

การพัฒนาตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง
DEVELOPMENT OF A HIGH-VOLTAGE FLYBACK CONVERTER



นายรัชชัย คำกสม รหัส 49362758

นายชาญชนะ จัดดี รหัส 49364004

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 19 มิ.ย. 2555
เลขทะเบียน..... 15753570
เลขเรียกหนังสือ..... ๗5.
มหาวิทยาลัยมหาดไทย ๕3947

2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2552

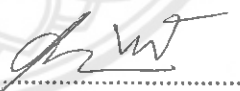


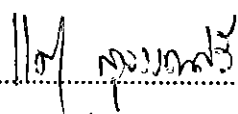
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การพัฒนาตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง
ผู้ดำเนินโครงการ นายรัชชัย คำกลม รหัส 49362758
 นายชาญนะ จัคดี รหัส 49364004
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


..... ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)


..... กรรมการ
(ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)


..... กรรมการ
(ดร. แกทริยา สุวรรณศรี)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การพัฒนาตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง
ผู้ดำเนินโครงการ	นายธวัชชัย คำกลม รหัส 49362758 นายชาณุชนะ จัคดี รหัส 49364004
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงการเกี่ยวกับการพัฒนาตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง โดยอาศัยหลักการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิงที่ใช้ตัวแปลงผันฟลายแบ็ก ในปัจจุบันนิยมใช้ตัวแปลงผันชนิดนี้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวงจรที่สร้างได้ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำ โดยวงจรที่สร้างขึ้นในโครงการนี้รับไฟด้านเข้าเป็นไฟกระแสสลับ 220 V 50 Hz เพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟกระแสตรงป้อนให้กับหม้อแปลงฟลายแบ็ก ซึ่งทำงานที่ค่าความถี่สวิตซิง 20 kHz เพื่อสร้างแรงดันไฟกระแสตรงที่มีค่าสูงถึง 6.2 kV ที่ 59 VA โดยการสวิตซิงจะถูกควบคุมและกำหนดความถี่ด้วยสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่สร้างจากไอซีหมายเลข NE555 นอกจากนี้ในโครงการยังได้นำตัวแปลงผันที่สร้างขึ้นไปทดลองจ่ายไฟให้กับลิฟเตอร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแรงดันจากตัวแปลงผันสามารถทำให้ลิฟเตอร์แบบสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นลอยได้

Project title Developmant of a High-Voltage Flyback Converter
Name Mr. Thawatchai Khamklom ID. 49362758
 Mr. Chanchana Juddee ID. 49364004
Project advisor Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.
Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2009

.....

Abstract

This thesis presents a project that deals with development of a high-voltage flyback converter in which the operating principles of switching power supply based on a flyback converter are used. Nowadays, this type of converter is widely used due to its simplicity of construction and low cost. The circuit developed in this project accepted ac input voltage of 220 V, 50 Hz, which was then converted into dc voltage. By means of a flyback transformer working at 20-kHz switching frequency a 6.2-kV dc voltage at 59 VA was generated. The switching action and frequency were dictated by a PWM signal generated by an NE555 chip. In addition, the developed converter was tested with a triangle lifter. With the voltage generated by the converter, the experimental result showed that the lifter floated.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา หน่วยงาน ที่กรุณาชี้แนะให้คำแนะนำในการดำเนินโครงการ และการเขียนปริญญา นิพนธ์ รวมทั้ง ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย และ ดร. แศรียา สุวรรณศรี ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญาานิพนธ์ด้วยการเอาใจใส่จนทำให้ปริญญาานิพนธ์สำเร็จลุล่วง ได้อย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนิน โครงการ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร ที่ เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าที่ให้คำแนะนำใน การใช้เครื่องมือ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยเป็นกำลังใจให้ความรักความอบอุ่นอันหา ที่สุดไม่ได้และให้การสนับสนุนอย่างไม่มีเงื่อนไขตลอดมา

นายรัชชัย คำกลม

นายชาญชนะ จัคดี

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
1.6 งบประมาณ	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การทำงานของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิง	4
2.2 วงจรส่วนด้านเข้าของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิง	5
2.2.1 ตัวเรียงกระแส	6
2.2.2 ไดโอดเรียงกระแส	10
2.3 ตัวแปลงผันฟลายแบ็ก	12
2.3.1 พื้นฐานการทำงานของตัวแปลงผันฟลายแบ็ก	12
2.3.2 ลักษณะกระแสและแรงดันภายในวงจร	14
2.4 การจับมอสเฟต	16
2.5 วงจรกำเนิดสัญญาณไอซี หมายเลข NE555	17
2.5.1 ไอซีหมายเลข NE555 (NE555 timer IC)	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2	วงจรอะสคเบิลล์ลิตไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี หมายเลข NE555.....	18
2.6	การวัดแรงดันสูงโดยตัวแบ่งแรงดัน	21
2.6.1	ตัวแบ่งแรงดันแบบความต้านทาน	22
2.7	ลิฟเตอร์ (Lifter).....	23
2.7.1	ลิฟเตอร์	23
2.7.2	สนามไฟฟ้า	23
2.7.3	อนุภาคประจุในก๊าซ	25
2.7.4	การเกิดไอออนและการปล่อยอิเล็กตรอน	25
2.7.5	หลักการทํางานของลิฟเตอร์	27
2.7.6	แรงที่เกิดจากลิฟเตอร์	29
บทที่ 3	การสร้างตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงและการออกแบบลิฟเตอร์	31
3.1	ตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน ทางด้านแหล่งจ่ายไฟเข้า.....	31
3.1.1	ขั้นตอนการสร้างตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและ วงจรกรองสัญญาณรบกวน	31
3.1.2	การออกแบบตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและ วงจรกรองสัญญาณรบกวน	32
3.1.3	การเลือกใช้อุปกรณ์ของตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรกรองสัญญาณรบกวน	32
3.1.4	การสร้างตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรอง สัญญาณรบกวน	36
3.2	วงจรควบคุมและวงจรจับมอสเฟตกำลัง.....	37
3.2.1	ขั้นตอนการสร้างวงจรควบคุมและวงจรจับมอสเฟตกำลัง	37
3.2.2	การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณพีคบีลยูเอ็ม	38
3.2.3	การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจรสร้างสัญญาณพีคบีลยูเอ็มและวงจรจับ มอสเฟตกำลัง	40
3.2.4	การสร้างวงจรควบคุมและวงจรจับมอสเฟตกำลัง	44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง	45
3.3.1 การเลือกใช้หม้อแปลงฟลายแบ็กและการหาขั้วลวดลวดทุติยภูมิของ หม้อแปลง	45
3.4 การสร้างลิฟเตอร์	47
3.4.1 ขั้นตอนการสร้างลิฟเตอร์	47
3.4.2 การออกแบบลิฟเตอร์แบบสามเหลี่ยม	47
3.4.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำลิฟเตอร์ มีดังนี้	47
3.4.4 ขั้นตอนการสร้างลิฟเตอร์	48
บทที่ 4 ผลการทดลอง	52
4.1 การทดสอบวงจรควบคุมและวงจรจับมอเตอร์กำลัง	52
4.2 การทดสอบตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง	55
4.3 การทดสอบการทำงานของลิฟเตอร์	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	58
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	59
เอกสารอ้างอิง	60
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พิกัดต่างๆของทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N3055	36
3.2 พิกัดต่างๆของ 1N4007G	42
3.3 พิกัดต่างๆของมอสเฟตกำลัง หมายเลข IRF840B.....	43
4.1 ผลการวัดสัญญาณพีคเบิกลูเอ็่มที่แรงดันด้านเข้า 2.05 V.....	54
4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้ากับแรงดันด้านออก.....	55



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบพื้นฐานของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงโดยทั่วไป..... 4
2.2	ลักษณะการจัดวงจรตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 2.1.....5
2.3	ตัวอย่างวงจรด้านเข้าของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง..... 6
2.4	ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยด้านออกที่ได้จากวงจรเรียงกระแส ที่โหลดและ ความต้านทานจำกัดกระแส R_L ค่าต่างๆ..... 7
2.5	ค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านตัวเก็บประจุวงจรกรอง.....11
2.6	ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสที่ผ่านตัวเรียงกระแสเมื่อเทียบกับค่าของกระแสประสิทธิภาพ ต่อกำลังงานที่ตัวเรียงกระแสต้องจ่ายออกไปให้ตัวแปลงผัน ที่ค่า R_{sc} ต่างๆกัน.....11
2.7	วงจรพื้นฐานของตัวแปลงผันฟลายแบ็ก..... 13
2.8	ลักษณะของกระแสที่ขดปฐมภูมิและกระแสที่ขดทุติยภูมิขณะที่วงจรทำงาน..... 14
2.9	ลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในวงจรขณะทำงานของตัวแปลงผันฟลายแบ็ก..... 15
2.10	วงจรขับมอเตอร์แบบง่าย โดยใช้ทรานซิสเตอร์..... 16
2.11	โครงสร้างภายในของไอซี หมายเลข NE555..... 17
2.12	แสดงวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี หมายเลข NE555..... 19
2.13	วงจรปรับค่าควิตซ์ไซเคิลและค่าความถี่สัญญาณเพื่อบีบเบิ้ลยูเอ็มคิงที่..... 20
2.14	ตัวแบ่งแรงดัน..... 21
2.15	ตัวแบ่งแรงดันแบบตัวต้านทาน..... 22
2.16	หลักการทำงานของลิฟเตอร์..... 28
2.17	ลักษณะทางด้านข้างลิฟเตอร์ของหนึ่งแผ่นตัวนำและแรงที่เกิดจากลิฟเตอร์..... 29
3.1	ตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน..... 32
3.2	หม้อแปลงไฟฟ้า..... 32
3.3	ตัวเรียงกระแสฟิสิกส์ 200 V 5 A..... 33
3.4	ฟิวส์ฟิสิกส์ 250 V 3 A..... 33
3.5	ตัวเก็บประจุ 10,000 μ F 63 V..... 34
3.6	ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 k Ω 34
3.7	สวิตช์เปิดปิดวงจร..... 35
3.8	สวิตช์ปุ่มกด 250 V 3 A..... 35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9	ทรานซิสเตอร์ หมายเลข 2N3055..... 36
3.10	ตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน..... 37
3.11	ไอซี หมายเลข NE555..... 38
3.12	วงจรสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มและวงจรขับมอสเฟตกำลัง..... 39
3.13	ลักษณะของตัวต้านทาน..... 40
3.14	ลักษณะของตัวต้านทานปรับค่าได้..... 40
3.15	ลักษณะของตัวคุมแรงดัน..... 41
3.16	ลักษณะของตัวเก็บประจุ..... 41
3.17	ลักษณะของไดโอด 1N4007G..... 42
3.18	ลักษณะของตัวทรานซิสเตอร์..... 42
3.19	ลักษณะของมอสเฟตกำลัง หมายเลข IRF840B..... 43
3.20	ลักษณะของแผ่นระบายความร้อน..... 44
3.21	วงจรควบคุมและวงจรขับมอสเฟตกำลัง..... 44
3.22	หม้อแปลงฟลายแบ็ก..... 45
3.23	ลักษณะการต่อวงจรการหาขั้วลบของขดลวดทุติยภูมิ..... 46
3.24	ตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง..... 46
3.25	ลิฟเตอร์ที่ได้ออกแบบ..... 47
3.26	ลักษณะไม้บัลซ่าและหลอดพลาสติกที่ตัด..... 48
3.27	ลักษณะกระดาษฟรอยด์ที่ตัด..... 48
3.28	ลักษณะไม้บัลซ่าที่ต่อกัน..... 49
3.29	ลักษณะไม้บัลซ่าที่ต่อกัน..... 49
3.30	ลักษณะกระดาษฟรอยด์ที่ติดกับไม้บัลซ่า..... 49
3.31	ลักษณะของลิฟเตอร์ที่เสร็จสมบูรณ์..... 50
3.32	ลักษณะของการต่อลิฟเตอร์กับตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง..... 51
4.1	ผลของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ขาเกตซอสของมอสเฟตกำลังที่ควิตี้ไซเคลิล 51.4%..... 52
4.2	ผลของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ขาเกตซอสของมอสเฟตกำลังที่ควิตี้ไซเคลิล 89.90%..... 53
4.3	ผลของสัญญาณที่ขาเดรนซอสของมอสเฟตกำลัง..... 53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิตีไซเคิลกับค่าแรงดันด้านออก และค่าวิตีไซเคิลกับแรงดันครนซอส..... 54
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้ากับค่าแรงดันด้านออก..... 55
4.6	ผลของการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับลิฟเตอร์..... 56



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันนี้ การพัฒนาของเทคโนโลยีต่างๆมีการก้าวหน้าไปมาก รวมถึงการนำไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงมาใช้ประโยชน์หรือประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ทางการแพทย์ใช้ประโยชน์ในเครื่องฉายรังสี ทางวิศวกรรมใช้สร้างเครื่องฟอกอากาศ ใช้ในห้องทดลอง วิศวกรรมไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงและนำมาสร้างสนามไฟฟ้า หรือในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เช่น หน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ ซึ่งการนำวงจรตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงที่เป็นส่วนหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการสร้างวงจรมีราคาถูกลงและเป็นวงจรที่มีขนาดเล็กน้ำหนักไม่มาก

ดังนั้นในโครงการนี้จึงพัฒนาตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงขึ้นมา โดยใช้หม้อแปลงฟลายแบ็กที่สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ตั้งแต่ 0-6 kV โดยมุ่งเน้นการออกแบบวงจรการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง โดยใช้หลักการของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงแบบตัวแปลงผันฟลายแบ็ก และรวมถึงการนำแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงไปประยุกต์ใช้ประโยชน์กับลิฟเตอร์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงที่ให้แรงดันด้านออกไม่ต่ำกว่า 5 kV
- 2) เพื่อนำตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงไปใช้ในทดสอบการทำงานของลิฟเตอร์ได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 0-33 V เป็นแหล่งจ่ายให้กับตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง
- 2) วงจรควบคุมใช้ไอซี หมายเลข NE555 ที่สร้างสัญญาณเพี้ยนเบี่ยงเบนที่ความถี่ 20 kHz
- 3) แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจากตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงมีค่าไม่เกินต่ำกว่า 5 kV
- 4) นำตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง ไปทดสอบกับลิฟเตอร์สามเหลี่ยม

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2553			
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
1. ศึกษาการทำงานของตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง				
2. ศึกษาหลักการทำงานของลิฟเตอร์				
3. ออกแบบตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง				
4. ออกแบบลิฟเตอร์				
5. ทดสอบการทำงานของตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง				
6. ทดสอบการทำงานของตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงกับลิฟเตอร์				
7. ปรับปรุงวงจรและลิฟเตอร์				
8. สรุปผลและจัดทำปริญญานิพนธ์				

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) สามารถนำตัวฟลายแบ็กแรงดันสูงไปใช้ในทดสอบการทำงานของลิฟเตอร์ได้
- 2) สามารถนำวงจรไปทดสอบความคงทนของฉนวนได้
- 3) สามารถนำไปสร้างก๊าซไอโซมในเครื่องฟอกอากาศได้

1.6 งบประมาณ

1) วงจรควบคุมและวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง	700 บาท
2) หม้อแปลงฟลายแบ็ก	180 บาท
3) ชุดสวิตช์ ฟิวส์ นี้อต และสายไฟ	50 บาท
4) วัสดุและอุปกรณ์อื่นๆ	200 บาท
5) ค่าถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่มปริญญาบัตร	1,000 บาท
รวมเป็นเงิน (สองพันหนึ่งร้อยสามสิบบาทถ้วน)	<u>2,130 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

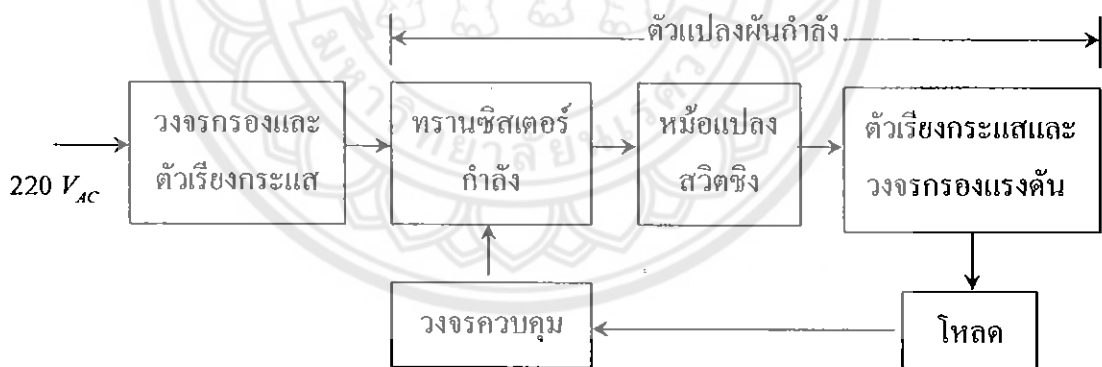
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องในปริยญาณิพนธ์ เพื่อความเข้าใจถึงองค์ประกอบที่สำคัญของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงและพื้นฐานการทำงานของตัวแปลงผันฟลายแบ็กเพื่อใช้ในการสร้างไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง รวมถึงหลักเทคนิควิธีการวัดแรงดันสูงกระแสตรงและหลักการการทำงานของลิฟเตอร์ ดังจะกล่าวในหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 การทำงานของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง

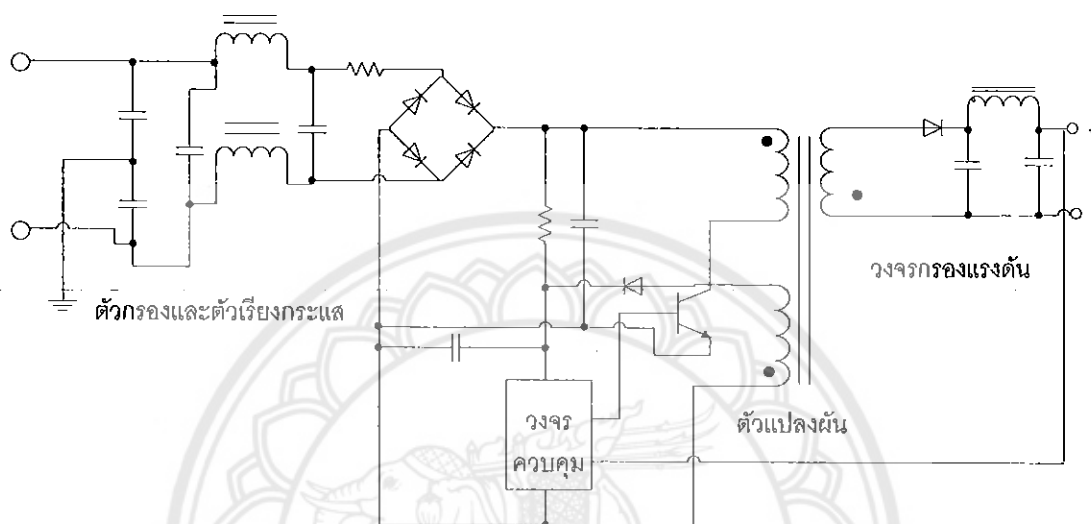
แหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันระดับหนึ่ง โดยมีหัวใจสำคัญอยู่ที่ตัวแปลงผัน (Converter) องค์ประกอบพื้นฐานของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงจะทำงานกันเป็นลำดับ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงโดยทั่วไป

แรงดันไฟสลับ 220 V จะผ่านเข้ามาทางวงจรกรอง เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงค่าสูงด้วยตัวเรียงกระแส ตัวแปลงผันกำลังโดยทรานซิสเตอร์กำลังจะตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วงๆ ด้วยความถี่สูงประมาณ 20 – 200 kHz จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตชิง ที่ด้านออกของหม้อแปลงจะมีตัวเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดันให้เรียบก่อนจึง

