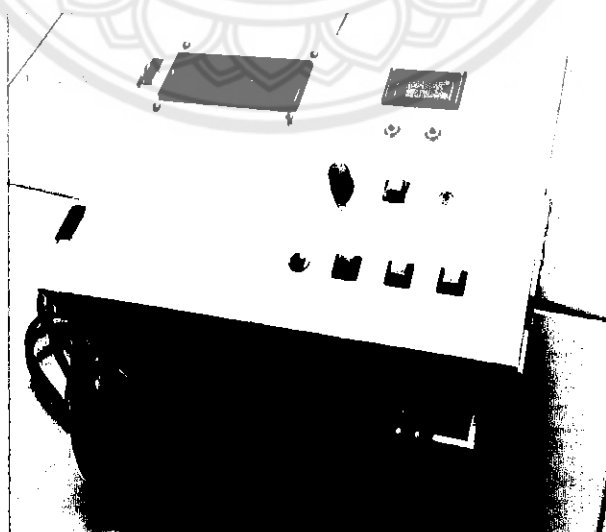
ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

- 1) ปุ่มเปลี่ยนความกว้างพัลส์แรงดันไฟฟ้า
- 2) ปุ่มปรับระดับแรงดัน
- 3) ปุ่มรีเซ็ตการทำงาน
- 4) ปุ่มกดปรับตั้งเพิ่มเวลา
- 5) ปุ่มกดปรับตั้งลดเวลา
- 6) ปุ่มกดเริ่มการทำงาน
- 7) หลอดแอลอีดีแสดงสถานะเลือกการตั้งความกว้างพัลส์แรงดันไฟฟ้า
- 8) หลอดแอลอีดีแสดงสถานะขณะทำงาน
- 9) หลอดแอลอีดีแสดงสถานะหยุดการทำงาน
- 10) พัดลมระบายความร้อน
- 11) หน้าจอแสดงผลการทำงาน
- 12) หน้าจอแสดงระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
- 13) ถังใส่สายและหัวโพรบ
- 14) ถูมือแสดงการใช้งาน

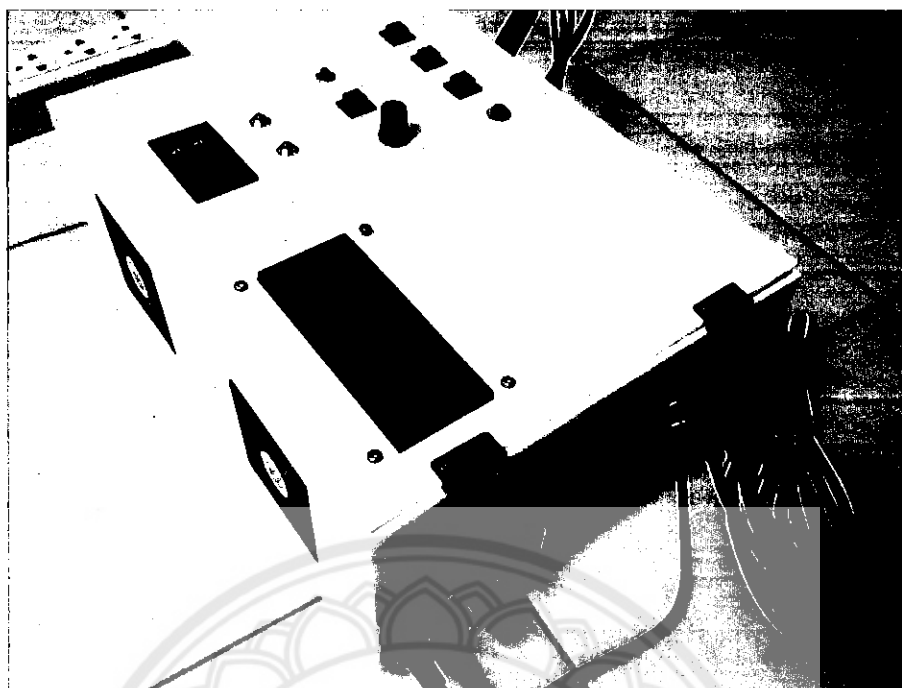
3.3.2 วงจรภายในและโครงสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

การสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าที่ได้ออกแบบไว้แล้วด้วยโปรแกรม SketchUp โดยเครื่องที่ได้ทำการสร้างขึ้นมีลักษณะของเครื่องดังรูปที่ 3.35 และ 3.36 ซึ่งการประกอบตัวเครื่องและวงจรจะสามารถทำได้ง่ายขึ้น โดยจำนวนของการใช้สายไฟในการเชื่อมต่อมีจำนวนที่น้อยลง เนื่องจากตัวเครื่องมีขนาดเล็กลง และแผงลายวงจรได้ออกแบบเป็นแผงลายวงจร ปริ้นต์ โดยมีวิธีการต่อวงจรดังนี้

- 1) ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เข้ากับตัววงจรทระดับแรงดัน เพื่อส่งจ่ายแรงดันขนาด 50 โวลต์ เข้าสู่วงจรทระดับแรงดันดังกล่าว โดยถูกกำหนดให้เป็นแรงดันขาเข้า
- 2) ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ เข้ากับวงจรขยายสัญญาณพัลส์ เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับไอซีเบอร์ IR 2110 ในวงจรขยายสัญญาณพัลส์ให้สามารถทำงานได้
- 3) นำบอร์ด Auduino ที่สร้างสัญญาณพัลส์ไปต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณพัลส์ เพื่อทำให้สัญญาณพัลส์มีขนาดของแอมปริจูดเพิ่มมากขึ้น
- 4) นำสัญญาณพัลส์ที่ถูกขยายแล้วไปต่อเข้ากับวงจรทระดับแรงดัน เพื่อมาใช้สวิตซ์ซึ่งมอสเฟตในแผงวงจรทระดับแรงดันเพื่อให้วงจรสามารถทำงานเป็นตัวสวิตซ์ซึ่งได้
- 5) ปรับค่าควิต์ไซเคิล โดยการปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ออกแบบไว้ เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรทระดับแรงดันให้ออกมาตามต้องการ จากนั้นนำแรงดันที่ได้ส่งจ่ายไปยังในส่วนของวงจรขอปเปอร์ เพื่อทำให้แรงดันเอาท์พุตมีลักษณะเป็นพัลส์แรงดัน



รูปที่ 3.35 ด้านหน้าเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

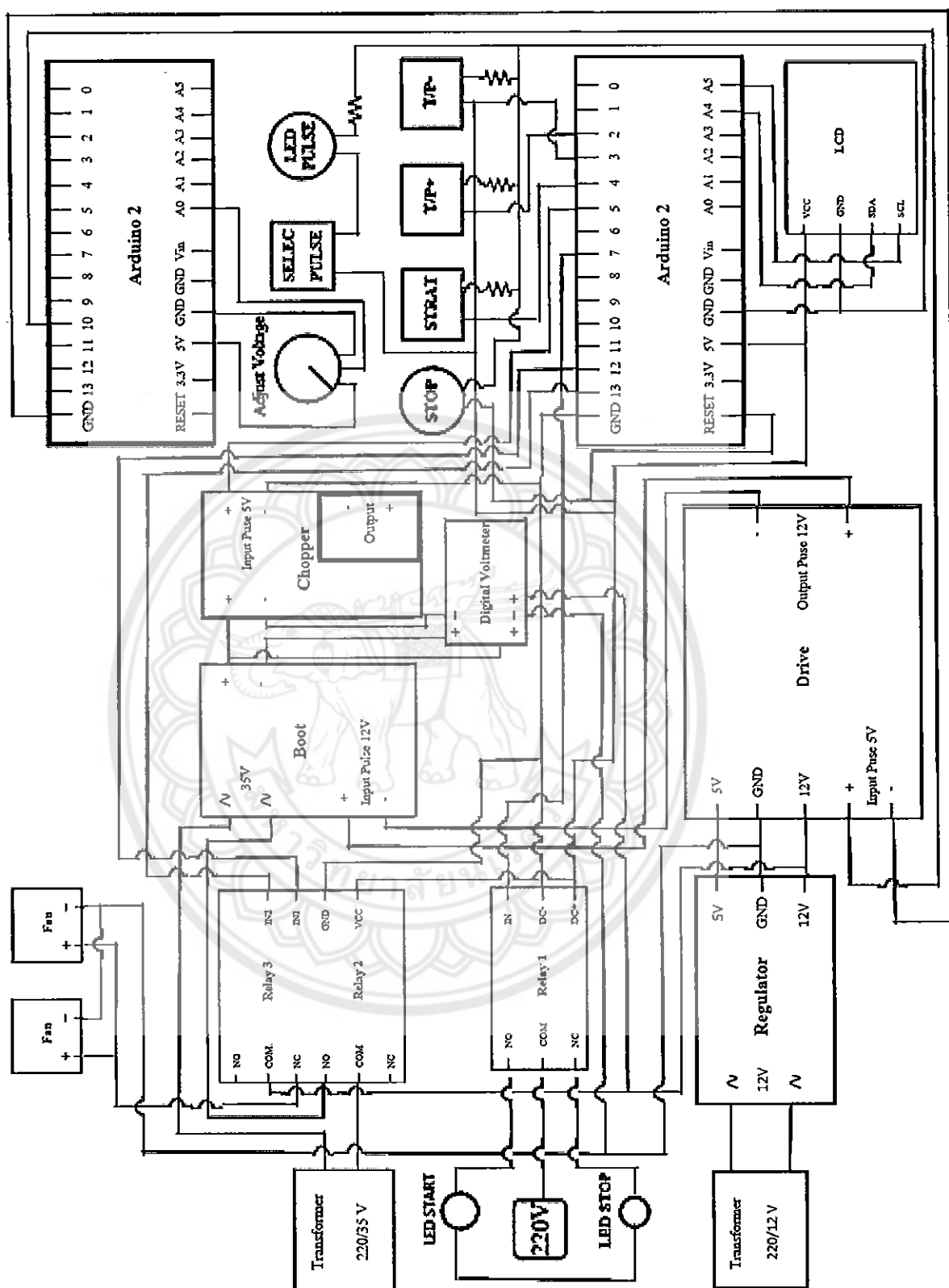


รูปที่ 3.36 ด้านหลังเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่นด้วยกระแสไฟฟ้า

จากวิธีการต่อวงจรหรือขั้นตอนการต่อวงจรกำลังให้สามารถทำงานร่วมกับวงจรควบคุมเพื่อนำมาสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่นด้วยกระแสไฟฟ้า โดยจะมีลักษณะของการต่อวงจรไฟฟ้าภายในเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่นด้วยกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.37 และแผนผังการต่อวงจรดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.37 รูปแบบการต่อวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่นด้วยกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.38 รูปแบบลายเส้นการต่อวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่นด้วยกระแสไฟฟ้า

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพ

จากการสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่นด้วยกระแสไฟฟ้าโดยมีการติดตั้งแผงวงจรให้ทำงานร่วมกัน และติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆเพิ่มเติม จากนั้นจึงทำการทดสอบการทำงานของตัวเครื่องโดยใช้เครื่องมือวัด เช่น ออสซิลโลสโคป โวลต์มิเตอร์ และมัลติมิเตอร์ เพื่อใช้วัดขนาดของแรงดันไฟฟ้าและขนาดของกระแสไฟฟ้าหลังการทำงาน ซึ่งเป็นการทดสอบทางด้านขีดจำกัดการทำงานของเครื่อง และความปลอดภัยของเครื่องต่อการใช้งาน

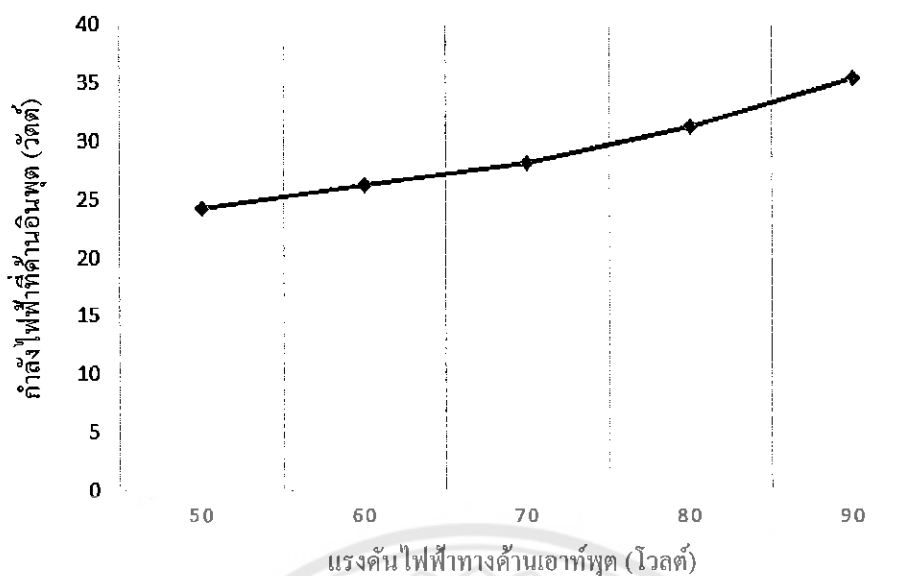
3.4.1 ทดสอบกำลังใช้งานสูงสุดทางด้านอินพุต

ทำการทดสอบหาลำโพงไฟฟ้าที่เครื่องใช้งานสูงสุดที่ ระดับแรงดันเอาต์พุตที่ 50, 60, 70, 80 และ 90 โวลต์ โดยได้ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ด้านอินพุต ทางฝั่งของหม้อแปลง 35 โวลต์ และ 12 โวลต์ ขนาด 1 แอมป์ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงกระแสไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านอินพุต

ขนาดแรงดันเอาต์พุต ไฟฟ้ากระแสตรง (VDC)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า อินพุตกระแสสลับ (VAC)	กระแสไฟฟ้าที่ด้าน อินพุต (A)	กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ ด้านอินพุต (W)
50	220	0.110	24.20
60	220	0.119	26.18
70	220	0.128	28.16
80	220	0.142	31.24
90	220	0.161	35.42

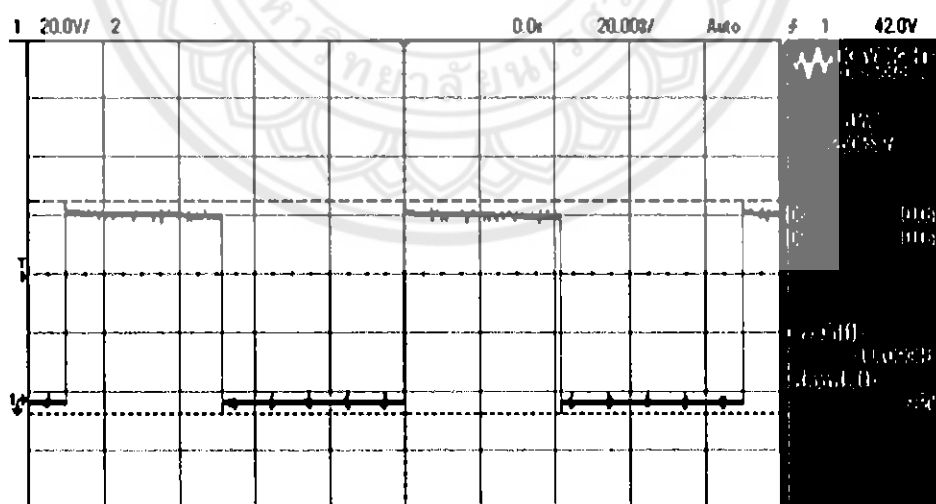
จากตารางที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับแรงดันไฟฟ้า ทางด้านเอาต์พุตของตัวเครื่องให้มีความมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก็จะมีค่ามากขึ้นไปด้วย โดยสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 3.39