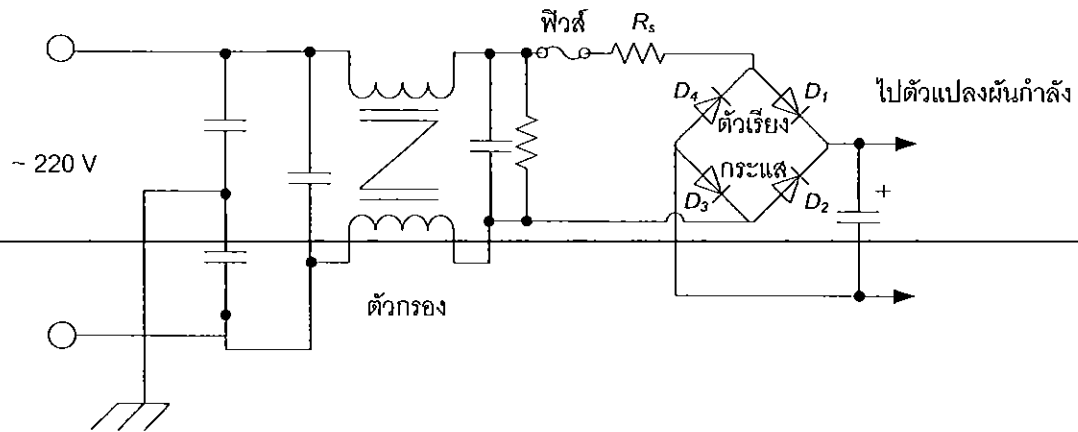
สามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่ด้านออกมา
ยังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์กำลังให้มีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้นหรื
น้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ด้านออก ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันด้านออกคงที่ได้
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรซึ่งแบ่งส่วนตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 2.1 เพื่อเป็นตัวอย่าง



รูปที่ 2.2 ลักษณะการจัดวงจรตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 2.1

2.2 วงจรส่วนด้านเข้าของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิง

แหล่งจ่ายสวิตซิงโดยส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาให้ใช้กับระบบแรงดันไฟสลับ 110 V
หรือ 220 V แรงดันไฟสลับจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟตรงก่อนด้วยวงจรในส่วนด้านเข้าของ
แหล่งจ่ายสวิตซิง เพื่อส่งต่อไปให้ตัวแปลงผันอีกทีหนึ่ง โดยวงจรส่วนด้านเข้าอาจจะแบ่งออกได้
เป็นส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ตัวเรียงกระแส (Rectifier) ฟิวส์ (Fuse) และวงจรกรอง (Filter)



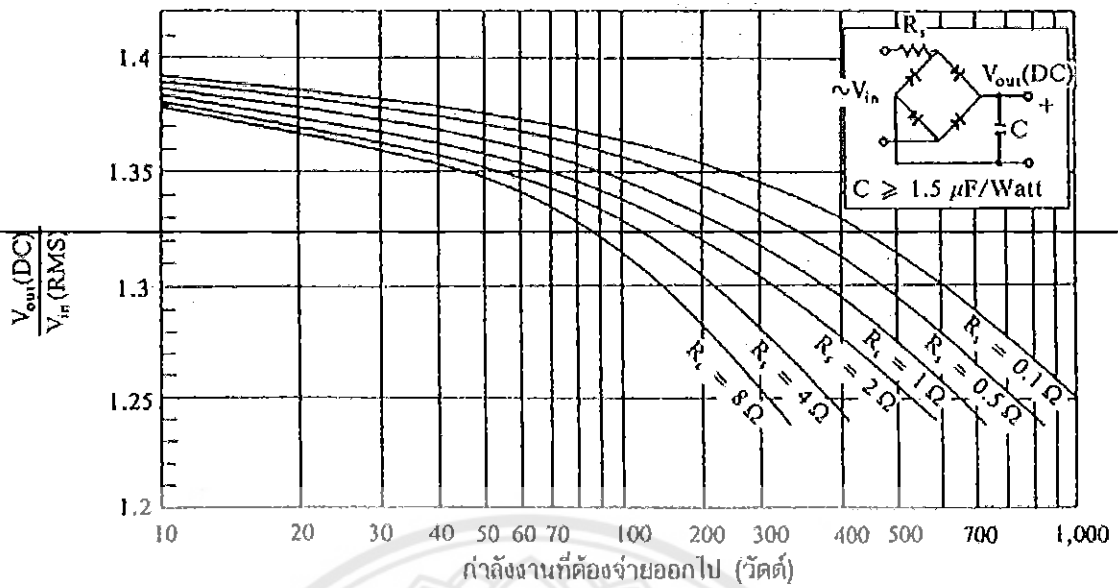
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างวงจรด้านเข้าของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิง

2.2.1 ตัวเรียงกระแส

ตัวเรียงกระแส นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดของวงจรในส่วนด้านเข้าของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิง และจะเป็นตัวกำหนดค่าพิกัดกระแสของฟิวส์ ตัวเรียงกระแสจะประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ตัวคือ ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง และไดโอดเรียงกระแส $D_1 - D_4$ มีหน้าที่หลักคือ เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นไฟตรงเพื่อเป็นแรงดันด้านเข้าให้กับตัวแปลงผันต่อไป

1) ตัวต้านทานจำกัดกระแส

ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s จะมีประโยชน์มากในตัวเรียงกระแส R_s จะเป็นตัวจำกัดกระแสกระชากที่จะเกิดขึ้นในวงจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มเปิดเครื่องให้ทำงาน ตัวเก็บประจุขณะอัดประจุจะเหมือนมีการลัดวงจรขึ้น ถ้าค่าของตัวเก็บประจุสูงก็จะทำให้เกิดกระแสกระชากขณะเปิดเครื่องสูงด้วย การกำหนดค่าตัวต้านทานจำกัดกระแส R_s ไว้ในวงจรจะทำให้การไหลของกระแสกระชากขณะเปิดเป็นไปได้อย่างช้าๆ และลดกระแสกระชาก ตัวต้านทาน R_s ในตัวเรียงกระแสจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าอย่างเหมาะสม เนื่องจากในตัวเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุเป็นวงจรกรองนั้น ค่าของแรงดันที่ได้จากวงจรจะขึ้นกับค่าของ R_s และกำลังงานที่ตัวเรียงกระแสจะต้องจ่ายออกไป ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ค่าแรงดันไฟตรงเฉลี่ยด้านออกที่ได้จากวงจรเรียงกระแส ที่โหลดและความต้านทานจำกัด กระแส R_L ค่าต่างๆ

การต่อตัวต้านทานจำกัดกระแส R_L จะทำให้ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงลดลง เนื่องจากการเกิดกำลังงานสูญเสียในตัว R_L การกำหนดค่าของ R_L จึงต้องพิจารณาจากความเหมาะสม ระหว่างการลดกระแสกระชาก และประสิทธิภาพการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงด้วย

2) ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง

ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของ ไดโอด $D_1 - D_4$ ให้มีค่าเรียบมากขึ้น และยังช่วยให้กระแสที่ได้มีค่าเพียงพอตามที่ตัวแปลงผัน ต้องการ ค่ากระแสขณะอัดประจุและคายประจุจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความจุของตัวเก็บประจุ และภาวะของโหลดที่ด้านออกของตัวเรียงกระแส และกระแสประสิทธิผลของตัวเก็บประจุของ วงจรกรองต่อค่ากระแสประสิทธิผล I_e ที่ด้านเข้าของตัวเรียงกระแส โดยที่

$$I_e = \frac{P_{IN}}{V_{IN_{rms}}} \tag{2.1}$$

- โดยที่ I_e คือ ค่ากระแสประสิทธิผลที่ด้านเข้า มีหน่วยเป็น A_{rms}
 P_{IN} คือ กำลังงานที่จ่ายเข้าทางด้านด้านเข้า มีหน่วยเป็น W
 $V_{IN,rms}$ คือ ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสที่ด้านเข้า มีหน่วยเป็น V_{rms}

ส่วน R_{sf} คือค่าตัวประกอบของตัวต้านทาน R_s และค่า R_{sf} หาได้จาก

$$R_{sf} = R_s P_{IN} \quad (2.2)$$

การพิจารณาเลือกตัวเก็บประจุของวงจรกรองสำหรับตัวเรียงกระแสจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัย ดังต่อไปนี้

1) พิกัดความพลีวของกระแสของตัวเก็บประจุ

ความพลีวของกระแสในตัวเก็บประจุจะทำให้ตัวเก็บประจุนร้อนและลดอายุการใช้งานของตัวเก็บประจุลงได้ ปกติผู้ผลิตจะระบุพิกัดความพลีวของกระแสของตัวเก็บประจุมาในคู่มือรายละเอียดการใช้งาน การเลือกใช้ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง จะต้องให้มีพิกัดความพลีวของกระแส มากกว่าค่าความพลีวของกระแสที่คำนวณได้ เพื่อไม่ให้ตัวเก็บประจุนร้อนขณะทำงาน ในกรณีที่ความพลีวของกระแสมีสูง การใช้ตัวเก็บประจุนานกันหลายตัวจะช่วยเพิ่มพิกัดความพลีวของกระแสของตัวให้กับตัวเก็บประจุได้เช่นกัน

2) ความพลีวของแรงดันด้านออกของตัวเรียงกระแส

ความพลีวของแรงดันด้านออกของตัวเรียงกระแสจะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของตัวแปลงผันในแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิง ความพลีวของแรงดันด้านออกจะทำให้แรงดันที่ด้านเข้าของตัวแปลงผันมีค่าไม่คงที่ หากความพลีวของแรงดันด้านออกของตัวเรียงกระแสมีค่ามากก็จะลดความสามารถในการคงค่าแรงดันที่ด้านออกของตัวแปลงผันลงไป ค่าของตัวเก็บประจุของวงจรกรอง ที่ทำให้ค่าพิกัดความพลีวไม่เกินกำหนด อาจคำนวณได้จาก

$$C = \frac{I_e \cdot \Delta t}{\Delta V_{ripple}} \quad (2.3)$$

- โดยที่ I_e คือ ค่ากระแสประสิทธิผลของวงจรเรียงกระแส
 Δt คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุของวงจรกรองคายประจุ
 ΔV_{ripple} คือ ค่ายอดถึงยอดความพลีวของแรงดันด้านออกของตัวเรียงกระแส

3) ช่วงเวลาโฮลด์อ็อฟ

ช่วงเวลาโฮลด์อ็อฟ เป็นเวลาที่แหล่งจ่ายกำลังสวิตซิงยังสามารถคงค่าแรงดันที่ด้านออกได้ตามปกติที่โหลดสูงสุดเมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับหรือค่าแรงดันไฟสลับต่ำกว่ากำหนด เพื่อให้แหล่งจ่ายกำลังสวิตซิงมีค่าเวลาโฮลด์อ็อฟ ตัวเก็บประจุวงจรกรองจะต้องมีค่ามากพอเพื่อจ่ายกระแสให้กับตัวแปลงผันเมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ ค่าของตัวเก็บประจุที่ทำให้เกิดช่วงเวลาโฮลด์อ็อฟอาจหาได้จาก

$$C = \frac{2P_o t_H}{\eta(V_s^2 - V_f^2)} \quad (2.4)$$

โดยที่ P_o	คือ ค่ากำลังงานสูงสุดที่ด้านออกของตัวแปลงผัน
η	คือ ค่าประสิทธิภาพของตัวแปลงผัน
V_s	คือ แรงดันที่ตัวเก็บประจุกรองก่อนหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ
V_f	คือ ค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุกรองหลังหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ
t_H	คือ ค่าช่วงเวลาโฮลด์อ็อฟที่ต้องการ (โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 20×10^{-3} s ถึง 50×10^{-3} s)

4) พิกัดแรงดัน

ตัวเก็บประจุวงจรกรองต้องทนแรงดัน ได้อย่างต่ำที่ค่าแรงดันไฟตรงด้านออกของตัวเรียงกระแส แต่เพื่อความปลอดภัยควรมีพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุวงจรกรองไว้อย่างน้อยที่ค่าแรงดันไฟตรงสูงสุดที่เป็นไปได้ของตัวแปลงผัน เช่น แหล่งจ่ายกำลังสวิตซิงที่มีแรงดันไฟสลับด้านเข้า 187 – 264 V ตัวเก็บประจุควรมีพิกัดแรงดันอย่างต่ำที่ 385 V หรือที่ 400 V เป็นต้น

5) ขนาดและราคา

ตัวเก็บประจุวงจรกรองปกติจะเป็นชนิดอิเล็กโทรไลต์ ที่พิกัดแรงดันสูงๆ ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์จะมีขนาดใหญ่และมีราคาแพง การเลือกตัวเก็บประจุวงจรกรองที่มีพิกัดแรงดันและค่าความจุสูงเกินไป จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเกินความจำเป็น กินเนื้อที่และเพิ่มขนาดของแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิง

2.2.2 ไคโอดเรียงกระแส

การเลือกใช้ไคโอดเรียงกระแสมีข้อควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1) ค่ากระแสกระชาก I_{FSM}

กระแสกระชากสูงสุดที่ผ่านไคโอดเรียงกระแสจะเกิดขึ้นขณะเปิดเครื่องเมื่อตัวเก็บประจุวงจรกรองยังไม่มีประจุสะสมอยู่ ค่ากระแสกระชากสูงสุดอาจคำนวณได้จาก

$$I_{FSM} = \frac{V_{peak}}{(R_s + ESR)} \quad (2.5)$$

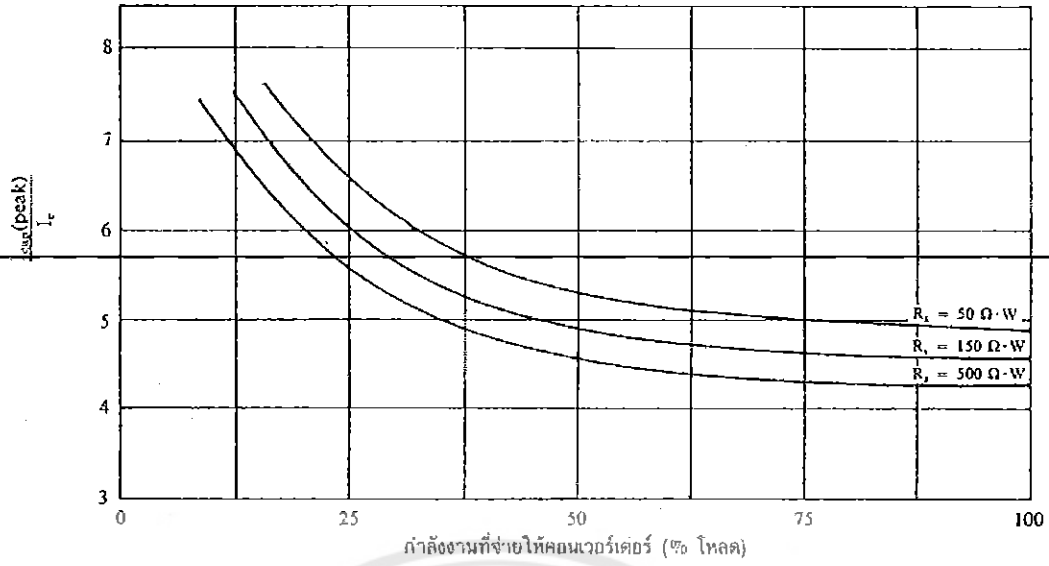
โดยที่ V_{peak} คือ แรงดันขอดสูงสุดของไฟสลับด้านเข้า

ESR คือ ค่าความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุค่าต่ำสุด

R_s คือ ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส

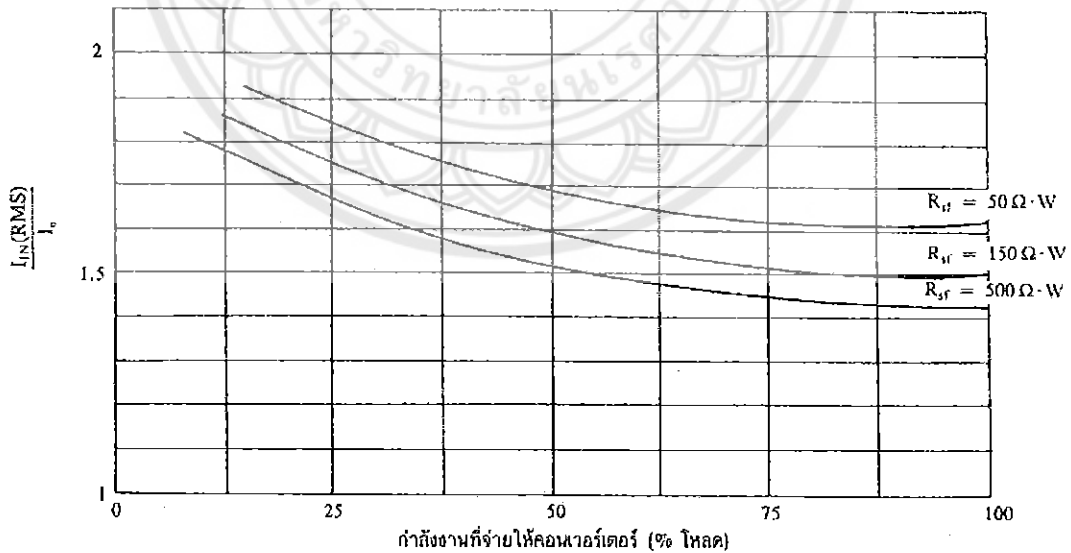
2) ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรง I_{FRM}

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นในวงจรเรียงกระแส จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุวงจรกรองมีการเก็บประจุอีกครั้งหลังจากคายประจุออกไปให้ไหลลด ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบแอสตรงของไคโอดเรียงกระแส I_{FRM} จึงหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุวงจรกรองจากกราฟในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ค่ากระแสสูงสุดที่ผ่านตัวเก็บประจุวงจรกรอง

3) ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบแอสตรง I_{FM}
 เป็นค่ากระแสสูงสุดที่ไดโอดเรียงกระแสจะได้รับขณะทำงาน การพิจารณา I_{FM} อาจทำได้โดยใช้กราฟในรูปที่ 2.6 ในทางปฏิบัติควรหาค่ากระแสสูงสุด I_{FM} ของไดโอดไว้ที่ประมาณ 1.5 - 2 เท่าจากที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งาน



รูปที่ 2.6 ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสที่ผ่านตัวเรียงกระแสเมื่อเทียบกับค่าของกระแสประสิทธิผลต่อกำลังงานที่ตัวเรียงกระแสต้องจ่ายออกไปให้ตัวแปลงผัน ที่ค่า R_{sr} ต่างๆกัน

4) พิกัดแรงดันไบแอสกลับสูงสุด V_{RRM}

ในแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิง ปกติตัวเรียงกระแสต้องต่อเข้าแรงดันไฟสลับ ดังนั้นพิกัดแรงดันไบแอสกลับสูงสุดของไดโอด V_{RRM} จึงต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาเผื่อค่าแรงดันไบแอสกลับ ให้มากกว่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับไว้ด้วย สำหรับกรณีที่จะเกิดภาวะชั่วคราวขึ้นได้ในสายไฟสลับ [5]