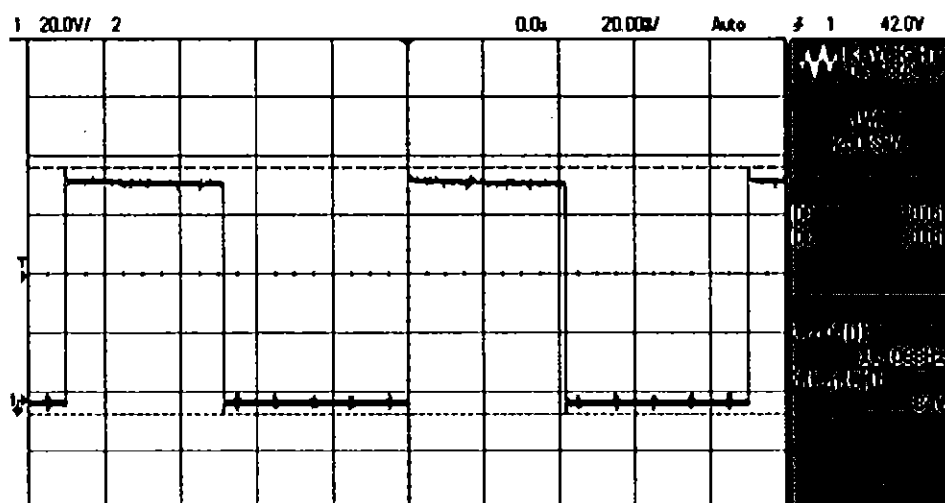
รูปที่ 3.39 แผนภาพกำลังใช้งานสูงสุดทางดำนอินพุท

3.4.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าทางดำนเอาท์พุท

ทำการทดสอบโดยวัดระดับแรงดัน และกระแสไฟฟ้า ทางดำนเอาท์พุทของวงจรชอปเปอร์ โดยใช้เครื่องมือวัด ออสซิลโลสโคป ในการทดสอบที่ระดับแรงดัน 90 โวลต์ ขนาดพัลส์ 40 มิลลิวินาที เป็นระยะเวลา 5 นาที ดังรูป 3.40 และ 3.41 โดยเทียบขนาดแรงดันและขนาดไฟฟ้า กระแสตรงทางดำนเอาท์พุท ดังตารางที่ 3.7



รูปที่ 3.40 สัญญาณแรงดันทางดำนเอาท์พุทของวงจรชอปเปอร์ ที่เวลา 1 นาที (90 โวลต์/40 มิลลิวินาที), (20 V/div, 20 Time/div)

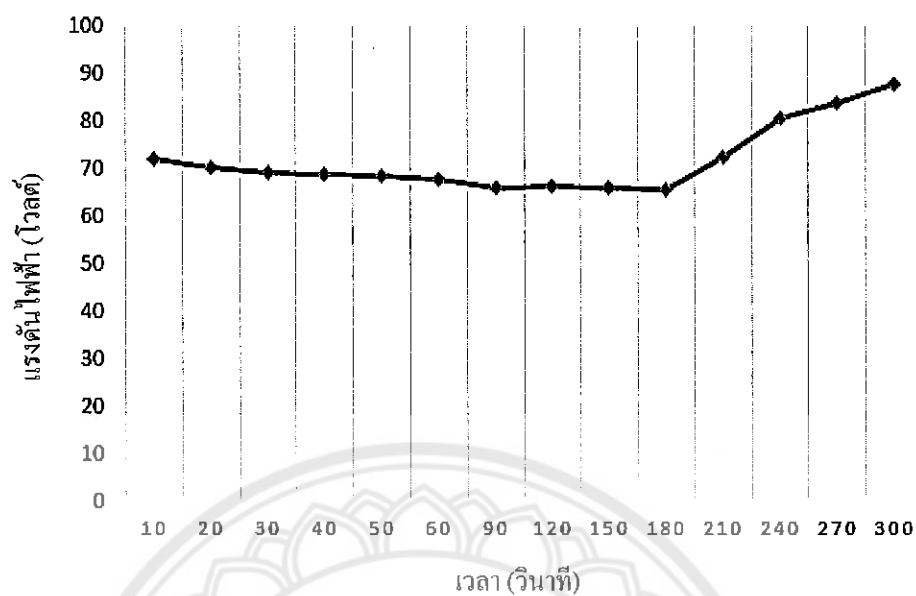


รูปที่ 3.41 สัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรชอปเปอร์ ที่เวลา 5 นาที่
(90 โวลต์/40 มิลลิวินาที), (20 V/div, 20 Time/div)

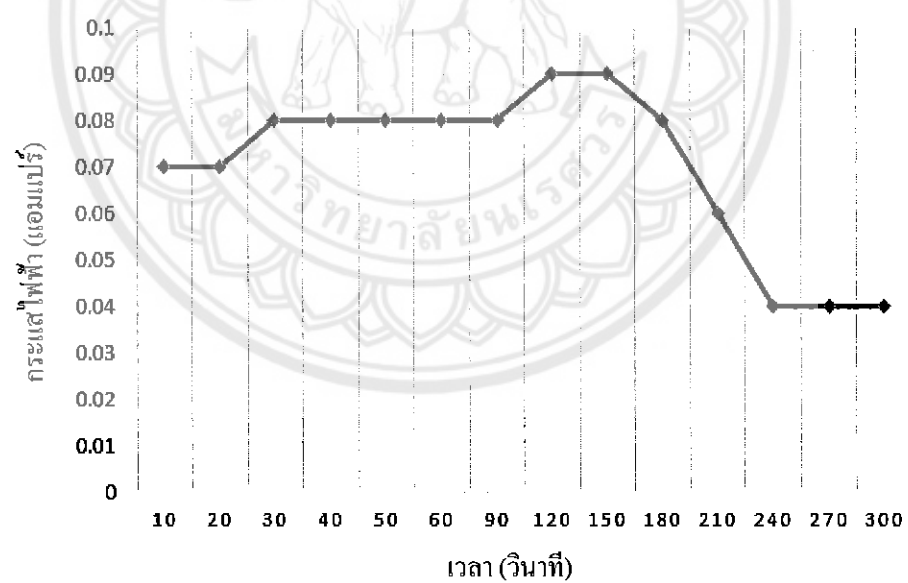
ตารางที่ 3.7 แสดงกระแสไฟฟ้าและขนาดพัลส์ทางด้านเอาต์พุตของวงจรชอปเปอร์

ระยะเวลาในการกระตุ้น (min)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า (VDC)	ขนาดพัลส์ ขณะกระตุ้น (ms)	ขนาดแรงดันไฟฟ้า ทางด้านออก (V)	ขนาดกระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้าที่ ด้านเอาต์พุต (W)
1	90	40	72.00	0.077	5.544
2	90	40	65.95	0.080	5.276
3	90	40	65.50	0.085	5.568
4	90	40	76.30	0.050	3.815
5	90	40	84.00	0.040	3.360

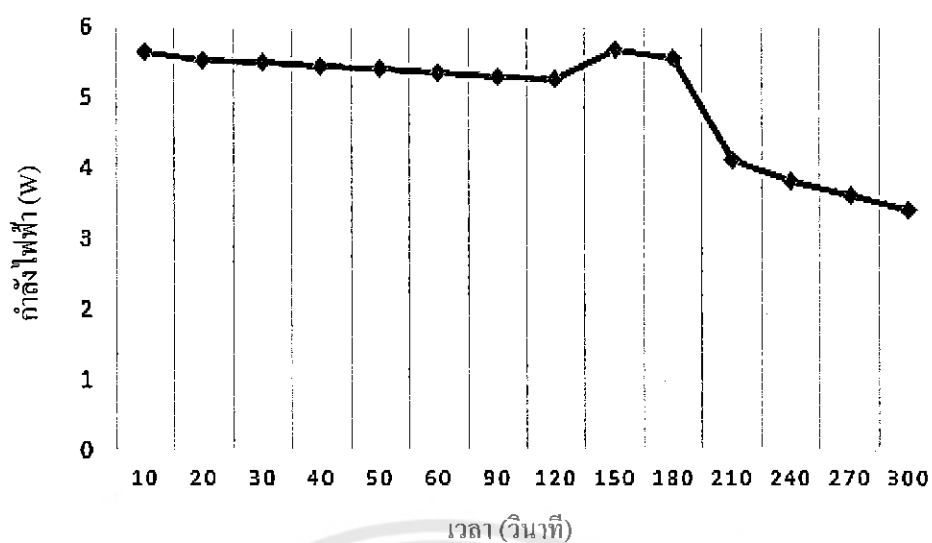
จากการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่เวลา 1-5 นาที่ จะได้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดกระแสไฟฟ้า และขนาดกำลังไฟฟ้าที่ด้านเอาต์พุตที่ไหลผ่านเนื้อ โค จะมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 3.42, 3.43 และ 3.44 ตามลำดับ