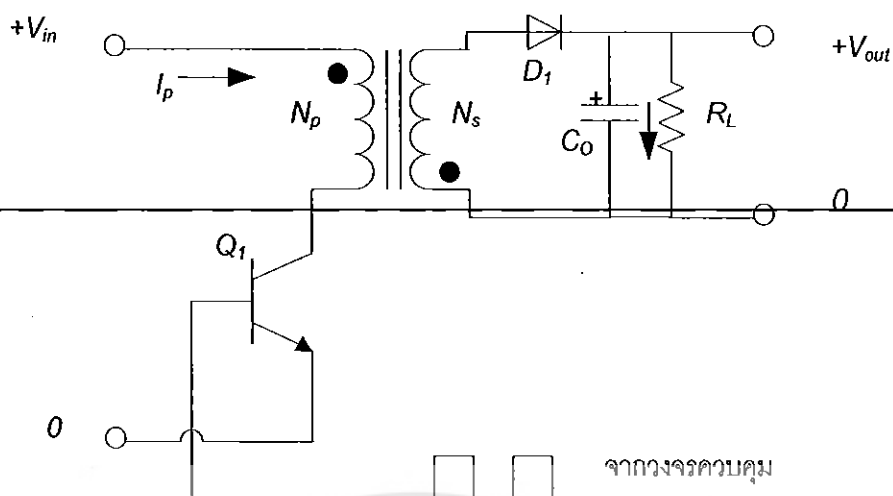
2.3 ตัวแปลงผันฟลายแบ็ก

ตัวแปลงผันฟลายแบ็ก (Flyback converter) มีค่าใช้จ่ายในการสร้างต่ำ จึงเหมาะสำหรับแหล่งจ่ายกำลังสวิตชิงที่มีกำลังด้านออกในช่วง 50 W ถึง 150 W ตัวแปลงผันฟลายแบ็กมีข้อเสียคือจะมีความพลัวของแรงดันด้านออกค่อนข้างสูง เมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟสลับ 220 V ทรานซิสเตอร์กำลังในวงจรต้องทนแรงดันได้สูงประมาณ 800 V ถึง 1000 V ซึ่งมีราคาแพง [5]

หม้อแปลงของวงจรฟลายแบ็กจึงแตกต่างจากหม้อแปลงธรรมดา คือ ต้องทำหน้าที่หม้อแปลงและทำหน้าที่สะสมพลังงานไปในตัว ในทางปฏิบัติเรามักเว้นช่องอากาศ ในแกนของหม้อแปลงเพื่อความสามารถในการสะสมพลังงาน ในวงจรของเครื่องรับโทรทัศน์มักใช้วงจรนี้เพื่อกำเนิดแรงดันไฟตรงแรงดันสูง แรงดันนี้ใช้ในการบังคับลำอิเล็กตรอนของหลอดภาพให้มาเริ่มต้นการกวาดจอใหม่หลังจากครบบรรทัดแล้ว ภาพที่อาจจินตนาการได้ก็คือลำอิเล็กตรอน “บินกลับ” มาตั้งต้นบรรทัดใหม่ ด้วยเหตุนี้จึงเรียกวงจรนี้ว่า วงจรฟลายแบ็ก ซึ่งแปลว่าบินกลับ นั่นเอง [3]

2.3.1 พื้นฐานการทำงานของตัวแปลงผันฟลายแบ็ก

วงจรพื้นฐานของตัวแปลงผันฟลายแบ็กแสดงไว้ในรูปที่ 2.7 การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ ทรานซิสเตอร์กำลัง Q_1 จะทำงานโดยนำกระแส (ON) และหยุดนำกระแส (OFF) สลับกันไป เมื่อ Q_1 นำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิ (I_p) แต่เนื่องจากหม้อแปลงถูกกำหนดให้ขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิพันอยู่ในลักษณะกลับทิศทาง ดังนั้นในขณะที่ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่มีกระแสไหลผ่านไปยังโหลด R_L พลังงานจึงถูกสะสมอยู่ที่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กในแกนหม้อแปลงยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วของแรงดันที่ขดทุติยภูมิ ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่ถูกสะสมไว้ที่ขดปฐมภูมิจะถูกถ่ายเทไปยังขดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดและเก็บประจุด้านออก C_o ได้



รูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานของตัวแปลงผันฟลายแบ็ก

เมื่อบางทำงานอยู่ในสถานะอยู่ตัว (Steady state) ค่าแรงดันด้านออกที่ได้จากตัวแปลงผันจะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times (N_s / N_p) (V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} V_D \quad (2.6)$$

- โดยที่
- T คือ คาบเวลาการทำงานของ Q_1 มีหน่วยเป็น s
 - t_{ON} คือ ช่วงเวลาที่ Q_1 นำกระแส มีหน่วยเป็น s
 - N_p คือ จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นรอบ
 - N_s คือ จำนวนรอบของขดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็นรอบ
 - V_{out} คือ แรงดันที่ด้านออกของตัวแปลงผัน มีหน่วยเป็น V
 - V_{in} คือ แรงดันที่ด้านเข้าของตัวแปลงผัน มีหน่วยเป็น V
 - $V_{CE(sat)}$ คือ แรงดันตกคร่อม Q_1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว มีหน่วยเป็น V
 - V_D คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด D_1 ขณะนำกระแส มีหน่วยเป็น V

2.3.2 ลักษณะกระแสและแรงดันภายในวงจร

กระแสที่ไหลผ่าน Q_1 และขดปฐมภูมิ ขณะที่ Q_1 นำกระแส นั้น จะเป็นลักษณะของ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะเป็นไปตามสมการ

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} \quad (2.7)$$

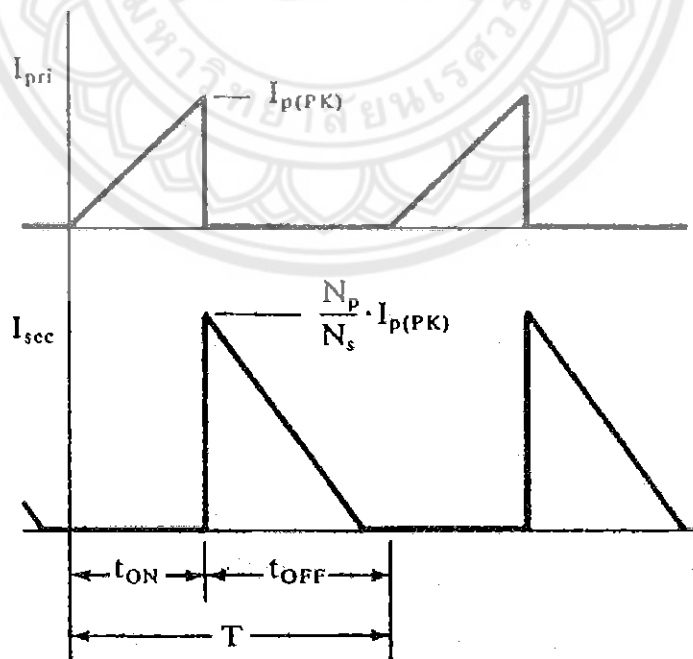
ดังนั้น กระแส I_p จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นตามเวลาและมีค่าสูงสุดเมื่อ Q_1 เริ่มหยุดนำกระแส ที่เวลา $t = t_{ON}$ ดังนั้นกระแสสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ

$$I_{p(PK)} = \frac{(V_{in} - V_{CE(sat)})}{L_p} t_{ON} \quad (2.8)$$

โดยที่ $I_{p(PK)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิ เป็น A

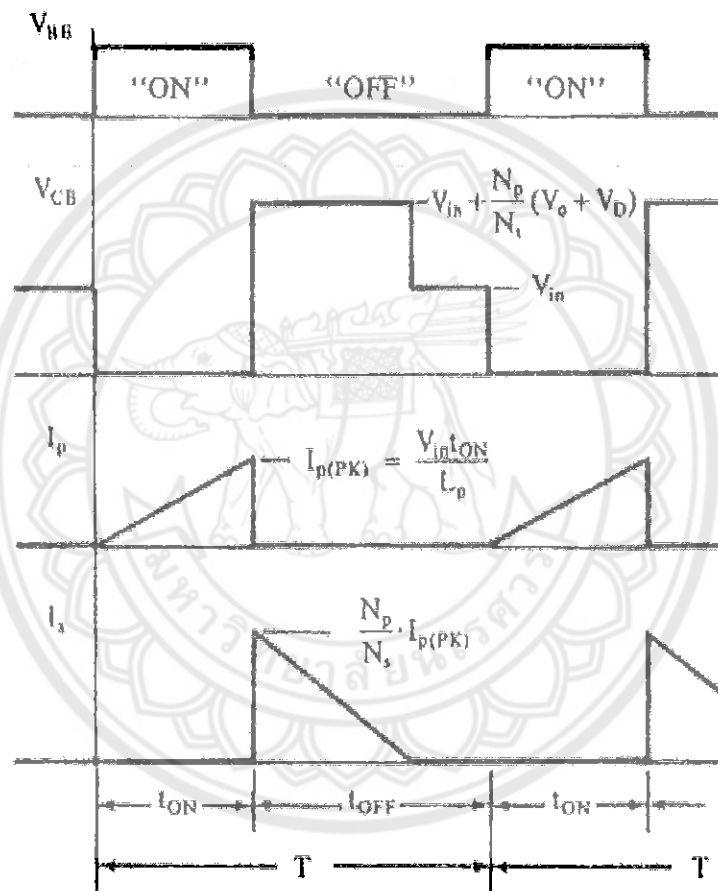
L_p คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดปฐมภูมิ เป็น H

เมื่อ Q_1 เริ่มหยุดนำกระแส ขดทุติยภูมิจะเริ่มมีกระแสไหล แต่เนื่องจากกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใดไม่ได้ กระแสที่ขดทุติยภูมิ (I_s) จะต้องเริ่มต้นที่ค่าสูงสุดของกระแสที่ขดปฐมภูมิ $I_{p(PK)}$ โดยมีค่าสัดส่วนตามอัตราส่วนจำนวนรอบ N_p / N_s ดังนั้น กระแสที่ขดทุติยภูมิจะมีค่าเริ่มต้นที่ $I_s = (N_p / N_s) I_{p(PK)}$ และมีค่าลดลงตามเวลา ลักษณะของ กระแสที่ขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิตามเวลาจะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะของกระแสที่ขดปฐมภูมิและกระแสที่ขดทุติยภูมิขณะที่วงจรทำงาน

เมื่อมีกระแสไหลที่ขดทุติยภูมิขณะ Q_1 หยุดนำกระแส จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดปฐมภูมิด้วย เนื่องจากแรงดันตกคร่อมของขดทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ $V_{out} + V_D$ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมขดปฐมภูมิจึงมีค่าเท่ากับ $(N_p / N_s)(V_{out} + V_D)$ ทำให้แรงดันตกคร่อม Q_1 ขณะหยุดนำกระแส มีค่าเป็น $V_{in} + (N_p / N_s)(V_{out} + V_D)$ จนกระทั่งกระแสที่ไหลในขดทุติยภูมิมีค่าลดลงเป็นศูนย์ แรงดันที่ตกคร่อม Q_1 จึงลดลงมามีค่าเท่าแรงดันดันเข้า V_{in} ลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นภายในวงจรตัวแปลงผันฟลายแบ็กขณะทำงานแสดงในรูปที่ 2.9



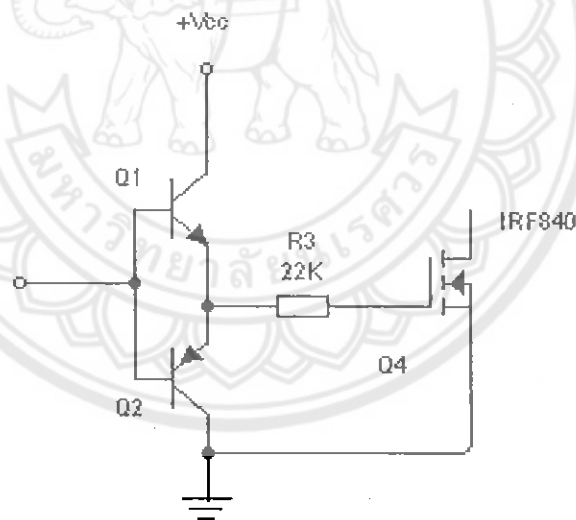
รูปที่ 2.9 ลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในวงจรขณะทำงานของตัวแปลงผันฟลายแบ็ก [5]

2.4 การขับมอสเฟต

ข้อดีของมอสเฟต คือ วงจรขับไม่ต้องจ่ายกระแสตรงให้เกิด อย่างไรก็ตามก็ การทำให้มอสเฟตนำกระแสหรือหยุดนำกระแส หมายถึงการใส่ประจุหรือดึงประจุออกจากขาเกตเพื่อให้การสะสมหรือการคายประจุของเกตเป็นไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องใช้สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่มีค่าขอดสูงในการขับ กำลังสูญเสียของวงจรขับเกตมีค่าเท่ากับพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุของเกตคูณด้วยความถี่การสวิตช์และคูณด้วยสอง (เนื่องจากการถ่ายเทพลังงานสองครั้งในหนึ่งคาบ) ยิ่งความถี่การสวิตช์มีค่าสูง วงจรขับนำเกตยิ่งต้องทนกำลังค่าสูงขึ้นด้วย

เวลาของแรงดัน V_{DS} หรือ t_{on} ขึ้นอยู่กับกระแส i_G ที่วงจรขับนำจะจ่ายให้แก่เกตและการเปลี่ยนแปลงของประจุ ΔQ ในช่วงเวลาที่ V_{DS} มีระดับคงตัว ดังนี้ $t_{\text{on}} = \Delta Q / i_G$ ดังนั้นถ้าต้องการให้ t_{on} มีค่าน้อยต้องให้ i_G มีค่าสูงขึ้น

วงจรในรูปที่ 2.10 แสดงการขับแบบง่ายที่ใช้ทรานซิสเตอร์ในการขับมอสเฟต ซึ่งสามารถจ่ายหรือดึง (Sink) กระแสได้มากกว่า 1 A ในกรณีที่ต้องการดึงกระแสออกจากเกตให้เร็วขึ้น อาจต่อคอลเลกเตอร์ของ Q_2 ดังรูปที่ 2.10



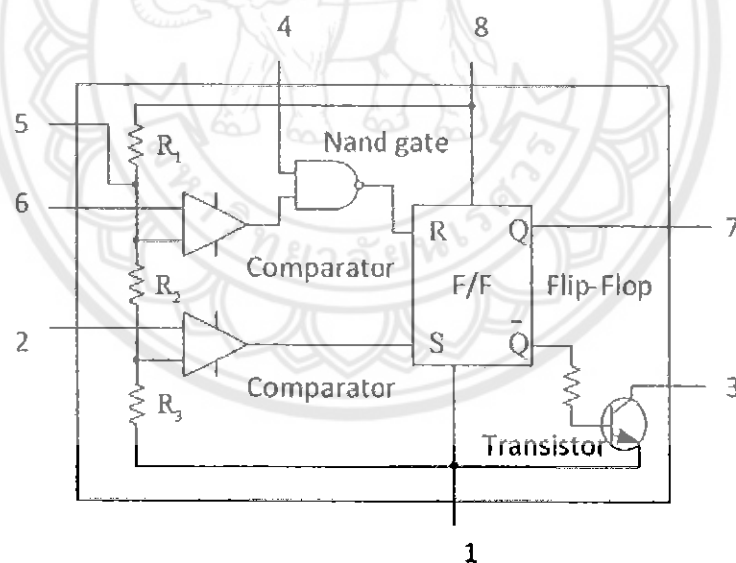
รูปที่ 2.10 วงจรขับมอสเฟตแบบง่ายโดยใช้ทรานซิสเตอร์ [4]

2.5 วงจรกำเนิดสัญญาณไอซี หมายเลข NE555

NE555 เป็นไอซี ที่นิยมใช้กันมากในการนำไปสร้างสัญญาณรูปคลื่นแบบต่างๆ และวงจรตั้งเวลา ไอซีหมายเลข NE555 เป็นอุปกรณ์วงจรรวมที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ อยู่ภายใน และมีส่วนที่ต้องต่อภายนอกเพื่อควบคุมการทำงาน และใช้งานเป็นลักษณะต่างๆ ซึ่งง่ายต่อการออกแบบและง่ายในการสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มความถี่ต่างๆ อีกทั้งสามารถเข้าใจการทำงานได้ง่าย

2.5.1 ไอซีหมายเลข NE555 (NE555 timer IC)

ไอซี หมายเลข NE555 เป็นวงจรรวมที่สามารถสร้างเป็นวงจรตั้งเวลา (Timer) วงจรกำเนิดสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มและสร้างเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์ แบบต่างๆ ได้ เช่น วงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ โครงสร้างภายในของไอซี หมายเลข NE555 แสดงในรูปที่ 2.11 ประกอบไปด้วยออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) 2 ตัว ฟลิปฟลอป (Flip-flop) อินเวอร์เตอร์ 1 ตัว การออกแบบวงจรต่างๆ ทำได้โดยการคำนวณค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อต่อประกอบกับวงจรภายนอก [1]



รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในของไอซี หมายเลข NE555 [2]

วงจรภายในของไอซี หมายเลข NE555 ขา 8 เป็น V_{CC} และขา 1 เป็น GND มีวงจรแบ่งแรงดันโดย R_1 , R_2 , และ R_3 ต่ออยู่ เพื่อป้อนให้กับวงจรเปรียบเทียบแรงดันตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ด้านออกป้อนให้ RS ฟลิปฟลอป ซึ่งต่อด้านออกผ่านทรานซิสเตอร์ 2 ตัว และวงจรกลับสัญญาณจาก

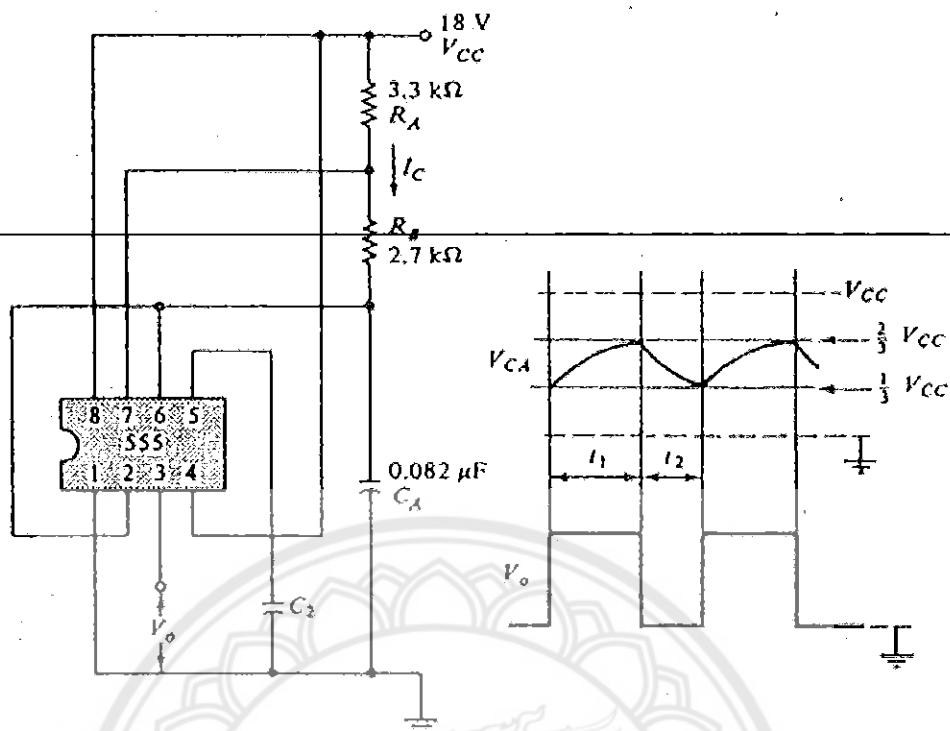
คู่มือรายละเอียดการใช้งานของไอซีหมายเลข NE555 สามารถป้อนแรงดัน V_{CC} ได้ระหว่าง 4.5 V ถึง 18 V และที่ขาต้านออก (ขา 3) จ่ายกระแสได้สูงสุด 200 mA

2.5.2 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ไอซี หมายเลข NE555

วงจรรอสซิลเลเตอร์ที่ใช้ในไอซี หมายเลข NE555 (NE555 Astable Multivibrator) ทำได้โดยการต่อขา 2 (Trigger input) เข้ากับขา 6 (Threshold) ซึ่งต่อ C_A อยู่เพื่อให้แรงดันที่เปลี่ยนแปลงของ C_A ป้อนเข้าจุดขนานการทำงานของวงจรแทนสัญญาณจุดขนานภายนอก พิจารณาจากรูปที่ 2.11 และเพิ่ม R_B อนุกรมกับ R_A เป็นตัวต้านทานที่ใช้ในการเก็บและคายประจุของ C_A โดยต่อเข้ากับขา 7 (Discharge)

ก) การทำงานของวงจร

เมื่อ V_{CA} ต่ำกว่า $(1/3)V_{CC}$ แรงดันที่ขาลบของออปแอมป์เปรียบเทียบกับแรงดันตัวที่ 2 จะต่ำกว่าแรงดันที่ขาบวก เพราะ $V_{C3} = (1/3)V_{CC}$ ด้านออกของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะเป็น HIGH และฟลิปฟล็อป จะอยู่ในสภาวะเซตทำให้ Q เป็น LOW ขณะนี้ Q_1 จะ OFF และ C_A จะทำการเก็บประจุผ่าน R_A และ R_B เมื่อ C_A เก็บประจุจนแรงดันเท่ากับ $(2/3)V_{CC}$ ที่ขาบวกของออปแอมป์เปรียบเทียบกับแรงดันตัวที่ 1 (ต่อกับ C_A ที่ขา 6) จะมีแรงดันต่ำกว่าที่ขาลบ (เท่ากับ $V_{(R_2+R_3)} = (2/3)V_{CC}$) ด้านออกของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะเป็น HIGH ทำให้สถานะของ ฟลิปฟล็อป เป็นรีเซต ผลคือ $Q = \text{HIGH}$ และทรานซิสเตอร์ $Q_1 = \text{ON}$ ทำให้ C_A คายประจุผ่าน Q_1 ที่ R_B และ C_A จะคายประจุจนกระทั่งแรงดัน $V_{C3} = (1/3)V_{CC}$ ที่จุดนี้ด้านออกของออปแอมป์ตัวที่ 2 เป็น HIGH ทำให้ด้านออกของฟลิปฟล็อปเป็น LOW ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะ OFF อีกครั้ง กระบวนการนี้จะเกิดต่อเนื่องตลอดไป ผลที่ได้รับคือ V_o ที่ขา 3 ของ NE555 เป็นสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มที่มีความกว้างของพัลส์เท่ากับ t_1 ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี หมายเลข NE555 [1]

โดยปกติช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุรับประจุในสภาวะ $+V_{cc}$ สามารถคำนวณได้จาก

$$t_1 = 0.693(R_A + R_B)C_A \quad (2.9)$$

ในทำนองเดียวกันช่วงเวลารับประจุในสภาวะคราวด์ สามารถคำนวณได้จาก

$$t_2 = 0.693(R_B)C_A \quad (2.10)$$

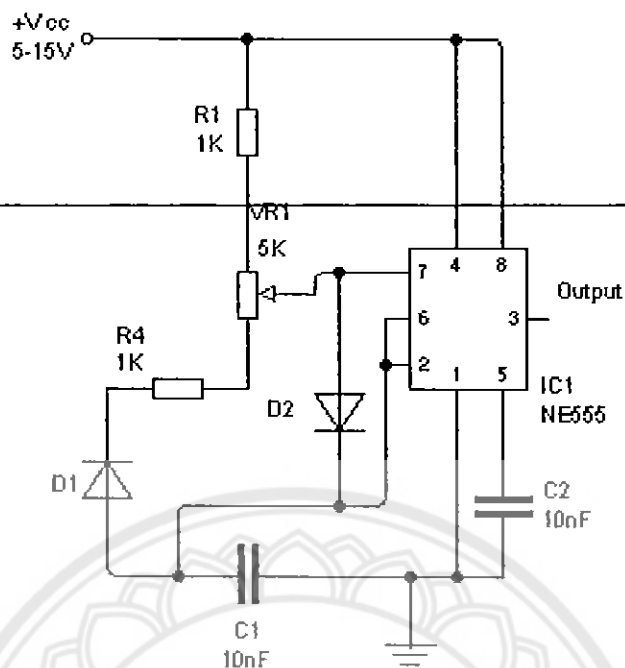
คาบเวลาในหนึ่งไซเคิลหาได้จาก

$$T = t_1 + t_2 = 0.693(R_A + 2R_B)C_A \quad (2.11)$$

นั่นคือความถี่ของการออสซิลเลต คือ

$$f = 1/T = 1.44/(R_A + 2R_B)C_A \quad (2.12)$$

การใช้ NE555 ในการสร้างวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่สามารถปรับค่าตัวไซเคิล (Duty cycle) [11] สามารถต่อได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรปรับค่าควิตซ์ไซเคิลและค่าความถี่สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มคองที่

วงจรที่สามารถปรับค่าควิตซ์ไซเคิลของ V_o ของวงจรอะอสเตเบิลที่ใช้ NE555 โดยการเพิ่มไดโอดปิดกั้นทางเดินของกระแสและการเพิ่มตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อระหว่าง R_A และ R_B เดิม ดังนั้น $R_A = (R_1 + R_2)$ และ $R_B = (R_3 + R_4)$ [1]

ดังนั้น

$$t_1 = 0.693 R_A C_A$$

$$t_1 = 0.693(R_1 + R_2)C_A \quad (2.13)$$

และ

$$t_2 = 0.693 R_B C_A$$

$$t_2 = 0.693(R_3 + R_4)C_A \quad (2.14)$$

$$T = t_1 + t_2 \quad (2.15)$$

$$\text{ควิตซ์ไซเคิล} = \frac{t_1}{T} \times 100\% \quad (2.16)$$

2.6 การวัดแรงดันสูงโดยตัวแบ่งแรงดัน

ตัวแบ่งแรงดันเป็นอุปกรณ์วัดแรงดัน ทำหน้าที่แบ่งทอนแรงดันสูงๆ ออกเป็นส่วนแรงดันต่ำพอที่จะใช้โวลต์มิเตอร์ หรือเครื่องวัดแรงดันต่ำๆ วัดได้ โดยใช้อิมพีแดนซ์แรงสูง Z_1 ต่อเข้ากับแรงดันที่จะวัด แล้วแบ่งเอาแรงดันที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์แต่เพียงส่วนน้อยออกมาวัด ฉะนั้น ตัวแบ่งแรงดันจึงแบ่งออกเป็นภาคแรงสูง Z_1 และภาคแรงต่ำ Z_2 ปลายข้างหนึ่งของภาคแรงสูงจะต่ออยู่กับสายแรงสูงที่จะวัด ส่วนอีกข้างจะต่ออยู่กับปลายหนึ่งของภาคแรงต่ำ ซึ่งอีกข้างหนึ่งของภาคแรงต่ำจะต่อกับดิน ตรงรอยต่อระหว่างภาคแรงสูงกับภาคแรงต่ำนี้เอง จะเป็นจุดที่จะต่อออกมาเข้าเครื่องวัดแรงต่ำ โวลต์มิเตอร์หรือเครื่องวัดแรงดันต่ำๆ ที่จะต่อเข้ากับตัวแบ่งแรงดันนี้ จะต้องเป็นเครื่องวัดที่ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด ก็จะต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ทางเข้าสูงมากๆ เช่น โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้าสถิต คือ อิมพีแดนซ์ของเครื่องวัดจะต้องไม่มีผลกระทบต่ออัตราส่วนอิมพีแดนซ์ของ ตัวแบ่งแรงดันดังรูปที่ 2.14



เมื่อวัด U_2 ด้วยเครื่องวัดแรงต่ำได้แล้ว จึงคำนวณค่าแรงดันสูงที่ต้องการวัดได้คือ

$$U = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} U_2 \quad (2.17)$$

โดยที่ U คือ แรงดันสูงที่ต้องการวัด

U_2 คือ แรงดันคร่อมอิมพีแดนซ์ภาคแรงต่ำ

การวัดแรงดันสูงด้วยตัวแบ่งแรงดัน ความผิดพลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะหมดไป เมื่ออิมพีแดนซ์ Z_1 และ Z_2 เป็นวัตถุหรือสารประเภทเดียวกัน ความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของอิมพีแดนซ์ ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไป เมื่อความถี่เปลี่ยนและความถี่ตรงของเครื่องวัด ปัญหาที่ทำให้ผลของการวัดผิดพลาดอีกประการหนึ่ง ก็คือ องค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไม่เป็นเชิงเส้น เช่น ผลกระทบจากความร้อน อิมพีแดนซ์ที่ใช้ทำตัวแบ่งแรงดันอาจเป็นความต้านทาน หรือตัวเก็บประจุก็ได้ แบบความต้านทานมักใช้วัดแรงดันสูงกระแสตรง การวัดแรงดันกระแสสลับจะวัดด้วยตัวแบ่งแรงดันแบบตัวเก็บประจุ

2.6.1 ตัวแบ่งแรงดันแบบความต้านทาน

ตัวแบ่งแรงดันแบบความต้านทานความต้านทานภาคแรงสูง R_1 และความต้านทานภาคแรงต่ำ R_2 ดังในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ตัวแบ่งแรงดันแบบความต้านทาน

ความต้านทานที่ใช้ต่อ จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดของกระแสที่ไหลผ่าน R_1, R_2 ($I \leq 1\text{mA}$) ค่าความจุแฝง (Stray capacitance) และการจนวน เป็นต้น สารที่ใช้ทำเป็นความต้านทาน R_1 และ R_2 ควรเป็นสารชนิดเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อมิให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานเนื่องจากอุณหภูมิ นั่นคือแรงดันที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความต้านทานทั้งสองคือ

$$U = \frac{R_1 + R_2}{R_2} U_2 \quad (2.18)$$

ความแม่นยำของการวัดขึ้นอยู่กับความถูกต้องของค่าความต้านทาน และขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของเครื่องวัดแรงดันคร่อมความต้านทานภาคแรงต่ำ R_2 ซึ่งจะต้องเป็นโวลต์มิเตอร์ หรือเครื่องวัดที่มีอิมพีแดนซ์ด้านเข้าสูง เช่น โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้าสถิต หรือ โวลต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ [6]

2.7 ลิฟเตอร์ (Lifter)

ในโครงการจะสร้างกระแสตรงแรงดันสูงเพื่อนำไปสร้างสนามไฟฟ้าและทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลก๊าซ ซึ่งจะทำให้เกิดกระบวนการที่ทำให้ลิฟเตอร์ยกตัวลอยขึ้น ดังนั้นจึงต้องอธิบายหลักการทฤษฎีต่างๆที่ทำให้เกิดการยกตัวลอยขึ้นของลิฟเตอร์

2.7.1 ลิฟเตอร์

ลิฟเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่สามารถสร้างแรงผลักดันหรือแรงยกตัวด้วยการใช้ไอออนในอากาศซึ่งไม่มีการเผาไหม้หรือมีชิ้นส่วนใดที่เคลื่อนไหว [7] โดยสร้างขึ้นในมาให้อยู่ในรูปของอิเล็กโตรด ที่วางตัวขนานกันโดยเว้นช่องว่างอากาศระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสองไว้ โดยใช้เส้นลวดตัวนำขนาดเล็กเป็นขั้วที่ต่อเข้ากับขั้วบวกของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง และใช้แผ่นฟรอยด์อะลูมิเนียมเป็นขั้วที่ต่อเข้ากับขั้วลบของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งเมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเข้าที่ขั้วบวก จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นและยังส่งผลให้เกิดการแตกตัวของก๊าซกลายเป็นไอออนที่อยู่บริเวณช่องว่างอากาศของอิเล็กโตรด ซึ่งจะทำให้ลิฟเตอร์ลอยตัวขึ้น [8]

2.7.2 สนามไฟฟ้า

บริเวณรอบประจุไฟฟ้าจะมีสนามไฟฟ้า เมื่อนำเอาประจุอื่นเข้ามาในบริเวณนั้นแล้วจะเกิดแรงกระทำต่อประจุที่นำเข้ามา สนามไฟฟ้าจะมีมากหรือน้อยอาจแสดงหรือวัดในรูปของแรงที่เกิดขึ้น ซึ่งอธิบายด้วยกฎของคูลอมบ์ (Coulomb's law) นั่นคือ ถ้ามีประจุ Q_1 และ Q_2 มีขนาดเล็กเป็นจุด วางห่างกันเป็นระยะ r จะเกิดแรงกระทำต่อกันในแนวทิศทางต่อเชื่อมโยงระหว่างสองประจุนั้น สมมติว่าแรงที่เกิดจาก Q_1 ซึ่งมีตำแหน่งทางเวกเตอร์เทียบกับ Q_2 เป็น \vec{r} แรงที่เกิดขึ้นคำนวณได้จากสมการที่ 2.19

$$\vec{F}_{Q_1 \rightarrow Q_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 Q_2 \vec{r}}{r^3} = \frac{Q_1 Q_2 \vec{r}}{4\pi\epsilon r^2} \quad (2.19)$$

โดยที่ \vec{r} คือ เวกเตอร์ตำแหน่งสัมพัทธ์ของประจุ Q' เทียบกับ Q_i ซึ่งมีเวกเตอร์หน่วย $\hat{r} = \vec{r}/r$

ϵ คือ สภาพยอม (Permittivity) ของตัวกลาง $= \epsilon_r \epsilon_0$

ϵ_0 คือ สภาพยอมของสุญญากาศ $= 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

ϵ_r คือ สภาพยอมสัมพัทธ์ของตัวกลาง (ไม่มีหน่วย)

ถ้ามีประจุ N ประจุ กระจายอยู่หลายจุด ซึ่งมีเวกเตอร์ตำแหน่งต่างกันเป็น \vec{r}_i และเวกเตอร์หน่วยเท่ากับ \hat{r}_i โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ตามตำแหน่งของ Q_i เมื่อเทียบกับ Q' แรงทั้งหมดที่กระทำต่อ Q' จะเท่ากับผลรวมทางเวกเตอร์ของแต่ละแรง นั่นคือ

$$\vec{F}_{Q'} = \sum_{i=1}^N F_{Q_i \rightarrow Q'} = \sum_{i=1}^N \frac{Q' Q_i \vec{r}_i}{4\pi\epsilon r_i^3} = \sum_{i=1}^N \frac{Q' Q_i \hat{r}_i}{4\pi\epsilon r_i^2} \quad (2.20)$$

จากสมการแรงที่ประจุต่างๆกระทำต่อประจุ Q' ถ้าคิดเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยประจุ Q' คำนั้นเรียกว่าความเข้มสนามไฟฟ้า หรือความเครียดสนามไฟฟ้า ซึ่งเขียนค่าแรงได้ว่า $\vec{F} = Q'\vec{E}$ ทั้ง \vec{F} และ \vec{E} เป็นเวกเตอร์มีทิศทางเดียวกัน นั่นคือ

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q'} = \frac{\vec{F}}{e} = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i \hat{r}_i}{4\pi\epsilon r_i^2} \quad (2.21)$$

เมื่อ e คือประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.602×10^{-19} คูโลมบ์ แสดงว่าเป็นความเครียดสนามไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับสภาพยอม หรือค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ϵ

2.7.3 อนุภาคประจุในก๊าซ

ในก๊าซมักจะประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ (ไอออนบวก ไอออนลบ และอิเล็กตรอน) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากรังสีคอสมิกในบรรยากาศ รังสีจากสารกัมมันตภาพ เกิดจากแสงอัลตราไวโอเล็ต ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากโมเลกุลของก๊าซเนื่องจากพลังงานความร้อน แต่อิเล็กตรอนนี้ จะอยู่เป็นอิสระในช่วงระยะเวลาอันสั้น และจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคเป็นกลาง ทำให้เกิดเป็นอนุภาคประจุลบขึ้น หรือไม่ก็รวมกับไอออนบวกในบรรยากาศ จำนวนไอออนที่มีอยู่จะเปลี่ยนไปตามสถานที่ จะมีมากที่ระดับสูงๆ และจะมีน้อยลงที่ระดับน้ำทะเล เมื่อมีฝนตก หรือมีหมอก จำนวนไอออนจะมีมากขึ้น และจะมีมากที่สุดเมื่อเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง แต่จำนวนอิเล็กตรอนจะมีน้อย เพราะอิเล็กตรอนมักจะเกาะตัวบนโมเลกุลได้ง่าย

2.7.4 การเกิดไอออนและการปล่อยอิเล็กตรอน

อะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซเมื่อได้รับพลังงานเพียงพอ จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปหนึ่งอิเล็กตรอน อะตอมหรือโมเลกุลของอากาศนั้นจะเปลี่ยนจากสภาวะที่เป็นกลางทางไฟฟ้า กลายเป็นอะตอมที่มีประจุเป็นบวก เรียกกระบวนการนี้ว่า การเกิดไอออน (Ionization) หรือการแตกตัวของอิเล็กตรอนจากโมเลกุล ส่วนกระบวนการที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากของแข็ง เรียกว่า การปล่อยอิเล็กตรอน (Electron emission) ในที่นี้อิเล็กตรอนจะหลุดออกจากขั้วซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ก๊าซมีสภาพนำไฟฟ้าขึ้นมาได้

ก๊าซจะมีสภาพนำไฟฟ้าได้เมื่อมีอนุภาคประจุอิสระจำนวนมากพอ โดยกระบวนการเพิ่มขึ้นของอิเล็กตรอนอย่างทวีคูณ และ ไอออนในช่องว่างนั้นแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการแตกตัวของอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของก๊าซ อันเกิดจากการชนของอนุภาคกับโมเลกุล และกระบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวอิเล็กโทรดเมื่อได้รับความเครียดสนามไฟฟ้าสูง หรือเมื่อไอออนวิ่งมากระทบผิวอิเล็กโทรด

ก) เงื่อนไขการเกิดไอออน

การเกิดไอออนเกิดจากอิเล็กตรอนวิ่งชนโมเลกุล หรืออะตอมของก๊าซ โดยที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า E ในขณะที่วิ่งเข้าหาแอโนด (Anode) พลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับจะเป็นพลังงานจลน์ ถ้าพลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับจากสนามไฟฟ้านี้ มากกว่าพลังงานการเกิดไอออนของโมเลกุลของก๊าซ W , ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซ

15753570

ร/ร.