รูปที่ 3.42 แผนภาพแรงดันไฟฟ้าที่ 90 โวลต์ 40 มิลลิวินาที 5 นาที

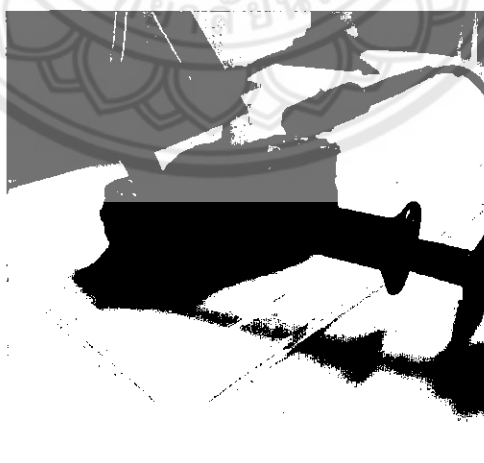


รูปที่ 3.43 แผนภาพกระแสไฟฟ้าที่ 90 โวลต์ 40 มิลลิวินาที 5 นาที



รูปที่ 3.44 แผนภาพกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่ 90 โวลต์ 40 มิลลิวินาที 5 นาที

จากการทดสอบ ด้วยแรงดันที่พิกัด 90 โวลต์ที่ใช้สำหรับกระตุ้นเนื้อโคให้มีความนุ่ม พบว่าในแต่ละช่วงเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น จากรูปที่ 3.43 จะเห็นว่าลักษณะกราฟของกระแสไฟฟ้าค่อยๆมีค่าลดลง จึงส่งผลให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3.42 เนื่องจากเนื้อ โคจะมีน้ำที่เป็นองค์ประกอบภายในเนื้อ ในช่วงแรกๆที่ทำการกระตุ้นเนื้อจะมีน้ำไหลออกมาจากเนื้อดังรูปที่ 3.45 ทำให้เนื้อมีความต้านทานเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้กระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง และเมื่อเวลามากขึ้นน้ำภายในชิ้นเนื้อลดลง ทำให้กำลังสูญเสียค่อยๆลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไปด้วย ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.45 การสูญเสียของเนื้อโคขณะทำการกระตุ้น

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง และการวิเคราะห์ผล รวมถึงการทดสอบคุณสมบัติของตัวเครื่องที่ถูกสร้างขึ้น โดยการทำงานและผลของการกระตุ้นเนื้อนุ่มนั้นยังคงทำงานได้เหมือนเครื่องรุ่นก่อน[1] และได้ทำการทดสอบเนื้อโคจริงในเบื้องต้น โดยจะใช้เนื้อโคส่วนสะโพกบน (bcef brisket) ที่มีขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 1×2×1 ลูกบาศก์นิ้ว ที่สภาวะการกระตุ้นที่แรงดัน 50, 70 และ 90 โวลต์ และความกว้างพัลส์ 10, 20 และ 40 ที่ระยะเวลา 1 และ 5 นาที

โดยทำการทดสอบการทดสอบทางกายภาพ และ การทดสอบทางเคมีของเนื้อ เพื่อทดสอบการทำงานของตัวเครื่องโดยในการทดสอบเนื้อโคด้วยวิธีดังต่อไปนี้

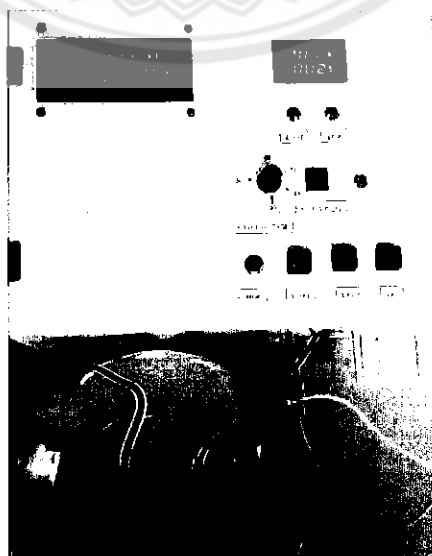
1) การทดลองทางกายภาพ แบ่งออกเป็น

1.1) ทดสอบแรงบด

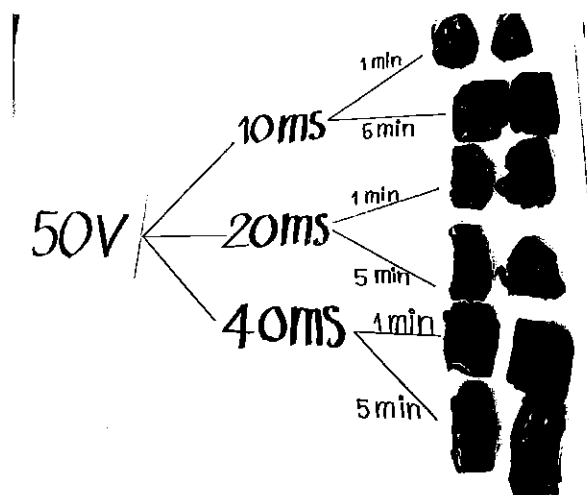
2) การทดลองทางเคมี แบ่งออกเป็น

2.1) ทดสอบอุณหภูมิ

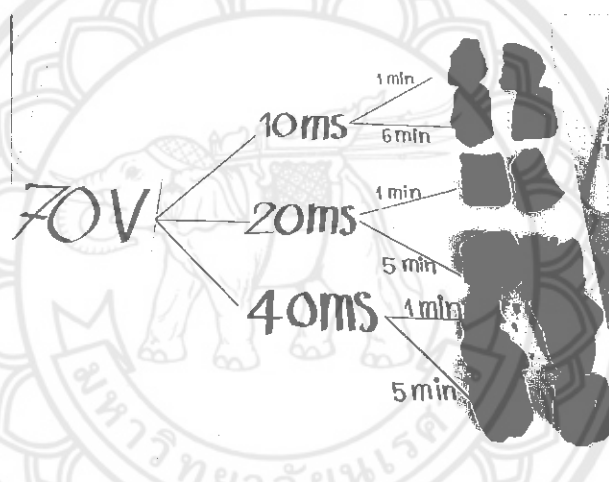
การทดสอบความนุ่มของชิ้นเนื้อโค โดยจะกระตุ้นเนื้อโคหลังถูกฆ่าและทันที เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเนื้อโค โดยจะกระตุ้นเนื้อโคด้วยพิกัดแรงดันไฟฟ้า 50, 70 และ 90 โวลต์ ที่ช่วงเวลา 1 และ 5 นาที ขนาดพัลส์ 10, 20 และ 40 มิลลิวินาที ดังรูปที่ 4.1 และ ลักษณะของเนื้อหลังถูกกระตุ้น ดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



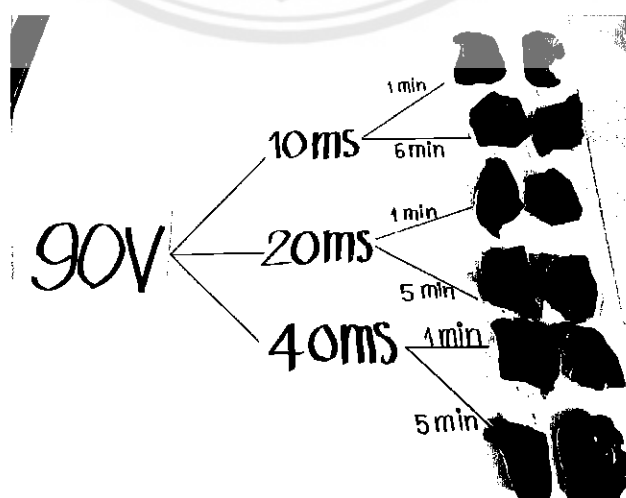
รูปที่ 4.1 การกระตุ้นเนื้อโคด้วยเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 ลักษณะภายนอกของเนื้อโคหลังถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 50 โวลต์



รูปที่ 4.3 ลักษณะภายนอกของเนื้อโคหลังถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 70 โวลต์



รูปที่ 4.4 ลักษณะภายนอกของเนื้อโคหลังถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 90 โวลต์