53941

2552

สมมติว่าอิเล็กตรอนเริ่มต้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับศูนย์ ในทิศทางของสนามไฟฟ้า $\vec{E}(x)$ เป็นระยะทางเท่ากับระยะอิสระ λ จะได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า

$$W = e \int_0^{\lambda} \vec{E}(x) dx = eU \quad (2.22)$$

จะเกิดการเกิดไอออนเมื่อ $W \geq W_i$ (E คงที่)

นั่นคือ $\lambda = \lambda_i$

ถ้าความเครียดสนามไฟฟ้า E คงที่

$$e \cdot E \cdot \lambda_i \geq W_i = eU_i \quad (2.23)$$

โดยที่ U_i คือ แรงดันการเกิดไอออน มีหน่วยเป็น V

eU_i คือ พลังงานที่ทำให้เกิดการเกิดไอออน มีหน่วยเป็น eV

ถ้าพลังงานที่ได้จากสนามไฟฟ้าไม่เพียงพอ ที่จะทำให้เกิดไอออนได้ ก็อาจจะทำให้โมเลกุลที่ถูกชน (แบบไม่ยืดหยุ่น) นั้นอยู่ในสภาพตื่นกระตุ้นได้ พลังงานที่ทำให้โมเลกุลตื่นกระตุ้นได้พอดี เรียกว่า พลังงานตื่นกระตุ้น W_e

ถ้าชนแบบไม่ยืดหยุ่น พลังงานสูงสุดที่อะตอม หรือโมเลกุลของก๊าซ ซึ่งอยู่นิ่งขณะก่อนถูกชนได้รับ หาได้จากกฎของโมเมนตัม และอนุรักษ์พลังงานดังนี้

$$mV + MV = mv_1 + MV_1 \quad (2.24)$$

แต่มวล M อยู่นิ่งจึงได้ $mV = mv_1 + MV_1$ (2.25)

จากกฎอนุรักษ์พลังงานที่กล่าวว่า พลังงานรวมก่อนและพลังงานหลังการชนย่อมคงเดิม ฉะนั้นจะได้

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}MV_1^2 + W_p \quad (2.26)$$

เมื่อ W_p คือพลังงานศักย์ที่อนุภาค M (ที่อยู่นิ่ง) ได้รับ

จากความสัมพันธ์ $V_1 = \frac{m(v - v_1)}{M}$ แทนค่าจะได้

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{m^2}{M} (v - v_1)^2 + W_p \quad (2.27)$$

ถ้าสมมติว่าพลังงานจลน์ของอนุภาคที่วิ่งมาชนมีค่าคงที่ ค่าสูงสุดของพลังงานศักย์ W_p หาได้จากอนุพันธ์ของ W_p เทียบกับ v_1 แล้วให้เท่ากับ 0 จะได้ $W_{p\max}$ ($dW_p/dv_1 = 0$) โดยที่ $V_1 = (m/M)v$

พลังงานถ่ายเทสูงสุดหาได้จากการแทนค่า v_1 อนุภาคที่อยู่นิ่งจะได้รับพลังงานศักย์สูงสุด คือ

$$W_{p\max} = \frac{M}{m+M} \cdot \frac{mv^2}{2} \quad (2.27)$$

ฉะนั้น อิเล็กตรอนวิ่งชน โมเลกุลจะถ่ายเทพลังงานให้กับ โมเลกุลทั้งหมด เมื่อความเร็วหลังชนของอิเล็กตรอน $v_1 = 0$ ส่วน ไอออนหนัก ($m = M$) จะมีการถ่ายเทพลังงานจลน์ครึ่งหนึ่งเป็นพลังงานศักย์และถ่ายเทพลังงานจลน์เพียง 25% ($v_1 = v/2$) นั่นคือมีการถ่ายเทพลังงานเพียง 75% ของพลังงานเริ่มต้น

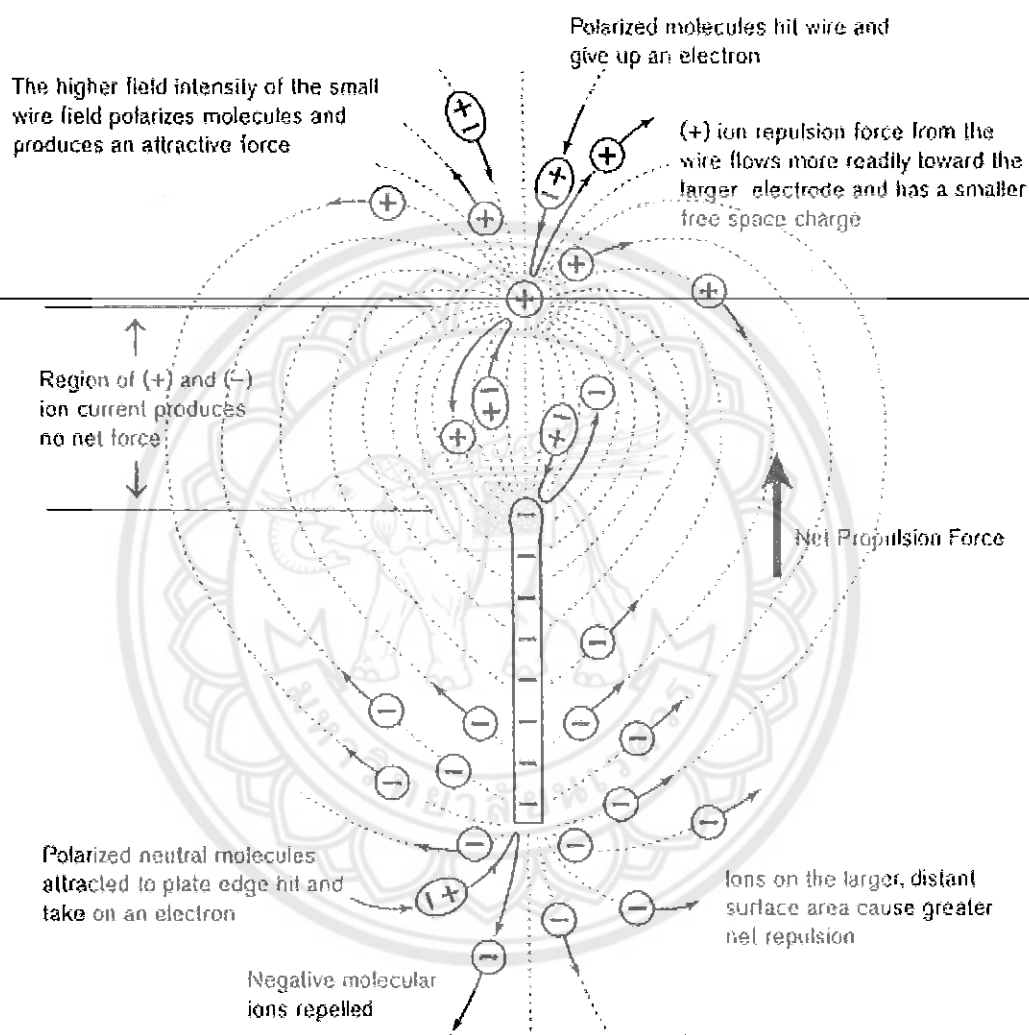
การเกิดไอออนโดยอิเล็กตรอนวิ่งชน อิเล็กตรอนจะต้องมีพลังงานจลน์เท่ากับ หรือมากกว่าพลังงานการเกิดไอออนของ โมเลกุล หรืออะตอมเป็นกลาง [6] นั่นคือ

$$\frac{1}{2}mv^2 = W_i \quad (2.28)$$

2.7.5 หลักการทำงานของลิฟเตอร์

จากที่กล่าวถึงลักษณะของลิฟเตอร์ ทำหน้าที่เป็นเสมือนแผ่นอิเล็กโตรด 2 แผ่นที่วางตัวขนานกันโดยเว้นช่องว่างอากาศระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสองไว้ โดยใช้ลวดตัวนำเส้นเล็กเป็นขั้วที่ต่อเข้ากับขั้วบวกของไฟฟ้ากระแสตรง และใช้แผ่นตัวนำเป็นขั้วต่อเข้ากับขั้วลบของไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เมื่อป้อนแรงดันสูงกระตังให้ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นบริเวณรอบๆ ขั้ว เมื่อแผ่นตัวนำที่ใช้ทำเป็นขั้วแคโทดได้รับพลังงานสูงพอ อิเล็กตรอนจะถูกปล่อยออกมาแล้วเคลื่อนที่ไปในสนามไฟฟ้า และจะถูกเร่งให้วิ่งไปหาลวดตัวนำที่ใช้ทำเป็นขั้วแอโนดขณะที่อิเล็กตรอนวิ่งเข้าหาขั้วแอโนดนั้น อิเล็กตรอนจะวิ่งชน โมเลกุลของอากาศที่เป็นกลางทางไฟฟ้าที่อยู่รอบๆ เกิดกระบวนการเกิดไอออน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากโมเลกุลของอากาศที่เป็นกลาง เมื่อโมเลกุลก๊าซที่เป็นกลางทางไฟฟ้าถูกทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไป จะทำให้โมเลกุลนั้นมีสภาพเป็นไอออนบวก อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาก็จะวิ่งไปหาขั้วแอโนดและก็จะวิ่งชน โมเลกุลของก๊าซที่เป็นกลางต่อไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระขึ้นจำนวนมาก ไอออนบวกเหล่านี้จะวิ่งเข้าหาขั้วแคโทด ส่วนอิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าหาขั้วแอโนด เนื่องจาก ไอออนบวกมีมวลมาก (ประมาณ 1836 เท่าของมวลอิเล็กตรอน) จึงเคลื่อนที่ได้ช้า พลังงานจลน์ที่ไอออนได้จากสนามไฟฟ้าจึงน้อย ไม่เพียง

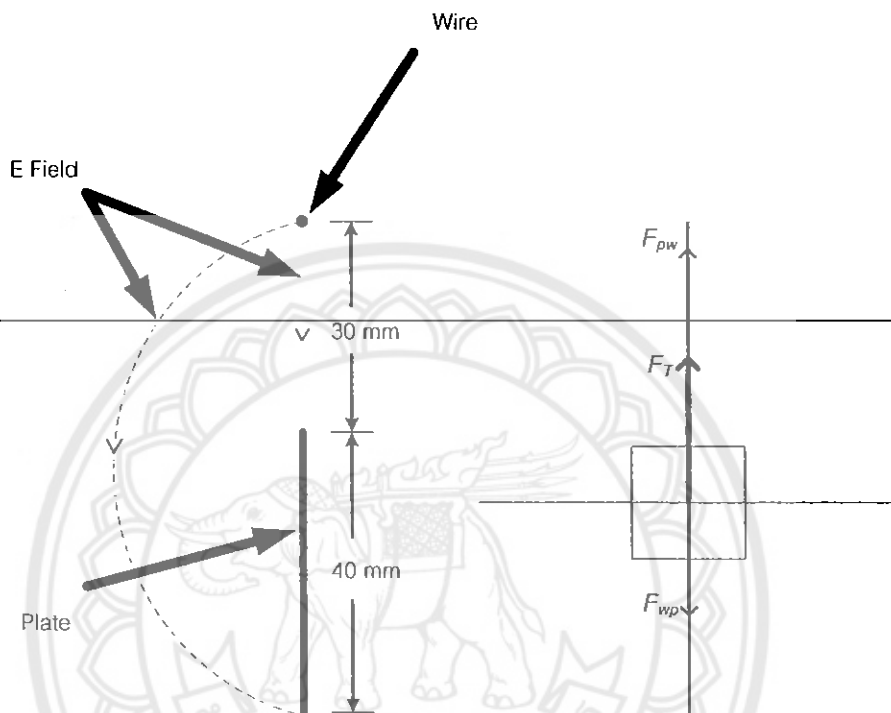
พอที่จะทำให้เกิดไอออนโดยการชนของไอออนบวกกับโมเลกุลของอากาศที่เป็นกลางได้ แต่ไอออนบวกมีพลังงานศักย์มากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดกระจายออกจากผิวของแผ่นตัวนำได้ เมื่อไอออนบวกวิ่งมากระทบ การเคลื่อนที่ของไอออนบวกจำนวนมากในทิศทางเดียวกัน และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจำนวนมากในทิศทางเดียวกันจะทำให้เกิดแรงยกทำให้ลิฟต์ลอยขึ้น [8]



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของลิฟต์ [9]

2.7.6 แรงที่เกิดจากลิฟเตอร์

การหาแรงที่เกิดจากลิฟเตอร์ [10] จะใช้ทฤษฎีสถานะไฟฟ้าในการหาแรงดึงดูดระหว่างลวดตัวนำกับแผ่นพรอยด์ตัวนำที่ตั้งฉากกัน ดังรูปที่ 2.17 เป็นลักษณะทางด้านข้างของลิฟเตอร์สามเหลี่ยม



รูปที่ 2.17 ลักษณะทางด้านข้างลิฟเตอร์ของหนึ่งแผ่นตัวนำและแรงที่เกิดจากลิฟเตอร์

โดยที่มีแรงกระทำจากลวดตัวนำถึงแผ่นตัวนำ F_{wp} มีค่าเท่ากับ

$$F_{wp} = \frac{V^2 \epsilon_r \epsilon_0 A_w}{4d^2} \quad (2.29)$$

และแรงกระทำจากแผ่นตัวนำถึงลวดตัวนำ F_{pw} มีค่าเท่ากับ

$$F_{pw} = \frac{-V^2 \epsilon_r \epsilon_0 A_p}{4d^2} \quad (2.30)$$

โดยที่	F	คือ แรงมีหน่วยเป็น N
	V	คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีหน่วยเป็น V
	ϵ_0	คือ สภาพยอมของสุญญากาศ 8.854×10^{-12} F/m
	ϵ_r	คือ สภาพยอมสัมพัทธ์ของตัวกลาง (ไม่มีหน่วย)
	A	คือ พื้นที่ผิวของลวดตัวนำหรือแผ่นตัวนำมีหน่วยเป็น m^2
	d	คือ ระยะห่างในแนวตั้งจากลวดตัวนำถึงตรงกลางของแผ่นตัวนำ มีหน่วยเป็น m

เพราะฉะนั้นแรงลัพธ์ที่เกิดจากลิฟเตอร์มีค่าเท่ากับ

$$F_T = F_{wp} + F_{pw} \quad (2.31)$$

เมื่อแรงลัพธ์ที่เกิดจากลิฟเตอร์มีค่ามากกว่าน้ำหนักของลิฟเตอร์ ลิฟเตอร์จะถูกยกขึ้นด้วย
ความเร่งมีค่าเท่ากับ

$$a = \frac{F_T}{m} - g \quad (2.32)$$

โดยที่	a	คือ ความเร่งมีหน่วยเป็น m/s^2
	m	คือ มวลของลิฟเตอร์มีหน่วยเป็น kg
	g	คือ ค่าความเร่งมีค่าเท่ากับ $9.81 m/s^2$

บทที่ 3

การสร้างตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงและการออกแบบลิฟเตอร์

จากการศึกษาตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงและหลักการทำงานของลิฟเตอร์ ทำให้สามารถออกแบบวงจรได้ ในบทนี้จะเป็นการออกแบบวงจรในส่วนต่างๆของตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง คือ ตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางด้านแหล่งจ่ายไฟเข้า ตัวแปลงผัน จนกระทั่งการออกแบบลิฟเตอร์ที่เป็นส่วนหนึ่งของการนำตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงไปประยุกต์ใช้งาน

3.1 ตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางด้านแหล่งจ่ายไฟเข้า

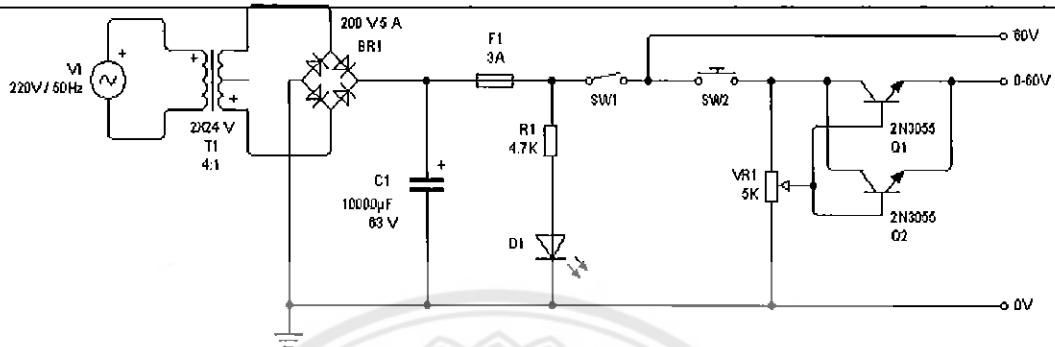
การออกแบบตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวนนี้ เพื่อนำวงจรไปใช้เป็นแหล่งจ่ายของตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง

3.1.1 ขั้นตอนการสร้างตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน

- ก) ออกแบบตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน โดยการศึกษาจากหนังสือและแหล่งข้อมูลต่างๆ
- ข) ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆที่จะเลือกใช้ทำเป็นวงจร และจัดซื้ออุปกรณ์ต่างๆ
- ค) การต่อวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยการต่อวงจรลงบนแผ่น โปรโตบอร์ด (Protoboard) และทดสอบการทำงาน
- ง) ใช้มัลติมิเตอร์ (Multimeter) วัดค่าแรงดัน
- จ) นำตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่สมบูรณ์แล้วไปลงบนแผ่น PCB (Printed circuit board)

3.1.2 การออกแบบตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน

วงจรที่ได้ทำการออกแบบแล้ว มีลักษณะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน

3.1.3 การเลือกใช้อุปกรณ์ของตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน

ก) หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

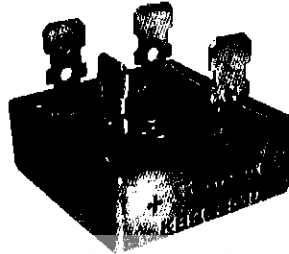
การเลือกใช้หม้อแปลงต้องพิจารณาขนาดพิกัดแรงดันและขนาดพิกัดกระแสของหม้อแปลงนั้น เพื่อให้หม้อแปลงเกิดพังเสียหายจากอันเนื่องมาจากการลัดวงจรในส่วนของตัวแปลงผัน แต่โดยส่วนมากแล้วตัวแปลงผันหลายเบ็กราคาสูงจะให้กำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนัก ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกที่พิกัดกระแสและพิกัดแรงดัน ได้ดังนี้ คือ เลือกใช้หม้อแปลงขนาดแรงดัน 2x24 V และมีขนาดของพิกัดกระแส 3 A ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

ข) ตัวเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge rectifier)

การเลือกตัวเรียงกระแสต้องพิจารณาขนาดพิกัดแรงดันและขนาดพิกัดกระแส ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกได้ดังนี้ คือ เลือกใช้ตัวเรียงกระแสขนาดพิกัดแรงดันได้ 200 V และขนาดพิกัดกระแสได้ 5 A ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวเรียงกระแสพิกัด 200 V 5A [12]

ค) ฟิวส์

การเลือกฟิวส์เพื่อใช้ในส่วนของตัวเรียงกระแสในแหล่งจ่ายกำลังสวิตซิ่งนั้น มีข้อควรพิจารณาเลือกดังต่อไปนี้ คือ ค่าพิกัดแรงดันและค่าพิกัดกระแส ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกได้ดังนี้ คือ เลือกใช้ฟิวส์ขนาด 250 V 3 A ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ฟิวส์พิกัด 250 V 3A [13]

ง) ตัวเก็บประจุ

การเลือกใช้ตัวเก็บประจุเพื่อใช้กรองแรงดันไฟฟ้าที่ถูกเปลี่ยนจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงให้เรียบนั้น ในทางปฏิบัติมีการพิจารณาเลือกดังนี้ คือ ค่าพิกัดแรงดันของตัวเก็บประจุ ขนาดและราคา ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกได้ดังนี้ คือ เลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด 10,000 μF 63 V ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวเก็บประจุ 10,000 μF 63 V [14]

จ) ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variable Resistor)

การเลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อใช้ในการปรับค่าของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกให้กับวงจรฟลายแบ็กแรงดันสูงนั้น มีการพิจารณาเลือกดังนี้ คือ เลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้มีค่าความต้านทานไม่สูงมากนัก ถ้าเลือกสูงเกินไปจะทำให้ตัวต้านทานปรับค่าได้ร้อน เนื่องจากกำลังสูญเสียที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกได้ดังนี้ คือ เลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ขนาด 5k Ω ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.6 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 k Ω

ฉ) สวิตช์เปิดปิดวงจร (Toggle switch)

ฉ.1) สวิตช์

การเลือกสวิตช์เพื่อใช้ในการเปิดปิดวงจรมีการพิจารณาเลือกดังนี้ คือ พิจารณาค่าพิกัดแรงดัน และค่าพิกัดกระแส ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกได้ดังนี้ คือ เลือกใช้สวิตช์ขนาดแรงดัน 250 V