จากรูปที่ 4.4 เมื่อกระตุ้นเนื้อโคด้วยพิกัดแรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ พบว่าลักษณะภายนอกของเนื้อโคที่ถูกกระตุ้นมีรอยดำอย่างเห็นได้ชัด เมื่อใช้ระยะเวลาในการกระตุ้น 5 นาที สาเหตุมาจากการถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูงนานเกินไป ส่วนที่พิกัดแรงดัน 50 โวลต์ ดังรูปที่ 4.2 ทำให้เนื้อโคมีรอยดำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และที่พิกัดแรงดันที่ 70 โวลต์นั้นสังเกตเห็นว่าที่การกระตุ้น 5 นาทีจะเห็นรอยดำได้ชัดเจนกว่าระยะการกระตุ้น 1 นาที เนื่องจากเวลาของการกระตุ้นนานเกินไป ดังนั้นจึงทำการทดสอบกระตุ้นเนื้อโค ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 50, 70 และ 90 โวลต์

โดยการทดสอบจะกระตุ้นเนื้อโคส่วนสะโพกบน ขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 1×2×1 ลูกบาศก์ นิ้ว จำนวน 2 ชิ้นต่อหนึ่งสภาวะ เช่น สภาวะแรงดัน 50 โวลต์ ขนาดพัลส์ 10 มิลลิวินาที เวลา 1 นาที และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

4.1 การทดลองทางกายภาพ

การทดลองทางกายภาพเป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ของเนื้อโคหลังถูกกระตุ้น โดยใช้เครื่องมือทดสอบเนื้อสัมผัส (เครื่อง Texture Analyser ยี่ห้อ Brookfield) ดังรูปที่ 4.5 ในการวัดแรงกดของเนื้อโค



รูปที่ 4.5 เครื่องมือทดสอบเนื้อสัมผัส (เครื่อง Texture Analyser ยี่ห้อ Brookfield)

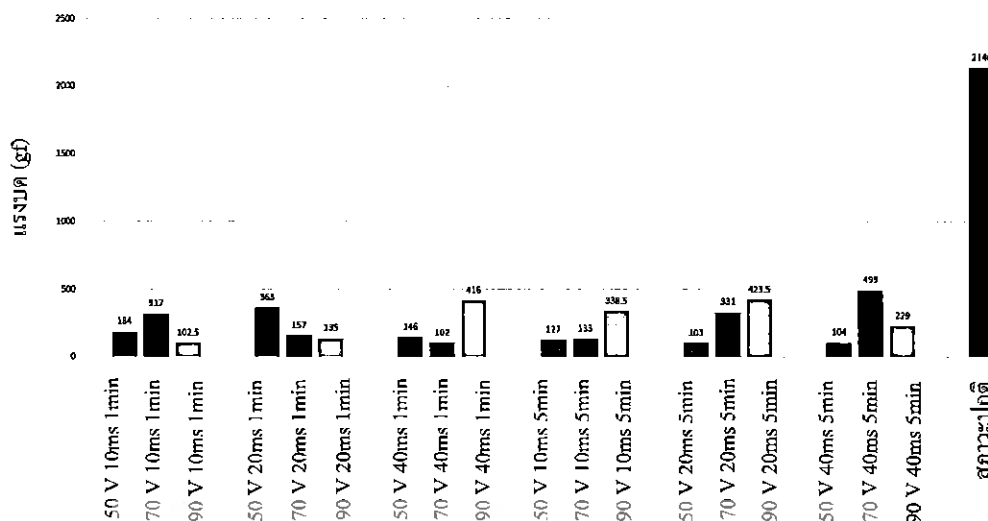
เนื้อสัมผัส (texture) หมายถึง ลักษณะที่ผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ด้วยการสัมผัส ซึ่งผู้บริโภคสามารถรับรู้เนื้อสัมผัสของอาหารได้ด้วยการสัมผัสด้วยมือ โดยการจับ แตะ หรือบีบ การสัมผัสด้วยฟัน ลิ้น และอาจรับรู้ด้วยการเคี้ยว โดยสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อโค มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของเนื้อโคโดยตรง และเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้บริโภคใช้เนื้อสัมผัสเป็นเกณฑ์หลักเพื่อพิจารณา ตัดสินการยอมรับ และมีผลอย่างยิ่งกับระดับความชอบ โดยมีการทดสอบดังนี้

4.1.1 ทดสอบแรงบด

การทดสอบแรงบด (Chewiness) เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อโค โดยใช้เครื่องมือวัด (เครื่อง texture analysis) โดยใช้หัวกดทดสอบแบบทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดของชิ้นเนื้อโค และมีหน่วยในการวัดเป็นกรัมฟอส (gf) เป็นการจำลองเสมือนการใช้ฟันบดเคี้ยวเนื้อโค โดยค่าแรงบดแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบค่าแรงบดของชิ้นเนื้อโค

แรงดันไฟฟ้า(VDC)	พัลส์ (ms)	เวลา (min)	แรงบด (gf)
50	10	1	184.0
		5	127.0
	20	1	363.0
		5	103.0
	40	1	146.0
		5	104.0
70	10	1	317.0
		5	133.0
	20	1	157.0
		5	331.0
	40	1	102.0
		5	493.0
90	10	1	102.5
		5	338.5
	20	1	135.0
		5	423.5
	40	1	416.0
		5	229.0
สถานะปกติ	-	-	2140



รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการทดสอบแรงบดของชิ้นเนื้อโค

จากรูปที่ 4.6 ในการทดสอบแรงบดของเนื้อโคพบว่า เมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่ามากขึ้น จะทำให้ค่าแรงบดมีค่าน้อยลง เช่นที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 50, 70 และ 90 โวลต์ ที่เวลา 1 นาที ขนาดความกว้างพัลส์ 10 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่าที่สถานะแรงดัน 90 โวลต์มีค่าแรงบดน้อยที่สุด แต่ถ้าเพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้นเนื้อโค ก็จะทำให้ค่าแรงบดที่แรงดัน 90 โวลต์มีค่ามากขึ้น เนื่องจากความร้อนระหว่างการกระตุ้นส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณหัวโพรบสูงขึ้น ทำให้เนื้อบริเวณรอบเริ่มสุก การวัดค่าของเครื่องมือวัดจึงมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

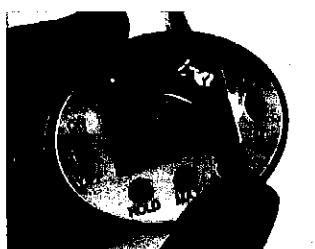
และจากรูปที่ 4.6 พบว่าแรงดัน 70 โวลต์ ขนาดความกว้างพัลส์ 40 มิลลิวินาที เวลา 1 นาที มีค่าแรงบดน้อยที่สุด ซึ่งหมายถึงเนื้อโคมีความนุ่มมากกว่าสถานะอื่น ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนำชิ้นเนื้อโคในแต่ละสถานะมาเปรียบเทียบกัน พบว่าเนื้อโคหลังถูกกระตุ้นมีความนุ่มขึ้นกว่าเนื้อที่สถานะปกติ

4.2 การทดลองทางเคมี

การทดลองทางเคมีเป็นการทดสอบสภาพของชิ้นเนื้อโค โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer) เพื่อหาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นเนื้อโคหลังถูกกระตุ้น