3 A ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 สวิตช์เปิดปิดวงจร

ฉ.2) สวิตช์ปุ่มกด

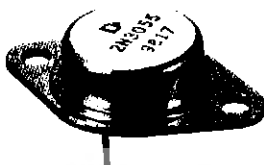
การเลือกสวิตช์ปุ่มกดเพื่อใช้ในการเปิดปิดวงจรมีการพิจารณาเลือกดังนี้ คือ พิจารณาค่าพิกัดแรงดัน และค่าพิกัดกระแส ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกได้ดังนี้ คือ เลือกใช้สวิตช์ปุ่มกดขนาดแรงดัน 250 V 3 A ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สวิตช์ปุ่มกด 250 V 3 A [15]

ข) ทรานซิสเตอร์ หมายเลข 2N3055

ในวงจรนี้เลือกใช้ทรานซิสเตอร์ หมายเลข 2N3055 ดังรูปที่ 3.9 ที่สามารถทนกระแสสูงเพื่อใช้เป็นตัวปรับค่าแรงดันไฟฟ้ามีการพิจารณาเลือกดังนี้ คือ เลือกตามค่าพิกัดแรงดันและค่าพิกัดกระแสของขาต่างๆของทรานซิสเตอร์ พิกัดต่างๆของทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N3055 แสดงดังตารางที่ 3.1



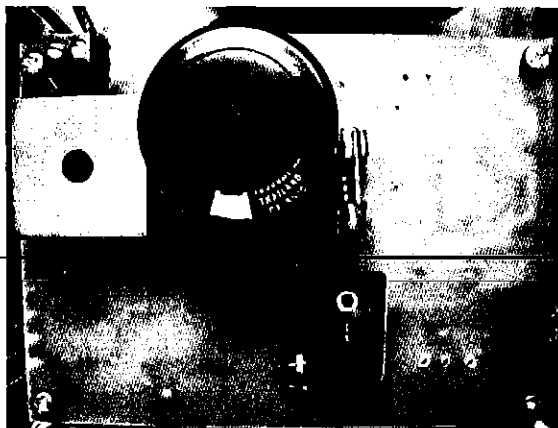
รูปที่ 3.9 ทรานซิสเตอร์ หมายเลข 2N3055 [16]

ตารางที่ 3.1 พิกัดต่างๆของทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N3055

พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันขาคอลเลกเตอร์	V_{CE}	100	V
แรงดันขาเบส	V_{BE}	7	V
กระแสขาคอลเลกเตอร์	I_C	15	A
กระแสขาเบส	I_B	7	A

3.1.4 การสร้างตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน

หลังจากที่ได้ทำการเลือกอุปกรณ์ต่างๆได้แล้ว ต่อไปจะนำอุปกรณ์ต่างๆไปต่อลงโปรโตบอร์ด หลังจากนั้นทำการทดสอบการทำงานโดยใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันที่จ่ายออกมา เมื่อทดสอบเสร็จแล้วจึงนำอุปกรณ์ไปลงบนแผ่น PCB ดังรูปที่ 3.10 แล้วทำการทดสอบอีกครั้ง



รูปที่ 3.10 ตัวแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรกรองสัญญาณรบกวน

3.2 วงจรควบคุมและวงจรขับมอสเฟตกำลัง

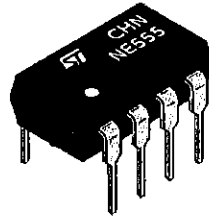
การออกแบบวงจรควบคุมนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อใช้ในการขับมอสเฟตกำลัง โดยในโครงการนี้ได้ออกแบบวงจรควบคุมที่สร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่มีความถี่ 20 kHz

3.2.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรควบคุมและวงจรขับมอสเฟตกำลัง

- ก) ศึกษาการทำงานของวงจรที่สร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มและวงจรขับมอสเฟตกำลัง โดยการศึกษาจากหนังสือและแหล่งข้อมูลต่าง ๆ
- ข) ออกแบบวงจรสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มและวงจรขับมอสเฟตกำลัง
- ค) ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆที่จะเลือกใช้ทำเป็นวงจร และจัดซื้ออุปกรณ์ต่างๆ
- ค) การต่อวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยการต่อวงจรลงบนแผ่นโปรโตบอร์ด และทดสอบการทำงาน โดยใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) วัดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม
- จ) นำวงจรควบคุมที่สมบูรณ์แล้วไปลงบนแผ่น PCB แล้วทำการทดสอบอีกครั้ง

3.2.2 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม

การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มนี้จะใช้หลักการของการออกแบบวงจรอะอสเตเบิลิลลิตีไวมอเตอร์ที่ใช้ NE555 ดังรูปที่ 3.11 โดยจะให้เลือกความถี่ของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มที่ใช้งานที่ 20 kHz และมีการปรับค่าความถี่ได้ตั้งแต่ 51-90%



รูปที่ 3.11 ไอซี หมายเลข NE555

โดยมีการออกแบบดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก } T &= T_1 + T_2 = \frac{1}{f} = \frac{1}{20\text{kHz}} \\ T &= 50 \quad \mu\text{s} \end{aligned}$$

จากรายละเอียดของไอซี หมายเลข NE555

$$I_{c(\min)} \gg I_{th} = 0.25 \quad \mu\text{A}$$

$$I_{c(\min)} \gg I_{trig} = 0.5 \quad \mu\text{A}$$

$$\text{เลือกค่า } I_{c(\min)} = 1 \quad \text{mA}$$

$$\text{เมื่อ } V_{cc} = 12 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } R_A + R_B &= \frac{V_{cc}}{3I_{c(\min)}} \\ &= \frac{12}{3 \times 1\text{mA}} \\ &= 4 \quad \text{k}\Omega \end{aligned}$$

กำหนดให้ค่าควิตซ์ไชเกิลสูงสุดมีค่าเป็น 90%

$$\text{จะได้ } T_1 = \frac{90}{100} \times 50 \mu\text{s}$$

$$T_1 = 45 \mu\text{s}$$

$$T_2 = 5 \mu\text{s}$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ } C = \frac{T_1}{0.693 \times (R_A + R_B)}$$

$$= \frac{45 \mu\text{s}}{0.693 \times (4\text{k}\Omega)}$$

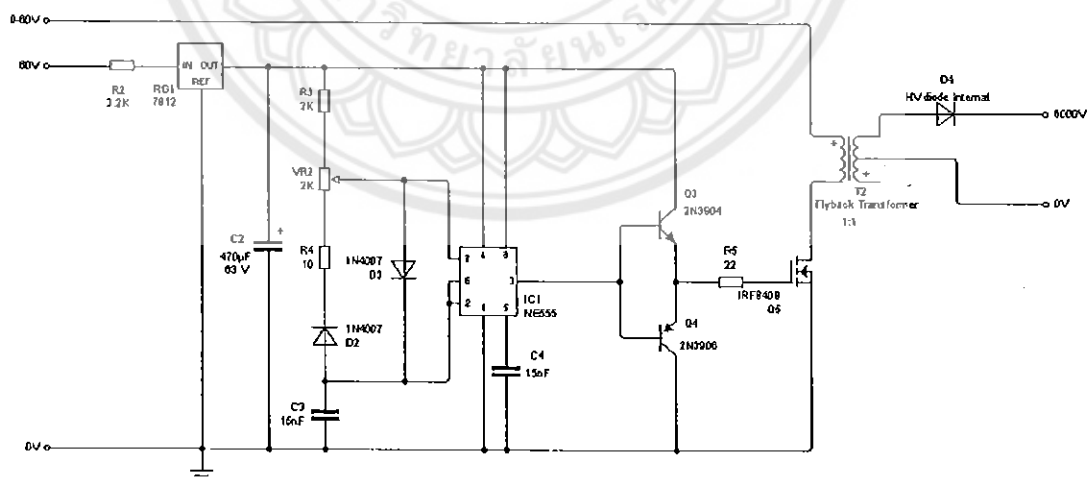
$$= 16.23 \text{ nF}$$

เลือกตัวเก็บประจุค่ามาตรฐาน คือ 15 nF

การปรับค่าควิตซ์ไชเกิลสามารถทำได้โดยการเพิ่มตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อระหว่าง R_A กับ R_B เดิม ดังนั้น $R_A = (R_1 + R_2)$ และ $R_B = (R_3 + R_4)$

เพราะฉะนั้นเลือกค่า $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ เนื่องจากต้องการปรับค่าควิตซ์ไชเกิลได้ตั้งแต่ 51% ขึ้นไป และเลือก $VR_2 = (R_2 + R_3) = 2 \text{ k}\Omega$ และ $R_4 = 10 \Omega$

วงจรที่ได้ทำการออกแบบแล้ว มีลักษณะดังรูปที่ 3.12

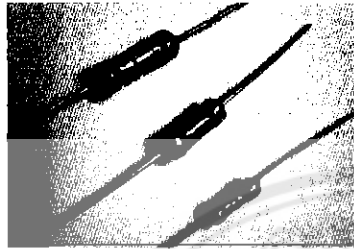


รูปที่ 3.12 วงจรสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มและวงจรขับมอสเฟตกำลัง

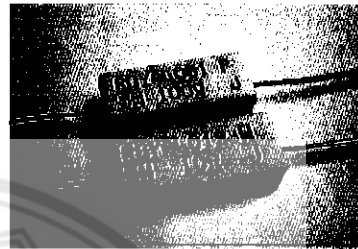
3.2.3 การเลือกใช้อุปกรณ์ของวงจรสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มและวงจรขับมอเตอร์กำลัง

ก) ตัวต้านทาน

ในวงจรนี้ใช้ค่าความต้านทาน $22\ \Omega$ ขนาด $1/4\ \text{W}$, $10\ \Omega$ ขนาด $1/2\ \text{W}$, $1\ \text{k}\Omega$ ขนาด $1\ \text{W}$, $1.8\ \text{k}\Omega$ ขนาด $2\ \text{W}$ และ $470\ \text{k}\Omega$ ขนาด $5\ \text{W}$ ดังรูปที่ 3.13 ทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า



(1) ตัวต้านทานชนิดคาร์บอน



(2) ตัวต้านทานชนิดลวดพัน

รูปที่ 3.13 ลักษณะของตัวต้านทาน

ข) ตัวต้านทานปรับค่าได้

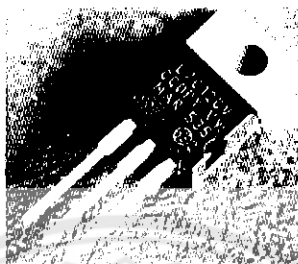
ในวงจรนี้ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) แบบชั้นเดียว ดังรูปที่ 3.14 ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานปรับใช้ในการปรับค่าควิตซ์เฟสของ NE555 เพื่อให้ได้ค่าควิตซ์เฟสที่ต้องการ



รูปที่ 3.14 ลักษณะของตัวต้านทานปรับค่าได้

ค) ตัวคุมค่าแรงดัน (Voltage regulator)

ในวงจรนี้เลือกใช้ตัวคุมค่าแรงดัน หมายเลข 7812 ดังรูปที่ 3.15 เพื่อใช้ในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าไม่ให้เกิน 12 V ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้ใช้ในการเลี้ยงวงจรสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มและวงจรขับมอสเฟตกำลัง



รูปที่ 3.15 ลักษณะของตัวคุมค่าแรงดัน

ง) ตัวเก็บประจุ

ในวงจรนี้เลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ขนาด 470 μF 63 V และชนิดเซรามิกขนาด 15 nF ดังรูปที่ 3.16



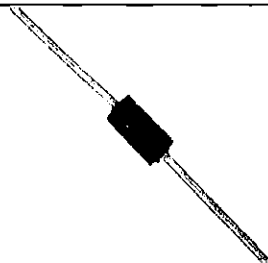
(1) ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์

(2) ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก

รูปที่ 3.16 ลักษณะของตัวเก็บประจุ

จ) ไดโอด (Diode)

ในวงจรนี้ใช้ไดโอด หมายเลข 1N4007G ดังรูปที่ 3.17 เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียวเท่านั้น ซึ่งมีคุณสมบัติทนค่าแรงดันพังทลายสูง เมื่อเกิดการไบแอสย้อนกลับ ค่าพิกัดต่างๆของไดโอด หมายเลข 1N4007G แสดงดังตารางที่ 3.2



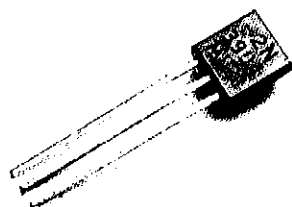
รูปที่ 3.17 ลักษณะของไดโอด 1N4007G

ตารางที่ 3.2 พิกัดต่างๆของ 1N4007G

พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันย้อนกลับ	V_{RRM}	1,000	V
แรงดันเฉลี่ยกำลังสอง	V_{RMS}	700	V
แรงดันกระแสตรง	V_{DC}	1,000	V
กระแสเฉลี่ย	I_{AV}	1	A

ฉ) ทรานซิสเตอร์

ในวงจรนี้เลือกใช้ทรานซิสเตอร์ หมายเลข 2N3904 ชนิด NPN และ 2N3906 ชนิด PNP ดังรูปที่ 3.18 เพื่อใช้ในการขับมอเตอร์กำลัง

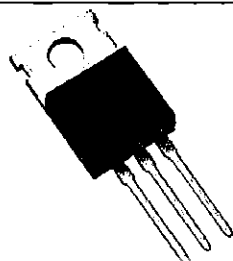


(1) ทรานซิสเตอร์ หมายเลข 2N3904 (2) ทรานซิสเตอร์ หมายเลข 2N3906

รูปที่ 3.18 ลักษณะของทรานซิสเตอร์

ช) มอสเฟตกำลัง

ในวงจรนี้เลือกใช้มอสเฟตกำลัง หมายเลข IRF840B ดังรูปที่ 3.19 เพื่อใช้ทำงานในย่านความถี่สูง โดยมอสเฟตกำลังตัวนี้ยังสามารถทนค่าของแรงดันไฟฟ้าได้สูง เมื่อไม่มีการนำกระแส และทนกระแสได้สูง ค่าพิกัดต่างๆของมอสเฟตกำลัง หมายเลข IRF840B แสดงดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.19 ลักษณะของมอสเฟตกำลัง หมายเลข IRF840B

ตารางที่ 3.3 พิกัดต่างๆของมอสเฟตกำลัง หมายเลข IRF840B

พิกัด	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันขาเดรน	V_{DSS}	500	V
แรงดันขาเกต	V_{GS}	± 30	V
กระแสขาเดรน	$I_D (T_C = 25^\circ)$	8	A
	$I_D (T_C = 100^\circ)$	5.1	A
ความต้านทานขาเดรน	R_{DS}	0.8 (at $V_{GS} = 10$)	Ω

จ) แผ่นระบายความร้อน (Heat sink)

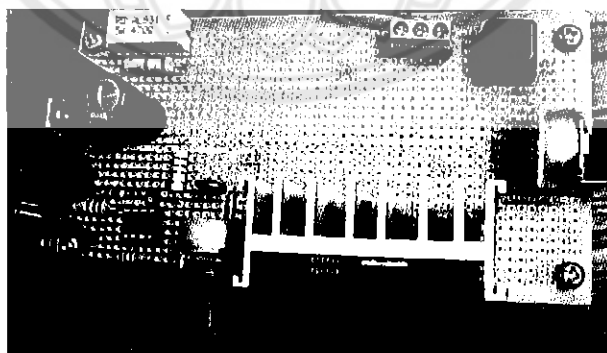
ในวงจรนี้ใช้แผ่นระบายความร้อน เพื่อใช้ระบายความร้อนให้กับมอสเฟตกำลัง หมายเลข IRF840B ทรานซิสเตอร์ หมายเลข 2N3055 และวงจรคุมค่าแรงดัน ดังรูปที่ 3.20 เพราะอุปกรณ์เหล่านี้เมื่อทำงานจะร้อนมากจึงต้องระบายความร้อนออกไปโดยเร็วหรือถ้าความร้อนเกินค่าที่สูงสุดที่อุปกรณ์เหล่านี้ทนได้ จะทำให้อุปกรณ์เหล่านี้พังได้



รูปที่ 3.20 ลักษณะของแผ่นระบายความร้อน

3.2.4 การสร้างวงจรควบคุมและวงจรขับมอสเฟตกำลัง

หลังจากที่ได้ทำการเลือกอุปกรณ์ต่างๆ ได้แล้ว ต่อไปจะนำอุปกรณ์ต่างๆ ไปต่อลงโปรโตบอร์ด หลังจากนั้นจะทำการทดสอบการทำงานโดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ขาเกตและซอสของมอสเฟตกำลัง เมื่อทดสอบเสร็จแล้วจึงนำอุปกรณ์ไปลงบนแผ่น PCB ดังรูปที่ 3.21 แล้วทำการทดสอบอีกครั้ง



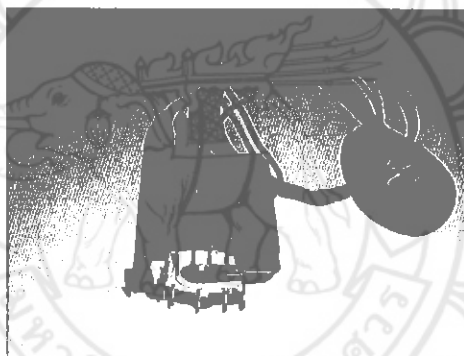
รูปที่ 3.21 วงจรควบคุมและวงจรขับมอสเฟตกำลัง

3.3 ตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง

หลังจากที่ได้ออกแบบวงจรควบคุมและวงจรขับมอสเฟตกำลังแล้ว ต่อไปจะได้นำเอาวงจรควบคุมและวงจรขับมอสเฟตกำลังมาต่อกับหม้อแปลงฟลายแบ็ก ก่อนที่จะนำหม้อแปลงฟลายแบ็กมาต่อ นั้น ต้องทำการเลือกหม้อแปลงฟลายแบ็กที่มีค่าแรงดันด้านออกสูงและหาขั้วลวดขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็กก่อน

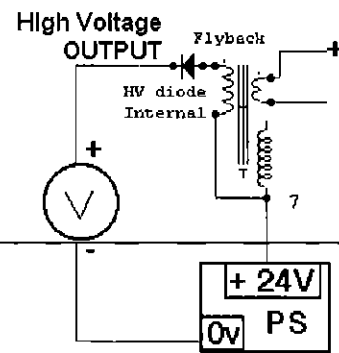
3.3.1 การเลือกใช้หม้อแปลงฟลายแบ็กและการหาขั้วลวดขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง

ในวงจรนี้เลือกใช้หม้อแปลงฟลายแบ็ก หมายเลข BSC25 ดังรูปที่ 3.22 ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่นำไปใช้ในเครื่อง โทรทัศน์และแรงดันด้านออกที่ได้มีแรงดันสูง เนื่องจากขดลวดทุติยภูมิมีจำนวนรอบสูงถึงระดับหลักพันรอบทำให้ได้ค่าแรงดันด้านออกที่สูง ส่วนขดลวดปฐมภูมิได้ทำการพันเองโดยใช้จำนวนรอบในการพัน คือ 18 รอบ ต่อจากนั้นจะทำการหาขั้วลวดของหม้อแปลง โดยมีหลักการดังนี้