4.2.1 ทดสอบอุณหภูมิ

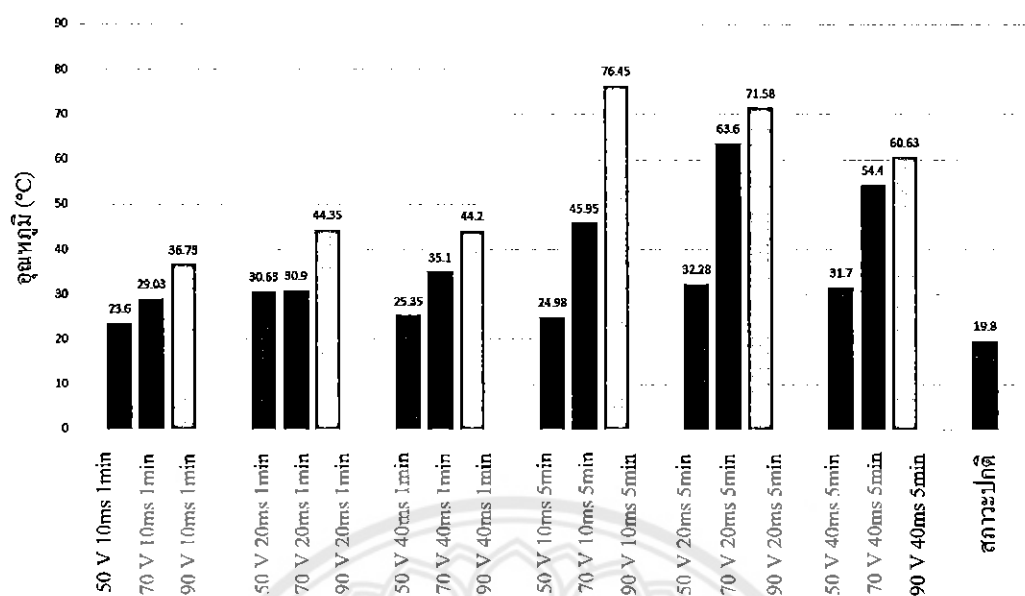
การทดสอบอุณหภูมิของชิ้นเนื้อโค จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของเนื้อบริเวณที่ถูกกระตุ้นได้อย่างชัดเจน โดยการใช้เทอร์โมมิเตอร์วัด โดยจะทำการวัดชิ้นเนื้อโคบริเวณที่เนื้อโคถูกกระตุ้นทั้ง 2 จุด เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยจะทำการวัดค่าทันทีหลังเนื้อโคถูกกระตุ้น ดังรูปที่ 4.7 ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.7 การใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของเนื้อโค

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอุณหภูมิของชิ้นเนื้อโคหลังถูกกระตุ้น

แรงดันไฟฟ้า(VDC)	พัลส์ (ms)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)
50	10	1	23.60
		5	24.98
	20	1	30.63
		5	32.28
	40	1	25.35
		5	31.70
70	10	1	29.03
		5	45.95
	20	1	30.90
		5	63.60
	40	1	35.10
		5	54.40
90	10	1	36.73
		5	76.45
	20	1	44.35
		5	71.58
	40	1	44.20
		5	60.63
สภาวะปกติ	-	-	19.80



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงการทดสอบอุณหภูมิของชิ้นเนื้อโคหลังถูกกระตุ้น

จากรูปที่ 4.8 ในการทดลองอุณหภูมิพบว่า ชิ้นเนื้อโคที่สภาวะแรงดัน 90 โวลต์ เวลา 5 นาที ขนาดพัลส์ 10 มิลลิวินาที มีค่าอุณหภูมิเท่ากับ 76.45 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ เนื้อที่สภาวะปกติ มีค่าอยู่ที่ 19.80 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อโคมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าสภาวะปกติ ดังนั้น จากการทดลองสรุปได้ว่า ขนาดแรงดัน เวลา และ ขนาดของพัลส์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อโคเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปจากเดิม ซึ่งมีผลค่อนข้างมากกับการทดสอบในเรื่องของแรงบด

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการ สามารถสรุปผล และชี้แจงปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน รวมทั้งข้อเสนอแนะและแนวทางการแก้ปัญหาต่างๆ และให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไปดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในโครงการนี้ได้ทำการสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าให้มีขนาดตัวเครื่องเล็กลง เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำให้ชิ้นเนื้อโคให้มีความนุ่มขึ้น ให้สามารถใช้งานภายในครัวเรือนได้ และเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวกมากขึ้น โดยจะใช้แรงดันพัลส์กระแสตรงเพื่อไปกระตุ้นเนื้อที่เกิดการเกร็งหลังถูกฆ่า ภายในตัวเครื่องจะมีปุ่มหมุนปรับระดับแรงดัน ปุ่มกดเลือกพัลส์ เลือกเวลาการทำงาน และจอแอลซีดีแสดงผลอยู่ด้านบน ซึ่งในการกระตุ้นนั้น จะมีเหล็กปลายแหลมเพื่อเสียบเข้าไปในเนื้อโค ซึ่งง่าย และสะดวกต่อการใช้งาน

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้เนื้อโคขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 1×2×1 ลูกบาศก์นิ้ว ซึ่งเครื่องกระตุ้นสามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 50-90 โวลต์ ปรับตั้งเวลาการทำงานได้ 1-5 นาที และสามารถปรับขนาดความกว้างของพัลส์ได้ 10, 20, 30 และ 40 มิลลิวินาที เมื่อนำชิ้นเนื้อโคมากระตุ้นพบว่า เมื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้า หรือเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นชิ้นเนื้อโคให้เพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นเนื้อโค เช่น มีความนุ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นเนื้อที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นหรือชิ้นเนื้อโคที่สภาวะปกติ ส่วนคุณภาพของชิ้นเนื้อโค ในด้านลักษณะของสีเนื้อโค เปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะปกติไม่มากนัก เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นเป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำ และคุณภาพของเนื้อในด้านการอุ้มน้ำภายในชิ้นเนื้อโค เมื่อนำชิ้นเนื้อโคดิบมาทำให้สุก โดยการนำมาต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นเนื้อโคสุกมีขนาดน้ำหนักมากกว่าเนื้อดิบ เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำจากการนำมาประกอบอาหาร โดยผลทดสอบดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องกระตุ้นเนื้อโคนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าสามารถทำให้เนื้อโคนุ่มขึ้น สามารถใช้งานในครัวเรือนได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

1) ในขณะที่ใช้ชุดอุปกรณ์กำลังเป็นเวลาประมาณ 60 นาที(ณ อุณหภูมิ 25 °C) หม้อแปลงไฟฟ้าจะเกิดความร้อน ซึ่งการแก้ปัญหาในกรณีนี้ คือ การพักการทำงานของเครื่องเป็นเวลา 5 นาที เพื่อรอให้หม้อแปลงเย็นลงและอุปกรณ์ส่วนของวงจรส่วนกำลังต่างๆเย็นลง

2) โครงสร้างของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้ามีลักษณะปิด และพัดลมระบายอากาศ 2 ตัวมีการทำงานแบบดูดลมออก ทำให้พัดลมไม่สามารถทำงานได้เต็มที่ ดังนั้นจึงแก้ไขโดยการเจาะรูระบายอากาศเพิ่มขึ้นที่ด้านข้างของตัวเครื่อง

3) เนื่องจากตัวเครื่องหากทำเป็นแบบปิด เมื่อเครื่องมีปัญหาจะทำให้การซ่อมแซมทำได้ยาก ดังนั้นวิธีแก้ไขปัญหาคือ ทำโครงสร้างเครื่องที่สามารถเปิดออกได้ เพื่อง่ายต่อการซ่อมแซม

4) สายโพรบที่ใช้ในการกระตุ้นเนื้อโคนุ่ม เมื่อใช้ไปเป็นเวลานาน อาจเกิดการกัดกร่อนหรือมีสิ่งสกปรกต่างๆ ดังนั้นจึงออกแบบแก้ไขให้ ส่วนของสายโพรบสามารถถอดแยกออกมาเพื่อล้างทำความสะอาดได้

5) ในระหว่างการใช้งาน การตั้งแรงดันเป็นแบบอนาล็อก จึงทำให้เราไม่ทราบแน่ชัดว่า ณ ขณะที่เครื่องทำงานนั้น มีขนาดของแรงดันมากน้อยเท่าใด จึงได้แก้ไขเป็นใช้มัลติมิเตอร์แบบตัวเลขดิจิตอล วัดแรงดัน และกระแสขาออกในส่วนของวงจรทระดับแรงดัน เพื่อให้รู้แน่ชัดว่า ณ ขณะที่เครื่องทำงานในย่านกระแส และแรงดันขนาดเท่าใด

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

- 1) ออกแบบให้ตัวเครื่องสามารถใช้งานกับเนื้อที่ขนาดใหญ่ขึ้นได้
- 2) เพิ่มการทดสอบการกระตุ้นเนื้อ ในทุกระดับแรงดัน
- 3) ปรับเปลี่ยนลักษณะโพรบที่ใช้กระตุ้น ให้มีหลายลักษณะมากขึ้น
- 4) สามารถการใช้ระบบดิจิตอลควบคุม การเพิ่มหรือลดระดับแรงดัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] นกรินทร์ สีลา, พรเทพ ปิ่นปัก และอนุชา ไพบูลย์. “เครื่องกระตุ้นเนื้อโคหนุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า”. ปรินญาณพนธ์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2558.
- [2] Arduino Uno Board. “**Arduino UNO&Genuino UNO**”, สืบค้นเมื่อสิงหาคม 2559 จาก <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.
- [3] บำานอิเล็กทรอนิกส์, “**อุปกรณ์ ตอน รีเลย์**”, สืบค้นเมื่อกันยายน 2559 จาก http://www.semi-shop.com/knowledge/knowledge_detail.php?sk_id=28.
- [4] ThaiEasyElec, “**การใช้งาน Character LCD Display กับ Arduino**”, สืบค้นเมื่อกันยายน 2559 จาก <http://thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/การใช้งาน-character-lcd-display-กับ-arduino-ตอนที่1-รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ-parallel.html>.
- [5] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนานนท์, “**การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า**”, สืบค้นเมื่อตุลาคม 2559 จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3132/การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์หลังการฆ่า>.
- [6] คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, “**คุณภาพของเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูป**”, สืบค้นเมื่อธันวาคม 2559 จาก http://elearning.nsr.ac.th/web_elearning/meattech/lesson/less8_4.html.
- [7] ชัยณรงค์ คันทพิณิต, วรรณวิมล ศาสนรักกิจ, สมศักดิ์ เลิศสิทธิชัย และพิชัย เถินนิต. 2529. “**เครื่องกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงความเหนียวและคุณภาพเนื้อโคอายุมาก**”, การประชุมทางวิชาการสาขาสัตว ครั้งที่ 24 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [8] รศ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน และดร.วุฒิพล ธาราธิ์เศรษฐ์. “**อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**”, พิมพ์ครั้งที่ 14. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินตติ้ง, 2557.



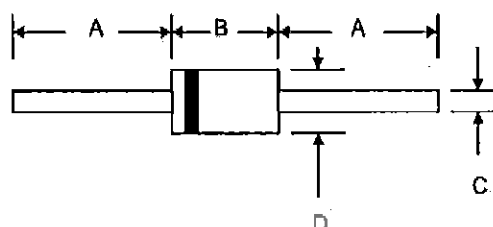


1N4001 – 1N4007

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

DO-41		
Dim	Min	Max
A	25.4	—
B	4.06	5.21
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	V _{RRM}								
Working Peak Reverse Voltage	V _{RWM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
DC Blocking Voltage	V _R								
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1)	I _O	1.0							A
@T _A = 75°C									
Non-Repelitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}	30							A
Forward Voltage	V _{FM}	1.0							V
@I _F = 1.0A									
Peak Reverse Current	I _{RM}	5.0							µA
At Rated DC Blocking Voltage		50							
@T _A = 100°C									
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.

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

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

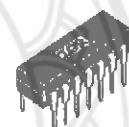
Features

- 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.

Packages



14-Lead PDIP
IR2110/IR2113

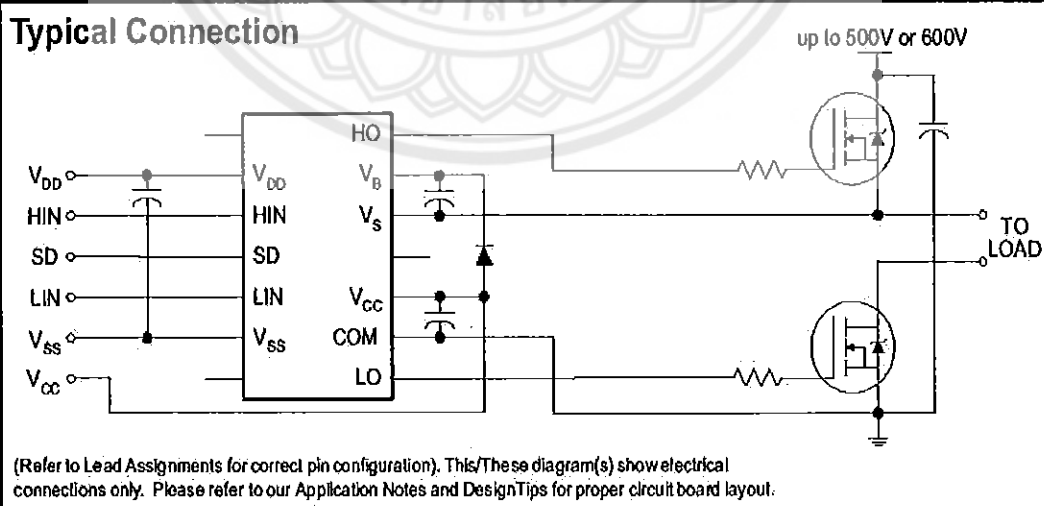


16-Lead SOIC
IR2110S/IR2113S

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.

Typical Connection



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)	$V_{SS} - 0.3$	$V_{DD} + 0.3$	Vms
dV_S/dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	
P_D	Package power dissipation @ $T_A \leq +25^\circ\text{C}$ (14 lead DIP)	—	1.6	W
	(16 lead SOIC)	—	1.25	
R_{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient (14 lead DIP)	—	75	$^\circ\text{C/W}$
	(16 lead SOIC)	—	100	
T_J	Junction temperature	—	150	$^\circ\text{C}$
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}	$^\circ\text{C}$
T_A	Ambient temperature	-40	125	

Note 1: Logic operational for V_S of -4V to +500V. Logic state held for V_S of -4V to $-V_{BS}$. (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

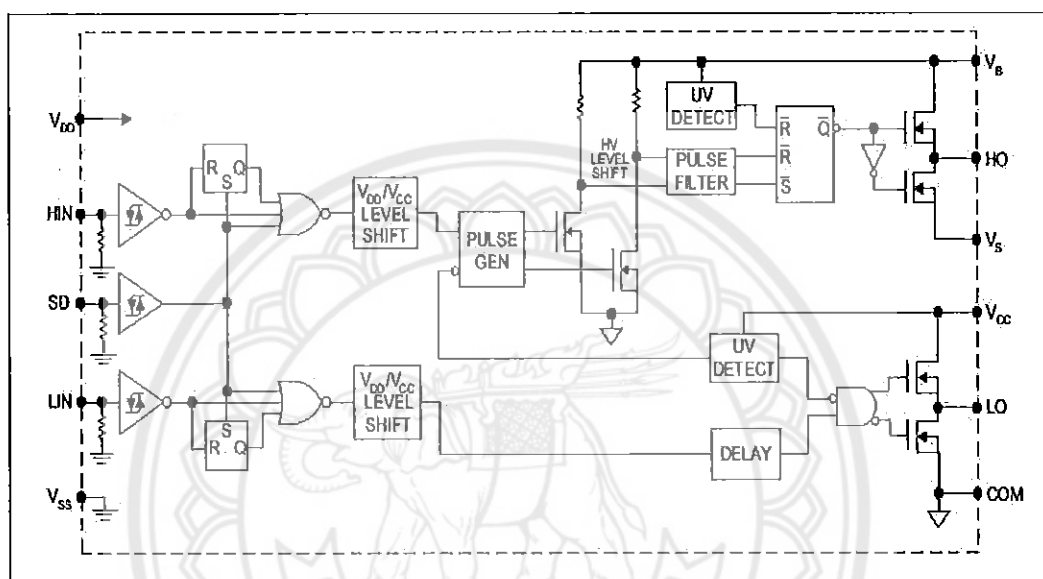
V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable 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	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

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

International
IR Rectifier

Functional Block Diagram



Lead Definitions

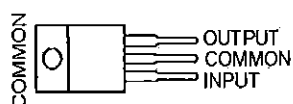
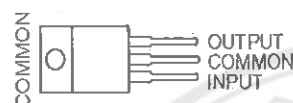
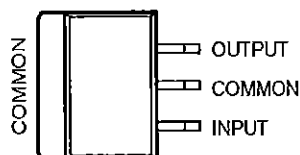
Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
V _B	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V _S	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

μ A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – 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

KC (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)KCS (TO-220) PACKAGE
(TOP VIEW)KTE PACKAGE
(TOP VIEW)

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	μ A7805CKTER	μ A7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7805CKC	μ A7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μ A7805CKCS	μ A7805C
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7808CKTER	μ A7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7808CKC	μ A7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μ A7808CKCS	μ A7808C
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7810CKTER	μ A7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7810CKC	μ A7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7812CKTER	μ A7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7812CKC	μ A7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μ A7812CKCS	μ A7812C
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7815CKTER	μ A7815C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7815CKC	μ A7815C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μ A7815CKCS	μ A7815C
	24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7824CKTER	μ A7824C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7824CKC	μ A7824C