รูปที่ 3.22 หม้อแปลงฟลายแบ็ก

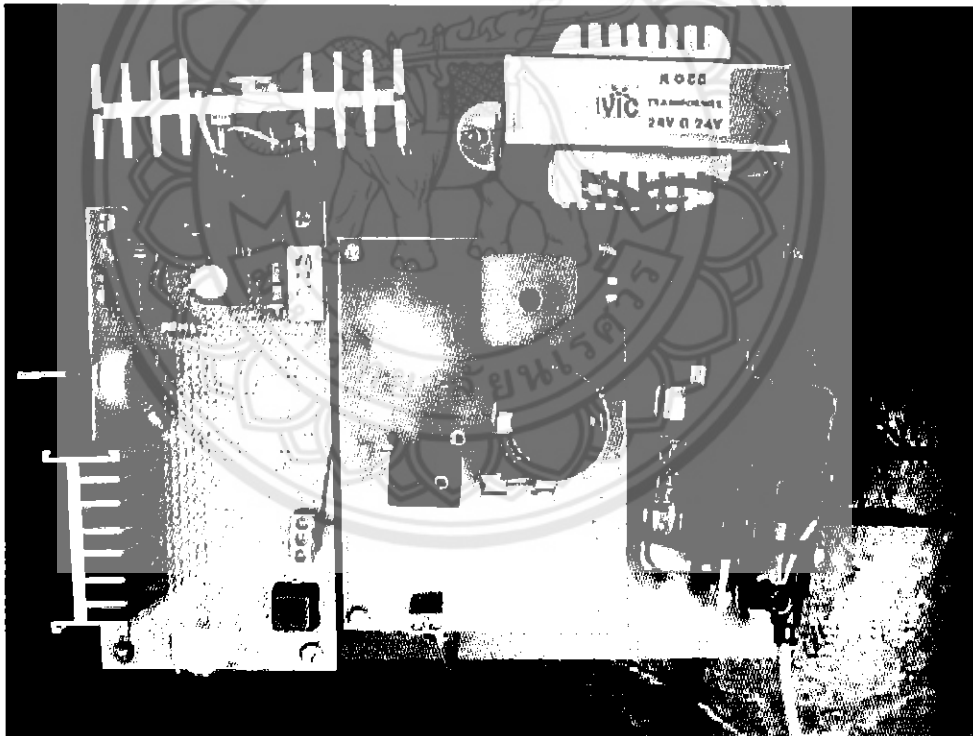
- ก) ใช้แหล่งจ่าย 24 V และใช้โวลต์มิเตอร์ต่อเข้ากับหม้อแปลงฟลายแบ็กตามรูปที่ 3.23 และทำการทดสอบหาขั้ว โดยการวัดไปที่ขั้วของหม้อแปลงฟลายแบ็ก ถ้าขั้วใดมีแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 5-10 V แสดงว่าขั้วนั้นคือขั้วลวดของขดลวดทุติยภูมิ ดังรูปที่ 3.23 ขั้วที่เป็นขั้วลวด คือ ขั้ว 7



รูปที่ 3.23 ลักษณะการต่อวงจรการหาขั้วลบของขดลวดทุติยภูมิ [17]

หลังจากเลือกหม้อแปลงและทดสอบการหาขั้วได้แล้ว จึงนำเอาหม้อแปลงไปต่อกับวงจร

ควบคุมและวงจรขั้วมอดเฟตกำลัง ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง

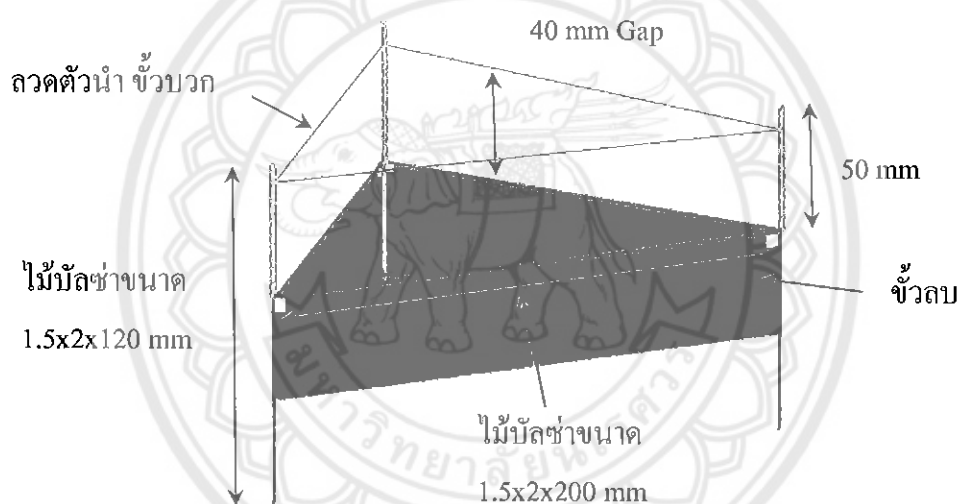
3.4 การสร้างลิฟเตอร์

3.4.1 ขั้นตอนการสร้างลิฟเตอร์

- 1) การออกแบบลิฟเตอร์แบบสามเหลี่ยม
- 2) การจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำลิฟเตอร์แบบสามเหลี่ยม
- 3) ลงมือสร้างตามแบบที่ได้ออกแบบไว้
- 4) นำไปทดสอบกับตัวแปลงผันพลังงานเก็บแรงดันสูง

3.4.2 การออกแบบลิฟเตอร์แบบสามเหลี่ยม

ลิฟเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบแล้วมีลักษณะดังรูปที่ 3.25



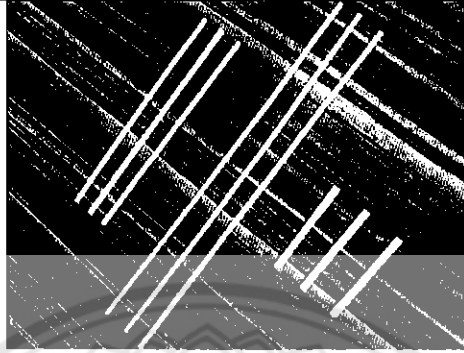
รูปที่ 3.25 ลิฟเตอร์ที่ได้ออกแบบ

3.4.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำลิฟเตอร์ มีดังนี้

- 1) กระดาษฟรอยด์ห่ออาหาร
- 2) ไม้บัลซ่าหนา 1.5 mm
- 3) กาวตราช้าง
- 4) ไม้บรรทัด
- 5) มีดคัตเตอร์
- 6) ลวดตัวนำขนาด 1/10 mm
- 7) หลอดพลาสติกขนาดเล็ก

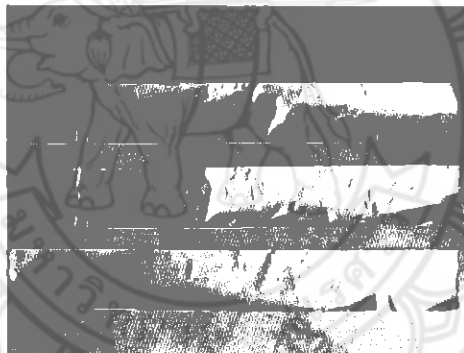
3.4.4 ขั้นตอนการสร้างลิฟเตอร์

- 1) ตัดไม้บัลซ่าขนาด 1.5x2x120 mm และตัดหลอดพลาสติกขนาด 50 mm ตามแบบที่ได้ ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3.26



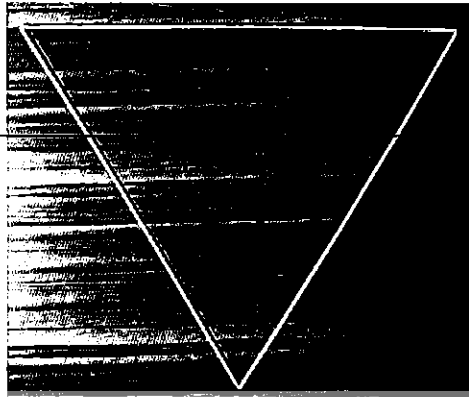
รูปที่ 3.26 ลักษณะไม้บัลซ่าและหลอดพลาสติกที่ตัด

- 2) ตัดกระดาษฟรอยด์ขนาด 40x300 mm ตามแบบที่ได้ ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3.27

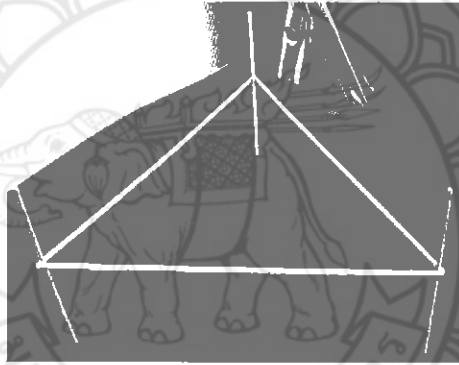


รูปที่ 3.27 ลักษณะกระดาษฟรอยด์ที่ตัด

3) นำเอาไม้บัลชามาต่อกันตามแบบที่ได้้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3.28 และรูปที่ 3.29

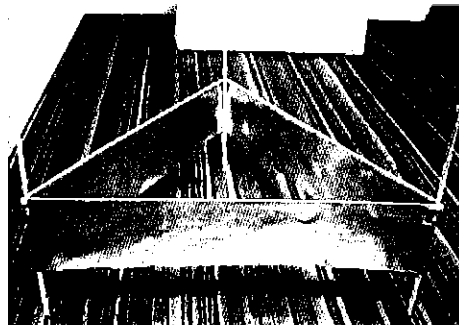


รูปที่ 3.28 ลักษณะไม้บัลช่าที่ต่อกัน



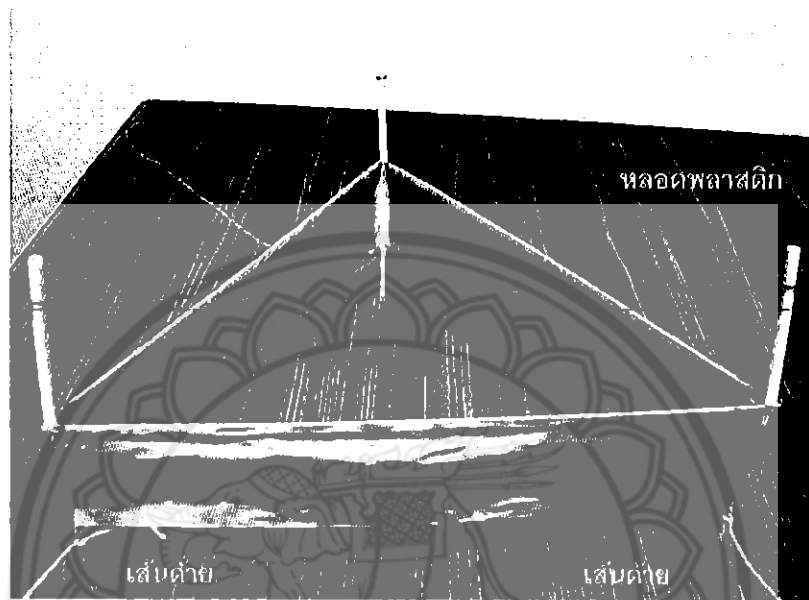
รูปที่ 3.29 ลักษณะไม้บัลช่าที่ต่อกัน

4) เอากระดาษฟรอยด์ที่ตัดไว้ มาติดกับไม้บัลช่าตามแบบที่ได้้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3.30



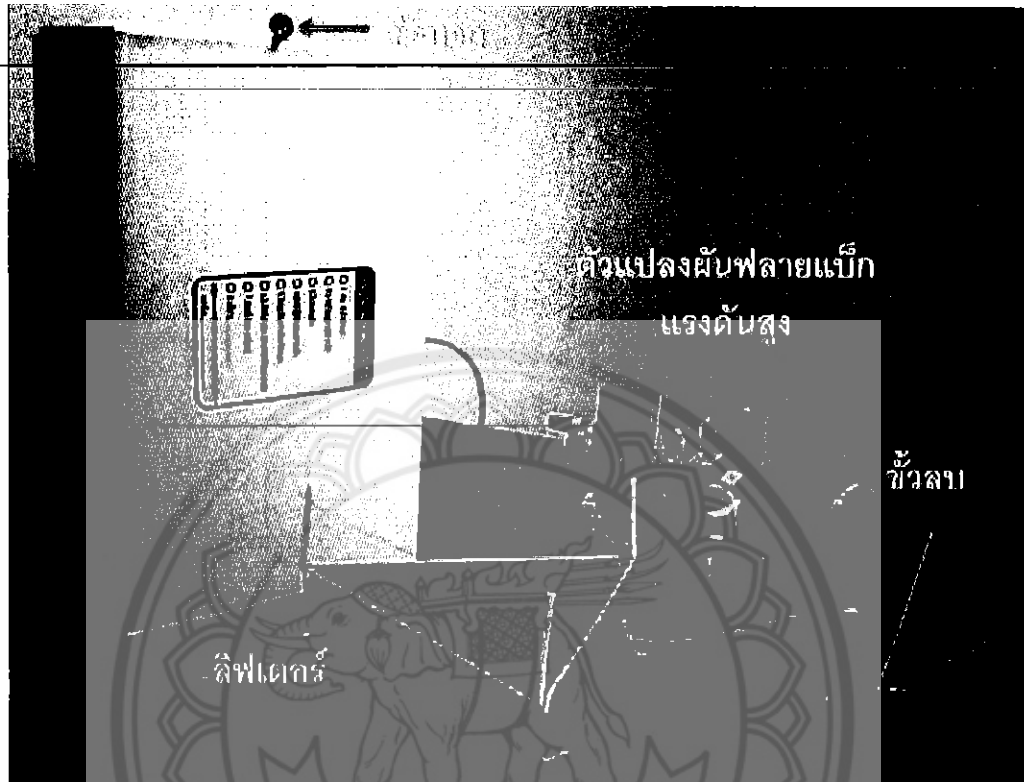
รูปที่ 3.30 ลักษณะกระดาษฟรอยด์ที่ติดกับไม้บัลช่า

- 5) นำเอาหลอดพลาสติกที่ได้ตัดไว้มาใส่กรอบไม้บัลซ่าไว้เพื่อเป็นฉนวน แล้วเอาลวดตัวนำที่เป็นขั้วบวกพันด้านบนให้เป็นลักษณะสามเหลี่ยมและเอาลวดตัวนำขั้วลบติดกับกระดาษฟรอยด์โดยใช้เทปกาว แล้วทำการมัดค้ำยตรงขาของลิฟเตอร์ทั้งสามด้าน ดังรูปที่ 3.31 เพื่อไม่ให้ลิฟเตอร์กระเด็นออกนอกพื้นที่ทดลองขณะลอย



รูปที่ 3.31 ลักษณะของลิฟเตอร์ที่เสร็จสมบูรณ์

- 6) นำลิฟเตอร์ไปต่อกับตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงตามแบบที่ได้ออกแบบ ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 ลักษณะของการต่อลิฟเตอร์กับตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง

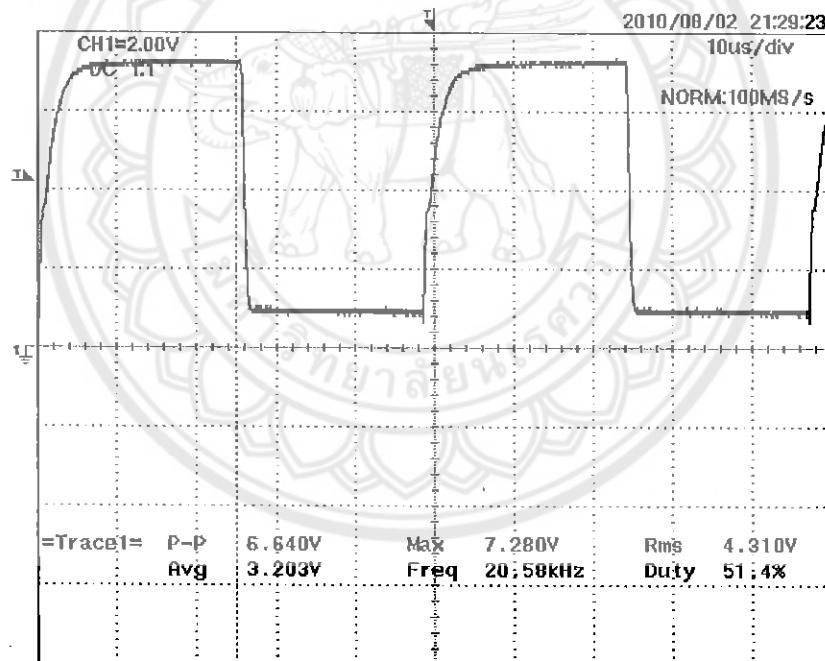
บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการที่ได้ทำการออกแบบจนถึงสร้างตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงและลิฟเตอร์ในบทที่ 3 แล้วนั้น ในบทที่ 4 นี้จะได้นำผลการทดลองของตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงและผลการทดลองของลิฟเตอร์เป็นลำดับต่อไป

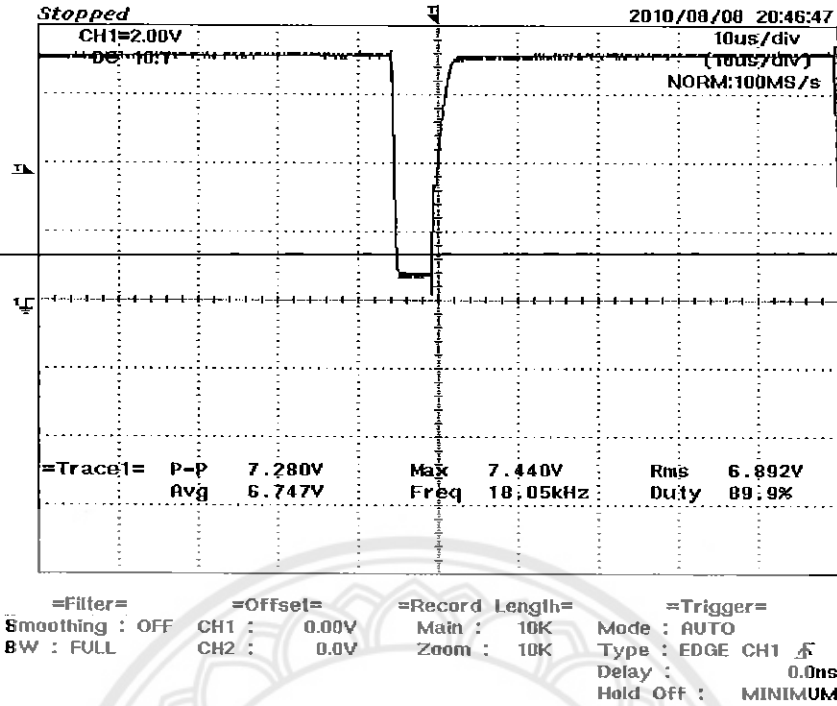
4.1 การทดสอบวงจรควบคุมและวงจรขับมอสเฟตกำลัง

ทำการทดสอบวงจรควบคุมและวงจรขับมอสเฟตกำลัง โดยการวัดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มและความถี่ของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มเมื่อมีการปรับค่าดิ้ว์ไซเคิล โดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณจากขาเกตซอสและขาเดรนซอสของมอสเฟตกำลัง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 รูปที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาวาดกราฟ ดังรูปที่ 4.4