† 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.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

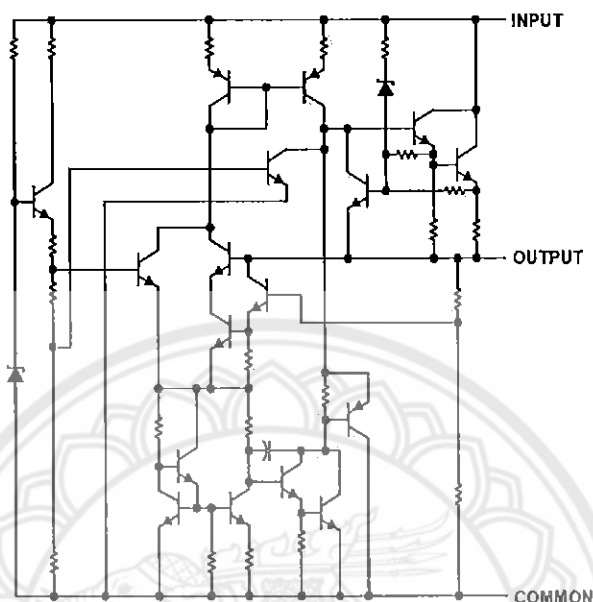
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

μA7800 SERIES **POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS**

SLVS056J – MAY 1976 – 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.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – 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, $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_J^\dagger$	μA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 7\text{ V to }20\text{ V}$	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		3	100	mV
	$V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$			1	50	
Ripple rejection	$V_I = 8\text{ V to }18\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		15	100	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			5	50	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.017		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1.1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		40		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.2	8	mA
Bias current change	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C			1.3	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				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.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75285

μA7800 SERIES **POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS**

SLVS058J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7808C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 10.5\text{ V to }23\text{ V}$	25°C	7.7	8	8.3	V
		0°C to 125°C	7.6		8.4	
Input voltage regulation	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		6	160	mV
	$V_I = 11\text{ V to }17\text{ V}$			2	80	
Ripple rejection	$V_I = 11.5\text{ V to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	72		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	160	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	80	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.016		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		–0.8		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		52		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		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-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7810C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 12.5\text{ V to }25\text{ V}$	25°C	9.6	10	10.4	V
		0°C to 125°C	9.5	10	10.5	
Input voltage regulation	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	25°C		7	200	mV
	$V_I = 14\text{ V to }20\text{ V}$			2	100	
Ripple rejection	$V_I = 13\text{ V to }23\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	200	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	100	
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		70		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		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-μF capacitor across the input and a 0.1-μF 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	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 14.5\text{ V to }27\text{ V}$	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	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	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 855303 • DALLAS, TEXAS 75285

μA7800 SERIES **POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS**

SILV5056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7824C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	25°C	23	24	25	V
		0°C to 125°C	22.8		25.2	
Input voltage regulation	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	25°C		18	480	mV
	$V_I = 30\text{ V to }36\text{ V}$			6	240	
Ripple rejection	$V_I = 28\text{ V to }38\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	50	66		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	480	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	240	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.028		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1.5		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		170		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.6	8	mA
Bias current change	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		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-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.



TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265



TIGER ELECTRONIC CO.,LTD

Product specification

3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

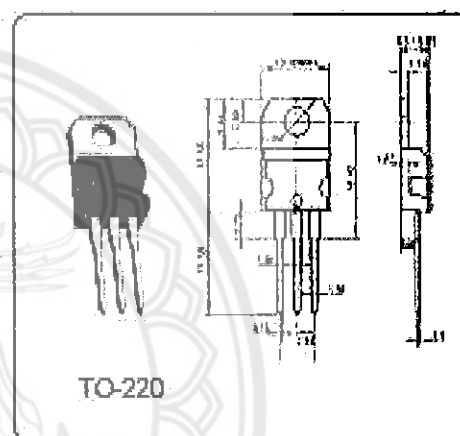
LM7812

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_{OS}	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, $I_o = 500\text{mA}$, $V_i = 15\text{V}$, $C_i = 0.33\mu\text{F}$, $C_o = 0.1\mu\text{F}$ 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 (Note1)	Regline	$V_i = 14.5\text{V to } 30\text{V}$		10	240	mV
		$V_i = 15\text{V to } 22\text{V}$		3.0	120	
Load Regulation (Note1)	Regload	$I_o = 5.0\text{mA to } 1.5\text{A}$		11	240	mV
		$I_o = 250\text{mA to } 750\text{mA}$		5	120	
Quiescent Current	I_Q	$T_A = +25^\circ\text{C}$		5.1	8	mA
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_o = 15\text{V to } 30\text{V}$	55	73		dB
Dropout Voltage	V_{drop}	$I_o = 1\text{A}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$		2		V
Output Resistance	r_o	$f = 1\text{KHz}$		0.018		Ω
Short Circuit Current	I_{sc}	$V_i = 35\text{V}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$		230		mA
Peak Current	I_{PK}	$T_A = +25^\circ\text{C}$		2.2		A

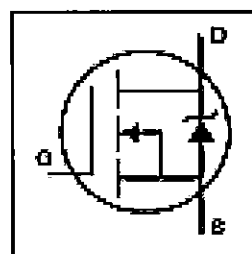
International IR Rectifier

FD - 94004B

IRFP260N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dV/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$$V_{DS(s)} = 200V$$

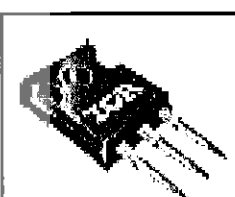
$$R_{DS(on)} = 0.04\Omega$$

$$I_D = 50A$$

Description

8th Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-247 package is preferred for commercial/Industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-219 package because of its isolated mounting hole.



TO-247AC

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	50	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	35	
I_{DS}	Pulsed Drain Current Δt	200	
$P_{D @ T_C = 25^\circ C}$	Power Dissipation	300	W
	Linear Derating Factor	2.0	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy Δt	580	mJ
I_{AS}	Avalanche Current Δt	50	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy Δt	50	mJ
$t_{d(on)}$	Finite Gate Recovery Δt	10	µs
T_J	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175	°C
T_{sno}	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm lead only)	
	Mounting Torque, 8-32 or M5 size	10 in/lb (1.1 Nm)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
R_{JC}	Junction-to-Case	—	0.50	°C/W
R_{JA}	Case-to-Air, Flat, Gridded Surface	0.24	—	
R_{JA}	Junction-to-Ambient	—	40	

www.irf.com

 1
1008504

IRFP260N

International
IGR Rectifier

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	200	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.25	—	V/°C	Reference to 25°C , $I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.04	Ω	$V_{DS} = 10V, I_D = 28A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_m	Forward Transconductance	27	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 28A$ ②
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 200V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 160V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	234	nC	$I_D = 28A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	38		$V_{DS} = 160V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		$V_{GS} = 10V$ ③
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	17	—	ns	$V_{DD} = 100V$
t_r	Rise Time	—	60	—		$I_D = 28A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	55	—		$R_G = 1.8\Omega$
t_f	Fall Time	—	48	—		$V_{GS} = 10V$ ③
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	4057	—	pF	$V_{DS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	603	—		$V_{DS} = 25V$
C_{rfs}	Reverse Transfer Capacitance	—	161	—		$f = 1.0MHz$

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	50	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	200		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 28A, V_{GS} = 0V$ ②
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	268	402	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 28A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	1.9	2.6	μC	$dI/dt = 100A/\mu s$ ③
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S & L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature.

② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 1.5mH$
 $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = 28A$

③ $I_{SD} \leq 28A$, $dI/dt \leq 486A/\mu s$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DS}$,
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$

④ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายพรชัย พันธุ์มุง
 ภูมิลำเนา 72/5 หมู่ 3 ต.ฝ่ายหลวง อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุตรดิตถ์
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: pornchaip56@email.nu.ac.th



ชื่อ นายธนกฤต สังทานินทร์
 ภูมิลำเนา 16 หมู่ 4 ต.คลองยาง อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวรรคค่อนันต์วิทยา
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: tanakits56@email.nu.ac.th