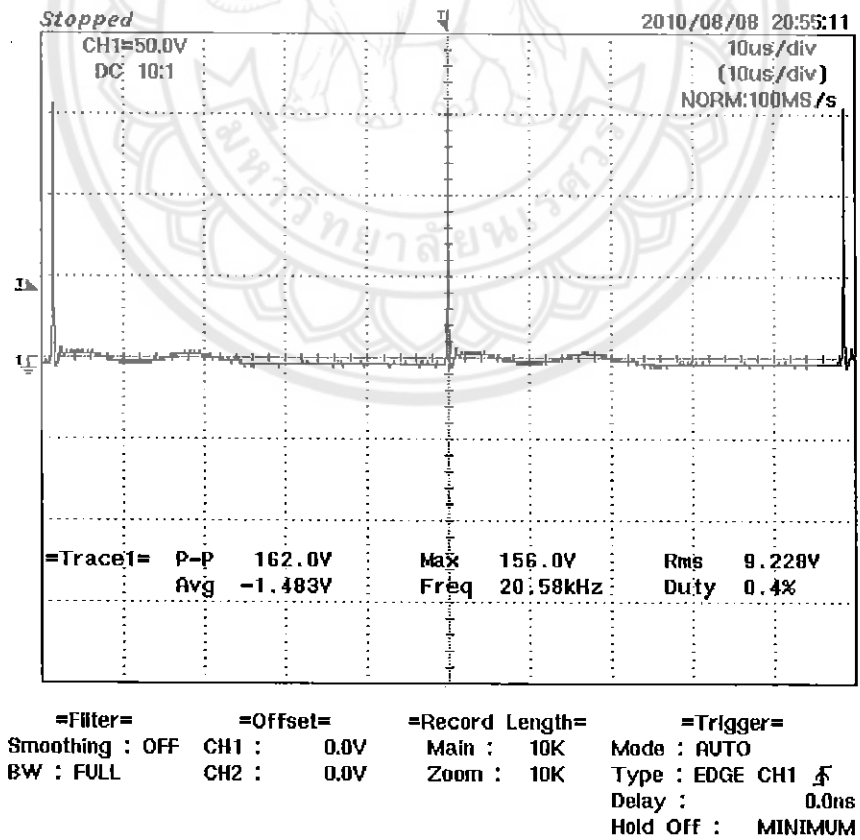


=Filter=	=Offset=	=Record Length=	=Trigger=
Smoothing : OFF	CH1 : 0.00V	Main : 10K	Mode : AUTO
BW : FULL	CH2 : 0.00V	Zoom : 10K	Type : EDGE CH1 \uparrow
			Delay : 0.0ns
			Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.1 ผลของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ขาเกตซอสของมอสเฟตกำลังที่ดิ้ว์ไซเคิล 51.4%



รูปที่ 4.2 ผลของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ขาเกตซอสของมอสเฟตกำลังที่ตัวดีไซ์เกิด 89.90%

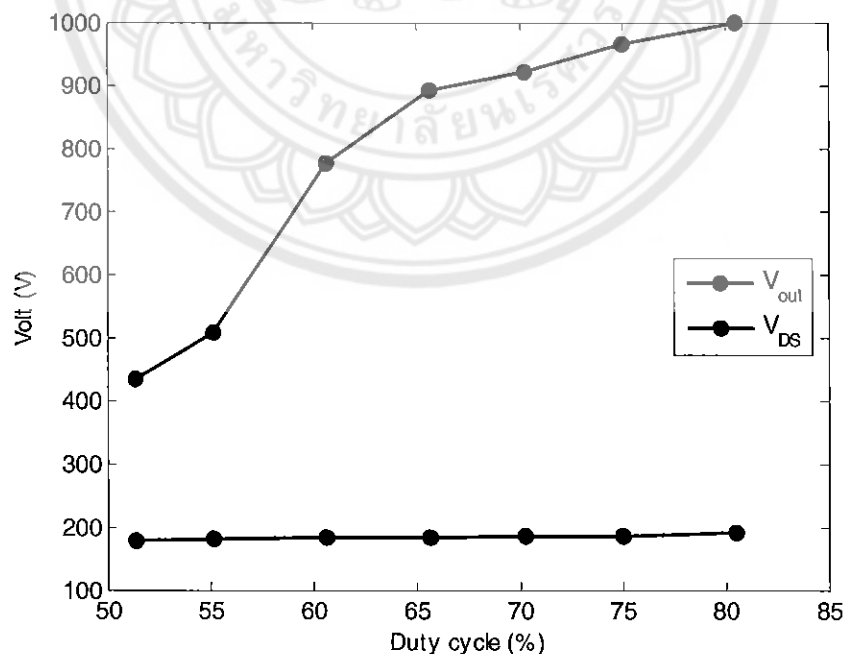


รูปที่ 4.3 ผลของสัญญาณที่ขาเดรนซอสของมอสเฟตกำลัง

ผลของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ใช้ในการขับมอเตอร์กำลังจากรูปที่ 4.1 พบว่าสัญญาณที่ได้มีค่าความถี่ 20.58 kHz ค่าความถี่ไซเคิล 51.4% และจากรูปที่ 4.2 พบว่าสัญญาณที่ได้มีค่าความถี่ 18.05 kHz ค่าความถี่ไซเคิล 89.9% ซึ่งสัญญาณทั้งสองดังกล่าวสามารถที่จะนำไปขับมอเตอร์กำลังได้ โดยสัญญาณที่ได้จากการขับจะเป็นลักษณะดังรูปที่ 4.3 เป็นแรงดันที่ขาของทรานซิสเตอร์สูงสุดที่ 156 V ซึ่งใช้สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มในรูปที่ 4.1 ในการขับและแรงดันทรานซิสเตอร์ได้เป็นไปตามที่ ทฤษฎี

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่แรงดันด้านเข้า 2.05 V

Duty cycle (%)	V_{out} (V)	I_{in} (A)	V_{DS} (V)	f (kHz)
51.40	432	0.063	178	20.75
55.20	507	0.090	180	20.00
60.70	775	0.154	182	19.84
65.70	890	0.187	183	19.61
70.30	921	0.202	185	19.53
75.00	965	0.211	186	19.31
80.50	1,000	0.293	190	19.08



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ไซเคิลกับค่าแรงดันด้านออกและค่าความถี่ไซเคิลกับแรงดันทรานซิสเตอร์

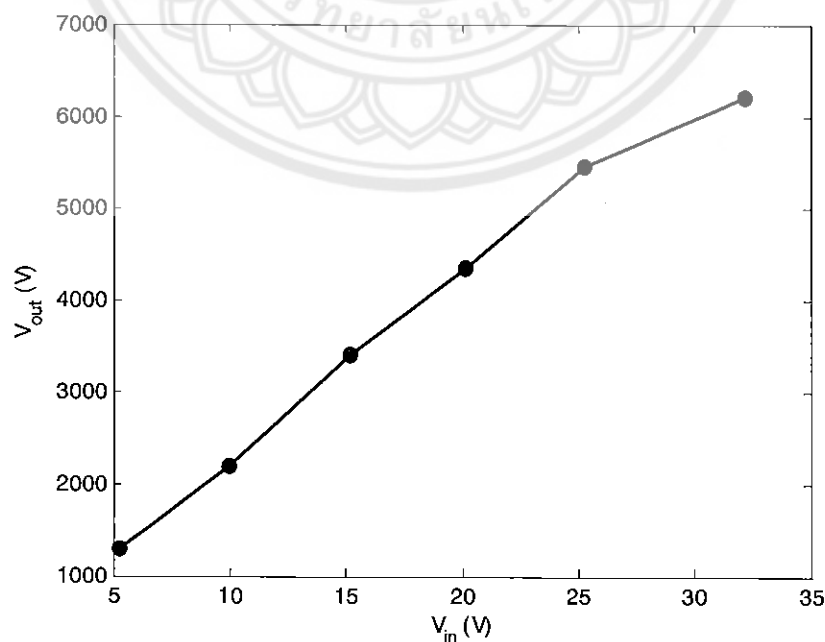
จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อมีการปรับค่าความถี่ไซเคิลเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าแรงดันด้านออกและแรงดันเกตซอสมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงนี้ทำหน้าที่เหมือนวงจรทบระดับแรงดัน (Boost converter) เพราะค่าความถี่ไซเคิลที่มีการปรับมีค่ามากกว่า 50% ขึ้นไป

4.2 การทดสอบตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูง

การทดสอบวงจรนี้จะกำหนดให้ค่าความถี่ไซเคิลเป็นค่าคงที่ที่ 70.00% แต่ค่าแรงดันด้านเข้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าสูงสุดของแรงดันด้านเข้า ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้ากับแรงดันด้านออก ดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้ากับแรงดันด้านออก

V_{in} (V)	V_{out} (V)	I_{in} (A)	f (kHz)
5.30	1290.224	0.358	19.46
10.02	2183.456	0.693	19.46
15.22	3399.244	1.129	19.46
20.17	4348.303	1.394	19.46
25.29	5446.234	1.656	19.46
32.23	6196.739	1.824	19.46

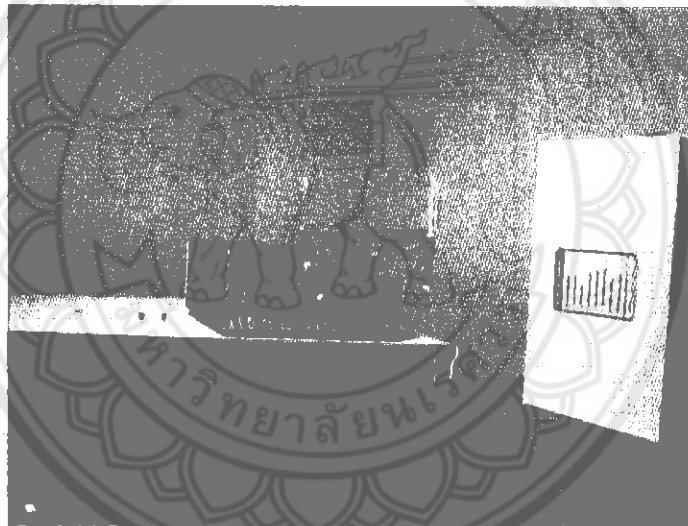


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้ากับค่าแรงดันด้านออก

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 พบว่า เมื่อมีการปรับค่าแรงดันด้านเข้าเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้แรงดันด้านออกมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยที่ค่าความถี่ของสัญญาณพีคับเบิลยูเอ็มคงที่และค่าควิตี้ไซเคิลคงที่ อย่างไรก็ตามแรงดันด้านออกที่ได้ออกมาใช้การวัดด้วยวิธีตัวแบ่งแรงดัน ซึ่งไม่เหมือนกับการวัดโดยตรง จะส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนบ้าง

4.3 การทดสอบการทำงานของลิฟเตอร์

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบตัวแปลงผันพลังงานแบ็กแรงดันสูงแล้ว ต่อไปจะนำวงจรไปต่อกับลิฟเตอร์ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 และวัดค่าแรงดันด้านเข้า, กระแสด้านเข้า, แรงดันด้านออกและค่าควิตี้ไซเคิลที่ทำให้ลิฟเตอร์ลอย คือ $V_{in} = 32.30 \text{ V}$, $I_{in} = 1.824 \text{ A}$, $V_{out} = 6.21 \text{ kV}$ และค่าควิตี้ไซเคิล = 59.50%



รูปที่ 4.6 ผลของการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับลิฟเตอร์

สามารถคำนวณแรงที่กระทำจากลวดตัวนำถึงแผ่นตัวนำ

$$\text{จากสมการที่ 2.29} \quad F_{wp} = \frac{V^2 \epsilon_r \epsilon_0 A_w}{4d^2}$$

และแรงที่กระทำจากแผ่นตัวนำถึงลวดตัวนำ

$$\text{จากสมการที่ 2.30} \quad F_{pw} = \frac{-V^2 \epsilon_r \epsilon_0 A_p}{4d^2}$$

$$\text{โดยที่} \quad V = 6.21 \text{ kV} \quad \epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad \epsilon_r = 1$$

$$A_w = 1/10 \text{ mm ยาว } 600 \text{ mm} = 1.88 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_p = \text{กว้าง } 40 \text{ mm ยาว } 600 \text{ mm} = 0.024 \text{ m}^2$$

$$d = 0.06 \text{ m}$$

แทนค่าจะได้

$$F_{wp} = \frac{(6,210)^2 \times 8.854 \times 10^{-12} \times 1.88 \times 10^{-4}}{4 \times (0.06)^2}$$

$$F_{wp} = 4.46 \times 10^{-6} \quad \text{N}$$

$$F_{pw} = \frac{-(6,210)^2 \times 8.854 \times 10^{-12} \times 0.024}{4 \times (0.06)^2}$$

$$F_{pw} = -5.69 \times 10^{-4} \quad \text{N}$$

เพราะฉะนั้นจะได้แรงรวมมีค่าเท่ากับ

$$F_T = F_{wp} + F_{pw}$$

$$F_T = 4.46 \times 10^{-6} - 5.69 \times 10^{-4}$$

$$F_T = -5.64 \times 10^{-4} \quad \text{N}$$



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ศึกษา ออกแบบ และทดสอบ ในตัวแปลงผันแรงดันสูงและลิฟเตอร์ ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ในบทนี้เป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองใน โครงการ พร้อมเสนอแนวทางการแก้ไขและการนำโครงการนี้ไปพัฒนาต่อ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ใน โครงการนี้ได้มีการศึกษาการใช้ตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงและลิฟเตอร์ และสร้างออกมาเป็นชิ้นงาน พบว่าวงจรดังกล่าวสามารถจ่ายแรงดันด้านออกมีค่าเท่ากับ 6.21 kV ที่ 59 VA เมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันด้านเข้าที่รับมาเท่ากับ 32.23 V และยังสามารถควบคุมค่าวิตต์ไซเคิลได้ตั้งแต่ 51.4 – 89.9% ด้วยการออกแบบวงจรควบคุมก่อนนำไปใช้งานจริง รวมทั้งยังพบว่าแรงดันด้านออกที่ได้แปรผันตรงกับแรงดันด้านเข้าและค่าวิตต์ไซเคิลอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถที่จะนำตัวแปลงผันฟลายแบ็กแรงดันสูงนี้ไปประยุกต์ใช้งานกับลิฟเตอร์ที่เป็นแบบสามเหลี่ยมด้านเท่าขนาด 200 mm ได้ โดยทำให้ลิฟเตอร์ลอยได้ รวมทั้งยังสามารถนำวงจรดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานกับสิ่งต่างๆที่ต้องการ ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงต่อไปได้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

1) การเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเมื่อปรับค่าวิตต์ไซเคิล ดังแสดงในตารางในบทที่ 4 เนื่องจากไอซีหมายเลข NE555 ยังไม่ค่อยเสถียรมากนัก แนวทางการแก้ไข คือ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพีดับเบิลยูเอ็มหรือใช้ไอซีที่มีความเสถียรมากขึ้นในควบคุมการสวิดจิงของมอสเฟตกำลัง

2) เนื่องจากการทำงานของวงจรฟลายแบ็กแรงดันสูงคั้งกระแสประมาณ 2 A ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N3055 ในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าของวงจรฟลายแบ็กแรงดันสูงมีความร้อนสูงมากและอาจทำให้ทรานซิสเตอร์ดังกล่าวเสียหายได้เนื่องจากความร้อน แนวทางการแก้ไข คือ การใช้ทรานซิสเตอร์ต่อขนานกันเพื่อแบ่งกระแสไหลและหาแผ่นระบายความร้อนมาใส่

3) แรงดันด้านออกที่ได้ไม่คงที่ เนื่องจากแรงดันที่สวิดจิงตรงขาครนชอสมิค่าไม่คงที่ แนวทางการแก้ไข คือ การต่อตัวเก็บประจุขนานกับแรงดันด้านออก โดยที่ตัวเก็บประจุนั้นต้องทนแรงดันด้านออกได้ด้วย

4) แรงดันด้านเข้าของตัวแปลงผันไฟแยกแรงดันสูงลดลงจาก 60 V เหลือ 32 V เนื่องจากหม้อแปลงที่ใช้มีพิกัดกำลังที่ต่ำ แนวทางแก้ไข คือ การหาหม้อแปลงตัวใหม่ที่มีพิกัดกำลังสูงกว่านี้มาแทน

5) รอยต่อตรงมุมของลิฟเตอร์แรงดันไฟฟ้ามีการเบรคความถี่จากขั้วบวกลงมายังขั้วลบทำให้ลิฟเตอร์เสียหายได้ แนวทางการแก้ไข คือ ใช้หลอดพลาสติกเป็นฉนวนกันที่รอยต่อตรงมุมของลิฟเตอร์

6) ในการทดลองบางครั้งลิฟเตอร์ไม่ลอยขึ้น เนื่องจากเกิดแรงดันเสียหายฉับพลัน (Breakdown voltage) หรือแรงดันยังไม่มากพอที่จะทำให้ลิฟเตอร์ลอยขึ้นได้ แนวทางแก้ไข คือ ต้องสร้างแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายลิฟเตอร์ให้สูงกว่านี้

7) ลิฟเตอร์ลอยพลิกไปพลิกมา เนื่องจากการสร้างตัวลิฟเตอร์ไม่สมดุลกัน ส่งผลให้ตัวลิฟเตอร์ลอยตัวไม่นิ่ง แนวทางแก้ไข คือ สร้างลิฟเตอร์ให้มีความสมดุล

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ในโครงการนี้ การสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มไอซีหมายเลข NE555 แนวทางในการพัฒนาโครงการ ได้แก่ การสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มไอซีโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และพัฒนาให้ได้แรงดันด้านออกที่สูงกว่านี้ โดยการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายไฟให้กับตัวแปลงผันแรงดันสูงให้สูงกว่านี้ด้วยการใช้หม้อแปลงที่มีพิกัดกำลังสูงกว่านี้ และพัฒนาลิฟเตอร์ให้กลายเป็นต้นแบบของเครื่องบิน รวมทั้งนำวงจรนี้ไปสร้างก๊าซไอโซนเพื่อนำไปสร้างเป็นเครื่องฟอกอากาศหรือทดสอบการเป็นฉนวนต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นภัทร วจนเทพินทร์ “วงจรพีคดับเบิลยูเอ็มและดิจิตอล (ภาคทฤษฎีและปฏิบัติ)”, พิมพ์ครั้งที่ 1, สกายบุ๊กส์, กรุงเทพฯ, 2547.

- [2] นภัทร วจนเทพินทร์ “การประมวลผลสัญญาณด้วยออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี”, บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด, 2550.
- [3] โททม อารียา “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1”, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2544.
- [4] โททม อารียา “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2”, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2544.

- [5] สุวัฒน์ คั่น “เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซีพหลาย”, พิมพ์ครั้งที่ 1, แอนเทลไทย, กรุงเทพฯ, 2537

- [6] สำรวย สังข์สะอาด “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2549.
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/Ionocraft>, สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 2553.
- [8] http://sudy_zhenja.tripod.com/lifter_theory/main.html, สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 2553.
- [9] <http://jlnaudin.free.fr/html/ekpexpl.htm>, สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 2553.
- [10] <http://members.fortunecity.com/jlnaudin/html/liftcalc.htm>, สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 2553.
- [11] <http://dk.coe.psu.ac.th/assign/gyro/gyrotest5.htm>, สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 2553.
- [12] <http://www.wind-turbine-supplies.co.uk/electronics/electronics.htm>, สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2553.
- [13] <http://shinyautos.com/shop/index.php?cPath=28&osCsid=b8a14900>, สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2553.
- [14] <http://www.syntax.com.tw/proddata/CF/CF-10000UF63VE.JPG>, สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2553.
- [15] <http://www.indiamart.com/bkelectronics/electronic-switches.html>, สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2553.
- [16] <http://www.mcmelectronics.com/product/DISTRIBUTED-BY-MCM-2N3055-/2n3055>, สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2553.
- [17] <http://jlnaudin.free.fr/lifters/labhvps/tht.htm>, สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2553.

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายวรัชชัย คำกลม
 ภูมิลำเนา 170/2 หมู่ 8 ตำบลน้ำริด อำเภอเมือง
 จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนน้ำริดวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

Email: Suhungrim_en2758@hotmail.com



ชื่อ นายชาลชณะ จิตดี
 ภูมิลำเนา 178 หมู่ 1 ตำบลปงดอน อำเภอแจ้ห่ม
 จังหวัดลำปาง 52120

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร

Email: tanoi_ji_dom@hotmail.com